

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5084558号  
(P5084558)

(45) 発行日 平成24年11月28日 (2012.11.28)

(24) 登録日 平成24年9月14日 (2012.9.14)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 11/24 (2006.01)

GO 1 B 11/24 D

HO 1 L 21/027 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 2 6 B

GO 1 B 9/02 (2006.01)

HO 1 L 21/30 5 1 4 E

GO 1 B 9/02

請求項の数 13 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2008-48176 (P2008-48176)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成20年2月28日 (2008.2.28)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2009-204512 (P2009-204512A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成21年9月10日 (2009.9.10)	(74) 代理人	100126240
審査請求日	平成23年2月28日 (2011.2.28)		弁理士 阿部 琢磨
		(74) 代理人	100124442
			弁理士 黒岩 創吾
		(72) 発明者	山口 渉
			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
		(72) 発明者	松本 隆宏
			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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面形状計測装置、露光装置及びデバイス製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、  
光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、  
前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、  
前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、  
を備え、

前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、  
前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、  
前記計測光と前記参照光のそれぞれの s 偏光の強度と p 偏光の強度が等しいことを特徴とする表面形状計測装置。

【請求項 2】

前記光源からの広帯域光に含まれる s 偏光と p 偏光との強度比を調整する偏光調整手段を備えることを特徴とする請求項 1 記載の表面形状計測装置。

【請求項 3】

前記照射系は位相板を有し、

前記偏光調整手段は前記位相板を回転させる駆動部を有し、前記駆動部で前記位相板を回転させることによって前記強度比を調整することを特徴とする請求項2記載の表面形状計測装置。

【請求項4】

基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、

光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、

前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、

前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、  
を備え、

前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、

前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、

前記照射系は、前記光源からの広帯域光に含まれる所定方向の直線偏光を透過する第1の偏光板を有し、

その所定方向の直線偏光は、s偏光およびp偏光を含むことを特徴とする表面形状計測装置。

【請求項5】

前記受光系は、前記膜の表面で反射した計測光および前記基板の表面で反射した計測光ならびに前記参照ミラーで反射した参照光に含まれる前記所定方向の直線偏光を透過する第2の偏光板を有することを特徴とする請求項4記載の表面形状計測装置。

【請求項6】

前記所定方向は、+45°方向または-45°方向であることを特徴とする請求項4記載の表面形状計測装置。

【請求項7】

基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、

光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、

前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、

前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、  
を備え、

前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、

前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、

前記照射系は、前記光源からの広帯域光に含まれる所定方向の直線偏光を透過する第1の偏光板と、その第1の偏光板を透過した光を透過する第1の波長板と、を有し、

前記受光系は、前記膜の表面で反射した計測光および前記基板の表面で反射した計測光ならびに前記参照ミラーで反射した参照光を透過する第2の波長板を有することを特徴とする表面形状計測装置。

【請求項8】

前記受光系は、前記第2の波長板を透過した光に含まれる前記所定方向の直線偏光を透過する第2の偏光板を有することを特徴とする請求項7記載の表面形状計測装置。

## 【請求項 9】

前記第 1 の波長板は、 / 4 板であることを特徴とする請求項 7 記載の表面形状計測装置。

## 【請求項 10】

基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、  
光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、

前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、

前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、  
を備え、

前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、

前記膜を透過し、前記膜と前記基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、

前記膜と前記基板との境界面で反射した計測光と前記参照光との干渉光の信号が低減するように、前記光源からの広帯域光に含まれる s 偏光と p 偏光との強度比が調整されていることを特徴とする表面形状計測装置。

## 【請求項 11】

原版のパターンで基板を露光する露光装置において、  
請求項 1 乃至 10 のいずれか一項記載の表面形状計測装置を備えることを特徴とする露光装置。

## 【請求項 12】

原版のパターンで基板を露光する露光装置において、  
光を前記基板に形成された膜の表面に斜入射させて、その膜の表面で反射した光の位置を検出することで、前記膜の表面形状を計測する第 1 の表面形状計測ユニットと、

第 2 の表面形状計測ユニットとしての、請求項 1 乃至 10 のいずれか一項記載の表面形状計測装置と、  
を備え、

前記第 1 の表面形状計測ユニットの計測結果の校正を、前記第 2 の表面形状計測ユニットの計測結果に基づいて行うことを特徴とする露光装置。

## 【請求項 13】

請求項 11 又は 12 に記載の露光装置によって基板を露光するステップと、  
前記露光された基板を現像するステップと、  
を有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、表面形状計測装置、及び露光装置に関するものである。具体的には、膜（例えばレジスト等の感光剤）が塗布されたウエハの表面形状計測装置などに適用できる。また、別の実施形態として、露光装置に係り、特に、半導体ウエハ用の単結晶基板、液晶ディスプレイ（LCD）用のガラス基板などの被処理体を投影露光する露光装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

表面形状計測装置とそれを具備した装置の背景技術として、特に、高い表面形状計測精度が要求される半導体露光装置の例を用いて説明する。

## 【0003】

フォトリソグラフィ（焼き付け）技術を用いて半導体メモリや論理回路などの微細な半導体素子又は液晶表示素子を製造する際、レチクル（マスク）に描画された回路パター

10

20

30

40

50

ンを投影光学系によってウエハ等に投影して転写する投影露光装置が使用されている。

【0004】

投影露光装置においては、半導体素子の高集積化に伴い、より高い解像力でレチクルの回路パターンをウエハに投影露光することが要求されている。投影露光装置で転写できる最小の寸法（解像度）は、露光に用いる光の波長に比例し、投影光学系の開口数（NA）に反比例する。従って、露光波長を短くすればするほど解像力は向上する。このため、近年の光源は、超高圧水銀ランプ（g線（波長約436nm）、i線（波長約365nm））から波長の短いKrFエキシマレーザー（波長約248nm）やArFエキシマレーザー（波長約193nm）になり、液浸露光の実用化検討も進んでいる。更に、露光領域の一層の拡大も要求されている。

10

【0005】

これらの要求を達成するために、略正方形形状の露光領域をウエハに縮小して一括露光するステップ・アンド・リピート方式の露光装置（「ステッパー」とも呼ばれる）から、露光領域を矩形のスリット形状としてレチクルとウエハを相対的に高速走査し、大画面を精度よく露光するステップ・アンド・スキャン方式の露光装置（「スキャナー」とも呼ばれる）が主流になりつつある。

【0006】

スキャナーでは、露光中において、ウエハの所定の位置が露光スリット領域に達する前に、光斜入射系の表面位置検出手段で前記ウエハ位置における表面位置（投影光学系の光軸方向の位置、フォーカスとも記す）を計測し、前記ウエハ位置を露光する際にウエハ表面を最適な露光結像位置に合わせ込む補正を行っている。

20

【0007】

特に、露光スリットの長手方向（即ち、走査方向と垂直方向）には、ウエハの表面位置の高さ（フォーカス）だけではなく、表面の傾き（チルト）を計測するために、露光スリット領域に複数の計測点を有している。かかるフォーカス及びチルトの計測方法は数々提案されている。例えば、ウエハの面位置の計測方法として、光学式のセンサを使用した「特許文献1」や「特許文献2」、空気をウエハに吹き付けて、面位置を計測するガスゲージセンサを使用した「特許文献3」や、静電容量センサを使用した例などが挙げられる。

【特許文献1】特開平06-260391号

【特許文献2】米国特許第6249351号

30

【特許文献3】特表2006-514744号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかし、近年では露光光の短波長化及び投影光学系の高NA化が進み、焦点深度が極めて小さくなり、露光すべきウエハ表面を最良結像面に合わせ込む精度、所謂、フォーカス精度もますます厳しくなっている。特に、ウエハ上のパターンの影響やウエハに塗布されたレジストの厚さむらに起因する表面位置検出手段の計測誤差が無視することができなくなっている。

【0009】

40

例えば、レジストの厚さむらによって、周辺回路パターンやスクライプライン近傍には、焦点深度と比べれば小さいものの、フォーカス計測にとっては大きな段差が発生している。このため、レジスト表面の傾斜角度が大きくなり、表面位置検出手段の検出する反射光の内、レジスト裏面からの反射光が反射や屈折によって正反射角度からずれを生じてしまう。また、ウエハ上パターンの粗密の違いによって、パターンが密な領域と粗な領域とでは、反射率に差が生じてしまう。このように、表面位置検出手段が検出する反射光の内、レジスト裏面からの反射光の反射角や反射強度が変化するため、かかる反射光を検出した検出波形に非対称性が発生して計測誤差を生じてしまうことになる。

【0010】

図19には、特許文献1などによる光学式センサの場合に、反射率に差のある基板上S

50

B上に計測光MMが照射されている模式図を示している。計測光は、角度Aだけ反射率の境界線に対して傾いている場合を示しており、計測方向は'方向になる。ここで反射光の強度分布に関して、'方向の3つの断面、すなわち、AA'断面、BB'断面、CC'断面における反射光の強度分布を図20に示す。同図のように、反射率が一樣な領域である、AA'面とCC'面においては、反射光の対称性は良いものの、反射率に分布のある領域BB'面は、非対称な反射光のプロファイルとなり、その重心がずれることにより、計測誤差を生じることになる。これにより、その反射光を受光した際の検出波形に非対称性が生じたり、検出波形のコントラストが著しく低下したりして、ウエハ表面位置を正確に計測することが困難になる。その結果、大きなデフォーカスを生じてしまい、チップ不良を発生させてしまうことになる。

10

#### 【0011】

このように、ウエハ上パターンによってレジスト表裏面の干渉により、反射光強度が変化してしまうため、その反射光を受光して正確なウエハ表面の位置を検出することが困難となってしまう場合がある。

#### 【0012】

特許文献2のように、斜めから基板に光を照射して、その干渉信号から基板の形状を計測する装置(図23に構成図を示す)においては、受光系で受光する光にはレジスト表面からの反射光とともにレジスト裏面からの反射光が含まれる。このため、正確なレジスト表面の形状計測が困難になるという問題が発生する。図21は従来例図23に基づいて、アクチュエータ397により、サンプル表面に垂直方向に走査した場合に得られる干渉信号を示したものである。図21の干渉信号は図22のようなウエハ上パターンが無く、レジストのみ塗布された構造のサンプルを計測した場合の干渉信号である。受光する光にはレジスト表面反射光とともにレジスト裏面反射光が含まれるため、得られる干渉信号においても、レジスト表面反射光の干渉にレジスト裏面で反射した光の干渉の影響が重なり合って計測される。このため、レジスト表面の反射光だけを使用してレジスト表面の高さ情報を正確に検出することは困難である。そこで、レジスト表面と裏面からの反射光を区別して計測する方法として、特許文献2では、基板への入射角度を大きくすることで、レジスト表面からの反射率を高くする方法が提案されている。これにより、基板上のレジスト表面からの反射光を、レジスト裏面からの反射光に対して、相対的に強くすることができるとしている。

20

30

#### 【0013】

しかしながら、AlやCuなどの高反射率基板構造の場合、レジスト裏面(レジスト/基板界面)の反射率が高く、基板への光の入射角度を大きくしてもレジスト裏面からの反射光の影響を十分に抑制することができない。このため、レジスト表面形状の計測値には誤差が発生するという課題が存在する。

#### 【0014】

また更に、特許文献3のようなガスゲージセンサを使用する場合、ガスに混入している微小なパーティクルをウエハ上に吹き付けてしまう、あるいは、極端紫外光を用いたEUV露光装置など真空中で動作する露光装置において真空度を落とすため使用出来ないという固有の課題がある。

40

#### 【0015】

そこで、本発明は、基板の反射率分布や薄膜干渉による影響を受けずに、高精度に面形状を計測できる表面形状計測装置を提供することを目的とし、特にそれを具備した露光装置及び方法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】

#### 【0016】

本発明の1つの側面としての表面形状計測装置は、基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素

50

子に導く受光系と、

前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、を備え、前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、前記計測光と前記参照光のそれぞれの s 偏光の強度と p 偏光の強度が等しいことを特徴とする。

本発明の別の側面としての表面形状計測装置は、基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、

10

前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、を備え、前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、前記照射系は、前記光源からの広帯域光に含まれる所定方向の直線偏光を透過する第 1 の偏光板を有し、その所定方向の直線偏光は、s 偏光および p 偏光を含むことを特徴とする。

本発明の別の側面としての表面形状計測装置は、基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、を備え、前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、前記膜を透過し、前記膜と基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、前記照射系は、前記光源からの広帯域光に含まれる所定方向の直線偏光を透過する第 1 の偏光板と、その第 1 の偏光板を透過した光を透過する第 1 の波長板と、を有し、前記受光系は、前記膜の表面で反射した計測光および前記基板の表面で反射した計測光ならびに前記参照ミラーで反射した参照光を透過する第 2

20

30

の波長板を有することを特徴とする。

本発明の別の側面としての表面形状計測装置は、基板に形成された膜の表面形状を計測する表面形状計測装置であって、光源からの広帯域光を計測光と参照光とに分割し、計測光を前記基板上の面に斜入射させ、参照光を参照ミラーに斜入射させる照射系と、前記基板上の面で反射した計測光と前記参照ミラーで反射した参照光とを合成し、光電変換素子に導く受光系と、前記光電変換素子で検出される前記計測光と前記参照光との干渉光の信号に基づいて、前記膜の表面形状を算出する演算手段と、を備え、前記計測光の前記膜の表面への入射角度および前記参照光の前記参照ミラーへの入射角度は、それぞれブリュースター角よりも大きく、前記膜を透過し、前記膜と前記基板との境界面に入射する計測光の入射角度はブリュースター角よりも小さく、前記膜と前記基板との境界面で反射した計測光と前記参照光との干渉光の信号が低減するように、前記光源からの広帯域光に含まれる s 偏光と p 偏光との強度比が調整されていることを特徴とする。

40

#### 【発明の効果】

#### 【0017】

本発明によれば、入射角度がブリュースター角よりも大きい場合に p 偏光の位相が変化する特徴を利用してレジスト裏面からの反射光の影響を抑制することで、光学的計測の際に発生する計測誤差を低減することができる。このため、本発明は、正確にレジスト等の膜表面の面位置を計測できる表面形状計測装置を提供することができる。また、これにより、小さな焦点深度に対して高いフォーカス精度を実現し、歩留まりの向上を達成する露

50

光装置を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

(実施の形態1)

以下、添付図面を参照して、本発明の好適な実施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。

【0019】

図1は、本発明の一側面としての表面形状計測装置200の構成を示す概略図である。表面形状計測装置200は、計測対象物である表面に膜の形成された基板3の膜表面の高さ方向(Z方向)の位置を検出する装置であり、以下のように構成される。すなわち、広帯域光を発するハロゲンランプまたは、LED(所謂白色LEDを含む)による光源1と、光を分岐させるためのビームスプリッタ2aと、計測対象物3を保持する基板チャックCKが配置される。さらに、計測対象物の位置を位置合わせするZステージ5、Yステージ6、Xステージ7と、参照ミラー4と、参照ミラー4で反射した光と基板3で反射した光を合波させるためのビームスプリッタ2bと、CCD又はCMOSなどの撮像素子8を加えた構成となる。なお、本実施形態では、基板3の表面にはレジストが膜として形成されている。

10

【0020】

以下、各構成要素の機能ならびに好ましい実施形態について説明を行う。図1において、光源1を発した光は、ビームスプリッタ2aでほぼ半分の光量の二つの光に分離され、同じ入射角度で基板3と参照ミラー4にそれぞれ入射する。

20

【0021】

ここで、光源1の波長の帯域としては、400nmから800nmの波長が好ましい。但し、波長帯域は、この範囲に限らず、100nm以上の帯域が好ましく、基板3上にレジストが構成されている場合は、レジストの感光を防ぐ目的で、紫外線(350nm)以下の波長の光を、基板3上には照射しない方が好ましい。

【0022】

ビームスプリッタ2aとしては、金属膜や、誘電体多層膜など膜をスプリット膜としたキューブ型のビームスプリッタや、1μmから5μm程度の厚さの薄い膜(材質はSiCやSiN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ことも出来る。

30

【0023】

ビームスプリッタ2aで分割された計測光と参照光のうち、計測光は基板3上に照射され、基板3で反射した後、ビームスプリッタ2bに入射する。一方、参照光は参照ミラー4上に照射され、参照ミラー4で反射した後、ビームスプリッタ2bに入射する。参照ミラー4としては、面精度が10nmから20nm程度のガラス平面ミラーを使用することが好ましい。

【0024】

基板3で反射した計測光と参照ミラー4で反射した参照光は、ビームスプリッタ2bで合成され、共に撮像素子8で受光される。撮像素子8の受光面上には、基板3で反射した計測光と参照ミラー4で反射した参照光が重なった干渉光が入射する。なお、ビームスプリッタ2bは、ビームスプリッタ2aと同じものを使用することができる。

40

【0025】

本実施形態においては基板3と参照ミラー4への入射角度、参照ミラー4の物性、光の偏光状態の三点が、基板上の膜の裏面からの反射光の影響を抑制するための重要なポイントとなる。以下、そのポイントについて説明する。

【0026】

まず、本実施形態では、参照光と計測光をそれぞれ参照ミラー4と基板3の膜表面に対し、ブリュースター角以上の入射角で入射させている。入射光は、その入射角がブリュースター角(偏光角とも呼ばれる)以上の場合、反射光のp偏光成分の位相が反転する特徴がある。図2を用いてこの特徴について説明する。図2は、図3の構造に基づいたs偏光

50

と p 偏光の入射角に対する振幅反射率の変化を表している。ここで、レジストの屈折率（550 nm の波長の光に対する値）は 1.5 として計算した。図 2 より、レジストへの入射角の変化に対して s 偏光の振幅反射率は負であるのに対して、p 偏光の振幅反射率は入射角度が約 57 度の時に 0 となり、符号が正から負へと変化することが分かる。この p 偏光の振幅反射率が 0 となる時の入射角度をブリュースター角あるいは偏光角と呼ぶ。入射角度がブリュースター角以上の場合には、s 偏光と p 偏光の符号は共に負となり、同位相になるという特徴がある。

#### 【0027】

続いて、Al や Cu などの高反射率基板の構造を図 4 に示す。なお、高反射率基板とは、基板そのものが高反射率である場合のほか、例えば Si 基板上に高反射率の膜が形成されているものも含む。また、図 4 の高反射率基板構造の場合における反射光の s 偏光成分と p 偏光成分の位相変化を図 5 に示す。図 5 (A) のように、レジスト表面への入射角度がブリュースター角以上の時、レジスト表面から反射した光の p 偏向成分の位相は反転し、s 偏光成分と p 偏光成分が同位相となる。一方、スネルの法則より、レジストの屈折角はレジスト表面への入射角度に比べて小さくなり、基板に対する入射角度はブリュースター角以下となる。このため、図 5 (B) のようにレジスト裏面（レジスト / 基板界面）から反射した光の s 偏光成分と p 偏光成分には大きさがおよそ 180° の位相差が生じる。

#### 【0028】

参照ミラー 4 においては、ブリュースター角以上の入射角度で光を入射させて、図 5 (A) に示すように反射した光の s 偏光成分と p 偏光成分を同位相とする。また、干渉信号のコントラストなどの観点から、参照ミラー 4 の基板および基板上の膜には、基板 3 上のレジスト等の膜に近い屈折率をもつ SiO<sub>2</sub> や SiN、SiC などの材料を使用することが好ましい。なお、白色干渉の可干渉距離は数 μm と短いことから、参照ミラーには裏面で反射した光が干渉しないように、数 μm 以上の厚さの基板を使用すると良い。又は、測定対象基板上の膜に近い屈折率の膜を数 μm 以上の厚さで成膜した基板を使用するとよい。

#### 【0029】

図 6 に、図 4 の基板構造に入射角 80 度で入射させた場合に計測される干渉信号のシミュレーション波形を示す。シミュレーションでは、レジストの膜厚を 2 μm とすることで、レジスト表面の反射光による干渉信号とレジスト裏面の反射光による干渉信号とを分離させている。レジスト表面からの反射光と参照ミラーからの反射光は同位相であるため、レジスト表面反射光の干渉信号の s 偏光成分と p 偏光成分に位相ずれは生じない。一方でレジスト裏面反射光からの干渉信号は、レジスト裏面からの反射光と参照ミラーからの反射光で位相差が生じるため、s 偏光成分と p 偏光成分の干渉信号波形の位相は反転する。このため、計測光と参照光がそれぞれ強度の等しい s 偏光と p 偏光をもつように調整することで、レジスト裏面からの反射信号の s 偏光成分と p 偏光成分とが打ち消し合い、レジスト裏面反射光の信号強度を低減させることができる。

#### 【0030】

以上より、ブリュースター角以上の入射角度、レジストに近い屈折率の材料を使用した参照ミラー 4、無偏光の三つの条件を満たすことで正確に基板表面の面位置を計測することができる。

#### 【0031】

一般に、光源からの光には偏りが存在する。また干渉計においては、仮に、光源からの光の s 偏光と p 偏光の強度が等しい場合であっても、ビームスプリッタによる光の反射率と透過率の違いなどから、レジスト裏面反射光の干渉信号の s 偏光と p 偏光の強度を完全に一致させることは困難である。これにより、例えば無偏光での入射の場合には、レジスト裏面反射光の干渉信号は完全には打ち消し合わず、正確なレジスト表面位置の計測を妨げる原因となってしまう場合がある。以下、本実施形態における光の偏光状態の好ましい調整方法について説明する。

#### 【0032】

10

20

30

40

50



計測基板上の薄膜（この場合レジスト）と同じか、屈折率が同等の膜を、数 $\mu\text{m}$ の膜厚で成膜した基板を、本装置上に搭載して、レジスト裏面反射光の干渉信号の影響が最も小さくなるようにs偏光とp偏光の強度比を調整するようにしている。ここで、前記強度比の調整に用いる基板の材料としては、実際に半導体プロセスで使用する材料を用いることが必要である。具体的にはSi、Al、W、Cuが現在使用されている材料である。本発明においては、例えばSi基板を用いて調整を行うことで、現状の半導体プロセスで使用する材料が基板となった場合に、本発明の効果が発揮されと考えられる。尚、将来的にSiとは異なる材料が半導体プロセスの基板の材料として使用される場合には、その材料を基板として用いて調整を行うことで本発明の目的を達成することは自明である。ここで、Si以外の材料の基板を用いた場合には前記強度比の調整状態が変化することがあり、二種類以上複数の切り替え可能な偏光調整素子を構成して、基板に応じて挿入して使用し、前記強度比の調整を行うことで本発明の目的を達成することができる。

#### 【0033】

図1では不図示であるが、アクロマティック / 2板が、光源1とビームスプリッタ2aの間に、光源1から発せられた光の偏光状態の調整手段として設けられている。アクロマティック / 2板は、リターデーション特性の異なる二種類の結晶材料のエアスペース構成で組み合わせることにより、光源1の波長域において直交する偏光成分の間に / 2の位相差を与えるものであり、市販されているものを使用することができる。更に、 / 2板には、不図示の回転駆動部が設けられており、 / 2板を回転させながら、レジスト裏面反射光の干渉信号の強度比を調整する。この調整方法においては、厚いレジストの構造の基板を使用することで、斜入射白色干渉計のレジスト表面反射光の干渉信号とレジスト裏面反射光の干渉信号とを分離させることができる。また、基板を搭載する替わりに、ウェハステージ上に設けられた基準マーク39上に計測対象基板上の膜に近い屈折率の膜を数 $\mu\text{m}$ 以上の厚さで成膜した構造を作製しておいて、この基準マークを使用して、上述の偏光状態の調整をすることも出来る。このように、分離させたレジスト裏面反射光の干渉信号の前記強度比を調整することで、レジスト裏面反射光の干渉信号の影響を抑制することが可能となる。薄膜表面の形状を計測する場合には、入射角度が大きいほど膜の表面の反射率が高いため、入射角度は大きい方が好ましい。具体的には入射角度は70度以上が好ましい実施形態と言える。なお、入射角度が90度に近くなると、光学系の組立てが難しくなるという問題が生じる。

#### 【0034】

続いて、干渉信号の取得方法について説明する。図1において、基板3は基板チャックCkで保持され、Zステージ5、Yステージ6、Xステージ7上に設置されている。図7のような干渉信号を撮像素子8で得るために、Zステージ5を駆動させ、基板3上の反射点に対応する撮像素子8の各画素の光強度を不図示の記憶装置に記憶するようにしている。また、基板3の計測領域を変更させる場合には、Xステージまたは、Yステージを使用して、所望の領域が撮像素子8の受光領域に位置するように位置合わせした後に、上述の計測を行うようにしている。なお、図1には図示しなかったが、Xステージ、Yステージ、Zステージの位置を正確に制御するために、レーザー干渉計をX、Y、Z軸および、x、yのチルト軸の5軸分設けるようにする。そして、レーザー干渉計の出力を元にクロズドループ制御を行うようにすることで、より高い精度で形状計測を行うことが出来る。また、基板3を、複数領域に分けて計測し、基板3全体のグローバルな形状計測を必要とする場合、レーザー干渉計を使った方が、より正確に形状データのつなぎ合わせ（ステッチング）が出来るため、好ましい構成と言える。

#### 【0035】

続いて、撮像素子8で取得され、記憶装置に記憶された干渉信号を信号処理して、基板3の形状を求める方法について説明する。撮像素子8におけるある画素での干渉信号を図7に示す。この干渉信号はインターフェログラムとも呼ばれており、図7の横軸はZ軸測長干渉計（測長センサとしては、静電容量センサでも良い）による計測値（Zステージ位置）、縦軸が撮像素子8の出力である。干渉信号の信号ピークの位置を算出し、それに対

10

20

30

40

50

応したZ軸測長干渉計による計測値がその画素での高さ計測値となる。撮像素子8の全画素で高さを計測することで、基板3の三次元形状計測が可能となる。信号ピーク位置の算出としては、信号ピークの位置およびその前後の数点のデータを元に曲線（例えば2次関数）近似することで、図7の横軸であるZ軸のサンプリングピッチ $Z_p$ の $1/10$ 以下の分解能でピーク位置の算出が可能である。サンプリングピッチ $Z_p$ は、実際に $Z_p$ の等ピッチでステップ的に駆動させるか、Zステージ5を等速度で駆動させ、サンプリングピッチ $Z_p$ になるような時間サンプリングで干渉信号を取り込むようにしても良い。なお、ピークの位置を計測する方法として、公知の技術であるFDA（US特許登録番号：5398113）を使用することも出来る。FDA法では、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求めている。

10

#### 【0036】

白色干渉方式においては、その分解能を決める鍵は、参照光と計測光の光路長差が0となる位置をいかに正確に求めるかにある。そのため、FDA法以外に、位相シフト法やフーリエ変換法により白色干渉縞の包絡線を求め、縞コントラストの最大位置から光路差のゼロ点を求め方法、位相クロス法等、いくつかの縞解析法が公知の技術として提案されている。

#### 【0037】

##### （実施の形態2）

続いて、本発明の第2の実施形態として、別の構成例である表面形状計測装置に適用した実施形態について説明を行う。図8は、本発明の一側面としての表面形状計測装置200の構成を示す概略図である。表面形状計測装置200は、計測対象物である基板3の表面のZ方向位置を検出する装置であり、以下のように構成される。すなわち、前記光源1と、第1の偏光板9aと、光を分岐させるためのビームスプリッタ2aと、計測対象物3を保持する基板チャックCKと計測対象物の位置を位置合わせするZステージ5、Yステージ6、Xステージ7が配置される。さらに、参照ミラー4と、参照ミラー4で反射した参照光と基板3で反射した計測光とを重ね合わせるためのビームスプリッタ2bと、第2の偏光板9bと、CCD又はCMOSなどの撮像素子8を加えた構成となる。基板3はウエハであり、その表面にはレジストの膜が形成されている。

20

#### 【0038】

以下、各構成要素の機能ならびに好ましい実施形態についての説明を行う。

30

#### 【0039】

図8において、光源1を発した光は、基板3および参照ミラー4へ入射前に、第1の偏光板9aを通る。ビームスプリッタ2aで分岐された光が等しい入射角度で基板3と参照ミラー4にそれぞれ入射する。基板3で反射した計測光と、参照ミラー4で反射した参照光は、共にビームスプリッタ2bに入射する。ここで光源1、入射角度、ビームスプリッタ、参照ミラーなどは実施形態1と同様なので説明は省略する。なお、ビームスプリッタ2bは、ビームスプリッタ2aと同じものを使用することができる。計測光と参照光は、第2の偏光板9bを通った後に撮像素子8で受光される。計測光と参照光は、基板3と参照ミラー4の表面で反射した後ビームスプリッタ2bで重ね合わされて干渉光となり、撮像素子8の受光面に入射する。

40

#### 【0040】

以下、光源から干渉信号の取得方法や干渉信号の処理方法に関しては、実施形態1に記載の方法が、そのまま適用できるので説明は省略する。

#### 【0041】

本実施形態では、実施の形態1に比べ、基板3と参照ミラー4での入射前と反射後に、偏光板9a、9bをそれぞれ備える。これにより、光源1を発した光は偏光状態を直線偏光に変えた後に、基板3と参照ミラー4にプリースター角以上の角度で入射させる。基板3と参照ミラー4での反射後は、基板3と参照ミラー4への入射偏光と同じ直線偏光として受光する。

#### 【0042】

50

本実施形態において、光源から発した光が撮像素子 8 で受光されるまでの偏光状態の変化について図 9 を用いて説明する。光源 1 を発した光は、偏光板 9 a によってその偏光状態が直線偏光に変化する。図 9 では、光源 1 を発して偏光板 9 a を通った光の偏光状態が + 45 ° 方向の直線偏光の場合について示す。

【 0 0 4 3 】

基板 3 と参照ミラー 4 の入射角に対する反射光の位相変化は図 2 のようになる。このため、膜の表面から反射した光の偏光の回転方向は変わらず、+ 45 ° 方向の直線偏光のままである。一方、膜 / 基板界面で反射した光と参照ミラー 4 で反射した光との間には位相差が生じるため、膜 / 基板界面から反射した光は - 45 ° 方向の直線偏光に変化する。この結果、膜表面と膜 / 基板界面からの反射光の干渉信号は、+ 45 ° 方向と - 45 ° 方向の直線偏光の二つの直交する成分となる。基板 3 と参照ミラー 4 での反射後に偏光板 9 b を用いて、+ 45 ° 方向の直線偏光の成分のみを取り出せば、膜 / 基板界面からの干渉信号の成分のみを取り出すことができる。同様に、光源 1 を発して偏光板 9 a を通った光の偏光状態が - 45 ° 方向の直線偏光の場合も同様に、膜 / 基板界面で反射した光と参照ミラー 4 で反射した光との間には位相差が生じ、膜 / 基板界面からの干渉信号の成分のみを取り出すことが可能となる。これより、前記参照ミラー 4 を用い、入射角度をブリースター角以上かつ偏光状態を直線偏光で入射させることで、膜 / 基板界面からの反射光の干渉信号の影響を抑制することができる。偏光板を使用するため、実施形態 1 に比べて光量が要求されるが、レジスト裏面反射光の干渉信号を効果的に取り除くことができ、ウエハ上に塗布されたレジストの表面形状を正確に計測することができる。

【 0 0 4 4 】

以下、本実施形態の光の偏光状態の好ましい調整方法について説明する。

【 0 0 4 5 】

計測基板上の薄膜（この場合レジスト）と同じか、屈折率が同等の膜を、数  $\mu\text{m}$  の膜厚で成膜した基板を、本装置上に搭載して、レジスト裏面反射光の干渉信号の影響が最も小さくなるように s 偏光と p 偏光の強度比を調整するようにしている。図 8 の偏光板 9 a および偏光板 9 b には不図示の回転駆動部が設けられており、偏光板 9 a , 9 b をそれぞれ回転させながら、レジスト裏面反射光の干渉信号の強度比を調整する。この調整方法においては、厚いレジストの構造の基板を使用することで、斜入射白色干渉計のレジスト表面反射光の干渉信号とレジスト裏面反射光の干渉信号とを分離させることができる。また、基板を搭載する替わりに、ウエハステージ上に設けられた基準マーク 39 上に計測対象基板上の膜に近い屈折率の膜を数  $\mu\text{m}$  以上の厚さで成膜した構造を作製しておいて、この基準マークを使用して、上述の偏光状態の調整をすることも出来る。このように、分離させたレジスト裏面反射光の干渉信号の前記強度比を調整することで、レジスト裏面反射光の干渉信号の影響を抑制することが可能となる。

【 0 0 4 6 】

なお、光源からの光の偏光状態を調整する際は、偏光板を回転させるかわりに、偏光板の後ろに、回転駆動部を有する / 2 板を設けて、この / 2 板を回転させて調整することも出来る。レジスト表面位置計測の場合、レジスト表面反射光の干渉信号がシグナル ( S ) であって、レジスト裏面反射光の干渉信号がノイズ ( N ) となる。したがって、この S / N 比が大きいほど、高精度なレジスト表面形状計測が可能となるため、必要な形状計測精度に合わせて、前記強度比を調整することになる。例えば、調整すべき強度比の値としては、S / N 比は 10 以上であることが望ましく、高精度な計測が必要な場合は、S / N 比は 20 以上あるいは 30 以上が好ましい。このため、本実施形態の場合、偏光板 9 a を通った直線偏光の光は + 45 ° 方向および - 45 ° 方向に対して  $\pm 1^\circ$  の範囲内で調整することが望ましい。この理由は、前記直線偏光の光が  $\pm 45^\circ$  方向以外の角度の場合、膜表面と膜 / 基板界面からの反射光の干渉信号は直交せず、膜 / 基板界面からの反射光と干渉を起こす成分が存在するため、S / N 比が低下し、高精度な表面形状計測が困難になるからである。

【 0 0 4 7 】

偏光状態の調整の頻度は、装置出荷時に一度だけ調整し、その後は、光源の交換など、装置内の部品交換の際に調整するようにしている。又は、計測する基板に合わせて、厚め（数 $\mu\text{m}$ ）の膜を別途用意して、その厚めの膜が形成された基板を用いて偏光状態を調整した後に、計測する基板の膜表面形状を計測することも可能である。

【0048】

なお、第2の偏光板9bが無い場合でも、レジスト表面とレジスト裏面からの反射光は二つの成分の直線偏光として受光される。このとき、受光した光が直交する二つの成分の直線偏光である場合には、同位相の参照光とレジスト表面からの反射光でのみ干渉が生じるため、レジスト裏面の干渉信号の影響を抑制することができる。干渉信号のコントラストの観点から、受光する光は直交する二つの成分の直線偏光であることが好ましい。実際にはビームスプリッタなどの影響により、位相変化にずれが生じ、完全な直線偏光を得ることが容易ではないため、本実施形態では第2の偏光板9bを用いてレジスト裏面からの反射光の影響を抑制している。

10

【0049】

また、基板3上の複数計測領域の形状を計測する場合には、先の実施形態と同様に、Xステージ、Yステージを駆動して、所定の領域に位置合わせをした後に、干渉信号の取得、および処理を行うようにしている。

【0050】

（実施の形態3）

続いて、本発明の第3の実施形態として、別の構成例である表面形状計測装置に適用した実施形態について説明を行う。図10は、本発明の一側面としての表面形状計測装置200の構成を示す概略図である。表面形状計測装置200は、計測対象物である基板3の表面のZ方向位置を検出する装置であり、以下のように構成される。すなわち、前記光源1と、第1の偏光板9aと、第1の波長板10aと、光を分岐させるためのビームスプリッタ2aと、計測対象物3を保持する基板チャックCKと計測対象物の位置を位置合わせするZステージ5、Yステージ6、Xステージ7が配置される。さらに、参照ミラー4と、参照ミラー4で反射した光と基板3で反射した光を合波させるためのビームスプリッタ2bと、第2の偏光板9bと、第2の波長板10bと、CCDやCMOSなどの撮像素子8を加えた構成となる。

20

【0051】

以下、詳細に各構成要素の機能ならびに好ましい実施形態について説明を行う。

30

【0052】

図10において、光源1を発した光は、基板3および参照ミラー4へ入射前に、第1の偏光板9aと第1の波長板10aを通る。ビームスプリッタ2aで分岐された光が等しい入射角度で基板3と参照ミラー4にそれぞれ入射する。基板3上に照射され、基板3で反射した計測光と、参照ミラー4上に照射され、参照ミラー4で反射した参照光は、共にビームスプリッタ2bに入射する。ここで光源1、入射角度、ビームスプリッタ、参照ミラーなどは実施形態1と同様なので詳細な説明は省略する。なお、ビームスプリッタ2bは、ビームスプリッタ2aと同じものを使用することができる。計測光と参照光は、第2の波長板10bと、第2の偏光板9bを通った後に撮像素子8で受光される。計測光と参照光は基板3と参照ミラー4の表面で反射した後、撮像素子8の受光面上で重なり、光の干渉が生じる。

40

【0053】

ここで、波長板はアクロマティック / 4板とする。アクロマティック / 4板は、リターデーション特性の異なる二種類の結晶材料のエアスペース構成で組み合わせることにより、広帯域な波長域において直交する偏光成分間に / 4の位相差を与えるものであり、市販されているものを使用することができる。

【0054】

以下、光源から干渉信号の取得方法や干渉信号の処理方法に関しては、実施形態1に記載の方法が、そのまま適用できるので説明は省略する。

50

## 【 0 0 5 5 】

本実施形態では、実施形態 1 に比べ、基板 3 と参照ミラー 4 での入射前と反射後に、偏光板 9 a と波長板 1 0 a、偏光板 9 b と波長板 1 0 b をそれぞれ備える。これにより、光源 1 を発した光の偏光状態を直線偏光（例えば p 偏光）から円偏光に変えた後に、基板 3 と参照ミラー 4 に入射角度 で入射させる。また、基板 3 と参照ミラー 4 での反射後は先の直線偏光と同じ方向に振動する光の成分のみを受光するようにしている。

## 【 0 0 5 6 】

以下では本実施形態における光の偏光状態の変化を、図 1 1 を用いて説明する。光源 1 を発した光の偏光状態は、偏光板 9 a によって直線偏光に変わった後に、波長板 1 0 a により円偏光に変化する。図 1 1 では、光源 1 を発して偏光板 9 a と波長板 1 0 a を通った光の偏光状態が右回り円偏光の場合について示す。

## 【 0 0 5 7 】

参照ミラーを用いた場合、基板 3 と参照ミラー 4 の入射角に対する位相変化は図 2 のようになる。このため、膜表面から反射した光の偏光の回転方向は変わらず、右回り円偏光のままである。一方、膜 / 基板界面で反射した光と参照ミラー 4 で反射した光との間には位相差 が生じるため、膜 / 基板界面から反射した光は左回り円偏光に変化する。この結果、膜表面と膜 / 基板界面からの反射光の干渉信号は、波長板 1 0 b で円偏光を直線偏光に変えることで、右回りと左回りの円偏光をそれぞれ直線偏光の p 偏光成分と s 偏光成分に変換できる。さらに偏光板 9 b により、p 偏光成分のみを取り出せば、膜 / 基板界面からの干渉信号の成分のみを取り出すことができる。これより、前記参照ミラー 4 を用い、入射角度 をブリースター角以上かつ偏光状態を円偏光で入射させた後に、波長板で直交する直線偏光成分として偏光板でレジスト反射光成分を取り出すことで、レジスト裏面の干渉信号の影響を抑制することができる。偏光板と波長版を使用するため、実施形態 1 に比べて光量が要求されるが、レジスト裏面からの干渉信号を効果的に取り除くことができ、ウエハ上に塗布されたレジストの表面形状を正確に計測することができる。調整方法として図 6 で示したように、はじめに表面信号と裏面信号が十分に分離する程度の厚い膜を基板に形成し、表面信号に対して裏面信号の相対強度が最も小さくなるように、偏光板 9 a , 9 b と波長板 1 0 a , 1 0 b の角度を調整するようにしても良い。

## 【 0 0 5 8 】

なお、本実施形態において、第 2 の偏光板 9 b を用いない場合でも、レジスト表面とレジスト裏面からの反射光は直交する二つの成分の直線偏光として受光されるため、同位相の参照光とレジスト表面からの反射光でのみ干渉が生じる。これにより、レジスト裏面の干渉信号の影響を抑制することができる。実際にはビームスプリッタなどの影響により、位相変化にずれが生じ、完全な直線偏光を得ることは容易ではないため、本実施形態では第 2 の偏光板 9 b を用いてレジスト裏面からの反射光の影響を抑制している。

## 【 0 0 5 9 】

光の偏光状態の調整方法については、偏光板 9 a , 9 b または、波長板 1 0 a , 1 0 b に回転駆動部を設けておき、先の実施形態と同様に調整を行う。すなわち、計測する基板上の薄膜（この場合レジスト）と同じか、屈折率が同等の膜を、数  $\mu\text{m}$  の膜厚で成膜した基板を、本装置上に搭載する。その後、偏光板 9 a , 9 b または、波長板 1 0 a , 1 0 b を回転させ、レジスト裏面反射光の干渉信号の影響が最も小さくなるように s 偏光と p 偏光の強度比を調整するようにしている。

## 【 0 0 6 0 】

基板 3 面上の複数の測定領域の形状を計測する場合には、先の実施例と同様に、X ステージ、Y ステージを駆動して、所定の領域に位置合わせした後に、干渉信号の取得、および処理を行うようにしている。

## 【 0 0 6 1 】

以上、三つの実施形態ではその説明の簡略化のため、レンズ等を使用した場合の実施形態についての説明は省略してきた。図 1 2 は本発明の一側面としての表面形状計測装置 2 0 0 の構成を示す概略図である。以下では、レンズ等により構成される光学系を使用した

10

20

30

40

50

場合の実施形態について図 1 2 を用いて説明する。前記光源 1 から発した光はコンデンサレンズ 1 1 で集光され、透過スリット板 3 0 を通過し、レンズ 1 2、4 2 から構成される結像光学系 1 6 により、ビームスプリッタ 2 a で分岐された後に基板 3 と参照ミラー 4 の面上に結像させるようにしている。基板 3 と参照ミラー 4 で反射した光はビームスプリッタ 2 b で重ね合わせられた後、レンズ 5 2、6 2 から構成される結像光学系 2 4 により撮像素子 8 に結像させることで、基板 3 の表面を撮像素子 8 に結像させてもよい。なお、透過スリット板 3 0 は計測範囲を規定するために用いる。

#### 【 0 0 6 2 】

また、上記の三つの実施形態では基板 3 と参照ミラー 4 への入射角度が等しい場合についてのみ説明したが、参照ミラー 4 が前述した条件を満たせば、基板 3 と参照ミラー 4 への入射角度は一致していなくてもよい。さらに、干渉信号のコントラスト向上などを目的とし、基板 3 と参照ミラー 4 への入射角度をそれぞれ調整し、基板 3 と参照ミラー 4 からの反射光の干渉信号の強度を変えることもできる。

#### 【 0 0 6 3 】

##### ( 第 4 の実施形態 )

図 1 3 は、本発明の表面形状計測装置を具備した半導体露光装置のブロック図を示す図である。図 1 3 に示すように、照明装置 8 0 0 と、レチクル 3 1 を載置するレチクルステージ R S と、投影光学系 3 2 と、ウエハ 3 を載置するウエハステージ W S と、ウエハステージ W S 上に配置された基準プレート 3 9 が配置される。加えて、表面位置計測装置 3 3 と、その演算処理部 4 0 0 と、表面形状計測装置 2 0 0 とその演算処理部 4 1 0 をと有する。表面形状計測装置 2 0 0 は、第 1 から第 3 の実施例のいずれかを用いることが出来る。なお、本実施形態の中では、それぞれの機能を明確にする目的で、表面位置計測装置 3 3 をフォーカス計測用装置 3 3、また、表面形状計測装置 2 0 0 をフォーカス較正用装置 2 0 0 として、以下呼ぶことにする。制御部 1 1 0 0 は、C P U やメモリを有し、照明装置 8 0 0、レチクルステージ R S、ウエハステージ W S、フォーカス計測用 3 3、フォーカス較正用装置 2 0 0 と電氣的に接続され、露光装置の動作を制御する。制御部 1 1 0 0 は、本実施形態では、フォーカス計測用装置 3 3 がウエハ 3 の表面位置を検出する際の計測値の補正演算及び制御も行う。

#### 【 0 0 6 4 】

照明装置 8 0 0 は、転写用の回路パターンが形成されたレチクル 3 1 を照明し、光源部 8 0 0 と、照明光学系 8 0 1 とを有する。照明光学系 8 0 1 は、レチクル 3 1 を均一に照明する機能や、偏光照明機能を有する。

#### 【 0 0 6 5 】

光源部 8 0 0 は、例えば、レーザーを使用する。レーザーは、波長約 1 9 3 n m の A r F エキシマレーザー、波長約 2 4 8 n m の K r F エキシマレーザーなどを使用することができるが、光源の種類はエキシマレーザーに限定されない。具体的には、波長約 1 5 7 n m の F 2 レーザーや波長 2 0 n m 以下の E U V ( E x t r e m e u l t r a v i o l e t ) 光を使用してもよい。

#### 【 0 0 6 6 】

照明光学系 8 0 1 は、光源部 8 0 0 から射出した光束を用いて被照明面を照明する光学系であり、本実施形態では、光束を露光に最適な所定の形状の露光スリットに成形し、レチクル 2 1 を照明する。照明光学系 8 0 1 は、レンズ、ミラー、オプティカルインテグレーター、絞り等を含み、例えば、コンデンサーレンズ、ハエの目レンズ、開口絞り、コンデンサーレンズ、スリット、結像光学系の順で配置する。

#### 【 0 0 6 7 】

レチクル 3 1 は、例えば、石英製で、その上には転写されるべき回路パターンが形成され、レチクルステージ R S に支持及び駆動されている。レチクル 3 1 から発せられた回折光は、投影光学系 3 2 を通り、ウエハ 3 上に投影される。レチクル 3 1 とウエハ 3 とは、光学的に共役の関係に配置される。レチクル 3 1 とウエハ 3 を縮小倍率比の速度比で走査することによりレチクル 3 1 のパターンをウエハ 3 上に転写する。なお、露光装置には、

10

20

30

40

50

不図示の光斜入射系のレチクル検出手段が設けられており、レチクル 31 は、レチクル検出手段によって位置が検出され、所定の位置に配置される。

【0068】

レチクルステージ RS は、図示しないレチクルチャックを介してレチクル 31 を支持し、図示しない移動機構に接続されている。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 RS を駆動することでレチクル 31 を移動させることができる。

【0069】

投影光学系 32 は、物体面からの光束を像面に結像する機能を有し、本実施形態では、レチクル 31 に形成されたパターンを経た回折光をウエハ 3 上に結像する。投影光学系 32 は、複数のレンズ素子からなる光学系、複数のレンズ素子と少なくとも一枚の凹面鏡とを有する光学系（カタディオプトリック光学系）、複数のレンズ素子と少なくとも一枚のキノフォームなどの回折光学素子とを有する光学系等の使用が可能である。

【0070】

ウエハ 3 は、被処理体であり、フォトリソが基板上に塗布されている。なお、本実施形態では、ウエハ 3 は、フォーカス計測用装置 33 およびフォーカス較正用装置 200 が面位置を検出する被検出体でもある。ウエハ 3 は、別の実施形態では、液晶基板やその他の被処理体に置換される。

【0071】

ウエハステージ WS は、図示しないウエハチャックによってウエハ 3 を支持する。ウエハステージ WS は、レチクルステージ RS 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 3 を移動させる。また、レチクルステージ RS の位置とウエハステージ WS の位置は、例えば、6 軸のレーザー干渉計 81 などにより監視され、両者は一定の速度比率で駆動される。

【0072】

続いて、ウエハ 3 の表面位置（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 3 の全域に渡って、スキャン方向（Y 方向）にウエハステージ WS をスキャンしながら、フォーカス計測用装置 33 でウエハ面形状を計測し、スキャン方向と垂直な方向（X 方向）には、WS ステージを X だけステップする。続いて、スキャン方向にウエハの表面位置を計測する動作を繰り返し行うことにより、ウエハ 3 全面の形状計測を行うようにしている。なお、高スループット化のためには、フォーカス計測用装置 33 を複数用いて、ウエハ 3 上の異なるポイントの面位置を同時に計測するようにしても良い。

【0073】

このフォーカス計測用装置 33 は光学的な高さ計測システムを使用している。ウエハ表面に対して高入射角度で光束を入射させ、反射光の像ズレを CCD などの位置検出素子で検出する方法をとっている。特に、ウエハ上の複数の計測すべき点に光束を入射させ、各々の光束を個別のセンサに導き、異なる位置の高さ計測情報から露光すべき面のチルトを算出している。

【0074】

以下に、フォーカス、チルト検出系 33 の詳細を説明する。はじめに、フォーカス計測用装置 33 の構成および動作について述べる。図 14 において、105 は光源、106 はコンデンサレンズ、107 は複数の長方形の透過スリットが並んだパターン板、108、111 はレンズ、103 がウエハ、104 がウエハステージ、109、110 はミラー、112 は CCD などの受光素子である。なお、102 は不図示のレチクルをウエハ上に投影露光するための縮小投影レンズである。光源 105 から出射した光は、コンデンサレンズ 106 により、集光され、パターン板 107 を照明する。パターン板 107 のスリットを透過した光はレンズ 108、ミラー 109 を介してウエハ 103 上に所定角度で照射される。パターン板 107 とウエハ 103 はレンズ 108 に関して結像関係をなし、パターン板 107 のスリットの空中像がウエハ上に形成される。ウエハ 103 で反射した光は、ミラー 110、レンズ 111 を介して、CCD 112 で受光される。ウエハ 103 のスリ

ット像は、レンズ１１１によりＣＣＤ１１２上に再結像され、１０７ｉのようなパターン板１０７の各スリットに対応したスリット像からなる信号が得られる。この信号のＣＣＤ上での位置ずれを検出することにより、ウエハ１０３のＺ方向の位置を計測するようにしている。ウエハ表面がＺ方向の位置ｗ１から、ｗ２の位置にｄＺ変化した場合のウエハ３上の光軸シフト量ｍ１は、入射角度を  $i_n$  として、以下の式で表すことができる。

$$m1 = 2 \cdot dZ \cdot \tan i_n \quad (1)$$

例えば、入射角  $i_n$  を８４度とすると、 $m1 = 19 \cdot dZ$  となり、ウエハの変位を１９倍に拡大された変位量になる。受光素子上での変位量は（１）式に、光学系の倍率（レンズ１１１による結像倍率）が掛け合わされる。

#### 【００７５】

このようにして構成される本発明の露光装置を用いた露光方法について、詳細に説明する。図１５は本発明の露光装置を使用する場合の露光方法の全体のシーケンスを示すフローチャートである。まず、ステップＳ１でウエハ３を装置に搬入し、ステップＳ１０で、このウエハに対して、フォーカス計測用装置３３のフォーカス較正を行うかを判断する。ユーザーが予め、露光装置に登録しておいた「ロットの先頭ウエハであるか、複数ロットの先頭ロットのウエハであるか、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」などの情報を元に自動的に判断するようにしている。ステップＳ１０でフォーカス較正が不要と判断されたウエハはステップＳ１０００に進み、通常の露光シーケンスが行われる。一方、ステップＳ１０で、フォーカス較正が必要と判断された場合、ステップＳ１００のフォーカス較正シーケンスに進む。

#### 【００７６】

ステップＳ１００では、図１６に示すフローチャートが実施される。まず、ウエハステージＷＳを駆動させて、フォーカス計測用装置３３の下の基準プレート３９が位置するように位置決めする。基準プレート３９は、オプティカルフラットと呼ばれる面精度の良いガラス板などが使用され、その表面は面位置検出装置３３の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、この領域を計測するようにしている。なお、基準プレート３９は、露光装置の他のキャリブレーション用（例えばアライメント検出計用や、投影光学系の評価用）に必要な各種較正用マークを設けたプレートの一部を使用するようにしても良い。ステップＳ１０１で、フォーカス計測用装置３３により基準プレート３９のＺ方向の位置を検出し、ステップ１０２でその計測値Ｏｍを装置上に格納する。次にステップＳ１０３では、ウエハステージＷＳを駆動させ、フォーカス較正用装置２００の下に位置決めした後、基準プレート３９上で、フォーカス計測用装置３３の計測領域とＸＹ面に関して同じ場所をフォーカス較正用装置２００にて形状計測する。ステップＳ１０４では、その形状計測データＰｍを装置上に格納する。ステップＳ１０５で第１のオフセット１を算出する。図１４に示すように、フォーカス較正用装置２００の計測値Ｐｍとフォーカス計測用装置３３の計測値Ｏｍの差として、オフセット１を求める。このオフセット１は、基準プレート３９の光学的に均一な面を計測しているためフォーカス計測用装置３３の計測誤差が発生しない。よって、このオフセット１は本来ゼロになるべきものであるが、ＷＳの走査方向のシステム的なオフセットや、フォーカス計測用装置３３または、フォーカス較正用装置２００の長期的なドリフトによって生じるものである。従って、定期的にオフセット１を取得する方が好ましいと言える。

#### 【００７７】

これで、基準プレート３９を用いたフォーカス較正シーケンスＳ１００を終了する。Ｓ１００に続いて、ウエハ３のフォーカス較正シーケンスＳ２００を行う。図１６のステップＳ２０１で、ウエハステージＷＳを駆動させて、フォーカス計測用装置３３の計測位置にウエハ３が位置するように位置決めする。ウエハ３上の計測位置Ｗｐ（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て行うこととする。ステップＳ２０１で、フォーカス計測用装置３３によりウエハ３上計測位置ＷｐのＺ方向の位置を検出し、ステップ２０２でその計測値Ｏｗを装置上に格納する。次に、ステップＳ２０３では、ウエハステージＷＳを駆動させて、フォーカス較正用装置２００の下に位置決めした後、ウエ

10

20

30

40

50



ハ 3 上の計測位置  $W_p$  をフォーカス較正用装置 200 にて形状計測する。ステップ S 204 では、その形状計測データ  $P_w$  を装置上に格納する。なお、ウエハ 6 上の計測点である  $W_p$  は、ウエハ内 1 点、ショット内 1 点、ショット内全点、複数ショット内全点、ウエハ内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。

#### 【0078】

ステップ S 205 では、第 2 のオフセット 2 を算出する。図 17 に示すように、フォーカス較正用装置 200 の計測値  $P_w$  とフォーカス計測用装置 33 の計測値  $O_w$  の差として、オフセット 2 を、ウエハ 3 上の計測点  $W_p$  毎に求める。

#### 【0079】

更にステップ S 206 で、ウエハ上の計測ポイント毎に、オフセット 2 とオフセット 1 の差分を取りデータを装置に格納する。ウエハ 6 上の各計測ポイントにおけるオフセット量  $O_p$  は、下記の式により求めることが出来る。

$$O_p(i) = [O_w(i) - P_w(i)] - (O_m - P_m) \quad (2)$$

ここで、 $i$  はウエハ 3 上の計測位置を表すポイント No である。

これで、ウエハ 3 のフォーカス較正シーケンス S 200 を終了する。

#### 【0080】

続いて、較正シーケンス S 100、S 200 が終了して行われる露光シーケンス S 1000 の説明を行う。図 18 は、露光シーケンス S 1000 の詳細を示したものである。図 18 において、ステップ S 1010 で、ウエハアライメントを行う。ウエハアライメントは、アライメントスコープ（不図示）により、ウエハ上のマークの位置を検出して、露光装置に対して、ウエハの XY 平面の位置合わせを行うものである。その後ステップ S 1011 で、フォーカス計測用装置 33 により、ウエハ 3 上の所定箇所の面位置を計測する。この所定箇所は、先のウエハ 3 の較正シーケンスで計測した箇所を含むものになっている。従って、(2) 式に従ったオフセット量  $O_p(i)$  で、計測値を補正してウエハ全面の形状を計測する。露光装置には、この補正後のウエハ面形状データが保存される。ステップ S 1012 では、ウエハ 3 はウエハステージ WS により、フォーカス計測用装置 33 の下の位置から、投影レンズ 32 の下の露光位置に第 1 露光ショットが位置するように移動される。同時に、露光装置の処理手段により、ウエハ 3 の面形状データを元に、第 1 露光ショットの面形状データを作成し、露光像面からのずれ量を算出する。そしてこの露光像面からのずれ量に基づいた Z 方向および傾き（チルト）方向へのステージ駆動により、ほぼ露光スリット単位でウエハ表面の高さ方向の形状に合わせこむ動作を行う。ステップ S 1103 では、露光およびウエハステージ WS の Y 方向スキャンが行われる。こうして、第 1 露光ショットが露光終了するとステップ S 1015 で未露光ショットの有無を判断し、未露光ショットが有り場合には、ステップ S 1012 に戻る。そして第 1 露光ショットの場合と同様に次の露光ショットの面形状データを作成して、Z 方向および傾き（チルト）方向へのステージ駆動によりほぼ露光スリット単位でウエハ表面の高さ方向の形状に合わせこむ動作を行いながら露光が行われる。ステップ S 1014 で、露光すべきショット（即ち、未露光ショット）がないかどうかを判断し、未露光ショットがなくなるまで、上述の動作を繰り返す。全ての露光ショットの露光が終了したら、ステップ S 1015 でウエハ 3 を回収し、終了する。

#### 【0081】

本実施形態では、各ショットの露光直前に、露光ショットの面形状データを作成、露光像面からのずれ量を算出、ウエハステージの駆動量の算出を行っている。しかし、この各工程のタイミングについては、第 1 ショットの露光前に、全ての露光ショットに関して、面形状データを作成、露光像面からのずれ量を算出、ウエハステージの駆動量の算出を行うようにしても良い。

#### 【0082】

また、ウエハステージ WS 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のアライメントや面形状を計測するための計測ステージの 2 つを持つ、所謂、ツインステージの構成としても良い。この場合、フォーカス計測用装置 33 およびフォ

10

20

30

40

50

ーカス校正用装置 200 は、計測ステージ側に配置することになる。

【0083】

最後に、本実施形態のように、露光装置に表面形状計測装置 200 を具備した場合の、表面形状計測装置 200 の光の偏光状態の調整方法について説明する。実施形態 2 で説明したように、数  $\mu\text{m}$  と厚いレジストを塗布した基板を用いて、光の偏光状態の調整を行っても良いが、ここでは、更に、露光装置の露光光の偏光を基準にした調整方法の実施形態について説明する。露光装置の照明光学系 801 には、通常、レチクルに照明する偏光状態を規定するための偏光照明手段が設けられている。そこで、露光装置の出荷時に、この露光光の偏光を基準にして、表面形状計測装置 200 の光の偏光状態を調整している。はじめに、露光光の照明光学系 801 内の偏光照明手段を用いて、所定の直線偏光（例えば、p 偏光）を作る。次に、回転駆動部を有する偏光板に、この直線偏光の露光光を垂直に入射させる。更に、偏光板を回転させて、透過率が最大または、最小になる位置を求める。この状態が、露光光の p 偏光、または s 偏光に相当する偏光状態である。この後、この偏光板を、表面形状計測装置 200 内の光源からの光が垂直に入射するように、取り付けるようにしている。更に、図 8 に示す第 2 の実施形態の表面形状計測装置の場合は、回転駆動部により偏光板を 45 度回転させて調整を終了する。このように、偏光状態の調整を、特別な基板を準備することなく、露光装置単体で行うことも可能である。

10

【0084】

更に、露光装置出荷時に、表面形状計測装置の偏光状態を露光光の偏光を基準に調整した後に、処理するウエハ構造に合わせて、厚膜レジスト基板で偏光状態を、回転駆動部を使用して微調整することも出来る。

20

【0085】

半導体露光装置の計測、加工の基板であるウエハ上には、複雑な回路パターンや、スクライプラインなどが存在するので、反射率分布やローカルチルトなどの発生率が高いため、反射率分布やローカルチルトによる計測誤差を低減できる本発明の効果は大きいと言える。ウエハ表面の面位置が正確に計測できるようになると、最適露光面とウエハ表面のフォーカス合わせの精度が向上することになり、半導体素子の性能向上や、製造歩止まりの向上にも繋がるという効果もある。

【0086】

〔デバイス製造方法の実施例〕

30

デバイス（半導体集積回路素子、液晶表示素子等）は、前述の実施例の露光装置を使用して感光剤を塗布した基板（ウエハ、ガラスプレート等）を露光する工程と、その基板を現像する工程と、他の周知の工程と、を経ることにより製造される。

【0087】

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。

【図面の簡単な説明】

【0088】

【図 1】本発明の実施形態 1 としての形状計測装置の構成を示す図である。

40

【図 2】入射角に対する振幅反射率の変化を説明するための図である。

【図 3】図 19 のシミュレーションの際に用いたモデルを示す図である。

【図 4】図 22、図 23 のシミュレーションの際に用いたモデルを示す図である。

【図 5】（A）（B）入射角に対するレジスト表裏面反射光の位相変化を示す図である。

【図 6】レジスト表裏面反射光の干渉信号を示す図である。

【図 7】本発明で得られる干渉信号を示す図である。

【図 8】本発明の実施形態 2 としての形状計測装置の構成を示す図である。

【図 9】本発明の実施形態 2 としての形状計測装置における偏光状態を示す図である。

【図 10】本発明の実施形態 3 としての形状計測装置の構成を示す図である。

【図 11】本発明の実施形態 3 としての形状計測装置における偏光状態を示す図である。

50

- 【図 1 2】本発明の一側面としての形状測定装置の構成を示す図である。  
 【図 1 3】本発明の実施形態 4 における露光方法のフローチャート図である。  
 【図 1 4】本発明の実施形態 4 における表面位置測定装置の構成を示す図である。  
 【図 1 5】本発明の実施形態 4 における露光シーケンスのフローチャート図である。  
 【図 1 6】本発明の実施形態 4 における較正方法のフローチャート図である。  
 【図 1 7】本発明の実施形態 4 における較正方法を説明する図である。  
 【図 1 8】本発明の実施形態 4 における露光方法のフローチャート図である。  
 【図 1 9】従来の表面位置測定装置の課題を説明するための図である。  
 【図 2 0】従来の表面位置測定装置で測定される信号プロファイルの例を示す図である。  
 【図 2 1】従来の形状測定装置の課題を説明するための図である。  
 【図 2 2】従来の形状測定装置の課題を説明するための図である。  
 【図 2 3】従来の形状測定装置の構成を示す図である。

10

## 【符号の説明】

## 【 0 0 8 9 】

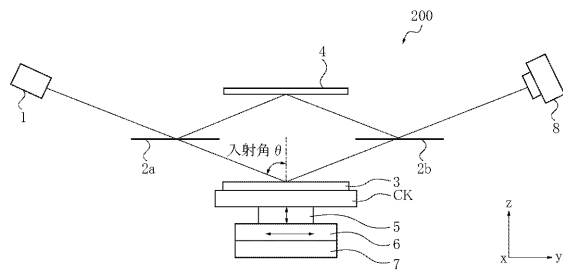
- 1、1 0 5 光源  
 2 a、2 b ビームスプリッタ  
 3 基板（計測対象物）  
 4 参照ミラー  
 5 Z ステージ  
 6 Y ステージ  
 7 X ステージ  
 8 撮像素子  
 9 a、9 b 波長版  
 1 0 a、1 0 b 偏光板  
 1 1 コンデンサレンズ  
 1 2、4 2、5 2、6 2、1 0 6、1 1 1 レンズ  
 1 3、2 2 開口絞り  
 1 6、2 4 結像光学系  
 3 0 スリット板  
 3 0 i スリット像  
 3 1 レチクル  
 3 2 投影光学系  
 3 3 表面位置計測装置  
 3 9 基準プレート  
 8 1 6 軸レーザー干渉計  
 1 0 3 ウエハ  
 1 0 7 マルチスリット板  
 1 0 9、1 1 0 ミラー  
 1 1 2 C C D  
 2 0 0 表面形状計測装置  
 4 0 0、4 0 1 信号処理装置  
 8 0 0 露光用光源  
 8 0 1 照明光学系  
 R S レチクルステージ  
 W S ウエハステージ  
 C K チャック

20

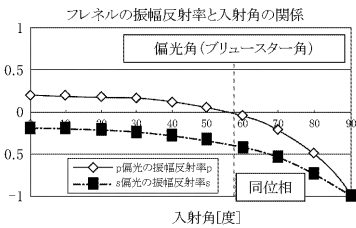
30

40

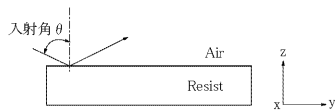
【図 1】



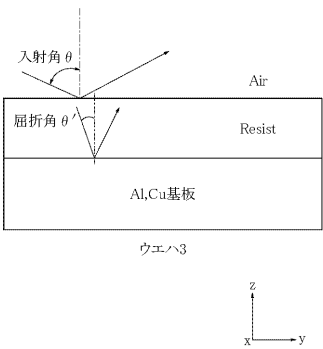
【図 2】



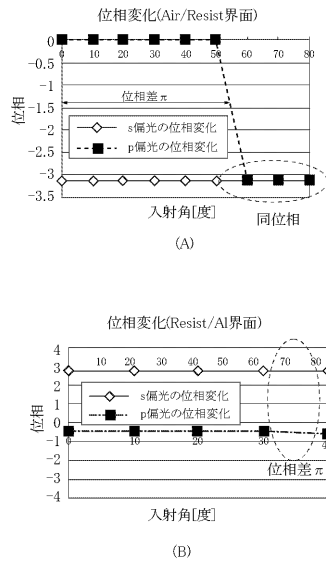
【図 3】



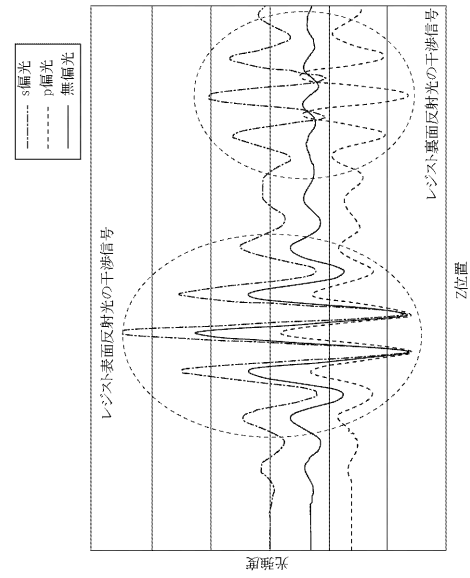
【図 4】



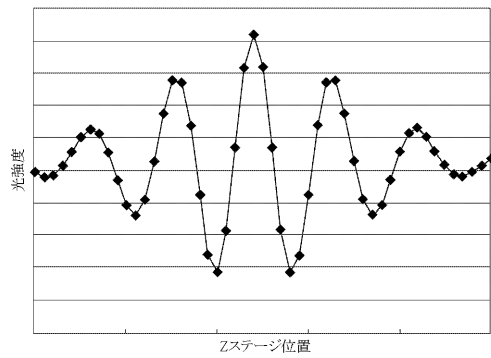
【図 5】



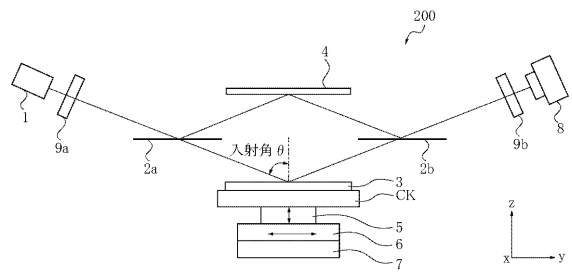
【図 6】



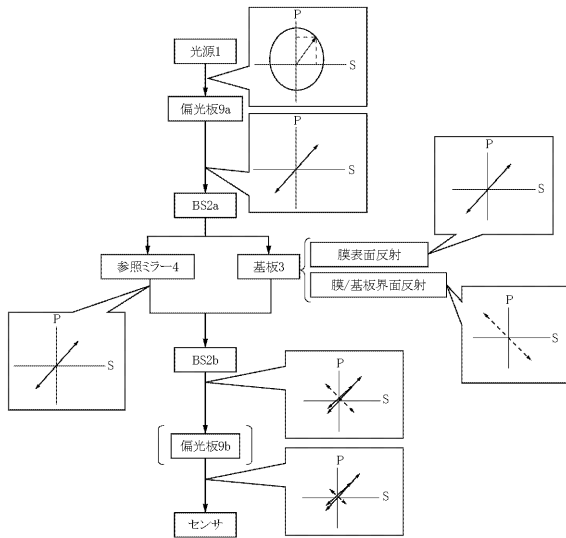
【図 7】



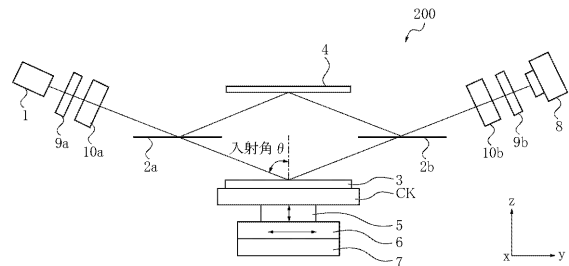
【図 8】



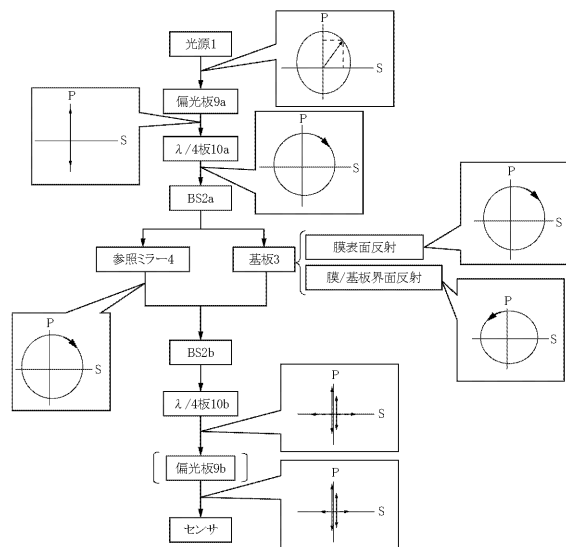
【図 9】



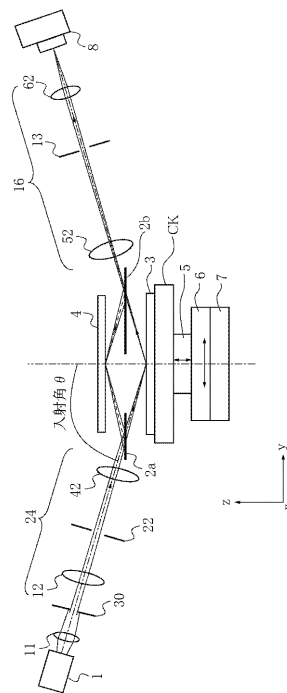
【図 10】



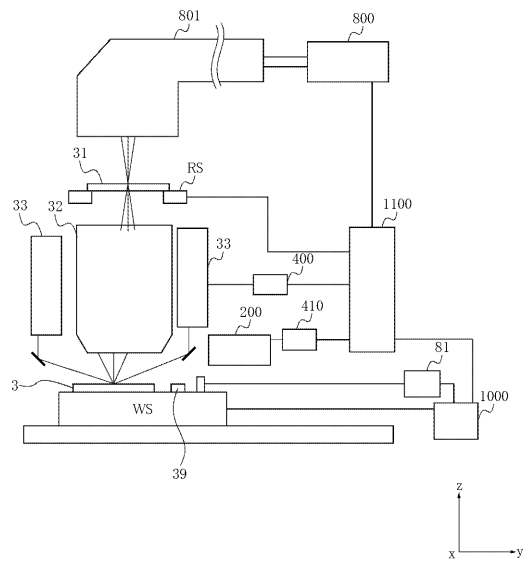
【図 11】



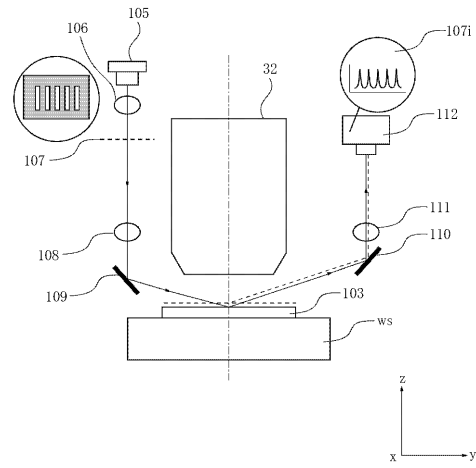
【図 12】



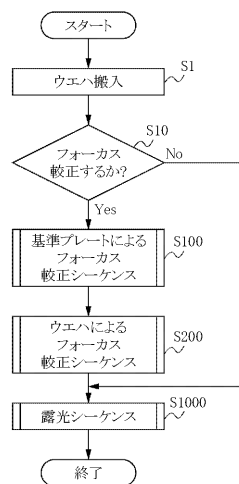
【図 13】



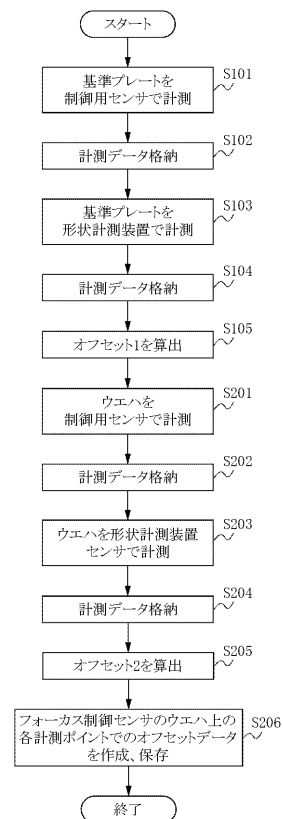
【図 14】



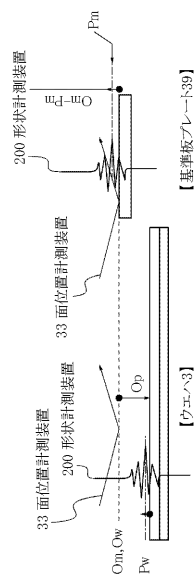
【図 15】



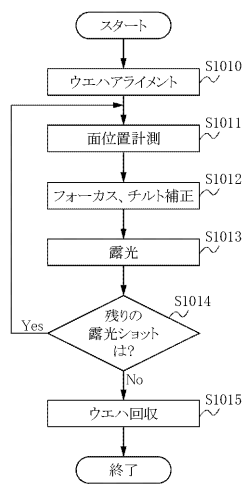
【図 16】



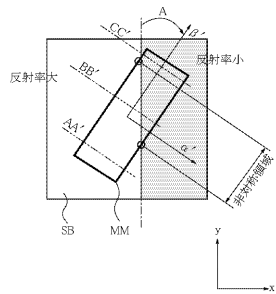
【図 17】



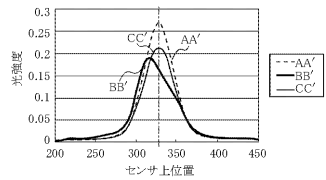
【図 18】



【図 19】

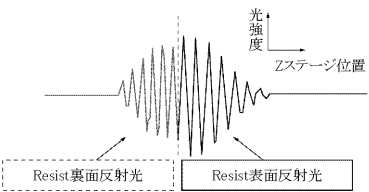


【図 20】

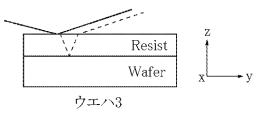




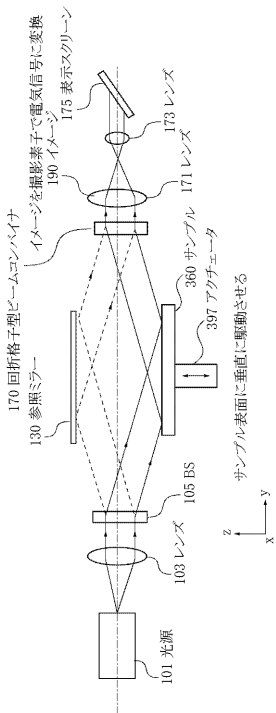
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



---

フロントページの続き

(72)発明者 稲 秀樹

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

審査官 うし 田 真悟

(56)参考文献 特表2007-506070(JP,A)

特開昭63-275912(JP,A)

特開2002-286048(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00-11/30

H01L 21/027