

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-261776

(P2010-261776A)

(43) 公開日 平成22年11月18日(2010.11.18)

(51) Int.Cl.

G 0 1 B 9/02 (2006.01)

F 1

G 0 1 B 9/02

テーマコード (参考)

2 F 0 6 4

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2009-112050 (P2009-112050)
 (22) 出願日 平成21年5月1日(2009.5.1)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 蔵本 福之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 Fターム(参考) 2F064 AA01 FF03 FF07 GG00 GG13
 GG16 GG23 GG33 GG38 GG41
 GG49 JJ00

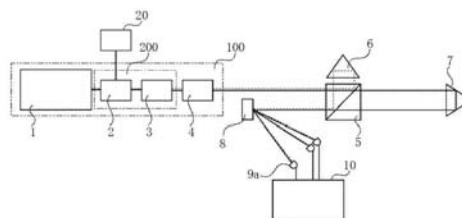
(54) 【発明の名称】 光波干渉計測装置

(57) 【要約】

【課題】 被検面と参照面間の距離制約無く合成波長を用いた距離計測を簡易に実現可能な光波干渉計測装置を提供すること。

【解決手段】 光波干渉計測装置は、多波長光源1、偏光光学素子5、参照面6、被検面7、分光光学素子8、位相検出器9a、解析装置10を備える。多波長光源1は複数の狭帯域なスペクトルを持つ。偏光光学素子5は多波長光源1からの光束を直交する2つの偏光に分離する。参照面6は偏光光学素子5からの第1の光束を反射する。被検面7は偏光光学素子5からの第2の光束を反射する。分光光学素子8は参照面6で反射した第1の光束および被検面7で反射した第2の光束のそれぞれを分光する。複数の位相検出器9aは分光された第1,第2の光束のスペクトル毎の干渉信号の位相を検出する。解析装置10は複数の位相検出器9aからの信号に基づいて多波長光源1の合成波長の範囲で参照面6と被検面7との間の光路長差を算出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の狭帯域なスペクトルを持つ多波長光源と、
 前記多波長光源からの光束を直交する 2 つの偏光に分離する偏光光学素子と、
 基準位置に設置されており、前記偏光光学素子からの第 1 の光束を反射する参照面と、
 被検物体に設置されており、前記偏光光学素子からの第 2 の光束を反射する被検面と、
 前記参照面で反射した前記第 1 の光束および前記被検面で反射した前記第 2 の光束のそれぞれを分光する分光光学素子と、
 分光された前記第 1 , 第 2 の光束のスペクトル毎の干渉信号の位相を検出する複数の位相検出器と、
 前記複数の位相検出器からの信号に基づいて、前記多波長光源の合成波長の範囲で前記参照面と前記被検面との間の光路長差を算出する解析装置と、を備える
 ことを特徴とする光波干渉計測装置。

10

【請求項 2】

前記位相検出器は、
 前記第 1 , 第 2 の光束に複数の既知の位相差を付加する手段と、
 前記複数の既知の位相差が付加された前記第 1 , 第 2 の光束の干渉信号を位相差毎に検出する複数の光量検出器と、を有する
 ことを特徴とする請求項 1 に記載の光波干渉計測装置。

20

【請求項 3】

前記多波長光源は、広帯域なスペクトルを持つ白色光源と、前記白色光源からの光束を前記複数の狭帯域なスペクトルを持つ光束に変換する光学フィルタと、を有する
 ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光波干渉計測装置。

【請求項 4】

前記光学フィルタは、ファブリペローエタロンを含む
 ことを特徴とする請求項 3 に記載の光波干渉計測装置。

【請求項 5】

前記多波長光源は、前記光学フィルタからの光束を増幅する光増幅器を有する
 ことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の光波干渉計測装置。

【請求項 6】

前記多波長光源は、均等な間隔の櫛歯状のスペクトルを持つ光周波数コム光源を含む
 ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光波干渉計測装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光波干渉計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から多波長における被検信号と参照信号の位相差から合成波長を用いて光路長差を計測する光波干渉計測装置が提案されている。特許文献 1 及び非特許文献 1 には光波の干渉信号を分光し、干渉信号の周波数特性から周波数に対する位相差を検出し距離を計算する光波干渉計測装置が開示されている。具体的な計測原理を式 (1) を用いて説明する。式 (1) は p 番目の周波数 f_p において検出される信号強度 $I(f_p)$ と干渉位相 $\phi(f_p)$ を示している。

40

【0003】

【数 1】

$$\begin{cases} I(f_p) = \{I_{ref}(f_p) + I_{test}(f_p)\} + 2\sqrt{I_{ref}(f_p) \cdot I_{test}(f_p)} \cos(2\pi\phi(f_p)) \\ \phi(f_p) = \frac{L}{c} f_p = \frac{L}{c} (f_0 + p \cdot \Delta f) \end{cases} \quad \dots \quad (1)$$

【0004】

50

干渉位相 (f_p) の式に示される通り計測距離 L は干渉位相の周波数に対する傾きに比例する。一方、干渉位相 (f_p) の傾きは信号強度 $I (f_p)$ の振動数として表されるため、信号強度 $I (f_p)$ からフーリエ変換などで第 2 項を抽出して位相 (f_p) の傾きを算出することで距離の計測が可能となる。

【 0 0 0 5 】

更にその他の方法として、被検信号と参照信号に変調を加えて位相を検出する方法が提案されている。具体的には特許文献 2 では参照面を走査する方式、特許文献 3 ではヘテロダイン検出を行う方式が開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

10

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 9 - 0 2 5 2 4 5 号 公 報

【 特許文献 2 】 特 登 録 0 2 5 5 3 2 7 6

【 特許文献 3 】 特開平 1 1 - 1 8 3 1 1 6 号 公 報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 7 】

【 非特許文献 1 】 Ki - Nam Joo and Seung - Woo Kim. " Absolute distance measurement by dispersive interferometry using a femtosecond pulse laser ". 2 0 0 6 年。Optics express, Vol. 1 4, No 1 3, pp. 5 9 5 4 - 5 9 6 0。

20

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 8 】

しかしながら特許文献 1 および非特許文献 1 に記載の方式では、参照面と被検面間の距離 L が計測する周波数間隔 f に対して式 (2) の関係になる時に計測が不可能となるという課題があった。式 (2) において c は光速、 n は任意の整数を意味する。

【 0 0 0 9 】

【 数 2 】

$$\frac{L \cdot \Delta f}{c} \approx n \quad \dots \quad (2)$$

30

【 0 0 1 0 】

従来方式の課題について式 (1) を用いて詳細を説明する。式 (2) の条件において検出信号の位相 (f_p) は p によらず一定の値となり、検出信号 $I (f_p)$ の第 2 項の振動数は低くなる。このような条件において、検出信号 $I (f_p)$ の第 1 項 (干渉に依らない信号強度の周波数分布) と、第 2 項 (位相差に依存する干渉信号強度の周波数分布) の振動数の差が少なく互いを分離出来なくなることが、計測が不可能となる理由である。

【 0 0 1 1 】

また、特許文献 2 および特許文献 3 に記載の方式では変調を行うための機構が複雑になるのに加え検出信号が高周波となるため解析装置内での計算処理が複雑になるという課題があった。

40

【 0 0 1 2 】

そこで本発明は、被検面と参照面間の距離制約無く、合成波長を用いた距離計測を簡易に実現可能な光波干渉計測装置を提供することを例示的な目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 3 】

その目的を達成するために、本発明の一側面としての光波干渉計測装置は、複数の狭帯域なスペクトルを持つ多波長光源と、前記多波長光源からの光束を直交する 2 つの偏光に分離する偏光光学素子と、基準位置に設置されており、前記偏光光学素子からの第 1 の光束を反射する参照面と、被検物体に設置されており、前記偏光光学素子からの第 2 の光束

50

を反射する被検面と、前記参照面で反射した前記第 1 の光束および前記被検面で反射した前記第 2 の光束のそれぞれを分光する分光光学素子と、分光された前記第 1, 第 2 の光束のスペクトル毎の干渉信号の位相を検出する複数の位相検出器と、前記複数の位相検出器からの信号に基づいて、前記多波長光源の合成波長の範囲で前記参照面と前記被検面との間の光路長差を算出する解析装置と、を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

被検面と参照面間の距離制約無く、合成波長を用いた距離計測を簡易に実現可能な光波干渉計測装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0015】

【図 1】第 1 実施形態における光波干渉計測装置を示した図である。

【図 2】第 1 実施形態における多波長光源のスペクトルを示す図である。

【図 3】第 1 実施形態における位相検出器を示す図である。

【図 4】第 2 実施形態における光波干渉計測装置を示した図である。

【図 5】第 2 実施形態における多波長光源のスペクトルを示す図である。

【図 6】第 2 実施形態における位相検出器を示す図である。

【図 7】第 2 実施形態における光路長計測結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

20

以下に、本発明の好ましい実施形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【0017】

〔第 1 実施形態〕

図 1 は本発明の第 1 実施形態の光波干渉計測装置の図である。本実施形態の光波干渉計測装置は、白色光源 1 とファブリペローエタロン 2 からなる多波長光源 100 を有する。多波長光源からの射出光束は偏光ビームスプリッタ（偏光光学素子）5 で直交する 2 つの偏光（第 1, 第 2 の光束）に分離される。その 2 つの偏光のうち一方（第 1 の光束）は参照面 6 で反射され、他方（第 2 の光束）は被検面 7 で反射される。干渉光束は回折格子 8 で分光され多波長光源のスペクトル毎に配置された位相検出器 9 a で位相を検出した後、解析装置 10 で光路長差を算出する。

30

【0018】

以下、本実施形態の光波干渉計測装置における計測原理について詳述する。十分なスペクトル幅を有する白色光源 1 を射出した光束はファブリペローエタロン 2 とバンドカットフィルタ 3 からなる光学フィルタ 200 で複数の狭帯域スペクトルに変換される。白色光源としては SLD や ASE 光源等を使用することが可能である。

【0019】

図 2 にファブリペローエタロン 2 とバンドカットフィルタ 3 を透過後のスペクトルを示す。ファブリペローエタロン 2 で生成される周波数間隔 FSR の櫛歯状の複数スペクトルに対し中間の帯域をカットするバンドカットフィルタ 3 を適用して計測に使用する 3 本のスペクトルのみを選択する。具体的な周波数としては周波数 f_1 と、 f_1 から FSR 離れた周波数 f_2 と、 f_1 から FSR の N 倍離れた周波数 f_3 の計 3 本とする。

40

【0020】

ファブリペローエタロンの特性は FSR とフィネスで特徴付けられるが、FSR に関しては後に分光する際のグレーティングの分解能を考慮すると数 10 GHz 程度以上であることが望ましい。フィネスについては被検面 7 と参照面 6 の光路長差において可干渉性を保持できる程度の線幅まで狭窄化するため、1000 以上であることが望ましい。本実施形態では単一のファブリペローエタロンを使用しているが、複数の FSR の異なるファブリペローエタロンを使用しても構わない。この場合には高 FSR のファブリペローエタロンのフィネスを落とし、低 FSR のファブリペローエタロンを FSR の決定因子となるように構成することで、ファブリペローエタロンの間隔制御が容易になるという利

50

点がある。

【0021】

バンドカットフィルタ3はバンドパスフィルタの反射光束を使用することで実現する。バンドカットフィルタ3は計測に使用するスペクトルのみに光束を限定することで後に述べる増幅時の効率が向上すると共に、計測時に発生する不要光を予め発生させないことで不要光による誤差（光ノイズや温度影響）を低減できるという効果がある。これらの効果が無視できる場合にはバンドカットフィルタ3は不要である。

【0022】

更に、必要なスペクトル幅がそれほど細く無い場合にはファブリペローエタロン2と光学フィルタ3の代わりに多層膜のバンドパスフィルタを組み合わせることで複数のスペクトルを作成してもよい。この場合には安価に装置の構成が可能となる。

10

【0023】

ファブリペローエタロン2はFSRが一定の値となるように制御装置20で制御される。具体的にはファブリペローエタロン2にヒータ等の加熱器または冷却器を設け、制御装置20で温度が一定になるように制御することでFSRを保証する。より高精度にFSRを保証する場合には多波長光源100から射出されるスペクトルの一部をガスの吸収線などに安定化するように制御装置20からヒータ等の加熱器または冷却器を制御すればよい。この場合に残るFSRの決定因子であるエタロンのギャップ媒質の分散に関しては、温度などの環境データから校正しても良いし、真空ギャップのエタロンを用いて保証しても構わない。

20

【0024】

次に光増幅器4によりファブリペローエタロン2の射出光束を増幅する。フィネスの高いファブリペローエタロンは非常に低効率のため、高出力な白色光源1を用いて出力を確保するか、出力低下後に増幅を行うことが必要であり、本実施例では後者を採用している。前者の場合には不要光量が多く発生するという課題はあるが、増幅器が不要な分コスト的には有利となる。

【0025】

光増幅器4により所望の光量となった光束は偏光ビームスプリッタ5で2つの直交する偏光成分に分岐される。偏光ビームスプリッタ5で反射された光束は基準位置に設置されたコーナキューブからなる参照面6で反射された後に再び偏光ビームスプリッタ5で反射される。以下、参照面6で反射される光束を参照光束と称す。一方、偏光ビームスプリッタ5を透過した光束は、被検物体上に固定されたコーナキューブからなる被検面7で反射された後、偏光ビームスプリッタ5を再び透過する。以下、被検面7で反射される光束を被検光束と称す。

30

【0026】

被検光束と参照光束は共に分光光学素子としての回折格子8で分光され、計測するスペクトル毎に配置された複数個の位相検出器9aで被検光束と参照光束の位相差を検出される。分光光学素子としてはアレイ導波路回折型波長分波器（以下AWGと称す。）を用いても良い。AWGを用いた場合にはコンパクトに高分解能の分光が実現可能という利点がある。

40

【0027】

位相検出器9aの具体的な構成を図3に示す。位相検出器9aは、被検光路と参照光路に3つの既知の位相差を付加する手段と、3つの既知の位相差の干渉信号を位相差毎に検出するための3つの光量検出器30a, 30b, 30cを有する。その位相差を付加する手段は、 $\pi/4$ 板21、グレーティングビームスプリッタ22、および偏光子アレイ23から構成される。

【0028】

図3の左側から入射した被検光束と参照光束は互いに直交する直線偏光を有しており、偏光方向と45度の角度に軸を配置した $\pi/4$ 板21を透過することでそれぞれ右回りの円偏光と左回りの円偏光に変換される。その後、位相型の回折格子からなるグレーティン

50

グビームスプリッタ 22 で 0 次、± 1 次光の 3 光束に均等に分割する。分割後の光束は、それぞれの光束に対して異なる透過軸の偏光子となるように構成された偏光子アレイ 23 を透過した後、光量検出器 30 a、30 b、30 c でその光量を検出される。光量検出器 30 a、30 b、30 c で検出される干渉信号 I_a 、 I_b 、 I_c は、偏光子アレイ 23 内の偏光子の透過軸角度に応じた既知の位相差を伴う信号となり、120 度間隔の位相差の 3 信号とした場合には式 (3) で表される。

【0029】

【数 3】

$$\begin{cases} I_a = I_0 \{1 + V \cos(\phi)\} \\ I_b = I_0 \{1 + V \cos(\phi + 2\pi/3)\} \\ I_c = I_0 \{1 + V \cos(\phi + 4\pi/3)\} \end{cases} \quad \dots \quad (3)$$

10

【0030】

ここで被検光束と参照光束の光路長差に伴う干渉信号の位相差を ϕ とした。式 (3) より位相差 ϕ は波長単位で式 (4) により算出することが出来る。

【0031】

【数 4】

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2I_a - I_b - I_c}{\sqrt{3}(I_b - I_c)} \right) \quad \dots \quad (4)$$

【0032】

解析装置 10 では、位相検出器 9 a 内の光量検出器 30 a、30 b、30 c からの光量信号を A/D 変換機によってデジタル化し、式 (4) を用いて位相計算が行われる。位相計算は、計測に用いる 3 つの周波数 (f_1 、 f_2 、 f_3) の干渉信号用のそれぞれについて行われる。それぞれの位相検出器で検出される位相は式 (5) で表される。式 (5) において n は被検光路と参照光路の光路長差における媒質の屈折率、 D は被検面と参照面間の光路長差の幾何学的距離である。また、 $\text{mod}()$ は第 1 引数を第 2 引数で割った際の剰余を表すものとする。

20

【0033】

【数 5】

$$\begin{cases} \phi_1 = \text{mod}\left(2nD \frac{f_1}{c}, 1\right) \\ \phi_2 = \text{mod}\left(2nD \frac{f_2}{c}, 1\right) \\ \phi_3 = \text{mod}\left(2nD \frac{f_3}{c}, 1\right) \end{cases} \quad \dots \quad (5)$$

30

【0034】

一方、周波数 f_1 に相当する波長を λ_1 、 f_1 と f_2 の差に相当する合成波長を λ_{12} ($= c / FSR$)、 f_1 と f_3 の差に相当する合成波長を λ_{13} ($= c / (N \cdot FSR)$) とすると、光路長差 nD と計測位相の関係は式 (6) で表される。ここで合成波長とは 2 つの波長を合成して得られる波長を意味し、2 つの波長を λ_1 、 λ_2 とする時、 $\lambda_{12} = \lambda_1 \cdot \lambda_2 / |\lambda_1 - \lambda_2|$ と表される。

【0035】

【数 6】

$$2nD = (n_1 + \phi_1)\lambda_1 = (n_{13} + \phi_{13})\lambda_{13} = (n_{12} + \phi_{12})\lambda_{12} \quad \dots \quad (6)$$

【0036】

式 (6) 中、 n_1 、 n_{13} 、 n_{12} はそれぞれの波長の整数倍成分を表す。 ϕ_1 を用いた表現は非曖昧な計測距離が λ_1 と最も小さい代わりに高精度な計測が可能であるのに対し、 ϕ_{12} を用いた表現は非曖昧な計測距離が λ_{12} まで拡大するが計測精度が低くなることを示している。ここで非曖昧な計測距離とは、過去の履歴を用いず計測結果から一義的に定めることの出来る距離のことを意味する。これらの特性を用い、最も長い合成波長から順に低い合成波長 (或いは波長) の整数倍成分を決定することで距離の計測精度を維持したまま非曖昧な計測距離を拡大する。具体的な算出式を式 (7) に示す。

50

【 0 0 3 7 】

【 数 7 】

$$D = \frac{1}{2n}(n_1 + \phi_1)\lambda_1$$

$$n_1 = \text{round}\left(\frac{\Lambda_{13}}{\lambda_1}(n_{13} + \phi_3 - \phi_1) - \phi_1\right) \quad \dots \quad (7)$$

$$n_{13} = \text{round}(N(n_{12} + \phi_2 - \phi_1) - \phi_3 + \phi_1)$$

【 0 0 3 8 】

式 (7) 中、 n_{12} は既知であるものとしている。 n_{12} を既知とする方法としては、計測範囲より合成波長 λ_{12} を拡大して装置のストローク範囲以上にする方法や、合成波長 λ_{12} 以下の精度を有する別の計測器の値を利用する方法がある。

10

【 0 0 3 9 】

λ_{12} の拡大が困難な場合には更に長い合成波長を用いることが可能である。具体的な手段としてはファブリペローエタロン 2 の FSR を変化させた際の新しい f_1 と f_2 の合成波長 λ'_{12} を生成し、 λ_{12} と λ'_{12} の更なる合成波長を用いればよい。別の方法としては、予め長い合成波長を生成可能な周波数スペクトルを光学フィルタ 200 で生成しておいても構わない。

【 0 0 4 0 】

以上の通り、本実施形態に依れば、干渉信号の位相をそれぞれのスペクトルで独立に計測することが可能なため、被検面と参照面間の距離制約無く距離計測が可能な光波干渉計測装置を提供することができる。

20

【 0 0 4 1 】

〔 第 2 実施形態 〕

次に、図 4 に基づいて本発明の第 2 実施形態の光波干渉計測装置について説明する。図 4 は本発明の第 2 実施形態の光波干渉計測装置を示した図である。本実施形態の光波干渉計測装置は、多波長の光周波数コム光源 101 を光源とする。他の基本的な構成は第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 4 2 】

以下、本実施形態の光波干渉計測装置における計測原理について詳述する。光周波数コム光源 101 は均等な周波数間隔の複数の狭帯域なスペクトル (光周波数コム) を射出する。具体的な光源としては、周波数間隔とキャリアエンベロープオフセット周波数が高精度に制御された広帯域なモードロックレーザを用いる。一般にモードロックレーザのモード間隔は数 10 MHz と狭く分光が困難であるため、低フィネスファブリペローエタロン 102 を用いて周波数間隔を間引くことが必要である。ここで低フィネスなファブリペローエタロンを用いるのはエタロンの変動によりエタロンを透過するスペクトル位置が変化しにくくするためである。低フィネスファブリペローエタロン 102 を透過後のスペクトルは図 5 に示すような周波数間隔 f の N 本の狭帯域なスペクトルとなる。

30

【 0 0 4 3 】

モードロックレーザ以外の光源としては単一スペクトルの光源にファブリペロー変調機などで位相変調をかけることにより得られる光周波数コムを利用することが可能である。この場合にはスペクトルの得られる帯域はモードロックレーザより狭いものの、モード間隔が広いとスペクトルの間引きが不要な点とコストの観点でモードロックレーザより有利となる。

40

【 0 0 4 4 】

光源を射出した光束は第 1 実施形態と同様に、被検光束と参照光束共に回折格子 8 で分光された後、それぞれのスペクトルに対応する位相検出器 9b に入射する。

【 0 0 4 5 】

位相検出器 9b 具体的な構成を図 6 に示す。位相検出器 9b は被検光路と参照光路に既知の位相差を付加する手段として複屈折プリズム 31 と、複数の既知位相差の干渉信号を検出するための複数の光量検出器 30x、30y、30z から構成される。

50

【 0 0 4 6 】

図 6 の左側から入射した光束は複屈折性を有する硝材からなる複屈折プリズム 3 1 に入射する。複屈折プリズム 3 1 の進相軸は図中実線で示される被検光束の屈折率と、図中点線で示される参照光束の屈折率が異なるように配置される。被検光束と参照光束は複屈折プリズム 3 1 から異なる角度で射出した後、偏光子 3 2 により共通偏光成分を抽出される。被検光束と参照光束の光線角度が異なるため、干渉信号は場所により位相差が発生することになる。本実施例では等間隔に 3 つの光量検出器 3 0 x、3 0 y、3 0 z を配置することで実施形態 1 と同様に 1 2 0 度ピッチの干渉信号を得る。3 つの干渉信号強度からの位相の算出式は式 (3) と同様に式 (8) で表される。

【 0 0 4 7 】

【 数 8 】

$$\phi = \frac{1}{2\pi} \tan^{-1} \left(\frac{2I_x - I_y - I_z}{\sqrt{3}(I_y - I_z)} \right) \quad \dots \quad (8)$$

【 0 0 4 8 】

ここで I_x 、 I_y 、 I_z はそれぞれ光量検出器 3 0 x、3 0 y、3 0 z で検出される干渉信号強度である。

【 0 0 4 9 】

解析装置 1 0 では f_1 から f_N までの N 個のスペクトルに対して被検光束と参照光束の位相差を算出する。それぞれの干渉信号の位相に対して実施形態 1 と同様に合成波長を用いて波長の整数倍成分を決定するものとする。本実施形態では複数の計測データを用いて光路長計測結果から幾何学的距離と屈折率の分離を行う。

【 0 0 5 0 】

i 番目のスペクトルで計測される位相 ϕ_i と被検面、参照面間の光路長の幾何学的距離 D の関係は式 (9) で表される。以下、式 (9) の最左辺を i 番目のスペクトルの光路長 OPL_i と表す。

【 0 0 5 1 】

【 数 9 】

$$\frac{c \phi_i}{2 f_i} \equiv OPL_i = n(f_i) D = (1 + N_{tp} \cdot B(f_i)) D \quad \dots \quad (9)$$

【 0 0 5 2 】

式 (9) 中 $f_i (= f_1 + f \cdot (i - 1))$ は i 番目のスペクトルの周波数、 $n(f_i)$ は f_i における被検面と参照面間の屈折率を示す。式 (9) の最右辺は屈折率の近似式である。屈折率の近似式において N_{tp} は空気の温度や気圧等に依存する屈折率成分であり、スペクトルに対する分散特性 $B(f)$ の係数として表される。分散特性 $B(f)$ は Edlén の式によると式 (1 0) で表される。

【 0 0 5 3 】

【 数 1 0 】

$$B(f) = 10^{-8} \left[8342.54 + \frac{2406147}{130 - \left(10^{-6} \cdot \frac{f}{c} \right)^2} + \frac{15998}{38.9 - \left(10^{-6} \cdot \frac{f}{c} \right)^2} \right] \quad \dots \quad (10)$$

【 0 0 5 4 】

被検面と参照面間の光路長差の屈折率が温度などにより変化することで測長値の誤差をもたらすことが知られている。この場合の屈折率の変化は N_{tp} の変化であるため、複数のスペクトルで計測される位相 ϕ_i から算出される光路長 OPL_i に対してフィッティングを行うことで分離することが可能である。具体的には式 (1 1) で表される残差を最小にする D を求めればよい。

【 0 0 5 5 】

10

20

30

40

【数 1 1】

$$J = \sum_{i=1}^N \{OPL_i - (D + n_p D \cdot B(f_p))\}^2 \quad \dots \quad (11)$$

【0056】

図7は、本実施形態における光路長と計測波長との関係図であり、計測される光路長 OPL_i に対してフィッティングを行った結果を示している。図7を参照するに、「」で表される離散的な光路長 OPL_i の計測結果に対して、一点鎖線で表される式(8)を最適化近似することで、幾何学的距離 D 及び $n_{tp} D$ を得ることができる。また、参照面6と被検面7との間の媒質の屈折率が必要な場合、光周波数毎の光路長の計測結果を参照面6と被検面7との間の幾何学的距離 D で除算することで屈折率を算出することができる。

10

【0057】

以上の通り、本実施形態に依れば、干渉信号の位相をそれぞれのスペクトルで独立に計測することが可能である。したがって、本実施形態に依れば、被検面と参照面間の距離制約無く距離計測が可能であると共に、被検面と参照面間の屈折率変化の補正が可能な光波干渉計測装置を提供することができる。

【0058】

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ず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

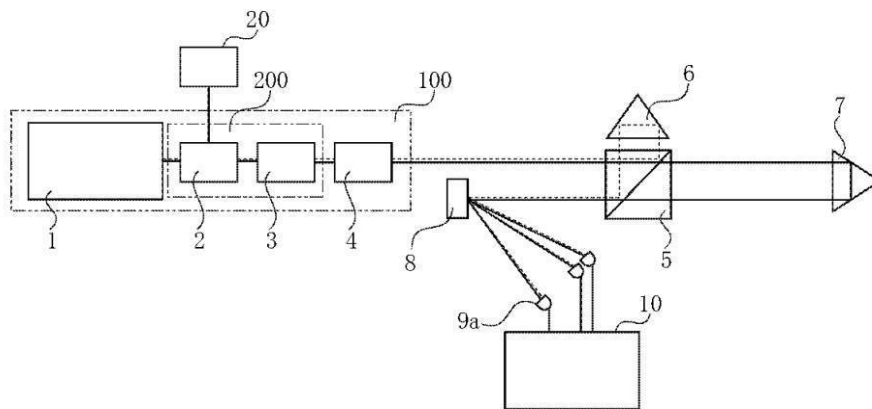
【符号の説明】

【0059】

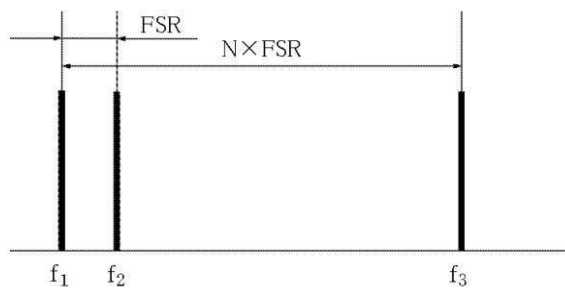
- 1 多波長光源
- 5 偏光ビームスプリッタ
- 6 参照面
- 7 被検面
- 8 回折格子
- 9 a 位相検出器
- 10 解析装置

20

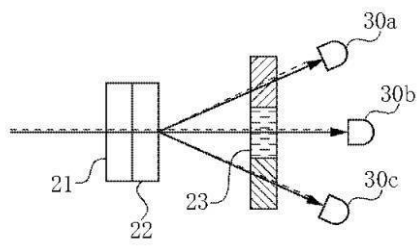
【図 1】



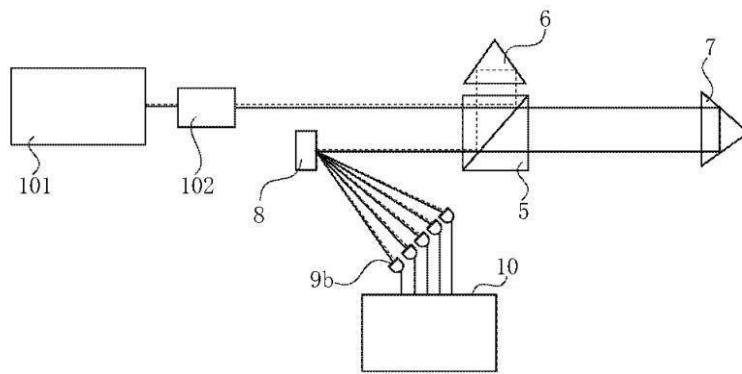
【 図 2 】



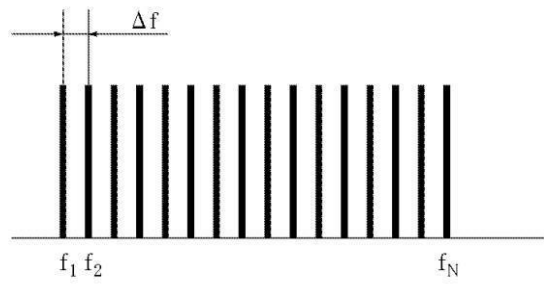
【 図 3 】



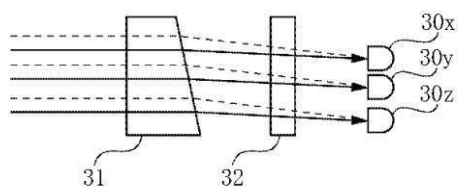
【 図 4 】



【 図 5 】



【図 6】



【 図 7 】

