



PCT

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

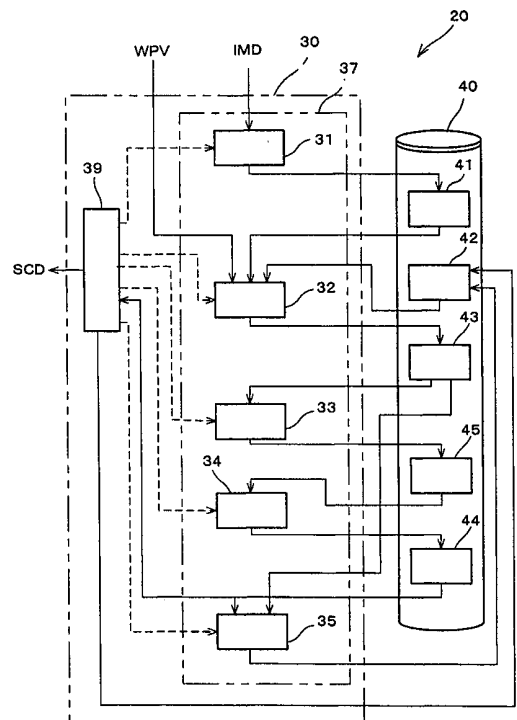
<p>(51) 国際特許分類 G01B 21/00, 11/00, H01L 21/027, G03F 9/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/49367</p> <p>(43) 国際公開日 2000年8月24日(24.08.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP00/00855</p> <p>(22) 国際出願日 2000年2月16日(16.02.00)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/38220 1999年2月17日(17.02.99) JP 特願平11/245047 1999年8月31日(31.08.99) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP] 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および (75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 吉田幸司(YOSHIDA, Kouji)[JP/JP] 〒100-8331 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)</p> <p>(74) 代理人 立石篤司(TATEISHI, Atsuji) 〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号 パセオビル5階 Tokyo, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MA, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ZA, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: **POSITION SENSING METHOD AND POSITION SENSOR, EXPOSING METHOD AND EXPOSING APPARATUS, AND DEVICE AND DEVICE MANUFACTURING METHOD**

(54)発明の名称 位置検出方法及び位置検出装置、露光方法及び露光装置、並びにデバイス及びデバイスの製造方法

(57) Abstract

On the basis of information on the position of a mark contained in a set of a plurality of measured samples, a parameter calculation unit (33) statistically determines the estimations and their certainties of a predetermined number of parameters for uniquely specifying a given position on a body for each sample set. On the basis of the estimations and the certainties of the predetermined number of parameters for each sample set, a validity calculating unit (34) determines the values of a predetermined statistically valid number of parameters. An evaluating unit (35) statistically judges whether or not the number of marks contained in the sample set can be reduced. After the reduction is judged to be possible, the parameter calculation unit (33) determines the values of the predetermined number of parameters by using another sample set where the number of marks is reduced. By using the values of the number of parameters thus determined, the position of any region on the object can be highly accurately determined.



(57)要約

パラメータ算出装置(33)が、計測された複数のサンプル集合に含まれるマークの位置情報に基づいて、サンプル集合ごとに物体上の任意の位置を一義的に規定する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める。そして、妥当値算出装置(34)が、サンプル集合ごとの所定数のパラメータの推定値及びその確からしさに基づいて、統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求める。さらに、評価装置(35)が、サンプル集合に含まれるマーク数の低減が可能であるかを統計的に評価する。低減可能と評価された後は、パラメータ算出装置(33)は、マーク数を低減した新たなサンプル集合を使用して、所定数のパラメータの値を求める。こうして求められた所定数のパラメータの値を使用することにより、物体上の任意の領域の位置を精度良く検出することができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ			TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	Z A	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	Z W	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェッコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

明 細 書

位置検出方法及び位置検出装置、露光方法及び露光装置、並びにデバイス及びデバイスの製造方法

技術分野

本発明は、位置検出方法及び位置検出装置、露光方法及び露光装置、並びにデバイス及びデバイスの製造方法に係り、さらに詳しくは、物体における区画領域の配列情報を求める位置検出方法及び位置検出装置、前記位置検出方法を使用する露光方法及び露光装置、並びに前記露光方法を使用して製造されるデバイス及びその製造方法に関する。

背景技術

従来より、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では、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンを投影光学系を介してレジスト等が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「感応基板又はウエハ」という）上に転写する露光装置が用いられている。こうした露光装置としては、いわゆるステッパ等の静止露光型の投影露光装置や、いわゆるスキャニング・ステッパ等の走査露光型の投影露光装置が主として用いられている。

これらの露光装置においては、露光に先立ってレチクルとウエハとの位置合わせ（アライメント）を高精度に行う必要がある。このアライメントを行うために、ウエハ上には以前のリソグラフィ工程で形成（露光転写）された位置検出用マーク（アライメントマーク）が、各ショット領域に応じて設けられており、このアライメントマークの位置を検出することで、ウエハ（又はウエハ上

の回路パターン)の位置を検出することができる。そして、ウエハ(又はウエハ上の回路パターン)の位置の検出結果に基づいて、アライメントが行われる。

かかるアライメントの方式としては、1ショット毎にアライメントマークを検出してアライメントを行うダイ・バイ・ダイ方式と、ウエハ内数箇所のアライメントマーク(回路パターンとともに転写された位置合わせマーク)を計測し、最小二乗近似等の統計的手法で各ショット領域の配列座標を求めた後、露光に際しては、その演算結果を用いてウエハステージの精度に任せてステップングを行うエンハンスト・グローバル・アライメント(以下、「EGA」という)方式とがある。このEGA方式は、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号に開示されている。これらの方式の内、装置のスループットの観点から、EGA方式が現在広く使われている。

このEGA方式では、ショット領域の実際の配列座標を、設計上の配列座標から一義的に規定する複数のパラメータを決定するために、該複数のパラメータを求めるために最低限必要な数を超える数のアライメントマークの位置を計測する。そして、最小二乗近似等の統計的手法を使用して、統計的に妥当なパラメータの値を決定している。

かかる統計的手法の適用にあたっては、一般的に、「アライメントマークの位置計測結果の信頼性が全て同一である」ことを前提として誤差の解析が行われてきた(以下、「従来例1」という)。

また、特公平7-120621号公報に開示されるような、計測されたアライメントマークの位置の平均値や分散という統計量を用いながらファジー推論による曖昧処理を行って、上記の所定のパラメータを決定し、各ショット領域の配列座標を求める技術も提案されている(以下、「従来例2」という)。

上記の従来例1では、「アライメントマークの位置計測結果の信頼性が全て

同一である」ことを前提としているが、かかる前提は、各アライメントマークが同様に形成されている場合には成り立つが、基板上の位置に応じてアライメントマークの形成状態が異なる場合には成り立たない。このため、基板上の位置に応じてアライメントマークの形成状態が異なる場合には、信頼度が高い位置計測結果も信頼度が低い位置計測結果もショット領域の配列座標の決定にあたって、同等の寄与をすることになっていた。

従来において要求されていた露光精度では、上記の前提の下で決定されるショット領域の配列座標の決定精度で十分であったが、近年における集積度の向上を鑑みると、かかる決定精度では不十分となりつつある。

また、上記の従来例 2 では、従来例 1 におけるようなショット領域の配列座標の決定精度の問題は無くなるが、ファジー推論のために大量の演算を必要とするため、ショット領域の配列座標の決定にあたって長時間を要することになり、これがために露光のスループットの向上が困難となっていた。かかるスループットの低下を防ぐためには、大規模な演算資源を投入することが必要であるが、これでは露光装置全体の構成が大規模かつ複雑なものになってしまう。

また、従来の統計的手法の適用にあたって、ウエハ上のどのアライメントマークの位置を計測するかは、経験的に定められるか、暫定的に選ばれたサンプル集合を用いてアライメントを行ってウエハに対しパターン転写を行い、そのウエハ上の被転写パターンを計測して、期待通りでない場合にはサンプル集合を選び直すという試行錯誤の結果として定められるかしていた。

上記のように、従来の方法では、全アライメントマークからなる集合の副集合であるアライメントマークのサンプル集合の決定は、多分に偶然に頼った方法によって行われており、そのサンプル集合の決定の妥当性は定量的に評価されていなかった。したがって、従来の方法によって決定されたサンプル集合の要素である複数のアライメントマークの位置の誤差分布が全アライメントマークに関する位置の誤差分布を適切に反映している蓋然性が高いことは保証され

ていなかった。

かかる従来の方法に対して、経験的に又は任意的に定められた暫定的なサンプル集合を使用して求められた、ショット領域の配列座標を一義的に規定する複数のパラメータによる位置制御では、他のショット領域のアライメント誤差と比べて特にアライメント誤差が大きなショット領域（いわゆる「跳びショット」）がサンプル集合に含まれるときには、かかる跳びショットに付設されたアライメントマークをサンプル集合から取り除くという方法が考えられる。これは、跳びショットの存在は稀であり、全てのショット領域を考えた場合にはアライメント精度を低下させる要因となるとの推定に基づくものである。

しかし、跳びの方向がほぼ逆方向であり、常に負の相関を持って跳んでいる2つのショット領域を考えた場合には、それらのショット領域に付設されたアライメントマークが同時に選択されていた場合には、精度の良いアライメントが可能となる。したがって、単に跳びショット領域に付設されたアライメントマークだからといって、せっかく計測したアライメントマークの位置情報を使用しないのは、却ってアライメント精度を低下させることにもなりかねない。

また、多数存在するアライメントマークの全体集合から選択された副集合（サンプル集合）の要素であるアライメントマークの位置計測結果に基づいてウエハの位置制御を行う場合、そのサンプル集合の選び方の妥当性を議論するにあたり、サンプル集合中の各アライメントマークを別個に見て評価することにはあまり意味がない。なぜなら、サンプル集合は全体集合を遍く反映していることが理想であり、サンプル集合中のアライメントマークは、全体集合中のアライメントマークの位置分布に応じた位置分布となっていることが好ましいからである。例えば、サンプル集合中の5個のアライメントマークの内の1個が跳びショット領域に付設されたアライメントマークであったとしても、全アライメントマーク中において跳びショット領域に付設されたアライメントマークが1/5の比率で存在するなら、跳びショット領域に付設されたアライメント

マークを外さないのが妥当なサンプリングであるといえる。すなわち、計測されたアライメントマークの位置誤差は、なんらかの形で全アライメントマークに関する位置分布を反映したものであり、むやみに無視するべきではない。しかしながら、基板上に形成されたアライメントマークの全体集合から、どのようにサンプル集合を選んで、サンプル集合中のアライメントマークの位置計測結果に基づいて、どのように位置制御を行えば統計的に妥当な位置制御ひいてはアライメントが行えるかに関しては何らの提案もなされていない。

また、アライメント計測時間短縮の目的でアライメントマークのサンプリング数を減少させることを試みる場合においても、一度確立したアライメントマークから成るサンプル集合から、位置誤差の大きな順にアライメントマークを除くことは妥当ではないが、どのようにすれば、サンプリング数を減少させる前と同様のアライメント精度を維持し得るかについても何らの提案もなされていない。

すなわち、現在、近年における露光精度の向上やスループット向上の要請に応えるためのアライメント技術が待望されているのである。

本発明は、かかる事情のもとでなされたものであり、その第1の目的は、物体における区画領域の配列情報を、精度良く効率的に検出することが可能な位置検出方法及び位置検出装置を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、所定のパターンを基板に高い精度で転写することが可能な露光方法及び露光装置を提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、微細パターンが精度良く形成されたデバイスを提供することにある。

また、本発明の第4の目的は、微細パターンが精度良く形成されたデバイスを製造するデバイスの製造方法を提供することにある。

発明の開示

本発明は、第1の観点からすると、複数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、前記複数の位置計測点の中から、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数を超える数の位置計測点を選択し、該選択された位置計測点の位置情報を計測する計測工程と；前記位置情報の計測結果に基づいて前記選択された位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの値を求めるパラメータ算出工程と；を含む第1の位置検出方法である。

これによれば、選択された位置計測点について位置情報を計測し、その計測結果に基づいて選択された位置計測点の位置とその確率密度を求める。そして、求められた確率密度をその位置計測点の位置の確からしさを示す情報としつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて、統計的に最も妥当な値を求めるのにあたって、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行う。すなわち、確率密度が大きな場合には重みを大きくし、確率密度が小さい場合には重みを小さくしている。この結果、求められた位置計測点の位置の確からしさが高い場合には、その求められた位置計測点の位置に関する基準位置からの誤差の影響度が高くなり、一方、求められた位置計測点の位置の確からしさが低い場合には、求められた位置計測点の位置に関する基準位置からの誤差の影響度が低くなる。このため、求められた各位置計測点の

位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な値を得ることができるので、物体における注目領域の位置を精度良く検出することができる。

本発明の第1の位置検出方法では、前記基準位置を、設計情報に基づいて予め定めることができる。

上記の求められたマークの位置それぞれの確率密度は、そのマーク位置の確からしさを直接反映したものと考えられる。したがって、本発明の第1の位置検出方法では、前記誤差の評価を、前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差に前記求められた位置それぞれの確率密度を乗じることによって行うことができる。

また、本発明の第1の位置検出方法では、前記確率密度関数として、正規分布の確率密度関数を採用することができる。このように、生起確率分布を正規分布と推定することは、求められたマークの位置に関する基準位置からの誤差のバラツキが正規乱数的なランダムなバラツキであると考えられる場合に特に有効である。なお、生起確率分布が既知である場合には、その確率分布の確率密度関数を使用すればよい。一方、生起確率分布が全く未知である場合には、最も一般的な確率分布である正規分布を生起確率分布として推定することが合理的であると考えられる。

また、本発明の第1の位置検出方法では、前記位置計測点に、位置計測用マークを形成することができる。かかる場合には、位置計測用マークを検出することにより、位置計測点の位置を計測することができる。なお、位置計測用マークとしては、例えばラインアンドスペースマークやボックスインボックスマーク等を採用することができる。

このとき、前記複数の位置計測点に形成された複数の位置計測用マークを、第1方向で表面状態が変化する第1の数の第1のマークを含む構成とし、前記

計測工程で計測される前記第1のマークに関する前記位置情報を、前記第1のマークそれぞれにおける複数の特徴部分の前記第1方向に関する位置情報とすることができる。かかる場合には、第1マークの位置情報を計測して処理することにより、第1のマークの第1方向に関する位置を求めることができ、また、設計上の基準位置と計測された位置情報とから、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定することができる。なお、第1のマークが例えばラインアンドスペースマークのような第1の方向に周期的に変化するマークである場合には、ライン部とスペース部との境界といった、複数の特徴部分の第1方向に関する位置の平均値すなわち第1のマークの中心位置を、第1マークの位置として求めることができ、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定することができる。

ここで、前記計測工程では、選択された前記第1のマークについて、前記第1方向と交差する方向に関する複数の位置で前記位置情報を計測することができる。かかる場合には、処理対象となる位置情報の数が多くなるので、第1のマークの第1方向に関する位置を精度良く求められるとともに、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を精度良く推定することができる。

また、前記第1のマークを、前記第1方向と異なる第2方向でも表面状態が変化するものとし、前記計測工程で計測される前記第1のマークに関する前記位置情報を、前記第1のマークそれぞれにおける前記第1方向に関する複数の特徴部分の前記第1方向に関する位置情報、及び前記第1のマークそれぞれにおける前記第2方向に関する複数の特徴部分に関する前記第2方向に関する位置情報とすることができる。かかる場合には、第1のマークに関する位置情報の計測結果から、第1のマークに関する2次元位置を求めることができ、また、設計上の基準位置と計測された位置情報とから、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定することができる。すなわち、物体について、2次元的位置に関する情報を得ることができる。

ここで、前記計測工程では、選択された前記第1のマークについて、前記第1方向と交差する方向に関する複数の位置における前記第1方向に関する前記位置情報、及び前記第2方向と交差する方向に関する複数の位置における前記第2方向に関する前記位置情報の少なくとも一方を計測することができる。かかる場合には、第1方向及び第2方向の少なくとも一方に関して処理対象となる位置情報の数が多くなるので、第1のマークの処理対象となる位置情報が多くなった方向に関する位置を精度良く求められるとともに、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を精度良く推定することができる。

また、前記複数のマークを、前記第1方向と異なる第2方向で表面状態が変化する第2の数の第2のマークを更に含む構成とし、前記計測工程で計測される前記第2のマークに関する前記位置情報を、前記第2のマークそれぞれにおける複数の特徴部分の前記第2方向に関する位置情報とすることができる。かかる場合には、第2のマークについて、第1のマークの場合と同様に、第2マークの位置情報を計測して処理することにより、第2のマークの第2方向に関する位置を求めることができ、また、設計上の基準位置と計測された位置情報とから、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定することができる。すなわち、物体について、2次元的な位置に関する情報を得ることができる。

ここで、前記計測工程では、選択された前記第2のマークについて、前記第2方向と交差する方向に関する複数の位置で前記位置情報を計測することができる。かかる場合には、処理対象となる位置情報の数が多くなるので、第2のマークの第2方向に関する位置を精度良く求められるとともに、求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を精度良く推定することができる。

また、位置計測点に位置計測用マークが形成される本発明の第1の位置検出方法では、前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークが前記複数の区画領域それぞれに付設されることとすることができる。かかる場

合には、物体における各区画領域の配列座標を精度良く検出することができる。

このとき、前記所定数のパラメータとして、前記複数の区画領域それぞれにおける代表点に関するパラメータを含むことができる。かかる場合には、複数の区画領域の代表点例えば中心点の物体における配列すなわち配列座標系を求めることができる。

ここで、前記所定数のパラメータとして、前記複数の区画領域それぞれにおける前記代表点以外の点に関するパラメータを更に含むことができる。かかる場合には、複数の区画領域の代表点の物体における配列座標系に加えて、区画領域におけるパターン転写に関する方向やスケール等を規定する区画領域座標系を求めることができる。

本発明は、第2の観点からすると、第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第2の数を超え、かつ前記第1の数よりも少ない第3の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の副計測点集合を選択する第1工程と；前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第2工程と；を含む第2の位置検出方法である。上記の推定値の確からしさは、副計測点集合それぞれについて求められた所定数のパラメータの推定値を用いて求められ、その推定値を求めるために用いられた各位置計測点の期待位置に対する位置誤差に応じて定まるものである。なお、その推定値を求めるために用いられた位置計測点の位置誤差の偏差が大きければ確からしさが低くなり、また、位置誤差の偏差が小さければ確からしさが高くなる。

これによれば、互いに異なる複数の副計測点集合を選択して、各副計測点集

合ごとに、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める。かかる各副計測点集合ごとの所定数のパラメータ（以下、「位置パラメータ」とも呼ぶ）の推定値及びその確からしさは、全ての位置計測点に関する位置分布を反映した情報となっている。したがって、経験的又は任意的に定めた複数の副計測点集合それぞれに関する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを、全ての位置計測点に関する位置分布を精度良く推定することができる。

本発明の第2の位置検出方法では、前記第2工程で求められた、前記複数の副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な値を求める第3工程を更に含むことができる。かかる場合には、全ての位置計測点について遍くサンプルして統計的に求められる所定数のパラメータを統計的に反映した各副計測点集合ごとの位置パラメータの推定値及びその確からしさに基づいて、統計的に妥当な位置パラメータの値を求めるので、全ての位置計測点について適用したときに統計的に妥当な所定数のパラメータの値を精度良く求めることができる。

このとき、前記所定数のパラメータに関する前記統計的に妥当な値を、前記確からしさを前記確からしさに対応する前記推定値に関する重み情報としつつ、重み付けられた前記推定値の平均を算出することによって求めることができる。かかる場合には、各推定値の確からしさを各推定値の重みとして複数の推定値の加重平均を算出するので、確からしさが低い推定値の寄与を低くし、また、確からしさが高い推定値の寄与を高くするという合理的な各推定値の評価をすることができ、全ての位置計測点について適用したときに統計的に妥当な所定数のパラメータの値を精度良くかつ簡易に求めることができる。

また、本発明の第2の位置検出方法では、前記第2工程において、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。かかる場合には、位置計測点の位置計

測結果の確からしさを考慮して、所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めるので、更に統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求めることができる。

このとき、前記第2工程が、前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。かかる場合には、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行うので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第2の位置検出方法では、本発明の第1の位置検出方法と同様に、前記位置計測点に、位置計測用マークを形成することができる。そして、前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークが前記複数の区画領域それぞれに付設されることとすることができる。

本発明は、第3の観点からすると、第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、前記第1の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数である第2の数を超える第3の数の位置計測点から成る第1副計測点集合を選択する第1工程と

；前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する第 2 工程と；前記第 1 副計測点集合に含まれる前記第 3 の数の位置計測点の計測結果と、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに含まれる前記第 4 の数の位置計測点の計測結果とに基づいて、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第 1 副計測点集合を前記複数の第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を統計的に評価する第 3 工程と；を含む第 3 の位置検出方法である。

これによれば、所定数のパラメータを求めるために、当初に選択したサンプル集合（第 1 副計測点集合）をより要素数の少ないサンプル集合に置き換えられるか否かの可能性を、複数の第 2 副計測点集合それぞれについて評価する。すなわち、第 1 副計測点集合の位置計測点の位置計測結果と、複数の第 2 副計測点集合それぞれの位置計測点の計測結果とに基づいて、所定数のパラメータを求めるための位置計測点の点数を減少させることが可能か否かの評価を、複数の第 2 副計測点集合のいずれかにおける位置計測点の位置誤差分布が第 1 副計測点集合の位置計測点の位置誤差分布と類似しているか否か、すなわち、複数の第 2 副計測点集合のいずれかと第 1 副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを見ることによって行っている。したがって、サンプル集合の要素である位置計測点の数を減少させるのにあたって、求められる所定数のパラメータの値の統計的な妥当性を維持することができる。

本発明の第 3 の位置検出方法では、前記第 3 工程が、前記第 1 副計測点集合に含まれる前記第 3 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 4 工程と；前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に

求める第5工程と；前記第1副計測点集合に関する前記推定値及びその確からしさと、前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第1副計測点集合を前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第6工程と；を含むことができる。

かかる場合には、第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から求められた所定数のパラメータの推定値及びその確からしさと、第2副計測点集合それぞれに関する位置計測点の位置計測結果から求められた所定数のパラメータの推定値及びその確からしさとを比較する。この比較では、推定値同士の比較だけではなく、比較対象となった副計測点集合の位置計測点の位置誤差分布のバラツキを反映した推定値の確からしさの比較も行われ、双方の比較結果を総合した結果、第1副計測点集合の位置計測点の位置誤差分布と、比較対象となった複数の第2副計測点集合のいずれかの位置計測点の位置誤差分布とが比較される。したがって、複数の第2副計測点集合のいずれかと第1副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記第4工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。かかる場合には、位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮して、所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めるので、更に統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求めることができる。

ここで、前記第4工程が、前記第1副計測点集合に含まれる前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第3の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度

を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としてつづつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。かかる場合には、第1副計測点集合に含まれる前記第3の数の位置計測点について、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行うので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、前記第5工程では、上記の第4工程の場合と同様に、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。そして、前記第5工程が、前記複数の第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第4の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第4の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としてつづつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。

また、本発明の第3の位置検出方法では、前記第3工程が、前記第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値を統計的に求めるとともに、前記推定値に関する確からしさを求める第4工程と；前記第4工程によって求められた前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記第1副計測点集合に含まれる前記

位置計測点の位置誤差を求め、前記第 1 副計測点集合を前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第 5 工程と；を含むことができる。

かかる場合には、第 2 副計測点集合の位置計測点の位置計測結果に求められた所定数のパラメータの推定値を適用した場合における第 1 副計測点集合に含まれる位置計測点の位置誤差を求めることにより、第 1 副計測点集合における位置計測点の位置誤差分布を求めることができる。したがって、第 1 副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めずに、複数の第 2 副計測点集合のいずれかと第 1 副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

特に、比較対象となる第 2 副計測点集合が第 1 副計測点集合の副集合の場合には、第 1 副計測点集合に含まれ、かつ、第 2 副計測点集合に含まれていない位置計測点についてのみ、位置誤差を求めることにより、第 1 副計測点集合をサンプル集合とした場合における所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めることができる。したがって、複数の第 2 副計測点集合のいずれかと第 1 副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを迅速に判断することができる。

このとき、前記第 4 工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。かかる場合には、位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮して、所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めるので、更に統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求めることができる。

ここで、前記第 4 工程が、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第 4 の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第 4 の数の位置計測点それぞれについ

て、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。かかる場合には、複数の第2副計測点集合それぞれについて、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行うので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第3の位置検出方法では、前記第3工程で置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第2副計測点集合を選択し、選択された前記第2副計測点集合に含まれる前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし、前記第3工程において置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合がないときに、前記第1副計測点集合に含まれる前記第2の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とする第4工程を更に含むことができる。

かかる場合には、第3工程で置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合があるとき、すなわち統計的な妥当性を維持しつつ、位置計測する位置計測点の数を減少させることが可能であると評価されたときには、第1副計測点集合を置き換えるのに最も妥当と判断された第2副計測点集合をサンプル集合とする。一方、第3工程で置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合がな

いとき、すなわち統計的な妥当性を維持しつつ、位置計測する位置計測点の数を減少させることが不可能であると評価されたときには、第1副計測点集合をサンプル集合とする。そして、サンプル集合の位置計測点の位置計測結果に基づいて求められる所定数のパラメータの推定値をその所定数のパラメータの値として採用する。このため、統計的な妥当性を維持しつつ、所定数のパラメータの値を求めるための位置計測点の数を減少させることができるので、精度を維持しつつ、位置検出の迅速化を図ることができる。

また、本発明の第3の位置検出方法では、本発明の第1の位置検出方法と同様に、前記位置計測点に、位置計測用マークを形成することができる。そして、前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークが前記複数の区画領域それぞれに付設されることとすることができる。

本発明は、第4の観点からすると、第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第2の数を超え、かつ前記第1の数よりも少ない第3の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第1副計測点集合を選択する第1工程と；前記第2の数よりも大きくかつ前記第3の数よりも小さな第4の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第2副計測点集合を選択する第2工程と；前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の第1副計測点集合に代えて前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を統計的に評価する第3工程と；を含む第4の位置検出方法である。

これによれば、所定数のパラメータの値を求めるために、当初に選択した複数のサンプル集合（複数の第1副計測点集合）を要素数の少ない1つのサンプル集合に置き換えられるか否かの可能性を、複数の第2副計測点集合それぞれについて評価する。すなわち、所定数のパラメータの値を求めるための位置計

測点の点数の減少及び位置計測結果の処理量の減少が可能か否かの評価を、複数の第2副計測点集合のいずれかにおける位置計測点の位置誤差分布が、複数の第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から推定される全ての位置計測点における位置誤差分布と類似しているか否かを見ることによって行っている。したがって、サンプル集合の要素である位置計測点の数及び位置計測結果の処理量を減少させるのにあたって、求められる所定数のパラメータの値の統計的な妥当性を維持することができる。

本発明の第4の位置検出方法では、前記第3工程が、前記複数の第1副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第4工程と；前記第4工程で求められた、前記複数の第1副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさとに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値及びその確からしさを求める第5工程と；前記複数の第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第6工程と；前記統計的に妥当な推定値及びその確からしさと、前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する第7工程と；を含むことができる。

かかる場合には、複数の第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から求められた統計的に妥当な所定数のパラメータの推定値及びその確からしさと、第2副計測点集合それぞれに関する位置計測点の位置計測結果から求められた所定数のパラメータの推定値及びその確からしさとを比較する。この比較では、推定値同士の比較だけではなく、位置計測点の位置誤差分布のバラツキを反映した推定値の確からしさの比較も行われ、双方の比較結果を総合した結果

として、位置誤差分布同士が比較される。したがって、複数の第2副計測点集合が、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記第4工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。かかる場合には、位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮して、所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めるので、更に統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求めることができる。

ここで、前記第4工程が、前記複数の第1副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第3の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。かかる場合には、複数の第1副計測点集合それぞれについて、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行うので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、前記第6工程では、上記の第4工程の場合と同様に、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。そして、前記第6工程が、前記複数の第2副

計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第 4 の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第 4 の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報として前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。

また、前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第 2 副計測点集合を選択し、選択された前記第 2 副計測点集合に含まれる前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められた前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし、前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合がないときに、前記統計的に妥当な推定値を前記所定数のパラメータの値とする第 8 工程を更に含むことができる。かかる場合には、統計的な妥当性を維持しつつ、所定数のパラメータの値を求めるための位置計測点の数を減少させることができるので、精度を維持しつつ、位置検出の迅速化を図ることができる。

また、本発明の第 4 の位置検出方法では、前記第 3 工程が、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 4 工程と；前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて求められた前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記複数の第 1 副計測点集合のいずれかに含まれる位置計測点の位置誤差を求め、前記複数の第 1 副計測点集合を前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第 5 工程と；を含むことができる。

かかる場合には、第2副計測点集合の位置計測点の位置計測結果に求められた所定数のパラメータの推定値を適用した場合における複数の第1副計測点集合に含まれる位置計測点の位置誤差を求めることにより、複数の第1副計測点集合をサンプル集合とした場合に推定される全ての位置計測点に関する位置誤差分布を求めることができる。したがって、複数の第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求め、さらに統計的な妥当な所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めずに、複数の第2副計測点集合のいずれかが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記第4工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮することができる。かかる場合には、位置計測点の位置計測結果の確からしさを考慮して、所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めるので、更に統計的に妥当な所定数のパラメータの値を求めることができる。

ここで、前記第4工程が、前記複数の第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第4の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第4の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことができる。かかる場合には、複数の第2副計測点集合それぞれについて、求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行うので、求められ

た各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第4の位置検出方法では、前記第3工程において置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第2副計測点集合を選択し、選択された前記第2副計測点集合に含まれる前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし、前記第3工程において置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合がないときに、前記複数の第1副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求めた後、前記複数の第1副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさとに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を求めて、前記所定のパラメータの値とする第4工程を更に含むことができる。かかる場合には、統計的な妥当性を維持しつつ、所定数のパラメータの値を求めるための位置計測点の数を減少させることができるので、精度を維持しつつ、位置検出の迅速化を図ることができる。

なお、本発明の第4の位置検出方法では、本発明の第2の位置検出方法の場合と同様に、前記所定数のパラメータに関する前記統計的に妥当な値を、前記確からしさを前記確からしさに対応する前記推定値に関する重み情報としつつ、重み付けられた前記推定値の平均を算出することによって求めることができる。

また、本発明の第4の位置検出方法では、本発明の第1の位置検出方法と同様に、前記位置計測点に、位置計測用マークを形成することができる。そして、前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークが前記複数の区画領域それぞれに付設されることとすることができる。

本発明は、第5の観点からすると、複数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、前記複数の位置計測点の中から選択された、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数を超える数の位置計測点の位置情報を計測する計測装置と；前記選択された位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記選択された位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報として前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータを求めるパラメータ算出装置と；を備える第1の位置検出装置である。

これによれば、本発明の第1の位置検出方法に従って、計測装置によって計測されたマークの位置情報に基づき、推定装置によって、前記選択されたマークそれぞれの位置と、求められたマークの位置それぞれの確率密度とが求められる。そして、パラメータ算出装置によって、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値が求められる。したがって、所定数のパラメータを精度良く求めることができるので、物体における任意の領域の位置情報を精度良く検出することができる。

本発明の第1の位置検出装置では、前記計測装置が、前記物体に形成されたマークを撮像する撮像装置を有する構成とすることができる。かかる場合には、選択されたマークの位置情報を、撮像されたマーク像における位置に応じた光強度の変化に基づいて計測することができる。

本発明は、第6の観点からすると、第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、前記位置計

測点の位置を計測する計測装置と；前記第1の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第2の数を超え、かつ前記第1の数よりも少ない第3の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の副計測点集合を選択する集合選択装置と；前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定演算装置とを備える第2の位置検出装置である。

これによれば、計測装置によって計測された位置計測点の位置に基づいて、推定演算装置が上述の本発明の第2の位置検出方法を使用して、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を、集合選択装置が選択した副計測点集合ごとに統計的に推定するとともに、推定値の確からしさを求める。したがって、本発明の第2の位置検出方法を使用して、経験的又は任意的に定めた複数の副計測点集合それぞれについての所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを、全ての位置計測点に関する位置分布を精度良く推定することができる。

本発明の第2の位置検出装置では、前記推定演算装置が、前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記第3の数の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報として前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備える構成とすることができる。かかる場合には、複数の副計測点集合それぞれについて、推定装置によって求めら

れた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、パラメータ算出装置が、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行って、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータを求めるので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第2の位置検出装置では、前記推定演算装置によって求められた前記複数の副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさとに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な値を求めるパラメータ値決定装置を更に備える構成とすることができる。かかる場合には、全ての位置計測点について遍くサンプルして統計的に求められる所定数のパラメータの値を精度良く求めることができる。

本発明は、第7の観点からすると、第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、前記位置計測点の位置を計測する計測装置と；前記第1の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数である第2の数を超える第3の数の位置計測点から成る第1副計測点集合を選択するとともに、前記第2の数よりも大きくかつ前記第3の数よりも小さな第4の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第2副計測点集合を選択する集合選択装置と；前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第1副計測点集合を前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価演算装置と；を備える第3の位置検出装置である。

これによれば、計測装置によって計測された位置計測点の位置に基づいて、評価演算装置が、上述の本発明の第3の位置検出方法を使用して、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求める

ために位置計測を行う位置計測点からなるサンプル集合を、第1副計測点集合から第1副計測点集合よりも要素数の少ない複数の第2副計測点集合のいずれかに置き換えることが可能か否かを統計的に評価する。したがって、サンプル集合の要素である位置計測点の数を減少させるのにあたって、求められる所定数のパラメータの値の統計的な妥当性を維持することができる。

本発明の第3の位置検出装置では、前記評価演算装置が、前記第1副計測点集合及び前記複数の第2副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算出装置と；前記第1副計測点集合に関する前記推定値及びその確からしさと、前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第1副計測点集合を前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備える構成とすることができる。

かかる場合には、評価装置が、推定値演算装置によって求められた第1副計測点集合に関する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさと、第2副計測点集合それぞれに関する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさとを比較する。この比較では、推定値同士の比較だけではなく、比較対象となった副計測点集合の位置計測点の位置誤差分布のバラツキを反映した推定値の確からしさの比較も行われ、双方の比較結果を総合した結果、第1副計測点集合の位置計測点の位置誤差分布と、比較対象となった複数の第2副計測点集合のいずれかの位置計測点の位置誤差分布とが比較される。したがって、複数の第2副計測点集合のいずれかと第1副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記推定値算出装置が、前記特定副計測点集合に含まれる位置計

測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備える構成とすることができる。かかる場合には、特定副計測点集合について、推定装置によって求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、パラメータ算出装置が、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行って、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータを求めるので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第3の位置検出装置では、前記評価演算装置が、前記複数の第2副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算出装置と；前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記第1副計測点集合に含まれる前記位置計測点の位置誤差を求め、前記第1副計測点集合を前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備える構成とすることができる。

かかる場合には、評価装置が、推定演算装置によって求められた第2副計測点集合に関する所定数のパラメータの推定値を適用した場合における第1副計測点集合に含まれる位置計測点の位置誤差を求めることにより、第1副計測点

集合における位置計測点の位置誤差分布を求めることができる。したがって、第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めずに、複数の第2副計測点集合のいずれかと第1副計測点集合とが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記推定値算出装置が、前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備える構成とすることができる。かかる場合には、特定副計測点集合について、推定装置によって求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、パラメータ算出装置が、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行って、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータを求めるので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第3の位置検出装置では、前記評価演算装置の評価結果に基づいて、前記所定のパラメータの値を求めるパラメータ決定装置を更に備える構成とすることができる。かかる場合には、統計的な妥当性を維持しつつ、所定数のパラメータの値を求めるための位置計測点の数を減少させることができるので、精度を維持しつつ、位置検出の迅速化を図ることができる。

本発明は、第 8 の観点からすると、第 1 の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、前記位置計測点の位置を計測する計測装置と；前記第 1 の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第 2 の数を超える第 3 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 1 副計測点集合を選択するとともに、前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する集合選択装置と；前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する評価演算装置と；を備える第 4 の位置検出装置である。

これによれば、計測装置によって計測された位置計測点の位置に基づいて、評価演算装置が、上述の本発明の第 4 の位置検出方法を使用して、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために位置計測を行う位置計測点からなるサンプル集合を、複数の第 1 副計測点集合から第 1 副計測点集合よりも要素数の少ない複数の第 2 副計測点集合のいずれかに置き換えることが可能か否かを統計的に評価する。したがって、サンプル集合の要素である位置計測点の数を減少させるのにあたって、求められる所定数のパラメータの値の統計的な妥当性を維持することができる。

本発明の第 4 の位置検出装置では、前記評価演算装置が、前記複数の第 1 副計測点集合及び前記複数の第 2 副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求め、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについての前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値及びその確からしさを求める推定値算出装置と；前記統計

的に妥当な推定値及びその確からしさと、前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する評価装置と；を備える構成とすることができる。

かかる場合には、評価装置が、推定値算出装置によって求められた複数の第1副計測点集合それぞれに関する所定数のパラメータから、統計的に妥当な所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求める。そして、評価装置が、推定値算出装置によって求められた第2副計測点集合それぞれに関する所定数のパラメータの推定値及びその確からしさと、統計的に妥当な所定数のパラメータの推定値及びその確からしさとを比較する。この比較では、推定値同士の間での比較だけでなく、位置計測点の位置誤差分布のバラツキを反映した推定値の確からしさを比較も行われ、双方の比較結果を総合した結果として、位置誤差分布同士が比較される。したがって、複数の第2副計測点集合が、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を同等に反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記推定値算出装置が、前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備える構成とすることができる。かかる場合には、特定副計測点集合について、推定装置によって求められた位置計測点の位置の確からしさの情報

、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、パラメータ算出装置が、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行って、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータを求めるので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第4の位置検出装置では、前記評価演算装置が、前記複数の第2副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算出装置と；前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記複数の第1副計測点集合のいずれかに含まれる前記位置計測点の位置誤差を求め、前記複数の第1副計測点集合を前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備える構成とすることができる。

かかる場合には、評価装置が、推定値算出装置によって求められた第2副計測点集合それぞれに関する所定数のパラメータの推定値を適用した場合における複数の第1副計測点集合に含まれる位置計測点の位置誤差を求めることにより、複数の第1副計測点集合をサンプル集合とした場合に推定される全ての位置計測点に関する位置誤差分布を求める。したがって、複数の第1副計測点集合の位置計測点の位置計測結果から所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求め、さらに統計的な妥当な所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを求めずに、複数の第2副計測点集合のいずれかが、全ての位置計測点を遍くサンプルした場合を反映しているか否かを判断することができる。

このとき、前記推定値算出装置が、前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点そ

それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備える構成とすることができる。かかる場合には、特定副計測点集合について、推定装置によって求められた位置計測点の位置の確からしさの情報、すなわち求められた位置計測点の位置における確率密度によって、パラメータ算出装置が、求められたマークの位置とその基準位置との誤差に関する重み付けを行って、物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータを求めるので、求められた各位置計測点の位置の確からしさを合理的に反映しつつ、所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を得ることができる。

また、本発明の第4の位置検出装置では、前記評価演算装置の評価結果に基づいて、前記所定のパラメータの値を求めるパラメータ決定装置を更に備える構成とすることができる。かかる場合には、統計的な妥当性を維持しつつ、所定数のパラメータの値を求めるための位置計測点の数を減少させることができるので、精度を維持しつつ、位置検出の迅速化を図ることができる。

本発明は、第9の観点からすると、所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光方法であって、本発明の位置検出方法によって、前記区画領域の位置に関する所定数のパラメータを求めて、前記基板上における前記区画領域の配列情報を算出する配列情報算出工程と；前記配列情報算出工程において求められた前記区画領域の配列情報に基づいて、前記基板の位置合わせを行いつつ、前記区画領域に前記パターンを転写する転写工程とを含む露光方法である。

これによれば、本発明の位置検出方法を使用して、基板における区画領域の

配列位置を高精度で検出し、その検出結果に基づいて基板の位置合わせを行いつつ、区画領域にパターンを転写する。したがって、パターンを精度良く区画領域に転写することができる。

本発明は、第10の観点からすると、所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光装置であって、前記基板を移動面に沿って移動させるステージ装置と；前記ステージ装置に搭載された前記基板上の前記区画領域の配列情報を求める本発明の位置検出装置とを備える露光装置である。

これによれば、本発明の位置検出装置によって検出された区画領域の配列に基づいて、ステージ装置によって基板を移動させて位置合わせを行いつつ、区画領域にパターンを転写する。したがって、パターンを精度良く区画領域に転写することができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層の微細なパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができ、その生産性を向上させることができる。したがって、本発明は、別の観点からすると、本発明の露光装置を用いて製造されたデバイスであり、また、本発明の露光方法を使用するデバイス製造方法であるとも言える。

図面の簡単な説明

図1は、一実施形態の露光装置の概略構成を示す図である。

図2A及び図2Bは、位置合わせマークの例を説明するための図である。

図3は、図1の装置における主制御系の概略構成を示す図である。

図4は、転写されたマークの設計値を説明するための図である。

図5は、位置検出の動作を説明するためのフローチャート（その1）である。

図6は、位置検出の動作を説明するためのフローチャート（その2）である。

。

図 7 は、マークの計測結果を説明するための図である。

図 8 A 及び図 8 B は、マーク計測結果と確率密度関数の一例を示す図である

。

図 9 A 及び図 9 B は、マーク計測結果と確率密度関数の他例を示す図である

。

図 10 は、位置検出の動作を説明するためのフローチャート（その 3）である。

図 11 は、図 1 に示された露光装置を用いたデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

図 12 は、図 11 のウエハ処理ステップにおける処理のフローチャートである。

図 13 は、変形例（その 1）を説明するための図である。

図 14 は、変形例（その 2）を説明するための図である。

図 15 A～図 15 D は、変形例（その 2）で使用される 2 次元マークの構成例を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の一実施形態を、図 1～図 12 を参照して説明する。

図 1 には、本発明の一実施形態に係る露光装置 100 の概略構成が示されている。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である。この露光装置 100 は、照明系 10、マスクとしてのレチクル R を保持するレチクルステージ R S T、投影光学系 P L、基板（物体）としてのウエハ W が搭載されるウエハステージ W S T、撮像装置としてのアライメント顕微鏡 A S、及び装置全体を統括制御する主制御系 20 等を備えている。

前記照明系 10 は、光源、オプティカルインテグレータであるフライアイレ

レンズ等からなる照度均一化光学系、リレーレンズ、可変NDフィルタ、レチクルブラインド、及びダイクロイックミラー等（いずれも不図示）を含んで構成されている。こうした照明系の構成は、例えば、特開平10-112433号公報に開示されている。ここで、光源ユニットとしては、KrFエキシマレーザ光源（発振波長248nm）、ArFエキシマレーザ光源（発振波長193nm）、若しくはF₂レーザ光源（発振波長157nm）、Kr₂（クリプトンダイマ）レーザ光源（発振波長146nm）、Ar₂（アルゴンダイマ）レーザ光源（発振波長126nm）、銅蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置、又は超高圧水銀ランプ（g線、i線等）等が用いられる。なお、以上の光源ユニットから射出される光に代えて、X線や電子線等の荷電粒子線を用いる構成とすることも可能である。

このようにして構成された照明系10の作用を簡単に説明すると、光源ユニットで発光された照明光は、シャッタが開いていると照度均一化光学系に入射する。これにより、照度均一化光学系の射出端に多数の2次光源が形成され、この多数の2次光源から射出された照明光は、ビームスプリッタ及び集光レンズ系を介してレチクルブラインドに至る。そして、レチクルブラインドを通過した照明光は、結像レンズ系を介して射出される。この照明系10では、回路パターン等が描かれたレチクルR上のレチクルブラインドで規定されたスリット状の照明領域部分を照明光ILによりほぼ均一な照度で照明する。

前記レチクルステージRST上にはレチクルRが、例えば真空吸着により固定されている。レチクルステージRSTは、ここでは、磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータから成る不図示のレチクルステージ駆動部によって、レチクルRの位置決めのため、照明系10の光軸（後述する投影光学系PLの光軸AXに一致）に垂直なXY平面内で微少駆動可能であるとともに、所定の走査方向（ここではY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。さらに、本実施形態では上記磁気浮上型の2次元リニアアクチュエータはX

駆動用コイル、Y駆動用コイルの他にZ駆動用コイルを含んでいるため、Z方向にも微小駆動可能となっている。

レチクルステージRSTのステージ移動面内の位置は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、移動鏡15を介して、例えば0.5～1nm程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計16からのレチクルステージRSTの位置情報はステージ制御系19に送られ、ステージ制御系19はレチクルステージRSTの位置情報に基づいてレチクルステージ駆動部（図示省略）を介してレチクルステージRSTを駆動する。

前記投影光学系PLは、レチクルステージRSTの図1における下方に配置され、その光軸AXの方向がZ軸方向とされている。投影光学系PLとしては、例えば両側テレセントリックで所定の縮小倍率（例えば1/5、1/4、又は1/6）を有する屈折光学系が使用されている。このため、照明光学系からの照明光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の回路パターンの縮小像（部分倒立像）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。

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、ベースBS上に配置され、このウエハステージWST上には、ウエハホルダ25が載置されている。このウエハホルダ25上にウエハWが例えば真空吸着等によって固定されている。ウエハホルダ25は不図示の駆動部により、投影光学系PLの光軸直交面に対し、任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系PLの光軸AX方向（Z方向）にも微動可能に構成されている。また、このウエハホルダ25は光軸AX回りの微小回転動作も可能になっている。

ウエハステージWSTは走査方向（Y方向）の移動のみならず、ウエハW上の複数のショット領域を前記照明領域と共役な露光領域に位置させることができるように、走査方向に垂直な方向（X方向）にも移動可能に構成されており

、ウエハW上の各ショット領域を走査（スキャン）露光する動作と、次のショットの露光開始位置まで移動する動作とを繰り返すステップ・アンド・スキャン動作を行う。このウエハステージWSTはモータ等を含むウエハステージ駆動部24によりXY2次元方向に駆動される。

ウエハステージWSTのXY平面内での位置はウエハレーザ干渉計18によって、移動鏡17を介して、例えば0.5~1nm程度の分解能で常時検出されている。ウエハステージWSTの位置情報（又は速度情報）WPVはステージ制御系19に送られ、ステージ制御系19はこの位置情報（又は速度情報）WPVに基づいてウエハステージWSTを制御する。

前記アライメント顕微鏡ASは、投影光学系PLの側面に配置された、オフアクシス方式のアライメントセンサである。このアライメント顕微鏡ASは、ウエハW上の各ショット領域に付設されたアライメントマーク（ウエハマーク）の撮像結果を出力する。アライメントマークとしては、例えば、図2Aに示されるようなウエハW上のショット領域SA(i, j)の周囲のストリートライン上に形成された、位置合わせマークとしてのX方向位置検出用のマークMX(i, j)とY方向位置検出用のマークMY(i, j)とが使用される。各マークMX(i, j), MY(i, j)としては、例えば、図2Bにおいて拡大されたマークMX(i, j)で代表して示されるように、検出方向について周期構造を有するラインアンドスペースマークを使用することができる。なお、図2Bにおいては、ラインが3本のラインアンドスペースマークが示されているが、マークMX(i, j)（又はマークMY(i, j)）として採用されるラインアンドスペースマークにおけるライン本数は、3本以上であってもよい。アライメント顕微鏡ASは、その撮像結果である撮像データIMDを主制御系20へ向けて出力する（図1参照）。

前記主制御系20は、図3に示されるように、主制御装置30と記憶装置40とを備えている。主制御装置30は、ステージ制御系19にステージ制御デ

ータSCDを供給する等して露光装置100の動作を制御するとともに、サンプル集合及び置換候補集合を選択する集合選択装置及びとしての制御装置39と位置演算装置37とから構成されている。該位置演算装置37は、撮像データ収集装置31と、該撮像データ収集装置31によって収集された撮像データに基づき、撮像されたマークMX、MYの位置情報を算出するマーク情報算出装置32と、ショット領域SAの配列を一義的に決定する位置パラメータの推定値を算出するパラメータ算出装置33と、統計的に妥当な位置パラメータの値を算出する妥当値算出装置34と、サンプル集合をより要素数の少ないものとする可能性を評価する評価装置35とを備えている。また、記憶装置40は、その内部に撮像データ格納領域41と、サンプル集合情報格納領域42と、マーク情報格納領域43と、推定値格納領域45と、妥当値格納領域44とを有している。

なお、前述のアライメント顕微鏡ASと制御装置39と位置演算装置37とから位置検出装置が構成されている。また、マーク情報算出装置32と、パラメータ算出装置33と、妥当値算出装置34とから推定値算出装置が構成され、該推定値算出装置と評価装置35とから評価演算装置が構成されている。また、アライメント顕微鏡ASと撮像データ収集装置31とから計測装置が構成されている。また、パラメータ算出装置33と妥当値算出装置34とからパラメータ決定装置が構成されている。なお、図3においては、データの流れが実線矢印で示され、制御の流れが点線矢印で示されている。主制御系20の各装置の作用は後述する。

なお、本実施形態では、主制御系20を上記のように、各種の装置を組み合わせて構成したが、主制御系20を計算機システムとして構成し、主制御装置30を構成する上記の各装置の機能を計算機に内蔵されたプログラムによって実現することも可能である。

図1に戻り、露光装置100には、投影光学系PLの最良結像面に向けて複

数のスリット像を形成するための結像光束を光軸 AX 方向に対して斜め方向より供給する照射光学系 13 と、その結像光束のウエハ W の表面での各反射光束をそれぞれスリットを介して受光する受光光学系 14 とから成る斜入射方式の多点フォーカス検出系が、投影光学系 PL を支える支持部（図示省略）に固定されている。ステージ制御系 19 はこの多点フォーカス検出系（13、14）からのウエハ位置情報に基づいてウエハホルダ 25 を Z 方向及び傾斜方向に駆動する。この多点フォーカス位置検出系の詳細な構成等については、例えば特開平 6-283403 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,448,332 号等が開示されている。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の許す限りにおいて、上記の公報及び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。

以上のように構成された露光装置 100 では、以下のようにしてウエハ W 上におけるショット領域の配列座標を検出する。なお、ショット領域の配列座標を検出する前提として、マーク $MX(i, j)$ 、 $MY(i, j)$ は、前層までのプロセス（例えば、第 1 層目のプロセス）で既にウエハ W 上に形成されているものとする。

また、マーク $MX(i, j)$ に対応する設計上の理想的なマーク $DMX(i, j)$ におけるライン部とスペース部との境界（以下、「エッジ」という）の X 位置 $\{DX_1(i, j), DX_2(i, j), DX_3(i, j), DX_4(i, j), DX_5(i, j), DX_6(i, j)\}$ は、既知であり、図 4 に示される通りであるとする。なお、図 4 においては、エッジ位置 $DX_k(i, j)$ ($k=1\sim 6$) を DX_k と表記している。すなわち、エッジ位置 $DX_k(i, j)$ ($k=1\sim 6$) について、

$$DX_{k+1}(i, j) - DX_k(i, j) = \Delta X \quad \dots (1)$$

が成り立っているものとする。また、マーク $DMX(i, j)$ の X 位置 $DX_x(i, j)$ は、

$$DX_X(i, j) = \left\{ \sum_{k=1}^6 DX_k(i, j) \right\} / 6 \quad \dots(2)$$

で定義され、既知であるとする。さらに、マークDMX (i, j) のY位置DY_X (i, j) も、設計上決まっており、既知であるとする。

また、マークMY (i, j) に対応する設計上のマークDMY (i, j) におけるエッジのY位置 (DY₁ (i, j), DY₂ (i, j), DY₃ (i, j), DY₄ (i, j), DY₅ (i, j), DY₆ (i, j)) は、マークDMX (i, j) の場合と同様に既知であるとする。すなわち、エッジ位置DY_k (i, j) (k = 1 ~ 6) について、

$$DY_{k+1} (i, j) - DY_k (i, j) = \Delta Y \quad \dots (3)$$

が成り立っているものとする。また、マークDMY (i, j) のY位置DY_Y (i, j) は、

$$DY_Y(i, j) = \left\{ \sum_{k=1}^6 DY_k(i, j) \right\} / 6 \quad \dots(4)$$

で定義され、既知であるとする。さらに、マークDMY (i, j) のX位置DX_Y (i, j) も、設計上決まっており、既知であるとする。

以下、前層までのプロセスにより同様のパターン (第1の数のマークを含む) が形成された複数のウエハW (例えば、1ロット分のウエハ) 上におけるショット領域の配列座標の検出を、図5に示されるフローチャートに基づきながら、適宜他の図面を参照しつつ説明する。

まず、図5のステップ201において、制御装置39が、P (> 1) 個のサンプル集合S_p {MX (i_{pm}, j_{pm}), MY (i_{ps}, j_{ps})} (p = 1 ~ P, m = 1 ~ M (第3の数), s = 1 ~ M, M > 4) を選択するとともに、Q (> 1) 個の置換候補集合R_q {MX (i_{qn}, j_{qn}), MY (i_{qt}, j_{qt})} (q = 1 ~ Q, n = 1 ~ N (第4の数), t = 1 ~ N, 4 ≤ N < M) を選択して、サンプル集合S_p 及び置換候補集合R_q の要素情報を図3のサンプル集合情報格納領域42に格納す

る。

ここで、サンプル集合 S_p の要素である M 個のマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ 及び M 個のマーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ それぞれは、設計上一直線上には並ばないように選択される。また、任意の 2 つのサンプル集合 S_p 間では、少なくとも 1 つの要素が異なるように選択する。

また、置換候補集合 R_p の要素である N 個のマーク $MX(i_{qn}, j_{qn})$ 及び N 個のマーク $MY(i_{qt}, j_{qt})$ それぞれも、設計上一直線上には並ばないように選択される。また、任意の 2 つの置換候補集合 R_q 間では、少なくとも 1 つの要素が異なるように選択する。

なお、本実施形態では、サンプル集合 S_p の要素であるマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の数とマーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の数とは共に M 個としたが、互いに異なる数とすることが可能である。かかる場合には、サンプル集合 S_p の要素であるマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の数とマーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の数とは共に 3 個以上であり、かつ、総計が 6 個よりも多くなければならない。また、本実施形態では、置換候補集合 R_q の要素であるマーク $MX(i_{qn}, j_{qn})$ の数とマーク $MY(i_{qt}, j_{qt})$ の数とについても共に N 個としたが、互いに異なる数とすることが可能である。かかる場合にも、置換候補集合 R_q の要素であるマーク $MX(i_{qn}, j_{qn})$ の数とマーク $MY(i_{qt}, j_{qt})$ の数とは共に 3 個以上であり、かつ、総計が 6 個よりも多くなければならない。

次に、最初のウエハ W がウエハホルダ 25 に不図示のウエハローダによってロードされ、主制御系 20 によるステージ制御系 19 を介したウエハ W の移動により、アライメント顕微鏡 AS の観察視野内に各マーク $MX(i, j)$, $MY(i, j)$ を入れることができるように、粗い精度の位置合わせ（プリアライメント）が行われる。こうした、プリアライメントは、ウエハ W の外形の観察や、広い視野でのマーク $MX(i, j)$, $MY(i, j)$ の観察結果及びウエハ干渉計 18 からの位置情報（又は速度情報）に基づいて、主制御系 20（より

詳しくは、制御装置 39) によってステージ制御系 19 を介して行なわれる。

引き続き、図 5 に戻り、サブルーチン 202 において、サンプル集合 S_p 又は置換候補集合 R_q の要素である、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ 、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ 、マーク $MX(i_{qn}, j_{qn})$ 、及び $MY(i_{qt}, j_{qt})$ の位置を計測する。

サブルーチン 202 では、まず、図 6 のステップ 211 において、最初のマーク (X 位置検出用マーク $MX(i_{11}, j_{11})$ とする) をアライメント顕微鏡 AS による撮像位置となるようにウエハ W を移動する。かかる移動は、主制御系 20 によってステージ制御系 19 を介した制御の下で行われる。

引き続き、ステップ 212 において、アライメント顕微鏡 AS がマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ を撮像する。そして、制御装置 39 からの指示に応じて、撮像データ収集装置 31 が入力した撮像データ IMD を撮像データ格納領域 41 に格納することにより、撮像データ IMD が収集される。

次に、ステップ 213 において、制御装置 39 からの指示に応じて、マーク情報算出装置 32 が、撮像データ格納領域 41 からマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ に関する撮像データを読み出し、該撮像データ及びウエハ干渉計 18 からの位置情報 (又は速度情報) WPV に基づいて、マーク $MX(i_{11}, j_{11})$ における位置情報としての 6 個のエッジの X 位置を抽出する。こうして、図 7 に示される ($FX_1(i_{11}, j_{11})$, $FX_2(i_{11}, j_{11})$, $FX_3(i_{11}, j_{11})$, $FX_4(i_{11}, j_{11})$, $FX_5(i_{11}, j_{11})$, $FX_6(i_{11}, j_{11})$) が、6 個のエッジの X 位置として抽出される。

かかるエッジの X 位置の抽出は、図 7 に示されるように、マーク $MX(i_{11}, j_{11})$ の 3 つのライン部全てを通る X 軸と平行な $XS(i_{11}, j_{11})$ 軸に沿って、撮像データを走査することによって得られた波形を解析することによって行うこともできるし、また、撮像データを Y 方向に積算して得られた波形を解析することによって行うこともできる。ここで、後者の方法の方が演算量が多くなるが、精度良くエッジの X 位置を抽出することができる。

図6に戻り、引き続き、ステップ214において、マーク情報算出装置32が、ステップ213において抽出されたマークMX(i₁₁, j₁₁)のエッジ位置FX_k(i₁₁, j₁₁) (k=1~6)、及びマークMX(i₁₁, j₁₁)に対応する設計上のマークDMX(i₁₁, j₁₁)のエッジ位置DX_k(i₁₁, j₁₁)に基づいて、マークMX(i₁₁, j₁₁)の位置FX(i₁₁, j₁₁)及びその位置の確率密度PFX(i₁₁, j₁₁)を次のようにして算出する。

まず、マーク情報算出装置32が、マークMX(i₁₁, j₁₁)のX位置FX(i₁₁, j₁₁)を、

$$FX(i_{pm}, j_{pm}) = \left\{ \sum_{k=1}^6 FX_k(i_{pm}, j_{pm}) \right\} / 6 \quad \dots(5)$$

に基づいて算出する。すなわち、マークMX(i₁₁, j₁₁)のエッジ位置FX_k(i₁₁, j₁₁) (k=1~6)の平均値をマークMX(i₁₁, j₁₁)のX位置FX(i₁₁, j₁₁)として求める。

次に、マーク情報算出装置32が、設計上のエッジ位置DX_k(i₁₁, j₁₁)に対する計測されたエッジ位置FX_k(i₁₁, j₁₁)の誤差dFX_k(i₁₁, j₁₁)を

$$dFX_k(i_{11}, j_{11}) = FX_k(i_{11}, j_{11}) - DX_k(i_{11}, j_{11}) \quad \dots(6)$$

によって算出した後、誤差dFX_k(i₁₁, j₁₁)の平均値dFX(i₁₁, j₁₁)及び標準偏差σX(i₁₁, j₁₁)を、

$$dFX(i_{pm}, j_{pm}) = \left\{ \sum_{k=1}^6 dFX_k(i_{pm}, j_{pm}) \right\} / 6 \quad \dots(7)$$

$$\sigma X(i_{pm}, j_{pm}) = \left[\left\{ \sum_{k=1}^6 (dFX_k(i_{pm}, j_{pm}) - dFX(i_{pm}, j_{pm}))^2 \right\} / 5 \right]^{1/2} \quad \dots(8)$$

に基づいて算出する。

なお、(5)式で算出されるマークMX(i₁₁, j₁₁)のX位置FX(i₁₁, j

11)、上述のマーク $DMX(i_{11}, j_{11})$ の X 位置 $DX_X(i_{11}, j_{11})$ 、及び誤差 $dFX_k(i_{11}, j_{11})$ の平均値 $dFX(i_{11}, j_{11})$ の間には、

$$FX(i_{11}, j_{11}) = DX_X(i_{11}, j_{11}) + dFX(i_{11}, j_{11}) \quad \dots (6A)$$

という関係があるので、マーク $MX(i_{11}, j_{11})$ の X 位置 $FX(i_{11}, j_{11})$ の算出にあたっては、(5) 式による算出に代えて、(7) 式によって値 $dFX(i_{11}, j_{11})$ を算出した後、これを利用して (6A) 式によって算出することも可能である。

また、値 $dFX(i_{11}, j_{11})$ の算出にあたっては、(7) 式による算出に代えて、(5) 式によって値 $FX(i_{11}, j_{11})$ を算出した後、

$$dFX(i_{11}, j_{11}) = FX(i_{11}, j_{11}) - DX_X(i_{11}, j_{11}) \quad \dots (6B)$$

によって算出することもできる。

ところで、誤差 $dFX_k(i_{11}, j_{11})$ の発生要因はランダムであると考えられるので、マーク情報算出装置 32 は、その分布が正規分布であるとして、誤差 $dFX_k(i_{11}, j_{11})$ の確率密度関数 $f_{X11}(dX)$ が、

$$f_{X11}(dx) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma X(i_{11}, j_{11})} \cdot \exp\left[-\frac{\{dx - dFX(i_{11}, j_{11})\}^2}{2(\sigma X(i_{11}, j_{11}))^2}\right] \quad \dots (9)$$

であると推定する。そして、かかる推定に基づいて、マーク情報算出装置 32 は、変数 dX の値が $dFX(i_{11}, j_{11})$ である場合の確率密度、すなわちマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ の X 位置が値 $FX(i_{11}, j_{11})$ となる生起確率 $pFX(i_{11}, j_{11})$ を、

$$\begin{aligned} pFX(i_{11}, j_{11}) &= f_{X11}(dFX(i_{11}, j_{11})) \\ &= \{(2\pi)^{1/2} \cdot \sigma X(i_{11}, j_{11})\}^{-1} \quad \dots (10) \end{aligned}$$

によって算出する。以上のようにして求められたマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ についての位置 $FX(i_{11}, j_{11})$ 及びその生起確率 $pFX(i_{11}, j_{11})$ を、マーク情報算出装置 32 が、マーク情報格納領域 43 に格納する。こうして最初のマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ に関するマーク情報の算出が完了する。

以上のようにして、計測されたエッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ に基づいて、マーク $M X(i_{11}, j_{11})$ の X 位置 $F X(i_{11}, j_{11})$ とその生起確率 $p F X(i_{11}, j_{11})$ を求めた一例が図 8 A 及び図 8 B に示されており、また、他例が図 9 A 及び図 9 B に示されている。

図 8 A 及び図 8 B に示された例は、図 8 A に示されるように、設計上のエッジ位置 $D X_k(i_{11}, j_{11})$ に対する計測されたエッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ の誤差 $d F X_k(i_{11}, j_{11})$ が比較的均一であった例である。なお、図 8 A においては、マーク $D M X(i_{11}, j_{11})$ 内において、エッジ位置 $D X_k(i_{11}, j_{11})$ を X 軸上にある要素として図示するとともに、それらの要素の上に符号 $D X_k$ を付している。また、マーク $M X(i_{11}, j_{11})$ 内において、エッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ を X 軸上にある要素として図示するとともに、それらの要素の上に符号 $F X_k$ を付している。

図 8 A に示されるような、エッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ が計測されたマーク $M X(i_{11}, j_{11})$ では、誤差分布の確率密度関数 $f_{X11}(d X)$ が図 8 B に示されるようにシャープな形状となる。すなわち、誤差分布の標準偏差 $\sigma X(i_{11}, j_{11})$ が小さな値となる。この結果、誤差が値 $d F X(i_{11}, j_{11})$ となる（すなわち、マーク $M X(i_{11}, j_{11})$ の X 位置が値 $F X(i_{11}, j_{11})$ となる）確率密度 $p F X(i_{11}, j_{11})$ が、後述する図 9 B の場合よりも大きなものとなる。

一方、図 9 A 及び図 9 B に示された例は、図 9 A に示されるように、設計上のエッジ位置 $D X_k(i_{11}, j_{11})$ に対する計測されたエッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ の誤差 $d F X_k(i_{11}, j_{11})$ が大きくばらついた例である。なお、図 9 A においても、図 8 A と同様の表現方法を使用している。

図 9 A に示されるような、エッジ位置 $F X_k(i_{11}, j_{11})$ が計測されたマーク $M X(i_{11}, j_{11})$ では、誤差分布の確率密度関数 $f_{X11}(d X)$ が図 9 B に示されるようになだらかな形状となる。すなわち、誤差分布の標準偏差 $\sigma X(i_{11}, j_{11})$

、 j_{11}) が大きな値となる。この結果、誤差が値 $dFX(i_{11}, j_{11})$ となる (すなわち、マーク $MX(i_{11}, j_{11})$ の X 位置が値 $FX(i_{11}, j_{11})$ となる) 確率密度 $pFX(i_{11}, j_{11})$ が、前述した図 8 B の場合よりも小さなものとなる。

次に、図 6 に戻り、ステップ 215 において選択された全てのマークについてマーク情報の算出を完了したか否かが判定される。以上では、1 個のマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ のみについてマーク情報、すなわちマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ のマーク位置 $FX(i_{11}, j_{11})$ 及びその確率密度 $pFX(i_{11}, j_{11})$ の算出が完了したのみなので、ステップ 215 における判定は否定的なものとなり、ステップ 216 に処理が移行する。

ステップ 216 では、制御装置 39 が、次のマークがアライメント顕微鏡 AS の撮像視野に入る位置にウエハ W を移動させる。かかるウエハ W の移動は、制御装置 39 が、プリアライメント結果に基づいて、ステージ制御系 19 を介してウエハ駆動装置 24 を制御し、ウエハステージ WST を移動させることにより行われる。

以後、ステップ 215 において、選択された全てのマークについてマーク情報 (マーク位置及び確率密度) が算出されたと判定されるまで、上述のマーク $MX(i_{11}, j_{11})$ の場合と同様にして、他のマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の X 位置 $FX(i_{pm}, j_{pm})$ 及びその確率密度 $pFX(i_{pm}, j_{pm})$ 、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の Y 位置 $FY(i_{ps}, j_{ps})$ 及びその確率密度 $pFY(i_{ps}, j_{ps})$ 、マーク $MX(i_{qn}, j_{qn})$ の X 位置 $FX(i_{qn}, j_{qn})$ 及びその確率密度 $pFX(i_{qn}, j_{qn})$ 、並びにマーク $MY(i_{qt}, j_{qt})$ の Y 位置 $FY(i_{qt}, j_{qt})$ 及びその確率密度 $pFY(i_{qt}, j_{qt})$ が算出される。こうして、選択された全てのマークのマーク情報が算出され、ステップ 215 において肯定的な判定がなされると、サブルーチン 202 が完了し、図 5 のステップ 203 に処理が移行する。

ステップ 203 では、制御装置 39 の指示に応じて、パラメータ算出装置 3

3が、サンプル集合 S_p ごとに、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ ($m=1\sim M$)のX位置 $FX(i_{pm}, j_{pm})$ 及びその確率密度 $p_{FX}(i_{pm}, j_{pm})$ 、並びにマーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ ($s=1\sim M$)のY位置 $FY(i_{ps}, j_{ps})$ 及びその確率密度 $p_{FY}(i_{ps}, j_{ps})$ を、マーク情報格納領域43から読み出す。そして、ショット領域 $SA(i, j)$ の配列を一義的に規定するパラメータの推定値を求める。

ところで、ウエハWに形成されたマーク $MX(i, j)$ 、 $MY(i, j)$ が設計位置からずれるのは、ウエハステージWSTの移動位置を規定するステージ座標系 (X, Y) と設計座標系であるショット領域の配列座標系すなわちウエハ座標系 (α, β) との不整合であり、かかる不整合が生じる主要因は、次の4つであると考えられる。

- ①ウエハの回転：これはステージ座標系 (X, Y) に対するウエハの座標系 (α, β) の残留回転誤差 θ で表される。
- ②ステージ座標系 (X, Y) の直交度：これはX軸方向及びY軸方向のウエハステージWSTの送りが正確に直交していないことにより生じ、直交度誤差 w で表される。
- ③ウエハ座標系 (α, β) における α 方向及び β 方向の線形伸縮（ウエハスケーリング）：これはウエハWが加工プロセス等によって全体的に伸縮することである。この伸縮量は α 方向及び β 方向についてそれぞれウエハスケーリング R_x 及び R_y で表される。ただし、 α 方向のウエハスケーリング R_x はウエハW上の α 方向の2点間の距離の実測値と設計値との比、 β 方向のウエハスケーリング R_y は β 方向の2点間の実測値と設計値との比で表すものとする。
- ④ウエハ座標系 (α, β) のステージ座標系 (X, Y) に対するオフセット：これはウエハWがウエハステージWSTに対して全体的に微小量だけずれることにより生じ、オフセット量 O_x, O_y で表される。

上記の①～④の誤差要因が加わった場合、ウエハ座標系 (α, β) における設計上の位置 (DX, DY) に転写されるパターンは、

$$\begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_x, 0 \\ 0, R_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta, -\sin \theta \\ \sin \theta, \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1, -\tan w \\ 0, 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DX \\ DY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_x \\ O_y \end{pmatrix} \dots(11)$$

によって求められるステージ座標系 (X, Y) 上の位置 (EX, EY) に転写されることになる。なお、実際の転写にあたっては、上記の誤差要因以外にも様々な誤差要因があると考えられるので、位置 (EX, EY) は予想転写位置として位置づけられる。

一般に、直交度誤差 w 及び残留回転誤差 θ は微小量であるとみなしてよいので、(11) 式中の三角関数を 1 次近似で表した次の (12) 式によって、設計上の転写位置 (DX, DY) と予想転写位置 (EX, EY) とが関係付けられることになる。

$$\begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_x, -R_x(w + \theta) \\ R_y \cdot \theta, R_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DX \\ DY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_x \\ O_y \end{pmatrix} \dots(12)$$

なお、以下の説明では、(12) 式を次の (13) 式の形式でも表すことにする。

$$\begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11}, A_{12} \\ A_{21}, A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} DX \\ DY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_x \\ O_y \end{pmatrix} \dots(13)$$

ここで、

$$A_{11} = R_x \dots (14)$$

$$A_{12} = -R_x \cdot (w + \theta) \dots (15)$$

$$A_{21} = R_y \cdot \theta \dots (16)$$

$$A_{22} = R_y \dots (17)$$

である。

すなわち、ショット領域 SA (i, j) の配列を一義的に規定するパラメータは、 A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_x 、及び O_y の 6 つのパラメータであるということが出来る。ステップ 203 では、パラメータ算出装置 33 が、かかる 6 つのパラメータのサンプル集合 S_p ごとの推定値を以下のようにして求めている。

まず、マークMX (i_{pm}, j_{pm}) の予想転写X位置EX (i_{pm}, j_{pm}) を、マークMX (i_{pm}, j_{pm}) の設計上の転写位置 ($DX_X (i_{pm}, j_{pm}), DY_X (i_{pm}, j_{pm})$) から、(13)式を使用して、パラメータを含んだ状態で求める。引き続き、マークMY (i_{ps}, j_{ps}) の予想転写Y位置EY (i_{ps}, j_{ps}) を、マークMY (i_{ps}, j_{ps}) の設計上の転写位置 ($DX_Y (i_{ps}, j_{ps}), DY_Y (i_{ps}, j_{ps})$) から、(13)式を使用して、パラメータを含んだ状態で求める。

次に、各マークMX (i_{pm}, j_{pm}) 毎に、計測結果から求められたX位置FX (i_{pm}, j_{pm}) の予想転写X位置EX (i_{pm}, j_{pm}) からの誤差 δX_{pm} を、

$$\delta X_{pm} = FX (i_{pm}, j_{pm}) - EX (i_{pm}, j_{pm}) \quad \dots (18)$$

によって算出する。引き続き、各マークMY (i_{ps}, j_{ps}) 毎に、計測結果から求められたY位置FY (i_{ps}, j_{ps}) の予想転写Y位置EY (i_{ps}, j_{ps}) からの誤差 δY_{ps} を、

$$\delta Y_{ps} = FY (i_{ps}, j_{ps}) - EY (i_{ps}, j_{ps}) \quad \dots (19)$$

によって算出する。

ところで、設計上のマーク形状と転写後のマーク形状との同一性が高いほど、ウエハWへのマーク転写は精度良く（転写位置精度を除く）行われたと考えられる。したがって、かかる形状の同一性の高いマークのエッジ位置の計測結果から算出されるマーク位置ほど、信頼性の高いマーク位置となっている。また、求められたマーク位置の信頼性の程度は、マーク位置の生起確率、すなわち確率密度に応じたものと考えられる。

そこで、パラメータ算出装置33では、(18)式及び(19)式によって求められた誤差 δX_{pm} 、 δY_{ps} それぞれを、確率密度 $p_{FX} (i_{pm}, j_{pm})$ 、 $p_{FY} (i_{ps}, j_{ps})$ を用いて評価し、評価された誤差 εX_{pm} 、 εY_{ps} を、

$$\varepsilon X_{pm} = p_{FX} (i_{pm}, j_{pm}) \cdot \delta X_{pm} \quad \dots (20)$$

$$\varepsilon Y_{ps} = p_{FY} (i_{ps}, j_{ps}) \cdot \delta Y_{ps} \quad \dots (21)$$

によって算出する。

次に、パラメータ算出装置 33 は、評価された誤差 εX_{pm} 、 εY_{ps} に基づいて最小二乗法を適用し、

$$S_p = \sum_{m=1}^M \varepsilon X_{pm}^2 + \sum_{s=1}^M \varepsilon Y_{ps}^2 \quad \dots(22)$$

によって求められる変動 S_p が最小となるような、6つのパラメータ A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_X 、及び O_Y の推定値を算出する。具体的には、(22)式によって求められる変動 S_p を、6個のパラメータ A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_X 、及び O_Y それぞれで偏微分したものを0として得られる6つの方程式から成る連立方程式を解くことによって、6個のパラメータ A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_X 、及び O_Y の推定値 A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、及び O_{Yp} を算出する。

そして、パラメータ算出装置 33 は、以上のようにして求められた P 組の推定値 (A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、及び O_{Yp}) を推定値格納領域 45 に格納する。

次いで、妥当値算出装置 34 は、求められた P 組の推定値 (A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、 O_{Yp}) を推定値格納領域 45 から読み出し、それぞれの組の推定値を採用した場合の各サンプル集合 S_p に関する X 位置偏差 $\sigma_p X$ 、Y 位置偏差 $\sigma_p Y$ 、及び共分散 $\sigma_p X Y$ を以下のようにして求める。

まず、妥当値算出装置 34 は、推定値 (A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、 O_{Yp}) を (13) 式のパラメータ (A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_X 、 O_Y) の値として使用して、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の予想転写 X 位置 $E X_p(i_{pm}, j_{pm})$ を、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の設計上の転写位置 ($D X_X(i_{pm}, j_{pm})$ 、 $D Y_X(i_{pm}, j_{pm})$) から求める。引き続き、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の予想転写 Y 位置 $E Y_p(i_{ps}, j_{ps})$ を、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の設計上の転写位置 ($D X_Y(i_{ps}, j_{ps})$ 、 $D Y_Y(i_{ps}, j_{ps})$) から求める。

次に、妥当値算出装置 34 は、各マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ 毎に、計測結果から求められた X 位置 $F X(i_{pm}, j_{pm})$ の予想転写 X 位置 $E X_p(i_{pm}, j_{pm})$ か

らの誤差 $\delta_p X_{pm}$ を、

$$\delta_p X_{pm} = F X (i_{pm}, j_{pm}) - E X_p (i_{pm}, j_{pm}) \quad \dots (23)$$

によって算出する。引き続き、各マーク $M Y (i_{ps}, j_{ps})$ 毎に、計測結果から求められた Y 位置 $F Y (i_{ps}, j_{ps})$ の予想転写 Y 位置 $E Y_p (i_{ps}, j_{ps})$ からの誤差 $\delta_p Y_{ps}$ を、

$$\delta_p Y_{ps} = F Y (i_{ps}, j_{ps}) - E Y_p (i_{ps}, j_{ps}) \quad \dots (24)$$

によって算出する。

引き続き、妥当値算出装置 34 は、(23) 式及び (24) 式によって求められた誤差 $\delta_p X_{pm}$ 、 $\delta_p Y_{ps}$ それぞれを、確率密度 $p F X (i_{pm}, j_{pm})$ 、 $p F Y (i_{ps}, j_{ps})$ を用いて評価し、評価された誤差 $\varepsilon_p X_{pm}$ 、 $\varepsilon_p Y_{ps}$ を、

$$\varepsilon_p X_{pm} = p F X (i_{pm}, j_{pm}) \cdot \delta_p X_{pm} \quad \dots (25)$$

$$\varepsilon_p Y_{ps} = p F Y (i_{ps}, j_{ps}) \cdot \delta_p Y_{ps} \quad \dots (26)$$

によって算出する。

次いで、妥当値算出装置 34 は、 X 位置偏差 $\sigma_p X$ 、 Y 位置偏差 $\sigma_p Y$ 、及び共分散 $\sigma_p XY$ を、次の (27) 式～(29) 式によって算出する。

$$\sigma_p X = \left[\left\{ \sum_{m=1}^M (\varepsilon X_{pm})^2 \right\} / (M - 1) \right]^{1/2} \quad \dots (27)$$

$$\sigma_p Y = \left[\left\{ \sum_{s=1}^M (\varepsilon Y_{ps})^2 \right\} / (M - 1) \right]^{1/2} \quad \dots (28)$$

$$\sigma_p XY = \left[\left\{ \sum_{m=1}^M (\varepsilon X_{pm} \cdot \varepsilon Y_{pm}) \right\} / (M - 1) \right]^{1/2} \quad \dots (29)$$

そして、妥当値算出装置 34 は、推定値 (A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{xp} 、 O_{yp}) を採用した場合の偏差 σ_p を、次の (30) 式によって算出する。

$$\sigma_p = \left\{ (\sigma_p X)^2 \cdot (\sigma_p Y)^2 - (\sigma_p XY)^2 \right\}^{1/2} \quad \dots (30)$$

こうして算出された、偏差 σ_p それぞれは、推定値 (A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p}

、 O_{Xp} 、 O_{Yp})それぞれの確からしさ、すなわちサンプル集合 S_p が、マークM X及びマークM Yの全体をどの程度代表しているかを示すものとなっている。

次に、ステップ204において、パラメータ算出装置33は、サンプル集合 S_p の数が複数であるか否かを判定する。上記では、サンプル集合 S_p の数は P (> 1)個であるので、肯定的な判定がなされ、処理がステップ205に移行する。

ステップ205では、妥当値算出装置34は、上記のようにして求められた P 組の推定値(A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、 O_{Yp})及びそれらの確からしさを反映した偏差 σ_p に基づいて、統計的に妥当なパラメータの値(A_{110} 、 A_{120} 、 A_{210} 、 A_{220} 、 O_{X0} 、 O_{Y0})を、各推定値(A_{11p} 、 A_{12p} 、 A_{21p} 、 A_{22p} 、 O_{Xp} 、 O_{Yp})について値($1/\sigma_p$)を重みとする加重平均を算出することにより求める。すなわち、次の(31)式～(36)式を演算する。

$$A_{110} = \left\{ \sum_{p=1}^P (A_{11p} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(31)$$

$$A_{120} = \left\{ \sum_{p=1}^P (A_{12p} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(32)$$

$$A_{210} = \left\{ \sum_{p=1}^P (A_{21p} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(33)$$

$$A_{220} = \left\{ \sum_{p=1}^P (A_{22p} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(34)$$

$$O_{X0} = \left\{ \sum_{p=1}^P (O_{Xp} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(35)$$

$$O_{Y0} = \left\{ \sum_{p=1}^P (O_{Yp} / \sigma_p) \right\} / \left\{ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right\} \dots(36)$$

また、妥当値算出装置34は、統計的に妥当なパラメータの値(A_{110} 、 A_{120} 、 A_{210} 、 A_{220} 、 O_{X0} 、 O_{Y0})を採用したときの偏差 σ_0 を、次の(37)式によつ

て算出する。

$$\sigma_0 = P \left/ \sum_{p=1}^P (1 / \sigma_p) \right. \quad \dots(37)$$

そして、妥当値算出装置 34 は、以上のようにして求められた、統計的に妥当なパラメータの値 (A_{110} , A_{120} , A_{210} , A_{220} , O_{X0} , O_{Y0}) 及び偏差 σ_0 を、ウエハ W の露光時に使用するパラメータの値 (A_{U11} , A_{U12} , A_{U21} , A_{U22} , O_{UX} , O_{UY}) 及び偏差 σ_U として、妥当値格納領域 44 に格納する。

次に、サブルーチン 207 において、制御装置 39 の指示に応じて、評価装置 35 が、サンプル集合 S_p を置換候補集合 R_q のいずれかによって置換することの可能性の評価を行う。

サブルーチン 207 では、まず、図 10 のステップ 221 において、評価装置 35 が、上述のサンプル集合 S_p の場合と同様にして、置換候補集合 R_q ごとに、マーク $M_X(i_{qn}, j_{qn})$ ($n=1 \sim N$) の X 位置 $F_X(i_{qn}, j_{qn})$ 及びその確率密度 $p_{F_X}(i_{qn}, j_{qn})$ 、並びにマーク $M_Y(i_{qt}, j_{qt})$ ($t=1 \sim N$) の Y 位置 $F_Y(i_{qt}, j_{qt})$ 及びその確率密度 $p_{F_Y}(i_{qt}, j_{qt})$ を、マーク情報格納領域 43 から読み出す。そして、上述のサンプル集合 S_p の場合と同様にして、ショット領域 $S_A(i, j)$ の配列を一義的に規定するパラメータ A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 O_X 、及び O_Y の推定値 A_{11q} 、 A_{12q} 、 A_{21q} 、 A_{22q} 、 O_{Xq} 、及び O_{Yq} を求める。

次いで、評価装置 35 は、上述のサンプル集合 S_p の場合と同様にして、求められた Q 組の推定値 (A_{11q} 、 A_{12q} 、 A_{21q} 、 A_{22q} 、 O_{Xq} 、 O_{Yq}) それぞれを採用した場合の各置換候補集合 R_q に関する X 位置偏差 σ_{qX} 、Y 位置偏差 σ_{qY} 、及び共分散 σ_{qXY} を求め、更に推定値 (A_{11q} 、 A_{12q} 、 A_{21q} 、 A_{22q} 、 O_{Xq} 、 O_{Yq}) を採用した場合の偏差 σ_q を算出する。こうして算出された、偏差 σ_q それぞれは、推定値 (A_{11q} 、 A_{12q} 、 A_{21q} 、 A_{22q} 、 O_{Xq} 、 O_{Yq}) それぞれの確からしさ、すなわち置換候補集合 R_q が、マーク M_X 及びマーク M_Y の全体をどの程度代表してい

るかを示すものとなっている。

次に、ステップ 2 2 2 において、評価装置 3 5 は、妥当値格納領域 4 4 から、統計的に妥当なパラメータの値 ($A U_{11}$, $A U_{12}$, $A U_{21}$, $A U_{22}$, $O U_X$, $O U_Y$) 及び偏差 σU を読み出して、各置換候補集合 R_q に関する推定値 (A_{11q} , A_{12q} , A_{21q} , A_{22q} , O_{Xq} , O_{Yq}) 及び偏差 σ_q との類似性を評価する。かかる評価は、

$$\begin{aligned} F_q = & | A_{11q} - A U_{11} | + | A_{12q} - A U_{12} | \\ & + | A_{21q} - A U_{21} | + | A_{22q} - A U_{22} | \\ & + | O_{Xq} - O U_X | + | O_{Yq} - O U_Y | \quad \dots (38) \end{aligned}$$

で求められるパラメータの値の類似度 F と、

$$G_q = | \sigma_q - \sigma U | \quad \dots (39)$$

で求められる偏差の値の類似度 G とを総合的に考慮して行われる。

例えば、所定値 $C 1$ に対して、

$$C 1 < F_q \times G_q \quad \dots (40)$$

であることをもって類似と評価することができる。かかる場合には、パラメータの値の類似度 F と偏差の値の類似度 G とが同等に扱われる。

また、所定値 $C 2$ に対して、

$$C 2 < F_q + G_q \quad \dots (41)$$

であることをもって類似と評価することができる。かかる場合にも、パラメータの値の類似度 F と偏差の値の類似度 G とが同等に扱われる。

また、所定値 $C 3$ に対して、

$$C 3 < F_q + 3 G_q \quad \dots (42)$$

であることをもって類似と評価することができる。かかる場合には、パラメータの値の類似度 F と偏差の値の類似度 G の 3 倍とが同等に扱われる。

次に、ステップ 2 2 3 において、評価装置 3 5 が、ステップ 2 2 2 における評価の結果として類似と判定された置換候補集合 R_q があつたか否かを判定す

る。判定が否定的な場合には、評価装置 35 は、その旨を制御装置 39 に報告する。かかる報告を受けた制御装置 39 は、ステップ 225 において、新たな Q 個の置換候補集合を選択し、サンプル集合情報格納領域 42 に格納する。こうして、ステップ 223 において否定的な判定がなされた場合のサブルーチン 207 の処理が完了する。

一方、ステップ 223 における判定が肯定的であった場合には、ステップ 224 において、評価装置 35 は、サンプル集合情報格納領域 42 内の置換候補集合情報を、類似と判断された置換候補集合のみに関する情報に更新する。

次に、ステップ 226 において、評価装置 35 は、所定回数連続して類似と判定された置換候補集合があったか否かを判定する。例えば、所定回数が 3 回の場合には、まだ 1 枚のウエハのみに関する 1 回のみの類似性の評価しか行っていないので、否定的な判定がなされ、サブルーチン 207 の処理を終了する。

なお、所定回数が 1 回の場合には、ステップ 226 において肯定的な判定がなされ、ステップ 227 において、評価装置 35 が、類似と判定された置換候補集合の中で、最も類似度が高かったものを新たなサンプル集合として、サンプル集合情報格納領域 42 内のサンプル集合情報を新たなサンプル集合に関する情報に置き換え、サブルーチン 207 の処理を終了する。かかる場合には、以後のサンプル集合の数は 1 個となる。

以上のサブルーチン 207 の処理と並行して、制御装置 39 は、図 5 のステップ 205 で求められたパラメータの値 ($A U_{11}$, $A U_{12}$, $A U_{21}$, $A U_{22}$, $O U_x$, $O U_y$) を用いて、ショット領域 $S A(i, j)$ の配列座標を求める。そして、制御装置 39 の制御の下で、求められたショット領域配列に基づいて、レチクル R とウエハ W との位置合わせを行い、レチクル R におけるスリット状の照明領域 (中心は光軸 $A X$ とほぼ一致) を照明光 $I L$ により照明した状態で、ウエハ W とレチクル R とを走査方向 (Y 方向) に沿って互いに逆向きに、投影

倍率に応じた速度比で同期移動させて、各ショット領域 $SA(i, j)$ にレチクル R のパターン領域のパターンを縮小転写される。そして、全てのショット領域 $SA(i, j)$ へのパターン転写が完了すると、制御装置 39 の制御の下で、ウエハがアンロードされる。

こうして、1枚目のウエハ W の露光が終了し、かつ、上記のサブルーチンの処理が終了すると、図5のステップ208において、制御装置39が、全てのウエハ（例えば、1ロット分のウエハ）の露光が完了したか否かの判定を行う。以上では、1枚目のウエハの露光が完了しただけなので、否定的な判断がなされる。そして、次のウエハが、前述の最初のウエハと同様にして、ウエハホルダ25に不図示のウエハローダによってロードされ、主制御系20によるステージ制御系19を介したウエハ W の移動により、アライメント顕微鏡 AS の観察視野内に各マーク $MX(i, j)$, $MY(i, j)$ を入れることができるように、粗い精度の位置合わせ（プリアライメント）が行われる。そして、以後、ステップ208において肯定的な判定がなされるまで、最初のウエハの場合と同様にして、図5のステップ202～207がウエハ W ごとに繰り返し実行される。

そして、図5のステップ208において、全てのウエハ W の露光が終了したと判断されると、露光処理を終了する。

なお、図10のステップ226において所定回数連続してサンプル集合と類似していると最初に判断された置換候補集合があった場合には、その中で最も類似していたものを以後のサンプル集合とするので、サンプル集合の数は1個となる。この結果、以後に実行される図5のステップ204では、否定的な判断がなされ、上述のステップ205に代えてステップ206が実行される。すなわち、1個のサンプル集合に含まれるマーク MX , MY の位置計測結果に基づいて求められた位置パラメータの推定値が、そのままウエハ W の露光時に使用するパラメータの値 (AU_{11} , AU_{12} , AU_{21} , AU_{22} , OU_x , OU_y) として

採用される。

以上のように構成され、作用する本実施形態の露光装置によれば、当初に複数のサンプル集合を選択し、サンプル集合ごとに求められる位置パラメータの推定値及びその確からしさからマークMX, MY全体の位置分布を推定し、その推定結果から位置パラメータを求めるので、統計的に妥当な位置パラメータの値を求めることができる。したがって、非常に精度の良いウエハWの位置合わせが可能となり、パターン転写の精度を向上することができる。

また、統計的に妥当な位置パラメータの値を求めるために用いたサンプル集合と同等にマークMX, MY全体の位置分布を反映している、サンプル集合よりも要素数が少ない置換候補集合を探しつつ、置換可能なものが見つかった場合には、それを新たなサンプル集合としている。したがって、求められる位置パラメータの統計的な妥当性を維持しつつ、ウエハWの位置合わせに要する時間を短縮できるので、スループットの向上を図ることができる。

また、各サンプル集合に関する位置計測用マーク（位置合わせ用マーク）の計測によって得られた各位置合わせ用マークの位置情報すなわち各位置合わせ用マークの複数のエッジ位置の計測結果からマーク位置を求めるとともに、各エッジ位置の設計値と誤差から求められたマーク位置に関する確からしさを求め、この確からしさを重み情報として、ウエハWにおけるショット領域（ i, j ）の配列を一義的に規定するパラメータの値（推定値）を各サンプル集合ごとに求めている。したがって、最終的に求められた精度の良いパラメータ値を使用して、ウエハWにおけるショット領域（ i, j ）の配列を求めて、ウエハWを位置合わせすることにより、精度の良い位置合わせを行うことができるので、重ね合わせ精度の良いパターン転写を行うことができる。

次に、本実施形態の露光装置及び方法を使用したデバイスの製造について説明する。

図11には、本実施形態におけるデバイス（ICやLSI等の半導体チップ

、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の生産のフローチャートが示されている。図11に示されるように、まず、ステップ301(設計ステップ)において、デバイスの機能設計(例えば、半導体デバイスの回路設計等)を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ302(マスク製作ステップ)において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ303(ウエハ製造ステップ)において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ304(ウエハ処理ステップ)において、ステップ301～ステップ303で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ305(デバイス組立ステップ)において、ステップ304において処理されたウエハを用いてチップ化する。このステップ305には、アッセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)パッケージング工程(チップ封入)等の工程が含まれる。

最後に、ステップ306(検査ステップ)において、ステップ305で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図12には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ304の詳細なフロー例が示されている。図12に示されるように、ステップ311(酸化ステップ)においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ312(CVDステップ)においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ313(電極形成ステップ)においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ314(イオン打込みステップ)においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ311～ステップ314それぞれは、ウエハプロセスの各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ315（レジス形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布し、引き続き、ステップ316（露光ステップ）において、上記で説明した露光装置によってマスクの回路パターンを、上述した手法を用いて位置決め及びアライメントされたウエハ上に焼付露光する。次に、ステップ317（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、引き続き、ステップ318（エッチングステップ）において、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。そして、ステップ319（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上のようにして、精度良く微細なパターンが形成されたデバイスが、高い量産性で製造される。

なお、上記の実施形態では、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ 、 $MY(i_{ps}, j_{ps})$ のエッジ位置の検出にあたって、前述のように、マークの変化方向と平行な1本の軸上における撮像データ、又はマークの変化方向と直交する方向に関する積算データを使用して、各エッジ毎に1つのエッジ位置を抽出したが、図13においてマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ について代表的に示されるように、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の変化方向と平行な複数(=H)本の軸 $X S_h(i_{pm}, j_{pm})$ ($h=1\sim H$)それぞれにおいてエッジ位置を抽出することも可能である。かかる場合には、エッジ位置として、 $FX_{kh}(i_{pm}, j_{pm})$ ($k=1\sim 6, h=1\sim H$)が抽出される。

そして、マーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ のX位置 $FX(i_{pm}, j_{pm})$ が、次の(43)式によって算出される。

$$FX(i_{pm}, j_{pm}) = \left\{ \sum_{k=1}^6 \sum_{h=1}^H FX_{kh}(i_{pm}, j_{pm}) \right\} / (6H) \quad \dots(43)$$

また、設計上のエッジ位置 $DX_k(i_{pm}, j_{pm})$ に対する計測されたエッジ位置 $FX_{kh}(i_{pm}, j_{pm})$ の誤差 $dFX_{kh}(i_{pm}, j_{pm})$ が、

$$dFX_{kh}(i_{pm}, j_{pm}) = FX_{kh}(i_{pm}, j_{pm}) - DX_k(i_{pm}, j_{pm}) \quad \dots(44)$$

によって算出された後、誤差 $dFX_{kh}(i_{pm}, j_{pm})$ の平均値 $dFX(i_{pm}, j_{pm})$ 及び標準偏差 $\sigma X(i_{pm}, j_{pm})$ が、次の(45)式及び(46)式によって算出される。

$$dFX(i_{pm}, j_{pm}) = \left\{ \sum_{k=1}^6 \sum_{h=1}^H dFX_{kh}(i_{pm}, j_{pm}) \right\} / (6H) \quad \dots(45)$$

$$\sigma X(i_{pm}, j_{pm}) = \left[\left\{ \sum_{k=1}^6 \sum_{h=1}^H (dFX_{kh}(i_{pm}, j_{pm}) - dFX(i_{pm}, j_{pm}))^2 \right\} / (6H - 1) \right]^{1/2} \quad \dots(46)$$

このようにして算出されたマーク $MX(i_{pm}, j_{pm})$ の X 位置 $FX(i_{pm}, j_{pm})$ 及び標準偏差 $\sigma X(i_{pm}, j_{pm})$ は、抽出されたエッジ位置の数が上記の実施形態よりも多いので、上記の実施形態の場合よりも統計的に妥当なものとなっている。

なお、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ についても、マーク $MX(i_m, j_m)$ と同様にして、マーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の Y 位置 $FY(i_{ps}, j_{ps})$ を求めることができる。かかる場合にも、算出されたマーク $MY(i_{ps}, j_{ps})$ の Y 位置 $FY(i_{ps}, j_{ps})$ 及び標準偏差 $\sigma Y(i_{ps}, j_{ps})$ は、抽出されたエッジ位置の数が上記の実施形態よりも多いので、上記の実施形態の場合よりも統計的に妥当なものとなっている。

以後、上記の実施形態と同様にして、ウエハ W におけるショット領域 $SA(i, j)$ の配列を一義的に規定する6つのパラメータの最適値を求める。こうして求められた6つのパラメータの最適値は、上記の場合よりも統計的に妥当

なマーク位置及びその確からしさに基づいて求められるので、上記の実施形態の場合よりも精度の良いものとなる。

また、上記の実施形態では、ウエハWにおけるショット領域SA (i, j) の配列を一義的に規定するパラメータとして、上述の6つのパラメータとしたが、更に多くのパラメータによってショット領域SA (i, j) の配列を一義的に規定する場合にも、上記の実施形態と同様にして、パラメータの最適値を精度良く求めることができる。

すなわち、上記の実施形態では、ウエハW上のショット領域SA (i, j) の位置合わせにあたって、ショット領域SA (i, j) の代表点例えば中心点の配列を規定するパラメータの適性値を求め、そのパラメータを使用して、例えばショット領域SA (i, j) の中心点を位置合わせしても、必ずしも十分な重ね合わせ精度を得ることができない。これは、例えば特開平6-275496号公報や特開平6-349705号公報に開示されているように、次の3つが主要因であると考えられる。

⑤ショット領域の回転：これは、例えばウエハW上にレチクルRに形成されたパターンを転写する際に、レチクルRがステージ座標系(X, Y)に対して回転していたり、走査露光の際におけるウエハステージWSTの動きにヨーイングが混入しているときに生じるものであり、ショット領域の中心を原点とし、ウエハ座標系(α , β)の α 軸及び β 軸と平行な座標軸を有するショット座標系に対する回転誤差 ϕ で表される。

⑥ショット領域の直交度：これは、例えばレチクルRに形成されたパターンの歪みや投影光学系PLのディストーション(歪曲誤差)等によって生じ、直交度誤差 χ で表される。

⑦ショット領域の線形伸縮：これは、例えばウエハWにレチクルRに形成されたパターンを投影する際の投影倍率の誤差や、ウエハWが加工プロセス等によって全体的又は部分的に伸縮することによって生じるものである。この伸縮量

はショット座標系における座標軸方向（すなわち、 α 方向及び β 方向）についてそれぞれウエハスケーリング r_x 及び r_y で表される。ただし、 α 方向のウエハスケーリング r_x はウエハW上の α 方向の2点間の距離の実測値と設計値との比、 β 方向のウエハスケーリング r_y は β 方向の2点間の実測値と設計値との比で表すものとする。

ところで、ショット領域内の設計上の位置（ $D X$ ， $D Y$ ）は、そのショット領域の中心座標（ $C X$ ， $C Y$ ）と、座標（ $C X$ ， $C Y$ ）に対する位置（ $D X$ ， $D Y$ ）のショット座標系における座標（ $S X$ ， $S Y$ ）とによって、

$$D X = C X + S X \quad \dots (47)$$

$$D Y = C Y + S Y \quad \dots (48)$$

と表される。したがって、上記の⑤～⑦の誤差要因が前述の①～④の誤差要因に加わった場合、ウエハ座標系（ α ， β ）における設計上の位置（ $D X$ ， $D Y$ ）に転写されるべきパターンは、

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} R_x, 0 \\ 0, R_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \theta, -\sin \theta \\ \sin \theta, \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1, -\tan w \\ 0, 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} CX \\ CY \end{pmatrix} \\ &+ \begin{pmatrix} r_x, 0 \\ 0, r_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi - \sin \phi \\ \sin \phi, \cos \phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1, -\tan \chi \\ 0, 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} SX \\ SY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_x \\ O_y \end{pmatrix} \quad \dots (49) \end{aligned}$$

によって求められるステージ座標系（ X ， Y ）上の位置（ $E X$ ， $E Y$ ）に転写されることになる。なお、実際の転写にあたっては、上記の誤差要因以外にも様々な誤差要因があると考えられるので、位置（ $E X$ ， $E Y$ ）は予想転写位置として位置づけられる。

一般に、直交度誤差 w ， χ 及び残留回転誤差 θ ， ϕ は微小量であるとみなしてよいので、(49)式中の三角関数を1次近似で表した次の(50)式によって、設計上の転写位置（ $D X$ ， $D Y$ ）と予想転写位置（ $E X$ ， $E Y$ ）との関係付けられることになる。

$$\begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_X & , -R_X(w + \theta) \\ R_Y \cdot \theta, & R_Y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} CX \\ CY \end{pmatrix} \\ - + \begin{pmatrix} r_X & , -r_X(\chi + \phi) \\ r_Y \cdot \phi, & r_X \end{pmatrix} \begin{pmatrix} SX \\ SY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_X \\ O_Y \end{pmatrix} \dots(50)$$

なお、以下の説明では、(50)式を次の(51)式の形式でも表すことにする。

$$\begin{pmatrix} EX \\ EY \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11}, A_{12} \\ A_{21}, A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} CX \\ CY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_{11}, B_{12} \\ B_{21}, B_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} SX \\ SY \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} O_X \\ O_Y \end{pmatrix} \dots(51)$$

ここで、

$$B_{11} = r_X \dots (52)$$

$$B_{12} = -r_X \cdot (\chi + \phi) \dots (53)$$

$$B_{21} = r_Y \cdot \phi \dots (54)$$

$$B_{22} = r_Y \dots (55)$$

である。

すなわち、ショット領域SA(i, j)の配列を一義的に規定するパラメータは、A₁₁、A₁₂、A₂₁、A₂₂、B₁₁、B₁₂、B₂₁、B₂₂、O_X、及びO_Yの10個のパラメータであるといえることができる。かかる10個のパラメータの最適値を求めるためには、例えば図14に示されるように、各ショット領域SA(i, j)に設計上一直線上とはならない、X方向及びY方向で変化する4つの2次元マークWM_p(i, j)(p=1~4)を形成する。なお、ウエハマークの個数は4つとは限らず、3個以上であればよい。2次元ウエハマークWM_pとしては、例えば図15A~図15Dに示される構成のマークを採用することができる。

そして、どのショット領域上にあるかを問わないが、4つの2次元マークWM_p(i, j)の内の3つを含む5個を超える2次元マークWM_p(i_m, j_m)(m>5)を計測する。この後、上記の実施形態と同様に、2次元マークWM

$p(i_m, j_m)$ の X 位置及び Y 位置と、その X 位置に関する確率密度及びその Y 位置の確率密度を求め、10 個のパラメータ A_{11} 、 A_{12} 、 A_{21} 、 A_{22} 、 B_{11} 、 B_{12} 、 B_{21} 、 B_{22} 、 O_x 、及び O_y の最適値を求める。

こうして、ショット領域の回転、直交度、及び伸縮をも考慮した場合におけるショット領域の配列を検出することができる。さらに、最適値が求められた 10 個のパラメータの内、4 つのパラメータ (B_{11} 、 B_{12} 、 B_{21} 、 B_{22}) と、上述の制御可能な誤差要因 (r_x 、 r_y 、 χ 、 ϕ) との間における (32) 式～(35) 式の関係に基づいて、更に誤差要因 (r_x 、 r_y 、 χ 、 ϕ) の最適値を求め、各誤差要因に応じて、投影光学系 PL に倍率、走査露光時における同期速度比、走査露光時における同期移動方向等を補正することにより、上記の実施形態よりも重ね合わせ精度を向上することができる。

また、上記の実施形態では、当初のサンプル集合の数を複数精度の良い位置パラメータを求めることができる少なくとも 1 個のサンプル集合が知られている場合には、その内の 1 個のサンプル集合のみを当初のサンプル集合とすればよい。かかる場合にも、上記の実施形態の処理フローを適用することができる。なお、当初からサンプル集合は 1 個なので、上記の実施形態の処理フローのステップ 204 では、常に否定的な判定がなされることになる。

また、上記の実施形態では、サンプル集合の要素数を減少させることの可能性の評価を、サンプル集合から求められた位置パラメータの値及びその確からしさと、複数の置換候補集合それぞれから求められた位置パラメータの推定値及びその確からしさとを比較することにより行ったが、いわゆる交差検証により行うことも可能である。

すなわち、置換候補集合ごとに求められた位置パラメータの推定値を使用して、サンプル集合に含まれるマーク M_X 、 M_Y の位置誤差を求め、その結果からサンプル集合に含まれるマーク M_X 、 M_Y の位置誤差分布を求めることにより、各置換候補集合が、サンプル集合と同等な統計的性質を有しているか否か

を評価することができる。かかる場合には、サンプル集合から求められた位置パラメータの値及びその確からしさを求めることを前提とせずに、置換可能性の評価ができる。かかる交差検証は、置換候補集合がサンプル集合の部分集合である場合に特に有効である。

また、上記実施形態では、サンプル集合の要素数を減少させるのにあたって、当初の複数のサンプル集合を新たな1つのサンプル集合で置き換えることにしているが、当初の複数のサンプル集合ごとに、要素数の減少を図ることも可能である。かかる場合には、複数のサンプル集合のそれぞれについて、マークの位置誤差の統計的性質と同様の性質を有する、要素数がより少ない新たなサンプル集合を探すことになる。

また、上記の実施形態では、1次元マークMX, MYを使用したがる、図15A～図15Dに示されるような2次元マークを使用することができる。また、上記の10個のパラメータを求める場合において、1次元マークMX, MYを使用することも可能である。また、2次元マークとしては、図15A～図15Dに示されるもの以外に、例えばボックスインボックスマークを使用することも可能である。こうした2次元マークの2次元位置の検出にあたっては、上述の1次元位置検出を2回組み合わせて行うことも可能であるし、2次元マークの2次元信号波形について、上記の実施形態における1次元信号に関する1次元テンプレートマッチングを2次元に拡張した2次元テンプレートマッチングを行うことも可能である。

また、上記の実施形態では、アライメント方式を、投影光学系を介することなく直接ウエハ上のアライメントマークの位置を計測するオフアクシス方式としたがる、投影光学系を介してウエハ上のアライメントマークの位置を計測するTTL（スルー・ザ・レンズ）方式や、投影光学系を介してウエハとレチクルとを同時に観察するTTR（スルー・ザ・レチクル）方式を採用することも可能である。なお、TTR方式の場合には、サンプルアライメントでは、観察時

において、レチクルに形成されたレチクルマークとウエハに形成されたウエハマークとのずれが零となるときのウエハマークの位置を検出する。

また、上記の実施形態では、各ショット領域の座標を算出したが、各ショットのステップピッチを算出してもよい。

また、上記の実施形態ではオプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてフライアイレンズを用いるものとしたが、その代わりにロッド・インテグレータを用いるようにしても良い。ロッド・インテグレータを用いる照明光学系では、ロッド・インテグレータはその射出面がレチクルRのパターン面とほぼ共役になるように配置される。なお、ロッド・インテグレータを用いる照明光学系は、例えば米国特許第5675401号に開示されており、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、その米国特許の開示を援用して本明細書の記載の一部とする。また、フライアイレンズとロッド・インテグレータとを組み合わせる、あるいは2つのフライアイレンズ又はロッド・インテグレータを直列に配置してダブルオプティカルインテグレータとしても良い。

また、上記の実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に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ることはなく、ステッパ等の静止露光型露光装置にも好適に適用できるものである。

また、例えば、紫外光を用いる露光装置であっても、投影光学系として反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタディオプトリック系）を採用しても良い。ここで、反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平8-171054号公報及びこれに対応する米国特許第5,668,672号、並びに特開平10-20195号公報及びこれに対応する米国特許第5,835,275号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開

平 8 - 3 3 4 6 9 5 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 6 8 9, 3 7 7 号、並びに特開平 1 0 - 3 0 3 9 号公報及びこれに対応する米国特許出願第 8 7 3, 6 0 5 号（出願日：1 9 9 7 年 6 月 1 2 日）などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。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、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、特開平 1 0 - 1 0 4 5 1 3 号公報及び米国特許第 5, 4 8 8, 2 2 9 号に開示される、複数の屈折光学素子と 2 枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通過して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通過してウエハ上に達することになる。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。

さらに、反射屈折型の投影光学系としては、例えば円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率が $1/4$ 倍又は $1/5$ 倍となる縮小系を用いても良い。また、この反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置の場合、照明光の照射領域が投影光学系の視野内でその光軸をほぼ中心とし、かつレチクル又はウエハの走査方向とほぼ直交する方向に沿って延びる矩形スリット状に規定されるタイプであっても良い。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長 157 nm の F_2 レーザ光を露光用照明光として用いても 100 nm L/S パターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写するこ

とが可能である。

また、真空紫外光として ArF エキシマレーザ光や F₂ レーザ光などが用いられるが、特に、前述のしたように、ビームモニタ機構及び基準波長光源のみを投影光学系 PL と同一の環境制御チャンバ内に収納する場合には、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。

例えば、単一波長レーザの発振波長を 1.51～1.59 μm の範囲内とすると、発生波長が 189～199 nm の範囲内である 8 倍高調波、又は発生波長が 151～159 nm の範囲内である 10 倍高調波が出力される。特に発振波長を 1.544～1.553 μm の範囲内とすると、発生波長が 193～194 nm の範囲内の 8 倍高調波、即ち ArF エキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を 1.57～1.58 μm の範囲内とすると、発生波長が 157～158 nm の範囲内の 10 倍高調波、即ち F₂ レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を 1.03～1.12 μm の範囲内とすると、発生波長が 147～160 nm の範囲内である 7 倍高調波が出力され、特に発振波長を 1.099～1.106 μm の範囲内とすると、発生波長が 157～158 μm の範囲内の 7 倍高調波、即ち F₂ レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイッテルビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

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 (Extreme Ultraviolet) 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。ここで

、DUV（遠紫外）光やVUV（真空紫外）光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、蛍石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキシミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、EUV露光装置では反射型マスクが用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子、プラズマディスプレイなどを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

また、上記の実施形態では、露光装置におけるウエハ上の位置合わせマークの位置検出及びウエハの位置合わせの場合を説明したが、本発明を適用した位置検出や位置合わせは、レチクル上の位置合わせマークの位置検出やレチクルの位置合わせに用いることもでき、更に、露光装置以外の装置、例えば顕微鏡等を使用した物体の観察装置、工場の組み立てライン、加工ライン、検査ラインにおける対象物の位置決め装置等における物体の位置検出やその物体の位置合わせに用いることもできる。

産業上の利用可能性

以上、詳細に説明したように、本発明の位置検出方法及び位置検出装置によれば、物体に設定された位置検出点に関する計測によって得られた位置検出点の位置情報に基づいて、統計的な処理を行うことにより、物体における任意領域の位置情報を、精度良く効率的に検出する。したがって、本発明の位置検出

方法及び位置検出装置は、物体における任意領域の位置の検出に適している。

また、本発明の露光方法及び露光装置によれば、本発明の位置検出方法を使用して、基板に形成された所定数の位置合わせマークの位置を検出し、その検出結果に基づいて基板の位置合わせを行いつつ、区画領域に所定パターンを転写する。したがって、本発明の露光方法及び露光装置は、多層的なパターン形成にあたって行われる多層露光を、層間の重ね合わせ精度を向上して行うことに適している。このため、本発明の露光装置及び露光方法は、微細パターンを有するデバイスの量産製造に適している。

請 求 の 範 囲

1. 複数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、

前記複数の位置計測点の中から、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数を超える数の位置計測点を選択し、該選択された位置計測点の位置情報を計測する計測工程と；

前記位置情報の計測結果に基づいて前記選択された位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの値を求めるパラメータ算出工程と；を含む位置検出方法。

2. 請求項1に記載の位置検出方法において、

前記基準位置は、設計情報に基づいて予め定められることを特徴とする位置検出方法。

3. 請求項1に記載の位置検出方法において、

前記誤差の評価は、前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差に前記求められた位置それぞれの確率密度を乗じることによって行われることを特徴とする位置検出方法。

4. 請求項 1 に記載の位置検出方法において、
前記確率密度関数は、正規分布の確率密度関数であることを特徴する位置検出方法。

5. 請求項 1 に記載の位置検出方法において、
前記位置計測点には、位置計測用マークが形成されることを特徴とする位置検出方法。

6. 請求項 5 に記載の位置検出方法において、
前記複数の位置計測点に形成された複数の位置検出用マークは、第 1 方向で表面状態が変化する第 1 の数の第 1 のマークを含み、
前記計測工程で計測される前記第 1 のマークに関する前記位置情報は、前記第 1 のマークそれぞれにおける複数の特徴部分の前記第 1 方向に関する位置情報であることを特徴とする位置検出方法。

7. 請求項 6 に記載の位置検出方法において、
前記計測工程では、選択された前記第 1 のマークについて、前記第 1 方向と交差する方向に関する複数の位置で前記位置情報が計測されることを特徴とする位置検出方法。

8. 請求項 6 に記載の位置検出方法において、
前記第 1 のマークは、前記第 1 方向と異なる第 2 方向でも表面状態が変化し、
前記計測工程で計測される前記第 1 のマークに関する前記位置情報は、前記第 1 のマークそれぞれにおける前記第 1 方向に関する複数の特徴部分の前記第

1 方向に関する位置情報、及び前記第 1 のマークそれぞれにおける前記第 2 方向に関する複数の特徴部分に関する前記第 2 方向に関する位置情報であることを特徴とする位置検出方法。

9. 請求項 8 に記載の位置検出方法において、

前記計測工程では、選択された前記第 1 のマークについて、前記第 1 方向と交差する方向に関する複数の位置における前記第 1 方向に関する前記位置情報、及び前記第 2 方向と交差する方向に関する複数の位置における前記第 2 方向に関する前記位置情報の少なくとも一方が計測されることを特徴とする位置検出方法。

10. 請求項 6 に記載の位置検出方法において、

前記複数のマークは、前記第 1 方向と異なる第 2 方向で表面状態が変化する第 2 の数の第 2 のマークを更に含み、

前記計測工程で計測される前記第 2 のマークに関する前記位置情報は、前記第 2 のマークそれぞれにおける複数の特徴部分の前記第 2 方向に関する位置情報であることを特徴とする位置検出方法。

11. 請求項 10 に記載の位置検出方法において、

前記計測工程では、選択された前記第 2 のマークについて、前記第 2 方向と交差する方向に関する複数の位置で前記位置情報が計測されることを特徴とする位置検出方法。

12. 請求項 5 に記載の位置検出方法において、

前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークは前記複数の区画領域それぞれに付設されることを特徴とする位置検出方法。

13. 請求項12に記載の位置検出方法において、

前記所定数のパラメータは、前記複数の区画領域それぞれにおける代表点に関するパラメータを含むことを特徴とする位置検出方法。

14. 請求項13に記載の位置検出方法において、

前記所定数のパラメータは、前記複数の区画領域それぞれにおける前記代表点以外の点に関するパラメータを更に含むことを特徴とする位置検出方法。

15. 第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、

前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第2の数を超え、かつ前記第1の数よりも少ない第3の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の副計測点集合を選択する第1工程と；

前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第2工程と；を含む位置検出方法。

16. 請求項15に記載の位置検出方法において、

前記第2工程で求められた、前記複数の副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な値を求める第3工程を更に含むことを特徴とする位置検出方法。

17. 請求項16に記載の位置検出方法において、

前記所定数のパラメータに関する前記統計的に妥当な値は、前記確からしさ

を前記確からしさに対応する前記推定値に関する重み情報としつつ、重み付けられた前記推定値の平均を算出することによって求められることを特徴とする位置検出方法。

18. 請求項15に記載の位置検出方法において、

前記第2工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

19. 請求項18に記載の位置検出方法において、

前記第2工程は、

前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

20. 請求項15に記載の位置検出方法において、

前記位置計測点には、位置計測用マークが形成されることを特徴とする位置検出方法。

2 1. 請求項 2 0 に記載の位置検出方法において、

前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークは前記複数の区画領域それぞれに付設されることを特徴とする位置検出方法。

2 2. 第 1 の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、

前記第 1 の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数である第 2 の数を超える第 3 の数の位置計測点から成る第 1 副計測点集合を選択する第 1 工程と；

前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する第 2 工程と；

前記第 1 副計測点集合に含まれる前記第 3 の数の位置計測点の計測結果と、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに含まれる前記第 4 の数の位置計測点の計測結果とに基づいて、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第 1 副計測点集合を前記複数の第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を統計的に評価する第 3 工程と；を含む位置検出方法。

2 3. 請求項 2 2 に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程は、

前記第 1 副計測点集合に含まれる前記第 3 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 4 工程と；

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさ

を統計的に求める第5工程と；

前記第1副計測点集合に関する前記推定値及びその確からしさと、前記複数の第2副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第1副計測点集合を前記複数の前記第2副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第6工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

24. 請求項23に記載の位置検出方法において、

前記第4工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

25. 請求項24に記載の位置検出方法において、

前記第4工程は、

前記第1副計測点集合に含まれる前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第3の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

26. 請求項23に記載の位置検出方法において、

前記第 5 工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

27. 請求項 26 に記載の位置検出方法において、

前記第 5 工程は、

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第 4 の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第 4 の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

28. 請求項 22 に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程は、

前記第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値を統計的に求めるとともに、前記推定値に関する確からしさを求める第 4 工程と；

前記第 4 工程によって求められた前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記第 1 副計測点集合に含まれる前記位置計測点の位置誤差を求め、前記第 1 副計測点集合を前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第 5 工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

29. 請求項28に記載の位置検出方法において、

前記第4工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

30. 請求項29に記載の位置検出方法において、

前記第4工程は、

前記複数の第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第4の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第4の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

31. 請求項22に記載の位置検出方法において、

前記第3工程で置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第2副計測点集合を選択し、選択された前記第2副計測点集合に含まれる前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし

、
前記第3工程において置き換え可能と評価された前記第2副計測点集合がな

いときに、前記第 1 副計測点集合に含まれる前記第 2 の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とする第 4 工程を更に含むことを特徴とする位置検出方法。

3 2. 請求項 2 2 に記載の位置検出方法において、

前記位置計測点には、位置計測用マークが形成されることを特徴とする位置検出方法。

3 3. 請求項 3 2 に記載の位置検出方法において、

前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークは前記複数の区画領域それぞれに付設されることを特徴とする位置検出方法。

3 4. 第 1 の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出方法であって、

前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第 2 の数を超え、かつ前記第 1 の数よりも少ない第 3 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 1 副計測点集合を選択する第 1 工程と；

前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する第 2 工程と；

前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の第 1 副計測点集合に代えて前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を統計的に評価する第 3 工程と；を含む位置検出方法。

3 5. 請求項 3 4 に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程は、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについて、前記第 3 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 4 工程と；

前記第 4 工程で求められた、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値及びその確からしさを求める第 5 工程と；

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 6 工程と；

前記統計的に妥当な推定値及びその確からしさと、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する第 7 工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

36. 請求項 35 に記載の位置検出方法において、

前記第 4 工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

37. 請求項 36 に記載の位置検出方法において、

前記第 4 工程は、

前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについて、前記第 3 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第 3 の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第 3 の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

38. 請求項35に記載の位置検出方法において、

前記第6工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

39. 請求項38に記載の位置検出方法において、

前記第6工程は、

前記複数の第2副計測点集合それぞれについて、前記第4の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第4の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第4の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

40. 請求項35に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第 2 副計測点集合を選択し、選択された前記第 2 副計測点集合に含まれる前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められた前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし、

前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合がないときに、前記統計的に妥当な推定値を前記所定数のパラメータの値とする第 8 工程を更に含むことを特徴とする位置検出方法。

4 1. 請求項 3 4 に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程は、

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める第 4 工程と；

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて求められた前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記複数の第 1 副計測点集合のいずれかに含まれる位置計測点の位置誤差を求め、前記複数の第 1 副計測点集合を前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する第 5 工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

4 2. 請求項 4 1 に記載の位置検出方法において、

前記第 4 工程では、前記推定値及びその確からしさを求めるのにあたって、前記位置計測点の位置計測結果の確からしさが考慮されることを特徴とする位置検出方法。

4 3. 請求項 4 2 に記載の位置検出方法において、

前記第 4 工程は、

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれについて、前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記第 4 の数の位置計測点それぞれの位置を求めるとともに、前記第 4 の数の位置計測点それぞれについて、前記求められた位置の生起確率を表す確率密度関数を推定する推定工程と；

前記確率密度関数に基づいて、前記求められた位置計測用マークの位置それぞれの確率密度を求める確率密度算出工程と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記求められた位置それぞれの基準位置からの誤差を評価し、該評価された誤差に基づいて前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出工程と；を含むことを特徴とする位置検出方法。

4 4 . 請求項 3 4 に記載の位置検出方法において、

前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合があるときに、置き換えに最も妥当な前記第 2 副計測点集合を選択し、選択された前記第 2 副計測点集合に含まれる前記第 4 の数の位置計測点の計測結果に基づいて求められる前記所定数のパラメータの推定値を前記所定数のパラメータの値とし、

前記第 3 工程において置き換え可能と評価された前記第 2 副計測点集合がないときに、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについて、前記第 3 の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求めた後、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさとに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値を求めて、前記所定のパラメータの値とする第 4 工程を更に含むことを特徴とする位置検出方法。

4 5. 請求項 4 4 に記載の位置検出方法において、

前記所定数のパラメータに関する統計的に妥当な推定値は、前記確からしさを前記確からしさに対応する前記推定値に関する重み情報としつつ、重み付けられた前記推定値の平均を算出することによって求められることを特徴とする位置検出方法。

4 6. 請求項 3 4 に記載の位置検出方法において、

前記位置計測点には、位置計測用マークが形成されることを特徴とする位置検出方法。

4 7. 請求項 4 6 に記載の位置検出方法において、

前記物体には複数の区画領域が配列され、前記位置計測用マークは前記複数の区画領域それぞれに付設されることを特徴とする位置検出方法。

4 8. 複数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、

前記複数の位置計測点の中から選択された、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数を超える数の位置計測点の位置情報を計測する計測装置と；

前記選択された位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記選択された位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記選択された位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータを求めるパラメータ算出

装置と；を備える位置検出装置。

49 — 請求項48に記載の位置検出装置において、

前記計測装置は、前記物体に形成されたマークを撮像する撮像装置を有することを特徴とする位置検出装置。

50. 第1の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、

前記位置計測点の位置を計測する計測装置と；

前記第1の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第2の数を超え、かつ前記第1の数よりも少ない第3の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の副計測点集合を選択する集合選択装置と；

前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の計測結果に基づいて、前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定演算装置と；を備える位置検出装置。

51. 請求項50に記載の位置検出装置において、

前記推定演算装置は、

前記複数の副計測点集合それぞれについて、前記第3の数の位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記第3の数の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記第3の数の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれ

の検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

5 2. 請求項 5 0 に記載の位置検出装置において、

前記推定演算装置によって求められた前記複数の副計測点集合それぞれについての前記推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な値を求めるパラメータ値決定装置を更に備えることを特徴とする位置検出装置。

5 3. 第 1 の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、

前記位置計測点の位置を計測する計測装置と；

前記第 1 の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測数である第 2 の数を超える第 3 の数の位置計測点から成る第 1 副計測点集合を選択するとともに、前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する集合選択装置と；

前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第 1 副計測点集合を前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価演算装置と；を備える位置検出装置。

5 4. 請求項 5 3 に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置は、

前記第 1 副計測点集合及び前記複数の第 2 副計測点集合から選択された特定

副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算出装置と；

前記第 1 副計測点集合に関する前記推定値及びその確からしさと、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記第 1 副計測点集合を前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

55. 請求項 54 に記載の位置検出装置において、

前記推定値算出装置は、

前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

56. 請求項 53 に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置は、

前記複数の第 2 副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算

出装置と；

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに関する前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記第 1 副計測点集合に含まれる前記位置計測点の位置誤差を求め、前記第 1 副計測点集合を前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

57. 請求項 56 に記載の位置検出装置において、

前記推定値算出装置は、

前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

58. 請求項 53 に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置の評価結果に基づいて、前記所定のパラメータの値を求めるパラメータ決定装置を更に備えることを特徴とする位置検出装置。

59. 第 1 の数の位置計測点が設定された物体における任意の領域の位置情報を検出する位置検出装置であって、

前記位置計測点の位置を計測する計測装置と；

前記第 1 の数よりも少なく、前記物体における任意の領域の位置情報を一義的に規定する所定数のパラメータの値を求めるために最低限必要な計測点数である第 2 の数を超える第 3 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 1 副計測点集合を選択するとともに、前記第 2 の数よりも大きくかつ前記第 3 の数よりも小さな第 4 の数の位置計測点からそれぞれ成り、互いに異なる複数の第 2 副計測点集合を選択する集合選択装置と；

前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する評価演算装置と；を備える位置検出装置。

60. 請求項 59 に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置は、

前記複数の第 1 副計測点集合及び前記複数の第 2 副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求め、前記複数の第 1 副計測点集合それぞれについての前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさに基づいて、前記所定数のパラメータについて統計的に妥当な推定値及びその確からしさを求める推定値算出装置と；

前記統計的に妥当な推定値及びその確からしさと、前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに関する前記推定値及びその確からしさとを比較し、前記所定数のパラメータを求めるための計測点集合として、前記複数の前記第 2 副計測点集合のいずれかを採用することの可能性を評価する評価装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

61. 請求項 60 に記載の位置検出装置において、

前記推定値算出装置は、

前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

6 2. 請求項 5 9 に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置は、

前記複数の第 2 副計測点集合から選択された特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づいて、前記特定副計測点集合に関する前記所定数のパラメータの推定値及びその確からしさを統計的に求める推定値算出装置と；

前記複数の第 2 副計測点集合それぞれに関する前記所定数のパラメータの推定値を使用して、前記複数の第 1 副計測点集合のいずれかに含まれる前記位置計測点の位置誤差を求め、前記複数の第 1 副計測点集合を前記第 2 副計測点集合のいずれかと置き換えることの可能性を評価する評価装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

6 3. 請求項 6 2 に記載の位置検出装置において、

前記推定値算出装置は、

前記特定副計測点集合に含まれる位置計測点の位置情報の計測結果に基づい

て、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれの位置を検出するとともに、前記特定副計測点集合の位置計測点それぞれについて、位置検出結果の生起確率を表す確率密度関数を推定して、前記求められた位置計測点の位置それぞれの確率密度を求める推定装置と；

前記求められた確率密度の値を重み情報としつつ前記位置検出結果それぞれの検出誤差を評価し、該評価された検出誤差に基づいて、統計的に全体として検出誤差が最小となるような前記所定数のパラメータの推定値を求めるパラメータ算出装置と；を備えることを特徴とする位置検出装置。

64. 請求項59に記載の位置検出装置において、

前記評価演算装置の評価結果に基づいて、前記所定のパラメータの値を求めるパラメータ決定装置を更に備えることを特徴とする位置検出装置。

65. 所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光方法であって、

請求項1～47のいずれか一項に記載の位置検出方法によって、前記区画領域の位置に関する所定数のパラメータを求めて、前記基板上における前記区画領域の配列情報を算出する配列情報算出工程と；

前記配列情報算出工程において求められた前記区画領域の配列情報に基づいて、前記基板の位置合わせを行いつつ、前記区画領域に前記パターンを転写する転写工程とを含む露光方法。

66. 所定のパターンを基板上の区画領域に転写する露光装置であって、

前記基板を移動面に沿って移動させるステージ装置と；

前記ステージ装置に搭載された前記基板上の前記区画領域の配列情報を求める請求項48～64のいずれか一項に記載の位置検出装置とを備える露光装置

。

67. 請求項66に記載の露光装置を利用して製造されたデバイス。

68. リソグラフィ工程を含むデバイスの製造方法において、

前記リソグラフィ工程では、請求項65に記載の露光方法によって、基板上の区画領域に所定のパターンを転写することを特徴とするデバイスの製造方法

。

Fig. 2A

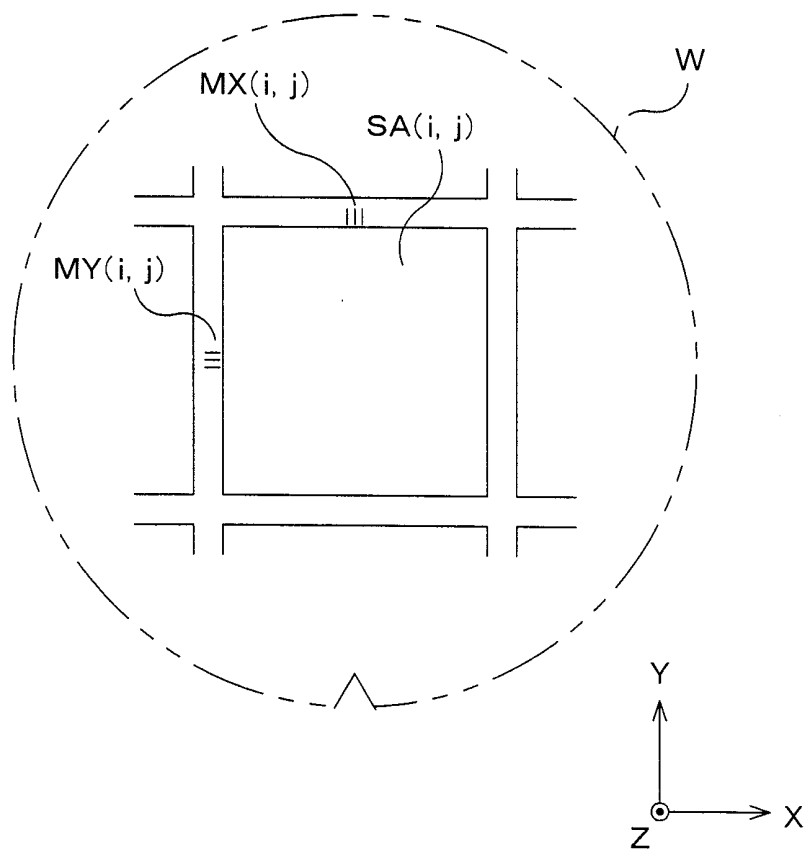


Fig. 2B

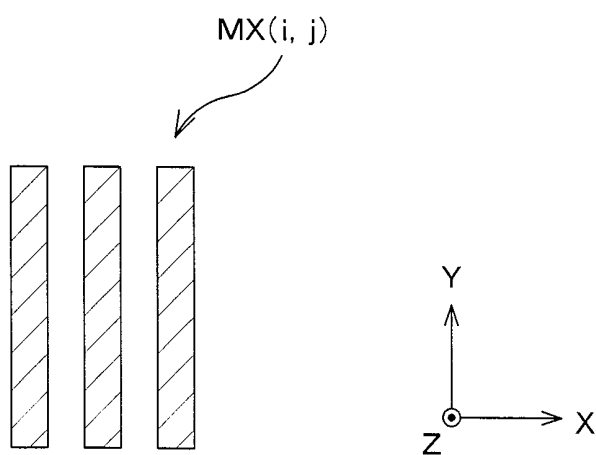


Fig. 3

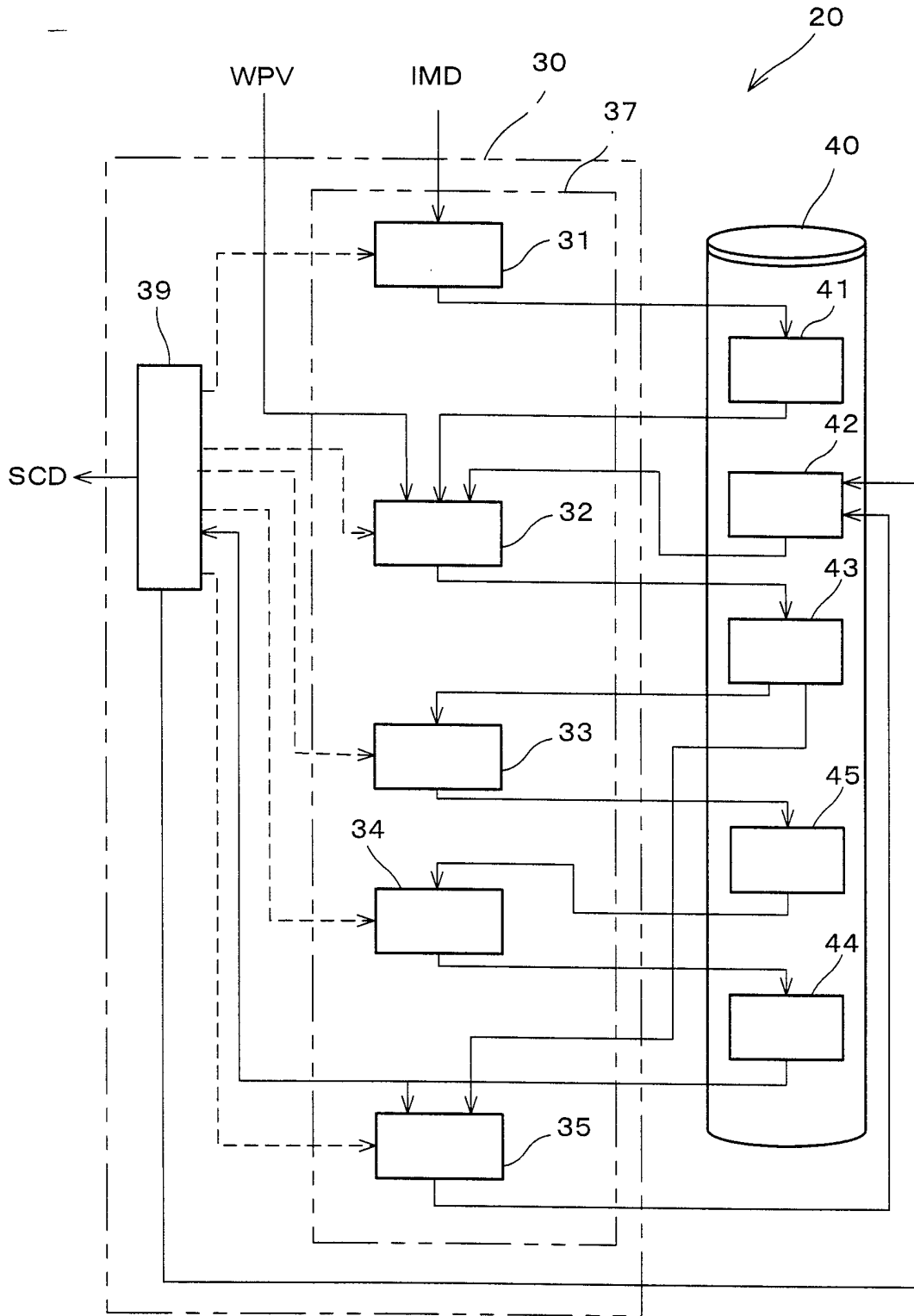


Fig. 4

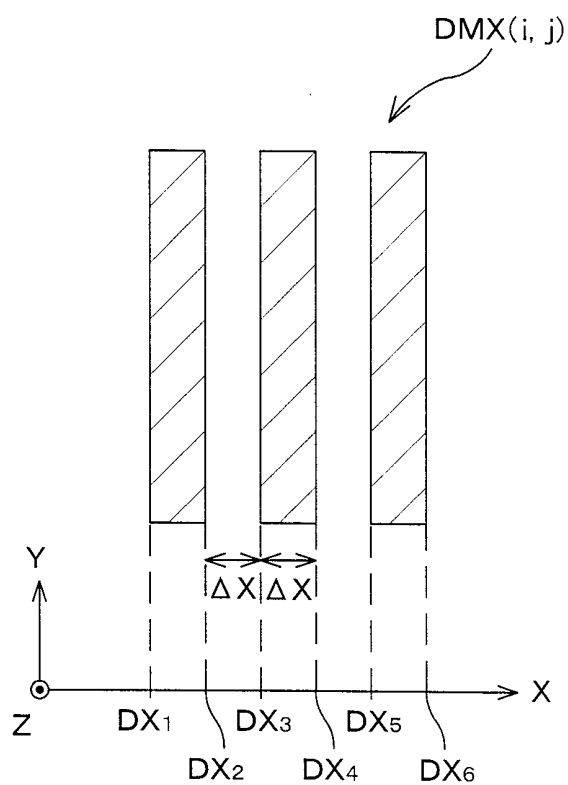


Fig. 5

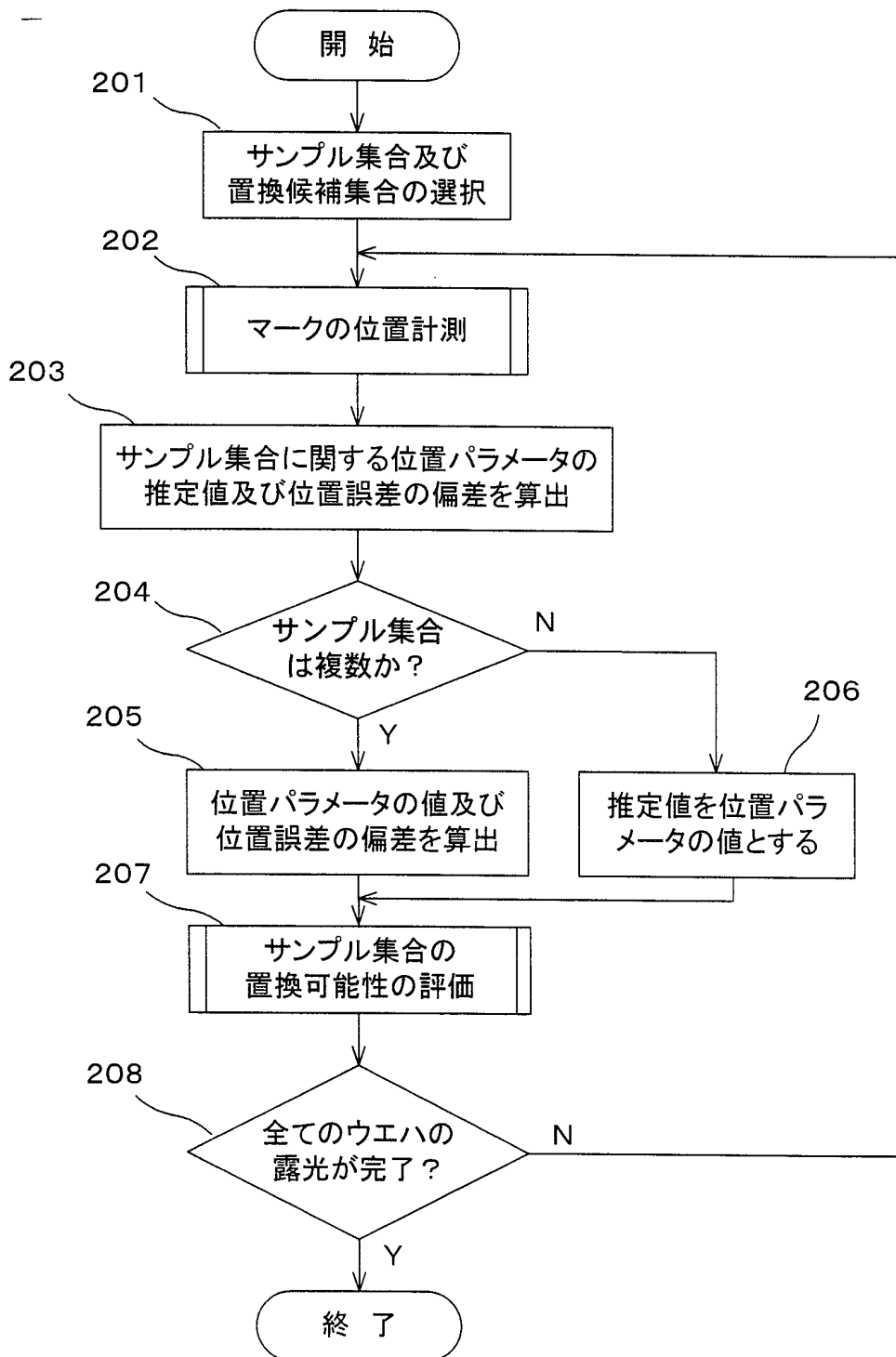


Fig. 6

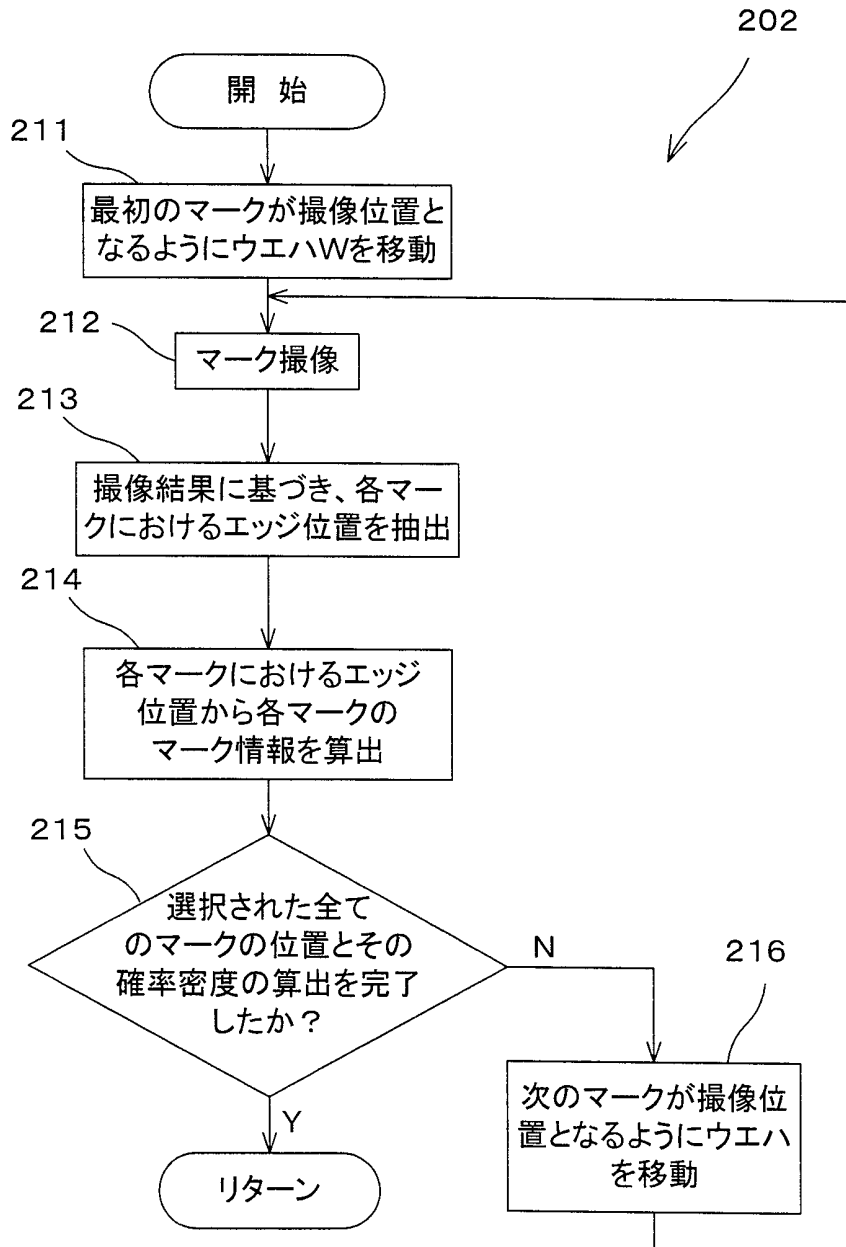


Fig. 7

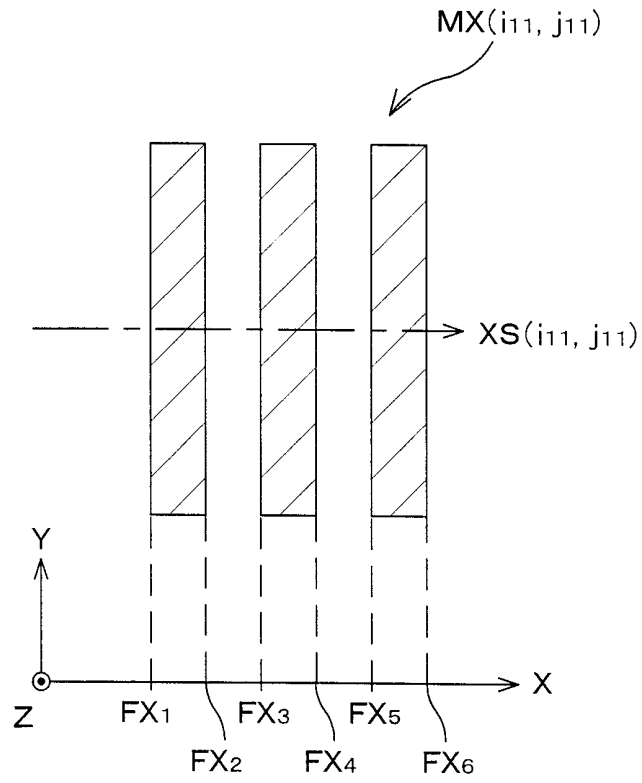


Fig. 8 A

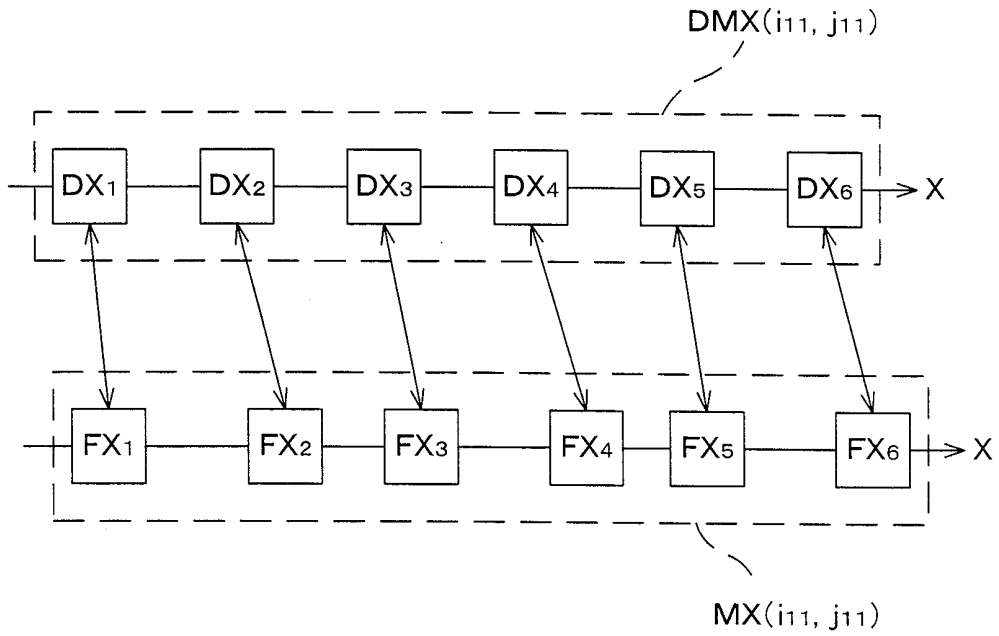


Fig. 8 B

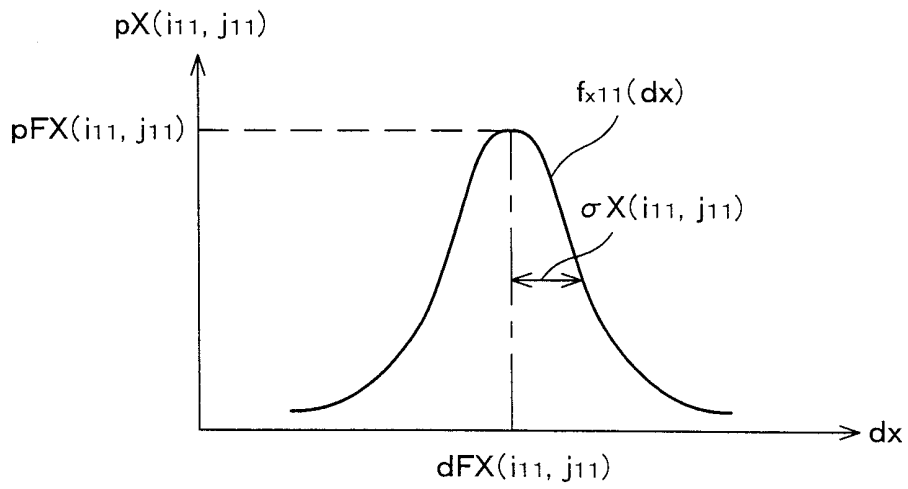


Fig. 9 A

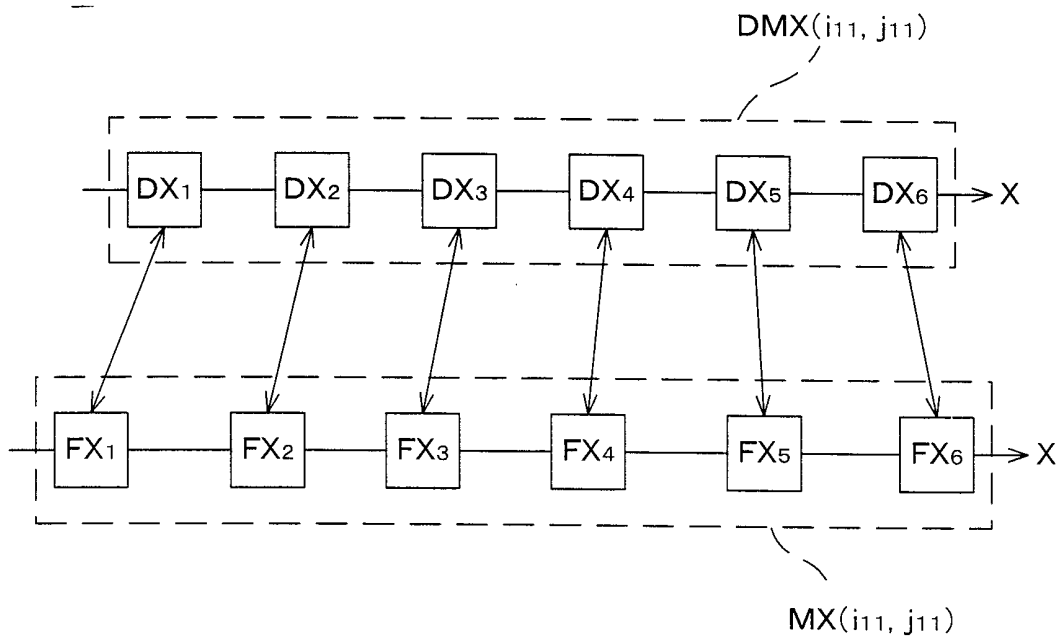


Fig. 9 B

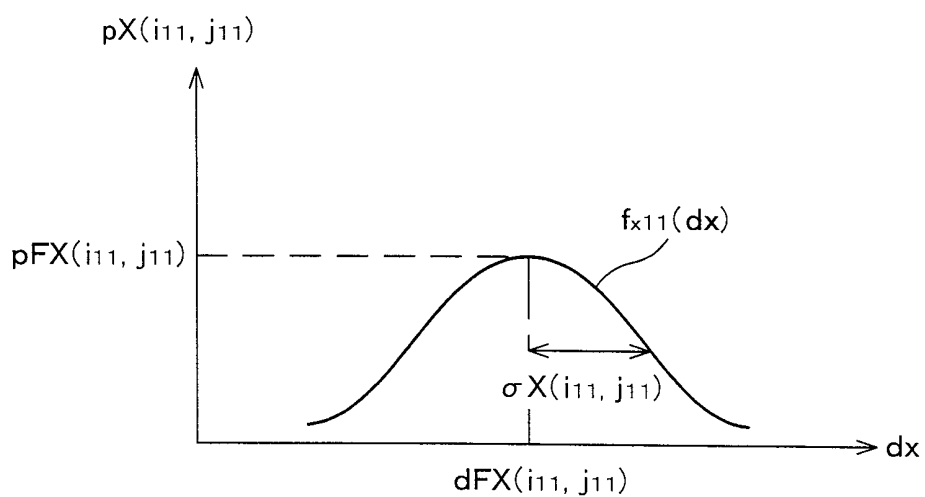


Fig. 10

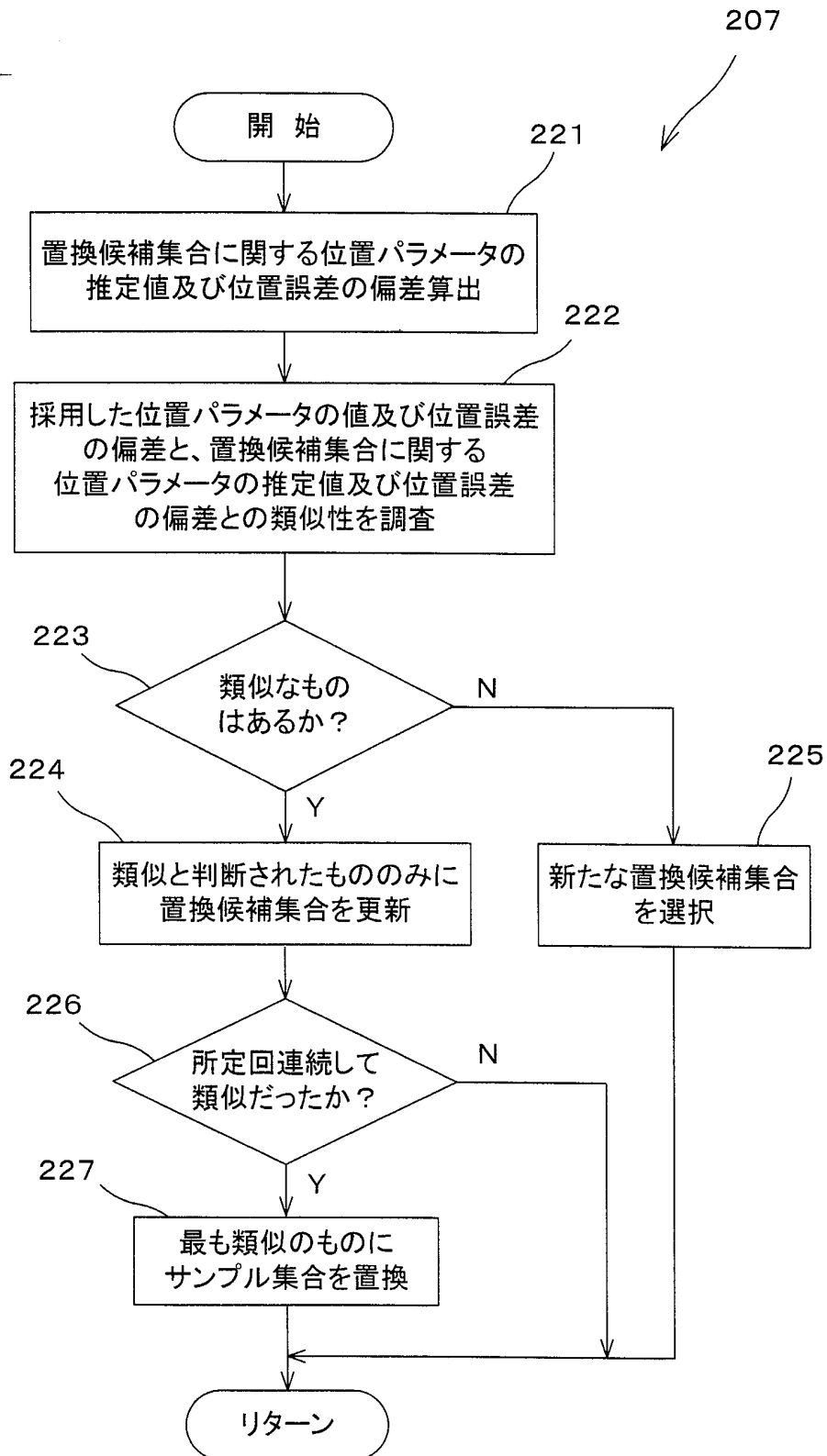


Fig. 11

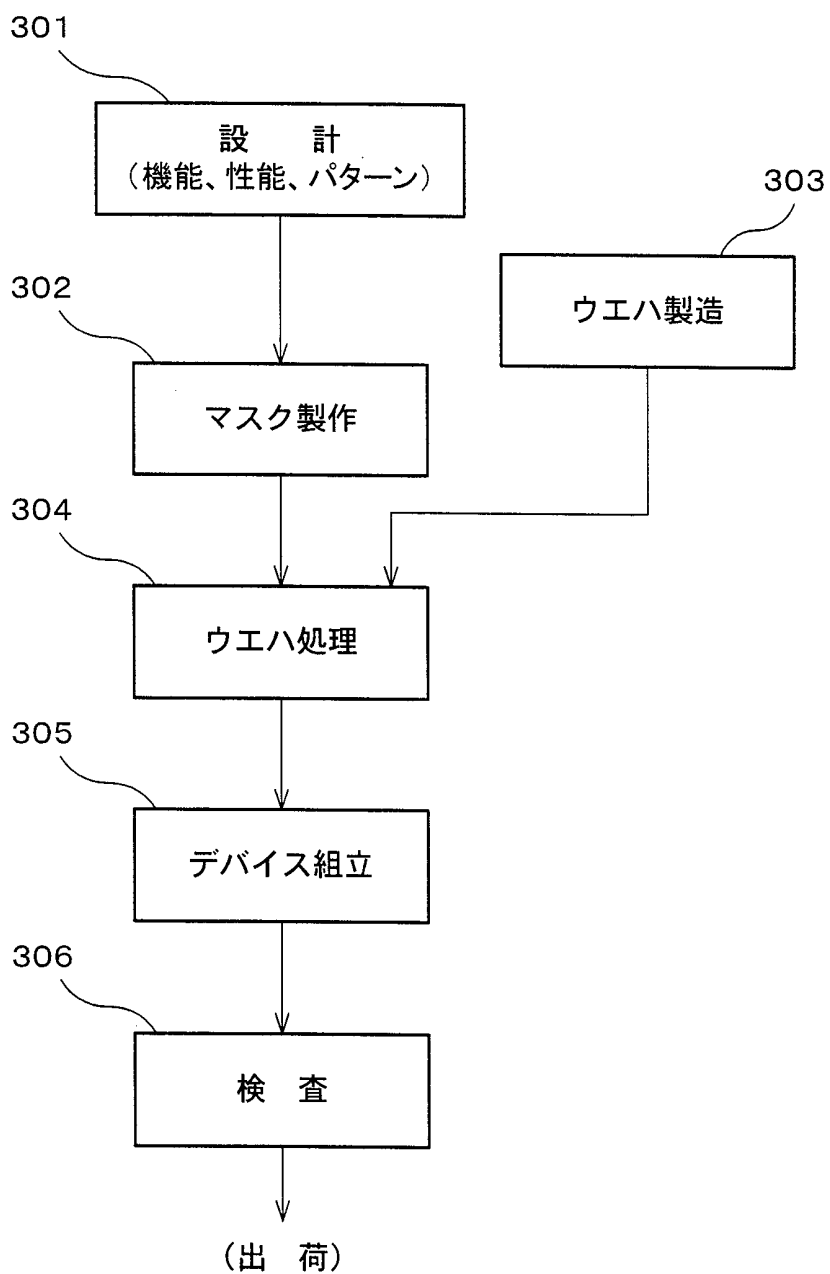


Fig. 12

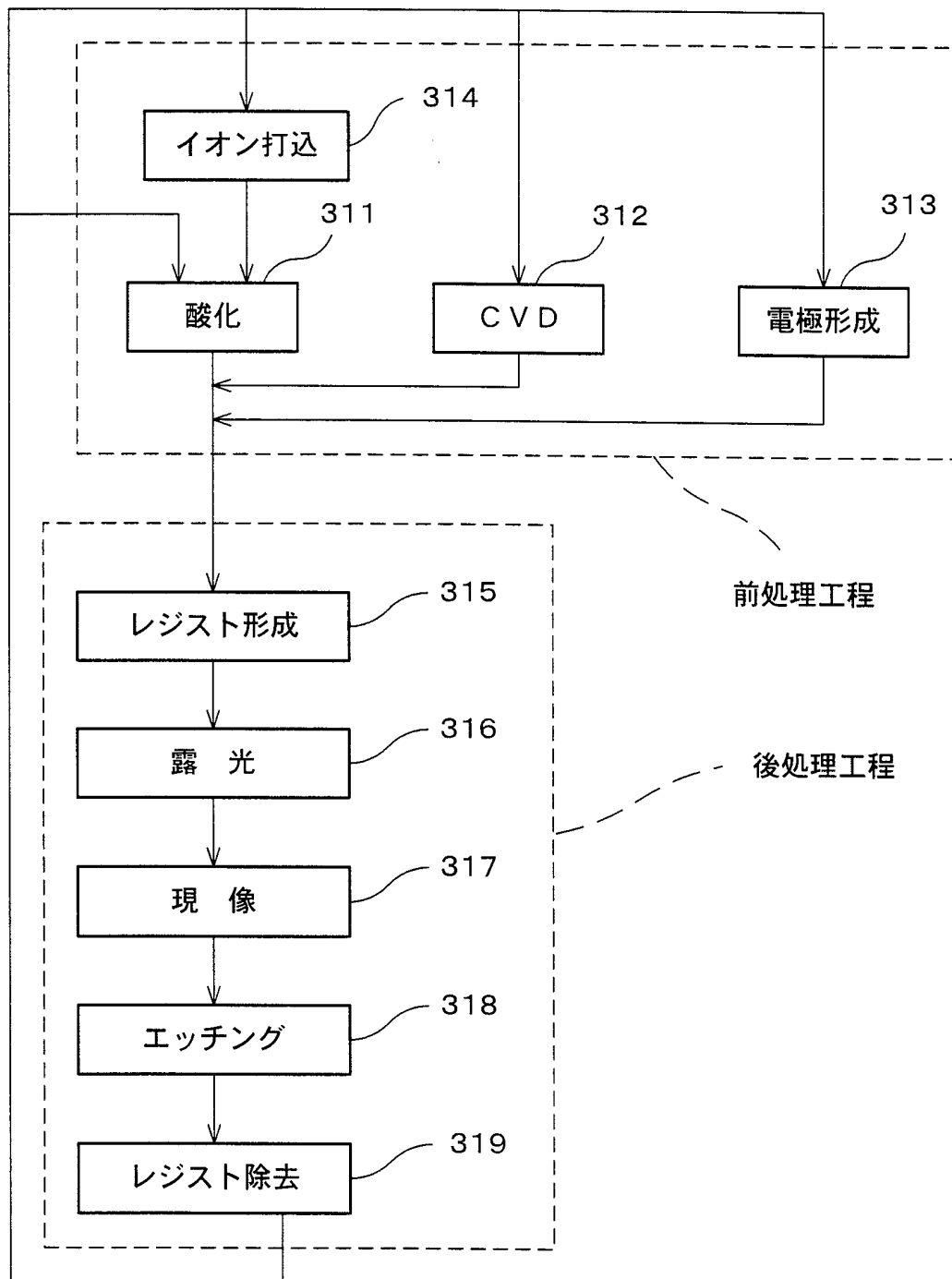


Fig. 13

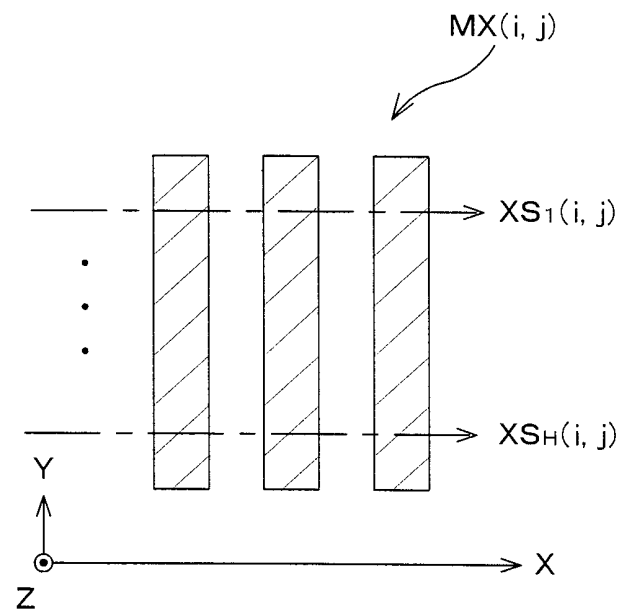


Fig. 14

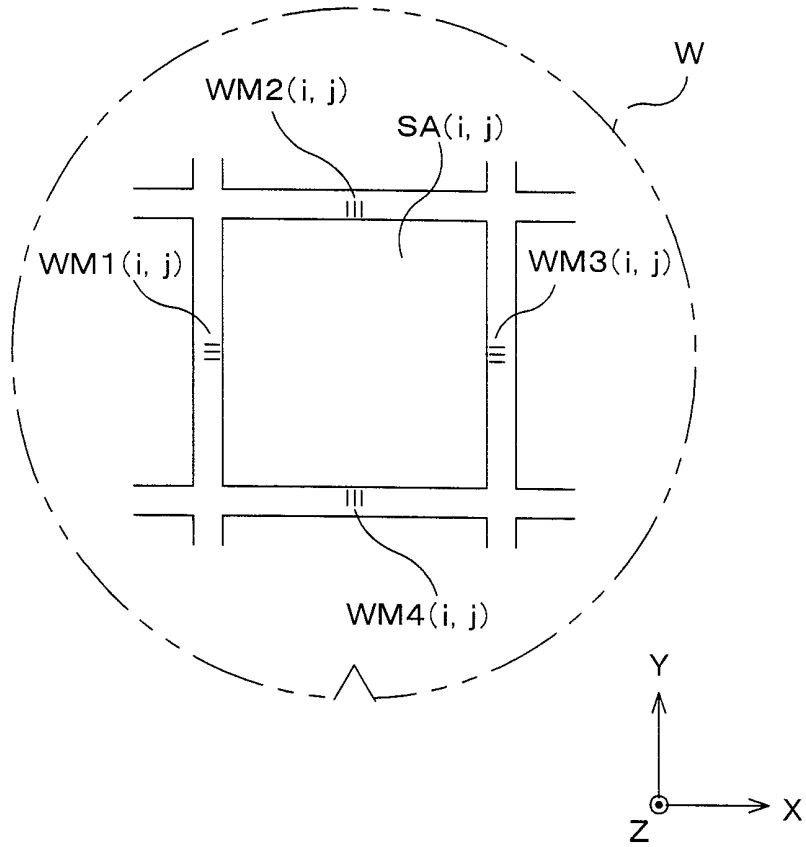


Fig. 15 A

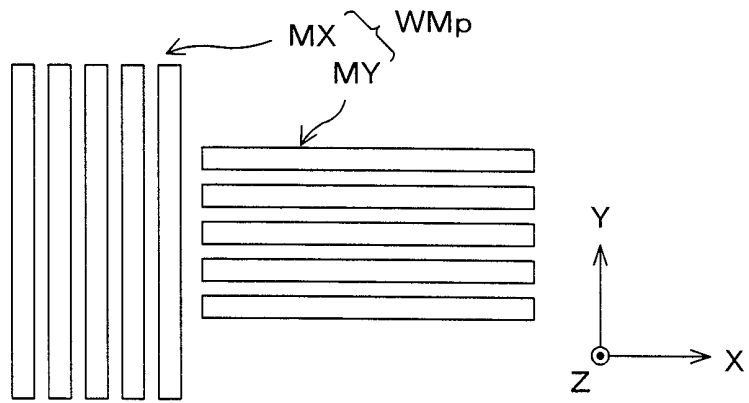


Fig. 15 B

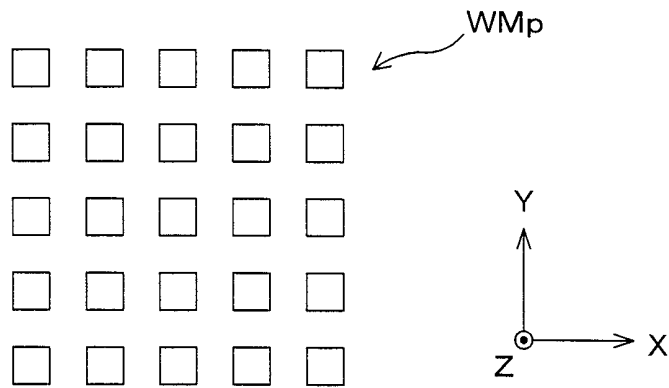


Fig. 15 C

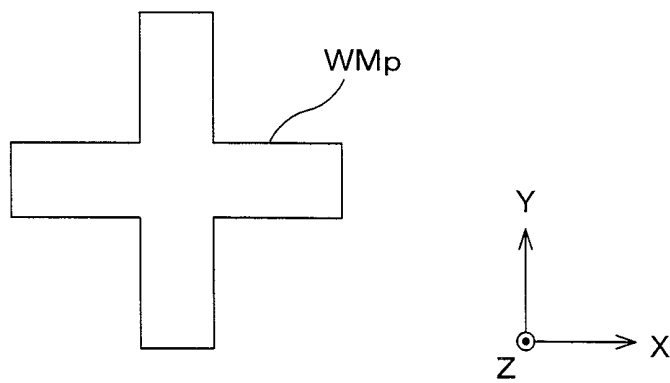
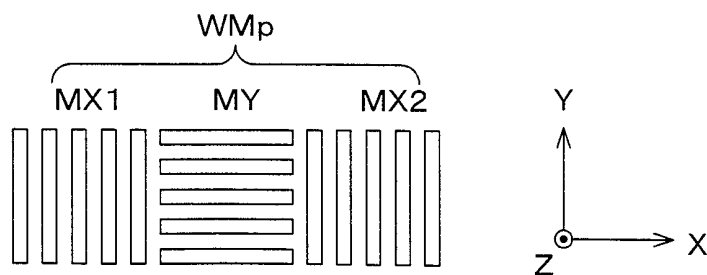


Fig. 15 D



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/00855

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.⁷ G01B21/00, G01B11/00
H01L21/027, G03F9/00

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 G01B21/00, G01B11/00
H01L21/027, G03F9/00

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

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

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

ECLA

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 9-236906, A (Sony Corporation), 09 September, 1997 (09.09.97), Full text; all drawings (Family: none)	1-68
A	JP, 6-348851, A (Sony Corporation), 22 December, 1994 (22.12.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-68
A	JP, 60-123706, A (Matsushita Electric Ind. Co., Ltd.), 02 July, 1985 (02.07.85), Full text; all drawings (Family: none)	1-68

 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 document 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
01 May, 2000 (01.05.00)Date of mailing of the international search report
16.05.00Name 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 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G 01 B 21/00, G 01 B 11/00 H 01 L 21/027, G 03 F 9/00		
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 G 01 B 21/00, G 01 B 11/00 H 01 L 21/027, G 03 F 9/00		
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 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2000年 日本国登録実用新案公報 1994-2000年 日本国実用新案登録公報 1996-2000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)		
ECLA		
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
A	J P, 9-236906, A (ソニー株式会社) 9. 9月. 1997 (09. 09. 97) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-68
A	J P, 6-348851, A (ソニー株式会社) 22. 12月. 1994 (22. 12. 94) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-68
<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	01. 05. 00	国際調査報告の発送日
		1 6.05.00
国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2 F 8304
日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	白石 光男	
	電話番号 03-3581-1101	内線 3216

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
A	J P, 60-123706, A (松下電器産業株式会社) 2. 7月. 1985 (02. 07. 85) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-68