(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3600882号
(P3600882)
(45)発行日　平成16年12月15日(2004.12.15)　(24)登録日　平成16年10月1日(2004.10.1)

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

請求項の数 20　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願平7-252807
(22)出願日　平成7年9月29日(1995.9.29)
(65)公開番号　特開平9-97758
(43)公開日　平成9年4月8日(1997.4.8)
審査請求日　平成14年9月20日(2002.9.20)

(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
(74)代理人　100098165
弁理士　大森　聡
(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

最終頁に続く

(54)【発明の名称】位置合わせ方法、露光方法、及び素子製造方法、並びに位置合わせ装置及び露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

基板上の複数のショット領域の設計上の配列座標、及び前記複数のショット領域から選択された所定の複数の計測ショットの計測された配列座標を統計処理して、前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出し、該算出された配列座標に基づいて前記複数のショット領域を順次対応する基準位置に位置決めする位置合わせ方法において、

前記複数の計測ショットの配列座標を所定のアライメントセンサを用いて複数種類の処理モードで計測し、該複数種類の処理モードでの計測結果のばらつきをそれぞれ求め、該求められたばらつきが最も小さい処理モードで得られた計測結果を統計処理して前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出することを特徴とする位置合わせ方法。

【請求項２】

請求項１記載の位置合わせ方法であって、

前記統計処理は、前記複数の計測ショットの設計上の配列座標から前記アライメントセンサによって計測された配列座標を算出するための線形パラメータを求め、該線形パラメータ、及び前記複数のショット領域の設計上の配列座標より前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出する処理であり、

前記複数種類の処理モードでの計測結果の非線形成分のばらつきが最も小さくなる処理モードを選択することを特徴とする位置合わせ方法。

【請求項３】

請求項１又は２記載の位置合わせ方法であって、

前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して可干渉な２光束を照射し、前記位置合わせ用マークから互いに異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光を受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光の光電変換信号より前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードであることを特徴とする位置合わせ方法。
【請求項４】
請求項１又は２記載の位置合わせ方法であって、
前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して複数対の互いに波長の異なる可干渉な光束を照射し、前記位置合わせ用マークからそれぞれ同一方向に射出される互いに波長の異なる複数対の回折光を受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記互いに波長の異なる複数対の回折光の光電変換信号より前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードであることを特徴とする位置合わせ方法。
【請求項５】
請求項１、２、３又は４記載の位置合わせ方法であって、
処理対象とする１組の複数の基板の中で、先頭から所定枚数の基板について前記複数種類の処理モードで計測を行い、
それ以降の基板についてはそれまでの計測によって最も計測結果のばらつきが小さいと判定された処理モードで計測を行うことを特徴とする位置合わせ方法。
【請求項６】
前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された位置合わせ用マークに対してレーザビームを照射し、前記位置合わせ用マークから射出される１次回折光とそれ以外の次数の他次回折光とを受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記位置合わせ用マークから射出された１次回折光を使用して前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードと、前記位置合わせ用マークから射出された前記他次回折光を使用して前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードと、を含むことを特徴とする請求項１又は２に記載の位置合わせ方法。
【請求項７】
前記アライメントセンサは、前記１次回折光と、前記他次回折光とをそれぞれ異なる受光素子で受光することを特徴とする請求項６に記載の位置合わせ方法。
【請求項８】
前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された位置合わせ用マークに対して、互いに異なる波長を有する複数の単色レーザビームを照射し、前記位置合わせ用マークから射出される回折光を受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記複数の波長の内の第１波長を使用する処理モードと、前記第１波長とは異なる第２波長を使用する処理モードとを含むことを特徴とする請求項１又は２に記載の位置合わせ方法。
【請求項９】
前記アライメントセンサは、前記第１波長のレーザビームの照射により前記位置合わせ用マークから射出される回折光の干渉光と、前記第２波長のレーザビームの照射により前記位置合わせ用マークから射出される回折光の干渉光とをそれぞれ異なる受光素子で受光することを特徴とする請求項８に記載の位置合わせ方法。
【請求項１０】
前記ばらつきは、前記計測結果の非線形成分の分散であることを特徴とする請求項１～９の何れか一項に記載の位置合わせ方法。
【請求項１１】
前記複数種類の処理モードから前記ばらつきが最も小さい処理モードを選択する際には、Ｘ軸を計測方向とする場合に最適な処理モードと、Ｙ軸を計測方向とする場合に最適な処

理モードとを独立に選択することを特徴とする請求項１～１０の何れか一項に記載の位置合わせ方法。
【請求項１２】
請求項１～１１の何れか一項に記載の位置合わせ方法を用いて、前記算出された複数のショット領域の配列座標に基づいて前記ショット領域を順次位置決めし、
前記位置決めされたショット領域上に順次レチクルのパターン像を露光することを特徴とする露光方法。
【請求項１３】
半導体素子、撮像素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッドを製造するための素子製造方法であって、
請求項１２に記載の露光方法を用いて回路パターンを基板上の各ショット領域に転写する工程を含むことを特徴とする素子製造方法。
【請求項１４】
基板上の複数のショット領域の設計上の配列座標、及び前記基板上の複数のショット領域から選択された所定の複数の計測ショットの計測された配列座標を統計処理して、前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出し、該算出された配列座標に基づいて前記複数のショット領域を順次対応する基準位置に位置決めする位置合わせ装置において、
前記複数の計測ショットの配列座標を所定のアライメントセンサを用いて複数種類の処理モードで計測する計測手段と、
前記計測手段により計測された前記複数種類の処理モードでの計測結果のばらつきをそれぞれ求めると共に、該求められたばらつきが最も小さい処理モードで得られた計測結果を統計処理して前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出する算出手段と、を有することを特徴とする位置合わせ装置。
【請求項１５】
前記統計処理は、前記複数の計測ショットの設計上の配列座標から前記アライメントセンサによって計測された配列座標を算出するための線形パラメータを求め、該線形パラメータ、及び前記複数のショット領域の設計上の配列座標より前記複数のショット領域の実際の配列座標を算出する処理であり、
前記算出手段は、前記複数種類の処理モードでの計測結果の非線形成分のばらつきが最も小さくなる処理モードを選択することを特徴とする請求項１４に記載の位置合わせ装置。
【請求項１６】
前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された位置合わせ用マークに対してレーザビームを照射し、前記位置合わせ用マークから射出される１次回折光とそれ以外の次数の他次回折光とを受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記位置合わせ用マークから射出された１次回折光を使用して前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードと、前記位置合わせ用マークから射出された前記他次回折光を使用して前記位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードと、を含むことを特徴とする請求項１４又は１５に記載の位置合わせ装置。
【請求項１７】
前記アライメントセンサは、前記１次回折光と、前記他次回折光とをそれぞれ異なる受光素子で受光することを特徴とする請求項１６に記載の位置合わせ装置。
【請求項１８】
前記アライメントセンサは、前記基板上の計測ショットに付設された位置合わせ用マークに対して、互いに異なる波長を有する複数の単色レーザビームを照射し、前記位置合わせ用マークから射出される回折光を受光するセンサであり、
前記複数種類の処理モードは、前記複数の波長の内の第１波長を使用する処理モードと、前記第１波長とは異なる第２波長を使用する処理モードとを含むことを特徴とする請求項１４又は１５に記載の位置合わせ装置。
【請求項１９】
前記アライメントセンサは、前記第１波長のレーザビームの照射により前記位置合わせ用

マークから射出される回折光の干渉光と、前記第２波長のレーザビームの照射により前記位置合わせ用マークから射出される回折光の干渉光とをそれぞれ異なる受光素子で受光することを特徴とする請求項１８に記載の位置合わせ装置。

【請求項２０】

請求項１４～１９の何れか一項に記載の位置合わせ装置を備え、

前記位置合わせ装置を用いて前記算出された複数のショット領域の配列座標に基づいて前記ショット領域を順次位置決めし、

前記位置決めされたショット領域上に順次レチクルのパターン像を露光することを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（ＣＣＤ等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程でマスクパターンを感光基板上に転写するために使用される露光装置において、感光基板上の各ショット領域を露光位置に位置決めするための位置合わせ方法に関し、更に詳しくは統計処理により算出した配列座標に基づいて各ショット領域を位置合わせする位置合わせ方法に関する。

【０００２】

【従来の技術】

例えば超ＬＳＩ等の半導体素子を製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介してフォトレジストが塗布されたウエハ上の各ショット領域に投影する投影露光装置（ステッパー等）が使用されている。一般に、半導体素子はウエハ上に多数層の回路パターンを所定の位置関係で積み重ねて形成されるため、２層目以降の回路パターンをウエハ上の各ショット領域に転写する際には、各ショット領域とレチクルのパターンの投影位置（露光位置）との位置合わせ、言い換えるとウエハとレチクルとの位置合わせ（アライメント）を高精度に行う必要がある。

【０００３】

従来の投影露光装置におけるウエハの位置合わせ方法の内で、スループット（単位時間当たりのウエハの処理枚数）が高く、且つ高い位置合わせ精度が得られる方法として、例えば特開昭６１－４４４２９号公報に開示されているエンハンスト・グローバル・アライメント（以下、「ＥＧＡ」と言う）方式が知られている。このＥＧＡ方式は、ウエハ上の全部のショット領域から予め選択された所定個数のショット領域（サンプルショット）に付設された位置合わせ用のウエハマークの座標位置を所定のアライメントセンサを介して検出し、検出された座標等を統計処理することによりそれら全部のショット領域の配列座標を算出し、算出され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うものである。

【０００４】

その際に使用されるアライメントセンサとして、例えば特開平２－２２７６０２号公報で開示されているように、回折格子状のウエハマークに対して可干渉で僅かに周波数の異なる１対のレーザビームを照射し、そのウエハマークから同一方向に発生する１対の回折光からなるヘテロダインビームを光電変換して得られるビート信号の位相に基づいて、そのウエハマークの位置を検出するＬＩＡ（Ｌａｓｅｒ　Ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｒｉｃ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ）方式のセンサが知られている。なお、ＬＩＡ方式の内でも、上述のように僅かに周波数の異なる１対のレーザビームを照射する方式は２光束ヘテロダイン干渉方式とも呼ばれている。ＬＩＡ方式としては、それ以外に、あまり使用はされていないが、同じ周波数のレーザビームを照射するホモダイン干渉方式もある。

【０００５】

そのＬＩＡ方式では、光源としてＨｅ－Ｎｅレーザ光源のような１個の単色レーザ光源、又は複数個の単色レーザ光源が使用されている。また、通常は回折格子状のウエハマークに対して上方から対称に２本のレーザビームが照射され、そのウエハマークからほぼ垂直

上方に発生する±１次回折光からなる干渉光が検出されていた。
【０００６】
【発明が解決しようとする課題】
上記の如き従来のＬＩＡ方式のアライメントセンサで、１個の単色レーザ光源を使用する場合には、ウエハ上のフォトレジスト層での薄膜干渉等の影響を受け易いという不都合がある。そのため、上記のように±１次回折光のみを受光する方式では、フォトレジスト層の厚さ、及びウエハマークの凹凸の段差等によっては回折光の強度が弱くなり、結果として最終的に得られる光電変換信号（ビート信号）の振幅が小さくなって、位置合わせ精度が低下する恐れがあった。
【０００７】
この対策として、ウエハマークからの±１次回折光を受光する第１モードの他に、ウエハマークからの一方のレーザビームの０次光と他方のレーザビームの２次回折光とからなる干渉光を受光する第２モードを設け、これら２種類のモードを使い分ける方式も従来から使用されている。実際のプロセス中のウエハでは、ウエハマークのエッジのだれ、ウエハマークの崩れ、フォトレジスト層の厚さむら等があるために、前者の第１干渉光、及び後者の第２干渉光の強度が共に小さくなることはなく、その第１干渉光の強度が弱い場合にはその第２干渉光の強度が強くなり、あるいはその逆となる。即ち、それら第１モード又は第２モードの何れかを使用することにより、どのような場合でも強度が所定の許容値以上となる干渉光が得られる。
【０００８】
また、それら第１干渉光、及び第２干渉光の両方の強度が共に所定の許容値以上となる場合には、それら第１モード若しくは第２モードの何れかを選択するか、又はその第１モードで求めた値とその第２モードで求めた値との平均値を使用する等の処理方法が考えられる。しかしながら、それら２つのモードの何れかを選択する方法に関して、従来はそれら第１モード又は第２モードの何れを選択するのが良いかについて定量的な判断手法が確立されていなかった。
【０００９】
また、ＬＩＡ方式で薄膜干渉等の影響を軽減するために、２波長のレーザビームを使用する方式も提案されている。この方式でも、２波長のレーザビームによる干渉光を１つの受光素子で受光する方式と、第１波長及び第２波長のレーザビームによる干渉光をそれぞれ異なる受光素子で受光して、何れかのビート信号を選択する方式とが考えられる。しかしながら、第１波長及び第２波長のレーザビームの何れかを選択する方式に関しては、どちらの波長を選択するのが良いかについての定量的な判断手法が確立されていなかった。
【００１０】
本発明は斯かる点に鑑み、複数種類の処理モードで検出できるアライメントセンサを使用して位置合わせを行う際に、実際の使用条件下で最も高精度な処理モードを選択でき、結果として高い位置合わせ精度が得られる位置合わせ方法を提供することを目的とする。
【００１１】
【課題を解決するための手段】
本発明による位置合わせ方法は、基板（Ｗ）上の複数のショット領域（ＥＳ１～ＥＳＮ）の設計上の配列座標、及びそれら複数のショット領域から選択された所定の複数の計測ショット（ＳＡ１～ＳＡ９）の計測された配列座標を統計処理して、それら複数のショット領域の実際の配列座標を算出し、このように算出された配列座標に基づいてそれら複数のショット領域を順次対応する基準位置（露光位置等）に位置決めする位置合わせ方法において、それら複数の計測ショットの配列座標を所定のアライメントセンサ（１０）を用いて複数種類の処理モードで計測し、これら複数種類の処理モードでの計測結果のばらつきをそれぞれ求め、このように求められたばらつきが最も小さい処理モードで得られた計測結果を統計処理してそれら複数のショット領域の実際の配列座標を算出するものである。
【００１２】
斯かる本発明によれば、計測結果のばらつきに基づいて定量的に実際の使用条件に適した

処理モードが選択される。
この場合、その統計処理の一例は、複数の計測ショット（ＳＡ１～ＳＡ９）の設計上の配列座標からアライメントセンサ（１０）によって計測された配列座標を算出するための線形パラメータを求め、この線形パラメータ、及び複数のショット領域（ＥＳ１～ＥＳＮ）の設計上の配列座標よりこれら複数のショット領域の実際の配列座標を算出する処理であり、この際にはそれら複数種類の処理モードでの計測結果の非線形成分の分散が最も小さくなる処理モードを選択することが望ましい。これは、その統計処理がＥＧＡ方式であることを意味し、アライメントセンサ（１０）による計測値から、ＥＧＡ方式で計算される線形成分を差し引いて得られる非線形成分のばらつき（分散等）が最も小さい処理モードが選択される。

【００１３】
また、そのアライメントセンサの一例は、その基板上の計測ショット（ＳＡ１～ＳＡ９）に付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して可干渉な２光束を照射し、その位置合わせ用マークから互いに異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光を受光するセンサ（ＬＩＡ方式のアライメントセンサ）であり、この場合にそれら複数種類の処理モードは、そのように異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光の光電変換信号よりその位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードである。

【００１４】
また、そのアライメントセンサの他の例は、その基板上の計測ショット（ＳＡ１～ＳＡ９）に付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して複数対の互いに波長の異なる可干渉な光束を照射し、その位置合わせ用マークからそれぞれ同一方向に射出される互いに波長の異なる複数対の回折光を受光するセンサ（複数波長のＬＩＡ方式のアライメントセンサ）であり、この場合にそれら複数種類の処理モードは、そのように互いに波長の異なる複数対の回折光の光電変換信号よりその位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードである。

【００１５】
これらの場合に、処理対象とする１組の複数の基板の中で、先頭から所定枚数の基板についてそれら複数種類の処理モードで計測を行い、それ以降の基板についてはそれまでの計測によって最も計測結果のばらつきが小さいと判定された処理モードで計測を行うようにしてもよい。

次に、本発明による位置合わせ装置は、基板（Ｗ）上の複数のショット領域（ＥＳ１～ＥＳＮ）の設計上の配列座標、及びその基板上の複数のショット領域から選択された所定の複数の計測ショット（ＳＡ１～ＳＡ９）の計測された配列座標を統計処理して、その複数のショット領域の実際の配列座標を算出し、このように算出された配列座標に基づいてその複数のショット領域を順次対応する基準位置に位置決めする位置合わせ装置において、その複数の計測ショットの配列座標を所定のアライメントセンサ（１０）を用いて複数種類の処理モードで計測する計測手段と、その計測手段により計測されたその複数種類の処理モードでの計測結果のばらつきをそれぞれ求めると共に、このように求められたばらつきが最も小さい処理モードで得られた計測結果を統計処理してその複数のショット領域の実際の配列座標を算出する算出手段と、を有するものである。

【００１６】
【発明の実施の形態】
以下、本発明による位置合わせ方法の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。図１は本例の位置合わせ方法を適用するのに好適なステッパー型の投影露光装置の概略的な構成を示し、この図１において、露光時には不図示の照明光学系本体部で発生し、照明光学系のコンデンサーレンズ１を通過した照明光ＩＬが、レチクルＲのパターン領域ＰＡをほぼ均一な照度分布で照明する。本例の露光用の照明光ＩＬは超高圧水銀ランプの輝線（ｇ線、ｉ線等）であるが、その他に、他のランプの輝線、エキシマレーザ（ＫｒＦエキシマレーザ、ＡｒＦエキシマレーザ等）等のレーザ光、あるいは金属蒸気レーザやＹＡＧレーザの高調波等を用いることができる。

【００１７】
本例のレチクルＲにおいては、遮光帯に囲まれたパターン領域ＰＡの４辺のほぼ中央部にそれぞれアライメントマークとしてのレチクルマークが形成されている。更に、レチクルＲにはその外周付近に２個の十字型の遮光性マークよりなるアライメントマークが対向して形成されている。これら２個のアライメントマークは、レチクルＲのアライメント（投影光学系ＰＬの光軸ＡＸに対する位置合わせ）に用いられる。
【００１８】
レチクルＲは、不図示の駆動部によって光軸ＡＸの方向に微動可能で、且つその光軸ＡＸに垂直な水平面内で２次元移動及び微小回転自在なレチクルステージＲＳ上に載置されている。レチクルステージＲＳの端部にはレーザ光波干渉測長器（レーザ干渉計）２からのレーザビームを反射する移動鏡２ｍが固定され、レチクルステージＲＳの２次元的な位置はレーザ干渉計２によって、例えば０．０１μｍ程度の分解能で常時検出され、検出結果は装置全体を統轄制御する主制御系３に供給されている。主制御系３が、レチクルＲの上方の不図示のレチクルアライメント系からの計測信号に基づいてレチクルステージＲＳを微動させることで、レチクルＲはパターン領域ＰＡの中心点が光軸ＡＸと一致するように位置決めされる。
【００１９】
さて、露光時にはレチクルＲのパターン領域ＰＡを通過した照明光ＩＬは、両側（又はウエハ側に片側）テレセントリックな投影光学系ＰＬに入射し、投影光学系ＰＬにより１／５に縮小されたレチクルＲの回路パターンの投影像が、表面にフォトレジスト層が形成され、その表面が投影光学系ＰＬの最良結像面とほぼ一致するように保持されたウエハＷ上の１つのショット領域に重ね合わせて投影（結像）される。以下では、投影光学系ＰＬの光軸ＡＸに平行にＺ軸を取り、Ｚ軸に垂直な平面内で図１の紙面に平行にＸ軸を、図１の紙面に垂直にＹ軸を取って説明する。
【００２０】
ウエハＷは、微小回転可能なウエハホルダ（不図示）に真空吸着され、このウエハホルダを介してウエハステージＷＳ上に保持されている。ウエハステージＷＳは、駆動部５によりステップ・アンド・リピート方式で２次元移動自在に構成され、ウエハＷ上の１つのショット領域に対するレチクルＲの転写露光が終了すると、ウエハステージＷＳは次のショット位置までステッピングされる。ウエハステージＷＳの端部にはレーザ干渉計４からのレーザビームを反射する移動鏡４ｍが固定され、ウエハステージＷＳのＸ方向、及びＹ方向の座標は、レーザ干渉計４によって例えば０．０１μｍ程度の分解能で常時検出されている。このようにレーザ干渉計４によって計測されるＸ方向及びＹ方向の座標により、ウエハステージＷＳのステージ座標系（静止座標系）（Ｘ，Ｙ）が定められる。レーザ干渉計４の計測値は主制御系３、及び後述のＬＩＡ信号処理系１７に供給され、主制御系３は供給された計測値等に基づいて駆動部５を介してウエハステージＷＳの位置を制御する。
【００２１】
また、ウエハステージＷＳ上にはベースライン量等の計測で使用される所定の基準マークを備えた基準部材ＦＭが、ウエハＷの表面とほぼ同じ高さになるように設けられている。ベースライン量とは、各アライメントセンサの検出中心と、露光中心（投影光学系ＰＬの光軸ＡＸ）との間隔であり、基準部材ＦＭを介して後述の各アライメントセンサのベースライン量が計測されているものとする。
【００２２】
更に、投影光学系ＰＬの側方にはオフ・アクシス方式で撮像方式（Ｆｉｅｌｄ　Ｉｍａｇｅ　Ａｌｉｇｎｍｅｎｔ（ＦＩＡ）方式）のアライメントセンサ（以下、「ＦＩＡ系」と呼ぶ）６が設けられている。このＦＩＡ系６内で発生したフォトレジスト層に対して非感光性の比較的広い波長域の照明光が、対物レンズ７、及びプリズム８を経て、ウエハＷ上の検出対象のマークをほぼ垂直に照明する。そのマークからの反射光はプリズム８、対物レンズ７を経てＦＩＡ系６に戻り、ＦＩＡ系６内の指標板上にそのマークの像が結像され、この像が更に２次元ＣＣＤ等の撮像素子上にリレーされる。そのＦＩＡ系６の内部の撮

像素子からの撮像信号ＦＳは主制御系３に供給され、そのマークのＸ方向、又はＹ方向の位置（座標値）が算出される。

【００２３】

次に、本例のＬＩＡ方式のアライメントセンサにつき説明する。即ち、投影光学系ＰＬの上部側方にＴＴＬ（スルー・ザ・レンズ）方式で、且つＹ軸のＬＩＡ方式のアライメントセンサ（以下、「ＬＩＡ系」と呼ぶ）１０が配置されている。ここでは簡単に説明するが、より具体的なＬＩＡ系の構成は例えば特開平２－２７２３０５号公報に開示されている。ＬＩＡ系１０において、光源（Ｈｅ－Ｎｅレーザ光源等）１１から射出されたレーザビームＬＢはヘテロダインビーム生成光学系１２に入射する。ヘテロダインビーム生成光学系１２は２組の音響光学変調器等を含み、レーザビームＬＢを取り込んで所定の周波数差△ｆを与えた２本のレーザビームＬＢ１，ＬＢ２を、その光軸を挟んでほぼ対称に射出する。レーザビームＬＢ１，ＬＢ２は図１の紙面に垂直な方向に分離している。

【００２４】

ヘテロダインビーム生成光学系１２から射出された２本のレーザビームは、ビームスプリッタ１３に達し、ここで反射された２本のレーザビームはレンズ系（逆フーリエ変換レンズ）１４を経て、装置上で固定されている参照用回折格子１５に、互いに異なる２方向から所定の交差角で入射して結像（交差）する。フォトダイオード等からなる受光素子１６は、参照用回折格子１５を透過してほぼ同一方向に発生する回折光同士の干渉光を受光して光電変換することにより、回折光強度に応じた周波数Δｆの正弦波状の参照ビート信号ＬＳＲをＬＩＡ信号処理系１７に供給する。

【００２５】

一方、ビームスプリッタ１３を透過した２本のレーザビームＬＢ１，ＬＢ２は、ビームスプリッタ１８を透過した後、対物レンズ１９によって一度交差して、ミラー２０及びミラー９で反射されて投影光学系ＰＬに入射する。更に、投影光学系ＰＬに入射した２本のレーザビームＬＢ１，ＬＢ２は、投影光学系ＰＬの瞳面で光軸ＡＸに関してほぼ対称となって一度スポット状に集光した後、ウエハW上のＹ軸の回折格子状のウエハマークのピッチ方向（Ｙ方向）に関して光軸ＡＸを挟んで互いに対称的な角度で傾いた平行光束となって、ウエハマーク上に異なる２方向から所定の交差角で入射する。

【００２６】

図２は、そのウエハW上でのレーザビームＬＢ１，ＬＢ２の交差の状態を示し、この図２において、Ｙ軸のウエハマークＭｙはＹ方向にピッチｐで形成された凹凸の回折格子状マークであり、ウエハマークＭｙ上に入射角φで対称にレーザビームＬＢ１，ＬＢ２が入射している。この際に、レーザビームＬＢ１，ＬＢ２の波長λ、ピッチｐ、及び入射角φの関係は、ウエハマークＭｙからのレーザビームＬＢ１の－１次回折光ＬＢ１（－１）、及びレーザビームＬＢ２の＋１次回折光ＬＢ２（＋１）が垂直上方に射出されるように定められている。この場合、ウエハマークＭｙからのレーザビームＬＢ１の０次光（正反射光）ＬＢ１（０）　、及びレーザビームＬＢ２の＋２次回折光ＬＢ２（＋２）は、レーザビームＬＢ２の入射方向に平行に干渉光として射出され、ウエハマークＭｙからのレーザビームＬＢ２の０次光（正反射光）ＬＢ２（０）　、及びレーザビームＬＢ１の－２次回折光ＬＢ１（－２）は、レーザビームＬＢ１の入射方向に平行に干渉光として射出される。そこで、本例では±１次回折光ＬＢ１（－１），ＬＢ２（＋１）よりなる干渉光（ヘテロダインビーム）よりウエハマークＭｙの位置検出を行う第１処理モードと、０次光ＬＢ１（０）　と＋２次回折光ＬＢ２（＋２）との干渉光、及び０次光ＬＢ２（０）　と－２次回折光ＬＢ１（－２）との干渉光より位置検出を行う第２処理モードとが設けられ、プロセスに応じて最適な処理モードで位置検出を行うようになっている。

【００２７】

図１に戻り、ウエハW上のＹ軸のウエハマークから発生した３個の干渉光は、投影光学系ＰＬ、ミラー９、ミラー２０、対物レンズ１９、及びビームスプリッタ１８を介して受光素子２１Ａ～２１Ｃで受光され、受光素子２１Ａ，２１Ｂ，２１Ｃはそれぞれ入射する干渉光を光電変換して得られる周波数Δｆの正弦波状のウエハビート信号ＬＳ１，ＬＳ２，

ＬＳ３をＬＩＡ信号処理系１７に出力する。この場合、中央の受光素子２１Ａでは、±１次回折光ＬＢ１（－１），ＬＢ２（＋１）よりなる第１干渉光を受光し、一方の側面側の受光素子２１Ｂでは、０次光ＬＢ１（０）　及び＋２次回折光ＬＢ２（＋２）よりなる第２干渉光を受光し、受光素子２１Ｃでは、０次光ＬＢ２（０）　及び－２次回折光ＬＢ１（－２）よりなる第３干渉光を受光するようになっている。従って、ＬＩＡ信号処理系１７において、その第１処理モードでは、ウエハビート信号ＬＳ１と参照ビート信号ＬＳＲとの位相差、及びレーザ干渉計４の計測値より計測対象のウエハマークのＹ座標が検出され、その第２処理モードでは、例えばウエハビート信号ＬＳ２，ＬＳ３のそれぞれと参照ビート信号ＬＳＲとの位相差の平均値、及びレーザ干渉計４の計測値よりそのウエハマークのＹ座標が検出される。そして、検出されたＹ座標は主制御系３に供給される。

【００２８】

また、図１の投影露光装置には、不図示であるがＸ軸のＬＩＡ系も備えられ、このＸ軸のＬＩＡ系によってＸ軸のウエハマークの位置が検出されるようになっている。

次に、本例においてＥＧＡ方式で露光対象とするウエハの各ショット領域のアライメントを行って、各ショット領域にそれぞれレチクルＲのパターン像を投影露光する際の動作につき説明する。先ず露光対象とするウエハＷを図１のウエハステージＷＳ上にロードする。

【００２９】

図３はウエハW上のショット領域の配列を示し、この図３において、ウエハW上にはウエハW上に設定された座標系（ｘ，ｙ）に沿って規則的にショット領域ＥＳ１，ＥＳ２，‥‥，ＥＳＮが形成され、各ショット領域ＥＳｉにはそれまでの工程によりそれぞれチップパターンが形成されている。また、各ショット領域ＥＳｉはｘ方向及びｙ方向に所定幅のストリートラインで区切られており、各ショット領域ＥＳｉに近接するｘ方向に伸びたストリートラインの中央部にアライメントマークとしてのＸ軸のウエハマークＭｘｉが形成され、各ショット領域ＥＳｉに近接するｙ方向に伸びたストリートラインの中央部にＹ軸のウエハマークＭｙｉが形成されている。Ｘ軸用のウエハマークＭｘｉ及びＹ軸用のウエハマークＭｙｉはそれぞれｘ方向及びｙ方向にピッチｐ（図２参照）で形成された凹凸の回折格子状のマークである。

【００３０】

そして、例えば図１のＦＩＡ系６を用いてウエハWの大まかな位置合わせであるサーチアライメントを行った後、図３に示すように、ウエハWの全部のショット領域から予め選択された９個のサンプルショットＳＡ１～ＳＡ９について、図１のＸ軸のＬＩＡ系１０、及びＹ軸のＬＩＡ系を用いて各サンプルショットに付設されたウエハマークのステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上での座標を計測する。具体的に例えばサンプルショットＳＡ１については、ウエハマークＭｘａのＸ座標、及びウエハマークＭｙａのＹ座標が計測される。また、本例ではＬＩＡ系について、２つの処理モードが設けてあるが、この段階では第１処理モード、及び第２処理モードの両方でウエハマークの座標を計測する。計測された各ウエハマークの座標は主制御系３に供給される。以下では、各サンプルショットに付設されたウエハマークの座標を各サンプルショットの座標とみなす。

【００３１】

次に、主制御系３では、第１処理モード（±１次回折光を検出するモード）、及び第２処理モード（０次光と２次回折光とを検出するモード）のそれぞれでの計測結果のばらつきの大きさを定量的に求める。そのため、先ず前者の第１処理モードで計測されたｎ番目（ｎ＝１～９）のサンプルショットの座標値を（XM_n　，YM_n　）とする。そして、ウエハW上の座標系（ｘ，ｙ）での座標値（ｘ，ｙ）からステージ座標系（Ｘ，Ｙ）上の座標値（Ｘ，Ｙ）を算出する一次変換モデルを、６個の変換パラメータａ～ｆを用いて次のように表現する。以下の変換パラメータａ～ｆは、ウエハの残存回転誤差θ、ショット配列の直交度誤差ｗ、ウエハの線形伸縮（スケーリング）Ｒｘ，Ｒｙ、及びウエハのオフセット（平行移動）Ｏｘ，Ｏｙの関数である。

【００３２】

【数１】

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \end{bmatrix}$$

【００３３】
この変換式における６個の変換パラメータａ～ｆを、以下のように最小自乗近似法で決定する。即ち、ｎ番目のサンプルショットＳＡｎの既知の設計上の座標値から（数１）に基づいて計算された座標値を（X_n ，Y_n ）として、残留誤差成分を次式で表す。但し、図３の例では、ｍの値は９である。

【００３４】
【数２】

$$\text{残留誤差成分} = \sum_{n=1}^{m} \{(X_n - XM_n)^2 + (Y_n - YM_n)^2\}$$

【００３５】
そして、この残留誤差成分が最小になるように、（数１）の変換パラメータａ～ｆの値を定める。これがＥＧＡ計算である。次に、ｎ番目のサンプルショットの計測された座標値（XM_n ，YM_n ）から、そのようにして求めた変換パラメータａ～ｆを用いて計算した計算上の配列座標値（X_n ，Y_n ）を差し引いて、全サンプルショットＳＡｉ（ｉ＝１～９）の配列誤差の内の非線形誤差量（δＸｉ，δＹｉ）を求める。この非線形誤差量は計測値の内のランダム成分とみなすことができる。

【００３６】
図４は、図３のウエハＷのサンプルショットＳＡ１～ＳＡ９の非線形誤差量の一例を誇張して示し、この図４において、サンプルショットＳＡ１における非線形誤差量は非線形誤差ベクトル〈Ｄ１〉で表され、この非線形誤差ベクトル〈Ｄ１〉の始点Ｐ１は、サンプルショットＳＡ１の計算上の座標値（線形誤差量を含む座標値）、そのベクトル〈Ｄ１〉の終点Ｐ２は、サンプルショットＳＡ１の計測された座標値を表す。そのベクトル〈Ｄ１〉のＸ成分がδＸｉ、Ｙ成分がδＹｉとなっている。同様に、他のサンプルショットＳＡ２～ＳＡ９における非線形誤差量も矢印のベクトル〈Ｄ２〉～〈Ｄ９〉で表されている。

【００３７】
その後、本例では、サンプルショットＳＡ１～ＳＡ９の各非線形誤差量を示すベクトル〈Ｄ１〉～〈Ｄ９〉のＸ成分及びＹ成分よりなる１８個の成分の標準偏差の自乗、即ち分散Ｖ１を求める。この分散Ｖ１をＬＩＡ系の第１処理モードの計測結果のばらつきとみなす。
次に、同様に、ＬＩＡ系の第２処理モードで計測されたサンプルショットＳＡ１～ＳＡ９の座標値についてもＥＧＡ計算を行って（数１）の変換パラメータａ～ｆの値を決定する。その後、この変換パラメータａ～ｆの値を用いて、サンプルショットＳＡ１～ＳＡ９の計測結果の非線形誤差量の分散Ｖ２を求め、この分散Ｖ１をその第２処理モードでの計測結果のばらつきとみなす。そして、２つの分散Ｖ１と分散Ｖ２とを比較し、分散が小さい方の処理モードに従ってアライメントを行うこととする。これは、非線形誤差量（ランダム成分）の分散が小さい処理モードとは、ＬＩＡ方式のアライメントセンサの計測再現性が良いモードを示すからである。なぜなら、この計測方法では同一のウエハマークを同一状態で計測しているため、アライメントセンサの計測再現性を示すランダム成分以外の要因が両モードで同じになるからである。言い換えると、ランダム成分の分散の大小はＬＩＡ方式のアライメントセンサの各処理モードの計測再現性で決まるからである。

【００３８】
例えば、Ｖ１＜Ｖ２　が成立すれば、第１処理モードが選択され、第１処理モードで求め

た上述の変換パラメータａ～ｆの値と、図３のウエハW上の各ショット領域ＥＳｉ（ｉ＝１～Ｎ）の設計上の配列座標とを用いて、（数１）から各ショット領域ＥＳｉの計算上の配列座標が求められる。その後、主制御系３は、このようにして算出された配列座標にベースライン量の補正を行って得られた計算上の座標値に基づいて、ウエハステージＷＳを介して順次各ショット領域ＥＳｉの位置決めを行って、それぞれレチクルＲのパターン像を露光する。

【００３９】

このように本例によれば、計測結果の非線形誤差成分（ランダム成分）の分散の大小によって定量的に第１処理モードと第２処理モードとの計測再現性が比較され、計測再現性の良好な処理モードが選択される。従って、より高精度に位置合わせが行われる。

また、±１次回折光によるウエハビート信号と、０次光及び２次回折光によるウエハビート信号とは同時に、又は連続的に取り込まれて処理が行われるため、最初から何れかの処理モードでアライメントを行う場合に比較してスループット低下は極めて小さくてすむ。

【００４０】

なお、上述の例では計測結果のばらつきとして、非線形誤差成分の分散が使用されているが、そのばらつきとしては、例えば非線形誤差成分の絶対値の標準偏差の３倍（３σ）の値を使用してもよく、又は非線形誤差成分のＸ成分のレンジ（最大値と最小値との差）等を使用してもよい。

また、上述の例では、各サンプルショットの非線形誤差量のＸ成分及びＹ成分を同等に扱って分散を求めているが、各サンプルショットの非線形誤差量のＸ成分の分散と、Ｙ成分の分散とを独立に求め、Ｘ軸を計測方向とする場合に最適な処理モードと、Ｙ軸を計測方向とする場合に最適な処理モードとを独立に選択するようにしてもよい。

【００４１】

更に、ウエハマークのエッジのだれ、ウエハマークの崩れ、フォトレジストの厚さのむら等のプロセス処理工程に依存する量は同一ロット内でほぼ同じであることが多い。そこで、例えば１ロット内の先頭又は先頭から数枚のウエハについては、上述の第１処理モード、及び第２処理モードの両方でアライメントを行い、それ以降のウエハはそれまでの結果で平均的に計測結果のばらつきが小さく、計測再現性が良好であった処理モードのみでアライメントするようにしてもよい。これによって、演算時間等を短縮できる。

【００４２】

また、上述の例のＬＩＡ系１０では、単色のレーザビームＬＢが使用されているが、例えば異なる２つの単色のレーザビームを使用して、それぞれの単色のレーザビームから１対のヘテロダインビームを生成し、各対のヘテロダインビームについてウエハマークからの±１次回折光を検出するようにしてもよい。この場合、２つの波長の内の第１の波長を使用するモードを第１処理モード、第２の波長を使用するモードを第２処理モードとした場合、どの処理モードを使用するかの基準として、上述の例と同様に計測結果の非線形誤差成分のばらつきを使用することができる。

【００４３】

また、ＬＩＡ方式のアライメントセンサに限らず、複数の処理モードを有するアライメントセンサを使用する場合にどの処理モードを選択するかの基準として本発明は同様に適用できる。

このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、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。

【００４４】

【発明の効果】

本発明によれば、計測結果のばらつきから複数の処理モードのそれぞれの計測再現性を定量的に評価し、計測再現性の最も良好な処理モードを使用するようにしているため、実際の使用条件下で最も高精度な処理モードを選択でき、結果として高い位置合わせ精度が得られる利点がある。

【００４５】

また、統計処理が、複数の計測ショットの設計上の配列座標からアライメントセンサによって計測された配列座標を算出するための線形パラメータを求め、この線形パラメータ、及び複数のショット領域の設計上の配列座標より複数のショット領域の実際の配列座標を算出する処理であり、複数種類の処理モードでの計測結果の非線形成分のばらつきが最も小さくなる処理モードを選択する場合には、例えばＥＧＡ方式でのアライメントを最も高精度な処理モードで実行できる。

【００４６】

また、アライメントセンサが、基板上の計測ショットに付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して可干渉な２光束を照射し、その位置合わせ用マークから互いに異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光を受光するセンサであり、複数種類の処理モードが、その異なる複数の方向にそれぞれ射出される１対の回折光の光電変換信号よりその位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードであるときには、ＬＩＡ方式での処理モードを定量的に最適化できる利点がある。更に、複数種類の処理モードをほぼ並列に実行できるため、スループットは殆ど低下しない。

【００４７】

同様に、アライメントセンサが、基板上の計測ショットに付設された回折格子状の位置合わせ用マークに対して複数対の互いに波長の異なる可干渉な光束を照射し、その位置合わせ用マークからそれぞれ同一方向に射出される互いに波長の異なる複数対の回折光を受光するセンサであり、複数種類の処理モードが、その互いに波長の異なる複数対の回折光の光電変換信号よりその位置合わせ用マークの位置を検出する処理モードであるときにも、ＬＩＡ方式での処理モードを定量的に最適化できる利点がある。

【００４８】

また、処理対象とする１組の複数の基板の中で、先頭から所定枚数の基板についてそれら複数種類の処理モードで計測を行い、それ以降の基板についてはそれまでの計測によって最も計測結果のばらつきが小さいと判定された処理モードで計測を行う場合には、スループットを殆ど低下させることなく、その１組の基板を全体として高精度に位置合わせできる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図１】図１の露光方法が適用される投影露光装置を示す構成図である。

【図２】ＬＩＡ系の検出原理の説明図である。

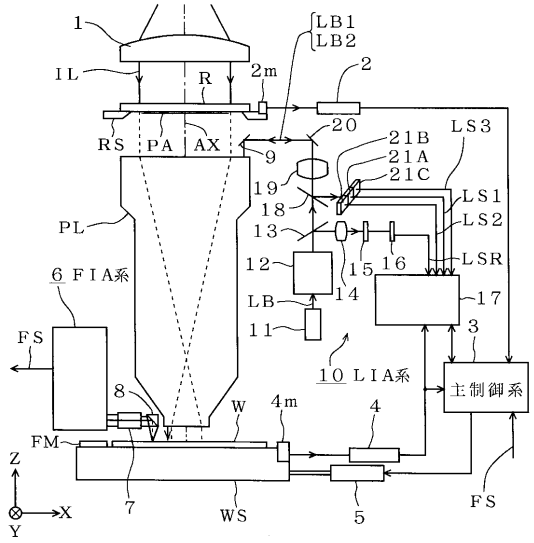
【図３】実施の形態で露光されるウエハ上のショット領域の配列を示す平面図である。

【図４】図３のウエハのサンプルショットの非線形誤差ベクトルを示す平面図である。

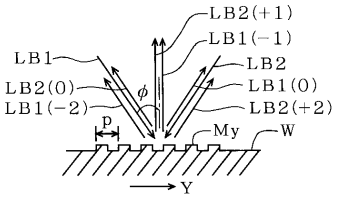
【符号の説明】

Ｒ　レチクル
ＰＬ　投影光学系
Ｗ　ウエハ
ＷＳ　ウエハステージ
３　主制御系
４　レーザ干渉計
６　ＦＩＡ方式のアライメントセンサ（ＦＩＡ系）
１０　Ｙ軸のＬＩＡ方式のアライメントセンサ（ＬＩＡ系）
１２　ヘテロダインビーム生成光学系
１６，２１Ａ～２１Ｃ　受光素子
１７　ＬＩＡ信号処理系
ＥＳ１～ＥＳＮ　ショット領域
ＳＡ１～ＳＡ９　サンプルショット
Ｍｘｉ　Ｘ軸のウエハマーク
Ｍｙｉ　Ｙ軸のウエハマーク

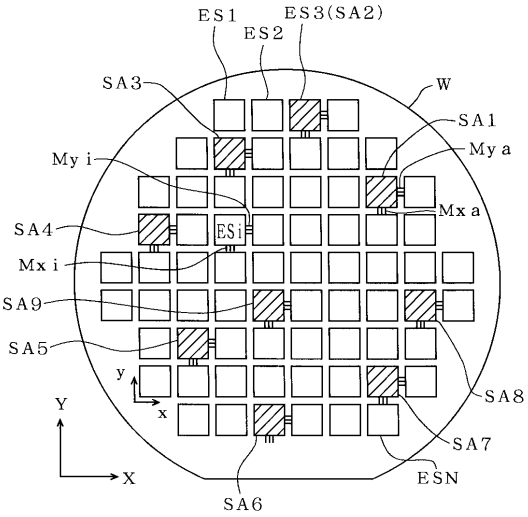
【図１】


1
IL
R
2m
LB1
LB2
2
RS
PA
AX
20
9
21B
21A
21C
LS3
19
18
LS1
LS2
PL
13
12
15
16
LSR
6 FIA系
14
LB
17
11
3
FS
10 LIA系
主制御系
8
W
4m
4
FM
Z
X
Y
7
WS
5
FS

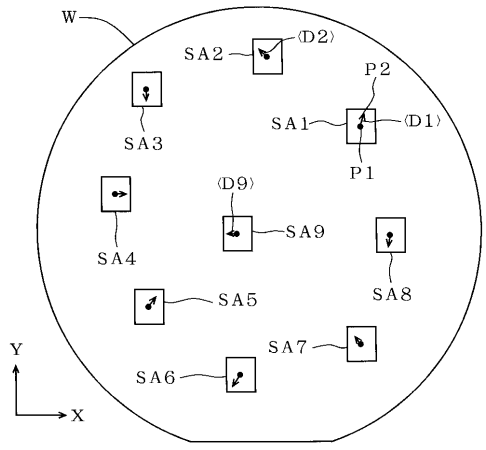
【図２】


LB2(+1)
LB1(−1)
LB1
LB2
LB2(0)
LB1(0)
LB1(−2)
LB2(+2)
φ
p
My
W
Y

【図３】


ES1
ES3(SA2)
ES2
SA3
W
SA1
My i
My a
Mx a
SA4
ESi
Mx i
SA9
SA5
y
x
Y
X
SA8
SA7
ESN
SA6

【図４】


W
SA2
〈D2〉
P2
SA3
SA1
〈D1〉
P1
〈D9〉
SA4
SA9
SA8
SA5
SA7
SA6
Y
X

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０６－１３２１８９（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２３２０２８（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２１６５１９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－１５２１９０（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２２４１０３（ＪＰ，Ａ）

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