

(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2012-168092

(P2012-168092A)

(43) 公開日 平成24年9月6日(2012.9.6)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)
GO 1 N	21/00	(2006.01)	GO 1 N 21/00 A 2 G O 4 7
A 6 1 B	8/00	(2006.01)	A 6 1 B 8/00 2 G O 5 9
GO 1 N	29/00	(2006.01)	GO 1 N 29/00 5 O 1 4 C 6 O 1

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2011-30742 (P2011-30742)
 (22) 出願日 平成23年2月16日 (2011.2.16)

(71) 出願人 306037311
 富士フイルム株式会社
 東京都港区西麻布2丁目26番30号
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100090468
 弁理士 佐久間 剛
 (72) 発明者 入澤 覚
 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
 富士フイルム株式会社内
 (72) 発明者 広田 和弘
 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
 富士フイルム株式会社内

最終頁に続く

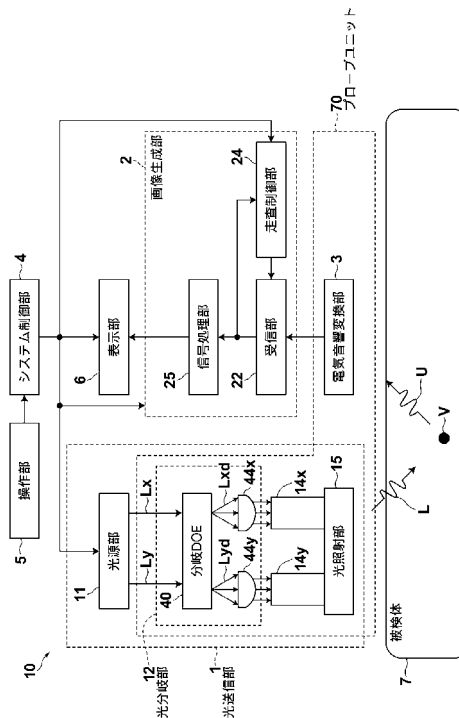
(54) 【発明の名称】 光音響撮像装置、それに用いられるプローブユニットおよび光音響撮像装置の作動方法

(57) 【要約】

【課題】複数の光ファイバを用いてレーザ光を導光して実施する光音響イメージングにおいて、複数の分岐光と複数の光ファイバとの位置合わせを容易にすることを可能とする。

【解決手段】光音響撮像装置において、異なる位置に入射した2本のレーザ光LxおよびLyのうち一方および他方を分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光Lxdおよび第2の複数の分岐光Lydとして分岐せしめる1つの分岐DOE40を有する光分岐部12と、一方の端面13eが分岐パターンに対応して配列した第1の複数の光ファイバ13xを包含する第1のバンドルファイバ14xと、一方の端面14eが分岐パターンに対応して配列した第2の複数の光ファイバ13yを包含する第2のバンドルファイバ14yとを備え、第1の複数の分岐光Lxdを第1の複数の光ファイバ13xにより導光し、第2の複数の分岐光Lydを第2の複数の光ファイバ13yにより導光する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検体内に測定光を照射する光照射部と、前記測定光の照射により前記被検体内で発生した光音響波を検出して該光音響波を電気信号に変換する電気音響変換部と、前記電気信号に基づいて光音響画像を生成する画像生成部とを備える光音響撮像装置において、

光学系の上流側から異なる位置に入射した 2 本のレーザ光のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第 1 の複数の分岐光および第 2 の複数の分岐光として分岐せしめる 1 つの分岐回折光学素子を有する光分岐部と、

コア/クラッド構造を有する第 1 の複数の光ファイバを包含する第 1 のバンドルファイバであって、該第 1 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 1 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 1 のバンドルファイバと、

コア/クラッド構造を有する第 2 の複数の光ファイバを包含する第 2 のバンドルファイバであって、該第 2 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 2 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 2 のバンドルファイバとを備え、

前記第 1 のバンドルファイバが、前記第 1 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 1 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 1 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめ、かつ前記第 1 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 1 の複数の分岐光を前記第 1 のバンドルファイバの他方の端面において接続された前記光照射部に導光するように配置されたものであり、

前記第 2 のバンドルファイバが、前記第 2 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 2 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 2 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめ、かつ前記第 2 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 2 の複数の分岐光を前記第 2 のバンドルファイバの他方の端面において接続された前記光照射部に導光するように配置されたものであり、

前記光照射部が前記第 1 の複数の分岐光および前記第 2 の複数の分岐光を前記測定光として照射するものであることを特徴とする光音響撮像装置。

【請求項 2】

前記第 1 のバンドルファイバの前記一方の端面と前記光分岐部との位置関係、および前記第 2 のバンドルファイバの前記一方の端面と前記光分岐部との位置関係を調整する位置調整部を備えたことを特徴とする請求項 1 に記載の光音響撮像装置。

【請求項 3】

前記光分岐部が、前記分岐回折光学素子の光学系の下流側に第 1 の集光レンズ系および第 2 の集光レンズ系を有し、

前記第 1 の集光レンズ系が、該第 1 の集光レンズ系の焦点が前記分岐回折光学素子における前記一方のレーザ光の入射位置に対応するように配置されたものであり、

前記第 2 の集光レンズ系が、該第 2 の集光レンズ系の焦点が前記分岐回折光学素子における前記他方のレーザ光の入射位置に対応するように配置されたものであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光音響撮像装置。

【請求項 4】

前記光分岐部が、前記第 1 の集光レンズ系の光軸方向における位置および前記第 2 の集光レンズ系の光軸方向における位置を調整するレンズ位置調整部を有することを特徴とする請求項 3 に記載の光音響撮像装置。

【請求項 5】

前記光分岐部が、前記分岐回折光学素子の光学系の上流側に前記 2 本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、ホモジナイザ光学素子を有することを特徴とする請求項 1 から 4 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 6】

前記光分岐部が、前記分岐回折光学素子の光学系の下流側に前記 2 本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、ホログラフィック拡散板を有することを特徴とする請求項 1 から

10

20

30

40

50

5 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 7】

前記光分岐部が、前記分岐回折光学素子の光学系の上流側に前記 2 本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、可変ビームエキスパンダを有することを特徴とする請求項 1 から 6 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 8】

前記分岐パターンが六方形構造を有し、

前記第 1 の複数の光ファイバおよび前記第 2 の複数の光ファイバのそれぞれの前記一方の端面が最密充填構造で配列したものであることを特徴とする請求項 1 から 7 に記載の光音響撮像装置。

【請求項 9】

前記第 1 のバンドルファイバの前記一方の端面が、該端面における前記第 1 の複数の光ファイバの前記コアが露出するように該端面上に第 1 の反射マスクを有し、

前記第 2 のバンドルファイバの前記一方の端面が、該端面における前記第 2 の複数の光ファイバの前記コアが露出するように該端面上に第 2 の反射マスクを有することを特徴とする請求項 1 から 8 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 10】

前記光照射部が前記第 1 の複数の光ファイバの他方の端面および前記第 2 の複数の光ファイバの他方の端面であり、

該他方の端面が間隔を置いてライン状に配列されたものであることを特徴とする請求項 1 から 9 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 11】

前記光照射部が先太りの形状を有する導光板であり、

前記第 1 のバンドルファイバの前記他方の端面および前記第 2 のバンドルファイバの前記他方の端面が、着脱可能な状態で前記導光板の短辺側の端面に接続されたものであることを特徴とする請求項 1 から 9 いずれかに記載の光音響撮像装置。

【請求項 12】

被検体内に測定光を照射し、該測定光の照射により前記被検体内で発生した光音響波を検出して該光音響波を電気信号に変換し、該電気信号に基づいて光音響画像を生成する光音響撮像装置に用いられるプローブユニットにおいて、

被検体内に測定光を照射する光照射部と、

前記測定光の照射により前記被検体内で発生した光音響波を検出して該光音響波を電気信号に変換する電気音響変換部と、

光学系の上流側から異なる位置に入射した 2 本のレーザ光のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第 1 の複数の分岐光および第 2 の複数の分岐光として分岐せしめる 1 つの分岐回折光学素子を有する光分岐部と、

コア/クラッド構造を有する第 1 の複数の光ファイバを包含する第 1 のバンドルファイバであって、該第 1 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 1 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 1 のバンドルファイバと、

コア/クラッド構造を有する第 2 の複数の光ファイバを包含する第 2 のバンドルファイバであって、該第 2 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 2 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 2 のバンドルファイバとを備え、

前記第 1 のバンドルファイバが、前記第 1 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 1 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 1 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめ、かつ前記第 1 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 1 の複数の分岐光を前記第 1 のバンドルファイバの他方の端面において接続された前記光照射部に導光するように配置されたものであり、

前記第 2 のバンドルファイバが、前記第 2 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 2 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 2 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射

10

20

30

40

50

せしめ、かつ前記第 2 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 2 の複数の分岐光を前記第 2 のバンドルファイバの他方の端面において接続された前記光照射部に導光するように配置されたものであり、

前記光照射部が前記第 1 の複数の分岐光および前記第 2 の複数の分岐光を前記測定光として照射するものであることを特徴とするプローブユニット。

【請求項 13】

被検体内に測定光を照射し、該測定光の照射により前記被検体内で発生した光音響波を検出して該光音響波を電気信号に変換し、該電気信号に基づいて光音響画像を生成する光音響撮像装置の作動方法において、

光学系の上流側から分岐回折光学素子上の異なる位置に入射した 2 本のレーザ光のうち一方および他方を、前記分岐回折光学素子により規定される所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第 1 の複数の分岐光および第 2 の複数の分岐光として分岐せしめ、

コア/クラッド構造を有する第 1 の複数の光ファイバを包含する第 1 のバンドルファイバであって、該第 1 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 1 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 1 のバンドルファイバと、

コア/クラッド構造を有する第 2 の複数の光ファイバを包含する第 2 のバンドルファイバであって、該第 2 のバンドルファイバの一方の端面における前記第 2 の複数の光ファイバの一方の端面が前記分岐パターンに対応して配列した前記第 2 のバンドルファイバとを用い、

前記第 1 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 1 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 1 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめ、

前記第 1 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 1 の複数の分岐光を前記光照射部に導光し、

前記第 2 の複数の分岐光のそれぞれを前記第 2 の複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記第 2 のバンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめ、

前記第 2 の複数の光ファイバの前記コアに入射した前記第 2 の複数の分岐光を前記光照射部に導光し、

前記光照射部に導光された前記第 1 の複数の分岐光および前記第 2 の複数の分岐光を前記測定光として照射することを特徴とする光音響撮像装置の作動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光が被検体に照射されることにより被検体内で発生した光音響波を検出して光音響画像を生成する光音響撮像装置、それに用いられるプローブユニットおよび光音響撮像装置の作動方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、被検体の内部の断層画像を取得する方法としては、超音波が被検体内に照射されることにより被検体内で反射した超音波を検出して超音波画像を生成し、被検体内の形態的な断層画像を得る超音波イメージングが知られている。一方、被検体の検査においては形態的な断層画像だけでなく機能的な断層画像を表示する装置の開発も近年進められている。そして、このような装置の一つに光音響分析法を利用した装置がある。この光音響分析法は、所定の波長を有する光（例えば、可視光、近赤外光又は中間赤外光）を被検体に照射し、被検体内の特定物質がこの光のエネルギーを吸収した結果生じる弾性波である光音響波を検出して、その特定物質の濃度を定量的に計測するものである。被検体内の特定物質とは、例えば血液に含まれるグルコースやヘモグロビンなどである。このように光音響波を検出しその検出信号に基づいて光音響画像を生成する技術は、光音響イメージング（PAI：Photoacoustic Imaging）或いは光音響トモグラフィーと呼ばれる。

【0003】

従来、上記のような光音響効果を利用した光音響イメージングにおいて、次のような課

題がある。被検体に照射された光の強度は、被検体内を伝播する過程で吸収や散乱によって著しく減衰する。また、照射された光に基づいて被検体内で発生した光音響波の強度も、被検体内を伝播する過程で吸収や散乱によって減衰する。したがって、光音響イメージングでは、被検体の深部の情報を得ることが難しい。この課題を解決するため、例えば被検体内に照射される光のエネルギー量を増やすことにより、発生する光音響波を大きくすることが考えられる。

【0004】

しかし、光音響イメージングにおいて必要とされる高エネルギー（1 mJ以上）のパルスレーザ光を単一の光ファイバによって導光することは困難である。その光ファイバの端面が破壊されてしまう可能性が高いためである。そのため、パルスレーザ光を複数の光ファイバで分岐せしめて導光することができれば好ましい。

10

【0005】

また、光音響イメージングを利用した光音響撮像装置では、光学系と超音波検出用のプローブとが一体的に組み合わされたプローブユニットが使用される。したがって、使用者のハンドリング性能の観点から、プローブユニットのコード部分は可撓性が求められる。

【0006】

そこで、例えば特許文献1に、コアおよびクラッドを有する構造（コア/クラッド構造）の細い石英光ファイバを多数本束ねたバンドルファイバを用いて、パルスレーザ光をプローブユニット先端まで導光する方法が開示されている。ただし、パルスレーザ光をバンドルファイバ中の光ファイバそれぞれへ入射せしめる具体的な方法は開示されていない。

20

【0007】

一方、複数の光ファイバに入射せしめるための複数の分岐光を生成する方法として、例えば特許文献2に、 $n - 1$ 個のビームスプリッタを用いて1本のレーザ光を n 分岐せしめる方法、および回折光学素子（DOE：Diffractive Optical Elements）を用いて1本のレーザ光を複数本に分岐せしめる方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2010 - 12295号公報

【特許文献2】特開2005 - 308967号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献2における前者の方法では、多数本（例えば16本以上）のレーザ光を得るためには、多数個（例えば15個以上）のビームスプリッタが必要であり、光学系の配置が複雑となる、装置が大型化してしまうといった問題があり、さらに、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとを別個に位置合わせしなければならないといった問題がある。一方、特許文献2における後者の方法では、回折光学素子を用いて一括してレーザ光を分岐せしめることが可能であるものの、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとを別個に位置合わせしなければならない点に変わりはない。複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとを別個に位置合わせする作業は、非常に煩雑である。

40

【0010】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、複数の光ファイバを用いてレーザ光を導光して実施する光音響イメージングにおいて、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせを容易にすることを可能とする光音響撮像装置、それに用いられるプローブユニットおよび光音響撮像装置の作動方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

50

被検体内に測定光を照射する光照射部と、測定光の照射により被検体内で発生した光音響波を検出してこの光音響波を電気信号に変換する電気音響変換部と、電気信号に基づいて光音響画像を生成する画像生成部とを備える光音響撮像装置において、

光学系の上流側から異なる位置に入射した2本のレーザ光のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光として分岐せしめる1つの分岐回折光学素子を有する光分岐部と、

コア/クラッド構造を有する第1の複数の光ファイバを包含する第1のバンドルファイバであって、第1のバンドルファイバの一方の端面における第1の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第1のバンドルファイバと、

コア/クラッド構造を有する第2の複数の光ファイバを包含する第2のバンドルファイバであって、第2のバンドルファイバの一方の端面における第2の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第2のバンドルファイバとを備え、

第1のバンドルファイバが、第1の複数の分岐光のそれぞれを第1の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第1の複数の光ファイバの上記コアに入射した第1の複数の分岐光を第1のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであり、

第2のバンドルファイバが、第2の複数の分岐光のそれぞれを第2の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第2の複数の光ファイバの上記コアに入射した第2の複数の分岐光を第2のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであり、

光照射部が第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光を測定光として照射するものであることを特徴とするものである。

【0012】

本明細書において、「分岐パターン」とは、分岐回折光学素子によって分岐したレーザ光（分岐光）についての、分岐前のレーザ光の進行方向に垂直なある仮想平面上の輝点のパターンを意味する。なお、このような分岐パターンは、分岐したレーザ光が拡がり角を有するため、上記仮想平面をどの位置に取るかによってパターンのスケールが異なってくる。そこで、一般にこのようなスケールの情報を含むパターン（後述の配列パターンを含む）からそのスケールの情報を取り除いて規格化（例えば最も離れた2点間の長さを1とする）したパターンをそのパターンの「標準パターン」という。

【0013】

複数の光ファイバの一方の端面が「分岐パターンに対応して配列した」とは、当該端面の配列パターンの標準パターンと上記分岐パターンの標準パターンとが実質的に一致するように、複数の当該端面が同一平面内で配列することを意味する。端面の「配列パターン」とは、複数の光ファイバの一方の端面に関するそれぞれの代表点（例えば端面の中心）の配列のパターンを意味する。2つのパターンが「実質的に一致する」とは、これらのパターンが異なっていたとしても、複数の分岐光のそれぞれが複数の光ファイバのコアのそれぞれに入射することができる範囲であれば、一致しているとして取り扱うことを意味する。

【0014】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、第1のバンドルファイバの上記一方の端面と光分岐部との位置関係、および第2のバンドルファイバの上記一方の端面と光分岐部との位置関係を調整する位置調整部を備えたことが好ましい。

【0015】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光分岐部は、分岐回折光学素子の光学系の下流側に第1の集光レンズ系および第2の集光レンズ系を有し、

第1の集光レンズ系は、第1の集光レンズ系の焦点が分岐回折光学素子における上記一方のレーザ光の入射位置に対応するように配置されたものであり、

第2の集光レンズ系は、第2の集光レンズ系の焦点が分岐回折光学素子における上記他方のレーザ光の入射位置に対応するように配置されたものであることが好ましい。

【0016】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光分岐部は、第1の集光レンズ系の光軸方向における位置および第2の集光レンズ系の光軸方向における位置を調整するレンズ位置調整部を有することが好ましい。

【0017】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光分岐部は、分岐回折光学素子の光学系の上流側に2本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、ホモジナイザ光学素子を有することが好ましい。

【0018】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光分岐部は、分岐回折光学素子の光学系の下流側に2本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、ホログラフィック拡散板を有することが好ましい。

10

【0019】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光分岐部は、分岐回折光学素子の光学系の上流側に2本のレーザ光の光路のそれぞれに対応して、可変ビームエキスパンダを有することが好ましい。

【0020】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、分岐パターンが六方形構造を有し、第1の複数の光ファイバおよび第2の複数の光ファイバのそれぞれの上記一方の端面が最密充填構造で配列したものであることが好ましい。

20

【0021】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、第1のバンドルファイバの上記一方の端面は、この端面における第1の複数の光ファイバのコアが露出するようにこの端面上に第1の反射マスクを有し、

第2のバンドルファイバの上記一方の端面は、この端面における第2の複数の光ファイバのコアが露出するようにこの端面上に第2の反射マスクを有することが好ましい。

【0022】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、照射部が第1の複数の光ファイバの他方の端面および第2の複数の光ファイバの他方の端面であり、

この他方の端面が間隔を置いてライン状に配列されたものであることが好ましい。

30

【0023】

そして、本発明に係る光音響撮像装置において、照射部が先太りの形状を有する導光板であり、

第1のバンドルファイバの上記他方の端面および第2のバンドルファイバの上記他方の端面が、着脱可能な状態で導光板の短辺側の端面に接続されたものであることが好ましい。

【0024】

さらに、本発明に係るプローブユニットは、

被検体内に測定光を照射し、測定光の照射により被検体内で発生した光音響波を検出して光音響波を電気信号に変換し、電気信号に基づいて光音響画像を生成する光音響撮像装置に用いられるプローブユニットにおいて、

40

被検体内に測定光を照射する照射部と、

測定光の照射により被検体内で発生した光音響波を検出して光音響波を電気信号に変換する電気音響変換部と、

光学系の上流側から異なる位置に入射した2本のレーザ光のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光として分岐せしめる1つの分岐回折光学素子を有する光分岐部と、

コア/クラッド構造を有する第1の複数の光ファイバを包含する第1のバンドルファイバであって、第1のバンドルファイバの一方の端面における第1の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第1のバンドルファイバと、

50

コア/クラッド構造を有する第2の複数の光ファイバを包含する第2のバンドルファイバであって、第2のバンドルファイバの一方の端面における第2の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第2のバンドルファイバとを備え、

第1のバンドルファイバが、第1の複数の分岐光のそれぞれを第1の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第1の複数の光ファイバのコアに入射した第1の複数の分岐光を第1のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであり、

第2のバンドルファイバが、第2の複数の分岐光のそれぞれを第2の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第2の複数の光ファイバのコアに入射した第2の複数の分岐光を第2のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであり、

光照射部が第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光を測定光として照射するものであることを特徴とするものである。

【0025】

さらに、本発明に係る光音響撮像装置の作動方法は、

被検体内に測定光を照射し、測定光の照射により被検体内で発生した光音響波を検出して光音響波を電気信号に変換し、電気信号に基づいて光音響画像を生成する光音響撮像装置の作動方法において、

光学系の上流側から分岐回折光学素子上の異なる位置に入射した2本のレーザ光のうち一方および他方を、分岐回折光学素子により規定される所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光として分岐せしめ、

コア/クラッド構造を有する第1の複数の光ファイバを包含する第1のバンドルファイバであって、第1のバンドルファイバの一方の端面における第1の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第1のバンドルファイバと、

コア/クラッド構造を有する第2の複数の光ファイバを包含する第2のバンドルファイバであって、第2のバンドルファイバの一方の端面における第2の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第2のバンドルファイバとを用い、

第1の複数の分岐光のそれぞれを第1の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、

第1の複数の光ファイバのコアに入射した第1の複数の分岐光を光照射部に導光し、

第2の複数の分岐光のそれぞれを第2の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、

第2の複数の光ファイバのコアに入射した第2の複数の分岐光を光照射部に導光し、

光照射部に導光された第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光を測定光として照射することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0026】

本発明に係る光音響撮像装置およびプローブユニットは、特に、光学系の上流側から異なる位置に入射した2本のレーザ光のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光として分岐せしめる1つの分岐回折光学素子を有する光分岐部と、コア/クラッド構造を有する第1の複数の光ファイバを包含する第1のバンドルファイバであって、第1のバンドルファイバの一方の端面における第1の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第1のバンドルファイバと、コア/クラッド構造を有する第2の複数の光ファイバを包含する第2のバンドルファイバであって、第2のバンドルファイバの一方の端面における第2の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第2のバンドルファイバとを備え、第1のバンドルファイバが、第1の複数の分岐光のそれぞれを第1の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第1の複数の光ファイバの上記コアに入射した第1の複数の分岐光を第1のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであり、第

2のバンドルファイバが、第2の複数の分岐光のそれぞれを第2の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、かつ第2の複数の光ファイバの上記コアに入射した第2の複数の分岐光を第2のバンドルファイバの他方の端面において接続された光照射部に導光するように配置されたものであることを特徴とする。したがって、複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバを用いることにより、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせを一括して行うことができる。この結果、複数の光ファイバを用いてレーザ光を導光して実施する光音響イメージングにおいて、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせが容易となる。

【0027】

また、本発明に係る光音響撮像装置の作動方法は、特に、光学系の上流側から分岐回折光学素子上の異なる位置に入射した2本のレーザ光のうち一方および他方を、分岐回折光学素子により規定される所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光として分岐せしめ、コア/クラッド構造を有する第1の複数の光ファイバを包含する第1のバンドルファイバであって、第1のバンドルファイバの一方の端面における第1の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第1のバンドルファイバと、コア/クラッド構造を有する第2の複数の光ファイバを包含する第2のバンドルファイバであって、第2のバンドルファイバの一方の端面における第2の複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列した第2のバンドルファイバとを用い、第1の複数の分岐光のそれぞれを第1の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめ、第2の複数の分岐光のそれぞれを第2の複数の光ファイバのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバの上記一方の端面から入射せしめるよう作動させている。したがって、複数の光ファイバの一方の端面が分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバを用いることにより、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせを一括して行うことができる。この結果、複数の光ファイバを用いてレーザ光を導光して実施する光音響イメージングにおいて、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせが容易となる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】本発明の光音響撮像装置の一実施形態の構成を示す概略図である。

【図2】図1における画像生成部の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の光分岐部およびバンドルファイバの一実施形態の構成を示す概略断面図である。

【図4】バンドルファイバの入射端面における複数の光ファイバの端面の配列の例を示す概略図である。

【図5】複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能とする光学系の構成の例を示す概略断面図である。

【図6】バンドルファイバの入射端面に設けられた反射マスクを示す概略図である。

【図7】図3において光分岐部が、さらに光分岐部とバンドルファイバとの位置関係を調整する位置調整部を備えたときの構成を示す概略断面図である。

【図8】図3において光分岐部が、さらにホモジナイザ光学素子を備えたときの構成を示す概略断面図である。

【図9】図3において光分岐部が、さらにホログラフィック拡散板を備えたときの構成を示す概略断面図である。

【図10】図3において光分岐部が、さらに可変ビームエキスパンダを備えたときの構成を示す概略断面図である。

【図11】光分岐部に2本のレーザ光を入射するための構成例を示す概略断面図である。

【図12】光分岐部に2本のレーザ光を入射するための他の構成例を示す概略断面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 3】本発明のプロブユニットの先端部の構成を示す概略図である。

【図 1 4】本発明のプロブユニットの先端部の他の構成を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、本発明の実施形態について図面を用いて説明するが、本発明はこれに限られるものではない。なお、視認しやすくするため、図面中の各構成要素の縮尺等は実際のものとは適宜異ならせてある。

【0030】

「光音響撮像装置、プロブユニットおよび光音響撮像装置の作動方法の実施形態」

本発明の光音響撮像装置 10 の実施形態について説明する。図 1 は、本実施形態における光音響撮像装置 10 全体の構成を示す概略図である。図 2 は、図 1 の画像生成部 2 の構成を示すブロック図である。図 3 は、本発明の光分岐部 1 2 およびバンドルファイバ 1 4 の一実施形態の構成を示す概略断面図である。

10

【0031】

本実施形態による光音響撮像装置 10 は、特定波長成分を含む測定光 L を発生させこの測定光 L を被検体 7 に照射する光送信部 1 と、この測定光 L が被検体 7 に照射されることにより被検体 7 内で発生する光音響波 U を検出して任意断面の光音響画像データを生成する画像生成部 2 と、音響信号と電気信号の変換を行う電気音響変換部 3 と、この光音響画像データ表示する表示部 6 と、操作者が患者情報や装置の撮影条件を入力するための操作部 5 と、これら各ユニットを統括的に制御するシステム制御部 4 とを備えている。

20

【0032】

そして、本実施形態のプロブユニット 70 は、電気音響変換部 3、光分岐部 1 2、バンドルファイバ 1 4 x および 1 4 y、並びに光照射部 1 5 を備えている。

【0033】

そして、本発明の光音響撮像装置の作動方法は、被検体 7 内に測定光 L を照射し、測定光 L の照射により被検体 7 内で発生した光音響波 U を検出して光音響波 U を電気信号に変換し、電気信号に基づいて光音響画像を生成する光音響撮像装置 10 の作動方法において、光学系の上流側から分岐回折光学素子 40 上の異なる位置に入射した 2 本のレーザ光 L x および L y のうち一方および他方を、分岐回折光学素子 40 により規定される所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第 1 の複数の分岐光 L x d および第 2 の複数の分岐光 L y d として分岐せしめ、コア/クラッド構造を有する第 1 の複数の光ファイバ 1 3 x を包含する第 1 のバンドルファイバ 1 4 x であって、第 1 のバンドルファイバ 1 4 x の一方の端面 1 4 e における第 1 の複数の光ファイバ 1 3 x の一方の端面 1 3 e が分岐パターンに対応して配列した第 1 のバンドルファイバ 1 4 x と、コア/クラッド構造を有する第 2 の複数の光ファイバ 1 3 y を包含する第 2 のバンドルファイバ 1 4 y であって、第 2 のバンドルファイバ 1 4 y の一方の端面 1 4 e における第 2 の複数の光ファイバ 1 3 y の一方の端面 1 3 e が分岐パターンに対応して配列した第 2 のバンドルファイバ 1 4 y とを用い、第 1 の複数の分岐光 L x d のそれぞれを第 1 の複数の光ファイバ 1 3 x のコアのそれぞれに第 1 のバンドルファイバ 1 4 x の上記一方の端面 1 4 e から入射せしめ、第 1 の複数の光ファイバ 1 3 x のコアに入射した第 1 の複数の分岐光 L x d を光照射部 1 5 に導光し、第 2 の複数の分岐光 L y d のそれぞれを第 2 の複数の光ファイバ 1 3 y のコアのそれぞれに第 2 のバンドルファイバ 1 4 y の上記一方の端面 1 4 e から入射せしめ、第 2 の複数の光ファイバ 1 3 y のコアに入射した第 2 の複数の分岐光 L y d を光照射部 1 5 に導光し、光照射部 1 5 に導光された第 1 の複数の分岐光 L x d および第 2 の複数の分岐光 L y d を測定光 L として照射する上記光音響撮像装置 10 を作動させるものである。

30

40

【0034】

光送信部 1 は、波長の異なる複数の光源を備える光源部 1 1 と、光源部 1 1 から出力されたレーザ光 L o を複数の分岐光 L d として分岐する光分岐部 1 2 と、複数の分岐光 L d を光照射部 1 5 まで導光するバンドルファイバ 1 4 と、測定光 L を被検体 7 の体表面へ照射する光照射部 1 5 とを備えている。

50

【 0 0 3 5 】

光源部 1 1 は、例えば所定の波長の光を発生する 1 以上の光源を有する。光源として、特定の波長成分又はその成分を含む単色光を発生する半導体レーザ (L D)、固体レーザ、ガスレーザ等の発光素子を用いることができる。なお、分岐回折光学素子 4 0 上の異なる位置に入射する 2 本のレーザ光 L_x および L_y は、同じ波長でも異なる波長でもよい。光源部 1 1 は、レーザ光として 1 ~ 1 0 0 n s e c のパルス幅を有するパルス光を出力するものであることが好ましい。レーザ光の波長は、計測の対象となる被検体内の物質の光吸収特性によって適宜決定される。生体内のヘモグロビンは、その状態 (酸化ヘモグロビン、還元ヘモグロビン、メトヘモグロビン、炭酸ガスヘモグロビン、等) により光学的な吸収特性が異なるが、一般的には 6 0 0 n m から 1 0 0 0 n m の光を吸収する。したがって、例えば計測対象が生体内のヘモグロビンである場合 (つまり、血管を撮像する場合) には、一般的には 6 0 0 ~ 1 0 0 0 n m 程度とすることが好ましい。さらに、被検体 7 の深部まで届くという観点から、上記レーザ光の波長は 7 0 0 ~ 1 0 0 0 n m であることが好ましい。そして、上記レーザ光の出力は、レーザ光と光音響波の伝搬ロス、光音響変換の効率および現状の検出器の検出感度等の観点から、 $1 0 \mu J / c m ^ 2$ ~ 数 $1 0 m J / c m ^ 2$ であることが好ましい。さらに、パルス光出力の繰り返しは、画像構築速度の観点から、1 0 H z 以上であることが好ましい。また、レーザ光は上記パルス光が複数並んだパルス列とすることもできる。

10

【 0 0 3 6 】

より具体的には例えば、被検体 7 のヘモグロビン濃度を測定する場合には、固体レーザの一種である N d : Y A G レーザ (発光波長 : 約 1 0 0 0 n m) や、ガスレーザの一種である H e - N e ガスレーザ (発光波長 : 6 3 3 n m) を用い、1 0 n s e c 程度のパルス幅を有したレーザ光を形成する。また、L D 等の小型発光素子を用いる場合には、I n G a A l P (発光波長 : 5 5 0 ~ 6 5 0 n m)、G a A l A s (発光波長 : 6 5 0 ~ 9 0 0 n m)、I n G a A s もしくは I n G a A s P (発光波長 : 9 0 0 ~ 2 3 0 0 n m) などの材料を用いた素子を使用することができる。また最近では、波長が 5 5 0 n m 以下で発光する I n G a N を用いた発光素子も使用可能になりつつある。更には、波長可変可能な非線形光学結晶を用いた O P O (Optical Parametrical Oscillators) レーザを用いることもできる。

20

【 0 0 3 7 】

光分岐部 1 2 は、分岐回折光学素子 4 0 (分岐 D O E) を用いて光源部 1 1 から出力された 2 本のレーザ光 L_x および L_y をそれぞれ分岐せしめるものである。本明細書において分岐 D O E とは、光の回折現象を利用して互いに異なる進行方向を有する複数の分岐光を生じせしめる光学素子を意味する。分岐本数は特に限定されないが、効果的にレーザ光のエネルギーを分散させる観点から、1 6 本以上に分岐せしめることが好ましい。本実施形態において、光分岐部 1 2 は、分岐 D O E 4 0 および集光レンズ系 4 4 x および 4 4 y から構成される。分岐 D O E 4 0 の表面 (レーザ入射側から見て裏面) のレーザ光が出射する 2 か所には所定の加工がそれぞれ施されており、この加工の内容により所定の分岐パターンが規定される。分岐パターンは特に限定されるものではないが、集光レンズ系での収差の低減の観点から、正方形構造または六方形構造であることが好ましく、六方形構造であることがより好ましい。

30

40

【 0 0 3 8 】

集光レンズ系 4 4 x は、分岐 D O E 4 0 により生成された複数の分岐光 $L_x d$ がバンドルファイバ 1 4 x に入射しやすくするため、および複数の分岐光 $L_x d$ のそれぞれとバンドルファイバ 1 4 x との位置合わせを容易にするため、複数の分岐光 $L_x d$ を平行化するものである。集光レンズ系 4 4 x は、その焦点が分岐 D O E 4 0 上におけるレーザ光 L_x の入射位置に対応するように配置されている。集光レンズ系の焦点が分岐 D O E におけるレーザ光の「入射位置に対応する」とは、集光レンズ系の焦点が、分岐 D O E の所定の部分であってレーザ光が入射してから分岐光として出射するまでに当該光が通過しうる部分に含まれることを意味する。そして、特に出射面のビーム中心に集光レンズ系の焦点を合

50

わせることが一般的である。また、光分岐部 1 2 が集光レンズ系 4 4 x を有する場合、光分岐部は 1 2、集光レンズ系 4 4 x の微調整を可能にするため、集光レンズ系 4 4 x をその光軸方向に移動せしめるレンズ位置調整部を有することが好ましい。集光レンズ系 4 4 x は、1 つの集光レンズから構成されるものであってもよいし、2 以上の集光レンズから構成される結合系レンズとすることもできる。なお、集光レンズ系 4 4 y についても、分岐 D O E 4 0 およびバンドルファイバ 1 4 y との関係で、上記集光レンズ系 4 4 x の説明と同様である。また、レーザ光 L x およびレーザ光 L y の波長が異なる場合には、同じ分岐 D O E 4 0 を使用していても分岐パターンのスケールが異なってくるため、適宜集光レンズ系の位置を調整する必要がある。なお、集光レンズ系 4 4 x は、集光レンズ系 4 4 x の前側焦点を分岐 D O E 4 0 の分岐光出射位置に、後側焦点面をバンドルファイバ 1 4 x の端面 1 4 e に合わせて配置することが好ましい。

10

【 0 0 3 9 】

バンドルファイバ 1 4 x および 1 4 y は、光分岐部 1 2 によって分岐したレーザ光 L x および L y を照射部 1 5 にそれぞれ導光するものである。なお、バンドルファイバ 1 4 y については、集光レンズ系 4 4 y と複数の分岐光 L y d との関係で、バンドルファイバ 1 4 x と同様であるため、以下は代表してバンドルファイバ 1 4 x について説明を行う。バンドルファイバ 1 4 x は、コア 1 3 a およびクラッド 1 3 b を有する複数の光ファイバ 1 3 x を包含している。光ファイバ 1 3 x は、特に限定されないが石英ファイバであることが好ましい。複数の光ファイバ 1 3 x は、複数の分岐光 L x d を効率よく導光する観点から、分岐 D O E 4 0 により規定される所定の分岐パターンに対応して配列している。バンドルファイバ 1 4 x の入射端面 1 4 e における複数の光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列パターンは、バンドルファイバ 1 4 x 中での配列のしやすさ、および集光レンズ系 4 4 x での収差の低減の観点から、正方形構造または六方形構造であることが好ましく、六方形構造であることがより好ましい。そして、複数の光ファイバ 1 3 x の当該端面 1 3 e は最密充填構造で配列することが特に好ましい。これは以下に示す理由による。図 4 は、バンドルファイバ 1 4 x の入射端面 1 4 e における複数の光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列の例を示す概念図である。図 4 a は 6 4 本の光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列が正方形構造を有する場合、および図 4 b は 6 1 本の光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列が最密充填構造を有する場合を示す。このように、同程度の本数の光ファイバ 1 3 x が正方形構造で配列した場合と最密充填構造で配列した場合とを考える。このとき、配列パターンの中心から最も離れた光ファイバの端面までの距離（図 4 中のそれぞれ W 1 および W 2 ）を互いに比較すると、最密充填構造の上記距離 W 2 の方が、正方形構造の上記距離 W 1 よりも短くなることが分かる。上記距離が長くなると、これに伴い分岐光の拡がり角も大きくなるよう設定されるため、集光レンズ系の収差が増大する。この結果、複数の分岐光 L x d のそれぞれと複数の光ファイバ 1 3 x のそれぞれとの位置合わせの精度が低下する。したがって、バンドルファイバ 1 4 x の入射端面 1 4 e における複数の光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列は、最密充填構造であることが特に好ましい。

20

30

【 0 0 4 0 】

また、上記観点とは別に、バンドルファイバ 1 4 x 中の複数の光ファイバ 1 3 x の配列精度を高めることが特に重要な場合には、V 溝基板を用いてラインごとに分割して配列してもよい。精度良く V 溝加工されたガラスや金属面を基準にして各ラインを配置することで、複数の光ファイバ 1 3 x の配列精度をより高めることができる。このような場合、複数の光ファイバ 1 3 x のライン配列に合わせて分岐 D O E 4 0 が設計される。

40

【 0 0 4 1 】

複数の分岐光 L x d のそれぞれを複数の光ファイバ 1 3 x のコア 1 3 a のそれぞれに実際に入射せしめるときは、分岐光 L x d の分岐パターンと光ファイバ 1 3 x の端面 1 3 e の配列パターンとを実質的に一致させることが必要である。つまり、分岐パターンおよび配列パターンのそれぞれの標準パターンのみではなく、スケールも含めたこれらのパターンを実質的に一致させることが必要である。そこで、集光レンズ系を下記のような構成にすることにより、これらのパターンを実質的に一致させるための調整を行えるように光学

50

系が設定されることが好ましい。

【0042】

図5は、複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能とする光学系の構成の例を示す概略断面図である。分岐DOE90から生じる複数の分岐光Ldの焦点面上でのパターン間隔y（焦点を通り光軸に垂直な仮想平面上での隣接する輝点同士の間隔）は、分岐DOE90およびバンドルファイバ94の間にある集光レンズ系の焦点距離に比例する性質がある。例えば図5に示されるように、分岐DOE90およびバンドルファイバ94の間にある集光レンズ系が、集光レンズ91と集光レンズ92とから構成される結合系レンズである場合を考える。集光レンズ91の焦点距離が f_2 であり、集光レンズ92の焦点距離が f_1 であり、集光レンズ91および集光レンズ92の距離がdであるとする、当該結合系レンズの合成焦点距離fは、 $f = f_1 \cdot f_2 / (f_1 + f_2 - d)$ で与えられる。さらに、基準面Pから集光レンズ91の第2主面H₂”までの距離s”は、 $s'' = f_2 (f_1 - d) / (f_1 + f_2 - d)$ で与えられる。なお、詳細には、距離dは集光レンズ91の第1主面H₂から集光レンズ92の第2主面H₁”までの距離を意味し、基準面Pは分岐DOE90のレンズ側の表面、つまり複数の分岐光の出射面を意味する。また、当該結合系レンズの合成焦点距離fは基準面Pから当該結合系レンズの第1主面Hまでの距離を意味する。

10

【0043】

上記式より、距離dが変化すると、合成焦点距離fおよび距離s”も変化することがわかる。つまり、距離dをレンズ位置調整部91aおよび/または92aによって光軸方向に移動させて調整することにより、その結合系レンズの合成焦点距離fを調整することができる。この結果、複数の分岐光Ldの焦点面上でのパターン間隔y、つまり分岐パターンのスケールを調整することが可能となる。その他の結合系レンズについても、合成焦点距離を調整することにより分岐パターンのスケールを調整することができる。合成焦点距離は、結合系レンズを構成する要素によって異なるものであるが、合成焦点距離を求めることは既知の方法により当業者にとって容易である。なお、結合系レンズについても、結合系レンズの前側合成焦点を分岐DOE90の分岐光出射位置（基準面P）に、後側合成焦点をバンドルファイバ94の端面に合わせて配置することが好ましい。

20

【0044】

バンドルファイバ14xにおいて、バンドルファイバ14xの上記一方の端面14eは、図6に示されるように、この端面14eにおけるコア13aが露出するようにこの端面14e上に反射マスクMを有することが好ましい。バンドルファイバ14xは通常、複数の光ファイバ13xの互いの間隙を接着剤で固定することにより製造される。しかしながら、接着剤は石英等の光ファイバの素材に比べレーザー光に対する耐久性が低い。そこで、上記のような反射マスクMによって、複数の分岐光Lx dがそれぞれ入射するコア13aの領域を除いた領域にレーザー光が照射されることを防止することができる。このような反射マスクMは、例えばコア13aの配列パターンに合わせて穴あけ加工された薄いガラス板上に誘電体多層膜を蒸着し、その後コア13aと上記穴とが対応して合わさるように当該ガラス板をバンドルファイバ14xの上記一方の端面14eに張り付けることにより形成することが可能である。

30

40

【0045】

光照射部15は、本実施形態では複数の光ファイバ13xおよび13yの複数の出射端面13eから構成される。光照射部15を構成する複数の光ファイバ13xおよび13yの複数の出射端面13eは、例えば電気音響変換部3の周囲に沿って配列される。また、電気音響変換部3を構成する複数の変換素子54が透明材料である場合には、光照射部15は変換素子54の上方から変換素子全体を照射できるように配置してもよい。なお、複数の光ファイバ13xおよび13yの複数の出射端面13eは、電気音響変換部3を構成する複数の変換素子54とともに、平面、凸面あるいは凹面を形成する。ここでは平面とする。

【0046】

50

電気音響変換部 3 は、例えば 1 次元状或いは 2 次元状に配列された微小な複数の変換素子 5 4 から構成される。変換素子 5 4 は、例えば、圧電セラミクス、またはポリフッ化ビニリデン (P V D F) のような高分子フィルムから構成される圧電素子である。電気音響変換部 3 は、光照射部 1 5 からの光の照射により被検体内に発生する光音響波 U を受信する。この変換素子 5 4 は、受信時において光音響波 U を電気信号に変換する機能を有している。電気音響変換部 3 は、小型、軽量に構成されており、多チャンネルケーブルによって後述する受信部 2 2 に接続される。この電気音響変換部 3 は、セクタ走査対応、リニア走査対応、コンベックス走査対応等の中から診断部位に応じて選択される。電気音響変換部 3 は、光音響波 U を効率よく伝達するために音響整合層を備えてもよい。一般に圧電素子材料と生体では音響インピーダンスが大きく異なるため、圧電素子材料と生体が直接接した場合は、界面での反射が大きくなり光音響波を効率よく伝達することができない。このため、圧電素子材料と生体の間に中間的な音響インピーダンスを有する物質で構成した音響整合層を挿入することにより、光音響波を効率よく伝達することができる。音響整合層を構成する材料の例としては、エポキシ樹脂や石英ガラスなどが挙げられる。

10

【 0 0 4 7 】

光音響撮像装置 1 0 の画像生成部 2 は、電気音響変換部 3 を構成する複数の変換素子 5 4 を選択駆動するとともに、また電気音響変換部 3 からの電気信号に所定の遅延時間を与え、整相加算を行うことにより受信信号を生成する受信部 2 2 と、変換素子 5 4 の選択駆動や受信部 2 2 の遅延時間を制御する走査制御部 2 4 と、受信部 2 2 から得られる受信信号に対して各種の処理を行う信号処理部 2 5 とを備えている。

20

【 0 0 4 8 】

受信部 2 2 は、図 2 に示すように、電子スイッチ 5 3 と、プリアンプ 5 5 と、受信遅延回路 5 6 と、加算器 5 7 とを備えている。

【 0 0 4 9 】

電子スイッチ 5 3 は、光音響走査における光音響波の受信に際して、連続して隣接する所定数の変換素子 5 4 を選択する。例えば、電気音響変換部 3 がアレイ型の 1 9 2 個の変換素子 C H 1 ~ C H 1 9 2 から構成される場合、このようなアレイ型変換素子は、電子スイッチ 5 3 によってエリア 0 (C H 1 ~ C H 6 4 までの変換素子の領域)、エリア 1 (C H 6 5 ~ C H 1 2 8 までの変換素子の領域) およびエリア 2 (C H 1 2 9 ~ C H 1 9 2 までの変換素子の領域) の 3 つの領域に分割されて取り扱われる。このように N 個の変換素子から構成されるアレイ型変換素子を n (n < N) 個の隣接する振動子のまとまり (エリア) として取り扱い、このエリアごとにイメージング作業を実施した場合には、すべてのチャンネルの変換素子にプリアンプや A / D 変換ボードを接続する必要がなくなり、プロセッサユニット 7 0 の構造を簡素化できコストの増大を防ぐことができる。また、それぞれのエリアを個別に光照射することができるように、複数の光ファイバを配置した場合には、1 回あたりの光出力が大きくなりすぎずに済むので、大出力の高価な光源を用いる必要がないといった利点もある。そして、変換素子 5 4 によって得られるそれぞれの電気信号はプリアンプ 5 5 に供給される。

30

【 0 0 5 0 】

プリアンプ 5 5 は、上記のように選択された変換素子 5 4 によって受信された微小な電気信号を増幅し、十分な S / N を確保する。

40

【 0 0 5 1 】

受信遅延回路 5 6 は、電子スイッチ 5 3 によって選択された変換素子 5 4 から得られる光音響波 U の電気信号に対して、所定の方向からの光音響波 U の位相を一致させて収束受信ビームを形成するための遅延時間を与える。

【 0 0 5 2 】

加算器 5 7 は、受信遅延回路 5 6 により遅延された複数チャンネルの電気信号を加算することによって 1 つの受信信号にまとめる。この加算によって所定の深さからの音響信号は整相加算され、受信収束点が設定される。

【 0 0 5 3 】

50

走査制御部 24 は、ビーム集束制御回路 67 と変換素子選択制御回路 68 とを備える。変換素子選択制御回路 68 は、電子スイッチ 53 によって選択される受信時の所定数の変換素子 54 の位置情報を電子スイッチ 53 に供給する。一方、ビーム集束制御回路 67 は、所定数個の変換素子 54 が形成する受信収束点を形成するための遅延時間情報を受信遅延回路 56 に供給する。

【0054】

信号処理部 25 は、フィルタ 66 と、信号処理器 59 と、A/D変換器 60 と、画像データメモリ 62 とを備えている。受信部 22 の加算器 57 から出力された電気信号は、信号処理部 25 のフィルタ 66 において不要なノイズを除去した後、信号処理器 59 にて受信信号の振幅を対数変換し、弱い信号を相対的に強調する。一般に、被検体 7 からの受信信号は、80 dB 以上の広いダイナミックレンジをもった振幅を有しており、これを 23 dB 程度のダイナミックレンジをもつ通常のモニタに表示するためには弱い信号を強調する振幅圧縮が必要となる。なお、フィルタ 66 は、帯域通過特性を有し、受信信号における基本波を抽出するモードと高調波成分を抽出するモードを有している。また、信号処理器 59 は、対数変換された受信信号に対して包絡線検波を行う。そして、A/D変換器 60 は、この信号処理器 59 の出力信号を A/D変換し、1ライン分の光音響画像データを形成する。この 1ライン分の光音響画像データは、画像データメモリ 62 に保存される。

【0055】

画像データメモリ 62 は、前述のように生成された光音響画像データを保存する記憶回路である。システム制御部 4 の制御のもとで、画像データメモリ 62 から断面のデータが読み出され、その読出しに際して空間的に補間されることにより、当該断面の光音響画像データが生成される。

【0056】

表示部 6 は、表示用画像メモリ 63 と、光音響画像データ変換器 64 と、モニタ 65 を備えている。表示用画像メモリ 63 は、モニタ 65 に表示する光音響画像データを一時的に保存するバッファメモリであり、画像データメモリ 62 からの 1ライン分の光音響画像データは、この表示用画像メモリ 63 において 1フレームに合成される。光音響画像データ変換器 64 は、表示用画像メモリ 63 から読み出された合成画像データに対して D/A変換とテレビフォーマット変換を行い、その出力はモニタ 65 において表示される。

【0057】

操作部 5 は、操作パネル上にキーボード、トラックボール、マウス等を備え、装置操作者が患者情報、装置の撮影条件、表示断面など必要な情報を入力するために用いられる。

【0058】

システム制御部 4 は、図示しない CPU と図示しない記憶回路を備え、操作部 5 からのコマンド信号に従って光送信部 1、画像生成部 2、表示部 6 などの各ユニットの制御やシステム全体の制御を統括して行う。特に、内部の CPU には、操作部 5 を介して送られる操作者の入力コマンド信号が保存される。

【0059】

次に、本発明の作用について説明する。

【0060】

本発明の光音響撮像装置 10 およびプローブユニット 70 は、図 3 に示されるように特に、光学系の上流側から異なる位置に入射した 2本のレーザ光 L_x および L_y のうち一方および他方を所定の分岐パターンに従ってそれぞれ第 1の複数の分岐光 $L_x d$ および第 2の複数の分岐光 $L_y d$ として分岐せしめる 1つの分岐 DOE 40 を有する光分岐部 12 と、コア/クラッド構造を有する第 1の複数の光ファイバ 13x を包含する第 1のバンドルファイバ 14x であって、第 1のバンドルファイバ 14x の一方の端面 14e における第 1の複数の光ファイバ 13x の一方の端面 13e が分岐パターンに対応して配列した第 1のバンドルファイバ 14x と、コア/クラッド構造を有する第 2の複数の光ファイバ 13y を包含する第 2のバンドルファイバ 14y であって、第 2のバンドルファイバ 14y の一方の端面 14e における第 2の複数の光ファイバ 13y の一方の端面 13e が分岐パタ

ーンに対応して配列した第2のバンドルファイバ14yとを備え、第1のバンドルファイバ14xが、第1の複数の分岐光Lxdのそれぞれを第1の複数の光ファイバ13xのコアのそれぞれに第1のバンドルファイバ14xの上記一方の端面14eから入射せしめ、かつ第1の複数の光ファイバ13xの上記コアに入射した第1の複数の分岐Lxd光を第1のバンドルファイバ14xの他方の端面14eにおいて接続された光照射部15に導光するように配置されたものであり、第2のバンドルファイバ14yが、第2の複数の分岐光Lydのそれぞれを第2の複数の光ファイバ13yのコアのそれぞれに第2のバンドルファイバ14yの上記一方の端面14eから入射せしめ、かつ第2の複数の光ファイバ13yの上記コアに入射した第2の複数の分岐光Lydを第2のバンドルファイバ14yの他方の端面14eにおいて接続された光照射部15に導光するように配置されたものであることを特徴とする。つまり本発明は、分岐DOE40の分岐パターンとバンドルファイバの入射端面14eにおける複数の光ファイバの端面13eの配列パターンとを対応させることにより、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせを一括して行うことを可能にした。これにより、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとを別個に位置合わせする必要がなくなり、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせが容易となる。

10

【0061】

その結果として、高エネルギーのパルスレーザー光が伝送可能となり、高画質の光音響画像を撮像することが可能となる。さらに、プローブユニットのコード部分の可撓性と耐久性とを容易に両立できる。

20

【0062】

さらに、本発明のように2本のレーザー光をそれぞれ分岐せしめ、2本のバンドルファイバでそれぞれ導光することにより、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバのそれぞれとの位置合わせをより容易にすることが可能となる。これは例えば、100本の光ファイバを包含するバンドルファイバの位置合わせを行うよりも、50本の光ファイバを包含するバンドルファイバの位置合わせを行う方が容易なためである。なお、分岐DOEに入射せしめるレーザー光の本数は2本に限られない。つまり、3つ以上のレーザー光を分岐DOEにより分岐せしめ、それぞれのレーザー光に対応して配置された3つ以上のバンドルファイバにより複数の分岐光を導光するように設定してもよい。光音響撮像装置を製造する上でバンドルファイバ内の複数の光ファイバの配列精度を鑑みて、位置合わせにかかる手間が最も減るように設定すればよい。

30

【0063】

「光音響撮像装置、プローブユニットおよび光音響撮像装置の作動方法の設計変更」

本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は、上記で説明した実施形態に限定されるものではない。なお、以下では特に必要がない場合、一方の光学系（つまり、集光レンズ系44xおよびバンドルファイバ14x）についてのみ説明する。しかし、以下の設計事項は、当然他方の光学系（つまり、集光レンズ系44yおよびバンドルファイバ14y）についても適用できる事項である。

【0064】

例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図7に示されるように、バンドルファイバ14xの上記一方の端面14eと光分岐部12との位置関係を調整する位置調整部14aを備えるように構成することができる。或いは、分岐DOE40を制御する位置調整部が備えられてもよい。この位置調整部14aは、プローブユニット70から出射した測定光Lを測定し、測定した光量が最大値となる位置関係に自動で調整するように構成することができる。これにより、複数の分岐光Lxdのそれぞれと複数の光ファイバ13xのそれぞれとの位置合わせがより容易になる。

40

【0065】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図8に示されるように、光分岐部12が、分岐DOE40の光学系の上流側にホモジナイザ光学素子41を有するように構成することができる。このように配置されたホモジナイザ光学素子4

50

1により、複数の分岐光 $L \times d$ のビームの強度プロファイルが均一化される。したがって、局所的に高エネルギー密度の分岐光 $L \times d$ が光ファイバ13xへ入射して当該光ファイバ13xが損傷することを防止することができる。つまり、複数の分岐光 $L \times d$ の全体にわたって光ファイバ13xの損傷閾値エネルギーを超えないように複数の分岐光 $L \times d$ を導光することができる。

【0066】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図9に示されるように、光分岐部12が、分岐DOE40の光学系の下流側にホログラフィック拡散板42を有するように構成することができる。図9においては、ホログラフィック拡散板42を集光レンズ系44xとバンドルファイバ14xの入射端面14eとの間に設けた場合の構成が示されているが、ホログラフィック拡散板42は分岐DOE40と集光レンズ系44xとの間に設けた構成としてもよい。ただし、距離を変えて集光スポット径を制御する際の調整の容易さの観点から、ホログラフィック拡散板42は、集光レンズ系44xとバンドルファイバ14xの入射端面14eとの間に設けられることが好ましい。このように配置されたホログラフィック拡散板42により、複数の分岐光 $L \times d$ の集光スポット径が大きくなる方向に変化し、バンドルファイバ14xの入射端面14eにおけるコア13aに入射する際の複数の分岐光 $L \times d$ のビーム径が最適化される。したがって、光ファイバ13xの損傷閾値エネルギー密度を超えないように複数の分岐光 $L \times d$ を導光することができる。

10

【0067】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図10に示されるように、光分岐部12が、分岐DOE40の光学系の上流側に可変ビームエキスパンダ43を有するように構成することができる。このように配置された可変ビームエキスパンダ43により、光音響イメージングにおいて使用されるレーザ光 $L \times$ の波長毎にそのビーム径を適宜変えることができるため、複数の分岐光 $L \times d$ の集束径(バンドルファイバ14xの入射端面14eにおけるコア13aに入射する際の径)を制御することができる。また、プローブユニット70から出射した測定光 L を測定し、測定した光量が最大値となるように、レーザ光 $L \times$ の波長毎にそのビーム径を自動制御することも可能となる。

20

【0068】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図11に示されるように、1本のレーザ光 L_0 をビームスプリッタ11aおよびミラー11b等で2分割して、それぞれをレーザ光 L_x および L_y とするように構成してもよい。

30

【0069】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図12に示されるように、半導体レーザ11cの両端から出射する2本のレーザ光のそれぞれをレーザ光 L_x および L_y とするように構成してもよい。このように構成することにより複雑な光学系を用いず効率的に複数の分岐光を生成することができる。

【0070】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図13に示されるように、光照射部15が複数の光ファイバ13xおよび13yの上記他方の端面13eであり、この他方の端面13eが間隔を置いてライン状に配列されたものであるように構成することができる。このように構成することで、プローブユニット先端部71に複雑な構造の光学系を設ける必要がなく、均一なライン状光源を得ることができる。また、複数の光ファイバ13xおよび13yのそれぞれから出射する分岐光 $L \times d$ および $L_y d$ の強度を勘案して上記間隔を調整することにより、より均一なライン状光源を得ることができる。例えば、分岐光の強度が強い場合には上記間隔を広く、弱い場合には狭くする等して調整することが好ましい。

40

【0071】

また、例えば本発明の光音響撮像装置10およびプローブユニット70は図14に示されるように、光照射部15が先太りの形状を有する導光板72であり、バンドルファイバ

50

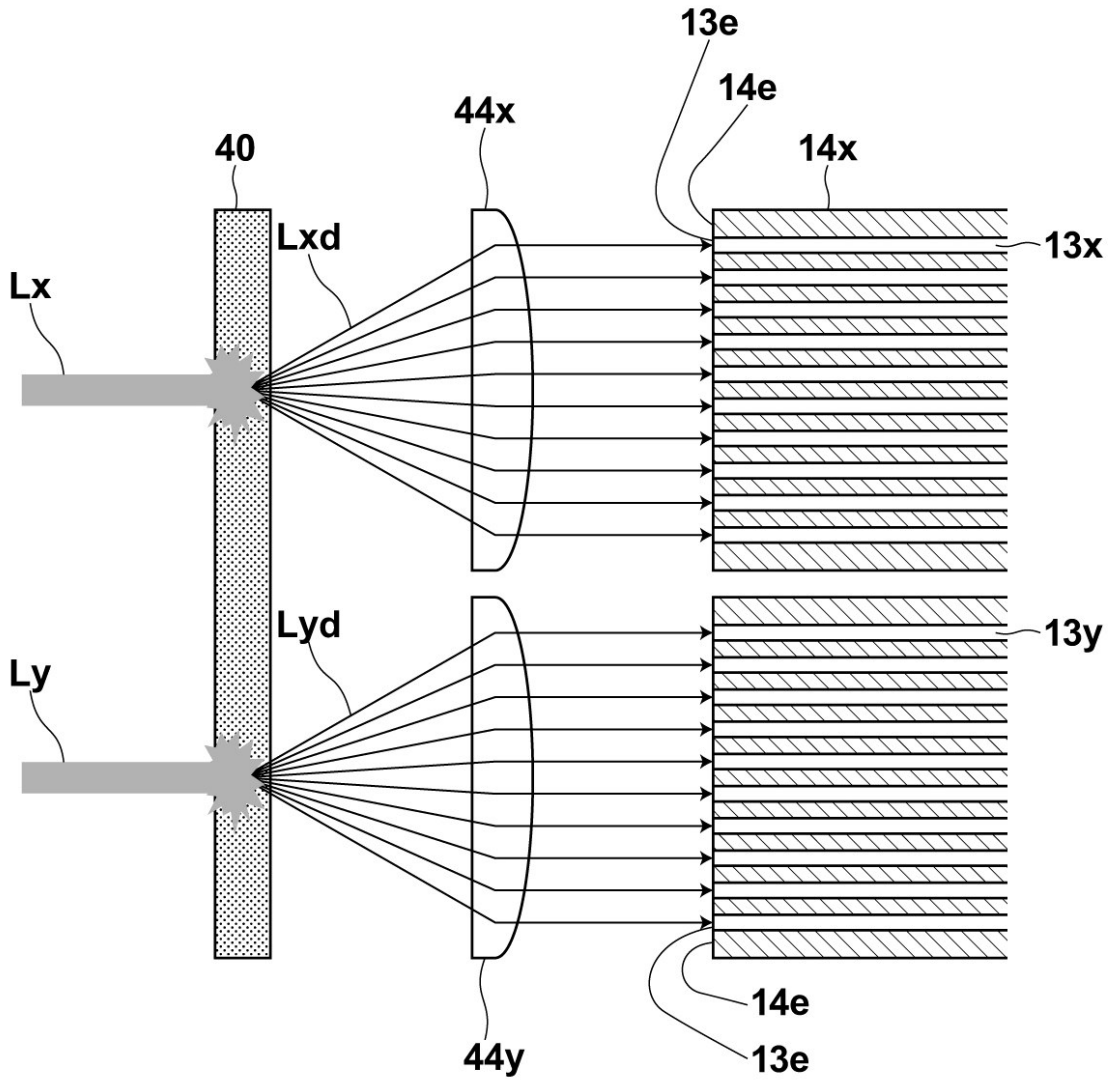
1 4 x および 1 4 y の上記他方の端面 1 4 e が、着脱可能な状態で導光板 7 2 の短辺側の端面に接続されたものであるように構成することができる。例えば図 1 4 では、コネクタ部 7 3 においてバンドルファイバ 1 4 x および 1 4 y の上記他方の端面 1 4 e と導光板 7 2 の短辺側の端面とが互いに接続されている。このように構成することで、バンドルファイバ 1 4 x および 1 4 y が破損した場合、バンドルファイバのみを交換することが可能となり、メンテナンス性能が向上する。

【符号の説明】

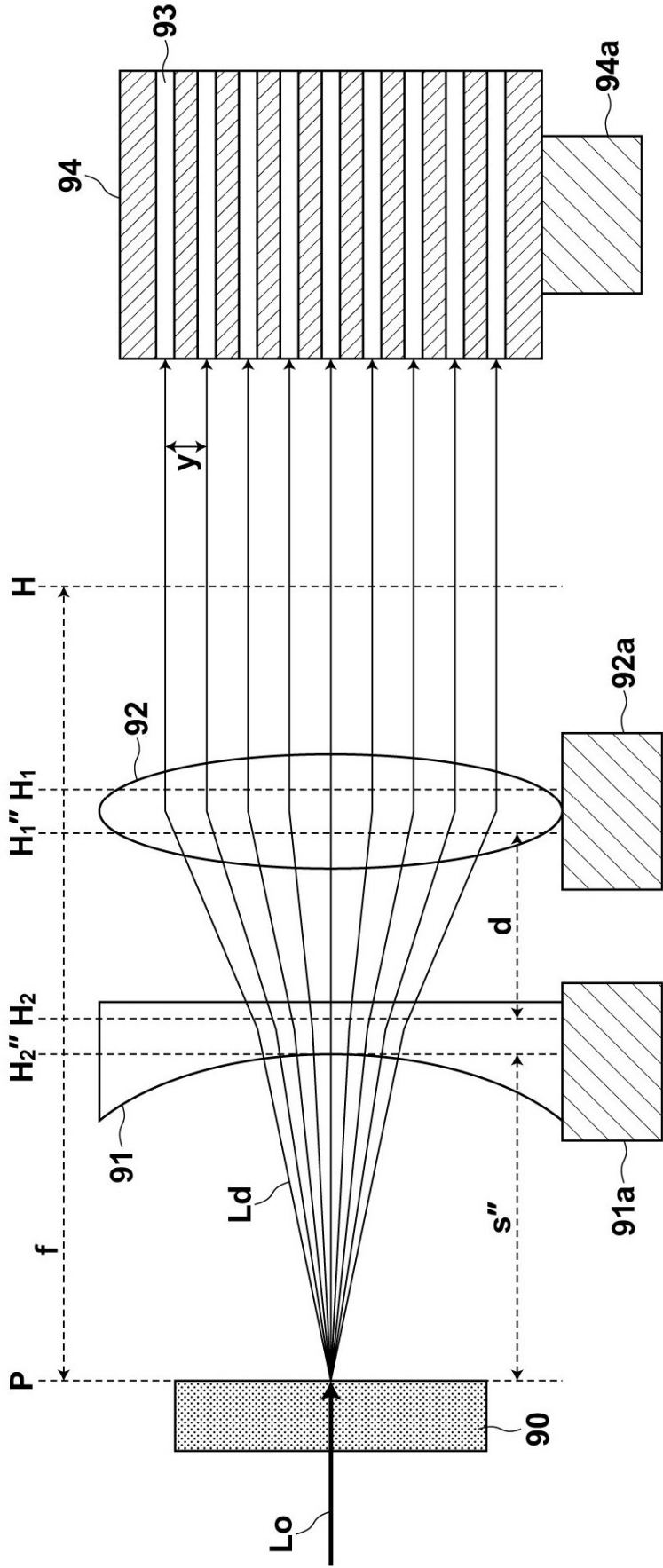
【 0 0 7 2 】

1	光送信部	
2	画像生成部	10
3	電気音響変換部	
4	システム制御部	
5	操作部	
6	表示部	
7	被検体	
1 0	光音響撮像装置	
1 1	光源部	
1 2	光分岐部	
1 3 x、1 3 y	光ファイバ	
1 3 a	光ファイバのコア	20
1 3 b	光ファイバのクラッド	
1 4 x、1 4 y	バンドルファイバ	
1 4 a	バンドルファイバの位置調整部	
1 5	光照射部	
2 2	受信部	
2 4	走査制御部	
2 5	信号処理部	
4 0	分岐回折光学素子 (分岐 D O E)	
4 0 a	分岐 D O E の位置調整部	
4 1	ホモジナイザ光学素子	30
4 2	ホログラフィック拡散板	
4 3	可変ビームエキスパンダ	
4 4 x、4 4 y	集光レンズ系	
4 4 a	レンズ位置調整部	
7 0	プローブユニット	
7 1	プローブユニット先端部	
7 2	導光板	
7 3	コネクタ部	
L	測定光	
L x d、L y d	分岐光	40
M	反射マスク	
U	光音響波	

【 図 3 】



【図5】



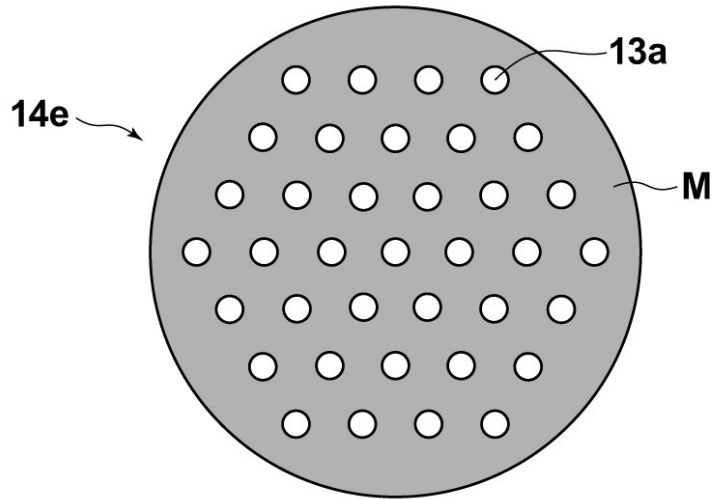
結合レンズの合成焦点距離f

$$f = \frac{f_1 f_2}{f_1 + f_2 - d}$$

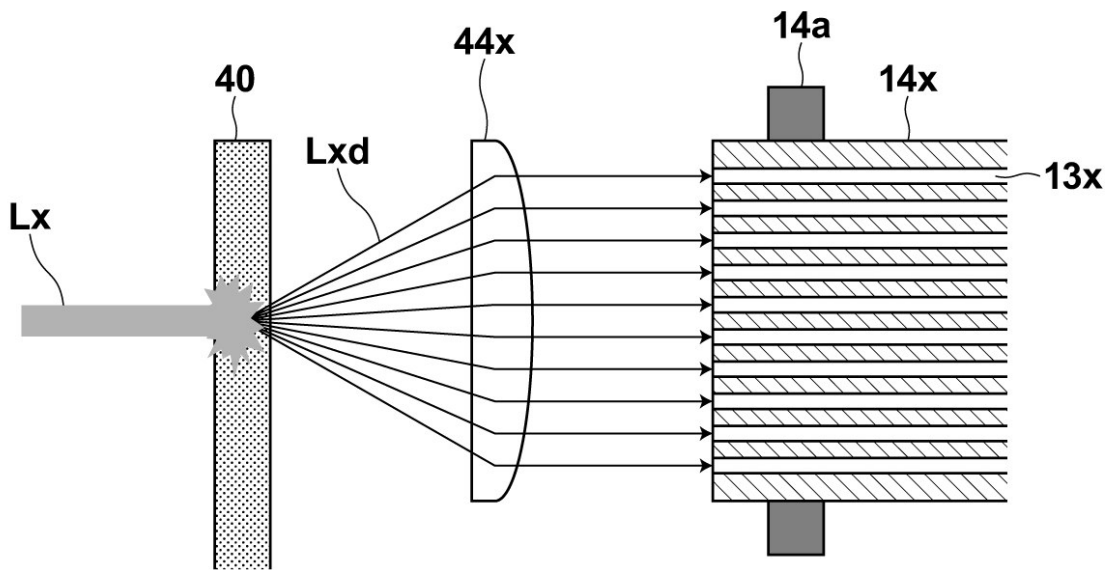
基準面Pから集光レンズ91の第2主面H2''までの距離s''

$$s_2'' = \frac{f_2 (f_1 - d)}{f_1 + f_2 - d}$$

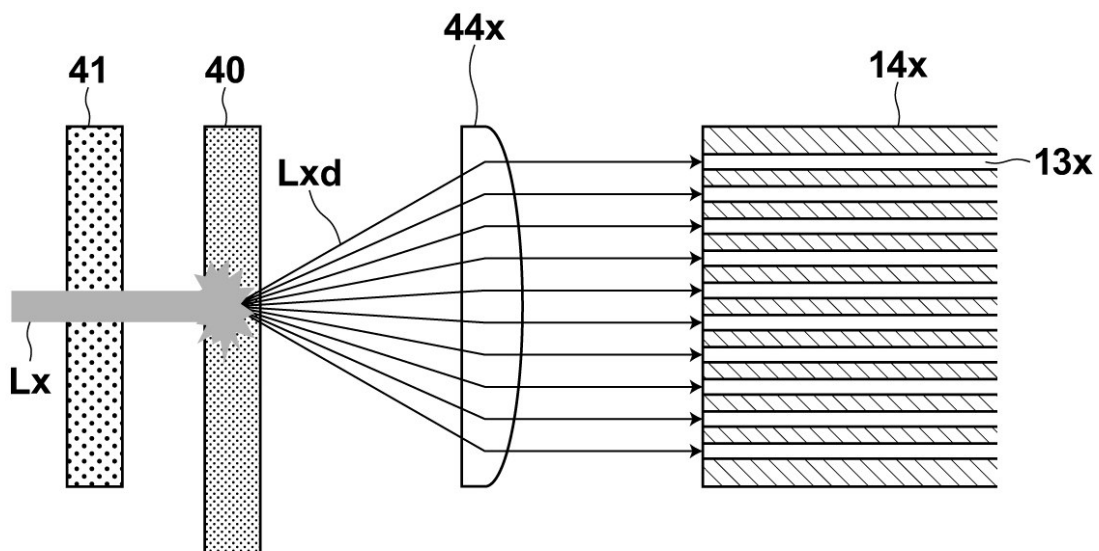
【 図 6 】



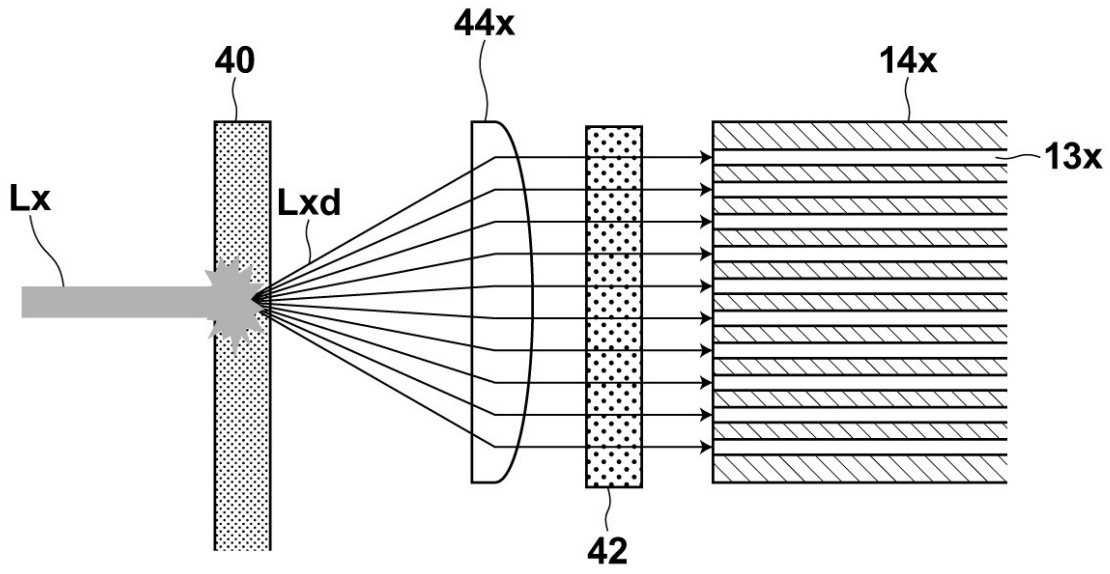
【 図 7 】



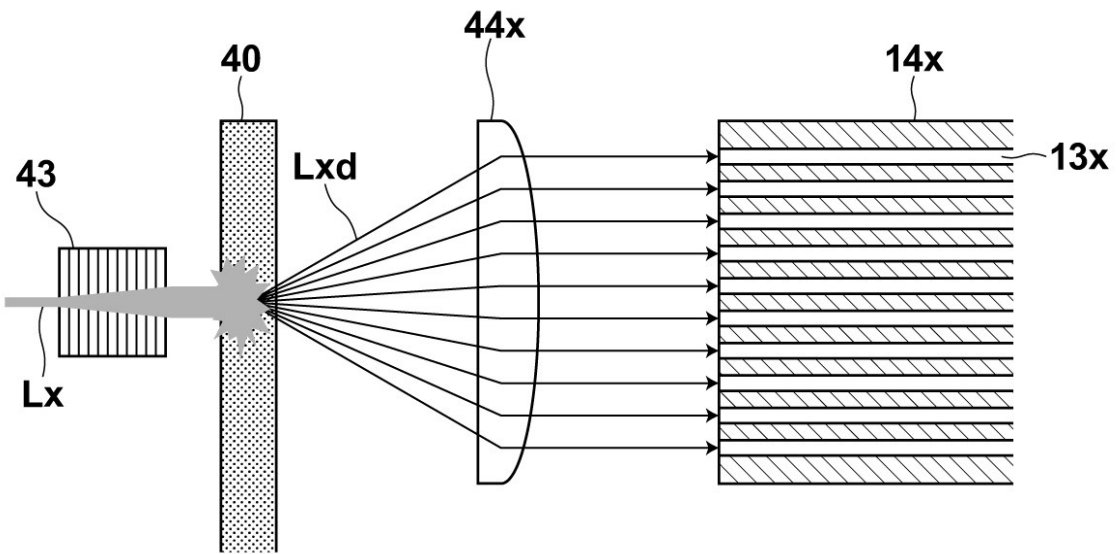
【 図 8 】



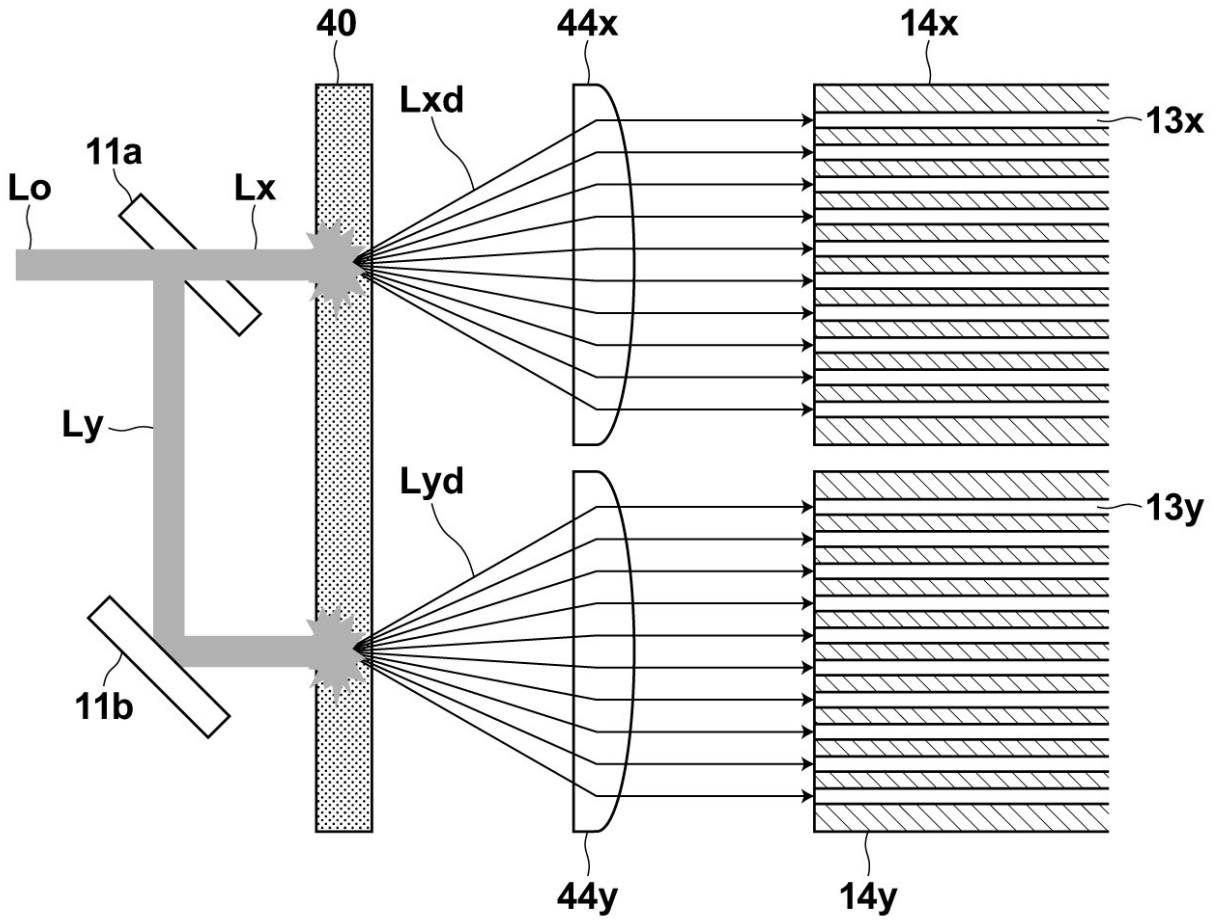
【 図 9 】



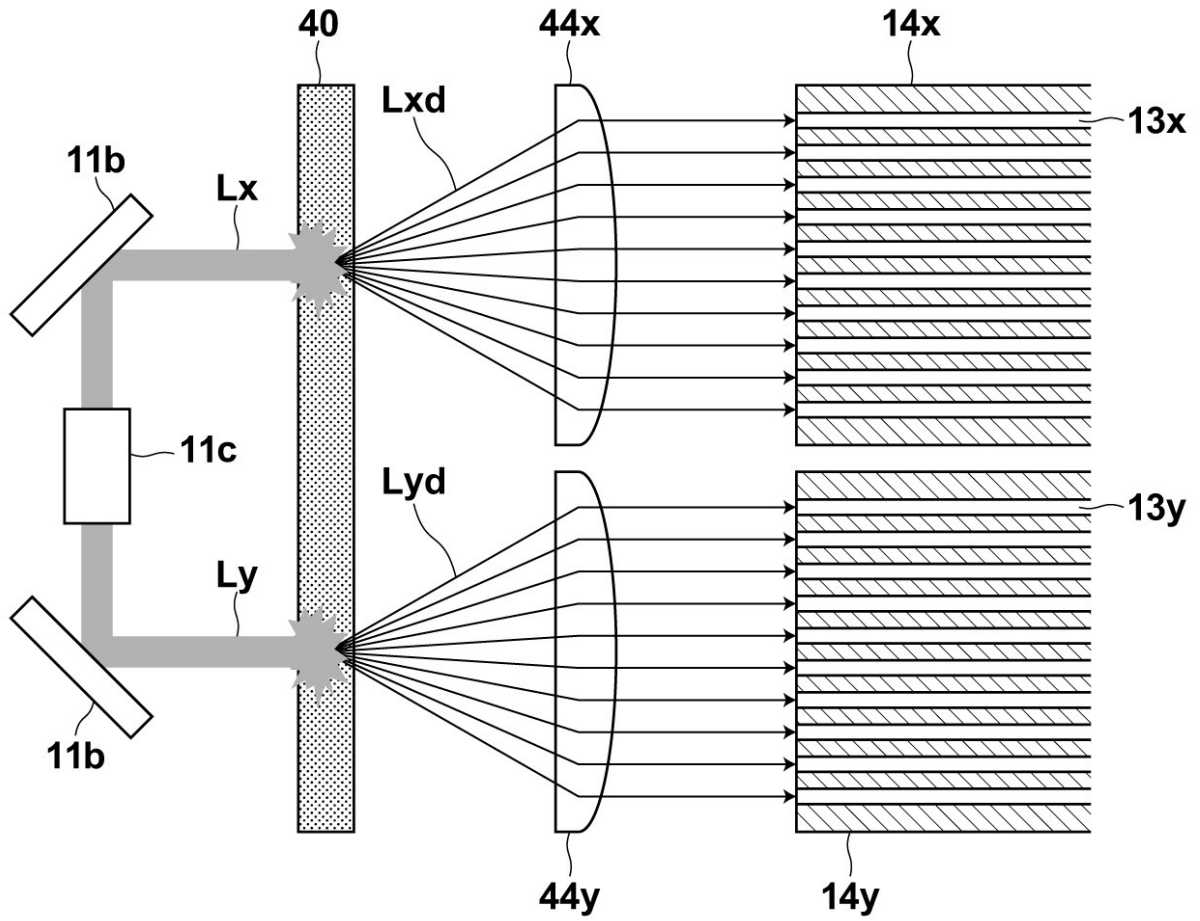
【 図 10 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(72)発明者 笠松 直史

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士フイルム株式会社内

Fターム(参考) 2G047 CA01 CA04 CA07 EA10 GD02

2G059 AA06 BB12 CC18 EE11 EE16 FF02 GG01 GG02 GG03 GG08

HH01 HH02 HH06 JJ11 JJ17 JJ22 JJ26 KK08

4C601 DE16 DE18