

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2006-517669

(P2006-517669A)

(43) 公表日 平成18年7月27日(2006.7.27)

(51) Int. Cl.		F I		テーマコード (参考)	
GO 1 J	3/45	(2006.01)	GO 1 J	3/45	2 F 0 6 4
GO 1 B	9/02	(2006.01)	GO 1 B	9/02	2 G 0 2 0
GO 1 J	3/44	(2006.01)	GO 1 J	3/44	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2006-503028 (P2006-503028)
 (86) (22) 出願日 平成16年1月26日 (2004. 1. 26)
 (85) 翻訳文提出日 平成17年9月13日 (2005. 9. 13)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2004/002118
 (87) 国際公開番号 W02004/068184
 (87) 国際公開日 平成16年8月12日 (2004. 8. 12)
 (31) 優先権主張番号 60/443, 294
 (32) 優先日 平成15年1月29日 (2003. 1. 29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (31) 優先権主張番号 10/763, 982
 (32) 優先日 平成16年1月23日 (2004. 1. 23)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

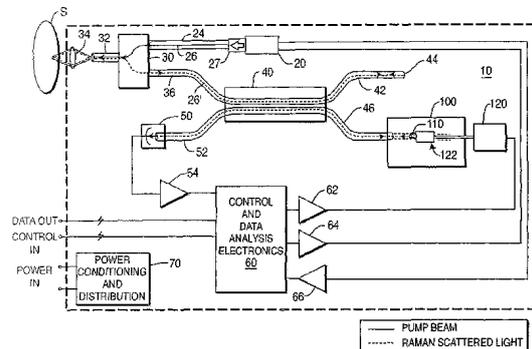
(71) 出願人 599134012
 サーフ・コーポレーション
 アメリカ合衆国, ニュー ジャージー州,
 プリンストン, シーエヌ 5300 ワシ
 ントン ロード 201
 (74) 代理人 100094318
 弁理士 山田 行一
 (74) 代理人 100123995
 弁理士 野田 雅一
 (72) 発明者 チャン, ウィンストン, コン
 アメリカ合衆国, ニュー ジャージー州
 , プリンストン, リンデン レン
 117

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 走査ミラーを有する干渉計

(57) 【要約】

走査可能ミラー(100, 110)を含んでいる機器(10)は、マルチモード光ファイバ(24, 32, 36, 42, 46, 52)と光結合器(40)とを採用している。例えばマルチモード光ファイバ(24, 32, 36, 42, 46, 52)からのモード分散が、逆畳込みを使用する方法(200)によって低減される。走査可能ミラー(100, 110, 44, 144)は、光導波管(104)の中で動くことのできるミラー(110)、又は、膨張可能なコア(124, 124a, 124b)に巻かれている光ファイバ(42, 46)を採用することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

干渉法を実行する機器であって、

マルチモード光ファイバの第 1 の長さ部分及びマルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分と、

前記マルチモード光ファイバの第 1 の長さ部分及び前記マルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分のそれぞれの第 1 の端部への光、及び、前記マルチモード光ファイバの第 1 の長さ部分及び前記マルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分のそれぞれの第 1 の端部からの光、を結合する光結合器と、

前記第 1 のマルチモード光ファイバの第 2 の端部における第 1 のミラーであって、前記第 2 の端部における光を反射する、前記第 1 のミラーと、 10

前記第 2 のマルチモード光ファイバの第 2 の端部における第 2 のミラーであって、前記第 2 の端部における光を反射する、前記第 2 のミラーと、

前記走査可能ミラーを走査する手段と、

前記光結合器に結合されている検出器であって、前記第 1 のミラー及び前記第 2 のミラーから反射された前記光の少なくとも一部を受信し、前記反射された光の少なくとも一部を表す出力信号を生成する、前記検出器と、

前記検出器に結合されているプロセッサであって、前記出力信号のモード分散の影響を低減する、前記プロセッサと、
を備えており、 20

少なくとも前記第 1 のミラーが走査可能ミラーであり、

前記第 1 のマルチモード光ファイバ及び前記第 2 のマルチモード光ファイバによって、これらの光ファイバにおいて光のモード分散が起こり、前記検出器によって生成される前記出力信号にモード分散の影響が存在する、機器。

【請求項 2】

分光法を実行する機器であって、

試料を光で照らすレーザーと、

前記試料から反射された光、又は前記試料を通過した光を受信する、マルチモード光ファイバの第 1 の長さ部分と、

マルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分及びマルチモード光ファイバの第 3 の長さ部分と、 30

前記マルチモード光ファイバの第 1 の長さ部分からの光を受信し、前記マルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分及び前記マルチモード光ファイバの第 3 の長さ部分のそれぞれの第 1 の端部への光、及び、前記マルチモード光ファイバの第 2 の長さ部分及び前記マルチモード光ファイバの第 3 の長さ部分のそれぞれの第 1 の端部からの光、を結合する、光結合器と、

前記第 2 のマルチモード光ファイバの第 2 の端部における第 1 のミラーであって、前記第 2 の端部における光を反射する、前記第 1 のミラーと、

前記第 3 のマルチモード光ファイバの第 2 の端部における第 2 のミラーであって、前記第 2 の端部における光を反射する、前記第 2 のミラーと、 40

前記走査可能ミラーを走査する手段と、

前記光結合器に結合されている検出器であって、前記第 1 のミラー及び前記第 2 のミラーから反射された光の少なくとも一部を受信し、前記反射された光を表す出力信号を生成する、前記検出器と、

前記検出器に結合されているプロセッサであって、前記出力信号のモード分散の影響を低減する、前記プロセッサと、
を備えており、

少なくとも前記第 1 のミラーが、走査可能ミラーであり、

前記第 1 のマルチモード光ファイバと、前記第 2 のマルチモード光ファイバと、前記第 3 のマルチモード光ファイバとによって、これらの光ファイバにおいて光のモード分散が 50

起こり、前記検出器によって生成される前記出力信号にモード分散の影響が存在する、機器。

【請求項 3】

走査する前記手段が、

(1) 液体によって満たされている光導波管の中で動くことができ、且つ前記第 1 のミラーを担持している部材、及び、前記液体によって満たされている光導波管の中で前記部材を動かすモーター、

(2) 前記第 2 のマルチモード光ファイバが周りに巻かれている、膨張可能且つ収縮可能なコア、

の両方(1及び2)、又はいずれか一方(1又は2)、を備えている、請求項 1 又は 2 に記載の機器。

10

【請求項 4】

前記部材が、磁性体若しくは強磁性体、又はその両方を含んでおり、且つ、前記モーターが、前記液体によって満たされている光導波管に隣接する、長手方向に動くことができる磁石を含んでいる、

又は、

前記モーターが、前記液体によって満たされている光導波管に沿って相隔てられている複数の電極を有する静電モーターであり、且つ、前記部材が誘電体であり、且つ、相隔てられている複数の電極を含んでいる、請求項 3 に記載の機器。

【請求項 5】

20

前記膨張可能且つ収縮可能なコアが、熱膨張可能材料、圧電材料、電歪材料、のうちの少なくとも 1 つを含んでおり、

前記コアに電気信号を供給することによって前記コアの圧電材料若しくは電歪材料、又はその両方を膨張及び収縮させること、若しくは、前記コアに隣接する加熱要素に電気信号を供給することによって前記コアの前記熱膨張可能材料を膨張及び収縮させること、又はその両方、を目的とする、手段を更に備えている、請求項 3 に記載の機器。

【請求項 6】

前記第 1 のミラーと前記第 2 のミラーの両方が走査可能ミラーであり、且つ、走査する前記手段が前記第 1 のミラーと前記第 2 のミラーを逆方向に走査する、請求項 1 又は 2 に記載の機器。

30

【請求項 7】

光機器の少なくとも 1 つのマルチモード光素子に起因する、光機器におけるモード分散の影響を低減する方法であって、

実質的に単色の光源を供給するステップと、

前記実質的に単色の光に応答するスペクトルデータを検出するステップであって、前記スペクトルデータがモード分散の影響を含んでいる、前記ステップと、

前記実質的に単色の光に応答する応答関数を検出するステップであって、前記応答関数がモード分散の影響を含んでいる、前記ステップと、

前記スペクトルデータと前記応答関数とを畳み込んで、モード分散の影響が低減されている、逆畳み込みが行われたスペクトルデータを生成するステップと、
を含んでいる、方法。

40

【請求項 8】

光源を供給する前記ステップが、

スペクトルデータを検出する前記ステップと、応答関数を検出する前記ステップとを目的として、第 1 の波長における実質的に単色の光を供給するステップと、

スペクトルデータを検出する前記ステップを目的として、第 1 の波長における実質的に単色の光を供給し、且つ、応答関数を検出する前記ステップを目的として、第 2 の波長における実質的に単色の光を供給する、ステップと、

を含んでいる、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

50

応答関数を検出する前記ステップが、

前記スペクトルデータを畳み込み、前記畳み込まれたスペクトルデータに低域フィルタリングを実行することによって、前記スペクトルデータから前記応答関数を取り出すステップ、

を含んでいる、請求項7に記載の方法。

【請求項10】

前記畳み込むステップが、前記スペクトルデータと前記応答関数の一方を他方で除算し、前記除算されたスペクトルデータ及び応答関数にフーリエ変換を行うステップを含んでいる、若しくは、

前記応答関数を検出する前記ステップが、前記実質的に単色の光にตอบสนองする前記スペクトルデータにフーリエ変換を行い、前記変換されたスペクトルデータに低域フィルタリングを実行し、前記変換されてフィルタリングが実行されたスペクトルデータに逆フーリエ変換を実行するステップ、を含んでいる、

10

又はその両方である、請求項7に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

【0001】

本発明は、干渉計に関し、特に、走査ミラーを有する干渉計に関する。

【0002】

光学分光法は、分子を検出及び識別する、感度が高く選択的な方法である。この方法は、短時間で実施することができ、試料の前処理の必要がほとんどないか、又はまったくなく、リアルタイムで継続的に監視を行うことができる。光学分光法には多くの用途があり、例えば、化学物質及び生体物質の検出、人の代謝状態の判定、飲料水の純度の監視、その他の分析用途である。公知の光波コヒーレンス干渉法 (optical coherence interferometry) は、小さな距離 (例えば約1mm以下) を前後に高速に (例えば30~100Hzにて) 走査するミラーを利用するが、小型機器において使用することができない。光学分光法は、その能力にもかかわらず広くは使用されおらず、なぜなら、有用な解像度を持つ分光計は実験室用機器であり、このような機器を現場に持ち込む場合など、非制御環境 (uncontrolled environments) で利用するには、大きすぎ、壊れやすく、且つ振動の影響を受けすぎるためである。更に、低温冷却型の検出器がしばしば必要となり、このことは実験室の外で使用するうえで問題である。

20

30

【0003】

この結果として、分子を検出、識別するそれ以外の方法及び機器として、代表的には、イオンモビリティ分光法、弾性表面波感知、ガスクロマトグラフィなどが、代わりに利用されている。これらの方法及び機器には、例えば、弾性表面波センサーに適切な表面コーティングが要求されるなど、それぞれ制限と欠点とがある。現場に配備できる光学分光計が利用できるならば、分析ツールの1つに加えられ、非制御環境において化学物質を識別及び監視する能力が大幅に高まるであろう。

【0004】

シングルモード光ファイバ素子を使用する干渉型ラマン分光測定法が提案されており、例えば、H. I. Heatonの「ファイバ導波管を使用する干渉型ラマン分光測定法 (Interferometric Raman Spectrometry with Fiber Waveguides)」(Applied Optics, Vol. 36, No. 27, 1997年9月20日, p. 6739~6750)を参照。しかしながら、シングルモード光ファイバは、マルチモード光ファイバよりも高価であり、且つ物理的影響を受けやすく、提案されている機器は、まだ実用的ではないと報告されている。実験室グレードのシステム用としては、走査の線形性と再現性の問題が報告されている (上記文献のp. 6749)。更に、シングルモード光ファイバを使用する場合、マルチモード光ファイバに起因するモード分散及びその影響が回避される。モード分散は、測定する試

40

50

料の処理後のスペクトルを劣化させる (d e g r a d e) 傾向にある。

【 0 0 0 5 】

従って、頑丈であり、十分に小型で携帯することができ、且つスペクトル分解能が高い光学分光計のニーズが存在する。また、そのような分光計は、スペクトル分解能、波長範囲、及び処理能力において、市販されている公知の携帯型分光計を上回ることも望まれるであろう。

【 0 0 0 6 】

従って、中程度の精度を有する小型の機器若しくは携帯型機器、又はその両方に実装するのに適する正確な分光計若しくは干渉計、又はその両方のニーズが存在する。

【 0 0 0 7 】

これを目的として、本発明の機器は、マルチモード光ファイバの第1の長さ部分及びマルチモード光ファイバの第2の長さ部分と、マルチモード光ファイバの第1の長さ部分及びマルチモード光ファイバの第2の長さ部分への光、及び、マルチモード光ファイバの第1の長さ部分及びマルチモード光ファイバの第2の長さ部分からの光、を結合する光結合器、とを備えている。第1のマルチモード光ファイバの第2の端部における第1のミラーは、そこへの光を反射し、第2のマルチモード光ファイバの第2の端部における第2のミラーは、そこへの光を反射する。少なくとも第1のミラーは、走査可能である。光結合器に結合されている検出器は、第1のミラー及び第2のミラーから反射される光の少なくとも一部を受信して出力信号を生成し、検出器に結合されているプロセッサが、出力信号のモード分散の影響を低減させる。

10

20

【 0 0 0 8 】

更なる側面によると、本発明の方法は、

実質的に単色の光源を供給するステップと、

実質的に単色の光に応答するスペクトルデータを検出するステップであって、スペクトルデータがモード分散の影響を含んでいる、ステップと、

実質的に単色の光に応答する応答関数を検出するステップであって、応答関数がモード分散の影響を含んでいる、ステップと、

逆畳込みが行われたスペクトルデータを生成する目的で、スペクトルデータと応答関数とを畳み込むステップであって、逆畳込みが行われたスペクトルデータにおいて、モード分散の影響が低減されている、ステップと、

30

を含んでいる。

【 0 0 0 9 】

本発明の好ましい実施形態の詳細な説明は、図面を参照しながら読み進めることによって、より容易且つ深く理解されるであろう。

【 0 0 1 0 】

図面において、1つの要素又は特徴を複数の図面に描く場合、各図におけるそのような要素又は特徴は、同一の英数字表記を使用して表してある。また、密接に関連する要素、或いは変更されている要素を図に示す場合、そのような変更されている要素又は特徴は、同じ英数字表記に「 a 」又は「 b 」などの添え字を付して表してある。なお、一般的な慣例に従い、図面上の様々な特徴は実際の縮尺とは異なり、様々な特徴の寸法は、図を見やすくする目的で任意に拡大又は縮小してある。

40

【 0 0 1 1 】

フーリエ変換分光法は、化合物の吸収スペクトル及びラマンスペクトルを取得するための強力な方法である。分散型の分光法と比較すると、一連の検出器ではなく単一の検出器が使用される、小さなスペクトル帯域ではなく入射光全体が同時に検出される、空間フィルタリングなしにスペクトル分解能が高い、スペクトル分解能を容易に調整することができる、といった利点がある。これらのうち2番目と3番目の利点によって、入射光が効率的に使用されるため、分光計の信号対雑音比が大幅に高まる傾向にある。

【 0 0 1 2 】

赤外吸収分光法とラマン分光法は、互いに関連する分光手法であり、分子構造に関して

50

極めて類似する情報が得られる。いずれの方法も、約 $500 \sim 5000 \text{ cm}^{-1}$ (すなわち約 $2 \sim 20 \mu\text{m}$ の波長) から分子の振動数を求める。本発明は、赤外吸収分光法とラマン分光法の両方と、それ以外の分光法とに採用することができるが、発明者は、ラマン分光法は、小型の、更には超小型のラマン分光計を実用的なものとするいくつかの特徴を備えていると認識しており、これらを以下に示す。

(1) ラマン分光法の光源は、赤外分光法におけるような広帯域赤外光源ではなく、単一の平行励起レーザー 20 である。

(2) ラマン分光法の信号は、励起レーザー波長を囲む比較的狭い光帯域内である。

(3) ラマン分光法は、冷却 (例: 低温冷却) が必要な、或いは検出感度の低い、中赤外線又は遠赤外線検出器を必要としないで、室温シリコン検出器 50 を使用して行うことができる。

(4) ラマン分光法の信号は、強度 0 のバックグラウンドから、濃度が増すにつれて増大するのに対して、赤外吸収分光法の信号は、照度に関連する大きな強度のバックグラウンドから、濃度が増すにつれて減少する。

(5) ラマン分光法では、例えば、背景からのショット雑音小さいことや、試料、特に、水分含有量の高い生体試料中の水からの干渉の影響を受けにくいなどの理由により、低濃度の検出が容易である。

これらの特性を利用することにより、携帯型機器に望まれることとして、分光計の大きさ若しくは電力消費量、又はその両方を低減させることができる。

【0013】

大きさを更に低減させるため、実験室の分光計においては通常は格子である光分散素子が、フーリエ変換ラマン分光法を実行するためのマイケルソン干渉計において走査ミラー 100 に置き換えられている。フーリエ変換分光計 10 においては、光の強度は、干渉計の 1 本のアーム内のミラー 100 が前後に走査されるときに時間の関数として測定される。この信号を数値的にフーリエ変換し、スペクトルを得る。変換分光法は、信号対雑音比に関して本質的に有利であり、このことは、小型、携帯型、又は小型携帯型の機器にとって都合がよい。すべての波長が単一の検出器によって同時に測定されることにおいて、多重化の利点を得られ、光の一部を遮るためのスリットを使用することなくスペクトル分解能を高めることができることにおいて、処理能力の利点を得られる。

【0014】

図 1 は、本発明による干渉計と走査ミラーとを含んでいる分光計 10 の例示的实施形態の概略ブロック図である。分光計 10 は、ラマン型の干渉計であり、レーザー 20 によって生成された光が試料 S に当たり、そこからのラマン散乱光のスペクトルを検出して (50) 分析する。分光計 10 は、走査型マイケルソン干渉計を含んでいる。光ファイバ結合器 40 は、試料 S からの光ビームの一部を固定ミラー 44 に結合し、別の一部を走査ミラー 100, 110 に結合する。分光計 10 は、本発明による走査型ミラー 100, 110 を採用しており、試料 S からの光のスペクトルの分析 (フーリエ変換を含む) を実行する。

【0015】

ラマン励起用の光源は、ダイオードレーザー 20 である。ラマン分光法の波長は重要ではなく、試料による吸光や利用できる出力などの要因によって決定される。これらを考慮する結果として、ラマン励起レーザーダイオードは、スペクトルの近赤外領域においてしばしば使用される。分解能を高めるためには、レーザー 20 は、単一波長 (例: $800 \sim 900 \text{ nm}$) にて動作する分布帰還型 (DFB) レーザーとする必要がある。レーザー背面モニター (laser back facet monitor) 66 からの出力信号は、レーザー 20 を制御する目的で制御・データ分析エレクトロニクス 60 によって使用することができる。レーザー 20 の光出力 26 は、光アイソレータ 22 を介して光ファイバ 24 に結合されており、光ファイバ 24 において、光出力 26 は、光サーキュレータ 30 又は波長分割マルチプレクサー 30 と、検出光ファイバ 32 の端部とに導かれる。

【0016】

10

20

30

40

50

レンズ34は、励起光26が光ファイバ32を離れるときに励起光26を試料Sに結像させ、この場合、試料Sはレンズ34の焦点に位置していることが好ましい。ラマン光の光帯域は狭いため、レンズ34の色収差は無視することができ、同じレンズが、ラマン散乱光26'を集めて光ファイバ32に逆方向に結合する。収集効率は、イメージ(試料S)側におけるレンズ34による立体角によって決まる。レンズ34は、光ファイバグレーデッドインデックス(optical fiber graded index)(GRIN)レンズとすることができる。

【0017】

励起光26とラマン散乱光26'とが同じ経路をたどるため、ラマン散乱光26'は必ず集められる。レンズ34の光軸がずれていると、試料Sにおける励起光26の強度が減少するが、ラマン散乱光26'は依然として集められる。集められたラマン光26'と、励起光26のうち試料Sによってレイリー散乱したか又は反射した光は、サーキュレータ又は波長分割マルチプレクサー30によって、光ファイバ36を通じて干渉計の走査ミラー100に導かれる。干渉計10に導かれた励起光26は、ファイバ導波管応答関数を求める目的に利用され、ラマン散乱光26'には、試料Sに関する化学的情報が含まれている。

10

【0018】

反射光26'の一部は、結合器40によって光ファイバ42を通じて固定ミラー44に結合され且つ固定ミラー44から結合されており、反射光26'の別の一部は、結合器40によって光ファイバ46を通じて走査可能ミラー又は走査ミラー100に結合され且つ走査可能ミラー又は走査ミラー100から結合されている。信号を最大にするためには、結合器40は、ミラー44への光ファイバ42と、ミラー100への光ファイバ46との間で、光26'を均等に分割すべきである。固定ミラー44によって反射された光は、走査ミラー100によって反射された光と干渉し、結合器40と光ファイバ52とによって検出器50に結合される。反射光26'が結合器40と固定ミラー44との間を進む距離と、結合器40と走査ミラー100との間を進む距離との様々な相対的な差によって、結合器40の中で干渉が起こり、光ファイバ52を通じて検出器50に結合される。検出器50は、例えばシリコン検出器であり、そこに当たる光を電気信号に変換する。この電気信号は、前置増幅器54によって増幅され、制御・データ分析エレクトロニクス60に送られる。エレクトロニクス60は、後から説明するように電気信号を分析し、試料Sの特性を求める。固定ミラー44と、可動ロッド112のミラー端面110のいずれも研磨されており、高反射率のオプティカルコーティング(例:アルミニウム、銀、金などの金属コーティング)によってコーティングされている。

20

30

【0019】

図1のマイケルソン干渉計は、マルチモード光ファイバ若しくは導波管、又はその両方24, 32, 36, 42, 46, 52と、3dBファイバ結合器40とを採用していることが好ましい。結果のスペクトルの分解能は、走査可能ミラー110の走査範囲によって決まり、走査範囲が長いほどスペクトルの分解能が高い。スペクトル範囲は、理論的には、走査のステップの微小さによって最終的に制限されるが、実際には、一般にそれ以外のコンポーネントの能力、代表的には検出器50のスペクトル応答によって制限される。

40

【0020】

実験室の分光計の光路は、自由空間を通るが(FSO: free-space optics)、分光計10の好ましい実施形態は、光ファイバ、光導波管、又はその他の光学コンポーネント(導波光学系)の少なくとも1つの中である光路を採用しており、従って、分光計の大きさを小さくすることと、物理的に頑丈にすることとが可能である(これらが望まれる場合)。ファイバの3dB結合器40は、ファイバ36を受け入れている入力ポートとしての1本のレッグと、検出器50に結合されているファイバ52への出力ポートとしての別のレッグとを有する。結合器40の第3のレッグはファイバ42であり、このファイバは、固定ミラー44としての役割を果たすように、切断、研磨して、高反射率のコーティングを施してある。第4のレッグは、走査ミラー100, 110へのファイ

50

バ 4 6 へのポートである。

【 0 0 2 1 】

分光計 1 0 に関しては、ラマン信号 2 6 ' の光帯域が比較的狭いため、ラマンスペクトル全体が導かれ、3 d B 結合器 4 0 によって適切に分割される。3 d B 結合器 4 0 は、ファイバサークキュレータ又は波長分割マルチプレクサーとすることができ、後方伝播励起ビーム (counter propagating pump beam) とラマンビームとを分けている。結合損失の増加が許容される場合、通常の電力分割器を使用することができる。後から説明するように、システムのスペクトル応答を求めるときに使用する目的で、ファイバ 3 6 からのラマン励起の一部が検出器 5 0 に結合されるように、結合器 4 0 は十分なクロストークを有することが望ましい。この配置構成は、分光計 1 0 の大きさが低減することに加えて、厳密な位置合わせを行って維持する必要性がなく、機器を極めて頑丈にするうえで役立つ。

10

【 0 0 2 2 】

干渉計 1 0 の動作は、制御・分析エレクトロニクス 6 0 によって制御される。具体的には、エレクトロニクス 6 0 は、プロセッサを含んでおり、レーザードライバ 6 4 によってレーザ 2 0 に結合される制御信号 (レーザ 2 0 に励起光 2 6 を生成させる) を生成し、レーザ 2 0 の背面を監視するフィードバック信号をモニター 6 6 を通じて受信する。検出器 5 0 によって生成される信号は、スペクトルのフーリエ変換であり、エレクトロニクス 6 0 は、その逆フーリエ変換を生成して、実際のスペクトルを生成する。更に、エレクトロニクス 6 0 は、走査可能ミラー 1 0 0 を走査するための制御信号を生成する。この制御信号は、ミラードライバ 6 2 を介して走査ミラー 1 0 0 に結合され、この制御信号に起因して、望ましい方式で走査可能ミラー 1 0 0 が走査される。例示的な走査ミラー 1 0 0 は、その代替実施形態を後から詳しく説明するように、モーター 1 2 0 によって機械的に動く可動磁石 1 2 2 からの力によって動くミラー面 1 1 0 を含んでいる。

20

【 0 0 2 3 】

制御・データ分析エレクトロニクス 6 0 は、干渉計 1 0 の動作を制御するための制御信号を入力として受信し、試料 S の分析測定データを表すデータ出力信号を生成する。電力調整・配電デバイス 7 0 は、入力電力を受け取り、入力電力を、干渉計 1 0 の様々な要素に必要な電圧及び電流に調整し、調整済みの電力をそれらの要素に供給する。

【 0 0 2 4 】

図 2 A と図 2 B は、図 1 の例示的实施形態において有用な走査可能ミラー又は走査ミラー 1 0 0 の例示的实施形態の概略的な平面断面図と端面断面図である。走査ミラー 1 0 0 は、フーリエ変換分光計 1 0 の重要なコンポーネントであり、なぜなら、走査ミラー 1 0 0 の走査範囲によって分光計 1 0 のスペクトル分解能が決まるためである。必要十分なスペクトル分解能は、約 1 c m の走査範囲 (ストローク) によって得られる。ストロークを更に長くするのは容易であり、それによって高いスペクトル分解能が得られるが、代表的な液体試料又は固体試料の場合、そのような分解能は一般には必要ない。

30

【 0 0 2 5 】

走査可能な走査ミラー 1 0 0 は、機器 1 0 のコンポーネントのうち小型化が最も難しいコンポーネントであり、MEMS (マイクロエレクトロメカニカルシステム) 導波管によって実施するのが好ましい。本明細書においては、MEMS 導波管の様々な実施形態について、例えば、図 2 A 、図 2 B 、図 3 A 、図 3 B 、図 4 に関連して詳しく説明する。この配置構成は、分光計の大きさが低減することに加えて、厳密な位置合わせを行って維持する必要性がなく、機器を極めて頑丈にするうえで役立つ。

40

【 0 0 2 6 】

図 2 A と図 2 B は、一般的な MEMS 導波管の走査ミラー 1 0 0 の詳細を示している。走査ミラー 1 1 0 は、ロッド 1 1 2 の端部 1 1 0 を研磨して金属化することによって形成されている。ロッド 1 1 2 は、液体で満たされている溝 1 0 4 に、可動状態で配置されており、溝 1 0 4 は、ガラス基板ベース 1 0 2 の中に光導波管を形成している。溝 1 0 4 の幅は、光ファイバ 4 6 のコア 4 6 a の直径若しくは断面寸法、又はその両方と同程度であ

50

ることが好ましい。上部導波管クラッドを設けることと溝104に液体を含めることとを目的として、ガラス基板ベース102にガラスカバー108が取り付けられている(例:陽極結合)。液体の屈折率は、液体によって溝104に光導波管が形成されるように、ガラス102, 108の屈折率よりもわずかに高いことが好ましい。

【0027】

光ファイバ46は、例えば、液体導波管104に突き合わせた状態で結合されており、導波管の中に液体が閉じ込められるようにシール材114によってシールされている。一般には、溝104は、クラッド46bで囲まれているファイバコア46aを受け入れるように座ぐり加工されている。液体導波管104の寸法と材料の屈折率とを適切に選択して制御することによって、ファイバと液体の界面46a, 104における反射を許容範囲内まで小さくすることができる。基板102とカバー108は、光学的に均一な任意の適合するガラスとすることができ、屈折率が同じであることが好ましい。溝104, 106は、シリコン光学的流体(silicone optical fluid)によって満たされていることが好ましい。コア46aと溝104の中の液体との界面における反射が最小になるように、溝104を満たしている液体の屈折率がファイバコア46aの屈折率とほぼ同じであり、且つ、基板102及びカバー108のガラスの屈折率がファイバクラッド46bの屈折率とほぼ同じであることが好ましい。

10

【0028】

溝104の導波管とバイパス溝106は、ガラス基板102における化学的又はその他の方式によるエッチング、レーザー切除(laser abated)、レーザーソー(laser sawn)、レーザー切断、ダイヤモンド切断、ホットプレス、その他の成形によって形成することができる。現時点では、溝104はダイヤモンド切断により、溝106は化学的エッチングによるのが好ましいと考えられる。光導波管のパフォーマンスのためには、ファイバ46のコア46aの断面に合致する円形断面を有する溝が好ましいが、正確に一致している必要はなく、それ以外の考慮事項によって、別の形状若しくは大きさ、又はその両方が望ましいことがある。別の適合する組合せは、基板102とカバー108をPYREX(R)ガラス(約1.47の屈折率を有する)とし、溝104を満たす液体としてベンゼン(約1.50の屈折率を有する)を使用することである。

20

【0029】

光26'が進む経路の長さは、液体で満たされている溝104の中でロッド12(及び従って研磨されたミラー面110)を長手方向に動かすことによって変化する。ロッド112と溝104は、光ファイバ46のコア46aの直径(例:約50~100 μm)に近い直径/寸法を有することが好ましい。コア46aは、反射性クラッド46bによって囲まれており、クラッド46bは、物理的な保護のためジャケット46cによって囲まれている。一般に、ロッド112は、直径/寸法が約50 μm であり、溝104は、これよりわずかに大きく、例えば55~60 μm である。一般に、コア46aとロッド112は円形断面を有し、その一方で、溝104は長方形、正方形、又は台形の断面を有する。上記の寸法が一致しないことに起因する光学的損失は、光学的損失を固定ミラー44のレッグ又は結合器40に導入することによって、必要であれば補正することができる。

30

【0030】

ロッド112と溝104のいずれも、円形断面である必要はない。これらの断面形状が異なり、従って溝104がロッド112によって満たされていないことにより、ロッド112が溝104の中を長手方向に動くときに溝104の中の液体がロッド112に平行に流れることができる通路が、ロッド112に沿って(すなわち、ロッド112と溝104の壁との間に)形成されるならば、有利である。溝104を満たす液体の粘性は、溝の中のロッド112の動きやすさに直接影響する。しかしながら、前後に容易に動くロッド112は小さな電力で走査することができるが、その一方で、ロッド112が容易には動かない場合、位置合わせが維持される傾向にあり、外部の振動及びその他の力に起因して動くことが起こりにくい。また、溝104の中でロッド112が適切な方向に位置合わせされている(すなわちほぼ同軸にある)状態を維持するためと、ミラー端部110の高い

40

50

反射率を得るためには、ロッド 1 1 2 と溝 1 0 4 の断面はよく一致していることも望ましい。

【 0 0 3 1 】

更に、例えば、ロッド 1 1 2 が溝の中を長手方向に動くときに液体がロッド 1 1 2 と溝 1 0 4 の壁との間を通過しなければならないことに起因して生じうる抵抗が回避されるように、液体で満たされた溝 1 0 4 の中のロッド 1 1 2 を動きやすくする目的で、バイパス溝 1 0 6 を設けて、液体が溝 1 0 4 の一端と他端との間で流れる代替経路を設けることができる。ロッド 1 1 2 は、円形断面を有することができ、又は、長方形や八角形の断面、或いは、溝 1 0 4 の断面形状に適合する任意の他の形状とすることができる。一般には、バイパス溝 1 0 6 は、溝 1 0 4 よりも小さい断面寸法を有する。

10

【 0 0 3 2 】

達成可能な分解能は、ミラー 1 1 0 の移動範囲に関連し、スペクトル範囲は、移動範囲内のステップサイズによって決まる。ロッド 1 1 2 は、後から説明する例示的な駆動方法によって、溝 1 0 4 の中で約 1 c m の移動距離を前後に動くことができる。更に長いストローク（例えば約 1 c m より長いストローク）は、容易に実施することができ、それによって高いスペクトル解像度が得られるが、液体試料又は固体試料 S の場合、1 c m のストロークによって、線幅と同程度のスペクトル分解能がすでに得られており、長いストロークは必要ないことがある。化学分析の対象となるラマン線のすべてが含まれる 5 0 0 0 c m - 1 のスペクトル範囲を得るためには、ロッド 1 1 2 の移動距離のステップサイズは、約 2 μ m でなければならない。ロッド 1 1 2 が動いている間、液体は液体バイパス溝 1 0 6 の中を循環する。その結果として、ロッド 1 1 2 の動きに抵抗する摩擦力が、許容範囲内まで小さくなる。

20

【 0 0 3 3 】

図 3 A と図 3 B は、図 1 の例示の実施形態のモーター駆動型走査ミラー 1 0 0 の 2 つの代替の例示の実施形態の概略断面図である。

【 0 0 3 4 】

図 3 A のモーター駆動型走査ミラー 1 0 0 においては、走査ミラー面 1 1 0 は、液体で満たされている導波管溝 1 0 4 の中を磁気によって長手方向に動く強磁性体のロッド 1 1 2 の端部を研磨したものである。強磁性体のロッド 1 1 2 と磁気によって結合されている磁石 1 2 2 を並進させる目的で、外部の線形移動モーター 1 2 0 が結合されている。ロッド 1 1 2 が磁性体又は鉄材料、或いはその他の強磁性体で作製されている場合、磁石 1 2 2 が、液体で満たされている導波管溝 1 0 4 に平行にガラスカバー 1 0 8 に隣接して前後に移動するか又は振動するときに、ロッド 1 1 2 は磁石 1 2 2 の後を追う。一般に、カバー 1 0 8 は、厚さ約 0 . 5 m m 以下である。

30

【 0 0 3 5 】

ロッド 1 1 2 は、一般には、ニッケル材料又はニッケル鋼材料から作製するが、任意の磁性体又は強磁性体から作製する、又はこれらの材料をコーティングする、或いはこれらの材料の中に埋め込むことができる。磁石 1 2 2 の移動は、任意の適合する動力手段、例えば、ソレノイド、モーター、親ねじ、ステップモーターとすることができる。必要なステップサイズと移動範囲とを有する、小型で低コストの線形移動モーター 1 2 0 は、容易に入手することができ、コンピュータのハードディスクや C D プレイヤーのヘッド駆動モーターとして一般に利用されている。

40

【 0 0 3 6 】

図 3 B のモーター駆動型走査ミラー 1 0 0 においては、走査ミラー面 1 1 0 は、誘電体ロッド 1 1 2 ' の端部を研磨したものであり、誘電体ロッド 1 1 2 ' は、液体で満たされている導波管溝 1 0 4 の中を長手方向に静電的に移動する。誘電体ロッド 1 1 2 ' は、M E M S により微細加工されたリニアステップモーター 1 2 0 ' によって駆動される。モーター 1 2 0 ' は、ガラスカバー 1 0 8 上に電極 1 1 6 を備えている固定子と、誘電体ロッド 1 1 2 ' 上の環状導電性リング電極 1 1 4 を備えているローターとを有する。ロッド 1 1 2 は、ガラスロッド又はセラミックロッドであることが好ましく、電極 1 1 4 , 1 1 6

50

は、チタンベースの金であることが好ましい。

【0037】

長方形の固定子電極116と、可動誘電体ロッド112上の環状ローター電極114とを組み合わせることによって、微細加工された要素から成るリニアステップモーターが形成される。一般には、副尺配置制御(vernier positioning control)を提供する目的で、電極116に個別に電力を送り、電極116が最も近いストライプ電極114を静電的に引っ張って整列する。電極116は、一般に、電極114とは異なるピッチで配置されている。電極116のピッチは、一般に、電極114のピッチより大きく、電極116の軸方向の幅又は寸法は、一般に、ストライプ電極114の軸方向の幅よりも大きい。

10

【0038】

溝104の中でロッド112, 112'を動かす目的で使用される駆動装置には関係なく、ラマン励起レーザー20又は個別のレーザーのいずれかを利用して、ロッド112, 112'の長手方向の動きを干渉に基づいて監視することができ、従って、ロッド112, 112'の動きに対する粘性抵抗を考慮することができる。従って、ミラー110の動きの線形性若しくは精度、又はその両方を正確に制御する必要はない。

【0039】

図4は、それぞれ異なって長さを変化させることのできる光ファイバ42, 46を使用している走査ミラー100の別の例示的实施形態の概略図である。光ファイバ42, 46のそれぞれは、長さがほぼ同じであり、スプール、リール、又はその他のフォーム(form)124の周囲に何周も巻かれており、それぞれ、研磨されたミラー端部又はミラー面44, 144を有する。フォーム124は、ファイバ42の長さ部分とファイバ46の長さ部分とが巻かれている2つの個別のフォーム124a, 124bを備えている。フォーム124a, 124bは、ドライバ62'によって送られる電気信号に応答して変化する物理特性を有する。この場合、フォーム124a, 124bの一方の物理的な大きさが増大し、それによって上に巻かれているファイバ42, 46の一方の長さ部分が伸び、且つ、フォーム124a, 124bの他方の物理的な大きさが減少し、それによって上に巻かれているファイバ42, 46の他方の長さ部分が縮むことができるように、電気信号が供給される。

20

【0040】

フォーム124a, 124bに適合する材料としては、熱膨張係数が比較的高い材料が挙げられる。その場合、ドライバ62'がフォームに電気信号を供給することによって(例えば抵抗加熱器のように)熱が発生し、その熱によってフォーム124a, 124bの温度が上昇し、それに起因してフォーム124a, 124bが膨張する。その他の適合する材料としては、フォームに供給される電気信号に応答して物理的寸法が同様に変化する圧電性材料及び電歪材料が挙げられる。実際には、ファイバ42, 46の長さがそれぞれ異なって変化するように、フォーム124a, 124bの両方に、反対の(opposing)電気信号が同時に送られる。

30

【0041】

ミラー44, 144を走査する目的で、一方のスプール124aへの電気信号は、スプール124a上のファイバ42の長さが減少するように最初は比較的低い値であり、他方のスプール124bへの信号は、スプール124b上のファイバ46の長さが増すように最初は比較的高い値である。これによって、ファイバ42とファイバ46とにおけるそれぞれの光路の長さの間の差が、第1の意味における高い値にそれぞれ異なって変化する(例:ファイバ42がファイバ46より短い)。走査は、フォーム124aに送られる電気信号が増大し、フォーム124bに送られる電気信号が減少するときに行われる。走査の最後においては、スプール124aへの電気信号は、その上のファイバ42の長さが増すように比較的高い値であり、他方のスプール124bへの信号は、その上のファイバ46の長さが減少するように比較的低い値である。これによって、ファイバ42とファイバ46とにおけるそれぞれの光路の長さの間の差は、第1の意味とは反対の第2の意味におけ

40

50

る高い値にそれぞれ異なって変化する（例：ファイバ４２がファイバ４６より長い）。

【００４２】

フォーム１２４ a , １２４ b の相対的な大きさ、及び従ってファイバ４２ , ４６の長さを変化させる目的で利用される駆動装置には関係なく、ラマン励起レーザー２０又は個別のレーザーのいずれかを利用して、ファイバ４２ , ４６の長さの差を干渉に基づいて監視することができ、従って、ファイバ４２ , ４６の長さの静的な差、例えば、切断や製造の公差とによって生じうる差を考慮することができる。

【００４３】

ここまで説明したように、分光計１０は、シングルモード光ファイバ又はマルチモード光ファイバのうち、与えられた用途において望ましい方を使用することができる。しかしながら、分光計１０は、マルチモード光ファイバ２４ , ３２ , ３６ , ４２ , ４６ , ５２と、導波管３０ , ４０ , １０４とを使用することが好ましく、なぜなら、マルチモードファイバと導波管とを使用することにより、ファイバへの光の結合の効率が増大し、走査ミラー１１０の構造が単純化される傾向にあるためである。マルチモードファイバ２４ , ３２ , ３６ , ４２ , ４６ , ５２を使用するマイナス面はモード分散であり、モード分散によって、スペクトル分解能が約１０～１００ cm⁻¹の補正 (a b s e n t c o r r e c t i o n) に制限される。モード分散が生じる理由は、マルチモードファイバにおいては光子は異なる速度で移動するためであり、モード分散によって、スペクトルのピークが広がる傾向にあり、場合によってはピークが不明確になる。

【００４４】

分光計１０は、マルチモードシステムにおいて位相速度の変化と波長の変化とを差別化又は区別することができない。このため、マルチモードシステムにおいて単色光（レーザー２０）によって観察されるスペクトルは、シングルモードシステムにおけるある種の多色スペクトル (p o l y c h r o m a t i c s p e c t r u m) と同じになる。従って、モード分散の影響は、ラマンスペクトルとその多色スペクトル（本明細書においてはファイバ・導波管応答関数と称する）とを畳み込むことである。図６ A は、代表的なファイバ・導波管応答関数を用いたこの畳み込みの結果を示している。畳込み後のスペクトルは、わずかに劣化しているように見えるが、スペクトルの主要な特徴は依然として保持している。分光計はそのままでも有用であるが、発明者は、マルチモードファイバシステム若しくはマルチモード導波管システム、又はその両方においてモード分散を補正する方法を発見した。

【００４５】

これを目的として、発明者は、スペクトルから、例えば原点付近のラマンスペクトルから、ファイバ・導波管応答関数を取り出し、この関数を利用してスペクトルに逆畳み込みを行うことによって、マルチモードファイバの主たる欠点を回避しながらマルチモードファイバの利点が得られることを認識した。ファイバ・導波管応答関数は、一般には、約２０ cm⁻¹のスペクトル幅を有し、これは、ラマンスペクトルにおけるストークスシフトよりもずっと小さい。単一波長のラマン励起レーザー２０線の近傍におけるスペクトルは、ファイバ・導波管応答関数であり、例えばエレクトロニクス６０によって数値的に取り出すことができる。

【００４６】

原位置のファイバ・導波管応答関数を取得することのメリットの１つとして、温度の変化、コンポーネントのエージング、光ファイバの曲がり又は移動、光ファイバへの光の結合状態の変化、のうちの少なくとも１つに起因するシステムドリフトが、自動的に補正されることが挙げられる。更に、測定中の分光計の取扱い（及び取扱いミス）によって生じる変化、例えば、ファイバが曲がる、或いはファイバへの光の結合状態が変化することも、自動的に補正することができる。この方法では、後から詳しく説明するが、モード分散の影響が取り除かれることによってスペクトル分解能が向上するのみならず、携帯型機器など実験室型ではない機器を使用する非制御環境において、分光計のパフォーマンスが大幅に高まる。

10

20

30

40

50

【0047】

図5は、本発明による有用な逆畳込みのプロセス又は方法200の概略的な流れ図であり、図6A及び図6Bとに関連して示している。図6Aは、本明細書に説明した干渉計10によって生成される、例示的フーリエ変換ラマンスペクトル300、310の強度と波数のグラフである。図6Bは、図6Aのスペクトル300の原点又は原点付近における、基準線305の応答関数を拡大した詳細図である。マルチモード光ファイバ若しくは導波管、又はその両方によってもたらされるモード分散は、干渉計の応答スペクトルを畳み込むため、結果としての畳み込まれたスペクトル300は、最大解像度のスペクトル310よりもやや劣化している。この劣化は、本質的に非常に鋭く狭いピークを有するレーザー励起源20によって生成されるレーザー基準線305のピークを含めて、スペクトルのピークの広がりとして現れている。

【0048】

基準線305の拡大図において、広がったレーザー基準線は、モード分散に起因して、原位置に現れている比較的狭いスペクトルの複数のピークを有する応答関数305を有することがわかる。スペクトル300のピークが広がっている場合でも、スペクトル300とスペクトル310のそれぞれの最初のピークは、幅がわずかに約 20 cm^{-1} であり、基準線305(の右側)から依然として遠くに離れており、一般には約 $200\sim 5000\text{ cm}^{-1}$ にまたがっている。言い換えれば、データスペクトル300、310の原点と最初のピークとの間に、大きな領域、例えば約 $20\sim 200\text{ cm}^{-1}$ の波数が存在しており、この領域にはデータが存在していない。従って、基準線305を利用してデータスペクトル300を畳み込むことによって、マルチモード光ファイバによってもたらされるモード分散の影響が実質的に存在しない、逆畳込みを行ったスペクトル310を得ることができる。

【0049】

プロセス200は、前述した走査機器10において、フーリエ変換ラマンスペクトル $i(t)$ (インターフェログラム $i(t)$ としても知られている)を取得するステップ205を含んでいる。インターフェログラム $i(t)$ は、測定時における時間 t の関数である。このインターフェログラムにフーリエ変換210を適用することにより、波数の関数である、畳み込まれたラマンスペクトル $I(\)$ (215)300を得る。低域フィルタリング220、例えば、帯域幅約 $10\sim 100\text{ cm}^{-1}$ の数値フィルタリングにより、スペクトル300からファイバ/導波管応答関数 $H(\)$ 305を分離する。この応答関数 $H(\)$ に逆フーリエ変換230を行って、ファイバ/導波管応答インターフェログラム $h(t)$ 235を得る。

【0050】

次いで、インターフェログラム $i(t)$ 及び $h(t)$ に逆畳込み(240)を行う。これは、例えば、 $i(t)$ を $h(t)$ によって除算し、その比関数(ratio function) $i(t)/h(t)$ をフーリエ変換することによる。次いで、こうして得られた、逆畳込みを行われたラマンインターフェログラム $r(t)$ (245)をフーリエ変換し(250)、逆畳込みを行われたラマンスペクトル $R(\)$ (255)310を得る。同じマルチモード歪みが、インターフェログラムと応答関数とに影響しているため、上述した畳込み-逆畳込みプロセスによって、その影響が取り除かれる。なぜならこれらは、各測定が行われるときのものであるためである。この結果、機器の精度は、その機器を含んでいるコンポーネントにおける変化と、コンポーネントに対する変化による影響を比較的に受けない。

【0051】

フーリエ変換と逆フーリエ変換は、一般には、例えば、制御及びデータ分析関数を実行するプロセッサ60において、数値フィルタリング(例:低域フィルタリング)と同様に数値演算によって実施される。

【0052】

スペクトルを処理するための基準線を生成する目的で、個別の、例えば補助光源を利用

する場合、システム応答関数の逆フーリエ変換が直接的に（すなわち、図5のステップ235の結果におけるように）得られる。次いで、直接的に得られた応答関数に、上述したように逆畳込み（240）とフーリエ変換（250）とを行う。

【0053】

例えば、ファイバの温度、エージング、曲げ、伸び、その他の物理的変化若しくは機械的変化、光の結合状態の変化、光学インタフェースにおける変化、その他、のうち少なくとも1つに起因して、光ファイバ若しくは導波管、又はその両方の光学的特性が変化する場合、原位置のレーザー基準応答関数305は、そのような変化の影響にตอบสนองして歪む。従って、その応答関数を利用している畳込みプロセスには、そのような影響が自動的に含まれ、従って、畳込みプロセスによって補正される。更に、本明細書では、励起レーザー20は、測定値を生成するのみならず、フーリエ変換ラマン分光法において一般的であるように、畳込み処理において利用される応答関数305も生成するものとして説明したが、基準線を生成する目的で別のレーザーを設けることができ、この基準線は、マルチモードの光ファイバ若しくは導波管、又はその両方の特性によって歪み、その後、畳込み処理において応答関数として利用される。

10

【0054】

本明細書では、レーザー光源又はその他の光源は、その光出力が単一周波数又は単一波長であるか、或いは、インターフェログラム又はその他の測定スペクトルにおいて、測定対象の試料によって生成されるスペクトルデータから十分に離れており、且つ応答関数として利用することのできる基準線を生成するのに十分に狭い帯域幅又は範囲にわたるのみである場合、実質的に単色として言及している。

20

【0055】

要約すると、本明細書に説明したフーリエ変換ラマン分光計は、小型化に適しており、レーザー光源と、すべての光学系と、制御・分析エレクトロニクスとを含んだ携帯型機器に具体化するうえで十分に小さく、且つ十分に頑丈に作製することができる。このような機器のスペクトル分解能は 1 cm^{-1} 以上、スペクトル範囲は $0\sim 5000\text{ cm}^{-1}$ であると予測される。言い換えれば、そのパフォーマンスは、スペクトル分解能、スペクトル範囲、及び処理能力に関して、従来小型の分光計よりもずっと良好であり、実験室の分光計に匹敵するものと予測される。そのような機器は、化学的分析若しくは生物学的分析、又はその両方、化学物質及びその他の材料の識別、代謝の監視に有用である。試料は、

30

【0056】

一般的な携帯型分光計10は、代表的な携帯情報端末(PDA)とほぼ同じ大きさのパッケージの中に提供することができる。分光計10の代表的なコンポーネントとしては、レーザー源20と、それぞれがファイバ24, 52にピグテール接続されており、且つ直径約 0.6 cm 、長さ約 5 cm 未満の検出器50と、 3 dB の結合器40と、それぞれが直径約 0.5 cm 、長さ約 5 cm 未満のサーキュレータ又はマルチプレクサー30と、約 $3\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ のプロセッサエレクトロニクス60の電子回路基板とが挙げられる。ストロークが 1 cm である走査ミラーアセンブリ100は、MEMSモーター120'を使用する場合、約 $5\text{ cm}\times 1.5\text{ cm}\times 1\text{ cm}$ であり、(ポータブルCDプレイヤーにおけるような)小型の線形移動モーター120を使用する場合、大きさはその約2倍である。レーザーダイオード20は、光出力が数十ミリワットであり約 $700\sim 800\text{ nm}$ の波長において動作するものが好ましい。しかしながら、例えば組織を調べる場合、平均出力が人の目に安全なレベルに維持されるように、そのようなレーザーを低いデューティサイクルにて動作させることが望ましいことがある。そのような低いデューティサイクルでの動作では、試料を測定するのに要する時間が増すが、結果的に、ミラー112, 122, 124を走査するのに必要な電力が減少する。高いスペクトル分解能のためには、レーザー20は、単一波長にて動作する分布帰還型(DFB)レーザーダイオードであることが好ましい。

40

【0057】

50

本明細書で使用している用語「約」は、寸法、大きさ、構造 (f o r m u l a t i o n s)、パラメータ、形状、その他の数量及び特性が、正確ではなく、且つ正確である必要がなく、公差、換算率、丸め、測定誤差などのほか、当業者に公知であるその他の要因を反映して、必要に応じて、ほぼ近い値である、より大きい、又は、より小さい、ものでよいことを意味する。一般的には、寸法、大きさ、構造、パラメータ、形状、又はその他の数量若しくは特性は、明確に述べてあるか否かにかかわらず、「約」又は「およそ」である。

【 0 0 5 8 】

本発明は、前述した模範的な実施形態に関して説明したが、当業者には、添付されている請求項によって定義される本発明の範囲及び精神の中での変形形態が明らかであろう。例えば、試料Sを照らしたときの反射によってラマンスペクトルを生成することを例示したが、本明細書に説明した機器若しくは走査ミラー、又はその両方は、試料Sを照らして光を透過させることによって吸収スペクトルを生成する場合にも利用することができる。

10

【 0 0 5 9 】

更に、溝104の中でロッド112を動かす目的として、磁石手段と静電気手段とを説明したが、別の手段を採用することもできる。そのような別の手段としては、熱的手段 (バイメタル素子又はそれ以外の熱膨張性要素など)、若しくは、圧電手段 (圧電素子など)、又はその両方を含んでいることができる。ロッド112のミラー110は、ロッドの端部を磨いたものか、又は端部にミラーを取り付けることができる。

【 0 0 6 0 】

例えば、光路を光学的に延ばす、若しくは短縮する、又はその両方によるミラーの明確な動き (a p p a r e n t m o v e m e n t) は、液体の屈折率がガラス102, 108の屈折率よりも高いままであり従って溝104の導波管作用が維持されている限りは、例えば、溝104を満たしている液体の屈折率を、熱的又は電氣的のいずれかによって変化させることによって、ロッド112を動かすことなく達成することができる。明確な動きの範囲は極めて限定されているが、この動きと、本明細書に説明した、ロッド112を動かすためのその他の手段とを組み合わせ、ロッド112の位置副尺 (p o s i t i o n v e r n i e r) を提供することができる。

20

【 0 0 6 1 】

本明細書では、文脈から明らかであるように、ミラーの特徴、すなわち光学走査機能を提供する目的で動かすことができることと、光学走査機能そのものを表すのに、走査可能 (すなわち走査することのできる) と走査とを同義で使用している。本明細書における特定の実施形態においては、マイケルソン干渉計の一方のミラーを、走査ミラーとして、他方を固定ミラーとして説明したが、任意の実施形態においては、いずれか一方のミラー又は両方のミラーを走査することができる。両方のミラーを走査する場合、走査範囲と結果のスペクトル分解能とが2倍になるように、これらのミラーを反対方向に、すなわち互いに180度の位相差で走査することが好ましい。従って、ファイバ42, 46の両方のそれぞれの端部に、それぞれの走査ミラーアセンブリ100を配置することができる。

30

【 0 0 6 2 】

レンズ34は、分光計10のハウジングの表面に位置させることができ、すなわち、ハウジングと同一平面内にあるか、又はわずかに突き出すか又は引っ込んだ状態にすることができ、又は、そこから延びている光ファイバケーブルの端部に位置させることができる。更に、測定を行いやすくするため、又は、スペースの限られた場所や測定の行いにくい位置で試料Sを測定することができるように、一端がレンズ34に密着しており、他方の端部が試料Sに密着する光ファイバケーブルを配置することができる。

40

【 0 0 6 3 】

特定の電気信号は、「高」値又は「低」値として記載したが、これは、電圧、電流、又は電力の大きさを意味する、或いは、負極性又は正極性であることを意味する、或いは、負又は正の絶対値が更に大きいことを意味することを理解されたい。

【 図面の簡単な説明 】

50

【0064】

【図1】本発明による干渉計と走査ミラーとを含んでいる分光計の例示的实施形態の概略ブロック図である。

【図2A】図1の例示的实施形態の走査ミラーの例示的实施形態の概略断面図である。

【図2B】図1の例示的实施形態の走査ミラーの例示的实施形態の概略断面図である。

【図3A】図1の例示的实施形態の走査ミラーの2つの代替の例示的实施形態の概略断面図である。

【図3B】図1の例示的实施形態の走査ミラーの2つの代替の例示的实施形態の概略断面図である。

【図4】それぞれ異なって長さを変化させることのできる光ファイバを採用している走査ミラーの例示的实施形態の概略図である。

【図5】本発明による有用な逆畳込みプロセスの概略的な流れ図である。

【図6A】本明細書に説明した干渉計によって生成される、代表的な強度 - 波数スペクトルのグラフである。

【図6B】図6Aの基準線の基準応答を拡大した詳細図である。

【図1】

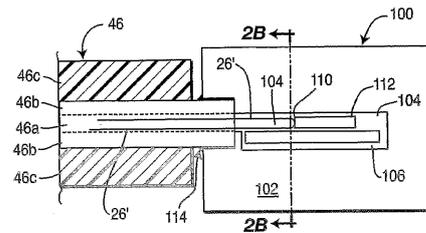
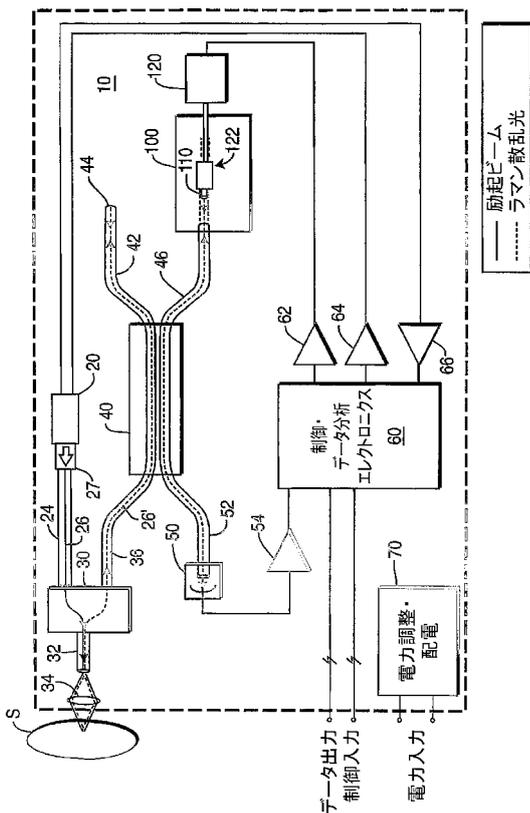


FIG. 2A

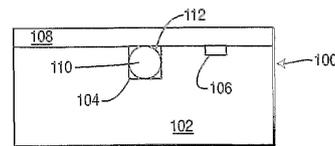


FIG. 2B

【 図 3 A 】

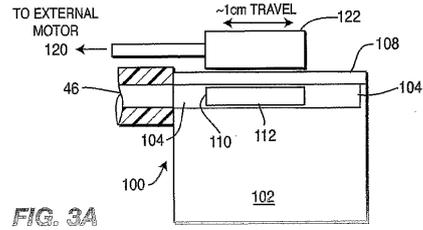
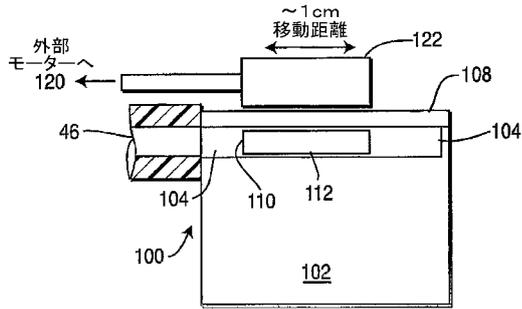


FIG. 3A

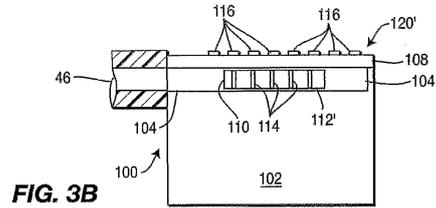


FIG. 3B

【 図 4 】

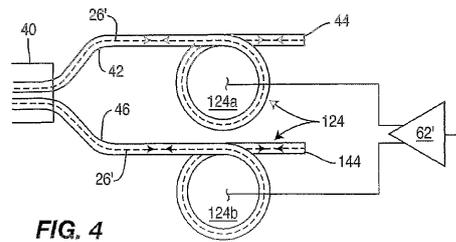
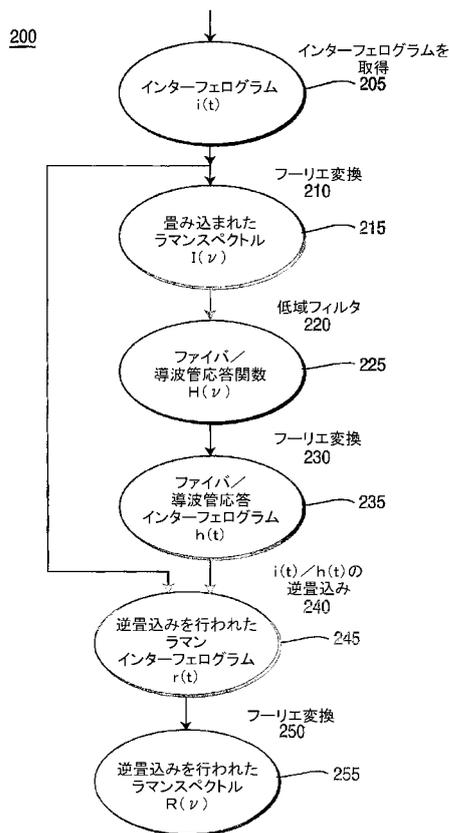
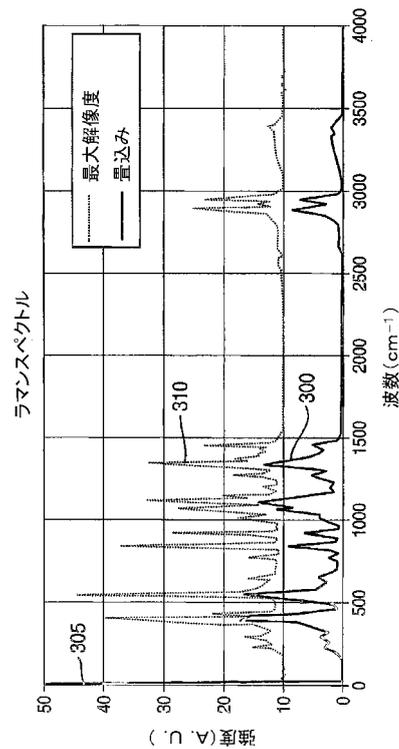


FIG. 4

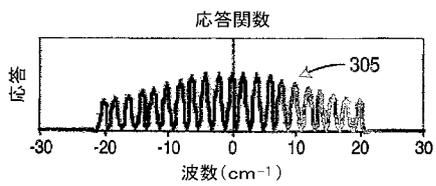
【 図 5 】



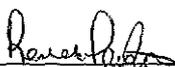
【 図 6 A 】



【 図 6 B 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US04/02118
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC(7) : G01B 9/02 US CL : 356/452 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) U.S. : 356/452, 477,479, 451, 301 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched NONE Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) NONE		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HEATON, H. I., Interferometric Raman spectrometry with fiber waveguides, Applied Optics, 20 September 1997 (20.09.1997), Vol. 36, No. 27, pages 6739-6750.	I-10
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> 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	"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
"E"	earlier application or patent published on or after the international filing date	"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
"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)	"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
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	
Date of the actual completion of the international search 21 December 2004 (21.12.2004)	Date of mailing of the international search report 22 FEB 2005	
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US Commissioner for Patents P.O. Box 1450 Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. (703) 305-3230	Authorized officer Samuel A. Turner Telephone No. (571) 272-2800 	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW

Fターム(参考) 2F064 AA00 EE01 FF02 GG02 GG03 GG06 GG12 GG20 GG44 GG52
GG64 JJ01 JJ15
2G020 CA04 CA12 CB05 CC22 CC55 CD03 CD14 CD16 CD22