

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5903903号
(P5903903)

(45) 発行日 平成28年4月13日 (2016. 4. 13)

(24) 登録日 平成28年3月25日 (2016. 3. 25)

(51) Int. Cl.		F I			
GO 1 N	21/17	(2006. 01)	GO 1 N	21/17	6 3 0
A 6 1 B	3/10	(2006. 01)	A 6 1 B	3/10	R
A 6 1 B	3/12	(2006. 01)	A 6 1 B	3/12	E

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-9498 (P2012-9498)	(73) 特許権者	000135184
(22) 出願日	平成24年1月19日 (2012. 1. 19)		株式会社ニデック
(65) 公開番号	特開2013-148482 (P2013-148482A)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4
(43) 公開日	平成25年8月1日 (2013. 8. 1)	(72) 発明者	羽根渕 昌明
審査請求日	平成27年1月15日 (2015. 1. 15)		愛知県蒲郡市拾石町前浜 3 4 番地 1 4 株 株式会社ニデック拾石工場内
		審査官	横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光コヒーレンストモグラフィー装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定光路と参照光路を持つ干渉計と、

測定光路又は参照光路の少なくともいずれかに配置され、互いに光路長差を持つ少なくとも2つの光を生成させるための光路長差生成器であって、被検物の同じ深さ位置に関する第1の深さ情報と第2の深さ情報を分離するための光路長差生成器と、

各波長での干渉信号成分を含むスペクトル信号であって、前記光路長差生成器によって生成された第1スペクトル信号と第2スペクトル信号が多重化された多重スペクトル信号を取得するための検出器と、

検出器からの多重スペクトル信号を処理して、被検物の同じ深さ位置に関する第1の深さ情報と第2の深さ情報が分離された状態で多重化されている深さ情報を取得する演算処理器と、

を備えることを特徴とする光コヒーレンストモグラフィー装置。

【請求項 2】

請求項1の光コヒーレンストモグラフィー装置において、

測定光を横断方向に走査するための光スキャナと、前記光スキャナの駆動を制御する駆動制御手段と、を備え、

演算処理器は、測定光の横断位置に関する各位置での前記深さ情報を処理して、被検物に関する複数の断層像を同時に含む断層画像データを得る光コヒーレンストモグラフィー装置。

【請求項 3】

請求項 1 ~ 請求項 2 のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、演算処理器は、前記複数の深さ情報を深さ方向に関して位置合わせし、合成処理を行う光コヒーレンストモグラフィ装置。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、演算処理器は、前記複数の深さ情報を複数得て、それぞれを深さ方向に関して位置合わせし、合成処理を行う光コヒーレンストモグラフィ装置。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、前記光路長差生成器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの光を生成するための構成を有し、互いに光路長差を持つと共に、偏光成分が直交する少なくとも 2 つの光を生成するための光路長差生成器であって、

検出器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの多重スペクトル信号を検出するための構成を有し、

演算処理器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの多重スペクトル信号を処理して、被検物の偏光特性を解析する光コヒーレンストモグラフィ装置。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 請求項 5 のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、検出器は、垂直偏光成分を持つ多重スペクトル信号を検出するための垂直偏光検出器と、水平偏光成分を持つ多重スペクトル信号を検出するための水平偏光検出器と、をそれぞれ有する光コヒーレンストモグラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検物の深さ方向に関する情報を得る光コヒーレンストモグラフィ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

被検物（例えば、眼）に照射された測定光路からの測定光と、参照光路からの参照光との干渉によって生じた干渉信号をフーリエ解析して、被検物の深さ情報を取得する光コヒーレンストモグラフィ（OCT）装置が知られている（特許文献 1 参照）。

【0003】

OCT 装置として、各波長の干渉信号が合成されたスペクトル信号を得るフーリエドメイン OCT（Fourier Domain OCT）が知られている。

【0004】

さらに、被検物の偏光特性を測定するための構成として、偏光感受型 OCT（PS-OCT：polarization sensitive OCT）が知られている（非特許文献 1 参照）。非特許文献 1 の装置は、EO 変調器（偏光変調器、電気光学変調器）を用いて光源からのビームの偏光状態を測定光の横断方向への走査と同時に連続的に変調すると共に、スペクトル成分における垂直偏光成分と水平偏光成分をそれぞれ同時に測定するための 2 つの光検出器を有する。そして、ビームの第 1 の偏光状態における垂直偏光成分と水平偏光成分のスペクトル成分と、ビームの第 2 の偏光状態における垂直偏光成分と水平偏光成分のスペクトル成分と、を用いて偏光特性が求められる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2007 - 298461 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 6 】

ところで、従来の OCT の場合、同一部位に関する断層像を複数取得するためには、所定のフレームレートにて連続的に取得される断層像から複数の断層像を抽出する、もしくは複数の検出系を設ける必要があった。

【 0 0 0 7 】

従来の偏光感受型 OCT の場合、ジョーンズベクトルパラメータ等による偏光特性を得るためにビームの偏光状態を連続的に切り換える必要があった。偏光状態の切り替えに利用される EO 変調器は高価であり、PS-OCT が商業化されていない一つの要因となっている。

【 0 0 0 8 】

本件発明は、上記のような従来の光コヒーレンストモグラフィ装置の欠点の少なくとも一つを克服した光コヒーレンストモグラフィ装置を提供することを技術課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

上記課題を解決するために、本発明は以下のような構成を備えることを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

(1)

測定光路と参照光路を持つ干渉計と、

測定光路又は参照光路の少なくともいずれかに配置され、互いに光路長差を持つ少なくとも 2 つの光を生成させるための光路長差生成器であって、被検物の同じ深さ位置に関する第 1 の深さ情報と第 2 の深さ情報を分離するための光路長差生成器と、

各波長での干渉信号成分を含むスペクトル信号であって、前記光路長差生成器によって生成された第 1 スペクトル信号と第 2 スペクトル信号が多重化された多重スペクトル信号を取得するための検出器と、

検出器からの多重スペクトル信号を処理して、被検物の同じ深さ位置に関する第 1 の深さ情報と第 2 の深さ情報が分離された状態で多重化されている深さ情報を取得する演算処理器と、

を備えることを特徴とする。

(2)

(1) の光コヒーレンストモグラフィ装置において、

測定光を横断方向に走査するための光スキャナと、前記光スキャナの駆動を制御する駆動制御手段と、を備え、

演算処理器は、測定光の横断位置に関する各位置での前記深さ情報を処理して、被検物に関する複数の断層像を同時に含む断層画像データを得る。

(3)

(1) ~ (2) のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、

演算処理器は、前記複数の深さ情報を深さ方向に関して位置合わせし、合成処理を行う。

(4)

(1) ~ (3) のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、

演算処理器は、前記複数の深さ情報を複数得て、それぞれを深さ方向に関して位置合わせし、合成処理を行う。

(5)

(1) ~ (4) のいずれかの光コヒーレンストモグラフィ装置において、

前記光路長差生成器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの光を生成するための構成を有し、互いに光路長差を持つと共に、偏光成分が直交する少なくとも 2 つの光を生成するための光路長差生成器であって、

検出器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの多重スペクトル信号を検出するための構成を有し、

演算処理器は、互いに直交する偏光成分を持つ少なくとも 2 つの多重スペクトル信号を

10

20

30

40

50

処理して、被検物の偏光特性を解析する。

(6)

(1) ~ (5) のいずれかの光コヒーレンストモグラフィー装置において、検出器は、垂直偏光成分を持つ多重スペクトル信号を検出するための垂直偏光検出器と、水平偏光成分を持つ多重スペクトル信号を検出するための水平偏光検出器と、をそれぞれ有する。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、従来の光コヒーレンストモグラフィー装置の欠点の少なくとも1つを克服できる。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明に係る装置を実施するための形態を図面に基づいて説明する。図1と図2は本実施形態の実施例1に係る図であり、図3と図4は本実施形態の実施例2に係る図であり、図5~図7は本実施形態において偏光特性を求めるための一例を示す図である。

【0013】

<概要>

本発明の実施形態に係る光コヒーレンストモグラフィー装置の概要について説明する。

【0014】

本装置は、光遅延路が設けられたOCT干渉計を有し、光路長差を互いに持つ第1スペクトルと第2スペクトルが多重化された光を光検出器により検出する。本装置は、検出器から出力される干渉信号を処理して、被検物に関する断層像が深さ方向に複数に分離された画像データを得る。画像データは、例えば、同一の撮像位置における少なくとも2つの被検物の断層像を含む。

【0015】

<基本的構成>

OCT装置1は、フーリエドメイン光コヒーレンストモグラフィー(FD-OCT)を基本的構成とする。OCT装置1は、干渉光学系100(OCT光学系)、演算制御器70を含む。本装置の技術は、例えば、偏光感受OCT(PS-OCT: polarization sensitive OCT)に適用されるが、もちろん、被検物の反射強度を検出するためのスタンダードOCT、被検物の位相状態を検出するためのドップラOCTにおいても適用される。また、PS-OCTとドップラOCTとが複合されたマルチファンクションOCTであってもよい。FD-OCTとしては、波長掃引式OCT(SS-OCT: Swept source-OCT)、スペクトルドメインOCT(SD-OCT: Spectral Domain OCT)が代表的である。

【0016】

干渉光学系100は、OCT原理を用いて被検物の断層像を得るための干渉計に係る構成を有する。干渉光学系100は、スプリッタ(光分割器)、測定光路、参照光路、コンバイナ(光合成器)、光検出器(以下、検出器)120を有する。スプリッタは、波長可変光源からの光を測定光路と参照光路に分割する。スプリッタ、コンバイナには、例えば、ビームスプリッタ、ハーフミラー、ファイバーカップラ、サーキュレータ等が用いられる。測定光路は、光を被検物に導くための構成を有する。参照光路は、光を装置内で進行させ、測定光と干渉させるための構成を有する。コンバイナは、被検物で反射された測定光路からの測定光と、参照光路からの参照光とを合成(干渉)させる。検出器120は、測定光と参照光との干渉により生じた干渉信号光を受光する。光スキャナ108は、測定光路に配置され、測定光を被検物上で走査するために用いられる。

【0017】

演算制御器70は、装置の各構成の制御処理、画像処理、演算処理、等を行う。例えば

10

20

30

40

50

、演算制御器 70 は、検出器 120 からの検出信号を得る。演算制御器 70 は、各波長での干渉信号光を含むスペクトル信号を得て、スペクトル信号を処理する。演算制御器 70 は、スペクトル信号を処理して深さ方向に関する被検物のデータ（深さ情報）を得る。

【0018】

さらに、演算制御器 70 は、測定光の走査等によって異なる位置で得られた深さ情報を並べて被検物の情報（形態情報、偏光特性など）を得る。演算制御器 70 は、得られた結果をメモリ 72 に記憶する。演算制御器 70 は、得られた結果をモニタ 75（画像表示部）に表示する。

【0019】

スペクトル信号（スペクトルデータ）は、波長 λ の関数として書き換えられ、波数 k （ $k = 2\pi / \lambda$ ）に関して等間隔な関数 $I(k)$ に変換される。あるいは、初めから波数 k に関して等間隔な関数 $I(k)$ として取得される（CLOCK 技術）。演算制御器 70 は、波数 k 空間でのスペクトル信号をフーリエ変換することにより深さ（ Z ）領域における反射率分布を得る。

【0020】

フーリエ変換後の情報は、 Z 空間での実数成分と虚数成分を含む信号として表される。演算制御器 70 は、 Z 空間での信号における実数成分と虚数成分の絶対値を求めることにより A スキャン信号（深さ方向における信号強度値）を得る。演算制御器 70 は、異なる位置で得られた A スキャン信号を並べて、被検物の断層形態画像を得る。

【0021】

被検物は、眼（前眼部、眼底等）、皮膚など生体のほか、生体以外の材料であってもよい。

【0022】

<スペクトルの多重化技術>

本実施形態に係る干渉光学系 100 には、互いに光路長差を持つ少なくとも 2 つの光を生成させるための光遅延路 300、320 が配置される。光遅延路は、基準光路と迂回光路を有する。光遅延路は、測定光路又は参照光路の少なくともいずれかに配置される。

【0023】

光遅延路 300、320 は、例えば、光分割器（スプリッタ）、光合成器（コンバイナ）を備える。光スプリッタは、光路を基準光路と迂回光路に分割する。ビームコンバイナは、基準光路と迂回光路を合成する。光遅延路が付与する光路長差は、深さ方向における断層像の撮影範囲において、一方の光によって形成される断層像が前方に形成され、他方の光によって形成される断層像が後方に形成されるように設定されている。光遅延路に用いられる光分割器、光合成器部材には、ハーフミラー、ビームスプリッタ（例えば、偏光ビームスプリッタ）、ファイバークップラ、サーキュレータなどが用いられる。

【0024】

光遅延路 300、370 によって生成された測定光又は参照光での光路長差は、結果的に、互いに光路長差を持つ複数の干渉信号光を生成する。測定光と参照光との干渉により生じた干渉信号光は、基準光路に基づく第 1 干渉信号光と、迂回光路に基づく第 2 干渉信号光を含む。光遅延路 300、320 に偏光分割器（例えば、偏光ビームスプリッタ）を設けることにより、異なる偏光状態に対応する複数の干渉信号光を得ることができる。

【0025】

各波長での干渉信号光が検出器 120 に受光され、スペクトル信号として検出器 120 によって検出される。光検出器 120 は、光路長差を互いに持つ第 1 スペクトル信号と第 2 スペクトル信号が多重化されたスペクトル信号を検出器 120 により検出する。第 1 スペクトル信号は、各波長での第 1 干渉信号光を含み、第 2 スペクトル信号は、各波長での第 2 干渉信号光を含む。第 1 スペクトル信号と第 2 スペクトル信号は、光路長差のため、スペクトルによって形成される干渉縞の粗密が異なる。なお、光遅延路 300、320 に偏光分割器（例えば、偏光ビームスプリッタ）を設けることにより、異なる偏光状態に対応する複数のスペクトル信号が多重化されたスペクトル信号を取得できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 6 】

演算制御器 7 0 は、検出器 1 2 0 からの多重スペクトル信号を処理して、複数のスペクトル信号に基づく被検物の深さ方向に関するデータ（深さ情報）を得る。深さ情報には、第 1 スペクトル信号に対応する第 1 深さ情報と、第 2 スペクトル信号に対応する第 2 深さ情報が含まれる。第 1 深さ情報と第 2 深さ情報は、深さ方向に関して分離された状態で取得される。第 1 深さ情報と、第 2 深さ情報は、例えば、被検物上の同一位置に関して得られる。

【 0 0 2 7 】

演算制御器 7 0 は、例えば、横断方向に関する各位置での多重スペクトル信号を処理して、被検物の複数の断層像を同時に含む断層画像データを得る。断層画像データには、第 1 スペクトル信号に対応する第 1 断層像と、第 2 スペクトル信号に対応する第 2 断層像が含まれる。

10

【 0 0 2 8 】

第 1 に、多重スペクトル信号に基づく深さ情報は、例えば、P S - O C Tでの被検物の偏光状態の検出に利用されると有利である。本実施形態の装置は、P S - O C Tにおいて E O M等を設ける必要が必ずしもなくなるから、シンプルで安価な P S - O C Tが構築される。

【 0 0 2 9 】

第 2 に、多重スペクトル信号に基づく深さ情報は、被検物に関する複数の断層像を含むため、例えば、画像合成処理に用いられると有利である。これにより、画像合成画像を短時間で取得できる。

20

【 0 0 3 0 】

例えば、演算制御器 7 0 は、深さ方向に関して形成位置が異なる複数の断層像を位置合わせして加算平均画像を得る。演算制御器 7 0 は、各断層像を形成する実数成分と虚数成分の絶対値を利用して、複数の断層像に基づく加算平均画像を取得できる。

【 0 0 3 1 】

また、演算制御器 7 0 は、各断層像の基礎となる Z 空間での実虚成分を利用して加算平均画像を取得できる。この場合、演算制御器 7 0 は、実数成分の信号を用いて第 1 の加算平均データを得ると共に、虚数成分の信号を用いて第 2 の加算平均データを取得、これらを合成することにより複数の断層像に基づく加算平均画像を取得してもよい。

30

【 0 0 3 2 】

なお、S S - O C Tに用いられる波長可変光源に関して、瞬間輝線幅の狭い波長可変光源を用いるのが有利である。このような光源により、光路長が異なる 2 つの断層画像が、ほぼ同じ干渉強度を保ち、かつ、分離された状態で取得される。撮像範囲に関して、深さ方向に分離された第 1 断層像と第 2 断層像を含む範囲が確保される。

【 0 0 3 3 】

< P S - O C Tでの適用 >

本実施形態の装置を P S - O C Tにおいて適用する場合、光遅延路 3 0 0、3 2 0 には、互いに直交する偏光成分を持つ 2 つの光（垂直偏光成分、水平偏光成分）を生成するための構成（生成器）が設けられる。生成器としては、例えば、互いに直交する直線偏光を生成する構成、互いに直交する円偏光を生成する構成、などが考えられる。

40

【 0 0 3 4 】

検出器 1 2 0 には、スペクトル信号における垂直偏光成分、水平偏光成分を検出するための構成が設けられる。検出器 1 2 0 は、例えば、互いに直交する直線偏光をそれぞれ検出する構成、互いに直交する円偏光をそれぞれ検出する構成、などが考えられる。例えば、垂直偏光成分を検出するための垂直偏光検出器 1 2 0 V と、水平偏光成分を検出するための水平偏光検出器 1 2 0 H と、がそれぞれ設けられる。

【 0 0 3 5 】

生成器、検出器 1 2 0 は、互いに直交する偏光成分を持つ 2 つの光を生成、検出する点で一致すればよい。例えば、生成器は、互いに直交する直線偏光を生成し、検出器は、互

50

いに直交する直線偏光を検出する。また、生成器は、互いに直交する円偏光を生成し、検出器は、例えば、互いに直交する直線偏光をそれぞれ検出する。また、生成器、検出器における偏光方向の一致は、必ずしも必要ない。

【 0 0 3 6 】

演算制御器 7 0 は、スペクトル信号における垂直偏光成分と水平偏光成分により被検物の偏光情報（例えば、複屈折率分布）を得る。例えば、演算制御器 7 0 は、垂直偏光検出器 1 2 0 V を用いてスペクトル干渉成分における垂直偏光成分を測定すると共に、水平偏光検出器 1 2 0 H を用いてスペクトル干渉成分における水平偏光成分を測定する。

【 0 0 3 7 】

演算制御器 7 0 は、スペクトル信号における垂直偏光成分と水平偏光成分に関して、それぞれ第 1 スペクトル信号に対応する第 1 深さ情報 D V 1、D H 1 と、第 2 スペクトル信号に対応する第 2 深さ情報 D V 2、D H 2 を得る。第 1 深さ情報と第 2 深さ情報は、深さ方向に関して分離された状態で取得される。第 1 深さ情報と第 2 深さ情報は、深さ情報の元となる被検物への入射光における偏光成分が互いに直交する関係にある。

10

【 0 0 3 8 】

2 つの偏光状態 P1、P2 は、多重スペクトル信号に基づく深さ情報を利用して取得される。偏光状態 P1 は、垂直偏光検出器 1 2 0 V を用いて取得される第 1 垂直深さ情報 D V 1 (E 1 (z)) と、水平偏光検出器 1 2 0 H を用いて取得される D H 1 (E 1 (z)) とに基づいて取得される。偏光状態 P2 は、垂直偏光検出器 1 2 0 V を用いて取得される第 2 垂直深さ情報 D V 2 (E 2 (z)) と、水平偏光検出器 1 2 0 H を用いて取得される第 2 水平深さ情報 D H 2 (E 2 (z)) と、に基づいて取得される。

20

【 0 0 3 9 】

偏光情報を得る場合、例えば、ストークス・パラメータを用いた方法 (B. Hyle Park, M.C. Pierce, Barry Cense, S.H Yun, B.E.Bouma, J.F. de Boer, " Real-time fiber-based multi-functional spectral domain optical coherence tomography at 1.3 μ m", Optics Express, Vol13('05), pp3931-3944)、既知のジョーンズベクトルを用いた方法 (例えば、特開 2 0 0 7 - 2 9 8 4 6 1 号公報参照) が考えられる。

【 0 0 4 0 】

以下に、偏光情報を得る手法の一例として、ストークス・パラメータを用いた方法を示す。複屈折性とは、物質内において偏光方向によって屈折率に違い n が生じることを言う。複屈折性によって惹き起こされる位相遅延 (Phase retardation) は、光が物質中を進む距離 z と波長 λ により、

30

【 0 0 4 1 】

【 数 1 】

$$\theta(z) = \frac{2\pi \cdot \Delta n \cdot z}{\lambda}$$

と表される。演算制御器 7 0 は、サンプル (被検物) 中の深さ z からの反射光を互いに垂直な偏光電場成分 $E_{V}(z)$ と $E_{H}(z)$ として検出する。なお、 $E_{V}(z) = \text{Re}(E_{V}(z)) + j \text{Im}(E_{V}(z))$ 、 $E_{H}(z) = \text{Re}(E_{H}(z)) + j \text{Im}(E_{H}(z))$ 、で示される。垂直電場成分 E_{V} は、垂直偏光検出器 1 2 0 V からのスペクトル信号をフーリエ解析した後の垂直深さ情報 D V における実部と虚部の情報により取得される。水平電場成分 $E_{H}(z)$ は、水平偏光検出器 1 2 0 H からのスペクトル信号をフーリエ解析した後の水平深さ情報 D H における実部と虚部の情報により取得される。

40

【 0 0 4 2 】

演算制御器 7 0 は、サンプルの位相遅延と複屈折軸を、例えば、サンプル表面からの深さ z の関数として求め、算出結果をモニタ 7 5 上に表示する。眼底 OCT の場合、神経線維層には複屈折性 (birefringence) があり、網膜色素上皮では複屈折性が scramble すると

50

言われている。こうした特徴を利用することで、各層のsegmentationや定量化が容易になる。

【 0 0 4 3 】

干渉信号光の電場を互いに垂直な偏光電場成分 $E_{//}$ と E_{\perp} に分解・検出した場合、次で定義されるstokes parameter(vector)及びその3次元表示Poincare Sphere(ポアンカレ球)により、偏光に関する種々の状態が表現される。

【 0 0 4 4 】

【数2】

$$\begin{cases} I = E_{//}^2 + E_{\perp}^2 & : \text{強度} \\ Q = E_{//}^2 - E_{\perp}^2 = I \cos(2X) \cos(2\gamma) & : 0^\circ \text{と} 90^\circ \text{の直線偏光強度差} \\ U = E_{//} E_{\perp}^* + E_{//}^* E_{\perp} = I \cos(2X) \sin(2\gamma) & : 45^\circ \text{と} -45^\circ \text{の直線偏光強度差} \\ V = i(E_{//} E_{\perp}^* - E_{//}^* E_{\perp}) = I \sin(2X) & : \text{右回りと左回りの円偏光強度差} \end{cases} \quad 10$$

$$\Rightarrow p = \begin{pmatrix} q \\ u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Q/I \\ U/I \\ V/I \end{pmatrix} \dots \text{stokes parameter}$$

20

ここに、 γ は楕円偏光の方位、 X は、

【 0 0 4 5 】

【数3】

$$\frac{E_{\perp}}{E_{//}} = \tan X$$

30

で定義される楕円偏光の楕円率を表す。Poincare Sphere上の点は、経度が方位の2倍を、また緯度が楕円率の2倍を表している。

【 0 0 4 6 】

偏光の状態を表すとは、例えば、qu平面(赤道)は直線偏光を、v軸上は円偏光を、そしてqu平面からv軸までが楕円偏光を表し、また、中心に関して対称なPoincare Sphere上の2点は互いに垂直な偏光状態となる(図5参照)。

【 0 0 4 7 】

また、以下の式として定義される。

【 0 0 4 8 】

【数4】

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{q^2 + u^2 + v^2} : \text{偏光度} (<1 \text{なら部分偏光}) \\ \sqrt{q^2 + u^2} : \text{直線偏光度} \\ v : \text{円偏光度} \end{array} \right.$$

50

が定義できる。

【 0 0 4 9 】

基準となるサンプル表面上での2つの偏光状態 P_1 、 P_2 が、深さ z において各々、 $P_1'(z)$ 、 $P_2'(z)$ になったとすると、点 P_1 、 $P_1'(z)$ 、 P_2 、 $P_2'(z)$ は、Poincare Sphere上で複屈折軸ベクトル A を中心軸に持つ同心円周上(点線)にあり、かつ、軸ベクトル A に関するそれぞれの位相遅延は等しい。軸ベクトル A は、ベクトル P_1 と $P_1'(z)$ が張る平面の法線ベクトル n_1 と P_1 及び $P_1'(z)$ の和ベクトル S_1 で張られる平面 H_1 上にあり、同様に、ベクトル P_2 と $P_2'(z)$ が張る平面の法線ベクトル n_2 と P_2 及び $P_2'(z)$ の和ベクトル S_2 で張られる平面 H_2 上にある。従って、ベクトル A は平面 H_1 と平面 H_2 の各法線ベクトル A_1 及び A_2 の外積として求められる(図6参照)。

10

【 0 0 5 0 】

つまり、

【 0 0 5 1 】

【数5】

$$A = A_1 \times A_2 = \{(P_1 + P_1') \times (P_1 \times P_1')\} \times \{(P_2 + P_2') \times (P_2 \times P_2')\}$$

ここで、{ }内にベクトル演算公式

【 0 0 5 2 】

【数6】

$$A \times (B \times C) = B(A \cdot C) - C(A \cdot B)$$

を適用すると、例えば最初の{ }は次のように展開できる。

【 0 0 5 3 】

【数7】

$$\begin{aligned} (P_1 + P_1') \times (P_1 \times P_1') &= P_1 \{(P_1 + P_1') \cdot P_1'\} - P_1' \{(P_1 + P_1') \cdot P_1\} \\ &= P_1(P_1 \cdot P_1') + P_1(P_1' \cdot P_1') - P_1'(P_1 \cdot P_1) - P_1'(P_1' \cdot P_1) \\ &= (P_1 - P_1') \cdot (P_1 \cdot P_1') + |P_1|^2 (P_1 - P_1') \quad \because (P_1 \cdot P_1) = (P_1' \cdot P_1') = |P_1|^2 \\ &\propto P_1 - P_1' \end{aligned}$$

30

従って、ベクトル軸 A は以下のように簡単な式に書き換えられる。

【 0 0 5 4 】

【数8】

$$A = (P_1 - P_1') \times (P_2 - P_2')$$

40

複屈折軸ベクトル A が求まると、Phase Retardationは、ベクトルの内積公式の変形から以下のように計算される(図7参照)。

【 0 0 5 5 】

【数9】

$$\begin{cases} \theta_1 = \cos^{-1} \left\{ \frac{(P1 \times A) \cdot (P1' \times A)}{|P1 \times A| |P1' \times A|} \right\} \\ \theta_2 = \cos^{-1} \left\{ \frac{(P2 \times A) \cdot (P2' \times A)}{|P2 \times A| |P2' \times A|} \right\} \end{cases}$$

10

位相遅延 (Phase Retardation) は P1、P2 それぞれに対して求められるが、本来等しいものなのでその平均を取る。以上のように、大きな流れとしては、先ず複屈折軸を求めておいて、次に位相遅延を計算する。

【0056】

以上のようにして偏光情報を求めることにより、EOMを用いることなく被検物の偏光情報を求めることができる。

【0057】

なお、制御器70は、上記のように取得された偏光情報に基づいて偏光深さ情報画像を求めるようにしてもよい。また、制御器70は、複数枚の偏光深さ情報画像を連続的に求めて、偏光深さ情報画像に関する加算平均画像を取得してもよい。なお、演算制御器70は、各偏光深さ情報画像の基礎となるZ空間での実虚成分を利用して偏光深さ情報画像に関する加算平均画像を取得できる。

20

【実施例】

【0058】

以下、図面に沿って、本実施形態の装置における実施例を説明する。

【0059】

<実施例1>

実施例1では、光コヒーレンストモグラフィー装置として、図1に示されるOCT装置1が用いられ、被検物は、眼の眼底である。実施例1の装置は、干渉信号における互いに直交する偏光成分を異なる検出器にて検出可能な構成を有する。

30

【0060】

光コヒーレンストモグラフィー(OCT)装置1は、波長掃引式OCT(SS-OCT HwepT Hource-OCT)を基本的構成とし、波長可変光源102、干渉光学系(OCT光学系)100、演算制御器(演算制御部)70と、を含む。その他、OCT装置1には、メモリ72、モニタ75、図示無き正面像観察系及び固視標投影系が設けられる。演算制御器(以下、制御器(制御部))70は、波長可変光源102、干渉光学系100、メモリ72、モニタ75に接続されている。

【0061】

OCT光学系100には、SS-OCT方式が用いられ、光源102として出射波長を時間的に高速で変化させる波長可変光源(波長走査型光源)が用いられる。光源102は、例えば、レーザ媒体、共振器、及び波長選択フィルタによって構成される。そして、波長選択フィルタとして、例えば、回折格子とポリゴンミラーの組み合わせ、ファブリー・ペローエタロンを用いたフィルタが挙げられる。

40

【0062】

本実施例では、瞬間輝線幅が短く、共振器長が短い光源としてAXSUN社のTUNABLE LASERが用いられる(例えば、 $c=1060\text{nm}$ 、 $\lambda=110\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda=0.055\text{nm}$ 、共振器長 $\sim 14\text{mm}$)。このような波長可変光源は、例えば、米国公開2009/0059971号に記載されている。

【0063】

50

カップラー（スプリッタ）104は、光分割器として用いられ、光源102から出射された光を測定光（測定光）と参照光に分割する。サーキュレータ103はカップラー104からの光を光ファイバー105に導光し、光ファイバー105からの光を光ファイバー119に導光する。なお、サーキュレータ103は、カップラーであってもよい。

【0064】

OCT光学系100は、測定光学系106によって測定光を眼Eの眼底Efに導く。OCT光学系100は、参照光学系110に参照光を導く。OCT光学系100は、眼底Efによって反射された測定光と参照光との干渉、によって取得される干渉信号光を検出器（受光素子）120に受光させる。

【0065】

測定光学系106には、光遅延路300、光ファイバー105、光スキャナ108、及び対物レンズ系が順次設けられている。

【0066】

光遅延路300は、基準光路300aと迂回光路300bを有し、互いに光路長差を持つ少なくとも2つの光を生成させるために設けられている。例えば、測定光路に光遅延路300が配置された場合、測定光は、光遅延路300に形成された基準光路300aと迂回光路300bによって、互いに光路長差を持つ少なくとも2つの測定光として形成される。迂回光路300bは、基準光路300aより光路長が長いので、迂回光路300bを通過する測定光は、基準光路を通過する測定光に対し光学的遅延（光路長差）が生じる。このようにして、光路長差を持つ複数の測定光が被検物の同一位置に照射される。

【0067】

光遅延路300は、例えば、第1偏光ビームスプリッタ302、第1光反射部材304、第2光反射部材306、第2偏光ビームスプリッタ308を備え、測定光を2つの光路に分割し、一方の測定光に対して他方の測定光の光路長を遅延させる。第1偏光ビームスプリッタ302は、光源102からの測定光を基準光路300a（第1測定光路）と迂回光路300b（第2測定光路）に分割する。第2偏光ビームスプリッタ308は、基準光路300aと迂回光路300bを合成する（図1参照）。

【0068】

第1光反射部材304、第2反射部材306として、例えば、全反射ミラー、プリズムなどの光学部材が用いられる。光遅延路300を形成する光学部材は、図1のように互いに離れた光学配置であってもよいし、プリズム等により一体化された光学配置であってもよい。

【0069】

第1偏光ビームスプリッタ302は、光源102からの光を垂直偏光成分と水平偏光成分に分割し、一方の偏光成分の光を透過させ、他方の偏光成分の光を反射する特性を持つ。第1光反射部材304、第2反射部材306は、第1偏光ビームスプリッタ302によって分割された光の一方を反射し、光結合部材308に戻す。第2偏光ビームスプリッタ308は、垂直偏光と水平偏光に分割された光を結合させる特性を持つ。第2偏光ビームスプリッタ308によって結合された後、結果的に、偏光成分が互いに直交する2つの測定光がそれぞれ被検眼に照射される（光ファイバー105等の影響により両者の偏光成分は、変更されるかもしれないが、偏光成分が互いに直交するという関係は変わらない）。

【0070】

上記のようにして光遅延路300は、偏光成分が互いに直交すると共に光路長差を持つ2つの測定光を生成する。2つの測定光は、サーキュレータ103、光ファイバー105を介して光スキャナ108に向かう。2つの測定光は、光スキャナ108によって反射方向が変えられる。光スキャナ108によって偏向された光は、対物レンズ系によって平行ビームとなって眼Eに入射し、眼底Ef上に入射される。2つの測定光は、眼底Ef上の同一位置に照射される。

【0071】

光スキャナ108は、眼底Ef上でXY方向（横断方向）に測定光を走査させる。光ス

10

20

30

40

50

キャナ 108 は、瞳孔と略共役な位置に配置される。光スキャナ 108 は、例えば、2つのガルバノミラーであり、その反射角度が駆動機構によって任意に調整される。

【0072】

光源 102 から出射された光束は、その反射（進行）方向が変化され、眼底上で任意の方向に走査される。光スキャナ 108 としては、反射ミラー（ガルバノミラー、ポリゴンミラー、レゾナントスキャナ）の他、光の進行（偏向）方向を変化させる音響光学素子（AOM）等が用いられる。

【0073】

制御器 70 は、光スキャナ 108 の駆動を制御することにより、眼底 E f の深さ方向に対して垂直な方向（横断方向）に測定光を走査させる。各測定光の眼底 E f からの後方散乱光（反射光）は、対物レンズ系、光スキャナ 108、光ファイバー 105、サーキュレータ 103、光ファイバー 119 を経て、ビームスプリッタ 350 に達する。そして、後方散乱光は、ビームスプリッタ 350 にて参照光と合波されて干渉する。

10

【0074】

参照光学系 110 は、眼底 E f での測定光の反射によって取得される反射光と合成される参照光を生成する。参照光学系 110 は、マイケルソンタイプであってもよいし、マツェンダタイプであっても良い。参照光学系 110 は、透過光学系（例えば、光ファイバー）によって形成され、カップラー 104 からの光を戻さず透過させることにより検出器 120 へと導く。参照光学系 110 は、例えば、反射光学系（例えば、参照ミラー）によって形成され、カップラー 104 からの光を反射光学系により反射することにより再度カップラー 104 に戻し、検出器 120 に導いてもよい。

20

【0075】

本装置は、測定光と参照光との光路長差を調整するために OCT 光学系 100 に配置された光学部材の少なくとも一部を光軸方向に移動させる。例えば、参照光学系 110 は、参照光路中の光学部材を移動させることにより、測定光と参照光との光路長差を調整する構成を有する。光路長差を変更するための構成は、測定光路中に配置されてもよい。測定光路中に配置された光学部材（例えば、光ファイバーの端部）が光軸方向に移動される。

【0076】

ビームスプリッタ 350 は、干渉信号光を 2 つに分割する。ビームスプリッタ 350 によって分割された光路の一方には、偏光ビームスプリッタ 360 が配置され、他方には、偏光ビームスプリッタ 365 が配置されている。偏光ビームスプリッタ 360、365 は、入射された干渉信号光を、互いに直交する偏光成分（垂直偏光成分、水平偏光成分）に分割する。

30

【0077】

検出器 120 は、垂直偏光検出器 120 V と水平偏光検出器 120 H を持ち、スペクトル信号における垂直偏光成分と水平偏光成分を別々に検出可能な構成を持つ。

【0078】

垂直偏光検出器 120 V と水平偏光検出器 120 H は、それぞれ、第 1 受光素子（120 V a、120 H a）と第 2 受光素子（120 V b、120 H b）からなる平衡検出器（Balanced Detector）にて構成されるのが有利である。検出器 120（平衡検出器）は、第 1 受光素子からの干渉信号と第 2 受光素子からの干渉信号との差分を得て、干渉信号に含まれる不要なノイズを削減する。各受光素子は、受光部が一つのみからなるポイントセンサであって、例えば、アバランシェ・フォト・ダイオードが用いられる。

40

【0079】

垂直偏光検出器 120 V は、偏光ビームスプリッタ 360、365 によって分割された垂直偏光成分を、第 1 受光素子 120 V a、第 2 受光素子 120 V b により平衡検出を行う。水平偏光検出器 120 H は、偏光ビームスプリッタ 360、365 によって分割された水平偏光成分を、第 1 受光素子 120 H a、第 2 受光素子 120 H b により平衡検出を行う。

【0080】

50

垂直偏光検出器 120V と水平偏光検出器 120H によって受光される干渉信号光は、それぞれ、偏光成分が互いに直交すると共に光路長差を持つ 2 つの測定光に対応する干渉信号光を含んでいる。

【0081】

光源 102 により出射波長が変化されると、これに対応する干渉信号光が検出器 120 に受光され、結果的に、スペクトル信号として検出器 120 によって検出される。制御器 70 は、光源 102 からのトリガ信号を得て、取得するスペクトル信号と光スキャナ 108 を制御する。

【0082】

垂直偏光検出器 120V と水平偏光検出器 120H によって検出される各スペクトル信号は、被検物に照射された 2 つの測定光のうち、垂直偏光成分を持つ測定光に基づいて形成された第 1 スペクトル信号と、水平偏光成分を持つ測定光に基づいて形成された第 2 スペクトル信号と、を含む。第 1 スペクトル信号と第 2 スペクトル信号は、光路長差を持つため、スペクトルによって形成される干渉縞の粗密が異なる。

【0083】

制御器 70 は、偏光成分が異なる 2 つのスペクトル信号を処理して、互いに直交する偏光成分に関する深さ情報 DV、DH を得る。

【0084】

制御器 70 は、垂直偏光検出器 120V によって検出された垂直偏光成分を持つスペクトル信号を処理して垂直深さ情報 DV を得る。垂直深さ情報 DV は、第 1 スペクトル信号に対応する第 1 垂直深さ情報 DV1 と、第 2 スペクトル信号に対応する第 2 垂直深さ情報 DV2 を含む。第 1 垂直深さ情報 DV1 は、互いに偏光成分が直交する測定光における一方の測定光に基づいて形成された深さ情報であり、第 2 垂直深さ情報 DV2 は、互いに偏光成分が直交する測定光における他方の測定光に基づいて形成された深さ情報である。

【0085】

制御器 70 は、水平偏光検出器 120H によって検出された水平偏光成分を持つスペクトル信号を処理して水平深さ情報 DH を得る。水平深さ情報 DH は、第 1 スペクトル信号に対応する第 1 水平深さ情報 DH1 と、第 2 スペクトル信号に対応する第 2 水平深さ情報 DH2 を含む。第 1 水平深さ情報 DH1 は、互いに偏光成分が直交する測定光における一方の測定光に基づいて形成された深さ情報であり、第 2 水平深さ情報 DH2 は、互いに偏光成分が直交する測定光における他方の測定光に基づいて形成された深さ情報である。

【0086】

< 断層画像の取得 >

制御器 70 は、光スキャナ 108 の駆動を制御し、眼底 Ef 上で測定光を横断方向に走査させる。制御器 70 は、各走査位置での深さ情報を順次並べることにより眼底断層画像を形成させる。

【0087】

図 2A、図 2B は、多重スペクトル信号に基づいて取得された断層画像データを示す例であり、図 2A は、垂直偏光成分に関する断層画像データであり、図 2B は、水平偏光成分に関する断層画像データである。なお、フーリエ解析によって取得された断層画像データには、実像とミラーイメージ（虚像）が含まれるが、図 2A、図 2B は、実像のみを抽出した画像である。

【0088】

制御器 70 は、互いに直交する偏光成分に関する深さ情報 DV、DH に関してそれぞれ、走査方向に関して並べることにより互いに直交する偏光成分に関する断層画像データ TV、TH を得る。断層画像データ TV、TH は、深さ方向に分離された眼底 Ef の複数の断層像を含む。なお、断層画像データは、各深さ情報における実虚成分の絶対値を求めることにより形成される。各断層像は、眼底 Ef 上の同一の走査位置に関して取得された断層像である。

【0089】

10

20

30

40

50

断層画像データTVは、第1垂直深さ情報DV1に基づく第1垂直断層像TV1、第2垂直深さ情報DV2に基づく第2垂直断層像TV2を含む。断層画像データTHは、第1水平深さ情報DH1に基づく第1水平断層像TH1、第2水平深さ情報DH2に基づく第2水平断層像TH2を含む。

【0090】

制御器70は、上記のように取得された断層画像データTV、THから第1垂直断層像TV1、第2垂直断層像TV2、第1水平断層像TH1、第2水平断層像TH2のいずれかを抽出し、モニタ75の画面上に断層像を表示する。制御器70は、断層画像データTV、THを連続的に取得し、動画の断層像を表示するようにしてもよい。

【0091】

<加算平均画像の取得>

制御器70は、断層画像データTV、THに含まれる少なくとも2つの断層像を用いて加算平均画像を取得する。例えば、制御器70は、断層画像データTVから、深さ方向に関して形成位置が異なる第1垂直断層像TV1と第2垂直断層像TV2を抽出する。制御器70は、これらを画像処理により位置合わせし、加算平均画像を取得できる。もちろん、制御器70は、断層画像データTHにおける2つの断層像に基づいて加算平均画像を得ることもできる。また、制御器70は、断層画像データTVでの断層像と断層画像データTHでの断層像を用いて加算平均画像を取得しても良い。

【0092】

このようにすれば、スペckルノイズが中和された加算平均画像を短時間で取得できる。なお、制御器70は、断層画像データTV、THを連続的に取得し、複数の断層画像データTV、THに含まれる複数の断層像を処理して加算平均画像を得てもよい。これにより、さらに良好な画像を短時間で取得できる。

【0093】

加算平均画像を得る場合、前述のように、制御器70は、各断層像の基礎となるZ空間での実虚成分を利用して加算平均画像を取得するようにしてもよい。

【0094】

<偏光検出>

制御器70は、垂直深さ情報DVと水平深さ情報DHを用いて眼底Efの複屈折特性を求める。スペクトル信号をフーリエ解析した後の各深さ情報における実部と虚部の情報が用いられる。

【0095】

制御器70は、垂直深さ情報DVから第1垂直深さ情報DV1を得ると共に、水平深さ情報DHから第1水平深さ情報DH1を得る。制御器70は、偏光成分が互いに直交する第1垂直深さ情報DV1と第1水平深さ情報DH1に基づいて第1の偏光状態を得る。

【0096】

制御器70は、垂直深さ情報DVから第2垂直深さ情報DV2を得ると共に、水平深さ情報DHから第2水平深さ情報DH2を得る。制御器70は、偏光成分が互いに直交する第2垂直深さ情報DV2と第2水平深さ情報DH2に基づいて第2の偏光状態を得る。

【0097】

制御器70は、第1の偏光状態と第2の偏光状態に基づいて、眼底表面を基準として眼底Efのある位置における複屈折特性を得る。制御部70は、複屈折特性を深さ方向に関して求めることにより、深さ方向に関する眼底Efの複屈折特性分布を示す偏光深さ情報を得る。

【0098】

制御器70は、各位置での偏光深さ情報を走査方向に関して並べることにより、ある切断面での眼底Efの複屈折分布(例えば、偏光深さ情報画像)を求める。制御部70は、求められた複屈折分布をモニタ75上に表示する。

【0099】

なお、制御器70は、光スキャナ108の駆動を制御し、眼底Ef上で測定光を二次元

10

20

30

40

50

的に走査することにより3次元データを得てもよい。制御部70は、各位置における偏光深さ情報を得ることにより、眼底E f上の二次元的な複屈折分布を示すマップを得る。制御部70は、得られたマップをモニター75上に表示する。

【0100】

<実施例2>

実施例2は、光コヒーレンストモグラフィ装置として、図3に示されるOCT装置1が用いられ、被検物は、眼の眼底である。実施例2の装置は、分散性光学遅延線(Dispersive Optical delay line)を有し、干渉信号における互いに直交する偏光成分を同一の検出器にて検出可能な構成を有する。なお、図1と同一の番号を付した構成については、特段の説明が無い限り、同一の構成・機能を有する構成であり、詳しい説明を省略する。

10

【0101】

第1光遅延路300は、干渉光学系100に形成された測定光路に配置され、偏光成分が互いに直交すると共に互いに光路長差 d_1 を持つ2つの測定光を生成する。第2光遅延路350は、干渉光学系100に形成された参照光路に配置され、偏光成分が互いに直交すると共に互いに光路長差 d_2 を持つ2つの参照光を生成する。なお、第1光遅延路300と第2光遅延路370は、配置位置、光路長差が異なる点を除いては、基本的には、同一の部材によって構成されることができる。

【0102】

光路長差 d_1 と光路長差 d_2 の関係について、一方が他方の約2倍の光路長となるように設定されており、図3では、 $d_1 > d_2$ であって、 d_1 の約半分が d_2 となるように設定されている。もちろん、 $d_1 < d_2$ であって、 d_2 の約半分が d_1 となるように設定された構成であってもよい。

20

【0103】

分散性光学遅延線500(Dispersive Optical delay line)は、波長依存の位相遅れ及び一定の群遅れ(constant group delay)を生成する。分散性光学遅延線500は、OCT光学系100における効果的な撮像領域を2倍にするために用いられる。位相変調は、波数領域において直接的に働くので、レーザの掃引速度は作用されない。分散性光学遅延線500の詳しい構成・動作方法については、"complete complex conjugate resolve D Veterodyne swep T Hource optical coherence tomography using a dispersive optical delay line, BIOMEDICAL OPTICS EXPRESS ,1 May 2011/Vol.5,No.5,Joseph A . Izat t ")を参考にされたい。

30

【0104】

検出器120は、スペクトル信号における垂直偏光成分と水平偏光成分の両方を検出する。スペクトル信号は、垂直偏光成分を持つ垂直スペクトル信号と水平偏光成分を持つ水平スペクトル信号を含む。垂直スペクトル信号と水平スペクトル信号は、光路長差 d_1 を持つ。さらに、垂直スペクトル信号と水平スペクトル信号の各信号は、互いに偏光成分が直交する測定光における一方の測定光に基づいて形成された第1スペクトル信号と、互いに偏光成分が直交する測定光における他方の測定光に基づいて形成された第2スペクトル信号と、を含む。第1スペクトル信号と第2スペクトル信号は、光路長差 d_2 を持つ。なお、検出器120(平衡検出器)は、第1受光素子からの干渉信号と第2受光素子からの干渉信号との差分を得て、干渉信号に含まれる不要なノイズを削減する。

40

【0105】

制御器70は、互いに直交する偏光成分を含むスペクトル信号を処理して深さ情報を得る。得られた深さ情報Dは、垂直深さ情報DV、水平深さ情報DHを含む。垂直深さ情報DV、水平深さ情報DHは、光路長差 d_1 の分、分離された状態で取得される。

【0106】

垂直深さ情報DVは、第1スペクトル信号に対応する第1垂直深さ情報DV1と、第2スペクトル信号に対応する第2垂直深さ情報DV2を含む。第1垂直深さ情報DV1は、互いに偏光成分が直交する測定光における一方の測定光に基づいて形成された深さ情報であり、第2垂直深さ情報DV2は、互いに偏光成分が直交する測定光における他方の測定

50

光に基づいて形成された深さ情報である。第1垂直深さ情報DV1と第2垂直深さ情報DV2は、光路長差d2の分、分離された状態で取得される。

【0107】

水平深さ情報DHは、第1スペクトル信号に対応する第1水平深さ情報DH1と、第2スペクトル信号に対応する第2水平深さ情報DH2を含む。第1水平深さ情報DH1は、互いに偏光成分が直交する測定光における一方の測定光に基づいて形成された深さ情報であり、第2水平深さ情報DH2は、互いに偏光成分が直交する測定光における他方の測定光に基づいて形成された深さ情報である。第1水平深さ情報DH1と第2水平深さ情報DH2は、光路長差d2の分、分離された状態で取得される。

【0108】

<断層画像の取得>

制御器70は、光スキャナ108の駆動を制御し、眼底Ef上で測定光を横断方向に走査させる。制御器70は、各走査位置での深さ情報を順次並べることにより眼底断層画像を形成させる。

【0109】

図4は、多重スペクトル信号に基づいて取得された断層画像データを示す例であり、制御器70は、深さ情報Dを走査方向に関して並べることにより互いに直交する偏光成分に関する断層画像データTを得る。断層画像データTは、深さ方向に分離された眼底Efの複数の断層像を含む。なお、断層画像データは、各深さ情報における実虚成分の絶対値を求めることにより形成される。各断層像は、眼底Ef上の同一の走査位置に関して取得された断層像である。

【0110】

断層画像データTは、第1垂直深さ情報DV1に基づく第1垂直断層像TV1、第2垂直深さ情報DV2に基づく第2垂直断層像TV2、第1水平深さ情報DH1に基づく第1水平断層像TH1、第2水平深さ情報DH2に基づく第2水平断層像TH2を含む。

【0111】

制御器70は、上記のように取得された断層画像データTから第1垂直断層像TV1、第2垂直断層像TV2、第1水平断層像TH1、第2水平断層像TH2のいずれかを抽出し、モニタ75の画面上に断層像を表示する。制御器70は、断層画像データTV、THを連続的に取得し、動画の断層像を表示するようにしてもよい。

【0112】

<加算平均画像の取得>

制御器70は、断層画像データTに含まれる少なくとも2つの断層像を用いて加算平均画像を取得する。例えば、制御器70は、断層画像データTから、深さ方向に関して形成位置が異なる第1垂直断層像TV1と第2垂直断層像TV2を抽出する。制御器70は、これらを画像処理により位置合わせし、加算平均画像を取得できる。もちろん、制御器70は、いずれか2つ以上の断層像に基づいて加算平均画像を得ることもできる。

【0113】

このようにすれば、スペckルノイズが中和された加算平均画像を短時間で取得できる。なお、制御器70は、断層画像データTを連続的に取得し、複数の断層画像データTに含まれる複数の断層像を処理して加算平均画像を得てもよい。これにより、さらに良好な画像を短時間で取得できる。

【0114】

加算平均画像を得る場合、前述のように、制御器70は、各断層像の基礎となるZ空間での実虚成分を利用して加算平均画像を取得するようにしてもよい。

【0115】

<偏光検出>

制御器70は、深さ情報Dに含まれる垂直深さ情報DVと水平深さ情報DHを用いて眼底Efの複屈折特性を求める。スペクトル信号をフーリエ解析した後の各深さ情報における実部と虚部の情報が用いられる。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 6 】

制御器 7 0 は、垂直深さ情報 D V から第 1 垂直深さ情報 D V 1 を得ると共に、水平深さ情報 D H から第 1 水平深さ情報 D H 1 を得る。制御器 7 0 は、偏光成分が互いに直交する第 1 垂直深さ情報 D V 1 と第 1 水平深さ情報 D H 1 に基づいて第 1 の偏光状態を得る。

【 0 1 1 7 】

制御器 7 0 は、垂直深さ情報 D V から第 2 垂直深さ情報 D V 2 を得ると共に、水平深さ情報 D H から第 2 水平深さ情報 D H 2 を得る。制御器 7 0 は、偏光成分が互いに直交する第 2 垂直深さ情報 D V 2 と第 2 水平深さ情報 D H 2 に基づいて第 2 の偏光状態を得る。

【 0 1 1 8 】

制御器 7 0 は、第 1 の偏光状態と第 2 の偏光状態に基づいて、例えば、眼底 E f の表面を基準としてある位置における複屈折特性を得る。制御部 7 0 は、複屈折特性を深さ方向に関して求めることにより、深さ方向に関する眼底 E f の複屈折特性分布を示す偏光深さ情報を得る。

10

【 0 1 1 9 】

制御器 7 0 は、各位置での偏光深さ情報を走査方向に関して並べることにより、ある切断面での眼底 E f の複屈折分布（例えば、偏光深さ情報画像）を求める。制御部 7 0 は、求められた複屈折分布をモニター 7 5 上に表示する。

【 0 1 2 0 】

なお、制御器 7 0 は、光スキャナ 1 0 8 の駆動を制御し、眼底 E f 上で測定光を二次元的に走査することにより 3 次元データを得てもよい。制御部 7 0 は、各位置における偏光深さ情報を得ることにより、眼底 E f 上の二次元的な複屈折分布を示すマップを得る。制御部 7 0 は、得られたマップをモニター 7 5 上に表示する。

20

【 0 1 2 1 】

なお、上記実施例 1 及び実施例 2 においては、偏光ビームスプリッタにより互いに直交する偏光成分を生成する構成としてが、これに限定されない。

【 0 1 2 2 】

例えば、光路を分割するハーフミラーと、ハーフミラーにより分割された各光路に偏光フィルタを設けた構成であってもよい。各光路に配置される偏光フィルタによって選択的に透過される光の偏光特性は、分割された光路間で偏光成分が直交関係となるように設定される。

30

【 0 1 2 3 】

例えば、偏波保持ファイバー（polarization maintaining fiber）を設けた構成であってもよい。偏波保持ファイバーとしては、例えば、パンダファイバーが用いられる。偏波保持ファイバーの場合、偏光成分に応じて屈折率が異なるため、互いに直交する偏光成分の光に関して、一方の偏光成分の光が、他方の変更成分の光に対して光路差が生じる。そこで、所定の光路長差（例えば、 d_1 、 d_2 ）が生じるような長さに設定された偏波保持ファイバーを測定光路中に設けることにより、所定の光路長差を持つ 2 つの光が生成される。このような偏波保持ファイバーは、カップラー等を介して通常のシングルモードファイバーに連結される。また、サーキュレータと眼との間に配置されるファイバーとして偏波保持ファイバーが設けられてもよい。

40

【 0 1 2 4 】

本実施形態の光コヒーレンストモグラフィー装置を以下の装置として表現することも可能である。

【 0 1 2 5 】

すなわち、第 1 の光コヒーレンストモグラフィー装置は、光源、干渉計、光検出器を有し、検出器からのスペクトル信号を処理して被検物の深さ情報を取得する光コヒーレンストモグラフィー装置であって、互いに光路長差を持つ複数の光を生成させるための第 1 の構成と、各波長での干渉信号成分を含むスペクトル信号であって、前記第 1 の構成によって生成された第 1 スペクトル信号と第 2 スペクトル信号が多重化された多重スペクトル信号を取得するための第 2 の構成とを有し、深さ方向に関して互いに分離された複数の深さ

50

情報が多重化された深さ情報を得る。

【0126】

第2の光コヒーレンストモグラフィー装置は、光学的遅れ(optical delay)差を生じさせるユニットが測定光路(サンプルアーム)と参照光路(レファレンスアーム)の少なくともいずれかにあり、深さ軸に複数のOCT像を多重化させる構成を有する。

【0127】

第3の光コヒーレンストモグラフィー装置は、1度の測定で得られる多重化したOCT像を複数回測定し、位置あわせをして加算平均する、または実部、虚部ごとに加算平均をして、その絶対値であるOCT画像を得る。

【0128】

第4の光コヒーレンストモグラフィー装置は、optical delay差は、互いに垂直な偏光成分に対して与えられ、測定光(サンプル光)と参照光を合波して干渉させた後、2つの受光素子で互いに垂直な変更成分毎に、2つの多重化したOCT像を得て、被検物の偏光解析を行う。

【0129】

第5の光コヒーレンストモグラフィー装置は、互いに垂直な偏光成分に対してoptical delay差を生じさせるユニットが測定光路と参照光路の両方にあり、4つの多重化したOCT像を1つの受光素子で得て、被検物の偏光解析を行う。

【0130】

第6の光コヒーレンストモグラフィー装置は、Full range化ユニットを有し、多重化を容易にした第1～第5のいずれかの光コヒーレンストモグラフィー装置。なお、Full range化ユニットとしては、上記DODLの他、位相シフトユニット(例えば、測定光路又は参照光路に配置されたミラー、光ファイバー等の光学部材をピエゾ素子によって微動させるための構成)、光変調ユニット(例えば、測定光又は参照光をEO変調器等により変調させる)等が考えられる。位相シフト、光変調などを行う場合、制御器は、ある走査位置(一点)において位相シフト、光変調を行ってからBスキャンでの走査位置を変更してもよい。制御器は、Bスキャンでの走査位置を変更しながら、位相シフト、光変調を行うようにしてもよい。

【0131】

第7の光コヒーレンストモグラフィー装置は、4つの異なる偏光状態のOCT像毎を平均(例えば、実部虚部毎に平均)した後で偏光解析を行う第4～第6のいずれかの光コヒーレンストモグラフィー装置。

【図面の簡単な説明】

【0132】

【図1】本実施形態の実施例1に係る装置の構成について説明するための図である。

【図2A】多重スペクトル信号に基づいて取得された断層画像データを示す例であり、垂直偏光成分に関する断層画像データである。

【図2B】多重スペクトル信号に基づいて取得された断層画像データを示す例であり、水平偏光成分に関する断層画像データである。

【図3】本実施形態の実施例2に係る装置の構成について説明するための図である。

【図4】多重スペクトル信号に基づいて取得された断層画像データを示す例である。

【図5】本実施形態に係るPoincare Sphereについて説明するための図である。

【図6】本実施形態に係る複屈折軸ベクトルAについて説明するための図である。

【図7】本実施形態に係るPhase Retardationについて説明するための図である。

【符号の説明】

【0133】

- 1 光コヒーレンストモグラフィー(OCT)装置1
- 70 演算制御器
- 100 干渉光学系(OCT光学系)
- 102 波長可変光源

10

20

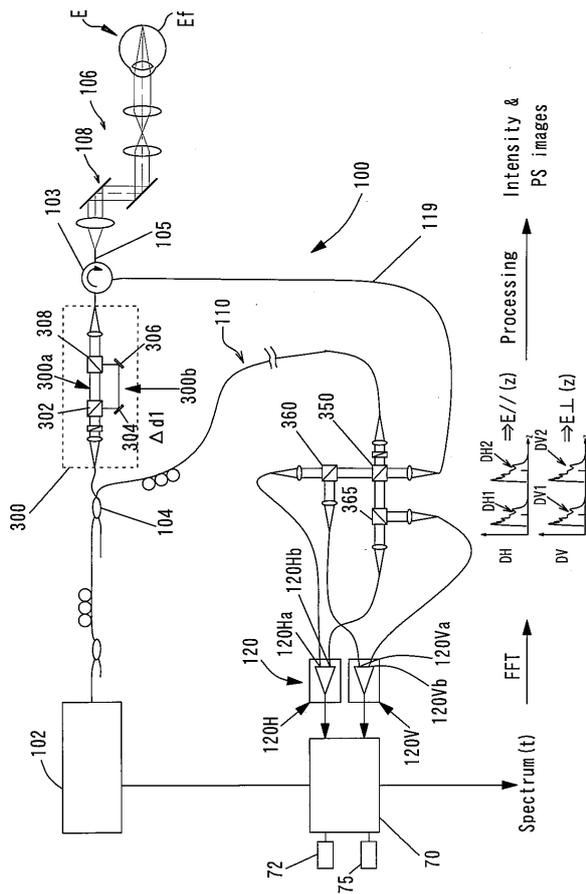
30

40

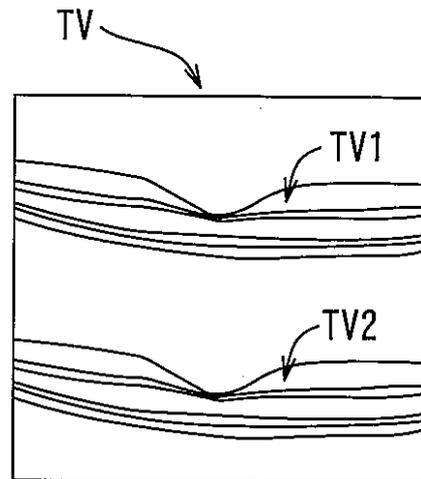
50

- 104 カップラ
- 106 測定光学系
- 108 光スキャナ
- 120 検出器
- 120V 垂直偏光検出器
- 120H 水平偏光検出器
- 300 光遅延路(第1光遅延路)
- 370 第2光遅延路
- 500 分散性光学遅延線

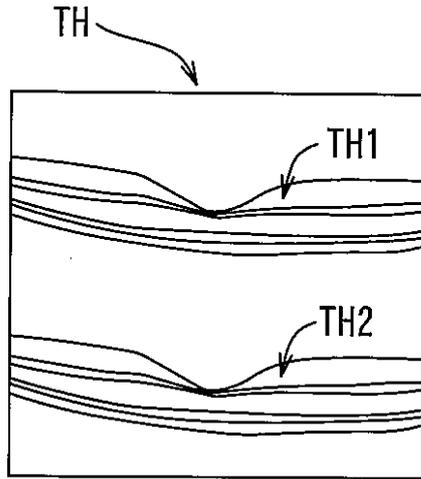
【図1】



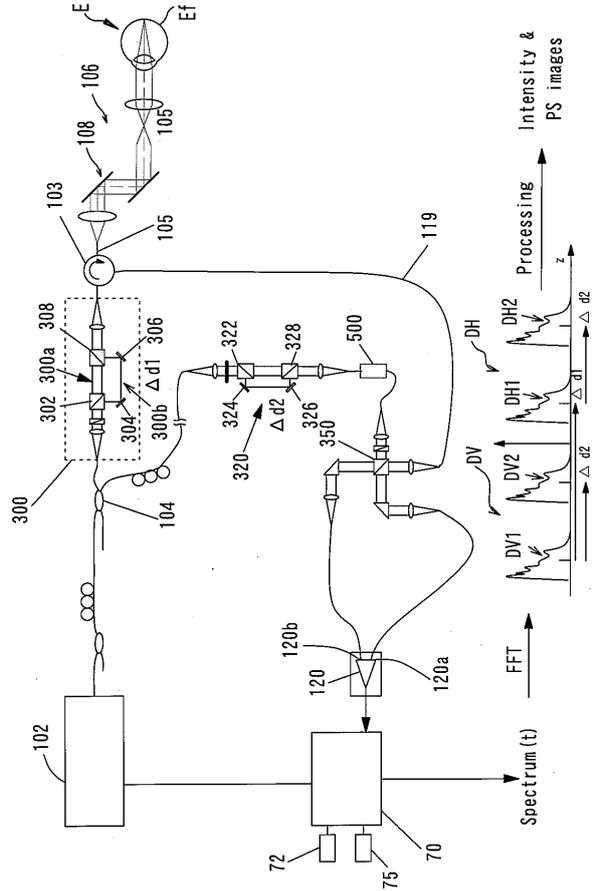
【図2A】



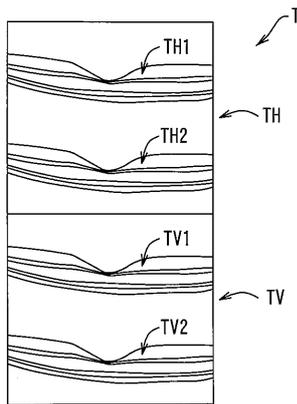
【図2B】



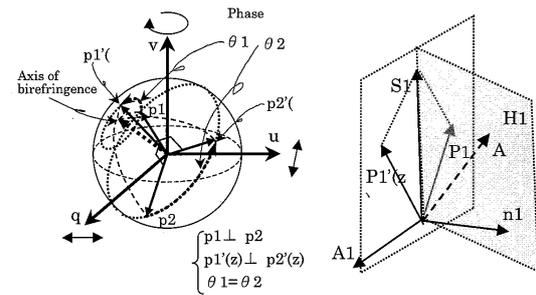
【図3】



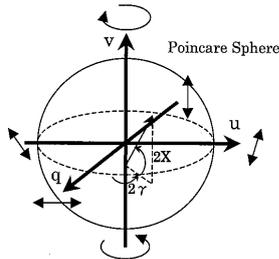
【図4】



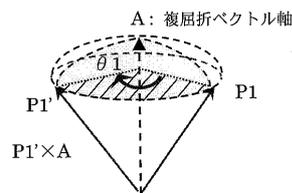
【図6】



【図5】



【図7】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2010-117372(JP,A)
特開2010-029648(JP,A)
特開2011-200635(JP,A)
国際公開第2010/143601(WO,A1)
特開平10-267830(JP,A)
特開2010-259698(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/00 - 21/61
A61B 1/00 - 1/32
A61B 3/00 - 3/18
A61B 9/00 - 10/06