

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5577330号
(P5577330)

(45) 発行日 平成26年8月20日 (2014. 8. 20)

(24) 登録日 平成26年7月11日 (2014. 7. 11)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 N 21/17 (2006.01)

G O 1 N 21/17 6 2 5

請求項の数 11 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2011-517036 (P2011-517036)	(73) 特許権者	511007211
(86) (22) 出願日	平成21年7月10日 (2009. 7. 10)		オプトボル・テクノロジー・スプウカ・ジ
(65) 公表番号	特表2011-527418 (P2011-527418A)		・オグラニチョノン・オドボヴィエドニア
(43) 公表日	平成23年10月27日 (2011. 10. 27)		ウノシツィオン
(86) 国際出願番号	PCT/EP2009/005020		OPTOPOL Technology
(87) 国際公開番号	W02010/003684		Sp. z o. o.
(87) 国際公開日	平成22年1月14日 (2010. 1. 14)		ポーランド、ペエルー42-400ザヴィ
審査請求日	平成23年3月23日 (2011. 3. 23)		エルチエ、ウーリツァ・ザビア42番
(31) 優先権主張番号	08012549.5	(74) 代理人	100101454
(32) 優先日	平成20年7月11日 (2008. 7. 11)		弁理士 山田 卓二
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100081422
前置審査			弁理士 田中 光雄
		(72) 発明者	マチュエイ・ヴォイトコフスキー
			ポーランド87-100トルン、ウーリツ
			ァ・ルビッカ18/19番
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スペクトル光干渉性断層撮影法 (SOCT)

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ビームに対する走査可能な光学的遅延を発生させる装置であって、
入って来る光ビームに面する旋回可能に駆動されるミラーをもたらし第1のミラー光学系(10)と、

前記第1のミラー光学系(10)によって反射された光ビームを、当該光ビームが再び前記第1のミラー光学系(10)に当たるように反射するために配置された第2のミラー光学系(12)と、

前記入って来る光ビームを、前記旋回可能に駆動されるミラー上に集光するために配置された第1のレンズ光学系(9)と、

前記第1のミラー光学系と前記第2のミラー光学系との間に位置し、前記旋回可能に駆動されるミラーの一つよりも多い旋回位置において前記第1のミラー光学系(10)のミラーによって反射された光のビームを平行にするために配置された、第2のレンズ光学系(9)と、を備え、

前記第1のレンズ光学系(9)と第2のレンズ光学系(9)とは、同じ焦点距離を有し、且つ、平行に位置し、

前記第2のミラー光学系(12)は、前記第1のミラー光学系(10)に対して異なる光学距離にある少なくとも2つのミラーを備えている、
ことを特徴とする装置。

【請求項 2】

10

20

前記第 1 のレンズ光学系 (9) と第 2 のレンズ光学系 (9) とは、同一のレンズ・アッセンブリで構成されている、ことを特徴とする請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記レンズ・アッセンブリは、単一のレンズで構成されている、ことを特徴とする請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記入って来る光ビームは、前記第 1 のレンズ光学系 (9) を中心で通過する、ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記入って来る光ビームは、前記第 1 のレンズ光学系の光学軸から偏心して当該第 1 のレンズ光学系 (9) を通過する、ことを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の装置。

10

【請求項 6】

前記第 1 のミラー光学系 (10) は、前記入って来る光ビームの軸線に沿って変位可能である、ことを特徴とする請求項 1 から 5 の何れかに記載の装置。

【請求項 7】

前記第 1 のレンズ光学系 (9) 及び第 2 のレンズ光学系 (9) の焦点距離は調節可能である、ことを特徴とする請求項 6 に記載の装置。

【請求項 8】

前記装置は、前記第 1 のレンズ光学系 (9) 及び第 2 のレンズ光学系 (9) の焦点距離を、それぞれ前記第 1 のレンズ光学系 (9) 及び第 2 のレンズ光学系 (9) から前記第 1 のミラー光学系 (10) までの距離に、自動的に調節するために配置された焦点制御装置を備えている、ことを特徴とする請求項 7 に記載の装置。

20

【請求項 9】

前記第 2 のミラー光学系 (12) は、入射光ビームと平行な方向に変位可能である、ことを特徴とする請求項 1 から 8 の何れかに記載の装置。

【請求項 10】

前記第 1 のレンズ光学系 (9) は、前記光ビームを、前記旋回可能に駆動されるミラーの領域上に前記旋回軸から外れて集束させる、ことを特徴とする請求項 1 から 9 の何れかに記載の装置。

【請求項 11】

30

フーリエ領域光干渉性断層撮影法のための装置であって、

光源 (1) と、

前記光源 (1) からビーム分割装置 (3) へ繋がる照明経路 (2) と、

前記ビーム分割装置 (3) から調査中のサンプル (7) が配置され得る領域へ繋がるサンプル経路 (4) と、

前記ビーム分割装置 (3) から再結合装置 (3) へ繋がる基準経路 (5) であって、前記再結合装置は、サンプル (7) から戻って来る光の部分、基準経路 (5) を通って導かれる光の部分と再結合するように配置されている、基準経路と、

前記再結合された光を検出装置 (13) に導く検出経路と、を備え、

前記基準経路 (5) には、請求項 10 に従った光ビームに対する走査可能な光学的遅延を発生させる装置が設けられている、ことを特徴とする装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、請求項 1 の前文に従った、光線に対して走査可能な光学遅延を生じさせる装置、及び請求項 12 の前文に従った、スペクトル光干渉性断層撮影法に関する。

【背景技術】

【0002】

光干渉性断層撮影 (光コヒーレンス・トモグラフィ : optical coherence tomography)

50

は、部分的に透過性の物体の3次元構造を調べる技術である。この技術によれば、部分的コヒーレント光は2つの部分に分割される。一つの部分は、調査中のサンプルを照らし出すのに用いられる。第2の部分は、基準経路（reference path）を通して導かれて、前記サンプルからの後方散乱光と再結合される。この再結合された光は、サンプルの内部構造についての情報を含む干渉信号を包含している。この情報は、基本的には二つの異なる方法で読み出されることができる。

【0003】

第1の方法は、「時間領域（タイムドメイン：time domain）光干渉性断層撮影法」（T d O C T）として知られているものであるが、基準経路内に導入された走査可能な光学経路遅延に基づいている。この遅延は、振動を利用した方法で走査される。この場合には、干渉縞は、或る特定の位置、つまり、基準経路の光路長がサンプルによる後方散乱光に対する光路長と同一である位置、においてのみ発生する。このことは、サンプル内での後方散乱構造の相対距離の決定を可能にする（非特許文献1参照）。

10

【0004】

再結合された光から情報を読み出す第2の方法は、「フーリエ領域（Fourier domain）光干渉性断層撮影法」（F d O C T）として知られているものであるが、再結合された光のスペクトル分析に基づいている。再結合された光のスペクトルが、つまり様々のスペクトル成分に対する光強度の分布が、記録される。このことは、分光計（「スペクトル光干渉性断層撮影法」、S O C T；非特許文献2参照）或いは調整された光源（掃引光源（swept source）光干渉性断層撮影法」、S S - O C T；非特許文献3参照）を用いることにより実行することができる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】米国特許出願公開第2005/0171438 A1号明細書

【特許文献2】米国特許出願公開第2005/0018201 A1号明細書

【特許文献3】米国特許出願公開第2003/0025913 A1号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2001/0036002 A1号明細書

【非特許文献】

【0006】

30

【非特許文献1】Huang等, Science, 第254巻, 1991年, p. 1178 - 1181

【非特許文献2】Szkulmowska等, Journal of Physics D: Applied Physics, 第38巻, 2005年, p. 2606 - 2611

【非特許文献3】R. Huber等, Optics Express, 第13巻, 2005年, p. 3513 - 3528

【非特許文献4】Liu等, Optics Letters, 第29巻, 2004年, p. 80 - 82

【非特許文献5】Leitgeb等, Optics Letters, 第32巻, 2007年, p. 3453 - 3455

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0007】

T d O C Tとは対照的に、F d O C Tは、その性質上、走査可能な光学経路遅延を必要としないのであるが（例えば、特許文献1参照）、F d O C Tの或る種の変形例、例えば位相シフト（phase shift）に対しては、かかる遅延が望ましい場合がある（特許文献2：段落[0042]参照）。このように、全ての光干渉性断層撮影の変形に関する限り、走査可能な光学経路遅延の最適化に対する永続的な要求（ニーズ：needs）が存在する。

【0008】

特許文献3によれば、O C Tに対して提案されてきた様々な種類（カテゴリ：category）の走査可能な光学経路遅延がある。或るカテゴリは、群遅延生成（group delay generation）に基づいている。これは、分散エレメント（dispersive element）を伴っており、

50

従って、特に、基準経路内の光ビーム (light beam) が、当該基準経路内に入るときと出て行くときとで基本的に同じ道筋 (ルート: route) を取るべきである場合には、厳しい調節の問題を伴うことになる (例えば、特許文献 4 参照)。

今一つのカテゴリは、回転法を用いた経路長さ変化に基づいているが、やはり、かなりの調節の問題を孕んでいる。例えば、非特許文献 4 は、改良された走査可能な光学経路遅延ラインを提案しており、それは、入射光線に面すると共にこの光線を曲面ミラー (curved mirror) に向けて反射する、回動可能な駆動ミラー (pivotably driven mirror) を備えており、光は、前記曲面ミラーから、固定された平面ミラー (flat mirror) に向けて更に反射される。この配置構造の性能は、走査速度に関する限りは非常に満足すべきものであるけれども、調節が困難である。特に、曲面ミラーの角度配列は厄介である。このことは、特に、走査範囲全体が他の走査領域へシフトされることが望まれる場合には、とりわけ不都合である。

10

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、これらの欠点を克服し、光学経路遅延の調節の簡単化に対する永続的な要求を満たすことを、探求するものである。請求項 1 の構成要素によって、その解決法が提示されている。請求項 12 は、本発明が採用されているスペクトル光学干渉性断層撮影のための装置を定義付けており、そこでは、F d O C T において知られている複合曖昧性アーチファクト (complex ambiguity artefact: 非特許文献 5 参照) が的確なやり方で取り除かれているモードで、本発明が採用されている。更なる請求項は、本発明の追加的な改良点を記載している。

20

【0010】

本発明に用いられる光学的構成要素は、繊維 (ファイバ: fiber) もしくはバルク (bulk) 光学系またはその組み合わせであってもよい。ミラー光学系 (mirror optics) 及びレンズ光学系 (lens optics) は、それぞれ鏡 (ミラー) 又はレンズのシステムとして成り立っていてもよく、また、必要とされる限りにおいて、保持装置、調節装置および駆動装置を備えていてもよい。入射ビームは、好ましくは平行にされる。偏光制御器のような調節装置、分散補償器、ミラー或いは光学フィルタが、必要な場合には使用される。

【0011】

ミラーとしては、入射光の角度に応じた方向において入射光線の少なくとも一部を反射するのに適格な装置であれば、如何なるものでもよい。例えば、ミラーは、光を反射するのに適格なガラス製の立方体 (キューブ: cube) の表面で構成されていてもよい。しかしながら、金属層と、随意的には、安定化と保護のために、例えばガラス製等の層を更に備えた、従来のミラーが好ましい。平面鏡が、他のミラー形状のものよりも好ましい。第 2 のミラー光学系が、平面鏡でなる場合には、光束がこのミラーに垂直に当たるように配列されることが好ましい。

30

【0012】

旋回可能に駆動されるミラーは、回転可能に駆動されるミラーであってもよい。駆動機構は、如何なる種類のものであってもよい。それは、圧電トランスデューサであってもよい。その高速性ゆえに、検流計駆動装置 (galvanometer drive) が好ましい。

40

【0013】

本発明によれば、ビームは旋回可能に駆動されるミラーに当たる前に集光され、その後平行にされ、その平行にされたビームは、前記走査ミラーの一つよりも多い、好ましくは走査ミラーの範囲内で、旋回位置において、第 2 のミラーに当たる。このことは、幾つかのミラー間の距離において、システムを操作可能にする。従って、精密な配列 (アライメント: alignment) が簡略化される。

【0014】

前記第 1 のレンズ光学系と第 2 のレンズ光学系とが、同じ焦点距離を有し、且つ、平行に位置していると、有利である。このことは、前記配列を一層簡略化する。

また、前記第 1 のレンズ光学系と第 2 のレンズ光学系とが、同一のレンズ・アッセンブ

50

りで構成されていると、有利である。このことは、前記配列を更に一層簡略化する。

更に、前記レンズ・アッセンブリが、単一のレンズで構成されていると、有利である。このことは、機構（セットアップ：set-up）を特に簡単なものに保つ。

前記第1のレンズ光学系と第2のレンズ光学系の両方に同一のレンズ・アッセンブリを採用する構造は、前記入って来る光のビームが前記第1のレンズ光学系を中心で通過する場合には、更に改良される。これらの場合には、配列が特に容易である。

一方、前記入って来る光のビームが前記第1のレンズ光学系の光学軸から偏心して当該第1のレンズ光学系を通過するように、装置が構成されている場合には、第1のレンズ光学系への反射のための角度範囲が拡張されるので、より広範な走査範囲が達成される。

【0015】

10

前記第1のミラー光学系が、入って来る光のビームの光軸に沿って変位可能であれば、更に有利である。公知のセットアップ、例えばコーナ・キューブ（corner-cube）でなるセットアップでは光学経路長の2倍の偏移（シフト：shift）が達成されるだけであるのに対して、前記の変位は、光学経路長の4倍のシフトを生じさせる。

この場合、前記第1のレンズ光学系および第2のレンズ光学系の焦点距離が調節可能であれば、好ましくは、それらを第1のミラー光学系と一緒にシフトさせることによって調節可能であれば、更に有利である。このことは、前記シフトが前記旋回可能に駆動されるミラーを前記レンズ光学系の焦点面の外側で作動せしめる場合には、再調節できるようにする。

好ましくは、また特に、前記第1のレンズ光学系および第2のレンズ光学系が第1のミラー光学系と共にシフトしない場合には、前記装置は、前記第1のレンズ光学系および第2のレンズ光学系の焦点距離を、それぞれ前記第1のレンズ光学系および第2のレンズ光学系から前記第1のミラー光学系までの距離に、自動的に調節するために配置された焦点制御装置を備えている。このことは、手動で再調節するオペレータの負担をなくする。

20

【0016】

前記第2のミラー光学系が、光の入射ビームと平行な方向に変位可能であれば、有利である。このことは、第2のミラー光学系のみをシフトさせることにより、光学経路差の2倍のシフトを可能にする。この場合には、レンズ光学系の焦点面の何れについても、再調節が必要とされることはない。

【0017】

30

前記第2のミラー光学系が、前記第1のミラー光学系に対して異なる光学距離にある少なくとも2つのミラーを備えていれば、更なる改善が達成される。この配置構造は、光ビームが第2のミラー光学系のミラー間でシフトされるように、第1のミラー光学系のミラーを単に旋回させることにより、光学経路長における比較的大きな切換を可能にする。

光学経路差は、好ましくは、散乱および損失を回避するために、様々な屈折率を有する媒体を挿入するのではなくて、幾何学的な距離を変化させることによって変化させられる。光学経路差におけるこれら急激な変化は、サンプル内の測定範囲を拡張するのに、或いは、サンプル内の異なる範囲を同時に若しくは交替的に測定するのに、利用することができる。

【0018】

40

更なる改良によれば、前記第1のレンズ光学系は、前記光のビームを、前記旋回可能に駆動されるミラーの領域上に前記旋回軸から外れて集束させる。このことは、本発明が、複合曖昧性アーチファクトの問題を、同様にうまく解消できるようにする。

走査ミラー（scanning mirror）に当たるビームに対してかかる変位を導入すること、及びヒルベルト変換（非特許文献5参照）を用いて複合曖昧性アーチファクトを抑制するために、横方向走査（Bスキャン（B-scan））期間中は位相シフトを用いる、ことは当該分野で知られている。この発明は、軸方向走査（Aスキャン（A-scan））のみから複合曖昧性アーチファクトを抑制するためのデータを取得できるようにする。

したがって、本発明は、更に、フーリエ領域光干渉性断層撮影法のための装置であって、光源と、前記光源からビーム分割装置へ繋がる照明経路と、前記ビーム分割装置から調

50

査中のサンプルが配置され得る領域へ繋がるサンプル経路と、前記ビーム分割装置から再結合装置へ繋がる基準経路であって、前記再結合装置は、サンプルから戻って来る光の一部を、基準経路を通して導かれる光の一部と再結合するように配置されている、基準経路と、前記再結合された光を検出装置に導く検出経路と、を備えた装置に関するものである。

本発明に係るフーリエ領域光干渉性断層撮影法のための装置は、光のビームに対して走査可能な光学的遅延を発生させる本発明に従った装置の助けを借りて、前記複合曖昧性アーチファクト除去の問題を解消し、ここに、前記本発明に従った装置は、第1のレンズ光学系が、光のビームを、巡回可能に駆動されるミラーの領域上に巡回軸から外れて集束させるものである。

10

【0019】

本発明の幾つかの実施形態が、例として、図面を参照しながらより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】図1は、本発明に係る光学干渉性断層撮影のための装置の模式的なブロック線図である。

【図2】図1に示された光学的な遅延を生じさせるための装置の拡大図である。

【図3】本発明に係る光学的な遅延を生じさせるための装置の代替的な実施形態を、模式的なブロック線図として示す図である。

【図4】図3に示された実施形態の変形例を説明するための図である。

20

【図5】光学的な遅延を発生させる装置の別の実施形態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

例えば超発光ダイオードなどの光源1が光を放射し、その光は光学ファイバ系2内に結合される。光は、干渉計の分割装置として働く光結合器(光カプラ)3の方に指向している。そして、光は、サンプル経路4に入る一方の部分と、基準経路5に入る第2の部分と、に分割される。レンズ系6は、サンプル経路4内の光の一部を平行にし、この部分を、サンプル7内の調査中の領域上に集束させる。前記サンプル7内の表面は、入射光の一部を戻すように散乱させ、その結果、これらの部分は、検出経路4に沿って光結合器3に向かって戻る。

30

図1に示されるように、サンプル7は人間の眼であり、そのレンズは、光の一部を網膜の一部上に集光させるのに利用される。人間もしくは動物の組織を用いた生体内測定の場合、本発明を用いて得られた結果は、患者について知られた他の事実と共に、診断を行う上で助けとなる。

【0022】

基準経路5内の光の部分は、平行レンズ(collimating lens)8によって平行にされ、本発明に従った走査可能な光学的遅延を発生させる装置に属する集束レンズ9上に、中心に且つ垂直にぶつかる。軸11の廻りに回転可能なミラー10が、前記集束レンズ9の焦点面内に配置されている。このミラーは、集束レンズ9から来る光の部分の衝突ポイントが回転の軸11から外れるように、位置している。回転可能なミラー10は、光を反射して前記集束レンズ9へ戻すが、集束レンズ9上の衝突ポイントは、ミラー10の角度位置に応じて、位置が変えられている。

40

【0023】

図2により詳しく見られるように、反射された光のビームは、集束レンズ9によって、回転可能なミラー10の巡回位置の範囲内で平行にされる。回転可能なミラー10は、視覚化のみの目的で、一例として、3つの巡回位置で示されている。範囲内の各巡回位置において、ビームは、固定ミラー12によって反射され、基準経路5に沿って光結合器3に向かって戻るように伝播する。基準経路5における光学経路差は、回転可能なミラー10の巡回位置の変化に伴って変わる。

【0024】

50

光結合器 3 は、サンプル経路 4 から戻る光の部分と基準経路 5 から戻る光の部分とを重ね合わせる、再結合装置として働く。再結合された光ビームは干渉縞を含んでおり、この干渉縞は、基本的には、サンプル 7 内の後方散乱表面と基準経路 5 との間の光学距離、及びサンプル 7 内の表面によって後方散乱された光の部分の強度に、依存している。

【 0 0 2 5 】

再結合された光は、光結合器 3 から、検出経路 4 に沿って、検出装置 1 3 に至るまで案内されている。光に含まれている干渉縞は、検出装置 1 3 によって記録され、光学干渉性断層撮影の分野における当業者に知られているように、更に処理される。

【 0 0 2 6 】

本発明に従った走査可能な光学的遅延を発生させる装置の走査範囲を拡大するために、図 3 に示されるように、第 2 のミラーが、入って来る光のビームの反対側に配置されたミラーで構成されていてもよい。視覚化の理由により、旋回位置間の角度は大きく誇張されている。前記第 2 のミラー光学系のミラー 1 4 及び 1 5 は、穴部を備えた、好ましくは、入って来る光のビームが通過する中心の穴部を備えた、単一のミラーの表面の領域であってもよい。

10

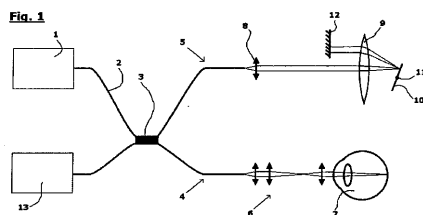
図 4 に示されるように、ミラー 1 4 と回転可能なミラー 1 0 との間の距離は、ミラー 1 5 と回転可能なミラー 1 0 との間の距離と異なっている。このことは、比較的大きな光学経路遅延の急激な変化を可能にする。

【 0 0 2 7 】

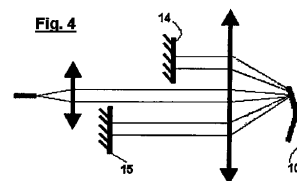
装置に対する空間要求が求める場合には、固定ミラー 1 2 は、どこか他の場所に、例えば、図 5 に示されるように、その平面が入って来る光ビームと平行になるように、配置されてもよい。

20

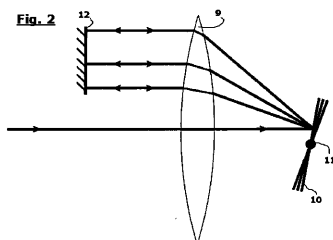
【 図 1 】



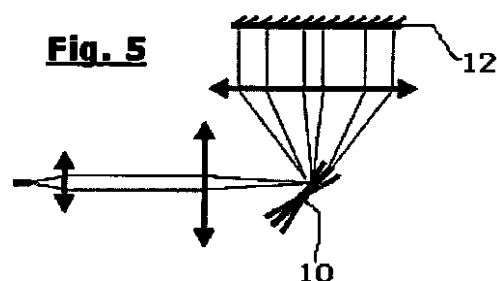
【 図 4 】



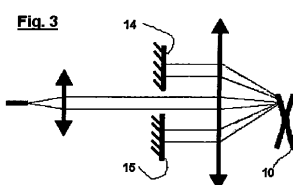
【 図 2 】



【 図 5 】



【 図 3 】



フロントページの続き

- (72)発明者 マチエイ・スクルモヴスキー
ポーランド、ペエル - 87 - 100トルン、ミキエヴィツァ7 / 17番
- (72)発明者 トマス・バイラセヴスキー
ポーランド87 - 123グロゴヴォ、ウーリツァ・オルツィノワ20番

審査官 ▲高▼場 正光

- (56)参考文献 特開2006 - 047333 (JP, A)
特開2006 - 078436 (JP, A)
国際公開第2006 / 028210 (WO, A1)
特開2000 - 342589 (JP, A)
米国特許出願公開第2003 / 0025913 (US, A1)
LIU, X., "Rapid scanning all-reflective optical delay line for real-time optical coherence tomography", OPTICS LETTERS, 2004年 1月 1日, Vol. 29, Issue 1, pp.80-82

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N21 / 00 - 21 / 61
G02B26 / 00 - 26 / 12