

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-192470

(P2010-192470A)

(43) 公開日 平成22年9月2日(2010.9.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 21/027 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 2 6 B	2 F 0 6 5
<b>G O 3 F 7/20 (2006.01)</b>	H O 1 L 21/30 5 1 6 A	2 G 0 8 6
<b>G O 1 B 11/24 (2006.01)</b>	G O 3 F 7/20 5 2 1	5 F 0 4 6
<b>G O 1 M 11/00 (2006.01)</b>	G O 1 B 11/24 D	
	G O 1 M 11/00 T	
審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 24 頁)		

(21) 出願番号 特願2009-31963 (P2009-31963)  
 (22) 出願日 平成21年2月13日 (2009.2.13)

(71) 出願人 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100076428  
 弁理士 大塚 康德  
 (74) 代理人 100112508  
 弁理士 高柳 司郎  
 (74) 代理人 100115071  
 弁理士 大塚 康弘  
 (74) 代理人 100116894  
 弁理士 木村 秀二  
 (74) 代理人 100130409  
 弁理士 下山 治  
 (74) 代理人 100134175  
 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

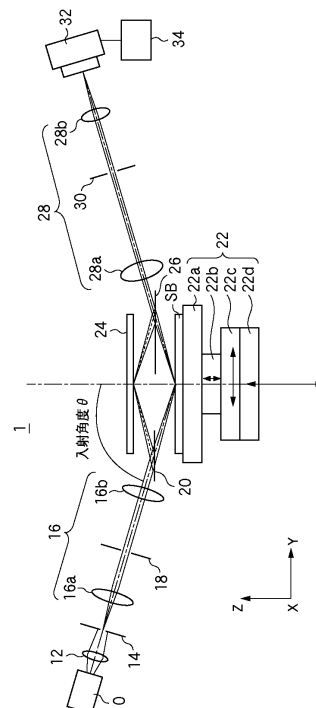
(54) 【発明の名称】 計測装置、露光装置及びデバイスの製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】光源からの光の光量ばらつきの影響を低減して、被計測面の表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測することができる技術を提供する。

【解決手段】計測面の表面形状を計測する計測装置であって、光源からの光を計測光と参照光とに分離し、計測光を被計測面の表面に入射させ、参照光を参照面に入射させる光学系と、被計測面の表面で反射した計測光の光強度と、参照面で反射した参照光の光強度と、被計測面の表面で反射した計測光と参照面で反射した参照光との干渉パターンとを検出する検出部と、検出部によって検出された干渉パターンの干渉信号に基づいて、被計測面の表面形状を算出する処理部と、を有し、処理部は、検出部によって検出された計測光の光強度、及び、参照光の光強度に基づいて、検出部によって検出された干渉パターンの干渉信号に含まれる光源からの光の光量ばらつきによる影響を低減して、被計測面の表面形状を算出する。

【選択図】 図 1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被計測面の表面形状を計測する計測装置であって、

光源からの光を計測光と参照光とに分離して、前記計測光を前記被計測面の表面に入射させ、前記参照光を参照面に入射させる光学系と、

前記被計測面の表面で反射した前記計測光の光強度と、前記参照面で反射した前記参照光の光強度と、前記被計測面の表面で反射した前記計測光と前記参照面で反射した前記参照光との干渉パターンとを検出する検出部と、

前記検出部によって検出された干渉パターンの干渉信号に基づいて、前記被計測面の表面形状を算出する処理部と、

を有し、

前記処理部は、前記検出部によって検出された前記計測光の光強度、及び、前記参照光の光強度に基づいて、前記検出部によって検出された前記干渉パターンの干渉信号に含まれる前記光源からの光の光量ばらつきによる影響を低減して、前記被計測面の表面形状を算出することを特徴とする計測装置。

## 【請求項 2】

前記処理部は、前記検出部の検出面において、前記計測光のみが入射する領域と、前記参照光のみが入射する領域と、前記計測光及び前記参照光が入射する領域とが存在するように前記被計測面又は前記参照面の位置を制御し、

前記検出部は、前記計測光のみが入射する領域で前記計測光の光強度を、前記参照光のみが入射する領域で前記参照光の光強度を、前記計測光及び前記参照光が入射する領域で前記干渉パターンを検出することを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

## 【請求項 3】

前記被計測面及び前記参照面と前記検出部との間に配置され、前記被計測面の表面で反射した前記計測光と前記参照面で反射した前記参照光との合成光を分離する光学素子を更に有することを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

## 【請求項 4】

前記干渉パターンの干渉信号を  $I_r(Z)$ 、前記計測光の光強度を  $M(Z)$ 、前記参照光の光強度  $R(Z)$  とすると、

前記処理部は、前記干渉パターンの干渉信号に含まれる前記光源からの光の光量ばらつきによる影響を低減した信号  $I_r''(Z)$  を

$$I_r''(Z) = \frac{I_r(Z) - (R(Z) + M(Z))}{\sqrt{R(Z)M(Z)}}$$

の式に従って算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の計測装置。

## 【請求項 5】

前記処理部は、前記干渉パターンの干渉信号をフーリエ変換して位相成分、及び、振幅成分を算出し、前記位相成分、前記振幅成分、前記計測光の光強度、及び、前記参照光の光強度に基づいて、前記干渉パターンの干渉信号に含まれる前記光源からの光の光量ばらつきによる影響を低減した信号を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の計測装置。

## 【請求項 6】

レチクルを照明する照明光学系と、

前記レチクルのパターンを基板に投影する投影光学系と、

前記基板の表面形状を計測する計測装置と、

前記計測装置によって計測された前記基板の表面形状に基づいて前記基板の位置を調整するステージとを有し、

前記計測装置は、請求項 1 乃至 5 のうちいずれか一項に記載の計測装置であることを特徴とする露光装置。

10

20

30

40

50

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の露光装置を用いて基板を露光するステップと、  
露光された前記基板を現像するステップと、  
を有することを特徴とするデバイスの製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、計測装置、露光装置及びデバイスの製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

10

フォトリソグラフィ技術を用いて微細な半導体デバイスを製造する際に、レチクル（マスク）に形成されたパターンを、投影光学系を介してウエハ等の基板に投影してパターンを転写する露光装置が使用されている。

## 【0003】

露光装置においては、半導体デバイスの微細化及び高集積化に伴い、より高い解像度でレチクルのパターンを基板に転写すること、及び、露光領域を拡大することが要求されている。このような要求を達成するために、近年では、ステップ・アンド・リピート方式の露光装置（ステッパー）からステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（スキャナー）が主流となってきている。

## 【0004】

20

これらの露光装置では、露光中（又は露光前）において、光斜入射系の表面形状（表面位置）計測手段を用いて基板の所定の位置における表面位置を計測し、かかる所定の位置を露光する際に基板の表面を最適な結像位置に合わせ込む補正を行っている。特に、スキャナーでは、露光スリットの長手方向（即ち、走査方向に垂直な方向）について、基板の表面位置の高さ（フォーカス）だけではなく、表面の傾き（チルト）も計測している。

## 【0005】

このようなフォーカス及びチルトを計測する技術に関しては、幾つか提案されている（特許文献 1 乃至 3 参照）。例えば、特許文献 1 や特許文献 2 には、光学式のセンサを用いた技術が開示されている。また、特許文献 3 には、基板に空気を吹き付けて表面位置を計測するガスゲージセンサを用いた技術が開示されている。更には、静電容量センサを用いた技術も提案されている。

30

## 【0006】

一方、近年では、露光光の短波長化及び投影光学系の高 N A 化が進み、焦点深度が極めて小さくなっているため、露光すべき基板の表面を最良結像位置に合わせ込む精度、所謂、フォーカス精度もますます厳しくなっている。そこで、基板の表面（被計測面）からの光（計測光）と参照面からの光（参照光）との干渉による干渉パターン（干渉信号）に基づいて基板の表面形状（表面位置）を計測することで、計測精度を向上させる技術が注目されている。

## 【0007】

40

かかる技術は、光源から射出された高帯域な波長幅の光を 2 つの光に分離し、一方の光を被計測面に、他方の光を参照面に斜入射させる。そして、被計測面で反射した計測光と参照面で反射した参照光を合成して、計測光と参照光との干渉による干渉パターン（干渉信号）を検出する。干渉信号は、被計測面を所定の方向（高さ（フォーカス）方向）に駆動しながら検出され、かかる干渉信号の変化から被計測面の表面形状を求めることができる。

## 【0008】

これらの技術は、広帯域な波長幅の光を用いることで可干渉距離を短くし、単色光を用いる場合と比べて、計測レンジを広く設定することができる。また、基板に塗布されたレジスト（感光剤）に起因する干渉信号誤差を低減できるという利点もある。

## 【先行技術文献】

50

## 【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開平6-260391号公報

【特許文献2】米国特許第6249351号明細書

【特許文献3】特表2006-514744号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、従来技術では、光源の出力に時間的な変動がある場合に、干渉信号に加わるノイズ（光量ノイズ）が大きくなり、表現形状の計測精度や再現性が悪化してしまう。干渉信号はある有限の時間範囲で得られるため、かかる時間範囲において光源の出力に変動があると、各計測位置（被計測面の各駆動位置）における光量変動が発生し、計測点ごとに異なる光量となってしまう。従って、干渉信号のピーク位置を求める際の精度が悪化し、最終的に、表面形状の計測精度や再現性が悪化することになる。

10

【0011】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされ、光源からの光の光量ばらつきの影響を低減して、被計測面の表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測することができる技術を提供することを例示的目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

【0012】

20

上記目的を達成するために、本発明の一側面としての計測装置は、計測面の表面形状を計測する計測装置であって、光源からの光を計測光と参照光とに分離して、前記計測光を前記被計測面の表面に入射させ、前記参照光を参照面に入射させる光学系と、前記被計測面の表面で反射した前記計測光の光強度と、前記参照面で反射した前記参照光の光強度と、前記被計測面の表面で反射した前記計測光と前記参照面で反射した前記参照光との干渉パターンとを検出する検出部と、前記検出部によって検出された干渉パターンの干渉信号に基づいて、前記被計測面の表面形状を算出する処理部と、を有し、前記処理部は、前記検出部によって検出された前記計測光の光強度、及び、前記参照光の光強度に基づいて、前記検出部によって検出された前記干渉パターンの干渉信号に含まれる前記光源からの光の光量ばらつきによる影響を低減して、前記被計測面の表面形状を算出することを特徴とする。

30

【0013】

本発明の更なる目的又はその他の側面は、以下、添付図面を参照して説明される好ましい実施形態によって明らかにされるであろう。

## 【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、例えば、光源からの光の光量ばらつきの影響を低減して、被計測面の表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測する技術を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【0015】

40

【図1】本発明の一側面としての計測装置の構成を示す概略図である。

【図2】図1に示す計測装置の検出部において検出される干渉信号（白色干渉信号）の一例を示す図である。

【図3】図1に示す計測装置における基板の表面形状の計測処理を説明するためのフローチャートである。

【図4】図1に示す計測装置において、検出部（の検出面）における計測光と参照光との位置関係の一例を示す図である。

【図5】図1に示す計測装置において、検出部（の検出面）における計測光と参照光との位置関係の一例を示す図である。

【図6】図1に示す計測装置における基板の表面形状の計測処理を説明するためのフロー

50

チャートである。

【図 7】図 6 に示すフローチャートのステップ S 6 0 8 における光源の出力の変動の影響を低減した信号の算出を説明するための図である。

【図 8】基板の反射率と参照ミラーの反射率とが同じである場合に、検出部で検出される計測光の光強度、参照光の光強度、及び、干渉縞の干渉信号を示す図である。

【図 9】基板の反射率が参照ミラーの反射率よりも低い場合に、検出部で検出される計測光の光強度、参照光の光強度、及び、干渉縞の干渉信号を示す図である。

【図 10】基板の反射率が参照ミラーの反射率よりも低い場合において、光源を調整した後に検出部で検出される計測光の光強度、参照光の光強度、及び、干渉縞の干渉信号を示す図である。

10

【図 11】基板の反射率が参照ミラーの反射率よりも高い場合に、検出部で検出される計測光の光強度、参照光の光強度、及び、干渉縞の干渉信号を示す図である。

【図 12】基板の反射率が参照ミラーの反射率よりも高い場合において、光源を調整した後に検出部で検出される計測光の光強度、参照光の光強度、及び、干渉縞の干渉信号を示す図である。

【図 13】本発明の一側面としての計測装置の構成を示す概略図である。

【図 14】図 13 に示す計測装置において、検出部で検出される干渉縞の干渉信号の一例を示す図である。

【図 15】本発明の一側面としての計測装置の構成を示す概略図である。

20

【図 16】本発明の一側面としての露光装置の構成を示す概略図である。

【図 17】図 16 に示す露光装置のフォーカス制御用センサの構成を示す概略図である。

【図 18】図 16 に示す露光装置の露光動作を説明するためのフローチャートである。

【図 19】図 18 に示すステップ S 1 0 3 0 及びステップ S 1 0 4 0 のフォーカス較正シーケンスの詳細なフローチャートである。

【図 20】フォーカス較正シーケンスにおける第 1 のオフセット及び第 2 のオフセットを説明するための図である。

【図 21】図 18 に示すステップ S 1 0 5 0 の露光シーケンスの詳細なフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

30

【0016】

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施の形態について説明する。なお、各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0017】

図 1 は、本発明の一側面としての計測装置 1 の構成を示す概略図である。計測装置 1 は、被計測面としての基板 S B の表面の位置（Z 軸方向の位置）、即ち、基板 S B の表面形状を計測する。基板 S B は、例えば、露光装置においてレチクルのパターンが転写されるウエハである。

【0018】

計測装置 1 は、光源 1 0 と、光源 1 0 からの光を集光するコンデンサーレンズ 1 2 と、スリット板 1 4 と、レンズ 1 6 a 及び 1 6 b を含む結像光学系 1 6 と、開口絞り 1 8 と、光源 1 0 からの光を 2 つの光に分離するビームスプリッタ 2 0 とを有する。また、計測装置 1 は、基板チャック 2 2 a、Z ステージ 2 2 b、Y ステージ 2 2 c 及び X ステージ 2 2 d を含んで基板 S B を支持及び駆動するステージ系 2 2 と、参照ミラー（参照面）2 4 とを有する。また、計測装置 1 は、基板 S B で反射した光（計測光）と参照ミラー（参照面）2 2 で反射した光（参照光）とを合成する（即ち、計測光と参照光との合成光を生成する）ビームスプリッタ 2 6 と、レンズ 2 8 a 及び 2 8 b を含む結像光学系 2 8 とを有する。更に、計測装置 1 は、開口絞り 3 0 と、C C D や C M O S などの撮像素子又はフォトディテクタなどの光量検出素子で構成される検出部 3 2 と、処理部 3 4 とを有する。なお、処理部 3 4 は、計測装置 1 における計測処理だけではなく、計測装置 1 の全体を制御する機能を有する。

40

50

## 【 0 0 1 9 】

以下、計測装置 1 の動作及び計測装置 1 の構成要素の機能などについて詳細に説明する。

## 【 0 0 2 0 】

光源 1 0 は、本実施形態では、広帯域な波長幅の光を発する L E D (例えば、白色 L E D) 又はハロゲンランプを使用する。光源 1 0 からの光の波長帯域は、1 0 0 n m 以上の波長帯域、具体的には、4 0 0 n m 乃至 8 0 0 n m の波長帯域であることが好ましい。但し、基板 S B にレジスト (感光剤) が塗布されている場合には、レジストの感光を防止するために、紫外線 (3 5 0 n m) 以下の波長帯域の光を基板 S B に照射しないことが好ましい。光源 1 0 からの光の偏光状態は、本実施形態では、無偏光又は円偏光の状態である。

10

## 【 0 0 2 1 】

光源 1 0 からの光は、コンデンサーレンズ 1 2 を介して、スリット板 1 4 に集光される。スリット板 1 4 は、矩形形状の透過領域又はメカ絞りを有し、結像光学系 1 6 を介して、スリット板 1 4 の透過領域の像が基板 S B 及び参照ミラー 2 4 に結像される。但し、スリット板 1 4 の透過領域は、矩形形状 (スリット) に限らず、円形形状 (ピンホール) であってもよい。

## 【 0 0 2 2 】

結像光学系 1 6 を通過した光の主光線は、入射角度 で基板 S B に入射する。また、結像光学系 1 6 と基板 S B との間の光路にはビームスプリッタ 2 0 が配置されているため、結像光学系 1 6 を通過した光のうち略半分の光量の光はビームスプリッタ 2 0 で反射され、入射角度 で参照ミラー 2 4 に入射する。ここで、ビームスプリッタ 2 0 としては、例えば、金属膜や誘電体多層膜などをスプリット膜としたプリズム型ビームスプリッタ、或いは、1  $\mu$  m 乃至 5  $\mu$  m 程度の薄い厚さの膜 (材質は S i C や S i N など) で構成されるペリクル型ビームスプリッタを使用する。

20

## 【 0 0 2 3 】

基板 S B に入射する光の入射角度 が大きくなると、基板 S B に塗布された薄膜 (例えば、レジスト) 表面からの反射率が、かかる薄膜の裏面 (即ち、薄膜と基板との界面) からの反射率に対して相対的に強くなる。従って、基板 S B に塗布された薄膜の表面形状を計測する場合には、入射角度 は大きいほど好ましい。但し、入射角度 が 9 0 度に近くなると、光学系の組み立てが難しくなるため、入射角度 は 7 0 度乃至 8 5 度であることが好ましい。

30

## 【 0 0 2 4 】

ビームスプリッタ 2 0 を透過して基板 S B に入射した光は、基板 S B で反射されてビームスプリッタ 2 6 に入射する。一方、ビームスプリッタ 2 0 で反射されて参照ミラー 2 4 に入射した光は、参照ミラー 2 4 で反射されてビームスプリッタ 2 6 に入射する。以下では、基板 S B で反射した光を計測光とし、参照ミラー 2 4 で反射した光を参照光とする。なお、参照ミラー 2 4 としては、1 0 n m 乃至 2 0 n m 程度の面精度を有するアルミ平面ミラー、或いは、同程度の面精度を有するガラス平面ミラーなどを使用することができる。

40

## 【 0 0 2 5 】

基板 S B で反射した計測光及び参照ミラー 2 4 で反射した参照光は、ビームスプリッタ 2 6 で合成され、検出部 3 2 に入射する。ビームスプリッタ 2 6 としては、ビームスプリッタ 2 0 と同様に、プリズム型ビームスプリッタやペリクル型ビームスプリッタを使用する。

## 【 0 0 2 6 】

また、ビームスプリッタ 2 6 と検出部 3 2 との間の光路には、結像光学系 2 8 及び開口絞り 3 0 が配置されている。レンズ 2 8 a 及び 2 8 b は、両側テレセントリックな結像光学系 2 8 を構成し、基板 S B の表面を検出部 3 2 の検出面に結像させる。従って、本実施形態では、スリット板 1 4 の透過領域が、結像光学系 1 6 によって基板 S B 及び参照ミラ

50

ー 2 4 に結像し、更に、結像光学系 2 8 によって検出部 3 2 の検出面に再結像する。検出部 3 2 の検出面では、計測光と参照光とが重なって（即ち、干渉して）干渉縞（干渉パターン）を形成する。なお、結像光学系 2 8 の瞳位置に配置された開口絞り 3 0 は、結像光学系 2 8 の開口数（NA）を規定し、本実施形態では、 $\sin(0.1 \text{ 度})$  乃至  $\sin(5 \text{ 度})$  程度の非常に小さな NA を規定している。

#### 【0027】

ここで、検出部 3 2 の検出面に形成される干渉縞の干渉信号の検出（取得）方法について説明する。上述したように、基板 S B は、基板 S B を保持する基板チャック 2 2 a、及び、基板 S B の位置合わせを行う Z ステージ 2 2 b、Y ステージ 2 2 c 及び X ステージ 2 2 d を含むステージ系 2 2 に支持されている。計測光と参照光との干渉縞の干渉信号を検出部 3 2 で検出するためには、Z ステージ 2 2 b を駆動すればよい。また、基板 S B の計測領域を変更する場合には、Y ステージ 2 2 c 又は X ステージ 2 2 d を用いて、基板 S B の所望の領域が検出部 3 2 の検出領域に位置するように位置合わせを行う。なお、Z ステージ 2 2 b、Y ステージ 2 2 c 及び X ステージ 2 2 d の位置を高精度に制御するためには、X 軸、Y 軸、Z 軸及び  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  のチルト軸の 5 軸にレーザー干渉計を配置すればよい。かかるレーザー干渉計の出力に基づいてクローズドループ制御を行うことで、基板 S B の表面形状をより高精度に計測することができる。特に、基板 S B を複数の領域に分けて計測して基板 S B の全体の表面形状を求める場合には、レーザー干渉計を用いることで、より正確に形状データのつなぎ合わせ（ステッチング）を行うことが可能となる。

#### 【0028】

次に、検出部 3 2 で検出（取得）された干渉縞の干渉信号に基づいて基板 S B の表面形状を算出する処理について説明する。かかる処理は処理部 3 4 で実行され、処理部 3 4 で算出された基板 S B の表面形状は、例えば、図示しない記憶部に記憶されたり、図示しない表示部に表示されたりする。図 2 は、検出部 3 2 において検出される干渉信号（白色干渉信号）の一例を示す図である。ここでは、検出部 3 2 として 2 次元の撮像素子を用いた場合に検出される干渉信号を示している。かかる干渉信号はインターフェログラムとも呼ばれる。図 2 では、横軸に Z ステージ 2 2 b の位置（具体的には、Z 軸測長干渉計又は静電容量センサによって測定された測定値）を採用し、縦軸に検出部 3 2 の出力（光強度）を採用している。なお、検出部 3 2 で検出された干渉信号は、処理部 3 4 の記憶部に記憶されている。

#### 【0029】

図 2 に示す干渉信号から算出される信号ピーク位置に対応する Z ステージ 2 2 b の位置（Z 軸測長干渉計による測定値）が、その計測領域（即ち、撮像素子の画素）での基板 S B の高さである。検出部 3 2 としての 2 次元の撮像素子の各画素での基板 S B の高を求めることで、基板 S B の三次元形状を計測することが可能となる。干渉信号の信号ピーク位置を算出するためには、信号ピーク位置及びかかる信号ピーク位置の前後の数点のデータに基づいて曲線（例えば、2 次関数）近似すればよい。これにより、図 2 における横軸（Z ステージ 2 2 b の位置）のサンプリングピッチ  $Z_p$  の  $1/10$  乃至  $1/50$  程度の分解能で信号ピーク位置を算出することができる。なお、サンプリングピッチ  $Z_p$  は、実際に Z ステージ 2 2 b を等ピッチでステップ駆動する際のピッチで決定される。但し、基板 S B の表面形状計測の高速性を考慮する場合には、Z ステージ 2 2 b を等速度で駆動し、検出部 3 2 の検出タイミングに同期して Z 軸測長干渉計の出力（Z ステージ 2 2 b の位置）を取り込むことが好ましい。

#### 【0030】

また、信号ピーク位置の算出精度を向上させるためには、図 2 に示す干渉信号のピーク強度  $I_{\max}$  が検出部 3 2 の電気ノイズに対して十分に高く、且つ、コントラスト（ $(I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})$ ）が 0.75 以上であることが好ましい。なお、ピーク強度  $I_{\max}$  が検出部 3 2 の電気ノイズ強度に対して十分に高いとは、例えば、ピーク強度  $I_{\max}$  が検出部 3 2 の最大感度の 80% 乃至 90% であることを意味する。従って、このような干渉信号が得られるように、検出部 3 2 の最大感度の 80% 乃至

10

20

30

40

50

90%を光量設定ターゲット（調光トランス）として光源10を調整することが必要である。

【0031】

また、干渉信号の信号ピーク位置を算出する方法としては、米国特許第5398113号に開示されているFDA（Frequency Domain Analysis）法を用いることも可能である。FDA法は、フーリエスペクトルの位相勾配を用いてコントラストのピーク位置を算出する。

【0032】

このように、白色干渉方式においては、その分解能と精度を決める要素は、計測光と参照光との光路長差が0となる位置をいかに正確に求めるかにある。従って、位相シフト法やフーリエ変換法によって干渉縞の包絡線を求め、コントラストの最大位置から光路長差が0となる位置を求める方法、位相クロス法などを干渉信号の信号ピーク位置を算出する方法として用いることも可能である。

【0033】

計測装置1において、光源10の出力の変動（光源10からの光の光量ばらつき）は干渉信号に対するノイズとなるため、表現形状の計測精度や再現性の悪化を招く。光源10の出力の変動による計測精度や再現性の悪化を抑えるためには、光源10の出力の変動を検出して補正すればよい。例えば、光源10からの光を表面形状計測用の光と出力変動検出用の光とに分離して光源10の出力の変動を検出することが考えられるが、この場合、出力変動検出用の光を検出する構成が必要になってしまう。また、表面形状計測用の光と出力変動検出用の光とを分離する光学素子の経時変化及び劣化、空気揺らぎなどの影響によって、光源10の出力の変動を高精度に検出できないこともある。更には、光源10からの光の一部を出力変動検出用の光として用いるため、表面形状計測用の光（即ち、計測光及び参照光）の光量が低下してしまう。

【0034】

そこで、本実施形態では、検出部32において、基板SBの表面で反射した計測光の光強度と、参照ミラー24で反射した参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを検出する。この際、基板SBの表面で反射した計測光の光強度、参照ミラー24で反射した参照光の光強度及び計測光と参照光との干渉縞は、同時（並行的）に検出されることが好ましい。そして、処理部34は、計測光の光強度、及び、参照光の光強度に基づいて、計測光と参照光との干渉縞の干渉信号から光源10の出力の変動（光源10からの光の光量ばらつき）の影響を低減して、基板SBの表面形状を算出する。

【0035】

以下、図3を参照して、計測装置1における計測処理について説明する。かかる計測処理は、基板SBの表面形状を計測する処理であって、処理部34が計測装置1の各部を統括的に制御することで実行される。

【0036】

ステップS302では、検出部32において、基板SBの表面で反射した計測光の光強度と、参照ミラー24で反射した参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出する。

【0037】

斜入射方式の干渉計では、一般的に、光源から検出部までにおいて、計測光と参照光との光路長差が0、且つ、計測光と参照光との相対位置ずれが0になるように調整されている。これは、計測光と参照光との光路長差が0、且つ、計測光と参照光との相対位置ずれが0であるときの干渉信号のコントラストが最も高く、計測誤差の低減や再現性の向上に寄与するからである。

【0038】

また、計測装置1において、基板SBの表面形状計測の高速性を考慮すると、基板SBは、Z軸の一方向（即ち、Z軸の+方向又は-方向）のみに駆動することが好ましい。この場合、基板SBの駆動開始時の干渉信号は全体の干渉信号の裾部分に相当し、検出部3

10

20

30

40

50



2 ( の検出面 ) 上の計測光と参照光との位置関係は図 4 に示すようになる。そして、基板 S B の駆動に従って干渉信号のピークが得られ、検出部 3 2 ( の検出面 ) 上の計測光と参照光との位置関係は図 5 に示すようになる。なお、図 5 に示す位置関係は、計測光と参照光との光路長差が 0、且つ、計測光と参照光との相対位置ずれが 0 となるように計測装置 1 を調整した場合の検出部 3 2 ( の検出面 ) 上の計測光と参照光との位置関係でもある。

#### 【 0 0 3 9 】

基板 S B を Z 軸の一方向に駆動した場合、駆動開始時には、検出部 3 2 上の計測光と参照光との位置関係がずれているため、計測光と参照光とが重なる領域 R 3 だけではなく、計測光と参照光とが重ならない領域 R 1 及び R 2 が存在している ( 図 4 参照 )。換言すれば、基板 S B の駆動開始時には、検出部 3 2 の検出面において、計測光のみが入射する領域 R 1 と、参照光のみが入射する領域 R 2 と、計測光及び参照光が入射する領域 R 3 とが存在している。そして、基板 S B を駆動するにつれて、計測光と参照光との位置ずれがなくなり、計測光と参照光とが重なる ( 即ち、計測光及び参照光が入射する ) 領域 R 3 だけが存在することになる ( 図 5 参照 )。

#### 【 0 0 4 0 】

従って、本実施形態では、処理部 3 4 は、検出部 3 2 の検出面において、計測光のみが入射する領域 R 1 と、参照光のみが入射する領域 R 2 と、計測光及び参照光が入射する領域 R 3 とが存在するように基板 S B の位置を制御する。これにより、検出部 3 2 において、計測光の光強度と、参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出することができる。具体的には、検出部 3 2 は、計測光のみが入射する領域 R 1 で計測光の光強度を、参照光のみが入射する領域 R 2 で参照光の光強度を、計測光及び参照光が入射する領域 R 3 で干渉縞を検出する。

#### 【 0 0 4 1 】

なお、処理部 3 4 は、計測光と参照光との光路長差が 0、且つ、計測光と参照光との相対位置ずれが生じるように参照ミラー 2 4 の位置を制御してもよい。このように参照ミラー 2 4 の位置を制御することで、検出部 3 2 の検出面において、計測光のみが入射する領域 R 1 と、参照光のみが入射する領域 R 2 と、計測光及び参照光が入射する領域 R 3 とを存在させることができる。

#### 【 0 0 4 2 】

なお、本実施形態では、1つの撮像素子で検出部 3 2 を構成し、計測光の光強度と、参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出している。但し、検出部 3 2 は、計測光の光強度と、参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出することができる構成を有していればよい。例えば、計測光の光強度を検出する光量検出素子と、参照光の光強度を検出する光量検出素子と、計測光と参照光との干渉縞のそれぞれを検出する撮像素子とで検出部 3 2 を構成してもよい。

#### 【 0 0 4 3 】

ステップ S 3 0 4 では、ステップ S 3 0 2 で検出した計測光の光強度、及び、参照光の光強度に基づいて、ステップ S 3 0 2 で検出した干渉縞の干渉信号に含まれる光源 1 0 の出力の変動 ( 光源 1 0 からの光の光量ばらつき ) の影響を低減する。以下に具体的に説明するように、本実施形態では、干渉縞の干渉信号に含まれる光源 1 0 の出力の変動の影響を低減した信号を算出する。

#### 【 0 0 4 4 】

干渉縞の干渉信号  $I ( Z )$  は、以下の式 1 で表される。但し、式 1 において、 $k$  は光源 1 0 からの光の波数 ( 波長 )、 $I ( k )$  は分光強度 ( 波長に対する強度 )、 $R_m$  は計測光の光強度、 $R_r$  は参照光の光強度、 $\theta_{in}$  は入射角度、 $Z$  は Z ステージ 2 2 b の位置、 $\phi_m$  は計測光の位相成分、 $\phi_r$  は参照光の位相成分である。

#### 【 0 0 4 5 】

【数 1】

$$I(Z) = \sum_k \left[ \frac{I(k)}{2} (Rr + Rm) + 2 \frac{I(k)}{2} \sqrt{RrRm} \times \cos\{2k \cos(\theta_m)Z + (\varphi_m - \varphi_r)\} \right] \quad \dots (式1)$$

【0046】

式1において、光源10の出力の変動が含まれる変数は、計測光の光強度Rm及び参照光の光強度Rrであるため、式1から計測光の光強度Rm及び参照光の光強度Rrを除去する。

【0047】

式1において、I(Z)から(Rr + Rm)に係る項を減算すると、以下の式2で表される信号I'(Z)が得られる。 10

【0048】

【数 2】

$$I'(Z) = \sum_k \left[ 2 \frac{I(k)}{2} \sqrt{RrRm} \times \cos\{2k \cos(\theta_m)Z + (\varphi_m - \varphi_r)\} \right] \quad \dots (式2)$$

【0049】

式2において、I'(Z)を(RrRm)を除算すると、以下の式3で表される信号I''(Z)が得られる。 20

【0050】

【数 3】

$$I''(Z) = \sum_k \left[ 2 \frac{I(k)}{2} \times \cos\{2k \cos(\theta_m)Z + (\varphi_m - \varphi_r)\} \right] \quad \dots (式3)$$

【0051】

式3で表される信号I''(Z)には計測光の光強度Rm及び参照光の光強度Rrが含まれておらず、光源10の出力の変動(光源10からの光の光量ばらつき)の影響が低減(除去)されていることがわかる。 30

【0052】

実際には、干渉パターンの干渉信号をIr(Z)、計測光の光強度をM(Z)、参照光の光強度R(Z)とすると、以下の式4に従って、光源10の出力の変動(光源10からの光の光量ばらつき)の影響を低減した信号Ir''(Z)を算出すればよい。

【0053】

【数 4】

$$Ir''(Z) = \frac{Ir(Z) - (R(Z) + M(Z))}{\sqrt{R(Z)M(Z)}} \quad \dots (式4)$$

【0054】

ステップS306では、光源10の出力の変動の影響を低減した信号(即ち、ステップS304で算出された信号Ir''(Z))から信号ピーク位置を算出する。なお、信号ピーク位置の算出は上述した通りであるため、ここでの詳細な説明は省略する。 40

【0055】

ステップS308では、ステップS306で算出した信号ピーク位置に基づいて、基板SBの表面形状を算出する。なお、基板SBの表面形状を算出は上述した通りであるため、ここでの詳細な説明は省略する。

【0056】

このように、本実施形態では、光源10の出力の変動の影響を低減した信号から信号ピーク位置を算出し、かかる信号ピーク位置から基板SBの表面形状を算出している。従っ 50

て、計測装置 1 は、光源 10 からの光の光量ばらつきの影響を低減して、被計測面の表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測することができる。

【0057】

また、図 6 に示すように、検出部 32 で検出された干渉パターンの干渉信号をフーリエ変換することで、光源 10 の出力の変動（光源 10 からの光の光量ばらつき）の影響を低減した信号を算出することもできる。図 6 は、計測装置 1 における別の計測処理を説明するためのフローチャートである。

【0058】

ステップ S 602 では、検出部 32 において、基板 S B の表面で反射した計測光の光強度と、参照ミラー 24 で反射した参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出する。

10

【0059】

ステップ S 604 では、ステップ S 602 で検出された干渉縞の干渉信号をフーリエ変換して振幅成分、即ち、光源 10 及びその他の光学部材による分光強度を算出する。なお、被計測面として、例えば、基準プレートなどを用いる場合には、分光器などによって、光源 10 及びその他の光学部材による分光強度を予め取得していてもよい。

【0060】

ステップ S 606 では、ステップ S 602 で検出された干渉縞の干渉信号をフーリエ変換して位相分布を算出する。

【0061】

20

ステップ S 608 では、ステップ S 602 で検出した干渉縞の干渉信号に含まれる光源 10 の出力の変動（光源 10 からの光の光量ばらつき）の影響を低減する。本実施形態では、ステップ S 602 で検出した計測光の光強度、参照光の光強度、ステップ S 604 で算出した振幅成分、及び、ステップ S 606 で算出した位相分布に基づいて、光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号を算出する。

【0062】

図 7 は、ステップ S 608 における光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号の算出を説明するための図である。図 7 (a) は、ステップ S 604 で算出した振幅成分（分光強度）を示す図であって、横軸に光源 10 からの光の波数  $k$  を、縦軸に強度  $I$  を採用している。図 7 (b) は、ステップ S 606 で算出した位相分布を示す図であって、横軸に光源 10 からの光の波数  $k$  を、縦軸に位相を採用している。図 7 (c) は、基板 S B を Z 軸方向に駆動した各位置において検出した計測光の光強度  $M$  及び参照光の光強度  $R$  を示す図であって、横軸に Z ステージ 22 b の位置を、縦軸に強度を採用している。

30

【0063】

ステップ S 608 では、図 7 (a) 乃至図 7 (c) に示す各種情報に基づいて、式 1 を用いて光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号を算出する。具体的には、式 1 において、 $I(k)$  については図 7 (a) に示す振幅成分を、 $(I_m - I_r)$  については図 7 (b) に示す位相成分を、 $R_m$  について図 7 (c) に示す計測光の光強度  $M$  を、 $R_r$  については図 7 (c) に示す参照光の光強度  $R$  を用いる。ここで、計測光の光強度  $M$  及び参照光の光強度  $R$  について、基板 S B を Z 軸方向に駆動した全域における平均値を用いれば、光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号が算出される。また、基板 S B の Z 軸方向の各位置における計測光の光強度  $M$  及び参照光の光強度  $R$  を用いて干渉信号の強度の変動を求め、かかる変動を干渉信号から除去してもよい。

40

【0064】

ステップ S 610 では、光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号（即ち、ステップ S 608 で算出された信号）から信号ピーク位置を算出する。

【0065】

ステップ S 612 では、ステップ S 610 で算出した信号ピーク位置に基づいて、基板 S B の表面形状を算出する。

【0066】

50

このように、検出部 32 で検出された干渉パターンの干渉信号をフーリエ変換することでも光源 10 の出力の変動の影響を低減した信号を算出することが可能であり、被計測面の表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測することができる。

#### 【0067】

なお、基板 S B の表面形状を計測する際、参照ミラー 24 の表面反射率は一定であるため、検出部 32 で検出される参照光の光量は変化しないが、基板 S B は材質によって表面反射率が変わるため、検出部 32 で検出される計測光の光量は変化してしまう。その結果、計測光と参照光との干渉による干渉信号の光強度及びコントラストが低下し、ノイズの影響も含めて表面形状の計測精度が低下する可能性がある。

#### 【0068】

例えば、基板 S B の反射率と参照ミラー 24 の反射率とが同じである場合に（検出部 32 における計測光の光量：参照光の光量 = 1 : 1）、検出部 32 で検出される計測光の光強度及び参照光の光強度を図 8 (a) に、干渉縞の干渉信号を図 8 (b) に示す。このとき、図 8 (b) に示す干渉信号の強度ピークは、 $1 + 1 + 2 \times (1 \times 1) = 4.0$  である。

#### 【0069】

基板 S B の反射率が参照ミラー 24 の反射率よりも低い場合に（検出部 32 における計測光の光量：参照光の光量 = 0.2 : 1）、検出部 32 で検出される計測光の光強度及び参照光の光強度を図 9 (a) に、干渉縞の干渉信号を図 9 (b) に示す。このとき、図 9 (b) に示す干渉信号の強度ピークは、 $1 + 0.2 + 2 \times (1 \times 0.2) = 2.1$  である。なお、光源 10 からの光の光量を A とする。このように、干渉信号の強度ピークやコントラストが低い場合、空気揺らぎや検出部 32 のノイズの影響で表面形状の計測精度が低下してしまう。検出部 32 の電氣的な出力ゲインを上げることで計測精度の低下を防止することが考えられるが、検出部 32 の電気ノイズも大きくなるため好ましくない。そこで、本実施形態では、検出部 32 における計測光の光強度と参照光の光強度との強度比に基づいて、光源 10 からの光の光量を調整する。具体的には、光源 10 からの光の光量が  $A \times 4.0 / 2.1 (= A \times 1.9)$  となるように、光源 10 を調整する。これにより、検出部 32 で検出される計測光の光強度及び参照光の光強度は図 10 (a) に示すように、干渉縞の干渉信号は図 10 (b) に示すようになり、干渉信号の強度ピーク及びコントラストを向上させることができる。

#### 【0070】

一方、基板 S B の反射率が参照ミラー 24 の反射率よりも高い場合に（検出部 32 における計測光の光量：参照光の光量 = 2 : 1）、検出部 32 で検出される計測光の光強度及び参照光の光強度を図 11 (a) に、干渉縞の干渉信号を図 11 (b) に示す。このとき、図 11 (b) に示す干渉信号の強度ピークは、 $1 + 2 + 2 \times (1 \times 2) = 5.8$  となり、検出部 32 の出力限界を超えて（飽和）してしまう。なお、光源 10 からの光の光量を A とする。このように、干渉信号の強度ピークが検出部 32 の出力限界を超えた場合、光源 10 の調整（最適化）は非常に困難であるが、本実施形態では、検出部 32 における計測光の光強度と参照光の光強度との強度比に基づいて、光源 10 からの光の光量を調整する。具体的には、光源 10 からの光の光量が  $A \times 4.0 / 5.8 (= A \times 0.69)$  となるように、光源 10 を調整する。これにより、検出部 32 で検出される計測光の光強度及び参照光の光強度は図 12 (a) に示すように、干渉縞の干渉信号は図 12 (b) に示すようになる。

#### 【0071】

また、本実施形態では、基板 S B 又は参照ミラー 24 の位置を制御することで、検出部 32 において、計測光の光強度と、参照光の光強度と、計測光と参照光との干渉縞とを同時に検出している。但し、図 13 に示すように、基板 S B 及び参照ミラー 24 と検出部 32 との間に、基板 S B で反射した計測光と参照ミラー 24 で反射した参照光との合成光を分離（分光）する光学素子（例えば、プリズムや回折格子など）38 を配置させてもよい。この場合、検出部 32 では、図 14 (a) に示すような干渉信号が検出される。図 14

10

20

30

40

50

(a) に示す干渉信号は、計測光と参照光との光路長差 ( $Z$ ) と光源 10 からの光の波数 ( $k = 2 / \lambda$  (但し、 $\lambda$  は、光源 10 からの光の波長)) に依存する。従って、図 14 (a) に示す干渉信号をフーリエ変換することで、図 14 (b) に示すように、基板 S B を駆動した場合と同様な光路長差 ( $Z$ ) に依存する干渉信号を得ることができる。このような技術に関しては、例えば、米国特許出願公開第 2007/0086013 号に開示されている。

#### 【0072】

また、本実施形態では、計測装置 1 は、斜入射方式の干渉計の構成を有するが、図 15 に示すように、垂直入射方式の干渉計の構成を有していてもよい。この場合、図 4 に示したように、検出部 32 の検出面において、計測光のみが入射する領域 R1 と、参照光のみが入射する領域 R2 と、計測光及び参照光が入射する領域 R3 とが存在するように予め設定する必要がある。かかる設定は、例えば、参照ミラー 24 を傾けたり、光源 10 からの光を計測光と参照光とに分離するためのハーフミラー 40 の後段に配置される光学部材の表面に遮光膜などをコーティングしたりすることで行われる。

#### 【0073】

次に、図 16 を参照して、計測装置 1 を備えた露光装置 100 について説明する。図 16 は、本発明の一側面としての露光装置 100 の構成を示す概略図である。

#### 【0074】

露光装置 100 は、本実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクル 120 のパターンをウエハ 140 に露光する投影露光装置である。但し、露光装置 100 は、ステップ・アンド・リピート方式やその他の露光方式も適用することができる。

#### 【0075】

露光装置 100 は、図 16 に示すように、照明装置 110 と、レチクル 120 を載置するレチクルステージ 125 と、投影光学系 130 と、ウエハ 140 を載置するウエハステージ 145 と、フォーカス制御用センサ 150 と、制御部 160 とを有する。

#### 【0076】

照明装置 110 は、転写用のパターンが形成されたレチクル 120 を照明し、光源 112 と、照明光学系 114 とを有する。

#### 【0077】

光源 112 は、例えば、波長約 193 nm の ArF エキシマレーザーや波長約 248 nm の KrF エキシマレーザーなどを使用する。但し、光源 112 は、エキシマレーザーに限定するものではなく、波長約 157 nm の F<sub>2</sub> レーザーなどを使用してもよい。

#### 【0078】

照明光学系 114 は、光源 112 からの光を用いてレチクル 120 を照明する光学系である。照明光学系 114 は、本実施形態では、露光に最適な形状を有する露光スリットを形成する。照明光学系 114 は、レンズ、ミラー、オブティカルインテグレーター、絞り等を含む。

#### 【0079】

レチクル 120 は、転写用のパターンを有し、レチクルステージ 125 に支持及び駆動される。レチクル 120 から発せられた回折光は、投影光学系 130 を通り、ウエハ 140 に投影される。レチクル 120 とウエハ 140 とは、光学的に共役の関係に配置される。なお、露光装置 100 は図示しない光斜入射系のレチクル検出部を備えており、レチクル 120 は、レチクル検出部によって位置が検出され、所定の位置に配置される。

#### 【0080】

レチクルステージ 125 は、図示しないレチクルチャックを介してレチクル 120 を支持し、図示しない移動機構に接続されている。かかる移動機構は、リニアモーターなどで構成され、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向及び各軸の回転方向にレチクルステージ 125 を駆動する。

#### 【0081】

投影光学系 130 は、レチクル 120 のパターンをウエハ 140 に投影する光学系であ

10

20

30

40

50

る。投影光学系 130 は、屈折系、反射屈折系、或いは、反射系を使用することができる。

【0082】

ウエハ 140 は、レチクル 120 のパターンが投影（転写）される基板であり、ウエハステージ 145 に支持及び駆動される。但し、ウエハ 140 の代わりにガラスプレートやその他の基板を用いることもできる。ウエハ 140 には、レジストが塗布されている。

【0083】

ウエハステージ 145 は、図示しないウエハチャックを介してウエハ 140 を支持する。ウエハステージ 145 は、レチクルステージ 125 と同様に、リニアモーターを利用して、X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向及び各軸の回転方向にウエハ 140 を移動させる。また、ウエハステージ 145 には、基準プレート 149 が配置されている。

10

【0084】

フォーカス制御用センサ 150 は、計測装置 1 と同様に、ウエハ 140 の表面形状を計測する機能を有する。また、フォーカス制御用センサ 150 は、応答性は速いがウエハパターンによる騙されがあるセンサである。

【0085】

計測装置 1 は、上述した通りのいかなる構成をも適用可能であり、ここでの詳細な説明は省略する。なお、計測装置 1 は、応答性は遅いがウエハパターンによる騙されが少ない。

【0086】

制御部 160 は、CPU やメモリを有し、露光装置 100 の動作を制御する。制御部 160 は、本実施形態では、フォーカス制御用センサ 150 の処理部としての機能を備える。従って、制御部 160 は、フォーカス制御用センサ 150 がウエハ 140 の表面形状を計測する際の計測値の補正演算及び制御を行う。また、制御部 160 は、計測装置 1 の処理部 34 としての機能を備えていてもよい。

20

【0087】

ここで、ウエハ 140 の表面形状（フォーカス）の計測点について説明する。本実施形態では、ウエハ 140 の全面に亘って、走査方向（Y 軸方向）にウエハステージ 145 を走査しながら、フォーカス制御用センサ 150 でウエハ 140 の表面形状を計測する。一方、走査方向に垂直な方向（X 軸方向）には、ウエハステージ 145 を X だけステップさせ、走査方向にウエハ 140 の表面形状を計測する動作を繰り返してウエハ 140 の全面のプロファイルを求める。なお、複数のフォーカス制御用センサ 150 を用いてウエハ 140 上の異なる領域の表面形状を同時に計測してもよい。これにより、スループットを向上させることができる。

30

【0088】

フォーカス制御用センサ 150 は、本実施形態では、光学的な高さ計測システムを使用している。具体的には、フォーカス制御用センサ 150 は、ウエハ 140 の表面に対して高入射角度で光を入射させ、ウエハ 140 の表面で反射された反射光の像ずれを CCD など検出する。フォーカス制御用センサ 150 は、ウエハ 140 上の複数の計測点に光を入射させ、かかる計測点で反射された光のそれぞれを個別に受光し、異なる位置の高さ情報から露光すべき面のチルトを算出する。

40

【0089】

図 17 を参照して、フォーカス制御用センサ 150 を詳細に説明する。図 17 は、フォーカス制御用センサ 150 の構成を示す概略図である。フォーカス制御用センサ 150 は、図 17 に示すように、光源 151 と、コンデンサーレンズ 152 と、複数の透過スリットで構成されたパターン板 153 と、レンズ 154 と、ミラー 155 とを有する。更に、フォーカス制御用センサ 150 は、ミラー 156 と、レンズ 157 と、CCD などの受光素子 158 とを有する。

【0090】

光源 151 からの光は、コンデンサーレンズ 152 を介して集光され、パターン板 15

50

3を照明する。パターン板153の透過スリットを通過した光は、レンズ154及びミラー155を介してウエハ140に所定の角度で照射される。パターン板153とウエハ140とは、レンズ154を介して結像関係になっているため、パターン板153の透過スリットの空中像がウエハ140上に形成される。

【0091】

ウエハ140で反射された光は、ミラー156及びレンズ157を介して受光素子158で受光され、図17に示すように、パターン板153の各透過スリットに対応したスリット像からなる信号SIが得られる。信号SIの受光素子158での位置ずれを検出することで、ウエハ140のZ軸方向の位置を計測することができる。ウエハ140の表面がZ軸方向の位置w1から位置w2に変化した場合のウエハ140上の光軸シフト量m1は、入射角度を $i_n$ として、 $m1 = 2 \cdot dZ \cdot \tan i_n$ で表すことができる。但し、位置w1から位置w2への変化量をdZとする。

10

【0092】

例えば、入射角度 $i_n$ を84度とすると、 $m1 = 19 \cdot dZ$ となり、ウエハ140の変位を19倍に拡大した変位量になる。受光素子158での変位量は、m1に光学系の倍率（即ち、レンズ157による結像倍率）が掛け合わされる。

【0093】

以下、露光装置100の露光動作（露光装置100を用いた露光方法）について説明する。図18は、露光装置100の露光動作を説明するためのフローチャートである。

【0094】

20

まず、ステップS1010において、露光装置100にウエハ140を搬入する。

【0095】

次いで、ステップS1020において、ステップS1010で搬入したウエハ140に対して、フォーカス制御用センサ150のフォーカス較正を行うかどうかを判定する。具体的には、ユーザーが露光装置100に予め登録しておいた「ロットの先頭ウエハか」、複数のロットの先頭のウエハであるか、フォーカス精度が厳しく求められる工程のウエハであるかなどの情報に基づいて判定する。

【0096】

ステップS1020において、フォーカス制御用センサ150のフォーカス較正を行わないと判定された場合には、ステップS1050に進み、後述する露光シーケンスが実行される。

30

【0097】

一方、ステップS1020において、フォーカス制御用センサ150のフォーカス較正を行うと判定された場合には、ステップS1030に進み、基準プレート149によるフォーカス較正シーケンスが実行される。

【0098】

次に、ステップS1040において、ウエハ140によるフォーカス較正シーケンスが実行される。

【0099】

40

ここで、図19を参照して、ステップS1030及びステップS1040で実行されるフォーカス較正シーケンスについて説明する。図19は、ステップS1030及びステップS1040のフォーカス較正シーケンスの詳細なフローチャートである。

【0100】

基準プレート149によるフォーカス較正シーケンスでは、まず、ウエハステージ145を駆動して、フォーカス制御用センサ150の下に基準プレート149が位置するように位置決めする。なお、基準プレート149は、オプティカルフラットと呼ばれる面精度のよいガラス板などを使用している。また、基準プレート149の表面には、フォーカス制御用センサ150に計測誤差が発生しないように、反射率分布のない均一な領域が設けられており、フォーカス制御用センサ150は、かかる領域を計測する。但し、露光装置100のその他キャリブレーション（例えば、アライメントや投影光学系130の評価）

50

に必要な各種校正用マークを設けたプレートの一部を基準プレート 149 として使用してもよい。

【0101】

ステップ S 1031 において、基準プレート 149 をフォーカス制御用センサ 150 で計測し、基準プレート 149 の Z 軸方向の位置を計測する。

【0102】

ステップ S 1032 において、ステップ S 1031 で計測した基準プレート 149 の Z 軸方向の位置（計測値  $O_m$ ）を露光装置 100 の記憶部（例えば、制御部 160 のメモリ等）に格納する。

【0103】

次に、ウエハステージ 145 を駆動して、計測装置 1 の下に基準プレート 149 が位置するように位置決めする。

【0104】

ステップ S 1033 において、基準プレート 149 を計測装置 1 で計測し、基準プレート 149 の表面形状を計測する。なお、計測装置 1 が計測する基準プレート 149 の計測領域（XY 面）は、ステップ S 1031 でフォーカス制御用センサ 150 が計測した計測領域と同じにする。

【0105】

ステップ S 1034 において、ステップ S 1033 で計測した基準プレート 149 の表面形状（計測値  $P_m$ ）を記憶部に格納する。

【0106】

ステップ S 1035 において、第 1 のオフセットを算出する。具体的には、図 20 に示すように、計測装置 1 による計測値  $P_m$  とフォーカス制御用センサ 150 による計測値  $O_m$  の差分として、第 1 のオフセットを算出する。第 1 のオフセットは、基準プレート 149 の光学的に均一な面を計測しており、フォーカス制御用センサ 150 に計測誤差が発生しないため、ゼロになるべきものである。しかしながら、第 1 のオフセットは、実際には、ウエハステージ 145 の走査方向のシステム的なオフセット、フォーカス制御用センサ 150、或いは、計測装置 1 の長期的なドリフトなどのエラー要因によってゼロにはならない。従って、第 1 のオフセットは、定期的を取得（算出）することが好ましい。但し、上述したエラー要因が発生しない場合や別に管理されている場合には、第 1 のオフセットを 1 回取得するだけでよい。ここで、図 20 は、フォーカス校正シーケンスにおける第 1 のオフセット及び後述する第 2 のオフセットを説明するための図である。

【0107】

ステップ S 1031 乃至 S 1035 が基準プレート 149 によるフォーカス校正シーケンスである。

【0108】

ウエハ 140 によるフォーカス校正シーケンスでは、まず、ウエハステージ 145 を駆動して、フォーカス制御用センサ 150 の下にウエハ 140 が位置するように位置決めする。なお、ウエハ 140 上の計測位置  $W_p$ （ウエハ面内）は、後述する露光シーケンスの計測位置と一致させるものとする。

【0109】

ステップ S 1041 において、ウエハ 140 上の計測位置  $W_p$  をフォーカス制御用センサ 150 で計測し、計測位置  $W_p$  の Z 方向の位置を計測する。

【0110】

ステップ S 1042 において、ステップ S 1041 で計測したウエハ 140 上の計測位置  $W_p$  の Z 軸方向の位置（計測値  $O_w$ ）を記憶部に格納する。

【0111】

次に、ウエハステージ 145 を駆動して、計測装置 1 の下にウエハ 140 上の計測位置  $W_p$  が位置するように位置決めする。

【0112】

10

20

30

40

50



ステップ S 1 0 4 3 において、ウエハ 1 4 0 上の計測位置 W p を計測装置 1 で計測し、ウエハ 1 4 0 上の計測位置 W p の表面形状を計測する。

【 0 1 1 3 】

ステップ S 1 0 4 4 では、ステップ S 1 0 4 3 で計測したウエハ 1 4 0 上の計測位置 W p の表面形状 ( 計測値 P w ) を記憶部に格納する。なお、ウエハ 1 4 0 上の計測点としての計測位置 W p は、ウエハ内の 1 点、ショット内の 1 点、ショット内の全点、複数ショット内の全点、ウエハ内の全点などの各種モードから選択できるようになっている。

【 0 1 1 4 】

ステップ S 1 0 4 5 において、第 2 のオフセットを算出する。具体的には、図 2 0 に示すように、計測装置 1 による計測値 P w とフォーカス制御用センサ 1 5 0 による計測値 O w の差分として、第 2 のオフセットをウエハ 1 4 0 上の計測位置 W p 毎に算出する。

10

【 0 1 1 5 】

ステップ S 1 0 4 6 において、ウエハ 1 4 0 上の計測位置 W p 毎に第 1 のオフセットと第 2 のオフセットとの差分を求め、かかる差分をオフセットデータとして記憶部に格納する。ウエハ 1 4 0 上の各計測位置におけるオフセット量 O p は、 $O p ( i ) = [ O w ( i ) - P w ( i ) ] - ( O m - P m )$  から求めることができる。但し、式 2 において、i は、ウエハ 1 4 0 上の計測位置を示すポイント番号である。

【 0 1 1 6 】

オフセット量 O p としては、露光ショット単位 ( ステッパの場合はショット単位、スキャナーの場合は露光スリット単位 ) で、平均的高さオフセット ( Z )、平均傾きオフセット ( z、y ) を格納してもよい。また、ウエハ 1 4 0 に転写するパターンは、ショット ( ダイ ) で繰り返されるため、ウエハ 1 4 0 上の各ショットの平均値として、オフセット量 O p を求めてもよい。

20

【 0 1 1 7 】

ステップ S 1 0 4 1 乃至 S 1 0 4 6 がウエハ 1 4 0 によるフォーカス校正シーケンスである。

【 0 1 1 8 】

次に、図 2 1 を参照して、フォーカス校正シーケンス S 1 0 3 0 及び S 1 0 4 0 が終了して実行されるステップ S 1 0 5 0 の露光シーケンスについて説明する。図 2 1 は、ステップ S 1 0 5 0 の露光シーケンスの詳細なフローチャートである。

30

【 0 1 1 9 】

ステップ S 1 0 5 1 において、ウエハアライメントを実行する。ウエハアライメントは、図示しないアライメントスコープでウエハ 1 4 0 上のアライメントマークの位置を検出し、露光装置 1 0 0 に対して、ウエハ 1 4 0 の X Y 平面の位置合わせを行う。

【 0 1 2 0 】

ステップ S 1 0 5 2 において、フォーカス制御用センサ 1 5 0 でウエハ 1 4 0 上の所定領域の面位置を計測する。かかる所定領域は、上述したフォーカス校正シーケンスにおいて計測したウエハ 1 4 0 上の領域を含む。従って、オフセット量 O p ( i ) で、計測値を補正してウエハ 1 4 0 の全面の表面形状を計測する。このように補正されたウエハ 1 4 0 の表面形状のデータが露光装置 1 0 0 の記憶部に格納される。

40

【 0 1 2 1 】

ステップ S 1 0 5 3 において、ウエハステージ 1 4 5 を駆動して、フォーカス制御用センサ 1 5 0 の下の計測位置から投影光学系 1 3 0 の下の露光位置に第 1 の露光ショットが位置するようにウエハ 1 4 0 を移動する。この際、ウエハ 1 4 0 の表面形状のデータに基づいて第 1 の露光ショットの表面形状のデータを作成し、露光像面に対するウエハ 1 4 0 の表面のずれ量が最小になるように、フォーカス ( Z 方向 ) 及びチルト ( 傾き方向 ) を補正する。このようにして、露光スリット単位で最適な露光像面位置にウエハ 1 4 0 の表面を合わせ込む。

【 0 1 2 2 】

ステップ S 1 0 5 4 において、レチクル 1 2 0 のパターンをウエハ 1 4 0 に露光する。

50

この際、露光装置 100 はスキャナーであるため、レチクル 120 とウエハ 140 を Y 方向（走査方向）に走査することによりレチクル 120 のパターンをウエハ 140 上に転写する。

【0123】

ステップ S1055 において、全ての露光ショットを露光したかどうかを判定する。全ての露光ショットを露光していないと判定された場合には、ステップ S1052 に戻り、次の露光ショットの表面形状のデータを作成し、フォーカス及びチルトを補正して露光スリット単位で最適な露光像面に合わせ込みながら露光を行う。一方、全ての露光ショットを露光したと判定された場合には、ステップ S1056 において、露光装置 100 からウエハ 140 を搬出する。

10

【0124】

本実施形態では、各露光ショットを露光する直前に、露光ショットの表面形状のデータの作成、露光像面からのずれ量の算出及びウエハステージ 145 の駆動量の算出を行っている。但し、第 1 の露光ショットを露光する前に、全ての露光ショットに関して、表面形状のデータの作成、露光像面からのずれ量の算出、ウエハステージ 145 の駆動量の算出を行ってもよい。

【0125】

また、ウエハステージ 145 は、シングルステージに限らず、露光時に使用する露光ステージとウエハ 140 のアライメントや表面形状を計測する際に使用する計測ステージとの 2 つのステージを有する、所謂、ツインステージの構成であってもよい。この場合、フォーカス制御用センサ 150 及び計測装置 1 は、計測ステージ側に配置することになる。

20

【0126】

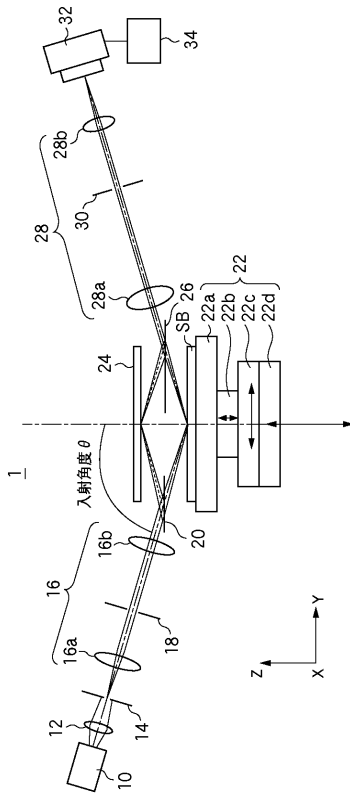
露光装置 100 において、計測装置 1 は、上述したように、ウエハの表面形状を高精度に、且つ、再現性よく計測することができる。従って、露光面とウエハ表面とのフォーカス合わせの精度を向上させることが可能となり、デバイスの性能向上や製造歩止まりの向上にも繋がる。従って、露光装置 100 は、高いスループットで経済性よく高品位なデバイス（半導体素子、LCD 素子、撮像素子（CCD など）、薄膜磁気ヘッドなど）を提供することができる。なお、かかるデバイスは、露光装置 100 を使用して、感光剤が塗布された基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、露光された基板（感光剤）を現像する工程と、他の公知の工程と、を経ることにより製造される。

30

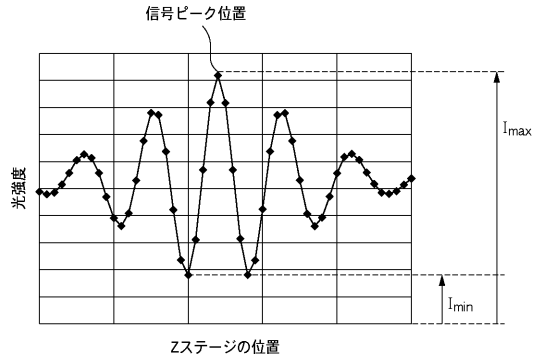
【0127】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

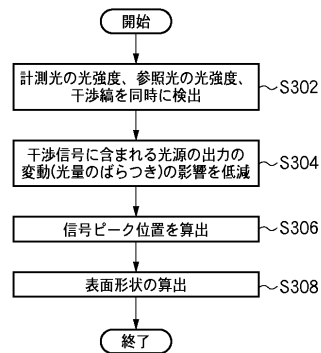
【図 1】



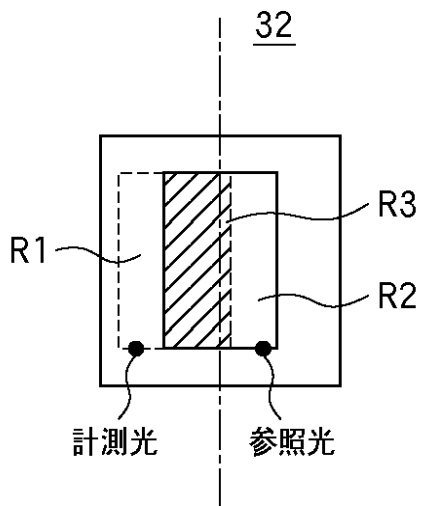
【図 2】



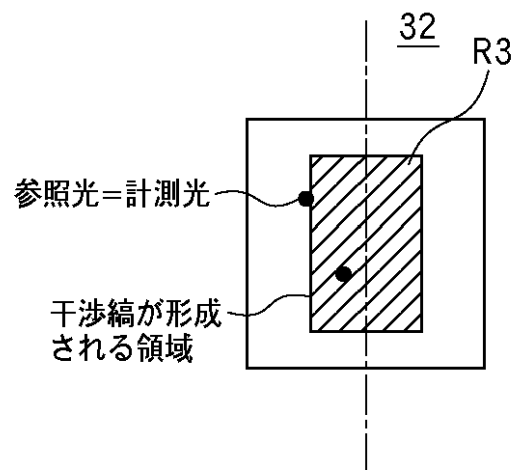
【図 3】



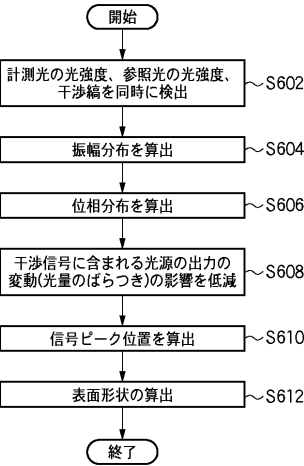
【図 4】



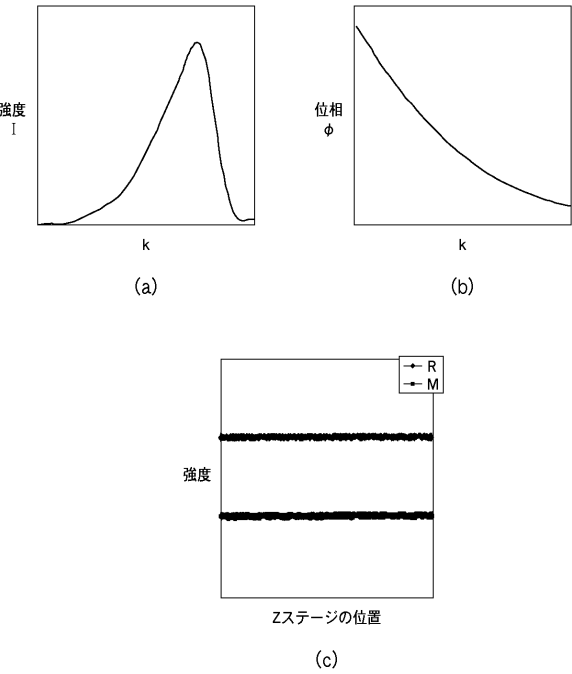
【図 5】



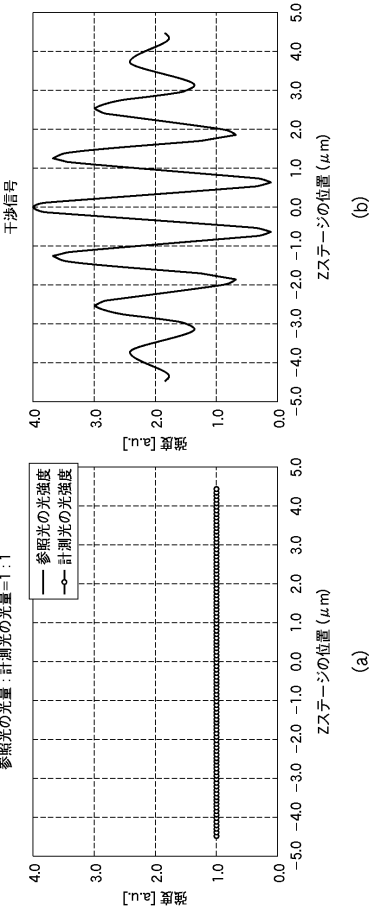
【 図 6 】



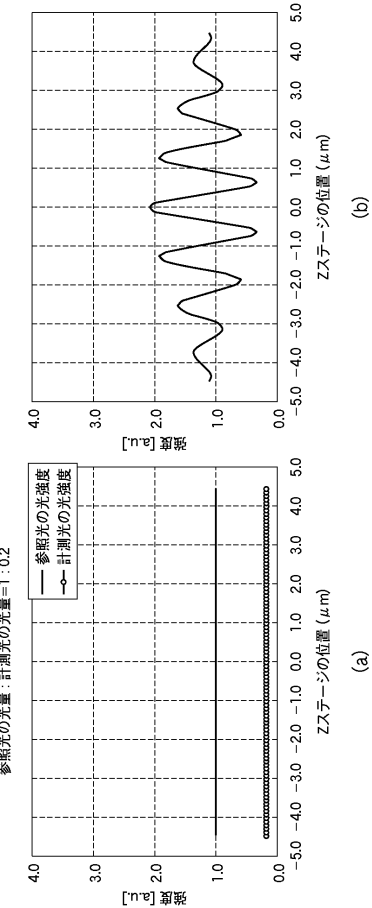
【 図 7 】



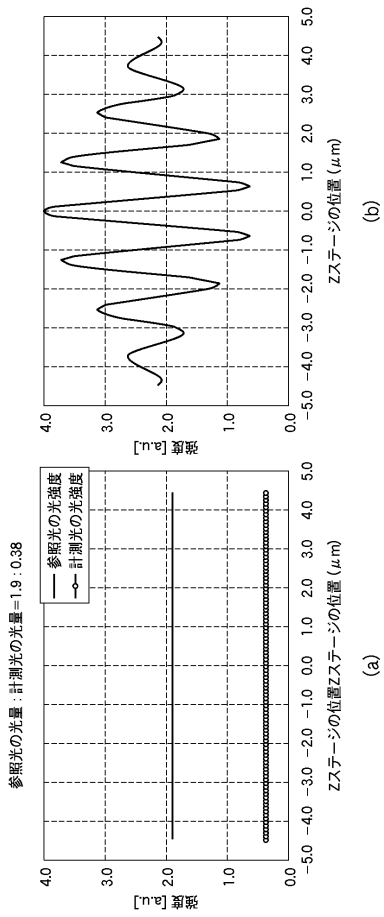
【 図 8 】



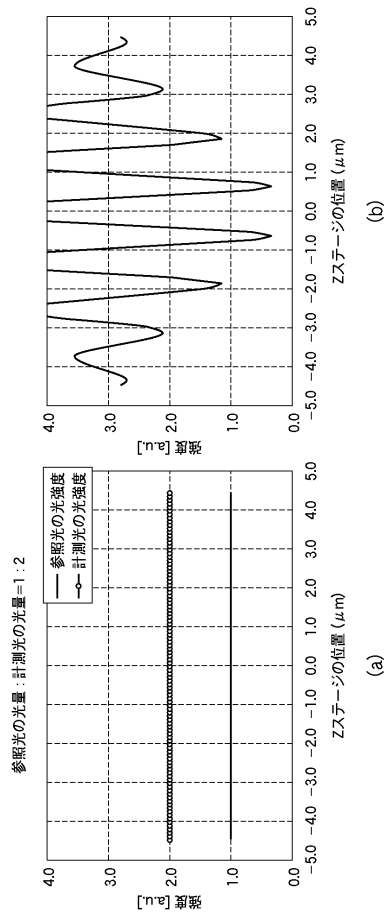
【 図 9 】



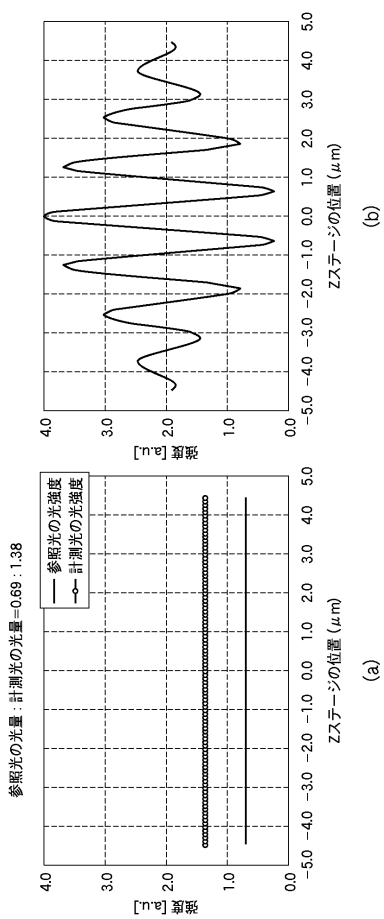
【図 10】



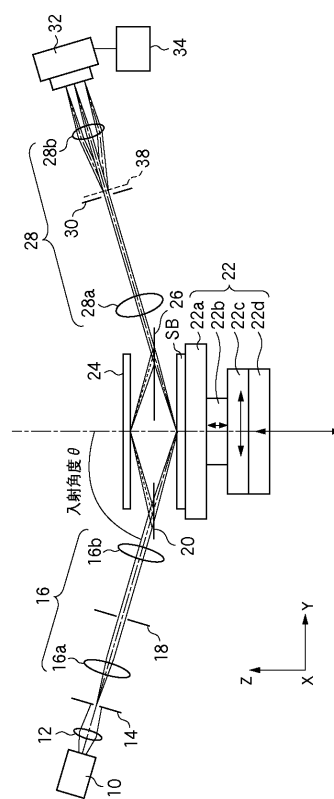
【図 11】



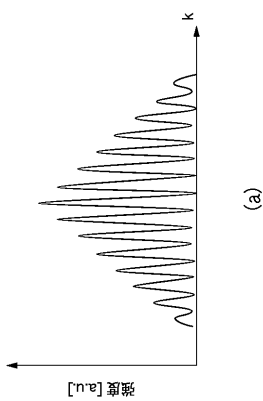
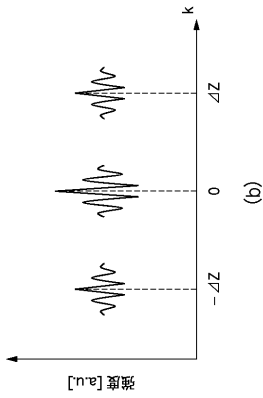
【図 12】



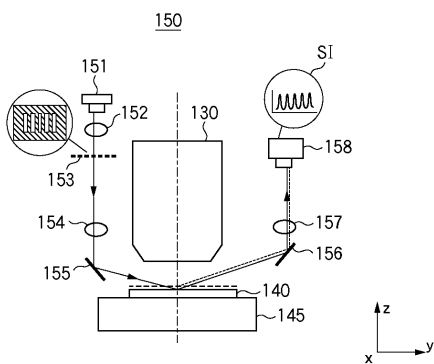
【図 13】



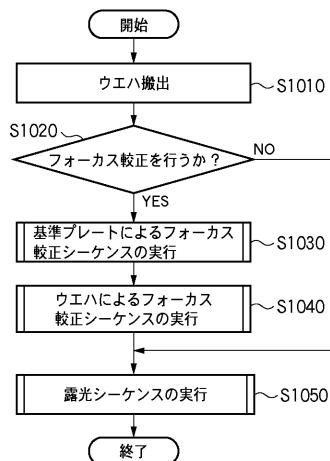
【図 14】



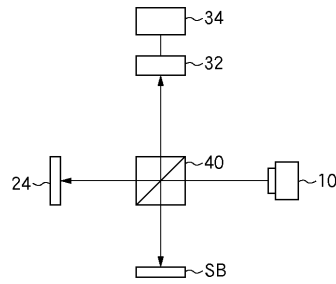
【図 17】



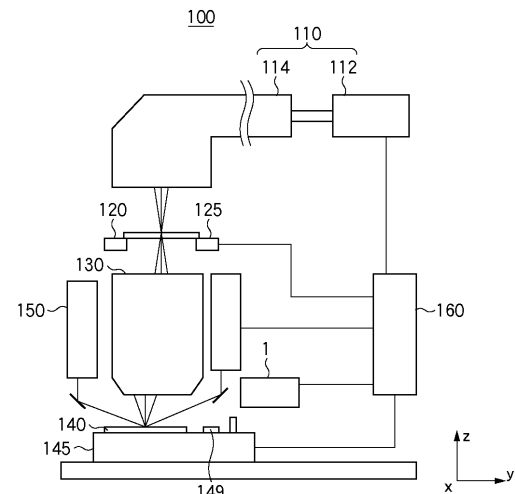
【図 18】



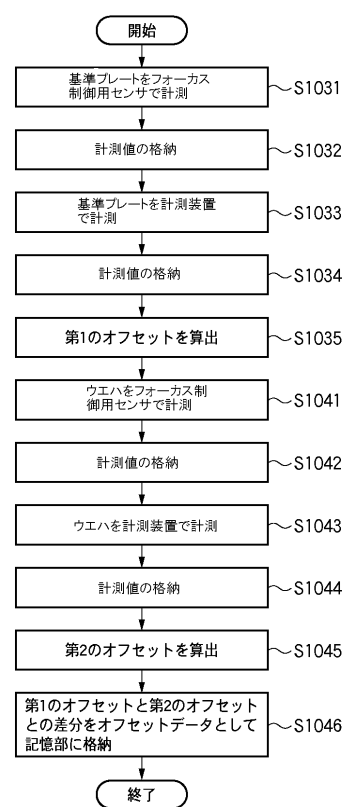
【図 15】



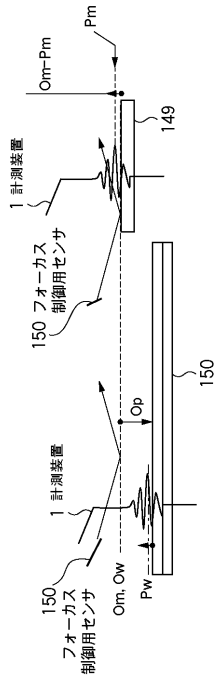
【図 16】



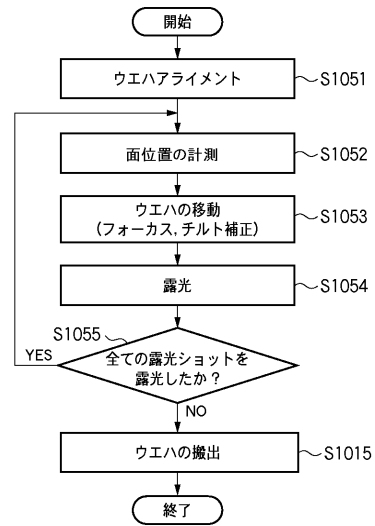
【図 19】



【図 20】



【図 21】



---

フロントページの続き

(72)発明者 松田 英樹

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA51 CC17 FF44 FF51 GG04 HH00 LL12 LL46 NN00 PP12

QQ00 QQ16

2G086 EE12 HH07

5F046 BA03 CB25 CB26 CC01 DA07 DA14 DB01 DB05 DC10 DD03