

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6429464号
(P6429464)

(45) 発行日 平成30年11月28日(2018.11.28)

(24) 登録日 平成30年11月9日(2018.11.9)

(51) Int. Cl. F I
A 6 1 B 3/10 (2006.01) A 6 1 B 3/10 R
 G O 1 N 21/17 (2006.01) G O 1 N 21/17 6 3 0

請求項の数 9 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-34553 (P2014-34553)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成26年2月25日(2014.2.25)	(74) 代理人	100126240 弁理士 阿部 琢磨
(65) 公開番号	特開2015-157040 (P2015-157040A)	(74) 代理人	100124442 弁理士 黒岩 創吾
(43) 公開日	平成27年9月3日(2015.9.3)	(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
審査請求日	平成29年2月20日(2017.2.20)	(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏光OCT装置及びその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源から照射された光を測定光と参照光とに分割し、測定光路を介して被検査物に照射された前記測定光の戻り光と参照光路を経由した参照光とを干渉させ干渉光を生成する干渉手段と、

前記干渉光を異なる偏光成分の光に分割する分割手段と、

前記分割手段により分割された光を検出して信号を生成する生成手段と、

前記測定光路中における前記測定光の偏光状態を検出する第一の検出手段と、

前記測定光路の前記被検査物側に設置される反射手段により反射され前記干渉手段を経由した前記測定光の戻り光と、前記参照光路と前記干渉手段を介した前記参照光の各々の偏光状態を検出する第二の検出手段と、

前記測定光の戻り光が前記測定光路から前記干渉手段に入射しないように遮光する第一の遮光手段と、

前記参照光が前記参照光路から前記干渉手段に入射しないように遮光する第二の遮光手段と、

前記検出される各々の偏光状態に基づいて、前記測定光の偏光状態を第一の偏光状態に制御し、前記測定光の戻り光と前記参照光の各偏光状態を前記第一の偏光状態とは異なる第二の偏光状態に制御する偏光制御手段と、を有し、

前記偏光制御手段は、

前記測定光の偏光状態を制御するとき、前記第一の検出手段により検出される前記測定

10

20

光の偏光状態に基づいて、前記測定光の偏光状態を前記第一の偏光状態に制御し、

前記測定光の戻り光の偏光状態を制御するとき、前記参照光を前記第二の遮光手段により遮光した状態で、前記第二の検出手段で検出される前記測定光の戻り光の偏光状態に基づいて、前記測定光の戻り光の偏光状態を前記第二の偏光状態に制御し、

前記参照光の偏光状態を制御するとき、前記測定光を前記第一の遮光手段により遮光した状態で、前記第二の検出手段で検出される前記参照光の偏光状態に基づいて、前記参照光の偏光状態を前記第二の偏光状態に制御することを特徴とする偏光OCT装置。

【請求項2】

前記偏光制御手段が、前記測定光、前記測定光の戻り光、前記参照光の順に偏光制御を行うことを特徴とする請求項1に記載の偏光OCT装置。

10

【請求項3】

前記測定光を検出する前記第一の検出手段が、前記被検査物と共役な位置に配置されることを特徴とする請求項1または2に記載の偏光OCT装置。

【請求項4】

装置の起動する時と、撮像する前の少なくともいずれかで前記偏光制御を行うことを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の偏光OCT装置。

【請求項5】

光源から照射された光を測定光と参照光とに分割し、測定光路を介して被検査物に照射された前記測定光の戻り光と参照光路を経由した参照光とを干渉させ干渉光を生成する干渉手段と、前記干渉光を異なる偏光成分の光に分割する分割手段と、前記分割手段により分割された光を検出して信号を生成する生成手段と、を有する偏光OCT装置の制御方法において、

20

第一の検出手段で検出される前記測定光路中における前記測定光の偏光状態に基づいて、前記測定光の偏光状態を第一の偏光状態に制御する工程と、

第二の遮光手段により前記参照光が前記参照光路から前記干渉手段に入射しないように遮光した状態で、第二の検出手段で検出される、前記測定光路の前記被検査物側に設置される反射手段により反射され前記干渉手段を経由した前記測定光の戻り光の偏光状態に基づいて、前記測定光の戻り光の偏光状態を第二の偏光状態に制御する工程と、

第一の遮光手段により前記測定光が前記測定光路から前記干渉手段に入射しないように遮光した状態で、前記第二の検出手段で検出される前記干渉手段を介した前記参照光の偏光状態に基づいて、前記参照光の偏光状態を前記第二の偏光状態に制御する工程と、

30

を有することを特徴とする制御方法。

【請求項6】

請求項5に記載の方法をコンピュータに実行させるためのプログラム。

【請求項7】

前記第一の偏光状態は円偏光であり、前記第二の偏光状態は直線偏光であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の偏光OCT装置。

【請求項8】

前記参照光の第二の偏光状態は、直交する2つの偏光軸のそれぞれに対して45度傾いた直線偏光であることを特徴とする請求項7に記載の偏光OCT装置。

40

【請求項9】

前記戻り光の前記第二の偏光状態は、直交する2つの偏光軸の一方に対して傾きのない直線偏光であることを特徴とする請求項7又は8に記載の偏光OCT装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光OCT装置及びその制御方法に関し、特に、被検眼の偏光特性情報を取得可能な偏光OCT装置及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

50

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】

眼科用OCT装置においては、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、光の偏光パラメータを利用して信号を取得することで、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な機能OCT装置の一つとして開発されており、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。

10

【0004】

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、 $\lambda/4$ 板や $\lambda/2$ 板) を用いることで、OCT装置の測定光と参照光の偏光状態を任意に変化させられるように光学系が構成されている。光源から出射される光の偏光を制御し、試料を観察する測定光として所定の偏光状態に変調した光を用い、干渉光を2つの直交する直線偏光に分割して検出し、偏光OCT画像を生成する。

20

【0005】

偏光制御を行う方法として、反射または散乱させた測定光を検出し、所定の偏光状態となるように波長板や偏光制御器を用いて測定光の偏光の制御を行う方法が提案されている (特許文献1)。この方法を用いると、装置の使用に伴い偏光状態が変化しても、補正することが可能となる。

【0006】

また、電気光学変調器 (Electro-Optic Modulator: EOM) を用いて偏光状態を変調させる方法も提案されている (特許文献2)。この方法は、同一箇所に複数の偏光状態の光を照射することで、複数の偏光状態における偏光情報を基に偏光OCT画像を生成することが可能となり、より正確な偏光OCT画像の取得が可能となる。また、測定光路、参照光路、干渉光が検出器に向けて進む光路 (以後、干渉光路と記載) の各光路中において偏光状態を制御するための偏光制御器が各々配置されていることで、各光路の偏光状態を独立に制御することが可能となる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2013-165961号公報

【特許文献2】特開2007-298461号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来の偏光OCT装置は偏光を制御するために、偏波保持 (Polarization Maintaining: PM) ファイバ (以下PMファイバと記載) や波長板、EOMなどを用いて構成されていた。

【0009】

特許文献1によると、測定光を反射または散乱させて偏光状態を検出し、測定光の偏光が所定の偏光状態となるように波長板や偏光制御器を用いて偏光の補正を行う偏光OCT装置が開示されている。しかしながら、測定光のみの偏光制御に留まっており、この構成

50

では参照光路の偏光制御を行うことが出来ない。

【 0 0 1 0 】

特許文献 2 によると、偏光を制御するために E O M と複数の偏光制御器を用いた偏光 O C T 装置が開示されている。しかしながら、各偏光制御器に対してどのように制御を行うかについて開示がなく、例えば、装置の使用に伴い偏光状態が変化してしまう場合に補正を行うことが出来ない。

【 0 0 1 1 】

以上の課題を鑑みて、本発明は、各光路の偏光状態を検知し、検知した偏光情報に基づき、各光路の偏光制御を行うことが可能な偏光 O C T 装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 2 】

上記の目的を達成するための、本発明の一様態による偏光 O C T 装置は、光源から照射された光を測定光と参照光とに分割し、測定光路を介して被検査物に照射された前記測定光の戻り光と参照光路を経由した参照光とを干渉させ干渉光を生成する干渉手段と、前記干渉光を異なる偏光成分の光に分割する分割手段と、前記分割手段により分割された光を検出して信号を生成する生成手段と、前記測定光路中における前記測定光の偏光状態を検出する第一の検出手段と、前記測定光路の前記被検査物側に設置される反射手段により反射され前記干渉手段を経由した前記測定光の戻り光と、前記参照光路と前記干渉手段を介した前記参照光の各々の偏光状態を検出する第二の検出手段と、前記測定光の戻り光が前記測定光路から前記干渉手段に入射しないように遮光する第一の遮光手段と、前記参照光が前記参照光路から前記干渉手段に入射しないように遮光する第二の遮光手段と、前記検出される各々の偏光状態に基づいて、前記測定光の偏光状態を第一の偏光状態に制御し、前記測定光の戻り光と前記参照光の各偏光状態を前記第一の偏光状態とは異なる第二の偏光状態に制御する偏光制御手段と、を有し、前記偏光制御手段は、前記測定光の偏光状態を制御するとき、前記第一の検出手段により検出される前記測定光の偏光状態に基づいて、前記測定光の偏光状態を前記第一の偏光状態に制御し、前記測定光の戻り光の偏光状態を制御するとき、前記参照光を前記第二の遮光手段により遮光した状態で、前記第二の検出手段で検出される前記測定光の戻り光の偏光状態に基づいて、前記測定光の戻り光の偏光状態を前記第二の偏光状態に制御し、前記参照光の偏光状態を制御するとき、前記測定光を前記第一の遮光手段により遮光した状態で、前記第二の検出手段で検出される前記参照光の偏光状態に基づいて、前記参照光の偏光状態を前記第二の偏光状態に制御することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 3 】

本発明によれば、各光路の偏光状態を検出し、検出した偏光情報に基づき、各光路の偏光制御を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 4 】

【図 1】実施形態 1 に係る、S D - P S - O C T 装置の全体構成の概略図である。

【図 2】実施形態 1 に係る、S D - P S - O C T 装置における偏光状態の制御方法を説明するフロー図である。

【図 3】実施形態 2 に係る、S S - P S - O C T 装置の全体構成の概略図である。

【図 4】実施形態 2 に係る、S S - P S - O C T 装置における偏光状態の制御方法を説明するフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 5 】

本発明の一実施形態を、図面を用いて詳細に説明する。

【 0 0 1 6 】

(実施形態 1)

本実施形態においては、偏光 O C T 装置の構成について図 1 を用いて説明する。

10

20

30

40

50

【0017】

[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る。本実施形態ではSD(Spectral Domain)-PS(Polarization sensitive)-OCT装置の構成で説明する。

【0018】

<SD-PS-OCT装置100の構成>

SD-PS-OCT装置100の構成について説明する。

【0019】

光源101は、低コヒーレント光の光源であるSLD光源(Super Luminescent Diode)であり、例えば、中心波長850nm、バンド幅50nmの光を出射する。光源101としてSLD光源を用いたが、ASE光源(Amplified Spontaneous Emission)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。

10

【0020】

光源101から出射された光は、シングルモードファイバ(Single Mode Fiber:以下SMファイバと記載)102、偏光制御器103、コネクタ104、SMファイバ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。また、本実施形態ではビームスプリッタ106はSMファイバ105、107、117、125と接続される。SMファイバと接続することの利点は、偏光制御器を使用してインラインで容易に偏光を制御することが出来ることである。しかし、これらのSMファイバはPMファイバであっても良い。ビームスプリッタ106をPMファイバと接続する場合、偏光制御器108、118、126は配置しなくても良く、代わりに測定光路中と参照光路中に波長板を配置する構成としても良い。例えば、偏光制御器108の代わりにコリメータ109とガルバノスキャナ110の間へ1/4波長板を配置し、偏光制御器118の代わりに、コリメータ119とシャッタ120の間へ1/4波長板を配置する構成としても良い。

20

【0021】

偏光制御器103は、光源101から射出する光の偏光を所定の偏光状態になるように制御する。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制御するバルク型や、ファイバをコイル状に巻いたパドルを作り、各パドルを回転させることで偏光を制御するパドル型、ファイバを圧迫、回転させ偏光を制御するインライン型などが挙げられる。

30

【0022】

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制御されている。なお、本実施形態では記載していないが、光源101の偏光度が高くない場合、偏光制御器103とコネクタ104の間に偏光子を配置し、光源101より出射した光の偏光度を上げてても良い。その場合、偏光制御器103を制御することで偏光子を透過する光量の制御することも可能である。また、偏光制御器103の代わりにSMファイバ102に偏光子のみを配置した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制御は必要なく、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、偏光子を通過した後の、参照光路内のコリメータ119から出射された光や測定光路内における瞳位置に入射する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。または、検出器131や133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。

40

【0023】

分岐された測定光は、測定光側ファイバであるSMファイバ107を介して出射され、

50

コリメータ109によって平行光とされる。また、SMファイバ107の途中には偏光制御器108が配置されており、射出される測定光の偏光状態を任意に変化させることが出来る。本実施形態では被検眼115に円偏光とした測定光が入射するように制御する。

【0024】

尚、被検査物である被検眼115に入射する光の偏光状態と測定光検出器116に入射する光の偏光状態が異なる場合、被検眼115において円偏光となるように偏光を制御したときに測定光検出器116の偏光状態は楕円偏光となる。被検眼115において円偏光となるときは測定光検出器116で検出される楕円偏光の状態は一意に決まるため、測定光検出器116の楕円偏光を検出しながら、被検眼115において円偏光となるように偏光制御器108を制御する。ここで、測定光検出器116が被検眼115と共役位置に配置されることは言うまでもない。尚、測定光検出器116には偏光測定器などの検出器を用いる他、光パワーメータと偏光子、波長板などを用いて偏光状態の確認をしても構わない。

10

【0025】

また、測定光検出器116で検出される測定光の偏光状態が、被検眼115の位置における測定光の偏光状態に対して等しくなるように、偏光制御器や波長板を使用しても良い。例えば、ガルバノスキャナ110の角度を変えて測定光検出器116へ測定光を入射させる場合、ガルバノスキャナ110と測定光検出器116との間に波長板を挿入し、被検眼115の位置における偏光状態と同等の偏光状態となるように波長板を配置しても良い。

20

【0026】

実際に撮像を行う場合の平行光となった測定光は、被検眼115の眼底Erにおいて測定光を走査するガルバノスキャナ110、スキャンレンズ111、対物レンズ112を介して被検眼115に入射する。ここで、ガルバノスキャナ110は単一のミラーとして記載したが、被検眼115の眼底Erをラスタースキャンするように2枚のガルバノスキャナによって構成しても良い。また、対物レンズ112はステージ113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。ガルバノスキャナ110とステージ113は駆動制御部136によって制御され、被検眼115の眼底Er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。

30

【0027】

測定光は、ステージ113上に乗った対物レンズ112により、被検眼115に入射し、眼底Erにフォーカスされる。眼底Er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に戻る。

【0028】

一方、ビームスプリッタ106で分岐された参照光は、参照光側ファイバであるSMファイバ117を介して出射され、コリメータ119によって平行光とされる。SMファイバ117の途中には偏光制御器118が配置されており、射出される参照光の偏光状態を任意に変化させることが出来る。本実施形態ではミラー123で反射され、偏光ビームスプリッタ129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、駆動制御部136が偏光制御器118を制御する。参照光は分散補償ガラス121、NDフィルタ122を介し、コヒーレンスゲートステージ124上のミラー123で反射され、ビームスプリッタ106に戻る。コヒーレンスゲートステージ124は、被検者の眼軸長の相違等に対応する為、駆動制御部136で制御される。

40

【0029】

ビームスプリッタ106に戻った測定光と参照光は合波されて干渉光となり、検出光側ファイバであるSMファイバ125、偏光制御器126、コネクタ127、SMファイバ128を介して偏光ビームスプリッタ129に入射する。偏光ビームスプリッタ129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、垂直(Vertical)偏光成

50

分（以下、V偏光成分）と水平（Horizontal）偏光成分（以下、H偏光成分）の二つの光に分割される。分割された干渉光のV成分はSMファイバ130を介して検出器131に入射する。一方、干渉光のH成分はSMファイバ132を介して検出器133に入射する。検出器131、133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、信号処理部135で受ける。

【0030】

なお、本実施形態では参照光を45°の直線偏光とすることで、V偏光成分およびH偏光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115の眼底Er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像する必要はなく、一度の撮像でデータ取得することが可能である。

10

【0031】

また、本実施形態では、被検眼115に測定光が入射する前に、測定光を反射するための可動式のミラー114を設置している。ミラー114は駆動制御部136により制御されており、偏光制御器126を制御する時に被検眼115への測定光の入射を妨げ、測定光を反射し、ビームスプリッタ106へ戻す機能を有する。そのため、ミラーが測定光路中に配置された状態において、SMファイバ107より出射した光がコリメータ109、ガルバノスキャナ110、スキャンレンズ111、対物レンズ112を介した後にミラー114に導かれて反射し、再びビームスプリッタ106に戻るようにミラー114の角度が調整されている。尚、本実施形態ではミラーを設置したが、測定光を反射可能なものであれば何でも良い。

20

【0032】

また、本実施形態では、コリメータ119の後ろに参照光を遮断するためのシャッタ120を設置している。シャッタ120は駆動制御部136により制御されており、偏光制御器126を制御する時に参照光がビームスプリッタ106へ戻ることを防ぐ。

【0033】

<制御部134>

本装置全体を制御するための制御部134について説明する。

【0034】

制御部134は、信号処理部135、駆動制御部136、表示部137によって構成される。

30

【0035】

信号処理部135は、検出器131、133から出力される信号に基づき、画像の生成、生成された画像の解析、解析結果の可視化情報の生成を行う。画像の生成方法及び解析方法については公知の技術であるため、ここでは説明を省略する。

【0036】

信号処理部135で生成される画像や解析結果は表示部137（例えば、液晶等のディスプレイ）の表示画面に表示させる。なお、信号処理部135で生成された画像データは、表示部137に有線で送信されても良いし、無線で送信されても良い。

40

【0037】

表示部137は、制御部134に含まれているが、本発明はこれに限らず、制御部134とは別に設けられても良い。またその場合、表示部にタッチパネル機能を搭載させ、タッチパネル上で画像の表示位置の移動、拡大縮小、表示される画像の変更等を操作可能に構成することが好ましい。

【0038】

また、信号処理部135は、測定光検出器116や、検出器131、133から出力される偏光情報を受信し、偏光制御に必要な情報を駆動制御部136へ送信する。

【0039】

駆動制御部136は、被検眼115を撮像する際に上述の通りガルバノスキャナ110

50

とステージ 113 を駆動する。更に、駆動制御部 136 は、信号処理部 135 から受信する情報に従い、ガルバノスキャナ 110、ミラー 114、シャッタ 120、偏光制御器 108、118、126 を駆動する。

【0040】

[処理動作]

次に、図 2 のフローチャートを用いて本実施形態の特徴的な処理動作である、偏光制御器 108、118、126 による偏光状態の制御フローについて説明する。

【0041】

始めに、検者により、例えば表示部 137 に表示された補正開始ボタン（不図示）、または物理的に本装置に設けられた補正開始ボタンが押されることで、補正を開始する。また、補正を行うタイミングを任意に設定しておいても良い。例えば、装置起動時や測定開始直前、或いは装置温度をモニタし、変動が大きい場合等に補正を行うように設定しても良い。

【0042】

補正が開始されると、ステップ S201 において、駆動制御部 136 がガルバノスキャナ 110 の角度を制御し、測定光を測定光検出器 116 へ入射させる。ステップ S202 において、測定光が円偏光であるか否か判断される。円偏光でない場合は（ステップ S202 で No）、ステップ S203 へ進み、駆動制御部 136 は偏光制御器 108 を制御し、測定光検出器 116 の偏光状態を制御する。ステップ S204 において、制御された偏光状態を測定し、円偏光であれば次のステップへ進み、そうでない場合はステップ S203 へ戻る。ここで、偏光状態の判定基準の一例は測定光の楕円率や偏光子通過後の信号強度である。

【0043】

次に、偏光制御器 126 の制御を行う。偏光制御器 126 の制御は測定光のみを用いて行う。ステップ S205 において、駆動制御部 136 は、測定光が反射され、ビームスプリッタ 106 へ戻るようにミラー 114 を駆動する。次に、ステップ S206 において、参照光がビームスプリッタ 106 に戻らないようにシャッタ 120 を閉じる。ステップ S207 において、測定光がミラー 114 により反射され、ビームスプリッタ 106 へ戻るようにガルバノスキャナ 110 の角度を制御する。ミラー 114 に入射する光は円偏光に制御してあるため、ビームスプリッタ 106 に戻る測定光は再び直線偏光となる。ビームスプリッタ 106 に入った測定光は SMファイバ 125、偏光制御器 126、コネクタ 127、SMファイバ 128 を介して偏光ビームスプリッタ 129 に導かれる。偏光ビームスプリッタ 129 では V 偏光成分と H 偏光成分の二つの偏光成分に分割される。ステップ S208 において、信号処理部 135 は検出器 131、133 のいずれかの検出器のみで光が検出されているかを判定する。片側のみで検出されていない場合は（ステップ S208 で No）、ステップ S209 において、片側の検出器のみで光が検出されるように、駆動制御部 136 に偏光制御器 126 を制御させる。そして、ステップ S210 でステップ S208 と同様に偏光測定を行った結果、NG の場合はステップ S209 へ戻り、OK の場合はステップ S211 へ進む。ここで、片側の検出器のみで信号を検出していると判定する基準の一例は、二つの検出器の信号強度比が最も高いときである。

【0044】

最後に、偏光制御器 118 の制御を行う。偏光制御器 118 の制御は参照光のみで行う。

【0045】

ステップ S211 において、駆動制御部 136 は、測定光がビームスプリッタ 106 へ戻らないようにガルバノスキャナ 110 を駆動させ、測定光を測定光検出器 116 へ入射させる。ステップ S212 において、ミラー 114 を取り外す。ここで、本実施形態では測定光を測定光検出器 116 へ入射させたが、ビームスプリッタ 106 へ測定光が戻らなければ特に測定光検出器 116 へ入射させなくても良い。次に、ステップ S213 において、シャッタ 120 を開け、参照光の遮光を解除する。参照光は、SMファイバ 117、

偏光制御器 118、レンズ 119、分散補償ガラス 121、NDフィルタ 122を介してミラー 123で反射し、再びビームスプリッタ 106に導かれる。SMファイバ 117から出射する参照光は偏光制御器 103で直線偏光とされている。そのため、偏光制御器 118によって楕円偏光または円偏光とされた場合でも、ミラー 123で反射し、再び偏光制御器 118を経ることで、再び直線偏光となることは明らかである。ステップ S214において、信号処理部 135は、検出器 131、133それぞれで検出される光の信号強度が略同一であるかを判定する。略同一でない場合は略同一となるように、ステップ S215において、駆動制御部 136に偏光制御器 118を制御させる。そして、ステップ S216でステップ S214と同様に偏光測定を行った結果、NGの場合はステップ S215へ戻り、OKの場合はステップ S217へ進む。ここで、二つの検出器で検出する光の信号強度が略同一であると判定する基準の一例は、二つの検出器の信号強度比である。結果的に偏光ビームスプリッタに導かれる参照光は、V偏光成分とH偏光成分が1:1の関係となった直線偏光、すなわち、直交する二つの偏光軸に対して45度傾いた直線偏光とすることが出来る。そして、ステップ S217において、ガルバノスキャナ 110を駆動させ、測定光を被検眼を測定するときの位置へ入射する方向に戻して、引き続き測定を行う。

10

【0046】

以上説明した構成と処理工程によれば、検出する偏光状態に応じて干渉計の各光路に設けられた偏光制御器により偏光状態を適切に設定する事で、装置の使用に際し熱などによって偏光状態が変化してしまった場合でも、偏光状態を補正することが出来る。

20

【0047】

本実施形態ではSMファイバ 102とSMファイバ 105の間に偏光子を使用していないが、光源の偏光度などに応じてSMファイバ 102とSMファイバ 105の間に偏光子を配置しても良い。その場合、コネクタ 104をSMファイバ 102、105から外し、SMファイバ 102と偏光子の入力端を接続する。一方、偏光子の出力端はSMファイバ 105と接続することで構成することが出来る。また、ここではSMファイバ 102、105と偏光子を直接接続する方法について記載したがこれに限定されることはない。光ファイバと偏光子が一体となった部品を追加する場合は、SMファイバ 102をコネクタ 104から外し、新規にコネクタを用いて偏光子の入力側の光ファイバをSMファイバ 102に接続する。また偏光子の出力側の光ファイバはコネクタ 104と接続することで、偏光子を追加することが可能である。

30

【0048】

また、本実施形態では測定光検出器 116や検出器 131, 133による偏光状態の検出結果に基づいて偏光制御器 108、118、126を制御する装置に関して記載したが、これらの制御は半自動で行われても良い。すなわち、測定光検出器 116や検出器 131, 133による偏光状態の検出結果を表示部 137に表示し、ユーザが表示結果に基づいて偏光制御器 108、118、126の各偏光制御器を任意に制御しても良い。

【0049】

また、本発明はファイバではなく、空間光学系によって偏光OCTを構成する場合であっても適用できることは明らかである。

40

【0050】

以上のように各偏光制御器を制御した後に被検眼の撮像を行うことにより、正確な偏光OCT画像を取得することができる。

【0051】

(実施形態2)

実施形態1ではSD-OCTにおける例を示したが、これに限定されるものではなく、波長掃引型(Swept Source: SS)光源(以下SS光源)を用いて構成されるSS-OCTであっても同じように構成することで偏光OCT画像の取得が可能である。また、実施形態1ではマイケルソン型の干渉計によって構成したが、マッハツェンダ型の干渉計で構成しても同様の効果が得られる。

50

【 0 0 5 2 】

本実施形態では、異なる構成の偏光OCTの例として、SS-PS-OCT装置をマツェンダ型の干渉計で構成した場合において、偏光制御を行う装置構成と方法について説明する。また、SS-OCTの基本構成については公知の技術であるため、詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 3 】

< SS - PS - OCT装置300の構成 >

SS-PS-OCT装置300の構成について図3を用いて説明する。尚、実施形態1と同様の構成については、詳細な説明は省略する。

【 0 0 5 4 】

光源301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、本実施形態においては中心波長1040nm、バンド幅100nmの光を出射する。

【 0 0 5 5 】

光源301から出射された光は、SMファイバ302、偏光制御器303、コネクタ304、SMファイバ305を介して、ビームスプリッタ306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306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。また、本実施形態ではビームスプリッタ306はSMファイバ305、307、317、327と接続される。ビームスプリッタ330はSMファイバ326、329、331、336と接続されるが、これらはPMファイバであっても良い。ビームスプリッタ306、330をPMファイバと接続する場合、偏光制御器308、318、332、337は配置しなくても良く、代わりに測定光路中と参照光路中に波長板を配置する構成としても良い。例えば、偏光制御器308の代わりにコリメータ309とガルバノスキャナ310の間へ波長板を配置し、偏光制御器318の代わりに、コリメータ319とシャッタ320の間へ波長板を配置する構成としても良い。

【 0 0 5 6 】

偏光制御器303は光源301から射出する光の偏光を所定の偏光状態へ変化させることが出来る。本実施形態では偏光制御器303で直線偏光に制御している。なお、本実施形態では記載していないが、光源301の偏光度が高くない場合、偏光制御器303とコネクタ304の間に偏光子を配置し、光源301より出射した光の偏光度を上げてても良い。その場合、偏光制御器303を制御することで偏光子を透過する光量を制御することも可能である。また、偏光制御器303の代わりにSMファイバ302に偏光子のみを配置した構成にすることも可能である。この場合、光源301より出射する光の偏光状態の制御は必要なく、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が必要である。

【 0 0 5 7 】

分岐された測定光は、SMファイバ307を介して出射され、コリメータ309によって平行光とされる。また、SMファイバ307の途中には偏光制御器308が配置されており、射出される測定光の偏光状態を任意に変化させることが出来る。本実施形態では被検眼315に円偏光が入射されるように制御する。

【 0 0 5 8 】

尚、被検査物である被検眼315に入射する光の偏光状態と測定光検出器316に入射する光の偏光状態が異なる場合、被検眼315において円偏光となるように偏光を制御したときに測定光検出器316の偏光状態は楕円偏光となる。被検眼315において円偏光となるときは測定光検出器316で検出される楕円偏光の状態は一意に決まるため、測定光検出器316の楕円偏光を検出しながら、被検眼315において円偏光となるように偏光制御器308を制御する。尚、測定光検出器316には偏光測定器などの検出器を用いる他、光パワーメータと偏光子、波長板などを用いて偏光状態の確認をしても構わない。

【 0 0 5 9 】

10

20

30

40

50

尚、測定光検出器 316 には偏光測定器などの検出器を用いる他、光パワーメータと偏光子、波長板などを用いて偏光状態の確認をしても構わない。

【0060】

また、測定光検出器 316 で検出される測定光の偏光状態が、被検眼 315 の位置における測定光の偏光状態に対して等しくなるように、偏光制御器や波長板を使用しても良い。例えば、ガルバノスキャナ 310 の角度を変えて測定光検出器 316 へ測定光を入射させる場合、ガルバノスキャナ 310 と測定光検出器 316 との間に波長板を挿入し、被検眼 315 の位置における偏光状態と同等の偏光状態となるように波長板を配置しても良い。

【0061】

平行光となった測定光は、被検眼 315 の眼底 E_r において測定光を走査するガルバノスキャナ 310、スキャンレンズ 311、対物レンズ 312 を介して被検眼 315 に入射する。ここで、ガルバノスキャナ 310 は単一のミラーとして記載したが、被検眼 315 の眼底 E_r をラスタースキャンするように 2 枚のガルバノスキャナによって構成しても良い。また、対物レンズ 312 はステージ 313 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。ガルバノスキャナ 310 とステージ 313 は駆動制御部 136 によって制御され、被検眼 315 の眼底 E_r 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。

【0062】

測定光は、ステージ 313 上に乗った対物レンズ 312 により、被検眼 315 に入射し、眼底 E_r にフォーカスされる。眼底 E_r を照射した測定光は各網膜層で反射・散乱し、上述の光学経路をビームスプリッタ 306 に戻る。

【0063】

ビームスプリッタ 306 で分岐された参照光は、SMファイバ 317 を介して出射され、コリメータ 319 によって平行光とされる。SMファイバ 317 の途中には偏光制御器 318 が配置されており、射出される参照光の偏光状態を任意に変化させることが出来る。本実施形態ではミラー 323 - a、323 - b で反射され、偏光ビームスプリッタ 335、340 に入射する参照光の偏光状態を、偏光制御器 318 は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制御する。

【0064】

参照光は分散補償ガラス 321、ND フィルタ 322 を介し、コヒーレンスゲートステージ 324 上のミラー 323 - a、323 - b で反射され、コリメータ 325、SMファイバ 326 を介してビームスプリッタ 330 に入射する。

【0065】

ビームスプリッタ 330 では、ビームスプリッタ 306、SMファイバ 327、コネクタ 328、SMファイバ 329 を介して入射される測定光の戻り光と、SMファイバ 326 を介して入射される参照光とが合波されて干渉光となり、ビームスプリッタ 330 により二分される。分割される干渉光は互いに反転した位相の干渉光（以下、正の成分および負の成分と表現する）となっている。分割された正の干渉光はさらに、SMファイバ 331、偏光制御器 332、コネクタ 333、SMファイバ 334 を介して偏光ビームスプリッタ 335 に導かれる。ここで直交する二つの偏光軸に合わせて干渉光が分割され、正の H 偏光成分と正の V 偏光成分とに分割される。同様に負の干渉光は SMファイバ 336、偏光制御器 337、コネクタ 338、SMファイバ 339 を介して偏光ビームスプリッタ 340 に導かれ、ここで負の H 偏光成分と負の V 偏光成分に分割される。

【0066】

偏光ビームスプリッタ 335 で生成された正の H 偏光成分と偏光ビームスプリッタ 340 で生成される負の H 偏光成分はそれぞれ SMファイバ 342、344 によって検出器 346 に導かれ、ここで差動検出される。一方、偏光ビームスプリッタ 335 で生成された正の H 偏光成分と偏光ビームスプリッタ 340 で生成された負の偏光成分は SMファイバ

10

20

30

40

50

341、343をそれぞれ経由して検出器345に導かれる。

【0067】

検出器345、346によって検出される干渉信号は、それぞれ電気信号へと変換され、信号処理部348へと送られる。信号処理部348ではそれぞれの検出器からの情報に基づき、偏光OCT画像を生成する。偏光OCT画像の生成方法については公知であるため、説明を省略する。

【0068】

なお、本実施形態では参照光を45°の直線偏光とすることで、V偏光成分およびH偏光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315の眼底Er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像する必要はなく、一度の撮像でデータ取得することが可能である。

10

【0069】

また、本実施形態では、被検眼315に測定光が入射する前に、測定光を反射するための可動式のミラー314を設置している。ミラー314は駆動制御部349により制御されており、偏光制御器332、337を制御する時に被検眼315への測定光の入射を妨げ、測定光を反射し、ビームスプリッタ306へ戻す機能を有する。そのため、ミラーが測定光路中に配置された状態において、SMファイバ307より出射した光がコリメータ309、ガルバノスキャナ310、レンズ311、312を介した後にミラー314に導かれて反射し、再びビームスプリッタ306に戻るようミラー314の角度が調整されている。尚、本実施形態ではミラーを設置したが、測定光を反射可能なものであれば何でも良い。

20

【0070】

また、本実施形態では、コリメータ319の後ろに参照光を遮断するためのシャッタ320を設置している。シャッタ320は駆動制御部349により制御されており、偏光制御器332、337を制御する時に参照光がビームスプリッタ330へ入射することを防ぐ。

【0071】

<制御部347>

本装置全体を制御するための制御部347について説明する。

30

【0072】

制御部347は、信号処理部348、駆動制御部349、表示部350によって構成される。

【0073】

信号処理部348は、検出器345、346から出力される信号に基づき、画像の生成、生成された画像の解析、解析結果の可視化情報の生成を行う。画像の生成方法及び解析方法については公知の技術であるため、ここでは説明を省略する。

【0074】

信号処理部348で生成される画像や解析結果は表示部350（例えば、液晶等のディスプレイ）の表示画面に表示させる。なお、信号処理部348で生成された画像データは、表示部350に有線で送信されても良いし、無線で送信されても良い。

40

【0075】

表示部350は、制御部347に含まれているが、本発明はこれに限らず、制御部347とは別に設けられても良い。またその場合、表示部にタッチパネル機能を搭載させ、タッチパネル上で画像の表示位置の移動、拡大縮小、表示される画像の変更等を操作可能に構成することが好ましい。

【0076】

また、信号処理部348は、測定光検出器316や、検出器345、346から出力される偏光情報を受信し、偏光制御に必要な情報を駆動制御部349へ送信する。

50

【 0 0 7 7 】

駆動制御部 3 4 9 は、被検眼 3 1 5 を撮像する際に上述の通りガルバノスキャナ 3 1 0 とステージ 3 1 3 を駆動する。更に、駆動制御部 3 4 9 は、信号処理部 3 4 8 から受信する情報に従い、ガルバノスキャナ 3 1 0、ミラー 3 1 4、シャッタ 3 2 0、偏光制御器 3 0 8、3 1 8、3 3 2、3 3 7 を駆動する。

【 0 0 7 8 】

[処理動作]

本実施形態においては、偏光制御器 3 0 8、3 1 8、3 3 2、3 3 7 を制御し、システムの偏光制御を行うフローに関して図 3、図 4 を用いて説明する。

【 0 0 7 9 】

始めに、検者により、例えば表示部 3 5 0 に表示された補正開始ボタン（不図示）、または物理的に本装置に設けられた補正開始ボタンが押されることで、補正を開始する。

【 0 0 8 0 】

補正が開始されると、ステップ S 4 0 1 において、駆動制御部 3 4 9 がガルバノスキャナ 3 1 0 の角度を制御し、測定光を測定光検出器 3 1 6 へ入射させる。ステップ S 4 0 2 において、測定光が円偏光であるか否か判断される。測定光検出器 3 1 6 で検出される測定光の偏光状態が円偏光でない場合（ステップ S 4 0 2 で No）、ステップ S 4 0 3 へ進み、駆動制御部 3 4 9 は偏光制御器 3 0 8 を制御し、測定光を円偏光に制御する。ステップ S 4 0 4 において、制御された偏光状態を測定し、円偏光であれば次のステップへ進み、そうでない場合はステップ S 4 0 3 へ戻る。ここで、円偏光の判定基準の一例は測定光の楕円率や偏光子通過後の信号強度である。

【 0 0 8 1 】

次に、偏光制御器 3 3 2、3 3 7 の制御を行う。偏光制御器 3 3 2、3 3 7 の制御は測定光のみを用いて行う。ステップ S 2 0 5 において、駆動制御部 3 4 9 は、測定光が反射され、ビームスプリッタ 3 0 6 へ戻るようにミラーを駆動する。次に、ステップ S 4 0 6 において、参照光がビームスプリッタ 3 3 0 に入射しないようにシャッタ 3 2 0 を閉じる。ステップ S 4 0 7 において、測定光が被検眼に入射するようにガルバノスキャナ 3 1 0 の角度を制御する。ミラー 3 1 4 に入射する光は円偏光に制御してあるため、ビームスプリッタ 3 0 6 に戻る光は再び直線偏光となる。ビームスプリッタ 3 0 6 に入る測定光は S Mファイバ 3 2 7 へ出射され、コネクタ 3 2 8、S Mファイバ 3 2 9 を介してビームスプリッタ 3 3 0 へ入射する。光はビームスプリッタ 3 3 0 により正負の反転位相関係を有する二つの光に二分され、一方は S Mファイバ 3 3 1、偏光制御器 3 3 2、コネクタ 3 3 3、S Mファイバ 3 3 4 を介して偏光ビームスプリッタ 3 3 5 へ、もう一方は S Mファイバ 3 3 6、偏光制御器 3 3 7、コネクタ 3 3 8、S Mファイバ 3 3 9 を介して偏光ビームスプリッタ 3 4 0 へ入射される。次に、光は偏光ビームスプリッタ 3 3 5、3 4 0 により V 偏光成分と H 偏光成分の二つの偏光成分に分割され、V 偏光成分は検出器 3 4 5 へ、H 偏光成分は検出器 3 4 6 へ導かれる。

【 0 0 8 2 】

ステップ S 4 0 8 において、信号処理部 3 4 8 は検出器 3 4 5、3 4 6 のいずれかの検出器のみで光が検出されているかを判定する。片側のみで検出されていない場合は（ステップ S 2 0 8 で No）、ステップ S 2 0 9 において、片側の検出器のみで光が検出されるように、駆動制御部 3 4 9 に偏光制御器 3 3 2、3 3 7 を制御させる。そして、ステップ S 4 1 0 でステップ S 4 0 8 と同様に偏光測定を行った結果、NG の場合はステップ S 4 0 9 へ戻り、OK の場合はステップ S 4 1 1 へ進む。ここで、片側の検出器のみで信号を検出していると判定する基準の一例は、二つの検出器の信号強度比である。

【 0 0 8 3 】

最後に、偏光制御器 3 1 8 の制御を行う。偏光制御器 3 1 8 の制御は参照光のみで行う。

【 0 0 8 4 】

ステップ S 4 1 1 において、駆動制御部 3 4 9 は、測定光がビームスプリッタ 3 0 6 へ

10

20

30

40

50

戻らないようにガルバノスキャナ 310 を駆動させ、測定光を測定光検出器 316 へ入射させる。ステップ S 412 において、ミラー 314 を取り外す。ここで、本実施形態では測定光を測定光検出器 316 へ入射させたが、ビームスプリッタ 306 へ測定光が戻らなければ特に測定光検出器 316 へ入射させなくても良い。

【0085】

次に、ステップ S 413 において、シャッタ 320 を開け、参照光の遮光を解除する。参照光は、SMファイバ 317、偏光制御器 318、レンズ 319、分散補償ガラス 321、NDフィルタ 322 を介し、コヒーレンスゲートステージ 324 上のミラー 323-a、323-b で反射され、コリメータ 325、SMファイバ 326 を介してビームスプリッタ 330 に入射する。ビームスプリッタ 330 に入射した光は、上述の通り検出器 345, 346 へ導かれる。

10

【0086】

ステップ S 414 において、信号処理部 348 は、検出器 345, 346 のそれぞれで検出される光の信号強度が略同一であるかを判定する。略同一でない場合は略同一となるように、ステップ S 415 において、駆動制御部 349 に偏光制御器 318 を制御させる。そして、ステップ S 416 でステップ S 414 と同様に偏光測定を行った結果、NG の場合はステップ S 415 へ戻り、OK の場合はステップ S 417 へ進む。ここで、二つの検出器で検出する光の信号強度が略同一であると判定する基準の一例は、二つの検出器の信号強度比である。結果的に偏光ビームスプリッタ 335, 340 に導かれる参照光は、V 偏光成分と H 偏光成分が 1:1 の関係となった直線偏光、すなわち、直交する二つの偏光軸に対して 45 度傾いた直線偏光とすることが出来る。そして、ステップ S 417 において、ガルバノスキャナ 110 を駆動させ、測定光を被検眼を測定するときの位置へ入射する方向に戻して、引き続き測定を行う。

20

【0087】

以上説明した構成と処理工程によれば、SS-PS-OCT 装置においても、検出する偏光状態に応じて干渉計の各光路に設けられた偏光制御器により偏光状態を適切に設定する。それにより、装置の使用に際し熱などによって偏光状態が変化してしまった場合でも、偏光状態を補正することが出来る。

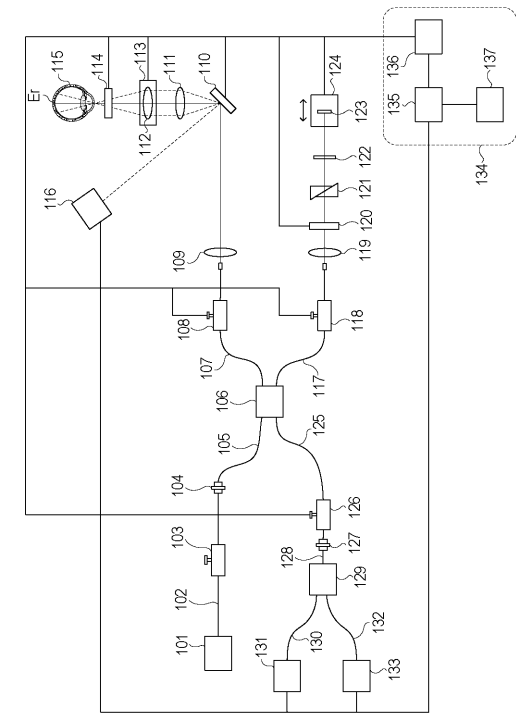
【0088】

(その他の実施形態)

30

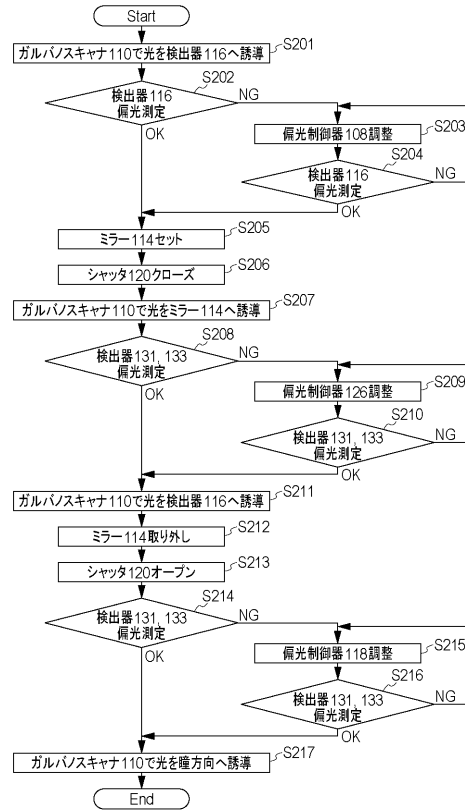
本発明は、以下の処理を実行することによっても実現される。即ち、上述した実施形態の機能を実現するソフトウェア(プログラム)を、ネットワーク又は各種記憶媒体を介してシステム或いは装置に供給し、そのシステム或いは装置のコンピュータ(又は CPU や MPU 等)がプログラムを読み出して実行する処理である。

【図1】

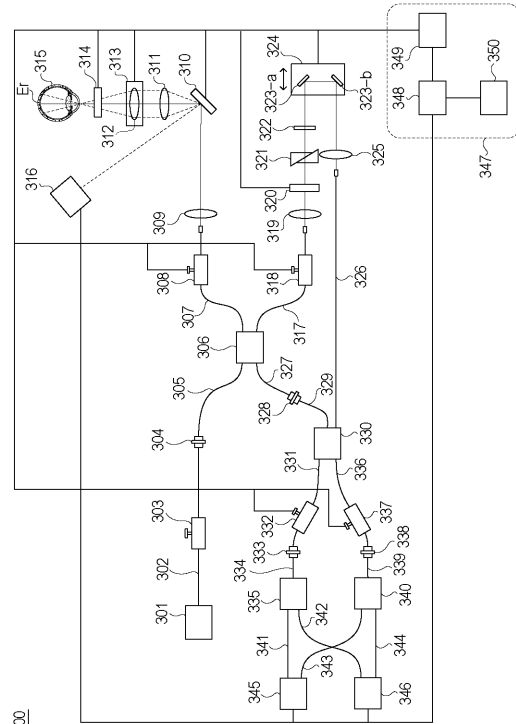


100

【図2】

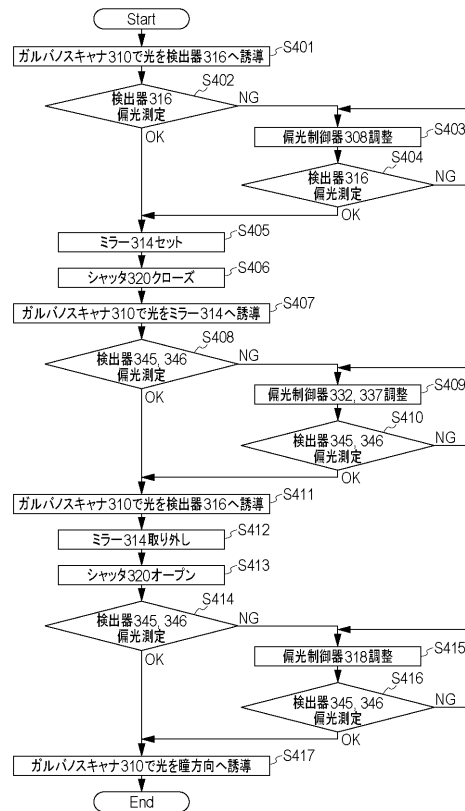


【図3】



300

【図4】



フロントページの続き

- (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
- (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

審査官 九鬼 一慶

- (56)参考文献 特開2013-165961(JP,A)
特開2013-165960(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 3/00-3/18