(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3590873号
(P3590873)
(45)発行日　平成16年11月17日(2004.11.17)　(24)登録日　平成16年9月3日(2004.9.3)

(51)Int.Cl.[7]	F I	
H01L 21/027	H01L	21/30　525W
G03F 9/00	G03F	9/00　H

請求項の数 6　(全 18 頁)

(21)出願番号　特願平7-144342
(22)出願日　平成7年6月12日(1995.6.12)
(65)公開番号　特開平8-339951
(43)公開日　平成8年12月24日(1996.12.24)
審査請求日　平成14年6月11日(2002.6.11)

(73)特許権者　000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区丸の内３丁目２番３号
(72)発明者　川久保　昌治
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

審査官　岩本　勉

(56)参考文献　特開平０５－２１７８４８（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３１０４０３（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３４９７０６（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－０５７９９６（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０９７１２３（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２３２３２５（ＪＰ，Ａ）
最終頁に続く

(54)【発明の名称】基板の位置合わせ方法及びそれを用いた露光方法、基板の位置合わせ装置及びそれを有する露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板上に形成された複数のショット領域の各々を、前記基板の移動位置を規定する静止座標系内の所定の基準位置に対して位置合わせするにあたって、前記複数のショット領域のうちから複数のショット領域を選択し、この選択された複数のショット領域の前記静止座標系における座標位置を計測し、この計測上の座標位置とそれに対応する設計上の座標位置との平均偏差が最小となるように、前記計測上の座標位置を統計演算処理することによって、前記基板上の複数のショット領域の各々の前記静止座標系上における座標位置を計算し、この計算上の座標位置に従って前記基板の移動位置を制御することによって、前記複数のショット領域の各々を前記基準位置に対して順次位置合わせする方法において、
計測値のバラツキ（σＴ）の関数として表される計測誤差の線形成分（σＬ）と計測誤差のランダム成分（σＲ）とから計測再現性（σＴＭ）を推定し、推定された計測再現性（σＴＭ）に応じて、前記統計演算処理での使用に対する前記複数の計測上の座標位置の適否を判定することを特徴とする、基板の位置合わせ方法。

【請求項２】

Ｎ枚の基板毎に１または２以上の基板を選択し、選択された基板について前記計測再現性を推定し、前記Ｎ枚の基板のそれぞれについて、該推定された１または２以上の計測再現性に応じて、前記計測上の座標位置の適否を判定することを特徴とする、請求項１に記載の基板の位置合わせ方法。

【請求項３】

前記統計演算処理では、前記選択されたショット領域毎に、前記計測上の座標位置とそれに対応する前記設計上の座標位置との偏差の２乗値に対して前記推定された計測再現性（σＴＭ）に応じた重み付けを行い、前記計測上の座標位置を統計演算処理することによって、前記基板上の複数のショット領域の各々の前記静止座標系上における座標位置を計算することを特徴とする、請求項１または２に記載の基板の位置合わせ方法。

【請求項４】

請求項１～３の何れか一項に記載の位置合わせ方法を用いることにより、前記基板上の複数のショット領域の各々の前記静止座標系上における座標位置を計算し、この計算上の座標位置に従って前記基板の移動位置を制御することによって、前記複数のショット領域の各々を前記基準位置に対して順次位置合わせをし、

前記基準位置に対して位置合わせされた前記複数のショット領域に、レチクル上のパターンを順次転写することを特徴とする露光方法。

【請求項５】

基板上に形成された複数のショット領域の各々を、前記基板の移動位置を規定する静止座標系内の所定の基準位置に対して位置合わせするにあたって、前記複数のショット領域のうちから複数のショット領域を選択し、この選択された複数のショット領域の前記静止座標系における座標位置を計測し、この計測上の座標位置とそれに対応する設計上の座標位置との平均偏差が最小となるように、前記計測上の座標位置を統計演算処理することによって、前記基板上の複数のショット領域の各々の前記静止座標系上における座標位置を計算し、この計算上の座標位置に従って前記基板の移動位置を制御することによって、前記複数のショット領域の各々を前記基準位置に対して順次位置合わせする位置合わせ装置において、

計測値のバラツキ（σＴ）の関数として表される計測誤差の線形成分（σＬ）と計測誤差のランダム成分（σＲ）とから計測再現性（σＴＭ）を推定する演算ユニットと、

前記演算ユニットにて推定された計測再現性（σＴＭ）に応じて、前記統計演算処理での使用に対する前記複数の計測上の座標位置の適否を判定する制御器と、を有することを特徴とする基板の位置合わせ装置。

【請求項６】

請求項５に記載の位置合わせ装置を用いて、前記基板上の複数のショット領域の各々の前記静止座標系上における座標位置を計算し、この計算上の座標位置に従って前記基板の移動位置を制御することによって、前記複数のショット領域の各々を前記基準位置に対して順次位置合わせをし、

前記基準位置に対して位置合わせされた前記複数のショット領域に、レチクル上のパターンを順次転写することを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【産業上の利用分野】

本発明は位置合わせ方法に係り、特に半導体製造用の露光装置、リペア装置や検査装置などにおいて被処理基板を位置合わせする場合に適用可能な位置合わせ方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

半導体素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、処理対象である半導体基板を二次元移動が可能なステージ上に載置し、このステージによりウェハをステッピングさせる工程と、マスクまたはレチクル（以下、レチクルと称する。）上の回路パターンをウェハ上に順次露光する工程とを繰り返す、いわゆるステップアンドリピート方式の露光装置、特に縮小投影型の露光装置（ステッパ）が近年多用されている。この種の露光装置においては、レチクルとウェハとの位置合わせ（アライメント）を高い精度で正確に行う必要がある。

【０００３】

従来のステッパ等における半導体基板の位置合わせ方法として、例えば特開昭６１－４４

４２９号公報や特開昭６２－８４５１６号公報に開示されているような、最小二乗近似法を用いて座標を求める、いわゆるＥＧＡ（ＥｎｈａｎｃｅｄＧｌｏｂａｌ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ）法が知られている。その概略は、次のようなものである。

【０００４】

半導体基板上には、アライメントマークと呼ばれる位置合わせ用のマークを含む複数のチップパターンが形成されており、このチップパターンは、予め定められた配列座標（設計上の配列座標）に基づいて規則的に配列されている。しかしながら、設計上の配列座標に基づいて半導体基板をステッピングさせても、以下に示すような誤差要因のために、半導体基板が配列座標に従って精密に位置合わせされるとは限らない。

（１）半導体基板の残存回転（ローテーション）誤差（θ）

（２）ステージ座標系（またはショット配列）の直交度誤差（ｗ）

（３）半導体基板の線形伸縮（またはスケーリング）（γｘ、γｙ）

（４）半導体基板（中心位置）のオフセット（平行移動）（Ｏｘ、Ｏｙ）

この際、これら４つの誤差量（以下、これらの６つのパラメータをＥＧＡパラメータと総称することにする。）に基づく半導体基板の座標変換は一次変換式で記述できる。

【０００５】

そこでアライメントマークを含む複数のチップパターンが規則的に配置された半導体基板に対し、この基板上の座標系（Ｘ，Ｙ）を静止座標系としてのステージの座標系（ｘ，ｙ）に変換する一次変換モデルを次式のように与える。

【０００６】

【数１】

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} \qquad \cdots (1)$$

【０００７】

このモデル式における変換パラメータａ～ｆを求める方法としては、以下に示す最小二乗近似法がある。

この場合、基板上の複数のチップパターン（ショット領域）の中から幾つか選び出したショット領域の各々を所定の基準位置に位置合わせ（アライメント）して、そのときの座標系（α１，β１），（α２，β２），…，（αｎ，βｎ）を実測する。また、選び出されたショット領域（即ち、それに付設されたアライメントマーク）の設計上の配列座標（Ｘｉ，ｙｉ）（ｉ＝１、…、ｎ）を上述の式（１）に代入して得られる計算上の座標（ｘｉ，ｙｉ）とアライメント時の計測された座標（αｉ，βｉ）との差（Δｘ，Δｙ）をアライメントの誤差と考える。このアライメント誤差Δｘ，Δｙは次式で定義される。

【０００８】

【数２】

$$\begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{n} \begin{pmatrix} (\alpha i - xi)^2 \\ (\beta i - yi)^2 \end{pmatrix} \qquad \cdots (2)$$

【０００９】

この式（２）をａ～ｆの各パラメータで偏微分し、その値が０となるような方程式を立てて、次式（３）で示す連立方程式を解けばパラメータａ～ｆが求められる。

【００１０】

【数３】

$$\frac{\partial}{\partial a}\begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{pmatrix}=0,\cdots,\frac{\partial}{\partial f}\begin{pmatrix}\Delta x\\ \Delta y\end{pmatrix}=0 \qquad \cdots(3)$$

【００１１】
これ以降は、式（１）を用いて計算した新配列座標に基づいて半導体基板の各ショットの位置合わせを行えばよい。
あるいは、一次変換式では近似精度が良好でない場合には、次式のような高次式を用いて半導体基板の位置合わせを行うようにしてもよい。
【００１２】
【数４】

$$\begin{pmatrix}x\\ y\end{pmatrix}=\sum_{k=0}^{N}\begin{pmatrix}a_k & b_k\\ c_k & d_k\end{pmatrix}\begin{pmatrix}X^k\\ Y^k\end{pmatrix} \qquad \cdots(4)$$

【００１３】
この際、式（４）においてｋ＝１とおけば、式（１）と等しくなるということは言うまでもない。
【００１４】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら、ステッパ等により処理される半導体基板は、それ以前の工程において熱処理されていることが多く、このため、本来所定の配列座標に基づいて規則正しく配列されているはずのチップパターンが、熱処理に伴う伸縮および変形を受けて一次変換式で近似できない程歪んでいたり、アライメントマークの崩れ等が生じることがある。このような場合には、計測結果に異常値が発生し、その計測結果を統計演算処理すると、各ＥＧＡパラメータ（ローテーション、スケーリング、直交度、オフセット）は、異常値の影響を受け、従ってＥＧＡ法によるアライメント精度は劣化する。
【００１５】
このような測定上の異常値の影響を軽減するために、例えば、異常値の許容値を予め設定しておいて、統計演算処理にあたっては、許容値以上の計測結果を無視するように構成することが考えられる。しかしながら、実際には、アライメント層を露光したときのステージ精度やウェハの表面荒れ、センサの計測再現性などによって、計測結果のバラツキが変化するため、計測の飛び値が計測バラツキにより生じたものなのか、あるいは本当の異常値なのかを判断するのは困難である。その結果、許容値を大きく設定すると、小さめの異常値を撥ねることができず、逆に、許容値を小さく設定すると、計測バラツキによる計測値も撥ねてしまうという問題を有していた。
【００１６】
本発明は、上記のような従来の位置合わせ方法の問題点に鑑みて成されたものであり、計測再現性に応じて異常値の判定を行うことにより、位置合わせ精度を向上させることを目的としている。
【００１７】
【課題を解決するための手段】
上記課題を解決するために、本発明は、基板上に形成された複数のショット領域の各々を、基板の移動位置を規定する静止座標系内の所定の基準位置に対して位置合わせするにあたって、複数のショット領域のうちから複数のショット領域を選択し、この選択された複数のショット領域の静止座標系における座標位置を計測し、この計測上の座標位置とそれに対応する設計上の座標位置との平均偏差が最小となるように、計測上の座標位置を統計

演算処理することによって、基板上の複数のショット領域の各々の静止座標系上における座標位置を計算し、この計算上の座標位置に従って基板の移動位置を制御することによって、複数のショット領域の各々を基準位置に対して順次位置合わせする方法に適用される。そして、本発明は、上記位置合わせ方法において、計測値のバラツキ（σＴ）の関数として表される計測誤差の線形成分（σＬ）と計測誤差のランダム成分（σＲ）とから計測再現性（σＴＭ）を推定し、推定された計測再現性（σＴＭ）に応じて、統計演算処理での使用に対する前記複数の計測上の座標位置の適否を判定することとしている。

【００１８】

また、複数枚の基板を処理する場合には、Ｎ枚の基板毎に１または２以上の基板を選択し、選択された基板について計測再現性を推定し、Ｎ枚の基板のそれぞれについて、推定された１または２以上の計測再現性に応じて、計測上の座標位置の適否を判定するように構成することができる。

さらに、本発明は、上記統計演算処理を行うにあたり、選択されたショット領域毎に、計測上の座標位置とそれに対応する設計上の座標位置との偏差の２乗値に対して推定された計測再現性（σＴＭ）に応じた重み付けを行い、計測上の座標位置を統計演算処理することによって、基板上の複数のショット領域の各々の静止座標系上における座標位置を計算するように構成することもできる。

【００１９】

【作用】

まず、対象となる基板において、全点または多数ショットのアライメントマーク計測を行う。そして、計測した結果をＥＧＡ処理し、計測誤差のランダム成分（σＲ）を求める。さらに、計測値のバラツキ（σＴ）の関数として表される計測誤差の線形成分（σＬ）とランダム成分（σＲ）とから計測再現性（σＴＭ）を推定する。この計測再現性（σＴＭ）には、アライメント層を露光したときのステージ精度、プロセスによるウェハの表面荒れ、あるいはアライメントセンサの計測再現性などが含まれている。このようにして求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて、計測された複数のショット領域中の飛びショット領域を判定し、その飛びショット領域を異常値としてはねる。そして、異常値を含まない残りのショットに対してＥＧＡ処理することにより、高精度のアライメントを行うことができる。

【００２０】

なお、通常は複数枚のロットを単位として処理が行われ、同一ロット内に含まれる基板の状態はほぼ同じであると考えられるので、各ロットの先頭または先頭から数枚の基板について、上記の方法により計測再現性（σＴＭ）を求め、求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて、そのロット内の他の基板について飛びショット領域を判定することにより、処理のスループットを向上させることができる。

【００２１】

また求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて計測値に対して重み付けを行うことができる。例えば、計測再現性（σＴＭ）に照らして、異常値または異常値に近い計測値に対してはより軽い重み付けを行い、正常範囲にある計測値に対してはより重い重み付けを行うことができる。このようにして、重み付けられた計測値に基づいてＥＧＡ処理を行うことによっても、高精度のアライメントを達成することができる。

【００２２】

【実施例】

以下に添付図面を参照しながら、本発明に係る位置合わせ方法を、ステップアンドリピート方式でレチクル上のパターンをウェハ上に転写する縮小投影型露光装置（ステッパ）に適用した一実施例について説明する。

まず、図１を参照しながら、本発明に係る位置合わせ方法を適用可能なステッパの概略について説明する。

【００２３】

図中、ＩＬは露光用の照明光（例えば、水銀ランプからのｇ線、ｉ線、ｊ線、あるいはエ

キシマレーザ光源からの紫外線パルス光）であり、この照明光ＩＬは、コンデンサレンズ１０２を介してレチクルＲのパターン領域ＰＲをほぼ均一な照度分布で照射する。パターン領域ＰＲを通過した照明光ＩＬは、例えば両側（あるいは片側）テレセントリックな投影レンズＰＬに入射し、この投影レンズＰＬを通過してウェハ（半導体基板）Ｗに達する。

【００２４】

投影レンズＰＬは、照明光の波長に関して色収差補正がなされており、レチクルＲとウェハＷとは互いに共役な位置にある。また、照明光ＩＬは、ケーラー照明であり、投影レンズＰＬの瞳面ＥＰ内に、フライアイレンズ群（不図示）の射出端面近傍の２次光源像が形成される。

レチクルＲは、２次元平面（図中、紙面に略直交する平面）上を微動可能なレチクルステージ１０４上に保持され、レチクルＲの周辺に形成されたレチクルアライメントマーク（不図示）がミラー１０６、対物レンズ１０８、マーク検出系１１０からなるレチクルアライメント系で検出されることにより、投影レンズＰＬの光軸ＡＸに対して位置決めされる。

【００２５】

ウェハＷは、駆動系（不図示）によって２次元平面（図中、紙面に略直交する平面）上を移動可能なウェハステージ１１２上に載置されている。このウェハステージ１１２の座標値は、レーザ干渉計１１４により逐次計測される。１１６はステージ制御器であり、このステージ制御器１１６は干渉計１１４の計測結果であるウェハステージ１１２の実測座標値に基づいて駆動系を制御し、ウェハステージ１１２の移動及び位置決めを行う。

【００２６】

図１に示す実施例のステッパには、ＴＴＬ（Ｔｈｒｏｕｇｈ　Ｔｈｅ　Ｌｅｎｓ）方式のアライメント光学系２００と、オフアクシス（Ｏｆｆ　Ａｘｉｓ）方式のアライメント光学系３００とが設けられている。

まず、ＴＴＬ方式のアライメント光学系２００について説明すると、図１において、２０２はＨｅ－Ｎｅレーザ等のレーザ光源であり、このレーザ光源２０２からは、ウェハＷ上のレジスト層に対して非感光性である赤色色のビーム２０４が出力される。このビーム２０４は、シリンドリカルレンズ等からなるビーム整形光学系２０６を透過し、ミラー２０８、レンズ系２１０、ミラー２１２およびビームスプリッタ２１４を介して対物レンズ２１６に入射する。対物レンズ２１６を透過して出射したビーム２０４は、レチクルＲの下方に４５°の角度をもって設けられたミラー２１８により下方に向けて反射され、投影レンズＰＬの視野の周辺部において、その光軸ＡＸと平行に入射する。そして、投影レンズＰＬに入射したビーム２０４は、投影レンズＰＬの瞳ＥＰの中心を通って、このレンズＰＬから出射し、ウェハＷを垂直に照射する。この際、ビーム２０４は、ビーム整形光学系２０６によりスリット状に整形され、投影レンズＰＬを介してウェハＷ上にｘ方向に延びるスポット光が結像される。

【００２７】

一方、ウェハＷ上には、アライメントマーク（不図示）が形成されている。このアライメントマークは、複数個のドットパターンがｘ方向に延在されて成る回折格子状のマークがｙ方向（図中、紙面に略直交する方向）に所定ピッチで複数本配列された構成になっている。従って、ウェハステージ１１２をスポット光に対して水平移動させて、このスポット光によりアライメントマークをｙ方向に相対的に走査すると、このマークから正反射光、散乱光、回折光等が生じ、マークとスポット光との相対的に位置関係に応じてその光量が変化する。

【００２８】

アライメントマークからの反射光等は、上述のビーム２０４の光路に沿って逆進し、投影レンズＰＬ、ミラー２１８、対物レンズ２１６を経て、ビームスプリッタ２１４で反射されて受光素子２２０へと導かれる。この受光素子２２０の受光面は、投影レンズＰＬの瞳面ＥＰとほぼ共役な面に配置されている。受光素子２２０は、マークからの散乱光や回折

光に対して感応し、対応する電気信号を出力する。受光素子２２０からの出力信号は、干渉計１１４からの位置計測信号とともに、制御器４００に入力される。制御器４００は、スポット光に対してアライメントマークを相対的に走査した際の受光素子２２０からの信号波形を、干渉計１１４により位置計測信号とともにサンプリングして記憶部４０２に記憶し、その波形を演算部４０４にて解析することにより、マーク中心がスポット光中心と一致したときのウェハステージ１１２の座標位置信号を得ることができる。

【００２９】

次に、オフアクシス方式のアライメント光学系３００について説明する。図中、３０２はハロゲンランプであり、このハロゲンランプ３０２で発生した光は、コンデンサレンズ３０４を介して光ファイバ３０６の一端面に収束される。光ファイバ３０６により伝送された光は、レジスト層の感光波長（短波長）域と赤外波長域とを遮断するフィルタ３０８を透過し、対物レンズ３１０を介してハーフミラー３１２へと導かれる。ハーフミラー３１２により反射された光は、ミラー３１４により反射されてウェハWに略水平に進行して対物レンズ３１６に入射し、さらに投影レンズＰＬの視野を遮光しないように、この投影レンズＰＬの下部周辺に固定されたプリズム（ミラー）３１８で反射され、ウェハW上のアライメントマークを垂直に照射する。

【００３０】

このアライメントマークからの反射光は、上述の光路に沿って逆進し、プリズム３１８、対物レンズ３１６、ミラー３１４を透過し、ハーフミラー３１２を透過してレンズ系３２０によって指標板３２２に結像される。この指標板３２２は、対物レンズ３１６、レンズ系３２０を挟んでウェハWと共役の位置に配置されており、ウェハWのマークの像は、指標板３２２の透明窓内に結像される。この指標板３２２には、ｘ方向および紙面に略直交するｙ方向のそれぞれに沿って延在する直線状の指標マークが透明窓内に形成されている。このマーク像と指標マークとは、リレー系３２４、３２６およびミラー３２８を介してＣＣＤカメラ等の撮像素子３３０に導かれ、その受光面上に結像する。

【００３１】

撮像素子３３０からの出力ビデオ信号は、干渉計１１４からの位置計測信号とともに、制御器４００に送られる。制御器４００は、その演算部４０４において、指標マークに対するマーク像のずれを、撮像素子３３０からのビデオ信号の波形に基づいて求め、マーク像が指標マークの中心に正確に位置したときのウェハステージ１１２の座標位置信号を得ることができる。

【００３２】

次に、図２および図３に示すフローチャートを参照して、本実施例に係る位置合わせ方法を図１に示す装置の動作とともに説明する。なお、この位置合わせはウェハWの第２層以降の重ね合わせ露光に先立って行われるものであり、ウェハW上にはチップパターン（ショット領域に相当）とアライメントマークとが既に形成されている。ここでは、特にウェハWに対して第２層目の重ね合わせ露光を行うものとして説明する。

【００３３】

まず、ステップＳ５０２では、主制御器の制御によりウェハステージ１１２上にロット内の先頭（１枚目）のウェハWがローディングされ、ウェハWは粗く（例えば、±２μｍ程度の精度で）アライメントされて載置される。次いで、ステップＳ５０４では、ショットマップとして制御器４００の記憶部４０６に予め格納された設計上の配列座標に従ってウェハWを移動することにより、ＴＴＬアライメント系２００のマーク位置検出位置に対する全ショット領域への移動が順次行われる。具体的には、ステージ制御器によりウェハステージ１１２を移動させ、ＴＴＬ方式のアライメント光学系２００によるスポット光によりウェハW上のアライメントマークが照射される位置までウェハWを移動させる。

【００３４】

次いで、ステップＳ５０６では、上述した手順によりＴＴＬ方式のアライメント光学系２００を用いたアライメント動作が行われ、そのときの干渉計１１４からの位置情報が座標位置信号として取得される。次いで、ステップＳ５０８で、各ロットの先頭ウェハについ

て、全ショットのアライメントが終了したら、全アライメント結果から、１次近似のパラメータ値ａ～ｆを求める。

【００３５】

具体的には、計測したショットの設計上の配列座標（Ｘｉ，Ｙｉ）および対応する計測された配列座標（αｉ，βｉ）が与えられている。そして、既に説明したように、１次近似の場合には、式（１）の右辺の座標（Ｘ，Ｙ）として設計値（Ｘｉ，Ｙｉ）を代入し、左辺の座標（ｘ，ｙ）として計測値（αｉ，βｉ）を代入した場合に、式（２）で表される誤差が最小になるように最小二乗法により、それら６個のパラメータａ～ｆが決定される。

【００３６】

次いで、ステップＳ５１０において、このようにして決定された６個のパラメータ及び各ショットの設計上の配列座標（Ｘｉ，Ｙｉ）（ｉ＝０，１，…）を順次式（１）の右辺に代入することにより、各ショットの計算上の配列座標（ｘｉ，ｙｉ）が求められる。この計算上の配列座標（ｘｉ，ｙｉ）が新配列座標である（ステップＳ５１２）。そして、各ショットのアライメント結果（計測された配列座標（αｉ，βｉ））と新配列座標（ｘｉ，ｙｉ）との差が、１次近似では取り除けない非線形誤差、すなわち計測値のバラツキのランダム成分である（ステップＳ５１４）。

【００３７】

次いで、ステップＳ５１６において、以上説明したＥＧＡ処理により得られた計測値のバラツキのランダム成分から、演算ユニットにおいて、計測再現性を推定する。以下、その手順を説明する。なお、本実施例では計測値のバラツキの仕方は正規分布を示すものと仮定している。

まず、計測値のバラツキの標準偏差（σＴ）は、次式（５）に示すように、線形成分（σＬ）とランダム成分（σＲ）とから成ると考えられる。

$$\sigma T^2 = \sigma L^2 + \sigma R^2 \qquad \cdots (5)$$

このうち、実際のウェハＷでは、既に説明したようにプロセス工程やアライメント検出系の精度等によって、スケーリング、回転誤差、直交度誤差が生じているため、線形成分（σＬ）は大きな値を取りうる。

【００３８】

さらに、この線形成分（σＬ）は、次式（６）に示すように、処理されるウェハＷのもつ本来の線形誤差（σＬＰ）と計測バラツキによって生じる線形誤差（σＬＭ）とから成ると考えられる。

$$\sigma L^2 = \sigma LP^2 + \sigma LM^2 \qquad \cdots (6)$$

ここで、アライメント検出系に線形的プロセスだまされ（例えば、非対称Ａｌに対するスケーリングなど）がないと仮定すれば、ウェハＷは、理想格子状態（つまりσＬＰ＝０）であると考えても問題ない。従って、式（５）は次式（７）のように変形できる。

$$\begin{aligned}\sigma T^2 &= \sigma L^2 + \sigma R^2 \\ &= \sigma LP^2 + \sigma LM^2 + \sigma R^2 \qquad \cdots (7)\end{aligned}$$

以下、処理されるウェハＷのもつ本来の線形誤差（σＬＰ）を無視した場合の計測値のバラツキを計測再現性（σＴＭ）とすると、計測再現性（σＴＭ）は、次式（８）で表すことができる。

$$\sigma TM^2 = \sigma LM^2 + \sigma R^2 \qquad \cdots (8)$$

本実施例における計測バラツキの原因としては、

１）アライメント層を露光したときのステッピング誤差、

２）その後のプロセス処理に起因して増加する配列からのズレやアライメントマークの荒れ等

３）空気ゆらぎや静電ノイズなどに起因するアライメントを行うときのセンサの計測再現性、真値性などが考えられる。

【００３９】

本実施例において、ウェハの回転誤差θとは、ウェハ全体がθの回転をしていることをさす。また、直交度ωとは、Ｘ軸とＹ軸の９０°からのずれをさす。つまり、設計上の配列に対して、回転θ、直交度ωである場合、Ｘ軸はθ、Ｙ軸はθ＋ωだけ傾いていることになる。ＥＧＡでは、Ｘ軸側とＹ軸側をそれぞれ独立に計算する。そして、Ｘ軸側については、Ｘのシフト、Ｘのスケーリング、Ｙ軸の回転を求め、Ｙ軸側については、Ｙのシフト、Ｙのスケーリング、Ｘ軸の回転を求めており、Ｘ軸の回転をウェハローテーション、Ｙ軸の回転からＸ軸の回転をひいた量を直交度としている。よって、以下の実施例では、Ｘ軸側についてのみ考えていくが、Ｙ軸側についても同様の方法が適用できる。

【００４０】

ここで、スケーリングをγ－１、Ｙ軸の回転をθ、オフセットをＯとすると、式（１）に示すＥＧＡ式は、次式（９）で表せる。

【００４１】

【数５】

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} Xi^2 & \sum_{i=1}^{n} XiYi & \sum_{i=1}^{n} Xi \\ \sum_{i=1}^{n} XiYi & \sum_{i=1}^{n} Yi^2 & \sum_{i=1}^{n} Yi \\ \sum_{i=1}^{n} Xi & \sum_{i=1}^{n} Yi & \sum_{i=1}^{n} 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma - 1 \\ -\gamma\theta \\ O \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} Xi\alpha i \\ \sum_{i=1}^{n} Yi\alpha i \\ \sum_{i=1}^{n} \alpha i \end{pmatrix} \quad \cdots（９）$$

【００４２】

なお、式（９）において、（Ｘｉ，Ｙｉ）はＸ軸側に関するアライメントマーク（以下、Ｘマークと称する。）の設計上の座標位置であり、（αｉ）はＸマークの計測上の座標位置のＸ成分であり、ｎはＥＧＡ法において選択されたショット数である。さらに、式（９）に関して、計算によって求めることが可能な定数Ａ～Ｆによって、次式（１０）で示される逆行列式を得ることができる。

【００４３】

【数６】

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} Xi^2 & \sum_{i=1}^{n} XiYi & \sum_{i=1}^{n} Xi \\ \sum_{i=1}^{n} XiYi & \sum_{i=1}^{n} Yi^2 & \sum_{i=1}^{n} Yi \\ \sum_{i=1}^{n} Xi & \sum_{i=1}^{n} Yi & \sum_{i=1}^{n} 1 \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} A & B & C \\ B & D & E \\ C & E & F \end{pmatrix} \quad \cdots（１０）$$

【００４４】

ここで、計測上の座標値αｉの計測再現性（σα）がｉ＝１～ｎにおいて同じであると仮定すると、次式（１１）が成立する。

$\sigma\alpha^2 = \sigma TM^2$ …（１１）

以下、式（９）（１０）を用いて、ＥＧＡ式の各パラメータ、すなわちオフセット（Ｏ）、スケーリング（γ－１）、回転誤差（θ）について、それぞれ解いていく。

【００４５】
１．オフセット（Ｏ）
【００４６】
【数７】

$$O = C\sum_{i=1}^{n} Xi\alpha i + E\sum_{i=1}^{n} Yi\alpha i + F\sum_{i=1}^{n} \alpha i$$

＝（ＣＸ1＋ＥＹ1＋Ｆ）α1＋　…　＋（ＣＸn＋ＥＹn＋Ｆ）αn

…（１２）

【００４７】
オフセット（Ｏ）は式（１２）で表せるから、オフセットのばらつき（σＯ）は、次式（１３）で表せる。
【００４８】
【数８】

$$\sigma O^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(CXi + EYi + F\right)^2 \sigma TM^2 \qquad \cdots（１３）$$

【００４９】
２．スケーリング（γ－１）
【００５０】
【数９】

$$\gamma - 1 = A\sum_{i=1}^{n} Xi\alpha i + B\sum_{i=1}^{n} Yi\alpha i + C\sum_{i=1}^{n} \alpha i \qquad \cdots（１４）$$

【００５１】
スケーリング（γ－１）は式（１４）で表せるから、スケーリングのバラツキσ（γ－１）は次式（１５）で表すことができる。
【００５２】
【数１０】

$$\sigma(\delta - 1)^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(AXi + BYi + C\right)^2 \sigma TM^2 \qquad （１５）$$

【００５３】
３．回転（θ）
ここでｆ（γ，θ）＝γθとおくと、次式（１６）が与えられる。
【００５４】
【数１１】

$$\sigma(\gamma\theta)^2 = \sigma f^2$$

$$\sigma f^2 = \left|\frac{\partial f}{\partial \gamma}\right|^2 \sigma\gamma^2 + \left|\frac{\partial f}{\partial \theta}\right|^2 \sigma\theta^2$$

$$= \bar{\theta}^2 \sigma\gamma^2 + \bar{\gamma}^2 \sigma\theta^2 \qquad \cdots (16)$$

【００５５】
ここで、計測バラツキを求めているのであるから、式（１６）において、
【００５６】
【数１２】

$$\bar{\theta} = 0, \qquad \bar{\gamma} = 1$$

【００５７】
とおくことができる。従って、式（１６）より式（１７）を得ることができる。
【００５８】
【数１３】

$$\sigma(\gamma\theta)^2 = \bar{\theta}^2 \sigma\gamma^2 + \bar{\gamma}\sigma\theta^2 = \sigma\theta^2 \qquad \cdots (17)$$

【００５９】
また、
【００６０】
【数１４】

$$-\gamma\theta = B\sum_{i=1}^{n} Xi\alpha i + D\sum_{i=1}^{n} Yi\alpha i + E\sum_{i=1}^{n} \alpha i \qquad \cdots (18)$$

【００６１】
とおくことができるので、式（１７）（１８）より、回転のバラツキ（σθ）は、次式（１９）で表すことができる。
【００６２】
【数１５】

$$\sigma\theta^2 = \sigma(\gamma\theta)^2 = \sum_{i=1}^{n} (BXi + DYi + E)^2 \sigma TM^2 \qquad \cdots (19)$$

【００６３】
以上より、ＥＧＡ計測によるオフセット（Ｏ）、スケーリング（γ－１）および回転（θ）のバラツキは、計測再現性（σＴＭ）の関数として式（１３）、（１５）、（１９）により求めることができることが判明した。
ここで、ＥＧＡ計測によって求めることができたＥＧＡショットの新配列座標（ステップ

Ｓ５１２）のＸ成分（ｘｋ）は、次式（２０）のモデル式で与えられる。
ｘｋ＝（γ－１）Ｘｋ－γθＹｋ＋Ｏ　　…（２０）
なお、このモデル式については、特開昭６１－４４４２９号公報などに詳細に記載されているので、詳細説明は省略する。
【００６４】
従って、計測バラツキによって生じるＥＧＡショットの線形誤差σＬＭは、次式（２１）で与えられる。
【００６５】
【数１６】

$$\sigma LM^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left(xk - \bar{x}\right)^2}{n-1} \qquad \cdots (21)$$

【００６６】
ここで、ＥＧＡショットは、ほぼ中心対称に設定されるので、下記の式（２２）、（２３）で示す関係が成り立つから、式（２１）は式（２４）に変形することができる。
【００６７】
【数１７】

$$\bar{x} = \frac{\sum_{k=1}^{n} xk}{n} \fallingdotseq O \qquad \cdots (22)$$

$$\sum_{k=1}^{n} Xk^2, \sum_{k=1}^{n} Yk^2 \gg \sum_{k=1}^{n} XkYk \qquad \cdots (23)$$

$$\sigma LM^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left\{(\gamma - 1)Xk - \gamma\theta Yk\right\}^2}{n-1}$$

$$\fallingdotseq \frac{\sum_{k=1}^{n}\left\{(\gamma - 1)Xk - \theta Yk\right\}^2}{n-1} \qquad \left(\because \gamma \fallingdotseq 1\right)$$

$$\fallingdotseq \frac{(\gamma x - 1)^2 \sum_{k=1}^{n} Xk^2 + \theta^2 \sum_{k=1}^{n} Yk^2}{n-1} \qquad \cdots (24)$$

【００６８】

さらに、式（１５）（１９）（２４）より、線形誤差（σＴＭ）は、次式（２５）のように表すことができる。

【００６９】

【数１８】

$$\sigma TM^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n} Xk^2 \sum_{k=1}^{n} (AXk + BYk + C)^2 + \sum_{k=1}^{n} Yk^2 \sum_{k=1}^{n} (BXk + DYk + E)^2}{n-1} \sigma TM^2 \quad \cdots (25)$$

【００７０】

さらに式（２５）を式（８）に代入すると、式（２６）が得られ、式（２６）を整理することにより、計測再現性（σＴＭ）は式（２７）により与えられる。

【００７１】

【数１９】

$$\sigma TM^2 = \frac{\sum_{k=1}^{n} Xk^2 \sum_{k=1}^{n} (AXk + BYk + C)^2 + \sum_{k=1}^{n} Yk^2 \sum_{k=1}^{n} (BXk + DYk + E)^2}{n-1} \sigma TM^2 + \sigma R^2 \quad \cdots (26)$$

$$\therefore \sigma TM^2 = \frac{\sigma R2}{1 - \frac{\sum_{k=1}^{n} Xk^2 \sum_{k=1}^{n} (AXk + BYk + C)^2 + \sum_{k=1}^{n} Yk^2 \sum_{k=1}^{n} (BXk + DYk + E)^2}{n-1}} \quad \cdots (27)$$

【００７２】

ここで、計測誤差のランダム成分（σＲ）については、設計上の配列座標と計測上の配列座標との偏差として計算により求めることが可能であり（ステップＳ５１４）、従って、ステップＳ５１６において、式（２７）により計測再現性（σＴＭ）を演算により求めることができる。

さらに、式（２７）により求めた計測再現性（σＴＭ）を、式（１３）（１５）（１９）にそれぞれ代入することにより、各ＥＧＡパラメータである、オフセット（Ｏ）、スケー

リング（γ－１）、回転（θ）に関する再現性についても求めることができる。
【００７３】
さて、再び、図２に示す処理フローに戻り、ステップＳ５１６において、以上のような手順で推定された計測再現性（σＴＭ）を記憶部に格納し、この計測再現性の３σＴＭを、異常値の許容値として設定しておく。そして、ステップＳ５１８において、新配列座標または計測値に基づいて１枚目のウェハの露光を行う。なお、全点ではなく多数点計測を行って、計測再現性（σＴＭ）を求めた場合には、図３に示す処理フローに関連して後述する２枚目以降のウェハＷと同様の処理を行い、有効なショット領域についてのみ、新配列座標に従って露光を行うことになる。また飛びショット領域と判定されたものについては、新配列座標を用いずに、例えば計測値に基づいて露光を行うことができる。これらの露光動作により、１枚目のウェハの露光が終了し（ステップＳ５２０）、ウェハの交換が行われ（ステップＳ５２２）、次いで、２枚目のウェハがウェハステージに載置される。
【００７４】
各ロットの２枚目以降のウェハについては、まずステップＳ５２４で、ステップＳ５０２と同様に粗い位置決めを行った後に、予め設定されたＥＧＡショット領域（例えば１０個）についてのみアライメントを行って（ステップＳ５２６、Ｓ５２８）、それらのＥＧＡショット領域の計測上の配列座標（αｉ，βｉ）を求める（ステップＳ５３０）。次に、ステップＳ５３２において、ステップＳ５１６において求められた計測再現性（σＴＭ）に応じて、飛びショット領域に関する計測値をはじく。具体的には、計測再現性（σＴＭ）の３σを求め、その３σからはずれる計測値を飛びショット領域としてはじくことにより、より精度の高いＥＧＡ処理を行うことができる。なお、同一ロット内においては、ウェハの状態はほぼ同じであると考えられるので、ステップＳ５１６において、先頭ウェハで求めた計測再現性（σＴＭ）を２枚目以降のウェハに対しても適用することが可能である。また計測再現性（σＴＭ）は、正規分布を示す計測値のバラツキであるので、各ＥＧＡショット領域についての計測値の誤差のランダム成分（σＲ）が３σＴＭを超える確率は極めて小さい。つまり、計測誤差のランダム成分（σＲ）が３σＴＭを超えているショット領域の計測結果は、異常値である可能性が高い。従って、この３σＴＭを異常値の許容値としておけば、異常値のみを撥ねることができる確率は極めて高いと言える。
【００７５】
次いで、ステップＳ５３４において、計測再現性（σＴＭ）により飛びショット領域の計測値がはじかれたＥＧＡショット領域について、その設計上の配列座標（Ｘｉ，Ｙｉ）および計測された配列座標（αｉ，βｉ）に基づいて、最小二乗法により、そのウェハに固有の６つのパラメータａ～ｆの値を決定する。このように、本実施例によれば、予め異常値がはじかれたＥＧＡショット領域に基づいてＥＧＡ処理を行うので、アライメント精度をより高めることができる。
【００７６】
次いで、ステップＳ５３６において、このようにして決定された６個のパラメータ及び各ショットの設計上の配列座標（Ｘｉ，Ｙｉ）（ｉ＝０，１，…）を順次式（１）の右辺に代入することにより、各ショットの計算上の配列座標（ｘｉ，ｙｉ）が求められる。この計算上の配列座標（ｘｉ，ｙｉ）が新配列座標である。そして、ステップＳ５３８で、求めた新配列座標に基づいて露光を実行することにより、２枚目のウェハの処理が終了する。次いで、ステップＳ５４０において、ロット内の全てのウェハに対して露光が行われたか否かを判断する。ここでは、２枚目のウェハまでしか露光が行われていないので、ステップＳ５２２に戻って、ウェハの交換を行い、ステップＳ５２２～Ｓ５３８に示したものと同様の手順により露光を行う。以下、ロット内の全てのウェハに対する露光が終了するまで、ステップＳ５２２～Ｓ５３８を反復して実行することにより同一ロットに対する露光工程終了する。
【００７７】
このように本実施例によれば、同一ロットの１枚目のウェハについては全ショットの計測を行って、その計測結果から計測再現性（σＴＭ）を求めている。そして、２枚目以降の

ウェハについては、計測再現性（σＴＭ）によって飛びショット領域をはじいたＥＧＡショット領域についてＥＧＡ処理を行い、アライメント用の新座標を求めている。その結果、高い精度のアライメントを行うことが可能となる。なお、本発明は、本実施例に限定されず、全ショットの計測を行う代わりに、推定される計測再現性（σＴＭ）の精度が落ちない程度の多数ショット領域を選択し、その多数ショット領域に基づいて計測再現性（σＴＭ）を求めるように構成してもよい。

【００７８】

また先頭ウェハにおいて、全ショット領域の計測を行った際にも、計測結果の誤差のランダム成分（σＲ）が３σＴＭを超えているショット領域が存在する場合には、そのショット領域の計測結果は異常値であると判定し、そのショット領域の計測結果をはじいて、再び計測再現性（σＴＭ）を求めることができる。このように、最終的に異常値がなくなった場合の計測再現性（σＴＭ）を、そのロットの計測再現性（σＴＭ）として採用することにより、アライメント精度をさらに高めることができる。

【００７９】

また上記実施例では、１枚目のウェハの全ショット領域の計測結果だけから、２枚目以降のウェハに適用される計測再現性（σＴＭ）を求めているが、本発明は、かかる実施例に限定されない。例えば、１枚目および２枚目のウェハ、１～３枚目のウェハ、または４枚以上のウェハについて、それぞれ全ショット（又は多数ショット）の計測を行い、それらの平均値からそのロットに関する計測再現性（σＴＭ）を決定するようにしてもよい。また、先頭から数枚の全ての非線形誤差を一緒に計算するように構成してもよい。さらに、このようにロットの先頭（または先頭から数枚）のウェハから計測再現性（σＴＭ）を決定するのではなく、各ウェハごとに行われる計測結果から各ウェハごとの計測再現性（σＴＭ）を求め、各ウェハごとに異常値をはじくように構成してもよい。

【００８０】

さらに上記実施例においては、推定された計測再現性（σＴＭ）に応じて、飛びショットの計測値をはじく構成を示したが、本発明はかかる例に限定されない。例えば、求められた計測再現性（σＴＭ）に応じて計測値に重み付けを行い、重みづけられた計測値を用いてＥＧＡ処理することも可能である。すなわち、計測再現性（σＴＭ）に照らして、異常値または異常値に近い計測値に対しては相対的に軽い重み付けを行い、正常範囲にある計測値に対しては相対的に重い重み付けを行うことによっても、異常値または異常値に近い計測値がＥＧＡ処理に与える影響を軽減できるので、高精度のアライメントを達成することができる。

【００８１】

さらにまた上記実施例においては、図１に示すＴＴＬ方式のアライメント系２００に対して本発明にかかる位置決め方法を適用した場合を示したが、本発明はかかる例に限定されず、図１に示すオフアクシス方式のアライメント系３００に対しても当然適用できる。さらに本発明は図示の例に限定されず、ＥＧＡ処理を適用可能な各種アライメント系に対しても適用できることは言うまでもない。

【００８２】

以上のように、本発明は上記実施例に限定されず、当業者であれば特許請求の範囲に記載された本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の修正および変更に想到し得ることは明らかであり、それらについても本発明の技術的範囲に含まれるものと了解される。

【００８３】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、まず、対象となる基板において、全点または多数ショットのアライメントマーク計測を行う。そして、計測した結果をＥＧＡ処理し、計測誤差のランダム成分（σＲ）を求める。さらに、計測値のバラツキ（σＴ）の関数として表される計測誤差の線形成分（σＬ）とランダム成分（σＲ）とから計測再現性（σＴＭ）を推定する。そして、このようにして求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて、計測された複数のショット領域中の飛びショット領域を判定し、その飛びショット領域を異常値と

してはね、異常値を含まない残りのショットに対してＥＧＡ処理をするので、高精度のアライメントを行うことができる。

【００８４】

また、各ロットの先頭または先頭から数枚の基板について、上記の方法により計測再現性（σＴＭ）を求め、求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて、そのロット内の他の基板について飛びショット領域を判定することにより、処理のスループットを向上させることができる。

さらにまた求めた計測再現性（σＴＭ）に応じて、各計測値に対して異常値の影響が軽減されるように重み付けを行い、このように重み付けられた計測値に基づいてＥＧＡ処理を行うことによっても、高精度のアライメントを達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の実施例の位置合わせ方法が適用される縮小投影型露光装置の概略構成を示す構成図である。

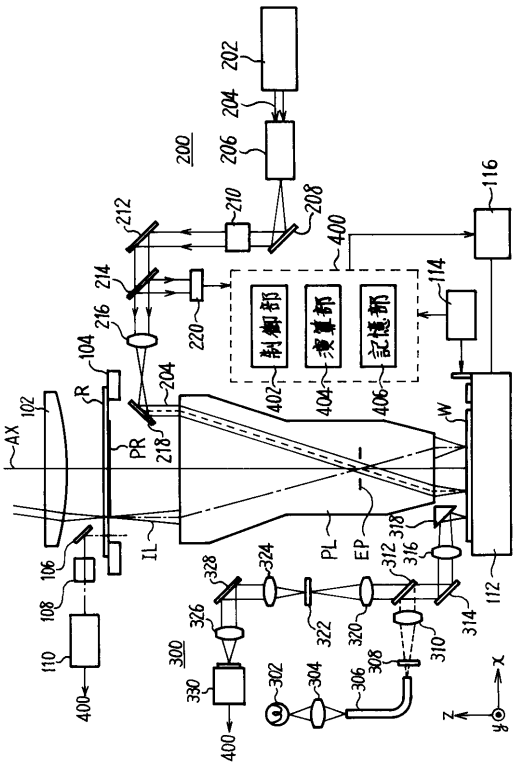
【図２】本発明の一実施例にかかる露光動作を示す流れ図である。

【図３】本発明の一実施例にかかる露光動作を示す流れ図である。

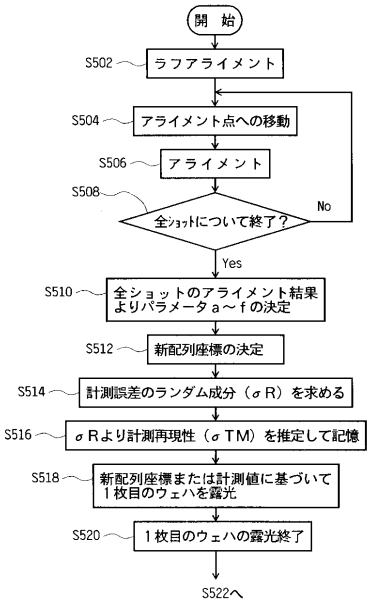
【符号の説明】

ＰＬ	投影レンズ
Ｗ	ウェハ
Ｒ	レチクル
２００	ＴＴＬ方式のアライメント系
３００	オフアクシス方式のアライメント系
４００	制御器
４０２	制御部
４０４	演算部
４１６	記憶部

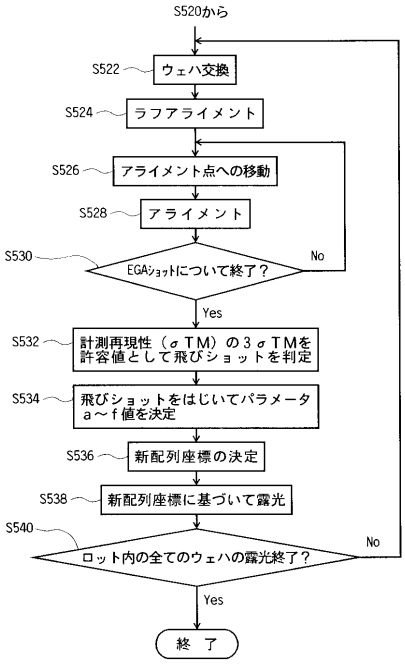
【図１】



【図２】



【図３】


S520から
S522
ウェハ交換
S524
ラフアライメント
S526
アライメント点への移動
S528
アライメント
S530
EGAショットについて終了？
No
Yes
S532
計測再現性（σTM）の3σTMを許容値として飛びショットを判定
S534
飛びショットをはじいてパラメータa～f値を決定
S536
新配列座標の決定
S538
新配列座標に基づいて露光
S540
ロット内の全てのウェハの露光終了？
No
Yes
終 了

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.[7], ＤＢ名)
H01L 21/027
G03F 9/00