

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2016-2381

(P2016-2381A)

(43) 公開日 平成28年1月12日 (2016.1.12)

(51) Int.Cl.

A 6 1 B 3/10 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 3/10

R

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-125733 (P2014-125733)
 (22) 出願日 平成26年6月18日 (2014.6.18)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 (74) 代理人 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72) 発明者 福原 誠
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 (72) 発明者 戸松 宣博
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内

最終頁に続く

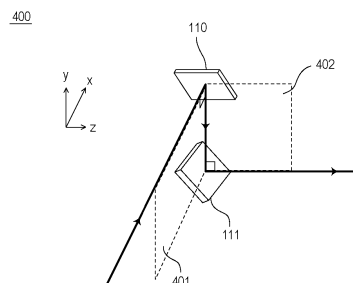
(54) 【発明の名称】 撮影装置及びその方法

(57) 【要約】

【課題】 光路に設けられた光学部材の反射や透過により生じる異なる偏光成分の間の位相差（位相遅延）を低減すること。

【解決手段】 撮影装置は、測定光を照射した被検査物からの戻り光と前記測定光に対応する参照光とを合波した光を偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段と、前記複数の光を検出する検出手段と、を有する被検査物を撮影する撮影装置であって、光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段を有する。

【選択図】 図 4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

測定光を照射した被検査物からの戻り光と前記測定光に対応する参照光とを合波した光を偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段と、前記複数の光を検出する検出手段と、を有する被検査物を撮影する撮影装置であって、

光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段を有することを特徴とする撮影装置。

【請求項 2】

前記補正手段は、前記光学部材と同じ種類の光学部材であり、前記位相差を補正するように配置されることを特徴とする請求項 1 に記載の撮影装置。

10

【請求項 3】

前記光学部材は、前記測定光と前記参照光とのうち少なくとも一つの光を反射する第 1 の反射部材であり、

前記補正手段は、前記反射した光を前記第 1 の反射部材が設けられた光路の光軸を含む平面に対して交差する方向に反射する第 2 の反射部材であり、前記第 1 の反射部材の反射により生じる前記位相差を、前記第 2 の反射部材の反射により補正することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の撮影装置。

【請求項 4】

前記光学部材及び前記補正手段が前記参照光の光路に設けられ、

前記参照光の光路に設けられ、前記光学部材及び前記補正手段の後段に設けられる偏光調整部材を更に有することを特徴とする請求項 3 に記載の撮影装置。

20

【請求項 5】

前記光学部材は、前記測定光の光路に配置される第 1 の波長選択部材であり、

前記補正手段は、前記測定光の光路に設けられる第 2 の波長選択部材であり、前記第 1 の波長選択部材の反射により生じる前記位相差を、前記第 2 の波長選択部材の反射により補正することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の撮影装置。

【請求項 6】

前記光学部材は、前記測定光の光路に配置される前記測定光を走査する第 1 の走査手段であり、

前記補正手段は、前記測定光の光路に配置される前記測定光を走査する第 2 の走査手段であり、前記第 1 の走査手段の反射により生じる前記位相差を、前記第 2 の走査手段の反射により補正することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の撮影装置。

30

【請求項 7】

前記補正手段は、前記光学部材とは異なる種類の光学部材であることを特徴とする請求項 1 に記載する撮影装置。

【請求項 8】

前記補正手段は、前記位相差が補正されるように配置される偏光調整部材であることを特徴とする請求項 7 に記載の撮影装置。

【請求項 9】

前記補正手段を駆動する駆動手段と、

前記位相差が補正されるように前記駆動手段を制御する制御手段と、を有することを特徴とする請求項 7 に記載の撮影装置。

40

【請求項 10】

前記補正手段は、偏光調整部材であり、

前記駆動手段は、前記偏光調整部材を回転することを特徴とする請求項 9 に記載の撮影装置。

【請求項 11】

前記補正手段は、ポラライザであり、

前記駆動手段は、前記ポラライザのスリットを回転することを特徴とする請求項 9 に記載の撮影装置。

50

【請求項 1 2】

前記補正手段は、液晶光学素子であり、

前記駆動手段は、前記液晶光学素子に電圧を印加することを特徴とする請求項 9 に記載の撮影装置。

【請求項 1 3】

前記補正手段は、ファイバ型の偏光制御部材であり、

前記駆動手段は、前記偏光制御部材を加圧することを特徴とする請求項 9 に記載の撮影装置。

【請求項 1 4】

前記光学部材が前記測定光の光路に設けられている場合には前記補正手段は前記測定光の光路に設けられ、

前記光学部材が前記参照光の光路に設けられている場合には前記補正手段は前記参照光の光路に設けられることを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 のいずれか 1 項に記載の撮影装置。

【請求項 1 5】

測定光を照射した被検査物からの戻り光を偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段と、前記複数の光を検出する検出手段と、を有する被検査物を撮影する撮影装置であって、

光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段を有することを特徴とする撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光成分が異なる複数の光を検出することにより被検査物を撮影する撮影装置及びその方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、低コヒーレンス光による干渉を利用した光断層画像撮像 (Optical Coherence Tomography: OCT) 装置 (以下、OCT 装置と記載) が実用化されている。これは、被検査物の断層画像を高分解能で且つ非侵襲に取得することができる。そのため、OCT 装置は、特に眼科領域において、被検眼の眼底の断層画像を得るうえで、必要不可欠な装置になりつつある。また、眼科領域以外でも、皮膚の断層観察や、内視鏡やカテーテルとして構成して、消化器、循環器の壁面断層画像撮像等が試みられている。

【0003】

ここで、眼科用 OCT 装置において、眼底組織の形状をイメージングする通常の OCT 画像 (輝度画像とも言う) に加えて、眼底組織の光学特性や動き等をイメージングする機能 OCT 画像の取得が試みられている。特に、偏光 OCT 装置は、機能 OCT 装置の一つとして開発されており、光の偏光パラメータを利用して信号を取得するものである。偏光 OCT 装置は、複屈折性を有する神経線維層や偏光を解消する性質を有する網膜層の描出が可能であり、緑内障や加齢黄斑変性などを対象とした研究が進められている。

【0004】

このとき、偏光 OCT 装置は、眼底組織の光学特性の一つである偏光パラメータ (リターデーションとオリエンテーション) を用いて偏光 OCT 画像を構成し、眼底組織の区別やセグメンテーションを行うことができる。一般的に、偏光 OCT 装置は、波長板 (例えば、1/4 波長板や 1/2 波長板) を用いることで、OCT 装置の測定光と参照光との偏光状態を所望の偏光状態になるように補正可能な光学系が構成されている。光源から出射される光の偏光状態を所望の偏光状態に補正し、また、試料に照射する測定光の偏光状態を所望の偏光状態に補正した光を用いて、その干渉光を 2 つの直交する直線偏光として分割して検出して、偏光 OCT 画像を生成する (非特許文献 1)。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】J. Biomed. Opt. 18(2), 026008 (Feb 01, 2013), Teresa Torzichy et al. "Retinal polarization-sensitive optical coherence tomography at 1060 nm with 350 kHz A-scan rate using an Fourier domain mode locked laser"

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

ここで、装置の小型化のために、例えば、ミラー等の反射部材を用いて光路を折り曲げる構成が一般的に利用される。このとき、ミラー等の反射面が有する誘電率（複素屈折率）に応じて、反射面で反射した光の異なる偏光成分の間の位相差（位相遅延）が生じるとい性質が一般的に知られている。このため、反射部材により、反射面に対するS偏光成分とP偏光成分とにおいて、反射の前後で位相差が生じてしまう。

【0007】

非特許文献1では、マッハツェンダ型の干渉計を有する偏光OCT装置において、参照光が参照ミラーにより直角に反射される。このため、一方の偏光成分が他方の偏光成分に対して位相の遅延が発生し、異なる偏光成分の間の位相差が生じてしまう。

20

【0008】

なお、参照光路に設けられたミラーだけでなく、測定光路に設けられた接眼部等の透過部材において、すなわち、ファイバ等ではなく空気中に配置される光学部材において、このような問題が生じる可能性がある。

【0009】

ところで、偏光OCT装置は、被検査物で生じる異なる偏光成分の間の位相差を検出することで、偏光OCT画像を取得することができる。しかしながら、偏光OCT装置の光路で偏光の位相差が生じてしまうと、被検査物で生じる異なる偏光成分の間の位相差を精度良く検出することが難しい。

30

【0010】

本発明の目的の一つは、光路に設けられた光学部材の反射や透過により生じる異なる偏光成分の間の位相差（位相遅延）を低減することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

上記の目的を達成するための、本発明の一様態による撮影装置は、

測定光を照射した被検査物からの戻り光と前記測定光に対応する参照光とを合波した光を偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段と、前記複数の光を検出する検出手段と、を有する被検査物を撮影する撮影装置であって、

光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段を有する。

40

【0012】

また、上記の目的を達成するための、本発明の一様態による撮影装置は、

測定光を照射した被検査物からの戻り光を偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段と、前記複数の光を検出する検出手段と、を有する被検査物を撮影する撮影装置であって、

光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段を有する。

【発明の効果】

【0013】

50

本発明によれば、光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正することができる。これにより、光路に設けられた光学部材の反射や透過により生じる偏光成分の間の位相差（位相遅延）を低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】第1の実施形態に係るバルク系で構成されるSS-PS-OCT装置の全体構成の概略図である。

【図2】第1の実施形態に係るファイバ系で構成されるSS-PS-OCT装置の全体構成の概略図である。

【図3】第2の実施形態に係るSD-PS-OCT装置の全体構成の概略図である。

10

【図4】第1の実施形態に係るSS-PS-OCT装置の測定光路において、偏光の位相遅延を補正するためのダイクロイックミラーの配置を説明する概略図である。

【図5】第3の実施形態に係るPS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段としてポラライザを適用した場合の概略図である。

【図6】第4の実施形態に係るPS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段として液晶光学素子を適用した場合の概略図である。

【図7】第5の実施形態に係るPS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段としてファイバ型偏光コントローラを適用した場合の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

20

発明を実施するための形態によれば、光路に設けられた光学部材により生じる異なる偏光成分の間の位相差を補正することができる。これにより、光路に設けられた光学部材の反射や透過により生じる異なる偏光成分の間の位相差（位相遅延）を低減することができる。

【0016】

ここで、異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段は、上記光学部材と同じ種類の光学部材であり、該位相差を補正するように配置されることが好ましい。このとき、光学部材及び補正手段は、例えば、測定光の光路に設けられたダイクロイックミラーや参照光の光路に設けられた参照ミラーである。

【0017】

30

また、異なる偏光成分の間の位相差を補正する補正手段は、上記光学部材とは異なる種類の光学部材であり、補正手段を駆動する駆動手段と、該位相差を補正するように該駆動手段を制御する制御手段と、を有することが好ましい。このとき、補正手段は、例えば、偏光調整部材の一例である / 2 板や / 4 板であり、モータ等の駆動手段は偏光調整部材を回転する。

【0018】

また、補正手段は、例えば、ポラライザ（第3の実施形態を参照）、液晶光学素子（第4の実施形態を参照）、ファイバ型の偏光制御部材（第5の実施形態を参照）である。

【0019】

40

なお、光学部材が測定光の光路に設けられている場合には補正手段は測定光の光路に設けられることが好ましい。これにより、測定光に対して生じた異なる偏光成分の間の位相差を測定光の光路において補正することができる。また、光学部材が参照光の光路に設けられている場合には補正手段は参照光の光路に設けられることが好ましい。これにより、参照光に対して生じた異なる偏光成分の間の位相差を参照光の光路において補正することができる。これらにより、異なる偏光成分の間の位相差の補正をシンプルに構成することができる。

【0020】

本発明の一実施形態を、図面を用いて詳細に説明する。

【0021】

（第1の実施形態：光学部材で生じる偏光の位相差を同じ種類の光学部材で補正）

50

本実施形態における偏光OCT装置の構成について図1から図4を用いて説明する。尚、便宜上、各図に示す通りX、Y、Z軸を設定して説明する。

【0022】

〔装置の全体構成〕

図1は、本実施形態における偏光OCT装置の全体構成の概略図であり、SS (Swept Source) - PS (Polarization sensitive) - OCT装置を、マッハツェンダ型の干渉計による構成例である。

【0023】

<SS - PS - OCT装置100の構成>

SS - PS - OCT装置100の構成について説明する。まず、光源101は、周期的に光の発振波長が変化する波長掃引光源を用いて構成され、例えば、心波長1040nm、バンド幅100nmの光を出射する。光源101から出射された光は、シングルモード (Single Mode) ファイバ (以下SMファイバと記載) 102、偏光制御器103を介してコリメータ104に導かれ、コリメータ104においてコリメート光が空間に出射される。出射されたコリメート光は、ポラライザ105を介してビームスプリッタ106に導かれ、測定光 (OCT測定光とも言う) と参照光 (OCT測定光に対応する参照光とも言う) に分岐される。ビームスプリッタ106の分岐比は、90 (参照光) : 10 (測定光) である。尚、分岐比はこれらの値に限定されるものではなく、他の値とすることも可能である。

【0024】

偏光制御器103は、光源101から射出する光の偏光を所望の偏光状態になるように補正する。偏光制御器103は例えばファイバ型の偏光制御器であり、ファイバをコイル状に巻いたパドルを作り、各パドルを傾倒することで偏光を補正するパドル型、ファイバを圧迫、回転させ偏光を補正するインライン型などが挙げられる。また、ファイバから光を空間に出射し、1/2波長板及び1/4波長板を用いて偏光を補正するバルク型でも良い。本実施形態では偏光制御器103で光源101からの光は直線偏光に補正されている。また、光源101の偏光度が高くない場合、図1に示すように、ポラライザ105を配置することで光源101より出射した光の偏光度を上げて良い。その場合、偏光制御器103を調整することで、ポラライザ105の透過光量を調整することも可能である。また、偏光制御器103を配置せず、SMファイバ102にコリメータ104を接続する構成にすることも可能である。この場合、光源101より出射する光の偏光状態の補正は必要なく、偏光度のみを高めることが出来るが、光の偏光状態によっては干渉計に導かれる光量が少なくなってしまう可能性があるため、十分な光量であるか確認する。例えば、光量の確認方法としては、ポラライザ105を通過した後のコリメート光をパワーモニタで測定し、一定の光量以上であるか否かを判定する方法や、検出器133や134で必要十分量の光が検出されているかを判定する方法が挙げられる。

【0025】

(測定光路)

分岐された測定光は、1/4波長板107を通過し、瞳位置において測定光をY方向に走査するY走査用ガルバノスキャナ108とX走査用ガルバノスキャナ109にて反射する。ガルバノスキャナ108、109によって進路を変えた測定光は、更にダイクロイックミラー110、111で反射した後、スキャンレンズ112、対物レンズ113を介して被検眼115に入射する。本実施形態では被検眼115において円偏光となるように1/4波長板107を配置する。また、対物レンズ113はステージ114上に固定されており、光軸方向に動くことで、被検眼の視度調整を行うことが出来る。図示していないが、ガルバノスキャナ108、109とステージ114は駆動制御部によって制御され、被検眼115の所望の範囲 (断層画像の取得範囲、断層画像の取得位置、測定光の照射位置とも言う) で測定光を走査することが出来る。測定光は、ステージ114上に乗った対物レンズ113により、被検眼115に入射し、眼底にフォーカスされる。眼底を照射した測定光は各網膜層で反射・散乱し、上述の光学経路を辿りビームスプリッタ106を介し

てビームスプリッタ 1 2 2 へ入射する。測定光はガルバノスキャナ 1 0 8 において Y - Z 平面内で反射し、次にガルバノスキャナ 1 0 9 において X - Y 平面内で反射する。

【 0 0 2 6 】

ここで、偏光 OCT 装置において、一般的な OCT 装置と同様に、被検眼 1 1 5 には OCT 測定光以外にも固視灯や眼底像を取得するための S L O ビーム、前眼部観察用の観察光など、多波長の光が入射する場合が考えられる。その場合、測定光路内には波長を選択的に反射・透過するダイクロイックミラーを配置する。そのため、測定光はダイクロイックミラー 1 1 0、1 1 1 においても反射し、進路を変える。

【 0 0 2 7 】

(参照光路)

一方、ビームスプリッタ 1 0 6 で分岐された参照光は、分散補償ガラス 1 1 6、N D フィルタ 1 1 7 を介し、コヒーレンスゲートステージ 1 1 9 上のミラー 1 1 8 a、1 1 8 b で反射される。参照光は N D フィルタ 1 1 7 を介して減衰し、干渉光が検出器の測定レンジを超えない範囲に調整される。コヒーレンスゲートステージ 1 1 9 は、被検者の眼軸長の相違等に対応する為、駆動制御部で制御され、図 1 において X 方向に動くことで調整を行う。ミラー 1 1 8 a、1 1 8 b は参照光を X - Z 平面内で反射するように配置されている。一方で参照光は Y 方向に振動する直線偏光であるため、参照光はミラー 1 1 8 a、1 1 8 b の反射面に対して S 偏光成分を持たない。即ち、反射による S 偏光と P 偏光の間の位相差は発生せず、偏光状態を一定に保つことが可能である。従って、ミラー 1 1 8 a、1 1 8 b の反射面に対して S 偏光成分のみ、或いは P 偏光成分のみの参照光を入射させることで、位相の遅延を抑制することが可能である。

【 0 0 2 8 】

ミラー 1 1 8 a、1 1 8 b で反射された参照光は、1 / 4 波長板 1 2 0、1 / 2 波長板 1 2 1 を介してビームスプリッタ 1 2 2 へ入射する。1 / 2 波長板を所定の角度、回転させて配置することにより、1 / 2 波長板を通過した光の振動方向を任意に変化させることが出来る。本実施形態では偏光ビームスプリッタ 1 2 3、1 2 4 に入射する参照光の偏光状態が直交する二つの偏光軸に対して互いに 4 5 ° 傾いた直線偏光となるように 1 / 2 波長板 1 2 1 を配置する。

【 0 0 2 9 】

(検出光路)

ビームスプリッタ 1 2 2 に入射した測定光と参照光は合波されて干渉光となり、分岐比 5 0 : 5 0 で分割される。なお、ビームスプリッタ 1 2 2 は、なお、偏光成分が異なる複数の光に分割する分割手段の一例である。分割される干渉光は、振幅の位相が互いに反転した干渉光 (以下、正の成分および負の成分と表現する) となっており、正の干渉光は偏光ビームスプリッタ 1 2 3 へ導かれ、負の干渉光は偏光ビームスプリッタ 1 2 4 へ導かれる。偏光ビームスプリッタ 1 2 3、1 2 4 では直交する二つの偏光軸に合わせて干渉光が分割され、水平 (H o r i z o n t a l) 偏光成分 (以下、H 成分) と、垂直 (V e r t i c a l) 偏光成分 (以下、V 成分) の二つの光に分割される。偏光ビームスプリッタ 1 2 3、1 2 4 で分割された正負それぞれの干渉光の H 成分は、受光用コリメータ 1 2 5、1 2 9 で受光され、S M ファイバ 1 2 7、1 3 1 を介して検出器 1 3 3 に入射し、ここで差動検出される。なお、検出器 1 3 3、1 3 4 は、偏光成分が異なる複数の光を検出する検出手段の一例である。一方、干渉光の V 成分は受光用コリメータ 1 2 6、1 3 0 で受光され、S M ファイバ 1 2 8、1 3 2 を介して検出器 1 3 4 に入射する。検出器 1 3 3、1 3 4 でそれぞれ受光した光は、光の強度に応じた電気信号として出力される。

【 0 0 3 0 】

なお、本実施形態では、直交する二つの偏光軸に対して参照光を 4 5 ° の直線偏光とすることで、H 成分および V 成分に同等の光が分割される。また、本実施形態では測定光を円偏光としていることにより、被検眼 1 1 5 の眼底の細胞や繊維の方向に関係なく同時に取得することが出来る。結果として、一度で全ての偏光方向についてデータ取得が可能となり、同一箇所について偏光方向ごとに撮影する必要はなく、一度の撮影でデータ取得す

10

20

30

40

50

ることが可能である。

【0031】

また、本実施形態では光の反射のためにミラーを設置したが、光を反射可能なものであれば何でも良く、例えば直角プリズムなどでも同様の効果を得ることが出来る。

【0032】

なお、SS-PS-OCTのバルク系の構成例を示したが、これに限定されるものではなく、ファイバ系で構成することも可能である。その場合は、図2に示すように、ポラライザ105、ビームスプリッタ106、122、偏光ビームスプリッタ123、124を、インラインタイプに置き換えることで同様の効果を得ることができる。

【0033】

<SS-PS-OCT装置200の構成>

SS-PS-OCT装置200の構成について、図2を用いて説明する。なお、SS-PS-OCT装置100と同様の構成については、詳細な説明は省略する。

【0034】

SMファイバ102は、コネクタ201を介してポラライザ202と接続する。なお、ポラライザ202以降のファイバは、偏波保持(Polarization Maintaining: PM)ファイバ(以下PMファイバと記載)で構成することで、偏光状態を維持することが可能である。ポラライザ202はコネクタ203を介してビームスプリッタ204と接続し、ビームスプリッタ204は測定光出射用コリメータ205、参照光出射用コリメータ206、コネクタ208とそれぞれ接続する。ビームスプリッタ204の分岐比は、90(参照光):10(測定光)である。尚、分岐比はこれらの値に限定されるものではなく、他の値とすることも可能である。

【0035】

(測定光路)

分岐された測定光は、コリメータ205より出射し、1/4波長板107、ガルバノスキャナ108、109、ダイクロイックミラー110、111、スキャンレンズ112、対物レンズ113を介して被検眼115に入射する。被検眼115を照射した測定光は各網膜層で反射・散乱し、入射時と同様の光学経路を辿りビームスプリッタ204を介してビームスプリッタ209へ入射する。

【0036】

(参照光路)

一方、参照光は、コリメータ206より出射し、分散補償ガラス116、NDフィルタ117を介し、コヒーレンスゲートステージ119上のミラー118a、118bで反射し、1/4波長板120、1/2波長板121を介してコリメータ207にて受光し、ビームスプリッタ209へ入射する。

【0037】

(検出光路)

ビームスプリッタ209の分岐比は50:50である。入射端は参照光受光用コリメータ207、コネクタ208と接続し、出射端はコネクタ210、211を介して偏光ビームスプリッタ212、213と接続する。偏光ビームスプリッタ212、213で分岐される干渉光のH成分は検出器133の入力端子へ入力し、一方で干渉光のV成分は検出器134の入力端子へ入力する。

【0038】

以上のように構成することで、バルク系のSS-PS-OCT装置100をファイバ系のSS-PS-OCT装置200へ変更することが可能である。

【0039】

(偏光の位相差の補正手段の例:同じ種類のガルバノスキャナによる補正)

このとき、第1の走査手段の一例であるガルバノスキャナ108の反射面に対してS偏光成分の位相が遅延し、同様に第2の走査手段の一例であるガルバノスキャナ109の反射面に対してもS偏光成分の位相が遅延する。ここで、ガルバノスキャナ108に対する

10

20

30

40

50

測定光の入射面と、ガルバノスキャナ 109 に対する測定光の入射面は直交関係にある。そのため、ガルバノスキャナ 108 の反射により位相の遅延が生じる偏光成分と、ガルバノスキャナ 109 の反射により位相の遅延が生じる偏光成分は逆転し、結果として反射による生じる偏光の位相差は相殺されることになる。

【0040】

(偏光の位相差の補正手段の例：同じ種類のダイクロイックミラーによる補正)

波長選択部材の一例であるダイクロイックミラーの反射・透過で生じる偏光の位相の遅延量は波長に応じて異なるため、信号処理を用いて補正を行うことは困難である。そのため、同じダイクロイックミラーを測定光路内に別途設置し、偏光の位相遅延を相殺するように、反射させる方法が望ましい。具体的には、図 4 に示すように、測定光を第 1 の波長選択部材の一例であるダイクロイックミラー 110 において X - Y 平面 401 内で反射し、続いて第 2 の波長選択部材の一例であるダイクロイックミラー 111 において Y - Z 平面 402 内で反射するようにダイクロイックミラー 110、111 を配置する。ガルバノスキャナ 108、109 の時と同様に、ダイクロイックミラー 110 に対する入射面 401 とダイクロイックミラー 111 に対する入射面 402 が直交関係にあるとき、ダイクロイックミラー 110 の反射により位相遅延が生じる S 偏光成分とダイクロイックミラー 111 の反射により位相の遅延が生じる S 偏光成分も直交関係にある。そのため、2 回の反射によって、各反射で生じる位相差を相殺することが可能である。

【0041】

(偏光の位相差の補正手段の例：偏光調整部材の一例である波長板による補正)

ここで、参照光の偏光状態を、反射面に対して S 偏光成分ないし P 偏光成分のみの直線偏光ではなく、各々の成分を含む偏光とする場合を考える。この場合、ミラー 118a やミラー 118b の反射により偏光の位相差が生じて、楕円偏光となってしまう可能性がある。

【0042】

この場合、反射により楕円偏光となるため、ミラー 118b と 1/2 波長板 121 の間に 1/4 波長板 120 を配置し、直線偏光となるように補正すれば良い。なお、本実施形態では偏光補正のために 1/4 波長板 120 を用いる例を記載するが、楕円偏光から直線偏光への補正は 1/4 波長板 120 でなくても良い。例えば、ポラライザ、液晶光学素子、電気光学素子、ファイバ型偏光コントローラなど、参照光を直線偏光に補正出来るものであれば何でも良い。

【0043】

また、1/4 波長板 120 と 1/2 波長板 121 との複数の偏光調整部材を光路に設けなくても、いずれか一つの偏光調整部材を用いて、参照光の光路に設けられたミラー 118a や 118b で生じた偏光の位相差を補正するように構成しても良い。このとき、例えば、1/2 波長板 121 をモータ等の駆動手段により回転するように制御することで、偏光状態を調整するように構成することが好ましい。具体的には、1/2 波長板 121 を用いた偏光状態を調整する構成は、検出器 133、134 で検出される信号強度が略同一となるように 1/2 波長板をモータ等の駆動手段により回転させることで行う。このとき、例えば対物レンズ 113 と被検眼 115 の間で遮光し、測定光が検出器 133、134 に戻らないようにすることで、参照光の信号強度のみを検出することが可能となる。但し、検出を差動検出にて行う場合は干渉信号が必要となるため、例えば参照光路中に 1mm から数 mm 厚程度の薄いガラス板を配してファブリペロー干渉系を構築し、多重反射により参照光の干渉信号を生成して差動検出を行う。参照光が正しく補正されているかの確認は、例えば、ビームスプリッタ 122 の手前に偏光測定器を配し、参照光の偏光状態をモニタすれば良い。

【0044】

以上説明した構成によれば、光学部材の反射・透過などの影響により偏光の位相差(位相遅延)が生じる場合においても、偏光状態を補正することができるため、被検眼の偏光特性を高精度に測定することが出来る。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

(第 2 の実施形態：光学部材で生じる偏光の位相差を同じ種類の光学部材で補正)

次に、第 2 の実施形態について図 3 を用いて説明する。第 1 の実施形態において、S S - P S - O C T の構成例を示したが、これに限定されるものではなく、スペクトラルドメイン方式の O C T (以下、S D - O C T) でも良い。本実施形態に係る S D - P S - O C T の構成とすることで、光学部材で生じる偏光の位相差 (位相遅延) を補正することが可能である。また、第 1 の実施形態ではマッハツェンダ型の干渉計による構成例を示したが、本実施形態のようにマイケルソン型の干渉計で構成することもできる。

【 0 0 4 6 】

< S D - P S - O C T 装置 3 0 0 の構成 >

S D - P S - O C T 装置 3 0 0 の構成について図 3 を用いて説明する。なお、第 1 の形態に係る S S - P S - O C T 装置 1 0 0 と同様の構成については、詳細な説明は省略する。

【 0 0 4 7 】

光源 3 0 1 は、低コヒーレント光源である S L D 光源 (S u p e r L u m i n e s c e n t D i o d e) であり、例えば、中心波長 8 5 0 n m 、バンド幅 5 0 n m の光を出射する。光源 1 0 1 として S L D を用いたが、A S E 光源 (A m p l i f i e d S p o n t a n e o u s E m i s s i o n) 等、低コヒーレント光が出射できる光源であれば何れでも良い。光源 3 0 1 から出射された光は、S M ファイバ 1 0 2 、偏光制御器 1 0 3 を介してコリメータ 1 0 4 に導かれ、コリメータ 1 0 4 においてコリメート光が空間に出射される。出射されたコリメート光は、ポラライザ 1 0 5 を介してビームスプリッタ 1 0 6 に導かれ、測定光と参照光に分岐される。ビームスプリッタ 1 0 6 の分岐比は、9 0 (参照光) : 1 0 (測定光) である。尚、分岐比はこれらの値に限定されるものではなく、他の値とすることも可能である。

【 0 0 4 8 】

(測定光路)

分岐された測定光は、1 / 4 波長板 1 0 7 、ガルバノスキャナ 1 0 8 、1 0 9 、ダイクロミックミラー 1 1 0 、1 1 1 、スキャンレンズ 1 1 2 、対物レンズ 1 1 3 を介して被検眼 1 1 5 に入射する。被検眼 1 1 5 を照射した測定光は各網膜層で反射・散乱し、上述の光学経路を辿りビームスプリッタ 1 0 6 を介して偏光ビームスプリッタ 3 0 5 へ入射する。

【 0 0 4 9 】

(参照光路)

一方、分岐された参照光は、1 / 4 波長板 3 0 2 、分散補償ガラス 1 1 6 、N D フィルタ 1 1 7 を介してコヒーレンスゲートステージ 3 0 4 上に設置されたミラー 3 0 3 a 、3 0 3 b 、3 0 3 c により反射される。コヒーレンスゲートステージ 3 0 4 は、図 3 において X 方向に動くことで、ゲート位置を調整することが出来る。また、ミラーの配置は必ずしもこれに限らない。例えば、ミラー 3 0 3 a をコヒーレンスゲートステージ 3 0 4 から外し、固定する構成も可能である。この場合、コヒーレンスゲート位置はコヒーレンスゲートステージ 3 0 4 を図 3 において Z 方向に動かすことで調整可能である。同様に、ミラー 3 0 3 a 、3 0 3 b をコヒーレンスゲートステージ 3 0 4 から外して固定する構成も可能である。この場合、コヒーレンスゲート位置はコヒーレンスゲートステージ 3 0 4 を図 3 において Y 方向に動かすことで調整可能である。また、1 / 4 波長板 3 0 2 は、偏光ビームスプリッタ 3 0 5 に入射する参照光の偏光状態が、偏光ビームスプリッタ 3 0 5 の分割面における二つの偏光軸に対して互いに 4 5 ° 傾いた直線偏光となるように配置する。1 / 4 波長板 3 0 2 を参照光の光軸を回転軸として P 偏光から S 偏光に対して 2 2 . 5 ° 傾けて設置することで、参照光が戻り、偏光ビームスプリッタ 3 0 5 に入射する時の偏光状態を、二つの偏光軸に対して互いに 4 5 ° 傾いた直線偏光に補正することが出来る。

【 0 0 5 0 】

(検出光路)

ビームスプリッタ 106 に入射した測定光と参照光は合波されて干渉光となり、偏光ビームスプリッタ 305 に入射する。偏光ビームスプリッタ 305 では直交する二つの偏光軸に合わせて干渉光が分割され、H 成分と V 成分の二つの光に分割される。干渉光の H 成分は、受光用コリメータ 306 で受光し、SM ファイバ 308、分光器 310 を介して検出器 312 で検出する。一方、干渉光の V 成分は、受光用コリメータ 307 で受光し、SM ファイバ 309、分光器 311 を介して検出器 313 で検出する。尚、本実施形態では SM ファイバ 308 と 309 による構成例を示したが、これらを PM ファイバで構成しても良い。

【0051】

(偏光の位相差の補正手段の例：同じ種類のミラーによる補正)

10

ここで、PS - OCT 装置がマイケルソン型の干渉計である場合、参照光は参照ミラーで反射して同一の光路を辿りビームスプリッタ 106 へ戻る。このため、参照光は往復で合計 2 回にわたり 1 / 4 波長板 302 により偏光状態が補正されることで、測定光と干渉するビームスプリッタ 106 の位置において所望の偏光状態に補正される必要がある。

【0052】

このとき、参照光路を X - Z 平面内の反射のみで構成する場合、反射による偏光の位相遅延の影響を受けるため、往復後の参照光の偏光状態を所望の偏光状態に補正することは困難である。そこで、図 3 に示すように、第 1 の反射部材の一例であるミラー 303 a において参照光を X - Z 平面内に直角に反射する。ここで、X - Z 平面は、ミラー 303 a が設けられた光路の光軸を含む平面である。また、第 2 の反射部材の一例であるミラー 303 b において、参照光を X - Z 平面に対して交差する方向の一例である法線方向である Y 方向に反射することで、偏光の位相遅延を相殺することが可能である。ミラー 303 c はコヒーレンスゲートステージ 304 上に例えば固定用ジグ等で固定し、ミラー 303 b から導かれる参照光を同一方向に反射し、戻すように配置する。

20

【0053】

なお、位相差を完全に相殺するのは、ミラー 303 a と 303 b の屈折率が等しい場合に限られる。屈折率の異なる反射面で相殺する場合は、ミラー 303 c の反射点における偏光状態が所望の状態になるように、ミラー 303 a、303 b、303 c の反射角を調整する必要がある。

【0054】

30

(偏光の位相差の補正手段の例：1 / 4 波長板の回転による補正)

ここで、1 / 4 波長板 302 をモータ等の駆動手段により回転するように制御することで、偏光状態を調整するように構成しても良い。この場合、例えば、ミラー 303 a、303 b、303 c を一枚のミラーを用いて参照光を 1 回の正反射でビームスプリッタ 106 に戻すように構成することが可能である。もちろん 1 / 4 波長板 302 を回転する構成と、本実施形態のようなミラー 303 a、303 b、303 c とを併用する構成でも良い。

【0055】

具体的には、1 / 4 波長板 302 を用いた偏光状態を調整する構成は、検出器 312、313 で検出される信号強度が略同一となるように 1 / 4 波長板を回転させることで行う。このとき、例えば対物レンズ 113 と被検眼 115 の間で遮光し、測定光が検出器 133、134 に戻らないようにすることで、参照光の信号強度のみを検出することが可能となる。また、SD - PS - OCT 装置 300 は、分光した光を CCD ラインセンサにより検出する方式である。SS - PS - OCT 装置 100 で解説したように、差動検出方式の場合は干渉信号が必要となるため、参照光路中に薄いガラス板を配してファブリペロー干渉系を構築し、多重反射により参照光の干渉信号を生成して差動検出を行う必要がある。しかし、CCD ラインセンサによる検出方式は干渉信号でなくても光の信号強度は取得可能であり、参照光路内にガラス板を配置する必要はない。

40

【0056】

以上のように偏光の位相差を補正する補正手段を構成することにより、SD - PS - O

50

C T 装置においても、光学部材で生じる偏光の位相差（位相遅延）を補正することが可能である。なお、本実施形態に係る P S - O C T 装置における補正手段を、第 1 の実施形態に係る P S - O C T 装置における補正手段として適用しても良い。

【 0 0 5 7 】

（第 3 の実施形態：偏光の位相差の補正手段としてポラライザを適用）

次に、第 3 の実施形態について図 5 を用いて説明する。第 1 の実施形態では、P S - O C T 装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段として 1 / 4 波長板 1 2 0 を適用したが、補正手段はこれに限定されない。本実施形態では、補正手段としてポラライザ 5 0 1 を適用した例である。なお、参照光路以外については、第 1 乃至第 3 の実施形態の構成を適用することができる。

10

【 0 0 5 8 】

ポラライザ 5 0 1 は、楕円偏光となった参照光から特定方向に振動する直線偏光のみを透過させるため、参照光の光量は減衰する。この参照光量の減衰は、N D フィルタ 1 1 7 による減衰量の調整で補う。即ち、ポラライザ 5 0 1 によって減衰する光量の分だけ、N D フィルタ 1 1 7 による減衰量を減らして調整すれば良い。即ち、ポラライザ 5 0 1 の透過により参照光量が減衰する場合でも、検出器 1 3 3 や 1 3 4 の測定レンジに対して十分な干渉強度が得られるように配置すれば良く、光量の微調整は N D フィルタ 1 1 7 で行えば良い。例えば、ポラライザ 5 0 1 はスリットの方角を、参照光の楕円偏光の長軸に合わせるように調整して配置する。楕円偏光の直軸とポラライザ 5 0 1 のスリットを合わせるように配置することで、最も高い透過率で参照光を直線偏光に補正することが出来る。調整方法は、ポラライザ 5 0 1 を配置し、検出器 1 3 3、1 3 4 で検出する干渉信号が最も強くなるようにポラライザ 5 0 1 のスリット方向を回転させる。ポラライザ 5 0 1 を通過して直線偏光となった参照光は、ポラライザ 5 0 1 の後段に設けられた 1 / 2 波長板 1 2 1 により振動方向が補正される。1 / 2 波長板 1 2 1 は、第 1 の実施形態と同様の調整を行い、偏光ビームスプリッタ 1 2 3、1 2 4 に入射する参照光の偏光状態が直交する二つの偏光軸に対して互いに 4 5 ° 傾いた直線偏光となるように配置する。ここで、ポラライザ 5 0 1 のスリット方向を回転させるために、スリットをモータ等の駆動手段により駆動させ、また、不図示の制御手段がスリット方向を回転するように駆動手段を制御するように構成することが好ましい。

20

【 0 0 5 9 】

尚、ポラライザ 5 0 1 のみを用いて干渉信号が十分な干渉強度を有し、且つ参照光の偏光状態が直交する二つの偏光軸に対して互いに 4 5 ° 傾いた直線偏光となるように補正可能な場合には、1 / 2 波長板 1 2 1 を使用しなくても良い。

30

【 0 0 6 0 】

以上のように、P S - O C T 装置の参照光路において、補正手段としてポラライザ 5 0 1 を適用した場合においても、光学部材で生じる偏光の位相差（位相遅延）を補正することが可能である。

【 0 0 6 1 】

（第 4 の実施形態：偏光の位相差の補正手段として液晶光学素子を適用）

次に、第 4 の実施形態について図 6 を用いて説明する。本実施形態は、P S - O C T 装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段として液晶光学素子 6 0 1 を適用した例である。なお、参照光路以外については、第 1 乃至第 3 の実施形態の構成を適用することができる。

40

【 0 0 6 2 】

まず、液晶光学素子 6 0 1 には、例えば、透過タイプの液晶型可変波長板を用い、ミラー 1 1 8 b と 1 / 2 波長板 1 2 1 の間に配置する。液晶型可変波長板は、液晶分子溶液が充填されたセルを有しており、セルに所定の電圧を印加することで反射光または透過光の位相を変調させることが可能である。本実施形態においては、ミラー 1 1 8 a、1 1 8 b の反射により生じた位相遅延を補正して参照光が直線偏光となるように、セルに印加する電圧を調整する。ここで、不図示の制御手段が、駆動手段が液晶光学素子 6 0 1 に対し

50

て印加する電圧を調整するように、不図示の駆動手段を制御することが好ましい。

【0063】

次に、液晶光学素子601により直線偏光となった参照光は、液晶光学素子601の後段に設けられた1/2波長板121により振動方向が補正される。ここで、1/2波長板121は、第1の実施形態と同様に、偏光ビームスプリッタ123、124に入射する参照光の偏光状態が直交する二つの偏光軸に対して互いに45°傾いた直線偏光となるように配置される。また、第1の実施形態と同様に、1/2波長板121をモータ等の駆動手段により回転することにより偏光状態を補正するように構成しても良い。

【0064】

以上のように、PS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段として液晶光学素子601を適用した場合においても、光学部材で生じる偏光の位相差（位相遅延）を補正することが可能である。

【0065】

（第5の実施形態：偏光の位相差の補正手段としてファイバ型の偏光コントローラを適用）

次に、第5の実施形態について図7を用いて説明する。本実施形態は、PS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段としてファイバ型の偏光コントローラ701を適用した例である。なお、参照光路以外については、第1乃至第3の実施形態の構成を適用することができる。

【0066】

ファイバ型の偏光コントローラ701を利用する場合は、1/2波長板121は不要であるため光路から外し、ミラー118bとビームスプリッタ122の間に偏光コントローラ701を配置することで所望の偏光状態に補正することが可能である。この場合、コリメータ702により参照光を受光する必要がある。コリメータ702で受光した参照光はSMファイバ703を介して偏光コントローラ701により偏光補正され、偏光ビームスプリッタ123、124に入射する参照光の偏光状態が直交する二つの偏光軸に対して互いに45°傾いた直線偏光となるように補正される。偏光コントローラ701による参照光の偏光状態の補正は、第1の実施形態と同様に測定光を遮断した状態で行い、検出器133、134で検出される信号強度が略同一となるように偏光を調整することで行われる。偏光コントローラ701により偏光補正した参照光は、コリメータ704にて出射し、ビームスプリッタ122へ入射する。ここで、偏光コントローラ701が、光ファイバをノブ等により加圧（例えば、圧迫や回転）して偏光を制御する場合、ノブをモータ等の駆動手段で駆動し、また、不図示の制御手段が駆動手段を制御するように構成することが好ましい。

【0067】

以上のように、PS-OCT装置の参照光路において、偏光の位相差を補正する補正手段としてファイバ型の偏光コントローラ701を適用した場合においても、光学部材で生じる偏光の位相差（位相遅延）を補正することが可能である。

【0068】

（その他の実施形態）

また、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア（プログラム）を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU等）がプログラムを読み出して実行する処理である。

【0069】

また、本発明は、上述した実施形態に係る偏光OCT装置は、被検眼の前眼部や眼底以外にも皮膚や歯等の被検査物を撮影することもできる。また、本発明は、上述した実施形態に係る偏光OCT装置を偏光SLO装置や偏光眼底カメラ等にも適用することが可能である。

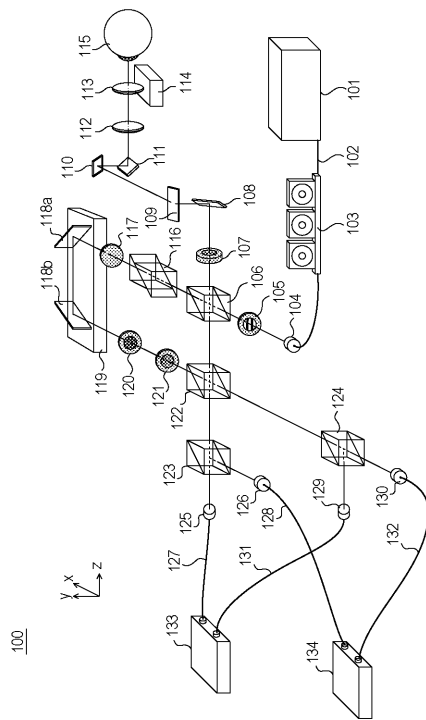
10

20

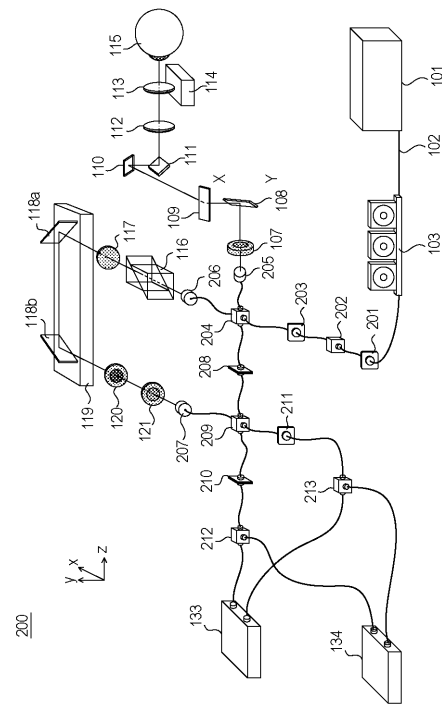
30

40

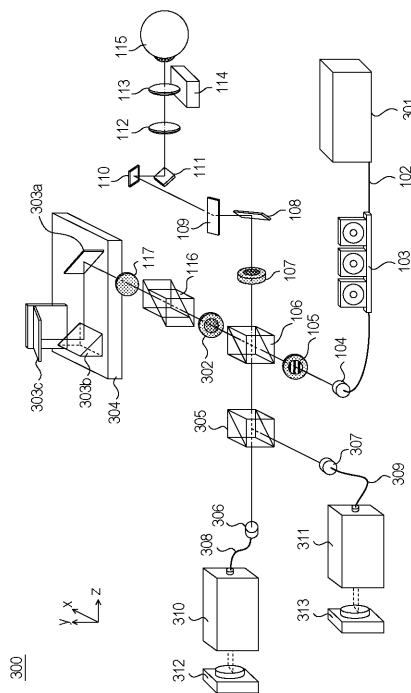
【図 1】



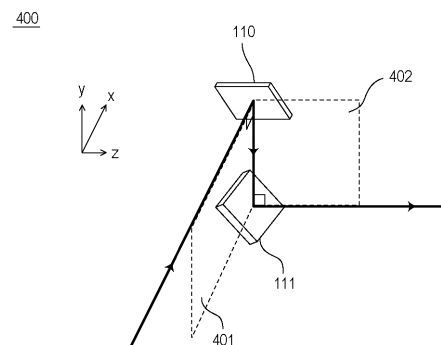
【図 2】



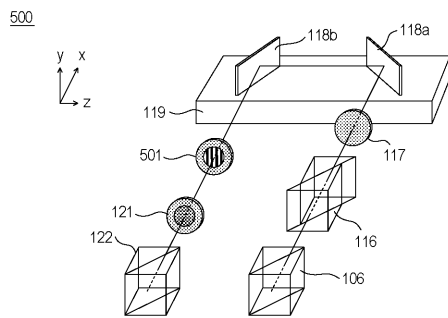
【図 3】



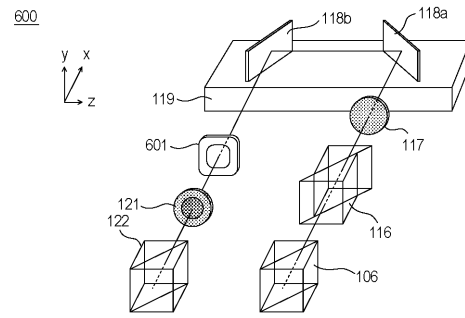
【図 4】



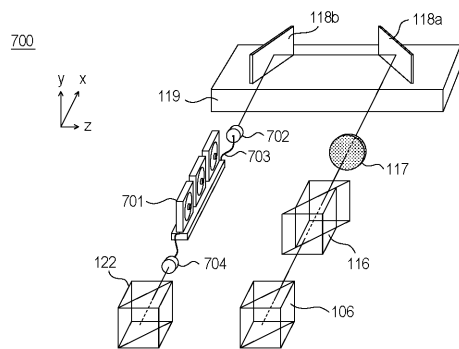
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (72)発明者 住谷 利治
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
- (72)発明者 佐藤 眞
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内