

(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2016-24009

(P2016-24009A)

(43) 公開日 平成28年2月8日(2016.2.8)

(51) Int.Cl.

G O 1 B 11/06 (2006.01)

F 1

G O 1 B 11/06

テーマコード(参考)

Z 2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願2014-147542 (P2014-147542)

(22) 出願日

平成26年7月18日 (2014.7.18)

(71) 出願人 000137694

株式会社ミツトヨ

神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号

(74) 代理人 100166545

弁理士 折坂 茂樹

(72) 発明者 三木 豊

神奈川県川崎市高津区坂戸1丁目20番1号 株式会社ミツトヨ内

F ターム(参考) 2F065 AA30 BB15 BB22 CC02 DD09  
FF10 FF61 GG24 LL02 LL12  
LL30 LL67 PP12 QQ29 SS13

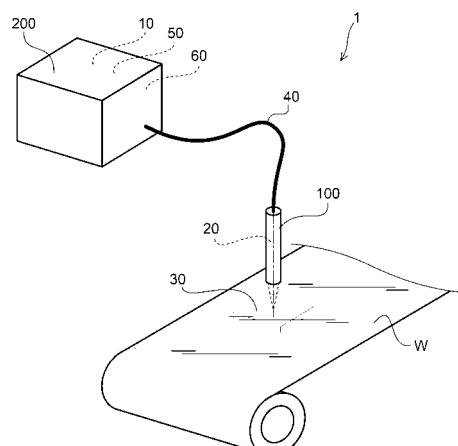
(54) 【発明の名称】 厚さ測定装置及び厚さ測定方法

## (57) 【要約】

【課題】測定対象物の厚さを広いダイナミックレンジで高速かつ高精度求めることができる非接触式の厚さ測定装置及び厚さ測定方法を提供すること。

【解決手段】本発明の厚さ測定装置は、光を出射する光源と、光源から出射された光を光軸上に集束する光学系と、光学系により集束した光を反射する反射部と、光学系を通過した光が光軸上に集束する位置に応じた反射光の強度を検出する検出部と、光学系と反射部との間に測定対象物が配置されていない場合に反射部で反射した光について検出部で反射光強度のピークを検出した光軸上での第1集束位置と、光学系と反射部との間に測定対象物が配置されている場合に測定対象物を透過し反射部で反射した光について検出部で反射光強度のピークを検出した光軸上での第2集束位置との変位量と、測定対象物の屈折率と、を用いて測定対象物の厚さを演算する演算部と、備えたことを特徴とする。

【選択図】図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光を出射する光源と、  
前記光源から出射された光を光軸上に集束する光学系と、  
前記光学系により集束した光を反射する反射部と、  
前記光学系を通過した光の光軸上での集束位置に応じた反射光の強度を検出する検出部と、

前記光学系と前記反射部との間に測定対象物が配置されていない場合に前記反射部で反射した光について前記検出部で反射光強度のピークを検出した前記光軸上での第1集束位置と、前記光学系と前記反射部との間に前記測定対象物が配置されている場合に前記測定対象物を透過し前記反射部で反射した光について前記検出部で反射光強度のピークを検出した前記光軸上での第2集束位置との変位量と、前記測定対象物の屈折率と、を用いて前記測定対象物の厚さを演算する演算部と、  
を備えたことを特徴とする厚さ測定装置。

**【請求項 2】**

前記光学系は、前記光軸上において軸上色収差を有し、  
前記検出部は、前記光学系の共焦点位置に配置されたピンホールを通過した反射光を波長ごとに分光する分光器と、前記分光器で分光された反射光の強度を検出する受光部と、を有し、

前記演算部は、前記受光部で検出した反射光の波長に対応した前記光軸上での集束位置を演算することを特徴とする請求項1記載の厚さ測定装置。

**【請求項 3】**

前記光源から出射される光は、広帯域光であることを特徴とする請求項2記載の厚さ測定装置。

**【請求項 4】**

前記光源は、白色光源であることを特徴とする請求項2または3に記載の厚さ測定装置。

**【請求項 5】**

前記第1集束位置と前記第2集束位置との変位量をZ、前記屈折率をn、前記測定対象物の厚さをtとした場合、前記演算部は、

$$t = \{ n / (n - 1) \} \times Z$$

によって前記測定対象物の厚さtを演算することを特徴とする請求項1～4のいずれか1つに記載の厚さ測定装置。

**【請求項 6】**

光ファイバの端面のコア部分を前記ピンホールとみなし、前記光ファイバを介して前記反射光を伝達することを特徴とする請求項2記載の厚さ測定装置。

**【請求項 7】**

光源から出射した光を光学系で光軸上に集束して反射部に向けて照射する工程と、  
前記光学系と前記反射部との間に測定対象物を配置していない状態で、前記反射部にて反射した光について反射光強度のピークとなる前記光軸上での第1集束位置を検出する工程と、

前記光学系と前記反射部との間に前記測定対象物を配置した状態で、前記測定対象物を透過し前記反射部にて反射した光について反射光強度のピークとなる前記光軸上での第2集束位置を検出する工程と、

前記第1集束位置と前記第2集束位置との変位量と、前記測定対象物の屈折率と、を用いて前記測定対象物の厚さを演算する工程と、

を備えたことを特徴とする厚さ測定方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

10

20

30

40

50

本発明は、厚さ測定装置及び厚さ測定方法に関し、特に透明フィルムのような高い透光性を有する薄い対象物の厚さの測定に適した厚さ測定装置及び厚さ測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、フィルムやシート等の薄い平行平板状の透明な対象物の厚さを非接触で測定する装置として、共焦点式変位計、クロマティックコンフォーカル式変位計、分光干渉式厚さ計などが知られている。

【0003】

例えば、共焦点式変位計では、測定対象物に照射する光の焦点位置を可変し、共焦点位置に配置したピンホールを通過する反射光の量が最大となる焦点位置から測定対象物の位置を検出している。

【0004】

また、クロマティックコンフォーカル式変位計では、軸上色収差の大きい対物レンズを用いて測定対象物に白色光源の光を照射し、その反射光のうち共焦点位置に配置したピンホールを通過する光において最も強い光波長を検出することで測定対象物の位置を検出している。特許文献1には、高分解能かつ高速応答を実現したクロマティックコンフォーカル式変位計が開示される。

【0005】

また、分光干渉式厚さ計では、測定対象物に白色光源の光を照射し、その表面で反射する光と、裏面で反射する光とを分光後に干渉させることで、光波長に対する光干渉の強度パターンを得て、測定対象物の位置を検出している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-39026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、従来の共焦点式変位計及びクロマティックコンフォーカル式変位計では、例えば、厚さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の薄い透明体が測定対象物である場合、透明体の表面で反射する光と、裏面で反射する光とが近すぎるため区別することが困難であり、精度の高い厚さ測定を行うことができないという問題がある。

【0008】

また、分光干渉式厚さ計では、厚さ $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の薄い透明体は測定できるものの、 $1\text{ mm}$ 以上の厚い透明体の測定は困難であるという問題がある。これは、厚い透明体に対する光干渉の強度パターンが細かくなりすぎて、イメージセンサ等での検出が難しくなるためである。また、応答性にも問題がある。すなわち、分光干渉式厚さ計では、イメージセンサの全画素が受光画素となるため、受光量の検出に時間がかかる。しかも、イメージセンサの全画素による膨大な受光量データをFFT(Fast Fourier Transform)解析して測定対象物の厚さを算出するため、演算時間が長くなるという問題がある。

【0009】

また、従来技術では、測定スポットの大きさが設計で決まるため、測定時に測定スポットの大きさを変えることはできない。

【0010】

本発明の目的は、平行平板状の透明体(フィルムやシートなど)の測定対象物の厚さを広いダイナミックレンジをもって高速に測定し、かつ、測定スポットの大きさを自由に変えることができる非接触式の厚さ測定装置及び厚さ測定方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記課題を解決するため、本発明の厚さ測定装置は、光を出射する光源と、光源から出

射された光を光軸上に集束する光学系と、光学系により集束した光を反射する反射部と、光学系を通過した光の光軸上での集束位置に応じた反射光の強度を検出する検出部と、光学系と反射部との間に測定対象物が配置されていない場合に反射部で反射した光について検出部で反射光強度のピークを検出した光軸上での第1集束位置と、光学系と反射部との間に測定対象物が配置されている場合に測定対象物を透過し反射部で反射した光について検出部で反射光強度のピークを検出した光軸上での第2集束位置との変位量と、測定対象物の屈折率と、を用いて測定対象物の厚さを演算する演算部と、備えたことを特徴とする。

## 【0012】

このような構成によれば、光学系と反射部との間に測定対象物を配置して光を照射した場合、測定対象物が配置されていない場合に比べて光路差が発生する。この光路差は、測定対象物の厚さ及び屈折率に応じて変化する。この性質を利用して、演算部は、測定対象物が配置されていない場合に演算した光軸上での第1集束位置と、測定対象物が配置されている場合に演算した光軸上での第2集束位置との変位量と、測定対象物の屈折率とを用いて測定対象物の厚さを広いダイナミックレンジで高速かつ高精度に求めることができる。また、光学系と測定対象物との間隔を調整することにより、測定スポットの大きさを自由に変えることができる。

10

## 【0013】

本発明の厚さ測定装置において、光学系は、光軸上において軸上色収差を有し、検出部は、光学系の共焦点位置に配置されたピンホールを通過した反射光を波長ごとに分光する分光器と、分光器で分光された反射光の強度を検出する受光部と、を有し、演算部は、受光部で検出した反射光の波長に対応した光軸上での集束位置を演算するようにしてよい。このような構成によれば、光学系の軸上色収差を利用して、ピンホールを通過する光の波長における集束位置に基づき測定対象物の厚さを求めることができる。

20

## 【0014】

本発明の厚さ測定装置において、光源から出射される光は、広帯域光であってもよい。このような構成によれば、広帯域光に含まれる波長の範囲内において測定対象物の厚さを測定することができる。

## 【0015】

本発明の厚さ測定装置において、光源は、白色光源であってもよい。このような構成によれば、白色光源から出射される白色光に含まれる波長の範囲内において測定対象物の厚さを測定することができる。

30

## 【0016】

本発明の厚さ測定装置において、第1集束位置と第2集束位置との変位量を $Z$ 、測定対象物の屈折率を $n$ 、測定対象物の厚さを $t$ とした場合、演算部は、 $t = \{ n / (n - 1) \} \times Z$ によって測定対象物の厚さ $t$ を演算してもよい。このような構成によれば、演算部による演算によって測定対象物の厚さ $t$ を広いダイナミックレンジで高速かつ高精度に求めることができる。

## 【0017】

本発明の厚さ測定装置において、光ファイバの端面のコア部分をピンホールとみなし、光ファイバを介して反射光を伝達してもよい。このような構成によれば、光ファイバの端面のコア部分をピンホールとみなして、共焦点であるコア部分に集光した反射光を光ファイバを介して取り込むことができる。

40

## 【0018】

本発明の厚さ測定方法は、光源から出射した光を光学系で光軸上に集束して反射部に向けて照射する工程と、光学系と反射部との間に測定対象物を配置していない状態で、反射部にて反射した光について反射光強度のピークとなる光軸上での第1集束位置を検出する工程と、光学系と反射部との間に測定対象物を配置した状態で、測定対象物を透過し反射部にて反射した光について反射光強度のピークとなる光軸上での第2集束位置を検出する工程と、第1集束位置と第2集束位置との変位量と、測定対象物の屈折率と、を用いて測

50

定対象物の厚さを演算する工程と、を備えたことを特徴とする。

#### 【0019】

このような構成によれば、光学系と反射部との間に測定対象物を配置して光を照射した場合、測定対象物が配置されていない場合に比べて光路差が発生する。この光路差は、測定対象物の厚さ及び屈折率に応じて変化する。この性質を利用して、測定対象物が配置されていない場合に検出した光軸上での第1集束位置と、測定対象物が配置されている場合に検出した光軸上での第2集束位置との変位量と、測定対象物の屈折率とを用いて測定対象物の厚さを広いダイナミックレンジで高速かつ高精度に求めることができる。また、光学系と測定対象物との間隔を調整することにより、測定スポットの大きさを自由に変えることができる。

10

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0020】

【図1】第1実施形態に係る厚さ測定装置を例示する模式図である。

【図2】(a)は、第1実施形態に係る厚さ測定装置の構成を例示するブロック図、(b)は、共焦点で光ファイバが受ける光の波長分布を例示する図である。

【図3】(a)及び(b)は、ワークの有無による集光点の変化を説明する模式図である。

【図4】厚さ測定方法の流れを例示するフローチャートである。

【図5】(a)及び(b)は、厚さ測定方法の具体例を示す模式図である。

20

【図6】第1の適用例を示す斜視図である。

【図7】第2の適用例を示す斜視図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0021】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。なお、以下の説明では、同一の部材には同一の符号を付し、一度説明した部材については適宜その説明を省略する。

#### 【0022】

#### 【第1実施形態】

図1は、第1実施形態に係る厚さ測定装置を例示する模式図である。

図1に表したように、本実施形態に係る厚さ測定装置1は、センサヘッド100と、コンソール200とを備え、測定対象物であるワークWの厚さを光学的に非接触で測定する装置である。

30

#### 【0023】

センサヘッド100とコンソール200とは光ファイバ40によって接続される。厚さ測定装置1は、センサヘッド100から出射された光の反射光を用いてワークWの厚さを測定する。本実施形態においてワークWは、センサヘッド100から出射される光を十分に透過する材料によって形成される。例えば、ワークWは透明なフィルムである。

#### 【0024】

本実施形態では、ワークWの下側(ワークWの、センサヘッド100とは反対側)に反射部であるミラー30が設けられる。この構成によって、透光性を有するワークWであっても精度の高い厚さ測定を行うことができる。

40

#### 【0025】

図2(a)は、第1実施形態に係る厚さ測定装置の構成を例示するブロック図である。

図2(a)に表したように、コンソール200には、光源10、検出部50(分光器51、受光部52)及び演算部60が設けられる。また、コンソール200には、これらのほか、ファイバカプラ41が設けられる。

#### 【0026】

光源10から出射される光は広帯域光である。光源10としては、例えば白色光源(白色LEDなど)が用いられる。光源10から出射される光は、ファイバカプラ41及び光ファイバ40を介してセンサヘッド100に伝達される。

#### 【0027】

50

センサヘッド 100 には光学系 20 が組み込まれる。光学系 20 は、光源 10 から出射された光を光軸上に集束させる。光学系 20 は、コリメートレンズ 21 及び対物レンズ 22 を有する。

#### 【0028】

コリメートレンズ 21 は、光源 10 から出射され光ファイバ 40 から放射された光を平行光にする。コリメートレンズ 21 は、軸上色収差の小さなレンズである。軸上色収差の小さなコリメートレンズ 21 では、対物レンズ 22 側からコリメートレンズ 21 に向かう光軸に沿った平行光を、波長にかかわらず光軸上的一点（共焦点 FP）に集束させる。なお、コリメートレンズ 21 は必要に応じて設けられていればよい。コリメートレンズ 21 が設けられていない場合には、光ファイバ 40 から放射された光を、そのまま対物レンズ 22 に入射すればよい。

10

#### 【0029】

対物レンズ 22 は、コリメートレンズ 21 よりもワーク W 側、すなわち、センサヘッド 100 の先端側に配置される。対物レンズ 22 は、軸上色収差の大きなレンズである。対物レンズ 22 は、コリメートレンズ 21 で平行にされた光をワーク W 側の光軸上に集束させる。

#### 【0030】

コリメートレンズ 21 から対物レンズ 22 に入射される平行光は、軸上色収差の大きな対物レンズ 22 を通過すると、光の波長に応じて光軸上の異なる位置に焦点を結ぶ。すなわち、対物レンズ 22 を通過した光の光軸上の焦点距離は、光の波長に応じて異なっている。対物レンズ 22 では、波長が短いほど焦点距離が短く、波長が長いほど焦点距離が長くなる。例えば、青色光、緑色光、赤色光では、焦点距離は、青色光、緑色光、赤色光の順に長くなる。

20

#### 【0031】

ワーク W の対物レンズ 22 とは反対側にはミラー 30 が配置される。ミラー 30 で反射する光のうちミラー 30 の反射面で焦点を結ぶ波長成分の光は、対物レンズ 22 を介してコリメートレンズ 21 により共焦点 FP に集束することになる。一方、ミラー 30 の反射面で焦点を結ばない大部分の波長成分の光は、共焦点 FP に集束せず散逸する。

#### 【0032】

光ファイバ 40 は、センサヘッド 100 とコンソール 200 との間に設けられる。光ファイバ 40 のセンサヘッド 100 側の端面は、共焦点 FP に配置される。光ファイバ 40 の端面のコア部分は共焦点 FP に配置されたピンホールとみなすことができる。光ファイバ 40 は、共焦点 FP に配置されたピンホールを通過した反射光を受けてコンソール 200 側へ伝達する。

30

#### 【0033】

光ファイバ 40 のコンソール 200 側の端面は、ファイバカプラ 41 に接続される。光ファイバ 40 は、光源 10 から出射された光をセンサヘッド 100 に伝達し、コリメートレンズ 21 に向けて出射する。一方、光ファイバ 40 は、ミラー 30 で反射した光のうち共焦点 FP に集束したものを受けたものを受けたコンソール 200 に伝達する。

40

#### 【0034】

コンソール 200 のファイバカプラ 41 は、一方側に少なくとも 2 ポート、他方側に少なくとも 1 ポートを有する。一方側のポートの一つである第 1 ポート PT1 には光源 10 が接続され、他の一つである第 2 ポート PT2 には検出部 50 の分光器 51 が接続される。他方側のポートである第 3 ポート PT3 には光ファイバ 40 が接続される。

#### 【0035】

検出部 50 は、分光器 51 と受光部 52 を有する。分光器 51 は、入射された光を波長に応じて分散させる。分光器 51 としては、例えば回折格子が用いられる。受光部 52 は、光ファイバ 40 で伝達された光に基づき共焦点 FP に集束した反射光の波長毎の強度を検出する。受光部 52 は、例えばイメージセンサを有する。分光器 51 で波長に応じて分散された光を受光部 52 で検出することにより、受光部 52 で検出した位置に基づき共

50

焦点 F P に集束した反射光の波長毎の強度を検出することができる。

【 0 0 3 6 】

演算部 6 0 は、受光部 5 2 で検出した反射光の波長毎の強度に基づき、反射光強度にピークが生じる波長に対応した高さを演算する。本実施形態では、後述する処理によって、ワーク W の厚さを演算する。

【 0 0 3 7 】

このような構成を備える本実施形態の厚さ測定装置 1 は、クロマティックコンフォーカル式変位計の測定原理と演算部 6 0 での演算処理によってワーク W の厚さを高精度に求める。

【 0 0 3 8 】

ここで、クロマティックコンフォーカル式変位計の測定原理を説明する。

先ず、光源 1 0 から光を射出し、センサヘッド 1 0 0 の対物レンズ 2 2 から測定対象物に向けて光を照射する。対物レンズ 2 2 の軸上色収差により、この照射する光は波長によって異なる位置に焦点を結ぶ。測定対象物で反射した光のうち、測定対象物の表面で合焦していない波長の光は、共焦点 F P で集束せず、光ファイバ 4 0 にはわずかしか取り込まれない。一方、測定対象物で反射した光のうち、測定対象物の表面で合焦した波長の光は共焦点 F P に集束してその多くが光ファイバ 4 0 を介して分光器 5 1 に伝達される。したがって、光ファイバ 4 0 に取り込まれる光は、測定対象物の表面で合焦する波長成分の強度が強く、それ以外の成分の強度は弱いものとなる。

【 0 0 3 9 】

分光器 5 1 には、共焦点 F P に集束して光ファイバ 4 0 で伝達された光が送られる。分光器 5 1 に送られた光は、波長に応じて分散して受光部 5 2 に到達する。受光部 5 2 では、分光器 5 1 で分散した光の位置毎に受光強度を検出する。受光部 5 2 における光の検出位置は波長毎に決まっているので、特定の検出位置で受光強度にピークが生じた場合には、その検出位置に対応する波長を求めることができる。演算部 6 0 は、このピークが生じた波長での対物レンズ 2 2 の焦点距離に基づいて、測定対象物の表面（反射面）の位置（高さ）を求める。

【 0 0 4 0 】

図 2 ( b ) は、共焦点 F P で光ファイバ 4 0 が受けける光の波長分布を例示する図である。なお、図中破線は、白色光の波長分布を例示している。例えば、光源 1 0 から、波長 1 、 2 及び 3 を含む白色光が測定対象物に照射され、そのうち波長 2 の光が測定対象物の表面で焦点を結ぶとする。

【 0 0 4 1 】

この場合、波長 2 の反射光が共焦点 F P で集束して光ファイバ 4 0 に取り込まれる。他の波長の反射光は共焦点 F P で集束しないため、光ファイバ 4 0 には取り込まれない。したがって、光ファイバ 4 0 は、図 2 ( b ) に示すように波長 2 にピークを有する光を分光器 5 1 に伝達することになる。

【 0 0 4 2 】

分光器 5 1 では、波長 2 に応じて光を分散し、受光部 5 2 に送る。受光部 5 2 では、分光器 5 1 で分散された光の強度の例ええばピーク位置を検出して演算部 6 0 に出力する。そして、演算部 6 0 は、受光部 5 2 から出力された位置の情報に基づき、この位置に対応する波長 2 を求め、波長 2 に対応した焦点距離を演算する。ここで、焦点距離と波長とは 1 対 1 の関係にあることから、演算部 6 0 は、波長 2 と焦点距離との関係に基づいて測定対象物の表面の位置（高さ）を求める。

【 0 0 4 3 】

このように、クロマティックコンフォーカル式変位計の測定原理では、測定対象物の表面で合焦する光の波長に基づいて、測定対象物の光軸上の位置（高さ）を検出することができる。

【 0 0 4 4 】

次に、本実施形態に係る厚さ測定装置 1 による厚さの測定原理について説明する。

10

20

30

40

50

図3(a)及び(b)は、ワークWの有無による集光点の変化を説明する模式図である。

図3(a)に表したように、対物レンズ22の下方にワークWが配置されていない場合、ある波長の光は、光軸上の位置Z1に集光する。

【0045】

ここで、図3(b)に表したように、対物レンズ22の下方に厚さtの透明なワークWを配置したとする。この場合、対物レンズ22からワークWを透過する光は、空間からワークWへ入射する際、及びワークWから空間へ出射する際に屈折が発生する。これにより、集光点の位置Z1は、集光点の位置Z1'に変化する。

【0046】

この集光点の位置Z1と集光点の位置Z1'との変化量(ΔZ)は、透明なワークWの屈折率n及び厚さtによって以下の関係式(1)で表される。

$$Z = \{ (n - 1) / n \} \times t \quad \dots (1)$$

【0047】

上記関係式(1)を変形すると、以下の関係式(2)になる。

$$t = \{ n / (n - 1) \} \times Z \quad \dots (2)$$

【0048】

本実施形態に係る厚さ測定装置1は、上記関係式(2)を利用して、透明なワークWの厚さtを測定する。具体的には、演算部60は、光学系20とミラー30との間にワークWが配置されていない場合に受光部52で検出したミラー30の光軸上の位置(第1集束位置)と、ワークWを配置した状態でワークWを透過した光について受光部52で検出したミラー30の光軸上の位置(第2集束位置)との変化量(ΔZ)を求め、変化量(ΔZ)と、ワークWの屈折率nと、を用いて上記関係式からワークWの厚さtを演算する。

【0049】

一般に、極薄い透明なワークWの厚さをクロマティックコンフォーカル式変位計で測定しようとした場合、ワークWの表面での反射光と裏面での反射光とが近すぎるため区別しにくく、精度の高い厚さ測定を行うことは難しい。

【0050】

これに対し、本実施形態に係る厚さ測定装置1では、ワークWの表面や裏面での反射光を検出するのではなく、ワークWの下に配置されたミラー30での反射光を検出する。そして、ワークWがある場合と、ない場合との集光点の変化量ΔZ及び屈折率nに基づき、演算によってワークWの厚さtを得ている。これにより、どんなに薄い透明なワークWであっても、反射光を的確に捉えて厚さtを高い精度で求めることができる。また、共焦点FPに集光した光を検出して分散後の位置を検出するため、複雑な演算を必要とせず短時間で厚さtを測定することができる。

【0051】

次に、厚さ測定方法について説明する。以下の説明では、本実施形態に係る厚さ測定装置1による厚さ測定方法を例とする。

図4は、厚さ測定方法の流れを例示するフローチャートである。

先ず、ステップS101に表したように、測定対象物の屈折率の値を入力する。入力した屈折率の値は、図示しない記憶手段に記憶される。

【0052】

次に、ステップS102に表したように、測定対象物であるワークWを配置しないでミラー30の表面の位置を検出する。すなわち、ミラー30の表面での反射光を光ファイバ40で取り込み、その光におけるピークとなる波長成分に基づき演算部60によってミラー30の表面の光軸上の位置を検出する。この位置を第1集束位置Z10とする。

【0053】

次に、ステップS103に表したように、測定対象物であるワークWを対物レンズ22とミラー30との間に配置する。ここで、ワークW、透明とはいえ微弱な光を反射するので、ミラー30から少し離した位置(例えば、50μm以上離した位置)に配置すること

10

20

30

40

50

が望ましい。これは、ミラー反射光にワーク反射光が影響することを回避するためである。

#### 【0054】

次に、ステップS104に表したように、測定対象物であるワークWを配置した状態で、ミラー30の表面の位置を検出する。すなわち、センサヘッド100からワークWに向けて光を照射する。そして、ワークWを透過してミラー30の表面で反射した光を光ファイバ40取り込み、その光におけるピークとなる波長成分に基づき演算部60によってミラー30の表面の光軸上の位置を検出する。この位置を第2集束位置Z20とする。

#### 【0055】

次に、ステップS105に表したように、測定対象物であるワークWの厚さtを演算する。すなわち、演算部60は、第1集束位置Z10と第2集束位置Z20との変化量Zと、先に記憶手段に記憶したワークWの屈折率nとを用いて、上記関係式(2)からワークWの厚さtを演算する。これにより、ワークWの厚さtを求めることができる。

10

#### 【0056】

図5(a)及び(b)は、厚さ測定方法の具体例を示す模式図である。

なお、図5(a)及び(b)には、説明の便宜上、波長1、2及び3の光が表される。

図5(a)には、対物レンズ22の下方にワークWを配置せず、ミラー30の表面の位置を測定している状態が表される。図4のステップS102に示した処理では、このようにワークWが配置されていない状態でミラー30の表面の位置を検出する。この例では、ミラー30の表面に集光点を有する波長2の光に基づいて、ミラー30の光軸上の位置(第1集束位置Z10)を検出する。

20

#### 【0057】

図5(b)には、対物レンズ22の下方にワークWが配置された状態で、ミラー30の表面の位置を測定している状態が表される。図4のステップS104に示した処理では、このようにワークWを配置した状態でミラー30の表面の位置を検出する。ワークWが配置されると、ワークWの屈折率n及び厚さtに応じて光の屈折が発生し、ワークWが配置されていない場合に比べて焦点位置が遠くなる。

20

#### 【0058】

したがって、ワークWが配置されていない場合にミラー30の表面で集光していた波長2の光は、ミラー30の表面よりも遠い位置で集光する。このため、ワークWが配置された状態では、波長2よりも短い波長1の光がミラー30の表面で集束することになる。

30

#### 【0059】

波長1の光は、共焦点FPから光ファイバ40に入り、コンソール200に伝達される。この波長1の光に基づき、受光部52及び演算部60は、波長1に対応したミラー30の光軸上の位置(第2集束位置Z20)を検出する。ミラー30の表面の位置は、ワークWの有無によって変化しないが、光学的に検出したミラー30の表面の位置である第2集束位置Z20は、第1集束位置Z10とは異なる。

40

#### 【0060】

演算部60は、第1集束位置Z10と第2集束位置Z20との変化量Zを求める。そして、既知であるワークWの屈折率nと変化量Zとにに基づき、ワークWの厚さtを演算によって求める。

#### 【0061】

一例として、ワークWの屈折率nを1.5、変化量Zを3.3μmとすると、ワークWの厚さtは10μmとなる。例えば、測定範囲が1mm、精度が0.3μmのクロマティックコンフォーカル式変位計では、変化量Zとして0.3μm~1mm程度の測定が可能であるため、本実施形態に係る厚さ測定方法では、1μm~3mm程度の広いダイナミックレンジでワークWの厚さを測定することができる。

#### 【0062】

50

本実施形態に係る厚さ測定方法では、ワークWの光軸に沿った位置が変化しても、測定結果に大きな影響を及ぼさない。したがって、ワークWの位置が光軸方向に沿って多少ずれてもワークWの厚さ $t$ を測定することが可能である。

#### 【0063】

また、本実施形態に係る厚さ測定方法では、対物レンズ22によって集束する光のワークW上でのスポット径によって厚さ $t$ の測定領域が決定される。したがって、測定領域を広くしたい場合には、ワークWを対物レンズ22に近づけ、測定領域を狭くしたい場合には、ワークWを対物レンズ22から離すようにすればよい。測定領域が広がるほど、平均的な厚さ $t$ を測定することができ、測定領域が狭くなるほどピンポイントでの厚さ $t$ を測定することができる。

10

#### 【0064】

また、光源10として近赤外光を含む広帯域光源を用いれば、この波長域で透過率の高いSi(シリコン)ウェハ等を透明体とみなし、前記と同様な手法でこの厚さを測定することができる。

#### 【0065】

##### 〔第1の適用例〕

次に、本実施形態に係る厚さ測定装置1及び厚さ測定方法の第1の適用例について説明する。

図6は、第1の適用例を示す模式図である。第1の適用例は、ロール状の透明フィルムFを搬送しながら厚さを測定する例である。ロール状に巻かれた透明フィルムFは、巻きとり側のローラRに巻き取られながら搬送される。本実施形態に係る厚さ測定装置1のセンサヘッド100は、透明フィルムFの搬送経路上に配置される。図6に示した例では、透明フィルムFの搬送方向と直交する方向(幅方向)に複数(図6では3つ)のセンサヘッド100が配置される。また、透明フィルムFのセンサヘッド100とは反対側にはミラー30が配置される。

20

#### 【0066】

透明フィルムFの厚さを測定するには、予め透明フィルムFが無い状態でミラー30の表面の位置(第1集束位置)を検出しておく。その後、透明フィルムFを搬送しながら透明フィルムFを透過した光のミラー30での反射光を取り込み、ミラー30の表面の位置(第2集束位置)を検出する。演算部60は、第1集束位置と第2集束位置との変化量 $Z$ と、透明フィルムFの屈折率とから、透明フィルムFの厚さを演算する。

30

#### 【0067】

本実施形態に係る厚さ測定装置1及び厚さ測定方法では、透明フィルムFの光軸に沿った位置が変化しても、測定結果に大きな影響を及ぼさない。したがって、図6に表したように、透明フィルムFを搬送する際に上下に多少の振動が発生しても、透明フィルムFの厚さを安定して測定することができる。これにより、例えば、透明フィルムFの製造工程においてインラインで厚さを検査することが可能になる。

#### 【0068】

##### 〔第2の適用例〕

次に、本実施形態に係る厚さ測定装置1及び厚さ測定方法の第2の適用例について説明する。

40

図7は、第2の適用例を示す模式図である。第2の適用例は、画像測定装置500に厚さ測定装置1及び厚さ測定方法を適用した例である。

#### 【0069】

画像測定装置500は、装置本体510と、コンピュータシステム520と、を備える。装置本体510は、架台511、ステージ512、X軸ガイド514及び撮像ユニット515を含む。架台511は、例えば除振台53の上に配置され、外部の震動が架台511の上のステージ512や撮像ユニット515へ伝わることを抑制している。

#### 【0070】

ステージ512は、架台511の上に配置される。ステージ512は、測定対象物であ

50

るワークWを載置する台である。ステージ512は、図示しないY軸駆動機構により架台511に対してY軸方向(Y軸に沿った方向)に移動可能に設けられる。

#### 【0071】

架台511の両側部には支持部513a及び513bが設けられる。支持部513a及び513bのそれぞれは架台511の側部から上方に延びるよう設けられる。X軸ガイド514はこの支持部513a及び513bの上に、これらを跨ぐように設けられる。X軸ガイド514には撮像ユニット515が取り付けられる。撮像ユニット515は、図示しないX軸駆動機構によりX軸ガイド514に沿いX軸方向(X軸に沿った方向)に移動可能に設けられる。

#### 【0072】

撮像ユニット515は、図示しないZ軸駆動機構によってZ軸方向(Z軸に沿った方向)に移動可能に設けられる。このような構成により、ステージ512上のワークWと、撮像ユニット515とのX軸、Y軸及びZ軸のそれぞれに沿った相対的な位置関係が設定可能になる。すなわち、この位置関係を調整することで、撮像ユニット515による撮像領域をワークWの測定領域に合わせることができる。

#### 【0073】

コンピュータシステム520は、コンピュータ本体201、キーボード202、ジョイスティック203、マウス204及びディスプレイ205を備える。コンピュータ本体201は、装置本体510の動作等を制御する。コンピュータ本体201は、制御ボード等の回路(ハードウェア)及びCPUで実行されるプログラム(ソフトウェア)によって装置本体510の動作を制御する。また、コンピュータ本体201は、装置本体510から出力される信号に基づきワークWの情報を演算し、演算結果をディスプレイ205に表示する。

#### 【0074】

ジョイスティック203は、ワークWの撮像領域を設定する際に用いられる。すなわち、ユーザがジョイスティック203を操作することで、ワークWと撮像ユニット515との相対的な位置関係が変化して、ディスプレイ205に表示される撮像領域の位置を調整することができる。

#### 【0075】

本実施形態に係る厚さ測定装置1のセンサヘッド100は、撮像ユニット515の下方に設けられる。ステージ512のセンサヘッド100の下方にはミラー30が設けられる。ミラー30は、ステージ512の一部に設けられる。なお、ステージ512の全てがミラー30になっていてもよい。この場合、ミラー30は、平面ミラーにすることが望ましい。

#### 【0076】

このように、画像測定装置500に適用された厚さ測定装置1では、ミラー30の上にワークWが接するように配置される。ワークWの厚さの測定方法は、第1実施形態と同様である。画像測定装置500では、ワークWの画像を取り込んでワークWの3次元的な位置を測定できるとともに、センサヘッド100からワークWに向けて光を照射することで、ステージ512に設けられたミラー30で反射した反射光を捉えてワークWの厚さを測定することもできる。

#### 【0077】

ここで、ミラー30の上にワークWが接することで(ワークWとミラー30とを離間しないことで)、ワークWの裏面反射光や表面反射光も受光されることになる。しかし、ミラー30の光反射率は90%程度で、透明なワークWの光反射率が数%程度であれば、ワークWの反射光はミラー30の反射光にほとんど影響を及ぼさない。なお、影響を完全に無くしたい場合には、ワークWをステージ512の表面から浮かすためのスペーサ等を配置すればよい。

#### 【0078】

以上説明したように、本実施形態によれば、測定対象物の厚さを広いダイナミックレン

10

20

30

40

50

ジで高速かつ高精度に検出することができ、かつ、測定スポットの大きさを自由に変えることができる非接触式の厚さ測定装置1及び厚さ測定方法を提供することが可能になる。

#### 【0079】

なお、上記に本実施形態を説明したが、本発明はこれらの例に限定されるものではない。例えば、光源10から単一波長の光を照射し、対物レンズ22を音叉などで光軸方向に振動させることで焦点位置を変化させるレーザ共焦点式変位計や、合焦点式変位計など、光の焦点位置によって対象物の位置（高さ）を測定する変位計にも本発明の構成を適用することができる。また、センサヘッド100とコンソール200との間に光ファイバ40を設けた例を説明したが、光ファイバ40を介さずに光を伝達する構成であってもよい。また、前述の実施形態に対して、当業者が適宜、構成要素の追加、削除、設計変更を行ったものや、実施形態の特徴を適宜組み合わせたものも、本発明の要旨を備えている限り、本発明の範囲に含有される。

10

20

30

#### 【符号の説明】

#### 【0080】

1 … 測定装置

10 … 光源

20 … 光学系

21 … コリメートレンズ

22 … 対物レンズ

30 … ミラー

40 … 光ファイバ

41 … ファイバカプラ

50 … 検出部

51 … 分光器

52 … 受光部

60 … 演算部

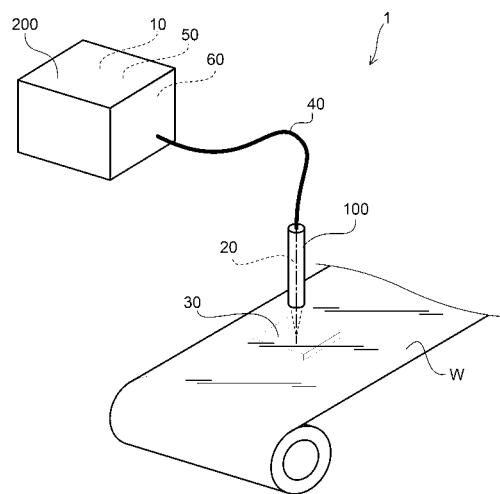
100 … センサヘッド

200 … コンソール

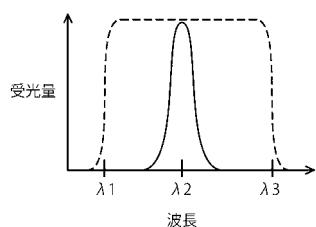
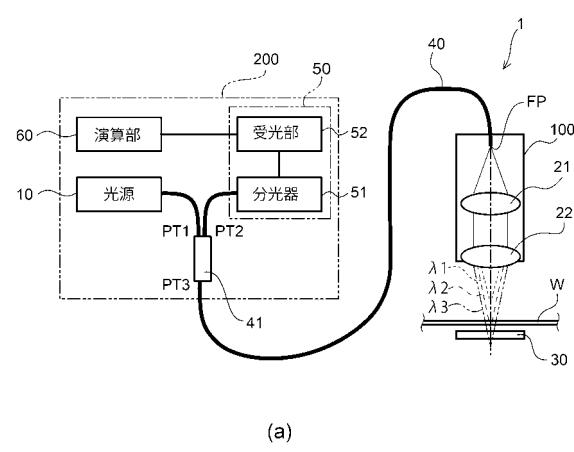
F P … 共焦点

W … ワーク

【図1】

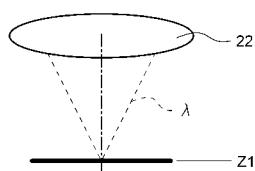


【図2】



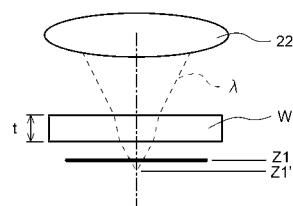
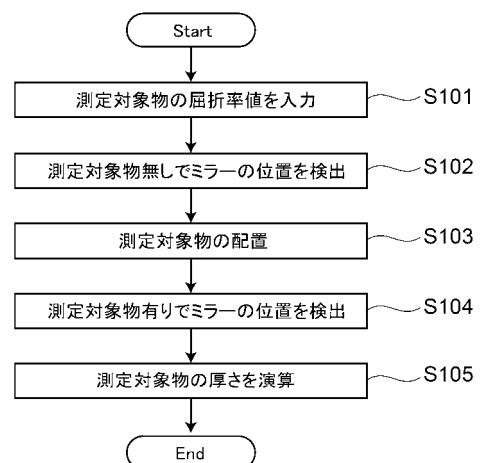
(b)

【図3】



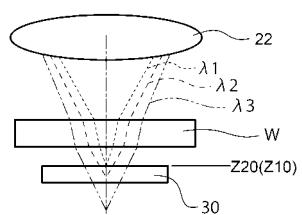
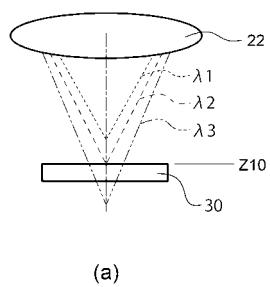
(a)

【図4】



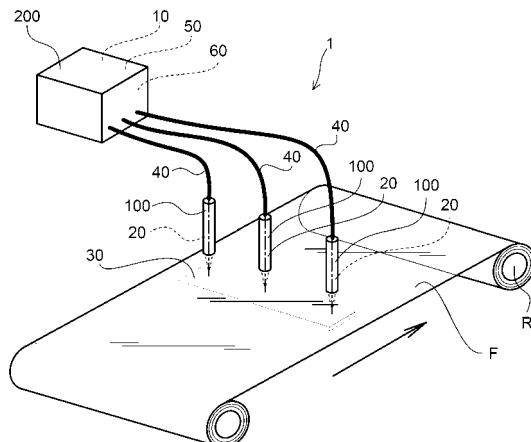
(b)

【図5】



(b)

【図6】



【図7】

