

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5054072号
(P5054072)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月3日(2012.8.3)

(51) Int.Cl.

F I

A 6 1 B 3/10 (2006.01)

A 6 1 B 3/10 R

G 0 1 N 21/17 (2006.01)

G 0 1 N 21/17 6 2 5

請求項の数 13 (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2009-174928 (P2009-174928)
(22) 出願日 平成21年7月28日(2009.7.28)
(65) 公開番号 特開2011-24842 (P2011-24842A)
(43) 公開日 平成23年2月10日(2011.2.10)
審査請求日 平成23年12月19日(2011.12.19)

(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
(74) 代理人 100105289
弁理士 長尾 達也
(72) 発明者 武藤 健二
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 北村 健史
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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光断層画像撮像装置

(57) 【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、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて前記被検査物の断層画像を取得する光断層画像撮像装置であって、

前記測定光の光束径を変更する光束径変更手段と、

前記合波した光を分光する分光手段と、

前記光束径変更手段により前記測定光の光束径を大きくした場合、前記分光された光の照射される範囲を狭くする範囲変更手段と、

前記範囲変更手段からの光を検出する検出手段と、

を有することを特徴とする光断層画像撮像装置。

10

【請求項 2】

前記測定光が前記被検査物に集光する位置を該被検査物の深さ方向に変更する集光位置変更手段を有し、

前記光束径変更手段が前記測定光の光束径を大きくした場合、前記集光位置変更手段により前記集光する位置を変更させて前記被検査物における異なる深さ位置で該被検査物の断層画像を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 3】

前記集光する位置の変更に連動させて、前記参照光の光路に設けられた参照ミラーの位置を変更する参照ミラー位置変更手段を有することを特徴とする請求項 2 に記載の光断層画像撮像装置。

20

【請求項 4】

前記範囲変更手段が、前記検出手段における前記断層画像の取得に用いる画素数と前記測定光の波長バンド幅との比を変更することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 5】

前記光束径変更手段が前記測定光の光束径を大きくした場合、前記検出手段における読み出し画素数を減らして前記被検査物を撮像することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 6】

前記検出手段を複数備え、

これらの複数の検出手段は、前記検出手段の画素数と前記測定光の波長バンド幅との比が、それぞれ異なる構成を有し、

前記光束径変更手段により変更された光束径に基づいて、前記複数の検出手段のいずれかを選択することが可能に構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 7】

前記検出手段が結像手段を含み構成され、

前記結像手段は、ズームレンズによって構成され、

前記光束径変更手段により変更された光束径に基づいて、前記検出手段の一画素当たりの波長幅を前記ズームレンズによって変更して該検出手段に結像させ、

前記結像させた範囲の画素のデータにより、前記断層画像を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 8】

前記結像手段により前記検出手段における領域分割された少なくとも一つの領域に結像させた範囲の画素のデータが、前記領域分割された他の領域から独立して読み出し可能に構成されていることを特徴とする請求項 7 に記載の光断層画像撮像装置。

【請求項 9】

測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて前記被検査物の断層画像を取得する光断層画像撮像装置の制御方法であって、

前記測定光の光束径を変更する工程と、

前記測定光の光束径を大きくした場合、前記合波した光の照射される範囲を狭くする工程と、

を有することを特徴とする光断層画像撮像装置の制御方法。

【請求項 10】

前記測定光の光束径を大きくした場合、前記測定光が前記被検査物に集光する位置を変更させて前記被検査物における異なる深さ位置で該被検査物の断層画像を取得する工程を有することを特徴とする請求項 9 に記載の光断層画像撮像装置の制御方法。

【請求項 11】

前記集光する位置の変更に連動させて、前記参照光の光路に設けられた参照ミラーの位置を変更する工程を有することを特徴とする請求項 10 に記載の光断層画像撮像装置の制御方法。

【請求項 12】

前記測定光の光束径を大きくした場合、前記照射される範囲を狭くした光を検出する際の読み出し画素数を減らして前記被検査物を撮像することを特徴とする請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置の制御方法。

【請求項 13】

請求項 9 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の光断層画像撮像装置の制御方法の各工程をコンピュータに実行させることを特徴とするプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

【0001】

本発明は、光断層画像撮像装置に関し、特に眼科診療等に用いられる光断層画像撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

現在、光学機器を用いた眼科用機器として、様々なものが使用されている。例えば、眼を観察する光学機器として、前眼部撮影機、眼底カメラ、共焦点レーザー走査検眼鏡 (Scanning Laser Ophthalmoscope: SLO)、等様々な機器が使用されている。

中でも、多波長光波干渉を利用した光コヒーレンストモグラフィ (Optical Coherence Tomography: 以下、これをOCTと記す。) による光断層画像撮像装置は、試料の断層像を高分解能に得ることができる装置である。

このようなOCTは、眼科用機器として網膜の専門外来では必要不可欠な装置になりつつある。

【0003】

上記光断層画像撮像装置によると、低コヒーレント光である測定光を、サンプルに照射し、そのサンプルからの後方散乱光を、干渉系を用いることで高感度に測定することができる。

また、光断層画像撮像装置は該測定光を、該サンプル上にスキャンすることで、断層像を高分解能に得ることができる。

そのため、被検眼の眼底における網膜の断層像を高分解能に撮像することも可能であることから、網膜の眼科診断等において広く利用されている。

近年、眼科用光断層画像撮像装置は従来のタイムドメイン方式から、より高速な撮像が可能なフーリエドメイン方式に移行しつつある。

被検眼における特定の奥行き毎に情報を取得するタイムドメイン方式に対して、フーリエドメイン方式は、奥行き方向の情報を一括して取得するため、高速な撮像を可能にしている。

高速な撮像は、固視微動に代表される眼球運動による画像のブレや欠落を防ぐことを可能にしている。

【0004】

一方、従来において、このような高解像度化と撮像に要する時間の短縮化の両方の要請を満たすため、特許文献1ではつぎのような光学装置が提案されている。

すなわち、OCTとOCM (Optical Coherence Microscopy) とを使い分けるようにした生体試料の内部を観察する光学装置が提案されている。

この装置では、生体試料内の大きな構造の確認等にはOCTを用い、その中の注目領域を更に細かい分解能で観察する際には、OCMに切り換え可能に構成されている。

その際、OCTとOCMとでは焦点深度が大きく異なることから、光束径変換光学系を用いて、小さい開口数を有するOCTと、大きい開口数を有するOCMとに対し、それぞれに応じた光束径が設定できるように構成されている。

これにより、高S/N比での観察が可能とされている。

また、特許文献2では、フーリエドメイン方式によりOCTそのものにより高解像を達成するようにした光断層画像撮像装置が提案されている。

この装置では、狭い焦点深度を補うために、光路長調整手段を用いて被測定物を深さ方向に合焦位置を移動させて複数の画像を得、それを合成することで被測定物の横方向および光軸方向の分解能の高い断層画像の取得ができるように構成されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-174769号公報

【特許文献2】特開2007-101250号公報

10

20

30

40

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記従来例のものにおいては、つぎのような課題を有している。
例えば、特許文献1では、高解像度で撮像するため光束径を大きくした際にはOCT撮像を行わない。

そのため、光束径変換光学系を用いて高解像度の撮像する際に測定光のビーム径を大きくすることによって生じるOCT撮像における課題、等については考慮されていない。

また、上記特許文献2においては、画像の重ね合わせに際してどのように高速化を図るか等について何も開示されておらず、また複数画像取得、および画像合成のために時間がかかる。

10

一方、光断層画像撮像装置による眼科診断等においては、上記したように被検者の負担を軽くするため、撮像に要する時間を短くすることが強く望まれている。以上のように、従来例のものにおいては、OCTにより高解像度の断層像を撮像する際に、撮像時間の短縮化をどのように図るか等について考慮されていない。

【0007】

本発明は、上記課題に鑑み、大まかな撮像を行うための低解像度モードと、詳細な画像を得る高解像度モードを備え、特に高解像度モードにおける断層像の撮像を高速化することが可能となる光断層画像撮像装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

20

【0008】

本発明は、つぎのように構成した光断層画像撮像装置及び光断層画像撮像装置の制御方法を提供するものである。

本発明の光断層画像撮像装置は、測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて前記被検査物の断層画像を取得する光断層画像撮像装置であって、

前記測定光の光束径を変更する光束径変更手段と、

前記合波した光を分光する分光手段と、

前記光束径変更手段により前記測定光の光束径を大きくした場合、前記分光された光の照射される範囲を狭くする範囲変更手段と、

30

前記範囲変更手段からの光を検出する検出手段と、

を有することを特徴とする。

また、本発明の光断層画像撮像装置の制御方法は、測定光を照射した被検査物からの戻り光と、該測定光に対応する参照光とを合波した光に基づいて前記被検査物の断層画像を取得する光断層画像撮像装置の制御方法であって、

前記測定光の光束径を変更する工程と、

前記測定光の光束径を大きくした場合、前記合波した光の照射される範囲を狭くする工程と、

を有することを特徴とする。

【発明の効果】

40

【0009】

本発明によれば、大まかな撮像を行うための低解像度モードと、詳細な画像を得る高解像度モードを備え、特に高解像度モードにおける断層像の撮像を高速化することが可能となる光断層画像撮像装置を実現することができる。

これにより、眼科診断等において、被検者の負担が少ない網膜断層像の撮像が可能となる光断層画像撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】本発明の実施例1と実施例2における光断層画像撮像装置の光学系の構成について説明する図であり、図1(a)は実施例1、図1(b)は実施例2の構成を説明する図

50

である。

【図2】本発明の実施例1について説明する図である。図2(a) - (d)はゲート位置と焦点深度範囲との関係を説明する図であり、図2(e) - (h)は光束径変換手段を説明する図である。

【図3】本発明の実施例1と実施例2におけるラインセンサの動作を説明する図である。図3(a)、(b)は実施例1の、また図3(c)、(d)は実施例2の、ラインセンサの動作を説明する図である。

【図4】本発明の実施例3について説明する図である。図4(a)は光断層画像撮像装置の光学系の構成について説明する図であり、図4(b) - (e)はゾーンフォーカス時のゲート位置と焦点深度範囲との関係を説明する図である。

10

【図5】本発明の実施例4と実施例5における光断層画像撮像装置の分光器について説明する図である。図5(a)、(b)は実施例4の、図5(c)、(d)は実施例5の分光器について説明する図である。

【図6】本発明の実施例4と実施例5におけるラインセンサの動作を説明する図である。図6(a)、(b)は実施例4の、また図6(c)、(d)は実施例5の、ラインセンサの動作を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明を実施するための形態を、以下の実施例により説明する。

【実施例】

20

【0012】

[実施例1]

実施例1においては、図1(a)を用いて本発明を適用した、光断層画像撮像装置について説明する。

図1(a)において、100は光断層画像撮像装置、101は光源、103はビームスプリッタ、105は参照光、106は測定光、142は合波された光、107は被検査物であるところの被検眼である。

108は戻り光、110はシングルモードファイバー、111, 120, 135はレンズ、114はミラーである。

115は分散補償用ガラス、117は電動ステージ、119はXYスキャナ、125はパソコンである。

30

126は角膜、127は網膜、136は光束径変更手段であるところの可変ビームエキスパンダー、150は検出手段であるところの分光器、139はラインカメラ、140はフレームグラバー、141は分光手段であるところの透過型グレーティングである。

【0013】

本実施例の光断層画像撮像装置においては、フーリエドメイン方式のOCT装置(Fourier Domain OCT)が構成されている。

まず、図1(a)を用いて、本実施例における光断層画像撮像装置の光学系全体の概略構成について説明する。

本実施例の光断層画像撮像装置100は、図1(a)に示されるように、全体としてマイケルソン干渉系を構成している。

40

図中、光源101から出射した光がビームスプリッタ103によって参照光105と測定光106とに分割される。測定光106は、可変ビームエキスパンダー136を通過して観察対象である被検眼107によって反射あるいは散乱された戻り光108となって戻される。

そして、ビームスプリッタ103によって、参照光105と合波される。参照光105と戻り光108とは合波された後、合波された光を検出する検出手段を構成する分光器150に導かれる。

分光器150は、分光手段を構成する透過型グレーティング141、結像手段を構成するレンズ135-2、ラインカメラ139を備える。

50

分光器 150 内の透過型グレーティング 141 によって波長毎に分光され、ラインカメラ 139 に入射される。

ラインカメラ 139 はラインカメラ 139 内の光電変換素子アレイであるところのラインセンサによって各位置（波長）毎に光強度を電圧に変換し、その信号を用いて、被検眼 107 の断層像が構成される。この断層像の構成方法については後述する。

【0014】

つぎに、光源 101 の周辺について説明する。

光源 101 は代表的な低コヒーレント光源である SLD (Super Luminescent Diode) である。波長は 840 nm、バンド幅 50 nm である。

ここで、バンド幅は、得られる断層像の光軸方向の分解能に影響するため、重要なパラメーターである。

また、波長は眼を測定することを鑑みると、近赤外光が適する。さらに波長は、得られる断層像の横方向の分解能に影響するため、なるべく短波長であることが望ましく、ここでは 840 nm とする。被検査物によっては、他の波長を選んでも良い。

光源 101 から出射された光はシングルモードファイバー 110 を通して、レンズ 111 に導かれ、平行光として出射される。

【0015】

つぎに、各モードとビーム径可変の対応関係について説明する。

可変ビームエキスパンダー 136 は光束径調整手段を構成しており、測定光 106 の光束径を変化させる役割がある。

光束径を 1 mm ~ 4 mm の間で変化させることができる。光束径調整手段としては可変ビームエキスパンダーに限定せず、径の異なる絞りを選択して測定光の光路に挿入することで変えることもできる。

ここで可変ビームエキスパンダーは、不図示の正と負のレンズの組み合わせで構成され、各々のレンズ間隔を変化させることで光束径を大きくしたり（図 2 (g)）、逆に小さくしたり（図 2 (e)）するものである。

この装置においては低解像度モード時の光束径を 1 mm とし、高解像度モード時の光束径を 4 mm とする。

ここで、低解像度モードでは図 2 (e) に示す網膜 127 上のスポット径が大きい状態である。

このモードは網膜のなるべく広い範囲を粗く撮像することを目的としている。

高解像度モードは図 2 (g) に示す網膜 127 上のスポット径が小さい状態である。このモードは網膜の注目したい部分を詳細に見るモードである。

【0016】

一方、図 2 中の焦点深度 (DOF) 137 は式 (2) を用いると、低解像度モードの際の光束径 1 mm の時（図 2 (e)）の焦点深度 (DOF_l と記載する) はおよそ ± 1 mm (焦点深度範囲としては 2 mm) となる。

また、光束径 4 mm の時（図 2 (g)）の焦点深度 (DOF_h と記載する) にはおよそ ± 0.05 mm (焦点深度範囲としては 0.1 mm) となる。

また、横分解能 R × y は各々式 (1) を用いると光束径 1 mm の時（図 2 (e)）にはおよそ 20 μm、光束径 4 mm の時（図 2 (g)）にはおよそ 5 μm となり、高解像度モードでは横分解能の高い高精細な断層像が得られる。

$$R \times y = k_1 \cdot \quad / NA \cdots \text{式 (1)}$$

で表され、 k_1 は 0.5 程度の定数である。

一方、結像系の焦点深度 (DOF) は、

$$DOF = \pm k_2 \cdot \quad / NA^2 \cdots \text{式 (2)}$$

10

20

30

40

50

で表され、 k_2 は0.6程度の定数である。

ここで、DOFは焦点深度、 $R \times y$ は横分解能、NAは平行な測定光を結像する眼における開口数、 λ は測定光の中心波長である。

NAは光束径と眼の焦点距離で求められ、眼の焦点距離を22.5mmとして、 $NA = d / (2 \cdot f)$ で(ただしdは光束径、fは測定時の眼の焦点距離)である。

光束径1mmの場合、 $NA_{d=1mm}$ が0.022、光束径4mmの場合の $NA_{d=4mm} = 0.088$ を上記計算に用いた。

【0017】

つぎに、参照光105の光路について説明する。

ビームスプリッタ103によって分割された参照光105はミラー114-2に入射されて方向を変え、レンズ135-1により参照ミラー114-1に集光され、反射されることで、再びビームスプリッタ103に向かう。

次に、参照光105はビームスプリッタ103を通過し、分光器150に導かれる。

ここで、115は分散補償用ガラスである。分散補償用ガラス115は被検眼107に測定光106が往復した時の分散、つまり被測定物である眼球、結像に用いられる光学系の分散を参照光105に対して補償するものである。

さらに、117-1は参照ミラーの位置を制御する制御手段を構成する電動ステージ(参照ミラー位置変更手段)である。これにより撮像開始から撮像終了までの間における参照光105の光路長を調整・制御することができる。

また、電動ステージ117-1はパソコン125により制御することができる。

【0018】

次に、測定光106の光路について説明する。

ビームスプリッタ103によって分割された測定光106は、XYスキャナ119のミラーに入射される。

ここでは、簡単のため、XYスキャナ119は一つのミラーとして記したが、実際にはXスキャン用ミラーとYスキャン用ミラーとの2枚のミラーが近接して配置され、網膜127上を光軸に垂直な方向にラスタースキャンするものである。また、測定光106の中心はXYスキャナ119のミラーの回転中心と一致するように調整されている。

レンズ120-1、120-2は被検査物である網膜127を走査するための被検査物に測定光を集光させる集光手段を構成する光学系である。

これは、図1(a)に示すように、測定光106を角膜126の付近を支点として、網膜127をスキャンする役割がある。

ここでは、レンズ120-1、120-2の焦点距離はそれぞれ50mm、50mmである。

また、117-2は集光手段の位置を制御する制御手段を構成する電動ステージ(集光位置変更手段)であり、付随するレンズ120-2の位置を、調整・制御することができる。

レンズ120-2の位置を調整することで、撮像開始から撮像終了までの間における被検査物である被検眼107の網膜127の所望の層に測定光106を集光し、観察することが可能になる。

また、被検眼107が屈折異常を有している場合にも対応できる。

測定光106は被検眼107に入射すると、網膜127からの反射や散乱により戻り光108となり、ビームスプリッタ103で反射され、ラインカメラ139に導かれる。

ここで、電動ステージ117-2もパソコン125により制御することができる。

【0019】

つぎに、本実施例のOCT装置における測定系の構成について説明する。

網膜127にて反射や散乱された光である戻り光108は、ビームスプリッタ103で反射される。

ここで、参照光105と戻り光108とはビームスプリッタ103の後方で合波されるよ

10

20

30

40

50

うに調整される。

そして、合波された光 1 4 2 は透過型グレーティング 1 4 1 によって波長毎に分光され、レンズ 1 3 5 - 2 で集光され、ラインカメラ 1 3 9 にて光の強度が各位置（波長）毎に電圧に変換される。

具体的には、ラインカメラ 1 3 9 上には波長軸上のスペクトル領域の干渉縞が観察されることになる。

ここでは、ラインカメラ 1 3 9 内部の、光電変換素子アレイであるところのラインセンサ上にレンズ 1 3 5 - 2 で結像される 5 0 n m の分光された光が、おおよそラインカメラで読み出すラインセンサの画素数に相当するように設計、調整されている。

ラインセンサは一列に並べられた光電変換素子が得た信号を時間的に順次読み出すように構成されている。

ただし、本実施例においてはラインセンサは 2 つのレジスタ部を設け、奇数番の画素は一方のレジスタ部、偶数番の画素はもう一方のレジスタ部に接続されている。

【 0 0 2 0 】

一方、5 0 n m の分光された光はラインカメラ 1 3 9 内部のセンサ 1 0 2 4 画素分の幅に結像されている。

図 1 (b) にはラインセンサ 1 3 9 - 1 を模式的に示し、ラインセンサ 1 3 9 - 1 上に分光された光 s (8 1 5 n m) から e (8 6 5 n m) までの光が結像される。

得られた電圧信号群はフレームグラバ 1 4 0 にてデジタル値に変換されて、パソコン 1 2 5 にてデータ処理を行い断層像を形成する。

ここでは、ラインカメラ 1 3 9 は前述のように 1 0 2 4 画素を有し、合波された光 1 4 2 の波長毎の強度を得ることができる。

【 0 0 2 1 】

つぎに、本装置を用いた断層像の取得方法について説明する。

図 1 (a)、図 2 (a) ~ (d) を用いて、網膜 1 2 7 の断層像（光軸に平行な面）の取得方法について説明する。

測定光 1 0 6 は角膜 1 2 6 を通して、網膜 1 2 7 に入射すると様々な位置における反射や散乱により戻り光 1 0 8 となりラインカメラ 1 3 9 に到達する。

ここでは、光源 1 0 1 のバンド幅が広く、空間コヒーレンス長が短いために、参照光路の光路長と測定光路の光路長とが略等しい場合に、ラインセンサ 1 3 9 - 1 (図 3 (a)、(b) 参照) にて、干渉縞が検出できる。

上記したように、ラインセンサ 1 3 9 - 1 で取得されるのは波長軸上のスペクトル領域の干渉縞となる。

次に、波長軸上の情報である該干渉縞を、ラインセンサ 1 3 9 - 1 と透過型グレーティング 1 4 1 との特性を考慮して、光周波数軸の干渉縞に変換する。

さらに、変換された光周波数軸の干渉縞を逆フーリエ変換することで、深さ方向の情報が得られる。

さらに、X Y スキャナ 1 1 9 の X 軸を駆動しながら、該干渉縞を検知すれば、各 X 軸の位置毎に干渉縞が得られる。

つまり、各 X 軸の位置毎の深さ方向の情報を得ることができる。

深さ方向（X Y Z 座標の Z 方向）に関する X 方向のある位置の一次元データを A スキャンと呼ぶ。

撮像する全 X 位置の A スキャンを順次 X スキャナが回転する時系列に並べていくと結果として、X Z 面での戻り光 1 0 8 の強度の 2 次元分布が得られ、図 2 (a) ~ (d) に示すような断層像が得られる。これを B スキャンと呼ぶ。

【 0 0 2 2 】

上記の低解像度モードと高解像度モードでは被測定物でのスポット径が異なり、特に高解像度モードではその横分解能を B スキャンで活かすために各 X 軸上での位置を細かく得ることが必要で、分解能である 5 μ m 程度の間隔で A スキャンを得て後 B スキャンを合成する。

10

20

30

40

50

また、低解像度モードではこれも分解能 $20 \mu\text{m}$ 程度の間隔で A スキャンを得るようにする。

なお、断層像は上記説明したように、得られる B スキャンの強度をアレイ状に並べたものであり、例えば該強度をグレースケールに当てはめて、表示されるものである。ここでは得られた断層像の境界のみ強調して表示している。

【0023】

つぎに、ゲートからの測定距離と画素数、焦点深度との関係について説明する。

ここで、図 2 (a) ~ (d) において測定光側における参照ミラー 114 - 1 と同じ光路長の位置をゲート位置 G とし、G から本装置で撮像できる光学距離を撮像光学距離 D_{ep} とする。

ここで、撮像する部分の光学距離が長くなった場合に干渉縞は細くなって行く。細くなった干渉縞を検知できる限界を考えると、撮像光学距離 D_{ep} は分光される波長幅とラインセンサ 139 - 1 で受ける波長幅に対応する画素数で決定される。

$$D_{ep} = N / (4 \cdot K) \cdots \text{式 (3)}$$

ここで、 D_{ep} は撮像光学距離、 K は測定に用いる光源の波長幅の波数表現、 N は合波された光が含む波長のバンド幅が結像される領域の画素数である。

K は λ_s を波長バンド幅の一番短い波長、 λ_e を波長バンド幅の一番長い波長とすると式 (4) で求められ、本実施例の $\lambda_s = 815 \text{ nm}$ 、 $\lambda_e = 865 \text{ nm}$ を代入すると $7.1 \times 10^{-5} (1/\text{nm})$ となる。

$$K = |1/\lambda_s - 1/\lambda_e| \cdots \text{式 (4)}$$

この K の値を式 (3) に代入すると読み込み画素数 1024 画素の際は $D_{ep_{1024}} = 3.6 \text{ mm}$ 、読み込み画素 512 画素の際は $D_{ep_{512}} = 1.8 \text{ mm}$ となる。

【0024】

一方、図 2 (a) - (d) 中のゲート位置 G と被測定物との関係はフーリエドメイン方式の OCT 装置の場合にはゲート位置 G と被測定物の表面とを離すことが一般的である。ゲート位置 G が被測定物の内部に入った場合にフーリエ変換で得られる鏡像と実像が重なってしまう、という問題が基本的に存在するからである。

また、被測定物における焦点位置を調整し、焦点深度範囲に被測定物を最大入れるようにした場合に被測定物の深さ方向に関して最も広い範囲が良好に撮像できる。

【0025】

つぎに、各モードについてゲート位置と焦点深度範囲、撮像光学距離との関係について説明する。

まず、図 2 (a)、(b) を用いて、低解像度モードの場合について説明する。前述した通り光束径が 1 mm であり、焦点深度範囲は 2 mm である。

図 1 (a) で示すように、被測定物に対して電動ステージ 117 - 1 によって参照ミラー 114 - 1 を移動させる。

これによって調整されたゲート位置 G から Z 方向に焦点深度範囲に入るように電動ステージ 117 - 2 によってレンズ 120 - 2 を移動させ焦点位置を調整したとする。

読み込み画素数を 1024 画素とすると撮像光学距離 $D_{ep_{1024}} = 3.6 \text{ mm} > \text{焦点深度 } D_{OF_1} = 2 \text{ mm}$ となり、焦点深度内にある被測定物の情報がこのモードで撮像できる。

また、図 2 (b) のように、被測定物に凹凸があつてゲート位置 G を被測定物表面から離す場合に、注目部分が焦点深度内に入るように調整する。

これにより、撮像光学距離 $D_{ep_{1024}} = 3.5 \text{ mm}$ (焦点深度 + ゲート位置と被測定物表面との距離) の条件内で、鏡像の影響が無く撮像することができる。

【0026】

つぎに、図 2 (c)、(d) を用いて、高解像度モードの場合について説明する。

光束径が4 mmであり、焦点深度は0.1 mmである。ゲート位置Gと被測定物表面を概略一致させたうえで焦点位置を調整し被測定物表面から0.1 mmの範囲を深度内に入れたとする。

高解像で得たい被測定物の構造が焦点深度近傍のみにある場合、つまりZ方向に深い側の情報を得なくてよい場合には、ラインセンサ全画素を読み込む必要は無い。

このような場合には、図3(b)のように、ラインセンサを一画素間引きして読み込む。

これにより読み込み時間を短くすることができる。

すなわち、Aスキャン一本の取得時間が短くなる。

ラインセンサの間引き読みを行い、画素数を間引いて読み込み画素数を512画素とすると、撮像距離 $Dep_{512} = 1.8 \text{ mm} > \text{焦点深度} = 0.1 \text{ mm}$ となり、焦点深度内にある被測定物の情報がこのモードで撮像できる。

10

また、上記低解像度モードと同様に、例えば被測定物に凹凸があってゲート位置Gを被測定物表面から離す場合も撮像光学距離 $Dep_{512} = 1.8 \text{ mm}$ （焦点深度+ゲート位置と被測定物表面との距離）の条件内で鏡像の影響無く撮像ができる。

間引く場合のラインセンサ139-1の構成としては、前述したようにレジスタ部を2つ用意して並ぶ画素を交互に接続し、この間引く際に片側のレジスタ部（例えば奇数番の画素が接続されるレジスタ部）からのみ読み込むようにする、等の構成が挙げられる。

【0027】

この高解像度モードの場合には、Aスキャン読み込み画素数を減らすことができるので、Aスキャン高解像度モードで多くのAスキャンを得て合成する場合に被測定物の撮像時間を全1024画素読み出すことに対して短縮できる。

20

より高速なAスキャン取得のために読み込み画素数を2個間引く、あるいは3個間引いて、読み込むことも可能である。

その際には、光束径によって決まる焦点深度DOFと注目したい部位の深さとの関係から求まる撮像光学距離Depを満たす画素数であればよい。

例えば、上記の例で言えば4 mmの光束径で深度が0.1 mmなのでゲート位置から0.1 mmまでの深さだけ撮像する場合、撮像光学距離Depが3個間引いて読み出すと読み出し画素数は256画素となる。

256画素の場合には式(3)から撮像光学距離 $Dep_{256} = 0.9 \text{ mm}$ であるため、ゲート位置と焦点深度範囲の調整によってはこの画素数でも十分に測定で可能であり、よりAスキャン取得を高速とできる。

30

【0028】

以上述べたように本実施例の光断層画像撮像装置においては、低解像度モードと高解像度モードを備えた上で高解像モードの際には合焦範囲が小さくなるため、被検査物によっては撮像する深さ方向の範囲を狭くしてもよく、その場合に読み出し画素を少なくできる。

このように、Aスキャン取得時間が短縮できるため、全画素読み出すことに対して高速化が可能となる。

また、Bスキャンを構築する場合には基となる1本のAスキャンを構成する画素が少なくなつて処理演算が高速とできるため効果的である。

40

本実施例においては、光束径を限定するものではなく、例えば低解像度モードを2 mm径、高解像度モードを6 mm径などに変形することは容易である。

【0029】

[実施例2]

つぎに、図1(b)を用いて実施例2におけるフーリエドメイン方式の光断層画像撮像装置について説明する。

本実施例においては、実施例1とは異なり、検出手段を複数備え、これら検出手段における分光器がそれぞれ異なった構成とされている。

その他の装置としての構成は、実施例1と同様であるから重複する部分の説明は省略する。

50

まず、本実施例における光断層画像撮像装置の光学系の全体の概略構成について説明する。

図1(b)において、200は光断層画像撮像装置、201は光源、203、252はビームスプリッタ、205は参照光、206は測定光、243は合波された光(干渉光)、207は被検眼、208は戻り光、210はシングルモードファイバーである。

211、220、235、236はレンズ、214はミラーである。215は分散補償用ガラス、217は電動ステージ、219はXYスキャナ、225はパソコンである。

226は角膜、227は網膜、236は光束径変更手段であるところの可変ビームエキスパンダー、250、251は分光器、238、239はラインカメラ、240はフレームグラバー、241、242は透過型グレーティングである。

10

【0030】

本実施例のOCT装置200は、干渉光243が合波されるまでは実施例1と同様である。

干渉光243はビームスプリッタ252により分割され一部は分光器250、もう一方は分光器251に導かれる。各々の分光器の動作の概要は実施例1と同様である。

光源については実施例1と同様の物を用い、SLDの波長は840nm、バンド幅50nmである。

また、可変ビームエキスパンダー236は、測定光206の光束径を変化させる役割がある。

光束径を1mm~4mmの間で変化させることができる。

20

本実施例についても低解像度モードは光束径1mm、高解像度モードは光束径4mmとする。

したがって、各々の焦点深度DOF、分解能の値も実施例1と同様である。

また、測定光、参照光の光路についても実施例1と同様である。

【0031】

つぎに、本実施例のOCT装置における測定系の構成について説明する。

合波された光243はビームスプリッタ252によって分岐されて各分光器250、251に導かれる。

ここで、分光器250は低解像度モード用の分光器であり、分光器251は高解像度モードの分光器である。

30

各々の分光器250、251は透過型グレーティング241、242によって波長毎に分光され、レンズ235-2、236-2で集光され、ラインカメラ238、239にて光の強度が各位置(波長)毎に電圧に変換される。

この際に低解像度モードの際はラインカメラ238を、高解像度モードの際は239を各々駆動する。

具体的には、ラインカメラ238、239上には波長軸上のスペクトル領域の干渉縞が観察されることになる。

ラインカメラ238、239内部のラインセンサ上にここでレンズ235-2、236-2で結像される50nmの分光された光がおおよそラインカメラで読み出すラインセンサの画素数に相当するように設計、調整されている。

40

なお、各ラインセンサは実施例1とは異なり各々一つのレジスタ部のみが設けられている。

【0032】

具体的には50nmの分光された光のバンド幅は、分光器250ではラインカメラ238内部のセンサ1024画素分の幅に結像されている。

図3(c)にはラインセンサ238-1を模式的に示し、ラインセンサ238-1上に分光された光 λ_s (815nm)から λ_e (865nm)までの光が結像される。

また、50nmの分光された光のバンド幅は分光器251ではラインカメラ239内部のセンサ512画素分の幅に結像されている。

図3(d)にはラインセンサ239-1を模式的に示し、ラインセンサ239-1上に分

50

光された光 λ_s (815 nm) から λ_e (865 nm) までの光が結像される。

各分光器によってバンド幅とラインセンサ画素数との比を変更する手段としては、レンズの焦点距離、透過型グレーティングのピッチ、ラインセンサそのものの画素の幅のいずれでも変更でき、その組み合わせでもよい。

フレームグラバ 240 は低解像度モードの際はラインカメラ 238 から、高解像度モードの際はラインカメラ 239 から得られた電圧信号群をデジタル値に変換して、パソコン 225 にてデータ処理を行い断層像を形成する。

ここでは、ラインカメラ 239 は合波された光 243 の波長毎の強度を得ることができる。

なお、断層像の取得方法は実施例 1 と同様のため説明を省略する。各モードの場合の撮像光学距離も実施例 1 と同様である。

ゲート距離と焦点深度との関係については、低解像度モードの際は動作が実施例 1 と同様のため説明を省略する。

【0033】

つぎに、本実施例における高解像度モードの場合について説明する。

基本的なゲート位置、焦点深度範囲の位置関係は実施例 1 と同様である。

光束径が 4 mm であり、焦点深度は 0.1 mm である。ゲート位置 G と被測定物表面を概略一致させたうえで焦点位置を調整し被測定物表面から 0.1 mm の範囲を深度内に入れたとする。

高解像度モードで選択する分光器 251 のラインセンサ 239-1 は 512 画素のため、撮像距離 $D_{ep512} = 1.8 \text{ mm} > \text{焦点深度} = 0.1 \text{ mm}$ となり、焦点深度内にある被測定物の情報がこのモードで撮像できる。

また、上記低解像度モードと同様に、例えば被測定物に凹凸があつてゲート位置 G を被測定物表面から離す場合も撮像光学距離 $D_{ep512} = 1.8 \text{ mm}$ (焦点深度 + ゲート位置と被測定物表面との距離) の条件内で鏡像の影響無く撮像ができる。

この高解像度モードの場合には、A スキャン読み込み画素数を減らすことができるので、A スキャン高解像度モードで沢山の A スキャンを得て合成する場合に被測定物の撮像時間を全画素読み出しに対して短縮できる。

【0034】

以上述べたように本実施例の光断層画像撮像装置においては、低解像度モードと高解像度モードを備えた上で、高解像度モードの場合に読み出し画素を少なくしたラインセンサを設けた分光器を選択可能にした。

この際に、センサの読み出し時間が減少することにより A スキャン取得時間が短縮できるため、高速化が可能となる。

本実施例においては、光束径を限定するものではなく、例えば低解像度モードを 2 mm 径、高解像度モードを 6 mm 径などに変形可能なことは実施例 1 と同様である。

【0035】

[実施例 3]

つぎに、図 4 を用いて、実施例 3 におけるフーリエドメイン方式の光断層画像撮像装置について説明する。

本実施例においては、実施例 1 に比較して高解像度モードにおいて段階的にピント位置を変えて各々の位置で得られた B スキャンの複数画像をつなぎ合わせるゾーンフォーカスの手法を採用したものである。

これにより、高解像度モードによる狭い焦点深度時の取得断層像を結果的により深い位置まで得る構成とすることが可能となる。

その他の装置としての構成は実施例 1 と同様のため重複する部分の説明は省略する。

【0036】

まず、本実施例における光断層画像撮像装置の光学系の全体の概略構成について説明する。

図 4 (a) において、300 は光断層画像撮像装置、301 は光源、303 はビームスプ

10

20

30

40

50

リッタ、305は参照光、306は測定光、342は合波された光、307は被検眼、308は戻り光、310はシングルモードファイバーである。

311、320、335はレンズ、314はミラー、315は分散補償用ガラス、317は電動ステージ、319はXYスキャナ、325はパソコンである。

326は角膜、327は網膜、336は光束径変更手段であるところの可変ビームエキスパンダー、350は分光器、339はラインカメラ、340はフレームグラバー、341は透過型グレーティングである。

【0037】

本実施例の光断層画像撮像装置300は、低解像度モード時の動作は実施例1と同様である。 10

高解像度モードの撮像動時に、集光手段を構成するレンズ320-2の位置を制御する制御手段である電動ステージ317-2により、微小ステップ量移動させる。

そのレンズ320-2のステップ移動に伴い、参照ミラー314-1も参照ミラーの位置を制御する制御手段である電動ステージ317-1によって、微小ステップ移動させる。その移動量については後述する。

光源については実施例1と同様の物を用い、SLDの波長は840nm、バンド幅50nmである。

【0038】

また、可変ビームエキスパンダー336は、測定光306の光束径を変化させる役割がある。光束径を1mm~4mmの間で変化させることができる。 20

本実施例では低解像度モードは光束径1mm、高解像度モードは光束径2mmとする。

したがって、低解像度モードの焦点深度DOF、分解能の値は実施例1と同様であり、高解像度モードの焦点深度は $NA_{d=2mm}$ は $NA = d / (2 \cdot f)$ より0.044となり、式(2)よりおよそ±0.3mm(焦点深度範囲は0.6mm)となる。また分解能 $R \times y_{d=2mm}$ は約10μmとなる。

また、測定光、参照光の光路についても実施例1と同様である。

測定系の構成も実施例1と同様であり、高解像度モードの際にラインカメラ339のラインセンサ339-1で画素の間引き読みをする点も同様である。

したがって、ラインセンサのレジスタ部の構成も実施例1と同様である。 30

【0039】

ここで、高解像度モードの際のゾーンフォーカス動作と撮像光学距離 Dep_{512} との関係を図4(b)~(d)を用いて説明する。

この高解像度モードではゾーンフォーカスを4段階に分けて動作させてBスキャン画像を取り込み、後につなぎ合わせの画像合成を行うものである。

図4(b)~(d)はゾーンフォーカスの各段階のゲート位置Gと焦点深度範囲 DOF_h を示すものである。

図4(b)は第一段階のゾーンフォーカスの状態を示し、 DOF_h は被測定物である網膜表面付近に位置させるようにレンズ320-2を調整しておく。

一方、ゲート位置Gは DOF_h よりも上方に位置させるようにミラー314-1を移動させ調整しておく。 40

この位置において通常のBスキャンの画像を取得してパソコン325内の不図示のメモリに蓄積しておく。

【0040】

次のゾーンフォーカスの段階では、図4(c)に示すように焦点深度範囲 DOF_h とゲート位置Gを同時に移動させる。

この際電動ステージ317-2によるレンズ320-2の移動によって焦点深度範囲 DOF_h は DOF_h の長さ0.6mmよりも0.1mm短い0.5mmだけZ方向に移動させる。

ゲート位置もそれに伴って電動ステージ317-1によって参照ミラー314-1を0. 50

5 mm移動させている。この状態でBスキャンを取得する。

焦点深度範囲よりも移動距離が短いのは取得した画像のつなぎ合わせの際に重ねあわせる部分の画像を、焦点深度内にある高解像度な画像とすることでつなぎ合わせの精度向上を図るものである。

次のゾーンフォーカスの段階も同様に焦点深度範囲 DOF_h とゲート位置 G を0.5 mmずつ移動させてBスキャンを取得する。

この4つのBスキャンの画像から4段階の移動による焦点深度範囲の総計は2 mmとなる。

この4つのBスキャン画像をパソコン325上でゾーンフォーカスの移動距離に応じてつなぎ合わせてZ方向に広範囲の画像が高い横分解能で得られることとなる。

10

【0041】

ゲート位置 G を焦点深度範囲の調整とともに動かすことは、512画素読み出しにおける撮像光学距離 $Dep_{512} = 1.8$ mmよりもゾーンフォーカスで得ようとする画像のZ方向長さ2 mmが大きいため必須となる。

また、フーリエドメインOCTの特徴としてゲート位置から離れるほど得られる信号強度が低くなることがある。

各ゾーンフォーカスの段階でのBスキャン取得時にゲート位置 G と焦点深度範囲との距離が同一であること、ゲート位置固定の条件よりも信号強度の点で有利である。

ここで、高解像度モードの際に画素数を減じて512画素としていることで、実施例1と同様に1024画素の読み出しに比較して読み出し速度が速いことに加え、処理速度が速い。

20

すなわち、ゾーンフォーカスで得たBスキャンをつなぎ合わせる処理の際にゾーンフォーカス一段分のBスキャン画像が小さいことから処理速度が速くなる。

【0042】

以上述べたように本実施例の光断層画像撮像装置においては、低解像度モードと高解像度モードを備えた上で、高解像度モードの際にゾーンフォーカスの手法を用いている。

そのため、ゾーンフォーカス時に読み出し画素を少なくすることができ、Aスキャン取得時間が短縮、ひいてはBスキャン画像取得時間の短縮が可能となる。

さらに、ゾーンフォーカスで得たBスキャンをつなぎ合わせる処理の際にゾーンフォーカス一段分のBスキャン画像が小さいため処理を速くすることができる。なお、本実施例においては、光束径を限定するものではなく、例えば低解像度モードを2 mm径、高解像度モードを4 mm径とすることなどが可能なことは実施例1と同様である。

30

【0043】

[実施例4]

つぎに、図5(a)、(b)を用いて、実施例4におけるフーリエドメイン方式の光断層画像撮像装置について説明する。

本実施例においては、実施例3に比較して分光器の構成が異なり、光電変換素子アレイ画素当たりの波長幅を前記ズームレンズによって変更して該光電変換素子アレイに結像させるように構成されている。

そして、結像させた範囲の画素のデータにより、前記断層画像を形成するように構成されている。

40

その他の装置としての構成は、実施例3と同様のため重複する部分の説明を省略する。

図5において、450は分光器、441は透過型グレーティング、435-2、435-3はレンズであり、この2つのレンズの組み合わせでズームレンズを形成する。

439はラインカメラである。

【0044】

本実施例の光断層画像撮像装置は、低解像度モード時、高解像度モード時の動作は分光器部分を除いて同じである。

すなわち、高解像度モード時の焦点深度範囲の調整、ゲート位置の調整、段階的に焦点深度範囲位置を変えてBスキャンを取得するゾーンフォーカスの手順なども同じである。

50

光源については実施例 1 と同様の物を用い、S L D の波長は 8 4 0 n m、バンド幅 5 0 n m である。

低解像度モードは可変エキスパンダーによって光束径 1 m m、高解像度モードは光束径 2 m m とする。

したがって、各モードの焦点深度 D O F、分解能の値は実施例 3 と同様である。また、測定光、参照光の光路についても実施例 1 と同様である。

【 0 0 4 5 】

ここで、分光器周りの動作について図 5 (a)、(b)、および図 6 (a)、(b) を用いて説明する。

まず、低解像度モードにおける分光器の状態について説明する。

10

実施例 1 ~ 3 と同様に、合波された光は分光器 4 5 0 に導かれる。

ここで、低解像モード度の際には、図 5 (a) のようにレンズ 4 3 5 - 2、4 3 5 - 3 はズームレンズとして長焦点状態に調整されている。

透過型グレーティング 4 4 1 によって波長毎に分光された合波された光は、レンズ 4 3 5 - 2、4 3 5 - 3 で集光される。

そして、ラインカメラ 4 3 9 内部のラインセンサ 4 3 9 - 1 上に結像され、5 0 n m のバンド幅の分光された光がラインセンサの画素数に相当するようにズームレンズとして各レンズ 4 3 5 - 2、4 3 5 - 3 は調整されている。

具体的には図 6 (a) に示すように 5 0 n m の分光された光はラインカメラ 4 3 9 内部のセンサ 1 0 2 4 画素分の幅に結像されている。

20

図 6 (a) にはラインセンサ 4 3 9 - 1 を模式的に示し、ラインセンサ 4 3 9 - 1 上に分光された光 λ_1 (8 1 5 n m) から λ_2 (8 6 5 n m) までの光が結像される。これは実施例 3 と同様な分光器の状態である。

【 0 0 4 6 】

次に、高解像度モードにおける分光器の状態について説明する。

高解像度モードの際には図 5 (b) のようにレンズ 4 3 5 - 2、4 3 5 - 3 はズームレンズとして短焦点の状態に調整されている。

それにより、透過型グレーティング 4 4 1 によって波長毎に分光された光、つまり 5 0 n m のバンド幅の光は図 6 (b) 上の 5 1 2 画素の幅に結像される。

読み出しの際は 1 0 2 4 画素分のデータを読み出すが、各焦点深度位置における B スキャン画像を構築する際の F F T などの処理、各 B スキャンをつなぎ合わせる際には 5 1 2 画素分のデータを用いる。すなわち、光電変換素子アレイ上に結像される合波した光の像相当部分の画素のみのデータを用いる。

30

これによって、高解像度モード時の画像構築の際の時間を短くすることができると共に、実施例 3 に比較してラインセンサの間引き読みと比較して合波された光の光量を損失しないため、得られる画像のコントラストが高くなる。

【 0 0 4 7 】

さらに、光電変換素子アレイを領域分割し、該分割された少なくとも一つの領域における画素のデータを、該領域分割された他の領域から独立して読み出し可能に構成してもよい。

40

具体的には、例えばラインセンサ 4 3 9 - 1 にあらかじめ中央部分の 5 1 2 画素に対して独立に読み出せるようにレジスタ部を設けることにより、高解像度モードにおいてラインセンサ 4 3 9 - 1 の中央部分における 5 1 2 画素のみを読み出せるようにしてもよい。

その際には、画像構築の高速化に加え、読み出す場合に 1 0 2 4 画素分のデータを読み出す必要がないことから、ラインセンサの読み出し時間も短縮でき、より一層、撮像時間の短縮化を図ることができる。

【 0 0 4 8 】

以上説明したように、本実施例においては、ゾーンフォーカスを用いた高解像度モードによる撮像において、光量損失が無いことで画像のコントラストが高く、撮像が短時間にできる。

50

本実施例において、ズームレンズによる結像範囲は1024、512画素に限定するものではなく、例えば256画素など自由に選択できるものである。

また、ラインセンサに対してレンズがズーム動作をすることで結像位置がずれてしまうことも考えられるが、その際はモードによってラインセンサとレンズの位置関係を自動、あるいは手動で調整する機構を備えてもよい。

【0049】

[実施例5]

つぎに、図5(c)、(d)を用いて、実施例5におけるフーリエドメイン方式の光断層画像撮像装置について説明する。

本実施例においては、実施例4に対して分光器の構成が異なる。

その他の装置としての構成は実施例4と同様のため重複する部分の説明は省略する。

図5(c)、(d)において、550は分光器、541は透過型グレーティング、535-2、535-3はレンズであり、この2つのレンズの組み合わせでズームレンズを形成する。

539はラインカメラである。555はラインカメラ539とレンズ535-2、535-3の位置を相対的に移動させるカメラ移動リニアアクチュエータである。

【0050】

本実施例の光断層画像撮像装置は、低解像度モード時、高解像度モード時の動作は分光器部分を除いて実施例3、4と同じである。

すなわち、高解像度モード時の焦点深度範囲の調整、ゲート位置の調整、段階的に焦点深度範囲位置を変えてBスキャンを取得する手順も同様である。

光源については、実施例1と同様の物を用い、SLDの波長は840nm、バンド幅50nmである。

低解像度モードは可変エキスパンダーによって光束径1mm、高解像度モードは光束径2mmとする。よって各モードの焦点深度DOF、スポット径の値は実施例3、4と同様である。

また、測定光、参照光の光路についても実施例1と同様である。

【0051】

ここで分光器周りの動作について、図5(c)、(d)、および図6(c)、(d)、(e)を用いて説明する。

まず、低解像度モードにおける分光器の状態について説明する。

実施例1～3と同様に、合波された光は分光器550に導かれる。

ここで、低解像度モードの際には、図5(c)のようにレンズ535-2、535-3はズームレンズとして長焦点状態に調整されている。

さらに、カメラ移動リニアアクチュエータ555にてラインカメラ539内のラインセンサ中心とレンズ535-2、535-3からなるズームレンズの光軸がおおよそ一致するように位置されている。

透過型グレーティング541によって波長毎に分光された光は、レンズ535-2、535-3で集光される。

そして、ラインカメラ539内部のラインセンサ539-1上に結像される50nmのバンド幅の光がラインセンサの画素数に相当するようにズームレンズとして各レンズ535-2、535-3は調整されている。

具体的には、図6(c)に示すようにラインカメラ539内部のラインセンサ1024画素分の幅に結像されている。

図6(c)にはラインセンサ539-1を模式的に示し、ラインセンサ539-1上に分光された光(815nm)から(865nm)までの光が結像される。これは実施例4と同様な分光器の状態である。

【0052】

次に、高解像度モードにおける分光器の状態について説明する。

高解像度モードの際には、図5(d)のようにレンズ535-2、535-3はズームレ

10

20

30

40

50

ンズとして短焦点の状態に調整されている。

それと共に、さらにカメラ移動リニアアクチュエータ 5 5 5 にてラインカメラ 5 3 9 内のラインセンサの図 5 (d) 中下側にレンズ 5 3 5 - 2、5 3 5 - 3 からなるズームレンズの光軸がおおよそ一致するように位置されている。

具体的には、図 6 (d) に示すようにラインセンサ 5 3 9 - 1 の図中下側の 6 8 3 画素のおおよそ中央にズームレンズとしての光軸がおおよそ一致している。

それにより、透過型グレーティング 5 4 1 によって波長毎に分光された光、つまり 5 0 n m の範囲の光は図 6 (d) 上の 6 8 3 画素の幅に結像される。ここでラインセンサ 5 3 9 - 1 にあらかじめこの 6 8 3 画素と、この状態で結像範囲外の 3 4 1 画素に対して独立に読み出せるようにレジスタ部を設けている。

10

したがって、高解像度モードの図 6 (d) の状態においてラインセンサ 5 3 9 - 1 の必要な 6 8 3 画素のみを読み出す。

これらにより、ラインセンサの読み出し時間が短縮できるため、より撮像が短時間にできる。

さらに、高解像度モードにおいて、図 6 (e) のような結像状態にレンズ 5 3 5 - 2、5 3 5 - 3 と、ラインカメラ位置を調整してもよい。

その際には撮像光学距離は 3 4 1 画素分 (式 (3) より 1 . 2 mm) となるが、ゾーンフォーカスをより細かく行う場合などはこのようにしてもよく、その際にはラインセンサの読み出し時間がより短縮できる。

【 0 0 5 3 】

20

以上に説明したように、本実施例においては、ゾーンフォーカスを用いた高解像度モードによる撮像において、光量損失が無く画像のコントラストが高く、撮像が短時間にできる。それと共に、エリアセンサを非対称に領域分割し、ズームレンズの結像位置を移動させることで撮像光学距離を多様に変えることができ、高解像度モードの際の撮像速度選択の自由度を上げることができる。

【 符号の説明 】

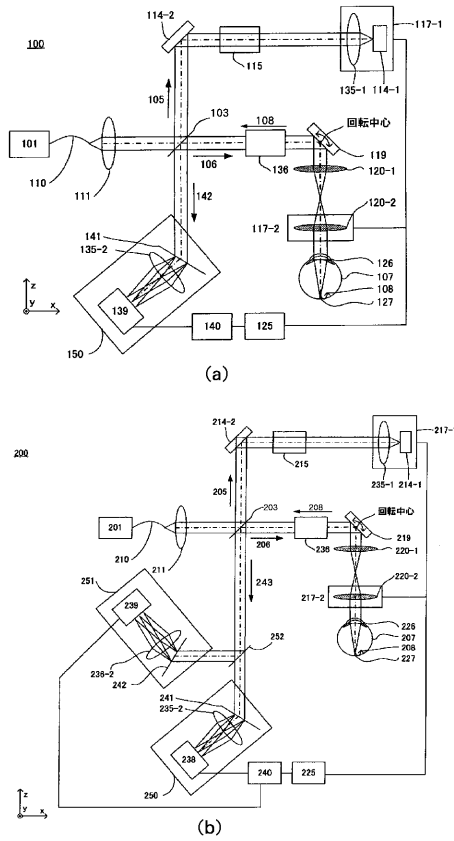
【 0 0 5 4 】

- 1 0 1、2 0 1 : 光源
- 1 0 3、2 0 3 : ビームスプリッタ
- 1 0 5、2 0 5 : 参照光
- 1 0 6、2 0 6 : 測定光
- 1 0 7、2 0 7 : 被検眼
- 1 0 8、2 0 8 : 戻り光
- 1 1 7、2 1 7 : 電動ステージ
- 1 1 9、2 1 9 : X Y スキャナ
- 1 2 5、2 2 5 : パソコン
- 1 3 6、2 3 6 : 可変ビームエキスパンダー (光束径変更手段)
- 1 3 9、2 3 8、2 3 9 : ラインカメラ
- 1 3 9 - 1、2 3 8 - 1、2 3 9 - 1 : ラインセンサ
- 1 4 0、2 4 0 : フレームグラバ
- 1 4 1、2 4 1 : 透過型グレーティング
- 1 5 0、2 5 0、2 5 1 : 分光器

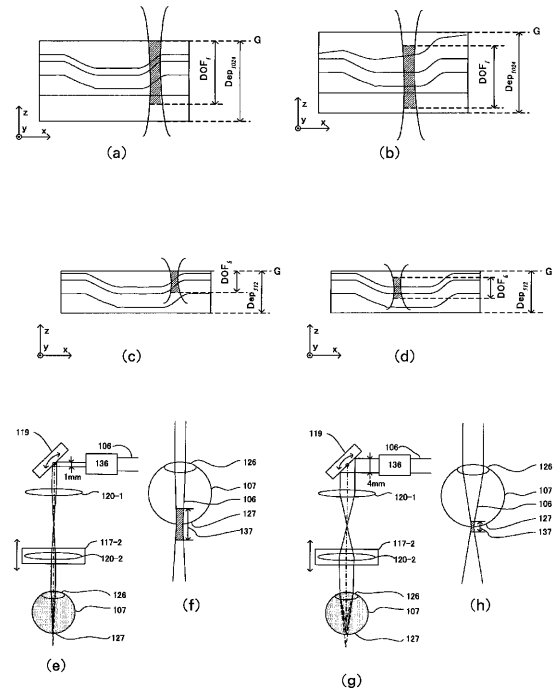
30

40

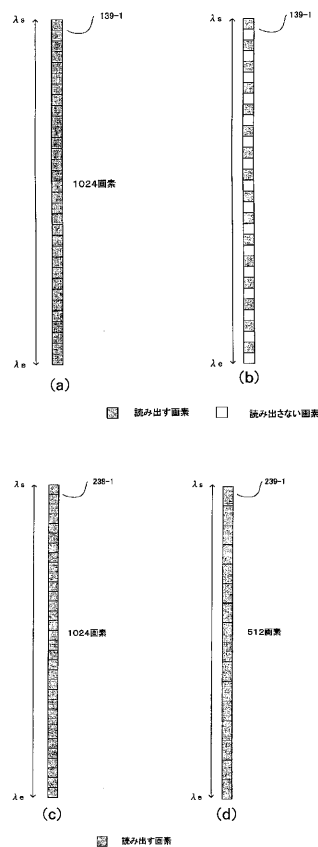
【図 1】



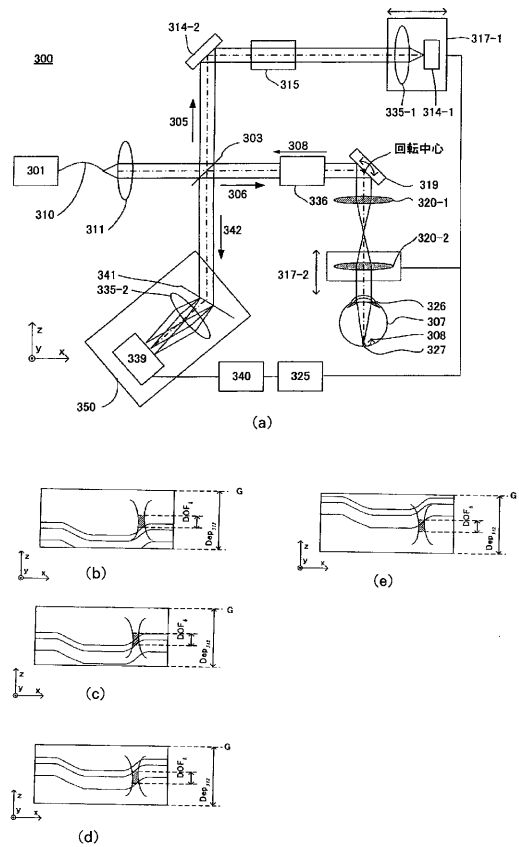
【図 2】



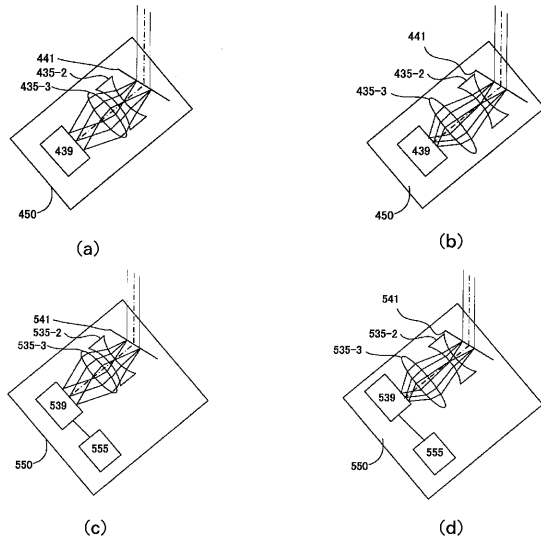
【図 3】



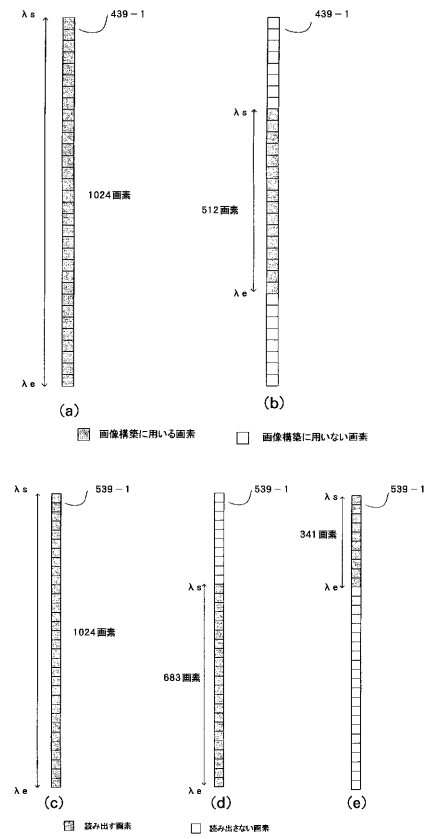
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-095318(JP,A)
特表2007-508558(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 3/10
G01N 21/17