

(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2014-502727

(P2014-502727A)

(43) 公表日 平成26年2月3日(2014. 2. 3)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>GO 1 B 9/02 (2006.01)</b>	GO 1 B 9/02	2 F 0 6 4
<b>GO 1 N 21/17 (2006.01)</b>	GO 1 N 21/17 6 2 5	2 G 0 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2013-547522 (P2013-547522)  
 (86) (22) 出願日 平成23年12月16日 (2011. 12. 16)  
 (85) 翻訳文提出日 平成25年8月22日 (2013. 8. 22)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2011/065394  
 (87) 国際公開番号 W02012/091957  
 (87) 国際公開日 平成24年7月5日 (2012. 7. 5)  
 (31) 優先権主張番号 12/981, 770  
 (32) 優先日 平成22年12月30日 (2010. 12. 30)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 506128400  
 アクサン・テクノロジーズ・インコーポレ  
 ーテッド  
 AXSUN TECHNOLOGIES,  
 INC.  
 アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 O  
 1 8 2 1, ビレリカ, フォーチュン ドラ  
 イブ 1  
 (74) 代理人 100087941  
 弁理士 杉本 修司  
 (74) 代理人 100086793  
 弁理士 野田 雅士  
 (74) 代理人 100112829  
 弁理士 堤 健郎

最終頁に続く

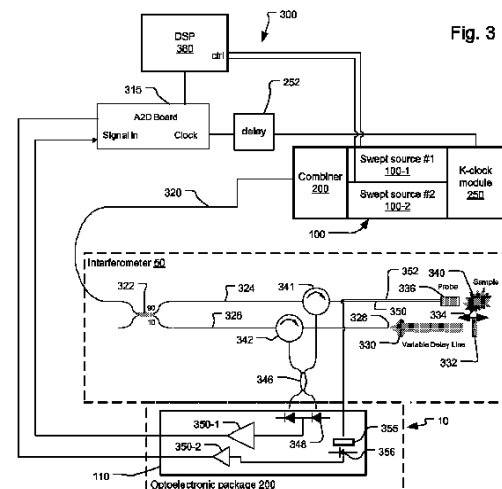
(54) 【発明の名称】 OCT 撮像に用いられる統合化された増幅器付き平衡光検出器システム

## (57) 【要約】

【課題】 光干渉計の機械安定性に優れ、十分に広い電子信号処理システムの電子帯域幅を有する、光コヒーレンス分析システムを提供する。

【解決手段】 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、光源光信号を試料に伝送する第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタであって、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 の光検出器ペアに伝送する第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタと、光源光信号を試料に伝送する第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタであって、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 の光検出器ペアに伝送する第 2 の試料アーム偏光ビームスプリッタと、第 1 の試料アーム偏光ビームスプリッタと第 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測定波偏光方向回転システムとを備える。

【選択図】 図 3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光電子部品用筐体と、  
前記光電子部品用筐体内に装着された光学ベンチと、  
前記光学ベンチに設けられ、光干渉信号を受信する少なくとも 2 つの光検出器を含むバランス検出器システムと、  
前記光電子部品用の筐体内に装着され、前記少なくとも 2 つの光検出器の出力を増幅する電子増幅器システムとを備えた、光検出器システム。

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、前記電子増幅器システムが前記光学ベンチに設けられている、光検出器システム。

10

**【請求項 3】**

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、前記光電子部品用筐体が、第 1 光信号および第 2 光信号を受信する 2 つのファイバフィードスルーを含む、光検出器システム。

**【請求項 4】**

請求項 3 に記載の光検出器システムにおいて、前記第 1 光信号および前記第 2 光信号が、光ファイバコンパイナによって生成された前記光干渉信号である、光検出器システム。

**【請求項 5】**

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、前記バランス検出器システムが、前記光検出器を少なくとも 4 つ含み、

20

当該光検出器システムが、さらに、

2 つの偏光ビームスプリッタを備え、この 2 つの偏光ビームスプリッタが、第 1 偏光成分の前記光干渉信号を、前記光検出器のうちの第 1 の光検出器ペアに送出し、第 2 偏光成分の前記光干渉信号を、前記光検出器のうちの第 2 の光検出器ペアに送出する、光検出器システム。

**【請求項 6】**

請求項 5 に記載の光検出器システムにおいて、前記電子増幅器システムが、前記第 1 の光検出器ペアの出力を増幅する第 1 の電子増幅器と、前記第 2 の光検出器ペアの出力を増幅する第 2 の電子増幅器とを含む、光検出器システム。

**【請求項 7】**

30

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、前記バランス検出器システムが、前記光検出器を少なくとも 4 つ含み、

当該光検出器システムが、さらに、

2 つの分波ビームスプリッタを備え、この 2 つの分波ビームスプリッタが、第 1 波長帯域内の前記光干渉信号を前記光検出器のうちの第 1 の光検出器ペアに送出し、第 2 波長帯域内の前記光干渉信号を前記光検出器のうちの第 2 の光検出器ペアに送出する、光検出器システム。

**【請求項 8】**

請求項 7 に記載の光検出器システムにおいて、前記電子増幅器システムが、前記第 1 の光検出器ペアの出力を増幅する第 1 の電子増幅器と、前記第 2 の光検出器ペアの出力を増幅する第 2 の電子増幅器とを含む、光検出器システム。

40

**【請求項 9】**

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、さらに、

前記光学ベンチに設けられ、付帯的な光信号を受信する付帯的な検出器を備えた、光検出器システム。

**【請求項 10】**

請求項 1 に記載の光検出器システムにおいて、前記付帯的な検出器が、試料のスペクトル応答を計測するのに用いられる、光検出器システム。

**【請求項 11】**

光学ベンチと、

50

前記光学ベンチに設けられ、試料アームからの試料光信号と参照アームからの参照光信号とで構成される光干渉信号を生成する、少なくとも1つのビームスプリッタ/コンバイナと、

前記光学ベンチに設けられ、前記光干渉信号を受信する少なくとも2つの光検出器を含むバランス検出器システムと、

前記光学ベンチに設けられ、前記少なくとも2つの光検出器の出力を増幅する電子増幅器システムとを備えた、光検出器システム。

【請求項12】

請求項11に記載の光検出器システムにおいて、前記光学ベンチが、密閉された光電子部品用筐体内に装着され、当該密閉された光電子部品用筐体は、前記試料光信号および前記参照光信号を受信する2つのファイバフィードスルーを含む、光検出器システム。

10

【請求項13】

請求項11に記載の光検出器システムにおいて、前記バランス検出器システムが、前記光検出器を少なくとも4つ含み、

当該光検出器システムが、さらに、

前記光干渉信号を第1偏光成分および第2偏光成分に分割する第1の偏光ビームスプリッタと、

前記光干渉信号を第1偏光成分および第2偏光成分に分割する第2の偏光ビームスプリッタと、

前記第1偏光成分の前記光干渉信号を検出する、前記光検出器のうちの第1の光検出器ペアと、

20

前記第2偏光成分の前記光干渉信号を検出する、前記光検出器のうちの第2の光検出器ペアとを備えた、光検出器システム。

【請求項14】

請求項13に記載の光検出器システムにおいて、前記電子増幅器システムが、前記第1の光検出器ペアの出力を増幅する第1の電子増幅器と、前記第2の光検出器ペアの出力を増幅する第2の電子増幅器とを含み、当該電子増幅器システムが、前記筐体内に含まれている、光検出器システム。

【請求項15】

光電子部品用筐体内に装着された光学ベンチと、

30

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、

2つの偏光ビームスプリッタであって、第1偏光成分の光干渉信号を前記第1の光検出器ペアに送出し、第2偏光成分の前記光干渉信号を前記第2の光検出器ペアに送出する、2つの偏光ビームスプリッタとを備えた、光検出器システム。

【請求項16】

請求項15に記載の光検出器システムにおいて、さらに、

前記光学ベンチに設けられ、前記光干渉信号を生成するビームスプリッタ/コンバイナを備えた、光検出器システム。

【請求項17】

40

光電子部品用筐体と、

前記光電子部品用筐体内に装着された光学ベンチと、

前記光学ベンチに設けられ、光干渉信号を受信する少なくとも2つの光検出器を含むバランス検出器システムと、

前記光電子部品用筐体内に装着され、試料からの光信号を検出する、スペクトル解析用検出器とを備えた、光検出器システム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本願は、2010年12月30日付 出願の米国特許出願第12/981,783号の関連出願である同日出

50

願の米国特許出願第12/981,770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】

【0002】

本発明は、光コヒーレンス分析に関する。

【背景技術】

【0003】

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

【0004】

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

【0005】

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

【0006】

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。

【0007】

掃引光源FD-OCTの掃引光源には、典型的に波長可変レーザが使用される。波長可変レーザの利点には、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は、高度に統合化された設計であり、小型なレーザ共振器を実現している。そのため、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

40

50

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。

10

【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】

20

【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】

OCT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。OCT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OCT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、OCT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。

30

【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、OCT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OCT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。

40

【0013】

概して述べると、本発明の一構成は、光電子部品用のパッケージ(筐体)であって、好ましくは、密閉されたパッケージと、前記光電子部品用のパッケージ内に配設された光学

50

ベンチと、前記光学ベンチに設けられ、光干渉信号を受信する少なくとも2つの光検出器を含むバランス検出器システムと、前記光電子部品用のパッケージ内に配設されて前記少なくとも2つの光検出器の出力を増幅する電子増幅器システムと、を備える光検出器システムに関する。

【0014】

好ましくは、前記電子増幅器も、前記光学ベンチに設けられている。

【0015】

一部の実施形態では、密閉された前記光電子部品用のパッケージが、第1光信号および第2光信号をそれぞれ受信する2つのファイバフィードスルーを具備している。一部の具体例では、前記第1光信号および前記第2光信号は、光ファイバコンバイナによって生成された前記光干渉信号である。

10

【0016】

一実施形態では、前記バランス検出器システムが、前記光検出器を少なくとも4つ含み、かつ、前記光検出器システムが、さらに、前記光干渉信号の第1偏光成分を前記光検出器のうちの第1の光検出器ペアに向ける偏光ビームスプリッタと、前記光干渉信号の第2偏光成分を前記光検出器のうちの第2の光検出器ペアに向ける偏光ビームスプリッタとで構成される2つの偏光ビームスプリッタ、を備える。この場合、前記電子増幅器システムは、前記第1の光検出器ペアの出力を増幅する第1の電子増幅器と、前記第2の光検出器ペアの出力を増幅する第2の電子増幅器とを含んでもよい。

20

【0017】

一部の実施形態では、付帯的な光信号を受信し、例えば試料のスペクトル応答を計測する付帯的な検出器が、前記光学ベンチに設けられている。

【0018】

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、試料アームからの試料光信号と参照アームからの参照光信号とで構成される光干渉信号を生成する、少なくとも1つのビームスプリッタ/コンバイナと、前記光学ベンチに設けられたバランス検出器システムとを備える光検出器システムに関する。前記バランス検出器システムは、前記光干渉信号を受信する少なくとも2つの光検出器を含む。電子増幅器システムが、前記光学ベンチに設けられ、前記少なくとも2つの光検出器の出力を増幅する。

30

【0019】

好ましくは、前記光学ベンチは、密閉された光電子部品用のパッケージ内に配設され、当該密閉された光電子部品用のパッケージは、前記試料光信号および前記参照光信号を受信する2つのファイバフィードスルーを具備している。

【0020】

概して述べると、本発明のさらに他の構成は、光電子部品用のパッケージ内に配設された光学ベンチと、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、光干渉信号の第1偏光成分を前記第1の光検出器ペアに向ける偏光ビームスプリッタと、前記光干渉信号の第2偏光成分を前記第2の光検出器ペアに向ける偏光ビームスプリッタとで構成される2つの偏光ビームスプリッタと、を備える光検出器システムに関する。

40

【0021】

好ましくは、前記光干渉信号を生成するビームスプリッタ/コンバイナも、前記光学ベンチに設けられている。

【0022】

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

50

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。

【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。

【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 】

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。

【 0 0 2 8 】

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。

【 0 0 2 9 】

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 32

10

20

30

40

50

2 によって干渉計 5 0 の参照アーム 3 2 6 と試料アーム 3 2 4 とに分割される。

【 0 0 3 0 】

参照アーム 3 2 6 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 3 4 2 が設けられている。参照アーム 3 2 6 の光ファイバは、ファイバ端面 3 2 8 で終端する。この参照アーム 3 2 6 のファイバ端面 3 2 8 から出射した光は、レンズ 3 3 0 によってコリメート（平行化）された後、ミラー 3 3 2 で反射されて戻る。

【 0 0 3 1 】

一例において、この外部のミラー 3 3 2 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 3 2 6 と試料アーム 3 2 4 との光路長差がゼロとなる試料 3 4 0 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 3 3 2 で反射した光は、参照アームサーキュレータ 3 4 2 に戻り、5 0 / 5 0 ファイバカブラ 3 4 6 に方向付けられる。

【 0 0 3 2 】

試料アーム 3 2 4 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 3 4 1 が設けられている。試料アーム 3 2 4 の光ファイバは、プローブ 3 3 6 で終端する。このプローブ 3 3 6 からは、光が試料 3 4 0 において収束するように出射される。試料 3 4 0 から反射した光は、試料アームサーキュレータ 3 4 1 に戻り、5 0 / 5 0 ファイバカブラ 3 4 6 に方向付けられる。ファイバカブラ 3 4 6 では、参照アーム 3 2 6 からの光信号と試料アーム 3 2 4 からの光信号とが結合し、光干渉信号を生成する。

【 0 0 3 3 】

この光干渉信号を、統合化された検出器システム 1 0 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、ファイバカブラ 3 4 6 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）3 4 8 を含む。バランスド受信器 3 4 8 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）3 5 0 によって増幅される。

【 0 0 3 4 】

2 つの検出器 3 4 8 は、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 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 3 5 】

検出器 3 4 8 を、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 と共に、共通の光電子部品用のパッケージ 2 0 0 内で一体化すること、好ましくは、共通の光学ベンチ 1 1 0 上で一体化することにより、システム全体の電气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）3 4 8 とトランスインピーダンス増幅器 3 5 0 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）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 の温度およびバランスド受信器 3 4 8 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 1 1 1 は、光学ベンチ 1 1 0 と光電子部品用のパッケージ 2 0 0 との間に設置される。この構成によれば、熱電冷却器 1 1 1 により、光学ベンチ 1 1 0 で生じた熱をパッケージ 2 0 0 から取り除くことができる。なお、熱電冷却器 1 1 1 は、他の実施形態では任意の構成である。

【 0 0 3 6 】

アナログ - デジタル変換器システム（A / D ボード）3 1 5 が、増幅器 3 5 0 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 3 1 5 は、k クロックモジュール 2 5 0 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 1 0 0 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 1 0 0 の光波周波数チューニングに同期させる。

【 0 0 3 7 】

掃引光源をチューニングしながら光ビームを試料 3 4 0 に対して走査させることにより

10

20

30

40

50



、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 の偏光ビームスプリッタ 362、第 2 の偏光ビームスプリッタ 364 等）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。

【0043】

2 つのバランスド検出器 348 - 1, 348 - 2 を、トランスインピーダンス増幅器 350 - 1, 350 - 2 と共に、共通の光学ベンチ 110 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、システム全体の電气的性能を向上させることができる。また、熱電冷却器 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 - 1, 350 - 2 の温度、バランスド検出器 348 - 1, 348 - 2 の温度、および他の光学部品の温度を安定化させることができる。さらに、光電子部品用のパッケージ 200 により、静電遮蔽が形成されるので、電磁干渉（EMI）に起因する受信器の望ましくないピックアップを抑えることができる。

【0044】

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 300 を示す。

【0045】

10

20

30

40

50

この第3の実施形態は、試料340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。

【0046】

詳細には、この好ましい実施形態では、プローブ336に2つの光ファイバが備えられる。光ファイバ350は、第1の掃引光源100-1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100-2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336に伝送する。このプローブ336は、その光結合信号を試料340に向けて出射する。試料340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350を介してサーキュレータ341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340の光コヒーレンス分析結果が得られる。

10

【0047】

一方、試料340のスペクトル解析に使用される反射光は、プローブ336を介して光ファイバ352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）356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355が、そのスペクトル解析用光を、スペクトル解析用検出器356に向ける。必要に応じて、このフィルタ・コリメータ素子355は、さらに、試料340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。

【0048】

一具体例において、第1の掃引光源100-1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100-2は、試料340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355は、第2の掃引光源100-2の走査帯域のみを通過させるWDMフィルタである。

20

【0049】

他の具体例では、試料340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355は、第1の掃引光源100-1および第2の掃引光源100-2の両方のスペクトル成分を通過させる。そして、検出器356が、試料340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100-1および第2の掃引光源100-2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355が、それら2種類の走査帯域の光のうちの一方のみを、検出器356に到達させる。

30

【0050】

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、バランスド検出器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。

【0051】

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。

40

【0052】

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。

【0053】

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

50

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、いずれの構成部品 201, 350 も、光電子部品用のパッケージ 200 内に配設されている。

【0054】

この実施形態は、光干渉信号をファイバケーブル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、光ファイバ構成部品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。

【0055】

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。

【0056】

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 を通っ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。

【0057】

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。

【0058】

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 を通って伝送される。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。

【0059】

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。

【0060】

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ーム 326 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 226 と第 2 の光検出器 232 によって検出される。光検出器 226, 232 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。

【0061】

第 1 の検出器 226 および第 2 の検出器 232 は、それぞれ電気導体（すなわちワイヤボンダ）276, 278 により、いずれもトランスインピーダンス増幅器 350 に電気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 350 は、光学ベンチ 110 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 350 は、光学ベンチ 110 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 350 は、電気導体（またはワイヤボンダ）280 により、光電子部品用のパッケージ 200 のワイヤボンダパッド 8, 9 に接続されている。

【0062】

このようにして、上記の実施形態では、光学ベンチ 110 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 110 にトランスインピーダンス増幅器 350 のダイ（チップ）を設置することにより、この増幅器 350 と第 1 および第 2 の検出器 226, 232 とを接続する電気接続部分 276, 278 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

10

20

30

40

50

、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。

【 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。

10

【 0 0 6 5 】

第 1 のバランスド受信器は、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 のバランスド受信器は、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 のバランスド受信器が、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 のバランスド受信器が、第 1 および第 2 の検出器 2 3 6 , 2 3 8 を備える。

【 0 0 6 6 】

20

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 のバランスド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 のバランスド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。

【 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 の増幅出力が送出されると共に、これら増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 に対する電力が外部から入力される。

30

【 0 0 6 8 】

この実施形態でも、トランスインピーダンス増幅器 3 5 0 - 1 , 3 5 0 - 2 を、光検出器 2 2 6 , 2 3 2 , 2 3 6 , 2 3 8 と共に、共通の光学ベンチ 1 1 0 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 2 2 4 により光学ベンチ 1 1 0 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。

40

【 0 0 6 9 】

図 7 に、統合化された OCT システム 3 0 0 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 2 0 0 内において共通の光学ベンチ 1 1 0 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 1 1 0 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 2 0 0 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 1 1 0 は、長さが 1 5 0 ミリメートル未満で幅が 1 5 0 ミリメートル未満である。好ましくは、光学ベンチ 1 1 0 は、長さが 1 0 0 ミリメートル未満で幅が 1 0 0 ミリメートル未満である。

50

## 【 0 0 7 0 】

詳細には、掃引光源 1 0 0 は、波長可変な光信号を生成する。この光信号は、干渉計 5 0 に伝送される。一実施形態において、掃引光源 1 0 0 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 1 0 0 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。

10

## 【 0 0 7 1 】

掃引光源 1 0 0 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 1 0 0 は、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。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 1 1 0 に光結合されるか、またはパッケージ 2 0 0 のウィンドウ（光学窓）を介して光学ベンチ 1 1 0 に光結合される。

## 【 0 0 7 2 】

光アイソレータ 2 0 4 により、干渉計 5 0 からの戻り反射（back reflection）が光源 1 0 0 の動作を妨害しないようにされる。

## 【 0 0 7 3 】

干渉計ビームスプリッタ 2 1 2 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 2 1 2 は、さらに、この波長可変な光信号を、干渉計 5 0 の試料アーム 3 2 4 と参照アーム 3 2 6 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 5 0 / 5 0 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 3 4 0 からの反射による信号損失の大きい試料アーム 3 2 4 に向けられる。

20

## 【 0 0 7 4 】

試料アーム 3 2 4 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 2 2 2 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過する。この非相反性の偏光素子は、ファラデー回転子 2 2 8 および 1 / 2 波長板 2 3 0 で構成される。これら構成部品 2 2 8 , 2 3 0 の組合せにより、掃引光源 1 0 0 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 2 3 4 を透過して試料 3 4 0 に到達する。

30

## 【 0 0 7 5 】

第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 3 4 が、試料 3 4 0 から反射した反射光をまず受信する。この第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 3 4 は、試料から反射した反射光のうち、掃引光源 1 0 0 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 2 5 8 に向けて反射する。

## 【 0 0 7 6 】

これに対し、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 3 4 は、試料 3 4 0 から反射した反射光のうち、掃引光源 1 0 0 の偏光方向と平行な偏光成分については透過させる。

## 【 0 0 7 7 】

ファラデー回転子 2 2 8 および 1 / 2 波長板 2 3 0 で構成される前記非相反性の偏光素子は、試料 3 4 0 から反射した反射光の偏光方向を、掃引光源 1 0 0 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 2 2 8 の非相対的な動作に起因する。

40

## 【 0 0 7 8 】

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 2 2 2 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 2 2 4 に向けて反射される。

## 【 0 0 7 9 】

参照アーム 3 2 6 では、掃引光源 1 0 0 からの光信号が、まず、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 1 4 を透過する。好ましい実施形態において、掃引光源 1 0 0 によって生成され

50

た光が、まず、第 1 の参照アーム偏光ビームスプリッタ 2 1 4 を透過する。

【 0 0 8 0 】

掃引光源 1 0 0 からの光信号は、さらに、参照アーム 3 2 6 における非相反性の偏光方向回転素子を通して。この非相反性の偏光方向回転素子は、ファラデー回転子 2 1 6 および 1 / 2 波長板 2 1 8 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 3 2 6 における第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 2 0 も透過することができる。

【 0 0 8 1 】

参照アーム 3 2 6 内を進んだ光は、リフレクタ 3 3 2 に到達する。このリフレクタ 3 3 2 は、光を、第 2 の参照アーム偏光ビームスプリッタ 2 2 0 に向けて反射する。

10

【 0 0 8 2 】

リフレクタ 3 3 2、または参照アーム 3 2 6 の伝波路に沿って配置された他の素子は、リフレクタ 3 3 2 から第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 2 0 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。

【 0 0 8 3 】

第 2 の参照アーム偏光ビームスプリッタ 2 2 0 は、その反射光のうち、掃引光源 1 0 0 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 2 5 8 に向けて反射する。

【 0 0 8 4 】

20

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 2 2 0 を透過したものは、1 / 2 波長板 2 1 8 およびファラデー回転子 2 1 6 を通過する。これら構成部品 2 1 8 , 2 1 6 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 2 2 0 を透過したものを、掃引光源 1 0 0 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 2 2 0 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 2 1 4 により、第 1 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナ 2 2 4 に向けて反射される。

【 0 0 8 5 】

第 1 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナ 2 2 4 および第 2 の検出器干渉スプリッタ / コンバイナ 2 5 8 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 2 2 6 , 2 3 2 を有する第 1 の検出器ペアは、掃引光源 1 0 0 の偏光と平行な光干渉信号を検出する。バランス検出器 2 3 6 , 2 3 8 を有する第 2 の検出器ペアは、掃引光源 1 0 0 の偏光と直交する光干渉信号を検出する。

30

【 0 0 8 6 】

一実施形態において、k クロックシステム 2 5 0 は、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。詳細には、参照アーム 3 2 6 内の反射光が、干渉計ビームスプリッタ 2 1 2 を透過して k クロックアイソレータ 2 1 0 に伝送される。k クロックアイソレータ 2 1 0 を通過した光は、反復透過機能を有する分光フィルタ 2 0 8 に向けて伝送される。一実施形態において、分光フィルタ 2 0 8 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 2 0 8 を通過した光が、k クロック検出器 2 0 6 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 2 5 0 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。

40

【 0 0 8 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、前述したバランス検出器 2 2 6 , 2 3 2 の

50

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。

【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。

【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。

【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214, 220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326における損失を引き起こす。

【0093】

その後、参照アーム326内の光は、反射ブロック248に進入する。反射ブロック248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290から進入し、反射ブロック248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292からリフレクタ332に向けて出射される。

【0094】

反射ブロック248は、参照アーム326の光路長を増加させる役割を果たす。反射ブロック248のサイズ、および反射ブロック248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326の光路長を、試料アーム324の光路長と一致するように変更することができる。

【0095】

リフレクタ332および反射ブロック248から反射した反射光の一部は、第2の参照

10

20

30

40

50

アームビームスプリッタ 220 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 258 に向けられる。第 2 の参照アームビームスプリッタ 220 を透過した光は、第 1 の参照アームビームスプリッタ 214 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 に向けられる。

【 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250が、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。 $k$ クロックシステム250は、 $k$ クロックアイソレータ210、分光フィルタ208、および $k$ クロック検出器206を含む。 $k$ クロックシステム250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。

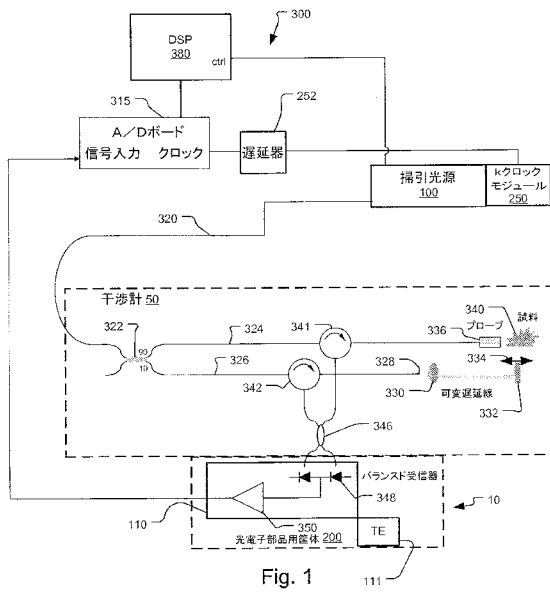
【 0 0 9 7 】

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、前述したバランスド検出器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、前述したバランスド検出器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。

【 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。

【 図 1 】



【 図 2 】

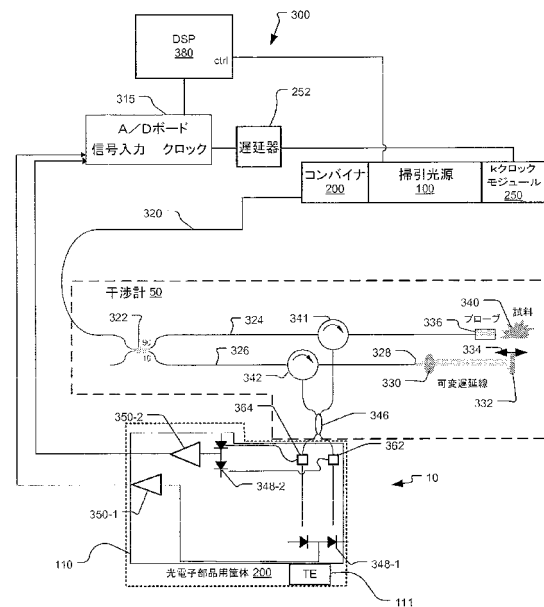


Fig. 2



【 図 4 】

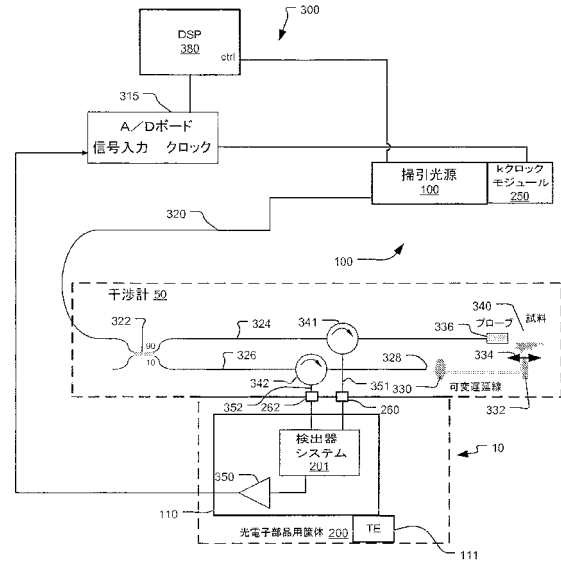
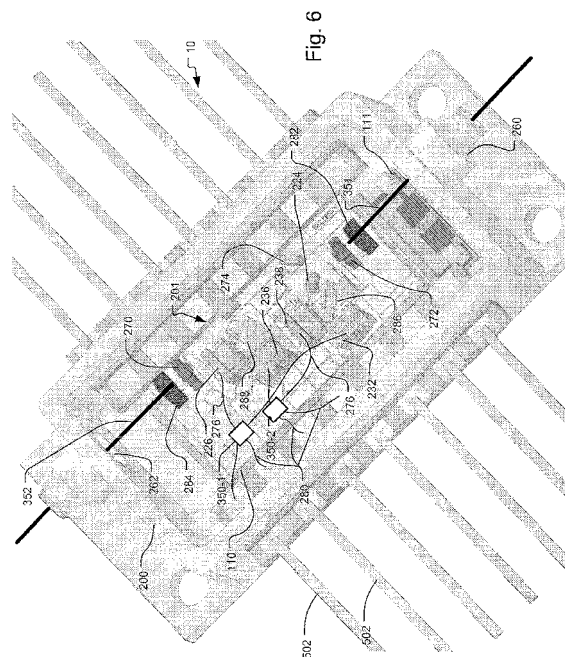


Fig. 4

【 図 6 】



【図 7】

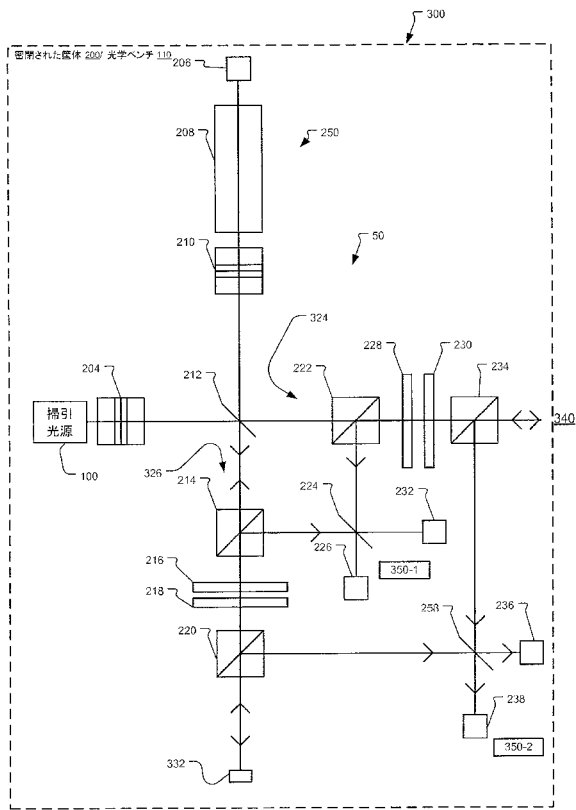


Fig. 7

【図 8】

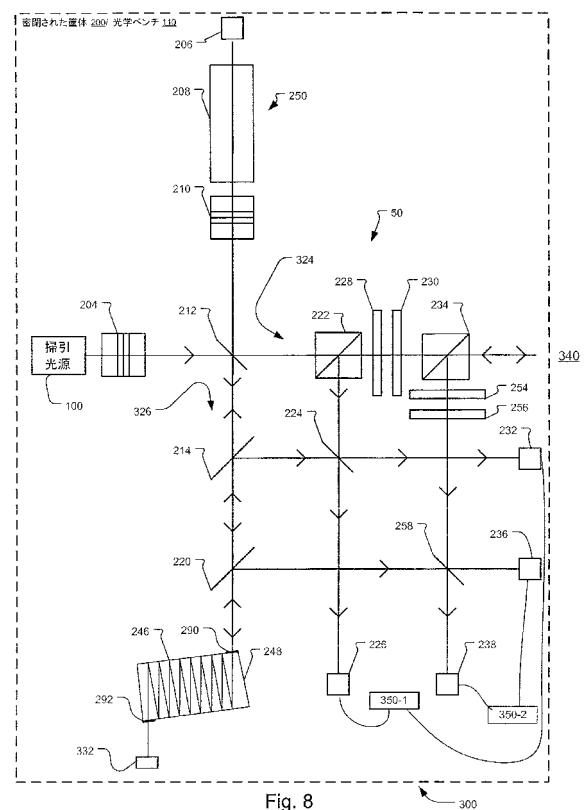


Fig. 8

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2011/065394

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G01B9/02  
ADD.

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)  
G01B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2010/021669 A2 (ALCATEL LUCENT USA INC [US]; CHEN YOUNG-KAI [US]; DOERR CHRISTOPHER R I) 25 February 2010 (2010-02-25)	1-6, 11-16
Y	abstract; figures 1A, 1C pages 7,8 pages 13,14 ----- -/-	7-10,17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ 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  
 "E" earlier document but published on or after the international filing date  
 "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)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "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  
 "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  
 "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.  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 March 2012

Date of mailing of the international search report

21/03/2012

Name and mailing address of the ISA/  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Stanciu, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2011/065394

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Thorlabs: "Balanced polarization diversity detector for PS-OCT", Operation Manual - Thorlabs Instrumentation  29 May 2009 (2009-05-29), XP002671014, Retrieved from the Internet: URL:http://www.thorlabs.com/Thorcat/19300/ 19384-D02.pdf [retrieved on 2012-03-07]	1-6, 11-16
Y	pages 1,4 - page 11 -----	7-10,17
Y	WO 2010/067813 A1 (FUJIFILM CORP [JP]; TERAMURA YUICHI [JP]; HIROTA KAZUHIRO [JP]) 17 June 2010 (2010-06-17) abstract; figure 17 -----	7-10,17
A	US 2009/284749 A1 (JOHNSON BARTLEY C [US] ET AL) 19 November 2009 (2009-11-19) the whole document -----	1-17

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2011/065394

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010021669 A2	25-02-2010	CN 102124387 A EP 2326978 A2 KR 20110033286 A WO 2010021669 A2	13-07-2011 01-06-2011 30-03-2011 25-02-2010
WO 2010067813 A1	17-06-2010	JP 2010139327 A WO 2010067813 A1	24-06-2010 17-06-2010
US 2009284749 A1	19-11-2009	EP 2315999 A2 JP 2011523460 A US 2009284749 A1 WO 2009140617 A2	04-05-2011 11-08-2011 19-11-2009 19-11-2009

## フロントページの続き

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

(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

(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 0 2 4 2 0 , レキシントン, プレストン ロード 1 5

(72)発明者 マーザ・ランドル

アメリカ合衆国, マサチューセッツ州 0 1 8 4 5 , ノース アンドーバー, フォックスウッド  
ドライブ 5 5

F ターム(参考) 2F064 AA01 AA09 CC03 DD02 DD05 DD08 EE01 FF01 FF08 GG02  
GG12 GG17 GG22 GG23 GG33 GG39 GG44 GG52 HH01 HH06  
JJ04  
2G059 EE02 EE09 FF02 GG01 GG09 JJ03 JJ11 JJ13 JJ17 JJ19  
JJ22 KK01