

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005年12月29日 (29.12.2005)

PCT

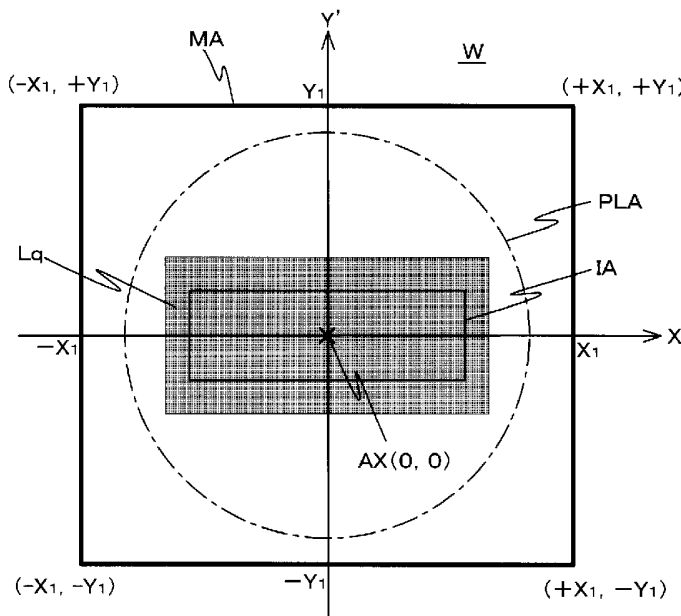
(10) 国際公開番号
WO 2005/124832 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 21/027, G01B 11/00, G03F 7/207
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/011010
- (22) 国際出願日: 2005年6月16日 (16.06.2005)
- (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2004-179189 2004年6月17日 (17.06.2004) 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 東京都千代田区丸の内3丁目2番3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): 中島伸一 (NAKAJIMA, Shinichi) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). 井上次郎 (INOUE, Jiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,

[続葉有]

(54) Title: EXPOSURE SYSTEM

(54) 発明の名称: 露光装置



(57) Abstract: A plurality of measuring points in an off-axis surface position measuring device are disposed in a frame-form area MA so as to singly surround an exposure area IA. This allows a region on a wafer W reaching the exposure area IA to pass through the frame-form area MA, and, when that region is to be exposed, it is already formed with a surface-form map. Therefore, when the surface position of the wafer W is adjusted based on the surface-form map, a high-accuracy exposure is ensured even if measuring points for measuring the surface position of the wafer W are not disposed in the exposure area.

(57) 要約: オフアキシスの面位置計測装置の複数の計測点は、露光領域IAを一重に囲むように枠状領域MAに配置されている。このようにすれば、露光領域IAに到達するウエハW上の領域は、

[続葉有]

WO 2005/124832 A1



LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

- (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, LS, MW, MZ, NA,
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 (AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU,

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

この枠状領域MAを通過するようになり、その領域が露光されるときには、その領域の面形状マップが作成されて
いる状態となっている。したがって、その面形状マップに基づいて、ウエハWの面位置を調整すれば、露光領域内
にウエハWの面位置を計測する計測点を配置しなくても、高精度な露光が可能となる。

明 細 書

露光装置

技術分野

[0001] 本発明は、露光装置に係り、さらに詳しくは、投影光学系を介して露光光を物体の表面上に照射する露光装置に関する。

背景技術

[0002] 従来より、半導体素子(集積回路)、液晶表示素子等の電子デバイスを製造するリソグラフィ工程では、マスク又はレチクル(以下、「レチクル」と総称する)のパターンの像を、投影光学系を介して、レジスト(感光剤)が塗布されたウエハ又はガラスプレート等感光性の基板(以下、「基板」又は「ウエハ」と呼ぶ)上の各ショット領域に転写する投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置としては、従来、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置(いわゆるステッパ)が多用されていたが、最近ではレチクルとウエハとを同期走査しつつ露光を行うステップ・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)も注目されている。

[0003] この種の露光装置を用いて露光を行う際には、デフォーカスに起因する露光不良の発生を極力抑制するために、投影光学系の光軸方向に関する基板の位置を、焦点位置検出系(フォーカス検出系)により検出し、その検出結果に基づいて、露光領域(露光光が照射される領域)に対応する基板の表面を投影光学系の最良結像面に焦点深度の範囲内に合わせる、いわゆるオートフォーカス・レベリング制御を行っている。通常、このような焦点位置検出系としては、露光領域に対応する基板上の領域の面位置を検出する斜入射方式の多点焦点位置検出系(以下、「多点AF系」と呼ぶ)が採用されている(例えば、特許文献1、2等参照)。

[0004] しかしながら、上記投影露光装置においては、解像度を向上させるため、投影光学系の開口(NA)数が大きくなってきており、この開口数の増大化に伴って、投影光学系と、ウエハとの間のワーキングディスタンスが短くなっているため、上記多点AF系の計測点を露光領域に配置することが困難になってきている。

[0005] このような不都合を解決すべく、最近では、露光領域に計測点を配置しないオフア

クス方式のウエハWの面位置計測装置を備える露光装置も提案されている(例えば、特許文献3、4等参照)。しかしながら、この種のオフアキス方式の計測装置では、実際の露光領域を計測することができないので、ウエハWの面位置のさらなる計測精度の向上が望まれている。

特許文献1:特開平6-283403号公報

特許文献2:米国特許第5,448,332号

特許文献3:特開平10-154659号公報

特許文献4:米国特許第5,825,043号

発明の開示

課題を解決するための手段

[0006] 上記事情の下になされた本発明は、投影光学系を介して露光光を物体の表面上に照射する露光装置であって、前記物体を保持して前記投影光学系の光軸に直交する2次元面内を移動可能なステージと;前記投影光学系を介して前記露光光が照射される所定領域の周囲の少なくとも一部に配置された複数の計測点を有し、該複数の計測点のそれぞれにおいて前記投影光学系の光軸に関する物体の面位置情報を計測する第1計測装置と;前記第1計測装置の計測結果に基づいて、前記物体の面形状情報を算出する算出装置と;前記ステージの位置情報を計測する第2計測装置と;前記算出装置の算出結果と前記第2計測装置の計測結果とに基づいて、前記所定領域に対する物体の面位置を制御する制御装置と;を備える露光装置である。

[0007] これによれば、投影光学系の光軸方向に関する物体の面位置情報を計測するための第1計測装置の複数の計測点が、投影光学系を介した露光光が照射される所定領域の周囲の少なくとも一部に配置されている。そのため、物体上のある領域に対し露光を行う前に、その領域が、複数の計測点による物体の面位置を計測可能な箇所を必ず通過するようになり、その領域の面形状情報を必ず算出することができるので、その面形状情報に基づいて、その領域を露光中に投影光学系の最良結像面に焦点深度内で一致させることができるようになる。この結果、高精度な露光を実現することができる。

図面の簡単な説明

- [0008] [図1]本発明の第1の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(A)]本発明の第1の実施形態に係る面位置計測装置の計測点の配置を示す図である。
- [図2(B)]計測点領域の一部を拡大して示す図である。
- [図3]ウエハステージWSTの位置と、面位置計測装置の計測点の配置との関係を示す図である。
- [図4]ウエハW上の計測対象となる地点の位置座標を示す図である。
- [図5]面位置計測装置により計測を行うウエハの領域を示す図である。
- [図6(A)]ウエハロード時のウエハステージの位置の一例を示す図である。
- [図6(B)]サーチアライメント(又はウエハアライメント)中のウエハステージの位置の一例を示す図である。
- [図6(C)]サーチアライメント(又はウエハアライメント)中のウエハステージの位置の他の例を示す図である。
- [図7(A)]3つの計測点における計測の様子を示す図(その1)である。
- [図7(B)]3つの計測点における計測の様子を示す図(その2)である。
- [図7(C)]3つの計測点における計測の様子を示す図(その3)である。
- [図8(A)]ウエハステージの移動加速度が大であるときの計測誤差分布を示す図である。
- [図8(B)]ウエハステージの移動加速度が小であるときの計測誤差分布を示す図である。
- [図9]露光装置の制御系を示す制御ブロック図である。
- [図10]本発明の第2の実施形態に係る面位置計測装置の計測点の配置を示す図である。
- [図11]計測点領域とウエハW上の領域との関係を示す図である。
- [図12(A)]露光対象の領域が、露光領域IAに向かうようにウエハステージWSTが移動している様子を示す図(その1)である。
- [図12(B)]露光対象の領域が、露光領域IAに向かうようにウエハステージWSTが移

動している様子を示す図(その2)である。

[図12(C)]露光対象の領域が、露光領域IAに向かうようにウエハステージWSTが移動している様子を示す図(その3)である。

[図13]ウエハ上の露光対象の領域が、計測点領域にまたがって位置しているときの状態を示す図である。

[図14(A)]領域MA1～MA3で計測される面位置によって形成される平面を示す図である。

[図14(B)]領域MA2で計測される面位置の計測値を示す図である。

[図14(C)]領域MA1～MA3で計測される面位置によって形成される平面と領域MA2で計測される面位置の計測値との差を示す図である。

[図15]ウエハ上の露光対象の領域が、露光領域に位置しているときの状態を示す図である。

[図16(A)]領域MA1で計測される面位置によって形成される平面を示す図である。

[図16(B)]領域MA1で計測される面位置によって形成される平面の露光領域の中心におけるZ位置を示す図である。

[図16(C)]露光領域IAの中心における推定面位置を示す図である。

[図17(A)]露光領域IAの中心以外の地点での面形状の計測結果を示す図である。

[図17(B)]露光領域IAの中心以外の地点における露光中の推定面位置を示す図である。

[図18]本発明の第2の実施形態における面位置計測装置の計測点の他の配置例を示す図(その1)である。

[図19]ステップ・アンド・リピート方式の露光装置に適用される計測点の配置例を示す図である。

[図20]本発明の第2の実施形態における面位置計測装置の計測点の他の配置例を示す図(その2)である。

[図21(A)]面位置計測装置の一部の計測点における計測の様子を示す図である。

[図21(B)]図21(A)に示される位置からウエハステージが所定間隔だけ移動したときの一部の計測点における計測の様子を示す図である。

- [図22]計測結果の接続を模式的に示す図である。
- [図23]作成される面形状マップの一例を示す図である。
- [図24(A)]面位置計測装置の計測点の他の配置例を示す図である。
- [図24(B)]面形状が計測された領域が、露光領域に到達したときの状態を示す図である。
- [図24(C)]図24(A)に示される状態での計測結果を模式的に示す図である。
- [図24(D)]図24(B)に示される状態での計測結果を模式的に示す図である。
- [図25(A)]面位置計測装置の計測点の他の配置例を示す図である。
- [図25(B)]面位置計測装置の計測結果の接続を模式的に示す図である。
- [図26]面位置計測装置の計測点の他の配置例(一重)を示す図である。
- [図27(A)]計測点領域が一部張り出している配置例を示す図である。
- [図27(B)]面位置が計測された領域が露光領域に移動したときの状態を示す図である。
- [図28(A)]計測点の配置例を示す図(その1)である。
- [図28(B)]計測点の配置例を示す図(その2)である。
- [図29(A)]計測点の配置例を示す図(その3)である。
- [図29(B)]計測点の配置例を示す図(その4)である。
- [図30(A)]露光領域内に計測点領域を配置したときの配置例(その1)である。
- [図30(B)]露光領域内に計測点領域を配置したときの配置例(その2)である。

発明を実施するための最良の形態

[0009] <<第1の実施形態>>

以下、本発明の第1の実施形態について図1～図9に基づいて説明する。

[0010] 図1には、本発明の第1の実施形態に係る露光装置100の全体構成が概略的に示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置(スキャニング・ステッパ(スキャナ)とも呼ばれる)である。

[0011] この露光装置100は、光源及び照明光学系を含み、エネルギービームとしての照明光(露光光)ILによりレチクルRを照明する照明系10と、レチクルRを保持するレチクルステージRSTと、レチクルRを介した照明光ILをウエハWに投射する投影ユニッ

トPUと、ウエハWが載置されるウエハステージWSTと、これらの制御系等とを備えている。

[0012] 前記照明系10は、例えば特開2001-313250号公報(対応する米国特許出願公開第2003/0025890号)などに開示されるように、光源、オプティカルインテグレータ等を含む照度均一化光学系、ビームスプリッタ、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインドで規定されたレチクルR上のスリット状の照明領域を照明光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エキシマレーザー光(波長193nm)が用いられている。また、オプティカルインテグレータとしては、フライアイレンズ、ロッドインテグレータ(内面反射型インテグレータ)あるいは回折光学素子などを用いることができる。なお、照明系10を、例えば特開平6-349701号公報及びこれに対応する米国特許第5,534,970号などに開示されるような照明系と同様に構成しても良い。本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及び対応する米国特許出願公開明細書又は米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

[0013] 前記レチクルステージRSTは、不図示のレチクルベース上に、その底面に設けられた不図示のエアベアリングなどによって例えば数 μm 程度のクリアランスを介して浮上支持されている。このレチクルステージRST上には、レチクルRが、例えば真空吸着(又は静電吸着)により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、リニアモータ等を含むレチクルステージ駆動部RSC(図1では不図示、図9参照)により、後述する投影光学系PLの光軸AXに垂直なXY平面内で2次元的に(X軸方向、Y軸方向及びXY平面に直交するZ軸回りの回転方向(θ_z 方向)に)微小駆動可能であるとともに、不図示のレチクルベース上を所定の走査方向(ここでは、図1における紙面直交方向であるY軸方向とする)に指定された走査速度で駆動可能となっている。

[0014] レチクルステージRSTの端面には鏡面加工が施されており、レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置は、その端面に測長ビームを照射するレチクルレーザ干渉計(以下、「レチクル干渉計」という)16によって投影ユニットPUを構成する鏡筒40の側面に固定された不図示の固定鏡を基準として、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。実際には、レチクルステージRST上にはY軸方向に直

交する端面とX軸方向に直交する端面とが設けられ、更にこれに対応してX軸方向位置計測用の固定鏡とY軸方向位置計測用の固定鏡とが設けられており、X軸方向及びY軸方向に関するレーザ干渉計が、図1ではレチクル干渉計16として統合して示されている。

- [0015] レチクル干渉計16のうちの各軸の干渉計をそれぞれレチクルY干渉計及びレチクルX干渉計とする。レチクルY干渉計とレチクルX干渉計の一方、例えばレチクルY干渉計は測長軸が2軸の干渉計であり、このレチクルY干渉計の計測値に基づきレチクルステージRSTのY位置に加え θ_z 方向の回転も計測できるようになっている。なお、例えば、レチクルステージRST上に移動鏡を設けてその反射面を上記端面の代わりとしても良い。また、レチクルステージRSTの走査方向(本第1の実施形態ではY軸方向)の位置検出に用いられるX軸方向に延びる端面の代わりに、少なくとも1つのコーナキューブ型ミラー(例えばレトロリフレクタ)を用いても良い。
- [0016] レチクル干渉計16の計測値は、主制御装置20に送られている。主制御装置20は、レチクル干渉計16の計測値に基づいてレチクルステージ駆動部RSC(図1では不図示、図9参照)を介してレチクルステージRSTを駆動制御する。
- [0017] 前記投影ユニットPUは、円筒状の鏡筒40と、該鏡筒40に保持された複数の光学素子から成る投影光学系PLとによって構成されている。
- [0018] 前記投影光学系PLとしては、例えばZ軸方向の共通の光軸AXを有する複数のレンズ(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。このレンズエレメントのうち、最も像面側に配置されているのがレンズ91である。この投影光学系PLは、例えば両側テレセントリック光学系で所定の投影倍率(例えば1/4倍又は1/5倍)を有する。このため、照明系10からの照明光ILによってレチクルRの照明領域が照明されると、このレチクルRを通過した照明光ILにより、投影光学系PLを介してその照明領域内のレチクルRの例えば回路パターンの縮小像(回路パターンの一部の縮小像)が、表面にレジスト(感光剤)が塗布されたウエハW上に形成される。
- [0019] なお、本第1の実施形態の露光装置100では、液浸法を適用した露光が行われるため、開口数NAが実質的に増大することに伴いレチクル側の開口が大きくなる。このため、レンズのみで構成する屈折光学系においては、ペッツヴァルの条件を満足

することが困難となり、投影光学系が大型化する傾向にある。かかる投影光学系の大型化を避けるために、ミラーとレンズとを含んで構成される反射屈折系(カタディオプトリック系)を用いても良い。

[0020] 投影光学系PLを構成する最も像面側(ウエハW側)のレンズ(以下、先玉ともいう)91の近傍には、液体給排システム32を構成する液体供給ノズル51Aと、液体回収ノズル51Bとが設けられている。液体供給ノズル51Aと液体回収ノズル51Bとは、例えば、鏡筒40が支持された定盤に保持されており、その先端が、後述するウエハステージWSTと対向するように配置されている。図1では、この液体給排システム32を図示するため、後述するアライメント検出系AS、面位置計測装置60の一部を破砕して示している。

[0021] 前記液体供給ノズル51Aでは、その一端が、液体供給装置31A(図1では不図示、図9参照)に接続された不図示の供給管に接続されており、前記液体回収ノズル51Bでは、その一端が、液体回収装置31B(図1では不図示、図9参照)に接続された不図示の回収管に接続されている。

[0022] 前記液体供給装置31Aは、液体タンク、加圧ポンプ及び温度制御装置並びに供給管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構成されている。このバルブとしては、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のが望ましい。前記温度制御装置は、液体タンク内の液体の温度を、露光装置100が収納されているチャンバ(不図示)内の温度と同程度になるように調整する。

[0023] 前記液体回収装置31Bは、液体タンク及び吸引ポンプ並びに回収管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構成されている。このバルブとしては、前述した液体供給装置31A側のバルブに対応して流量制御弁を用いるのが望ましい。

[0024] 上記の液体としては、ここでは、ArFエキシマレーザー光(波長193nmの光)が透過する超純水(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。超純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、ウエハ上のフォトリジストや光学レンズ等に対する悪影響がないという利点がある。また、超純水

は環境に対する悪影響がないうえ、不純物の含有量が極めて少ないため、ウエハWの表面及び先玉91の表面をも洗浄する作用も期待できる。

[0025] 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。

[0026] 前記液体供給装置31A及び液体回収装置31Bは、それぞれコントローラを具備しており、それぞれのコントローラは、主制御装置20によって制御されるようになっている(図9参照)。液体供給装置31Aのコントローラは、主制御装置20からの指示に応じ、供給管に接続されたバルブを所定開度で開き、液体供給ノズル51Aを介して先玉91とウエハWとの間に水を供給する。また、このとき、液体回収装置31Bのコントローラは、主制御装置20からの指示に応じ、回収管に接続されたバルブを所定開度で開き、液体回収ノズル51Bを介して先玉91とウエハWとの間から液体回収装置31B(液体のタンク)の内部に水を回収する。このとき、主制御装置20は、先玉91とウエハWとの間に液体供給ノズル51Aから供給される水の量と、液体回収ノズル51Bを介して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31Aのコントローラ、液体回収装置31Bのコントローラに対して指令を与える。そのため、先玉91とウエハWとの間には常に一定量の水 L_q (図1参照)が保持される。この場合、先玉91とウエハWとの間に保持された水 L_q は、常に入れ替わっている。

[0027] 上記説明から明らかなように、本第1の実施形態の液体給排システム32は、上記液体供給装置31A、液体回収装置31B、供給管、回収管、液体供給ノズル51A及び液体回収ノズル51B等を含んで構成された、局所液浸の液体給排システムである。なお、上記の説明では、その説明を簡単にするため、液体供給ノズルと液体回収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、例えば、国際公開第99/49504号パンフレット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、最も像面側に配置された投影光学系PLの光学部材(先玉)91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。

[0028] なお、先玉91とウエハWとの間の間隔、すなわちワーキングディスタンスは、例えば約1mm程度であり、非常に狭く規定されている。

- [0029] 前記ウエハステージWSTは、図1に示されるように、投影ユニットPUの下方に水平に配置されたステージベースBSの上面に、その底面に設けられた複数のエアベアリングを介して非接触で浮上支持されている。このウエハステージWST上に、ウエハホルダ70を介してウエハWが真空吸着(又は静電吸着)によって固定されている。前記ステージベースBSの+Z側の面(上面)は、その平坦度が非常に高くなるように加工されており、この面がウエハステージWSTの移動基準面であるガイド面となっている。
- [0030] 前記ウエハステージWSTは、リニアモータあるいは平面モータ等の駆動系によってXY2次元面内で駆動されるXYステージWS1と、ウエハを保持するZ・レベリングステージWS2とを備えている。前記Z・レベリングステージWS2は、XYステージWS1上に同一直線上に並ぶことがないように配置された3つのアクチュエータ41A~41C上に設けられており、この3つのアクチュエータ41A~41CのZ軸方向の協調動作により、Z位置及びXY平面に対する傾斜を調整可能なステージである。図9においては、XYステージWS1をXY2次元面内で駆動する駆動系と、アクチュエータ41A~41Cとで構成される駆動系が、ウエハステージ駆動部WSCとして統合して示されている。すなわち、前記ウエハステージWSTは、投影光学系PLの図1における下方で、ウエハステージ駆動部WSCによって上記ガイド面に沿ってXY面内(θ_z 含む)で駆動され、Z軸方向、 θ_x 方向(X軸回りの回転方向)、 θ_y 方向(Y軸回りの回転方向)の3自由度方向に微小駆動される。
- [0031] 前記ウエハホルダ70は、板状の本体部と、該本体部の上面に固定されその中央にウエハWの直径より0.1~1mm程度直径が大きな円形開口が形成された不図示の補助プレートとを備えている。この補助プレートの円形開口内部の領域には、多数のピンが配置されており、その多数のピンによってウエハWが支持された状態で真空吸着されている。この場合、ウエハWが真空吸着された状態では、そのウエハWの表面と補助プレートの表面との高さがほぼ同一の高さとなるように設定されている。
- [0032] また、補助プレートには、その一部に矩形状の開口が形成され、その開口内に基準マーク板(不図示)が嵌め込まれている。この基準マーク板はその表面が、補助プレートと同一面とされている。この基準マーク板の表面には、少なくとも一対のレチクル

アライメント用の第1基準マークと、これらの第1基準マークに対して既知の位置関係にあるオフアクシスアライメント系(後述するアライメント検出系AS)のベースライン計測用の第2基準マークなどが形成されている。

[0033] 前記ウエハステージWSTのXY面内に関する位置情報は、Z・レベリングステージWS2に固定された移動鏡17XYに測長ビームを照射するウエハレーザ干渉計(以下、「ウエハ干渉計」という)18XYによって、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。このウエハ干渉計18XYは、例えば鏡筒40が支持された不図示の定盤に吊り下げ状態で固定されており、投影ユニットPUを構成する鏡筒40の側面に固定された不図示の固定鏡の反射面を基準とする移動鏡17XYの反射面の位置情報をウエハステージWSTのXY平面内の位置情報として計測する。

[0034] 実際には、ウエハステージWST上には、図3に示されるように、走査方向であるY軸方向に直交する反射面を有するY移動鏡17Yと非走査方向であるX軸方向に直交する反射面を有するX移動鏡17Xとが設けられ、これに対応して、X軸方向位置計測用とY軸方向位置計測用のレーザ干渉計がそれぞれ設けられている。図1ではこれらが代表的に移動鏡17XY、ウエハ干渉計18XYとして図示されている。なお、例えば、ウエハステージWSTの端面を鏡面加工して反射面(移動鏡17XYの反射面に相当)を形成しても良い。また、ウエハ干渉計18XYのうち、X軸方向位置計測用のレーザ干渉計及びY軸方向位置計測用のレーザ干渉計は、ともに測長軸を複数有する多軸干渉計であり、ウエハステージWSTのX、Y位置の他、回転(ヨーイング量(θ_z 方向の回転)、ピッチング量(θ_x 方向の回転)、ローリング量(θ_y 方向の回転))も計測可能となっている。

[0035] 前記ウエハステージWSTを構成するZ・レベリングステージWS2のZ軸方向に関する位置情報は、ウエハレーザ干渉計(以下、「ウエハ干渉計」という)18Zによって、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。XYステージWS1の-X側端部には、反射ミラー66A、66Bがその反射面が所定角度で向かい合うようにY軸方向に延設されている。ウエハ干渉計18Zが、X軸方向に平行な2つの測長ビームを、反射ミラー66Aに向けて照射すると、反射ミラー66Aは、その2つの測長ビームを反射ミラー66Bに向けて反射し、反射ミラー66Bは、反射ミラー66Aで反射されたレー

ザ光を+Z側に反射する。反射ミラー66Bで反射した2つの測長ビームのうちの一方向のビームは、例えば、鏡筒40を支持する定盤にX軸方向に水平に延設された参照鏡29Zに達し、他方のビームは、Z・レベリングステージWS2の底面に設けられた反射ミラー67に達するように設定されている。参照鏡29Z、反射ミラー67で反射した測長ビームは、その光路を逆行して(すなわち反射ミラー66B, 66Aを経て)、ウエハ干渉計18Zに戻るようになる。したがって、ウエハ干渉計18Zにおいて、参照鏡29Zで反射した測長ビームを参照光とし、反射ミラー67で反射した測長ビームを計測光とすれば、Z・レベリングステージWS2のZ軸方向の変位を検出することが可能となる。

[0036] 本第1の実施形態では、投影光学系PLの下方の位置とウエハWのロード位置との間を往来する間でも、ウエハ干渉計18ZがウエハステージWSTのZ位置を常にモニタできるように、参照鏡29ZのX軸方向の長さが規定されている。これにより、Z・レベリングステージWS2のXY位置に関わらず、ウエハステージWSTのZ・レベリングステージWS2のZ位置を常にウエハ干渉計18Zによって検出することができる。

[0037] ウエハ干渉計18XY、18Zで計測されたウエハステージWSTの位置情報(又は速度情報)は、主制御装置20に送られている。主制御装置20は、ウエハステージWSTの位置情報(又は速度情報)に基づいて、ウエハステージ駆動部WSC(図9参照)を介してウエハステージWSTのXY面内及びZ位置を含む6自由度方向の位置を制御する。特に、ウエハステージWSTのZ、 θ_x 、 θ_y 方向の位置制御については、主制御装置20が、ウエハステージ駆動部WSCを構成するアクチュエータ41A、41B、41Cを協調動作させることによって実現される。

[0038] 投影ユニットPUの-Y側には、オフ軸シスのアライメント検出系ASが、鏡筒40を支持する不図示の定盤に支持されるように設置されている。このアライメント検出系ASとしては、例えば、ウエハW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)系のアライメントセンサが用いられている。このアライメント検出系ASの撮像結果は、主制御装置20に送られる。

[0039] <<面位置計測装置>>

本第1の実施形態では、投影光学系PLを囲むようにして面位置計測装置60が設けられている。なお、面位置計測装置60は、投影光学系PLを囲まずに、液体供給ノズル51A、液体回収ノズル51Bを囲むように構成してもよい。この面位置計測装置60は、投影光学系PLの下方にウエハステージWST上のウエハWが位置しているときに、投影光学系PLの光軸AXの方向(Z軸方向)に関するウエハWの面位置を計測可能な複数の計測点を有している。図2(A)には、この複数の計測点の配置図が示されている。なお、図2(A)では、XY座標系と平行なX'Y'座標系を設定し、このX'Y'座標系の原点を投影光学系PLの光軸AXの位置に設定している。

[0040] 図2(A)では、投影光学系PLの先玉91に対応する部分、すなわち投影光学系PLの視野PLAが一点鎖線で示されている。その視野PLA内に、X'Y'座標系の原点、すなわち投影光学系PLの光軸AXを中心として、レチクルR上の回路パターンの部分投影像が形成される露光領域IAが示されている。露光装置100は、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置であるので、露光領域IAでは、スキャン方向であるY軸方向の幅が短くなっている。この露光領域IAは、照明系10を構成するレチクルブラインド(可動レチクルブラインド)によって規定されている。

[0041] 露光装置100は、局所液浸型の露光装置であるため、露光の際には、露光領域IAを、水Lqで全面的にカバーしている。図2(A)では、水Lqで浸される領域は、投影光学系PLの視野PLAの一部の領域だけをカバーしているが、投影光学系PLの視野PLAを水Lqで全面的にカバーするようにしてもよい。

[0042] 面位置計測装置60の計測点は、投影光学系PLの光軸AXを中心とし、先玉91の視野PLAの外側に、 $(+X_1, +Y_1)$ 、 $(+X_1, -Y_1)$ 、 $(-X_1, +Y_1)$ 、 $(-X_1, -Y_1)$ を頂点とする矩形の辺上(すなわち枠状の領域上)に、所定の間隔で配置されている。この枠状の領域(計測点領域)をMAとし、所定の間隔をDとする(図2(B)参照)。このDは、非常に短い間隔となっているため、図2(A)では、この複数の計測点から成る計測点領域MAを連続的な領域とみなし、太線で示している。図2(B)では、位置座標 $(+X_1, +Y_1)$ 付近の領域MAの一部が示されており、その一部に含まれる計測点が何点か示されている。ここでは、計測点領域MA内に形成された計測点をそれ

ぞれ S_n ($n=1\sim N$)とする。すなわち、本第1の実施形態では、ウエハWの面位置を計測する面位置計測装置60の複数の計測点 S_n が、露光領域IAを、XY平面内で実質的に囲むように配置されている。

[0043] この計測点の間隔Dは、任意の長さとすることができるが、投影光学系PLの焦点深度とウエハWの経験的な凹凸との関係とに基づいて設定するのが望ましい。面位置計測装置60における各計測点 S_n でのウエハWの面位置の検出原理は、任意の原理を適用することができるが、斜入射光を用いた検出方法を採用する場合には、例えば特開平10-154659号公報に開示されているものと同じとすることができるので、詳細な説明を省略する。なお、本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び対応する米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

[0044] 本第1の実施形態では、この面位置計測装置60を用いて、上記計測点領域MAに配置された複数の計測点 S_n に一致するウエハWの地点の面位置を計測する。図3には、面位置計測装置60の計測点領域MAと、XY座標系、すなわちウエハステージ座標系との関係を示す図が示されている。図3に示されるように、ウエハステージWST(図1における移動鏡17XYを構成する移動鏡17X, 17Y)には、ウエハ干渉計18XYから、Y軸方向に所定間隔離して配置されたX軸に平行な2つの測長ビームLX1, LX2と、X軸方向に所定間隔離して配置されたY軸に平行な2つの測長ビームLY1, LY2とが照射されている。

[0045] 測長ビームLX1, LX2は、光軸AXを通りX軸に平行な直線に対し、線対称に配置されており、測長ビームLY1, LY2は、光軸AXを通りY軸に平行な直線に対し、線対称に配置されている。したがって、本第1の実施形態では、測長ビームLX1, LX2により計測されるX位置との平均をウエハステージWSTのX位置とし、測長ビームLY1, LY2により計測されるY位置の平均をウエハステージWSTのY位置とすることができる。

[0046] すなわち、露光装置100においては、ウエハ干渉計18XYによってウエハステージWSTのXY位置が計測されるが、本第1の実施形態では、ウエハステージWSTのXY位置が(X, Y)であるときに、投影光学系PLの光軸AXに一致しているウエハW上

の位置(地点)の位置座標を(X, Y)とし、面位置計測装置60により計測されるその地点(X, Y)におけるウエハWのZ軸方向に関する面位置をh(X, Y)とする。すなわち、h(X, Y)とは、ウエハステージWSTのXY位置が(X, Y)であるとき、光軸AX上にあるウエハW上の地点の面位置の計測値を意味している。

[0047] ただし、面位置計測装置60は、オフアクシスの計測装置であり、投影光学系PLの光軸AXからX軸方向に $\pm X_1$ 、Y軸方向に $\pm Y_1$ のオフセットを有する計測点の面位置を計測するようになっている。本第1の実施形態では、これらのオフセットを考慮して、ウエハWの各地点の面位置を計測する必要がある。

[0048] 例えば、これらの面位置計測装置60の四隅にそれぞれ配置された計測点のうち、X'Y'座標系における $(+X_1, +Y_1)$ に位置する計測点に対応するウエハWの地点は、ウエハステージWSTがX軸方向に $-X_1$ 、Y軸方向に $-Y_1$ だけ移動したときに、光軸AX上に位置する地点である。したがって、この計測点では、ウエハステージWSTのXY位置が(X, Y)に位置しているときに、XY座標系における位置座標 $(X-X_1, Y-Y_1)$ でのウエハWの面位置 $h(X-X_1, Y-Y_1)$ が計測されることとなる。

[0049] 同様に、ウエハステージWSTのXY位置が(X, Y)に位置しているときに、X'Y'座標系における $(+X_1, -Y_1)$ に位置する計測点では、XY座標系における位置座標 $(X-X_1, Y+Y_1)$ でのウエハWの面位置 $h(X-X_1, Y+Y_1)$ が計測されることとなり、 $(-X_1, Y_1)$ に位置する計測点では、XY座標系における位置座標 $(X+X_1, Y-Y_1)$ でのウエハWの面位置 $h(X+X_1, Y-Y_1)$ が計測されることとなり、 $(-X_1, -Y_1)$ に位置する計測点では、XY座標系における位置座標 $(X+X_1, Y+Y_1)$ でのウエハWの面位置 $h(X+X_1, Y+Y_1)$ が計測されることとなる。

[0050] したがって、全体的に見れば、この面位置計測装置60は、ウエハステージWSTのXY位置が(X, Y)であるときに、 $(X+X_1, Y-Y_1) \sim (X-X_1, Y-Y_1)$ を結ぶ線分、 $(X+X_1, Y-Y_1) \sim (X-X_1, Y+Y_1)$ を結ぶ線分、 $(X+X_1, Y-Y_1) \sim (X+X_1, Y-Y_1)$ を結ぶ線分、 $(X-X_1, Y-Y_1) \sim (X-X_1, Y+Y_1)$ を結ぶ線分に対応する4辺上のウエハWの面位置を所定の間隔Dで配置された複数の計測点で計測することになる。

[0051] 図4には、ウエハWの表面領域を所定の間隔Dで格子状に区切った時の様子が示

されている。なお、図4では、格子を図示するために、所定の間隔Dを拡大して示しているが、この格子は、実際には、ウエハWのサイズに対してもっと細かく規定されている。本第1の実施形態では、主制御装置20は、この格子を構成する各直線の交点に対応するウエハWの地点(この地点の位置座標を (x_i, y_i) ($i=1, 2, \dots$)とし、この地点 (x_i, y_i) とする)が、面位置計測装置60の計測点に一致したときのウエハWの面位置の計測結果を用いて、ウエハWの面形状マップを作成する。

[0052] また、本第1の実施形態では、これら面位置計測装置60の複数の計測点 S_n のうちの少なくとも1つの計測点にウエハWの地点 (x_i, y_i) が一致しているときには、その計測点でその地点 (x_i, y_i) の面位置の計測を行う。各計測点 S_n が地点 (x_i, y_i) に対応しているか否かは、ウエハ干渉計18XYによって計測されるウエハステージWSTのXY位置によって判断すればよい。

[0053] また、主制御装置20は、ウエハ干渉計18XYで計測されたウエハステージWSTのXY位置が図5に斜線で示されるような範囲Bにあるときに、計測点 S_n と一致するウエハW上の地点 (x_i, y_i) の面位置の計測値を有効計測値として取得する。この範囲Bは、いずれか1つの計測点からウエハWの半径rに相当する距離以内となる範囲である。ウエハステージWSTのXY位置がこの範囲B内にあれば、ウエハWの中心がこの範囲B内に位置するようになるので、図5に点線で示されるように、面位置計測装置60の複数の計測点のうちの少なくとも1つの計測点でウエハWの表面を捉えることができるようになり、主制御装置20は、面位置計測装置60のその計測点での計測結果をウエハWの面位置の有効計測値として取得することができるようになる。

[0054] なお、図5に示される点FXは、アライメント検出系ASの検出視野の中心(検出中心)を示している。図5に示されるように、アライメント検出系ASの検出(検出中心)FXは上記範囲B内に位置している。このことは、アライメント検出系ASにより、ウエハW上のマーク等を検出する場合でも、面位置計測装置60の複数の計測点のうちの少なくとも1つの計測点がウエハWの面位置を計測可能であることを意味している。

[0055] 主制御装置20は、不図示のCPU(中央演算処理装置)、メインメモリ、記憶装置等から成るいわゆるマイクロコンピュータ(又はワークステーション)を含んで構成され、このCPUによって所定のプログラムなどを実行することにより、図9に示されるように、装

置全体を統括して制御する。すなわち、この主制御装置20の処理により、ウエハWの面形状の計測、ウエハステージWSTの位置制御等が実現される。

[0056] 次に、露光装置100における露光動作について説明する。なお、前提として、レチクルステージRST上にレチクルRがすでにロードされ、レチクルアライメント、ベースライン計測等の所定の準備作業が完了しているものとする。このような露光装置100では、まず、ウエハステージWST上に露光対象となるウエハWをロードする。このウエハWは、いわゆるベアウエハではなく、すでに一層以上のショット領域が形成されたウエハであるものとする。このロードの際には、図6(A)に示されるように、ウエハステージWSTが、ウエハステージ駆動部WSCを介した主制御装置20の制御の下、投影光学系PLの下方から、-Y側にあるウエハWのロード位置に移動し、そのロード位置で、ウエハWが不図示のウエハローダによりロードされる。このロード位置においては、ウエハWの中心は、図5の範囲Bの外側に位置しているものとする。すなわち、ウエハロード時に、ウエハWは、面位置計測装置60の計測範囲外(計測点領域MAの外側)に位置している。

[0057] 続いて、主制御装置20は、ウエハWを吸着保持したウエハステージWSTを、ウエハステージ駆動部WSCを介してアライメント検出系ASの下方に移動させ、サーチアライメント及びウエハアライメントなどを行う。このサーチアライメントや、ウエハアライメントの処理は、例えば、特開昭61-44429号公報及びこれに対応する米国特許第4,780,617号等に開示されている。このサーチアライメント及びウエハアライメントでは、アライメント検出系ASを用いて、ウエハW上に形成された各種アライメントマークのXY座標系における位置情報を検出する。この検出のために、そのマークが付設された複数のショット領域(サンプルショット)を、アライメント検出系ASの下方に位置させるべく、ウエハステージWSTを、例えば図6(B)、図6(C)に示されるように、順次移動させる。なお、本国際出願で指定した指定国(又は選択した選択国)の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び対応する米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

[0058] 本第1の実施形態では、このサーチアライメント又はウエハアライメント中において、可能であれば、面位置計測装置60によりウエハWの面位置計測を行う。例えば、図

6(B)に示されるような位置にウエハステージWSTが位置しているとき、すなわち、ウエハWの中心が、図5の範囲B内には、面位置計測装置60の計測点 S_n に対応する位置にウエハWが存在していないので、ウエハWの面位置計測を行わない。図6(C)に示される位置にウエハステージWSTが位置しているとき、すなわちウエハWの中心が、図5の範囲B内にあるときには、面位置計測装置60の複数の計測点のうち少なくとも1つの計測点にウエハWが対応しているので、その計測点でウエハWの面位置を計測する。

[0059] このように、面位置計測装置60は、サーチアライメント及びウエハアライメント中において、複数の計測点のうち少なくとも1つの計測点がウエハW上の地点 (x_i, y_i) と一致している場合には、その計測点を有効計測点としてウエハWの面位置を計測する。すなわち、ウエハWがロードされてから露光が開始されるまでの間、ウエハステージWSTがXY平面内を移動するので、ウエハW上の地点 (x_i, y_i) での面位置が、面位置計測装置60の複数の異なる計測点で計測されることとなる。例えば、図7(A)には、計測点領域MAに連続的に配置された3つの計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} が模式的に示されており、その下には、計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} が計測するウエハW表面の一部の断面図が示されている。本来、計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} の下にウエハWの表面があるが、便宜上、図7(A)～図7(C)のように示して以下、説明する。この場合、面位置計測装置60は、計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} に一致するウエハWの表面上の地点 (x_i, y_i) の面位置を計測するが、ここで、計測点 S_n と一致するウエハWの表面上の地点を $A(x_A, y_A)$ とする。 $A(x_A, y_A)$ は、ウエハWの表面上の地点 (x_i, y_i) の中の1つの地点である。次に、ウエハステージWSTが、紙面左側に距離Dだけ移動すると、計測点 S_{n+2} に位置していたウエハW上の地点Aは、計測点 S_{n+1} に位置するようになる。面位置計測装置60は、このときにも計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} でのウエハWの面位置を計測する。ここでは、地点Aの面位置が、計測点 S_{n+1} で計測される。そして、さらにウエハステージWSTが紙面左側に距離Dだけ移動すると、計測点 S_{n+1} に一致していた地点Aは、計測点 S_n に位置するようになる。面位置計測装置60は、このときにも計測点 S_n, S_{n+1}, S_{n+2} でのウエハWの面位置を計測する。ここでは、地点Aの面位置が、計測点 S_n で計測される。

[0060] このように、ウエハステージWSTが紙面左側に順次移動すると、地点Aは、計測点

S_{n+2} 、 S_{n+1} 、 S_n で計測される。すなわち、地点Aに代表されるように、ウエハWの表面上の各地点 (x_i, y_i) の面位置は、ウエハステージWSTの移動により、面位置計測装置60の異なる計測点で複数回計測される。したがって、本第1の実施形態では、主制御装置20において、ウエハステージWSTの移動に伴ってウエハWの表面上の地点 (x_i, y_i) に一致することとなった複数の計測点で計測される計測値を考慮して、その地点 (x_i, y_i) の面位置を算出する。

- [0061] そこで、本第1の実施形態では、主制御装置20が、所定の地点 (x_i, y_i) で計測されたウエハWの面位置の計測値 $h(x_i, y_i)$ に対し、その計測値が得られたサンプリング時点 t を示すカウンタ t を付与し、サンプリング時点 t で計測された面位置の計測値を、 $h_t(x_i, y_i)$ とする。例えば、図7(A)～図7(C)に示される、計測点 S_{n+2} 、 S_{n+1} 、 S_n で計測された地点Aでの面位置の計測値は、 $h_{1A}(x_A, y_A)$ 、 $h_{2A}(x_A, y_A)$ 、 $h_{3A}(x_A, y_A)$ となる。
- [0062] また、本第1の実施形態では、ウエハステージWSTが静止中であるか移動中であるかにかかわらず、面位置計測装置60によりウエハWの面位置を計測する。このような場合、ウエハステージWSTが静止中である場合の計測値と、ウエハステージWSTが移動中である場合の計測値とは、その計測値に含まれる誤差の傾向が異なり、その信頼性が変動するようになる。本第1の実施形態では、このような計測条件による計測値の信頼性をも考慮して、ウエハWの面位置の計測を行う。
- [0063] 本第1の実施形態では、ウエハWの計測値 $h_t(x_i, y_i)$ の計測状態に依存する信頼性を、 $c_t(x_i, y_i)$ とする。この $c_t(x_i, y_i)$ の取りうる範囲は、 $0 < c_t(x_i, y_i) \leq 1$ とし、最も信頼性が高いときの値を1とする。主制御装置20では、面位置計測装置60によってウエハWの表面上のある地点 (x_i, y_i) での面位置 $h_t(x_i, y_i)$ が計測されたときの計測条件に応じて信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ の値を設定する。この信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ としては、その計測時のウエハステージWSTの移動加速度に応じた値を設定することができる。例えば、計測中のウエハステージWSTの移動加速度が0であるときには、その計測値の信頼性を1とし、その移動加速度が最大であるときには、計測値の信頼性を最小とすることができる。
- [0064] 図8(A)、図8(B)には、ウエハステージWSTの移動加速度と、計測値の信頼性との関係の一例が示されている。この図8(A)、図8(B)には、計測値に生じる誤差分

布を示す確率密度関数が示されている。図8(A)では、ウエハステージWSTの移動加速度が比較的大きい α_H であるときの計測値に生じる誤差 ε の確率分布が示されている。図8(B)では、ウエハステージWSTの移動加速度が比較的小さい α_L であるときの計測値に生じる誤差 ε の確率分布が示されている。図8(A), 図8(B)に示されるように、計測値に生じる誤差 ε は正規分布に従って発生するとみなすことができるが、ウエハステージWSTの移動加速度が大きくなるにつれて、その誤差の分布における標準偏差は大きくなっている($\sigma_H > \sigma_L$)。

[0065] そこで、本第1の実施形態では、信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ を、ウエハステージWSTの移動加速度に応じた誤差 ε の確率分布の標準偏差 σ に応じた値とし、 $c_t(x_i, y_i) = 1/\sigma^2$ とする。例えば、ウエハステージWSTの移動加速度が α_H である場合には、信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ を、 $1/\sigma_H^2$ とし、ウエハステージWSTの移動加速度が α_L である場合には、信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ を、 $1/\sigma_L^2$ とする。なお、本第1の実施形態では、ウエハステージWSTの移動加速度が0に近づくにつれて、この $c_t(x_i, y_i)$ の信頼性の確率密度関数の標準偏差 σ が1に近づいていくようになり、その移動加速度が0のときに1になるように設定されているものとする。

[0066] なお、計測値の誤差が正規分布に従って発生する場合には、計測に要した計測時間(すなわち計測点がウエハW上の地点 (x_i, y_i) を捉えていた時間)に基づく値を、信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ として用いても良い。すなわちこの計測時間が長ければ長いほど、その計測値の信頼性は増し、短ければ短いほどその信頼性は減少するので、その計測時間に応じた信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ を設定すればよい。

[0067] なお、ウエハステージWSTの移動加速度と計測値の誤差との間に、図8(A), 図8(B)に示されるような正規分布に限らない特定の関係が見出せるのであれば、その関係に基づいて、上述したようなものとは別の方法で、計測値の信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ を設定することも勿論可能である。

[0068] 図7(A)～図7(C)に示される計測の一例を参照して、主制御装置20における、ウエハWの表面上の地点 (x_i, y_i) の面位置 $H_t(x_i, y_i)$ の算出方法について説明する。まず、図7(A)に示されるように、サンプリング時点 $t=1$ のときに、面位置計測装置60の計測点 S_{n+2} で地点Aの面位置が計測され、その計測値が主制御装置20によって

取得される。この計測値は $h_{1A}(x, y)$ となる。この時点では、地点Aの面位置はまだ1回しか計測されていないため、 $H_{1A}(x, y) = h_{1A}(x, y)$ とする。本第1の実施形態では、ここで、地点Aの計測値の信頼性の和 $C_{1A}(x, y)$ もあわせて算出する。 $C_{1A}(x, y)$ は、0に初期化されており、その $C_{1A}(x, y) (=0)$ に $c_{1A}(x, y)$ が加算されて $C_{1A}(x, y) = c_{1A}(x, y)$ となる。算出した $H_{1A}(x, y)$ と、信頼性の和 $C_{1A}(x, y)$ とは、不図示の記憶装置に格納される。

[0069] 次に、図7(B)に示されるように、サンプリング時点 $t=2$ において、面位置計測装置60によって計測点 S_{n+1} で地点Aの面位置の計測値が計測され、主制御装置20によってその計測値が取得されたとする。ここで、カウンタ値 t は1だけインクリメントされて $t=2$ となっており、この計測値は、 $h_{2A}(x, y)$ となる。

[0070] この時点では、計測点 S_{n+2} で計測された地点Aの面位置 $h_{1A}(x, y)$ と、計測点 S_{n+1} で計測された地点Aの面位置 $h_{2A}(x, y)$ とが得られたことになる。主制御装置20は、これまでの地点Aでの計測値の重み付け平均を、地点Aの面位置 $H_{2A}(x, y)$ として算出する。各計測値に対する重みは、その計測値の信頼性 $c_t(x, y)$ ($t=1, 2$)を用いる。したがって、ここでは、 $\{c_{1A}(x, y) \cdot h_{1A}(x, y) + c_{2A}(x, y) \cdot h_{2A}(x, y)\} / (c_{1A}(x, y) + c_{2A}(x, y))$ に相当する値を、面位置 $H_{2A}(x, y)$ として算出する。

[0071] なお、記憶装置に実際に記憶されているのは、面位置 $H_{1A}(x, y)$ と、これまでの信頼性 $c_t(x, y)$ の和 $C_{tA}(x, y)$ であるが、上述のように、 $H_{1A}(x, y) = h_{1A}(x, y)$ であり、 $C_{1A}(x, y) = c_{1A}(x, y)$ であるため、ここでは、記憶装置から $H_{1A}(x, y)$ の値と、 $C_{1A}(x, y)$ の値を読み出して、 $\{C_{1A}(x, y) \cdot H_{1A}(x, y) + c_{2A}(x, y) \cdot h_{2A}(x, y)\} / (C_{1A}(x, y) + c_{2A}(x, y))$ を地点Aの面位置 $H_{2A}(x, y)$ として算出すればよい。また、ここでは、計測値の信頼性の和 $C_{2A}(x, y) = C_{1A}(x, y) + c_{2A}(x, y)$ も算出しておく。算出された $H_{2A}(x, y)$ 、 $C_{2A}(x, y)$ を、 $H_{tA}(x, y)$ 、 $C_{tA}(x, y)$ の値として不図示の記憶装置に格納しておく。

[0072] 次に、図7(C)に示されるように、サンプリング時点 $t=3$ のときに、面位置計測装置60の計測点 S_n で地点Aの面位置が計測され、主制御装置20によりその計測値が取得されたとする。この計測値を $h_{3A}(x, y)$ とする。この時点では、計測点 S_{n+2} で計測された地点Aの面位置 $h_{1A}(x, y)$ と、計測点 S_{n+1} で計測された地点Aの面位置 $h_{2A}(x, y)$

y_A)と、計測点 S_n で計測された地点Aの面位置 $h_3(x_A, y_A)$ とが計測されているので、 $\{c_1(x_A, y_A) \cdot h_1(x_A, y_A) + c_2(x_A, y_A) \cdot h_2(x_A, y_A) + c_3(x_A, y_A) \cdot h_3(x_A, y_A)\} / (c_1(x_A, y_A) + c_2(x_A, y_A) + c_3(x_A, y_A))$ に相当する値を、地点Aの面位置 $H_3(x_A, y_A)$ として算出すればよい。ただし、記憶装置には、 $t=1, 2$ の各計測値の重み付け平均 $H_2(x_A, y_A)$ 及び計測値の信頼性の和 $C_2(x_A, y_A)$ のみが記憶されているので、 $\{C_2(x_A, y_A) \cdot H_2(x_A, y_A) + c_3(x_A, y_A) \cdot h_3(x_A, y_A)\} / (C_2(x_A, y_A) + c_3(x_A, y_A))$ を、地点Aの面位置 $H_3(x_A, y_A)$ として算出すればよい。また、主制御装置20は、 $C_2(x_A, y_A) + c_3(x_A, y_A)$ を計算して計測値の和 $C_3(x_A, y_A)$ を算出する。主制御装置20は、算出された $H_3(x_A, y_A)$ 、 $C_3(x_A, y_A)$ を、不図示の記憶装置に格納する。

[0073] このように、本第1の実施形態では、複数の異なる計測点で計測されたその地点 (x_i, y_i) での計測値 $h_t(x_i, y_i)$ のその計測の際の信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ に基づく重み付け平均値を、その地点での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ とする。

[0074] ウエハWの表面上の各地点 (x_i, y_i) の重み付け平均値 $H_t(x_i, y_i)$ は、逐次計算によって算出することが可能である。すなわち、その地点での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ は、前回までに算出された面位置 $H_{t-1}(x_i, y_i)$ と、それまでの信頼性の和 $C_{t-1}(x_i, y_i)$ と、今回計測された面位置 $h_t(x_i, y_i)$ と、そのときの信頼性 $c_t(x_i, y_i)$ とから、次式のように求められる。

[0075] [数1]

$$H_t(x_i, y_i) = \frac{C_{t-1}(x_i, y_i)H_{t-1}(x_i, y_i) + c_t(x_i, y_i)h_t(x_i, y_i)}{C_{t-1}(x_i, y_i) + c_t(x_i, y_i)} \quad \dots(1)$$

また、 $C_t(x_i, y_i)$ は、次式のようになる。

[0076] [数2]

$$C_t(x_i, y_i) = C_{t-1}(x_i, y_i) + c_t(x_i, y_i) \quad \dots(2)$$

なお、サンプリング時点 t で、地点 (x_i, y_i) が計測点と一致していない場合には、記憶装置に格納されている、その地点での面位置 $h_t(x_i, y_i)$ は計測されないため、格納された面位置 $H_{t-1}(x_i, y_i)$ 、信頼性の和 $C_{t-1}(x_i, y_i)$ が、そのまま、面位置 $H_t(x_i, y_i)$ 、信頼性の和 $C_t(x_i, y_i)$ となる。

[0077] なお、本第1の実施形態では、面位置計測装置60により計測が行われている間には、Z位置が常に一定で、ローリング量 θ_y 、ピッチング量 θ_x が常に0となるように、ウエハステージWSTの制御が行われている。そのため、主制御装置20では、このようなウエハステージWSTのZ位置、傾斜を考慮することなく、ウエハWの面位置を計測することができるようになっているものとする。また、上述した例では、サンプリング周期毎に、ウエハステージWSTが計測点の間隔Dだけ移動するようになっているが、実際には、ウエハステージWSTの速度はまちまちであり、サンプリング周期毎に、隣接する計測点でその地点の面位置を計測することができるわけではない。主制御装置20では、各計測点がウエハW上のどの地点を捉えているか否かを、サンプリング周期毎に、ウエハ干渉計18XYの計測値(X、Y)から判断する必要がある。

[0078] 本第1の実施形態でのウエハWの面形状の算出方法についてまとめる。主制御装置20は、ウエハWの中心が図5の斜線に示される範囲Bに位置しており、かつ、図4の格子交点 (x_i, y_i) と、面位置計測装置60の複数の計測点のうちの少なくとも1つの計測点とが一致している場合には、ウエハW上の表面を捉えている計測点を有効計測点とし、面位置計測装置60によって計測された、その有効計測点におけるウエハWの面位置を取得する。そして、主制御装置20は、その有効計測点が、ウエハWの表面上のどの地点(例えば地点A)に一致しているかを、ウエハ干渉計18XYの計測値(X、Y)と、計測点 S_n の配置位置とに基づいて導き出す。そして、導き出された地点 (x_i, y_i) が、すでに面位置が計測された地点であるか否かを判断し、まだ面位置が計測されていない地点である場合には、その地点での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ 、計測の信頼性の和 $C_t(x_i, y_i)$ をそれぞれ初期化して、上記式(1)、式(2)を計算して、その地点での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ 、計測の信頼性の和 $C_t(x_i, y_i)$ を算出し、すでに面位置が計測されている地点である場合には、その地点 (x_i, y_i) での面位置 $H_{t-1}(x_i, y_i)$ 、計測の信頼性の和 $C_{t-1}(x_i, y_i)$ を、不図示の記憶装置から読み出し、読み出した値を用いて上記式(1)、式(2)を計算し、その地点 (x_i, y_i) での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ 、計測の信頼性の和 $C_t(x_i, y_i)$ を算出し、不図示の記憶装置に格納する。

[0079] なお、本第1の実施形態では、ウエハW上の同じ地点の面位置を複数回計測することとなるが、これまでに算出された面位置 $H_t(x_i, y_i)$ と、今回の面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$

(x_i, y_i) が何らかの原因、例えばウエハW上の回路パターンにより反射された検出ビームの変形により、Z位置計測結果を誤って認識する「だまされ」や、完全に排水されなかった水Lqの「水溜り」などで大きく異なる場合には、今回の面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$ をリジェクトするようにしても良い。例えば、今回計測された面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$ と、前回までのこの地点の重み付け平均値 $H_{t-1}(x_i, y_i)$ との差が所定閾値以上となっている場合には、その計測値 $h_t(x_i, y_i)$ をリジェクトすることができる。

[0080] また、本第1の実施形態では、実質的に連続とみなせる間隔で配置された複数の計測点で、ウエハWの各地点の面位置を同時に計測するが、同時に計測された複数の異なる計測点でそれぞれ計測される計測値は、互いに近い値となると予想される。従って、その計測点列に対して所定のフィルタリング処理を施して同時に計測された複数の異なる計測点の計測値の平滑化を行うようにしても良い。

[0081] また、本第1の実施形態では、ある計測点で所定のサンプリング間隔でウエハWの面位置の複数回の計測を行うが、この計測点で計測された時系列の計測値を、所定のフィルタリング処理を施して平滑化するようにしても良い。

[0082] また、ウエハステージWSTの移動速度が非常に高速であると、サンプリング周期中に、ウエハW上のある地点 (x_i, y_i) が複数の異なる計測点にまたがって移動し、それらの計測点で計測される場合もある。この場合には、そのサンプリング時点tでのその地点 (x_i, y_i) の面位置の計測値を、例えばそれらの計測点での計測値の平均値などとしてもよい。

[0083] なお、面位置計測装置60によるウエハWの面位置の計測では、アライメント検出系ASによるウエハマーク検出時などのウエハステージWSTが静止しているときの面位置計測装置60の各計測点での面位置の計測値を、最初の計測値とするのが望ましい。このようにすれば、ウエハWの各地点 (x_i, y_i) の面位置 $H_t(x_i, y_i)$ が、ウエハステージWSTの移動の影響を受けない真の値に収束する時間(整定時間)を短縮することができるようになる。

[0084] ≪計測点間キャリブレーション≫

上述したように、面位置計測装置60は、複数の計測点 $S_1 \sim S_N$ を備えており、その複数の計測点 $S_1 \sim S_N$ で、ウエハWの表面上の任意の地点 (x_i, y_i) の面位置を計測

する。しかしながら、各計測点における計測値 $h(x_i, y_i)$ は、個々の計測点にそれぞれ対応する変位センサの特性に応じてばらつくものである。したがって、その変位センサ間の出力の計測点間のばらつき(オフセット)を補正する、いわゆる較正(キャリブレーション)を行う必要がある。以下では、この較正方法について説明する。

[0085] 本第1の実施形態では、上述したように、各計測点 S_n で、ウエハ W の表面上の各地点 (x_i, y_i) の面位置を計測し、その計測値の信頼性の重み付け平均により、ウエハ W の表面上の各地点 (x_i, y_i) の面位置を算出している。この較正方法では、ある地点 (x_i, y_i) での、その計測点(この計測点を S_s (s は、1~ N のいずれか)とする)のみの計測結果から得られる面位置と、他の計測点で計測されたその地点での面位置の計測値を含むその地点でのすべての計測結果から得られる面位置とを比較して、その計測点での較正情報を検出する。

[0086] 例えば、主制御装置20は、計測点 S_s で計測されたウエハ W の表面上の任意の地点 (x_i, y_i) の計測値 $h_{s,t}(x_i, y_i)$ (例えば地点 A での計測値 $h_{s,t}(x_A, y_A)$)を取得し、その計測値の信頼性(例えば $c_{s,t}(x_i, y_i)$)とに基づいて、次式を用いて、計測点 S_s のみで計測された地点 A の面位置を算出しておく。

[0087] [数3]

$$H_{s,t}(x_i, y_i) = \frac{C_{s,t-1}(x_i, y_i)H_{s,t-1}(x_i, y_i) + c_{s,t}(x_i, y_i)h_{s,t}(x_i, y_i)}{C_{s,t-1}(x_i, y_i) + c_{s,t}(x_i, y_i)} \quad \dots(3)$$

なお、 $C_{s,t-1}(x_i, y_i)$ は、次式で示されるように、 $t-1$ 回目の計測点 S_s での計測値の信頼性 $c_{s,t}(x_i, y_i)$ の和 $C_{s,t}(x_i, y_i)$ である。

[0088] [数4]

$$C_{s,t}(x_i, y_i) = C_{s,t-1}(x_i, y_i) + c_{s,t}(x_i, y_i) \quad \dots(4)$$

上述したように、ウエハ W の表面上の地点 (x_i, y_i) の面位置 $H_t(x_i, y_i)$ は、ウエハステージ WST の移動により、面位置計測装置60の複数の異なる計測点での計測値 $h_t(x_i, y_i)$ の重み付け平均であるので、この面位置 $H_t(x_i, y_i)$ は、その面位置の計測を行った複数の計測点でのセンサ出力のばらつき(オフセット)が平均化された値となっている。したがって、この較正方法では、この複数の異なる計測点で計測されたウエ

ハWの表面上の地点の面位置 $H_t(x, y)$ を基準とする、上記式(3)によって検出される、ある計測点 S_s での所定の地点 (x_i, y_i) での面位置 $H_{s,t}(x_i, y_i)$ のバイアスに基づいて、その計測点 S_s の計測値を補正する補正量を算出する。すなわち、計測点 S_s の計測値の補正量 $D_{s,t}$ を、次式を用いて算出する。

[0089] [数5]

$$D_{s,t} = D_{s,t-1} - \frac{\sum_{x,y} C_s(x_i, y_i) \{H_{s,t}(x_i, y_i) - H_t(x_i, y_i)\}}{\sum_{x,y} C_s(x_i, y_i)} \quad \dots (5)$$

ここで、 $D_{s,0} = 0$ としている。すなわち、計測点 S_s の計測値の補正量 $D_{s,t}$ は、その計測点で計測されたウエハWの全ての地点における、その計測点での計測値のみで算出された面位置 $H_{s,t}(x_i, y_i)$ と、他の計測点を含む複数の計測点で計測された地点 (x_i, y_i) の面位置 $H_t(x_i, y_i)$ との差分の重み付け平均に応じて決定される。

[0090] なお、上記式(5)によれば、補正量の変化量 $(D_{s,t} - D_{s,t-1})$ の全ての計測点での和は、常に0となり、計測値の補正量全体がシフトすることはない。

[0091] すなわち、主制御装置20では、面位置計測装置60の計測点 S_s で計測された計測値を、この補正量 $D_{s,t}$ で補正する。このようにすれば、面位置計測装置60での複数の計測点での計測点間のセンサ出力のばらつきを計測する特別な動作を行うことなく、ウエハWの面位置の計測を行っていく過程でキャリブレーションを実現することができる。従って、スループットの利便性とともに、ウエハWの面位置の計測中に、上記キャリブレーション演算を随時行うので、各計測点のセンサ出力のドリフトにも対応することが可能となる。また、面位置計測装置60のすべての計測点をカバーするような大面積を有し、平坦度が極めて高い基準平面板を設け、面位置計測装置60のすべての計測点で、この基準平面板の面位置を計測することにより、計測点での面位置の計測結果に基づいてオフセットを計測するなどの作業が不要となるので、そのような基準平面板をウエハステージWST上に設ける必要がなくなり、ハードウェアの制約が減るという効果もある。

[0092] もっとも、このような基準平面板の面位置を複数の計測点で計測することにより、予め、各計測点のオフセットを求めておくようにしても構わない。

- [0093] なお、本第1の実施形態では、面位置計測装置60の全ての計測点 $S_1 \sim S_N$ によって計測されるウエハWの表面上の地点があれば、その地点だけの面位置(すなわち、所定の計測点 S_s で計測されたその地点の面位置の計測値と、全体の計測点で計測されたその地点の面位置の計測値)におけるバイアスの重み付け平均から、上記補正量 $D_{s,t}$ を求めるようにしても良い。
- [0094] 本第1の実施形態では、このようにして、計測点間のセンサ出力のオフセットを検出し、それらの相対関係を求めているので、投影光学系PLの最良結像面に対する面位置計測装置60のキャリブレーションを行う際には、面位置計測装置60の一部の計測点とのキャリブレーションを行えば、投影光学系PLの最良結像面と、面位置計測装置60のすべての計測点でのキャリブレーションを行ったことと同じとなる。
- [0095] なお、本第1の実施形態では、面位置計測装置60の計測点間のセンサ出力のキャリブレーションを行ったが、ウエハステージWSTの加減速に伴うウエハステージWST自体の変形(歪み)に関するキャリブレーションを行うようにしてもよい。具体的には、ウエハステージWSTの移動加速度が所定の大きさである場合、面位置計測装置60の所定計測点 S_s でのウエハWの表面上の所定の地点 (x_i, y_i) の面位置の計測値と、ウエハステージWSTの移動加速度が0である場合のその計測点でのウエハWの表面上の同一地点 (x_i, y_i) の面位置の計測値との違いに応じた値を、その移動加速度における面位置の計測値の補正量とするようにしても良い。
- [0096] 本第1の実施形態では、このようにして、面位置計測装置60の計測点間の出力差のキャリブレーションを行い、各計測点の出力のドリフトの影響をキャンセルしつつ、ウエハWの表面上の複数の地点 (x_i, y_i) の面位置 $H_i(x_i, y_i)$ を算出し、ウエハWの面形状マップ(すなわち、計測済み地点 (x_i, y_i) における $H(x_i, y_i)$ の集合)を作成していく。そして、実際にスキャン露光を行う場合には、この面形状マップに基づいて、ウエハWの表面が投影光学系PLの最良結像面に焦点深度内に入るように、ウエハステージ駆動部WSCを介してウエハステージWSTを制御する。具体的には、主制御装置20は、ウエハ干渉計18XYの計測値 (X, Y) から、露光領域IAに対応するウエハW表面上の地点での面形状を、面形状マップから抽出して、抽出された面形状に応じた指令値を作成し、その指令値を、ウエハステージWSTの位置制御を行うサー

ボ制御系に対するフィードフォワード指令値とする。このサーボ制御系では、このフィードフォワード指令値に基づいてフィードフォワード制御が行われ、アクチュエータ41A~41Cに対する電流指令が作成される。アクチュエータ41A~41Cは、その電流指令に基づいてそれぞれZ・レベリングステージWS2を駆動し、結果的に、ウエハW上の露光対象面が、投影光学系PLの最良結像面に焦点深度内で一致するように制御される。なお、ウエハWの面位置制御を行う露光中においては、ウエハ干渉計18Zによって計測されるZ位置を一定とし、ウエハ干渉計18XYによって計測されるピッチング量 θ_x 、ローリング量 θ_y を0にするステージ制御を行わないものとする。

[0097] なお、このスキャン露光中には、主制御装置20の制御の下、前述した構成を有する液体給排ユニット32により、露光領域IAに対する水Lqの供給が行われている。

[0098] なお、このフィードフォワード制御を行う際にも、面位置計測装置60の複数の計測点によりウエハWの面位置の計測を行うことができることはいうまでもない。しかしながら、露光中においては、干渉計の計測値によるウエハステージWSTのZ位置、傾斜を一定にする制御は行われていないので、ウエハ干渉計18XY、18Zによって計測されるウエハステージWSTのZ位置、傾斜を考慮してウエハWの面位置を計測する必要がある。

[0099] また、本第1の実施形態では、露光中には、事前計測されたウエハWの面形状マップのみを用いて、ウエハWの面位置の制御を行ったが、露光中に、面位置計測装置60の一部の計測点によってウエハWの面位置を計測し、この計測値と、予め計測された面形状マップとのずれに基づいて、露光領域IAに対応するウエハWの面位置を推定し、その推定面位置を用いて、ウエハWの面位置を制御するようにしてもよい。また、この露光中の面位置計測装置60の計測値に対しても、その計測値の信頼性に応じた重み付けを行うようにしてもよい。

[0100] 以上詳細に述べたように、本第1の実施形態によれば、面位置計測装置60においては、投影光学系PLの光軸AXの方向に関するウエハWの面位置を計測するための複数の計測点($S_1 \sim S_N$)が、投影光学系PLを介したパターン像が形成される露光領域IAを実質的に囲むように配置されている。そのため、ウエハW上のある領域に対しパターンを転写する場合には、その領域は、ウエハWの進行方向に関わらず、

面位置計測装置60の複数の計測点によってその面位置を計測可能な場所を必ず通過するようになる。これにより、主制御装置20では、その領域の露光前に、その領域の面形状を必ず求めることができるようになるので、露光領域IAのウエハWの面位置を直接計測せずとも、投影光学系PLの焦点深度内に、その領域を合わせることができるようになる。この結果、高精度な露光を実現することができる。

[0101] また、本第1の実施形態では、主制御装置20は、ウエハステージWSTの移動に伴って面位置計測装置60の複数の異なる計測点でウエハWの表面上の所定の地点(x_i, y_i)の面位置を計測し、さらに、計測が行われたときのウエハ干渉計18XYの計測結果(XY位置)に基づいて各計測点がウエハWの表面上のどの地点を捉えているか判断し、ウエハWの面形状マップにおけるその地点(x_i, y_i)での面位置 $H_t(x_i, y_i)$ を算出する。このようにすれば、ウエハW表面上の所定地点(x_i, y_i)の面位置を、複数の異なる計測点で計測することができるので、個々の計測点でのセンサの出力のばらつきなどに関わらず、統計的に見て妥当な面位置を算出することができる。その結果、高精度なウエハWの面形状マップを作成することができる。

[0102] また、本第1の実施形態では、主制御装置20は、ウエハW表面上の所定の地点での面位置計測装置60の計測結果のその信頼性に基づく重み付け平均値を、ウエハWの面形状マップにおける所定地点(x_i, y_i)でのウエハWの面位置 $H_t(x_i, y_i)$ として算出する。このようにすれば、例えば、その計測値が得られたときの計測条件に関わらず、面位置を精度良く計測することができる。

[0103] また、本第1の実施形態では、計測値の重み付け平均を算出するが、この算出式を、1つ前の重み付け平均から今回の重み付け平均を求める逐次計算式としているので、過去の計測値をすべて記憶していなくても、上記重み付け平均演算を実行することができる。したがって、過去のすべての計測値を記憶しておく必要がなくなるため、記憶装置の記憶容量を削減することができる。

[0104] また、本第1の実施形態では、面位置計測装置60の複数の計測点のうちの少なくとも1つの計測点にウエハW表面上の所定の地点(x_i, y_i)が一致している場合には、その計測点でのウエハWの面位置情報の計測を行う。このようにすれば、ウエハWの面位置の計測だけの工程を特別に行わなくても、ウエハWの所定地点がたまたまそ

の計測点に位置していれば、その所定の地点(x_i, y_i)での面位置の計測を行うことができるので、スループットの利である。また、同じ地点の面位置を複数回計測するので、統計的に見て妥当な面位置を算出することができる。

[0105] 特に、面位置計測装置60は、ウエハW上に形成されたウエハマークの位置情報の検出の際、すなわちサーチアライメント及びウエハアライメントの計測の際に、ウエハマーク等の位置情報をアライメント検出系ASで検出するときにも、ウエハWの面位置の計測を行う。このようにすれば、スループットを低下させることなく、ウエハWの面形状を事前計測できるとともに、ウエハステージWSTが静止した状態での計測結果に基づいてウエハWの面位置を精度良く計測することができる。特に、サーチアライメント及びウエハアライメントの計測の際にウエハステージWSTが静止した状態で、ウエハWの面位置の計測を開始すれば、信頼性が高い計測値を面位置の計測値の初期値とすることができるので、算出される面位置の収束性を高めることができる。

[0106] なお、本第1の実施形態では、ウエハステージWSTの加速度と面位置計測装置60の計測誤差との直接な関係が既知である場合には、その計測誤差で、面位置計測装置60の各計測点での計測値を補正するようにしてもよい。

[0107] また、本第1の実施形態では、ウエハWの外縁部の面位置も事前に計測しているので、エッジショットを露光する際にも、高精度なフォーカス/レベリング制御を行うことができる。

[0108] ≪第2の実施形態≫

次に、本発明の第2の実施形態について図10等に基づいて説明する。本第2の実施形態に係る露光装置100は、面位置計測装置60における複数の計測点の配置及びウエハWの面形状情報の算出及びレベリング制御方法が上記第1の実施形態と異なっており、以下では、第1の実施形態に係る露光装置と異なる点を中心に説明を行う。

[0109] 図10には、面位置計測装置60における計測点の配置が示されている。図10に示されるように、本第2の実施形態では、面位置計測装置60の複数の計測点は、露光領域IAの周囲を三重に囲むように配置されている。すなわち、複数の計測点は、露光領域IAを囲む第1の枠状領域としての枠状領域MA1、枠状領域MA1の外側を

囲む第2の枠状領域としての枠状領域MA2、枠状領域MA2の外側を囲む第3の枠状領域としての枠状領域MA3とにそれぞれ配置されている。枠状領域MA1、MA3において、計測点は、図2(A)、図2(B)に示される計測点領域MAと同様に、所定間隔Dで露光領域IAを一重に囲むように配置されているが、枠状領域MA2は、ある程度の幅を有しており、その枠状領域MA2内においては、計測点はマトリクス状に均等に配置されている。枠状領域MA2においては、計測点の所定間隔はDと異なっても良い。なお、ここで、枠状領域とは、その枠で囲まれる矩形の領域ではなく、その枠で囲まれる矩形領域の外縁部の領域を意味するものとする。

[0110] また、枠状領域MA2の枠の幅は、露光領域IAの大きさに対応している。すなわち、露光領域IAから見て、矩形枠状領域MA2の+X側、-X側に位置する辺のX軸方向に関する幅は、露光領域IAのX軸方向の幅以上となっており、露光領域IAから見て、矩形枠状領域MA2の+Y側、-Y側に位置する辺のY軸方向に関する幅は、露光領域IAのY軸方向の幅以上となっている。すなわち、枠状領域MA2は、露光領域IAを基準とするXY平面内の任意の方向で、枠状領域MA2のその方向に関する大きさが、露光領域IAのその方向に関する大きさ以上となるように設定されている。このように規定することにより、ウエハステージWSTがいずれの方向に移動しても、露光領域IAに到達するウエハW上の領域は、その移動前に、必ず枠状領域MA2内に含まれるようになる。

[0111] 図10に示されるように、露光領域IAの中心から枠状領域MA1、MA2(その枠の中央を通る中心線)、MA3までの距離は、それぞれX軸方向に a_1 , a_2 , a_3 、Y軸方向に b_1 , b_2 , b_3 となっている。この a_1 , a_2 , a_3 に関しては、 $a_2=2 \cdot a_1$, $a_3=3 \cdot a_1$ となるように規定されており、距離 b_1 , b_2 , b_3 に関しては、 $b_2=2 \cdot b_1$, $b_3=3 \cdot b_1$ となるように規定されている。これらの関係により、枠状領域MA1~MA3と露光領域IAとの間に次のような関係が生ずる。

[0112] 図11には、枠状領域MA1, MA3の一部にまたがり、枠状領域MA1と同じサイズのウエハW上の枠状領域WA1が点線で示されている。図11に示されるように、枠状領域WA1を枠状領域MA1, MA3の一部にまたがるように配置した場合、枠状領域WA1の一部は、枠状領域MA1の右上の頂点及び枠状領域MA2の紙面右上の辺

の一部と一致するように規定されている。すなわち、枠状領域MA1の頂点に配置された面位置計測装置60の計測点においてウエハW上の枠状領域WA1上の地点の面位置を計測することができるようになり、枠状領域MA3の紙面右上の辺の一部にある計測点において枠状領域WA1上の地点の面位置を計測することができるようになる。

[0113] また、枠状領域MA1に対する露光領域IAの位置関係と同様の位置関係となる、枠状領域WA1に対する領域IA'を仮定する。図11では、この領域IA'が、一点鎖線で示されている。図11に示されるように、枠状領域WA1を枠状領域MA1、MA3の一部にまたがるように配置した場合、領域IA'は、枠状領域MA2内に完全に収まるようになる。このことは、枠状領域WA1を、図11に示される位置以外で、枠状領域MA1、MA3の一部にまたがるように配置した場合でも同様である。すなわち、枠状領域WA1を、枠状領域MA1、MA3の一部にまたがるように配置すれば、領域IA'は、枠状領域MA2内に含まれるようになる。言い換えれば、本第2の実施形態では、枠状領域MA2の一部と露光領域IAとを重ね合わせた場合に、枠状領域MA1、MA3の一部の計測点(同一直線上にない少なくとも3つの計測点)が、枠状領域WA1の計測点と重なるように複数の計測点が配置されている。

[0114] 図12(A)～図12(C)には、領域IA'が、ウエハステージWSTの移動により露光領域IAに移動する様子が示されている。

[0115] 図12(A)に示されるように、枠状領域MA3の外側に位置していたウエハW上の領域IA'は、矢印で示されるウエハステージWSTの移動により、紙面左下方向の露光領域IAに向かって進む。すると、図12(B)に点線で示されるように、ウエハW上の領域IA'は、計測点の枠状領域MA2の一部と一致するようになり、ウエハW上の枠状領域WA1が、枠状領域MA1、MA3の一部にまたがるような位置(図11に示される枠状領域WA1と同じ位置)に位置するようになる。

[0116] そして、ウエハステージWSTのさらなる移動により、ウエハW上の領域IA'は、図12(C)に示されるように、露光領域IAに到達し、枠状領域MA1とウエハW上の枠状領域WA1とが一致するようになる。

[0117] このように、ウエハW上の領域IA'が、ウエハステージWSTの移動により、露光領

域IAに至る前に、枠状領域WA1及び領域IA'が、領域MA1～MA3を必ず通過するようになる。本第2の実施形態では、枠状領域WA1及び領域IA'が、枠状領域MA1, MA2, MA3を通過する際に、枠状領域WA1及び領域IA'の相対的な面位置の関係を計測し、その計測結果から、領域IA'が、露光領域IAに到達したときのウエハWの面位置を制御する。以下では、その制御方法について説明する。

[0118] 図13に示されるように、ウエハW上の枠状領域WA1が、枠状領域MA1、MA3に跨って位置しているときに、その枠状領域WA1上にある計測点の集合に含まれる計測点を S'_s とする。図13では、計測点 S'_s のうち、枠状領域MA1の右上の頂点にある計測点(計測点 S'_1 とする)と、枠状領域MA3の上辺にある計測点(計測点 S'_2 とする)と、枠状領域MA3の右辺にある計測点(計測点 S'_3)とが、代表的に示されている。このときの領域IA'の中心点の位置座標を (x, y) としたときの、それぞれの計測点 $S'_1 \sim S'_3$ の位置座標をそれぞれ $(x+x'_{s1}, y+y'_{s1})$ 、 $(x+x'_{s2}, y+y'_{s2})$ 、 $(x+x'_{s3}, y+y'_{s3})$ とする。

[0119] 図14(A)には、この計測点 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 でのウエハWの面位置の計測値の一例が、模式的に示されている。この計測点 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 でのウエハWの面位置の計測値をそれぞれ $h_{s1'}(x+x'_{s1}, y+y'_{s1})$ 、 $h_{s2'}(x+x'_{s2}, y+y'_{s2})$ 、 $h_{s3'}(x+x'_{s3}, y+y'_{s3})$ とする。図14(A)には、この3つの計測点 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 の計測点での面位置の計測値 $h_{s1'}(x+x'_{s1}, y+y'_{s1})$ 、 $h_{s2'}(x+x'_{s2}, y+y'_{s2})$ 、 $h_{s3'}(x+x'_{s3}, y+y'_{s3})$ によって規定される、平面 $p(x, y; h'_{sj}(x+x'_{sj}, y+y'_{sj}))$ も示されている。

[0120] 図14(B)には、ウエハW上の領域IA'の中心に対応する枠状領域MA2の計測点で計測されたウエハWの面位置 $h_s(x, y)$ が示されている。また、図14(C)では、この面位置 $h_s(x, y)$ と、その地点での平面pの差 $T(x, y)$ が示されている。この差 $T(x, y)$ は、次式で表される。

[0121] [数6]

$$T(x, y) = h_s(x, y) - p(x, y; h'_{sj}(x+x'_{sj}, y+y'_{sj})) \quad \dots(6)$$

本第2の実施形態では、平面pを算出して、上記式(6)を用いて $T(x, y)$ を算出し、その計測点 S'_1 、 S'_2 、 S'_3 の位置座標 $(x+x'_{s1}, y+y'_{s1})$ 、 $(x+x'_{s2}, y+y'_{s2})$ 、 $(x$

+ x_{s3}' , $y+y_{s3}'$)とともに、この $T(x, y)$ を、不図示の記憶装置に格納しておく。

[0122] ウエハステージWSTがさらに移動し、図15に示されるように、ウエハW上の枠状領域WA1が枠状領域MA1と一致した場合を考える。枠状領域MA1の計測点の集合を S_{sj}'' とする。主制御装置20は、このときの露光領域IAの中心の位置座標を (x, y) としたときに、枠状領域MA1のうち、位置座標がそれぞれ $(x+x_{s1}', y+y_{s1}')$ 、 $(x+x_{s2}', y+y_{s2}')$ 、 $(x+x_{s3}', y+y_{s3}')$ となる計測点 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' を探索する。そして、面位置計測装置60から送られてくる計測点 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' でのウエハWの面位置 $h_{s1}''(x+x_{s1}', y+y_{s1}')$ 、 $h_{s2}''(x+x_{s2}', y+y_{s2}')$ 、 $h_{s3}''(x+x_{s3}', y+y_{s3}')$ を取得する。図16(A)には、この3つの計測点 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' での面位置の計測値によって形成されるウエハWの概略平面 $q(x, y; h_{sj}''(x+x_{sj}', y+y_{sj}'))$ が示されている。主制御装置20は、これら3つの計測点 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' での計測値より、この平面 q を算出する。

[0123] 平面 p 、 q は、ウエハW上の3つの同一の地点で計測されたウエハWの面位置の計測値であるので、露光領域IAの中心におけるウエハWの面位置を推定しようとする場合には、この平面 p 、 q を重ね合わせて考えれば良い。具体的には、次式を用いて、ウエハW上の領域IA'の中心における平面 p からの差 $T(x, y)$ を平面 q に加算すれば、その値が示す位置をウエハWの面位置の推定値とすることができる。

[0124] [数7]

$$H(x, y) = q(x, y; h_{sj}''(x+x_{sj}', y+y_{sj}')) + T(x, y) \quad \dots(7)$$

図16(B)には、このときの露光領域IAの中心 (x, y) における平面 $q(x, y)$ の値が示されている。この場合、図16(C)に示されるように、この露光領域IAの中心 (x, y) における平面 $q(x, y)$ を基準として、 $T(x, y)$ が加算されることにより、露光領域IAの中心 (x, y) におけるウエハWの面位置が推定される。

[0125] なお、本第2の実施形態では、ウエハWのレベリング制御も行うため、露光領域IAの中心(領域IA'の中心)の面位置だけでなく、露光領域IA内の他の地点におけるウエハWの面位置も推定する。図17(A)には、露光領域IAの4隅の点のうち1点 $(x+\Delta x, y+\Delta y)$ に対応する計測点での計測値 $h_s(x+\Delta x, y+\Delta y)$ が示されている。

る。主制御装置20では、次式を用いて、ウエハW上の領域IA'の地点における平面pと計測値 $h_s(x + \Delta x, y + \Delta y)$ との差 $T(x, y, \Delta x, \Delta y)$ を算出し、不図示の記憶装置に格納する。

[0126] [数8]

$$T(x, y, \Delta x, \Delta y) = h_s(x + \Delta x, y + \Delta y) - p(x, y; h_{sj}'(x + x_{sj}', y + y_{sj}')) \quad \dots (8)$$

図17(B)には、平面 $q(x + \Delta x, y + \Delta y)$ を基準として、この露光領域IA内の地点($x + \Delta x, y + \Delta y$)における $T(x + \Delta x, y + \Delta y)$ が加算され、露光領域IAの中心($x + \Delta x, y + \Delta y$)におけるウエハWの推定面位置の一例が示されている。

[0127] 主制御装置20では、露光領域IAの四隅のうち他の3点についても、上記式(8)を用いて、ウエハWの面位置の推定を行い、露光領域IAの中心及び四隅のウエハWの推定された面位置が投影光学系PLの最良結像面に焦点深度内で一致するように、ウエハステージ駆動部WSCを構成するアクチュエータ41A~41Cを駆動することにより、ウエハW(ウエハステージWST)のオートフォーカス・レベリング制御を行う。

[0128] なお、本第2の実施形態では、平面p, qの算出を、3つの計測点での計測結果より求めるかのように説明したが、実際には、4点以上の計測点を用いて平面p, qを算出するようにしてもよい。この場合には、それらの計測点の計測結果に基づいて、統計的に(例えば最小二乗近似などの手法により)平面p, qを求めるようにしてもよい。これは、 $T(x, y)$ 、 $T(x + \Delta x, y + \Delta y)$ に基づいて、露光領域IAに対応するウエハWの推定面位置を算出する場合も同様である。

[0129] 以上詳細に述べたように、本第2の実施形態によれば、面位置計測装置60の複数の計測点が、露光領域IAを三重に囲っており、その三重に配置された計測点によりウエハWの異なる位置での面位置を同時に計測することができるので、ウエハWの表面の3次元的なデータを取得することができる。したがって、上記第1の実施形態とは異なり、ウエハステージWSTの剛性が比較的弱くてその歪みが大きく、ウエハ干渉計18XY、18Zの計測値の計測点と、面位置計測装置60の計測点、すなわちウエハWの表面との位置関係の変動が無視できない場合であっても、ウエハWの面形状を精度良く計測することができる。

- [0130] また、本第2の実施形態によれば、面位置計測装置60の複数の計測点は、露光領域IAの外側を囲む枠状領域MA1と、枠状領域MA1の外側を囲む枠状領域MA2と、枠状領域MA2の外側を囲む枠状領域MA3とにそれぞれ配置されている。そして、露光領域IAを基準とするXY平面内の任意の方向で、枠状領域MA2のその方向に関するサイズが露光領域IAのその方向に関するサイズ以上であり、枠状領域MA2の一部と露光領域IAとを重ね合わせた場合に、枠状領域MA1及び枠状領域MA3に含まれる同一直線上にない少なくとも3つの計測点が、枠状領域MA1の計測点と重なるように、面位置計測装置60の複数の計測点が配置されている。このようにすれば、露光領域IAに到達するウエハW上のある領域周辺の3次元的な面形状を、枠状領域MA1、MA2、MA3の計測点の計測結果から必ず求めておくことができるので、現在の枠状領域MA1の計測点で計測されたウエハWの面位置の計測値から、露光領域IAに一致するウエハW上の領域の面位置を推定することができる。
- [0131] なお、本第2の実施形態においても、面位置計測装置60の計測結果を、計測の際のウエハステージWSTの加速度や、計測に要した時間などの信頼性を考慮して補正するようにしてもよいことは勿論である。例えば、ウエハW上の同じ地点を、複数の異なる計測点で計測する場合には、その計測値の信頼性に基づく重み付け平均によりその地点の面位置を算出することが可能である。
- [0132] なお、本第2の実施形態では、枠状領域MA1、MA3の計測点の配置間隔を同じDとしたが、例えば、計測点の配置を図18に示されるようなものとすることもできる。図18では、枠状領域MA3における計測点が、白丸と黒丸とで示されている。すなわち、この例では、枠状領域MA3の計測点の配置密度が疎となっており、実質的に連続でなく孤立するように配置されている。このような配置であっても、露光領域IAと枠状領域MA2の一部と重ね合わせた場合に、同一直線上にない枠状領域MA1上の少なくとも3つの計測点とそれぞれ一致する、枠状領域MA1及び枠状領域MA3上の少なくとも3つの計測点が存在するようになる。この観点からすれば、さらに、図18に白丸で示される計測点も省略することができる。しかしながら、枠状領域MA1の計測点は、枠状領域MA3と同じように疎に配置することは望ましくない。ウエハステージWSTの移動方向によって、平面qを算出するための計測点の変動するので、枠状領

域MA1内では、計測点を実質的に連続に配置しておくほうが望ましい。

[0133] また、図19に示されるように、露光装置100が、ステップ・アンド・スキャン方式でなく、一括露光を行うステップ・アンド・リピート方式の露光装置であった場合には、露光領域IAが大面積となるため、枠状領域MA2の幅をさらに広げる必要がある。

[0134] このように、露光領域IAを三重に囲むように複数の計測点を配置することによって、ウエハWの面形状を先読みして、ウエハの面位置制御を行うことが可能であるが、このような計測点の三重配置は、様々な変形が可能である。図20には、その計測点の三重配置の変形例が示されている。この配置では、2番目に大きい枠状領域MA2では、その大きさが露光領域IAが完全に含まれるような大きさとはなっておらず、枠状領域MA1、MA3と同様に、露光領域IAを一重に囲むように、計測点が配置されている。このようにすれば、計測点が配置されている領域の面積を小さくすることができるので、面位置計測装置60を小型化し、ハードウェアの制約を低減化することができる。

[0135] X軸方向に関し、露光領域IAの中心を基準として、枠状領域MA1までの距離を a_1 とし、枠状領域MA2までの距離を a_2 とし、枠状領域MA3までの距離を a_3 とする。また、Y軸方向に関し、露光領域IAの中心を基準として、枠状領域MA1までの距離を b_1 とし、枠状領域MA2までの距離を b_2 とし、枠状領域MA3までの距離を b_3 とする。この場合、 $a_1 \sim a_3$ 、 $b_1 \sim b_3$ の関係を次式のように規定する。

[0136] [数9]

$$a_{j+1} - a_j = T_a, b_{j+1} - b_j = T_b; j \in [1,2] \quad \dots (9)$$

すなわち、X軸方向に関して隣接する領域の間隔は T_a であり、Y軸方向に関して隣接する領域の間隔は T_b となっている。また、X軸方向に関する露光領域IAの中心から領域MA1までの距離 a_1 は、 T_a の整数倍に規定されており、Y軸方向に関する露光領域IAの中心から領域MA1までの距離 b_1 は、 T_b の整数倍に規定されている。

[0137] このように配置された複数の計測点の下、ウエハステージWSTの移動に伴い、上記第1の実施形態と同様に、ウエハWの地点 (x_i, y_i) が計測点に一致している場合には、その地点 (x_i, y_i) の面位置を計測する。この時点で同時に計測されるウエハW上

の複数の地点の面位置の計測値をそれぞれ $h_t(x_i, y_i)$ とする。主制御装置20は、このようにして同時に計測された複数の地点 (x_i, y_i) の面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$ を不図示の記憶装置に格納する。

[0138] ただし、上記第1の実施形態とは異なり、少なくとも4つの計測点において、同時にウエハWの面位置を計測可能でない場合には、主制御装置20は、その計測値を、ウエハWの面形状の算出には用いないこととする。3つの計測点しか同時に得られなかった場合には、後述する計測結果の接続を行うことができないからである。例えば、図20に示されるような計測点の配置の場合では、領域MA3の一辺の計測点と、領域MA2の少なくとも1つの計測点とで、ウエハの面位置の計測が可能となった時点で計測を開始するようにすれば、必ず4点以上の計測点の面位置の計測値を得ることができる。

[0139] 図21(A)、図21(B)には、複数の計測点のうちの枠状領域MA1~MA3の一部が拡大されて示され、領域MA1~MA3についてそれぞれ計測点が3つずつ示されている。図21(A)では、ウエハステージWSTがある位置に位置しているときに、領域MA1~MA3の3つの計測点において計測されたウエハWの地点 (x_i, y_i) が白丸で示されている。これらの地点の位置座標を (x_i, y_i) (i は、自然数)とする。主制御装置20は、この白丸で示される地点の面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$ を、不図示の記憶装置に格納する。図22には、この面位置の計測値 $h_t(x_i, y_i)$ によって形成される面の一例が示されている。

[0140] この後、ウエハステージWSTが-Y方向に T_b だけ移動したとする。図21(B)では、ウエハステージWSTの移動後に、枠状領域MA1~MA3の3つの計測点において計測されるウエハW上の地点が×で示されている。この地点を (x'_i, y'_i) とする。主制御装置20は、これら×で示される地点の面位置の計測値 $h_{t+1}(x'_i, y'_i)$ を、記憶装置に格納する。

[0141] なお、図21(B)では、図21(A)で計測された地点 (x_i, y_i) を、そのまま丸で示している。図22(B)に示されるように、ウエハステージWSTが計測点が配置された領域間のY軸方向の間隔 T_b だけY軸方向に移動しているので、丸と×との両方で示される地点がある。すなわち、地点 (x_i, y_i) と、地点 (x'_i, y'_i) との中には、共通の地点が存

在する。しかも、これらの地点は、直線上にない少なくとも3つの地点を含んでいる。そこで、図21(A)で計測された地点 (x_i, y_i) の面位置の計測結果と、図21(B)で計測された地点 (x'_i, y'_i) の面位置の計測結果とを接続し、1つの面位置の計測結果として連結することができる。図22では、図21(A)に示される地点 (x_i, y_i) での計測値 $h_i(x_i, y_i)$ によって形成される面と、図21(B)に示される地点 (x'_i, y'_i) での計測値 $h'_i(x'_i, y'_i)$ によって形成される面とが模式的に示されている。図22に示されるように、地点 (x_i, y_i) と、地点 (x'_i, y'_i) のうちの共通の地点において計測される面位置の計測値が同じになるように、例えば、丸点で形成される面に、×点で形成される面を合わせることによって、それらの連結面を形成することができる。

[0142] このように、ウエハステージWSTの移動に伴い、同一地点の面位置が、複数の異なる計測点で計測されることになるので、同一直線上にない少なくとも3つの地点での計測結果がある場合には、それらの計測結果を接続し、連結することができる。この接続の結果得られる連結面をウエハWの面形状マップとすれば、計測点が配置された領域を通過したウエハWの領域の面形状マップを作成することが可能となる。

[0143] この面形状マップを作成する際の、主制御装置20の処理手順について説明する。主制御装置20では、同時に計測された4点以上のウエハWの面位置の計測結果を取得した場合には、記憶装置に、少なくとも3つの共通な地点での面位置の計測結果を含むマップがすでに格納されているか否かを調べる。そして、主制御装置20は、そのようなマップがない場合には、今回取得された計測結果の集合(これを小マップとする)を新たなマップとして記憶装置するが、少なくとも3つの共通な地点での面位置の計測結果を含むマップが存在した場合には、そのマップを読み出し、そのマップと今回取得された小さいマップとを接続し、その接続により作成されたウエハWの面形状マップを記憶装置に格納する。

[0144] 図23には、このような計測結果の面の接続により作成されたウエハWの面形状マップ $H(x_i, y_i)$ 、 $H'(x'_i, y'_i)$ の一例が示されている。2つの面形状マップ $H(x_i, y_i)$ 、 $H'(x'_i, y'_i)$ の各地点のX軸及びY軸方向の間隔は、計測点領域MA1～MA3のX軸及びY軸方向の間隔 T_a 、 T_b に依存する。このように、仮に、ウエハW全面を面位置計測装置60により計測すれば、幾つかの面形状マップを作成することができ、それら

の面形状マップは、結果的に、計測点領域MA1～MA3の間隔 T_a , T_b によって規定される面形状マップとなる。

[0145] また、図23には、面位置計測装置60の計測点領域MA1も示されている。図23では、領域MA1で計測される地点が、面形状マップ $H'(x'_i, y'_i)$ でなく、面形状マップ $H(x_i, y_i)$ に対応しているので、主制御装置20では、面形状マップ $H(x_i, y_i)$ を記憶装置から読み出し、この面形状マップ $H(x_i, y_i)$ を用いて、ウエハWの面位置を推定し、その面位置のフォーカス/レベリング制御を行う。ウエハWが移動し、計測点領域MA1に対応する地点が、面形状マップ $H'(x'_i, y'_i)$ 上の地点となれば、今度は、記憶装置から面形状マップ $H'(x'_i, y'_i)$ を読み出して用いられよう。

[0146] なお、この場合にも、面位置計測装置の計測点は、露光領域IAを囲むように配置されているので、ウエハステージWSTの進行方向に沿って面形状マップ(小マップ)を接続していくことができる。従って、ウエハステージWSTの進行方向に関わらず、露光前に、露光対象のウエハWの面位置を必ず推定することができるようになる。

[0147] なお、この計測点領域間の距離 T_a , T_b は、小さければ小さいほど、面位置計測装置60のサイズを小さくすることができるのでハードウェア構成上有利であるとともに、きめ細かな面形状マップを作成することができるようになる。しかしながら、上述した小さいマップの接続により面形状マップを作成していく方法では、その接続による誤差が累積していくことも考えられるため、これらの誤差の許容値なども考慮して計測点領域の距離を決定するのが望ましい。

[0148] 以上述べたように、図20に示されるような計測点配置を有する面位置計測装置では、ウエハステージWSTの剛性に関わらず、ウエハWの面形状を精度良く計測することができる。何故ならば、ここでは、同一直線上にない3つの計測点の計測値を用いて、計測結果同士の接続を行って面形状マップを作成しているため、上記ウエハステージWSTのZ位置、ピッチング量、ローリング量を考慮する必要がないからである。

[0149] しかしながら、面形状マップを求める際に、ウエハステージWSTのピッチング量、ローリング量が制御されており、ウエハステージWST(Z・レベリングステージWS2)の傾斜が0であることとすれば、面位置計測装置60の計測点数を削減することも可能

である。

[0150] 図24(A)には、このようなケースで可能な面位置計測装置60の計測点の配置が示されている。図24(A)に示されるように、面位置計測装置60の複数の計測点は、露光領域IAの周囲を二重に囲むように配置されている。すなわち、複数の計測点は、露光領域IAを囲む第1の枠状領域としての枠状領域MA1'、枠状領域MA1'の外側を囲む第2の枠状領域としての枠状領域MA2'とにそれぞれ配置されている。枠状領域MA2'においては、計測点は、図2(A)に示される計測点領域MAと同様に、所定間隔Dで1列に配置されているが、枠状領域MA1'は、ある程度の幅を有しているため、その領域内において、複数の計測点がマトリクス状に均等に配置されている。枠状領域MA1'での計測点の所定間隔はDでなくても良い。

[0151] また、枠状領域MA1'の枠の幅は、露光領域IAの大きさに対応している。すなわち、露光領域IAから見て、枠状領域MA1'の+X側、-X側に位置する辺のX軸方向に関する幅は、露光領域IAのX軸方向の幅以上となっており、露光領域IAから見て、枠状領域MA1'の+Y側、-Y側に位置する辺のY軸方向に関する幅は、露光領域IAのY軸方向の幅以上となっている。すなわち、枠状領域MA1'は、露光領域IAを規準とするXY平面内の任意の方向で、枠状領域MA1'のその方向に関する大きさが、露光領域IAのその方向に関する大きさ以上となるように設定されている。このように規定することにより、ウエハステージWSTがいずれの方向に移動しても、露光領域IAに到達するウエハW上の領域は、必ず、枠状領域MA1'内に同時に含まれるようになる。

[0152] 図24(A)には、枠状領域MA2'の一部と一致し、枠状領域MA1'と同じサイズのウエハWの枠状領域WA1が太い点線で示されている。さらに、この枠状領域MA1'に対する露光領域IAの位置関係と同様の位置関係を、枠状領域WA1に対し有するウエハW上の領域IA'を仮定する。図24(A)では、この領域IA'が、細い点線で示されている。図24(A)に示されるように、領域IA'と枠状領域MA1'とを重ね合わせたときに、枠状領域WA1が枠状領域MA1'の一部と一致するようになる。このことは、領域IA'を、図24(A)に示される位置以外で、枠状領域MA1'の一部に含まれるようにした場合でも同様である。すなわち、領域IA'を、枠状領域MA1'の一部に一致

するように配置すれば、枠状領域MA2'上の計測点は、枠状領域MA1'の一部の計測点と一致するようになる。

- [0153] したがって、ここでは、図24(A)に示されるような位置に領域IA'が位置しているときに、枠状領域MA2'上の計測点及び枠状領域MA1'内に含まれる領域IA'と一致する計測点でのウエハWの面位置を計測する。図24(C)には、枠状領域MA1'上の計測点 S_s での計測値 $h_s(x+x_s, y+y_s)$ が示されている。主制御装置20は、領域IA'の中心に対応する枠状領域MA1'内の計測点での面位置の計測値 $h_s(x, y)$ を取得し、 $h_s(x+x_s, y+y_s)$ と $h_s(x, y)$ との差 $T(x, y)$ を求める。
- [0154] 図24(D)には、ウエハW上の領域IA'が露光領域IAに移動したときの様子が示されている。主制御装置20は、図24(C)に示される計測値を計測した計測点 S_s に対応する枠状領域MA1'上の計測点 $S_{s'}$ を探索し、計測点での面位置の計測値 $h_{s'}(x+x_{s'}, y+y_{s'})$ を取得する。そして、主制御装置20は、この計測値 $h_{s'}(x+x_{s'}, y+y_{s'})$ を $T(x, y)$ に加算することにより、露光領域IAの中心のウエハWの面位置を推定することができる。
- [0155] 図25(A)には、計測点の二重配置の変形例が示されている。この計測点配置では、内側の枠状の計測点領域MA1'が、露光領域IA全体をカバーする大きさとはなっておらず、枠状の計測点領域MA2'と同様に、露光領域IAを一重に囲むように計測点が配置されている。
- [0156] X軸方向に関し、露光領域IAの中心を基準として、枠状領域MA1'までの距離を a_1 とし、枠状領域MA2'までの距離を a_2 とする。また、Y軸方向に関し、露光領域IAの中心を基準として、枠状領域MA1'までの距離を b_1 とし、枠状領域MA2'までの距離を b_2 とする。 a_1 は $a_2 - a_1$ の整数倍、 b_1 は $b_2 - b_1$ の整数倍の関係となるように規定されている。
- [0157] 複数の計測点をこのように配置しても、ウエハステージWST(Z・レベリングステージWS2)の傾斜が0であることが保証されている場合には、計測結果の接続を行うことにより、ウエハWの面形状マップを作成することができる。例えば、図25(B)に示されるように、少なくとも1つの同一地点の面位置情報を含む2つの計測結果が存在する場合には、その地点における2つの計測値を一致させることにより、それぞれの計測

結果を接続することができる。

[0158] また、上記各実際形態では、ウエハWの面形状マップを作成するためのウエハWの面位置を計測する計測装置が、投影光学系PLの視野を囲むように配置された複数の計測点を有する面位置計測装置60のみであったが、その他に、ウエハWの面位置を計測する計測装置を備えていても良い。例えば、アライメント検出系ASを囲むように複数の計測点が配置された計測装置又はフィゾー干渉計によりウエハWの面形状を計測する計測装置を備え、露光前に、その計測装置でウエハWの面形状を計測するようにしても良い。この場合には、投影光学系PLの視野を囲む面位置計測装置60の計測点配置は、図26に示されるようにすることもできる。これによれば、面位置計測装置60の複数の計測点は、露光領域IAを中心として、放射状に8点だけ配置されている。他の計測装置で、すでにウエハWの面形状を計測し、面形状マップを作成していれば、面位置計測装置60の計測点に対応する地点の面位置と、露光領域IAに一致する地点の面位置の位置関係が既知となるので、露光時に、面位置計測装置60の各計測点で計測されるウエハWの面位置の計測結果から、露光領域IAと一致するウエハWの面位置を推定することができ、ウエハWの表面を、投影光学系PLの最良結像面に焦点深度内で合わせる事が可能となる。露光領域IAに対応するウエハWの面位置の推定方法は、上記第2の実施形態における面位置の推定方法と同じとすることができる。

[0159] ところで、ステップ・アンド・スキャン方式の露光装置においては、スキャン方向(Y軸方向)には露光領域IAの幅が短いため、この方向のレベリング要求精度が非スキャン方向に比べ高くない場合もある。したがって、この場合には、露光中に、X軸方向に関するウエハWの面位置のレベリング制御を行うだけとすることもできる。

[0160] 図27(A)には、このときの面位置計測装置60の計測点の配置例が示されている。図27(A)に示されるように、これらの計測点は、露光領域IAを実質的に囲む枠状の計測点領域MA上に配置されている。この計測点領域MAは、スキャン方向(Y'軸方向)に沿った計測点列が形成された2つの領域(MAY1, MAY2とする)と、X'軸方向に沿った計測点列が形成された2つの領域(MAX1, MAX2とする)とで、露光領域IAを、実質的に囲んでいる。領域MAY1, MAY2は、露光領域IAの中心を基

準として、X軸方向に関し、距離aの位置にそれぞれ配設されており、領域MAX1、MAX2は、露光領域IAの中心を基準として、距離bの位置にそれぞれ配設されている。

[0161] この配置におけるウエハWの面形状の計測及び面位置の調整方法について説明する。図27(A)では、次の露光対象のショット領域SAが点線で示されている。すなわち、ここでは、ショット領域SAを露光するために、領域MAX1、MAX2の計測点の計測結果に基づいて、ウエハWの面形状マップを作成する。

[0162] なお、この領域MAX1、MAX2のX軸方向の長さは、 $2a'$ ($a' > a$)であり、Y'軸に対し、線対称に配置されている。この領域MAX1、MAX2の中心の位置を (x', y') とすると、領域MAX1、MAX2の計測点の位置座標 (x, y) は、 $x \in (x' - a' + a, x' + a' - a)$ 、 $y = y'$ となる。

[0163] 図27(A)に示される状態では、ショット領域SAの一部が、領域MAX1上にあるので、その一部の面位置を、その領域MAX1上にある複数の計測点によって計測することができる。図27(A)では、その領域MAX1上にあり、ショット領域SAの一部で、露光領域IAの中心を通過するウエハW上の点が黒丸で示されている。また、この点から、X軸方向に距離aだけ離れた領域MAX1上の2つの点が、白丸で示されている。主制御装置20は、この黒丸で示された計測点でのウエハWの面位置の計測値 $h(x, y)$ と、白丸で示された2つの計測点でのウエハWの面位置の計測値 $h(x - a, y)$ 、 $h(x + a, y)$ とを取得し、次式を計算する。

[0164] [数10]

$$T(x, y) = h(x, y) - \frac{1}{2}(h(x - a, y) + h(x + a, y)) \quad \dots(10)$$

すなわち、主制御装置20は、黒丸で示される計測点での面位置の計測値と、白丸で示される計測点での面位置の計測値の平均との差 $T(x, y)$ を算出する。

[0165] なお、露光領域IAに一致するウエハ面のX軸方向のレベリング制御を行うため、黒丸で示される点 (x, y) から、X軸方向に Δx だけ離れた地点での面位置も計測しておき、次式を用いて、その計測点での面位置の計測値 $h(x + \Delta x)$ と、白丸で示される計測点での面位置の計測値の平均との差 $T(x, y, \Delta x)$ も算出しておく。

[0166] [数11]

$$T(x, y; \Delta x) = T(x + \Delta x, y) = h(x + \Delta x, y) - \frac{1}{2}(h(x - a, y) + h(x + a, y)) \quad \dots (11)$$

[0167] そして、ウエハステージWSTの移動により、計測されたウエハW上の領域が、図27(B)に示されるように、露光領域IAに差し掛かったとする。主制御装置20は、このときY(Y')位置が露光領域IAと同じである領域MAY1, MAY2上の計測点でのウエハWの面位置を計測し、その計測値の平均に、 $T(x, y)$ 、 $T(x, y, \Delta x)$ を加算することにより、それぞれの地点(x, y)、(x + Δx, y)でのウエハWの面位置を推定し、この推定面位置を用いて、ウエハWの面位置のX軸方向のレベリング制御を行う。

[0168] 同様に、ウエハステージWSTの進行方向が+Y方向であり、ショット領域SAが露光領域IAに対し、-Y方向から進入してくる場合には、計測点領域MAX2において、ショット領域内のX軸方向に関する面形状を計測するようにすれば、上述と同様なウエハWの面位置制御を実現することができる。

[0169] ところで、この配置では、露光領域IAの中心からの計測点領域MAのX軸に平行な辺までの距離bを、スキャン露光時のウエハステージWSTの助走距離より短くなるように規定している。このようにすれば、1つのショット領域を走査露光する際に、ウエハステージWSTをその走査開始位置に位置させた状態で、露光対象のショット領域SAを、計測点領域MAの外部に位置させることができるようになるので、領域MAX1、MAX2のいずれかで、ショット領域SA内でのウエハWの面位置のX軸方向の傾斜を必ず計測できるようになる。

[0170] また、例えば、複数のショット領域を交互スキャン(例えば、ウエハステージWSTを+Y方向に走査してあるショット領域をスキャン露光した後に、隣接するショット領域を、ウエハステージWSTを-Y方向に移動してスキャン露光する方法)する際には、ウエハステージWSTが、加速開始後には、露光領域IAに対し、斜め方向から侵入してくる場合もあるが、計測点領域MAX1, MAX2は、X軸方向に拡張されているので、そのショット領域を確実に捉えることができ、そのショット領域内のウエハWのX軸方向の面形状を計測することができる。

[0171] また、このように領域MAX1, MAX2をX軸方向に拡張しておけば、ショット領域S

Aのスキヤン露光中に、ショット領域SAに隣接するショット領域での面形状も事前に計測しておくことができる。特に $a' - a$ をショット領域のX軸方向の幅と同じにしておけば、隣接するショット領域全体の面形状を事前計測しておくことが可能である。その意味では、 a' は大きければ大きい程よい。なお、このような事前計測を行う場合にも、上記第1の実施形態と同様に、計測値の信頼性などを考慮するようにすることができる。

[0172] また、領域MAX1, MAX2と平行に、これらの領域と同じような、面位置を計測可能な計測点領域を、等間隔に3本(Y軸方向両端に3本ずつで計6本)配置すれば、上記第2の実施形態と同様に、Y軸方向のウエハWの面位置のレベリング制御も可能となる。

[0173] なお、上記第1、第2の実施形態では、露光領域IAを完全に囲むように、計測点 $S_1 \sim S_n$ を配置したが、本発明はこれには限られない。例えば、図28(A)、図28(B)に示されるように、露光領域IAを挟んで対向する2つの辺上に、計測点を配置するようにしてもよい。図28(A)に示される配置例では、 X_1 (以下、Xとする)軸方向に延びる計測点領域MAが、露光領域IAから見て、スキヤン方向(すなわちウエハWが移動する方向)である Y_1 (Y軸方向の両側(すなわち、露光領域IAを挟んで、その+Y側、-Y側)にそれぞれ配置されている。また、図28(B)に示される配置例では、Y軸方向に延びる計測点領域MAが、露光領域IAから見て、X軸方向に露光領域IAを挟むように、その+X側、-X側にそれぞれ配置されている。

[0174] このように、計測点 $S_1 \sim S_n$ を、図28(A)、図28(B)に示されるように配置しても、上述した実施形態と同様に、面位置計測装置の計測結果からウエハWの面形状マップを作成することができるのは勿論である。なお、図2(A)の計測点配置と照らし合わせると、図28(A)、図28(B)に示される計測点配置は、矩形枠(図2(A)での計測点領域MA)の4辺のうち、対向する2辺に配置された計測点であるとみなすこともできる。

[0175] また、図29(A)に代表して示されるように、矩形枠(図2(A)での計測点領域MA)の4辺のうち、3辺に計測点を配置するようにしてもよい。なお、図29(A)に示されるように露光領域IAの+Y側、-Y側、+X側に計測点列を設けるのではなく、露光領域IAの+Y側、-Y側、-X側、露光領域IAの+Y側、-Y側、+X側、露光領域IA

の-Y側、+X側、-X側に計測点列を設けてもよいことは勿論である。

- [0176] さらに、別の例として、矩形枠(図2(A)での計測点領域MA)の4辺のうち、互いに直交する2つの辺上に、計測点を配置してもよい。
- [0177] また、図29(B)に示される例では、露光領域IAに対する-Y(-Y₁)側に計測点を、Y軸方向に等間隔に配置された3つのX線分上に配置している。露光領域IAの-Y側に計測点列を配置したのは、この方向に、アライメント系ASの検出中心FXが位置しており、アライメント動作や露光動作が行われる間に、露光領域IAの+Y側、+X側、-X側に計測点列を配置するよりも、各計測点がウエハWの面を捉える確率が高いためである。なお、このことは、露光領域IAの+Y側、+X側、-X側に複数の計測点列を配置することを妨げるものではない。また、計測点列の数は、3つより多くてもよいし、1つでも2つでもよい。計測点列の間隔は、等間隔でなくてもよい。
- [0178] また、上記各実施形態は、いずれもワーキングディスタンスが短く、投影光学系PLの視野や露光領域IAに一致するウエハWの面位置を直接計測することができない場合について説明したが、これらの領域に位置するウエハWの面位置を直接計測することができる場合には、図30(A)、図30(B)のように複数の計測点を配置することもできる。
- [0179] 図30(A)では、X軸方向に延びる5本の計測点配置領域が設けられている。この5本の計測点領域をそれぞれMA1~MA5とする。このようにすれば、例えばスキャン中のウエハステージWSTの進行方向が-Y方向であった場合、例えば、領域MA1、MA2、MA3でそれぞれウエハWの面位置を計測し、計測点領域MA1、MA3での計測結果に対する計測点領域MA2での計測結果の相対的關係を検出しておく。そして、この面形状が計測されたウエハWの領域が計測点領域MA1、MA2、MA3に進むようになると、前述の計測結果の相対的關係と、このときの計測点領域MA2、MA4の計測結果とを用いて、領域MA3に対応する、すなわち露光領域IAに対応するウエハWの面位置を推定することができるようになるので、その推定結果に基づいて、面位置を調整することができる。
- [0180] なお、図30(A)に示される配置では、Y軸方向両端の計測点配置領域を除く3本の配置領域MA2~MA4は、露光対象のショット領域SA_nに隣接するショット領域S

A_{n-1} 、 SA_{n+1} をカバーするように、X軸方向に延長されている。このようにすれば、次に露光対象となるショット領域 SA_{n-1} 、 SA_{n+1} に対応するウエハWの面形状を、ショット領域SAの露光中に計測することができるようになる。図30(B)に示されるように、ウエハ干渉計18XY、18Zの計測結果を考慮すれば、領域MA3だけが隣接するショット領域をカバーするようになっていても良いことは勿論である。

[0181] なお、上記各実施形態では、枠状の計測点配置領域は、すべての長方形の外縁枠状であったが、これには限られず、露光領域を実質的に囲んでいれどどのような形状の枠であってもよく、例えば、輪状又は多角形状であってもよい。しかしながら、辺で支えられる長形状の枠を選択した方が主制御装置20における演算が容易になるなどの種々の利点がある。

[0182] また、上記第1の実施形態では、ウエハWの面位置の計測中に、ウエハステージWSTのZ位置は一定であり、ピッチング量 θ_x 、ローリング量 θ_y ともに0に制御された状態であるとしたが、ウエハ干渉計18XY、18Zによって計測された基準Z位置からのずれや、ピッチング量 θ_x 、ローリング量 θ_y などをキャンセルするようにしてもよい。

[0183] なお、面位置計測装置60の計測点の配置は、上記各実施形態で述べたように、様々な配置が可能であるが、この配置は、ウエハステージWSTの剛性などによる、ウエハ干渉計18XY、18Zで計測されるウエハステージWSTと、面位置計測装置60での計測されるウエハWの面位置との関係により適宜選択されるのが望ましい。ここで、ウエハ干渉計18XY、18Zで計測される計測値の誤差モデルは、次式のように表すことができる。

[0184] [数12]

$$w_t(x, y) = \eta_0 + \eta_x x + \eta_y y + r(x, y) \quad \dots(12)$$

ここで、 $w_t(x, y)$ の地点(x, y)における計測誤差を示す。また、 η_0 は、この計測誤差に含まれる0次成分であり、 η_x 、 η_y は、1次成分の係数を示し、 $r(x, y)$ は、計測誤差に含まれる2次以上の成分を示す。

[0185] ここで、2次以上の成分 $r(x, y) \doteq 0$ とみなせるが、他の成分を0とみなすことができない場合には、面位置計測装置の配置を、上記第2の実施形態で説明したような三

重配置とするのが望ましい。また、1次以上の成分を0とみなせるが、0次成分を0とみなすことができない場合には、図24(A)、図24(B)に示されるような配置とするのが望ましい。また、0次成分までも0とみなすことができる場合には、上記第1の実施形態に示されるような配置とするのが望ましい。

- [0186] なお、どのような計測点配置を採用しても、ウエハWの面位置を計測可能な状態であれば、事前計測をする方が望ましい。このようにすれば、ウエハW上の所定の地点を複数回計測することができるので面位置の計測精度が向上し、上記第1の実施形態で述べたような、信頼性に基づく重み付け平均による面位置算出やキャリブレーションが可能となる。
- [0187] また、上記各実施形態では、アクチュエータ41A～41Cの駆動によるZ・レベリンステーজWS2の姿勢制御により、ウエハWの面位置を制御したが、これに限らず、投影光学系PLの位置を制御するようにしても良い。
- [0188] また、上記各実施形態では、局所液浸法を採用した露光装置について説明したが、本発明は、先玉と露光面との間を液体で浸すことのない標準的な露光装置にも適用することができるのは勿論である。投影光学系のNAが大きく、ワーキングディスタンスを小さく取る必要のある露光装置であれば、好適に適用することができる。
- [0189] また、上記各実施形態では、ウエハWの面形状情報として、離散値的な面形状マップ $H(x_i, y_i)$ に基づいてウエハWの面位置を制御するものとしたが、隣接する地点 (x_i, y_i) 間を補間することにより、XY平面内における連続値的な面形状マップ $H(x, y)$ を作成し、その面形状マップ $H(x, y)$ に基づいて、ウエハWの面位置を制御するようにしてもよい。
- [0190] なお、上記各実施形態では、液体として超純水(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に対する透過性があるだけ屈折率が高く、また、投影光学系やウエハ表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なもの(例えばセダー油等)を使

用することもできる。また、F₂レーザを光源とする場合は、フロンブリンオイルを選択すれば良い。

[0191] また、上記各実施形態で、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。

[0192] なお、上記各実施形態では、投影光学系PLの最も像面側の光学素子が先玉91であるものとしたが、その光学素子は、レンズに限られるものではなく、投影光学系PLの光学特性、例えば収差(球面収差、コマ収差等)の調整に用いる光学プレート(平行平板等)であっても良いし、単なるカバーガラスであっても良い。投影光学系PLの最も像面側の光学素子(上記各実施形態では先玉91)は、照明光ILの照射によってレジストから発生する飛散粒子又は液体中の不純物の付着等に起因して液体(上記各実施形態では水)に接触してその表面が汚れることがある。このため、その光学素子は、鏡筒40の最下部に着脱(交換)自在に固定することとし、定期的に交換することとしても良い。

[0193] このような場合、液体に接触する光学素子がレンズであると、その交換部品のコストが高く、かつ交換に要する時間が長くなってしまい、メンテナンスコスト(ランニングコスト)の上昇やスループットの低下を招く。そこで、液体と接触する光学素子を、例えば先玉91よりも安価な平行平板とするようにしても良い。

[0194] また、上記各実施形態において、液体(水)を流す範囲はレチクルのパターン像の投影領域(照明光ILの照射領域)の全域を覆うように設定されていれば良く、その大きさは任意で良いが、流速、流量等を制御する上で、照射領域よりも少し大きくしてその範囲をできる限り小さくしておくことが望ましい。

[0195] なお、複数のレンズから構成される投影光学系、投影ユニットPUを露光装置本体に組み込み、更に、投影ユニットPUに液体給排ユニット32及び面位置計測装置60を取り付ける。その後、光学調整をするとともに、多数の機械部品からなるレチクルステージやウエハステージWSTを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、更に総合調整(電気調整、動作確認等)をすることにより、上記各実施形態の露光装置を製造することができる。なお、露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理さ

れたクリーンルームで行うことが望ましい。

- [0196] また、上記各実施形態では、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、本発明の適用範囲がこれに限定されないことは勿論である。すなわちステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置にも本発明は好適に適用できる。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における露光にも本発明を好適に適用することができる。また、ウエハステージを2基備えたツインステージ型の露光装置にも適用できる。
- [0197] 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や、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。
- [0198] また、上記各実施形態の露光装置の光源は、ArFエキシマレーザー光源に限らず、KrFエキシマレーザー光源、F₂レーザー光源などのパルスレーザー光源や、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、DFB半導体レーザー又はファイバーレーザーから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザー光を、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)がドーパ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。また、投影光学系の倍率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。
- [0199] また、上記各実施形態では、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やプラズマレーザーを光源として、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。

[0200] また、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。なお、電子線露光装置は、ペンシルビーム方式、可変成形ビーム方式、セルプロジェクション方式、ブランキング・アパーチャ・アレイ方式、及びマスク投影方式のいずれであっても良い。例えば、電子線を用いる露光装置では、電磁レンズを備えた光学系が用いられる。

[0201] 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、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によりレチクルのパターンをウエハに転写するステップ、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。

産業上の利用可能性

[0202] 以上述べたように、本発明の露光装置は、半導体素子、液晶表示素子等を製造するためのリソグラフィ工程に適している。

請求の範囲

- [1] 投影光学系を介して露光光を物体の表面上に照射する露光装置であって、
前記物体を保持して前記投影光学系の光軸に直交する2次元面内を移動可能な
ステージと；
前記投影光学系を介して前記露光光が照射される所定領域の周囲の少なくとも一
部に配置された複数の計測点を有し、該複数の計測点のそれぞれにおいて前記投
影光学系の光軸に関する物体の面位置情報を計測する第1計測装置と；
前記第1計測装置の計測結果に基づいて、前記物体の面形状情報を算出する算
出装置と；
前記ステージの位置情報を計測する第2計測装置と；
前記算出装置の算出結果と前記第2計測装置の計測結果とに基づいて、前記所
定領域に対する物体の面位置を制御する制御装置と；を備える露光装置。
- [2] 請求項1に記載の露光装置において、
前記算出装置は、
前記ステージの移動に伴い、異なる計測点で計測される前記物体上の所定の地点
での面位置情報に基づいて、前記物体の面形状情報におけるその地点での面位置
を算出することを特徴とする露光装置。
- [3] 請求項2に記載の露光装置において、
前記算出装置は、
前記物体上の所定の地点での前記第1計測装置の計測結果のその信頼性に基づ
く重み付け平均値を、前記物体の面形状情報におけるその地点での面位置として算
出することを特徴とする露光装置。
- [4] 請求項3に記載の露光装置において、
前記算出装置は、
前記第1計測装置の計測結果の重みを、その計測に要する時間に応じて変更する
ことを特徴とする露光装置。
- [5] 請求項3に記載の露光装置において、
前記算出装置は、

前記第1計測装置の計測結果の重みを、その計測の際の前記ステージの移動加速度に応じて変更することを特徴とする露光装置。

- [6] 請求項1に記載の露光装置において、
前記第1計測装置は、
前記複数の計測点のうち少なくとも1つの計測点に前記物体の所定の地点が位置している場合には、前記少なくとも1つの計測点での前記物体の面位置情報の計測を行うことを特徴とする露光装置。
- [7] 請求項6に記載の露光装置において、
前記第1計測装置は、
前記物体上に形成された前記物体の位置合わせ用マークの位置情報の検出の際に、前記物体の面位置情報の計測を行うことを特徴とする露光装置。
- [8] 請求項1に記載の露光装置において、
前記複数の計測点のうち所定の計測点で計測された前記物体上の所定の地点の面位置情報と、他の計測点でのその地点での計測結果を含む複数回の計測結果から得られる面位置情報との差に基づいて、前記所定の計測点での校正情報を算出する校正装置をさらに備えることを特徴とする露光装置。
- [9] 請求項8に記載の露光装置において、
前記校正装置は、
前記第1計測装置により前記所定の計測点で前記物体の所定の地点の面位置が計測される際のその計測結果の信頼性を考慮しつつ、前記校正情報を算出することを特徴とする露光装置。
- [10] 請求項1に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、
前記所定領域の周囲を三重に囲むように配置された計測点を含むことを特徴とする露光装置。
- [11] 請求項10に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、前記所定領域の外側を囲む第1の枠状領域と、前記第1の枠状領域の外側を囲む第2の枠状領域と、前記第2の枠状領域の外側を囲む第3の

枠状領域とにそれぞれ配置され、

前記所定領域を基準とする前記2次元面内の任意の方向で、

前記第2の枠状領域のその方向に関するサイズが前記所定領域のその方向に関するサイズ以上であり、

前記第2の枠状領域の一部と前記所定領域とを重ね合わせた場合に、前記第1の枠状領域及び前記第3の枠状領域に含まれる同一直線上にない少なくとも3つの計測点が、前記第1の枠状領域の計測点と重なるように、前記複数の計測点が配置されていることを特徴とする露光装置。

[12] 請求項11に記載の露光装置において、

前記第1計測装置は、

前記少なくとも3つの計測点と、前記第2の枠状領域の少なくとも1つの計測点とで、前記物体の面位置情報を同時に計測し、

前記算出装置は、

前記第1計測装置の計測結果に基づいて、前記物体の一部の領域の面形状情報を算出し、

前記制御装置は、

前記ステージの移動により前記物体の一部の領域が前記第1の枠状領域にさしかかったときに、前記第1の枠状領域の計測点のうちの前記少なくとも3つの計測点にそれぞれ対応する計測点での計測結果と、前記物体の一部の領域の面形状情報とに基づいて、前記物体の面位置を制御することを特徴とする露光装置。

[13] 請求項10に記載の露光装置において、

前記各枠状領域は、

隣接する枠状領域の間隔が同一で、かつ、前記所定領域の中心と前記第1の枠状領域との距離が、前記間隔の整数倍となるように配置されていることを特徴とする露光装置。

[14] 請求項13に記載の露光装置において、

前記算出装置は、

前記ステージの移動前の前記少なくとも4つの計測点での計測結果と、前記ステー

ジの移動後の前記少なくとも4つの計測点での計測結果との中に、前記物体上の同一直線上にない少なくとも3つの地点における面位置情報が含まれていた場合には、前記少なくとも3つの地点の面位置情報を基準として該2つの計測結果をつなぎ合わせるにより、前記物体の面形状情報を算出することを特徴とする露光装置。

- [15] 請求項1に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、前記所定領域の周囲を二重に囲むように配置された計測点を含み、
前記算出装置は、
前記第1計測装置の計測結果と、前記第2計測装置によって計測された前記2次元面に対する前記ステージの傾斜情報とに基づいて、前記物体の面形状情報を算出することを特徴とする露光装置。
- [16] 請求項15に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、前記所定領域の外側を囲む第1の枠状領域と、前記第1の枠状領域の外側を囲む第2の枠状領域とにそれぞれ配置され、
前記所定領域を基準とする前記2次元面内の任意の方向で、
前記第1の枠状領域のその方向のサイズが、前記所定領域のその方向のサイズ以上であり、
前記第1の枠状領域と前記所定領域とを重ね合わせたときに、前記第2の枠状領域における少なくとも1つの計測点が、前記第1の枠状領域の計測点と重なるように、前記複数の計測点が配置されていることを特徴とする露光装置。
- [17] 請求項16に記載の露光装置において、
前記第1計測装置は、
前記第3の枠状領域の少なくとも1つの計測点と、前記第1の枠状領域の少なくとも1つの計測点とで、前記物体の面位置情報を同時に計測し、
前記算出装置は、
前記第1計測装置の計測結果に基づいて、前記物体の一部の領域の面形状情報を算出し、
前記制御装置は、

前記ステージの移動により前記物体の一部の領域が前記第1の枠状領域にさしかかったときに、前記第1の枠状領域の計測点のうちの前記少なくとも1つの計測点にそれぞれ対応する計測点での計測結果と、前記物体の一部の領域の面形状情報とに基づいて、前記物体の面位置を制御することを特徴とする露光装置。

- [18] 請求項15に記載の露光装置において、
前記所定領域の中心から前記第1の枠状領域までの距離が、前記第1の枠状領域と、第2の枠状領域との間隔の整数倍となるように配置されていることを特徴とする露光装置。
- [19] 請求項18に記載の露光装置において、
前記算出装置は、
前記ステージの移動前の前記複数の計測点における計測結果と、前記ステージの移動後の前記複数の計測点における計測結果との中に、前記物体上の少なくとも1つの地点における面位置情報が含まれている場合には、前記少なくとも1つの地点の面位置情報を基準として2つの計測結果をつなぎ合わせることにより、前記物体の面形状情報を算出することを特徴とする露光装置。
- [20] 請求項1に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、
前記露光光を前記物体上に照射する際の前記ステージの移動方向に平行な第1方向に沿った2列の第1の計測点列と、前記第1方向に直交する第2方向に沿った2列の第2の計測点列とで、前記所定領域を実質的に囲むように配置されており、
前記算出装置は、
前記第2計測点列における前記物体の面位置情報に基づいて、前記物体の面形状情報を算出し、
前記制御装置は、
前記ステージの移動により、前記面形状情報に対応する領域が前記所定領域に差し掛かったとき、前記面形状情報と、前記第1方向に関する位置が前記所定領域の中心と同じ前記第1計測点列の計測点での面位置情報とに基づいて、前記物体の面位置を制御することを特徴とする露光装置。

- [21] 請求項20に記載の露光装置において、
前記第2方向に関し、
前記所定領域の中心から前記第1計測点列の端の計測点までの距離と、前記所定領域の中心から前記第2計測点列までの距離との差が、前記所定領域の長さと同じとなっていることを特徴とする露光装置。
- [22] 請求項1に記載の露光装置において、
前記物体の面形状情報を検出する検出装置をさらに備え、
前記複数の計測点は、前記所定領域を一重に囲むように配置され、
前記制御装置は、
前記算出装置の算出結果と、前記検出装置の検出結果とに基づいて、前記所定領域に対する前記物体の面位置を制御することを特徴とする請求項1に記載の露光装置。
- [23] 請求項1に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、
前記所定領域を含む矩形の4辺のうちの対向する2辺に配置されている計測点を含むことを特徴とする露光装置。
- [24] 請求項23に記載の露光装置において、
前記対向する2辺は、
前記所定領域から見て、前記露光光の照射時における前記物体の進行方向に配置された辺であることを特徴とする露光装置。
- [25] 請求項23に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、
前記所定領域から見て、前記露光光の照射時における前記物体の進行方向に直交する方向に配置された辺であることを特徴とする露光装置。
- [26] 請求項23に記載の露光装置において、
前記複数の計測点は、
前記矩形の4辺のうち、3辺に配置されていることを特徴とする露光装置。
- [27] 請求項1に記載の露光装置において、

前記複数の計測点は、

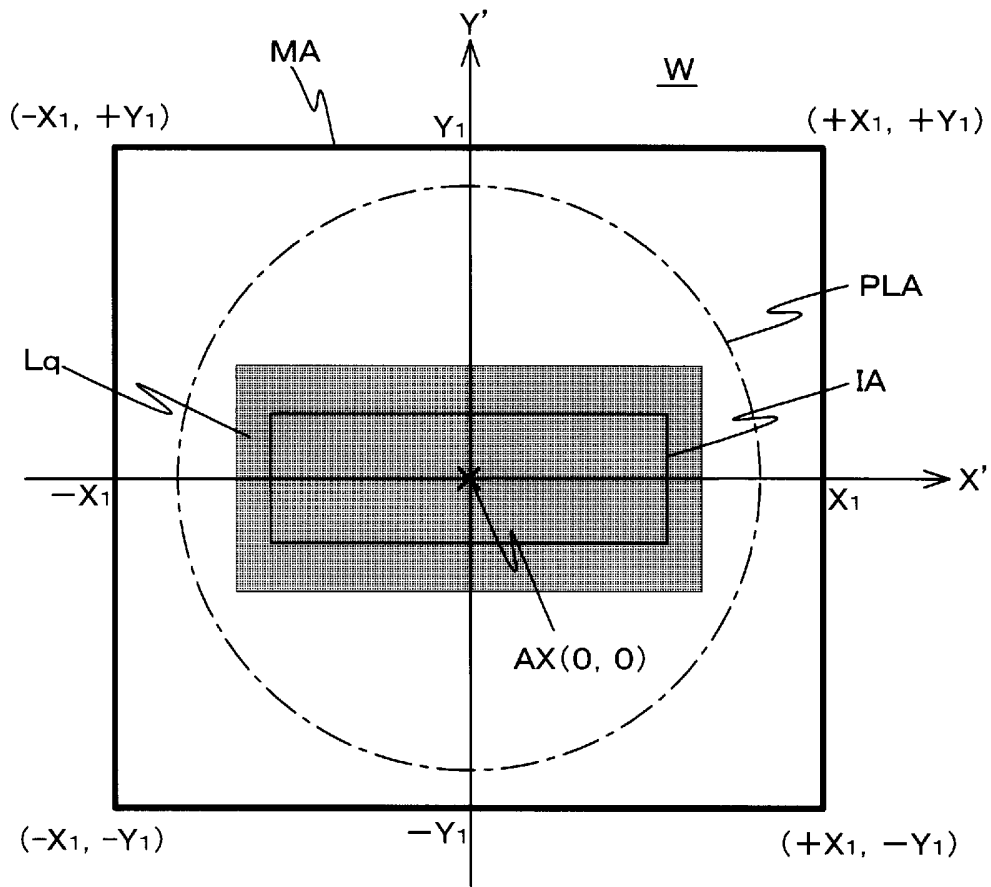
前記所定領域から見て、一方向に、かつ、平行に並べられた複数の列に配置された計測点を含むことを特徴とする露光装置。

[28] 請求項27に記載の露光装置において、

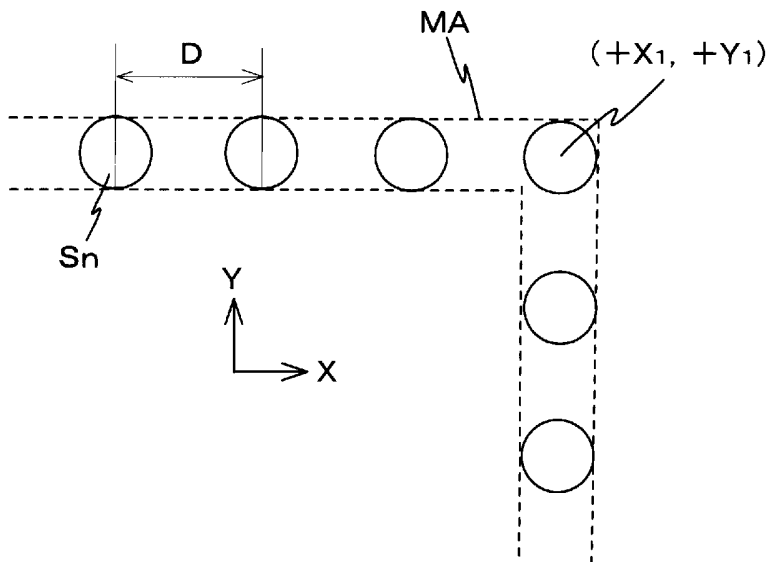
前記物体上に形成された前記物体の位置合わせ用マークを検出するための検出系をさらに備え、

前記複数の計測点の列は、前記所定領域と前記検出系の検出視野との間に配置されていることを特徴とする露光装置。

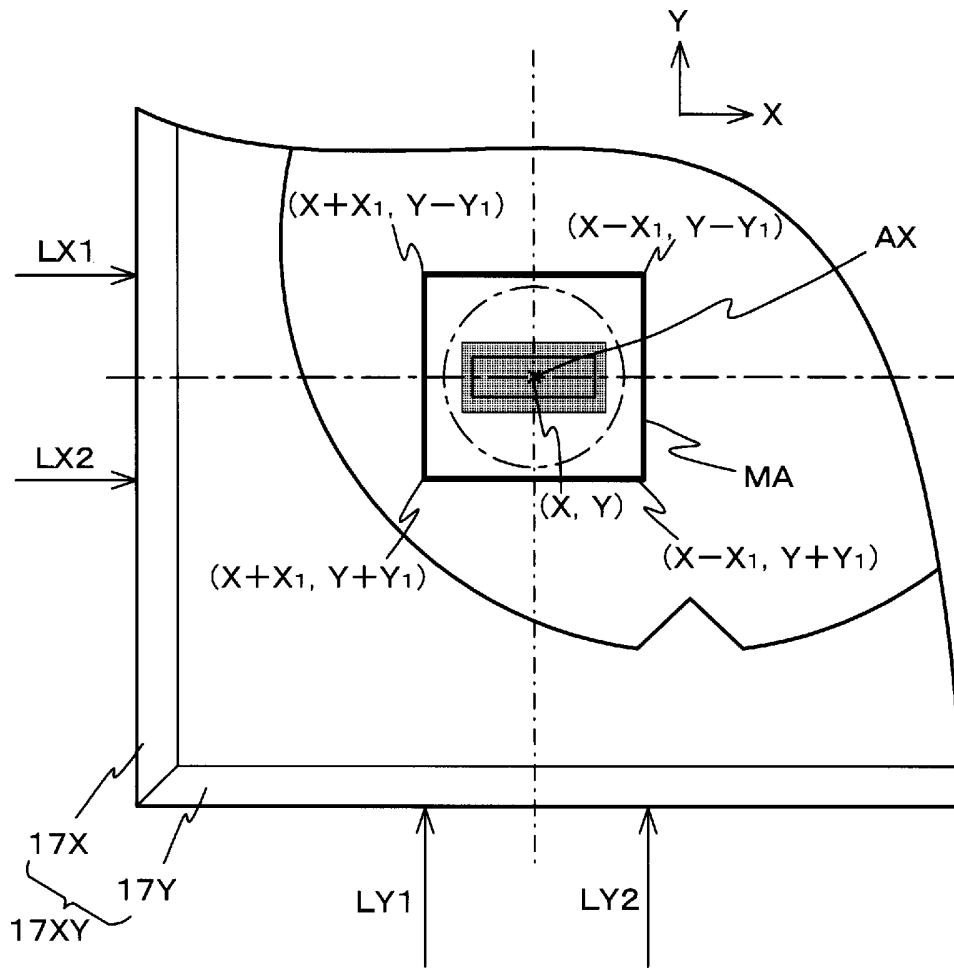
[図2(A)]



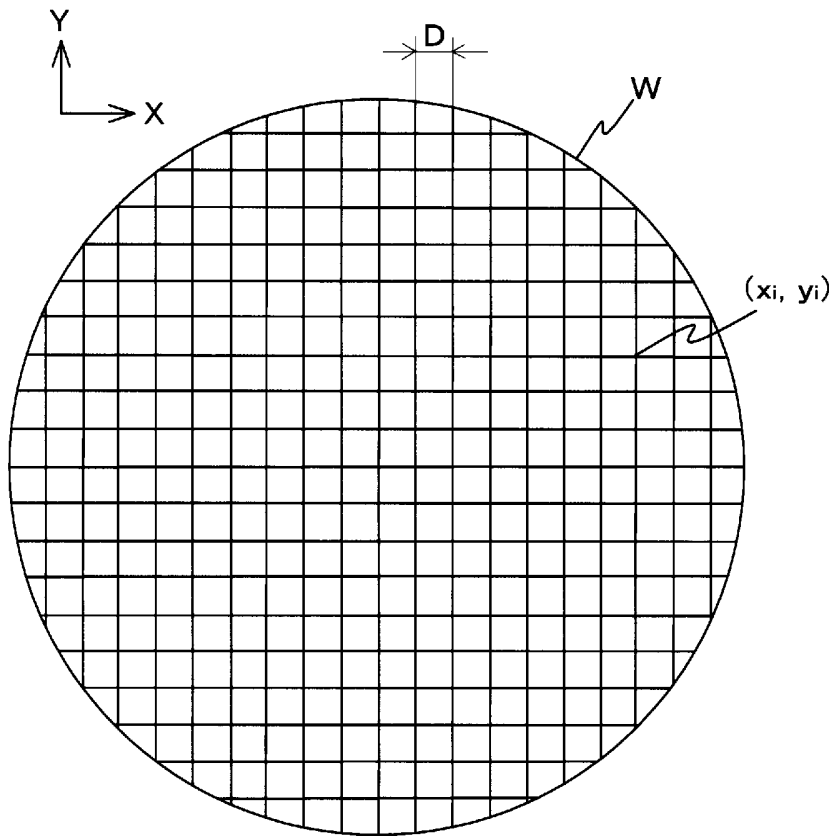
[図2(B)]



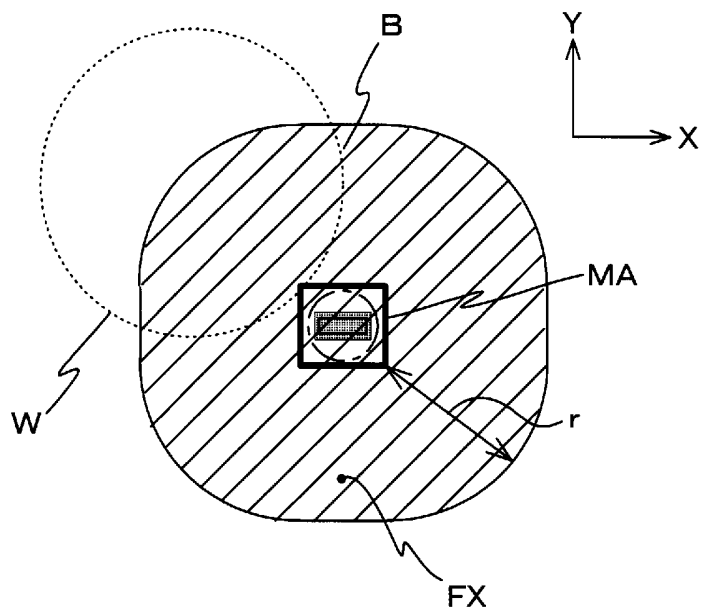
[図3]



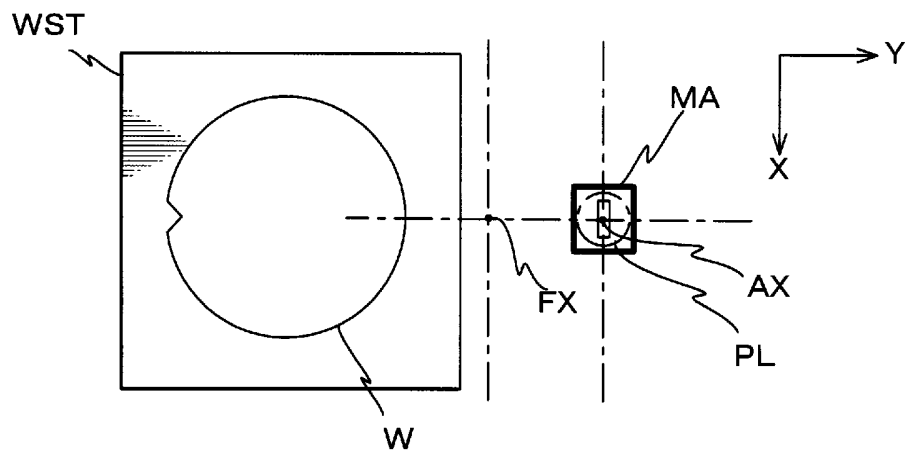
[図4]



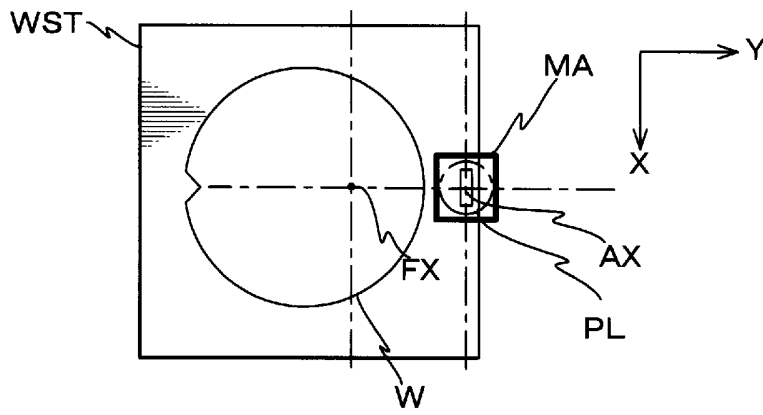
[図5]



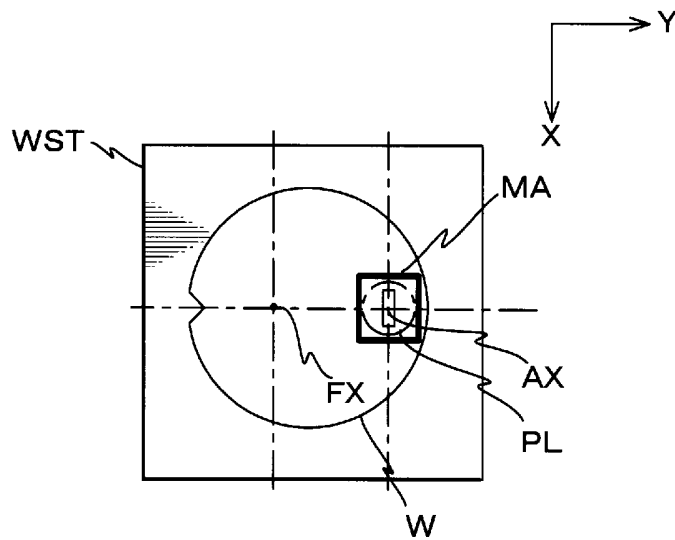
[図6(A)]



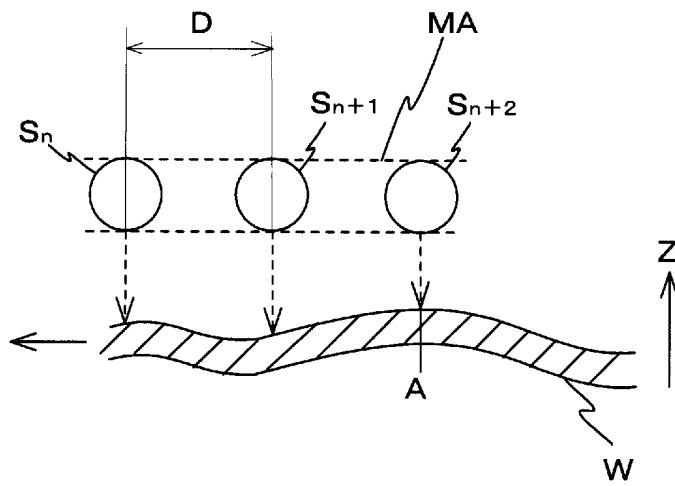
[図6(B)]



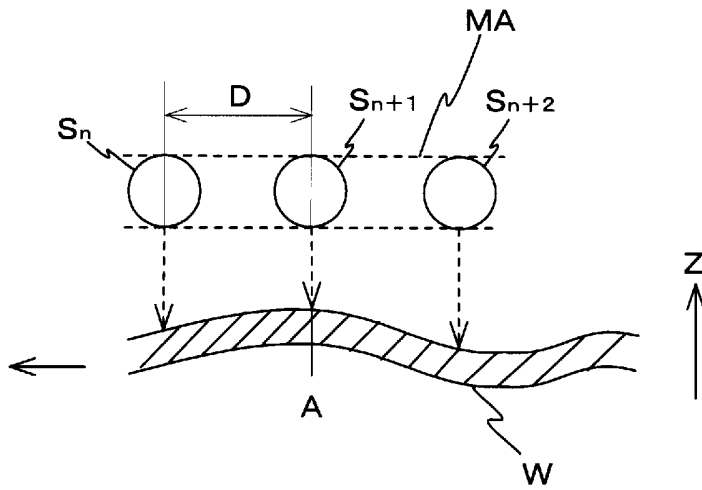
[図6(C)]



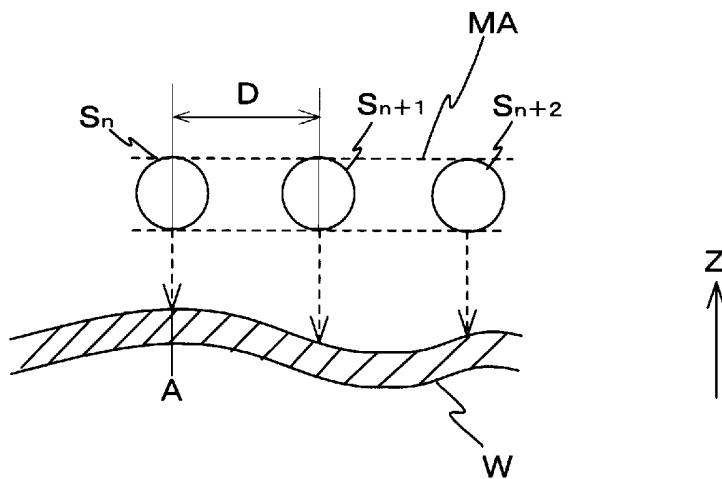
[図7(A)]



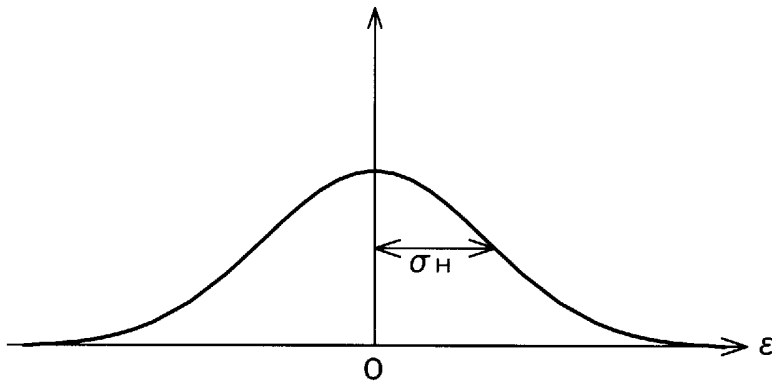
[図7(B)]



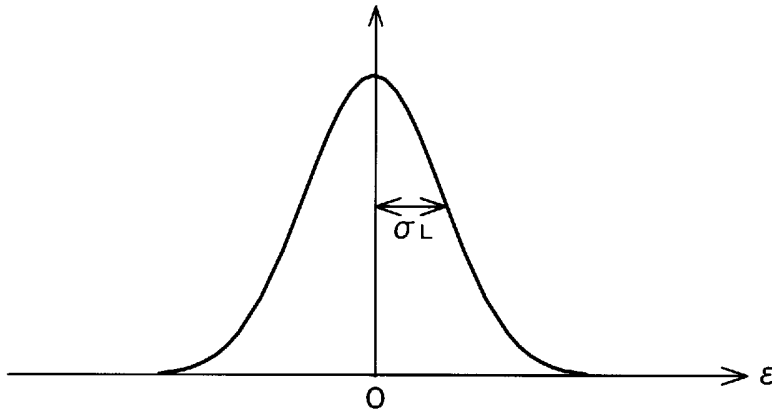
[図7(C)]



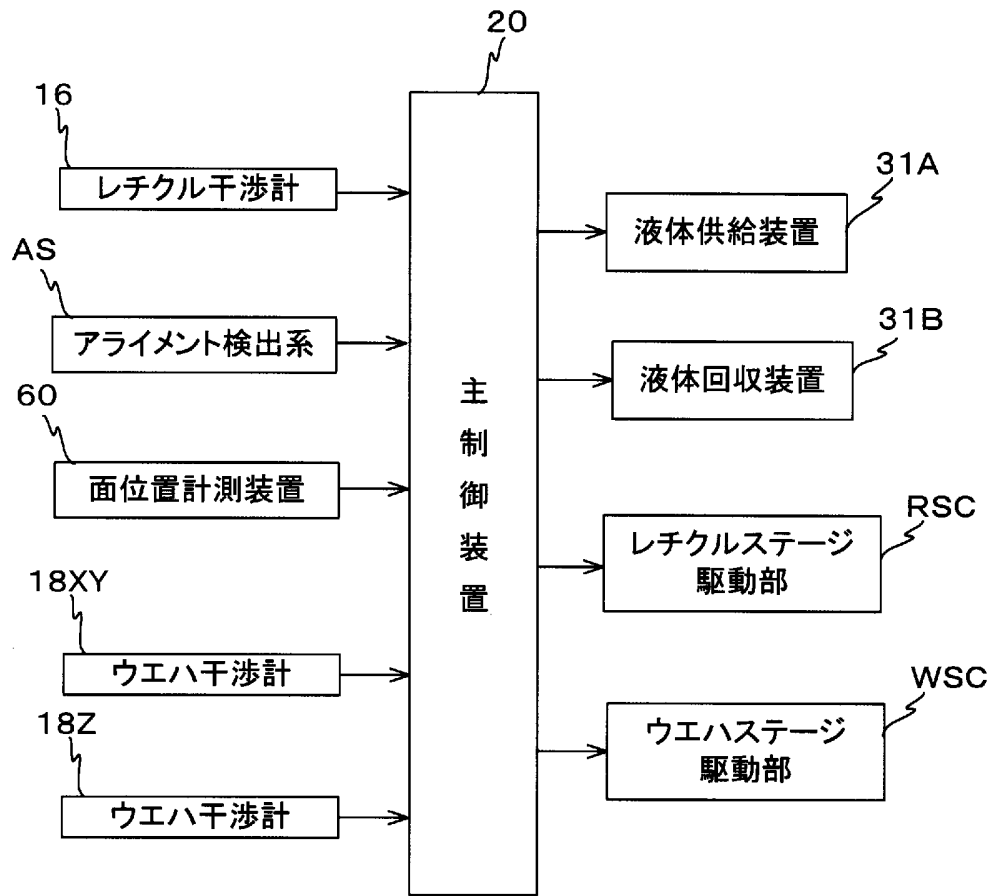
[図8(A)]

移動加速度 α_H での計測誤差分布

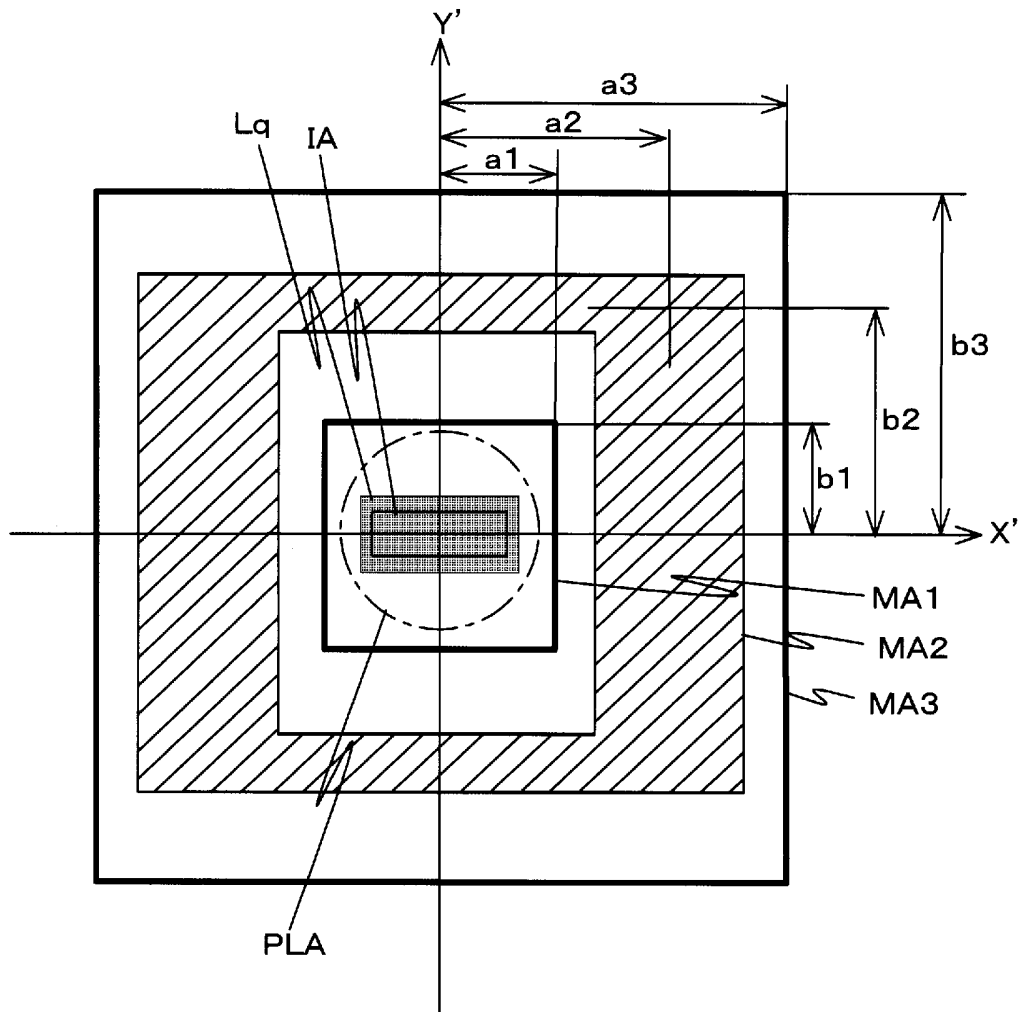
[図8(B)]

移動加速度 α_L での計測誤差分布

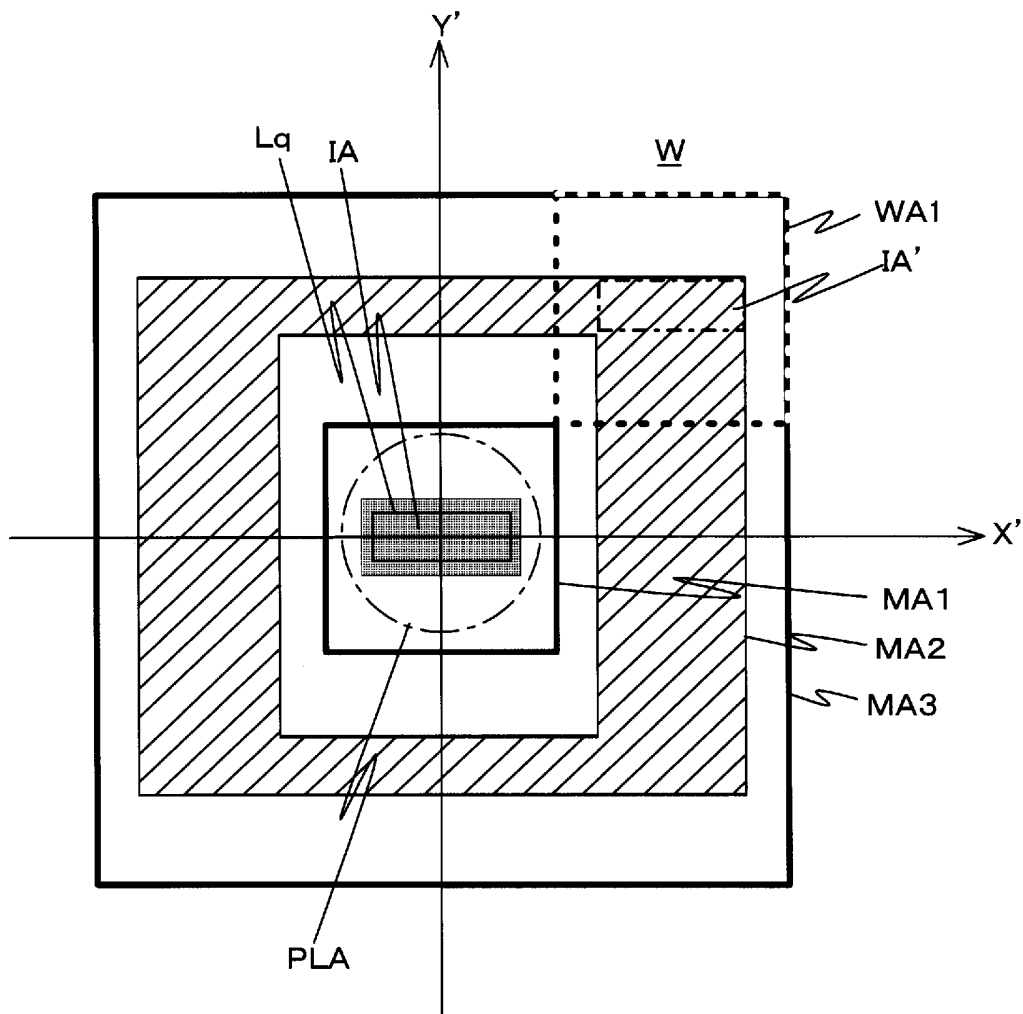
[図9]



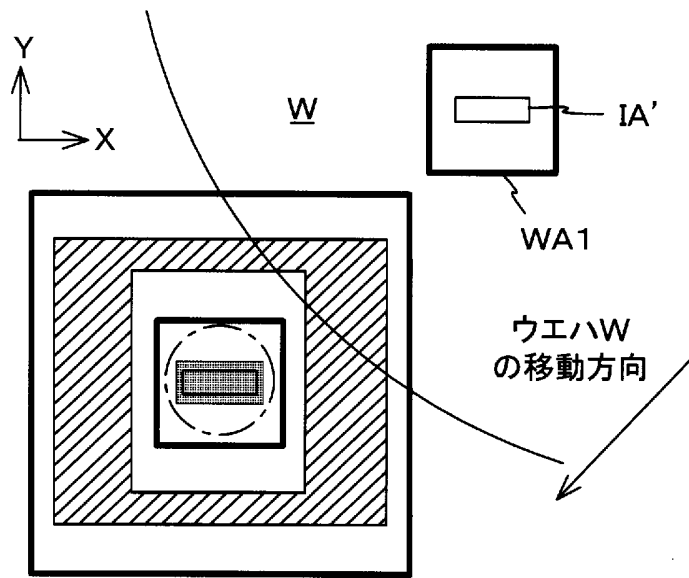
[図10]



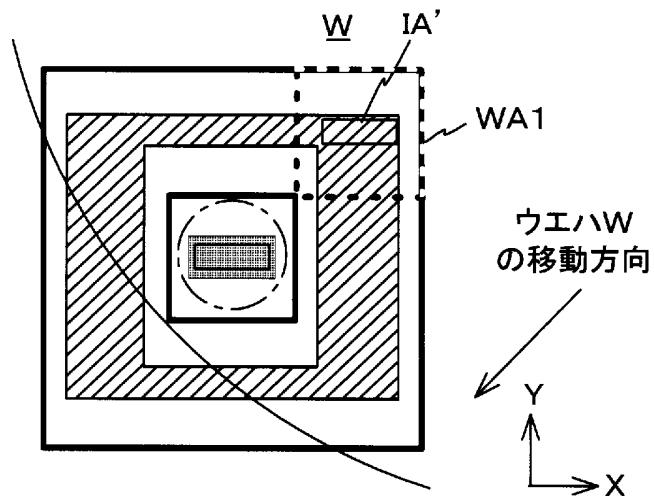
[図11]



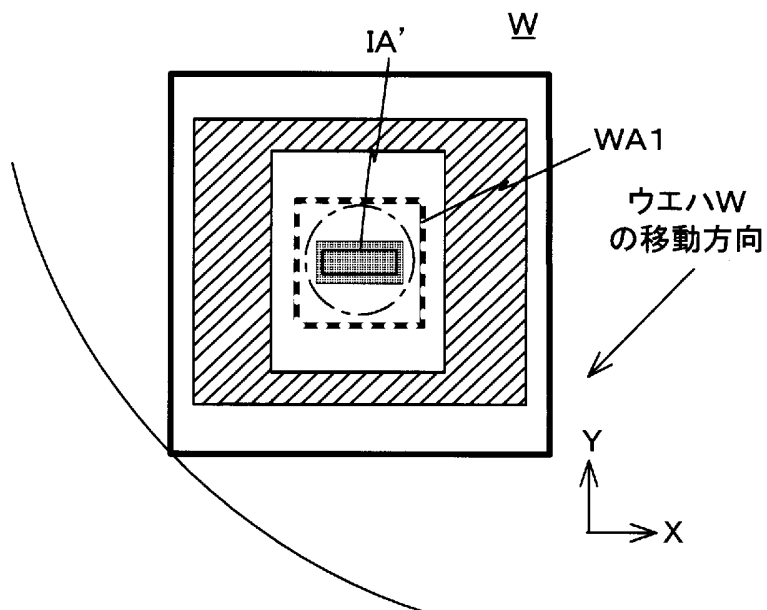
[図12(A)]



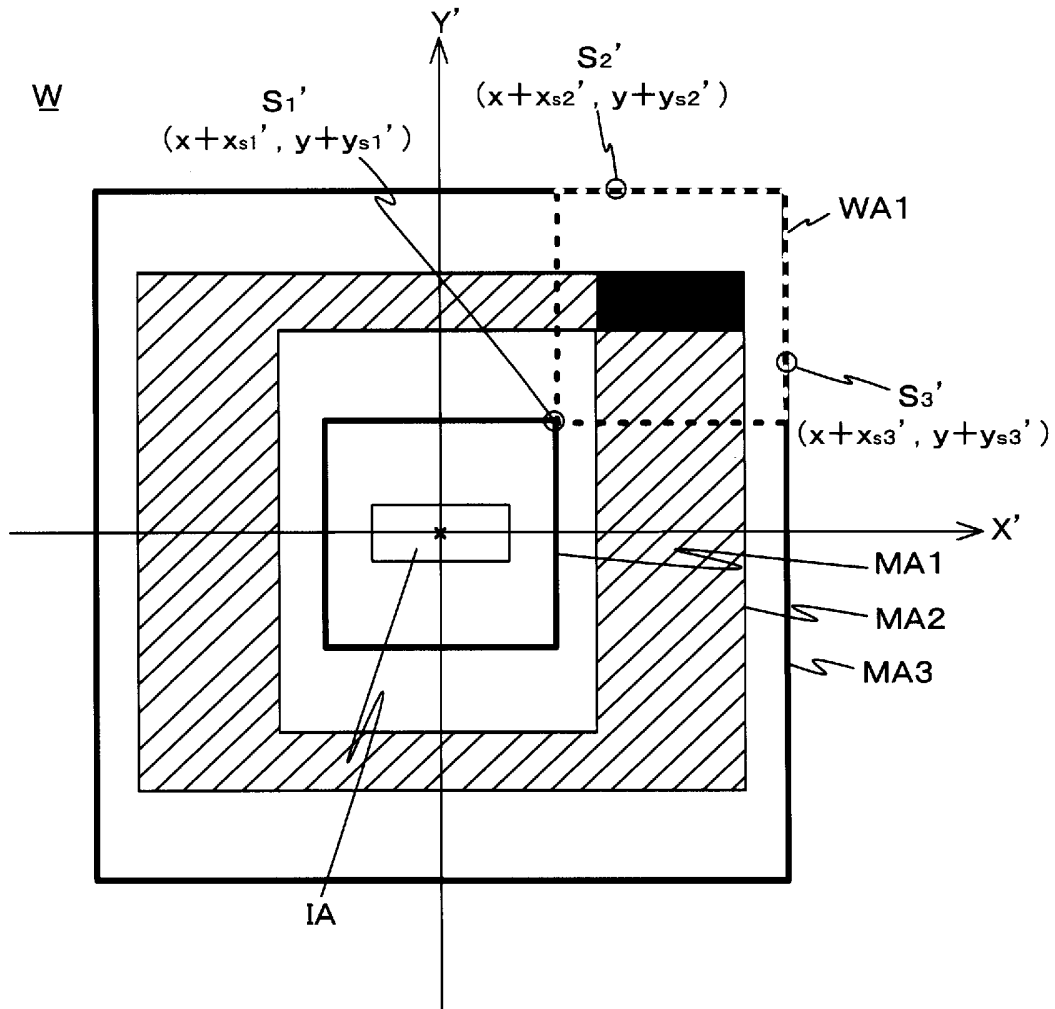
[図12(B)]



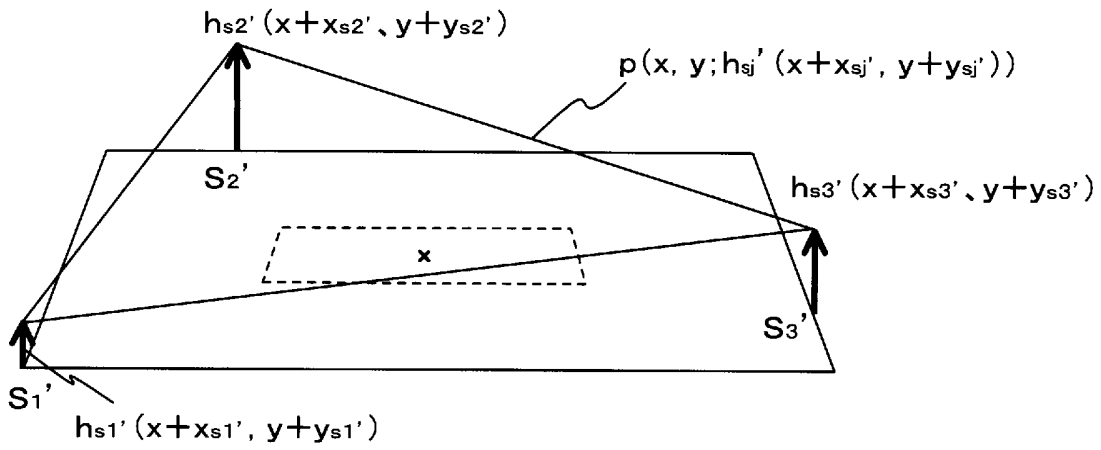
[図12(C)]



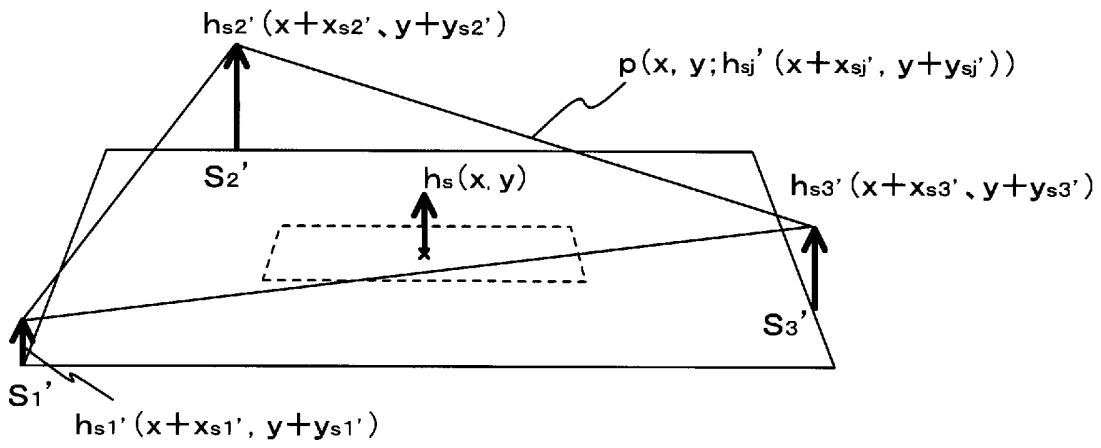
[図13]



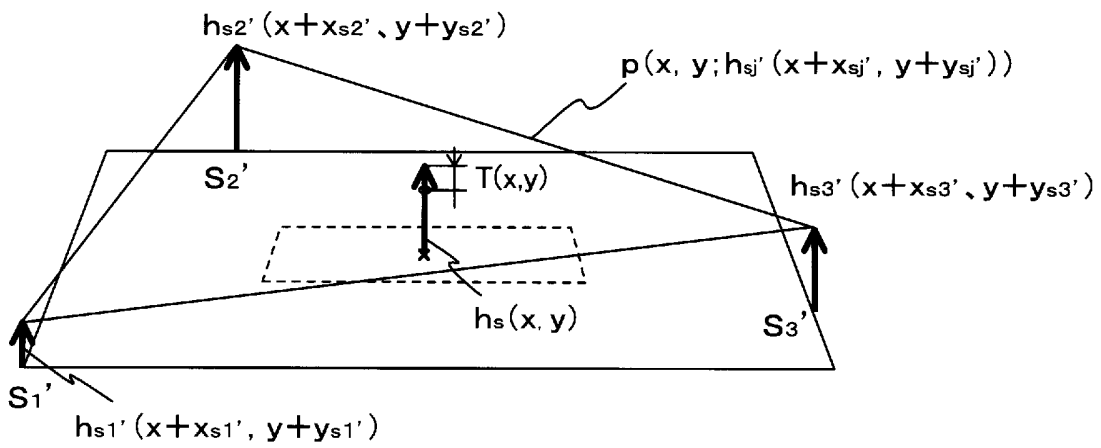
[図14(A)]



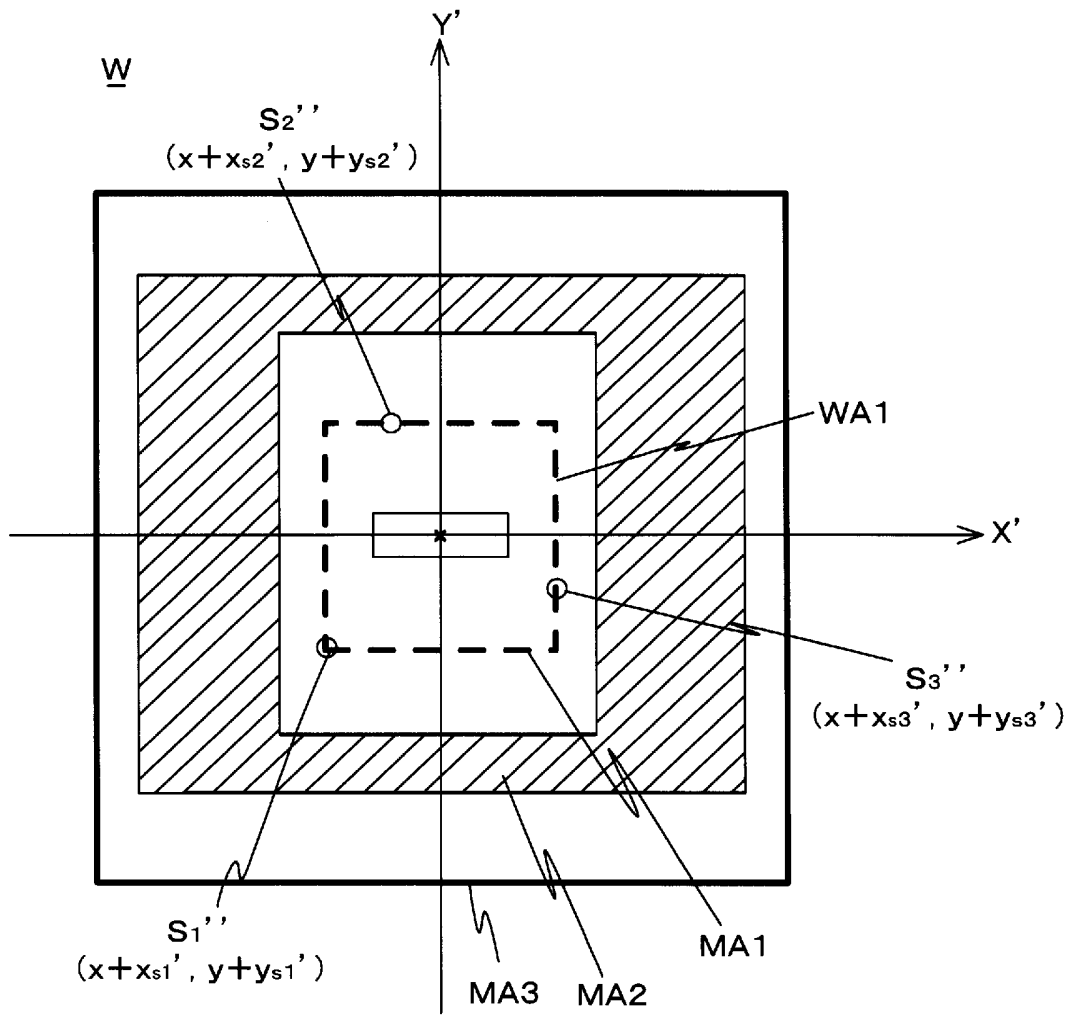
[図14(B)]



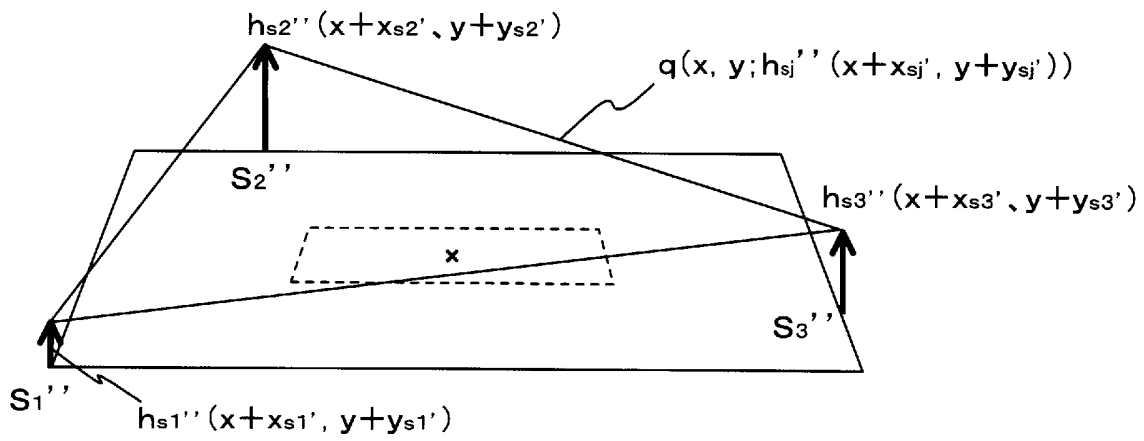
[図14(C)]



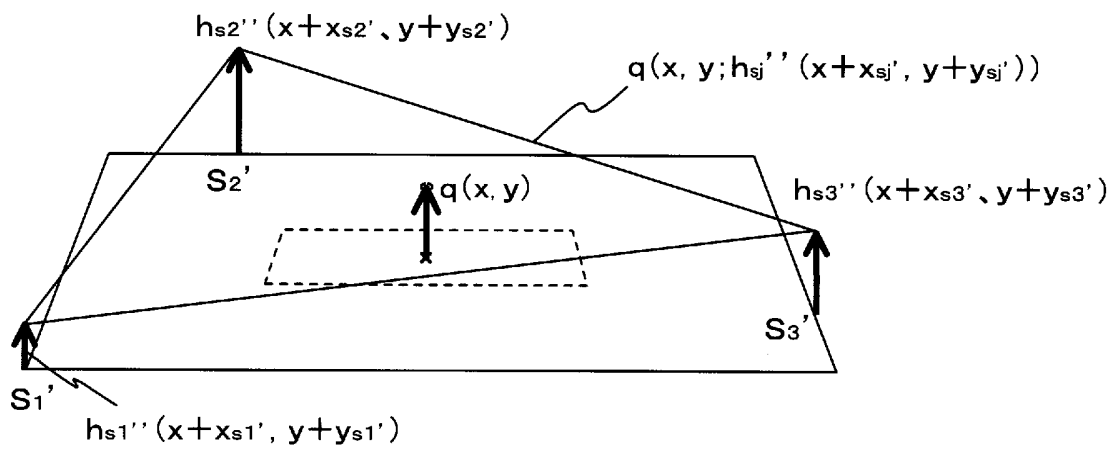
[図15]



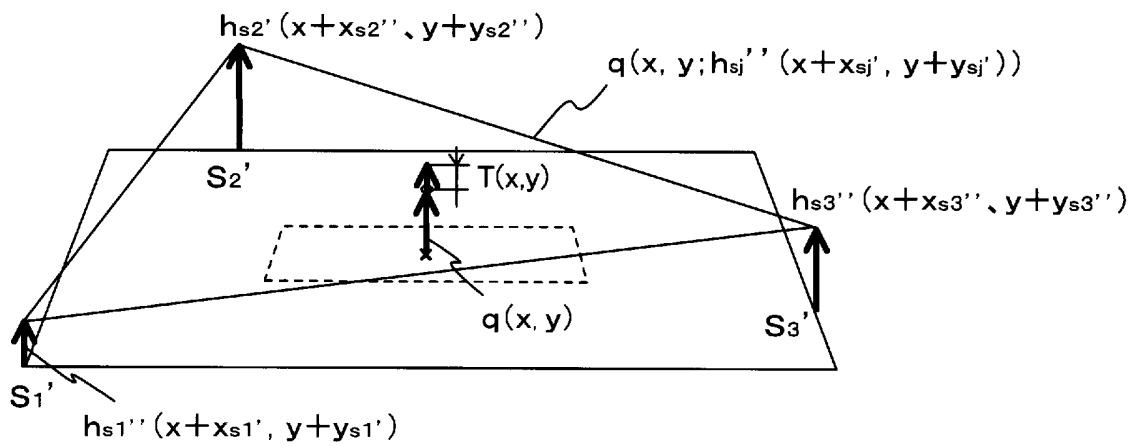
[図16(A)]



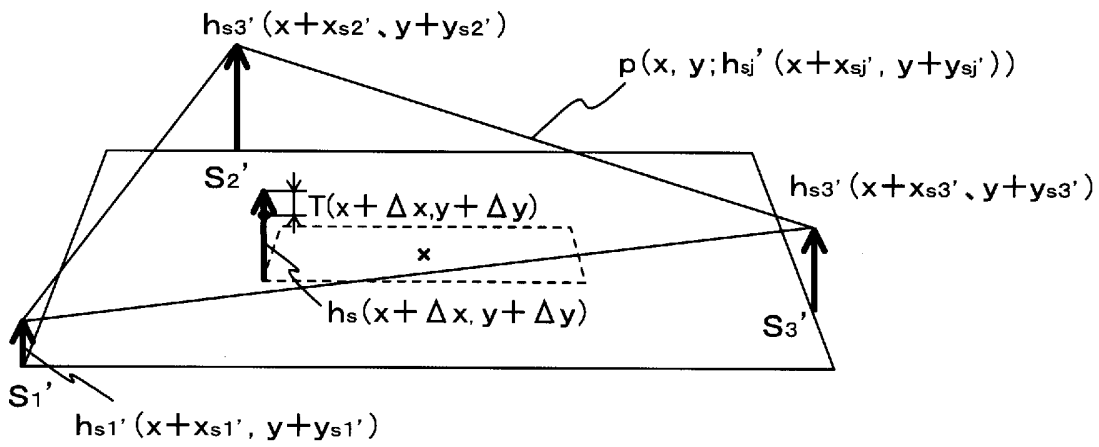
[図16(B)]



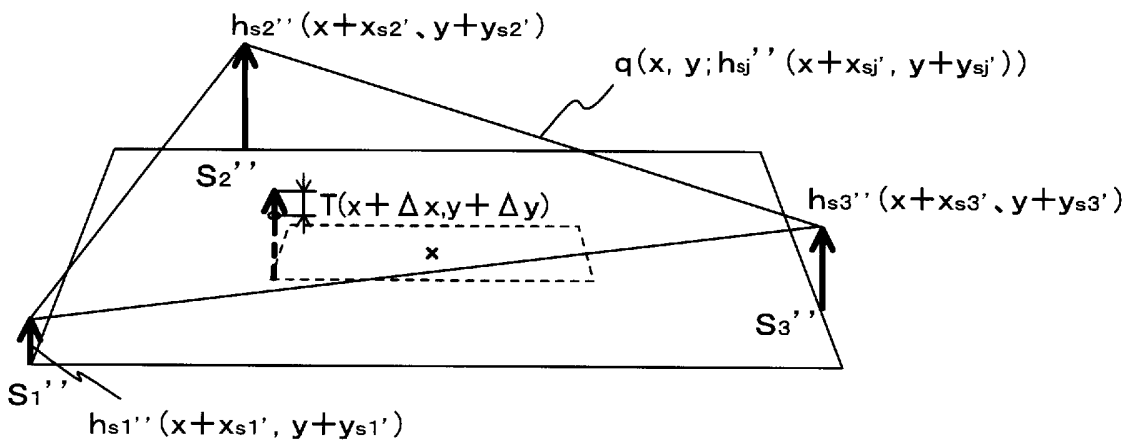
[図16(C)]



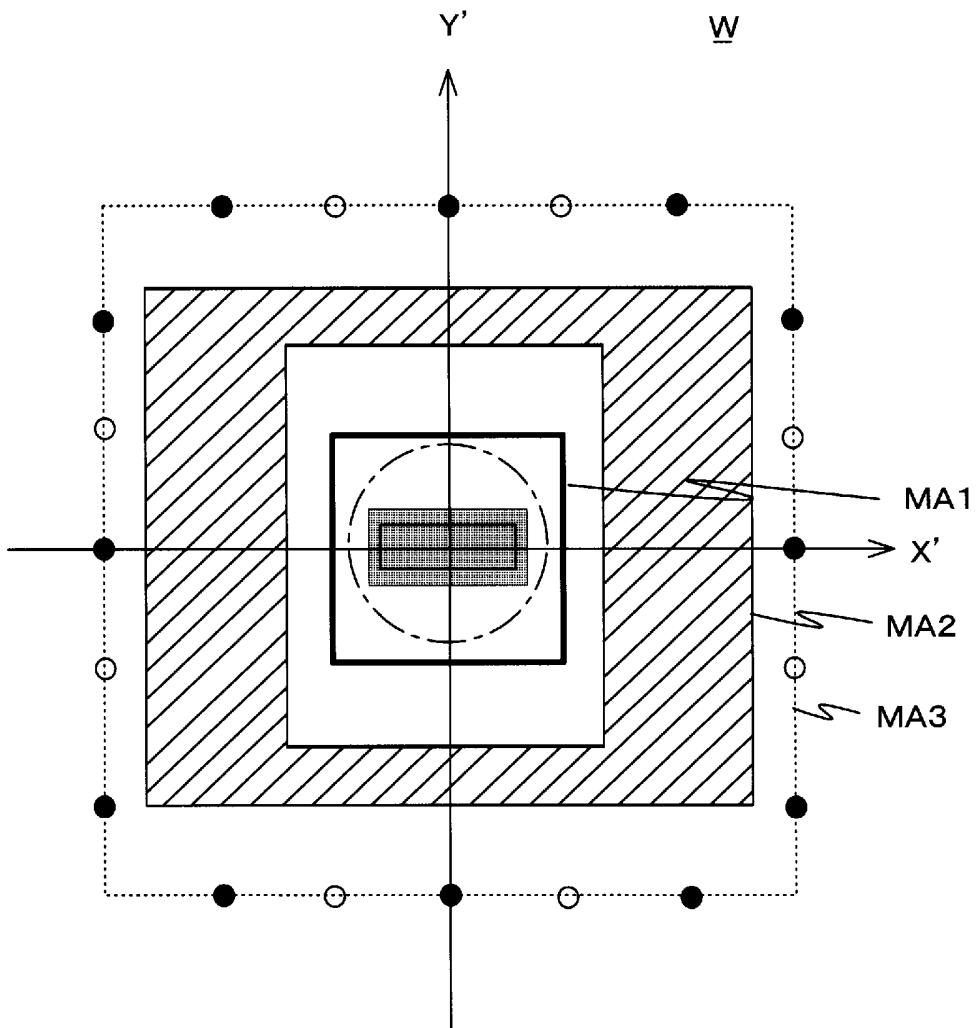
[図17(A)]



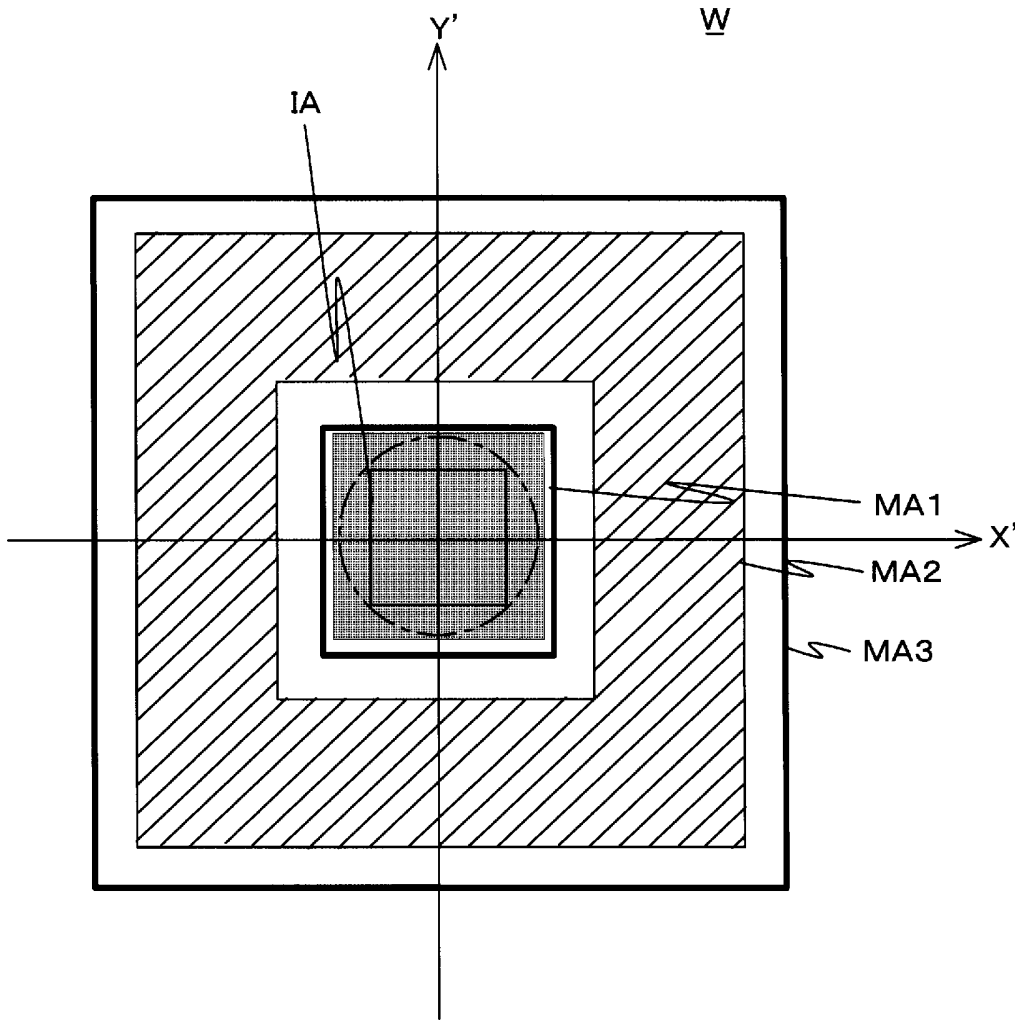
[図17(B)]



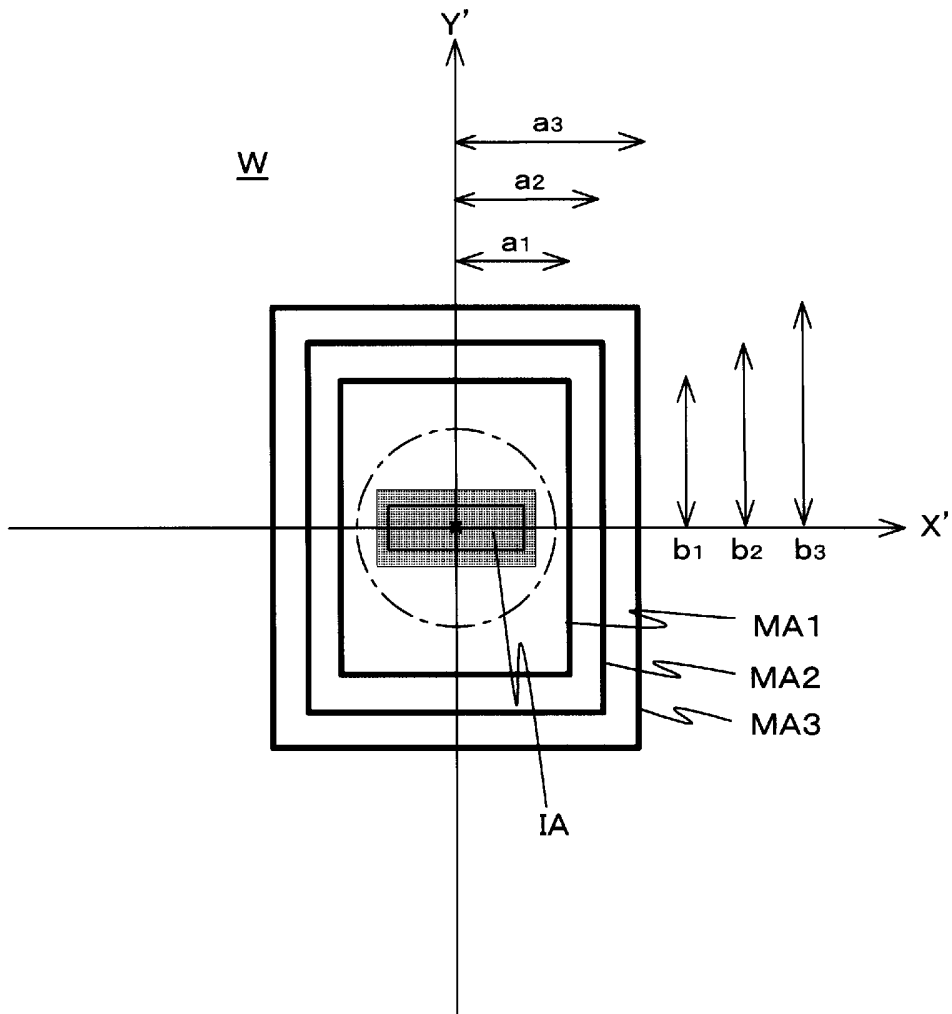
[図18]



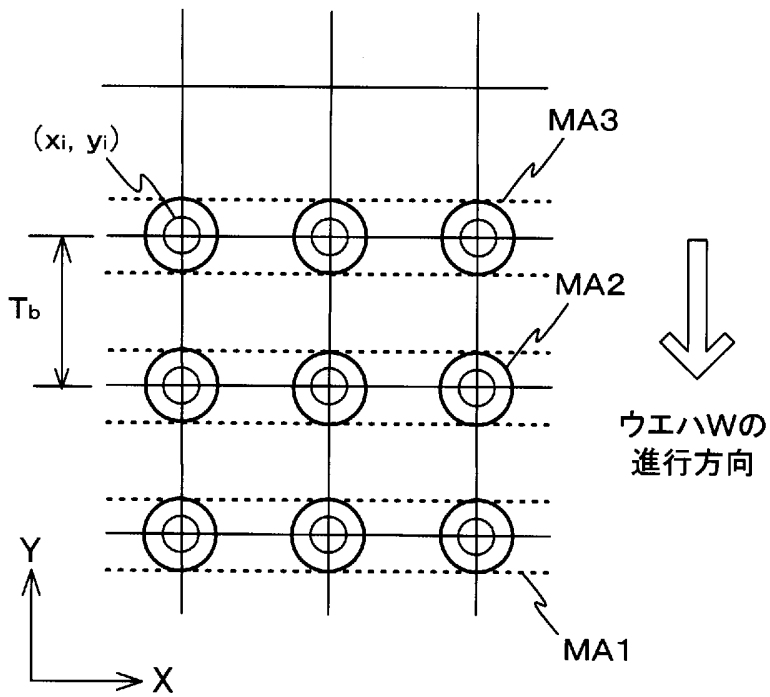
[図19]



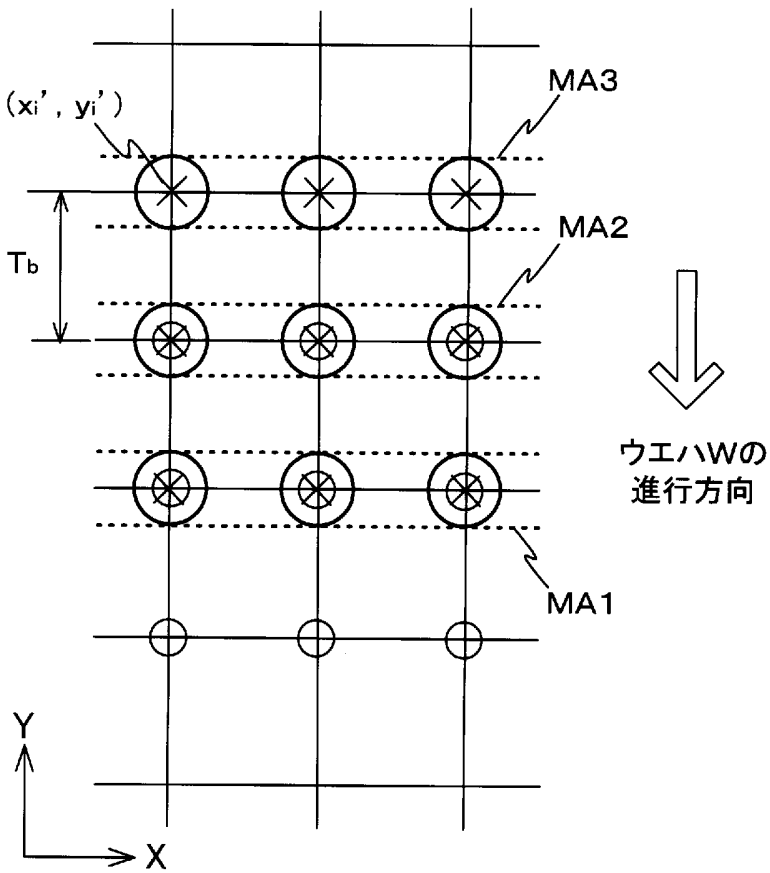
[図20]



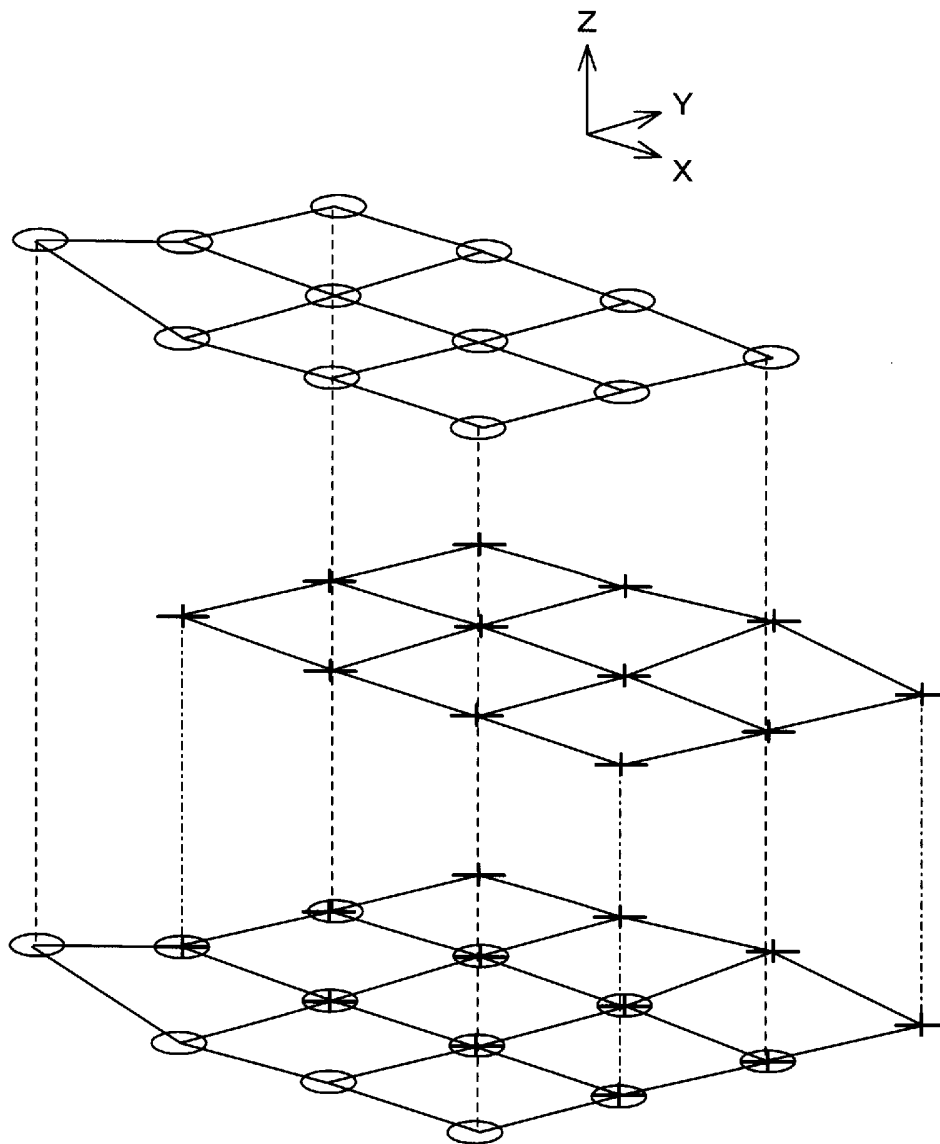
[図21(A)]



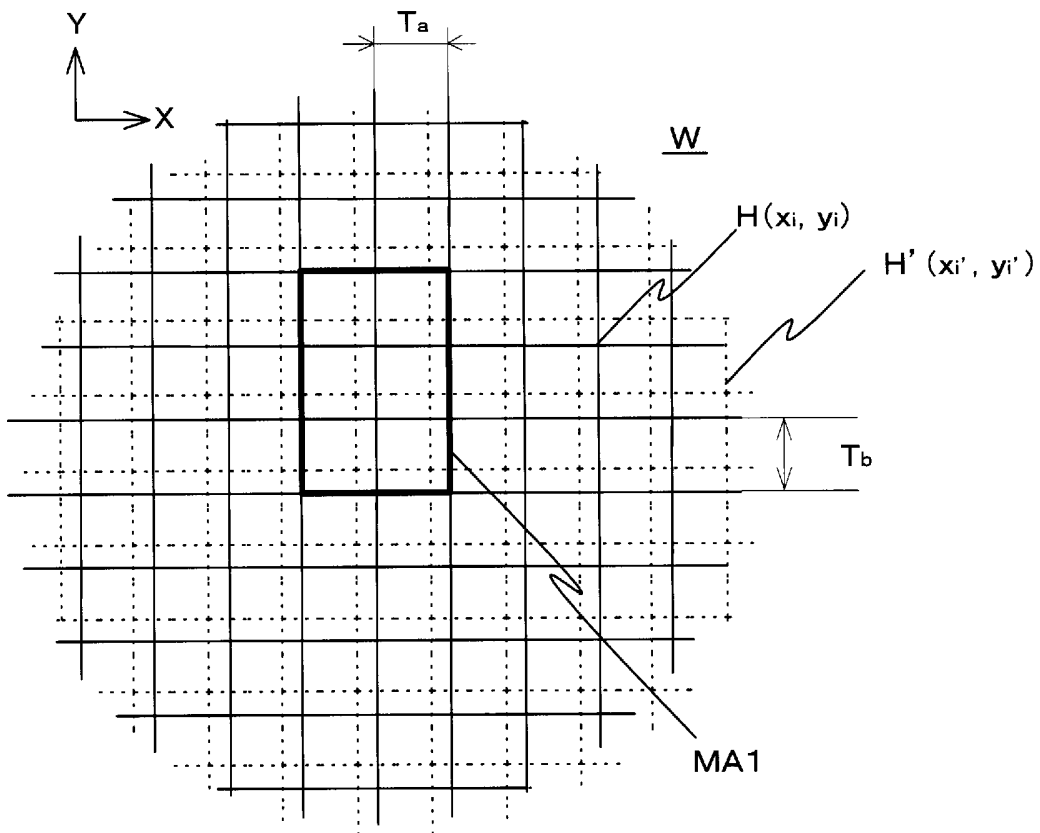
[図21(B)]



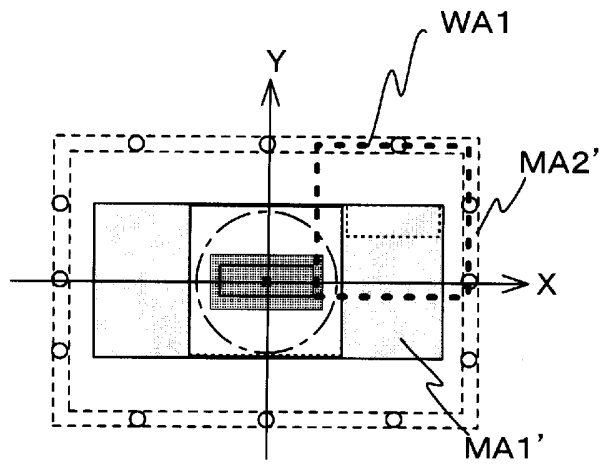
[図22]



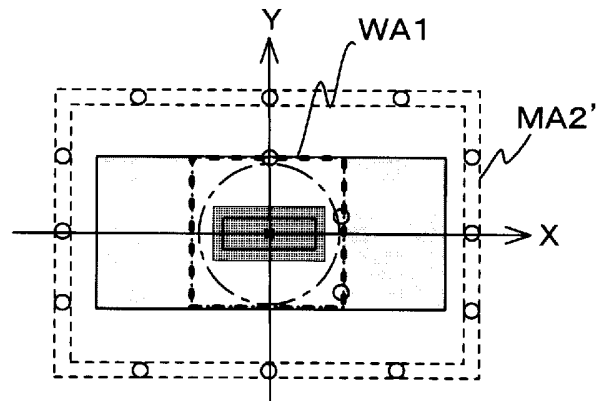
[図23]



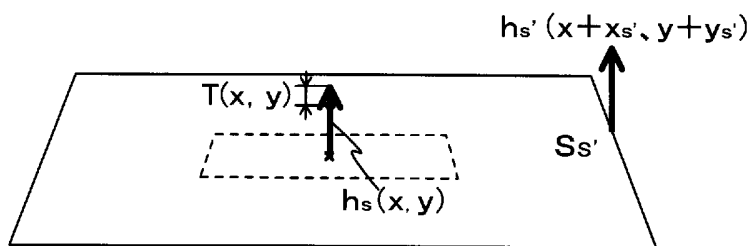
[図24(A)]



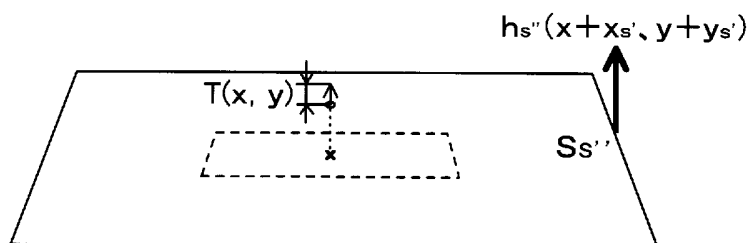
[図24(B)]



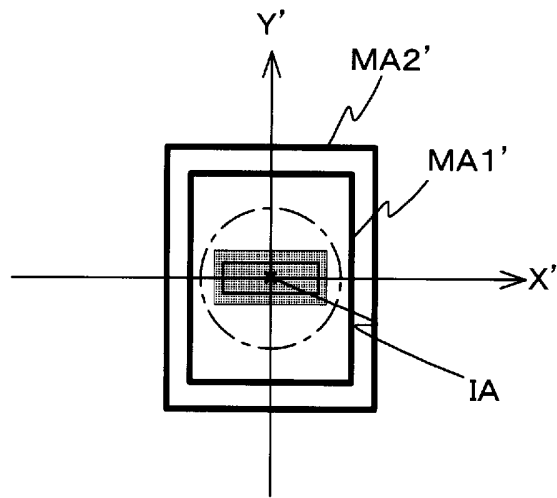
[図24(C)]



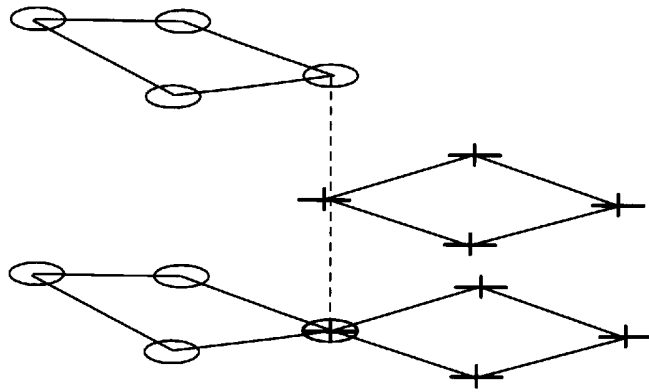
[図24(D)]



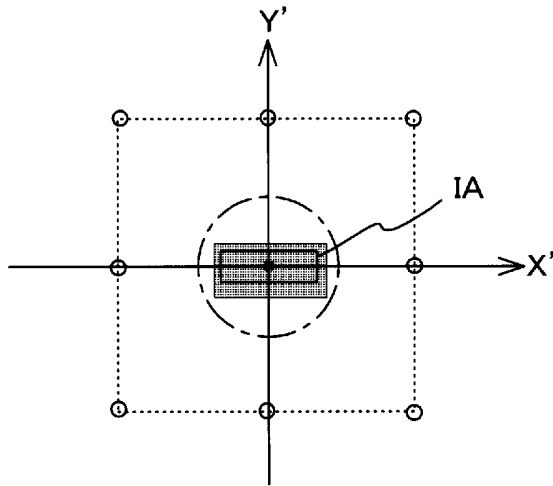
[図25(A)]



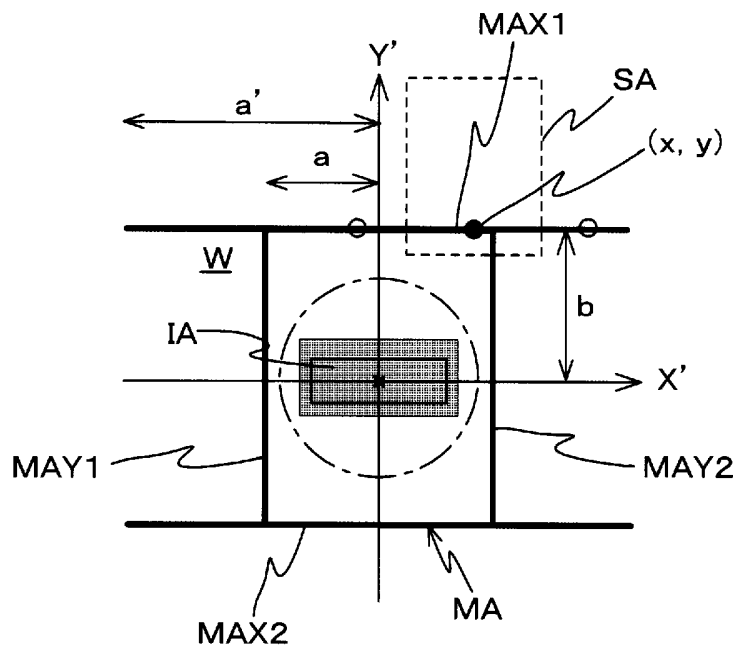
[図25(B)]



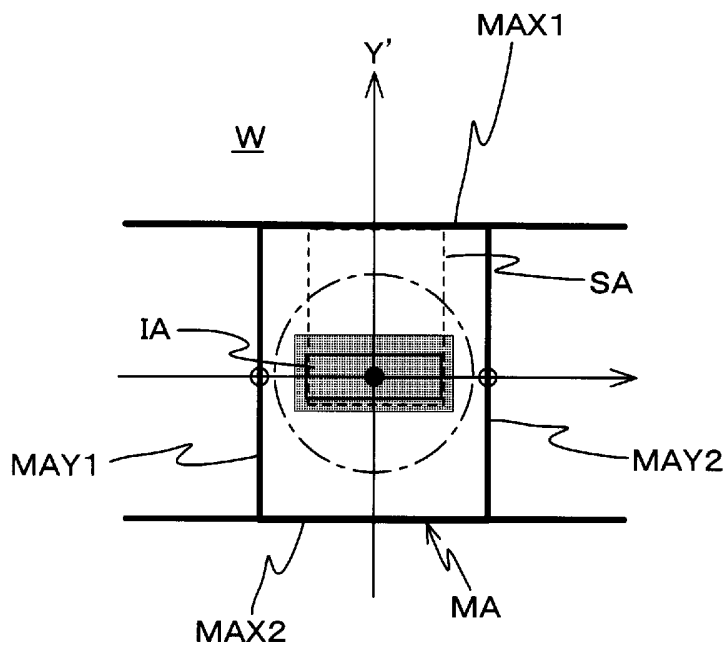
[図26]



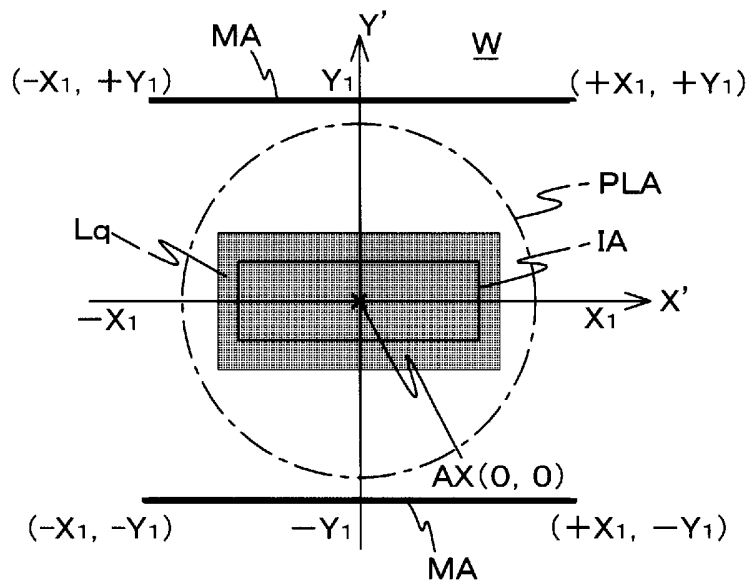
[図27(A)]



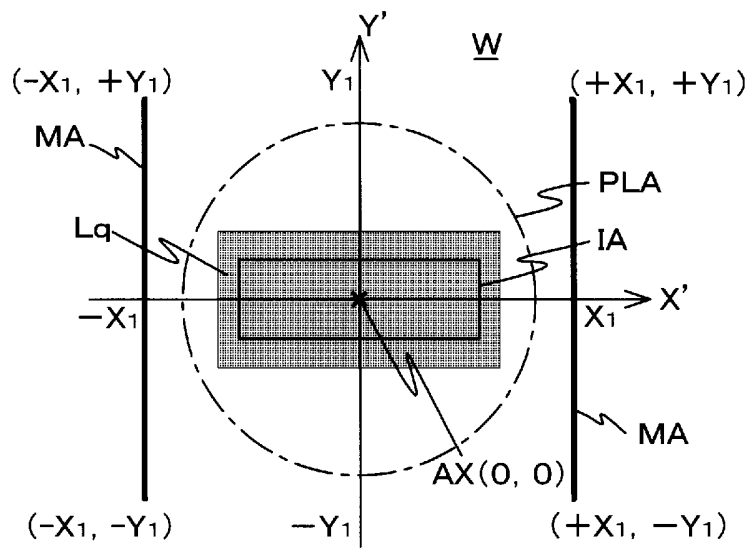
[図27(B)]



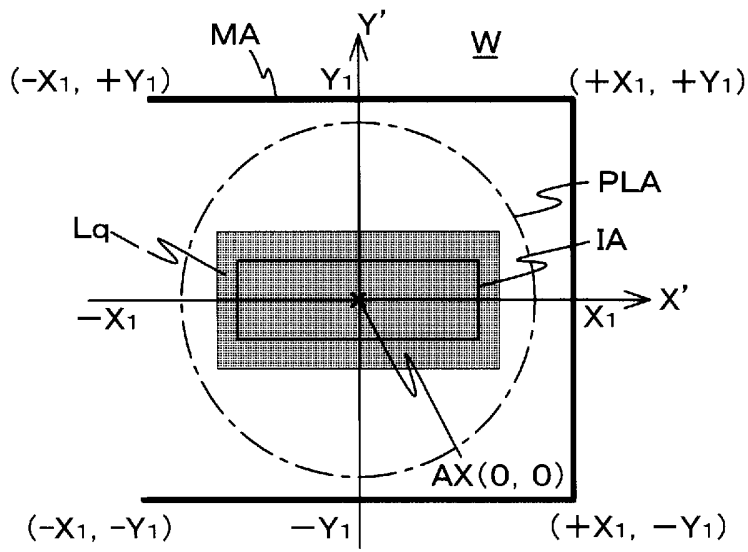
[図28(A)]



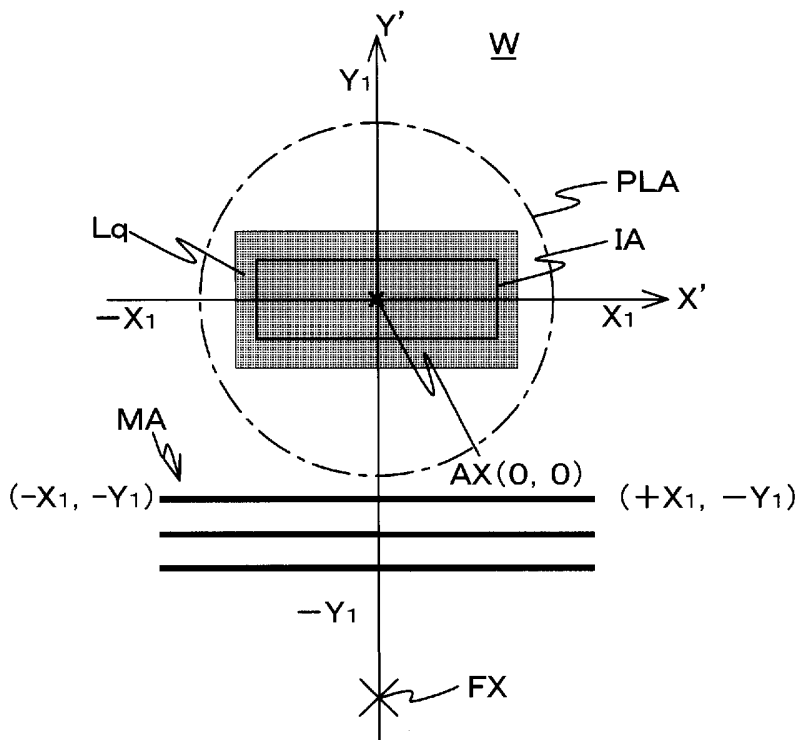
[図28(B)]



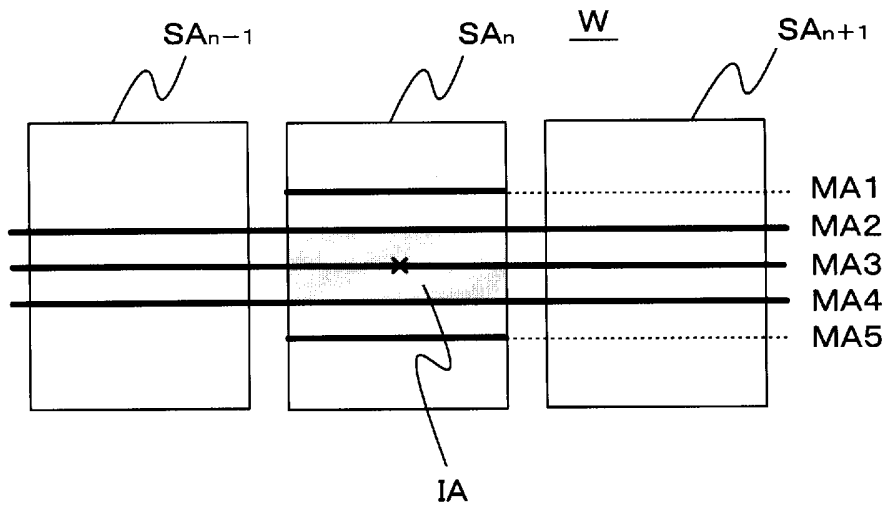
[図29(A)]



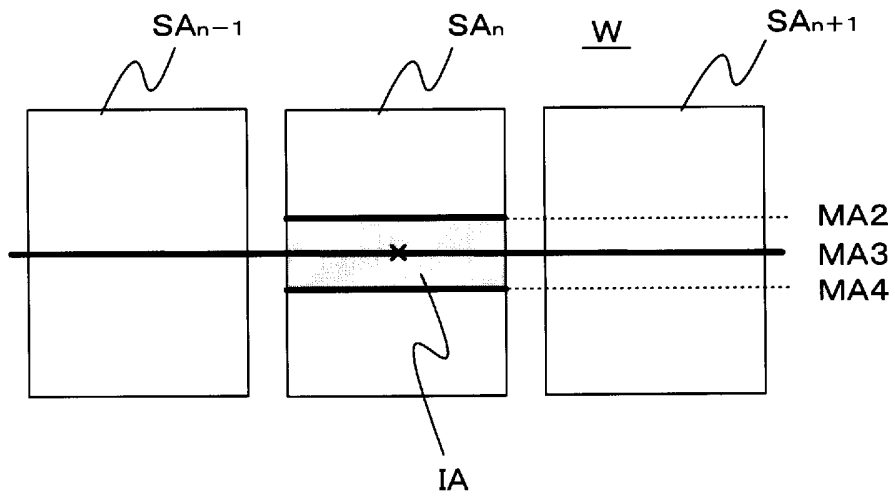
[図29(B)]



[図30(A)]



[図30(B)]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2005/011010

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G01B11/00, G03F7/207

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)

Int.Cl.⁷ H01L21/027, G01B11/00, G03F7/207

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

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.
X	JP 6-283403 A (Nikon Corp.), 07 October, 1994 (07.10.94), Full text & US 5448332 A1 & US 5693439 A1	1-3, 6, 7, 9, 23-27
X	JP 2002-270498 A (Nikon Corp.), 20 September, 2002 (20.09.02), Par. Nos. [0022] to [0031], [0052] to [0054] (Family: none)	1-3, 6, 7, 9, 23-27
X	JP 7-086135 A (Nikon Corp.), 31 March, 1995 (31.03.95), Par. Nos. [0024] to [0042] (Family: none)	1-3, 5-7, 9, 23-27

 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
08 September, 2005 (08.09.05)Date of mailing of the international search report
27 September, 2005 (27.09.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/011010

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 11-233398 A (Nikon Corp.), 27 August, 1999 (27.08.99), Full text (Family: none)	1, 2, 6, 7, 20-27
A	JP 2000-021711 A (Nikon Corp.), 21 January, 2000 (21.01.00), Page 1 (Family: none)	1-28
A	JP 11-195579 A (Nikon Corp.), 21 July, 1999 (21.07.99), Fig. 2 (Family: none)	1-28
A	JP 4-294518 A (Fujitsu Ltd.), 19 October, 1992 (19.10.92), Page 1 (Family: none)	1-28

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl.7 H01L21/027, G01B11/00, G03F7/207										
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 (IPC)) Int.Cl.7 H01L21/027, G01B11/00, G03F7/207										
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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2005年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2005年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2005年	日本国実用新案登録公報	1996-2005年	日本国登録実用新案公報	1994-2005年
日本国実用新案公報	1922-1996年									
日本国公開実用新案公報	1971-2005年									
日本国実用新案登録公報	1996-2005年									
日本国登録実用新案公報	1994-2005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 請求の範囲の番号								
X	JP 6-283403 A (株式会社ニコン) 1994.10.07 全文 & US 5448332 A1 & US 5693439 A1	1-3, 6, 7, 9, 23-27								
X	JP 2002-270498 A (株式会社ニコン) 2002.09.20 [0022]-[0031]、[0052]-[0054](ファミリーなし)	1-3, 6, 7, 9, 23-27								
X	JP 7-086135 A (株式会社ニコン) 1995.03.31 [0024]-[0042](ファミリーなし)	1-3, 5-7, 9, 23-27								
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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 08.09.2005	国際調査報告の発送日 27.09.2005									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 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) 岩本 勉 電話番号 03-3581-1101 内線 3274	2M 9355								

C (続き) . 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 請求の範囲の番号
X	JP 11-233398 A (株式会社ニコン) 1999. 08. 27 全文(ファミリーなし)	1, 2, 6, 7, 20-27
A	JP 2000-021711 A (株式会社ニコン) 2000. 01. 21 第1頁(ファミリーなし)	1-28
A	JP 11-195579 A (株式会社ニコン) 1999. 07. 21 図2 (ファミリーなし)	1-28
A	JP 4-294518 A (富士通株式会社) 1992. 10. 19 第1頁(ファミリーなし)	1-28