(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3550605号
(P3550605)
(45)発行日　平成16年8月4日(2004.8.4)　(24)登録日　平成16年5月14日(2004.5.14)

(51)Int.Cl.[7]	F I		
H01L 21/027	H01L	21/30	525E
G01B 11/00	G01B	11/00	G
G03F 7/20	G03F	7/20	521
G03F 9/00	G03F	9/00	H
	H01L	21/30	522D

請求項の数 18　(全 34 頁)

(21)出願番号　特願平7-245800
(22)出願日　平成7年9月25日(1995.9.25)
(65)公開番号　特開平9-92596
(43)公開日　平成9年4月4日(1997.4.4)
審査請求日　平成14年9月19日(2002.9.19)

(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　白石　直正
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】位置検出方法、それを用いた露光方法、その露光方法を用いた半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッドの製造方法、及び位置検出装置、それを備えた露光装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

位置検出すべき基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンに可干渉性の照明ビームを照射し、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうちの特定の回折光の強度変化に応じて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する方法において、

前記基板上の格子パターンから発生した±ｎ次の回折光を第１参照格子上に結像させ、該第１参照格子から生じる第１の干渉光を第１光電素子で受光することによって、前記基板上の格子パターンと前記第１参照格子との周期方向の相対位置関係に応じた第１の光電信号を発生させるとともに、前記基板上の格子パターンから発生した±ｍ（ｍ≠ｎ）次の回折光を第２参照格子上に結像させ、該第２参照格子から生じる第２の干渉光を第２光電素子で受光することによって、前記基板上の格子パターンと前記第２参照格子との周期方向の相対位置関係に応じた第２の光電信号を発生させる段階と；

前記基板の格子パターンと前記第１参照格子を相対的にピッチ方向に移動させたときの前記第１の光電信号の振幅値に対応した第１振幅情報と、前記基板の格子パターンと前記第２参照格子を相対的にピッチ方向に移動させたときの前記第２の光電信号の振幅値に対応した第２振幅情報とを検知する段階と；

前記第１の光電信号に基づいて前記基板の格子パターンのピッチ方向に関する第１の位置を検知するとともに、前記第２の光電信号に基づいて前記基板の格子パターンのピッチ方向に関する第２の位置を検知する段階と；

該検知された第１の位置と第２の位置とを前記第１振幅情報と第２振幅情報に応じた重み

を付して平均化することによって、前記基板の格子パターンの確定された位置を算出する段階とを含むことを特徴とする位置検出方法。

【請求項２】

位置検出すべき基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンを可干渉性の２つの照明ビームで対称的な入射角で照射し、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうちほぼ同一方向に発生する少なくとも２つの回折光の相互干渉光を光電検出し、その光電信号に基づいて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する方法において、

前記２つの照明ビームと前記格子パターンとをピッチ方向に相対走査したときに前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち第１の方向に進む２つの回折光による第１の干渉光を第１光電素子で受光して、該第１の干渉光の強度変化に応じた第１光電信号を得るとともに、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち前記第１の方向と異なる第２の方向に進む２つの回折光による第２の干渉光を第２光電素子で受光して、該第２の干渉光の強度変化に応じた第２光電信号を得る段階と；

前記相対走査によって生じる前記第１光電信号の実際の振幅と該第１光電信号のほぼ理想的な振幅との比に応じた第１の重み係数と、前記相対走査によって生じる前記第２光電信号の実際の振幅と該第２光電信号のほぼ理想的な振幅との比に応じた第２の重み係数とを検出する段階と；

前記相対走査によって生じる前記第１光電信号の位相情報と相対走査位置とに基づいて前記格子パターンのピッチ方向の位置に応じた第１位置情報を検知するとともに、前記相対走査によって生じる前記第２光電信号の位相情報と相対走査位置とに基づいて前記格子パターンのピッチ方向の位置に応じた第２位置情報を検知する段階と；

前記第１位置情報と第２位置情報とを前記第１の重み係数と第２の重み係数によって加重平均することによって前記格子パターンの最も確からしい位置を決定する段階とを含むことを特徴とする位置検出方法。

【請求項３】

基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンを所定の周波数差を持つ２つの可干渉性の照明ビームで対称的な入射角で照射し、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうちほぼ同一方向に発生する少なくとも２つの回折光のビート干渉光を光電検出することによって発生する交流の光電信号の位相情報に基づいて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する方法において、

前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち第１の方向に進む２つの回折光による第１のビート干渉光を第１光電素子で受光して、該第１のビート干渉光の強度変化に応じた交流の第１光電信号を得るとともに、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち前記第１の方向と異なる第２の方向に進む２つの回折光による第２のビート干渉光を第２光電素子で受光して、該第２のビート干渉光の強度変化に応じた交流の第２光電信号を得る段階と；

前記第１光電信号の実際の交流振幅と該第１光電信号のほぼ理想的な交流振幅との比に応じた第１の重み係数と、前記第２光電信号の実際の交流振幅と該第２光電信号のほぼ理想的な交流振幅との比に応じた第２の重み係数とを検出する段階と；

前記第１光電信号の位相情報に基づいて前記格子パターンのピッチ方向の位置ずれに応じた第１位置情報を検知するとともに、前記第２光電信号の位相情報に基づいて前記格子パターンのピッチ方向の位置ずれに応じた第２位置情報を検知する段階と；

前記第１位置情報と第２位置情報とを前記第１の重み係数と第２の重み係数によって加重平均することによって前記格子パターンの最も確からしい位置ずれを決定する段階とを含むことを特徴とする位置検出方法。

【請求項４】

位置検出すべき基板上に形成された第１の回折格子に可干渉性の照明ビームを照射するビーム照射手段と、前記第１の回折格子から発生する複数の回折光を基準となる参照格子上に結像する結像光学手段とを備え、該参照格子から発生する複数の再回折光同志の相互干渉光を光電検出して得られる光電信号に基づいて、前記参照格子に対する前記第１の回折

格子の位置ずれを検出する装置において、
前記第１の回折格子から発生する複数の回折光の中から互いに回折角が異なる２つの回折光の第１の組と、該第１の組とは異なり互いに回折角が異なる２つの回折光の第２の組とを分離する分離光学手段と；
前記第１の組の２つの回折光を第１結像光学系を介して第１の参照格子上に結像させ、該第１の参照格子からの再回折光の相互干渉光を受光する第１光電素子と、前記第２の組の２つの回折光を第２結像光学系を介して第２の参照格子上に結像させ、該第２の参照格子からの再回折光の相互干渉光を受光する第２光電素子とを含む光電検出手段と；
前記第１光電素子からの光電信号に基づいて前記第１の参照格子に対する前記第１の回折格子の位置ずれに応じた第１の位置情報を計測するとともに、前記第２光電素子からの光電信号に基づいて前記第２の参照格子に対する前記第１の回折格子の位置ずれに応じた第２の位置情報を計測する位置計測手段と；
前記計測された第１の位置情報と第２の位置情報とを、前記第１、第２光電素子の各々からの光電信号の各振幅変化率によって重み付けして加重平均演算することにより前記第１の回折格子の最も確からしい位置ずれを決定する加重平均演算手段とを備えたことを特徴とする位置検出装置。

【請求項５】
位置検出すべき基板上に形成された回折格子状の格子パターンに可干渉性の２つの照明ビームを対称的な入射角で照射するビーム照射手段と、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち互いに同一方向に進む２つの回折光同志の干渉光を受光する光電検出手段と、前記２つの照明ビームと前記格子パターンとを相対的に格子ピッチ方向に走査する手段と、該走査によって前記光電検出手段から出力される光電信号に基づいて前記基板の位置を検出する装置において、
前記格子パターンから第１の方向に進む２つの回折光同志の干渉によって得られる第１の干渉光を受光する第１光電検出器と；
前記格子パターンから前記第１の方向とは異なる第２の方向に進む２つの回折光同志の干渉によって得られる第２の干渉光を受光する第２光電検出器と；
前記走査手段による前記格子パターンの相対走査の間に前記第１光電検出器から出力される第１の光電信号の振幅値と該第１の光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第１の重み係数を算出するとともに、前記走査手段による前記格子パターンの相対走査の間に前記第２光電検出器から出力される第２の光電信号の振幅値と該第２の光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第２の重み係数を算出する重み係数算出手段と；
前記第１の光電信号のレベル変化と相対走査位置との関係に基づいて前記格子パターンの位置を特定する第１の位置情報を算出するとともに、前記第２の光電信号のレベル変化と相対走査位置との関係に基づいて前記格子パターンの位置を特定する第２の位置情報を算出する位置算出手段と；
前記第１の位置情報と第２の位置情報を前記第１の重み係数と第２の重み係数によって加重平均して前記格子パターンの最も確からしい位置を決定する加重平均演算手段を備えたことを特徴とする位置検出装置。

【請求項６】
位置検出すべき基板上に形成された回折格子状の格子パターンに可干渉性の２つの照明ビームを対称的な入射角で照射するとともに、該２つの照明ビームの間に所定の周波数差を与えるビーム照射手段と、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち互いに同一方向に進む２つの回折光同志の干渉光を受光して前記周波数差に応じたビート周波数の光電信号を出力する光電検出手段とを有し、前記ビート周波数の基準信号に対する前記光電信号の位相差に基づいて前記基板の位置を検出する装置において、
前記格子パターンから第１の方向に進む２つの回折光同志の干渉によって得られる第１の干渉光を受光してビート周波数の第１光電信号を出力するとともに、前記格子パターンから前記第１の方向とは異なる第２の方向に進む２つの回折光同志の干渉によって得られる第２の干渉光を受光してビート周波数の第２光電信号を出力する光電検出器と；

前記第１光電信号の実際の振幅値と該第１光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第１の重み係数を算出するとともに、前記第２光電信号の実際の振幅値と該第２光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第２の重み係数を算出する重み係数算出手段と；
前記基準信号に対する前記第１光電信号の位相差に基づいて前記格子パターンの位置を特定する第１の位置情報を算出するとともに、前記基準信号に対する前記第２光電信号の位相差に基づいて前記格子パターンの位置を特定する第２の位置情報を算出する位置算出手段と；
前記第１の位置情報と第２の位置情報を前記第１の重み係数と第２の重み係数によって加重平均して前記格子パターンの最も確からしい位置を決定する加重平均演算手段を備えたことを特徴とする位置検出装置。

【請求項７】
前記照明ビームを、前記基板表面に対して垂直に照射することを特徴とする請求項１に記載の位置検出方法。

【請求項８】
前記格子マークと前記照明ビームとを、前記格子マークのピッチ方向に相対的に等速移動させることにより、前記第１及び第２光電素子に前記第１及び第２の光電信号を発生させることを特徴とする請求項１又は７に記載の位置検出方法。

【請求項９】
前記第１の光電信号の微分波形に基づいて、前記第１の位置を検知し、
前記第２の光電信号の微分波形に基づいて、前記第２の位置を検知することを特徴とする請求項１、７又は８に記載の位置検出方法。

【請求項１０】
前記第１の位置及び前記第２の位置を検知するにあたっては、前記第１の光電信号及び前記第２の光電信号にフーリエ積分処理を行うことを特徴とする請求項１、７～９の何れか一項に記載の位置検出方法。

【請求項１１】
前記格子パターンの確定された位置を算出する際には、前記第１の位置及び前記第２の位置を、前記±ｎ次回折光及び前記±ｍ次回折光の理論上の強度比に基づいて重み付けして加重平均することを特徴とする請求項１、７～１０の何れか一項に記載の位置検出方法。

【請求項１２】
請求項１～３、７～１１の何れか一項に記載の位置検出方法により算出された前記格子パターンの位置に基づいてマスクパターンと前記基板との相対的な位置合わせを行う工程と、
前記位置合わせ工程後に、前記マスクパターンを前記基板上に転写する工程と、を有することを特徴とする露光方法。

【請求項１３】
請求項１２に記載の露光方法を用いてレチクルに形成された転写用のパターンの像を、フォトレジストが塗布された基板上に転写するフォトリソグラフィ工程を含むことを特徴とする半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッドの製造方法。

【請求項１４】
前記第１の組における前記２つの回折光の前記照明ビームに対する互いの回折角の大きさは等しく、前記第２の組における前記２つの回折光の前記照明ビームに対する互いの回折角の大きさは等しいことを特徴とする請求項４に記載の位置検出装置。

【請求項１５】
位置検出すべき基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンに可干渉性の照明ビームを照射するビーム照射手段と、前記格子パターンから発生する複数の回折光を基準となる参照格子上に結像する結像光学手段とを備え、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうちの特定の回折光の強度変化に応じて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する位置検出装置において、
前記基板上の格子パターンから発生した±ｎ次の回折光を第１参照格子上に結像せしめ、

該第１参照格子から生じる第１の干渉光を受光して、前記基板上の格子パターンと前記第１参照格子との周期方向の相対位置関係に応じた第１の光電信号を発生する第１光電素子と、
前記基板上の格子パターンから発生した±ｍ（ｍ≠ｎ）次の回折光を第２参照格子上に結像せしめ、該第２参照格子から生じる第２の干渉光を受光して、前記基板上の格子パターンと前記第２参照格子との周期方向の相対位置関係に応じた第２の光電信号を発生する第２光電素子と、
前記基板の格子パターンと前記第１参照格子を相対的にピッチ方向に移動させたときの前記第１の光電信号の振幅値に対応した第１振幅情報と、前記基板の格子パターンと前記第２参照格子を相対的にピッチ方向に移動させたときの前記第２の光電信号の振幅値に対応した第２振幅情報とを検知する手段と、
前記第１の光電信号に基づいて前記基板の格子パターンのピッチ方向に関する第１の位置を検知するとともに、前記第２の光電信号に基づいて前記基板の格子パターンのピッチ方向に関する第２の位置を検知する手段と、
前記検知された第１の位置と第２の位置とを、前記第１振幅情報と第２振幅情報に応じた重みを付して平均化することによって、前記基板の格子パターンの確定された位置を算出する手段と、を有することを特徴とする位置検出装置。
【請求項１６】
前記ビーム照射手段は、前記照明ビームを、前記基板表面に対して垂直に照射することを特徴とする請求項４、１４、又は１５に記載の位置検出装置。
【請求項１７】
前記格子マークと前記照明ビームとを、前記格子マークのピッチ方向に相対的に等速移動させることにより、前記第１及び第２光電素子のそれぞれに前記光電信号を発生させることを特徴とする請求項４、１４～１６の何れか一項に記載の位置検出装置。
【請求項１８】
請求項４～６、１４～１７の何れか一項に記載の位置検出装置を備え、
前記位置検出装置により検出された前記格子パターンの位置に基づいて、マスクパターンと前記基板との相対的な位置合わせを行い、
前記位置合わせ後に、前記マスクパターンを前記基板上に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】
【発明の属する技術分野】
本発明は、例えば半導体素子等を製造する際にマスクパターンを感光性の基板上に露光するフォトリソグラフィ用の露光装置に適用されるマスクパターンと感光性基板の相対的な位置合わせ技術に関し、特に感光基板上のマークの検出技術に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
例えば半導体素子、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は、フォトマスク又はレチクル（以下、まとめてレチクルという）に形成された転写用のパターンの像を、投影光学系を介した投影露光法あるいはプロキシミティ露光法により、フォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の感光基板上に転写する露光装置が使用される。
【０００３】
このような露光装置においては、露光に先立ってレチクルと感光基板との位置合わせ、又は感光基板単独の位置検出（以下総称してアライメントと呼ぶ）を高精度に行う必要がある。このアライメントのために、感光基板上には以前の工程で形成（露光転写）された位置合わせマーク（アライメントマーク）が形成されており、このアライメントマークの位置を検出することで、感光基板全体または感光基板上のショット領域の正確な位置を検出することができる。

【０００４】
近年、半導体ウェハ（又はレチクル）上のアライメントマークを１次元又は２次元の格子状にし、その格子マークをピッチ方向に対称的に傾斜した２つのコヒーレントビームで照射し、格子マークから同一方向に発生する２つの回折光成分（例えば次数差２となる＋１次回折光と－１次回折光）を干渉させて格子マークのピッチ方向の位置や位置ずれを検出する方法が、例えば（Ａ）特開昭６１－２０８２２０号公報、（Ｂ）特開昭６１－２１５９０５号公報等で提案された。
【０００５】
このうち公報（Ａ）は、２つのコヒーレントな照明ビームの周波数を同一にし、その照明ビームと格子マーク（ウェハ）とを格子ピッチ方向に相対移動させたときに格子マークから発生する干渉光を光電検出するホモダイン方式を開示し、公報（Ｂ）は２つのコヒーレントな照明ビームの間に一定の周波数差を持たせ、格子マークから発生する干渉ビート光（照明ビームの周波数差に応じて強度が正弦波状に変化）を光電検出するヘテロダイン方式を開示している。
【０００６】
さらにヘテロダイン方式の位置検出装置を縮小投影露光装置内のＴＴＲ（スルーザレチクル）アライメント系やＴＴＬ（スルーザレンズ）アライメント系に適用したものが、（Ｃ）特開平２－２２７６０２号公報、（Ｄ）特開平３－２５０４号公報等で提案されている。
これら公報（Ｃ）、（Ｄ）に開示されたヘテロダイン方式では、２つの音響光学変調素子（ＡＯＭ）にＨｅ－Ｎｅレーザビームを同時に入射させ、各ＡＯＭを例えば２５ＫＨｚ程度の周波数差を持つ高周波駆動信号（一方が８０ＭＨｚ、他方が７９．９７５ＭＨｚ）で駆動し、各ＡＯＭから射出される回折ビームの間に２５ＫＨｚの周波数差を与えている。そしてそれら２つの回折ビームはウェハ上またはレチクル上の格子マークを所定の交差角で対称的に照射する一対の照明ビームとして利用される。
【０００７】
このヘテロダイン方式では、２つの照明ビームの一部を分割して参照格子に照射し、この参照格子から得られる干渉ビート光の光電検出信号（周波数２５ＫＨｚ）を基準交流信号として、被計測用の格子マークから発生した２つの回折光成分の干渉ビート光を光電検出した信号との位相差を計測し、それを格子マークのピッチ方向に関する基準点からの位置ずれ量として検出している。
【０００８】
以上のようなヘテロダイン方式では、格子マークを照明する２つの照明ビームの単色性が良好な程、位置ずれの検出精度や分解能が向上し、ナノ・メータオーダでの位置検出、位置合わせが可能となる。しかしながら２つの照明ビームの単色性が良好ということは、格子マークから発生する各種回折光間の波長オーダの位相が格子マークの非対称性やレジスト層等に応じて敏感に変化し易いことを意味する。
【０００９】
このうちレジスト層による影響は、露光装置におけるウェハアライメント時の宿命的な問題であり、マーク部分のレジストを局所的に除去するという特別な手法を併用しない限り、又は光学的なマーク検出手法を断念しない限り避けては通れない問題である。
そこで、レジスト層による影響や格子マークの形状変形（断面形状の非対称性等）による影響を低減してより正確な位置検出を可能としたヘテロダイン方式が（Ｅ）特開平３－２１６５１９号公報によって提案された。
【００１０】
その公報（Ｅ）には、格子ビームから垂直に発生する±１次回折光の干渉ビート光の光電信号に基づいて計測される格子マークの第１の位置ずれ量と、格子ビームから発生する０次回折光と±２次回折光の干渉ビート光の光電信号に基づいて計測される格子マークの第２の位置ずれ量とを求め、その２つの位置ずれ量のいずれか一方を選択する手法が開示されている。

【００１１】
またホモダイン方式の位置検出方式でも、（Ｆ）特開昭６１－２０８２２０号公報に開示されているように、基板上の回折格子から発生する複数の高次回折光の各々の光強度の大きさを比較することによって回折格子の非対称性を知ろうとする試みも提案されている。
【００１２】
【発明が解決しようとする課題】
しかしながら従来のように、単波長の照明ビームの照射によって格子マークから発生する高次回折光の各強度による分布の変化を推定する公報（Ｆ）の方式では、格子マークを覆っているレジスト層の光学的な不均一性や格子マークの断面構造の非対称性の種々の条件と高次回折光の強度分布変化とを対応付ける多数のデータベースが必要となる。
【００１３】
また公報（Ｅ）に開示されたように格子マークからの１次回折成分の干渉光に基づいて計測される第１の位置ずれ量と、０次と２次の回折成分の干渉光に基づいて計測される第２の位置ずれ量のいずれか一方を選択する方式では、それによってレジスト層の光学的な不均一性や格子マークの断面構造の非対称性の影響による位置ずれ検出精度の劣化が総合的には抑えられない（精度向上に限界が生じる）と言った問題があった。
【００１４】
また公報（Ｅ）の技術に関連して、計測された第１の位置ずれ量と第２の位置ずれ量とをそれぞれの干渉光の強度（変調度）に応じて比重を持たせて平均化することも考えられるが、ウェハ上の格子マークからの干渉光の変調度に応じた単純な比重を加味した平均化だけでは必ずしも安定した精度向上を達し得ないことがある。これは、ウェハの格子マークを含む表面部分の照明ビームに対する振幅反射率が、ウェハ毎、ウェハ上の場所（ショット領域）毎に様々に変化することで生じるものと考えられる。
【００１５】
そこで本発明は上述の問題を解決し、ウェハ等の基板の表面状態に影響され難い位置検出方法、又は装置を提供することを目的とする。
さらに本発明は、単波長の照明光束で格子パターン（マーク）を照明した場合でも、格子パターンの断面構造上の非対称性（振幅反射率の変化）に影響され難い位置検出方法、又は装置を提供することを目的とする。
【００１６】
さらに本発明は、格子パターンの位置を計測する際、基板表面の状態に依存した格子パターンの位置計測誤差を低減した高精度な位置合わせ（アライメント）装置を提供することを目的とする。
【００１７】
【課題を解決する為の手段】
本発明は、１次元または２次元の回折格子状のパターンが形成されている基板の位置または位置ずれ量を、可干渉（コヒーレント）な照明ビーム（単波長光）を使って検出することを前提としている。さらに本発明は、従来のホモダイン方式、ヘテロダイン方式のいずれの方式の位置検出装置にも若干の改良で適用可能なように構成される。そこで一例として、２つの照明ビームを対照的な入射角で格子パターンに投射して格子マークの位置を検出する装置（方法）の発明の概要を、図５，８を参照して説明する。
【００１８】
まず本発明では、位置検出すべき基板（Ｗ）上に形成された回折格子状の格子パターン（ＭＧ）に可干渉性の２つの照明ビーム（＋ＬＦ，－ＬＦ）を対称的な入射角で照射するビーム照射手段（ＬＳ，ＴＢＯ，ＡＰ，Ｇ１，Ｇ２）が設けられる。そして格子パターン（ＭＧ）から第１の方向（垂直方向）に進む２つの回折光（±１次回折光）同志の干渉によって得られる第１の干渉ビーム（ＢＭ）を受光する第１光電検出器（ＤＴ１　）と、格子パターン（ＭＧ）から第１の方向とは異なる第２の方向に進む２つの回折光（０次と２次の回折光）同志の干渉によって得られる第２の干渉ビーム（Ｂｍ０２，Ｂｍ２０）を受光する第２光電検出器（ＤＴ２ａ，ＤＴ２ｂ）とを設ける。

【００１９】
さらに基板（Ｗ）を移動させるステージ（ＷＳＴ）、又は２つの照明ビームの間に一定の周波数差を与える２光束化光学系ＴＢＯ等の走査手段によって、格子パターン（ＭＧ）が２つの照明ビーム（＋ＬＦ，－ＬＦ）によって生成された干渉縞により相対走査されるように制御する。
そして、その相対走査の間に第１光電検出器（ＤＴ１　）から出力される第１の光電信号（Ｉｍ１　）の振幅値とその第１の光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第１の重み係数（Ｃ１１）を算出するとともに、第２光電検出器（ＤＴ２ａ，ＤＴ２ｂ）から出力される第２の光電信号（Ｉｍ０２，Ｉｍ２０）の振幅値とその第２の光電信号のほぼ理想的な振幅値との比に応じた第２の重み係数（Ｃ２２）を算出する重み係数算出手段（振幅比検出回路５８）を図８のように設ける。
【００２０】
さらに第１の光電信号のレベル変化と相対走査の基準となる位置（又は時間的な基準）との関係に基づいて格子パターン（ＭＧ）の位置を特定する第１の位置情報（ΔＸ１１）を算出するとともに、第２の光電信号のレベル変化と相対走査の基準となる位置（又は時間的な基準）との関係に基づいて格子パターン（ＭＧ）の位置を特定する第２の位置情報（ΔＸ２２）を算出する位置算出手段（検出回路５６）と、その第１の位置情報と第２の位置情報を第１の重み係数と第２の重み係数によって加重平均して格子パターン（ＭＧ）の最も確からしい位置（ΔＸ）を決定する加重平均演算手段（６０）を設けるようにした。
【００２１】
【発明の実施の態様】
一般にウエハ等の表面に形成される位置合わせ用、位置計測用のマークは、その表面に微少な段差を持って作られるが、半導体加工工程上のエッチングやスパッター等のウエハプロセス、あるいはフォトレジスト層の塗布ムラによって多少の非対称性を有し、それがマーク位置検出時の精度低下を招く。
【００２２】
格子マークから発生した２つの回折光の相互干渉光を光電検出し、その光電信号を利用する干渉式アライメント法においては、格子マークの非対称性はマーク自体の振幅反射率の非対称性となって位置検出精度の劣化に作用する。すなわち、格子マークを構成するラインの溝底部の深さ等が格子ピッチ方向に差を持ったり、レジスト層の厚みに部分的な差があった場合、マーク自体の振幅反射率の絶対値と位相とは、溝底部の深さやレジスト厚の変化に応じて非対称になる。
【００２３】
この結果、格子マークから発生する回折光も、例えば０次光に対して右方向に発生する正の次数と左方向に発生する負の次数とで強度や位相が異なったものになってしまう。このうち強度の差は位置検出精度の劣化にほとんど寄与しないが、位相の変化は位置検出精度に大きな影響を与える。
そこで、まず単一波長の照明光を用いたヘテロダイン方式で問題となる位置検出精度のシミュレーション結果を図１、図２を参照して説明する。このシミュレーションは、レジスト層で被覆されたウエハ上の格子マークに対称的な２方向から一定の周波数差をもつコヒーレントな照明ビームを照射する場合を想定し、格子マークから垂直に発生した±１次回折光の相互干渉光、すなわち干渉ビート光の状態（振幅、位相等）を波長を変化させて求めたものである。
【００２４】
図２は、シミュレーションで想定したウエハ等の１次元格子ＭＧとその表面に塗布されたレジスト層ＰＲとの部分拡大断面を模式的に表したものである。ここで、格子ＭＧのピッチＰｍｇは８μｍ、デューティは５０％（１：１）、溝の段差（又は深さ）Ｔ２　は０．７μｍに設定され、格子ＭＧのボトム部にはピッチ方向のテーパー（傾き）ΔＳとして０．１％の非対称性を設定した。
【００２５】

このような格子ＭＧを覆うレジスト層ＰＲは、格子ＭＧのトップ部の表面からの厚さＴ１を０．９μｍとし、格子ＭＧの各ボトム部の位置に対応したレジスト層表面でのへこみ量ΔＴがΔＴ＝０．３Ｔ２　（０．２１μｍ）となるように仮定した。このような図２の格子構造のことを振幅反射率が非対称な格子と呼ぶ。
さて図１は、横軸に照明光または±１次回折光の干渉光の波長λ（μｍ）を取り、縦軸にその干渉光の光量変化に応じた信号の変化分（交流成分）の相対的な振幅と位置検出の誤差量（μｍ）とを取ったものである。この図１のシミュレーション結果では、ヘテロダイン方式で受光した干渉光に応じた光電信号の交流成分が丁度零、すなわち直流成分のみになる波長λをＨｅ－Ｎｅレーザの波長０．６６３μｍに合わせるように、図２の格子マーク構造とレジスト層の条件を設定した。

【００２６】
これから明らかなように、波長０．６６３μｍのレーザ光を使うと、その波長近傍（±２０ｎｍ程度）ではマーク位置の検出誤差が非常に大きくなることがわかる。これはヘテロダイン方式では当然のことで、位相差計測すべき光電信号にビート周波数に応じた交流成分がまったく含まれていなければ、位相差計測自体が不能になるからである。このことは、同じ条件の格子マーク構造とレジスト層のもとで、ホモダイン方式で位置検出する場合も全く同じである。

【００２７】
そこで、図１、図２のシミュレーションのように特定の一方向に進む２つの１次回折光の干渉光のみを検出するのではなく、別な方向に進む０次光と２次回折光との干渉光を光電検出し、その信号に基づいて決定されたマーク位置も考慮することが有効になる。
図３は、回折格子マークＭＧに波長λ１　の２つの照射ビーム±ＬＦを対称的な入射角で照射し、ピッチＰｉｆの強度分布を持つ干渉縞が生成されるビーム入射条件とした上で、格子マークＭＧのピッチＰｍｇをＰｍｇ＝２Ｐｉｆの関係にしたときの０次光、±１次、±２次、±３次の各回折ビームの発生を示したものである。上記のピッチ関係を満たすとき、図３のように格子マークＭＧからは垂直に進む２つの１次回折ビーム＋Ｄ１ｂ、－Ｄ１ａの干渉ビームＢＭが発生する。

【００２８】
ここで図３中に示した各回折ビーム±Ｄｎａ、±Ｄｎｂの１番目の添え字０，１，２，３は回折次数を表し、２番目の添え字ａ　は照明ビーム＋ＬＦの照射によって格子マークＭＧから発生した回折ビームを意味し、添え字ｂ　は照明ビーム－ＬＦの照射によって格子マークＭＧから発生した回折ビームを意味する。また図３中の１次以上の各回折ビームの正負は、０次回折ビームＤ０ａ、Ｄ０ｂに対して時計方向に回る回折ビームを負とし、反時計方向に回る回折ビームを正とする。

【００２９】
さて、照射ビーム＋ＬＦの照射によって発生した２次回折ビーム－Ｄ２ａは照射ビーム＋ＬＦの光路を逆進する方向に進み、照射ビーム－ＬＦの０次回折ビーム（正規反射光）Ｄ０ｂと干渉する。同様に、照射ビーム－ＬＦの照射によって発生した２次回折ビーム＋Ｄ２ｂは照射ビーム－ＬＦの光路を逆進する方向に進み、照射ビーム＋ＬＦの０次回折ビーム（正規反射光）Ｄ０ａと干渉する。これら０次光と２次光との干渉ビームも、±１次光の干渉ビームＢＭと同様に、格子マークＭＧと干渉縞との相対変位に応じて強度変化する。

【００３０】
さらに、照射ビーム＋ＬＦの照射によって格子マークから発生した３次回折ビーム－Ｄ３ａと照射ビーム－ＬＦの照射によって格子マークから発生した１次回折ビーム－Ｄ１ｂとは、同一方向に発生する干渉ビームとなり、照射ビーム＋ＬＦの照射によって格子マークから発生した１次回折ビーム＋Ｄ１ａと照射ビーム－ＬＦの照射によって格子マークから発生した３次回折ビーム＋Ｄ３ｂとは、同一方向に発生する干渉ビームとなる。これら１次回折ビームと３次回折ビームとの干渉光も、格子マークＭＧと干渉縞との相対変位に応じて強度変化する。

【００３１】
そこで、例えば１次成分（１次光＋Ｄ１ｂ、－Ｄ１ａ）の干渉ビームＢＭを光電検出してマークの位置（又は位置ずれ）を求めるとともに、２組の２次成分（０次光Ｄ０ｂと２次光－Ｄ２ａの対と０次光Ｄ０ａと２次光＋Ｄ２ｂの対）干渉光のそれぞれを光電検出し、２組の２次成分の夫々の信号を使って個別に求められたマーク位置を平均した値をマークの位置として求める。そして１次成分の信号の振幅値と２次成分の各信号の振幅の平均値との大小関係に応じて、１次成分を使って検出されるマーク位置と２次成分を使って検出されるマーク位置とを重み付け平均（加重平均）することが有効となる。
【００３２】
このように、マーク検出に使う回折光の次数を変えるのは、次数に応じて格子ＭＧから発生する回折光の方向が異なるため、ある方向に進む次数成分の干渉光の強度変化の振幅が小さくなって検出精度が悪化する場合でも、別の方向に進む次数成分の干渉光の強度変化の振幅はそれ程小さくならず、検出精度を悪化させないことがあるからである。
【００３３】
このことは図４（Ａ）、（Ｂ）に示したシミュレーション結果からも確かめられる。図４は、波長０．６３３μｍのＨｅ－Ｎｅレーザを照射ビームとし、図２中の格子ＭＧの段差Ｔ２　をパラメータとした信号の変化分（交流成分）の振幅と位置検出誤差との関係をシミュレーションしたグラフである。（ここではピッチＰｍｇ＝８μｍ、デューティ１：１、テーパー量ΔＳ＝０．１％はそのままで、レジスト層ＰＲの格子のトップ面での厚さＴ１　を１．１５μｍとした。）
そして、図４（Ａ）は１次成分（１次光±Ｄ１１）の干渉ビームＢＭの場合のシミュレーションであり、図４（Ｂ）は２次成分（０次光±Ｄ０１と２次回折光±Ｄ２１）の干渉光の場合のシミュレーションである。
【００３４】
この図４（Ａ）、（Ｂ）から理解されるように、１次成分、２次成分の各干渉光を光電検出して得られた信号の振幅成分は、格子マークの段差（Ｔ２　）の微妙な変化に応じて大きく変化する。例えば図４（Ａ）中で、格子のマーク段差Ｔ２　が約１．０３～１．１３μｍの範囲αと約１．２５～１．３２μｍの範囲βでは１次成分の干渉光の強度変化の振幅Ａ０１が総じて小さくなり、その結果位置検出誤差ΔＸ０１は極端に大きくなるか、あるいはかなり不安定な変化傾向を示す。
【００３５】
しかしながら、図４（Ｂ）中でマーク段差Ｔ２　が図４（Ａ）の範囲α、βに相当する部分を見てみると、２次成分の干渉光の強度変化の振幅Ａ０２は比較的大きく、位置検出誤差ΔＸ０２の劣化が少ないことが判る。尚、図４（Ａ）、（Ｂ）中の信号の変化分の振幅はいずれも相対値として表してあるが、そのスケールは図４（Ａ）と（Ｂ）とで合わせてある。
【００３６】
従来の例えば公報（Ｅ）に開示された２光束干渉方式のアライメント系では、以上のような傾向から単に１次成分の干渉光の強度振幅が小さいときは２次成分の干渉光による位置ずれ計測を選択しているだけであった。
ところで、レジスト層を含む格子マークの光学的な振幅反射率の非対称性の影響は、検出光の基本周期（１次回折光）成分、倍周期（２次回折光）成分、３倍周期（３次回折光）成分…の各々の離散的な次数成分に顕著に現れる。そこで実際の格子マークについて調べてみると、その離散的な各次数成分の検出光毎に含まれる非対称性の影響（特に位相推移等）の間には強い相関が見られないのが現実であった。
【００３７】
例えば検出すべき格子マークの振幅反射率に所定の非対称性があり、ｍ次成分（例えば±１次回折光）の干渉光の光電検出に基づいてマーク位置の計測を行ったときに、その計測位置が真の計測値に対して正（＋）の位置誤差を含む場合、ｎ次成分（例えば０次と２次）の干渉光の光電検出に基づいてマーク位置の計測を行うと、その計測値には正（＋）の

位置誤差が含まれることもあれば、負（－）の位置誤差が含まれることもある。

【００３８】

このように、ｍ次成分の干渉光に基づく位置計測（ｍ次成分計測値）に含まれる誤差のバラツキとｎ次成分の干渉光に基づく位置計測（ｎ次成分計測値）に含まれる誤差のバラツキとの間にはほとんど相関性がない。しかしながら統計的に調べてみると、ｍ次成分計測値のみの誤差のバラツキやｎ次成分計測値のみの誤差のバラツキに比べて、ｍ次成分計測値とｎ次成分計測値を平均化した値の誤差のバラツキの方が平均化効果の分だけ小さくなることが見い出された。

【００３９】

さらにｍ次成分計測値とｎ次成分計測値の平均化に際して、単純な平均ではなく、ｍ次成分の干渉光を光電検出して得られる光電信号の振幅情報（例えばフィデューシャル板の格子等で得られる理想的な信号振幅値とウェハ上の非対称性を含み得る格子から得られる信号振幅値との比）とｎ次成分の干渉光を光電検出して得られる光電信号の振幅情報（例えば理想的な信号振幅値と実際の格子から得られる信号振幅値との比）との各々に応じた重み係数を使った加重平均にすると、ある次数成分の光電信号の振幅が極端に小さくなった場合の悪影響を低減することが可能となる。

【００４０】

また各次数の回折光は、原理的に言って高次になるにつれてその強度が小さくなるため、各次数成分による干渉光の光電信号の振幅も次数の高さに応じて小さくなる。そこでさらに次数に応じた理論上の重み付けも加えて加重平均することで、より高精度な位置検出が可能となる。

そこで以下、上記原理説明に従って構成される本発明の各実施例を図面を参照して説明する。まず図５は、本発明の第１の実施例による位置検出装置の構成を示し、ここでは表面にエッチングによって凹凸で形成された回折格子マークＭＧを有する半導体ウェハＷの位置検出を行うものとする。さらに本実施例では、ウェハ上の格子マークに対称的な２方向から可干渉性の一定の周波数差を有する２つのビームを照射し、その格子マーク上に２光束干渉による１次元の干渉縞（ビート周波数に応じた速度で移動）を生成するヘテロダイン方式のアライメント方法を採用する。

【００４１】

さて、コヒーレント（可干渉）な光源としてのＨｅ－Ｎｅレーザ又は半導体レーザ等の光源ＬＳからの照射ビームＬＢ（波長域５００～１０００ｎｍ程度の範囲内のいずれか１つの波長λ）は、２光束化光学系ＴＢＯによって所定の角度で交差する２つの照明ビーム＋ＬＦ，－ＬＦに変換される。この２光束化光学系ＴＢＯは後で詳細に説明するが、２つの照明ビーム＋ＬＦ，－ＬＦの間に一定の周波数差（ビート周波数）を与えるとともに、ヘテロダイン方式のための参照信号を生成する系も備えている。

【００４２】

その照明ビーム±ＬＦはいずれも平行光束であり、ビームスプリッタＢＳ１を透過した後、照明視野絞り板ＡＰに達する。この照明視野絞り板ＡＰはウェハW上の格子マークＭＧに対する照明領域を規定する矩形開口を有し、２つの照明ビーム±ＬＦの交差面に配置される。この絞り板ＡＰは透明なガラス板に遮光層としての低反射クロムを蒸着し、その一部のクロム層にエッチングで矩形の透明窓（開口）を形成することで構成される。

【００４３】

この絞り板ＡＰの開口で規定された２つの照明ビーム±ＬＦは、フーリエ変換レンズとして作用する第１レンズ系（前群レンズ系）Ｇ１に入射する。この２つの照明ビーム±ＬＦは第１レンズ系Ｇ１によってそれぞれフーリエ変換面ＥＰでビームウェストになるように収束された後、発散して第２レンズ系（後群レンズ系）Ｇ２に入射する。その後、２つの照明ビーム±ＬＦは第２レンズ系Ｇ２によってウェハW上で交差する２つの平行光束に変換され、ウェハW上に１次元の干渉縞が形成される。

【００４４】

ここで、絞り板ＡＰの矩形開口の面は第１レンズ系Ｇ１の前側焦点距離ｆ１１に配置され

、第１レンズ系Ｇ１の後側焦点距離ｆ１２にはフーリエ変換面ＥＰが生成され、そして第２レンズ系Ｇ２の前側焦点距離ｆ２１はフーリエ変換面ＥＰと一致するように配置され、第２レンズ系Ｇ２の後側焦点距離ｆ２２にはウェハWの表面（格子マークＭＧ）が位置するように配置される。

【００４５】

従って、第１レンズ系Ｇ１と第２レンズ系Ｇ２とが同一の光軸ＡＸに沿って配列され、絞り板ＡＰの矩形開口の中心が光軸ＡＸ上に配置されていると、２つの照明ビーム±ＬＦの各々の主光線は第１レンズ系Ｇ１と第２レンズ系Ｇ２との間のフーリエ変換面ＥＰの近傍空間で光軸ＡＸを挟んで互いに平行となる。

さて、２つの照明ビーム±ＬＦによってウェハW上に生成される干渉縞のピッチＰｉｆは、各照明ビーム±ＬＦのウェハに対する入射角を±θｗ 、照明ビームの波長をλとすると、Ｐｉｆ＝λ／２ｓｉｎθｗ で表される。ここで第１レンズ系Ｇ１、第２レンズ系Ｇ２による結像光学系は、絞り板ＡＰとウェハWとを互いに共役関係にしているので、絞り板ＡＰを照射する２つの照明ビーム±ＬＦの各々の入射角をθｒ とし、第１レンズ系Ｇ１、第２レンズ系Ｇ２による結像光学系の結像倍率（ウェハW側から絞り板ＡＰ側を見たときの像サイズの比）をＭｐ とすると、 Ｍｐ・ｓｉｎθｒ ＝ｓｉｎθｗ の関係になっている。

【００４６】

そして格子マークＭＧの周期方向を座標系ＸＹのＸ軸方向（図５の紙面内の左右方向）と一致させ、ウェハWに達する２つの照明ビーム±ＬＦの各主光線をＸ軸と光軸ＡＸ（Ｚ軸）とで規定される平面内で対称的に傾斜させることで生成される干渉縞の周期方向をＸ軸方向に一致させる。さらにその干渉縞のピッチＰｉｆと格子マークＭＧのピッチＰｍｇが、２Ｐｉｆ＝Ｐｍｇの関係になるように照明ビーム±ＬＦの入射角θｗ （又はθｒ ）を設定する。

【００４７】

このような条件にすると、先の図３で説明したように格子マークＭＧから垂直な方向（Ｚ方向）に進む２つの１次回折光＋Ｄ１ｂ、－Ｄ１ａが同軸に発生し、これらの１次回折光＋Ｄ１ｂ、－Ｄ１ａ は相互に干渉した干渉ビームＢＭとなって第２レンズ系Ｇ２、第１レンズ系Ｇ１、絞り板ＡＰの開口を通ってビームスプリッタＢＳ１に達し、ここでほぼ直角に反射されてレンズ系Ｇ３によってフーリエ変換面ＥＰとほぼ共役に配置された光電素子ＤＴ１ に集光される。この光電素子ＤＴ１ は、照明ビーム±ＬＦの照射領域内に格子マークＭＧが位置している間は、干渉ビームＢＭの光強度変化に応じた光電信号Ｉｍ１ を出力し、照射領域内に格子マークＭＧが存在しないときはほとんど零の一定レベルを出力する。

【００４８】

そして照明ビーム±ＬＦによって生成される干渉縞の正弦波状の強度分布と格子マークＭＧとのピッチ方向（Ｘ方向）に関する相対位置関係が時間とともに一様に変化すると、光電信号Ｉｍ１ は正弦波状にレベル変化し、干渉縞の強度分布と格子マークＭＧとの相対位置関係が静止していれば、光電信号Ｉｍ１ のレベルは正弦波状レベル変化中のある一定値に維持される。このように光電信号Ｉｍ１ を正弦波状にレベル変化させるために、ホモダイン方式ではウェハWを保持して位置決めするための移動ステージＷＳＴをＸ方向に走査移動させる。

【００４９】

しかしながら、本実施例では２つの照明ビーム±ＬＦの間に一定の周波数差を与えたヘテロダイン方式を採用するので、照明ビーム±ＬＦによる照射領域と格子マークＭＧとが静止した位置関係であっても光電信号Ｉｍ１ はビート周波数で正弦波状にレベル変化する交流波形となる。

一方、図３で説明した通り、ウェハWの格子マークＭＧから発生する照明ビーム＋ＬＦの正反射光（０次光）と－２次回折光との干渉ビームＢｍ０２は、照明ビーム－ＬＦの送光路を逆進し、第２レンズ系Ｇ２に入射した後フーリエ変換面ＥＰに達し、さらに第１レン

ズ系Ｇ１、絞り板ＡＰの開口を通ってビームスプリッタＢＳ１　に達する。同様に格子マークＭＧから発生する照明ビーム－ＬＦの正反射光（０次光）と＋２次回折光との干渉ビームＢｍ２０は、照明ビーム＋ＬＦの送光路を逆進し、第２レンズ系Ｇ２、第１レンズ系Ｇ１、絞り板ＡＰの開口を通ってビームスプリッタＢＳ１　に達する。

【００５０】

そしてビームスプリッタＢＳ１　で反射された干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０は、それぞれ互いに異なる角度の平行光束となってレンズ系Ｇ３に入射し、フーリエ変換面ＥＰとほぼ共役に配置された受光面を有する光電素子ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂに達する。これらの光電素子ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂの各光電信号Ｉｍ０２、Ｉｍ２０は、干渉ビームＢＭから得られる光電信号Ｉｍ１　と同様に干渉縞の強度分布と格子マークＭＧとの相対位置変化に応じてレベル変化する。

【００５１】

ただし２次成分としての信号Ｉｍ０２、Ｉｍ２０は１次成分としての信号Ｉｍ１　と異なり、格子マークＭＧが照明ビーム±ＬＦの照射領域内に存在しない状態でも照明ビーム±ＬＦの各０次光が存在するためにウェハ表面の単純な反射率に応じた直流レベルとなる。

さて、ウェハＷを保持するステージＷＳＴは、モータと送りねじの組合わせやリニアモータとエアガイドの組合わせ等による駆動系４２によって、Ｘ方向又はＹ方向に２次元移動される。さらにステージＷＳＴの２次元的な移動位置（座標位置）や移動量は、ステージＷＳＴの一部に固定された反射鏡４３にレーザビームを投射するレーザ干渉計４４によって逐次計測される。これら駆動系４２とレーザ干渉計４４の共同によってステージＷＳＴは干渉計４４の分解能程度の精度で位置制御され、照明ビーム±ＬＦの照射領域内への格子マークＭＧのプリアライメント（格子マークＭＧのピッチＰｍｇの±１／４以内）、照明ビーム±ＬＦの照射領域に対する格子マークＭＧの走査移動、あるいはウェハＷ上の所望の部分（ショット領域等）の基準点に対する位置決め等を行う。

【００５２】

さらにステージＷＳＴの一部には、ウェハＷ上の格子マークＭＧと同様のピッチの基準格子マークが形成されたフィデューシャルマーク板ＦＧが設けられている。このマーク板ＦＧには石英ガラスの表面にクロム層でライン・アンド・スペースをパターニングした反射型の強度格子が基準格子マークとして形成されている。この強度格子はウエハＷ上に凹凸で形成された格子マークＭＧのような位相格子と異なり、非対称性がなく回折効率が照明光（又は検出光）の波長に依存しないという特徴、すなわち振幅反射率に非対称性がないという特徴を有する。さらにクロム層の反射率も位置検出用に使われる照明光の波長域（一般には０．５～０．８μｍ）では殆ど変化しない。

【００５３】

次に以上のような光学系の構成で、ヘテロダイン方式によって格子マークＭＧ（又はフィデューシャルマーク板ＦＧの基準格子マーク）の位置または位置ずれ誤差を検出するための２光束化光学系ＴＢＯの構成の一例を図６、図７を参照して説明する。図６は２光束化光学系ＴＢＯの平面配置を示し、ここでは２つの音響光学変調器（ＡＯＭ）１００Ａ、１００Ｂを用いるものとする。

【００５４】

レーザ光源ＬＳからのビームＬＢは、ビーム光路を微小偏向させるプリズム１０１を通った後、ミラー１０２で反射されてビームスプリッタ１０３で２つに分割される。このビームスプリッタ１０３を透過したビームはＡＯＭ１００Ａに所定の角度で入射し、ビームスプリッタ１０３で反射したビームはＡＯＭ１００Ｂに所定の角度で入射する。この２つのＡＯＭ１００Ａ、１００Ｂはそれぞれ高周波域（５０～１００ＭＨｚ）の周波数ｆａ、ｆｂで駆動され、周波数ｆａは例えば８０．０５０ＭＨｚに設定され、周波数ｆｂは例えば８０．０００ＭＨｚに設定される。この２つの周波数ｆａ、ｆｂの差周波数（ｆａ－ｆｂ＝５０ＫＨｚ）がヘテロダイン方式でのビート周波数となる。尚、２つのＡＯＭ１００Ａ、１００Ｂはここでは並列に設けたが、２つのＡＯＭをタンデム（直列）に配置し、１段目のＡＯＭにはラマン・ナスの回折条件でビームを入射させ、ここで生成された２つの１

次回折ビームを２段目のＡＯＭにブラッグ回折の条件で入射させて所望の周波数差の２つのビームを作り出すようにしてもよい。

【００５５】

さて、ＡＯＭ１００Ａ内の回折格子で回折された回折ビームと０次ビームは、ミラー１０４で反射されてレンズ１０５に入射した後、絞り１０６によって０次ビームが遮光されて回折ビームだけが平行平面ガラス１０７を通って合成ビームスプリッタ１１５に達する。同様にＡＯＭ１００Ｂ内の回折格子で回折された回折ビームと０次ビームは、ミラー１０８で反射されてレンズ１０９に入射した後、絞り１１０によって０次ビームが遮光されて回折ビームだけが平行平面ガラス１１１を通って合成ビームスプリッタ１１５に達する。

【００５６】

この合成ビームスプリッタ１１５は、ＡＯＭ１００Ａからの回折ビームを照明ビーム＋ＬＦとして透過するとともに、ＡＯＭ１００Ｂからの回折ビームを照明ビーム－ＬＦとして全反射する。この２つの照明ビーム±ＬＦは、合成ビームスプリッタ１１５を通った後では図示のように互いに所定の間隔をもって平行になるように合成され、その間隔は平行平面ガラス１０７、１１１の傾斜角を変化させることで調整される。

【００５７】

さて合成ビームスプリッタ１１５を射出した２つの照明ビーム±ＬＦは、図６の光学構成を横から見た図７に示すように通常の振幅分割のビームスプリッタ１１７に入射し、ここで２つのビーム対に分割される。ビームスプリッタ１１７で反射された１対のビームの各々はレンズ１１８によって所定の角度で交差する平行光束に変換され、１対の照明ビーム±ＬＦとなって図５中の絞り板ＡＰに向かう。

【００５８】

一方、ビームスプリッタ１１７を透過した１対のビームの各々は、レンズ１１９の作用によって図６に示すように参照格子板ＳＧ上で所定の角度で交差する平行光束に変換される。この参照格子板ＳＧには透過型の振幅格子が形成され、その参照格子のピッチは、レンズ１１９から投射される２つのビームの交差によって形成される干渉縞の強度分布のピッチの２倍に設定されている。このため参照格子板ＳＧからは垂直方向に＋１次回折ビームと－１次回折ビームが同軸に発生し、それは互いに干渉した干渉ビームとなって空間フィルター３８に達する。

【００５９】

この空間フィルター３８は、参照格子板ＳＧから斜めに進む２つの０次光（同図中の破線）を遮断するとともに、参照格子板ＳＧから垂直に進む±１次回折ビームの干渉ビームを透過する開口窓を有し、その干渉ビームはヘテロダイン方式での参照信号Ｉｍｓ　を出力するために設けられた光電素子４０に受光される。

以上の構成において、レンズ１０５、１０９によって集光される各ビームの集光点（ビームウェスト）は、合成ビームスプリッタ１１５近傍の特定面に設定され、その特定面は図５中のフーリエ変換面ＥＰとほぼ共役に定められている。従って図６中の平行平面ガラス１０７、１１１の傾斜角を調整することで、図５中の絞り板ＡＰ又はウェハＷ（フィデューシャル板ＦＧ）に達する２つの照明ビーム±ＬＦの交差角や入射角θｒ　、θｗ、あるいは照明ビームのテレセン度を調整することができる。

【００６０】

またウェハＷ（フィデューシャル板ＦＧ）上の格子マークＭＧの位置や位置ずれ量は、図６中の光電素子４０からの信号Ｉｍｓ　の位相を基準として、図５中の光電素子ＤＴ１、ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂの各々からの信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の各位相差を計測することで求められる。その際本実施例では、特にウェハＷの格子マークＭＧから得られる光電信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の各振幅（ピークｔｏピーク）値に応じて１次成分と２次成分の各々から計測される位置ずれ量（或いは位相差）に重み係数を与えて加算平均することで、ウェハＷの格子マークＭＧの位置ずれ量を決定する。

【００６１】

そこで本実施例の信号処理回路と位置制御回路の一例を図８に基づいて説明する。　図５

、６、７に示したヘテロダイン方式の場合、ウエハW上の格子マークＭＧ、又はフィデューシャルマーク板ＦＧから干渉ビームＢＭ、Ｂｍ０２、Ｂｍ２０が発生している間、各光電素子ＤＴ１　、ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂ、４０からの信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０、Ｉｍｓ　は、図９に示すような正弦波状の交流波形となる。この図９の横軸は時間ｔを表し、縦軸は各信号の強度レベルを表す。

【００６２】

図９（Ｄ）は参照信号となる信号Ｉｍｓ　の時間的な強度変化を表し、図９（Ａ）、（Ｂ）、（Ｃ）はそれぞれウエハW上の格子マークＭＧからの干渉ビームＢＭ、Ｂｍ０２、Ｂｍ２０を受光したときの信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の時間的な強度変化の一例を示す。ここで信号Ｉｍｓ　の位相を基準にすると、信号Ｉｍ１　の位相は信号Ｉｍｓ　の基準位相点（時間ｔｒ）に対して－Δψ１１だけずれ、信号Ｉｍ０２の位相は信号Ｉｍｓ　に対して－Δψ０２だけずれ、そして信号Ｉｍ２０は信号Ｉｍｓ　に対して＋Δψ２０だけずれているものとする。またこのときの信号Ｉｍ１　の振幅（交流成分のピークｔｏピーク）はＥ１１、信号Ｉｍ０２の振幅はＥ０２、信号Ｉｍ２０の振幅はＥ２０とする。

【００６３】

ところで０次光と２次光の干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０を光電検出して得られた光電信号Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の各位相ずれ量－Δψ０２、＋Δψ２０の絶対値は、±１次回折光の干渉ビームＢＭの場合の光電信号Ｉｍ１　の位相ずれ量－Δψ１１の絶対値に比べて総じて大きくなる。尚、０次光と２次光の干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０は、先の図３で説明したように１次回折光－Ｄ１ａ、＋Ｄ１ｂの干渉ビームＢＭの両側に対称的な角度で発生するため、その位相ずれ量－Δψ０２、＋Δψ２０も一般的に基準位相（時間ｔｒ）に対してほぼ逆方向の傾向をもつ。

【００６４】

さて、図８に示された回路ブロックにおいて、各信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０、Ｉｍｓ　はアナログ－デジタル変換（Ａ／Ｄコンバータ）回路ユニット５０に入力され、ここでサンプリングクロック発生回路５２からのクロック信号（パルス）Ｃｐｓに応答して各信号のその瞬間の強度レベルがデジタル値に変換される。

クロック信号Ｃｐｓの周波数は信号Ｉｍ、Ｉｍｓ　のビート周波数（例えば５０ＫＨｚ）よりも十分に高く定められ、そのクロック信号Ｃｐｓは波形メモリ回路ユニット５４にも送られ、Ａ／Ｄコンバータ５０からのデジタル値（データ）を記憶する際のメモリアドレスの更新に使われる。

【００６５】

従って、波形メモリ回路ユニット５４には、図９に示した４つの波形データが、各信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０、Ｉｍｓ　の所定周期分（例えば１０周期分以上）に渡ってデジタルサンプリングされる。このとき、４つの信号は共通のクロック信号Ｃｐｓによって同時にサンプリングされるので、波形メモリ回路ユニット５４内の各波形データには時間軸上でのずれがないものとする。

【００６６】

さて、メモリ回路ユニット５４内の各波形データは位相差、位置ずれの検出回路ユニット５６に読み込まれ、ここで図９に示したような各位相差Δψ１１、Δψ０２、Δψ２０がデジタル演算（フーリエ積分法）により算出される。先に仮定したようにウエハWの格子マークＭＧのピッチＰｍｇと、この上に照射される干渉縞のピッチＰｉｆとがＰｍｇ＝２Ｐｉｆに設定されていると、図９の各波形の１周期はＰｍｇ／２に対応している。

【００６７】

また一般に位相差計測は±１８０度の範囲で行われるので、検出回路５６は算出された位相差Δψ１１、Δψ０２、Δψ２０に基づいて±Ｐｍｇ／４の範囲内の位置ずれ量ΔＸ１１、ΔＸ０２、ΔＸ２０を、

ΔＸ１１＝Ｐｍｇ・Δψ１１／４π

ΔＸ０２＝Ｐｍｇ・Δψ０２／４π

ΔＸ２０＝Ｐｍｇ・Δψ２０／４π

に従って演算する。このずれ量ΔＸ１１、ΔＸ０２、ΔＸ２０はいずれも参照格子ＳＧに対する格子マークＭＧの各次数成分毎の位置ずれを表す。

【００６８】

ここで位相差計測の分解能として０．２°程度が得られるものとすると、ずれ量の分解能はほぼ（０．２／１８０）・Ｐｍｇ／４となり、ピッチＰｍｇを４μｍにすると実用的な範囲として０．００２μｍ（２ｎｍ）程度が得られる。

一方、信号振幅、及び振幅比検出回路ユニット５８は、波形メモリ回路ユニット５４に記憶された図９（Ａ）、（Ｂ）、（Ｃ）の各波形データを読み出し、各波形毎の振幅値Ｅ１１、Ｅ０２、Ｅ２０をデジタル演算によって検出する。

【００６９】

この検出回路ユニット５８には、予めフィデューシャルマーク板ＦＧの基準格子マークから発生した各干渉ビームを光電素子ＤＴ１　、ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂで受光したときに得られる光電信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の各々の振幅値Ａ１１、Ａ０２、Ａ２０が記憶されている。すなわち、ウエハW上の格子マークＭＧを計測する前にフィデューシャルマーク板ＦＧの基準格子マークを照明ビーム±ＬＦの照射領域の下に移動させ、各光電素子ＤＴ１　、ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂから図９のような信号を発生させ、それを波形メモリ回路ユニット５４に記憶させた後、振幅検出回路５８で振幅値Ａ１１、Ａ０２、Ａ２０を検出して記憶させておく。

【００７０】

この際、フィデューシャル板ＦＧが検出されるステージＷＳＴの静止位置をレーザ干渉計４４から読み取って記憶するとともに、ずれ量検出回路ユニット５６で各次数毎の位置ずれ量ΔＸｂ１１、ΔＸｂ０２、ΔＸｂ２０も求めておけば、それをベースライン決定時のデータとして利用することができる。

尚、ここで言うベースラインとは、光学的に安定なフィデューシャル板ＦＧの格子マークに対して１次成分の干渉ビームから求めた位置ずれ量ΔＸｂ１１と、２次成分の干渉ビームから求めた２つの位置ずれ量ΔＸｂ０２、ΔＸｂ２０の平均値ΔＸｂ２２＝（ΔＸｂ０２＋ΔＸｂ２０）／２との間に生じる微少誤差分を意味する。

【００７１】

本来、図５に示した装置構成では単波長の照明ビームによってフィデューシャル板ＦＧ上に生成される干渉縞のピッチＰｉｆが基準格子マークのピッチＰｍｇに対して厳密に１／２に一致し、各光電素子の電気的な応答性、歪み特性が十分に揃っていれば、マーク板ＦＧに関する位置ずれ量ΔＸｂ１１、ΔＸｂ２２の各値は完全に一致するはずである。

【００７２】

しかしながら現実問題として、分解能が２ｎｍ程度にもなると、その分解能程度に位置ずれ量ΔＸｂ１１、ΔＸｂ２２が揃うように送光系や検出系を調整しておくことは難しい。そのため、マーク板ＦＧで計測された位置ずれ量ΔＸｂ１１、ΔＸｂ２２の相互差が図５に示したアライメント系固有のオフセット（ベースライン誤差）として残存することになる。

【００７３】

そのベースライン誤差は、ウエハW上の格子マークＭＧを検出して検出回路５６で求められる位置ずれ量ΔＸ１１、ΔＸ０２、ΔＸ２０で決まるマーク位置ずれ量を、先にフィデューシャル板ＦＧで求めた位置ずれ量ΔＸｂ１１、ΔＸｂ２２の微小誤差分で補正計算することで間接的に補正される。

そこで再び図８の説明に戻ると、振幅比検出回路ユニット５８は上記のようにして予めフィデューシャル板ＦＧを検出して記憶した振幅値Ａ１１、Ａ０２、Ａ２０と、ウエハW上の格子マークＭＧを検出したときに得られる振幅値Ｅ１１、Ｅ０２、Ｅ２０との各比Ｋ１１、Ｋ０２、Ｋ２０を、Ｋ１１＝Ｅ１１／Ａ１１、Ｋ０２＝Ｅ０２／Ａ０２、Ｋ２０＝Ｅ３　／Ａ３　として算出する機能も備える。それは、比Ｋ１１、Ｋ０２、Ｋ２０を、１次成分と２次成分の各々によって決定される位置ずれ量の加重平均の際の重み係数として使うためである。

【００７４】
ただし、振幅値Ｅ１１、Ｅ０２、Ｅ２０に応じた単純な重み係数を加重平均の演算に使える計算モードを用意しておくことも望まれる。どちらの重み係数の組を採用するのが精度上で好ましいかは、ウェハ上の格子マークＭＧの振幅反射率の非対称性に依存するところが大きいので、適宜選択できるようにしておくのが望ましい。そこで単純な振幅値Ｅ１１、Ｅ０２、Ｅ２０に応じた重み係数の組とフィデューシャルマーク板ＦＧを使って求めた比Ｋ１１、Ｋ０２、Ｋ２０に応じた重み係数の組とのいずれを選択するにしても、それら２組の重み係数をそれぞれ代表してＣ１１、Ｃ０２、Ｃ２０で表すことにする。
【００７５】
さて以上のようにして求められた位置ずれ量ΔＸ１１、ΔＸ０２、ΔＸ２０と重み係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０のデータは、加重平均化演算回路ユニット６０に送られ、ここで重みを加えた格子マークＭＧのずれ量ΔＸを算出する。ただし２次成分の干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０から求められた位置ずれΔＸ０２、ΔＸ２０は、原理的に加算平均することで２次成分のみによって検出された格子マークＭＧの１つの位置ずれ量ΔＸ２２を求める必要がある。
【００７６】
そこでまず加重平均化演算回路ユニット６０は、２次成分のみによって決定される位置ずれ量ΔＸ２２を次式に基づいて算出する。
ΔＸ２２＝（ΔＸ０２＋ΔＸ２０）／２
同様に２次成分による干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０の振幅値Ｅ０２、Ｅ２０（又はフィデューシャルマーク板ＦＧを使って求められた比Ｋ０２、Ｋ２０）に応じた重み係数Ｃ０２、Ｃ２０を平均化して、２次成分のみによって決定される位置ずれ量ΔＸ２２に関する１つの重み係数Ｃ２２を次式によって算出する。
【００７７】
Ｃ２２＝（Ｃ０２＋Ｃ２０）／２
以上によって１次成分と２次成分の各々による位置ずれ量ΔＸ１１、ΔＸ２２と重み係数Ｃ１１、Ｃ２２とが決定されるので、加重平均化演算回路ユニット６０は以下の演算によって格子マークＭＧの最終的な位置ずれ量ΔＸを算出する。
ΔＸ＝（Ｃ１１・ΔＸ１１＋Ｃ２２・ΔＸ２２）／（Ｃ１１＋Ｃ２２）
これによって、１次成分のみに基づいて決定されるずれ量ΔＸ１１に含まれる位置検出誤差と、２次成分のみに基づいて決定されるずれ量ΔＸ２２に含まれる位置検出誤差とが平均化され、誤差のばらつきを平均化効果によって小さくすることができる。
【００７８】
また１次成分の干渉ビームＢＭの変調度（信号Ｉｍ１　の振幅値）、又は２次成分の干渉ビームＢｍ０２、Ｂｍ２０の変調度（Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の振幅値）の一方が極端に小さくなると、その次数成分による位置検出精度は極端に悪化することがある。ところが本実施例では、各信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の振幅値から得た重み係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０を加重平均化に利用するため、振幅が低下した次数成分による位置ずれ検出結果にはほとんど重みが作用せず、最終的に求められる位置ずれ量ΔＸに悪影響（精度劣化）を及ぼすことが低減される。
【００７９】
ところで、以上の位置ずれ量ΔＸを求める際に利用した重み係数Ｃ１１、Ｃ２２は、単に信号Ｉｍ１　、Ｉｍ０２、Ｉｍ２０の振幅値に依存したものであったが、光電検出する次数成分に応じた第２の重み係数を付加して最終的な位置ずれ量ΔＸを算出してもよい。具体的には、１次成分の信号Ｉｍ１　に対する第２の重み係数をＢ１１とし、２次成分の信号Ｉｍ０２、Ｉｍ２０に対する第２の重み係数をＢ２２として、以下の式により位置ずれ量ΔＸを算出する。
【００８０】
ΔＸ＝（Ｃ１１・Ｂ１１・ΔＸ１１＋Ｃ２２・Ｂ２２・ΔＸ２２）／（Ｃ１１・Ｂ１１＋Ｃ２２・Ｂ２２）

この第２の重み係数を付加した加重平均によれば、格子マークＭＧから発生する回折ビームの次数の違いによる各干渉ビームＢＭ、Ｂｍ０２、Ｂｍ２０の変調度（信号の振幅値）の理論上の差異による位置検出精度の低下を防止することができ、より高精度な位置検出が可能となる。これは、±１次回折光の方が±２次回折光よりも強度が大きいという現象に原因している。

【００８１】

その第２の重み係数Ｂ１１、Ｂ２２の数値例は、実験結果によるとＢ２２／Ｂ１１＝１～０．２５程度の範囲にすると最も良好な精度が得られた。ただしＢ２２／Ｂ１１＝１の場合は、実質的に第２の重み係数が働かず、Ｂ２２／Ｂ１１＝０．２５の場合は２次成分による位置検出結果（位置ずれ量ΔＸ２２）に対する重みが最も強調される。この第２の重み係数の比Ｂ２２／Ｂ１１は、一例としてウェハW上に施されたプロセス（エッチング、蒸着、拡散等）に応じて段階的に切り換え設定してもよい。

【００８２】

以上のようにして求められたずれ量ΔＸは、参照格子ＳＧに対する格子マークＭＧのピッチ方向のずれであり、そのデータは図８中に示した位置制御、表示器６２に送られるとともに、ウエハWをリアルタイムにアライメント（位置決め）する場合にはサーボ制御回路ユニット６４にも送られる。

このサーボ制御回路ユニット６４は２つの機能を有しており、その１つはずれ量ΔＸが所定の値になるまで駆動系４２をフィードバック制御する機能（ダイレクトサーボモード）である。この機能の場合は、Ａ／Ｄコンバータ回路５０、メモリ回路ユニット５４、ずれ量検出回路ユニット５６、及び平均演算回路ユニット６０の動作が逐次繰り返され、極めて短い時間（例えば数ｍＳｅｃ．）毎にずれ量ΔＸの値が算出される。

【００８３】

その場合、振幅比検出回路ユニット５８による重み係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０の算出は初めの１回だけでもよいし、ずれ量ΔＸの算出の度に毎回行ってもよい。係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０の算出を毎回行う場合は、加重平均化回路ユニット６０によるずれ量ΔＸの算出毎に係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０の値が若干変化することがあることは言うまでもない。また係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０の算出を初めの１回又は複数回だけにする場合は、それ以降同じ格子マークＭＧを検出する間は同じ係数の値が使われる。

【００８４】

一方サーボ制御回路ユニット６４のもう１つの機能は、ウェハステージＷＳＴをレーザ干渉計４４の計測値に基づいて移動させる機能（干渉計サーボモード）である。この機能は、例えばステージＷＳＴ上のフィデューシャルマーク板ＦＧの格子やウエハW上の格子マークＭＧを照明ビーム±ＬＦの照射領域内に位置決めしたり、検出された格子マークＭＧの位置を基準としてウエハW上の任意の点（例えば別の格子マーク）を第２レンズ系Ｇ２（照明ビーム±ＬＦの照射領域）の直下に位置決めしたりするときに使われる。

【００８５】

この干渉計サーボモードの場合、位置制御器６２からウエハステージＷＳＴの目標位置情報がサーボ制御回路ユニット６４に出力され、制御回路ユニット６４はレーザ干渉計４４の内部カウンタから数十μｓ毎に読み取ったステージＷＳＴの現在位置データと目標位置データとの偏差が所定の許容範囲（例えば±０．０４μｍ）に入るように駆動系４２をフィードバック制御する。

【００８６】

なお、干渉計サーボモードに続いてダイレクトサーボモードを実行する場合、ダイレクトモードによるサーボ可能範囲は格子マークＭＧのピッチＰｍｇに対して±Ｐｍｇ／４である。もしそれ以上にずれていると、格子マークＭＧの１ピッチの半分のオフセットが生じたまま位置決めされてしまうからである。

そこで、干渉計サーボモードのときのステージＷＳＴの位置決め許容範囲を定常的に±０．０４μｍにするのではなく、格子マークＭＧ（又はフィデューシャルマーク板ＦＧ）を検出するときだけ、許容範囲を±（（Ｐｍｇ／４）－α）に切り換えるようにしてもよい

。ここでαはα＜（Ｐｍｇ／４）である。
【００８７】
例えばピッチＰｍｇが４μｍのとき、その許容範囲を±０．５μｍ程度（α＝０．５μｍ）にすると、通常の許容範囲（±０．０４μｍ）よりもはるかにゆるい精度で位置決めサーボが可能なので、追い込み時間が短縮されることになる。そして、そのゆるい許容範囲（±０．５μｍ）に入ったらただちにダイレクトサーボモードに切り換えることにより、高速で高精度な位置決め（位置合わせ）が可能となる。
【００８８】
さて、位置制御、表示器６２は上述のサーボモードの切り換え指示の他に、格子マークＭＧの座標位置や求められたずれ量ΔＸを表示する機能も有する。また場合によっては、格子マークＭＧを検出したときの重み係数となる比Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０の値も記憶、保存する。この場合、ウエハW上の多数の位置に同一形状の格子マークＭＧが形成され、それらマークＭＧの位置を順次検出するときに、係数Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０も順次記憶しておくと、ウエハW上のどの部分のマークＭＧに非対称性やレジスト層のむらに起因した問題があったのかを検証することが可能となる。
【００８９】
そして、ウエハW上で重み係数（Ｃ１１、Ｃ０２、Ｃ２０）が大きく変化した部分をグラフィック表示するようにしてもよい。この際、拡散工程やエッチング工程等の化学プロセスを経て、レジスト層を塗布する前のウエハを図５の装置に装着して重み係数の変化を求めれば、その化学プロセスによるウエハ面上の影響を間接的に調べることもできる。さらにそのウエハにレジスト層を塗布して同様に重み係数の変化を求めて塗布前の重み係数の変化と比較すれば、レジスト層による影響を間接的に調べることもできる。
【００９０】
以上の第１の実施例ではステージＷＳＴ上にフィデューシャルマーク板ＦＧを設け、これを使って非対称性のない格子マークから得られる各次数毎の信号振幅と非対称性のある格子マークから得られる各次数毎の信号振幅との変化率、すなわち重み係数Ｋ１１、Ｋ０２、Ｋ２０を求める機能を設けたので、各次数成分毎の干渉ビームの光電検出により得られた光電信号の振幅の大小だけで単純に重み係数を決定してしまう場合に比べて信頼性、再現性の高い位置検出が可能となる。
【００９１】
次に本発明の第２の実施例による位置検出装置の構成を図１０、１１を参照して説明する。本実施例では、先の第１実施例でのヘテロダイン方式とは異なりホモダイン方式の位置検出法が適用されるとともに、位置検出すべき基板上に形成された回折格子パターンから発生する±１次回折光の干渉光と、基板の回折格子パターンから発生する±２次回折光の干渉光との夫々を光電検出する方式として適用される。
【００９２】
図１０において、Ｈｅ－Ｎｅレーザ、半導体レーザ又は輝線ランプ等の光源ＬＳから放射されたほぼ単色の光ビームは、ビーム径を所定の大きさに調整するビーム整形器１５０、ビームの断面形状をウェハW上の回折格子マークＭＧの全体形状とほぼ相似形に整形するアパーチャ１５２、及びレンズ系１５４を介してビームスプリッタ系１５６Ａ、１５６Ｂに入射する。さらにビームスプリッタ系を透過した照射ビームＬＢは、図５中のレンズ系Ｇ２と同等のレンズ系１５８を透過してステージＷＳＴ上のウェハWに形成された格子マークＭＧに達する。
【００９３】
ここでアパーチャ１５２とウェハW（又はフィデューシャルマーク板ＦＧ）の表面はレンズ系１５４と対物レンズ系１５８との合成系に関して互いに共役に設定されている。従ってアパーチャ１５２を透過する照射ビームＬＢを平行光束に設定することで、ウェハWに達する光ビームＬＢも平行光束となる。また図１０の場合、照射光ビームＬＢはウェハ表面（フィデューシャルマーク板表面）に垂直に入射するものとする。
【００９４】

尚、図１０において、ウェハW、フィデューシャルマーク板ＦＧ、移動鏡４３を載置して移動するステージＷＳＴの座標位置は先の図５と同様にレーザ干渉計４４で計測され、ステージＷＳＴの移動は駆動系４２によって行われ、その駆動系４２は基本的には先の図８と同様にサーボ制御系６４で制御される。
さて、照射光ビームＬＢによって照射された格子マークＭＧ（フィデューシャルマーク板ＦＧ上の格子）からは、±１次回折ビーム±Ｄ０１、±２次回折ビーム±Ｄ０２等の各次数毎の回折光が発生する。このうち１次回折ビーム±Ｄ０１は、対物レンズ系１５８を透過してビームスプリッタ系１５６Ａの一部に形成された反射面Ｍｒａ、Ｍｒｂで反射されてレンズ系１６０に入射した後、このレンズ系１６０でそれぞれ平行光束に変換されるとともに、参照格子板１６２上で所定の角度で交差する。

【００９５】
これによって参照格子板１６２上には、２つの１次回折ビーム±Ｄ０１の干渉による１次元の干渉縞（格子マークＭＧの１次回折光による回折像の強度分布）が生成される。この干渉縞の明暗のピッチＰｆ１は、対物レンズ系１５８とレンズ系１６０とで構成される結像光学系の像倍率Ｍｍ１（ウェハW側から参照格子板１６２を見たときの倍率）と格子マークＭＧのピッチＰｍｇとの関係で表すと、
Ｐｆ１＝Ｍｍ１（Ｐｍｇ／２）
となり、像倍率Ｍｍ１が１倍であると干渉縞の明暗のピッチＰｆ１は格子マークＭＧのピッチＰｍｇの丁度半分となる。

【００９６】
ここで、参照格子板１６２上に干渉縞の明暗のピッチＰｆ１と等しいピッチの透過型の回折格子（デューティ５０％）が形成されていると、その回折格子の透過ライン部と干渉縞の明線部とが合致したときは光量が最大となり、回折格子の透過ライン部と干渉縞の暗線部とが合致したときは光量が最小となるような透過ビーム±Ｄ１１が光電素子ＤＴ１１に受光される。

【００９７】
従ってウェハW上の格子マークＭＧ（すなわちステージＷＳＴ）が照射ビームＬＢに対してピッチ方向に微小移動すると、参照格子板１６２上に生成される干渉縞もピッチ方向に微小移動することになり、その移動の間に光電素子ＤＴ１１から出力される光電信号Ｉ１１の波形は、図１２（Ａ）のように変化する。この図１２（Ａ）において、縦軸は光電信号Ｉ１１のレベルを表し、横軸はウェハW上の格子マークＭＧのピッチ方向（ここではｘ方向）の移動位置を表す。
図１２（Ａ）は、特に格子マークＭＧと照射ビームＬＢとがｘ方向に相対的に等速移動している間に得られた信号Ｉ１１のレベル変化を示したものであり、信号Ｉ１１は格子マークＭＧのピッチＰｍｇの１／２の移動量を１周期とするようなほぼ正弦波状の波形となる。また信号Ｉ１１の振幅（ピーク／ピーク）値はＥ１１であるものとする。

【００９８】
一方、図１０において照射ビームＬＢの照射により格子マークＭＧから発生した２次回折ビーム±Ｄ０２は、対物レンズ系１５８に入射した後、ビームスプリッタ系１５６Ｂの部分反射面Ｍｒｃ、Ｍｒｄで反射されてレンズ系１６４に達する。その２つの２次回折ビーム±Ｄ０２は、レンズ系１６４によってそれぞれ平行光束に変換されるとともに、参照格子板１６６上で交差するように偏向される。これによって参照格子板１６６上には、２つの２次回折ビーム±Ｄ０２の干渉による１次元の干渉縞（格子マークＭＧの２次回折光による回折像の強度分布）が生成される。この干渉縞の明暗のピッチＰｆ２は、対物レンズ系１５８とレンズ系１６４とで構成される結像光学系の像倍率Ｍｍ２（ウェハW側から参照格子板１６６を見たときの倍率）と格子マークＭＧのピッチＰｍｇとの関係で表すと、
Ｐｆ２＝Ｍｍ２（Ｐｍｇ／４）
となり、像倍率Ｍｍ２が１倍であると干渉縞の明暗のピッチＰｆ２は格子マークＭＧのピッチＰｍｇの丁度１／４となる。

【００９９】

ここで、参照格子板１６６上に干渉縞の明暗のピッチＰｆ２と等しいピッチの透過型の回折格子（デューティ５０％）が形成されていると、その回折格子の透過ライン部と干渉縞の明線部とが合致したときは光量が最大となり、回折格子の透過ライン部と干渉縞の暗線部とが合致したときは光量が最小となるような透過ビーム±Ｄ２２が光電素子ＤＴ２２に受光される。従ってウェハW上の格子マークＭＧ（すなわちステージＷＳＴ）が照射ビームＬＢに対してピッチ方向に微小移動すると、参照格子板１６６上に生成される干渉縞もピッチ方向に微小移動することになる。

【０１００】

その微小移動の間に光電素子ＤＴ２２から出力される光電信号Ｉ２２の波形は、図１２（Ｂ）のように変化する。この図１２（Ｂ）において、縦軸は光電信号Ｉ２２のレベルを表し、横軸はウェハW上の格子マークＭＧのピッチ方向（ここではｘ方向）の移動位置を表す。図１２（Ｂ）は、特に格子マークＭＧと照射ビームＬＢとがｘ方向に相対的に等速移動している間に得られた信号Ｉ２２のレベル変化を示したものであり、信号Ｉ２２は格子マークＭＧのピッチＰｍｇの１／４の移動量を１周期とするようなほぼ正弦波状の波形となる。また信号Ｉ２２の振幅（ピーク／ピーク）値はＥ２２であるものとする。

【０１０１】

さて、図１２に示した各信号の波形において、位置検出すべき格子マークがフィデューシャルマーク板ＦＧ上の回折格子のように１次回折、２次回折の各々に対する振幅反射率に変化がなく、かつ参照格子板１６２、１６６間の相対位置関係に誤差がなく理想的に配置されているものとすると、信号Ｉ１１上のピーク点位置とボトム点位置との各々は信号Ｉ２２上の各ピーク点位置と正確に一致することになる。そこで、信号Ｉ１１、Ｉ２２上の特定のピーク点位置Ｘ１１、Ｘ２２を信号Ｉ１１、Ｉ２２の各レベル変化とステージＷＳＴの移動位置との関係に基づいて計測することによって格子マークＭＧの位置を検出する。

【０１０２】

そのための信号処理回路の一部として、図１１のような信号波形サンプリング回路を設ける。図１１において、信号Ｉ１１、Ｉ２２はそれぞれ増幅器１８０Ａ、１８０Ｂで所定量増幅された後、Ａ／Ｄコンバータ回路１８２Ａ、１８２Ｂでデジタルサンプリングされる。そのサンプリングのタイミングを決定するクロック信号Ｃｐｓは、同期ロジック回路１８４を介して干渉計４４のカウントパルスから作られる。そして、各Ａ／Ｄコンバータ回路１８２Ａ、１８２Ｂでサンプリングされた信号Ｉ１１、Ｉ２２の各レベルの値はそれぞれメモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂにアドレス順に記憶される。その際、メモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂの書き込み時のアドレスデータは干渉計４４のカウントパルスに基づいて同期ロジック回路１８４から生成される。

【０１０３】

こうして所定の走査範囲に渡ってステージＷＳＴが移動している間、信号Ｉ１１、Ｉ２２の各波形データがメモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂに記憶されるが、その各波形データは、図１２において横軸をメモリ回路のアドレス値に一義的に対応させたものと同様になる。その場合、干渉計４４の最小カウントがステージ移動の０．０２μｍに対応しているものとすると、メモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂの１つのアドレス変化が０．０２μｍに対応したものとなる。そしてメモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂに記憶された各波形データは、先の図８中に示した位置ずれ量検出回路５６や振幅比検出回路５８と同等の処理回路に読み込まれ、格子マークＭＧの位置検出が行われる。

【０１０４】

その場合、位置ずれ量検出回路５６はメモリ回路１８６Ａ（アドレスとステージＷＳＴのＸ方向の座標位置とは一対一に対応）に記憶された信号Ｉ１１の波形データを読み出して、図１２（Ａ）中に示した特定のピーク点位置Ｘ１１を計算によって決定するとともに、メモリ回路１８６Ｂ（アドレスとステージＷＳＴのＸ方向の座標位置とは一対一に対応）に記憶された信号Ｉ２２の波形データを読み出して、図１２（Ｂ）中に示した特定のピーク点位置Ｘ２２を計算によって決定する。ウェハW上の格子マークＭＧの場合、その位置

Ｘ１１、Ｘ２２はレジスト層を含む格子マークＭＧの振幅反射率の非対称性に依存して異なったものに成り得る。

【０１０５】

また振幅比検出回路５８は、ここではメモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂに記憶された各信号の波形データを読み出して、図１２中に示したような振幅値Ｅ１１、Ｅ２２を求める。そして先の図８に示した処理回路中の加重平均化回路６０と同等の演算回路（ＣＰＵ）によって、最終的な格子マークＭＧの位置Ｘ０を各信号の振幅を重みとした以下の加重平均により求める。

【０１０６】

Ｘ０＝（Ｅ１１・Ｘ１１＋Ｅ２２・Ｘ２２）／（Ｅ１１＋Ｅ２２）

この演算式の場合、重み係数は各信号Ｉ１１、Ｉ２２の振幅値そのものとしたが、先の第１の実施例で説明したのと同様に、振幅反射率に非対称性のない理想格子（フィデューシャルマーク板ＦＧの格子マーク）を検出したときに得られる各信号Ｉ１１、Ｉ２２の振幅値Ｋ１１、Ｋ２２を予め求めておき、ウェハＷの格子マークＭＧを検出したときの各信号の振幅値Ｅ１１、Ｅ２２と振幅値Ｋ１１、Ｋ２２の各比Ｃ１１、Ｃ２２を、

Ｃ１１＝Ｅ１１・Ｋ１１／（Ｋ１１＋Ｋ２２）

Ｃ２２＝Ｅ２２・Ｋ２２／（Ｋ１１＋Ｋ２２）

とした上で、最終的な格子マークＭＧの位置Ｘ０’を、

Ｘ０’＝（Ｃ１１・Ｘ１１＋Ｃ２２・Ｘ２２）／（Ｃ１１＋Ｃ２２）

で算出してもよい。ただしこの位置Ｘ０’を求める式は、比Ｃ１１、Ｃ２２を格別に算出しておかなくとも以下の式で計算できる。

【０１０７】

Ｘ０’＝（Ｅ１１・Ｋ１１・Ｘ１１＋Ｅ２２・Ｋ２２・Ｘ２２）

÷（Ｅ１１・Ｋ１１＋Ｅ２２・Ｋ２２）

ここで求めた振幅値Ｋ１１、Ｋ２２は、１次回折光と２次回折光との理論上の強度比に対応したものでもあり、１次回折光の強度を１としたときの２次回折光の理論上の強度をβ（β＜１）とすると、次数による理論上の重みを加味した位置Ｘ０’は次式により決定される。

【０１０８】

Ｘ０’＝（Ｅ１１・Ｘ１１＋Ｅ２２・β・Ｘ２２）／（Ｅ１１＋Ｅ２２・β）

ところで、本実施例ではホモダイン方式でマークの位置検出を行うために、信号処理上は図１２に示したような信号波形の特定のピーク点位置（ボトム点位置でもよい）を見つけるのが最も簡単である。しかしながら信号波形上のピーク点を求めるには、原信号波形データを数値フィルターを介して微分した微分波形を作り出し、その微分波形上の零点の位置を求める等の演算処理が必要である。このため、原信号波形に重畳される微弱なノイズ成分を何らかの手法によって予め除去しておくことも必要である。ところがホモダイン方式であっても、ヘテロダイン方式と同様のフーリエ積分処理を利用した位相差計測によって、ノイズ特性を向上させた信号処理を適用することも可能である。

【０１０９】

そこで、ホモダイン方式で位相差計算処理を適用する場合の方法を、図１３を参照して説明する。まず、図１２で示した信号Ｉ１１、Ｉ２２の各波形データを適当な周期分（例えば１０周期以上）に渡ってメモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂに記憶させる。その後、信号Ｉ１１の波形上の共通位置、例えば図１３中に示した位置Ｘ００を基準位相点と仮定した基準正弦波データＲ１（ｓｉｎ）と基準余弦波データＲ１（ｃｏｓ）の各々と、信号Ｉ１１の波形データとの各積算値Ｖｒｓ、Ｖｒｃを求め、その２つの積算値Ｖｒｓ、Ｖｒｃから

ｔａｎθ１１＝Ｖｒｓ／Ｖｒｃ

を満たす位相角θ１１を計算する。

【０１１０】

その位相角θ１１は信号Ｉ１１の１周期が格子マークＭＧのピッチＰｍｇの１／２に対応することから、図１３（Ａ）に示したように信号Ｉ１１の波形データから求められた基準位置Ｘ００に対する位置ずれ量△Ｘ１１に換算される。

尚、基準正弦波データＲ１（ｓｉｎ）と基準余弦波データＲ１（ｃｏｓ）は、予めＣＰＵのメモリ上にデータテーブルとして記憶しておくのが望ましい。そのデータテーブルは、格子マークＭＧの設計上のピッチＰｍｇの１／２を１周期とする正弦波関数を、メモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂ内の波形データと同じ分解能で生成（関数上の１つのデータが干渉計によるサンプリング単位と一致）して記憶される。また基準余弦波データＲ１（ｃｏｓ）は、基準正弦波データＲ１（ｓｉｎ）の読み出し基準データ位置（アドレス）をπ／２（Ｐｍｇ／８）だけずらすことで作られる。

【０１１１】

同様に、信号Ｉ２２の波形上の共通位置Ｘ００を基準位相点と仮定した基準正弦波データＲ２（ｓｉｎ）と基準余弦波データＲ２（ｃｏｓ）の各々と、信号Ｉ２２の波形データとの各積算値Ｖｒｓ、Ｖｒｃを求め、その２つの積算値Ｖｒｓ、Ｖｒｃからｔａｎθ２２＝Ｖｒｓ／Ｖｒｃを満たす位相角θ２２を計算する。その位相角θ２２は信号Ｉ２２の１周期が格子マークＭＧのピッチＰｍｇの１／４に対応することから、図１３（Ｂ）に示したように信号Ｉ２２の波形データから求められた基準位置Ｘ００に対する位置ずれ量△Ｘ２２に換算される。

【０１１２】

またここでの基準正弦波データＲ２（ｓｉｎ）と基準余弦波データＲ２（ｃｏｓ）のデータテーブルは、格子マークＭＧの設計上のピッチＰｍｇの１／４を１周期とする正弦波関数を、メモリ回路１８６Ａ、１８６Ｂ内の波形データと同じ分解能で生成して記憶され、また基準余弦波データＲ２（ｃｏｓ）は、基準正弦波データＲ２（ｓｉｎ）の読み出し基準データ位置（アドレス）をπ／２（Ｐｍｇ／１６）だけずらすことで作られる。

【０１１３】

以上のようにして算出された位置ずれ量△Ｘ１１、△Ｘ２２は、格子マークＭＧに振幅反射率の非対称性がなく理想的な場合（フィデューシャルマーク等）は同一値になるが、その非対称性の程度によっては先に述べた通り、１次回折光のみに基づいて検出される格子マークの位置と２次回折光のみに基づいて検出される格子マークの位置とは異なってしまう。そこで、算出された位置ずれ量△Ｘ１１、△Ｘ２２を各信号Ｉ１１、Ｉ２２の振幅Ｅ１１、Ｅ２２や１次、２次回折の理論上の強度比βに基づいて重み付けして加重平均することで、最も確からしい格子マークの基準位置Ｘ００からの位置ずれ量△Ｘ００を決定する。

【０１１４】

この場合、基準位置Ｘ００はウェハアライメントのためにステージＷＳＴを位置決めする際の目標座標位置として、先の図８中のサーボ制御系６４（又はＣＰＵ等）に記憶されている。そこでサーボ制御系６４によってステージＷＳＴを位置決めするときは、干渉計４４で計測されるＸ方向の座標位置が（Ｘ００＋△Ｘ００、又はＸ００－△Ｘ００）になるように駆動系４２をサーボ制御すればよい。

【０１１５】

但し、ウェハW上の格子マークＭＧとは別の点、例えば露光装置においてはマスクの回路デバイスパターンで露光されるショット領域の中心点、に対してアライメントを行う場合は、必ずしも格子マークＭＧが図１０中の参照格子板１６２、１６６に対して位置合わせされるようにステージＷＳＴを移動させる必要もないので、算出された位置ずれ量△Ｘ００をＣＰＵで記憶して、その値をウェハW上のショット領域の露光時のアライメント（位置決め）のためのステージＷＳＴの位置制御に利用すればよい。

【０１１６】

具体的には、基準位置Ｘ００をウェハWのプリアライメントやグローバルアライメントの結果で決まる格子マークＭＧの目標座標位置（真の位置に対して１μｍ以下のずれ）として設定した上で、格子マークＭＧの位置ずれ量△Ｘ００を検出する。その後、ショット領域の中心点を露光中心（マスクパターンの中心点）と合致させるために、プリアライメントやグローバルアライメントの結果で決まるステージＷＳＴの目標座標位置を算出された位置ずれ量△Ｘ００分だけ補正計算し、それによって算出された新たな目標座標位置に対

してステージＷＳＴをサーボ制御すればよい。

【０１１７】

このようにウェハW上の格子マークＭＧを検出してアライメントする方式には、格子マークＭＧを位置検出装置の基準に対して精密に位置合わせするようにウェハを移動させる方式と、格子マークＭＧと位置検出装置の基準との相対位置ずれ量を計測した後、格子マークＭＧを位置検出装置の基準に精密に位置合わせすることなく、その位置ずれ量に応じてウェハを移動させる方式とがある。

【０１１８】

以上の実施例においては、図１０中の参照格子板１６２、１６６間のピッチ方向の相対位置が精密に揃っているものとしたが、現実的には装置製造上の調整を丹念に行ったとしてもサブミクロンオーダーでの調整は困難である。仮に参照格子板１６２、１６６の間に相対位置誤差ΔＸｅが残存していると、この位置誤差ΔＸｅが格子マークＭＧの位置座標や位置ずれ量を求める際の誤差分として含まれてしまう。

【０１１９】

そこで、図１０中のフィデューシャルマーク板ＦＧの格子マークを利用して、±１次回折ビーム±Ｄ０１の光電検出で求められたフィデューシャルマークの位置と、±２次回折ビーム±Ｄ０２の光電検出で求められたフィデューシャルマークの位置とを計測し、それらの位置の差を位置誤差ΔＸｅとして算出し、ＣＰＵにオフセット値（広義にはベースライン誤差）として記憶させる。そして実際にウェハW上の格子マークＭＧを検出する際は、１次回折ビームから求められた格子マークＭＧの位置Ｘ１１（図１２）と２次回折ビームから求められた格子マークＭＧの位置Ｘ２２（図１２）のいずれか一方の値を、記憶してある位置誤差ΔＸｅ分だけ補正してから加重平均するように演算処理すればよい。

【０１２０】

また、図１３のように位相計測による位置ずれ量から格子マークＭＧの位置を検出する場合は、１次回折光に基づいて決定された位置ずれ量△Ｘ１１と、２次回折光に基づいて決定された位置ずれ量△Ｘ２２との間に、位置誤差ΔＸｅ分のオフセットが含まれているので、例えば、加重平均演算によって算出された最も確からしい位置ずれ量△Ｘ００から位置誤差ΔＸｅ分をＣＰＵ内部で差し引いて求めた値を位置ずれ量とすればよい。

【０１２１】

あるいは、参照格子板１６２、１６６の少なくとも一方の前方に傾斜可能な平行平板ガラスを配置し、参照格子板１６２又は１６６に入射する±１次回折ビーム±Ｄ０１、±２次回折ビーム±Ｄ０２の位置をピッチ方向に微小変位させるような機構を設けてもよい。その場合、図１０中のフィデューシャルマーク板ＦＧの格子マークの位置Ｘ１１、Ｘ２２や位置ずれ量△Ｘ１１、△Ｘ２２を１次回折光、２次回折光の各々の検出によって求めた後、それらの値がＸ１１＝Ｘ２２または△Ｘ１１＝△Ｘ２２になるように平行平板ガラスの傾斜を自動調整すればよい。

【０１２２】

さらに傾斜可能な平行平板ガラスを設ける場合は、位置誤差ΔＸｅを概略補正するように平行平板ガラスの傾斜を調整した後に残留する誤差分をオフセットとしてＣＰＵに記憶するようにしてもよい。

次に、先の各実施例で説明した位置検出装置を投影露光装置内の各種アライメント検出系として適用した第３の実施例を図１４、１５、１６を参照して説明する。図１４は投影露光装置に装着されたマスク（レチクル）の中心の投影点と各種アライメント系の検出中心点との相対的な位置関係を決定するためのベースライン量の計測が必要な投影露光装置の概略的なアライメント系の配置を示す。

【０１２３】

図１４において、レチクルＲはレチクルステージＲＳＴ上に吸着され、露光用照明系ＩＬＸからダイクロイックミラーＤＣＭを介して放射される紫外線（ｉ線、エキシマ等）によって均一に照射される。そしてレチクルＲに形成された回路パターンＰＲの像は、等倍又は縮小の投影光学系ＰＬを介してウエハW上の所定のショット領域に投影露光されるよう

に構成される。

【０１２４】

また、ウエハステージＷＳＴ上に固定されたフィデューシャルマーク板ＦＧの表面には、スルーザレチクル（ＴＴＲ）方式のアライメント系ＴＴＲＡによって検出可能なマーク群と、レチクルアライメント系ＲＡによって検出可能なマーク群と、スルーザレンズ（ＴＴＬ）方式のアライメント系ＴＴＬＡによって検出可能なマーク群と、そして投影光学系ＰＬの外部に固定されたオフ・アクシス方式のアライメント系ＯＦＡによって検出可能なマーク群とが形成されている。これらのマーク群は一部共通に使われるものもある。

【０１２５】

また各アライメント系ＲＡ、ＴＴＲＡ、ＴＴＬＡ、ＯＦＡは、マーク検出時の基準となる直接的、または間接的な検出中心点Ｒｆ１、Ｒｆ２、Ｒｆ３、Ｒｆ４を備えている。それらの検出中心点は、ヘテロダイン方式のマーク位置検出装置を適用する場合は参照ビート信号を生成するための参照格子板ＳＧ（図６）によって規定され、ホモダインの方式のマーク位置検出装置を適用する場合はウェハW上の格子マークＭＧからの±１次回折ビームや±２次回折ビームを受光する参照格子板１６２，１６６（図１０）によって規定される。

【０１２６】

ただし、レチクルアライメント系ＲＡとして、レチクルＲの周辺のレチクルアライメント用のマーク（格子パターン）ＲＭとフィデューシャルマーク板ＦＧ上の対応した格子マークとを回路パターンＰＲの投影露光用の照明光と同じ波長の照明光で照射し、両マークが所定の位置関係になるようにレチクルステージＲＳＴを微動させる構成になっている場合は、検出中心点Ｒｆ１を必要としない。このことはアライメント系ＴＴＲＡにおいても同様であって、フィデューシャルマーク板ＦＧ上の格子マークあるいはウエハW上の格子マークＭＧと、レチクルＲの回路パターンＰＲの周辺部に形成されたダイ・バイ・ダイ（Ｄ／Ｄ）アライメント用の格子マークとの相対位置関係を直接検出する場合は、格別に検出中心点Ｒｆ２（参照格子板）を使う必要もない。

【０１２７】

ここで図１４におけるベースライン量とは、レチクルＲの中心ＣＣｒのウエハ側への投影点（ほぼ光軸ＡＸ上に一致）と、各検出中心点Ｒｆ１、Ｒｆ２、Ｒｆ３、Ｒｆ４のウエハ側への投影点との間のＸ、Ｙ方向の位置関係に他ならない。その位置関係は、フィデューシャルマーク板ＦＧの対応したマーク群と、各検出中心点Ｒｆ１～Ｒｆ４の投影点との位置ずれ量を各アライメント系ＲＡ、ＴＴＲＡ、ＴＴＬＡ、ＯＦＡ自体で検出するとともに、そのときのウエハステージＷＳＴの座標位置をレーザ干渉計４４（図５、図１０参照）によって検出することで求めることができる。

【０１２８】

尚、図１４に示した投影光学系ＰＬ内の瞳面ＥＰはフーリエ変換面であり、先の図５のレンズ系Ｇ２や図１０のレンズ系１５８を各アライメント系ＲＡ，ＴＴＲＡ，ＴＴＬＡの対物レンズとするときは、その対物レンズと受光部との間に形成されるフーリエ変換面が瞳面ＥＰと共役になるように設定される。そして投影光学系ＰＬを介してウエハステージＷＳＴ上の物体（ウエハWのマーク、又はフィデューシャルマーク板ＦＧのマーク）を検出するアライメント系ＲＡ、ＴＴＲＡ、ＴＴＬＡの夫々に設けられた対物レンズの光軸は、ウエハステージＷＳＴ側では全て光軸ＡＸと平行になるように設定される。

【０１２９】

また、投影光学系ＰＬのウエハ側のみならずレチクル側もテレセントリック系になっているとき（図１４の場合）は、各アライメント系の対物レンズの光軸はレチクル側でも投影光学系ＰＬの光軸ＡＸと平行になっている。そして、それら対物レンズの光軸の延長は投影光学系ＰＬの瞳面ＥＰの中央（光軸ＡＸが通る部分）を通る。その瞳面ＥＰの実効的な半径は、投影レンズＰＬの解像力（最小解像線幅）を左右する開口数（ＮＡ）に対応し、現在ＮＡ＝０．５～０．７程度の投影レンズが開発されている。

【０１３０】

図１５は、図１４に示されたアライメント系のうちアライメント系ＴＴＬＡの主要部の一例を示し、ウエハW上の格子マークＭＧ、又はフィデューシャルマーク板ＦＧを先の図５、６に示したヘテロダイン方式で検出するための１対の送光ビーム±ＬＦ（図５中のビーム＋ＬＦとビーム－ＬＦに相当）は補正光学系ＣＧ、偏光ビームスプリッタＰＢＳ（機能としては図５中のハーフミラーＢＳ１に相当）、１／４波長板ＱW、対物レンズＯＢＪ（図５中の対物レンズＧ２に相当）、及び２枚のミラーＭＲを介して投影レンズＰＬに入射する。この際、２枚のミラーＭＲの間にはウエハWの表面と共役な面ＦＣが形成され、この面ＦＣ内で１対のビーム±ＬＦは交差する。そのビーム±ＬＦは投影レンズＰＬによってリレーされ、ウエハW上でも交差して格子マークＭＧを照射する。

【０１３１】

そして本実施例では、偏光ビームスプリッタＰＢＳに入射するビーム±ＬＦを直線偏光とし、偏光ビームスプリッタＰＢＳで効率的に反射された送光ビームは１／４波長板ＱWを透過するときに一方向に回転する円偏光に変換され、対物レンズＯＢＪ、投影レンズＰＬを通ってウェハ上の格子マークＭＧを照射する。これによって格子マークＭＧから垂直に発生した干渉ビームＢＭは、投影レンズＰＬの瞳面ＥＰのほぼ中央を通り、２つのミラーＭＲ、対物レンズＯＢＪ、１／４波長板ＱWを介して偏光ビームスプリッタＰＢＳに達する。このとき±１回折ビームの干渉ビームＢＭ、０次ビームと２次ビームとの干渉ビームは、それぞれ送光ビームの偏光方向と直交した直線偏光になっているために偏光ビームスプリッタＰＢＳを効率的に透過して、図５と同様の光電素子ＤＴ１　、ＤＴ２ａ、ＤＴ２ｂを備えた光電変換器３６Ａに達する。

【０１３２】

このようなアライメント系ＴＴＬＡにおいて、送光ビーム±ＬＦの波長（例えばＨｅ－Ｎｅレーザの６３３ｎｍ）は露光用の照明光の波長と比べてかなり長くなるように定められているので、投影レンズＰＬの色収差（軸上と倍率）の影響や対物レンズＯＢＪの色収差の影響を受けることになる。そこで図１５のように送光ビーム±ＬＦの光路中に色収差に応じて発生する光学的な誤差を補正する補正光学系ＣＧを設ける。この補正光学系ＣＧは凸レンズ、凹レンズ、あるいはそれらの組み合わせレンズ、または平行平板ガラス等で構成される。

【０１３３】

また、図１４中のアライメント系ＴＴＲＡの場合、レチクルＲ上のＤ／Ｄアライメント用のマークＤＤＭを回折格子とし、そのマークＤＤＭと対応するウエハW上の格子マークＭＧとの相対位置ずれを、図５、６のようなヘテロダイン方式で検出するときには、（Ｇ）特開平６－３０２５０４号公報に開示されているように、投影レンズＰＬの瞳面ＥＰに透明な平行平板状の補正板ＰＧＰを設け、この補正板ＰＧＰ上で送光ビーム（±ＬＦ）や干渉ビーム（ＢＭ）が通る位置のみに透過型位相格子（補正板ＰＧＰの表面に所定ピッチで凹凸のラインをエッチングしたもの）を形成して、軸上色収差と倍率色収差の影響を低減させることもできる。

【０１３４】

図１６は、そのような補正板ＰＧＰをアライメント系ＴＴＲＡの一部分に組み込んだ第４の実施例による投影露光装置の構成を示し、図１６（Ａ）はＸ方向（計測方向）にピッチを有する格子マークＭＧを検出する場合の送光ビーム±ＬＦと干渉ビームＢＭとの光路をＸ－Ｚ平面でみたものであり、図１６（Ｂ）は、図１６（Ａ）の光路をそれと直交したＹ－Ｚ平面でみたものである。

【０１３５】

アライメント系ＴＴＲＡの対物レンズＯＢＪ（図５の対物レンズＧ２に相当する）からは１対の送光ビーム±ＬＦが光軸ＡＸａからわずかに偏心して射出され、ミラーＭＲで反射してレチクルＲのパターン領域の周辺の窓ＲＷを介して投影レンズＰＬに入射する。１対の送光ビーム±ＬＦは、Ｘ－Ｚ平面内でみると図１６（Ａ）のように対称的な傾きで窓ＲＷを透過し、Ｙ－Ｚ平面内でみると図１６（Ｂ）のように、対物レンズＯＢＪの光軸ＡＸａに対して傾いて窓ＲＷを透過する。

【０１３６】
その１対の送光ビーム±ＬＦは、それぞれ投影レンズＰＬの瞳面ＥＰに配置された補正板ＰＧＰ上の２ヶ所の位相型回折格子（以下、位相格子とする）ＰＧ１、ＰＧ２を通る。このとき位相格子ＰＧ１、ＰＧ２の作用によって送光ビーム±ＬＦの夫々は同図中の破線から実線のように所定方向に所定量だけ傾きを変えられて投影レンズＰＬから射出する。そして送光ビーム±ＬＦは、Ｘ－Ｚ平面内でみると図１６（Ａ）のようにウエハW上の格子マークＭＧを対称的な入射角で照射し、Ｙ－Ｚ平面内では図１６（Ｂ）のように格子マークＭＧに対してＹ方向に若干傾いて入射する。
【０１３７】
これによって格子マークＭＧから発生した干渉ビームＢＭは再び投影レンズＰＬに入射し、瞳面ＥＰ上では位相格子ＰＧ１、ＰＧ２と異なる位置を通る。その位置には干渉ビームＢＭを図１６（Ｂ）中の破線から実線のように所定方向に所定量だけ傾けるための位相格子ＰＧ３が形成され、それによって干渉ビームＢＭの光路は投影レンズＰＬを透過してレチクルＲの窓ＲＷへ向かうように補正される。そして窓ＲＷを通った干渉ビームＢＭは、ミラーＭＲ、対物レンズＯＢＪを介して図５のような受光系（Ｇ１、ＡＰ、ＢＳ１、Ｇ３、ＤＴ１　、ＤＴ２　）へ向かう。このとき干渉ビームＢＭは対物レンズＯＢＪの光軸ＡＸａに対してわずかに非計測方向に傾いた状態でレチクルＲの窓ＲＷを透過する。
【０１３８】
このような補正板ＰＧＰの使用は、図１５に示したアライメント系ＴＴＬＡに対しても当然に可能である。例えば石英やホタル石をレンズ硝材とし、波長１８０～３００ｎｍの間の紫外線（エキシマレーザ光等）を露光光とするような投影レンズ（反射鏡と屈折レンズの組み合わせでもよい）を用いた露光装置の場合、Ｈｅ－Ｎｅレーザや半導体レーザからのビームの波長に対する色収差は極めて大きなものとなり、図１５中に示したウエハ共役面ＦＣは投影レンズから数十ｃｍ以上離れてしまう。そこで補正板ＰＧＰを使って、送光ビーム±ＬＦが交差するウエハ共役面ＦＣが投影レンズに近づくように補正するのである。
【０１３９】
また、図１６に示した送光ビーム±ＬＦと検出ビームＢＭの各光路は全く逆の関係にすることが可能であり、検出ビームＢＭの光路に沿って対物レンズＯＢＪから単一波長の１つの送光ビームを投射し、投影レンズＰＬ中の位相格子ＰＧ３を介してウェハW上の格子マークＭＧを照射するように構成する。これによって格子マークＭＧからは図１６中の送光ビーム±ＬＦと同一の光路を逆進するような±１次回折ビームが発生し、そのビームは投影レンズＰＬ中の位相格子ＰＧ１、ＰＧ２を介してレチクルＲの窓ＲＷに達し、ここを透過して対物レンズＯＢＪに戻る。
【０１４０】
さらに格子マークＭＧからは±１次回折ビームよりも大きな回折角で±２次回折ビームも発生する。その±２次回折ビームは、投影レンズＰＬの瞳面ＥＰ（補正板ＰＧＰ）上で±１次回折ビームの通過位置に対して格子マークＭＧのピッチ方向に分離した位置を通過する。そこで図１７に示すように、単一の送光ビームを通す位相格子ＰＧ３と格子マークＭＧからの±１次回折ビームを通す位相格子ＰＧ１、ＰＧ２との他に、格子マークＭＧからの±２次回折ビームを通す位相格子ＰＧ４、ＰＧ５を形成した補正板ＰＧＰを瞳面ＥＰに配置する。
【０１４１】
このようにすると、格子マークＭＧから発生する±１次回折ビームと±２次回折ビームを共にレチクルＲの窓ＲＷを介して対物レンズＯＢＪまで戻すことができ、先の図１０に示したホモダイン方式のアライメント系が利用可能となる。
さらに、送光ビームを単一として図１６、１７のような補正板ＰＧＰを使ってホモダイン方式のアライメント系を組む場合は、ウェハW上の格子マークＭＧからの各次数の回折ビームが結像する面内に格子マークＭＧの位置ずれを反映した干渉像（回折像）が生成され得るので、その干渉像を１次元又は２次元のＣＣＤカメラ等で撮像し、その画像信号を解

析して基準位置（例えばＣＣＤカメラの撮像画面中の特定の画素位置やアライメント光路中に配置された指標マーク）に対する格子マークＭＧの位置を検出するようにしてもよい。

【０１４２】

この場合、少なくとも画像信号を信号処理回路に取り込む間はウェハステージＷＳＴが静止しているのが前提であるが、外部振動等に影響されてナノ・メータのオーダーで観察するとステージＷＳＴは振動している場合もある。そこでＣＣＤカメラを２つ用意し、格子マークＭＧからの±１次回折ビームで生成された干渉像と±２次回折ビームで生成された干渉像とを、各ＣＣＤカメラで個別に、かつ同一のタイミングで信号処理回路（特に波形メモリ）に読み込むようにするのが望ましい。あるいは格子マークＭＧからの±１次回折ビームと±２次回折ビームとをアライメント系内のフーリエ変換面近傍で互いに格子マークＭＧのピッチと直交した方向に微小量傾けるプリズム等を設け、２次元ＣＣＤカメラの撮像面上に生成される±１次回折ビームの干渉像と±２次回折ビームの干渉像とを、格子マークＭＧのピッチと直交した方向にずらし、各干渉像を１つのＣＣＤカメラで同時に撮像するようにしてもよい。

【０１４３】

このような画像検出により格子マークＭＧの位置や位置ずれ量を求める場合も、格子マークＭＧからの±１次回折ビームによる干渉像と±２次回折ビームによる干渉像とを互いに別々に撮像して個別に位置ずれ量等を求めてから、先の各実施例のように各干渉像の振幅値等に応じた重みを加えた平均演算によって最も確からしいマーク位置ずれ量（又はマーク位置）を決定することができる。またこの場合にも、図１３で説明したフーリエ積分手法による位相差測定が適用できることは言うまでもない。

【０１４４】

以上、本発明の各実施例では、光電検出する回折光をいずれも格子マークＭＧからの±１次回折ビームと±２次回折ビームとしたが、検出する回折光の次数はそれに限定されるものではなく、±１次回折ビームと±３次回折ビームの組合せや±２次回折ビームと±５次回折ビームの組合せ等の任意の組合せを選ぶことができる。さらに、位置検出や位置ずれ検出に使う互いに異なる次数の回折ビームの組合せは、各実施例のように２組に留まらず、３組以上の異なる次数の回折ビーム（例えば±１次、±２次、±３次の各回折ビーム）を光電検出し、各次数毎に求められたマーク位置や位置ずれ量を先の各実施例と同様に加重平均することで最も確からしいマーク位置、位置ずれ量を決定してもよい。

【０１４５】

【発明の効果】

以上のように本発明によれば、周期的な構造を持つ位置検出用マークの複数の空間周波数成分に対応して発生する互いに異なる次数の回折光を光電検出し、その光電信号に基づいて各々の空間周波数成分に対応したマーク位置（位置ずれ）を個別に求め、さらに各次数の回折光の強度変化に対応した振幅変化に伴う重みを掛けて平均化するようにしたので、各空間周波数成分毎のマーク位置検出に伴って生じる誤差のばらつきが平均化効果によって小さくなると言った効果が得られる。

【０１４６】

さらに本発明では、各空間周波数成分毎に得られた光電信号の振幅（各次数の回折光の強度変化）を加重平均の際の重みとしているので、ある空間周波数成分に対応した次数の回折光の強度変化（振幅）が極端に小さくなった場合、その次数の回折光に基づくマーク位置（位置ずれ）検出結果にはほとんど重みがなく、最終的な検出結果への悪影響が少ないと言った利点もある。

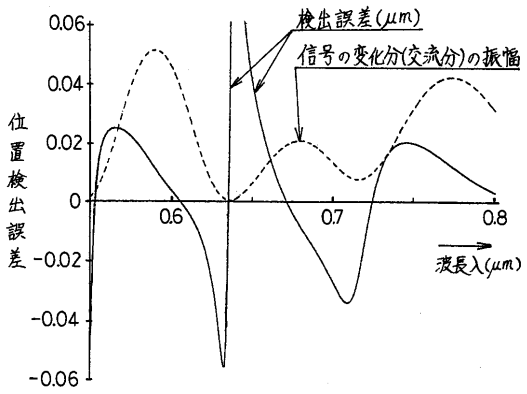
【０１４７】

また、検出すべき回折光の次数が互いに異なることから、その次数に応じた理論的な強度比も加重平均に加味するようにしたので、次数に違いによって原理的に生じる強度差の影響も補正することができ、より高精度な位置検出が可能となる。

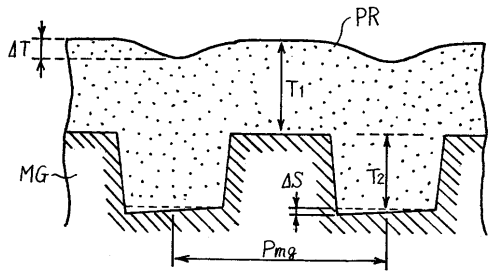
【図面の簡単な説明】

【図１】従来の単一波長による干渉式マーク位置検出装置を用いたときの位置検出誤差の波長依存性をシミュレーションした結果を示すグラフ。
【図２】図１のシミュレーションのモデルとして用いた格子マークの断面形状を示す部分断面図
【図３】格子マークに対称的な２方向から可干渉性の照明ビームを投射したときに、格子マークから発生する各次数の回折光の様子を模式的に示す図。
【図４】格子マークからの１次回折光を用いた位置検出誤差とマーク段差との関係と、格子マークからの２次回折光を用いた位置検出誤差とマーク段差との関係をシミュレーションした結果を表すグラフ。
【図５】本発明の第１の実施例による位置検出装置の概略的な構成を示す図。
【図６】図５の装置中の２光束化光学系ＴＢＯの具体的な構成の一例を示す平面図。
【図７】図６の２光束化光学系ＴＢＯの構成を横から見た図。
【図８】図５、図６に示した装置の信号処理系の回路構成を示すブロック図。
【図９】図８の信号処理系で処理される各信号の波形の状態を示す図。
【図１０】本発明の第２の実施例による位置検出装置の概略的な構成を示す図。
【図１１】図１０に示した装置の信号処理系の回路構成を示すブロック図。
【図１２】図１１の信号処理系で処理される各信号の波形の状態を示す図。
【図１３】図１０の装置をホモダイン方式で使ったときに、各信号を位相差計測で処理する場合を説明する波形図。
【図１４】本発明の位置検出装置を投影露光装置の各種アライメント系に適用する場合の形態を第３の実施例として示す図。
【図１５】図１４中のＴＴＬアライメント系の構成を示す図。
【図１６】図１４中のＴＴＲアライメント系の構成を示す図。
【図１７】図１６中の補正板ＰＧＰの変形例を示す平面図。
【主要部分の符合の説明】
Ｒ・・・レチクル
Ｗ・・・ウェハ
ＭＧ・・・格子マーク
ＬＳ・・・レーザ光源
ＬＦ・・・照明ビーム
ＢＭ・・・干渉ビート光
Ｇ１、Ｇ２、Ｇ３・・・レンズ系
ＷＳＴ・・・ウェハステージ
５６・・・位相差、位置ずれ検出回路
５８・・・信号振幅検出回路
６０・・・加重平均化回路
ＰＬ・・・投影レンズ
ＲＡ・・・レチクルアライメント系
ＴＴＲＡ・・・スルー・ザ・レチクルアライメント系
ＴＴＬＡ・・・スルー・ザ・レンズアライメント系
ＯＦＡ・・・オフ・アクシスアライメント系

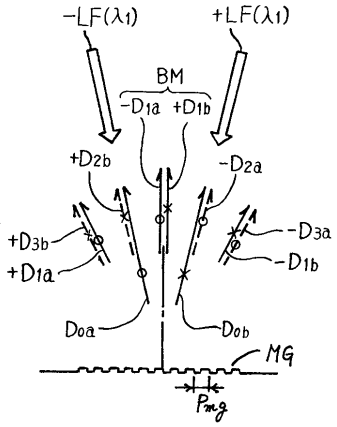
【図１】


検出誤差(μm)
信号の変化分(交流分)の振幅
位置検出誤差
0.06
0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
0.6
0.7
0.8
波長λ(μm)

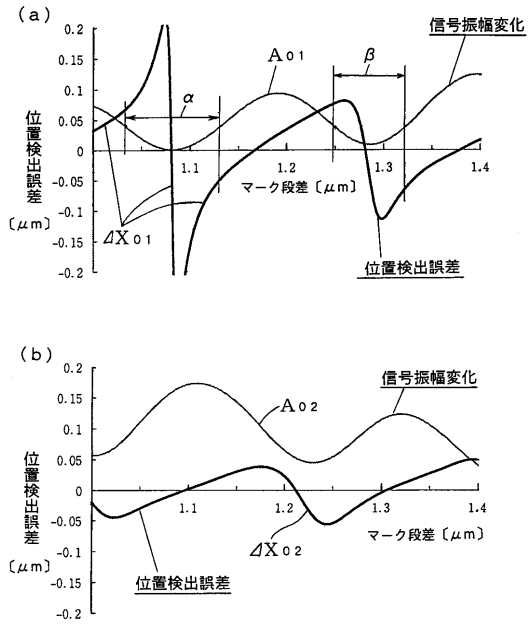
【図２】


PR
ΔT
T1
MG
ΔS
T2
Pmg

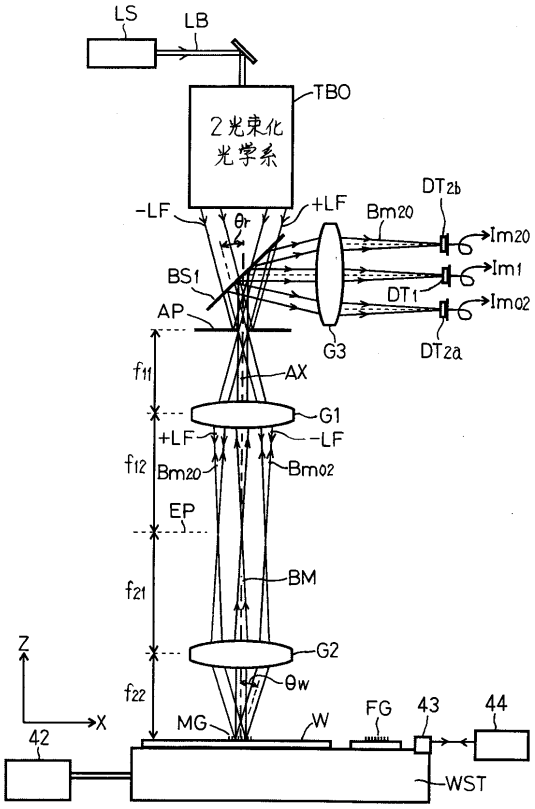
【図３】


-LF(λ1)
+LF(λ1)
BM
-D1a
+D1b
+D2b
-D2a
+D3b
+D1a
-D3a
-D1b
Doa
Dob
MG
Pmg

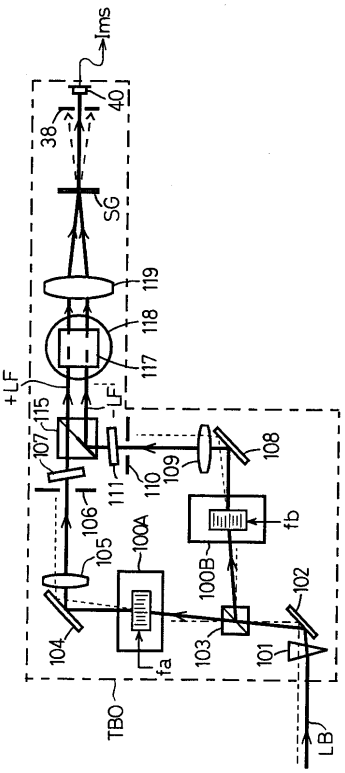
【図４】


(a)
信号振幅変化
A01
α
β
位置検出誤差〔μm〕
マーク段差〔μm〕
ΔX01
位置検出誤差
(b)
信号振幅変化
A02
位置検出誤差〔μm〕
マーク段差〔μm〕
ΔX02
位置検出誤差

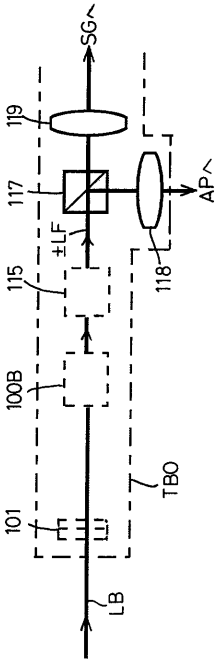
【図５】


LS
LB
TBO
2光束化光学系
-LF
+LF
θr
Bm20
DT2b
Im20
Im1
Im02
BS1
DT1
AP
G3
DT2a
f11
AX
G1
+LF
-LF
f12
Bm20
Bm02
EP
f21
BM
G2
θw
f22
Z
X
MG
W
FG
43
44
42
WST

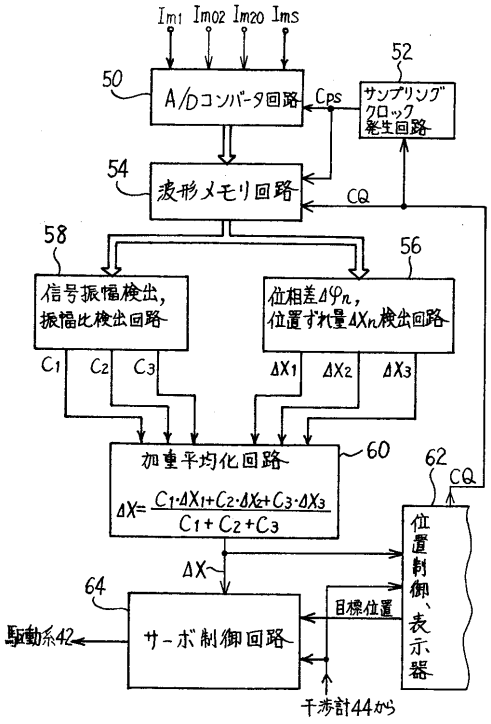
【図６】


Ims
40
38
SG
119
118
117
+LF
-LF
115
107
108
109
110
111
106
105
100A
100B
fb
fa
102
103
101
104
TBO
LB

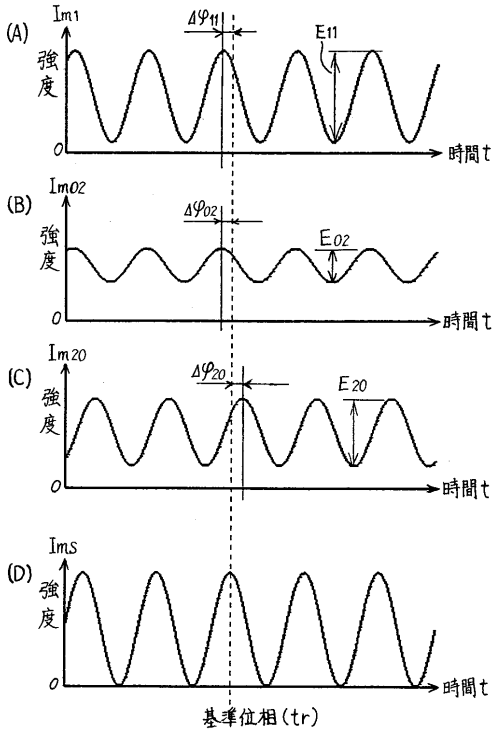
【図７】


SG
119
117
AP
±LF
118
115
100B
101
LI
LB
TBO

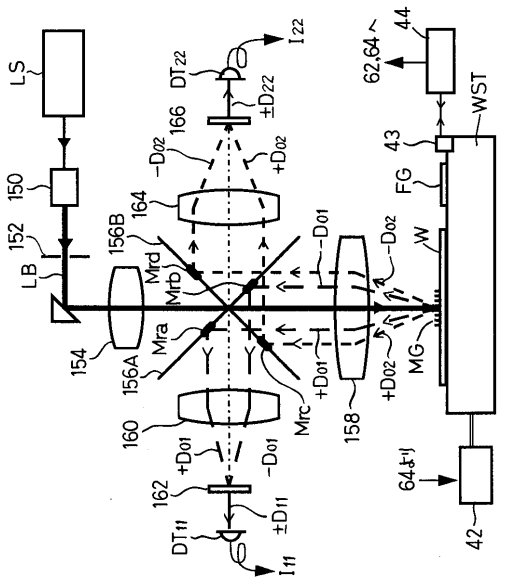
【図８】


Im1 Im02 Im20 Ims
50
A/Dコンバータ回路
Cps
52
サンプリングクロック発生回路
54
波形メモリ回路
CQ
58
56
信号振幅検出，振幅比検出回路
位相差Δφn，位置ずれ量ΔXn検出回路
C1 C2 C3
ΔX1 ΔX2 ΔX3
加重平均化回路
60
62
ΔX=(C1·ΔX1+C2·ΔX2+C3·ΔX3)/(C1+C2+C3)
ΔX
64
目標位置
位置制御、表示器
駆動系42
サーボ制御回路
干渉計44から

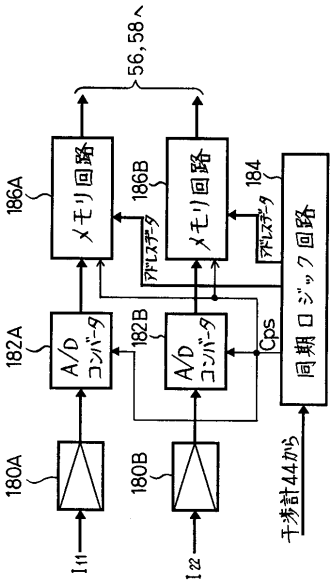
【図９】


(A)
Im1
Δφ11
E11
強度
0
時間t
(B)
Im02
Δφ02
E02
強度
0
時間t
(C)
Im20
Δφ20
E20
強度
0
時間t
(D)
Ims
強度
0
時間t
基準位相(tr)

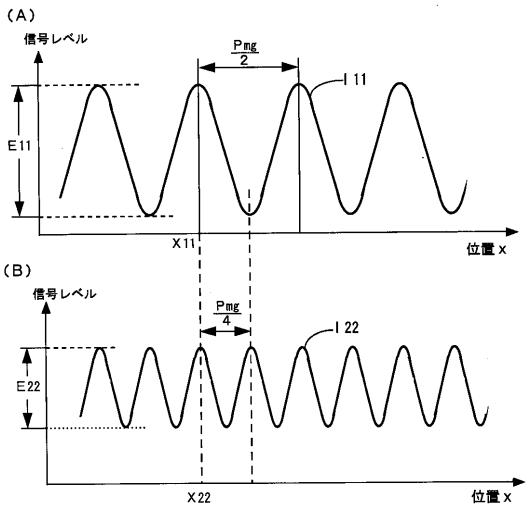
【図１０】



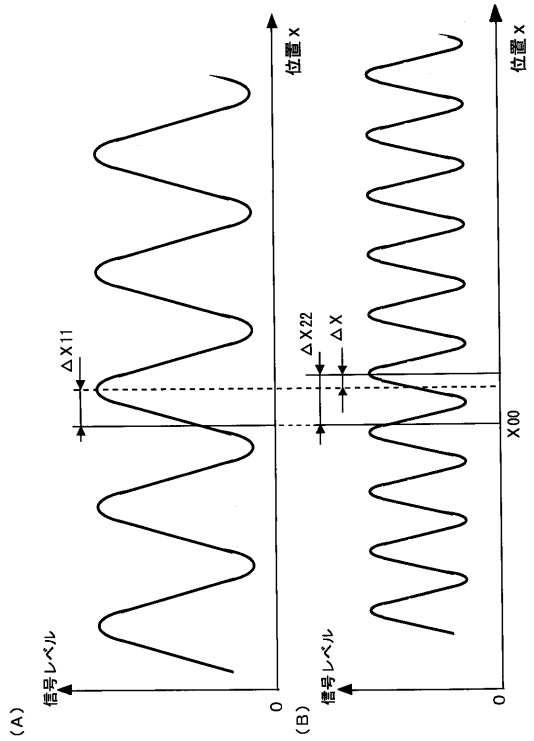
【図１１】



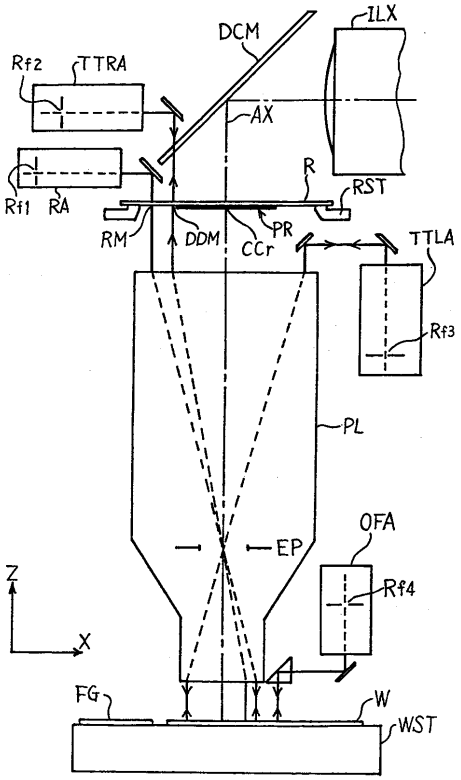
【図１２】



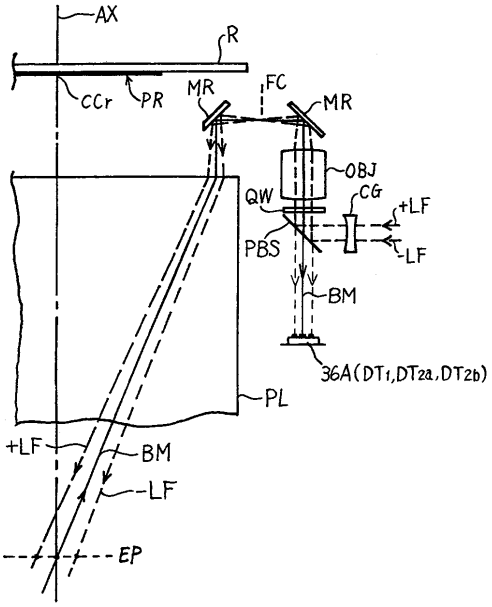
【図１３】



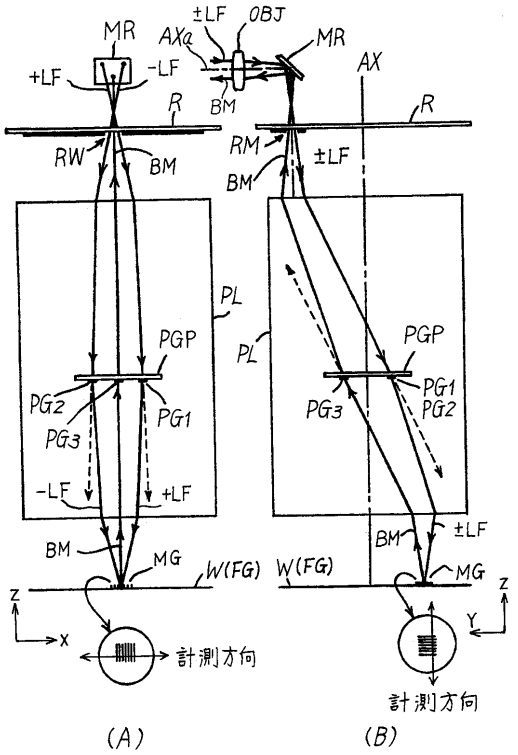
【図１４】



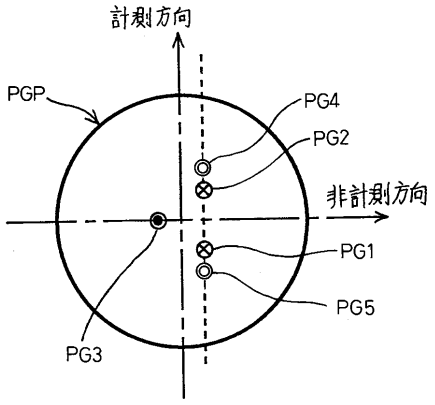
【図１５】



【図１６】



【図１７】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０３－２１６５１９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３４３２９１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１６７６１４（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－２８３０１１（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３１５２２３（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－３２０２１０（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－２１３３００（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01L 21/027
G03F 9/00
G01B 11/00