

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5149486号  
(P5149486)

(45) 発行日 平成25年2月20日(2013.2.20)

(24) 登録日 平成24年12月7日(2012.12.7)

(51) Int.Cl. F I  
**GO 1 B 9/02 (2006.01)** GO 1 B 9/02  
**GO 1 B 11/24 (2006.01)** GO 1 B 11/24 D

請求項の数 14 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2006-29167 (P2006-29167)	(73) 特許権者	000137694
(22) 出願日	平成18年2月7日(2006.2.7)		株式会社ミットヨ
(65) 公開番号	特開2006-349657 (P2006-349657A)		神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(43) 公開日	平成18年12月28日(2006.12.28)	(74) 代理人	100092820
審査請求日	平成21年1月7日(2009.1.7)		弁理士 伊丹 勝
(31) 優先権主張番号	特願2005-145035 (P2005-145035)	(72) 発明者	川▲崎▼ 和彦
(32) 優先日	平成17年5月18日(2005.5.18)		茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	鈴木 義将
			茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 干渉計、形状測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

出射する光の波長を変更可能に構成された波長可変光源と、  
 該波長可変光源からの光を測定対象物に照射する測定光と参照面に照射する参照光とに分割すると共に、前記参照面で反射した前記参照光と前記測定対象物で反射した前記測定光を合成して合成光とする光分割合成部材と、  
 前記合成光により形成される干渉縞画像を所定の露光時間で撮像する撮像部と、  
 前記波長可変光源を制御して、出射する光の波長を前記所定の露光時間内で所定の波長範囲内で変化させる制御部と、  
 前記波長の所定の波長範囲内での変化により積分された前記干渉縞画像を解析して前記測定対象物の形状を算出する形状算出部とを備え、  
 前記制御部は、前記測定対象物の位置の粗調整時に比べ、前記測定対象物の位置の微調整時及び測定時において前記波長の変化の範囲を大きく設定し、  
 前記波長可変光源は、照射する光の中心波長を周期関数状に変化させて、前記周期関数の一部の時間帯において、前記撮像素子で選択的に積分受光し、  
 前記周期関数の一部の時間帯は、前記周期関数上の変化量が最大の時間帯であることを特徴とする干渉計。

【請求項2】

前記制御部は、設定すべき測定対象物の位置によって生じる参照光と測定光の光路長差に基づいて、前記所定の露光時間内における波長の変化の範囲を決定する請求項1記載の

10

20

干渉計。

【請求項 3】

前記合成光を複数の分割光に分割する光分割部材と、

前記複数の分割光の各々の間に所定の位相差を与える複数の位相シフト光学部材とを備え、

前記撮像部は、位相シフトさせられた前記複数の分割光の各々により形成される複数の干渉縞画像を撮像するよう構成された

ことを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 4】

前記光分割合成部材は、前記波長可変光源から入射する光を、互いに直交する直線偏光である測定光と参照光とに分割するものであり、

前記位相シフト光学部材は、

前記合成光における互いに直交する直線偏光を、左回り円偏光、右回り円偏光に変換する  $1/4$  波長板と、

前記光分割部材により分割された分割光の光路に挿入された偏光軸が互いに異なる複数の偏光板と

を備えたことを特徴とする請求項 3 記載の干渉計。

【請求項 5】

前記光分割合成部材は、前記波長可変光源から入射する光を、互いに直交する直線偏光である測定光と参照光とに分割するものであり、

前記位相シフト光学部材は、

前記光分割部材により分割された第 1 の分割光の光路に挿入され第 1 の偏光軸を有する第 1 偏光板と、

前記光分割部材により分割された第 2 の分割光の光路に挿入され前記第 1 の偏光軸と同一の第 2 の偏光軸を有する第 2 偏光板と、

前記光分割部材により分割された第 3 の分割光の光路に挿入され前記第 1 の偏光軸とは  $90^\circ$  異なる第 3 の偏光軸を有する第 3 の偏光板と、

前記第 2 の分割光の光路に挿入され前記合成光の偏光方向と進相軸方向及び遅軸方位が略一致した  $1/4$  波長板と

を備えたことを特徴とする請求項 3 記載の干渉計。

【請求項 6】

前記周期関数は正弦波関数とすることを特徴とする請求項 1 記載の干渉計。

【請求項 7】

前記形状算出部は、前記干渉縞画像からフーリエ変換法などの干渉縞解析手法により形状を算出することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項記載の干渉計。

【請求項 8】

前記形状算出部は、前記参照面または前記測定対象物を移動させるかまたは、前記参照光または前記測定光の光路上に位相遅延を生じさせる光学媒体を配置して、前記参照光と前記測定光との間に相対的な位相差を与え、位相シフト法により形状を算出することを特徴とする請求項 1、2、6 のいずれか 1 項記載の干渉計。

【請求項 9】

前記形状算出部は、前記周期関数の一部の時間帯において前記撮像素子で選択的に積分受光する際に異なる波長範囲にて選択的に積分受光して、複数の位相シフトされた干渉縞を撮像して、形状を算出することを特徴とする請求項 1 又は 6 記載の干渉計。

【請求項 10】

波長を変化させながら光を照射する工程と、

前記光を測定対象物に照射する測定光と参照面に照射する参照光とに分割する工程と、

前記参照面で反射した前記参照光と前記測定対象物で反射した前記測定光を合成して合成光とする工程と、

前記合成光により形成される干渉縞画像を所定の露光時間で撮像する工程と、

10

20

30

40

50

前記波長可変光源を制御して、出射する光の波長を前記所定の露光時間内で所定の波長範囲内で変化させる工程と、

前記波長の所定の波長範囲内での変化により積分された前記干渉縞画像を解析して前記測定対象物の形状を算出する工程とを備え、

前記測定対象物の位置の粗調整時に比べ、前記測定対象物の位置の微調整時及び測定時において前記波長の変化の範囲を大きく設定し、

前記波長を変化させながら照射された光は、該光の中心波長を周期関数状に変化させて、前記周期関数の一部の時間帯において、前記撮像素子で選択的に積分受光し、前記周期関数の一部の時間帯は、前記周期関数上の変化量が最大の時間帯である

ことを特徴とする形状測定方法。

10

#### 【請求項 1 1】

設定すべき測定対象物の位置によって生じる参照光と測定光の光路長差に基づいて、前記所定の露光時間内における波長の変化の範囲を決定することを特徴とする請求項 1 0 記載の形状測定方法。

#### 【請求項 1 2】

前記合成光を複数の分割光に分割する工程と、

前記複数の分割光の各々の間に所定の位相差を与える工程とを備え、

前記所定の露光時間で撮像する工程は、位相差を与えられた前記複数の分割光の各々により形成される複数の干渉縞画像を撮像する

20

ことを特徴とする請求項 1 0 記載の形状測定方法。

#### 【請求項 1 3】

前記周期関数は正弦波関数とすることを特徴とする請求項 1 0 記載の形状測定方法。

#### 【請求項 1 4】

前記形状算出部は、前記周期関数の一部の時間帯において前記撮像素子で選択的に積分受光する際に異なる波長範囲にて選択的に積分受光して、複数の位相シフトされた干渉縞を撮像して、形状を算出することを特徴とする請求項 1 0 又は 1 3 記載の形状測定方法。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0 0 0 1】

30

本発明は、干渉縞を用いて測定対象物の形状を測定する干渉計及びその干渉計を用いた形状測定方法に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0 0 0 2】

平面度を測定する干渉計には、一般に He - Ne レーザなどの可干渉性の高い光源が使用される。ところが、平行なガラス基板を測定する場合、測定したい表面（被検面）からの反射光と、不要な裏面からの反射光が互いに干渉し、これが干渉ノイズとなる。可干渉性の低い光源を使用して、表面 / 裏面間を往復する光の光路長  $d$  よりも可干渉距離  $L$  を十分短く設定することにより、裏面からの反射による干渉ノイズを防ぐことができる（特許文献 1 参照）。

40

#### 【0 0 0 3】

一方で、可干渉距離  $L$  をあまりに短く設定すると、測定光の光路長と参照光の光路長の差（光路長差）を可干渉距離  $L$  以下にしなければ測定を行うことができず、従って凹凸の大きい被検面の測定が困難になると共に、測定対象物の設定の際にも、熟練した作業者による厳密な作業が必要となる。

【特許文献 1】特開 2 0 0 1 - 9 1 2 2 3 号公報

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0 0 0 4】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、干渉ノイズを回避しつつ、かつ測定対

50

象物の配置調整が容易となる干渉計及びその干渉計を用いた形状測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係る干渉計は、出射する光の波長を変更可能に構成された波長可変光源と、該波長可変光源からの光を測定対象物に照射する測定光と参照面に照射する参照光とに分割すると共に、前記参照面で反射した前記参照光と前記測定対象物で反射した前記測定光を合成して合成光とする光分割合成部材と、前記合成光により形成される干渉縞画像を所定の露光時間で撮像する撮像部と、前記波長可変光源を制御して、出射する光の波長を前記所定の露光時間内で所定の波長範囲内で変化させる制御部と、前記波長の所定の波長範囲内での変化により積分された前記干渉縞画像を解析して前記測定対象物の形状を算出する形状算出部とを備え、前記制御部は、前記測定対象物の位置の粗調整時に比べ、前記測定対象物の位置の微調整時及び測定時において前記波長の変化の範囲を大きく設定し、前記波長可変光源は、照射する光の中心波長を周期関数状に変化させて、前記周期関数の一部の時間帯において、前記撮像素子で選択的に積分受光し、前記周期関数の一部の時間帯は、前記周期関数上の変化量が最大の時間帯であることを特徴とする。

10

【0006】

また、本発明に係る形状測定方法は、波長を変化させながら光を照射する工程と、前記光を測定対象物に照射する測定光と参照面に照射する参照光とに分割する工程と、前記参照面で反射した前記参照光と前記測定対象物で反射した前記測定光を合成して合成光とする工程と、前記合成光により形成される干渉縞画像を所定の露光時間で撮像する工程と、前記波長可変光源を制御して、出射する光の波長を前記所定の露光時間内で所定の波長範囲内で変化させる工程と、前記波長の所定の波長範囲内での変化により積分された前記干渉縞画像を解析して前記測定対象物の形状を算出する工程とを備え、前記測定対象物の位置の粗調整時に比べ、前記測定対象物の位置の微調整時及び測定時において前記波長の変化の範囲を大きく設定し、前記波長を変化させながら照射された光は、該光の中心波長を周期関数状に変化させて、前記周期関数の一部の時間帯において、前記撮像素子で選択的に積分受光し、前記周期関数の一部の時間帯は、前記周期関数上の変化量が最大の時間帯であることを特徴とする。

20

30

【発明の効果】

【0007】

この発明によれば、干渉ノイズを回避しつつ、かつ測定対象物の配置調整が容易となる干渉計及びその干渉計を用いた形状測定方法を提供することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

次に、本発明の実施形態を、図面を参照して詳細に説明する。

【0009】

〔第1実施形態〕 図1は、本発明の第1実施形態に係る干渉計の概略構成図である。図1中に示す干渉計200は、波長可変光源201、集光レンズ202、ピンホール203、コリメータレンズ204、ビームスプリッタ205、参照ミラー206、レンズ208及びCCDカメラ209を備えている。ここでの測定対象Wは、表面を被検面とする透過性の物体であり、裏面で測定光の反射を生じさせる厚さtを有する物体である。

40

【0010】

波長可変光源201は、単一縦モードのレーザ光を発するように調整されたレーザ光源であり、その中心波長 $\lambda_0$ が制御部300からの制御信号により波長走査幅 $\Delta\lambda = \lambda_0 \pm \Delta\lambda / 2$ に亘って変化するように制御されるものである。制御部300は、測定対象物Wの厚さtや、参照光と測定光の光路長差等によって決めるべき可干渉距離Lに従い、波

50

長可変光源 201 が発する光の中心波長  $\lambda_0$  を制御する。

【0011】

この波長可変光源 201 からの光は、レンズ 202 で集光されてピンホール 203 に投影される。ピンホール 203 で形成された点光源からの光は、コリメータレンズ 204 により平行光とされてビームスプリッタ 205 に入射される。ビームスプリッタ 205 に入射した平行光は一部が参照ミラー 206 の方向に反射されて参照光となり、他は透過して測定対象物 W に向かう測定光となる。

【0012】

参照ミラー 206 で反射した参照光と、測定対象物 W の表面（被検面）で反射した測定光とは、それぞれビームスプリッタ 205 で反射又は透過して合成され、その合成光はレンズ 208 により集光される。この後この合成光による干渉縞画像が CCD 209 の撮像面に形成され、干渉縞画像が撮像される。

10

【0013】

CCDカメラ 209 は、その露光時間  $T_e$  を、測長可変光源 201 により波長  $\lambda$  が波長走査幅  $\Delta\lambda$  だけ変化する時間  $T_c$  よりも長い時間となるよう、制御部 300 により制御される。例えば、波長可変光源 201 の波長を走査して積分露光するときの合成の強度分布が正規分布だった場合には、可干渉距離  $L$  は、波長走査幅  $\Delta\lambda$  によって、概略次のように決定される。

【0014】

【数 1】

20

$$\Delta L = \lambda^2 / (2 \cdot \Delta\lambda)$$

波長走査幅  $\Delta\lambda$  の大きさを制御することにより、可干渉距離  $L$  を任意の大きさに設定することができる。すなわち、測定対象物 W の位置の粗調整の際には可干渉距離  $L$  を大きくして位置調整を容易にすることができる。また、位置の粗調整完了後には、測定対象物 W の例えば厚さ等に応じて可干渉距離  $L$  を小さく設定して微調整を行い、その測定を行うことができるので、測定対象物 W の裏面反射に基づく干渉ノイズを除去した高精度な計測が可能となる。制御部 300 は、必要な可干渉距離  $L$  に応じて、波長走査幅  $\Delta\lambda$  を決定して波長可変光源 201 を制御する。なお、波長可変光源 201 を波長走査し積分露光する際の合成の強度分布が正規分布とみなせない場合には、可干渉距離  $L$  は、上記 [数 1] でなく、より複雑な関数により表せるが、この場合も、その関数に従って可干渉距離  $L$  を演算すればよい。

30

【0015】

次に、波長走査を行うことにより、干渉ノイズを除去した測定対象物 W の計測の原理を以下に説明する。まず、光路長を図 1 に示すように定義する。すなわち、参照光の光路長（ビームスプリッタ 205 で反射し参照ミラー 206 で反射してビームスプリッタ 205 に戻るまでの光路の長さ）を  $l_1$  と定義する。また、測定光の光路長（ビームスプリッタ 205 を通過し測定対象物 W の被検面で反射してビームスプリッタ 205 に再び戻るまでの光路の長さ）を  $l_2$  と定義する。さらに、ノイズ光の光路長（ビームスプリッタ 205 を通過し測定対象物 W の裏面で反射してビームスプリッタ 205 に再び戻るまでの光路の長さ）を  $l_3$  と定義する。

40

【0016】

この場合、参照光、測定光、及びノイズ光の合成光の干渉強度は、次の式で表される。なお、参照光、測定光及びノイズ光を複素振幅で表した場合の振幅を 1 とし、簡略化して示している。また、干渉縞画像は 2 次元の光強度分布を有するが、次の式ではある 1 点の光強度を 1 次元で簡略化して示している。

【0017】

【数2】

$$I = \operatorname{Re} \left\{ \left[ \exp(ikl_1) + \exp(ikl_2) + \exp(ikl_3) \right] \cdot \left[ \exp(ikl_1) + \exp(ikl_2) + \exp(ikl_3) \right]^* \right\}$$

$$= \operatorname{Re} \left\{ 3 + 2 \exp\{ik(l_2 - l_1)\} + 2 \exp\{ik(l_3 - l_2)\} + 2 \exp\{ik(l_3 - l_1)\} \right\}$$

ここで、 $k$  は波数 ( $= 2\pi / \lambda$ ) である。

【0018】

$l_2$  と  $l_1$  の差、 $l_3$  と  $l_1$  の差をそれぞれ  $l_{21}$ 、 $l_{31}$  とすると、[数2] は次式のように表現することができる。

【0019】

【数3】

$$I = 3 + 2 \cos(k\Delta l_{21}) + 2 \cos\{k(\Delta l_{31} - \Delta l_{21})\} + 2 \cos(k\Delta l_{31})$$

$$= 3 + 2 \cos(k\Delta l_{21}) + 2 \cos(k\Delta l_{31}) + 2 \cos(k\Delta l_{21}) \cos(k\Delta l_{31}) + 2 \sin(k\Delta l_{21}) \sin(k\Delta l_{31})$$

CCDカメラ209の露光時間 $T_e$ に波長 $\lambda$ を波長走査幅 $\Delta\lambda$ に亘って変化させた場合に、各波長により発生する干渉縞画像の積分強度としての干渉強度 $I_{int}$ が得られる。干渉強度 $I_{int}$ は、次の式で表される。

【0020】

【数4】

$$I_{int} = \int I dk$$

$$= \int \left[ 3 + 2 \cos(k\Delta l_{21}) + 2 \cos(k\Delta l_{31}) + 2 \cos(k\Delta l_{21}) \cos(k\Delta l_{31}) + 2 \sin(k\Delta l_{21}) \sin(k\Delta l_{31}) \right] dk$$

ここで、参照光の光路長 $l_1$ と測定光の光路長 $l_2$ が略等しくなるように測定対象物Wの位置調整がなされていると考える。この場合、[数4]の各項のうち、第2項のように $l_{21}$ のみを含む項は、波長に関係なく略一定の強度となり、測定対象物Wの形状によって変化する強度となる。

【0021】

一方、第3項のように $l_{31}$ のみを含む項は、波長が走査されることで強度が変動するが、積分されると平均強度となり、 $l_{31}$ とは無関係の強度となる。従ってこの第3項は、干渉強度 $I_{int}$ において、バイアスを表す項となる。第1項の定数項も、バイアスを表す項となる。第4項、第5項は、測定対象物Wの形状に応じて変化する強度にバイアス成分が積算された強度となる。従って、[数4]は、次式のように簡略化して表現することができる。

【0022】

【数5】

$$I_{int} \approx B + A \cos(k\Delta l_{21})$$

ただし、 $B$  はバイアス、 $A$  は振幅を表している。

【0023】

従って、波長走査幅 $\Delta\lambda$ に亘って波長走査を行って積分された干渉縞画像を得ることにより、裏面反射の影響を除いた干渉縞計測を行うことが可能となる。

【0024】

次に、この実施形態の干渉計200における測定対象物Wの位置調整の方法を、図2の

10

20

30

40

50

フローチャートを参照して説明する。

【 0 0 2 5 】

測定対象物 W を図示しない載置部に設置した後 ( S 1 )、波長可変光源 2 0 1 の出射光の波長 の走査幅を 1 に設定し、波長走査を行う ( S 2 )。この 1 は、上記 [ 数 1 ] に基づき、可干渉距離 L が測定対象物 W の粗調整が可能な距離 L 1 ( 図 3 参照 ) に設定される。ユーザは、干渉縞が観測できるような位置に測定対象物 W を移動させることにより、測定対象物 W の位置の粗調整を行う ( S 3 )。

【 0 0 2 6 】

粗調整が完了した後、波長可変光源 2 0 1 の出射光 の走査幅を、 1 よりも大きい 2 に設定し、波長走査を行う ( S 4 )。 2 は、可干渉距離 L が、測定対象物 W の屈折率を n、厚さを t として、  $L 2 < 2 n t$  となるような短い可干渉距離 L 2 ( 図 3 参照 ) に設定される。ユーザは、干渉縞が観測できるような位置に測定対象物 W を移動させることにより、測定対象物 W の位置の微調整を行う ( S 5 )。

10

【 0 0 2 7 】

微調整が完了すると、その位置では測定対象物 W の裏面反射による不要な干渉を抑制した干渉縞画像が観察可能となり、正確な干渉縞計測が可能となる ( S 6 )。このようにして、波長 の走査幅を変更して可干渉距離 L 1、 L 2 と段階的に短くしながら測定対象物 W の位置調整を行うことにより、初めから短い可干渉距離で位置調整を行う場合に比べて簡単に位置調整を完了し、裏面反射のノイズを抑えた干渉縞測定を行うことが可能となる。なお、ここでは可干渉距離 L を 2 段階に変化させる例を説明したが、これに限らず例えば 3 段階以上に L を変化させるのでも構わない。

20

【 0 0 2 8 】

次に、図 4 及び図 5 を参照して、上述した波長走査幅 で走査した光による干渉縞測定時の積分受光方法及びその例について説明する。

【 0 0 2 9 】

まず、上述したように波長可変光源の発振波長 ( t ) を周期的に変調させる。例えば、図 4 に示すように正弦波状に変調した場合、発振波長 ( t ) は時間 t の関数として以下の式で表される。

【 0 0 3 0 】

【 数 6 】

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2} \cos(2\pi\omega \cdot t)$$

30

ここで、 ( 波長  $\lambda_0$  を中心として  $\pm \Delta\lambda / 2$  の波長走査を行う ) は波長走査幅で、  $\omega$  は光源の波長の変調周波数 ( 波長 の変化周期 T の逆数 ) を表す。以下に詳細を説明する。発振波長 ( t ) が周期的に変化するので、粗調整を行う場合には、波長走査幅を小さくするか、あるいは、波長の変化が小さくなるようなタイミングにおいて積分受光させる。一方、微調整を行う場合には、波長走査幅 を大きくするか、あるいは、波長の変化が大きくなるようなタイミングにおいて積分受光させることにより、それぞれの調整モードの可干渉距離に適した波長走査幅の光を選択的に受光させることができる。

40

【 0 0 3 1 】

所定の受光時間 t で変調された光を積分受光した受光波長変化幅 は、たとえば、波長が単調増加または減少するような区間であった場合には、以下の [ 数 7 ] で表される。

【 0 0 3 2 】

【数 7】

$$\Delta\Lambda = \lambda(t + \Delta t) - \lambda(t) = \frac{\Delta\lambda}{2} \cos\{2\pi\omega(t + \Delta t)\} - \frac{\Delta\lambda}{2} \cos(2\pi\omega \cdot t)$$

つまり、波長可変光源 201 は、[数 6] に示される波長変調幅 の光を照射し、C D カメラ 209 は、[数 7] に示される受光波長変化幅 により干渉縞画像を取得する。

【0033】

10

そして、 $t = 1/\omega$  の場合、[数 7] に示される は、近似的に微小時間変化における受光波長変化幅 ' として [数 8] で表される。

【0034】

【数 8】

$$\Delta\Lambda' \approx \frac{\Delta\lambda}{2} \left[ \frac{d\lambda}{dt} \right] \Delta t = -\frac{\Delta\lambda}{2} 2\pi\omega \sin(2\pi\omega t) \cdot \Delta t$$

積分受光するタイミング  $t$  を以下の [数 9] で示した時間の付近、すなわち、 $(t) = 0$  となるような時間  $t$  付近に設定する場合、[数 8] は、さらに [数 10] に簡素化される。

20

【0035】

【数 9】

$$t = \frac{1}{4\omega} \cdot n \quad n = 1, 2, \dots$$

【0036】

【数 10】

30

$$\Delta\Lambda' \approx |-\Delta\lambda\pi\omega\Delta t|$$

ここで、以下に示す [数 11] のように、仮に受光時間、つまり C C D カメラ 209 のシャッター時間を  $t$  として、その  $t$  が変調周期  $T$  の  $1/m$  とすれば、微小時間変化における受光波長変化幅 ' は以下に示す [数 12] となる。

【0037】

【数 11】

40

$$\Delta t = \frac{T}{m} = \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{\omega}$$

【0038】

【数 12】

$$\Delta\Lambda' \approx \frac{\Delta\lambda\pi}{m}$$

50



すなわち、変調周期  $T$  の時間をかけて CCD カメラ 209 により積分受光させれば、図 4 の (ア) に示すように、その受光波長変化幅は  $\Delta\lambda_1 = \lambda_0 / m$  となり、波長変化幅全体の波長の光を積分受光することとなる。また、波長  $\lambda_0$  を中心として、 $T/m$  の時間を要するタイミングで積分受光させれば、図 4 の (イ) に示すように、その受光波長変化幅は  $\Delta\lambda_2 = \lambda_0 / m$  となる。つまり、所定のタイミングに合わせて、特定波長領域の光を選択的に積分受光させることにより、可干渉距離に応じた粗調整モードと微調整モードに対応する波長変化幅を有する光を積分受光することができる。

【0039】

一方、発振波長の変調を、図 4 のように時間  $t$  に対して正弦関数的に変調させるのではなく、図 5 のように時間  $t$  に対して線形的に変化する関数、例えば鋸歯状の関数にすることも可能である。この場合、受光時間  $t$  を周期  $T$  の  $1/m$  倍にすれば、図 5 の (イ) に示すように、受光波長変化幅  $\Delta\lambda_2$  も周期  $T$  で積分受光した受光波長変化幅  $\Delta\lambda_1$  (図 5 の (ア)) と比較して、その波長領域を  $1/m$  倍に短くすることができる。

10

【0040】

ここで、図 4 のように正弦関数的に発振波長を変調させた場合と、図 5 のような線形的に発振波長を変調させた場合とを同じ受光時間で比較すると、正弦関数的に発振波長を変調させた場合にあって波長  $\lambda_0$  を中心として積分受光すれば、波長を線形的に変調したときに比べて、 $m$  倍だけ広い波長区間で積分受光が可能となる。つまり、可干渉距離を短くしたいにもかかわらず、積分受光時間  $t$  に対して十分に短い周期  $T$  で、光源の波長を変調できない場合において、極めて有効な方法となる。

20

【0041】

以上、発振波長を周期的に変調し、一周期中の一部の区間のみで選択的に積分受光することにより、短時間で所望とする波長領域の光を積分受光することができるので、可干渉距離に応じた波長領域の光を選択的に受光することができる。さらには、単位時間あたりの波長変化量が最大となるタイミング (正弦波状に変調した場合にあっては、中心  $\lambda_0$ ) にあわせ、選択的に積分受光することで、より効率的に積分受光することができる。また、短時間で積分受光可能であるので、振動条件下においても撮像される干渉縞がぼやけることなく、干渉ノイズの発生しない鮮明な干渉縞を得ることが可能になる。

【0042】

また、本手法は、高い周波数で変調可能な光源を使用すれば、干渉縞の撮像時により高速なシャッターを用いることができる。一方で、機械的な駆動機構を利用して波長変調を行う回折光フィードバックによる外部共振器型の半導体レーザーの場合、変調周波数を高くすることは困難である。光源として、このようなレーザー光を使用する場合、変調周期に対し短い時間で効果的に積分受光できる本手法は、極めて有効な手段となる。

30

【0043】

[第2実施形態] 次に、本発明の第2実施形態に係る干渉計を、図6を参照して説明する。図6において、第1実施形態と共通する構成部材については同一又は対応する符号を付し、以下ではその詳細な説明は省略する。この実施形態の干渉計は、光学的に異なる位相差の干渉縞を同時に取得して位相シフト法を実行する干渉計である点で、第1実施形態と異なっている。

40

【0044】

波長可変光源 201 から出射された出射光は、偏光ビームスプリッタ 205' により、直交する直線偏光である測定光と参照光とに分割される。測定光と参照光はそれぞれ、 $1/4$  波長板 210、 $1/4$  波長板 211 により直線偏光から円偏光に変換された後、測定対象物 W 及び参照面 206 で反射する。反射した測定光と参照光とは、それぞれ  $1/4$  波長板 210、211 により、入射時とは  $90$  度振動方向が異なる互いに直交する直線偏光に変換された後、偏光ビームスプリッタ 205' により合成される。合成された合成光は、 $1/4$  波長板 212 により、左回り円偏光、右回り円偏光の合成光に変換される。

【0045】

またこの干渉計は、ビームスプリッタ 213A、213B 及び反射プリズム 213C か

50

らなる光分割部材とを備えている。この光分割部材により分割された3つの分割光は、それぞれ3つの偏光板214A-Cを介して、3つのCCDカメラ209A-Cにそれぞれ投影される。

【0046】

偏光板214A-Cは、図7に示すように透過軸方向 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ と $45$ 度ずつ異なっており、これらを透過した3つの分割光の位相を $90$ 度ずつ異ならせる( $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ )ようにするものである。前記3つの分割光による干渉縞の各対応点同士でバイアス、振幅が等しければ、次のような演算手段により、測定対象物の形状を測定することができる。すなわち、3つの分割光による干渉縞画像の画像信号の差を求め、その余弦信号S、正弦信号Cを得る。そして、S/Cの逆正接 $\arctan(S/C)$ を計算する。これにより、参照光と測定光の位相差が特定され、これにより測定対象物の形状を測定することができる。この実施形態の干渉計によれば、参照面206の変位などの可動部分を設けなくとも位相シフトされた複数の干渉縞を瞬時に撮像することができるため、第1実施形態に比べ一層高精度な測定を実行することが可能となる。

10

【0047】

なお、この実施形態では光を偏光して分割させるための偏光ビームスプリッタ205'及び $1/4$ 波長板210、211を用いているが、無偏光のハーフミラー、偏光板等に置き換えて特定方向の偏光を抽出する方法も採用可能である。

【0048】

[第3実施形態] 次に、本発明の第3実施形態に係る干渉計を、図8を参照して説明する。この実施形態に係る干渉計も、第2実施形態と同様、位相シフト法を用いた干渉計である。第2実施形態と異なっているのは、偏光ビームスプリッタ205'とビームスプリッタ213Aとの間の $1/4$ 波長板212が省略される一方、偏光板214Bの手前に新たに $1/4$ 波長板215が配置されている点である。この $1/4$ 波長板215は、その進相軸方位及び遅相軸方位を、参照光及び測定光の偏光方向に一致させられており、これにより、参照光と測定光との間に $90^\circ$ の相対的な位相差を与えるものである。

20

【0049】

また、図9に示すように、偏光板214A、214B、214Cは、それぞれ透過軸の角度が、 $\theta$ 、 $\theta + 90^\circ$ に設定される。なお、この角度 $\theta$ は、参照光及び測定光の偏光方位と全く同一でなければどのような方位でもよい。この構成により、CCDカメラ209A、209B、209Cでは、それぞれ位相シフト量が $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $180^\circ$ の干渉縞画像が撮像される。

30

【0050】

以上、発明の実施形態を説明したが、本発明はこれらに限定されるものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲内において種々の変更、追加、置換等が可能である。例えば、上記実施形態では、光学的な位相シフト法による干渉計を説明したが、参照面を移動させて位相シフトを行う干渉計や、フーリエ変換法を用いた干渉計等にも、本発明は適用可能である。また、CCDカメラ209A-Cを複数台準備する例を説明したが、これに限らず、光路切換部材による切換を行うこと等により、1台のCCDカメラのみで撮像を行うことも可能である。

40

【0051】

また、図1に示す干渉計200において、波長可変光源201をたとえば図10のように変調し、 $t_1$ 、 $t_2$ といった時間間隔で、中心波長を変えて複数枚の干渉縞を積分受光する。この場合、積分受光により対象物裏面からの反射光による干渉ノイズが低減され、さらに、光路長 $l_1$ と $l_2$ の関係から、中心波長が変わることで、測定したい対象物面からの反射光による干渉縞の位相がシフトする。つまり、波長可変光源201の波長変調とCCDカメラ209での画像の取り込みのコントロールのみにより、平行なガラス基板を測定対象物とした位相シフト法による干渉縞解析が可能となる。波長を変調する関数は線形である必要もなく、また、積分受光するタイミングや画像取り込みの枚数なども図10の方法に限定するものではなく、発明の趣旨を逸脱しない範囲において変更は可能であ

50

る。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】本発明の第1実施形態に係る干渉計200の概略構成図である。

【図2】第1実施形態の干渉計200における測定対象物Wの位置調整の方法を説明するフローチャートである。

【図3】第1実施形態の干渉計200における測定対象物Wの位置調整の方法を説明する概念図である。

【図4】第1実施形態の干渉計200における発振波長の変調周期に対すると積分時間と積分受光される波長幅を説明する図である。

【図5】第1実施形態の干渉計200における発振波長を他の関数で変調する場合の変調周期に対する積分時間と積分受光される波長幅を説明する図である。

【図6】本発明の第2実施形態に係る干渉計200の概略構成図である。

【図7】図6の偏光板214A~Cの構成を示す。

【図8】本発明の第3実施形態に係る干渉計200の概略構成図である。

【図9】図8の偏光板214A~C及び1/4波長板215の構成を示す。

【図10】第1実施形態の干渉計200で、干渉縞の位相シフトを実施する場合の波長の変調関数と積分受光のタイミングも模式的に表した図である。

【符号の説明】

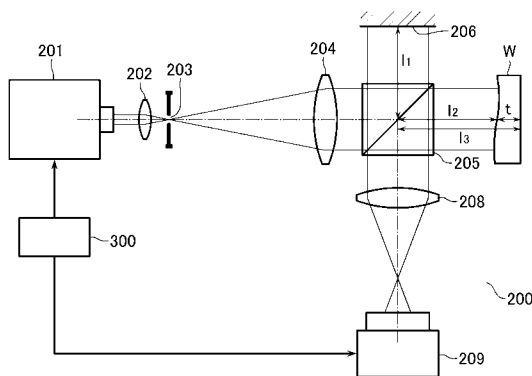
【0053】

200...干渉計、201...測長可変光源、202...集光レンズ、203...ピンホール、204...コリメータレンズ、205、205'...ビームスプリッタ、206...参照ミラー、208...レンズ、209、209A~C...CCDカメラ、210、211、215...1/4波長板、214A~214C...偏光板。

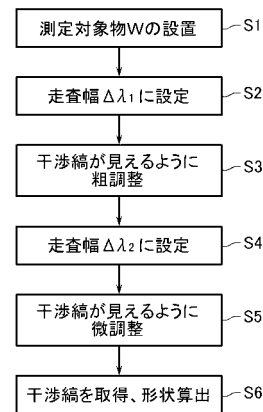
10

20

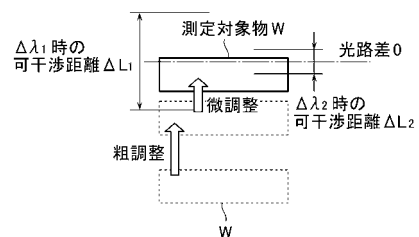
【図1】



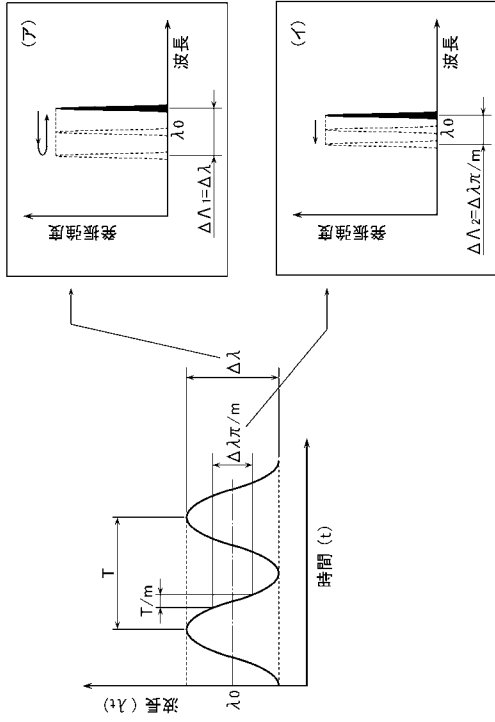
【図2】



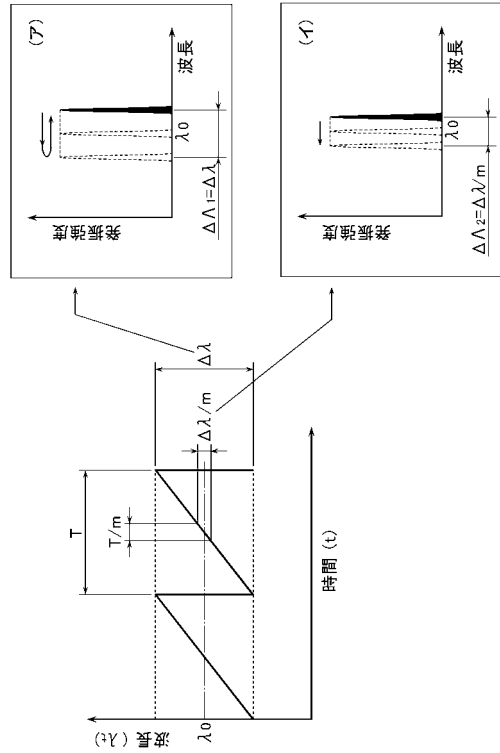
【図3】



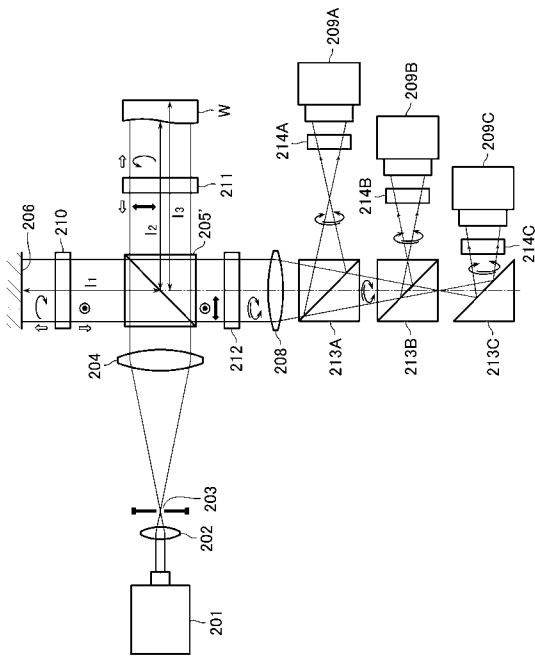
【 図 4 】



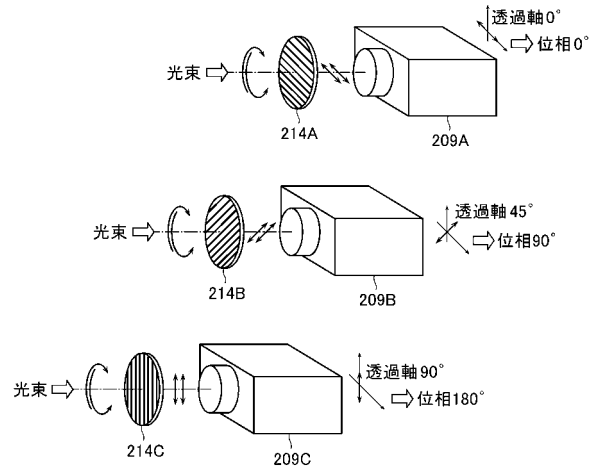
【 図 5 】



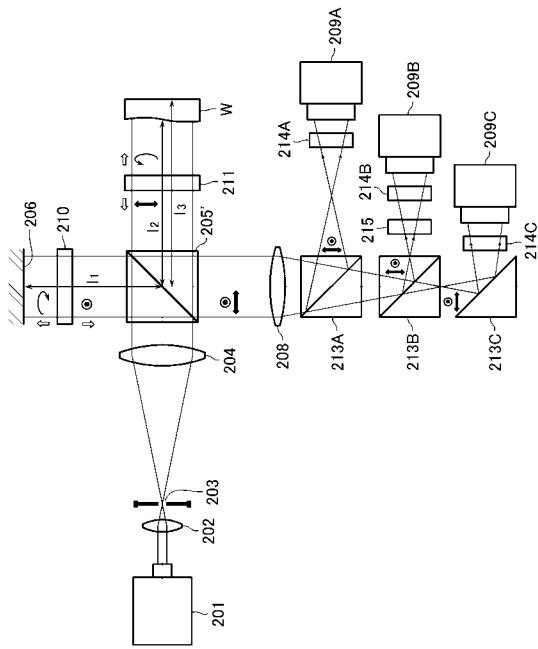
【 図 6 】



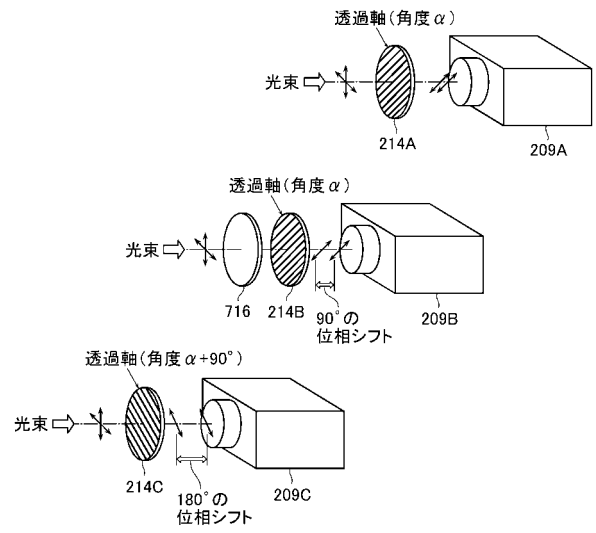
【 図 7 】



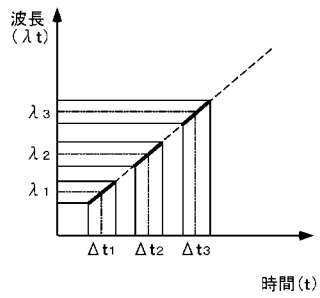
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 デイビッド ダブリュー セスコ  
アメリカ合衆国 ワシントン州ウッディンヴィル 206番 アベニュー エヌ・イー 15123

審査官 北川 創

(56)参考文献 特表2004-530905(JP,A)  
特開2004-144614(JP,A)  
特開平02-287107(JP,A)  
特開2001-201326(JP,A)  
特開2002-090110(JP,A)  
特開2004-037165(JP,A)  
特開平10-274505(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01B 9/02  
G01B 11/24