

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6088981号
(P6088981)

(45) 発行日 平成29年3月1日 (2017.3.1)

(24) 登録日 平成29年2月10日 (2017.2.10)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 B 9/02 (2006.01)

GO 1 B 11/24 (2006.01)

GO 1 N 21/17 (2006.01)

GO 1 B 9/02

GO 1 B 11/24 D

GO 1 N 21/17 630

請求項の数 10 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2013-547523 (P2013-547523)	(73) 特許権者	506128400
(86) (22) 出願日	平成23年12月16日 (2011.12.16)		アクサン・テクノロジーズ・エルエルシー
(65) 公表番号	特表2014-505868 (P2014-505868A)		アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 O
(43) 公表日	平成26年3月6日 (2014.3.6)		1821, ビレリカ, フォーチュン ドラ
(86) 国際出願番号	PCT/US2011/065397		イブ 1
(87) 国際公開番号	W02012/091958	(74) 代理人	100087941
(87) 国際公開日	平成24年7月5日 (2012.7.5)		弁理士 杉本 修司
審査請求日	平成26年12月15日 (2014.12.15)	(74) 代理人	100086793
(31) 優先権主張番号	12/981,783		弁理士 野田 雅士
(32) 優先日	平成22年12月30日 (2010.12.30)	(74) 代理人	100112829
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 堤 健郎
		(74) 代理人	100144082
			弁理士 林田 久美子
		(74) 代理人	100154771
			弁理士 中田 健一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 統合化された光コヒーレンストモグラフィシステム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源からの光源光信号を試料アームと参照アームとに分割する干渉計スプリッタと、
前記試料アーム上の第1の試料アーム偏光ビームスプリッタであって、前記光源光信号
を試料に送出する第1の試料アーム偏光ビームスプリッタと、
前記第1の試料アーム偏光ビームスプリッタを透過した前記光源光信号を前記試料に送
出する第2の試料アーム偏光ビームスプリッタと、
前記第1の試料アーム偏光ビームスプリッタと前記第2の試料アーム偏光ビームスプリ
ッタとの間に位置する非相反性の試料偏光方向回転システムと、
前記光源光信号を前記参照アーム内で伝送する第1の参照アームビームスプリッタと、
前記第1の参照アームビームスプリッタを透過した前記光源光信号を前記参照アーム内
で伝送する第2の参照アームビームスプリッタと、
光信号を検出する第1の光検出器ペアと、
光信号を検出する第2の光検出器ペアとを備え、
第2の試料アーム偏光ビームスプリッタは、前記光源光信号のうちの前記試料から反射
した第2偏光を、前記第2の光検出器ペアに方向付けるとともに、前記光源光信号のう
ちの前記試料から反射した、前記第2偏光とは異なる偏光を前記非相反性の試料偏光方向回
転システムに方向付け、
前記試料偏光方向回転システムは、前記第2の試料アーム偏光ビームスプリッタからの
、前記第2偏光とは異なる前記偏光を回転して第1偏光とし、

10

20

第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタは、前記試料偏光方向回転システムからの前記第 1 偏光を前記第 1 の光検出器ペアに方向付け、

第 2 の参照アームビームスプリッタは、前記参照アーム内の前記光源光信号のうちのリフレクタで反射した信号の一部を、前記第 2 の光検出器ペアに方向付けるとともに、前記信号の他部を前記第 1 の参照アームビームスプリッタに方向付け、

第 1 の参照アームビームスプリッタは、前記第 2 の参照アームビームスプリッタを通過した信号を前記第 1 の光検出器ペアに方向付ける、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第 1 偏光と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第 1 の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第 1 の検出器干渉スプリッタ/コンバイナを備えた、光コヒーレンス分析システム。

10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第 2 偏光と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第 2 の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第 2 の検出器干渉スプリッタ/コンバイナを備えた、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記第 1 の参照アームビームスプリッタと前記第 2 の参照アームビームスプリッタとの間に位置する、前記参照アームにおける非相反性の参照偏光方向回転システムを備え、

20

2 つの前記参照アームビームスプリッタが偏光ビームスプリッタである、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記参照アームにおいて前記光源光信号を受信して複数回反射する反射ブロックを備えた、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号を生成する掃引光源を備えた、光コヒーレンス分析システム。

30

【請求項 7】

請求項 6 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記掃引光源への戻り反射を防止する光アイソレータを備えた、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 8】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号をフィルタ処理する分光フィルタと、

スペクトルについてフィルタ処理された光源光信号を検出し、前記第 1 の光検出器ペアの出力および前記第 2 の光検出器ペアの出力のサンプリングをトリガする k クロック信号を生成する k クロック検出器とを備えた、光コヒーレンス分析システム。

40

【請求項 9】

請求項 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタ、前記第 1 の光検出器ペア、および前記第 2 の光検出器ペアが一体となって設けられている光学ベンチを備えた、光コヒーレンス分析システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、前記光学ベンチが密閉された筐体内に装着されている、光コヒーレンス分析システム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

50

【 0 0 0 1 】

本願は、2010年12月30日付特許出願第12/981,770号の関連出願である同日出願の米国特許出願第12/981,783号の優先権を主張する。これら米国特許出願の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。

【 技術分野 】

【 0 0 0 2 】

本発明は、光コヒーレンス分析に関する。

【 背景技術 】

【 0 0 0 3 】

光コヒーレンス分析とは、参照波と試験波との干渉現象または試験波中の2つの部位間の干渉現象を利用して、距離および厚さの計測や試料の屈折率の計算を行う分析法である。技術化の一例として、断層画像撮影に用いられる光コヒーレンストモグラフィ（OCT）が挙げられ、この技術により、一般的に高解像度の断層画像を得ることができる。OCTは、例えば、生体組織の顕微鏡スケールの画像をリアルタイムで得るのに用いられる。試料（測定試料）の表面全体にわたって光波を走査させ、その光波が試料によって反射されることで、どのように変化したのかについての情報に基づき、試料の深さ方向の断層画像がコンピュータで生成される。

10

【 0 0 0 4 】

最初に提案されたOCT撮像法は、マイケルソン型干渉計に参照波用の可動ミラーを設けた時間領域OCT（TD-OCT）である。それに続いて、フーリエ領域OCT（FD-OCT）が開発された。FD-OCTの一例として、波長（周波数）掃引光源と1つの検出器とを用いる時間符号化FD-OCTが挙げられる。なお、時間符号化FD-OCTは、掃引光源OCT（SS-OCT）とも称される。また、FD-OCTの他の例として、広帯域光源とスペクトル分解可能な検出器システムとを用いるスペクトル符号化FD-OCTが挙げられる。

20

【 0 0 0 5 】

上述した各種OCTは、それぞれ性能特性が異なる。FD-OCTは、TD-OCTよりも速度および信号対雑音比（SN比）が優れている。さらに、前述した2種類のFD-OCTのうち、掃引光源FD-OCTは、スペクトル符号化FD-OCTと異なりバランス検出（平衡検出）および偏光ダイバーシティ検出が可能な点で、スペクトル符号化FD-OCTよりも極めて優れている。それだけでなく、掃引光源FD-OCTは、スペクトル符号化FD-OCTで通常使用される安価な高速検出器アレイでは通用しない波長領域においても撮像が可能な点でも、スペクトル符号化FD-OCTよりも優れている。

30

【 0 0 0 6 】

また、掃引光源FD-OCTには、さらなる利点が幾つか存在する。例えば、スペクトル成分が空間分離によって符号化されるのではなく、時間によって符号化される点である。連続した周波数ステップによってスペクトルの除去または生成を行い、それを再構成したものをフーリエ変換する。掃引光源によって周波数走査を行うので、光学系の構成が複雑にならずに済む。その反面、主な性能特性は、光源（特に、光源のチューニング速度およびチューニング精度）によって大きく左右されることになる。

40

【 0 0 0 7 】

掃引光源FD-OCTの掃引光源には、典型的に波長可変レーザーが使用される。波長可変レーザーの利点には、スペクトル明度が高いことや、光学系の設計を比較的簡略化できることが含まれる。波長可変レーザーは、半導体光増幅器（SOA）等の利得媒体を光共振器内に配置し、さらに、回転回折格子、回転ミラー付き回折格子、ファブリーペロー波長可変フィルタ等の波長可変（選択）フィルタを同じく光共振器内に設けてなる。現在最も高速な波長可変レーザーとして、特許文献1（D. Flanders、M. KuznetsovおよびW. Atiaらに付与された米国特許第7415049号“Multi Spatial Mode Resonator Tuning Element”）に記載されたレーザー設計に基づいたものが挙げられる。同特許文献に記載された波長可変レーザーは、高度に統合化された設計であり、小型なレーザー共振器を実現している。そのため

50

、レーザ共振器内の光往復時間 (round-trip optical travel time) を短縮することができる。以上の理由から、上記特許文献に記載された波長可変レーザは、実質的に高速チューニングが可能である。さらに、上記特許文献に記載されたものには、微小電気機械システム (MEMS) に基づくファブリーペロー波長可変フィルタが用いられ得る。このファブリーペロー波長可変フィルタが有する幅広い走査帯域にわたるスペクトル走査機能と、同じく MEMS に基づいて作製された低質量・高機械共振周波数の薄膜偏光ミラーとを組み合わせることにより、同様に高速チューニングが可能となっている。

【0008】

また、異なる種類の掃引光源である、増幅された自然放出 (ASE) フィルタ光源 (filtered amplified spontaneous emission source) を使用することにより、波長可変レーザの内在的な欠点、例えば、掃引速度に限界があること等の欠点を解消できる可能性がある。ASE フィルタ光源とは、広帯域スペクトル光源 (典型的には、ASE によって光を生成する光源) に、波長可変光学フィルタと光増幅器とを組み合わせたものである。

【0009】

ASE フィルタ光源に基づいた最も高速な装置として、特許文献 2 (W. Atia、D. Flanders、P. Kotidis および M. Kuznetsov らに付与された米国特許第 7061618 号 “Integrated Spectroscopy System”) に記載されたものが挙げられる。同特許文献には、波長可変光源が記載されている。同特許文献には、さらに、増幅機能を設けたものや、トラッキングフィルタを設けたものも含め、ASE フィルタ光源の変形例が数多く記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献 1】米国特許第 7415049 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 7061618 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

OCCT システムのハードウェア性能を判断するために、2 種類の基準が用いられる。まずは光干渉計の機械安定性であり、次に電子信号処理システムの電子帯域幅である。OCCT システム用の干渉計の多くは、複数本の長い光ファイバで構成される。このような干渉計内の光ファイバが機械的運動を生じたり、衝撃を受けたり、応力に曝されたりすると、光ファイバ内の光信号の伝播状態に、例えば、光信号の位相、偏光等に変化が生じ、その干渉計に基づく光学システムの性能に大きな影響を及ぼしかねない。高速、高性能および高解像度の OCCT システムが続々と登場するにつれて、十分に広い電子帯域幅を保証する重要性も増している。例えば、掃引光源の波長チューニング速度が速くなれば、OCCT 画像の取得速度も速くなるが、これを実現するには、光干渉信号をサンプリングするための電子部品に多大な性能要件を課すことになる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明は、光干渉計とその検出器システムとの革新的な統合化 (集積化) に関する。本発明の実施形態では、電子信号増幅器 (典型的に、トランスインピーダンス増幅器) と、干渉計からの光干渉信号を検出する光検出器とが近接して統合 (一体化) される。さらなる実施形態では、干渉計 (好ましくは、干渉計の検出器) も、共通の光学ベンチ上に統合される。これにより、ほとんど光ファイバが存在しないシステムまたは光ファイバが全く存在しないシステムを実現することができる。そのため、光ファイバの運動、歪みおよび衝撃に対して高い堅牢性を示す、極めて安定した干渉計が得られる。また、干渉計の小型化が可能なので、低コストのシステムを構築することができ、かつ、そのような小型化により、OCCT の新たな用途も開拓することができる。さらに、この独創的な OCCT 光干渉計・検出器システムは、高い信頼性で偏光ダイバーシティ検出を行うことができる。

【0013】

概して述べると、本発明の一構成は、光源からの光源光信号を試料アームと参照アームとに分割する干渉計スプリッタを備える、統合化された光コヒーレンス分析システムに関する。前記光源光信号を試料に向ける第1の試料アーム偏光ビームスプリッタが、前記光源光信号のうちの試料から反射した第1偏光成分を、第1の光検出器ペアに方向付ける。前記光源光信号を前記試料に伝送する第2の試料アーム偏光ビームスプリッタが、前記光源光信号のうちの試料から反射した第2偏光成分を、第2の光検出器ペアに方向付ける。さらに、前記第1の試料アーム偏光ビームスプリッタと前記第2の試料アーム偏光ビームスプリッタとの間には、非相反性の試料偏光方向回転システムが設けられる。

【0014】

他の実施形態では、さらに、前記光源光信号を前記参照アーム内に伝送する第1の参照アームビームスプリッタが設けられる。この第1の参照アームビームスプリッタは、前記参照アーム内の前記光源光信号を、前記第1の光検出器ペアに方向付ける。好ましくは、さらに、前記光源光信号を前記参照アーム内に伝送する第2の参照アームビームスプリッタが設けられる。この第2の参照アームビームスプリッタは、前記参照アーム内の前記光源光信号を、前記第2の光検出器ペアに方向付ける。

【0015】

また、好ましくは、前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第1偏光成分と前記参照アームからの前記光源光信号とで構成され前記第1の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナが設けられる。第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナが、前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第2偏光成分と前記参照アームからの前記光源光信号とで構成され前記第2の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する。

【0016】

ある実施形態では、前記第1の参照アームビームスプリッタと前記第2の参照アームビームスプリッタとの間に、前記参照アームにおける非相反性の参照偏光方向回転システムが位置し、かつ、2つの前記参照アームビームスプリッタが偏光ビームスプリッタとされる。

【0017】

また、前記参照アームにおいて前記光源光信号を受信して当該光源光信号を何回も反射する反射ブロックが使用されてもよい。

【0018】

さらに、以下の構成が、システム（場合によっては、共通の光学ベンチ）に統合され得る：前記光源光信号を生成する掃引光源；前記掃引光源への戻り反射を防止する光アイソレータ；前記光源光信号をフィルタ処理する分光フィルタ；および/または前記光源光信号のうちの、スペクトルに応じてフィルタを通過したものを検出し、前記第1の光検出器ペアの出力および前記第2の光検出器ペアの出力のサンプリングをトリガするkクロック信号を生成するkクロック検出器。

【0019】

概して述べると、本発明の他の構成は、光学ベンチと、前記光学ベンチに設けられた第1の光検出器ペアと、前記光学ベンチに設けられた第2の光検出器ペアと、前記光学ベンチに設けられ、光源からの光源光信号を試料アームと参照アームとに分割する干渉計スプリッタと、前記光源光信号のうちの試料から反射したものと前記参照アームからの前記光源光信号とで構成され前記第1の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナと、前記光源光信号のうちの前記試料から反射したものと前記参照アームからの前記光源光信号とで構成され前記第2の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナと、を備える光コヒーレンス分析システムに関する。

【0020】

一部の実施形態において、前記光コヒーレンス分析システムは、さらに、前記光源光信号を前記試料に伝送する第1の試料アームビームスプリッタであって、前記光源光信号の

うちの前記試料から反射したものを、前記第 1 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナに伝送する第 1 の試料アームビームスプリッタと、前記光源光信号を前記試料に伝送する第 2 の試料アームビームスプリッタであって、前記光源光信号のうちの前記試料から反射したものを、前記第 2 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナに伝送する第 2 の試料アームビームスプリッタと、を備える。

【 0 0 2 1 】

また、前記光源光信号を伝送する第 1 の参照アームビームスプリッタであって、前記参照アームからの前記光源光信号を、前記第 1 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナに伝送する第 1 の参照アームビームスプリッタが設けられてもよい。また、第 2 の参照アームビームスプリッタが、前記参照アームからの前記光源光信号を、前記第 2 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナに伝送してもよい。

10

【 0 0 2 2 】

以下では、構成品 / 構成要素の構造および組合せに関する新規的な各種詳細も含め、本発明の前述した特徴、その他の特徴およびその他の利点を、添付の図面を参照しながら詳細に説明し、さらに、添付の特許請求の範囲に規定する。なお、本発明の実施形態として示す装置および方法は、あくまでも例示に過ぎず、本発明を限定するものではない。さらに、本発明の原理および特徴は、本発明の範囲を逸脱しない範疇の様々な実施形態に適用することができる。

【 0 0 2 3 】

添付の図面では、異なる図をとおして、同じ参照符号は同じ構成品 / 構成要素を指すものとする。なお、図面は必ずしも縮尺どおりではなく、むしろ、本発明の原理を示すことに重点を置いている。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 4 】

【図 1】本発明の一実施形態に基づいた、掃引光源、干渉計および統合化された検出器システムを備える OCT システムの概略図である。

【図 2】本発明の他の実施形態に基づいた、掃引光源を備え、偏光ダイバーシティ検出が可能である統合化された光検出器システムを組み込んだ OCT システムの概略図である。

【図 3】本発明のさらなる他の実施形態に基づいた、2 つの掃引光源を備え、統合化された光検出器システムに付帯的な検出器を設けることでスペクトル解析機能を取り入れた OCT システムの概略図である。

30

【図 4】統合化された光検出器システム内で光干渉信号が生成される OCT システムの概略図である。

【図 5】統合化された光検出器システムの縮尺平面図である。

【図 6】偏光ダイバーシティ検出が可能な統合化された光検出器システムの縮尺斜視図である。

【図 7】統合化された OCT システムの一実施形態の概略平面図である。

【図 8】統合化された OCT システムの他の実施形態の概略平面図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 5 】

40

図 1 に、本発明の原理に基づいて統合化された検出器システム 10 を備える光コヒーレンス分析システム 300 を示す。

【 0 0 2 6 】

掃引光源システム 100 は、波長可変な光信号を生成する。この光信号は、光ファイバ 320 を介して干渉計 50 に伝送される。好ましい実施形態において、前記波長可変な光信号は、狭い帯域幅の出射でスペクトル走査帯域にわたって走査する。

【 0 0 2 7 】

一実施形態において、掃引光源 100 は波長可変レーザである。この波長可変レーザは、例えば、前述の特許文献 1 に記載されたものであってもよい。なお、特許文献 1 の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。他の実施形態において、掃引

50

光源 100 は、Flandersらを発明者とする2009年9月3日付願の米国特許出願第12/553,295号（米国特許出願公開公報第2011/0051148号）“Filtered ASE Swept Source for OCT Medical Imaging”の明細書に記載されたASEフィルタ掃引光源、またはFlandersらを発明者とする2010年5月8日付願の米国特許出願第12/776,373号（米国特許出願公開公報第2011/0051143号）“ASE Swept Source with Self-Tracking Filter for OCT Medical Imaging”の明細書に記載されたASEフィルタ掃引光源である。これら米国特許出願の全教示内容は、参照をもって本明細書に取り入れたものとする。

【0028】

好ましくは、掃引光源システム100はkクロックモジュール250を含む。kクロックモジュール250は、掃引光源100の波長可変な光信号の周波数がチューニングによって前記走査帯域内で等間隔ずつ増減されるのに合わせて、クロック信号を生成する。好ましくは、遅延器252（例えば、電子遅延器等）が、A/Dクロックのトリガ遅延を干渉計50の光信号の遅延と一致させるために設けられている。

【0029】

干渉計50が、試料340からの光信号を分析するのに用いられる。掃引光源モジュール100の波長可変な光信号が、光ファイバ320を介して光カプラ322（例えば、90/10カプラ等）に伝送される。この伝送された前記波長可変な光信号は、カプラ322によって干渉計50の参照アーム326と試料アーム324とに分割される。

【0030】

参照アーム326には、反射光を異なる方向に向ける参照アームサーキュレータ342が設けられている。参照アーム326の光ファイバは、ファイバ端面328で終端する。この参照アーム326のファイバ端面328から出射した光は、レンズ330によってコリメート（平行化）された後、ミラー332で反射されて戻る。

【0031】

一例において、この外部のミラー332は、調節可能な光ファイバを有し、ミラーまでの距離を調節可能にする。この距離により、深さ方向の撮像範囲が決まり、言い換えれば、参照アーム326と試料アーム324との光路長差がゼロとなる試料340内の位置が決定する。なお、この距離は、試料に対して使用するプローブおよび/または撮像する試料に応じて調節される。参照波ミラー332で反射した光は、参照アームサーキュレータ342に戻り、50/50ファイバカプラ346に方向付けられる。

【0032】

試料アーム324には、試料から反射した反射光を異なる方向に向ける試料アームサーキュレータ341が設けられている。試料アーム324の光ファイバは、プローブ336で終端する。このプローブ336からは、光が試料340において収束するように出射される。試料340から反射した光は、試料アームサーキュレータ341に戻り、50/50ファイバカプラ346に方向付けられる。ファイバカプラ346では、参照アーム326からの光信号と試料アーム324からの光信号とが結合し、光干渉信号を生成する。

【0033】

この光干渉信号を、統合化された検出器システム10が受信する。詳細には、この光干渉信号は、バランスド受信器（平衡受信器）によって検出される。このバランスド受信器は、ファイバカプラ346の各出力にそれぞれ対応する、2つの検出器（すなわちフォトダイオード）348を含む。バランスド受信器348から出力される電気形態の干渉信号は、増幅器（例えば、トランスインピーダンス増幅器等）350によって増幅される。

【0034】

2つの検出器348は、トランスインピーダンス増幅器350と共に、共通の光学ベンチ110上に集積化されている。この光学ベンチ110は、光電子部品用のパッケージ200内に配設されている。

【0035】

検出器348を、トランスインピーダンス増幅器350と共に、共通の光電子部品用のパッケージ200内で一体化すること、好ましくは、共通の光学ベンチ110上で一体化

10

20

30

40

50

することにより、システム全体の電氣的性能を向上させることができる。また、バランスド受信器（検出器）348とトランスインピーダンス増幅器350とを接続する導体つまり導線の長さを、比較的短くすることができる。これにより、電気抵抗および静電容量を減少させることができる。また、熱電冷却器（TE）111を設ければ、この熱電冷却器111により、トランスインピーダンス増幅器350の温度およびバランスド受信器348の温度を安定化させることができる。一実施形態において、熱電冷却器111は、光学ベンチ110と光電子部品用のパッケージ200との間に設置される。この構成によれば、熱電冷却器111により、光学ベンチ110で生じた熱をパッケージ200から取り除くことができる。なお、熱電冷却器111は、他の実施形態では任意の構成である。

【0036】

アナログ-デジタル変換器システム（A/Dボード）315が、増幅器350からの干渉信号出力をサンプリングするのに用いられる。アナログ-デジタル変換器システム315は、kクロックモジュール250から得られる周波数クロック信号、および掃引光源モジュール100に由来する掃引トリガ信号を用いて、システムのデータ取得を掃引光源システム100の光波周波数チューニングに同期させる。

【0037】

掃引光源をチューニングしながら光ビームを試料340に対して走査させることにより、試料340からのデータセットを収集する。通常、このデータセットの収集は、掃引光源100の周波数をチューニングしながら、プローブ336からの集束したビームを試料340に対して空間的にラスタ走査（典型的には、直交x-y方式または円柱-z方式で適用される）を行い、各ポイントでのスペクトル応答を生成することによって実施される。収集されたデータに対し、計算エンジン（例えば、浮動小数点演算可能ゲートアレイ、デジタルシグナルプロセッサ等）380がフーリエ変換を実行することにより、試料340の2Dまたは3Dの断層画像を再構成することができる。デジタルシグナルプロセッサ380によって生成されたこの情報は、映像モニタに表示するようにしてもよい。

【0038】

ある用途では、プローブ336を血管内に挿入することにより、動脈の内壁および静脈の内壁を走査する。別の例では、プローブ336に、他の分析治療手段、例えば、血管内超音波法（IVUS）、前方視IVUS（FLIVUS）、高密度焦点式超音波療法（HIFU）、感圧式ワイヤ、画像誘導治療装置等を設けてもよい。別の医療用途として、プローブ336を眼用プローブとし、前眼部または後眼部（例えば、網膜等）に対して走査を行い、当該部位のOCT画像を生成するようにしてもよい。このようにプローブ336によって画像診断を行い、これを画像誘導治療に利用したり、治療手段と組み合わせることでレーザ手術等を実施したりすることも可能である。

【0039】

図2に、本発明の第2の実施形態に基づいた、光コヒーレンス分析システム300を示す。

【0040】

この第2の実施形態における統合化された光検出器システム10は、光干渉信号を、異なる偏光成分に分離することができる。詳細には、第1の偏光ビームスプリッタ362および第2の偏光ビームスプリッタ364が、カブラ346によって生成される光干渉信号を、互いに直交する偏光成分に分離する。

【0041】

2つのバランスド検出器348-1, 348-2が、光干渉信号の2種類の偏光成分のうちの、それぞれに対応する偏光成分を検出する。2つのバランスド検出器348-1, 348-2の出力は、それぞれ対応するトランスインピーダンス増幅器350-1, 350-2によって増幅される。

【0042】

この第2の実施形態でも、2つのバランスド検出器348-1, 348-2が、トランスインピーダンス増幅器350-1, 350-2、および他の光学部品（例えば、第1の

10

20

30

40

50

偏光ビームスプリッタ 3 6 2、第 2 の偏光ビームスプリッタ 3 6 4 等) と共に、共通の光学ベンチ 1 1 0 上に集積化されている。この光学ベンチ 1 1 0 は、光電子部品用のパッケージ 2 0 0 内に配設されている。

【 0 0 4 3 】

2 つのバランスド検出器 3 4 8 - 1 , 3 4 8 - 2 を、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 と共に、共通の光学ベンチ 1 1 0 上に集積化することにより、検出器と増幅器との間の電気抵抗および静電容量を減少させることができるので、システム全体の電氣的性能を向上させることができる。また、熱電冷却器 1 1 1 を設ければ、この熱電冷却器 1 1 1 により、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 の温度、

10

【 0 0 4 4 】

図 3 に、本発明の第 3 の実施形態に基づいた、光コヒーレンス分析システム 3 0 0 を示す。

【 0 0 4 5 】

この第 3 の実施形態は、試料 3 4 0 に対して分光学的解析のような光学的解析を行うことを可能にする。

【 0 0 4 6 】

20

詳細には、この好ましい実施形態では、プローブ 3 3 6 に 2 つの光ファイバが備えられる。光ファイバ 3 5 0 は、第 1 の掃引光源 1 0 0 - 1 によって生成された第 1 の波長可変な光信号と第 2 の掃引光源 1 0 0 - 2 によって生成された第 2 の波長可変な光信号との光結合信号を、プローブ 3 3 6 に伝送する。このプローブ 3 3 6 は、その光結合信号を試料 3 4 0 に向けて出射する。試料 3 4 0 から反射した光のうち、光コヒーレンス分析に使用されるものは、光ファイバ 3 5 0 を介してサーキュレータ 3 4 1 に戻る。この反射光は、前述した実施形態と同じように処理され、試料 3 4 0 の光コヒーレンス分析結果が得られる。

【 0 0 4 7 】

一方、試料 3 4 0 のスペクトル解析に使用される反射光は、プローブ 3 3 6 を介して光ファイバ 3 5 2 に光結合される。このスペクトル解析用光は、付帯的な検出器 (すなわち、スペクトル解析用検出器) 3 5 6 によって検出される。一具体例では、フィルタ・コリメータ素子 3 5 5 が、そのスペクトル解析用光を、スペクトル解析用検出器 3 5 6 に向ける。必要に応じて、このフィルタ・コリメータ素子 3 5 5 は、さらに、試料 3 4 0 の光コヒーレンス分析に関係するスペクトル成分を除去する。

30

【 0 0 4 8 】

一具体例において、第 1 の掃引光源 1 0 0 - 1 は、光コヒーレンス分析用の掃引光源である。第 2 の掃引光源 1 0 0 - 2 は、試料 3 4 0 のスペクトル解析用の掃引光源である。通常、これら 2 種類の掃引光源は、互いに異なるスペクトル走査帯域で動作する。この具体例では、フィルタ・コリメータ素子 3 5 5 は、第 2 の掃引光源 1 0 0 - 2 の走査帯域のみを通過させる WDM フィルタである。

40

【 0 0 4 9 】

他の具体例では、試料 3 4 0 のスペクトル解析が、光コヒーレンス分析と同じスペクトル領域で実行される。この場合、フィルタ・コリメータ素子 3 5 5 は、第 1 の掃引光源 1 0 0 - 1 および第 2 の掃引光源 1 0 0 - 2 の両方のスペクトル成分を通過させる。そして、検出器 3 5 6 が、試料 3 4 0 のスペクトル応答を時間多重方式で検出する。あるいは、第 1 の掃引光源 1 0 0 - 1 および第 2 の掃引光源 1 0 0 - 2 が互いに異なるスペクトル走査帯域で動作する場合であって、かつ、それらを時間分割できない場合には、フィルタ・コリメータ素子 3 5 5 が、それら 2 種類の走査帯域の光のうち的一方のみを、検出器 3 5 6 に到達させる。

50

【 0 0 5 0 】

この第3の実施形態でも、統合化された検出器システム10は、光電子の検出器348、356を共通の光学ベンチ110上に集積化し、かつ、この光学ベンチ110を光電子部品用のパッケージ200内に配設したものとされる。好ましくは、バランス検出器348に接続された増幅器350-1および付帯的な検出器356に接続された増幅器350-2も、共通の光学ベンチ110に設けられる。

【 0 0 5 1 】

図4に、統合化された検出器システム10のさらなる他の実施形態を示す。

【 0 0 5 2 】

この実施形態では、光ファイバ351が、試料アームサーキュレータ341からの光信号を、ファイバフィードスルー260を介して光電子部品用のパッケージ200内に導波する。同様に、光ファイバ352が、参照アームサーキュレータ342からの光信号を、ファイバフィードスルー262を介して光電子部品用のパッケージ200内に導波する。

10

【 0 0 5 3 】

この実施形態では、光干渉信号をファイバカブラによって生成するわけではない。むしろ、試料アーム324からの光信号および参照アーム326の光信号を、検出器システム201に直接供給する。前述したものと同様に、この検出器システム201は、トランスインピーダンス増幅器システム350と共に、光学ベンチ110に設けられている。さらに、いずれの構成も、光電子部品用のパッケージ200内に配設されている。

20

【 0 0 5 4 】

この実施形態は、光干渉信号をファイバカブラによって生成せずに済む点があり有利である。むしろ、光干渉信号は、共通の光学ベンチ110に設けられた検出器システム201内で、例えばビームスプリッタ/コンバイナ等によって生成される。この構成により、光ファイバ構成への衝撃や応力に対して堅牢なシステムを提供することができる。さらに、熱電冷却器111を設けることにより、熱的安定性が得られる。

【 0 0 5 5 】

図5に、図4のOCTシステムに適用可能な、統合化された光検出器システムの一実施形態を示す。

【 0 0 5 6 】

詳細には、試料アームからの光信号が、光ファイバ351により、ファイバフィードスルー260を通して光電子部品用のパッケージ200内に伝送される。光電子部品用のパッケージ200は、光学ベンチ110を収容している。この光学ベンチ110には、電熱冷却器111が装着されている。光ファイバ351の端部ファセットは、取付構造282によって光学ベンチ110に固定されている。米国特許第6625372号明細書に、このような取付構造および他の取付構造の例が記載されている。

30

【 0 0 5 7 】

試料アームからの光信号は、レンズ光学部品272によってコリメートされる。このレンズ光学部品272は、取付構造および基材レンズを備えている。このコリメートされた光信号を、干渉ビームスプリッタ/コンバイナ224が受信する。

40

【 0 0 5 8 】

同様に、参照アームからの光信号が、光ファイバ352により、ファイバフィードスルー262を通して伝送される。光ファイバ352の端部ファセットは、取付構造284によって光学ベンチ110に固定されている。

【 0 0 5 9 】

参照アームからの光信号は、第2のレンズ光学部品270によってコリメートされる。このコリメートされた光信号は、折り返しミラー274に方向付けられ、干渉ビームスプリッタ/コンバイナ224で受信される。

【 0 0 6 0 】

干渉ビームスプリッタ/コンバイナ224は、試料アーム324からの光信号と参照ア

50

ーム 3 2 6 からの光信号との光干渉により、光干渉信号を生成する。この光干渉信号は、第 1 の光検出器 2 2 6 と第 2 の光検出器 2 3 2 によって検出される。光検出器 2 2 6 , 2 3 2 が、バランス検出器システム（またはバランス受信器システム）を形成する。

【 0 0 6 1 】

第 1 の検出器 2 2 6 および第 2 の検出器 2 3 2 は、それぞれ電気導体（すなわちワイヤボンド）2 7 6 , 2 7 8 により、いずれもトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 に電氣的に接続されている。このトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 は、光学ベンチ 1 1 0 の上面に固定されている。好ましい実施形態において、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 は、光学ベンチ 1 1 0 に直接接着されたベアシリコンチップ（bare silicon chip）である。トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 は、電気導体（またはワイヤボンド）2 8 0 により、光電子部品用のパッケージ 2 0 0 のワイヤボンドパッド 8 , 9 に接続されている。

10

【 0 0 6 2 】

このようにして、上記の実施形態では、光学ベンチ 1 1 0 上で光干渉信号を直接生成することができる。また、光学ベンチ 1 1 0 にトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 のダイ（チップ）を設置することにより、この増幅器 3 5 0 と第 1 および第 2 の検出器 2 2 6 , 2 3 2 とを接続する電気接続部分 2 7 6 , 2 7 8 を短くすることができる。これにより、これら構成要素間の電気抵抗を抑えるとともに、静電容量を減少させることができるので、高速かつ高帯域での動作が可能となる。

【 0 0 6 3 】

図 6 に、図 4 の OCT システムに適用可能な、統合化された光検出器システム 1 0 の他の実施形態を示す。

20

【 0 0 6 4 】

この実施形態では、前述した実施形態と同じように、干渉ビームスプリッタ / コンバイナ 2 2 4 に、参照アーム 3 2 6 からの光信号および試料アーム 3 2 4 からの光信号を供給する。ただし、干渉ビームスプリッタ / コンバイナ 2 2 4 で生成された光干渉信号は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 8 6 と第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 8 8 とで受信される。これら偏光ビームスプリッタ 2 8 6 , 2 8 8 は、第 1 偏光成分を透過させて第 1 偏光に直交する第 2 偏光成分を反射する。

【 0 0 6 5 】

第 1 のバランス受信器は、第 1 および第 2 の検出器 2 2 6 , 2 3 2 で構成される第 1 の検出器ペアを備える。第 2 のバランス受信器は、第 1 および第 2 の検出器 2 3 6 , 2 3 8 で構成される第 2 の検出器ペアを備える。詳細には、偏光ビームスプリッタ 2 8 6 , 2 8 8 が透過する第 1 偏光成分に対して、第 1 のバランス受信器が、第 1 および第 2 の検出器 2 2 6 , 2 3 2 で構成される第 1 の検出器ペアを備える。また、偏光ビームスプリッタ 2 8 6 , 2 8 8 が反射する第 2 偏光成分に対して、第 2 のバランス受信器が、第 1 および第 2 の検出器 2 3 6 , 2 3 8 を備える。

30

【 0 0 6 6 】

2 つのトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 のうち、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 が第 1 のバランス受信器からの信号を受信し、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 2 が第 2 のバランス受信器からの信号を受信する。詳細には、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 が、検出器 2 2 6 および検出器 2 3 2 の出力を増幅し、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 2 が、検出器 2 3 6 および検出器 2 3 8 の出力を増幅する。

40

【 0 0 6 7 】

トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 は、ワイヤボンド 2 7 6 により、検出器 2 2 6 , 2 3 2 に接続されており、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 2 は、ワイヤボンド 2 7 6 により、検出器 2 3 6 , 2 3 8 に接続されている。トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 の電気出力は、ワイヤボンド 2 8 0 により、光電子部品用のパッケージ 2 0 0 のボンドパッドに接続されている。光電子部品用のパッケージ 2 0 0 のリード線 5 0 2 により、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 の増幅出力

50

が送出されると共に、これら増幅器 350 - 1, 350 - 2 に対する電力が外部から入力される。

【0068】

この実施形態でも、トランスインピーダンス増幅器 350 - 1, 350 - 2 を、光検出器 226, 232, 236, 238 と共に、共通の光学ベンチ 110 に設けることにより、高帯域での動作が可能となる。また、前述したものと同じく、干渉ビームスプリッタ/コンバイナ 224 により光学ベンチ 110 上で直接光干渉信号を生成することができる。これにより、機械的衝撃や熱的不安定に対する堅牢性を向上させることができる。

【0069】

図 7 に、統合化された OCT システム 300 を示す。この実施形態では、OCT システム全体が、単一の密閉されたパッケージ 200 内において共通の光学ベンチ 110 上に集積化されている。この構成によれば、全ての光学路を共通の光学ベンチ 110 上に位置させることができるので、システムの機械安定性を最大限に高めることができる。また、共通の密閉されたパッケージ 200 内に配設するので、極めてコンパクトで小型化されたシステムを提供することができる。例えば、一実施形態において、光学ベンチ 110 は、長さが 150 ミリメートル未満で幅が 150 ミリメートル未満である。好ましくは、光学ベンチ 110 は、長さが 100 ミリメートル未満で幅が 100 ミリメートル未満である。

【0070】

詳細には、掃引光源 100 は、波長可変な光信号を生成する。この光信号は、干渉計 50 に伝送される。一実施形態において、掃引光源 100 は波長可変レーザである。この波長可変レーザは、例えば、前述の特許文献 1 に記載されたものであってもよい。他の実施形態において、掃引光源 100 は、Flanders らを発明者とする 2009 年 9 月 3 日付願の米国特許出願第 12/553,295 号（米国特許出願公開公報第 2011/0051148 号）“Filtered ASE Swept Source for OCT Medical Imaging”の明細書に記載された ASE フィルタ掃引光源、または Flanders らを発明者とする 2010 年 5 月 8 日付願の米国特許出願第 12/776,373 号（米国特許出願公開公報第 2011/0051143 号）“ASE Swept Source with Self-Tracking Filter for OCT Medical Imaging”の明細書に記載された ASE フィルタ掃引光源である。

【0071】

掃引光源 100 は、極めてコンパクトな設計構造体内に設けられる。一例として、掃引光源 100 は、パッケージ 200 内において光学ベンチ 110 に設けられる。他の実施形態では、光源からの光が、光ファイバを介して光学ベンチ 110 に光結合されるか、またはパッケージ 200 のウィンドウ（光学窓）を介して光学ベンチ 110 に光結合される。

【0072】

光アイソレータ 204 により、干渉計 50 からの戻り反射（back reflection）が光源 100 の動作を妨害しないようにされる。

【0073】

干渉計ビームスプリッタ 212 が、掃引光源からの波長可変な光信号を受信する。干渉計ビームスプリッタ 212 は、さらに、この波長可変な光信号を、干渉計 50 の試料アーム 324 と参照アーム 326 とに分割する。典型的な実施形態において、干渉計ビームスプリッタは 50 / 50 スプリッタではない。むしろ、光源からの光信号の大半は、試料 340 からの反射による信号損失の大きい試料アーム 324 に向けられる。

【0074】

試料アーム 324 では、波長可変な光信号が、まず、第 1 の偏光ビームスプリッタ 222 を透過する。これを透過した波長可変な光信号は、さらに、非相反性の偏光素子を通して。この非相反性の偏光素子は、ファラデー回転子 228 および 1 / 2 波長板 230 で構成される。これら構成部品 228, 230 の組合せにより、掃引光源 100 からの波長可変な光信号の偏光方向の回転は、正味でゼロとなる。そして、この波長可変な光信号は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 234 を透過して試料 340 に到達する。

【0075】

第 2 の偏光ビームスプリッタ 234 が、試料 340 から反射した反射光をまず受信する

10

20

30

40

50

。この第2の偏光ビームスプリッタ234は、試料から反射した反射光のうち、掃引光源100の偏光方向と直交する偏光成分を、第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ258に向けて反射する。

【0076】

これに対し、第2の偏光ビームスプリッタ234は、試料340から反射した反射光のうち、掃引光源100の偏光方向と平行な偏光成分については透過させる。

【0077】

ファラデー回転子228および1/2波長板230で構成される前記非相反性の偏光素子は、試料340から反射した反射光の偏光方向を、掃引光源100の偏光方向と直交する方向に回転させる。これは、通過する光の伝播方向に従うファラデー回転子228の非相反的な動作に起因する。

10

【0078】

試料から反射した反射光のうち、第1の偏光ビームスプリッタ222が受信したものは、第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ224に向けて反射される。

【0079】

参照アーム326では、掃引光源100からの光信号が、まず、第1の偏光ビームスプリッタ214を透過する。好ましい実施形態において、掃引光源100によって生成された光が、まず、第1の参照アーム偏光ビームスプリッタ214を透過する。

【0080】

掃引光源100からの光信号は、さらに、参照アーム326における非相反性の偏光方向回転素子を通過する。この非相反性の偏光方向回転素子は、ファラデー回転子216および1/2波長板218で構成される。なお、この際の偏光方向の回転はゼロである。これにより、波長可変な光信号は、参照アーム326における第2の偏光ビームスプリッタ220も透過することができる。

20

【0081】

参照アーム326内を進んだ光は、リフレクタ332に到達する。このリフレクタ332は、光を、第2の参照アーム偏光ビームスプリッタ220に向けて反射する。

【0082】

リフレクタ332、または参照アーム326の伝波路に沿って配置された他の素子は、リフレクタ332から第2の偏光ビームスプリッタ220に向けて反射された反射光が両方(2種類)の偏光成分を有するように、光の偏光方向を(例えば、45°)回転させる。

30

【0083】

第2の参照アーム偏光ビームスプリッタ220は、その反射光のうち、掃引光源100の偏光方向と直交する偏光成分を、第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ258に向けて反射する。

【0084】

前記反射光のうち、第2の参照アーム偏光ビームスプリッタ220を透過したものは、1/2波長板218およびファラデー回転子216を通過する。これら構成部品218, 216の組合せは、非相反的に偏光方向を回転させるように設定されているので、前記反射光のうちの第2の参照アーム偏光ビームスプリッタ220を透過したものを、掃引光源100からの波長可変な光信号の偏光方向と直交する偏光方向に回転させる。これにより、前記反射光のうちの第2の参照アーム偏光ビームスプリッタ220を透過したものが、第1の参照アーム偏光ビームスプリッタ214により、第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ224に向けて反射される。

40

【0085】

第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ224および第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ258は、それぞれが受信した偏光成分について、光干渉信号を生成する。バランス検出器226, 232を有する第1の検出器ペアは、掃引光源100の偏光と平行な光干渉信号を検出する。バランス検出器236, 238を有する第2の検出器ペア

50

は、掃引光源 100 の偏光と直交する光干渉信号を検出する。

【0086】

一実施形態において、k クロックシステム 250 は、密閉されたパッケージ 200 内において光学ベンチ 110 に設けられる。詳細には、参照アーム 326 内の反射光が、干渉計ビームスプリッタ 212 を透過して k クロックアイソレータ 210 に伝送される。k クロックアイソレータ 210 を通過した光は、反復透過機能を有する分光フィルタ 208 に向けて伝送される。一実施形態において、分光フィルタ 208 は、自由スペクトル領域内で特定のスペクトル成分を反復透過させる透過エタロン（または反射エタロン）である。この分光フィルタ 208 を通過した光が、k クロック検出器 206 で検出される。既述の実施形態と同じように、k クロックシステム 250 は、波長可変な光信号の周波数がその波長走査帯域内で等間隔ずつ増減されるのに合わせて、アナログ - デジタル変換器システムによる前述したバランス検出器の各ペアにおける出力のサンプリングをクロックする。

10

【0087】

既述の実施形態と同じように、この好ましい実施形態においても、2つのトランスインピーダンス増幅器 350 - 1, 350 - 2 が、光学ベンチ 110 に設けられる。第1のトランスインピーダンス増幅器 350 - 1 は、前述したバランス検出器 226, 232 のペアの出力を増幅する。第2のトランスインピーダンス増幅器 350 - 2 は、前述したバランス検出器 236, 238 のペアの出力を増幅する。これにより、主な高速電子部品を他の光学部品と共に光学ベンチに設けた、極めてコンパクトなシステムを提供することができる。

20

【0088】

図8に、統合化された OCT システム 300 の他の実施形態を示す。この実施形態は、参照アーム 326 内で複屈折を行う構成を設けずに済む点が、図7の統合化された OCT システムと異なる。さらに、この実施形態では、偏光ビームスプリッタの数を減らすことができる。

【0089】

詳細には、図7を参照しながら説明したものと同様に、波長可変な光信号が試料アーム 324 内を透過しながら進む。

【0090】

第2の試料アーム偏光ビームスプリッタ 234 が、試料 340 から反射した反射光のうち、掃引光源 100 からの波長可変な光信号と直交するものを反射する。第2の偏光ビームスプリッタ 234 によって反射された光は、非相反性の回転素子を通過する際に、偏光方向が 90° 回転される。なお、この非相反性の回転素子は、ファラデー回転子 254 および 1/2 波長板 256 で構成される。これら構成部品 254, 256 は、光遅延を一致させる目的で設けられる。前述したものと同様に、その非相反性の回転素子を通過した光は、第2の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ 258 によって受信される。一変形例として、前記構成部品 254, 256 の組合せによる機能を、相反性の 90° 偏光方向回転素子（例えば、1/2 波長板等）を設けることで実現するようにしてもよい。

30

【0091】

試料 340 から反射した反射光のうち、掃引光源 100 からの波長可変な光信号と平行な偏光成分については、試料アーム 324 における非相反性の偏光方向回転素子を通過することができる。なお、この非相反性の偏光方向回転素子は、ファラデー回転子 228 および 1/2 波長板 230 で構成される。この非相反性の偏光方向回転素子を通過した光は、第1の試料アーム偏光ビームスプリッタ 222 によって反射されて第1の検出器干渉スプリッタ/コンバイナ 224 に方向付けられる。

40

【0092】

干渉計ビームスプリッタ 212 によって反射されて参照アーム 326 に伝送される前記波長可変な光信号は、第1の参照アームビームスプリッタ 214 および第2の参照アームビームスプリッタ 220 を透過する。この実施形態では、参照アーム 326 に偏光ダイバ

50

ーシティ機能が設けられていない。よって、両方の参照アームビームスプリッタ 2 1 4 , 2 2 0 は、前記波長可変な光信号の一部をシステム外に反射して損失させるので、参照アーム 3 2 6 における損失を引き起こす。

【 0 0 9 3 】

その後、参照アーム 3 2 6 内の光は、反射ブロック 2 4 8 に進入する。反射ブロック 2 4 8 の側壁は、前記波長可変な光信号が反射されるようにコーティングが施されている。なお、前記側壁には、2つの透光ポートが設けられている。前記波長可変な光信号は、入射透光ポート 2 9 0 から進入し、反射ブロック 2 4 8 内で複数回（例えば、10～20回または20回以上等）反射した後、出射ポート 2 9 2 からリフレクタ 3 3 2 に向けて出射される。

10

【 0 0 9 4 】

反射ブロック 2 4 8 は、参照アーム 3 2 6 の光路長を増加させる役割を果たす。反射ブロック 2 4 8 のサイズ、および反射ブロック 2 4 8 内での前記波長可変な光信号の反射回数を制御することにより、参照アーム 3 2 6 の光路長を、試料アーム 3 2 4 の光路長と一致するように変更することができる。

【 0 0 9 5 】

リフレクタ 3 3 2 および反射ブロック 2 4 8 から反射した反射光の一部は、第 2 の参照アームビームスプリッタ 2 2 0 によって反射されて第 2 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナ 2 5 8 に向けられる。第 2 の参照アームビームスプリッタ 2 2 0 を透過した光は、第 1 の参照アームビームスプリッタ 2 1 4 によって反射されて第 1 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナ 2 2 4 に向けられる。

20

【 0 0 9 6 】

既述の実施形態と同じように、k クロックシステム 2 5 0 が、密閉されたパッケージ 2 0 0 内において光学ベンチ 1 1 0 に設けられる。k クロックシステム 2 5 0 は、k クロックアイソレータ 2 1 0、分光フィルタ 2 0 8、および k クロック検出器 2 0 6 を含む。k クロックシステム 2 5 0 は、波長可変な光信号の周波数とその走査帯域内で等間隔ずつ増減されるのに合わせて、前述したバランスド検出器の各ペアの出力のサンプリングをクロックする。

【 0 0 9 7 】

既述の実施形態と同じように、この好ましい実施形態においても、2つのトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 が、光学ベンチ 1 1 0 に設けられる。第 1 のトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 は、前述したバランスド検出器 2 2 6 , 2 3 2 のペアの出力を増幅する。第 2 のトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 2 は、前述したバランスド検出器 2 3 6 , 2 3 8 のペアの出力を増幅する。これにより、主な高速電子部品を他の光学部品と共に光学ベンチに設けた、極めてコンパクトなシステムを提供することができる。

30

【 0 0 9 8 】

本発明を、詳細に図示した好適な実施形態を参照しながら詳細に説明したが、当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく構成および細部に様々な変更を施すことができ、そのような変更も添付の特許請求の範囲に包含される。

40

なお、本発明は、実施の態様として以下の内容を含む。

〔 態 様 1 〕

光源からの光源光信号を試料アームと参照アームとに分割する干渉計スプリッタと、
前記光源光信号を試料に送出する第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタであって、前記光源光信号のうちの前記試料から反射した第 1 偏光を、第 1 の光検出器ペアに方向付ける第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタと、

前記光源光信号を前記試料に送出する第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタであって、前記光源光信号のうちの前記試料から反射した第 2 偏光を、第 2 の光検出器ペアに方向付ける第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタと、

前記第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタと前記第 2 の試料アーム偏光ビームスプリ

50

ツタとの間に位置する非相反性の試料偏光方向回転システムとを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 2〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号を前記参照アーム内に送出する第 1 の参照アームビームスプリッタであって、前記参照アーム内の前記光源光信号を、前記第 1 の光検出器ペアに方向付ける第 1 の参照アームビームスプリッタを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 3〕

態様 2 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号を前記参照アーム内に送出する第 2 の参照アームビームスプリッタであって、前記参照アーム内の前記光源光信号を、前記第 2 の光検出器ペアに方向付ける第 2 の参照アームビームスプリッタを備えた、光コヒーレンス分析システム。

10

〔態様 4〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第 1 偏光と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第 1 の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第 1 の検出器干渉スプリッタ/コンバイナを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 5〕

態様 5 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号のうちの前記試料から反射した前記第 2 偏光と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第 2 の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第 2 の検出器干渉スプリッタ/コンバイナを備えた、光コヒーレンス分析システム。

20

〔態様 6〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記第 1 の参照アームビームスプリッタと前記第 2 の参照アームビームスプリッタとの間に位置する、前記参照アームにおける非相反性の参照偏光方向回転システムを備え、
2 つの前記参照アームビームスプリッタが偏光ビームスプリッタである、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 7〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記参照アームにおいて前記光源光信号を受信して複数回反射する反射ブロックを備えた、光コヒーレンス分析システム。

30

〔態様 8〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号を生成する掃引光源を備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 9〕

態様 8 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記掃引光源への戻り反射を防止する光アイソレータを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔態様 10〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記光源光信号をフィルタ処理する分光フィルタと、
スペクトルについてフィルタ処理された光源光信号を検出し、前記第 1 の光検出器ペアの出力および前記第 2 の光検出器ペアの出力のサンプリングをトリガする k クロック信号を生成する k クロック検出器とを備えた、光コヒーレンス分析システム。

40

〔態様 11〕

態様 1 に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、
前記第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタ、前記第 1 の光検出器ペア、および前記第 2 の光検出器ペアが一体となって設けられている光学ベンチを備えた、光コヒーレンス分析システム。

50

〔 態 様 １ ２ 〕

態様１１に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、前記光学ベンチが密閉された筐体内に装着されている、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ３ 〕

光学ベンチと、

前記光学ベンチに設けられた第１の光検出器ペアと、

前記光学ベンチに設けられた第２の光検出器ペアと、

前記光学ベンチに設けられ、光源からの光源光信号を試料アームと参照アームとに分割する干渉計スプリッタと、

前記光学ベンチに設けられ、試料から反射した前記光源光信号と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第１の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第１の検出器干渉スプリッタ／コンバイナと、

前記光学ベンチに設けられ、前記試料から反射した前記光源光信号と、前記参照アームからの前記光源光信号とから、前記第２の光検出器ペアによって検出される光干渉信号を生成する、第２の検出器干渉スプリッタ／コンバイナとを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ４ 〕

態様１３に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号を前記試料に送出する第１の試料アームビームスプリッタであって、前記試料から反射した前記光源光信号を、前記第１の検出器干渉スプリッタ／コンバイナに送出する第１の試料アームビームスプリッタと、

前記光源光信号を前記試料に送出する第２の試料アームビームスプリッタであって、前記試料から反射した前記光源光信号を、前記第２の検出器干渉スプリッタ／コンバイナに送出する第２の試料アームビームスプリッタとを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ５ 〕

態様１４に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記第１の試料アームビームスプリッタと前記第２の試料アームビームスプリッタとの間に位置する非相反性の試料偏光方向回転システムを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ６ 〕

態様１３に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号を送出させる第１の参照アームビームスプリッタであって、前記参照アームからの前記光源光信号を、前記第１の検出器干渉スプリッタ／コンバイナに方向付ける第１の参照アームビームスプリッタを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ７ 〕

態様１６に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光源光信号を送出させる第２の参照アームビームスプリッタであって、前記参照アームからの前記光源光信号を、前記第２の検出器干渉スプリッタ／コンバイナに方向付ける第２の参照アームビームスプリッタを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ８ 〕

態様１３に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光学ベンチに設けられ、前記参照アームにおいて前記光源光信号を受信して複数回反射する反射ブロックを備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 １ ９ 〕

態様１３に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光学ベンチに設けられ、前記光源光信号を生成する掃引光源を備えた、光コヒーレンス分析システム。

〔 態 様 ２ ０ 〕

態様１３に記載の光コヒーレンス分析システムにおいて、さらに、

前記光学ベンチに設けられ、前記光源光信号をフィルタ処理する分光フィルタと、

10

20

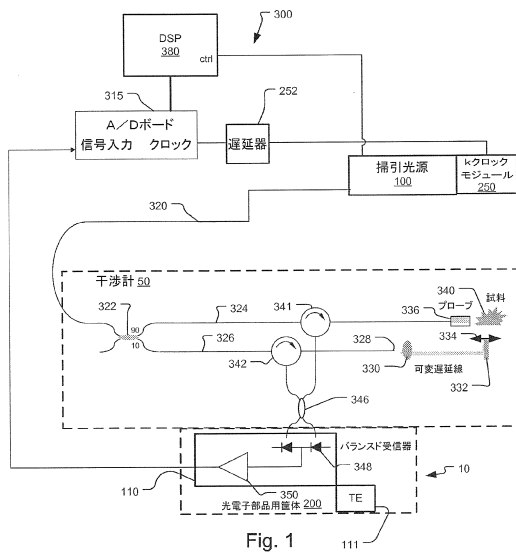
30

40

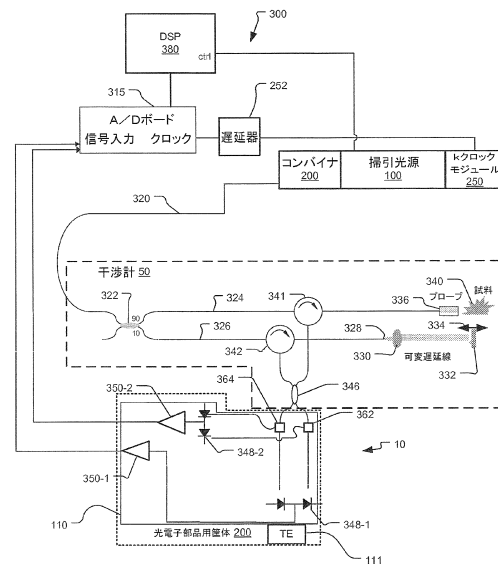
50

前記光学ベンチに設けられ、スペクトルについてフィルタ処理された光源光信号を検出し、前記第 1 の光検出器ペアの出力および前記第 2 の光検出器ペアの出力のサンプリングをトリガする k クロック信号を生成する k クロック検出器とを備えた、光コヒーレンス分析システム。

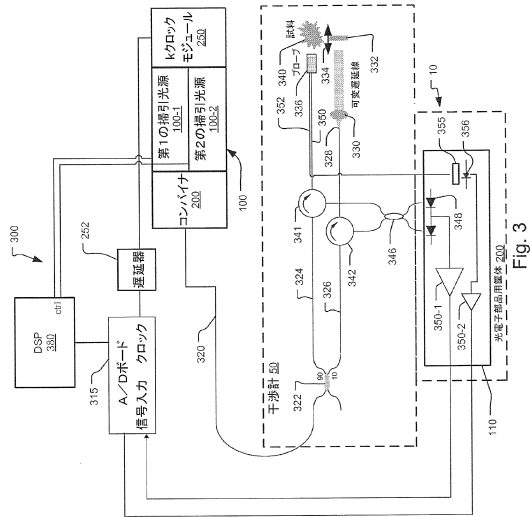
【 図 1 】



【圖 2】



【 図 3 】



【圖 4】

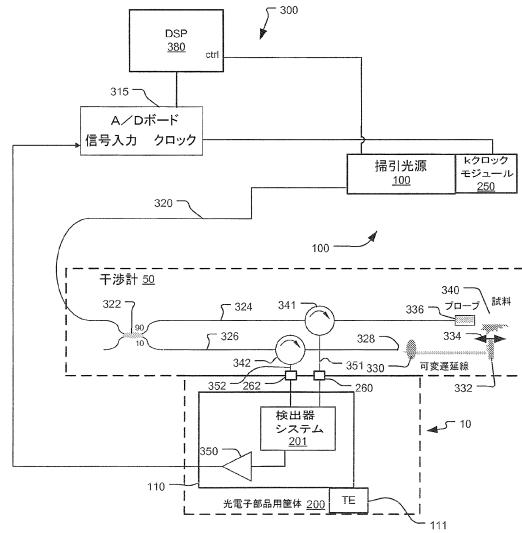


Fig. 4

【圖 5】

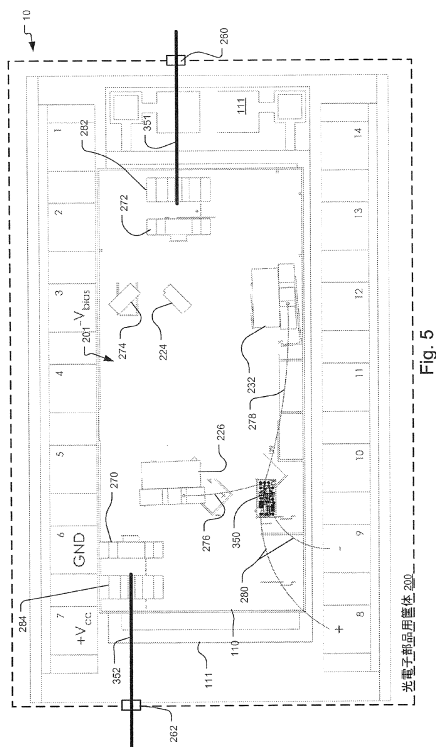


Fig. 5

【 図 6 】

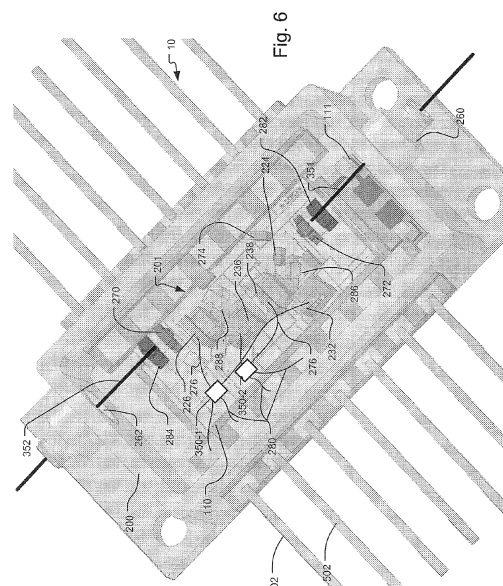


Fig. 6

【図 7】

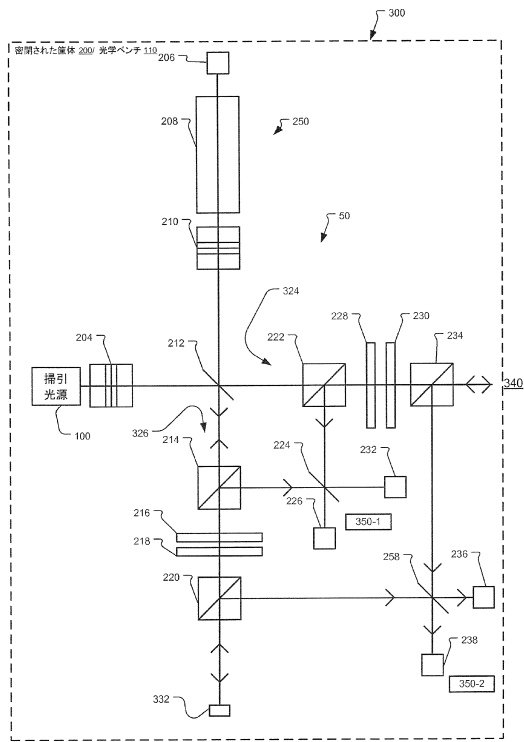


Fig. 7

【図 8】

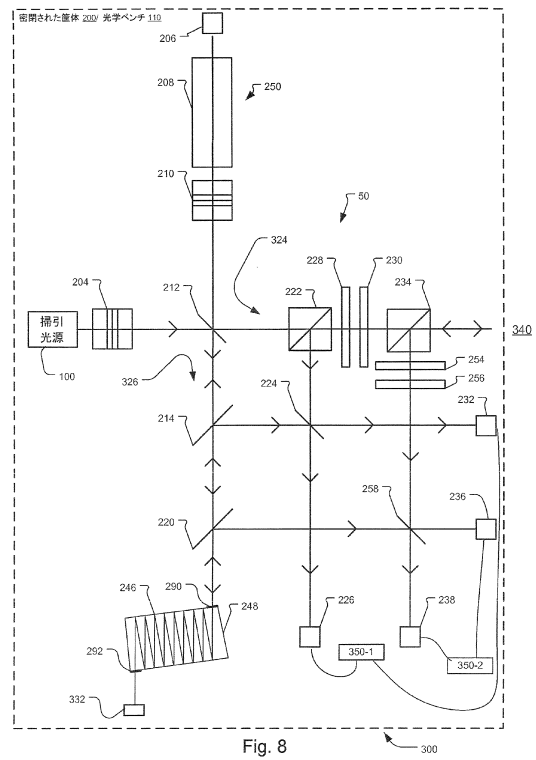


Fig. 8

フロントページの続き

(74)代理人 100155963

弁理士 金子 大輔

(72)発明者 フランダーズ・デイル・シー

アメリカ合衆国，マサチューセッツ州 02420，レキシントン，プレストン ロード 15

審査官 うし 田 真悟

(56)参考文献 特表2007-522456(JP,A)

国際公開第2005/077257(WO,A1)

米国特許出願公開第2009/0284749(US,A1)

特開2006-337060(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00-11/30

G01B 21/00-21/01

G01N 21/17-21/61