

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5538406号
(P5538406)

(45) 発行日 平成26年7月2日(2014.7.2)

(24) 登録日 平成26年5月9日(2014.5.9)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 1 B 9/02 (2006.01)
G O 1 B 11/00 (2006.01)G O 1 B 9/02
G O 1 B 11/00

G

請求項の数 15 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2011-530501 (P2011-530501)
 (86) (22) 出願日 平成21年10月9日 (2009.10.9)
 (65) 公表番号 特表2012-505393 (P2012-505393A)
 (43) 公表日 平成24年3月1日 (2012.3.1)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2009/063208
 (87) 国際公開番号 WO2010/040838
 (87) 国際公開日 平成22年4月15日 (2010.4.15)
 審査請求日 平成24年10月5日 (2012.10.5)
 (31) 優先権主張番号 08166344.5
 (32) 優先日 平成20年10月10日 (2008.10.10)
 (33) 優先権主張国 欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者 501296748
 アクレオ スウェディッシュ イーセーテ
 ィー アーベー
 スウェーデン国 S-164 40 キス
 タ, エレクトラム 236
 (73) 特許権者 511082414
 システム 3アル インターナショナル
 アーベー
 SYSTEM 3R INTERNATI
 ONAL AB
 スウェーデン王国 ベリングビー エスー
 162 50, ソルテラルガタン 1
 (74) 代理人 110001302
 特許業務法人北青山インターナショナル

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】共振器長の測定法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

導波管と物体の表面との距離を算出する方法において、当該方法が：

- 第1および第2の反射性端面(4、5)を有する共振器(1)を設けるステップであって、前記第2の反射性端面(5)は前記物体の表面である、ステップと；
- 導波管内の電磁波(L_S)を伝達し、当該電磁波を前記共振器内に放出するステップであって、前記電磁波が少なくとも1つの共振波長を具えているステップと；
- 前記電磁波(L_S)によって、前記共振器内に少なくとも1つの共振波を形成するステップと；
- 前記共振器から放出された導波管内の前記電磁波のスペクトル(S_R)を、記録ユニット(700、800)に伝達するステップと；
- 放出された前記スペクトル(S_R)を前記記録ユニットで記録し、記録された前記スペクトルを分析ユニットに提供するステップと；
- 前記共振器長の少なくとも1つの数値(L_{EST})を前記分析ユニットにおいて概算するステップであって、前記共振器長の少なくとも1つの数値(L_{EST})を前記分析ユニットにおいて概算するステップが、記録された前記スペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを具えるステップと；
- 記録された前記スペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、前記スペクトルの少なくとも1つのマーク波長(M)を前記分析ユニットにおいて選択するステップと；

10

20

- 前記共振器長の少なくとも 1 つの数値 (L_{EST}) の 2 倍と使用している前記波長 (λ_M) の比 ($2 * L_{EST} / \lambda_M$) に基づいて、概算干渉数 (I_{EST}) を計算するステップと；
- 前記概算干渉数 (I_{EST}) に最も近い整数または半整数として、実際の干渉数 (I_{CORR}) を算出するステップと；
- 前記実際の干渉数 (I_{CORR}) と使用している前記波長 (λ_M) の積の半分 ($I_{CORR} * \lambda_M / 2$) に基づいて、共振器長の第 2 の数値 (L_{CORR}) を計算するステップとをえることを特徴とする方法。

【請求項 2】

10

請求項 1 に記載の方法が更に：

- 前記電磁波が伝達されて前記共振器内に放出される前に、電磁波源から前記電磁波を受けるステップと；
- 参照スペクトルと、好適には前記電磁波源の参照スペクトルと比較することにより、記録された波長の前記スペクトルを正規化するステップとをえることを特徴とする方法。

【請求項 3】

20

請求項 1 または 2 に記載の方法において、前記共振器長 (L) の少なくとも 1 つの数値を算出するステップがさらに、前記フーリエ変換を実行する前に、前記波長のスペクトルの少なくとも一部を周波数領域に変換するステップをえることを特徴とする方法。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の方法において、前記電磁波 (L_S) の帯域幅が、記録された前記スペクトルが少なくとも 2 つの干渉最小点または少なくとも 2 つの干渉最大点を含むように選択されることを特徴とする方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の方法において、前記少なくとも 1 つのマーク波長 (λ_M) を選択するステップが、前記スペクトルの異なる最大点および / または最小点を更に算出することにより、更なるマーク波長を選択するステップをえることを特徴とする方法。

【請求項 6】

30

請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の方法において、前記実際の干渉数 (I_{CORR}) を算出するステップがさらに、規定の推定干渉数のグループを提供するステップをえることを特徴とする方法。

【請求項 7】

導波管と物体の表面の間の距離を算出するシステムにおいて；

- 第 1 および第 2 の反射性端面 (4、5) を有する共振器 (1) であって、前記第 2 の反射性端面 (5) は前記物体の表面であり、その表面までの距離が測定される共振器と；
- 電磁波 (L_S) を前記共振器に伝達するように構成された、第 1 の組の電磁波送信機 (360、410、412) と；
- 電磁スペクトル (S_R) を記録するように動作するレコーダーと；
- 前記共振器 (1) から記録手段 (700、800) に電磁波を伝達するように構成された、第 2 の組の電磁波送信機と；
- 共振器長の少なくとも 1 つの数値 (L_{EST}) を概算するステップであって、前記共振器長の少なくとも 1 つの数値 (L_{EST}) を概算するステップが、記録された前記スペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップをえるステップと；
- 記録された前記スペクトルの最大、最小または変曲点を概算することにより、前記スペクトルの少なくとも 1 つのマーク波長 (λ_M) を選択するステップと；
- 前記共振器長の少なくとも 1 つの数値 (L_{EST}) の 2 倍と使用している前記波長 (λ_M) の比 ($2 * L_{EST} / \lambda_M$) に基づいて、概算干渉数 (I_{EST}) を計算するステップと；

40

50

- 前記概算干渉数 ($I_{E S T}$) に最も近い整数または半整数として実際の干渉数 ($I_{C O R R}$) を算出するステップと;
- 前記実際の干渉数 ($I_{C O R R}$) と使用している前記波長 (λ_M) の積の半分 ($I_{C O R R} * \lambda_M / 2$) に基づいて、共振器長の第2の数値 ($L_{C O R R}$) を計算するステップとによって、
- 前記共振器の長さ (L) を算出するように動作するアナライザ (800) とを具えることを特徴とするシステム。

【請求項8】

請求項7に記載のシステムにおいて、光ファイバが前記第1の端面に配置され、前記第2の端面が金属であることを特徴とするシステム。 10

【請求項9】

請求項7または8に記載のシステムにおいて、前記共振器がワークヘッドユニット (600) の第1および第2の面で形成されており、前記ワークヘッドユニットは分離可能な第1および第2の部分を具え、前記第1の面が前記第1の部分の面であり、前記第2の面が前記第2の部分の面であることを特徴とするシステム。

【請求項10】

請求項7乃至9に記載のシステムにおいて、前記共振器が、2つの反射する実質的に平行な面を具え、前記電磁波の共振波を形成することを特徴とするシステム。 20

【請求項11】

請求項7乃至10の何れか一項に記載のシステムにおいて、前記共振器が、ファブリペロー干渉計、フィゾー干渉計、ギヤス・トールニスエタロン、マイケルソン干渉計および円形共振器を含むグループから選択された共振器であることを特徴とするシステム。

【請求項12】

請求項7乃至11の何れか一項に記載のシステムにおいて、前記電磁波の伝達手段が、導波管、好適には光ファイバ (360) を具えることを特徴とするシステム。

【請求項13】

請求項7乃至12の何れか一項に記載のシステムにおいて、前記共振器が、流体を含むように構成されることを特徴とするシステム。 30

【請求項14】

請求項7乃至13の何れか一項に記載のシステムを制御するコンピュータプログラムの指示を具えるコンピュータプログラムであって、

- 物体の表面である反射性端面 (5) を有する共振器 (1) により修正された、記録された電磁スペクトル (S_R) を受けるステップと;

- 共振器長の少なくとも1つの数値 ($L_{E S T}$) を概算または算出するステップであって、前記共振器長の少なくとも1つの数値 ($L_{E S T}$) を概算するステップが、記録された前記スペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを具えるステップと;

- 記録された前記スペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、前記スペクトルのマーク波長 (λ_M) を選択するステップと; 40

- 前記共振器長の少なくとも1つの数値 ($L_{E S T}$) の2倍と前記マーク波長 (λ_M) の比 ($2 * L_{E S T} / \lambda_M$) に基づいて、概算干渉数 ($I_{E S T}$) を計算するステップと;

- 前記概算干渉数 ($I_{E S T}$) に最も近い整数または半整数として実際の干渉数 ($I_{C O R R}$) を算出するステップと;

- 前記実際の干渉数 ($I_{C O R R}$) と前記マーク波長 (λ_M) の積の半分 ($I_{C O R R} * \lambda_M / 2$) を用いて、前記共振器長の第2の数値 ($L_{C O R R}$) を計算するステップとを具える、導波管と物体の表面の間の距離を算出する方法を、プログラム可能な処理装置に実行させることを特徴とするコンピュータプログラム。

【請求項 15】

請求項 7 乃至 13 の何れか一項に記載のシステムを制御するコンピュータプログラムを含むコンピュータプログラムの保持媒体であって、前記プログラムが、

- 物体の表面である反射性端面(5)を有する共振器(1)により修正された、記録された電磁スペクトル(S_R)を受けるステップと；

- 共振器長の少なくとも 1 つの数値(L_{EST})を概算するステップであって、前記共振器長の少なくとも 1 つの数値(L_{EST})を概算するステップが、記録された前記スペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを具えるステップと；

- 記録された前記スペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、前記スペクトルのマーク波長(λ_M)を選択するステップと；

- 共振器長の少なくとも 1 つの数値(L_{EST})の 2 倍と前記マーク波長(λ_M)の比($2 * L_{EST} / \lambda_M$)に基づいて、概算干渉数(I_{EST})を計算するステップと；

- 前記概算干渉数(I_{EST})に最も近い整数または半整数として、実際の干渉数(I_{CORR})を算出するステップと；

- 前記実際の干渉数(I_{CORR})と前記マーク波長(λ_M)の積の半分($I_{CORR} * \lambda_M / 2$)を用いて、前記共振器長の第 2 の数値(L_{CORR})を計算するステップとを具える、導波管と物体の表面の間の距離を算出する方法を、プログラム可能な処理装置に実行させることを特徴とする媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、共振器長を測定する方法、共振器長を測定するための装置、さらには共振器長を計測するためのコンピュータプログラムに関するものである。この測定法は、共振器から受けた記録された電磁スペクトルの分析に基づく。

【背景技術】

【0002】

近年、プロセスにおいて高精度の測定値の要求が高まってきた。多くの適用例では、測定プロセスは、フライス盤または EDM (放電加工機)などの連続的な制御に使用できるよう、好ましくは短時間となるべきである。

【0003】

上記のものを以下の例に示す。EDMでは、チャックとホルダを通常は使用して加工するワークピースを留める。チャックの面における位置精度は通常は約 + / - 2 μm であり、これは殆どの用途において十分である。しかしながら、最終ステップとして EDM (放電加工) および EDM による造型を行う主な適用分野は電極の製造である。近年、非常に高精度で非常に精密な微小部を有する光学レンズなどの製造に用いられる、高精度の型の必要性が高まってきた。さらに、非常に正確な微小部の加工も必要とされる。カップリングの位置精度は、サブミクロンレベル (例えば + / - 0.2 μm) でなくてはならない。従来のシステムは多くの場合に場所を必要とし、誘電体および冷却液、霧、煙、プロセスからの塵や粒子といった液体の影響に対して敏感なため、従来のカップリング、特に電極や型を作成するプロセスの環境では実現は不可能である。さらに、ホルダのサブミクロン位置は、加工力や温度勾配に影響される。従って、サブミクロン精度での連続的な位置測定が使用されることが好ましい。

【0004】

さらに、チャックは摩耗しやすく、これはクランプの回数、加工力およびプロセスからの粒子による。この摩耗は位置精度に影響し、摩損する前にチャックを交換するためにモニタしなければならない。通常、摩耗による精度の損失は、各クランプでする代わりに、今日では多くの場合に手動で別個のプロセスにおいて計測される。

【0005】

米国特許第 6,078,706 号は、広帯域の半導体光源に基づく自己参照型干渉法を用いる純静的ファイバの圧力センサを開示しており、これは、ファブリペロー空洞共振器

10

20

30

40

50

内の圧力プレートの屈折を調べ、屈折した圧力プレートの光学的照合を用いて、リアルタイムの圧力の高分解能遠隔測定を提供する二重回折格子分光計で位相が復調される。この技術は、広い範囲の間隔長さにわたってナノメートルの分解能で、リアルタイムでの絶対的な間隔の測定をする。分解できる間隔の範囲や屈折を範囲に含むように圧力プレートの設計を調整することにより、psi分解での圧力検出をkpsiの圧力範囲で得ることができる。

【0006】

米国特許第7,099,015(B2)号はさらにファイバ光検出装置を記載しており、これはファブリペロー空洞共振器を用いて物理的パラメータを検出する。この空洞共振器は、入射多色光を変調する。変調光は、光学分光計手段によって記録される。スペクトルは、スペクトルを正規化し、変調信号の位相を測定する信号処理ユニットで分析される。波長の範囲全体にわたって蓄積された位相は、参照表を用いて物理的パラメータの確認に使用される。空洞共振器、多色光源および分光器手段は、ファイバ光手段によって連結される。

10

【0007】

1995年7月の光波技術ジャーナルの第13巻、第7号、ページ1231乃至1236、ISSN:0733-8724、Egrov, SA:「Spectral signal processing in intrinsic interferometric sensors based on birefringent polarization-maintaining optical fibers(複屈折の偏光維持光ファイバに基づく固有の干渉センサにおけるスペクトル信号処理)」は、本出願が権利を主張するEP08,166,344を背景に引用されており、固有の変形、温度を適用し、直動位置の干渉複屈折の偏光維持ファイバに基いてファイバ光学センサを分配するスペクトル信号処理技術を記載している。この方法は、検出ファイバに影響を与える外部の物理パラメータが増加しない測定法を提供する。ネットワークにおけるセンサの同時照合も議論されている。

20

【0008】

この記事によると、光路差の正確な数値は、規定の周波数から自由スペクトル領域の範囲内における、既知の干渉オーダーに対するスペクトル共振のシフトによって計算される。さらに、この記事は、記載された信号処理アルゴリズムに必要な条件は、干渉オーダーの明確な測定であると強調している。さらに、記事は、干渉オーダーの明確な測定には、光路長さの測定差異は波長の6分の1未満であることが必要であると説明している。従つて、小さい長さ差異を測定するのに適応するアルゴリズムには限度があり、さらに、このアルゴリズムは、干渉オーダーの明確な測定を必要とする。

30

【0009】

近年、精度が向上した位置測定を可能にする光学的セットアップが出てきた。このセットアップはEP1,849,556に記載されており、参照により本書に組み込まれる。一実施形態によると、その中に示されたチャックには、6つの自由度(X、Y、Z、X_{rot}、Y_{rot}およびZ_{rot})を測定する位置センサが組み込まれている。センサの位置やホルダの十字状のビーム構造によって、位置偏差を総ての方向の力とモーメント(F_x、F_y、F_z、M_x、M_y、M_z)に変換することが可能となる。位置情報や負荷情報は、モニタリングや適応制御に利用することができる。

40

【0010】

EP1,849,556はDE195,28,676を参照しており、これは異なる周波数の2つのレーザを用いて絶対距離を測定する光学システムおよび方法を記載している。DE195,28,676の測定原理に応じて干渉計を使用すると、一方のレーザからの光が干渉計の一方の脚に送られて、物体表面に向かって反射され、その距離が測定される。もう一方のレーザからの光は干渉計の他方の脚に送られて、参照面に向かって反射され、この距離は既知である。2つの反射した光線は重ね合わされ、レーザの一方の周波数を連続的に変化させることにより、可変中間周波数が形成される。この中間周波数は、距

50

離の測定に必要とされる不可欠な位相の総てを含む。周期信号は、レーザの周波数における変化、さらには干渉計の路差に比例する。

【0011】

上述の方法の欠点は、物体までの距離を測定できるようにするために、参照物体から受けた光学信号を参照干渉計からの信号と比較し続けなければならないという点である。従って、参照干渉計の経年変化が測定結果を変化させることがある。さらに、構成要素の数が多いため、このシステムは場所を取る。さらに、測定結果は干渉計の2本の脚の間の路差により部分的に測定されるため、この装置は調整不良に対して敏感である。

【発明の概要】

【0012】

本発明は、電磁波を反射する2つの端面を有する共振器の長さを測定する新しい方法および装置を提供する。以前の技術に関する欠点や制限は、添付の特許請求の範囲に説明する一般的な種類の方法、装置およびコンピュータプログラムによって効果的に取り除かれるか、少なくとも改善される。

【0013】

本発明は更なる利点を有しており、以下の説明による詳述から明らかとなるであろう。

【0014】

本発明の一般的な目的は、共振器の2つの端面の間の距離を素早く測定する、改善された方法を提供することであり、これは基礎アルゴリズムによって実施することができ、参考干渉計を使用することなく実行することができる。

【0015】

第1の態様によると、本発明は共振器または空洞共振器または干渉計の長さを測定する方法に関し、当該方法は：

- 第1及び第2の反射端面を有する共振器か空洞共振器か干渉計を提供するステップと；
- 導波管内に電磁波を伝達し、共振器か空洞共振器か干渉計内に電磁波を放出するステップであって、この電磁波が少なくとも1つの共振波長を含んでいるステップと；
- 前記電磁波によって、共振器か空洞共振器か干渉計内に少なくとも1つの共振波を形成するステップと；
- 共振器か空洞共振器か干渉計から放出された導波管内の電磁波のスペクトルを、記録ユニットに伝達するステップと；
- 放出されたスペクトルを記録ユニットで記録し、記録されたスペクトルを分析ユニットに提供するステップと；
- 分析ユニットにおいて共振器か空洞共振器か干渉計の長さの少なくとも1つの数値を概算または算出するステップであって、共振器長の少なくとも1つの数値を概算するステップは記録されたスペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを含むステップと；
- 記録されたスペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、分析ユニットにおいて、スペクトルの少なくとも1つのマーク波長を選択するステップと；
- 共振器か空洞共振器か干渉計の長さの少なくとも1つの数値の2倍と使用波長の比に基づいて、概算干渉数を計算するステップと；
- 実際の干渉数を概算干渉数に最も近い推定干渉数として算出するステップと；
- 実際の干渉数と使用している波長の積の半分に基づいて、共振器か空洞共振器か干渉計の長さの第2の数値を計算するステップとを具える。

【0016】

本発明に関して、実際の干渉数を概算干渉数に最も近い推定干渉数として算出するステップは、より具体的には、実際の干渉数を概算干渉数に最も近い整数または半整数として算出することにより実行することができる。最も近い推定整数または半整数を選択するには、通常、 $2 * L_{EST} / M$ 、すなわち、共振器長の少なくとも1つの数値の2倍とマ

10

20

30

40

50

ーク波長の比を計算し、その後に最も近い推定整数または半整数を選択することにより実行できる。しかしながら、代わりに積 $4 * L_{EST} / M$ が計算され、最も近い整数が選択された場合、本発明に関して概算干渉数に最も近い推定半整数を選択したと見なされる。さらに、積 $4 * L_{EST} / M$ が計算され、最も近い偶数の整数が選択された場合、本発明に関して概算干渉数に最も近い推定整数が選択されたと見なされる。従って、代わりに積 $2 * L_{EST} / M$ が計算され、最も近い整数が選択された場合、本発明に関して概算干渉数に最も近い推定半整数が選択されたと見なされ、同様に続く。

【0017】

上述の測定法またはステップは、所望の結果が得られる限り、任意の適切な順番で実行してもよいということに注目されたい。

10

【0018】

この方法は、高いレベルのプログラム言語において既に利用可能な数学的関数を用いることにより、共振器長の測定の正確さまたは精度を改善する、短時間で効果的な方法を示す利点を有する。既に利用可能な数学的関数で実施できるこの方法は、プログラミングを容易にし、通常はプログラムの実行時間も向上させる。さらに、この方法は、空洞長さを算出するために実行する数学的演算が比較的少ないために早い。約 800 nm と等しい光源の中心波長に対して、測定の精度は、好適には $+/-1 \mu m$ よりもよく、更に好適には $+/-0.5 \mu m$ よりもよく、更に好適には $+/-100 nm$ よりもよく、 $+/-50 nm$ よりもよいと最適である。さらに、参照干渉計の連続的な測定から独立しているため、測定の精度は参照干渉計の状態に左右されない。さらに、この方法の殆どの事例によると、空洞長さの絶対的な測定を提供するという点においても利点である。すなわち、空洞長さを算出できるようにするために、通常は参照表面または移動表面を必要としない。後に長さを算出するアルゴリズムに使用される 1 または幾つかの定数を算出するために、既知の環境すなわち空洞長さが分かっている場合に空洞長さを測定することにより較正用の測定をする必要がない。換言すると、この方法は、共振器長の測定に必要なパラメータの数値について自己支持型であり、空洞長さを算出するために較正手順を必要としない。代わりに、殆どの用途について、共振器から放出された 1 つのスペクトルに含まれる情報は、十分なまたは所望の精度を有する空洞長さを測定するためには十分である。さらに、この方法は、空洞共振器の可視性が低い場合にも、空洞長さの測定が可能であり有利である。更に、この方法を用いて、1000 を越える自由スペクトル領域を含む広いスペクトル領域にわたって空洞長さを測定することができる。例えば、5 nm の自由スペクトル範囲且つ $30 \mu m$ 乃至 $120 \mu m$ に変化する空洞長さを有する測定セットアップについて、上述の方法を用いて、1 つの測定のみで任意の参照測定を用いることなく、約 18000 の自由スペクトル領域に対応する間隔における空洞長さを測定することができる。

20

【0019】

第 2 の態様によると、本発明は共振器長を測定するシステムの使用方法に関し、このシステムは：

- 共振器と；
- 電磁波を共振器に伝達するように配置された、第 1 の一連の電磁波伝達手段と；
- 電磁スペクトルを記録するように機能する記録手段と；
- 共振器から記録手段に電磁波を伝達するように配置された、第 2 の一連の電磁波伝達手段と；

40

- 共振器長の少なくとも 1 つの数値を概算または算出するステップであって、当該共振器長の少なくとも 1 つの数値を概算するステップは、記録されたスペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを含むステップと；

- 記録されたスペクトルの最大、最小または変曲点を概算することにより、スペクトルの少なくとも 1 つのマーク波長を選択するステップと；

- 共振器長の少なくとも 1 つの数値の 2 倍と使用波長の比に基づいて、概算干渉数を計算するステップと；

- 実際の干渉数を概算干渉数に最も近い推定干渉数 (I) として算出するステップと

50

;

- 実際の干渉数と使用波長の積の半分に基づいて、共振器長の第2の数値を計算するステップとにより、干渉器長を算出するように動作するアナライザとを具える。

【0020】

第3の態様によると、本発明は、本発明の第2の態様によるシステムを制御するコンピュータプログラムの指示を具えるコンピュータプログラムに関し、

- 共振器によって修正された、記録された電磁スペクトルを受けるステップと；
- 共振器長の少なくとも1つの数値を概算または算出するステップであって、当該共振器長の少なくとも1つの数値を概算するステップは、記録されたスペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを含むステップと；

- 記録されたスペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、スペクトルのマーク波長を選択するステップと；

- 共振器長の少なくとも1つの数値の2倍とマーク波長の比に基づいて、概算干渉数を選択するステップと；

- 実際の干渉数を概算干渉数に最も近い推定干渉数として算出するステップと；

- 実際の干渉数とマーク波長の積の半分に基づいて、共振器長の第2の数値を計算するステップと具える方法を、プログラム可能な処理装置に実行させる。

【0021】

第4の態様によると、本発明は、本発明の第2の態様によるシステムを制御するコンピュータプログラムを具えるコンピュータプログラムの保持媒体に関し、プログラムが、

- 共振器によって修正された、記録された電磁スペクトルを受けるステップと；
- 共振器長の少なくとも1つの数値を概算または算出するステップであって、当該共振器長の少なくとも1つの数値を概算するステップは、記録されたスペクトルの少なくとも一部のフーリエ変換を実行するステップを含むステップと；

- 記録されたスペクトルの最大、最小または変曲点を算出することにより、スペクトルのマーク波長を選択するステップと；

- 共振器長の少なくとも1つの数値の2倍とマーク波長の比に基づいて、概算干渉数を計算するステップと；

- 実際の干渉数を概算干渉数に最も近い推定干渉数として算出するステップと；

- 実際の干渉数とマーク波長の積の半分に基づいて、共振器長の第2の数値を計算するステップとを具える方法をプログラム可能な処理装置に実行させる。

【0022】

本発明の第2および第3の態様の双方は、第1の態様に関して説明されたものと同じ利点を含む。さらに、空洞長さが放出されたスペクトルで測定されたため、このシステムは、上述の従来技術と比較して、過酷な環境状態や乱暴な取扱いによる調整不良に対する感度が低い。

【0023】

基本的に、本発明は、放出された共振波を具える電磁スペクトルを分析することによって反射共振器の長さを算出または測定する方法、システムおよびコンピュータプログラムの保持媒体を提供する。放出されたスペクトルは、第1の空洞長さを概算するために用いられる。スペクトルについて少なくとも1つの干渉数を最初に計算して、共振器の構成次第で整数または半整数などの推定干渉数にこの数値を調整し、その後に調整または補正された干渉数の数値を用いて共振器長を再計算することにより、この概算値は改善される。上述のステップは、共振器の物理特性の測定において精度を向上させる効果的な方法を提供する。

【0024】

この方法およびシステムは、ファブリペロー干渉計、フィゾー干渉計、ギヤス・トールニスエタロン、マイケルソン干渉計、円形共振器等の多くの種類の共振器または干渉計の

10

20

30

40

50

長さを測定するのに使用することができる。

【0025】

本発明に関する用語、電磁波を放出する手段は、適切な波長範囲を有する電磁波を放出できる任意の電磁波源を意味する。一実施形態によると、この電磁波源は、可視スペクトル、近似赤外線スペクトル、赤外線スペクトル、近似紫外線スペクトル、紫外線スペクトル、X線スペクトルおよびマイクロ波スペクトルを含むグループから選択された1以上のスペクトルの電磁波を放出する光源である。換言すると、この電磁波は、光学ドメイン、光または可視光の電磁波とすることができる。

【0026】

本発明に関する用語、共振器は、定常波または共振波を間に形成することができる2つの端面を具える機構を意味する。すなわち、これらの面の少なくとも一方は、入射電磁波の少なくとも一部を反射しなくてはならない。共振器の光路は、直線または湾曲してもよい。湾曲した光路を有する共振器は、電磁波を送る反射手段を具えることが好ましい。直線の光路を有する共振器の壁は、実質的に平行であることが好ましい。換言すると、他方と比較した面の傾きは、10°未満、好適には5°未満、更に好適には3°未満、更に好適には1°未満、および0.5°未満が最適である。共振器は、開放型または閉鎖型であってもよい。開放型または閉鎖型の共振器の違いは、閉鎖型共振器は側面の間に配置された1以上の壁を有するという点である。本発明の一実施形態によると、この共振器は2つの反射する、実質的に平行の壁を具えており、共振器内に電磁波の定常波を形成する。一例によると、この共振器はファブリペロー空洞共振器であり、好適には非対称のファブリペロー空洞共振器である。非対称のファブリペロー空洞共振器では、共振器の各端壁の反射性には相当な差がある。この文書における用語、共振器、空洞共振器および干渉計は区別なく使用される。

【0027】

一例によると、この共振器は1本腕の共振器であり、2つの異なる経路に沿って移動する2本の光線を受ける2本腕の共振器と比較すると、総ての光はファブリペロー空洞共振器のように同じ経路に沿って移動する

【0028】

一例によると、共振器の長さは、1μmよりも長いか、10μmよりも長いか、50μmよりも長い。更にあるいは代替的に、共振器の長さは、50cmよりも短いか、15cmよりも短いか、10cmよりも短いか、1cmよりも短いか、10mmよりも短いか、1mmよりも短いか、500μmよりも短いか、200μmよりも短い。上記数値の任意の組み合わせも可能である。測定に望ましい共振器の長さにおけるばらつきは、少なくとも10nmか、100nmか、0.5μmか、10μmか、少なくとも50μmか、少なくとも100μmか、少なくとも0.5mmであってもよい。換言すると、この方法は、少なくとも10nmか、少なくとも10μmか、少なくとも50μmか、少なくとも100μmか、少なくとも0.5mmの空洞共振器の長さのばらつきを測定することができる。

【0029】

本発明に関する用語、帯域幅は、LEDなどから連続的に放出されるか、波長可変レーザなどから時間をかけて放出される波長または周波数の間隔を意味する。この説明を通して、帯域幅および波長可変範囲は区別なく使用される。換言すると、光源は、広い光学スペクトルにわたって光を生成する多色光源であってもよい。一例によると、光源は、測定すべき共振器における少なくとも3または少なくとも7の自由スペクトル領域に対応する帯域幅を放出する。

【0030】

本発明に関する用語、干渉数Iは、 $I = 2L / \lambda$ であり、共振波の次数を決定する。各共振器について、最低周波数を有する定常波に対応する基本周波数があり、倍音は基本周波数の倍数である。各共振器について、干渉数を推定できる所与の数値があり、これらの数値は推定干渉数と称することもできる。電磁波が端壁の一方で放出される2つの壁の

10

20

30

40

50

空洞共振器または共振器について、一般に2種類の共振があり、第1の種類は、共振波が式： $R_1 = 2L/N$ 、 $N = 1, 2, 3 \dots$ を満たし、第2の種類は、共振波が式： $R_2 = 4L/(2N - 1)$ 、 $N = 1, 2, 3 \dots$ を満たすものである。換言すると、第1の種類の共振器について、推定干渉数は、 $I = 2L/R_1 = N = 1, 2, 3$ と等しく、すなわち正の整数である。第2の種類の共振器について、推定干渉数は、 $I = 2L/R_2 = (2N - 1)/2 = 0.5, 1.5, 2.5$ と等しく、すなわち正の半整数である。基本周波数は最低干渉数を有し、第1の倍音は2番目に低い干渉数を有する。共振器の波長または周波数スペクトルが分析されると、通常、共振波長または共振周波数の一部のみがスペクトルの中心で識別される。特定の極大点または極小点の干渉数の概算に関わらず、空洞共振器の構成次第で、 $2L/R$ などを用いて計算し、その後に、この数値を最も近い推定干渉数に調整することができる。推定干渉数のグループは、共振器および電磁波源の構成に基づいて、理論上は算出することができる。代替的に、当業者は、非常に狭い帯域幅を有する既知の波長の電磁波を共振器内に放出し、そこから放出された電磁波の強度を分析することにより、光源の波長範囲の少なくとも一部について、特定の共振器の推定干渉数を算出することができ、この光源は後に長さの算出に使用される。そこから放出された強度は光源の帯域幅全体にわたって分析されてもよく、長さの算出に使用される。

【0031】

2つの連続した干渉波長 λ_1 と λ_2 が得られた場合、以下の計算式

$$\begin{cases} I\lambda_1 = 2L \\ (I+1)\lambda_2 = 2L \end{cases}$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 \quad (1)$$

$$\begin{cases} I = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \\ L = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_1 - \lambda_2)} \end{cases}$$

を用いて共振器長 L を概算することができ、 I は干渉数、 n は空洞内の屈折率、および L が空洞共振器か共振器の光学的距離である。

【0032】

本発明に関する用語、推定干渉数は、特定の空洞共振器に対して推定できる干渉数を意味する。上記のように、特定の空洞共振器に対する推定干渉数のグループは、空洞の壁に選択された材料、その反射性、更には空洞内の屈折率といった空洞の設計または空洞の特性によって規定される。より具体的には、推定干渉数のグループは、帯域幅や空洞内のカップリングといった光源の特性と組み合わせた空洞共振器の特性によって算出することができる。

【0033】

本明細書に関する用語、導波管は、電磁波源から共振器に放出された電磁波を送達することができるデバイスである。光学周波数に使用される導波管は、誘導体導波管、すなわち高誘導率、且つ高屈折率を有する誘導性材料の構造が好ましく、低誘導率の材料によって囲まれている。この構造は、全体の内部反射によって光波を誘導する。最も一般的な光学導波管は、光ファイバである。他の種類の光学導波管は、幾つかの異なる機構によって波を誘導するフォトニック結晶ファイバを含む。さらに、研磨された金属で作ることができ、あるいはプラグ反射によって光を誘導する複層フィルムで覆うこともできる、高反射の内面を有する中空管の形状をした導管を使用してもよい。管の周囲に全体的な内部反射によって光を反射する小さいプリズムを使用してもよい。導波管の端部は、共振器の壁に配置することができる。光ファイバを使用する場合、実質的に平坦な面が得られるよう

10

20

30

40

50

に、共振器の壁と同時に押しつけられてもよい。

【0034】

一例によると、導波管は光ファイバであり、共振器に面するファイバの端部にはG R I Nレンズが設けられる。これは、数センチの長さを有する長い共振器の測定に役立つ。

【0035】

本発明に関する長さ L は、通常、特定の波長に対する共振器などの光学的距離を意味する。この数値を幾何学的距離に変換するため、以下の式： $L() = L_{G E O} * n()$ 、を用いることができ、 L は光路長、 $L_{G E O}$ は対応する幾何学的距離、 n は波長に依存する共振器内の屈折率である。共振器長または幾何学的距離に基づいて、共振器に作用する圧力または緊張、共振器の温度、共振器内の屈折率といった、システムの更なる特性または物理的パラメータを算出することができる。10

【0036】

本発明に関する用語、分光計は、電磁スペクトルをデジタルスペクトルに変換することができる任意のデバイスを意味しており、これにより、周波数およびノーマルまたは波長に依存するような電磁波強度を測定することができる。分光計は、デジタルスペクトルを保持する記録手段を具えてもよい。分光計は、CCD検出器などが装備された回折格子ベースの分光計などであってもよいが、多くの他の種類の分光計も可能である。光学スペクトルをデジタルスペクトルに変換する場合、分光計は通常、光が記録されている間の所定のサンプル率を有する。換言すると、分光計の光学スペクトルは通常、光源からの平均スペクトルであり、サンプル間隔にわたって平均される。20

【0037】

共振器から受けたスペクトルは、好適には参照スペクトルと比較することにより、さらに好適には電磁波源の参照スペクトルと比較することにより、最適には共振器スペクトル S_r から参照スペクトルを引くことによって、有利に正規化される。これは、電磁波源のばらつきに左右される波長を補正することができるため、より正確な測定結果を得ることができるので有意である。より正確な測定結果を得るために、共振器内の屈折率と反射する共振器の壁の屈折率の差が小さいほど、既知の方法による参照スペクトルを使用することによってノイズや障害からスペクトルを明瞭にすることがより重要である。

【0038】

好適には、共振器からの記録されたスペクトルは、共振器長が算出される前にフーリエ変換される。これは、算出の精度を向上させるのに有利である。任意に、共振器長の算出は、パルスのような伝達されたスペクトルの共振部の位置の中心を算出するステップをえる。共振部の位置の中心を算出する関数の使用は一般に安定した方法であるため有意であり、標準の関数として利用可能である。30

【0039】

一実施形態によると、共振器からの記録されたスペクトルは、フーリエ変換が実行される前にまず周波数領域に提供される。これは、算出の精度が向上するため有意である。さらに、ハニング、ハミング、ブラックマンおよびゼロパディング法などの窓関数を用いて、算出の精度を更に向上させることができる。

【0040】

電磁波の帯域幅は、記録されたスペクトルが少なくとも2つの干渉最小点または少なくとも2つの干渉最大点を有し、より好適には干渉スペクトルが少なくとも5つの干渉最小点または少なくとも5つの干渉最大点を有るように選択されるのが好ましい。これは、空洞長さの算出の精度を向上させるため有意である。40

【0041】

一実施形態によると、第1および第2のマーク波長は、スペクトルの1つの最大点と1つの最小点、または2つの異なる最大点または2つの異なる最小点に対するマーク波長を算出することにより選択される。これは、空洞長さの算出の精度を向上させるため有意である。さらに、各干渉数は、空洞長さおよび第1または第2のマーク波長の数値の比を用いて算出される。代替的に、第1のマーク波長に対応する第1の干渉数のみが計算され、50

第2の干渉数は、マーク波長間の関係、すなわち第1のマーク波長と第2の波長の間のスペクトルにある最大点または最小点の数値に基づいて算出される。一実施形態によると、第2の共振器長は、独立クレームについてマーク波長について記載したのと同じステップを第2のマーク波長について実行することにより計算される。

【0042】

干渉数を計算する場合、空洞内の屈折率が光ファイバの屈折率と比較して高いか低いかが既知の場合と、屈折率が完全に分からぬ場合とで区別することができる。前者の場合、アルゴリズムまたは方法を、1、2、3...または0.5、1.5、2.5...といった、既知の干渉数に対応する推定干渉数の予め選択されたリストから、干渉数を選択するように構成することができる。後者の場合、アルゴリズムまたは方法を、リストと干渉数の双方を選択するように構成することができる。10

【0043】

代替的にまたは更に、実際の干渉数は、四捨五入など適切な数学的関数を用いて、最も近い推定干渉数、すなわち空洞共振器の特性に応じた整数または半整数まで、概算干渉数を近似させることにより算出することができる。

【0044】

さらに、整数の干渉数を有する空洞共振器および半整数の干渉数を有する空洞共振器の双方に使用できる、実際の干渉数を算出する一般的な方法も考えられる。この方法によると、実際の干渉数は、概算干渉数に最も近い総ての半整数および総ての整数の1つまで概算干渉数を近似させることによって算出される。換言すると、この方法は、干渉数の概算における誤差が0.25未満である必要がある。近似または補正は、総ての正の整数および半整数のリストの最も近い数字を選択する、あるいは上述のように、概算干渉数を四捨五入する数学関数を用いることによって実行できる。一例によると、多色光源が使用される、すなわち電磁波源は多色光を放出するように機能する。このような光源の例が、ハロゲンランプ、LED、SLEDまたは波長可変レーザである。空洞の長さに応じて、無線周波数、マイクロ波信号およびX線に基づく電磁波源を使用することもできる。光源は、好適には $3 c^2 / L$ のように選択され、 c は電磁波源の帯域幅または可変幅、 c は電磁波源の中心波長、 L は共振器の光学的距離である。電磁波源の強度は、実質的に c 以上であると有利である。一実施形態によると、共振器の幾何学的距離は、空気が空洞に充満した状態で $20 \mu m$ 乃至 $100 \mu m$ で変化し、 c は $830 nm$ であり、すなわち光源の帯域幅は好適には少なくとも少なくとも $3 * 0.83^2 / 20 = 100 nm$ である。2030

【0045】

一実施例によると、共振器内の共振波は、非偏光によって形成される。

【0046】

一例によると、光源は、波長可変レーザのようなスイープ光源である。好適には、導波管は光ファイバであり、光ファイバは一般に過酷な環境においても安定している。

【0047】

一実施形態によると、記録ユニットは、異なる波長における電磁波の強度を測定する分光計を具える。有意に、記録されたスペクトルの波長帯は $3 c^2 / L$ であり、40
は記録されたスペクトルの帯域幅、 c は記録されたスペクトルの中心波長、 L は共振器の光学的距離である。

【0048】

一例によると、共振器はワークヘッドユニットの第1および第2の面によって構成されており、このワークヘッドユニットは、分離可能な第1および第2の部分を具えるものが好ましく、第1の面は第1の部分の面であり、第2の面は第2の部分の面である。第1および第2の部分は、EP1, 849, 556において説明されるように、例えば、それぞれチャックやチャックに挿入するワークピースのホルダであってもよい。

【0049】

一例によると、共振器は光学共振器であり、共振器内で共振光波を形成することができ50

る。

【0050】

共振器内の媒介物は、ガラスまたはプラスチックのような固体、気体、液体、またはこれらの組み合わせであってもよく、この媒介物は小さい粒子を含んでもよい。換言すると、一実施例による共振器は、流体を含むように構成される。より具体的には、共振器内の媒介物は、EP1, 849, 556に記載されるような切削液であってもよい。一例によると、測定の精度をさらに向上させるためにほこりや微粒子から空洞を清掃するため、測定を実施する直前か定期的に空洞が洗い流される。空洞を清掃するのに適した液体の一例が、イソプロパノールを混合した水である。清掃は、EP1, 849, 556の参考番号11を有する孔を通じて実施することができる。

10

【0051】

本発明によるシステム、方法またはプログラムを較正する一般的な方法の1つは、通常使用される共振器の1つまたは幾つかを、既知の正確な測定長さを有するマスタ共振器と交換する方法である。マスタ共振器の長さは、本発明による方法を用いて測定される。その後、測定システムのパラメータが調整され、例えば、マスタ共振器の算出距離が予め算出された距離と対応するように較正要素を調整することができる。共振器の摩耗により、あるいは共振器の特性が変化しているため、較正が必要とされることがある。一例によると、毎回、機械に使用される切削液が第1の切削液から第2の切削液に変更され、マスタ共振器には第2の切削液が与えられ、マスタ共振器の長さが測定されて較正パラメータが必要に応じて調整される。

20

【0052】

基本的に、与えられた共振器およびその結果生じる電磁スペクトルについて、干渉数は、以下で更に詳しく説明するように、特定の数値を推定することのみできる。本質的に、本発明は、 L_{EST} などのパラメータに依存する干渉数の精度を向上させるために利用できる干渉数の性質の具現化に基づいている。従って、 L_{EST} など第1のパラメータの概算を用いることにより、干渉数 I_{EST} を計算し、計算された干渉数を一連の既知または所与の干渉数 I_{CORR} の最も近い数値と交換し、その後、新しい干渉数 I_{CORR} を用いて L_{EST} などの第1のパラメータを再計算するため、第1のパラメータ L_{EST} の算出の精度を向上させることができる。

【0053】

30

本発明のこれら及び他の態様は、本書に記載される実施形態を参照すると明らかであり、明瞭となるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0054】

以下の詳述では、図面に対して説明がなされている。

【図1】図1は、本発明による共振器の一例を概略的に図示している。

【図2a】図2aは、共振器からの波長スペクトルの一例を概略的に図示している。

【図2b】図2bは、図2aに示す波長スペクトルに対応する周波数スペクトルを概略的に図示している。

【図2c】図2cは、図2aに示す波長スペクトルのフーリエ変換を実行した後に生じるスペクトルを概略的に図示している。

40

【図3】図3は、共振器長を算出するために実行するステップの一例を示すブロック図である。

【図4】図4は、共振器を概略的に図示しており、光は光ファイバによって供給されている。

【図5】図5は、ワークヘッドにおける幾つかの組の表面間の距離を測定する光学的セットアップを概略的に図示している。

【発明を実施するための形態】

【0055】

図1は共振器の一例を示しており、その長さは、本書に記載の方法で測定することができます。

50

きる。光 L_{GS} が少なくとも瞬間的に、長さ L_{GE0} を有する共振器 10 内に放出され、この光は第 1 のスペクトル分布 S_{LS} を有する。図 1 に示す共振器は、第 1 の屈折率 n_1 を有し、第 1 および第 2 の端壁 2、3 の間に位置する第 1 の媒介物 1 から構成される。換言すると、この共振器は、互いに対面した 2 つの面 4、5 を有し、共振器内の光を反射する。この共振器はさらに、共振器から修正された光 R を放出する手段を具えており、この修正された光は、例として図 2 a に示す第 2 のスペクトル分布 S_R を有する。この例によると、電磁波は、共振器内に放出された方向と平行の方向に共振器から放出される。換言すると、電磁波は異なる壁、この例では 2 つの対向する壁すなわち互いに向かい側に配置された 2 つの壁において、共振器内に且つその外へと放出される。

【0056】

10

共振器から放出される電磁波の第 2 のスペクトル分布は、共振器の共振波長に対応する波長にピークを有する。共振器の共振波長は、端面の間の共振器の光学的距離 L によって算出される。

【0057】

この種類の共振器または空洞共振器について、干渉数が以下の表に記載される。

表1 推定干渉数

恒 常 の 媒 介 物 の 屈 折 率 の 比 較 の 規 則 の 基 本 的 な 性 質 の 概 要 の 解 説 の 中 で 示 さ れ た と 考 え ら れ る よ う に す べ て は 、 こ の 規 則 は 、 各 端 面 の 屈 折 率 が 、 端 面 4 、 5 の 間 の 媒 介 物 1 の 屈 折 率 と 比 較 す る こ と を 意 味 す る 。	第2の端面			
		金属	高屈折率	低屈折率
	金属	N	N	(2N-1)/2
	高屈折率	N	N	(2N-1)/2
	低屈折率	(2N-1)/2	(2N-1)/2	N

【0058】

上の表では、「金属」は、現在の波長の反射率に関して、共振器の各端面 4、5 が金属の性質を有することを意味する。「低屈折率」は、各端面の屈折率が、端面 4、5 間の媒介物 1 の屈折率と比較して低いことを意味する。「高屈折率」は、各端面 4、5 の屈折率が、端面間の媒介物 1 の屈折率と比較して高いことを意味する。

【0059】

20

一例によると、空洞内の媒介物 1 は空気 ($n_1 = 1.0$) であり、端面 4、5 は、高反射性の金属で作られる。この場合、共振波長は、 $\lambda_R = 2L/N$ 、 $N = 1, 2, 3, \dots$ であり、干渉数または推定干渉数は、 $I = 2L/\lambda_R = N = 1, 2, 3, \dots$ であり、すなわち整数である。

【0060】

他の例によると、空洞内の媒介物は、フリントガラス ($n_1 > 1.52$) のようなガラスであり、端面の一方は反射金属で作られ、他方はクラウンガラス ($n = 1.52$) で作られる。この場合、共振波長は、 $\lambda_R = 4L/(2N-1)$ 、 $N = 1, 2, 3, \dots$ であり、干渉数は、 $I = 2L/\lambda_R = (2N-1)/2 = 0.5, 1.5, 2.5, \dots$ であり、すなわち半整数ある。

【0061】

40

更に他の例によると、共振器は対称ファブリペロー、すなわち $r_1 = r_2$ であり、伝達された信号は：

$$|T(\lambda)|^2 = \frac{(1-R)^2}{(1-R)^2 - 4R \sin^2\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)} \quad (2)$$

のように表すことができ、 $r_1^2 = r_2^2 = R$ であり、 r_1, r_2 は第 1 および第 2 の面それぞれに対する反射性、 L は空洞長さ、 λ は波長である。この場合、表 1 における斜めのセルのみが重要であり、干渉数は常に整数となる。

【0062】

50

ある方法の第1のステップによると、推定干渉数のグループが、空洞共振器の特性により、式、 N または $(2N - 1) / 2$ により規定されるなどして算出される。その後、干渉数の第1の概算 L_{EST} が算出され、これは後に、推定干渉数のグループに含まれる最も近い数値に四捨五入される。

【0063】

共振器から放出された電磁波スペクトルは、記録手段に伝達され記録される。このスペクトルは、導波管によって伝達されるのが好ましい。既知の方法を用いて、記録された数値を提供するか、記録されたスペクトルから計算することにより、空洞長さの第1の概算 L_{EST} が算出される。一例によると、この概算は、干渉スペクトルの基本周波数を制限することにより計算される。これは、波長または周波数領域の何れかにおいて、記録されたスペクトルのフーリエ変換を実行することによってできる。一般に、スペクトルの周波数領域においてフーリエ変換を実行する方が、通常は精度が優れているため好ましい。
10 図2bは、周波数領域 $S_R(f)$ におけるスペクトルを図示しており、このスペクトルのフーリエ変換が図2cに見られる。フーリエスペクトルでは、2つのパルスを識別することができ、これらの最も左は光源の直流であり、他方はスペクトルの基本周波数 f_R に対応している。この共振周波数 f_R は、ピークの中心位置を明確にする数学的関数を用いて算出することができる。数学的関数の精度を高めるため、窓関数を用いてスペクトルを処理することもできる。一例によると、ゼロパディング技術が使用される。好適には、フーリエ変換されたスペクトルは少なくとも5つの干渉縞を有し、すなわち20乃至100μmの共振器長に対し、所望の縞の数に応じて、電磁波源の帯域幅が約50乃至100nmが好ましい。
20

【0064】

図3はステップの例を示しており、共振器の長さを測定するために実行することができる。第1のステップIaでは、記録された波長スペクトル S_R と空洞長さの第1の概算 L_{EST} が分析ユニットに提供される。別のステップIbでは、選択された異なる数のマーク波長 j が算出され、現在の数が $i = 1$ に設定される。第2のステップIIでは、スペクトルの共振波長に対応する第1のマーク波長 M_1 が選択されるか算出される。一般に、共振器長の計算に選択され使用されるマーク波長 j の数字が大きいほど、結果はより正確となる。
30 M_i は、波長または周波数領域の何れかを用いて、 S_R の山または局所最大点か最小点の位置を特定することにより算出することができる。代替的には、 L_{EST} を用いて、変曲点に近い位置を示す M の近似値を計算することができる。 M の近似値が算出されると、適合する放物曲線を含むアルゴリズムを用いて、曲線の最大または最小値を算出することができる。

【0065】

その後、第3のステップIIIでは、干渉数の第1の概算 I_{EST} は、 $2 * L / M$ の比を計算することで算出され、ステップIVでは、 I_{EST} の数値が、共振器の所与の性質によって規定され、上記の表に応じるように、最も近い推定干渉数に四捨五入されるか設定される。換言すると、共振器の特性に基づいて、第1の推定干渉数が算出されるか、推定干渉数のグループが提供され、その後、第1の干渉数 I_{EST} がこれらの干渉数の最も近い数値に四捨五入される。他の例によると、空洞内の媒介物(1)の屈折率は未知である。この場合、(現在の共振器に対応するが、屈折率からは独立する)総ての推定干渉数、すなわち半整数および整数の双方を含むグループに対応する干渉数が算出される。概算干渉数が半整数および整数の一方に非常に近似して提供されると、干渉数 I_{EST} はその最も近い数字に四捨五入または設定される。例えば、0.2未満で最も近い整数または半整数と異なる概算干渉数に対して、適切な干渉数 I_{CORR} は、干渉数を整数および半整数の最も近い数字に四捨五入することによって算出できる。換言すると、共振器の性質を予め知ることなく、改善された干渉数 I_{CORR} を割り出す事例がある。ステップVでは、空洞長さ L_{CORR} のより正確または適切な数値が、 $I_{CORR} * M / 2$ の積を算出する、換言すると $I_{CORR} * M / 2$ を算出することにより計算される。
40

【0066】

10

20

30

40

50

上記のステップVでは、計算式 $I_{EST} = 2 * L / M (= b * L / M)$ および $L_{CORR} = I_{CORR} * M / 2 (= I_{CORR} * M / b)$ が使用される。一実施形態によると、 b は両方の式に使用されているため、 I_{EST} を計算するの同じ数値が L_{CORR} の計算に使用される限り、すなわち、推定干渉数が適宜調整される限り、 b は 0 を除く任意の数値を有するように設定することができる。例えば、 $b = 1$ および $I = N / b = 1 / b$ 、 $2 / b$ 、 $3 / b$. . . 、または $I = N / (2 * b) = 1 / (2 * b)$ 、 $2 / (2 * b)$ 、 $3 / (2 * b)$. . . 、および I_{EST} はこれらの数値の 1 つに設定される。すなわち、干渉数を算出するため、 $L_{EST} / M = I_{EST}$ の比を計算し、共振器の構造によって 0.5、1、1.5、2 . . . または 0.25、0.5、0.75、1 を含むグループから最も近い I_{CORR} 数を選択し、 $I_{CORR} * M = L_{CORR}$ の積を計算することは十分である。10

【0067】

一実施形態によると、選択されるマーク波長の数字は 3、 $j = 3$ に設定され、スペクトルの 3 つの連続する最大点または最小点 M_1 、 M_2 、 M_3 が算出される。これらの波長それについて、 $I_{EST_i} = 2 * L_{EST} / M_i$ 、 $i = 1, 2, 3$ の関係を用いて、 I_{EST_i} の対応する数値が算出される。 I_{EST_i} の各数値について、 I_{CORR_i} 、および L_{CORR_i} の数値が上述のように算出される。その後、異なる波長による屈折率のばらつきを調整することで、 L_{CORR} の平均値が L_{CORR_i} に基づいて計算される。一例によると、 $L_{GEO_i} = n * M_i$ が各 M_i について計算され、その後、 L_{GEO_i} に基づいて L_{GEO} の平均値が計算される。20

【0068】

代替的に、 I_{EST} および I_{CORR} の一方の数値のみが計算される。その後に、 I_{CORR} のさらに 2 つの数値が共振器の性質の情報に基づいて算出される。換言すると、 $I_{CORR_1} = 34$ の場合、 I_{CORR_2} および I_{CORR_3} はそれぞれ 33 乃至 35 となる。その後、 M_{21} および M_3 に対応する S_R の変曲点が算出される。最後に、 $I_{CORR_i} * M_i / 2$ 、 $i = 1, 2, 3$ に基づいて L_{CORR_i} が算出され、 L の平均値が上述のように計算される。

【0069】

他の例によると、光が同一の反射面 1 において共振器内およびその外に放出されることを除き、共振器は上述のように構成される。共振器の長さは上述したのと同じ方法で算出される。入口面に関する放射に対して出口面の位置を変更すると、殆どの場合、異なるセットの推定干渉数となることに注目されたい。30

【0070】

図 4 は共振器の一例の概略図であり、空洞内に放射する入口面 4 が出口面 4 と同一であることを除き、図 1 について記載されたように構成される。特定の例によると、共振器は、光ファイバ 10 が配置された第 1 の端面 4 と、金属の第 2 の端面 5 を具えている。第 1 の端面 4 は共振器内の空気 ($n = 1$) と光ファイバ ($n = 1.46$) の間のインターフェースであり、この面の反射性は r_1 で表される。第 2 の端面は、共振器内の空気と金属の面の間のインターフェースであり、この面の反射性は r_2 である。干渉計内に入る光は $NA = 0.13$ を有する平坦なファイバ面を起点とするため、干渉計内を移動する光は平行ではない。第 1 および第 2 の端部のインターフェース間の距離が、共振器長 L を示す。40

【0071】

この構成を有する空洞共振器について、推定干渉数は、屈折率が光ファイバの屈折率よりも高い場合に正の整数であり、屈折率が光ファイバの屈折率よりも低い場合に正の半整数である。

【0072】

この例について、反射した電界強度は、

$$R(\lambda) = \frac{r_1 - r_2 e^{-j\frac{4\pi L}{\lambda}}}{1 - r_1 r_2 e^{-j\frac{4\pi L}{\lambda}}} \quad (3)$$

に対応し、Lは共振器の光学的距離、 r_1 および r_2 は上述のような反射性、 λ は光学的距離が測定される波長である。これは、反射強度：

$$|R(\lambda)|^2 = \frac{(r_1 + r_2)^2 - 4r_1 r_2 \cos^2\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)}{(1 + r_1 r_2)^2 - 4r_1 r_2 \cos^2\left(\frac{2\pi L}{\lambda}\right)} \quad (4)$$

10

に対応する。

【0073】

この式から、空洞の長さの概算 L_{EST} を計算することができる。

【0074】

上記式は、変調度：

$$A = \frac{4r_1 r_2 (1 - r_1^2)(1 - r_2^2)}{(1 - r_1^2 r_2^2)^2} \quad (5)$$

に対応する。

20

【0075】

式(5)から r_2 は1/30.58よりも大きいことを証明することができ、 r_1 の数値から独立して最大変調度が得られる。しかしながら、たとえ変調度が最大化されなくとも、この方法を用いることができる。

【0076】

一実施形態によると、ワークヘッドの共振器は2つの壁(4、5)を具えており、加工用具で面の一方への直接的または間接的な圧力を高めることにより、その間の距離は調整可能である。これらの側壁は実質的に平行が好ましく、反射性材料で作られる。これらの面の間の瞬間的な距離を測定することにより、ツールの圧力を測定することができる。光学導波管は光ファイバなどであり、その端部は端面の一方に設けられ、好適には共振器内の反射する壁面と実質的に同一の平面に設けられる。換言すると、この構成では、光ファイバの面は共振器の壁の一方に設けられ、光が反射される面の一方である。更に換言すると、共振器の端面は、この場合では金属とガラスといった、2以上の異なる材料を具えることもできる。この実施形態では、光ファイバは、光源から共振器に光を伝達し、共振器から記録手段に光または修正されたスペクトルを伝達することの双方に使用されが好ましい。

30

【0077】

図5は本発明の一実施形態を図示しており、ワークヘッドに具えられた幾つかの共振器を有している。一方のファイバの端部を他方に連結するため、図中の一組の四角形は、APC(angled physical contacts)などの端子を図示している。このシステムは、SLED200に動力を供給する電源を具えている。この電源は、動力供給ユニット100とドライバ101を具える。光源またはSLEDの下流には、任意の光学アイソレータ300があり、その後に任意のビームスプリッタ350がある。SLEDから放出された光は、共振器400の途中でビームスプリッタ350を通過する前に、アイソレータ300に受信される。ビームスプリッタ350からの一方の光路370は共振器400に誘導され、他方の380は、第2の光路からの反射が測定に干渉しないように、システムから吸収または伝達されるのが好ましい。共振器400は、EP1, 849, 556に記載されるように構成される。好適には、光ファイバ410はワークヘッド600に恒久的に配置され、それぞれAPC端子などの端子412が配置され、これにより、ビームスプリッタ350からワークヘッド600の対応する光ファイバ端子412に光を供

40

50

給する手段によって、光源 200 からの光が容易に特定の共振器 400 に連結される。このシステムはさらに、システムの較正または検査用に、超安定ファブリペロー空洞共振器などの任意の参照共振器 500 を具えてもよい。参照共振器を用いて、システムの安定性などを測定することもできる。点線は、ビームスプリッタ 350 と光源 200 を光学的に連結する光ファイバ 360 を示しており、参照共振器 500 とワークヘッド共振器 400 の何れかを一度に連結することもできる。代替的に、光は幾つかの共振器 400 内に同時に放出することができ、この測定システムは、各空洞共振器 400 から放出された光を分離する手段を具え、これにより、記録手段によって別個のものとして記録することができる。

【0078】

10

光がワークヘッド 600 の共振器 400 内を反射した後、光ファイバ 410、360 を介してビームスプリッタ 350 に戻り、その後、CCD アレイを用いる回折格子ベースの分光計などの、好適には測定したスペクトル試料を保存する記録手段を具える分光器または干渉計 700 に戻る。記録手段は、別個のプロセスユニットに配置することもできる。干渉計 700 のサンプルリング周波数は、瞬間的または瞬時の共振器長 L を平均する時間を決定する要素の 1 つである。換言すると、測定された共振器長 L または L_{GE0} は、1 のサンプリング時間中に平均された長さに対応する。

【0079】

記録されたスペクトルは、その後、コンピュータまたは論理回路といった計算手段 800 に提供され、上述の方法により、スペクトルに基づく共振器の光学的距離 L を測定する。一例によると、オーシャンオプティックス社の分光計 HR 4000 が使用される。

20

【0080】

上記の干渉数は、実質的に平行な端面を有する水平共振器について算出されてきたが、この干渉数は、任意の共振器について算出することができ、その後に共振器の光学的距離を上述の方法で算出することができる。その後、幾何学的長さも計算することができる。

【0081】

測定原理がフライス盤などについて部分的に記載されているとしても、適切な電磁波源が選択される限り；電磁波源からの共振波が導波管と物体表面の間に形成されるように、導波管が物体表面に対して配置されてその距離が測定され；共振波から生じるスペクトルの適切な部分が上述のように記録されると理解すべきであり、共振器長、または導波管と物体表面間の距離を算出する本書に示すような方法は、特定の技術分野に限定されない。換言すると、本書に記載の方法およびシステムは、一般的な距離測定センサとして使用することができる。

30

【0082】

上述の状態が与えられた当該技術分野における当業者は、適切な電磁波源、干渉計および記録手段またはレコーダを選択することができるであろう。当業者はさらに、本発明は好適な上述の実施形態に決して限定されるものではないと理解するであろう。逆に、多くの改変および変更が、添付された特許請求の範囲内で可能である。例えば、周波数スイープレーザを SLED の代わりに使用してもよく、閉鎖型の金属導波管を光ファイバの代わりに使用してもよく、デジタルスペクトルを分析ユニットに伝達するために無線通信を使用してもよい。

40

【0083】

特許請求の範囲では、用語「具えている」は、他の要素またはステップを排除せず、「単数形の表現」は複数形を排除はしない。1つのプロセッサまたは他のユニットが、特許請求の範囲に列挙された幾つかの項目の機能を実現してもよい。特定の測定法が異なる従属クレームにおいて双方に記載されているという事実は、これらの測定法の組合せを利用して利を得ることができないことを示すものではない。コンピュータプログラムは、他のハードウェアと共に、あるいはその一部として供給される光学記憶メディアまたは固体メディアといった適切なメディアに記録および／または分配されてもよいが、インターネットまたは他の有線か無線の通信システムを介するなどして、他の形態で分配することもで

50

きる。特許請求の範囲における任意の引用符号は、範囲を制限するものとして解釈すべきではない。

【図1】

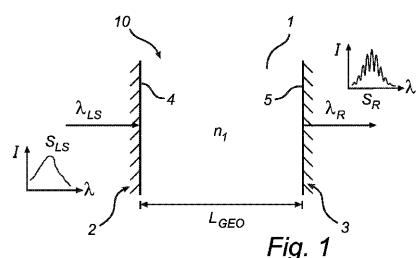


Fig. 1

【図2】

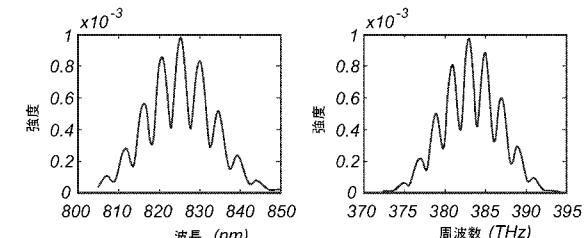


Fig. 2a

Fig. 2b

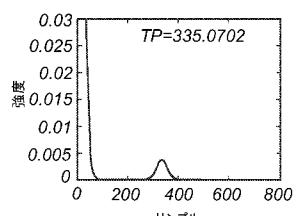


Fig. 2c

【図3】

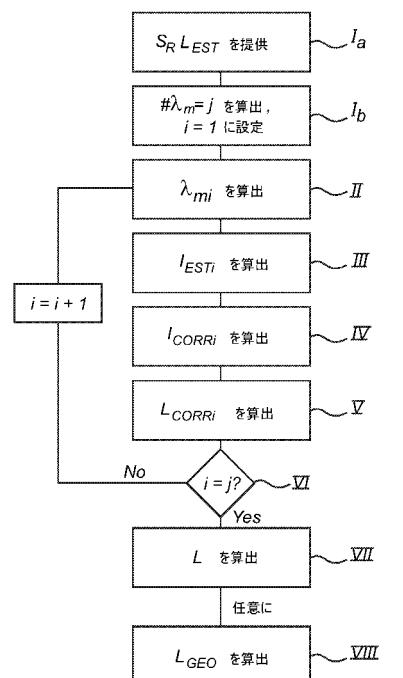


Fig. 3

【図4】

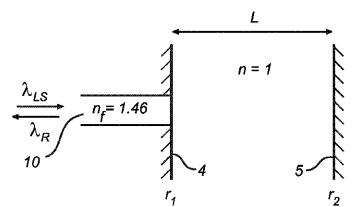


Fig. 4

【図5】

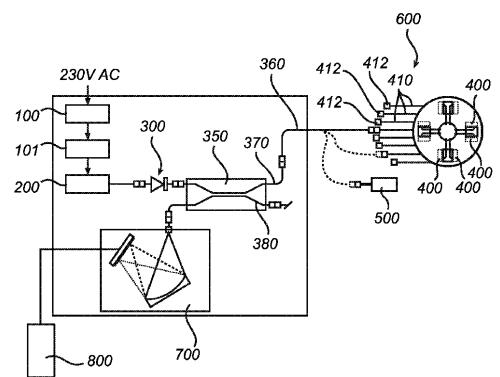


Fig. 5

フロントページの続き

(72)発明者 ユーブシェーバカ , アンダース

スウェーデン王国 ソルナ エス - 169 30 , ヴィレベルグスヴェーゲン 20

(72)発明者 ダルキスト , ホーカン

スウェーデン王国 ヘッセルビー エス - 165 72 , リンダウスヴェグ 8

審査官 長井 真一

(56)参考文献 米国特許出願公開第2007/0086018(US, A1)

米国特許第06078706(US, A)

米国特許出願公開第2005/0046862(US, A1)

国際公開第2007/124809(WO, A1)

特開平11-083457(JP, A)

特開2006-084370(JP, A)

Egorov Sergey A et al, Spectrally Encode Fiber-Optic Sensors Based on Fabry-Perot Interferometer , 8th Meeting on Optical Engineering in Israel , 1992年12月14日 , Vol . 1972 , 362-369

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G01B9/02、11/00 - 11/30