(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第3651074号
(P3651074)

(45)発行日　平成17年5月25日(2005.5.25)　(24)登録日　平成17年3月4日(2005.3.4)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01L 21/027　H01L 21/30　516A
G03F 9/00　G03F 9/00　H
H01L 21/30　520A
H01L 21/30　525W

請求項の数 7　(全 23 頁)

(21)出願番号　特願平7-235690
(22)出願日　平成7年9月13日(1995.9.13)
(65)公開番号　特開平9-82607
(43)公開日　平成9年3月28日(1997.3.28)
審査請求日　平成14年9月10日(2002.9.10)

(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　岡本　洋基
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
(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　佐藤　秀樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】露光方法、それを用いた半導体集積回路又は液晶表示素子の製造方法、及び露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、

前記複数のショット領域内にはそれぞれ複数のアライメントマークが形成されており、該複数のショット領域のうちの任意の複数のショット領域内にそれぞれ属する複数のアライメントマークの、静止座標系上における位置を計測する計測工程と、

前記計測された複数のアライメントマークの位置を用いて統計処理を行うことにより、前記複数のショット領域にそれぞれ設けられた基準位置の前記基板上での配列に関する第１の誤差パラメータと、前記各ショット領域内部での重ね合わせ誤差の要因となる第２の誤差パラメータとを含む座標変換式を求めると共に、その座標変換式を用いて前記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位置を算出する算出工程と、

前記計測工程で計測されたアライメントマークについての、前記計測された位置と、前記算出工程で算出された位置とに基づいて、該計測工程で計測されたアライメントマーク位置と設計位置との誤差のうちの非線形成分を抽出する工程と、

前記抽出された誤差の非線形成分と、既知の投影レンズのディストーションデータに基づいて、前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する工程と、

前記計測工程で計測されたアライメントマークの位置、及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いて、レチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する工程と、を含むことを特徴とする露光方法。

【請求項２】
前記投影レンズを特定する工程では、
前記投影レンズのディストーションデータに基づいて、前記アライメントマーク位置での前記投影レンズのディストーションの非線形成分を求め、
前記抽出された誤差の非線形成分と、前記求められたディストーションの非線形成分との比較結果に基づいて、前記投影レンズを特定することを特徴とする請求項１に記載の露光方法。
【請求項３】
前記抽出された誤差の非線形成分のベクトルに対して、前記求められたディストーションの非線形成分のベクトルがなす角及び両者の差が最も小さい投影レンズを、前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズとして特定することを特徴とする請求項２に記載の露光方法。
【請求項４】
請求項１～３の何れか一項に記載の露光方法を用いて、マスク上に形成された回路パターンを基板上に露光する工程を含むことを特徴とする半導体集積回路又は液晶表示素子の製造方法。
【請求項５】
被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光装置において、
前記複数のショット領域内にはそれぞれ複数のアライメントマークが形成されており、該複数のショット領域のうちの任意の複数のショット領域内にそれぞれ属する複数のアライメントマークの、静止座標系上における位置を計測する計測手段と、
前記計測された複数のアライメントマークの位置を用いて統計処理を行うことにより、前記複数のショット領域にそれぞれ設けられた基準位置の前記基板上での配列に関する第１の誤差パラメータと、前記各ショット領域内部での重ね合わせ誤差の要因となる第２の誤差パラメータとを含む座標変換式を求めると共に、その座標変換式を用いて前記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位置を算出する算出手段と、
前記計測手段で計測されたアライメントマークについての、前記計測された位置と、前記算出手段で算出された位置とに基づいて、該計測手段で計測されたアライメントマーク位置と設計位置との誤差のうちの非線形成分を抽出する抽出手段と、
前記抽出手段により抽出された誤差の非線形成分と、既知の投影レンズのディストーションデータに基づいて、前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する手段と、
前記計測手段で計測されたアライメントマークの位置、及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いて、レチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する調整手段と、を有することを特徴とする露光装置。
【請求項６】
各露光装置における前記ディストーションデータを記憶する手段を更に有することを特徴とする請求項５に記載の露光装置。
【請求項７】
各露光装置における前記ディストーションデータを、オンラインで照会することを特徴とする請求項５に記載の露光装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、半導体集積回路や液晶表示素子等を製造する工程の一工程であるリソグラフィー工程においてマスク又はレチクルのパターンを感光基板上に投影露光する露光方法に関する。
【０００２】
【従来の技術】

半導体集積回路等の製造には縮小投影型露光装置（ステッパー）が使用され、半導体ウエハ上にすでに形成されたチップパターン（ショット領域）にマスク又はレチクル（以下、「レチクル」という）の新たな回路パターンを重ね合わせて露光することが行われるが、その際ショット領域に対するアライメント及び露光装置の調整を高精度で行うことが重要である。

【０００３】

ウエハ上には、予め設定された配列座標に基づいて多数のショット領域が規則的に配列され、各ショット領域には位置合わせ用のアライメントマークを含むチップパターンが形成されている。レチクルパターンをウエハのショット領域にアライメントする方法としては、例えば特開平６－２７５４９６号公報に記載されているようなチップの倍率、回転等をも加味したエンハンスト・グローバル・アライメント法（以下「多点ＥＧＡ方式」という）が知られている。

【０００４】

この多点ＥＧＡ方式のアライメントについて説明する。この方式は、ショット領域内の複数点に設けられたアライメントマークの計測位置と設計上の位置との誤差が以下の(1)～(7)に列挙する要因に基づくものとして、統計的演算手法によりアライメントすべきショットの配列座標、チップの倍率、回転等を算出するものである。

(1) ウエハの残留回転誤差Θ、
(2) ステージ座標系（又はショット配列）の直交度誤差W、
(3) ウエハの線形伸縮Ｒｘ，Ｒｙ、
(4) ウエハ中心位置のオフセット（平行移動）O_X,O_Y、
(5) ウエハの各ショット領域上のチップパターンの残留回転誤差θ、
(6) ウエハ上の座標系（チップパターン）の直交度誤差ｗ、
(7) チップパターンの直交する２方向への線形伸縮ｒｘ，ｒｙ。

ここで、誤差パラメータΘ，Ｗ，Ｒｘ，Ｒｙ，Ｏｘ，Ｏｙはステージ座標系Ｘ，Ｙに対して定義され、チップパターンに関する誤差パラメータθ，ｗ，ｒｘ，ｒｙはショット領域の座標系ｘ，ｙに対して定義される。

【０００５】

ウエハ上で選択された複数のショット領域の基準点（例えば、ショット中心）の、ウエハ上の座標系（α，β）上での設計上の配列座標値をC_n、測定されたアライメントマークの各ショット領域上の座標系（ｘ，ｙ）での設計上の座標値（相対座標値）をS_{Nn}、そのアライメントマークがステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上であるべき計算上の座標値をF_{Nn}とするとき、F_{Nn}は次の（数１）のように表される。

【０００６】

【数１】

$$F_{Nn} = AC_n + BS_{Nn} + O$$

【０００７】

ただし、上式の各ベクトル及び変換行列は次の（数２）のように定義される。ここで、ウエハの残存回転誤差Θ、直交度誤差W、チップパターンの残存回転誤差θ、直交度誤差ｗは微小量であるとして一次近似を行っており、また、

Ｒｘ＝１＋Γｘ，Ｒｙ＝１＋Γｙ，
ｒｘ＝１＋γｘ，ｒｙ＝１＋γｙ

とし、Γｘ，Γｙ，γｘ，γｙは微小量であるとして近似を行っている。

【０００８】

【数２】

$$F_{Nn}=\begin{bmatrix} F_{NXn} \\ F_{NYn} \end{bmatrix}, \quad A=\begin{bmatrix} 1+\Gamma x & -(W+\Theta) \\ \Theta & 1+\Gamma y \end{bmatrix}$$

$$B=\begin{bmatrix} 1+\gamma X & -(w+\theta) \\ \theta & 1+\gamma y \end{bmatrix}, \quad O=\begin{bmatrix} O_X \\ O_Y \end{bmatrix}$$

$$C_n=\begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix}, \quad S_{Nn}=\begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【０００９】

そして、最小自乗法により（数１）を満足する１０個の誤差パラメータ（Θ，Ｗ，Γｘ，Γｙ，O_X,O_Y,θ，ｗ，γｘ，γｙ）を求める。具体的には、実際に計測された座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）とその計算上の座標値（F_{NXn},F_{NYn}）の差（E_{NXn},E_{NYn}）をアライメント誤差と考える。従って、$E_{NXn}=FMF_{NXn}-F_{NXn}$、$E_{NYn}=FM_{NYn}-F_{NYn}$である。そして、５組以上のアライメント誤差（$E_{NXn}$,$E_{NYn}$）、即ち１０個以上のアライメント誤差の自乗和をそれら１０個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値が最小になるような方程式をたてて、最小自乗法によりそれら１０個の連立方程式を解けば１０個の誤差パラメータを求めることができる。

【００１０】

その後、前記変換行列Ｂ中のチップローテーションの回転誤差θを補正するように、レチクルに適当な回転を施すか、又はウエハを回転させることにより、ステージ座標系（Ｘ，Ｙ）に対するチップパターンの回転を補正する。チップの直交度誤差ｗは、厳密な意味では補正できないが適度にレチクルを回転させることで、その誤差を小さく抑えることができる。そこで、ウエハの残存回転誤差Θ、チップパターンの残存回転誤差θ及び直交度誤差ｗのそれぞれの絶対値の和が最小になるように、レチクル又はウエハの回転量を最適化することも可能である。次に、変換行列Ｂ中のチップスケーリング誤差γｘ，γｙを補正するように、投影光学系の投影倍率を調整する。続いて、変換行列Ａ及びＯを用いて、次の（数３）にウエハ上の各ショット領域の基準点の設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）を代入することにより、その基準点のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での計算上の配列座標値（G_{Xn}，G_{Yn}）を求める。

【００１１】

【数３】

$$\begin{bmatrix} G_{Xn} \\ G_{Yn} \end{bmatrix}=A\begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix}+O$$

【００１２】
そして、計算により得られた配列座標（G_{Xn}，G_{Yn}）及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ上の各ショット領域の基準点を順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、そのショット領域に対してレチクルのパターン像を投影露光する。そして、ウエハ上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウエハの現像等の処理が行われる。
【００１３】
この多点ＥＧＡ方式のアライメントによると、（数１）に示されているように、変換行列Ａ及びＯのみならず、チップローテーション、チップの直交度誤差及びチップスケーリングの各パラメータを含む変換行列Ｂをも考慮しているので、各ショット領域に転写されるチップパターン自体の伸縮や回転などの影響を小さく抑え、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。
【００１４】
【発明が解決しようとする課題】
前記多点ＥＧＡ方式のアライメントでは、ショット内エラー、すなわちチップローテーション、チップの直交度誤差及びチップスケーリングのパラメータを求めるために、ショット内に複数点配置されたアライメントマークを計測する。しかし、計測されたアライメント・マークの座標値には、アライメント・ターゲット層露光号機のレンズ・ディストーションによる誤差が含まれている。このため、その計測値をそのまま用いて、チップローテーションの回転誤差θを補正するようにレチクル又はウエハを回転させたり、チップスケーリング誤差γｘ，γｙを補正するように投影光学系の投影倍率を調整すると、ショット倍率エラーやショット回転エラーが発生してしまう。
【００１５】
本発明は、アライメント・ターゲット層露光号機のレンズ・ディストーションの影響を受けずにレチクルパターンをショット領域に高精度に重ね合わせすることのできる露光方法を提供することを目的とする。
【００１６】
【課題を解決するための手段】
【００１７】
アライメントターゲット層露光号機が未知の場合には、ショット内のアライメントマーク計測値から先ずアライメントターゲット層露光号機を特定する。そのためにショット内のアライメントマーク計測値から、統計処理（多点ＥＧＡ方式の計算手法）により非線形誤差を算出する。ショット内の非線形誤差は、露光号機のレンズ・ディストーションの影響を受けていると考えられるので、その分布状態からアライメントターゲット層がどの投影レンズ（露光号機）を使って露光されたのかを特定することができる。そして、特定した投影レンズのディストーションデータを基に、ショット内のアライメントマーク計測値から求められる投影倍率とショット回転との少なくとも一方を補正することができる。
【００１９】
つまり本発明は、被処理基板上に整列した複数のショット領域にレチクルのパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光方法において、前記複数のショット領域内にはそれぞれ複数のアライメントマークが形成されており、該複数のショット領域のうちの任意の複数のショット領域内にそれぞれ属する複数のアライメントマークの、静止座標系上における位置を計測する計測工程と、前記計測された複数のアライメントマークの位置を用いて統計処理を行うことにより、前記複数のショット領域にそれぞれ設けられた基準位置の前記基板上での配列に関する第１の誤差パラメータと、前記各ショット領域内部での重ね合わせ誤差の要因となる第２の誤差パラメータとを含む座標変換式を求めると共に、その座標変換式を用いて前記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位置を算出する算出工程と、前記計測工程で計測されたアライメントマークについての、前記計測された位置と、前記算出工程で算出された位置とに基づいて、該計測工程で計測されたアライ

メントマーク位置と設計位置との誤差のうちの非線形成分を抽出する工程と、前記抽出された誤差の非線形成分と、既知の投影レンズのディストーションデータに基づいて、前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する工程と、前記計測工程で計測されたアライメントマークの位置、及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いて、レチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する工程と、を含むことを特徴とする。

【００２０】

また本発明は、被処理基板（８）上に整列した複数のショット領域（２７－ｎ）にレチクル（２）のパターンを順次重ね合わせて投影露光する露光装置（図２）において、前記複数のショット領域内にはそれぞれ複数のアライメントマークが形成されており、該複数のショット領域のうちの任意の複数のショット領域内にそれぞれ属する複数のアライメントマーク（２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ，３５－ｎ）の、静止座標系上における位置を計測する計測手段（１２ａ，１５）と、前記計測された複数のアライメントマークの位置を用いて統計処理を行うことにより、前記複数のショット領域にそれぞれ設けられた基準位置の前記基板上での配列に関する第１の誤差パラメータと、前記各ショット領域内部での重ね合わせ誤差の要因となる第２の誤差パラメータとを含む座標変換式を求めると共に、その座標変換式を用いて前記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位置を算出する算出手段（６）と、前記計測手段で計測されたアライメントマークについての、前記計測された位置と、前記算出手段で算出された位置とに基づいて、該計測手段で計測されたアライメントマーク位置と設計位置との誤差のうちの非線形成分を抽出する抽出手段（６）と、前記抽出手段により抽出された誤差の非線形成分と、既知の投影レンズのディストーションデータに基づいて、前記アライメントマーク形成に使用された投影レンズを特定する手段（６）と、前記計測手段で計測されたアライメントマークの位置、及び前記特定された投影レンズのディストーションデータを用いて、レチクルパターンの投影倍率と投影像の回転との少なくとも一方を調整する調整手段（１４，６）と、を構成した。

本発明によると、アライメント・ターゲット層の露光に用いた露光号機の投影レンズのディストーションを考慮して、プロセス・ウエハのショット倍率及び回転を求めるので、装置間のショット内重ね合わせ精度を向上させることが可能となる。

【００２１】

【発明の実施の形態】

以下、本発明による露光方法の一実施例につき図面を参照して説明する。本実施例はステップ・アンド・リピート方式で感光基板としてのウエハ上の各ショット領域にレチクルのパターンを露光する露光装置（ステッパー）に本発明を適用したものである。

【００２２】

図２は本例の露光装置を示し、この図２において、照明光学系１から射出された露光光ＩＬが、ほぼ均一な照度でレチクル２を照明する。レチクル２はレチクルステージ３上に保持され、レチクルステージ３はベース４上の２次元平面内で移動及び微小回転ができるように支持されている。装置全体の動作を制御する主制御系６が、ベース４上の駆動装置５を介してレチクルステージ３の動作を制御する。

【００２３】

露光光ＩＬのもとで、レチクル２のパターン像が投影光学系７を介してウエハ８上の各ショット領域に投影される。ウエハ８はウエハホルダー９を介してウエハステージ１０上に載置されている。ウエハステージ１０は、投影光学系７の光軸に垂直な面内でウエハ８を２次元的に位置決めするＸＹステージ、投影光学系７の光軸に平行な方向（Ｚ方向）にウエハ８を位置決めするＺステージ、及びウエハ８を微小回転させるステージ等より構成されている。

【００２４】

ウエハステージ１０の上面にステージと共に移動する移動ミラー１１が固定され、移動ミラー１１に対向するようにレーザー干渉計１２が配置されている。図２では簡略化して表

示しているが、投影光学系７の光軸に垂直な面内の直交座標系をＸ軸及びＹ軸として、移動鏡１１はＸ軸に垂直な反射面を有する平面鏡及びＹ軸に垂直な反射面を有する平面鏡より構成されている。また、レーザー干渉計１２は、Ｘ軸に沿って移動鏡１１にレーザービームを照射する２個のＸ軸用のレーザー干渉計及びＹ軸に沿って移動鏡１１にレーザービームを照射するＹ軸用のレーザー干渉計より構成され、Ｘ軸用の１個のレーザー干渉計及びＹ軸用の１個のレーザー干渉計により、ウエハステージ１０のＸ座標及びＹ座標が計測される。このように計測されるＸ座標及びＹ座標よりなる座標系（Ｘ，Ｙ）を、以下ではステージ座標系又は静止座標系と呼ぶ。

【００２５】

また、Ｘ軸用の２個のレーザー干渉計の計測値の差により、ウエハステージ１０の回転角が計測される。レーザー干渉計１２により計測されたＸ座標、Ｙ座標及び回転角の情報が座標計測回路１２ａ及び主制御系６に供給され、主制御系６は、供給された座標をモニターしつつ駆動装置１３を介して、ウエハステージ１０の位置決め動作を制御する。尚、図２には示していないが、レチクル側にもウエハ側と全く同じ干渉計システムが設けられている。

【００２６】

投影光学系７には結像特性制御装置１４が装着されている。結像特性制御装置１４は、例えば投影光学系７を構成するレンズ群の内の所定のレンズ群の間隔を調整するか、又は所定のレンズ群の間のレンズ室内の気体の圧力を調整することにより、投影光学系７の投影倍率、歪曲収差等の調整を行う。結像特性制御装置１４の動作も主制御系６により制御されている。

【００２７】

本実施例では、投影光学系７の側面にオフ・アクシスのアライメント系１５が配置され、このアライメント系１５において、光源１６からの照明光がコリメータレンズ１７、ビームスプリッター１８、ミラー１９及び対物レンズ２０を介してウエハ８上のアライメントマーク２９の近傍に照射される。この場合、対物レンズ２０の光軸２０ａと投影光学系７の光軸７ａとの間隔であるベースライン量が予め計測されている。そして、アライメントマーク２９からの反射光が、対物レンズ２０、ミラー１９、ビームスプリッター１８及び集光レンズ２１を介して指標板２２上に照射され、指標板２２上にアライメントマーク２９の像が結像される。指標板２２を透過した光は第１リレーレンズ２３を経てビームスプリッター２４に向かい、ビームスプリッター２４を透過した光が、Ｘ軸用第２リレーレンズ２５Ｘにより２次元ＣＣＤよりなるＸ軸用撮像素子２６Ｘの撮像面上に集束され、ビームスプリッター２４で反射された光が、Ｙ軸用第２リレーレンズ２５Ｙにより２次元ＣＣＤよりなるＹ軸用撮像素子２６Ｙの撮像面上に集束される。撮像素子２６Ｘ及び２６Ｙの撮像面上にはそれぞれアライメントマーク２９の像及び指標板２２上の指標マークの像が重ねて結像される。撮像素子２６Ｘ及び２６Ｙの撮像信号は共に座標位置計測回路１２ａに供給される。

【００２８】

図３は図２の指標板２２上のパターンを示し、この図３において、中央部に十字形のアライメントマーク２９の像２９Ｐが結像され、この像２９Ｐの直交する直線パターン像２９ＸＰ及び２９ＹＰに垂直なＸＰ方向及びＹＰ方向が、それぞれ図２のウエハステージ１０のステージ座標系のＸ方向及びＹ方向と共役になっている。そして、アライメントマーク像２９ＰをＸＰ方向に挟むように２個の指標マーク３１Ａ及び３１Ｂが形成され、アライメントマーク像２９ＰをＹＰ方向に挟むように２個の指標マーク３２Ａ及び３２Ｂが形成されている。

【００２９】

この場合、ＸＰ方向で指標マーク３１Ａ，３１Ｂ及び直線パターン像２９ＸＰを囲む検出領域３３Ｘ内の像が図２のＸ軸用撮像素子２６Ｘで撮像され、ＹＰ方向で指標マーク３２Ａ，３２Ｂ及び直線パターン像２９ＹＰを囲む検出領域３３Ｙ内の像が図２のＹ軸用撮像素子２６Ｙで撮像される。更に、撮像素子２６Ｘ及び２６Ｙの各画素から光電変換信号を

読み取る際の走査方向はそれぞれＸＰ方向及びＹＰ方向に設定され、撮像素子２６Ｘ及び２６Ｙの撮像信号を処理することにより、アライメントマーク像２９Ｐと指標マーク３１Ａ，３１Ｂ及び３２Ａ，３２ＢとのＸＰ方向及びＹＰ方向の位置ずれ量を求めることができる。従って、図２において、座標計測回路１２ａは、ウエハ８上のアライメントマーク２９の像と指標板２２上の指標マークとの位置関係及びそのときのレーザー干渉計１２の計測結果より、そのアライメントマーク２９のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での座標を求め、このように計測された座標値を主制御系６に供給する。

【００３０】

次に、本実施例でウエハ８上の各ショット領域とレチクル２のパターン像との位置合わせを行って、各ショット領域への露光を行う際の動作につき説明する。図４（ａ）は本実施例のウエハ８を示し、この図４（ａ）において、ウエハ８上の直交する座標系（α，β）に沿って複数のショット領域２７－ｎ（ｎ＝０，１，２，‥‥）がマトリックス状に配列され、各ショット領域２７－ｎには前工程での露光及び現像等によりそれぞれチップパターンが形成されている。図４では、複数のショット領域の内の５つのショット領域２７－１～２７－５のみを代表して示している。

【００３１】

各ショット領域２７－ｎにはそれぞれ基準位置が定められている。例えば基準位置を各ショット領域２７－ｎの中心の基準点２８－ｎとすると、この基準点２８－ｎの、ウエハ８上の座標系（α，β）における設計上の座標値は、それぞれ（C_{Xn}，C_{Yn}）で表されるものとする。また、各ショット領域２７－ｎには、それぞれ４個の位置合わせ用のアライメントマーク２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ，３５－ｎが付随して設けられている。この場合、図４（ａ）のウエハ上の座標系（α，β）に平行に、各ショット領域２７－ｎに図４（ｂ）に示すようにショット領域上の座標系（ｘ，ｙ）を設定すると、アライメントマーク２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ，３５－ｎの座標系（ｘ，ｙ）上における設計上の座標はそれぞれ（S_{1Xn},S_{1Yn}），（S_{2Xn},S_{2Yn}），（S_{3Xn},S_{3Yn}）及び（S_{4Xn},S_{4Yn}）で表される。

【００３２】

図４（ａ）に戻り、ウエハ８を図２のウエハステージ１０上に載置し、ステップ・アンド・リピート方式で既にチップパターンが形成された複数のショット領域の各々にレチクルの投影像を順次重ね合わせて露光が行われる。このとき、ウエハステージ１０の移動位置を規定するステージ座標系（Ｘ，Ｙ）とウエハの座標系（α，β）との対応関係が必ずしも前工程における関係と同じとは限らない。このため、座標系（α，β）に関する各ショット領域２７－ｎの基準点２８－ｎの設計上の座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）からステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上の座標を求めて、この座標に基づいてウエハを移動させても、各ショット領域２７－ｎが精密に位置合わせされないことがある。そこで、本実施例では、先ず従来例と同様にその位置合わせの誤差が次の４つの要因から生じたものとする。

▲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１０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▼ウエハの座標系（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８が加工プロセス等によって全体的に伸縮することにより生じる。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Ｒｘ及びＲｙで表される。ただし、α方向のウエハスケーリングＲｘはウエハ８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Ｒｙ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▼ウエハ上の座標系（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８がウエハステージ１０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。

【００３３】

上記の▲１▼～▲４▼の誤差要因が加わった場合、基準点の設計上の座標値が（C_{Xn}，C_{Yn}）のショット領域について、実際に露光するにあたって位置決めすべきステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上の座標（C'_{Xn}，C'_{Yn}）は以下のように表される。

【００３４】

【数４】

$$\begin{bmatrix} C'_{xn} \\ C'_{Yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rx & 0 \\ 0 & Ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\tan W \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Ox \\ Oy \end{bmatrix}$$

【００３５】

ここで、直交度誤差Ｗ及び残留回転誤差Θが微小量であるとして一次近似を行うと、（数４）は次のようになる。

【００３６】

【数５】

$$\begin{bmatrix} C'_{xn} \\ C'_{Yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rx & -Rx \cdot (W+\Theta) \\ Ry \cdot \Theta & Ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Ox \\ Oy \end{bmatrix}$$

【００３７】

ここまでは、各ショット領域２７－ｎ上の基準位置（本実施例では各ショット領域の中心の基準点）を正確に位置合わせすることについて説明してきた。しかし、各ショット領域の基準点がそれぞれ正確に位置合わせされたからといって、必ずしも各ショット領域内のチップパターン全体とレチクルの投影像とが隅々まで正確に重なり合うとは限らない。

【００３８】

次に、この各ショット領域内の重ね合わせ誤差について説明する。既に説明したように、図４（ｂ）において、任意のショット領域２７－ｎ上の座標系（ｘ，ｙ）上の設計上の座標値が（S_{1Xn},S_{1Yn}）～（S_{4Xn},S_{4Yn}）である位置にアライメントマーク２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ，３５－ｎが形成されている。本例では、その各ショット領域内の重ね合わせ誤差が以下の要因から生じたものとする。

▲５▼チップパターンの回転（チップローテーション）：これは、例えばウエハ８上にレチクル２の投影像の露光を行う際、レチクル２がステージ座標系（Ｘ，Ｙ）に対して回転していたり、あるいはウエハステージ１０の動きにヨーイングが混入していたりするときに生じるものであり、ショット領域の座標系（ｘ，ｙ）に対する回転誤差θで表される。

▲６▼チップの直交度誤差：これは、例えばウエハ８上にレチクル２の投影像を露光する際に、レチクル２上のパターン自体の歪みや投影光学系７のディストーション（歪曲収差）等によって生じるチップパターンの直交度の誤差であり、角度誤差ｗで表される。

▲７▼チップの線形伸縮（チップスケーリング）：これは、例えばウエハ８にレチクル２の投影像の露光を行う際の投影倍率の誤差、あるいはウエハ８の加工プロセスによってウエハ８が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。ここでは、ショット領域の座標系（ｘ，ｙ）のｘ方向の２点間の距離の実測値と設計値との比であるｘ方向のチップスケーリングｒｘ、及びｙ方向の２点間の距離の実測値と設計値との比であるｙ方向のチップスケーリングｒｙで２方向の線形伸縮を表すものとする。

【００３９】

例えば、図５（ａ）は前工程で形成された各ショット領域２７－ｎのチップパターンに回

転誤差及び倍率誤差が生じているウエハ８Ａを示し、この図５（ａ）において、回転誤差及び倍率誤差が無い場合のショット領域の例を破線で囲んだショット領域３６－６～３６－１０で表す。それに対して、ウエハ８Ａ上に実際に形成されているショット領域２７－６～２７－１０は回転角及び倍率が異なっている。これらの誤差は、図５（ｂ）に示すように、ショット領域２７－ｎが本来のショット領域３６－ｎに対して傾斜しているチップローテーション誤差と、図５（ｃ）に示すように、ショット領域２７－ｎの倍率が本来のショット領域３６－ｎの倍率と異なっているチップスケーリング誤差とに分離できる。

【００４０】

但し、図５の例ではチップパターンの直交度誤差ｗが無く、且つｘ方向のチップスケーリングｒｘとｙ方向のチップスケーリングｒｙとが等しい場合を示している。

上記の▲５▼～▲７▼の誤差要因が加わった場合、ショット領域２７－ｎ上の設計上の座標値が（S_{NXn},S_{NYn}）（Ｎ＝１～４）のアライメントマーク２９－ｎ，３ｎ，３４－ｎ，３５－ｎについて、実際に位置合わせすべきショット領域の座標系（ｘ，ｙ）上での座標値（S'_{NXn}，S'_{NYn}）は以下のように表される。

【００４１】

【数６】

$$\begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ S'_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rx & 0 \\ 0 & ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -\tan W \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【００４２】

ここで、直交度誤差ｗ及び回転誤差θが微小量であるとして一次近似を行うと、（数６）は次式で表される。

【００４３】

【数７】

$$\begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ S'_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} rx & -rx\cdot(w+\theta) \\ ry\cdot\theta & ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【００４４】

さて、図４（ｂ）において、任意のショット領域２７－ｎの基準点２８－ｎのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での配列座標値は（C_{Xn}，C_{Yn}）であるため、その任意のショット領域上の任意のアライメントマーク（２９－ｎ又は３０－ｎ）のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上の設計上の座標値（D_{NXn}，D_{NYn}）は、次のように表される。但し、上述のようにＮの値（１～４）によってアライメントマーク２９－ｎ～３５－ｎの区別を行っている。

【００４５】

【数８】

$$\begin{bmatrix} D_{NXn} \\ \\ D_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【００４６】
上述の▲５▼～▲７▼の３個の誤差は、ウエハ８上の各ショット領域のアライメントマークを焼き付けた層にチップパターンを焼き付けた際に生じる。実際には更に、ウエハ８の加工プロセスによって生じる上述の▲２▼や▲３▼の誤差の影響を受けるため、アライメントマーク２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ，３５－ｎがステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上で実際にあるべき位置の座標を（F_{NXn}，F_{NYn}）（Ｎ＝１～４）とすると、この座標値（F_{NXn}，F_{NYn}）は（数５）及び（数７）から次のように表される。
【００４７】
【数９】

$$\begin{bmatrix} F_{NXn} \\ \\ F_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C'_{Xn} \\ \\ C'_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} S'_{NXn} \\ \\ S'_{NYn} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} Rx & -Rx\cdot(W+\Theta) \\ \\ Ry\cdot\Theta & Ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_X \\ \\ O_Y \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} rx & -rx\cdot(w+\theta) \\ \\ ry\cdot\theta & ry \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【００４８】
次に、本実施例では最小自乗法の適用を容易にするため、その（数９）中のα方向のウエハスケーリングＲｘ、及びβ方向のウエハスケーリングＲｙをそれぞれ新たなパラメータΓｘ、及びΓｙを用いて次の（数１０）のように表す。同様に、その（数９）中のｘ方向のチップスケーリングｒｘ、及びｙ方向のチップスケーリングｒｙをそれぞれ新たなパラメータγｘ、及びγｙを用いて次の（数１０）のように表す。
【００４９】
【数１０】

$$Rx = 1 + \Gamma x,\quad Ry = 1 + \Gamma y,$$

$$rx = 1 + \gamma x,\quad ry = 1 + \gamma y$$

【００５０】
これら新たなそれぞれ線形伸縮の変化分を示す４個のパラメータΓｘ、Γｙ、γｘ、及び

γｙを用いて（数９）を書き換えると、（数９）は近似的に次のようになる。

【００５１】

【数１１】

$$\begin{bmatrix} F_{NXn} \\ F_{NYn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1+\Gamma x & -(W+\theta) \\ \theta & 1+\Gamma y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1+\gamma x & -(w+\theta) \\ \theta & 1+\gamma y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} O_X \\ O_Y \end{bmatrix}$$

【００５２】

この（数１１）において、２次元ベクトルを２行×１列の行列とみなすと、この（数１１）を以下のような変換行列を用いた座標変換式に書き直すことができる。

【００５３】

【数１２】

$$F_{Nn} = AC_n + BS_{Nn} + O$$

【００５４】

但し、（数１２）の各変換行列は次のように定義される。

【００５５】

【数１３】

$$F_{Nn} = \begin{bmatrix} F_{NXn} \\ F_{NYn} \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1+\Gamma x & -(W+\theta) \\ \theta & 1+\Gamma y \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1+\gamma X & -(w+\theta) \\ \theta & 1+\gamma y \end{bmatrix}, \quad O = \begin{bmatrix} O_X \\ O_Y \end{bmatrix}$$

$$C_n = \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix}, \quad S_{Nn} = \begin{bmatrix} S_{NXn} \\ S_{NYn} \end{bmatrix}$$

【００５６】

即ち、（数１２）では、２行×１列の行列F_{Nn}が、行列AC_nと、行列BS_{Nn}と、行列Ｏ

との加算で表されている。（数１２）の座標変換式における変換行列Ａ，Ｂ，Ｏに含まれる１０個の誤差パラメータΘ，Ｗ，Γｘ（＝Ｒｘ－１），Γｙ，O_X，O_Y，θ，ｗ，γｘ（＝ｒｘ－１），γｙは、例えば最小自乗法によって求めることができる。

【００５７】

次に、図１のフローチャートを参照して、（数１２）の座標変換式に基づいたアライメント動作及び露光動作の一例につき説明する。本実施例では、ウエハ上のアライメントマーク露光に使用された露光号機が既知であるとする。

先ず図１のステップ１０１において、図２のウエハホルダー９上に今回の露光対象であるウエハ８のロードが行われる。ウエハ８の各ショット領域にはそれぞれ、前工程において既にチップパターンが形成されている。更に、図４（ｂ）に示すように、ウエハ８上の各ショット領域２７－ｎには、既知のレンズ・ディストーションを有する露光号機により、それぞれ４個の十字型のアライメントマーク２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ及び３５－ｎが形成されている。また、レチクル２のアライメントが終了しており、不図示の干渉計によって規定される直交座標に対するレチクル２のＸ，Ｙ，回転方向のずれ量はほぼ零となっている。

【００５８】

ここで、アライメントマーク露光号機に固有のレンズ・ディストーションにより、ショット領域内の平均的な投影倍率がＭｅのときアライメントマーク位置での投影倍率ＭａはＭａ＝Ｍｅ＋Ｍ１となり、またショット領域内での平均的な投影像の回転がＲｅのとき、アライメントマーク位置での投影像の回転はＲａ＝Ｒｅ＋Ｒ１となっている。Ｍ１及びＲ１の量はレンズ・ディストーションデータから求めることができる。

【００５９】

次に、図１のステップ１０２において、ウエハ８の原点設定（プリアライメント）を行う。その後ステップ１０３において、図２のオフ・アクシスのアライメント系１５を用いて、ウエハ８上の５個以上のアライメントマーク（２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ又は３５－ｎ）のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）を実測する。１個のアライメントマークにはＸ方向及びＹ方向の２つの成分があるため、５個以上のアライメントマークの座標値を実測することにより、１０個以上のパラメータの値を決定することができる。実測するアライメントマークは、３個以上のショット領域２７－ｎから選択する必要があるが、必ずしも１個のショット領域２７－ｎから４個のアライメントマーク２９－ｎ～３５－ｎを選択する必要はなく、１個のショット領域２７－ｎからそれぞれ１個のアライメントマーク（２９－ｎ，３０－ｎ，３４－ｎ又は３５－ｎ）を選択するようにしてよい。

【００６０】

この場合、ウエハ８上で選択された複数のショット領域２７－ｎの基準点２８－ｎの、ウエハ８上の座標系（α，β）上での設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）と、測定されたアライメントマークの各ショット領域２７－ｎ上の座標系（ｘ，ｙ）での設計上の座標値（相対座標値）（S_{NXn},S_{NYn}）とが予め分かってる。そこで、ステップ１０４において、（数１０）の右辺に、測定されたアライメントマークが属するショット領域の基準点の設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）、及びそのアライメントマークの基準点に関する設計上の相対座標値（S_{NXn},S_{NYn}）を代入することにより、そのアライメントマークがステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上であるべき計算上の座標値（F_{NXn},F_{NYn}）を求める。

【００６１】

そして、最小自乗法により（数１２）を満足する１０個の誤差パラメータ（Θ，Ｗ，Γｘ，Γｙ，O_X，O_Y，θ，ｗ，γｘ，γｙ）を求める。具体的には、実際に計測された座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）とその計算上の座標値（F_{NXn},F_{NYn}）の差（E_{NXn},E_{NYn}）をアライメント誤差と考える。従って、$E_{NXn}=FM_{NXn}-F_{NXn}$、$E_{NYn}=FM_{NYn}-F_{NYn}$が成立している。そして、５組以上のアライメント誤差（E_{NXn},E_{NYn}）、即ち１０個以上のアライメント誤差の自乗和をそれら１０個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値がそれぞれ０になるような方程式をたてて、それら１０個の連立方程式を解けば１０個

の誤差パラメータを求めることができる。

【００６２】

その後ステップ１０５において、（数１２）の変換行列Ｂ中のチップローテーションの回転誤差θを補正するように、図２のレチクルステージ３を介してレチクル２に適当な回転を施すか、又はウエハ８を回転させることにより、ステージ座標系（Ｘ，Ｙ）に対するチップパターンの回転を補正する。これは（数１１）で示す変換行列Ｂの要素を構成する回転誤差θに合わせて、レチクル２又はウエハ８を回転することを意味する。ただし、求められたチップローテーションの回転誤差θには、前述のようにアライメントマーク露光号機に固有の誤差Ｒ１が含まれているため、ステップ１０５においてレチクル又はウエハを回転すべき量は（θ－Ｒ１）である。

【００６３】

なお、ウエハ８を回転した場合には、ウエハ８のオフセット誤差（O_X,O_Y）が変化する虞があるため、再びアライメントマークの座標値の計測を行った後、従来の通常の多点ＥＧＡ演算を行って誤差パラメータを求め直す必要がある。そこで、例えばウエハ８を角度（θ－Ｒ１）だけ回転した場合には、従来のチップパターン内の誤差を考慮しない場合と同様に、ウエハ８上の少なくとも３個のショット領域のアライメントマークのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）での座標値を計測し直す。そして、その結果から６個の誤差パラメータ（Θ，Ｗ，Ｒｘ，Ｒｙ，O_X，O_Y）の値を決定し、この結果から算出した配列座標に基づいて各ショット領域の位置合わせを行って露光を行う。

【００６４】

次に、チップの直交度誤差ｗは、厳密な意味では補正できないが適度にレチクル２を回転させることで、その誤差を小さく抑えることができる。そこで、回転誤差Θ、回転誤差θ及び直交度誤差ｗのそれぞれの絶対値の和が最小になるように、レチクル２又はウエハ８の回転量を最適化することも可能である。

次に、ステップ１０６において、（数１２）の変換行列Ｂ中のチップスケーリング誤差を補正するように、図２の結像特性制御装置１４を介して投影光学系７の投影倍率を調整する。これは（数１１）で示す変換行列Ｂの要素を構成するチップスケーリングｒｘ（＝１＋γｘ）及びｒｙ（＝１＋γｙ）に合わせて、投影光学系７の投影倍率を調整することを意味する。ただし、求められたチップスケーリングｒｘ及びｒｙには、前述のようにアライメントマーク露光号機に固有の誤差ｒｘ１及びｒｙ１が含まれている。この露光号機に固有の誤差ｒｘ１，ｒｙ１はレンズ・ディストーションデータからもとめることができる。従って、ステップ１０６では、投影光学系７の投影倍率をチップスケーリング（ｒｘ－ｒｘ１）及び（ｒｙ－ｒｙ１）に合わせて調整する。

【００６５】

その後、図１のステップ１０７において、ステップ１０４で求めた誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列Ａ及びＯを用いて、次式にウエハ８上の各ショット領域２７－ｎの基準点２８－ｎの設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）を代入することにより、その基準点２８－ｎのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での計算上の配列座標値（G_{Xn}，G_{Yn}）を求める。但し、上述したように、ステップ１０５でローテーション誤差を補正するためにウエハ８側を回転した場合には、再び計測したアライメントマークの座標に基づいて、各基準点２８－ｎのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での計算上の配列座標値（G_{Xn}，G_{Yn}）を求める。

【００６６】

【数１４】

$$\begin{bmatrix} G_{Xn} \\ G_{Yn} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} C_{Xn} \\ C_{Yn} \end{bmatrix} + O$$

【００６７】
そして、ステップ１０８において、計算により得られた配列座標（G_{Xn}，G_{Yn}）及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ８上の各ショット領域２７－ｎの基準点２８－ｎを順次図２の投影光学系７の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、当該ショット領域２７－ｎに対してレチクル２のパターン像を投影露光する。そして、ウエハ８上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウエハ８の現像等の処理が行われる。
【００６８】
この場合、本例では（数１２）に示す変換行列Ａ、Ｏ及びＢのみならず、アライメントマーク露光号機のレンズ・ディストーションをも考慮しているので、アライメントマーク自体に含まれている誤差を取り込むことなく、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。
【００６９】
次に、アライメントマーク露光号機が未知であってアライメントマークに含まれている誤差を予め知ることができない場合の実施例について説明する。
この場合には、ショット領域内アライメントマークの計測値から、多点ＥＧＡ演算により誤差パラメータΘ，Ｗ，Ｒｘ（＝１＋Γｘ），Ｒｙ（＝１＋Γｙ），Ｏｘ，Ｏｙ，θ，ｗ，ｒｘ（＝１＋γｘ），ｒｙ（＝１＋γｙ）を求める。これらの誤差パラメータを用いた座標変換によって設計上の座標値から計算されるステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上であるべきアライメントマークの座標値と、実際の座標値との差を誤差の非線形成分とする。この誤差の非線形成分を、既知のレンズ・ディストーションを有する各露光号機によってアライメントマークを露光した場合に予測される誤差の非線形成分と比較することによってアライメントマーク露光号機を特定する。
【００７０】
その後は、前記実施例と同様にして、この特定されたアライメントマーク露光号機に固有の誤差を差し引いて、レチクル又はウエハを回転させることでチップローテーションの回転誤差θを補正し、チップスケーリングｒｘ及びｒｙに合わせて投影光学系の投影倍率を調整した上で、前記誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列Ａ及びＯを用いて、各ショット領域の基準点のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での計算上の配列座標値を求める。そして、計算により得られた配列座標及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ上の各ショット領域の基準点を順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、そのショット領域に対してレチクルのパターン像を投影露光することを繰り返す。
ここで、アライメントマーク露光号機を特定する方法について詳細に説明する。いま、図６に示すように、ウエハ８内の１０のショット領域４０－ｎ（ｎ＝１～１０）について、各ショット領域４０－ｎ内の４個のアライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ，４５－ｎ（ここでは、４個のアライメントマークはショット領域の４隅に設けられているものとした）を使って、ショット内多点計測を行う場合を考える。ステージ座標系（Ｘ，Ｙ）、ウエハ上の座標系（α，β）、ショット領域上の座標系（ｘ，ｙ）の設定は前記実施例と同様とし、また、各座標の表記方法も前記実施例と同様とする。すなわち、各ショット領域４０－ｎには基準位置が定められ、基準位置を例えば各ショット領域４０－ｎの中心の基準点４１－ｎとすると、この基準点４１－ｎの、ウエハ８上の座標系（α，β）

における設計上の座標値は、それぞれ（C_{Xn}，C_{Yn}）で表されるものとする。ショット領域上の座標系（ｘ，ｙ）はウエハ上の座標系（α，β）に平行に設定され、各ショット領域４０－ｎに設けられた４個の位置合わせ用のアライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ，４５－ｎの座標系（ｘ，ｙ）上における設計上の座標はそれぞれ（S_{1Xn},S_{1Yn}），（S_{2Xn},S_{2Yn}），（S_{3Xn},S_{3Yn}）及び（S_{4Xn},S_{4Yn}）で表される。

【００７１】

前記実施例と同様の方法で多点ＥＧＡ演算を行って（数１２）（数１３）で示される座標変換式の変換行列Ａ，Ｂ，Ｏに含まれる１０個の誤差パラメータΘ，Ｗ，Γｘ（＝Ｒｘ－１），Γｙ，O_X，O_Y，θ，ｗ，γｘ（＝ｒｘ－１），γｙ（＝γｙ－１）を、例えば最小自乗法によって求める。次に、こうして決定された誤差パラメータを含む座標変換式によって計算されたアライメントマークの座標値（F_{NXn},F_{NYn}）と実際に計測された座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）とのずれ量（R_{NXn},R_{NYn}）、すなわち$R_{NXn}=FM_{NXn}-F_{NXn}$、$R_{NYn}=FM_{NYn}-F_{NYn}$を１０個のショット領域４０－ｎ（ｎ＝１～１０）内の各アライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ，４５－ｎ全てについて求める。表式中、ｎの値（１～１０）によってショット領域４０－１～４０－１０の区別を行い、Ｎの値（１～４）によってアライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ，４５－ｎの区別を行っている。

【００７２】

ここで求めたずれ量（R_{NXn},R_{NYn}）をランダムエラーと呼ぶことにする。ランダムエラーは、各ショット領域４０－ｎの４箇所の位置それぞれに対して、ウエハ内１０ショット分求められる。図６（ａ）には、各ショット領域４０－１～４０－ｎにそれぞれ設けられた４箇所のアライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ，４５－ｎの位置におけるランダムエラー（R_{NXn},R_{NYn}）を模式的にベクトル表示してある。これらをショット領域の各アライメントマーク位置で平均したものを、ショット内ランダムエラー（RE_{NX}，RE_{NY}）とする。すなわち、いまの場合$RE_{NX}=\Sigma R_{NXn}/10$、$RE_{NY}=\Sigma R_{NYn}/10$（Ｎ＝１～４）である。図６（ｂ）には、このショット内ランダムエラー（RE_{1X},RE_{1Y}）、（RE_{2X},RE_{2Y}）、（RE_{3X},RE_{3Y}）、（RE_{4X},RE_{4Y}）をベクトル表示してある。

【００７３】

一方、全露光号機についてその投影レンズのディストーション・データが予め求められている。このディストーション・データは、例えばショット領域内の１７点についてのディストーション・データからなり、重ね焼きを行う露光装置に記憶させてある。或いは、全露光号機のディストーション・データを集中管理しておいて、必要によりオンラインで照会するという方法をとることもできる。

【００７４】

この各露光号機のそれぞれの投影レンズのディストーションデータに対して、Θ＝０，Ｗ＝０，Γｘ＝０，Γｙ＝０，O_X＝０，O_Y＝０とし、ショットセンタを中心にして多点ＥＧＡ演算と同じ演算を行ってショット領域内誤差パラメータθ，ｗ，γｘ（＝ｒｘ－１），γｙ（＝ｒｙ－１）を求め、この誤差パラメータを含む座標変換式から計算されるアライメントマーク位置でのディストーション値と実際のディストーションデータとを比較して、その差分として４点のディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）（Ｎ＝１～４）を求める。ここで、ｍは露光号機を識別するための番号（ｍ＝１，２，３，…）である。

【００７５】

次に、先に求めたショット内ランダムエラー（RE_{NX},RE_{NY}）（Ｎ＝１～４）と各露光号機の投影レンズのディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）（Ｎ＝１～４）とを比較して、最も近い投影レンズを選択する。この比較は、例えば次のような方法で行うことができる。ショット内ランダムエラーのデータ（RE_{NX},RE_{NY}）のベクトルX_N（Ｎ＝１～４）に対して、ディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）のベクトルをl_{Nm}（Ｎ＝１～４）で表す。ベクトルX_N、l_{Nm}のなす角をθ_{Nm}（Ｎ

＝１～４）とすると、ベクトルX_N，l_{Nm}が近いための条件は、ベクトルX_N，l_{Nm}のなす角θ_{Nm}が小さく、かつ、X_N，l_{Nm}の長さの差が小さいことである。これにより、各点について$S_{Nm}=|X_N-l_{Nm}|$（Ｎ＝１～４）を求める。それらの和をとると

$\Sigma S_{Nm}=\Sigma|X_N-l_{Nm}|$　　（Ｎ＝１～４）

この値が小さければ小さいほど、データ（RE_{NX},RE_{NY}）のベクトルX_Nと、ディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）のベクトルl_{Nm}との一致度が高いことを示している。そこで、比較対象となる全露光号機（ｍ＝１，２，３…）のディストーション・データについて式ΣS_{Nm}を求めて、最も値の小さくなるものを見つけ出す。

【００７６】

以上のような方法により、アライメントマーク露光号機を特定し、その露光号機の投影レンズのディストーション・データ（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）（Ｎ＝１～４）を選択する。そして、特定したアライメントマーク露光号機のディストーション・データから、アライメントマーク位置におけるその露光号機に特有のレンズ倍率誤差Ｍ１及びレンズ回転Ｒ１を算出することができる。

【００７７】

次に、図７のフローチャートを参照して、本実施例のアライメント動作及び露光動作につき説明する。まず、前記実施例と同様に、ステップ２０１において、図２のウエハホルダー９上に今回の露光対象であるウエハ８のロードが行われる。ウエハ８の各ショット領域にはそれぞれ、前工程において既にチップパターンが形成されている。更に、ウエハ８上の各ショット領域４０－ｎには、未知のレンズ・ディストーションを有する露光号機により、それぞれ４個の十字型のアライメントマーク４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ及び４５－ｎが形成されている。また、レチクル２のアライメントが終了しており、不図示の干渉計によって規定される直交座標に対するレチクル２のＸ，Ｙ，回転方向のずれ量はほぼ零となっている。

【００７８】

次に、ステップ２０２においてウエハ８の原点設定（プリアライメント）を行い、ステップ２０３において、図２のオフ・アクシスのアライメント系１５を用いて、ウエハ８上の５個以上のアライメントマーク（４２－ｎ，４３－ｎ，４４－ｎ又は４５－ｎ）のステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）を実測する。ウエハ８上で選択された複数のショット領域４０－ｎの基準点４１－ｎの、ウエハ８上の座標系（α，β）上での設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）と、測定されたアライメントマークの各ショット領域４０－ｎ上の座標系（ｘ，ｙ）での設計上の座標値（相対座標値）（S_{NXn},S_{NYn}）とは予め分かっているため、ステップ１０４において、前記実施例と同様に（数１０）の右辺に、測定されたアライメントマークが属するショット領域の基準点の設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）、及びそのアライメントマークの基準点に関する設計上の相対座標値（S_{NXn},S_{NYn}）を代入することにより、そのアライメントマークがステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上であるべき計算上の座標値（F_{NXn},F_{NYn}）を求める。

【００７９】

そして、最小自乗法により（数１２）を満足する１０個の誤差パラメータ（Θ，Ｗ，Γｘ，Γｙ，O_X，O_Y，θ，ｗ，γｘ，γｙ）を求める。具体的には、実際に計測された座標値（FM_{NXn},FM_{NYn}）とその計算上の座標値（F_{NXn},F_{NYn}）の差（E_{NXn},E_{NYn}）をアライメント誤差と考える。従って、$E_{NXn}=FM_{NXn}-F_{NXn}$、$E_{NYn}=FM_{NYn}-F_{NYn}$である。そして、５組以上メント誤差（E_{NXn},E_{NYn}）、即ち１０個以上のアライメント誤差の自乗和をそれら１０個の誤差パラメータで順次偏微分し、その値がそれぞれ０になるような方程式をたてて、それら１０個の連立方程式を解けば１０個の誤差パラメータを求めることができる。ここまでの手順は前記実施例と全く同様である。

【００８０】

次に、ステップ２０５において、求められた誤差パラメータを含む座標変換式によって計算されたアライメントマークの座標値と実際に計測された座標値とのずれ量であるランダムエラー（R_{NXn},R_{NYn}）を全てのショット領域について求め、それをショット領域の各

アライメントマーク位置で平均して、図６（ｂ）に示すショット内ランダムエラー（RE_{NX},RE_{NY}）（Ｎ＝１～４）を算出する。

【００８１】

ステップ２０６では、全ての露光号機について、その投影レンズの既知のディストーション・データに対してショットセンタを中心にして、多点ＥＧＡ演算と同じ演算を行ってショット領域内誤差パラメータを求め、その誤差パラメータを含む座標変換式から計算されるディストーション値と実際のディストーションデータとを比較して、アライメント位置でのディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）を求める。

【００８２】ステップ２０７では、計測されたショット内ランダムエラー（RE_{NX},RE_{NY}）と各露光号機の投影レンズのディストーション・ランダムエラー（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）とを比較して、実際のランダムエラーに最も近いランダムエラーを発生する投影レンズを選択する。次に、ステップ２０８で、こうして特定したアライメントマーク露光号機の投影レンズのディストーション・データ（DRE_{NXm}，DRE_{NYm}）を用いて、アライメントマーク位置におけるその露光号機に特有のレンズ倍率誤差Ｍ１及びレンズ回転Ｒ１を算出する。

【００８３】

その後は、前記実施例と同様に、ステップ２０９において、多点ＥＧＡ演算で求められたチップローテーションの回転誤差θをアライメント露光号機に固有のレンズ回転Ｒ１で補正した量、（θ－Ｒ１）だけレチクル又はウエハを回転させて、ステージ座標系（Ｘ，Ｙ）に対するチップパターンの回転を補正する。さらにステップ２１０において、投影光学系の投影倍率を、多点ＥＧＡ演算で求められたチップスケーリングｒｘ，ｒｙからアライメントマーク露光号機に固有のレンズ倍率誤差ｒｘ１，ｒｙ１を差し引いたチップスケーリングｒｘ－ｒｘ１及びｒｙ－ｒｙ１に合わせて調整する。

【００８４】

そして、ステップ２１１において、ステップ２０４で求めた誤差パラメータよりなる要素を含む変換行列Ａ及びＯを用いて、（数１４）にウエハ８上の各ショット領域４０－ｎの基準点４１－ｎの設計上の配列座標値（C_{Xn}，C_{Yn}）を代入することにより、その基準点４１－ｎのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での計算上の配列座標値（G_{Xn}，G_{Yn}）を求め、ステップ２１２において、計算により得られた配列座標（G_{Xn}，G_{Yn}）及び予め求めてあるベースライン量に基づいて、ウエハ８上の各ショット領域４０－ｎの基準点４１－ｎを順次投影光学系の露光フィールド内の所定の位置に位置合わせして、当該ショット領域４０－ｎに対してレチクルのパターン像を投影露光する。そして、ウエハ上の全てのショット領域への露光が終了した後に、ウエハの現像等の処理が行われる。

【００８５】

本実施例においても、（数１２）に示す変換行列Ａ、Ｏ及びＢのみならず、アライメントマーク露光号機のレンズ・ディストーションをも考慮しているので、アライメントマーク自体に含まれている誤差を取り込むことなく、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。

【００８６】

前記いずれの実施例においても、同一ロット内のウエハは、同一の露光号機によってアライメントマークが形成されていてディストーションが同じとみなしてよい。従って、全てのウエハについてランダムエラーを求め、他のディストーション・データと比較する必要はなく、先頭ウエハで選定したディストーション・データを２枚目以降のウエハに対しても適用することができる。また、先頭ウエハに対しては、全ショット領域に対して多点ＥＧＡ計測を行うことでショット内の非線形誤差をより正確に算出することができる。

【００８７】

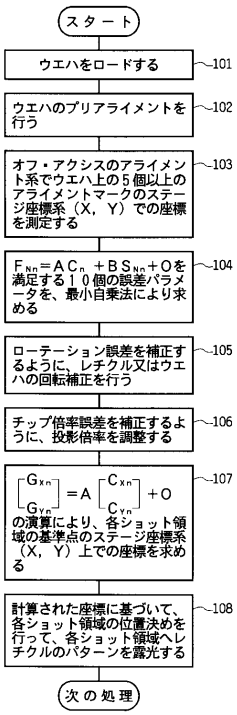
続いて、２ｎｄ層露光装置のレンズ倍率、レンズ回転を考慮する場合の補正方法について説明する。１ｓｔ層露光装置のレンズ倍率Ｍ１とレンズ回転Ｒ１を差し引いたショット倍率Ｍｅ、ショット回転Ｒｅは上記と同様に下式で表すことができる。

Ｍｅ＝Ｍａ－Ｍ１

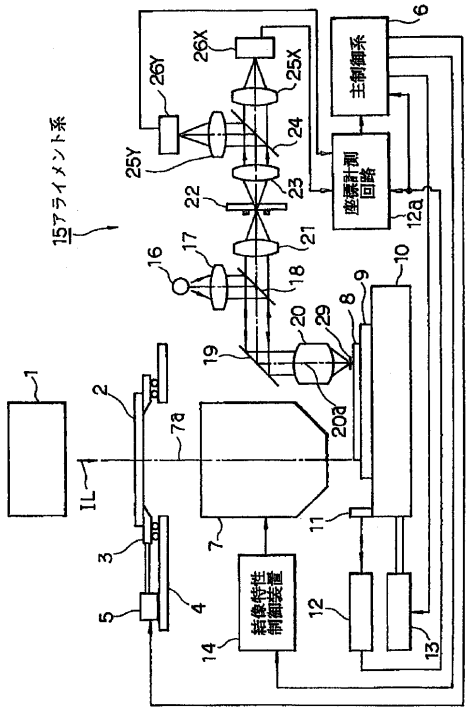
Ｒｅ＝Ｒａ－Ｒ１
２ｎｄ層露光装置が１ｓｔ層露光装置と同一の場合、ショット倍率、ショット回転の目標値をＭｅ，Ｒｅとして制御する。
【００８８】
２ｎｄ層露光装置のアライメント・マーク位置におけるディストーションから求めたレンズ倍率とレンズ回転をそれぞれＭ２，Ｒ２とする。１ｓｔ層露光装置と２ｎｄ層露光装置とのアライメント・マーク位置におけるレンズ倍率差Ｍｄ及びレンズ回転差Ｒｄはそれぞれ次式のようになる。
Ｍｄ＝Ｍ２－Ｍ１
Ｒｄ＝Ｒ２－Ｒ１
２ｎｄ層のショット倍率及びショット回転を補正するとき、これらのレンズ倍率差Ｍｄ及びレンズ回転差Ｒｄがあるので、差し引いてやらなければならない。よって、ショット倍率とショット回転の目標値をそれぞれＭｔ，Ｒｔとすると、これらは次式で表すことができる。
【００８９】
Ｍｔ＝Ｍｅ－Ｍｄ＝Ｍａ－Ｍ１－（Ｍ２－Ｍ１）＝Ｍａ－Ｍ２
Ｒｔ＝Ｒｅ－Ｒｄ＝Ｒａ－Ｒ１－（Ｒ２－Ｒ１）＝Ｒａ－Ｒ２
このような補正を行う場合、アライメント・マーク位置とバーニア・マーク位置はほとんど同じ、あるいはバーニア・マークそのものを使ってアライメントを行うことが望ましい。
【００９０】
本発明はステップ・アンド・リピート方式の露光装置（例えば縮小投影型のステッパーや等倍投影型のステッパー）のみならず、所謂ステップ・アンド・スキャン露光方式の露光装置においても、本発明を同様に適用することができる。
なお、ステップ・アンド・スキャン露光方式の露光装置を始めとする走査型の露光装置で上述のアライメント方法を適用する場合には、上述の実施例で求めた座標位置に所定のオフセット（パターンサイズ、レチクル及びウエハの助走区間等に応じて一義的に定まる値）を加えた位置にウエハを位置決めしてから、走査露光を行うことになる。
【００９１】
このように、本発明は上述実施例に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。
【００９２】
【発明の効果】
本発明によると、アライメントマーク自体に含まれる誤差を排除して露光装置の調整を行うことができるため、ウエハ上の各ショット領域のチップパターンとレチクルのパターンの投影像とをより高精度に重ね合わせることができる。
また、ショット内多点ＥＧＡを行って算出されたランダムエラー（非線形誤差）を利用してアライメントマーク形成に使われた露光号機を特定する。従って、アライメントマーク露光号機が未知な場合でも、号機の推定が可能となるので、ウエハ毎のディストーション管理が不要となる。
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明による位置合わせ方法の一実施例が適用されたアライメント動作及び露光動作を示すフローチャートである。
【図２】その実施例のアライメント動作及び露光動作が実施される投影露光装置の一例を示す構成図である。
【図３】図２の指標板上のアライメントマークの像を示す拡大図である。
【図４】（ａ）は実施例のウエハ上のショット領域の配列の一例を示す平面図、（ｂ）は図４（ａ）内のショット領域を示す拡大平面図である。
【図５】（ａ）はチップパターンの回転誤差及びチップ倍率の誤差を含んだウエハの一例を示す平面図、（ｂ）はチップローテーション誤差の説明図、（ｃ）はチップ倍率誤差の

説明図である。
【図６】（ａ）はウエハ内のショット領域の配列の例を示す平面図、（ｂ）はショット内ランダムエラーの説明図である。
【図７】本発明による位置合わせ方法の他の実施例が適用されたアライメント動作及び露光動作を示すフローチャートである。
【符号の説明】
１　照明光学系
２　レチクル
６　主制御系
７　投影光学系
８　ウエハ
１０　ウエハステージ
１２　レーザー干渉計
１４　結像特性制御装置
１５　オフ・アクシスアライメント系
２７－１～２７－５，２７－ｎ　ショット領域
２８－１～２８－５，２８－ｎ　基準点
２９－１～２９－３，２９－ｎ　アライメントマーク
３０－１～３０－３，３０－ｎ　アライメントマーク
３４－１～３４－３，３４－ｎ　アライメントマーク
３５－１～３５－３，３５－ｎ　アライメントマーク
４０－１～４０－１０，４０－ｎ　ショット領域
４１－１～４１－１０　基準点
４２－１～４２－１０，４２－ｎ　アライメントマーク
４３－１～４３－１０，４３－ｎ　アライメントマーク
４４－１～４４－１０，４４－ｎ　アライメントマーク
４５－１～４５－１０，４５－ｎ　アライメントマーク

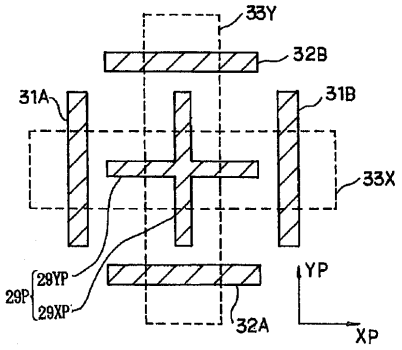
【図１】


スタート
ウエハをロードする
101
ウエハのプリアライメントを行う
102
オフ・アクシスのアライメント系でウエハ上の５個以上のアライメントマークのステージ座標系（X，Y）での座標を測定する
103
$F_{Nn}=AC_n+BS_{Nn}+O$を満足する１０個の誤差パラメータを、最小自乗法により求める
104
ローテーション誤差を補正するように、レチクル又はウエハの回転補正を行う
105
チップ倍率誤差を補正するように、投影倍率を調整する
106
$\begin{bmatrix}G_{Xn}\\G_{Yn}\end{bmatrix}=A\begin{bmatrix}C_{Xn}\\C_{Yn}\end{bmatrix}+O$
の演算により、各ショット領域の基準点のステージ座標系（X，Y）上での座標を求める
107
計算された座標に基づいて、各ショット領域の位置決めを行って、各ショット領域へレチクルのパターンを露光する
108
次の処理

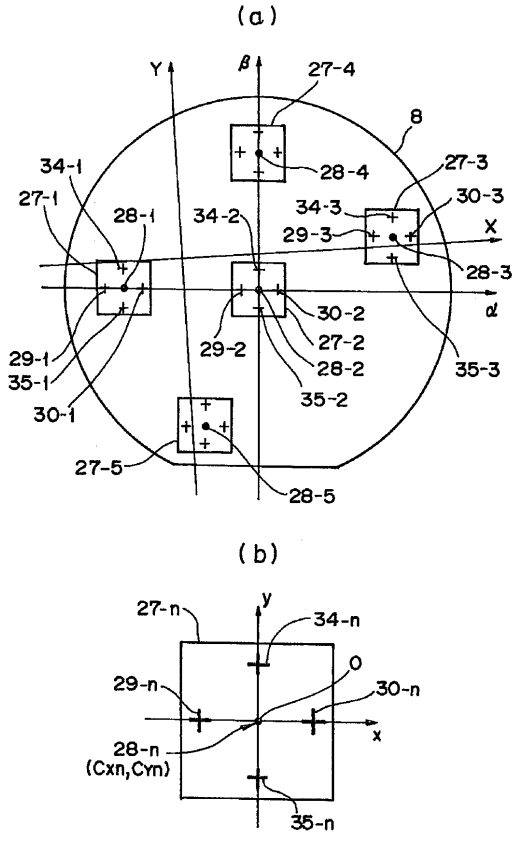
【図２】


15アライメント系
26Y
26X
25X
25Y
24
23
22
21
16
17
18
19
20
29
8
9
10
6
主制御系
座標計測回路
12a
1
2
2a
7a
IL
3
3a
5
4
7
11
12
13
14
結像特性制御装置
20a

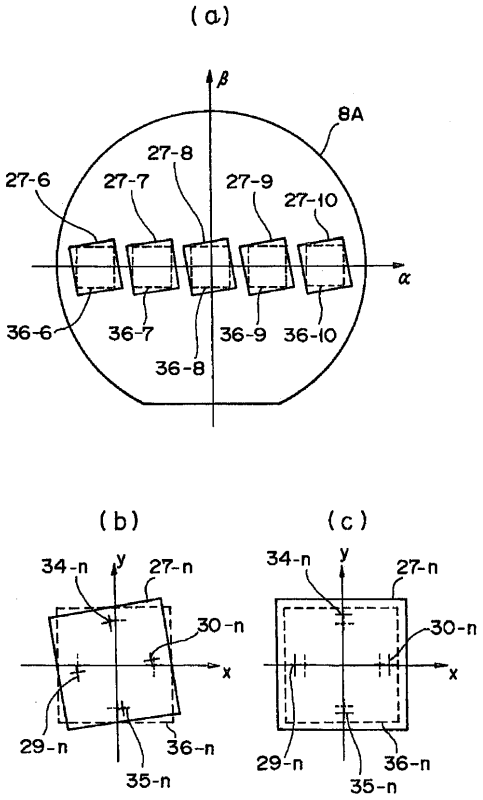
【図３】


33Y
32B
31A
31B
33X
29P
29YP
29XP
32A
YP
XP

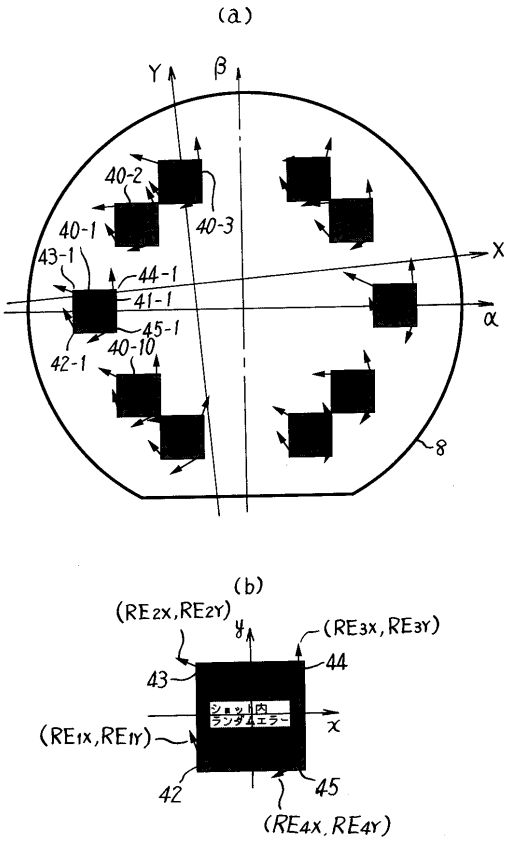
【図４】


(a)
Y
β
27-4
8
28-4
27-3
34-1
27-1
28-1
34-2
34-3
30-3
29-3
X
28-3
30-2
27-2
28-2
35-2
35-3
29-1
35-1
30-1
29-2
27-5
28-5
(b)
y
27-n
34-n
0
29-n
30-n
x
28-n
(Cxn,Cyn)
35-n

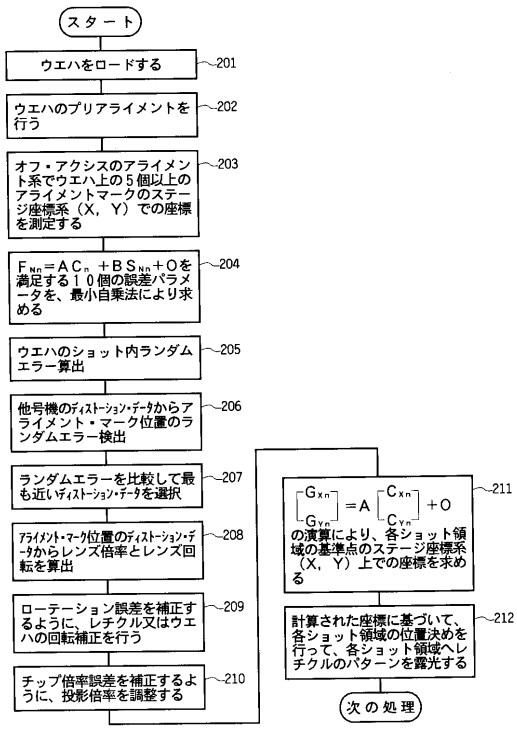
【図５】


(a)
β
8A
27-6
27-7
27-8
27-9
27-10
α
36-6
36-7
36-8
36-9
36-10
(b)
(c)
34-n
y
27-n
30-n
x
29-n
36-n
35-n

【図６】


(a)
Y
β
X
α
40-1
40-2
40-3
43-1
44-1
41-1
45-1
40-10
42-1
8
(b)
(RE2x,RE2Y)
(RE3x,RE3Y)
43
44
ショット内ランダムエラー
(RE1x,RE1Y)
42
45
(RE4x,RE4Y)

【図７】


スタート
ウエハをロードする
201
ウエハのプリアライメントを行う
202
オフ・アクシスのアライメント系でウエハ上の５個以上のアライメントマークのステージ座標系（X，Y）での座標を測定する
203
$F_{Mn}=AC_n+BS_{Mn}+O$を満足する１０個の誤差パラメータを、最小自乗法により求める
204
ウエハのショット内ランダムエラー算出
205
他号機のディストーション・データからアライメント・マーク位置のランダムエラー検出
206
ランダムエラーを比較して最も近いディストーション・データを選択
207
アライメント・マーク位置のディストーション・データからレンズ倍率とレンズ回転を算出
208
ローテーション誤差を補正するように、レチクル又はウエハの回転補正を行う
209
チップ倍率誤差を補正するように、投影倍率を調整する
210
$\begin{bmatrix}G_{xn}\\G_{yn}\end{bmatrix}=A\begin{bmatrix}C_{xn}\\C_{yn}\end{bmatrix}+O$
の演算により、各ショット領域の基準点のステージ座標系（X，Y）上での座標を求める
211
計算された座標に基づいて、各ショット領域の位置決めを行って、各ショット領域へレチクルのパターンを露光する
212
次の処理

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０５－３４３２８５（ＪＰ，Ａ）
特開平０４－１２７５１４（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１１２１０３（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３４９７０６（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－３３０２０５（ＪＰ，Ａ）

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