

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KH, KN,
 KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA,
 MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA,
 NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
 RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM,
 ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
 US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

in the z-position examination area is determined on the basis of the plurality of sets of intensity images. Further, three-dimensional measurement of the measurement area is carried out through the acquisition of complex amplitude data at this position for the entire measurement area.

(57) 要約: 計測精度の向上を図ると共に、計測効率の向上を図ることのできる計測装置を提供する。計測装置1は、撮像系4A、4Bにより撮像し得られた干渉縞画像を基に、ワークWの所定の計測領域内に予め設定した一部のz位置調査領域について、z方向複数位置における複素振幅データを取得する。続いて、該複数通りの複素振幅データからz位置調査領域に係る複数通りの強度画像を取得し、該複数通りの強度画像を基にz位置調査領域のz方向における位置を決定する。そして、この位置における複素振幅データを計測領域全体について取得して、計測領域に係る三次元計測を実行する。

明 細 書

発明の名称：計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、被計測物の形状を計測する計測装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、被計測物の形状を計測する計測装置として、干渉計を利用した計測装置が知られている（例えば、特許文献1参照）。中には、位相の異なる複数の干渉縞画像を基に位相シフト法により計測を行う計測装置などもある（例えば、特許文献2参照）。

[0003] しかしながら、被計測物を撮像手段の合焦範囲内に適切に設置しないと、焦点の合った精度の良い画像データを取得することができず、計測精度が低下するおそれがあった。

[0004] そのため、従来では、計測を開始する前に被計測物を合焦範囲内に設置する前処理等を精度よく行う必要があり、計測に要する時間が全体として長くなるおそれがあった。また、高さ計測の計測レンジが合焦範囲の制約を受けらるおそれもあった。

[0005] これに対し、近年では、焦点ぼけ収差を補正する機能を備えた干渉撮像装置なども見受けられる（例えば、特許文献3参照）。焦点ぼけ収差を補正することで、焦点ぼけの生じた画像データを演算処理により焦点の合った画像データに変換できるため、精度の良い画像データを取得することができる。結果として、計測精度の向上を図ることができる。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開平8－219722号公報

特許文献2：特開平11－337321号公報

特許文献3：特表2016－504947号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、特許文献3に係る従来技術では、被計測物が存在し得る光軸方向（高さ方向）所定範囲内の光軸方向複数位置についてそれぞれ収差補正画像を作成し、その中から焦点の合った画像を抽出する構成となっている。つまり、撮像手段により撮像し得られた画像全体について収差補正処理を行った収差補正画像を複数通り作成しなければならないため、処理負荷が極めて大きく、かかる処理に要する時間も長くなるおそれがあった。結果として、計測効率が著しく低下するおそれがあった。

[0008] 本発明は、上記事情等に鑑みてなされたものであり、その目的は、計測精度の向上を図ると共に、計測効率の向上を図ることのできる計測装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0009] 以下、上記課題を解決するのに適した各手段につき項分けして説明する。
なお、必要に応じて対応する手段に特有の作用効果を付記する。

[0010] 手段1. 入射する所定の光を2つの光に分割し、一方の光を計測光として被計測物（例えばウエハ基板）に照射可能としかつ他方の光を参照光として参照面に照射可能とすると共に、これらを再び合成して出射可能な所定の光学系（特定光学系）と、

前記所定の光学系に対し入射させる所定の光を出射可能な照射手段と、

前記所定の光学系から出射される出力光を撮像可能な撮像手段と、

前記撮像手段により撮像し得られた干渉縞画像を基に前記被計測物の所定の計測領域（被計測物の全域又はその一部）に係る計測を実行可能な画像処理手段とを備えた計測装置であって、

前記画像処理手段は、

前記撮像手段により撮像し得られた干渉縞画像を基に、前記計測領域内に予め設定した一部の特定領域について、光軸方向所定位置における複素振幅データを少なくとも光軸方向所定範囲内における所定間隔ごとに複数通り取得する第1データ取得手段と、

前記第1データ取得手段により取得された前記特定領域に係る前記所定間隔ごとの複数通りの複素振幅データから前記特定領域に係る前記所定間隔ごとの複数通りの強度（輝度）画像を取得する画像取得手段と、

前記画像取得手段により取得された前記複数通りの強度画像を基に、光軸方向における所定の位置（例えば最も焦点の合う強度画像が得られた位置）を決定する位置決定手段と、

前記位置決定手段により決定された位置における複素振幅データを前記計測領域全体について取得する第2データ取得手段と、

前記第2データ取得手段により取得された複素振幅データを基に前記計測領域に係る計測を実行する計測実行手段とを備えていることを特徴とする計測装置。

[0011] 尚、「所定の光学系」には、「参照光及び計測光を内部で干渉させた上で干渉光として出力する光学系」のみならず、「参照光及び計測光を内部で干渉させることなく、単に合成光として出力する光学系」も含まれる。但し、「所定の光学系」から出力される「出力光」が「合成光」の場合には、「干渉縞画像」を撮像するために、少なくとも「撮像手段」により撮像される前段階において、所定の干渉手段を介して「干渉光」に変換することとなる。

[0012] つまり、光の干渉を生じさせること（干渉縞画像を撮像すること）を目的として、入射する所定の光を2つの光に分割し、一方の光を計測光として被計測物に照射可能としかつ他方の光を参照光として参照面に照射可能とすると共に、これらを再び合成して出射可能な光学系を「干渉光学系」と称することができる。従って、上記手段1において（以下の各手段においても同様）、「所定の光学系（特定光学系）」を「干渉光学系」と換言してもよい。

[0013] 上記手段1によれば、まず最初に計測領域全体ではなく、計測領域内に予め設定した一部の特定領域（限られた狭い範囲）についてのみ、光軸方向複数位置における複素振幅データを取得し、これを基に被計測物（特定領域）に焦点の合う最適な位置をサーチして決定する。その後、かかる位置における計測領域全体についての複素振幅データを取得して、該計測領域に係る計測

を行う。

[0014] これにより、計測領域に係る計測を行う上で必要なデータを取得するための処理にかかる負荷を軽減すると共に、該処理に要する時間を短縮することができる。結果として、計測精度の向上を図ると共に、計測効率の向上を図ることができる。

[0015] 尚、上記「所定間隔」としては、例えば光軸方向における「合焦範囲」や「計測レンジ」の間隔などが挙げられる。

[0016] 手段2．前記位置決定手段は、前記画像取得手段により取得された前記複数通りの強度画像を基に、前記特定領域の光軸方向位置を決定することを特徴とする手段1に記載の計測装置。

[0017] 上記手段2によれば、被計測物（特定領域）の光軸方向における位置（高さ方向位置）を特定し、かかる位置における計測領域全体の複素振幅データを取得して計測を行う構成となる。これにより、単に所定間隔ごとに複数通り取得した複素振幅データの中から最適なデータを抽出するだけの構成に比べて、被計測物（特定領域）に焦点の合ったより最適で精度の良いデータを取得することができる。結果として、さらなる計測精度の向上を図ることができる。

[0018] 手段3．前記特定領域は、前記計測領域に係る光軸方向の計測を行う際に基準となる領域であることを特徴とする手段2に記載の計測装置。

[0019] 上記手段3によれば、計測基準となる特定領域に焦点の合ったより最適で精度の良いデータの下で計測を行うことができ、さらなる計測精度の向上を図ることができる。

[0020] 手段4．前記特定領域が複数箇所に設定されていることを特徴とする手段1乃至3のいずれかに記載の計測装置。

[0021] 上記手段4によれば、特定領域が複数あることで、計測領域全体の複素振幅データを取得すべき、より最適な位置を見付けやすくなる。

[0022] また、例えば被計測物が反っていたり、傾いた状態となっている等して、計測領域に高低差が生じているような場合、仮に前記特定領域が1箇所しか

設定されていないと、計測領域全体に焦点の合ったデータを取得できないおそれがある。

[0023] これに対し、本手段のように特定領域が複数あることで、複数の特定領域ごとに上記手段 1 に係る一連の処理を実行することができ、全体として計測領域全体に焦点の合ったデータを取得することが可能となる。例えば計測領域のうち第 1 の領域については、光軸方向における第 1 位置におけるデータを用い、第 2 の領域については、光軸方向における第 2 位置におけるデータを用いることにより、計測領域全体に焦点の合ったデータを取得することが可能となる。

[0024] 手段 5. 前記参照光と前記計測光との間に相対的な位相差を付与する位相シフト手段を備え、

前記画像処理手段は、

前記位相シフト手段により複数通り（例えば 3 又は 4 通り）に位相シフトされた前記出力光を前記撮像手段により撮像し得られた複数通りの干渉縞画像を基に、前記被計測物の所定の計測領域に係る計測を実行可能に構成されていることを特徴とする手段 1 乃至 4 のいずれかに記載の計測装置。

[0025] 手段 6. 前記照射手段は、

前記所定の光学系に対し入射させる、第 1 波長の偏光を含む第 1 光を出射可能な第 1 照射手段と、

前記所定の光学系に対し入射させる、第 2 波長の偏光を含む第 2 光を出射可能な第 2 照射手段とを備え、

前記撮像手段は、

前記所定の光学系に対し前記第 1 光を入射することにより前記所定の光学系から出射される前記第 1 光に係る出力光を撮像可能な第 1 撮像手段と、

前記所定の光学系に対し前記第 2 光を入射することにより前記所定の光学系から出射される前記第 2 光に係る出力光を撮像可能な第 2 撮像手段とを備えたことを特徴とする手段 1 乃至 5 のいずれかに記載の計測装置。

[0026] 上記手段 6 のように、波長の異なる 2 種類の光を利用すれば、計測レンジ

を広げることができる。ひいては、第1データ取得手段が計測レンジ間隔で特定領域に係る複素振幅データを取得する場合に、処理負担の軽減を図ることができる。

[0027] 尚、「第1照射手段」から照射される「第1光」は、少なくとも「第1波長の偏光（第1偏光）」を含んだ光であればよく、その後「所定の光学系」においてカットされる他の余分な成分を含んだ光（例えば「無偏光」や「円偏光」）であってもよい。

[0028] 同様に、「第2照射手段」から照射される「第2光」は、少なくとも「第2波長の偏光（第2偏光）」を含んだ光であればよく、その後「所定の光学系」においてカットされる他の余分な成分を含んだ光（例えば「無偏光」や「円偏光」）であってもよい。

[0029] また、「所定の光学系（特定光学系）」から出力される「第1光に係る出力光」には「第1光に係る参照光及び計測光の合成光、又は、該合成光を干渉させた干渉光」が含まれ、「第2光に係る出力光」には「第2光に係る参照光及び計測光の合成光、又は、該合成光を干渉させた干渉光」が含まれる。

[0030] 手段7. 前記被計測物は、バンプが形成されたウエハ基板であることを特徴とする手段1乃至6のいずれかに記載の計測装置。

[0031] 上記手段7によれば、ウエハ基板に形成されたバンプの計測を行うことができる。ひいては、バンプの検査において、その計測値に基づいてバンプの良否判定を行うことができる。従って、かかる検査において、上記各手段の作用効果が奏されることとなり、精度よく良否判定を行うことができる。結果として、バンプ検査装置における検査精度及び検査効率の向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]計測装置の概略構成図である。

[図2]計測装置の電氣的構成を示すブロック図である。

[図3]第1光の光路を示す光路図である。

[図4]第2光の光路を示す光路図である。

[図5]計測処理の流れを示すフローチャートである。

[図6]ワークと撮像素子との位置関係などを説明するための説明図である。

[図7]ワークと撮像素子との位置関係などを説明するための説明図である。

[図8]バンプの形成されたウエハ基板を示す側面模式図である。

[図9]バンプの三次元計測について説明するための説明図である。

[図10]バンプの二次元計測について説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0033] 以下、計測装置の一実施形態について図面を参照しつつ説明する。図1は本実施形態に係る計測装置1の概略構成を示す模式図であり、図2は計測装置1の電氣的構成を示すブロック図である。以下、便宜上、図1の紙面前後方向を「X軸方向」とし、紙面上下方向を「Y軸方向」とし、紙面左右方向を「Z軸方向」として説明する。

[0034] 計測装置1は、マイケルソン干渉計の原理に基づき構成されたものであり、特定波長の光を出力可能な照射手段としての2つの投光系2A、2B（第1投光系2A、第2投光系2B）と、該投光系2A、2Bからそれぞれ出射される光が入射される干渉光学系3と、該干渉光学系3から出射される光を撮像可能な撮像手段としての2つの撮像系4A、4B（第1撮像系4A、第2撮像系4B）と、投光系2A、2Bや干渉光学系3、撮像系4A、4Bなどに係る各種制御や画像処理、演算処理等を行う制御装置5とを備えている。

[0035] ここで、「制御装置5」が本実施形態における「画像処理手段」を構成し、「干渉光学系3」が本実施形態における「所定の光学系（特定光学系）」を構成する。尚、本実施形態においては、光の干渉を生じさせること（干渉縞画像を撮像すること）を目的として、入射する所定の光を2つの光（計測光及び参照光）に分割し、該2つの光に光路差を生じさせた上で、再度合成して出力する光学系を「干渉光学系」という。つまり、2つの光を内部で干渉させた上で干渉光として出力する光学系のみならず、2つの光を内部で干

渉させることなく、単に合成光として出力する光学系についても「干渉光学系」と称している。従って、本実施形態にて後述するように、「干渉光学系」から、2つの光（計測光及び参照光）が干渉することなく合成光として出力される場合には、少なくとも撮像される前段階（例えば撮像系の内部など）において、所定の干渉手段を介して干渉光を得ることとなる。

[0036] まず、2つの投光系2 A、2 B（第1投光系2 A、第2投光系2 B）の構成について詳しく説明する。第1投光系2 Aは、第1発光部1 1 A、第1光アイソレータ1 2 A、第1無偏光ビームスプリッタ1 3 Aなどを備えている。ここで「第1発光部1 1 A」が本実施形態における「第1照射手段」を構成する。

[0037] 図示は省略するが、第1発光部1 1 Aは、特定波長 λ_1 の直線偏光を出力可能なレーザ光源や、該レーザ光源から出力される直線偏光を拡大し平行光として出射するビームエキスパンダ、強度調整を行うための偏光板、偏光方向を調整するための1/2波長板などを備えている。

[0038] かかる構成の下、本実施形態では、第1発光部1 1 Aから、X軸方向及びY軸方向に対し45°傾斜した方向を偏光方向とする波長 λ_1 （例えば $\lambda_1 = 1500\text{ nm}$ ）の直線偏光がZ軸方向左向きに出射される。ここで「波長 λ_1 」が本実施形態における「第1波長」に相当する。以降、第1発光部1 1 Aから出射される波長 λ_1 の光を「第1光」という。

[0039] 第1光アイソレータ1 2 Aは、一方向（本実施形態ではZ軸方向左向き）に進む光のみを透過し逆方向（本実施形態ではZ軸方向右向き）の光を遮断する光学素子である。これにより、第1発光部1 1 Aから出射された第1光のみを透過することとなり、戻り光による第1発光部1 1 Aの損傷や不安定化などを防止することができる。

[0040] 第1無偏光ビームスプリッタ1 3 Aは、直角プリズム（直角二等辺三角形を底面とする三角柱状のプリズム。以下同様。）を貼り合せて一体としたキューブ型の公知の光学部材であって、その接合面1 3 A hには例えば金属膜などのコーティングが施されている。「第1無偏光ビームスプリッタ1 3 A

」が本実施形態における「第1導光手段」を構成する。

[0041] 以下同様であるが、無偏光ビームスプリッタは、偏光状態も含め、入射光を所定の比率で透過光と反射光とに分割するものである。本実施形態では、1 : 1の分割比を持った所謂ハーフミラーを採用している。つまり、透過光のP偏光成分及びS偏光成分、並びに、反射光のP偏光成分及びS偏光成分が全て同じ比率で分割されると共に、透過光と反射光の各偏光状態は入射光の偏光状態と同じとなる。

[0042] 尚、本実施形態では、図1の紙面に平行な方向（Y軸方向又はZ軸方向）を偏光方向とする直線偏光をP偏光（P偏光成分）といい、図1の紙面に垂直なX軸方向を偏光方向とする直線偏光をS偏光（S偏光成分）という。

[0043] また、第1無偏光ビームスプリッタ13Aは、その接合面13Ahを挟んで隣り合う2面のうちの一方がY軸方向と直交しかつ他方がZ軸方向と直交するように配置されている。つまり、第1無偏光ビームスプリッタ13Aの接合面13AhがY軸方向及びZ軸方向に対し45°傾斜するように配置されている。より詳しくは、第1光アイソレータ12Aを介して、第1発光部11AからZ軸方向左向きに入射する第1光の一部（半分）をZ軸方向左向きに透過させ、残り（半分）をY軸方向下向きに反射させるように配置されている。

[0044] 第2投光系2Bは、上記第1投光系2Aと同様、第2発光部11B、第2光アイソレータ12B、第2無偏光ビームスプリッタ13Bなどを備えている。ここで「第2発光部11B」が本実施形態における「第2照射手段」を構成する。

[0045] 第2発光部11Bは、上記第1発光部11Aと同様、特定波長 λ_2 の直線偏光を出力可能なレーザ光源や、該レーザ光源から出力される直線偏光を拡大し平行光として出射するビームエキスパンダ、強度調整を行うための偏光板、偏光方向を調整するための1/2波長板などを備えている。

[0046] かかる構成の下、本実施形態では、第2発光部11Bから、X軸方向及びZ軸方向に対し45°傾斜した方向を偏光方向とする波長 λ_2 （例えば $\lambda_2 = 1$

503 nm)の直線偏光がY軸方向上向きに出射される。ここで「波長 λ_2 」が本実施形態における「第2波長」に相当する。以降、第2発光部11Bから出射される波長 λ_2 の光を「第2光」という。

[0047] 第2光アイソレータ12Bは、第1光アイソレータ12Aと同様、一方向（本実施形態ではY軸方向上向き）に進む光のみを透過し逆方向（本実施形態ではY軸方向下向き）の光を遮断する光学素子である。これにより、第2発光部11Bから出射された第2光のみを透過することとなり、戻り光による第2発光部11Bの損傷や不安定化などを防止することができる。

[0048] 第2無偏光ビームスプリッタ13Bは、第1無偏光ビームスプリッタ13Aと同様、直角プリズムを貼り合せて一体としたキューブ型の公知の光学部材であって、その接合面13Bhには例えば金属膜などのコーティングが施されている。「第2無偏光ビームスプリッタ13B」が本実施形態における「第2導光手段」を構成する。

[0049] また、第2無偏光ビームスプリッタ13Bは、その接合面13Bhを挟んで隣り合う2面のうちの一方がY軸方向と直交しかつ他方がZ軸方向と直交するように配置されている。つまり、第2無偏光ビームスプリッタ13Bの接合面13BhがY軸方向及びZ軸方向に対し45°傾斜するように配置されている。より詳しくは、第2光アイソレータ12Bを介して、第2発光部11BからY軸方向上向きに入射する第2光の一部（半分）をY軸方向上向きに透過させ、残り（半分）をZ軸方向右向きに反射させるように配置されている。

[0050] 次に干渉光学系3の構成について詳しく説明する。干渉光学系3は、偏光ビームスプリッタ(PBS)20、1/4波長板21、22、参照面23、設置部24などを備えている。

[0051] 偏光ビームスプリッタ20は、直角プリズムを貼り合せて一体としたキューブ型の公知の光学部材であって、その接合面（境界面）20hには例えば誘電体多層膜などのコーティングが施されている。

[0052] 偏光ビームスプリッタ20は、入射される直線偏光を偏光方向が互いに直

交する２つの偏光成分（Ｐ偏光成分とＳ偏光成分）に分割するものである。本実施形態における偏光ビームスプリッタ２０は、Ｐ偏光成分を透過させ、Ｓ偏光成分を反射する構成となっている。

[0053] 偏光ビームスプリッタ２０は、その接合面２０ｈを挟んで隣り合う２面のうち的一方がＹ軸方向と直交しかつ他方がＺ軸方向と直交するように配置されている。つまり、偏光ビームスプリッタ２０の接合面２０ｈがＹ軸方向及びＺ軸方向に対し４５°傾斜するように配置されている。

[0054] より詳しくは、上記第１無偏光ビームスプリッタ１３ＡからＹ軸方向下向きに反射した第１光が入射する偏光ビームスプリッタ２０の第１面（Ｙ軸方向上側面）２０ａ、並びに、該第１面２０ａと相対向する第３面（Ｙ軸方向下側面）２０ｃがＹ軸方向と直交するように配置されている。「偏光ビームスプリッタ２０の第１面２０ａ」が本実施形態における「第１入出力部」に相当する。

[0055] 一方、第１面２０ａと接合面２０ｈを挟んで隣り合う面であって、上記第２無偏光ビームスプリッタ１３ＢからＺ軸方向右向きに反射した第２光が入射する偏光ビームスプリッタ２０の第２面（Ｚ軸方向左側面）２０ｂ、並びに、該第２面２０ｂと相対向する第４面（Ｚ軸方向右側面）２０ｄがＺ軸方向と直交するように配置されている。「偏光ビームスプリッタ２０の第２面２０ｂ」が本実施形態における「第２入出力部」に相当する。

[0056] また、偏光ビームスプリッタ２０の第３面２０ｃとＹ軸方向に相対向するように１／４波長板２１が配置され、該１／４波長板２１とＹ軸方向に相対向するように参照面２３が配置されている。

[0057] １／４波長板２１は、直線偏光を円偏光に変換しかつ円偏光を直線偏光に変換する機能を有する。つまり、偏光ビームスプリッタ２０の第３面２０ｃから出射される直線偏光（参照光）は１／４波長板２１を介して円偏光に変換された上で参照面２３に対し照射される。また、参照面２３で反射した参照光は、再度、１／４波長板２１を介して円偏光から直線偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ２０の第３面２０ｃに入射する。

- [0058] 一方、偏光ビームスプリッタ20の第4面20dとZ軸方向に相対向するように1/4波長板22が配置され、該1/4波長板22とZ軸方向に相対向するように設置部24が配置されている。
- [0059] 1/4波長板22は、直線偏光を円偏光に変換しかつ円偏光を直線偏光に変換する機能を有する。つまり、偏光ビームスプリッタ20の第4面20dから出射される直線偏光（計測光）は1/4波長板22を介して円偏光に変換された上で設置部24に置かれた被計測物としてのワークWに対し照射される。また、ワークWにて反射した計測光は、再度、1/4波長板22を介して円偏光から直線偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ20の第4面20dに入射する。
- [0060] 次に2つの撮像系4A、4B（第1撮像系4A、第2撮像系4B）の構成について詳しく説明する。第1撮像系4Aは、1/4波長板31A、第1偏光板32A、第1撮像手段を構成する第1カメラ33Aなどを備えている。
- [0061] 1/4波長板31Aは、第2無偏光ビームスプリッタ13BをZ軸方向左向きに透過してきた直線偏光（第1光の参照光成分及び計測光成分）をそれぞれ円偏光に変換するためのものである。
- [0062] 第1偏光板32Aは、1/4波長板31Aにより円偏光に変換された第1光の各成分を選択的に透過させるものである。これにより、回転方向の異なる第1光の参照光成分と計測光成分とを特定の位相について干渉させることができる。「第1偏光板32A」が本実施形態における「位相シフト手段」及び「干渉手段」を構成する。
- [0063] 本実施形態に係る第1偏光板32Aは、Z軸方向を軸心として回転可能に構成されると共に、その透過軸方向が45°ずつ変化するように制御される。具体的には、透過軸方向がY軸方向に対し「0°」、「45°」、「90°」、「135°」となるように変化する。
- [0064] これにより、第1偏光板32Aを透過する第1光の参照光成分及び計測光成分を4通りの位相で干渉させることができる。つまり、位相が90°ずつ異なる干渉光を生成することができる。具体的には、位相が「0°」の干渉

光、位相が「 90° 」の干渉光、位相が「 180° 」の干渉光、位相が「 270° 」の干渉光を生成することができる。

[0065] 第1カメラ33Aは、レンズや撮像素子33Aa（図6参照）等を備える公知のものである。本実施形態では、第1カメラ33Aの撮像素子33Aaとして、CCDエリアセンサを採用している。勿論、撮像素子33Aaは、これに限定されるものではなく、例えばCMOSエリアセンサ等を採用してもよい。また、レンズとしては、テレセントリックレンズを用いることが好ましい。

[0066] 第1カメラ33Aによって撮像された画像データは、第1カメラ33A内部においてデジタル信号に変換された上で、デジタル信号の形で制御装置5（画像データ記憶装置54）に入力されるようになっている。

[0067] 具体的には、第1光に係る位相「 0° 」の干渉縞画像、位相「 90° 」の干渉縞画像、位相「 180° 」の干渉縞画像、位相「 270° 」の干渉縞画像が第1カメラ33Aにより撮像されることとなる。

[0068] 第2撮像系4Bは、第1撮像系4Aと同様、 $1/4$ 波長板31B、第2偏光板32B、第2撮像手段を構成する第2カメラ33Bなどを備えている。

[0069] $1/4$ 波長板31Bは、第1無偏光ビームスプリッタ13AをY軸方向上向きに透過してきた直線偏光（第2光の参照光成分及び計測光成分）をそれぞれ円偏光に変換するためのものである。

[0070] 第2偏光板32Bは、第1偏光板32Aと同様、 $1/4$ 波長板31Bにより円偏光に変換された第2光の各成分を選択的に透過させるものである。これにより、回転方向の異なる第2光の参照光成分と計測光成分とを特定の位相について干渉させることができる。「第2偏光板32B」が本実施形態における「位相シフト手段」及び「干渉手段」を構成する。

[0071] 本実施形態に係る第2偏光板32Bは、Y軸方向を軸心として回転可能に構成されると共に、その透過軸方向が 45° ずつ変化するように制御される。具体的には、透過軸方向がX軸方向に対し「 0° 」、「 45° 」、「 90° 」、「 135° 」となるように変化する。

- [0072] これにより、第2偏光板32Bを透過する第2光の参照光成分及び計測光成分を4通りの位相で干渉させることができる。つまり、位相が 90° ずつ異なる干渉光を生成することができる。具体的には、位相が「 0° 」の干渉光、位相が「 90° 」の干渉光、位相が「 180° 」の干渉光、位相が「 270° 」の干渉光を生成することができる。
- [0073] 第2カメラ33Bは、第1カメラ33Aと同様、レンズや撮像素子33Ba（図6参照）等を備えてなる公知のものである。本実施形態では、第1カメラ33Aと同様、第2カメラ33Bの撮像素子33Baとして、CCDエリアセンサを採用している。勿論、撮像素子33Baは、これに限定されるものではなく、例えばCMOSエリアセンサ等を採用してもよい。また、レンズとしては、テレセントリックレンズを用いることが好ましい。
- [0074] 第1カメラ33Aと同様、第2カメラ33Bによって撮像された画像データは、第2カメラ33B内部においてデジタル信号に変換された上で、デジタル信号の形で制御装置5（画像データ記憶装置54）に入力されるようになっている。
- [0075] 具体的には、第2光に係る位相「 0° 」の干渉縞画像、位相「 90° 」の干渉縞画像、位相「 180° 」の干渉縞画像、位相「 270° 」の干渉縞画像が第2カメラ33Bにより撮像されることとなる。
- [0076] ここで制御装置5の電氣的構成について説明する。図2に示すように、制御装置5は、計測装置1全体の制御を司るCPU及び入出力インターフェース51、キーボードやマウス、あるいは、タッチパネルで構成される「入力手段」としての入力装置52、液晶画面などの表示画面を有する「表示手段」としての表示装置53、カメラ33A、33Bにより撮像された画像データ等を順次記憶するための画像データ記憶装置54、各種演算結果を記憶するための演算結果記憶装置55、各種情報を予め記憶しておく設定データ記憶装置56を備えている。なお、これら各装置52～56は、CPU及び入出力インターフェース51に対し電氣的に接続されている。
- [0077] 次に計測装置1の作用について説明する。尚、後述するように、本実施形

態における第1光及び第2光の照射は同時に行われるものであり、第1光の光路と第2光の光路が一部で重なることとなるが、ここでは、より分かりやすくするため、第1光及び第2光の光路ごとに異なる図面を用いて個別に説明する。

- [0078] まず第1光の光路について図3を参照して説明する。図3に示すように、波長 λ_1 の第1光（偏光方向がX軸方向及びY軸方向に対し45°傾斜した直線偏光）が第1発光部11AからZ軸方向左向きに出射される。
- [0079] 第1発光部11Aから出射された第1光は、第1光アイソレータ12Aを通過し、第1無偏光ビームスプリッタ13Aに入射する。第1無偏光ビームスプリッタ13Aに入射した第1光の一部はZ軸方向左向きに透過し、残りY軸方向下向きに反射する。
- [0080] このうち、Y軸方向下向きに反射した第1光（偏光方向がX軸方向及びZ軸方向に対し45°傾斜した直線偏光）は、偏光ビームスプリッタ20の第1面20aに入射する。一方、Z軸方向左向きに透過した第1光は、何らかの光学系等に入射することなく、捨て光となる。
- [0081] ここで、捨て光となる光を、必要に応じて波長計測あるいは光のパワー計測に利用すれば、光源を安定化させ如いては計測精度の向上を図ることができる。
- [0082] 偏光ビームスプリッタ20の第1面20aからY軸方向下向きに入射した第1光は、そのP偏光成分がY軸方向下向きに透過して第3面20cから参照光として出射される一方、そのS偏光成分がZ軸方向右向きに反射して第4面20dから計測光として出射される。
- [0083] 偏光ビームスプリッタ20の第3面20cから出射した第1光に係る参照光（P偏光）は、1/4波長板21を通過することにより右回りの円偏光に変換された後、参照面23で反射する。ここで、光の進行方向に対する回転方向は維持される。その後、第1光に係る参照光は、再度、1/4波長板21を通過することで、右回りの円偏光からS偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ20の第3面20cに再入射する。

- [0084] 一方、偏光ビームスプリッタ20の第4面20dから出射した第1光に係る計測光（S偏光）は、1／4波長板22を通過することにより左回りの円偏光に変換された後、ワークWで反射する。ここで、光の進行方向に対する回転方向は維持される。その後、第1光に係る計測光は、再度、1／4波長板22を通過することで、左回りの円偏光からP偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ20の第4面20dに再入射する。
- [0085] ここで、偏光ビームスプリッタ20の第3面20cから再入射した第1光に係る参照光（S偏光）が接合面20hにてZ軸方向左向きに反射する一方、第4面20dから再入射した第1光に係る計測光（P偏光）は接合面20hをZ軸方向左向きに透過する。そして、第1光に係る参照光及び計測光が合成された状態の合成光が出力光として偏光ビームスプリッタ20の第2面20bから出射される。
- [0086] 偏光ビームスプリッタ20の第2面20bから出射された第1光に係る合成光（参照光及び計測光）は、第2無偏光ビームスプリッタ13Bに入射する。第2無偏光ビームスプリッタ13Bに対しZ軸方向左向きに入射した第1光に係る合成光は、その一部がZ軸方向左向きに透過し、残りがY軸方向下向きに反射する。このうち、Z軸方向左向きに透過した合成光（参照光及び計測光）は第1撮像系4Aに入射することとなる。一方、Y軸方向下向きに反射した合成光は、第2光アイソレータ12Bによりその進行を遮断され、捨て光となる。
- [0087] 第1撮像系4Aに入射した第1光に係る合成光（参照光及び計測光）は、まず1／4波長板31Aにより、その参照光成分（S偏光成分）が左回りの円偏光に変換され、その計測光成分（P偏光成分）が右回りの円偏光に変換される。ここで、左回りの円偏光と右回りの円偏光は回転方向が異なるので干渉しない。
- [0088] 第1光に係る合成光は、続いて第1偏光板32Aを通過することにより、その参照光成分と計測光成分とが第1偏光板32Aの角度に応じた位相で干渉する。そして、かかる第1光に係る干渉光が第1カメラ33Aにより撮像

される。

- [0089] 次に第2光の光路について図4を参照して説明する。図4に示すように、波長 λ_2 の第2光（偏光方向がX軸方向及びZ軸方向に対し 45° 傾斜した直線偏光）が第2発光部11BからY軸方向上向きに出射される。
- [0090] 第2発光部11Bから出射された第2光は、第2光アイソレータ12Bを通過し、第2無偏光ビームスプリッタ13Bに入射する。第2無偏光ビームスプリッタ13Bに入射した第2光の一部はY軸方向上向きに透過し、残りはZ軸方向右向きに反射する。
- [0091] このうち、Z軸方向右向きに反射した第2光（偏光方向がX軸方向及びY軸方向に対し 45° 傾斜した直線偏光）は、偏光ビームスプリッタ20の第2面20bに入射する。一方、Y軸方向上向きに透過した第2光は、何らかの光学系等に入射することなく、捨て光となる。
- [0092] ここで、捨て光となる光を、必要に応じて波長計測あるいは光のパワー計測に利用すれば、光源を安定化させ如いては計測精度の向上を図ることができる。
- [0093] 偏光ビームスプリッタ20の第2面20bからZ軸方向右向きに入射した第2光は、そのS偏光成分がY軸方向下向きに反射して第3面20cから参照光として出射される一方、そのP偏光成分がZ軸方向右向きに透過して第4面20dから計測光として出射される。
- [0094] 偏光ビームスプリッタ20の第3面20cから出射した第2光に係る参照光（S偏光）は、 $1/4$ 波長板21を通過することにより左回りの円偏光に変換された後、参照面23で反射する。ここで、光の進行方向に対する回転方向は維持される。その後、第2光に係る参照光は、再度、 $1/4$ 波長板21を通過することで、左回りの円偏光からP偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ20の第3面20cに再入射する。
- [0095] 一方、偏光ビームスプリッタ20の第4面20dから出射した第2光に係る計測光（P偏光）は、 $1/4$ 波長板22を通過することにより右回りの円偏光に変換された後、ワークWで反射する。ここで、光の進行方向に対する

回転方向は維持される。その後、第2光に係る計測光は、再度、 $1/4$ 波長板22を通過することで、右回りの円偏光からS偏光に変換された上で偏光ビームスプリッタ20の第4面20dに再入射する。

[0096] ここで、偏光ビームスプリッタ20の第3面20cから再入射した第2光に係る参照光（P偏光）は接合面20hをY軸方向上向きに透過する一方、第4面20dから再入射した第2光に係る計測光（S偏光）は接合面20hにてY軸方向上向きに反射する。そして、第2光に係る参照光及び計測光が合成された状態の合成光が出力光として偏光ビームスプリッタ20の第1面20aから出射される。

[0097] 偏光ビームスプリッタ20の第1面20aから出射された第2光に係る合成光（参照光及び計測光）は、第1無偏光ビームスプリッタ13Aに入射する。第1無偏光ビームスプリッタ13Aに対しY軸方向上向きに入射した第2光に係る合成光は、その一部がY軸方向上向きに透過し、残りがZ軸方向右向きに反射する。このうち、Y軸方向上向きに透過した合成光（参照光及び計測光）は第2撮像系4Bに入射することとなる。一方、Z軸方向右向きに反射した合成光は、第1光アイソレータ12Aによりその進行を遮断され、捨て光となる。

[0098] 第2撮像系4Bに入射した第2光に係る合成光（参照光及び計測光）は、まず $1/4$ 波長板31Bにより、その参照光成分（P偏光成分）が右回りの円偏光に変換され、その計測光成分（S偏光成分）が左回りの円偏光に変換される。ここで、左回りの円偏光と右回りの円偏光は回転方向が異なるので干渉しない。

[0099] 第2光に係る合成光は、続いて第2偏光板32Bを通過することにより、その参照光成分と計測光成分とが第2偏光板32Bの角度に応じた位相で干渉する。そして、かかる第2光に係る干渉光が第2カメラ33Bにより撮像される。

[0100] 次に、制御装置5によって実行される計測処理の手順について図5のフローチャート等を参照しつつ詳しく説明する。以下、この計測処理について説

明する際には、第1カメラ33Aの撮像素子33Aa面、又は、第2カメラ33Bの撮像素子33Ba面を $x-y$ 平面とし、これに直交する光軸方向を z 方向として説明する。勿論、この座標系 (x, y, z) と、計測装置1全体を説明するための座標系 (X, Y, Z) は異なる座標系である。

[0101] 先ずステップS1において、ワークWの所定の計測領域に係る干渉縞画像を取得する処理を実行する。本実施形態では、ここで第1光に係る位相の異なる4通りの干渉縞画像、及び、第2光に係る位相の異なる4通りの干渉縞画像を取得する。以下、詳しく説明する。

[0102] ワークWを設置部24へ設置した後、第1撮像系4Aの第1偏光板32Aの透過軸方向を所定の基準位置（例えば「 0° 」）に設定すると共に、第2撮像系4Bの第2偏光板32Bの透過軸方向を所定の基準位置（例えば「 0° 」）に設定する。

[0103] 続いて、第1投光系2Aから第1光を照射すると同時に、第2投光系2Bから第2光を照射する。その結果、干渉光学系3の偏光ビームスプリッタ20の第2面20bから第1光に係る合成光（参照光及び計測光）が出射されると同時に、偏光ビームスプリッタ20の第1面20aから第2光に係る合成光（参照光及び計測光）が出射される。

[0104] そして、偏光ビームスプリッタ20の第2面20bから出射された第1光に係る合成光を第1撮像系4Aにより撮像すると同時に、偏光ビームスプリッタ20の第1面20aから出射された第2光に係る合成光を第2撮像系4Bにより撮像する。

[0105] 尚、ここでは第1偏光板32A及び第2偏光板32Bの透過軸方向がそれぞれ「 0° 」に設定されているため、第1カメラ33Aでは第1光に係る位相「 0° 」の干渉縞画像が撮像され、第2カメラ33Bでは第2光に係る位相「 0° 」の干渉縞画像が撮像されることとなる。

[0106] そして、各カメラ33A、33Bからそれぞれ撮像された画像データが制御装置5へ出力される。制御装置5は、入力した画像データを画像データ記憶装置54に記憶する。

- [0107] 次に制御装置 5 は、第 1 撮像素子 4 A の第 1 偏光板 3 2 A、及び、第 2 撮像素子 4 B の第 2 偏光板 3 2 B の切替処理を行う。具体的には、第 1 偏光板 3 2 A 及び第 2 偏光板 3 2 B をそれぞれ透過軸方向が「 45° 」となる位置まで回動変位させる。
- [0108] 該切替処理が終了すると、制御装置 5 は、上記一連の 1 回目の撮像素子処理と同様の 2 回目の撮像素子処理を行う。つまり、制御装置 5 は、第 1 投光系 2 A から第 1 光を照射すると同時に、第 2 投光系 2 B から第 2 光を照射し、偏光ビームスプリッタ 2 0 の第 2 面 2 0 b から出射された第 1 光に係る合成光を第 1 撮像素子 4 A により撮像素子すると同時に、偏光ビームスプリッタ 2 0 の第 1 面 2 0 a から出射された第 2 光に係る合成光を第 2 撮像素子 4 B により撮像素子する。これにより、第 1 光に係る位相「 90° 」の干渉縞画像が取得されると共に、第 2 光に係る位相「 90° 」の干渉縞画像が撮像素子されることとなる。
- [0109] 以降、上記 1 回目及び 2 回目の撮像素子処理と同様の撮像素子処理が 2 回繰り返される。つまり、第 1 偏光板 3 2 A 及び第 2 偏光板 3 2 B の透過軸方向を「 90° 」に設定した状態で 3 回目の撮像素子処理を行い、第 1 光に係る位相「 180° 」の干渉縞画像を取得すると共に、第 2 光に係る位相「 180° 」の干渉縞画像を取得する。
- [0110] その後、第 1 偏光板 3 2 A 及び第 2 偏光板 3 2 B の透過軸方向を「 135° 」に設定した状態で 4 回目の撮像素子処理を行い、第 1 光に係る位相「 270° 」の干渉縞画像を取得すると共に、第 2 光に係る位相「 270° 」の干渉縞画像を取得する。
- [0111] このように、4 回の撮像素子処理を行うことにより、ワーク W の所定の計測領域に係る計測を行う上で必要な全ての画像データ（第 1 光に係る 4 通りの干渉縞画像、及び、第 2 光に係る 4 通りの干渉縞画像からなる計 8 つの干渉縞画像）を取得することができる。
- [0112] 続くステップ S 2 において、制御装置 5 は、撮像素子 3 3 A a、3 3 B a 面における光の複素振幅データ $E_o(x, y)$ を取得する処理を実行する。詳しくは、画像データ記憶装置 5 4 に記憶された第 1 光に係る 4 通りの干渉

縞画像、及び、第2光に係る4通りの干渉縞画像を基に、第1光及び第2光それぞれに係る撮像素子33Aa, 33Ba面での光の複素振幅データ $E_o(x, y)$ を取得する。

[0113] 第1光又は第2光に係る4通りの干渉縞画像の同一座標位置 (x, y) における干渉縞強度、すなわち輝度 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$ 、 $I_4(x, y)$ は、下記[数1]の関係式で表すことができる。

[0114] [数1]

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= B(x, y) + A(x, y) \cos[\Delta\phi(x, y)] \\ I_2(x, y) &= B(x, y) + A(x, y) \cos[\Delta\phi(x, y) + 90^\circ] \\ I_3(x, y) &= B(x, y) + A(x, y) \cos[\Delta\phi(x, y) + 180^\circ] \\ I_4(x, y) &= B(x, y) + A(x, y) \cos[\Delta\phi(x, y) + 270^\circ] \end{aligned}$$

[0115] ここで、 $\Delta\phi(x, y)$ は、座標 (x, y) における計測光と参照光との光路差に基づく位相差を表している。また、 $A(x, y)$ は干渉光の振幅、 $B(x, y)$ はバイアスを表している。但し、参照光は均一であるため、これを基準として見ると、 $\Delta\phi(x, y)$ は「計測光の位相」を表し、 $A(x, y)$ は「計測光の振幅」を表すこととなる。

[0116] 従って、撮像素子33Aa, 33Ba面に到達した計測光の位相 $\Delta\phi(x, y)$ は、上記[数1]の関係式を基に、下記[数2]の関係式で求めることができる。

[0117] [数2]

$$\Delta\phi(x, y) = \arctan \frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)}$$

[0118] また、撮像素子33Aa, 33Ba面に到達した計測光の振幅 $A(x, y)$ は、上記[数1]の関係式を基に、下記[数3]の関係式で求めることができる。

[0119]

[数3]

$$A(x, y) = \frac{1}{2} \times \sqrt{\{I_1(x, y) - I_3(x, y)\}^2 + \{I_4(x, y) - I_2(x, y)\}^2}$$

[0120] そして、上記位相 $\Delta \phi(x, y)$ と振幅 $A(x, y)$ から、下記 [数4] の関係式を基に撮像素子 33Aa, 33Ba 面における複素振幅データ $E_0(x, y)$ を算出することができる。ここで、 i は虚数単位を表している。

[0121] [数4]

$$E_0(x, y) = A(x, y)e^{i\phi(x, y)}$$

[0122] 続くステップ S3 において、制御装置 5 は、ワーク W の所定の計測領域内に予め設定した一部の特定領域について、 z 方向複数位置における複素振幅データを取得する処理を実行する。上記ステップ S2, S3 に係る一連の処理を実行する機能により本実施形態における第 1 データ取得手段が構成される。

[0123] 尚、「特定領域」は、 z 方向におけるワーク W の位置を事前に調査するために任意に設定した領域である。以下、かかる「特定領域」を「 z 位置調査領域 V」という（図 7 参照）。例えば、ワーク W が図 8 に示すようなウエハ基板 100 である場合には、バンプ 101 の高さ計測の基準面となり得るパターン部 102 を z 位置調査領域 V として設定することができる。

[0124] 以下、ステップ S3 の処理について詳しく説明する。まず z 方向の所定位置における既知の複素振幅データから、 z 方向の異なる位置における未知の複素振幅データを取得する方法について説明する。

[0125] ここでは、 z 方向に距離 d 離れた 2 つの座標系（ $x-y$ 座標系と $\xi-\eta$ 座標系）を考える。そして、 $x-y$ 座標系を $z=0$ とし、 $x-y$ 座標系での既知の光の複素振幅データを $E_0(x, y)$ で表し、 $x-y$ 平面から距離 d 離れた $\xi-\eta$ 平面での未知の光の複素振幅データを $E_0(\xi, \eta)$ と表すと、下

記〔数5〕に示す関係となる。ここで、 λ は波長を表す。

[0126] 〔数5〕

$$E_0(x, y) = \frac{i}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E_0(\xi, \eta) \frac{\exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}\right)}{\sqrt{d^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}} d\xi d\eta$$

$$= \mathcal{F}^{-1}\{\mathcal{F}(E_0(\xi, \eta)) \cdot \mathcal{F}(g(\xi, \eta, x, y))\}$$

$$g(\xi, \eta, x, y) = \frac{i \exp\left(-i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{d^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}\right)}{\sqrt{d^2 + (\xi - x)^2 + (\eta - y)^2}}$$

$\mathcal{F}$ ：フーリエ変換

$\mathcal{F}^{-1}$ ：逆フーリエ変換

[0127] これを $E_0(\xi, \eta)$ について解くと、下記〔数6〕のようになる。

[0128] 〔数6〕

$$E_0(\xi, \eta) = \mathcal{F}^{-1}\left\{\frac{\mathcal{F}(E_0(x, y))}{\mathcal{F}(g(\xi, \eta, x, y))}\right\}$$

[0129] そして、本実施形態では、図6、7に示すように、上記ステップS2で取得した撮像素子33Aa、33Ba面における複素振幅データ $E_0(x, y)$ を基に、ワークW上のz位置調査領域Vについて、撮像素子33Aa、33Ba面からz方向への距離Lが $L_0, L_1, L_2 \cdots L_n$ 離れた位置それぞれにおける複素振幅データ $E_{0L_0}(\xi, \eta), E_{0L_1}(\xi, \eta), \cdots, E_{0L_n}(\xi, \eta)$ を取得する。

[0130] 続くステップS4において、制御装置5は、ワークW上のz位置調査領域Vについて、z方向複数位置における強度（輝度）画像を取得する処理を実行する。かかるステップS4の処理を実行する機能により本実施形態における画像取得手段が構成される。

[0131] 詳しくは、上記ステップS3において取得した複素振幅データ $E_{0L_0}(\xi, \eta), E_{0L_1}(\xi, \eta), \cdots, E_{0L_n}(\xi, \eta)$ からそれぞれ強度画像を取得する。尚、 $\xi - \eta$ 平面における複素振幅データが $E_0(\xi, \eta)$

）で表されるとき、 $\xi - \eta$ 平面における強度画像 $I(\xi, \eta)$ は下記〔数 7〕の関係式で求めることができる。

[0132] 〔数 7〕

$$I(\xi, \eta) = |E_0(\xi, \eta)|^2$$

[0133] 続くステップ S 5 において、制御装置 5 は、 z 方向におけるワーク W の位置を決定する処理を実行する。かかるステップ S 5 の処理を実行する機能により本実施形態における位置決定手段が構成される。

[0134] 詳しくは、上記ステップ S 4 にて取得した z 位置調査領域 V に係る複数の強度画像を基に、 z 方向における z 位置調査領域 V の位置を決定する。以下、強度画像のコントラストから z 位置調査領域 V の位置を決定する方法について説明する。

[0135] 例えば図 7 に示すように、ワーク W が存在し得る z 方向所定範囲 Q を高さ計測の計測レンジ間隔で分けし、撮像素子 33 A a, 33 B a 面から z 方向への距離 L が $L_0, L_1, L_2, \dots, L_n$ 離れた位置 ($z = L_0, L_1, \dots, L_n$) を設定した場合において、 z 方向各位置 ($z = L_0, L_1, \dots, L_n$) における z 位置調査領域 V の強度画像について「 z 位置調査領域 V」と「その他の部分」との輝度のコントラストを求める。続いて、この中で最もコントラストが高い強度画像が得られた位置 ($z = L_m$) を抽出する。そして、この位置 ($z = L_m$) における複素振幅データ $E_0 L_m(\xi, \eta)$ を基に三次元計測を行い、 z 位置調査領域 V の高さ情報を取得する。これを基に「強度画像の位置情報 ($z = L_m$)」+「 z 位置調査領域 V の高さ情報」により、 z 方向における z 位置調査領域 V の絶対位置を取得する。

[0136] 尚、 z 位置調査領域 V の位置を決定する方法としては、上述した強度画像のコントラストから求める方法のみならず、他の方法を採用してもよい。例えば強度画像の輝度から求める方法を採用してもよい。

[0137] かかる方法では、輝度画像は実際に物体がある面で最も強くなるという性

質を利用する。具体的には、 z 方向各位置 ($z = L_0, L_1, \dots, L_n$) における z 位置調査領域 V の強度画像において、 z 位置調査領域 V の平均輝度を求める。続いて、この中で最も平均輝度が高い強度画像が得られた位置 ($z = L_m$) を抽出する。その後、上記同様、この位置 ($z = L_m$) における複素振幅データ $E_0(L_m)(\xi, \eta)$ を基に三次元計測を行い、 z 位置調査領域 V の高さ情報を取得する。これを基に「強度画像の位置情報 ($z = L_m$)」+「 z 位置調査領域 V の高さ情報」により、 z 方向における z 位置調査領域 V の絶対位置を取得する。

[0138] 続くステップ S_6 において、制御装置 5 は、上記ステップ S_5 において決定したワーク W (z 位置調査領域 V) の z 方向位置における計測領域全体の複素振幅データを取得する。かかるステップ S_6 の処理を実行する機能により本実施形態における第 2 データ取得手段が構成される。

[0139] 続くステップ S_7 において、制御装置 5 は、三次元計測処理を実行する。かかるステップ S_7 の処理を実行する機能により本実施形態における計測実行手段が構成される。

[0140] 詳しくは、上記ステップ S_6 において得られた計測領域全体の複素振幅データ $E_0(\xi, \eta)$ から、下記 [数 8] の関係式を基に、計測光の位相 $\phi(\xi, \eta)$ と、計測光の振幅 $A(\xi, \eta)$ を算出する。

[0141] [数 8]

$$E_0(\xi, \eta) = A(\xi, \eta)e^{i\phi(\xi, \eta)}$$

[0142] 計測光の位相 $\phi(\xi, \eta)$ は、下記 [数 9] の関係式により求めることができる。

[0143] [数 9]

$$\phi(\xi, \eta) = \arctan \frac{\text{Im}[E_0(\xi, \eta)]}{\text{Re}[E_0(\xi, \eta)]}$$

[0144] 計測光の振幅 $A(\xi, \eta)$ は、下記 [数 10] の関係式により求めることができる。

[0145] [数10]

$$A(\xi, \eta) = \sqrt{(\text{Re}[E_0(\xi, \eta)])^2 + (\text{Im}[E_0(\xi, \eta)])^2}$$

[0146] その後、位相－高さ変換処理を行い、ワークWの表面の凹凸形状を3次的に示す高さ情報 $z(\xi, \eta)$ を算出する。

[0147] 高さ情報 $z(\xi, \eta)$ は、下記[数11]の関係式により算出することができる。

[0148] [数11]

$$Z(\xi, \eta) = \frac{1}{2} \phi(\xi, \eta) \frac{\lambda}{2\pi}$$

[0149] ここで、波長の異なる2種類の光（波長 λ_1 、 λ_2 ）を用いて計測を行った場合には、その合成波長 λ_0 の光で計測を行ったことと同じこととなる。そして、その計測レンジは $\lambda_0/2$ に拡大することとなる。合成波長 λ_0 は、下記式（M1）で表すことができる。

$$[0150] \quad \lambda_0 = (\lambda_1 \times \lambda_2) / (\lambda_2 - \lambda_1) \quad \dots (M1)$$

但し、 $\lambda_2 > \lambda_1$ とする。

[0151] 例えば $\lambda_1 = 1500 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1503 \text{ nm}$ とすると、上記式（M1）から、 $\lambda_0 = 751.500 \mu\text{m}$ となり、計測レンジは $\lambda_0/2 = 375.750 \mu\text{m}$ となる。

[0152] より詳しく説明すると、本実施形態では、まず波長 λ_1 の第1光に係る4通りの干渉縞画像の輝度 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$ 、 $I_4(x, y)$ を基に（上記[数1]参照）、ワークW面上の座標 (ξ, η) における第1光に係る計測光の位相 $\phi_1(\xi, \eta)$ を算出することができる（上記[数9]参照）。

[0153] 第1光に係る計測の下、座標 (ξ, η) における高さ情報 $z(\xi, \eta)$ は、下記式（M2）で表すことができる。

$$[0154] \quad z(\xi, \eta) = d_1(\xi, \eta) / 2$$

$$=[\lambda_1 \times \phi_1(\xi, \eta) / 4\pi] + [m_1(\xi, \eta) \times \lambda_1 / 2] \quad \dots \quad (M2)$$

但し、 $d_1(\xi, \eta)$ は、第1光に係る計測光と参照光との光路差を表し、 $m_1(\xi, \eta)$ は、第1光に係る縞次数を表す。

[0155] よって、位相 $\phi_1(\xi, \eta)$ は下記式(M2')で表すことができる。

$$\phi_1(\xi, \eta) = (4\pi / \lambda_1) \times z(\xi, \eta) - 2\pi m_1(\xi, \eta) \quad \dots \quad (M2')$$

同様に、波長 λ_2 の第2光に係る4通りの干渉縞画像の輝度 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$ 、 $I_4(x, y)$ を基に(上記[数1]参照)、ワークW面上の座標 (ξ, η) における第2光に係る計測光の位相 $\phi_2(\xi, \eta)$ を算出することができる(上記[数9]参照)。

[0157] 第2光に係る計測の下、座標 (ξ, η) における高さ情報 $z(\xi, \eta)$ は、下記式(M3)で表すことができる。

$$z(\xi, \eta) = d_2(\xi, \eta) / 2$$

$$=[\lambda_2 \times \phi_2(\xi, \eta) / 4\pi] + [m_2(\xi, \eta) \times \lambda_2 / 2] \quad \dots \quad (M3)$$

但し、 $d_2(\xi, \eta)$ は、第2光に係る計測光と参照光との光路差を表し、 $m_2(\xi, \eta)$ は、第2光に係る縞次数を表す。

[0159] よって、位相 $\phi_2(\xi, \eta)$ は下記式(M3')で表すことができる。

$$\phi_2(\xi, \eta) = (4\pi / \lambda_2) \times z(\xi, \eta) - 2\pi m_2(\xi, \eta) \quad \dots \quad (M3')$$

ここで、波長 λ_1 の第1光に係る縞次数 $m_1(\xi, \eta)$ 、及び、波長 λ_2 の第2光に係る縞次数 $m_2(\xi, \eta)$ は、2種類の光(波長 λ_1 、 λ_2)の光路差 Δd 及び波長差 $\Delta \lambda$ を基に求めることができる。光路差 Δd 及び波長差 $\Delta \lambda$ は、それぞれ下記式(M4)、(M5)のように表すことができる。

$$\Delta d = (\lambda_1 \times \phi_1 - \lambda_2 \times \phi_2) / 2\pi \quad \dots \quad (M4)$$

$$\Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1 \quad \dots \quad (M5)$$

但し、 $\lambda_2 > \lambda_1$ とする。

[0162] 尚、2波長の合成波長 λ_0 の計測レンジ内において、縞次数 m_1 、 m_2 の関係は、以下の3つの場合に分けられ、各場合ごとに縞次数 $m_1(\xi, \eta)$ 、 $m_2(\xi, \eta)$ を決定する計算式が異なる。ここで、例えば縞次数 $m_1(\xi, \eta)$ を決定する場合について説明する。勿論、縞次数 $m_2(\xi, \eta)$ についても、同様の手法により求めることができる。

[0163] 例えば「 $\phi_1 - \phi_2 < -\pi$ 」の場合には「 $m_1 - m_2 = -1$ 」となり、かかる場合、 m_1 は下記式(M6)のように表すことができる。

$$[0164] \quad m_1 = (\Delta d / \Delta \lambda) - (\lambda_2 / \Delta \lambda) \\ = (\lambda_1 \times \phi_1 - \lambda_2 \times \phi_2) / 2\pi(\lambda_2 - \lambda_1) - \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1) \cdots (M6)$$

「 $-\pi < \phi_1 - \phi_2 < \pi$ 」の場合には「 $m_1 - m_2 = 0$ 」となり、かかる場合、 m_1 は下記式(M7)のように表すことができる。

$$[0165] \quad m_1 = \Delta d / \Delta \lambda \\ = (\lambda_1 \times \phi_1 - \lambda_2 \times \phi_2) / 2\pi(\lambda_2 - \lambda_1) \cdots (M7)$$

「 $\phi_1 - \phi_2 > \pi$ 」の場合には「 $m_1 - m_2 = +1$ 」となり、かかる場合、 m_1 は下記式(M8)のように表すことができる。

$$[0166] \quad m_1 = (\Delta d / \Delta \lambda) + (\lambda_2 / \Delta \lambda) \\ = (\lambda_1 \times \phi_1 - \lambda_2 \times \phi_2) / 2\pi(\lambda_2 - \lambda_1) + \lambda_2 / (\lambda_2 - \lambda_1) \cdots (M8)$$

このようにして得られた縞次数 $m_1(\xi, \eta)$ 又は $m_2(\xi, \eta)$ を基に、上記式(M2)、(M3)から高さ情報 $z(\xi, \eta)$ を得ることができる。

[0167] 例えばワークWがウエハ基板100(図8, 9参照)でバンプ101が計測対象となっている場合、計測基準面であるパターン部102に対するバンプ101の高さHBは、バンプ101の絶対高さ h_o から、該バンプ101周辺のパターン部102の絶対高さ h_r を減算することにより求めることができる[$HB = h_o - h_r$]。ここで、パターン部102の絶対高さ h_r としては、例えばパターン部102上の任意の1点の絶対高さや、パターン部102上の所定範囲の絶対高さの平均値などを用いることができる。また、

「バンプ101の絶対高さ h_o 」や、「パターン部102の絶対高さ h_r 」は、高さ情報 $z(\xi, \eta)$ として求めることができる。

[0168] そして、このように求められたワークWの計測結果（高さ情報）は、制御装置5の演算結果記憶装置55に格納される。

[0169] 以上詳述したように、本実施形態では、まず最初にワークWの計測領域全体ではなく、計測領域内に予め設定した一部の z 位置調査領域Vについてのみ、光軸方向複数位置における複素振幅データを取得し、これを基に焦点の合う最適なワークW（ z 位置調査領域V）の位置をサーチして決定する。その後、かかる位置におけるワークWの計測領域全体についての複素振幅データを取得して、該計測領域に係る計測を行う。

[0170] これにより、計測領域に係る計測を行う上で必要なデータを取得するための処理にかかる負荷を軽減すると共に、該処理に要する時間を短縮することができる。結果として、計測精度の向上を図ると共に、計測効率の向上を図ることができる。

[0171] さらに、本実施形態では、ワークW（ z 位置調査領域V）の z 方向位置を特定し、かかる位置における計測領域全体の複素振幅データを取得して計測を行う構成となっているため、単に所定間隔（計測レンジ）ごとに複数通り取得した複素振幅データの中から最適なデータを抽出するだけの構成に比べて、ワークW（ z 位置調査領域V）に焦点の合ったより最適で精度の良いデータを取得することができる。結果として、さらなる計測精度の向上を図ることができる。

[0172] また、本実施形態では、波長 λ_1 の第1光を偏光ビームスプリッタ20の第1面20aから入射させると共に、波長 λ_2 の第2光を偏光ビームスプリッタ20の第2面20bから入射させることにより、第1光に係る参照光及び計測光と、第2光に係る参照光及び計測光がそれぞれ異なる偏光成分（P偏光又はS偏光）に分割されるため、偏光ビームスプリッタ20に入射した第1光と第2光は互いに干渉することなく、別々に偏光ビームスプリッタ20から出射されることとなる。つまり、偏光ビームスプリッタ20から出射され

る光を所定の分離手段を用いて第1光と第2光とに分離する必要がない。

[0173] その結果、第1光及び第2光として波長の近い2種類の光を用いることができ、三次元計測に係る計測レンジをより広げることができる。加えて、第1光に係る出力光の撮像と、第2光に係る出力光の撮像を同時に行うことができるため、総体的な撮像時間を短縮でき、計測効率の向上を図ることができる。

[0174] 尚、上記実施形態の記載内容に限定されず、例えば次のように実施してもよい。勿論、以下において例示しない他の応用例、変更例も当然可能である。

[0175] (a) 被計測物としてのワークWは、上記実施形態に例示したウエハ基板100に限定されるものではない。例えばクリーム半田が印刷されたプリント基板などをワークW（被計測物）としてもよい。

[0176] また、予め設定された良否の判定基準に従い、計測対象となるバンプやクリーム半田の良否を検査する検査手段を設けたバンプ検査装置や半田印刷検査装置において、計測装置1を備えた構成としても良い。

[0177] (b) 上記実施形態では、ワークWの所定の計測領域について特に言及していないが、ワークWの大きさに応じて、ワークW全域を計測領域として設定してもよいし、ワークWの一部を計測領域として設定してもよい。

[0178] 例えば、上記実施形態においてワークWを設置する設置部24を変位可能に構成し、ワークWの表面を複数の計測領域に分割し、各計測領域を順次移動しつつ各計測領域の形状計測を行っていき、複数回に分けてワークW全体の形状計測を行う構成としてもよい。

[0179] (c) 干渉光学系（所定の光学系）の構成は上記実施形態に限定されるものではない。例えば上記実施形態では、干渉光学系として、マイケルソン干渉計の光学構成を採用しているが、これに限らず、例えばマッハ・ツェンダー干渉計やフィゾー干渉計の光学構成など、入射光を参照光と計測光に分割してワークWの計測を行う構成であれば、他の光学構成を採用してもよい。

[0180] (d) 上記実施形態では、波長の異なる2種類の光を利用してワークWの

計測を行う構成となっているが、これに限らず、1種類の光のみを利用してワークWの計測を行う構成としてもよい。

[0181] また、波長の異なる2種類の光を利用する場合においては、上記実施形態に係る構成に限らず、従来の計測装置と同様に、第1波長光と第2波長光を合成した状態で干渉光学系へ入射させ、ここから出射される干渉光を所定の光学分離手段（ダイクロイックミラー等）により波長分離し、第1波長光に係る干渉光と、第2波長光に係る干渉光とを得て、各波長光に係る干渉光を個別に撮像した干渉縞画像を基にワークWの計測を行う構成としてもよい。

[0182] また、2つの光源から出射される波長の異なる2種類の光を重ね合わせた状態で干渉光学系へ入射させ、ここから出射される光を光学分離手段により波長分離し、上記各波長の光に係る干渉光を個別に撮像する構成を上記実施形態に組み合わせ、波長の異なる3種類以上の光を利用してワークWの計測を行う構成としてもよい。

[0183] （e）投光系2A、2Bの構成は上記実施形態に限定されるものではない。例えば上記実施形態では、第1投光系2Aから波長 $\lambda_1 = 1500\text{ nm}$ の光が照射され、第2投光系2Bから波長 $\lambda_2 = 1503\text{ nm}$ の光が照射される構成となっているが、各光の波長はこれに限定されるものではない。但し、計測レンジを広げるためには、2つの光の波長差をより小さくすることが好ましい。

[0184] （f）上記実施形態では、第1光及び第2光について、それぞれ位相が 90° ずつ異なる4通りの干渉縞画像を取得する構成となっているが、位相シフト回数及び位相シフト量は、これらに限定されるものではない。例えば位相が 120° （又は 90° ）ずつ異なる3通りの干渉縞画像を取得してワークWの計測を行う構成としてもよい。

[0185] （g）上記実施形態では、位相シフト手段として、透過軸方向を変更可能に構成された偏光板32A、32Bを採用しているが、位相シフト手段の構成は、これに限定されるものではない。

[0186] 例えばピエゾ素子等により参照面23を光軸に沿って移動させることで物

理的に光路長を変化させる構成を採用してもよい。

[0187] 但し、かかる構成や上記実施形態では、計測に必要なすべての干渉縞画像を取得するまでに一定時間を要するため、計測時間が長くなるばかりでなく、その空気の揺らぎや振動等の影響を受けるため、計測精度が低下するおそれがある。

[0188] これに対し、例えば第1撮像系4Aにおいて、 $1/4$ 波長板31Aを透過した第1光に係る合成光（参照光成分及び計測光成分）を4つの光に分割する分光手段（プリズム等）を備えると共に、位相シフト手段として、第1偏光板32Aに代えて、前記分光手段から出射された4つの光に対してそれぞれ異なる位相差を付与するフィルタ手段を備え、該フィルタ手段を透過した4つの光を第1カメラ33A（又は複数のカメラ）により同時撮像する構成としてもよい。勿論、第2撮像系4Bについても同様の構成としてもよい。

[0189] かかる構成とすれば、計測に必要なすべての干渉縞画像を同時に取得することができる。つまり、2種類の光に係る計8通りの干渉縞画像を同時に取得することができる。結果として、計測精度の向上を図ると共に、総体的な撮像時間を大幅に短縮でき、計測効率の飛躍的な向上を図ることができる。

[0190] （h）上記実施形態では、 z 方向におけるワークW（ z 位置調査領域V）の位置を決定する過程において、高さ計測の計測レンジ間隔で複素振幅データ等を取得する構成となっているが、これに限らず、例えば合焦範囲間隔で複素振幅データ等を取得する構成としてもよい。

[0191] （i）上記実施形態では、ステップS6において得られた計測領域全体の複素振幅データを基に、ステップS7において三次元計測を行う構成となっている。これに代えて又は加えて、ステップS6において得られた計測領域全体の複素振幅データを基に、計測領域全体の強度画像を取得し、二次元計測を行う構成としてもよい。

[0192] ステップS7において二次元計測のみを行う場合には、その計測結果を基に、例えば計測対象となったバンプ101（図10参照）の位置ズレ Δx 、 Δy や、外径D、面積Sなどを、予め設定した基準値と比較判定し、この比

較結果が許容範囲内にあるか否かによって、バンプ101の良否を判定する二次元検査を行うことができる。

[0193] また、ステップS7において二次元計測及び三次元計測の両方を行う場合には、二次元計測（二次元検査）の結果を基にして、計測対象となるバンプ101が存在する場所を特定してから三次元検査を行ったり、三次元計測により得られた三次元データに対し強度画像をマッピングするなど、複数種類の計測を組み合わせた総合的な検査を行うことができる。

[0194] （j）上記実施形態においては、レンズを備えたカメラを使用しているが、必ずしもレンズは必要なく、レンズのないカメラを使用しても、上記実施形態によれば、焦点の合った画像を計算により求めることができる。

[0195] （k）上記実施形態では、ワークW（z位置調査領域V）のz方向位置を特定し、かかる位置における計測領域全体の複素振幅データを取得して計測を行う構成となっているが、計測領域全体の複素振幅データを取得するz方向位置は、これに限定されるものではない。例えば最も焦点の合う強度画像が得られた位置（ $z = L_m$ ）における計測領域全体の複素振幅データを取得して計測を行う構成としてもよい。

[0196] （l）上記実施形態で例示したウエハ基板100では、バンプ101の高さ計測の基準面となるパターン部102をz位置調査領域Vとして設定しているが、必ずしもz位置調査領域Vが基準面となり得る部位である必要はなく、他の部位でもよい。

[0197] （m）上記実施形態では、特に言及していないが、z位置調査領域Vが複数箇所に設定された構成としてもよい。z位置調査領域Vが複数あることで、計測領域全体の複素振幅データを取得すべき、より最適な位置を見付けやすくなる。

符号の説明

[0198] 1…計測装置、2A…第1投光系、2B…第2投光系、3…干渉光学系、4A…第1撮像系、4B…第2撮像系、5…制御装置、11A…第1発光部、11B…第2発光部、12A…第1光アイソレータ、12B…第2光アイ

ソレータ、13A…第1無偏光ビームスプリッタ、13B…第2無偏光ビームスプリッタ、20…偏光ビームスプリッタ、20a…第1面、20c…第3面、20b…第2面、20d…第4面、21, 22…1/4波長板、23…参照面、24…設置部、31A…1/4波長板、31B…1/4波長板、32A…第1偏光板、32B…第2偏光板、33A…第1カメラ、33B…第2カメラ、33Aa, 33Ba…撮像素子、100…ウエハ基板、101…バンプ、102…パターン部、V…z位置調査領域、W…ワーク。

請求の範囲

[請求項1]

入射する所定の光を2つの光に分割し、一方の光を計測光として被計測物に照射可能としかつ他方の光を参照光として参照面に照射可能とすると共に、これらを再び合成して出射可能な所定の光学系と、

前記所定の光学系に対し入射させる所定の光を出射可能な照射手段と、

前記所定の光学系から出射される出力光を撮像可能な撮像手段と、

前記撮像手段により撮像し得られた干渉縞画像を基に前記被計測物の所定の計測領域に係る計測を実行可能な画像処理手段とを備えた計測装置であって、

前記画像処理手段は、

前記撮像手段により撮像し得られた干渉縞画像を基に、前記計測領域内に予め設定した一部の特定領域について、光軸方向所定位置における複素振幅データを少なくとも光軸方向所定範囲内における所定間隔ごとに複数通り取得する第1データ取得手段と、

前記第1データ取得手段により取得された前記特定領域に係る前記所定間隔ごとの複数通りの複素振幅データから前記特定領域に係る前記所定間隔ごとの複数通りの強度画像を取得する画像取得手段と、

前記画像取得手段により取得された前記複数通りの強度画像を基に、光軸方向における所定の位置を決定する位置決定手段と、

前記位置決定手段により決定された位置における複素振幅データを前記計測領域全体について取得する第2データ取得手段と、

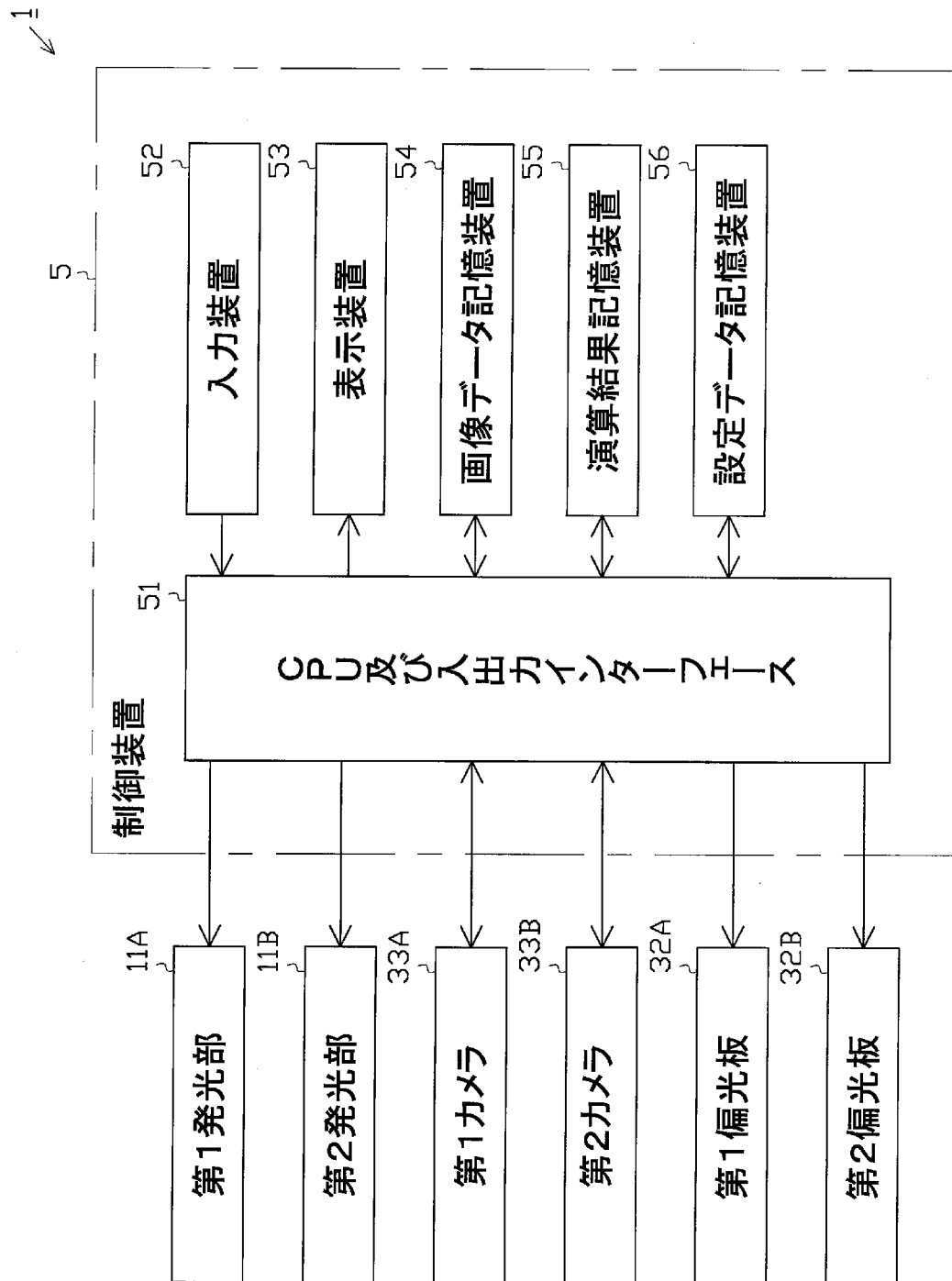
前記第2データ取得手段により取得された複素振幅データを基に前記計測領域に係る計測を実行する計測実行手段とを備えていることを特徴とする計測装置。

[請求項2]

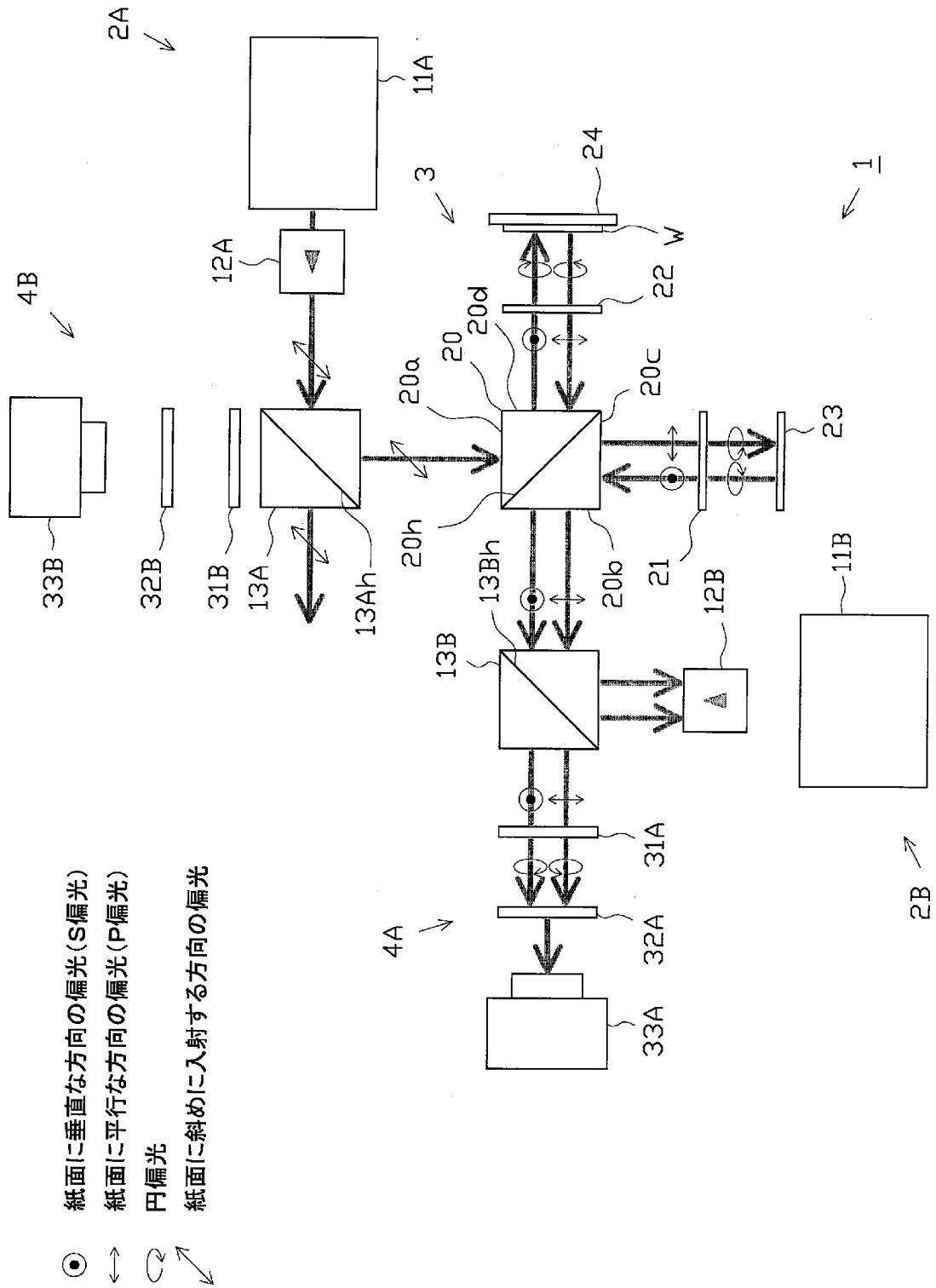
前記位置決定手段は、前記画像取得手段により取得された前記複数通りの強度画像を基に、前記特定領域の光軸方向位置を決定することを特徴とする請求項1に記載の計測装置。

- [請求項3] 前記特定領域は、前記計測領域に係る光軸方向の計測を行う際に基準となる領域であることを特徴とする請求項2に記載の計測装置。
- [請求項4] 前記特定領域が複数箇所に設定されていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の計測装置。
- [請求項5] 前記参照光と前記計測光との間に相対的な位相差を付与する位相シフト手段を備え、
前記画像処理手段は、
前記位相シフト手段により複数通りに位相シフトされた前記出力光を前記撮像手段により撮像し得られた複数通りの干渉縞画像を基に、前記被計測物の所定の計測領域に係る計測を実行可能に構成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の計測装置。
- [請求項6] 前記照射手段は、
前記所定の光学系に対し入射させる、第1波長の偏光を含む第1光を出射可能な第1照射手段と、
前記所定の光学系に対し入射させる、第2波長の偏光を含む第2光を出射可能な第2照射手段とを備え、
前記撮像手段は、
前記所定の光学系に対し前記第1光を入射することにより前記所定の光学系から出射される前記第1光に係る出力光を撮像可能な第1撮像手段と、
前記所定の光学系に対し前記第2光を入射することにより前記所定の光学系から出射される前記第2光に係る出力光を撮像可能な第2撮像手段とを備えたことを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の計測装置。
- [請求項7] 前記被計測物は、バンプが形成されたウエハ基板であることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の計測装置。

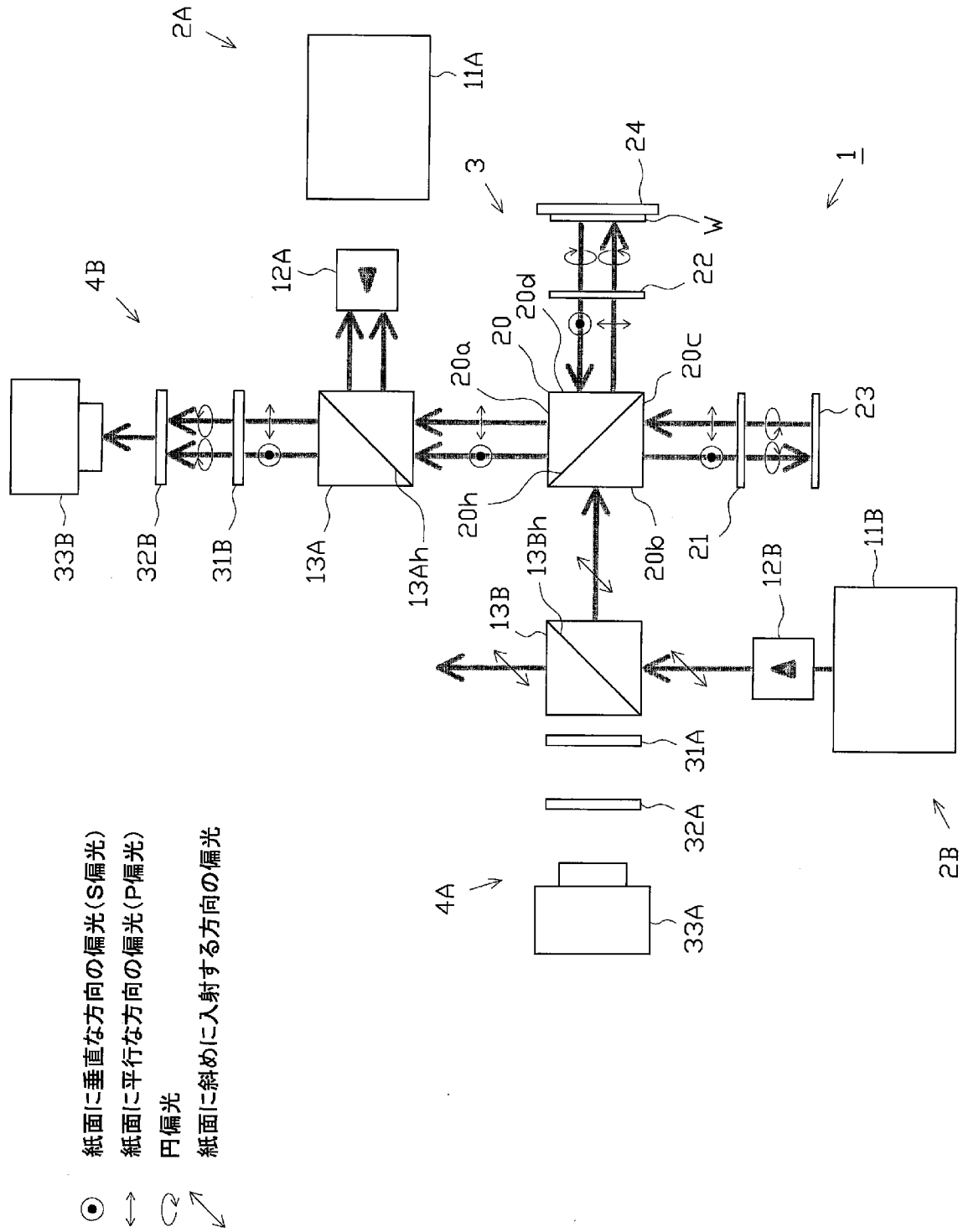
[図2]



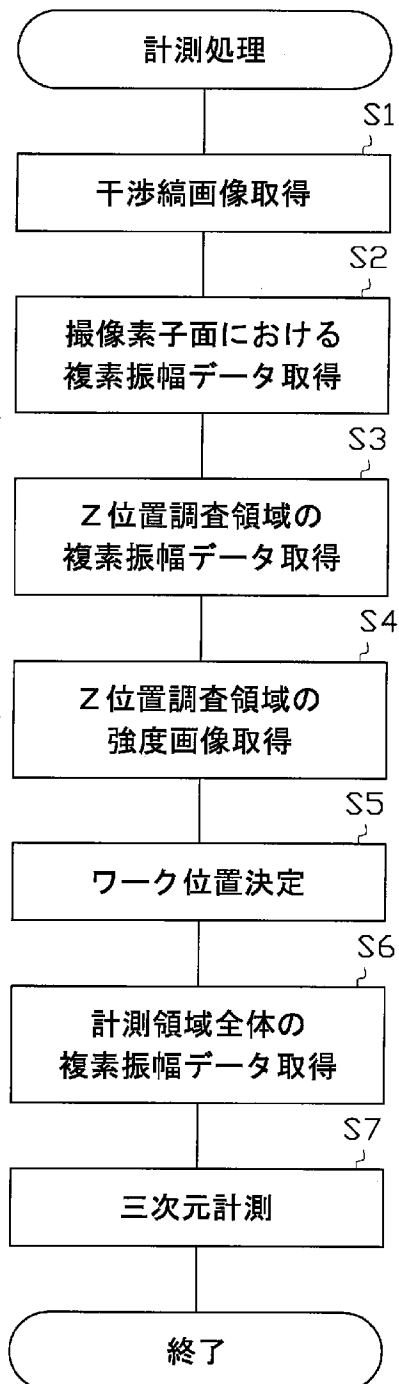
[図3]



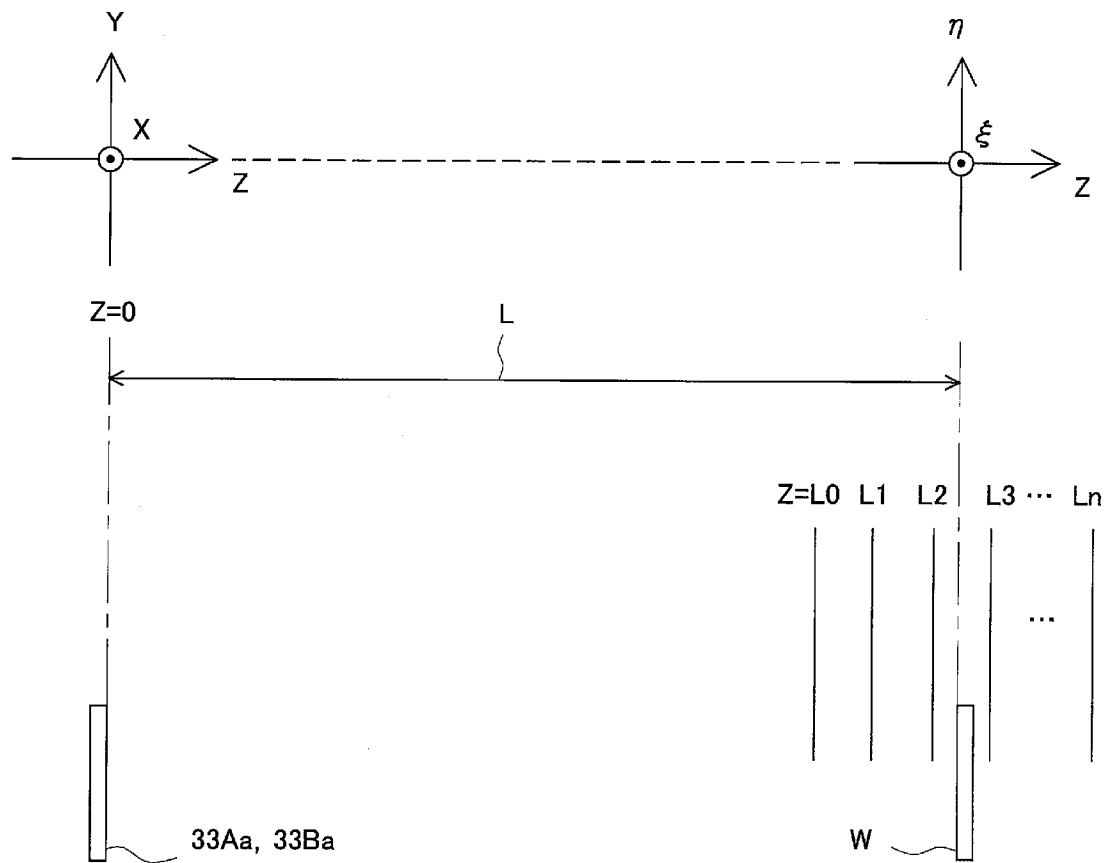
[図4]



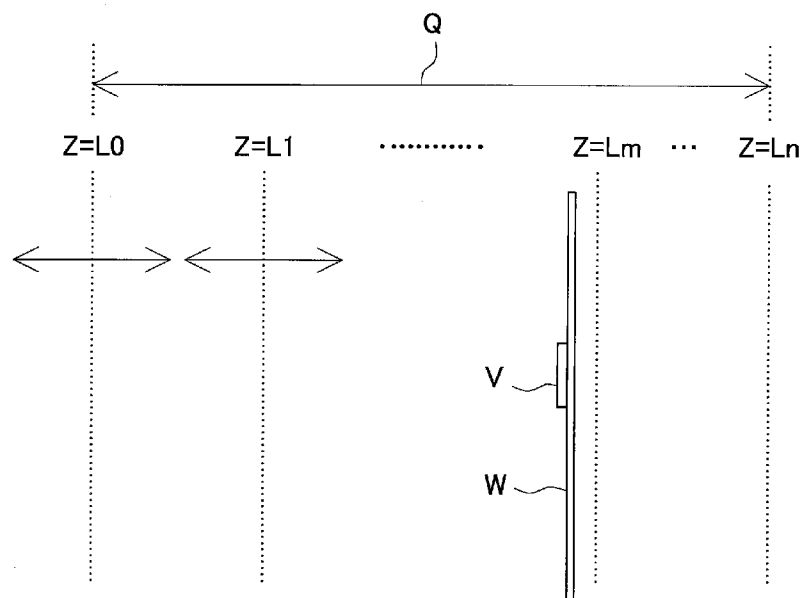
[図5]



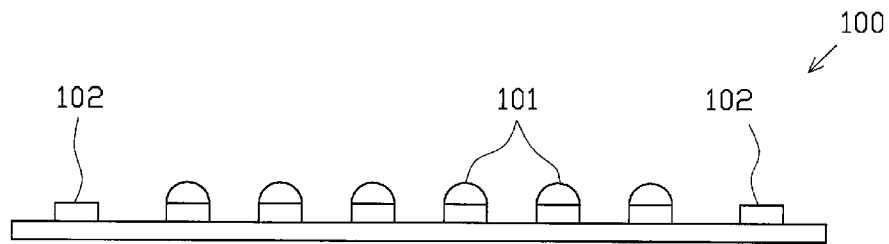
[図6]



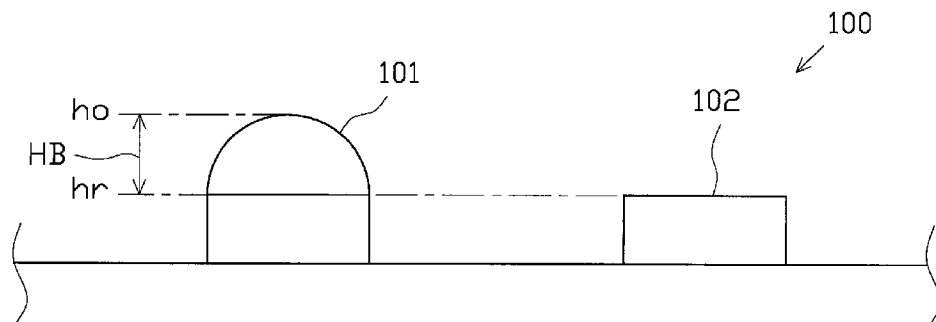
[図7]



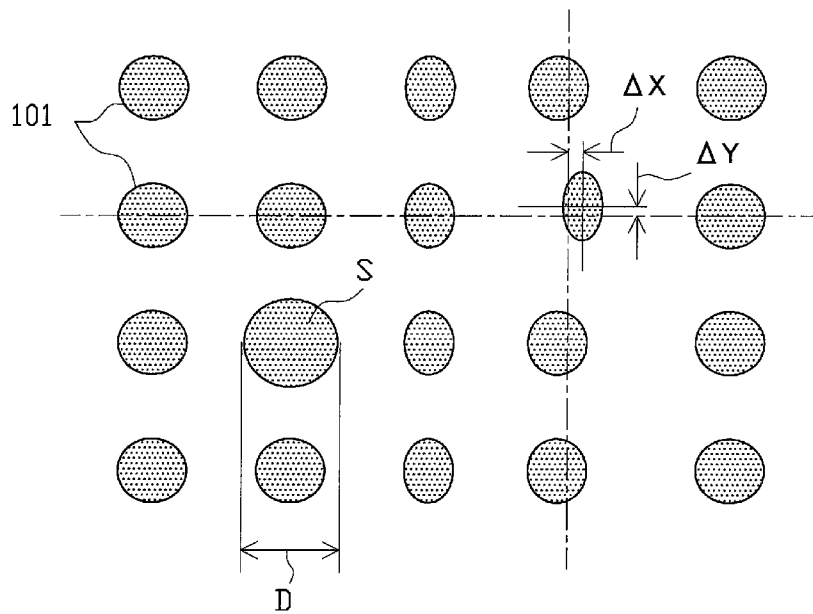
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/015870

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B11/24(2006.01)i, G01B9/02(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B11/00-11/30, G01B9/00-9/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-24432 A (Ricoh Co., Ltd.), 27 January 2005 (27.01.2005), paragraphs [0067] to [0073]; fig. 2 (Family: none)	1-7
A	JP 2003-232619 A (Ricoh Co., Ltd.), 22 August 2003 (22.08.2003), paragraphs [0020] to [0027] (Family: none)	1-7
A	JP 2010-25663 A (Nippon Steel Corp.), 04 February 2010 (04.02.2010), paragraphs [0079], [0080]; fig. 10 (Family: none)	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 July 2017 (18.07.17)

Date of mailing of the international search report
01 August 2017 (01.08.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01B11/24(2006.01)i, G01B9/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01B11/00-11/30, G01B9/00-9/10

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2005-24432 A（株式会社リコー） 2005.01.27, [0067] - [0073], [図2] (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2003-232619 A（株式会社リコー） 2003.08.22, [0020] - [0027] (ファミリーなし)	1-7

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- | | |
|---|---|
| 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの | 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの |
| 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの | 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの |
| 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） | 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

18.07.2017

国際調査報告の発送日

01.08.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

八木 智規

2 S

4847

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-25663 A (新日本製鐵株式会社) 2010.02.04, [0079]、[0080]、[図10] (ファミリーなし)	1-7