

(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2017-127781

(P2017-127781A)

(43) 公開日 平成29年7月27日(2017.7.27)

(51) Int.Cl.
A61B 8/13 (2006.01)F1
A61B 8/13テーマコード (参考)
4C601

審査請求 有 請求項の数 15 O L (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2017-92693 (P2017-92693)
(22) 出願日 平成29年5月8日 (2017.5.8)
(62) 分割の表示 特願2016-16831 (P2016-16831)
の分割
原出願日 平成25年2月22日 (2013.2.22)
(31) 優先権主張番号 特願2012-43595 (P2012-43595)
(32) 優先日 平成24年2月29日 (2012.2.29)
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(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 100079049
弁理士 中島 淳
(74) 代理人 100084995
弁理士 加藤 和詳
(74) 代理人 100099025
弁理士 福田 浩志
(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
Fターム(参考) 4C601 BB03 DE16 EE09 GA02 GB03
GB41

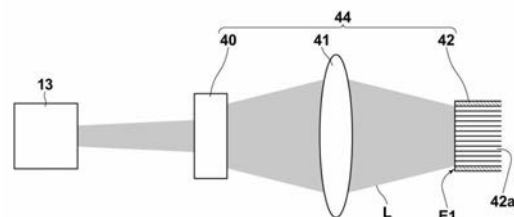
(54) 【発明の名称】 音響波検出用プローブおよび光音響計測装置

(57) 【要約】

【課題】 光音響計測において、高エネルギー光を伝送し、かつ、複数の光ファイバそれぞれを進行する光のエネルギー量の偏りを解消することを可能とする。

【解決手段】 被検体Mに測定光Lを照射するように測定光Lを導光する導光部44と、測定光Lの照射により被検体M内で発生した光音響波Uを検出する音響波振動子20とを備える音響波検出用プローブ11において、導光部44が、光学系の上流側から入射した測定光のエネルギープロファイルをフラットトップ化するホモジナイザ40と、ホモジナイザ40を透過した測定光Lを集光する集光部材41、複数の光ファイバ42aを包含するバンドルファイバ42であって、集光部材41を透過した測定光Lが入射端部E1から入射するように配置されたバンドルファイバ42とを含むものとする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定光を発する光源と、入射した前記測定光を被検体に向けて出射させると共に、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音響波振動子により検出する音響波検出用プローブと、該プローブの基端が装着される装置筐体とを備えた光音響計測装置であって、

前記プローブは、該プローブの一部を保持する保持部を有し、

前記装置筐体は、前記保持部と着脱可能とされた装着部を有し、

前記装着部には、前記複数の光ファイバの開口角に適合した拡大率が設定されて、前記測定光のビーム径を拡大させるビームエキスパンダ光学系が取り付けられ、

前記保持部には、前記ビームエキスパンダ光学系を経た前記測定光を集光する集光部材と、前記集光部材を経た前記測定光を伝搬させる複数の光ファイバを包含するバンドルファイバとが取り付けられ、

前記装着部または前記保持部に、前記測定光のエネルギープロファイルをフラットトップ化するホモジナイザが取り付けられ、

前記集光部材が、前記集光部材の焦点距離を f とし、前記ホモジナイザに入射する際の前記測定光の拡がり角を ϕ とし、前記ホモジナイザの拡散角を θ としたとき、下記式 1 で規定される前記測定光の最小ビーム径 D が前記バンドルファイバの径 d との関係で下記式 2 を満たすように前記測定光を集光するものであり、

前記バンドルファイバが、前記測定光のビーム径が $0.8d$ 以上 $1.2d$ 以下である状態で前記測定光が入射するように配置されたものである光音響計測装置。

【数 1】

$$D = 2.5 \cdot f \cdot \tan \left(\sqrt{\left(\frac{\phi}{2} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{2} \right)^2} \right) \quad \text{式1}$$

$$0.8d \leq D \leq 1.2d \quad \text{式2}$$

【請求項 2】

前記ホモジナイザが、微小なレンズが基板の片面にランダムに配置されたレンズ拡散板であって、前記測定光をさらに拡散させるものである請求項 1 記載の光音響計測装置。

【請求項 3】

前記保持部が、前記バンドルファイバの入射面を覆うように前記入射端部を保持し、前記測定光が入射する部分にウィンドウ部を有するものである請求項 1 または 2 に記載の光音響計測装置。

【請求項 4】

前記ウィンドウ部が ND フィルタから構成されている請求項 3 に記載の光音響計測装置。

【請求項 5】

前記バンドルファイバに入射する前記測定光を通過させる開口を有しかつ前記バンドルファイバの入射端に設けられた開口部材であって、前記開口の径が入射端に向かうほど前記バンドルファイバの径に対応した大きさを小さくする開口部材を備える請求項 1 から 4 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 6】

前記保持部が、キャップ部材と、光エネルギーに対して耐性のある材料から形成されたチップであってキャップ部材に嵌められたリング形状のチップとを含む導光部材を前記保持部内部に備える請求項 1 から 5 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 7】

前記保持部が、絞りおよびリレーレンズ系を含む導光部材を前記保持部内部に備える請求項 1 から 5 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 8】

前記バンドルファイバの入射端部に融着加工が施されている請求項 1 から 7 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 9】

前記入射端部における前記複数の光ファイバの外周が、光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料によって被覆されている請求項 1 から 8 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 10】

前記光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料が石英である請求項 9 に記載の光音響計測装置。

10

【請求項 11】

前記複数の光ファイバの出射端部の少なくとも一部が接続される接続面と、該接続面から入射した前記測定光が出射する出射面とを有する少なくとも 1 つの導光板を備える請求項 1 から 10 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 12】

前記導光板が、前記音響波振動子を挟んで対向するように複数配置されている請求項 11 に記載の光音響計測装置。

【請求項 13】

前記音響波振動子によって検出された光音響波の光音響信号を処理する信号処理手段を備える請求項 1 から 12 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

20

【請求項 14】

前記信号処理手段が、前記光音響信号に基づいて光音響画像を生成する音響画像生成手段を含むものである請求項 13 に記載の光音響計測装置。

【請求項 15】

前記音響波振動子が、前記被検体に対して送信された音響波に対する反射音響波を検出するものであり、

前記音響画像生成手段が、前記反射音響波の信号に基づいて反射音響波画像を生成するものである請求項 14 に記載の光音響計測装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、測定対象に当てて音響波を検出するプローブおよび光音響計測装置に関するものである。

【背景技術】**【0002】**

光音響分光法は、所定の波長（例えば、可視光、近赤外光又は中間赤外光の波長帯域）を有するパルス光を被検体に照射し、被検体内の特定物質がこのパルス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（例えば特許文献 1）。被検体内の特定物質とは、例えば血液中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（PAT：Photo Acoustic Tomography）と呼ばれる。

40

【0003】

従来、上記のような光音響分光法を利用した計測（光音響計測）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、光音響計測では、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、例えば高エネルギーの光を用いて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

50

光音響波を大きくすることが考えられる。

【0004】

しかし、光音響計測において必要とされる高エネルギー（1 mJ以上）の光を光ファイバによって導光する場合、その光ファイバの端面が破壊されてしまう可能性が高く、光ファイバの耐久性の問題が生じる。通常、光を光ファイバに入射させる際、光のビーム径が光ファイバのコア径に収まるように集光レンズの焦点近傍位置に光ファイバの端面を配置する。しかし、集光レンズにより集光された際、光が絞られすぎてエネルギーが局所的に集中し、このエネルギーが集中した部分を起点に光ファイバの端面の損傷が進むためである。

【0005】

一方、例えば特許文献2には、入射端部が融着加工されたバンドルファイバ（融着バンドルファイバ）を使用して単位面積当たりに入射する光のエネルギーを効率よく低減することにより高エネルギー光の伝送を実現することが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2010-12295号公報

【特許文献2】特開2004-193267号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献2の方法を光音響計測に適用しても、融着バンドルファイバから出射した光のエネルギープロファイルの均一性を確保できないという問題がある。これは、特許文献2の方法では、光が融着バンドルファイバに入射する際のエネルギープロファイルの均一性が確保されていないからである。特許文献2の0017段落には、融着バンドルファイバの径とほぼ同径のスポットで光が照射される旨の記載はあるが、特許文献2では融着バンドルファイバの入射端部に対して光をレンズで集光させただけである。この場合、光が融着バンドルファイバに入射する際のエネルギープロファイルは、通常の光のエネルギープロファイルと同じくガウス分布を有していると考えられる。そうすると、バンドルファイバ中の光ファイバそれぞれを進行する光のエネルギー量に偏りが生じていると推定される。

【0008】

特許文献2では単に光を伝送することができればよいため、出射した光のエネルギープロファイルの均一性を確保する必要はないが、光音響計測では良質な光音響信号を再構成する観点から、高エネルギー光の伝送の他、被検体に実際に照射された光のエネルギープロファイルの均一性も要求される。そのためには、バンドルファイバ中の光ファイバのそれぞれを進行する光のエネルギー量の偏りを解消することが重要となる。

【0009】

本発明は上記要望に応じてなされたものであり、光音響計測において、高エネルギー光を伝送し、かつ、複数の光ファイバのそれぞれを進行する光エネルギー量の偏りを解消することを可能とする音響波検出用プローブおよび光音響計測装置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】

【0010】

上記課題を解決するために、本発明に係る音響波検出用プローブは、

被検体に向けて測定光を出射するように測定光を導光する導光部と、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する音響波振動子とを備える音響波検出用プローブにおいて、

導光部が、

この導光部に入射した測定光のエネルギープロファイルをフラットトップ化するホモジ

10

20

30

40

50

ナイザと、

ホモジナイザを透過した測定光を集光する集光部材と、

複数の光ファイバを包含するバンドルファイバであって、集光部材を透過した測定光がバンドルファイバの入射端部から入射するように配置されたバンドルファイバとを含むものであることを特徴とするものである。

【0011】

つまり本発明では、測定光を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際の光束径を集光部材によって制御している。

【0012】

そして、本発明に係るプローブにおいて、ホモジナイザは、測定光をさらに拡散させるものであることが好ましい。この場合において、集光部材は、下記式1で規定される測定光の最小光束径Dがバンドルファイバの径dとの関係で下記式2を満たすように測定光を集光するものであり、バンドルファイバは、測定光の光束径が0.8d以上1.2d以下である状態で測定光が入射するように配置されたものであることが好ましい。

【0013】

【数1】

$$D = 2.5 \cdot f \cdot \tan \left(\sqrt{\left(\frac{\phi}{2} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{2} \right)^2} \right) \quad \text{式1}$$

$$0.8d \leq D \leq 1.2d \quad \text{式2}$$

【0014】

本明細書において、fは集光部材の焦点距離を表し、φはホモジナイザに入射する際の測定光の拡がり角を表し、θはホモジナイザの拡散角を表す。そして、「バンドルファイバの径」とは、バンドルファイバ中の複数の光ファイバのうち、最も離れた光ファイバ同士のコアにおける外周間の最大距離を意味する。また、「拡がり角」とは、レーザ光の光束径が伝搬に伴い拡がる角度を意味する。また、ホモジナイザの「拡散角」とは、設計上の拡散角、つまり平行光として当該ホモジナイザに入射し透過したレーザ光の光束径が伝搬に伴い拡がる角度を意味する。なお、「拡がり角」および「拡散角」は平面角の全角で表すものとする。これらの角度を測定する場合には、ある光束径から当該光束径の2.0倍の光束径に拡がるまでの伝搬距離の範囲内で光束径を10点程度測定し、このときの光束径の変化の傾きから求めることが好ましい。

【0015】

また「光束径」とは、レーザ光のエネルギープロファイルのおよそ86.5%が含まれる光束中心（通常は、光束強度の最大位置である）を中心とする円の直径、いわゆる1/e²径とすることができる。この場合、光束強度が不規則に分布すること等により光束中心を求めにくいときには、光束中心と推定される位置近傍でエネルギーが86.5%となる円を網羅的に作成し、その中で面積が最小となる円の直径を光束径としてもよい。

【0016】

また、本発明に係るプローブにおいて、導光部は、ホモジナイザの入射側の直前に、上記複数の光ファイバの開口角に適合した光束径に測定光を拡大するように、前記複数の光ファイバの開口角に適合した拡大率が設定された光束エキスパンダ光学系を含むものであることが好ましい。

【0017】

また、本発明に係るプローブにおいて、バンドルファイバの入射端部に融着加工が施されていることが好ましい。

【0018】

また、本発明に係るプローブにおいて、上記入射端部における複数の光ファイバの外周は、光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料によって被覆されていることが好ましい。この場合において、光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料は石英であることが好ましい。

【0019】

また、本発明に係るプローブにおいて、上記入射端部の端面配置において分割された複数の分割領域のそれぞれに係る光ファイバの出射端部は、光ファイバ全体の出射端部から測定光が出射したときのエネルギープロファイルが全体として均一になるように、その出射端部が属する分割領域ごとの相対的な大きさに応じて配置されていることが好ましい。この場合において、複数の分割領域は、バンドルファイバの中心からの距離に応じて分割されたものであることが好ましい。

10

【0020】

また、本発明に係るプローブにおいて、導光部は、複数の光ファイバの出射端部の少なくとも一部が接続される接続面と、接続面から入射した測定光が出射する出射面とを有する少なくとも1つの導光板を備えることが好ましい。この場合において、導光板は、音響波振動子を挟んで対向するように複数配置されていることが好ましい。

【0021】

また、本発明に係るプローブにおいて、ホモジナイザは、微小なレンズが基板の片面にランダムに配置されたレンズ拡散板であることが好ましい。

20

【0022】

また、本発明に係るプローブにおいて、集光部材およびバンドルファイバを一体化して保持する保持部を備えることが好ましい。この場合において、保持部は、ホモジナイザも含めて一体化して保持するものであることが好ましい。

【0023】

また、本発明に係るプローブにおいて、バンドルファイバの入射面を覆うように入射端部を保持する保持部であって測定光が入射する部分にウィンドウ部を有する保持部を備えることが好ましい。この場合において、ウィンドウ部はNDフィルタから構成することができる。

【0024】

さらに、保持部を備える場合において、バンドルファイバに入射する測定光を通過させる開口を有しかつバンドルファイバの入射端に設けられた開口部材であって上記開口の径が入射端に向かうほどバンドルファイバの径に対応した大きさまで小さくなる開口部材を備えることが好ましい。或いは、保持部は、キャップ部材と、光エネルギーに対して耐性のある材料から形成されたチップであってキャップ部材に嵌められたリング形状のチップとを含む導光部材を保持部内部に備えることが好ましく、または、絞りおよびリレーレンズ系を含む導光部材を保持部内部に備えることが好ましい。また、保持部は、光源を内包する装置筐体の装着部と着脱可能なコネクタ構造を有するものであることが好ましい。

30

【0025】

本発明に係る光音響計測装置は、
上記に記載のプローブと、

40

音響波振動子によって検出された光音響波の光音響信号を処理する信号処理手段とを備えることを特徴とするものである。

【0026】

そして、本発明に係る光音響計測装置において、測定光を出力する光源と、この光源と光学的に接続された装着部であってホモジナイザを保持する装着部を有する装置筐体と、集光部材およびバンドルファイバを一体化して保持する保持部とを備え、装着部および保持部が互いに着脱可能なコネクタ構造を有するものであることが好ましい。或いは、本発明に係る光音響計測装置において、測定光を出力する光源と、この光源と光学的に接続された装着部であってホモジナイザおよび集光部材を保持する装着部を有する装置筐体と、

50

バンドルファイバの入射面を覆うように入射端部を保持する保持部であって測定光が入射する部分にウィンドウ部を有する保持部とを備え、装着部および保持部が互いに着脱可能なコネクタ構造を有するものであることが好ましい。

【0027】

また、本発明に係る光音響計測装置において、信号処理手段は、光音響信号に基づいて光音響画像を生成する音響画像生成手段を含むものであることが好ましい。この場合において、音響波振動子は、被検体に対して送信された音響波に対する反射音響波を検出するものであり、音響画像生成手段は、反射音響波の信号に基づいて反射音響波画像を生成するものであることが好ましい。

【発明の効果】

10

【0028】

本発明に係る音響波検出用プローブおよび光音響計測装置は、導光部が、当該導光部に入射した測定光のエネルギープロファイルをフラットトップ化するホモジナイザと、ホモジナイザを透過した測定光を集光する集光部材と、複数の光ファイバを包含するバンドルファイバであって、集光部材を透過した測定光が入射端部から入射するように配置されたバンドルファイバとを含むものであることを特徴とするものである。これにより、フラットトップ化された測定光をバンドルファイバ中の各光ファイバに分割して入射させることで、局所的なエネルギーが損傷閾値エネルギーを超えてバンドルファイバの端面が損傷することを広い範囲で防止することができる。この結果、光音響計測において、高エネルギー光を伝送し、かつ、複数の光ファイバそれぞれを進行する光のエネルギー量の偏りを解消することが可能となる。

20

【図面の簡単な説明】

【0029】

【図1】第1の実施形態におけるプローブの導光部の構成例を示す概略断面図である。

【図2】第1の実施形態のプローブにおける音響波振動子および光ファイバの配置を示す概略断面図である。

【図3】ホモジナイザの複数の構成例を示す概略断面図である。

【図4】プローブの導光部の他の構成例を示す概略断面図である。

【図5】融着加工されたバンドルファイバの入射端部の端面配置を示す概略図である。

【図6】(a)ホモジナイザによってエネルギープロファイルがフラットトップ化された後、レンズで集光されたレーザ光のエネルギープロファイルを示す図である。(b)ホモジナイザを使用せずにレンズで集光させただけのレーザ光のエネルギープロファイルを示す図である。

30

【図7】レンズ拡散板および集光部材の光学特性と最小ビーム径との関係を示すグラフである。

【図8】進行方向と集光部材の光軸との成す角度が分布を持つレーザ光束が当該集光部材に集光された場合において、集光範囲の直径および最小ビーム径の相関性を示すグラフである。

【図9】ビームエキスパンダを含む場合の導光部の構成を示す概略図である。

【図10】導光板の構成例を示す概略図である。

40

【図11】第2の実施形態のプローブにおける音響波振動子、光ファイバおよび導光板の配置を示す概略断面図である。

【図12】入射端部の光ファイバの端面配置において分割された分割領域の設定方法を示す概略図である。

【図13】(a)第1の実施形態のプローブにおける光ファイバの配置方法についての設計変更を示す概略図である。(b)第2の実施形態のプローブにおける光ファイバの配置方法についての設計変更を示す概略図である。

【図14】(a)光源を含む装置筐体の装着部および保持部の構成を示す概略図である。

(b)保持部が図14aの装着部に装着された様子を示す概略図である。

【図15】(a)光源を含む装置筐体の装着部および保持部の他の構成を示す概略図であ

50

る。(b) 保持部が図 15 a の装着部に装着された様子を示す概略図である。

【図 16】光源を含む装置筐体の装着部および保持部の他の構成を示す概略図である。

【図 17】保持部内に開口部材を備えた構成を示す概略図である。

【図 18 A】バンドルファイバの入射端部にキャップ部材（石英ロッド）を備えた構成を示す概略図である。

【図 18 B】バンドルファイバの入射端部にキャップ部材（エアギャップ光ファイバ）を備えた構成を示す概略図である。

【図 19】入射ビームのエネルギープロファイルとキャップ部材との関係を示す概略図である。

【図 20】バンドルファイバの入射端部にリレーレンズ系を備えた構成を示す概略図である。

【図 21】光音響計測装置としての光音響画像生成装置の第 1 実施形態を示す概略構成図である。

【図 22】光音響計測装置としての光音響画像生成装置の第 2 実施形態を示す概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

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。

【0031】

「音響波検出用プローブの第 1 の実施形態」

まず、音響波検出用プローブ（探触子）の第 1 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プローブの導光部の構成例を示す概略断面図である。また図 2 は、本実施形態のプローブにおける音響波振動子アレイおよび光ファイバの配置を示す概略断面図である。

【0032】

本実施形態におけるプローブ 11 は、図 1 および図 2 に示されるように、ホモジナイザ 40、集光部材 41 および融着加工されたバンドルファイバ 42 から構成される導光部 44 と、音響波振動子アレイ 20 と、バンドルファイバ 42 の出射端部 E2 および音響波振動子アレイ 20 を保持する筐体 11a とを備える。本実施形態では、プローブ 11 は、レーザユニット 13 から出力されたレーザ光 L がホモジナイザ 40 に入射するように、レーザユニット 13 と光学的に接続されて使用される。ホモジナイザ 40 に入射したレーザ光 L は、集光部材 41 を経由してバンドルファイバ 42 の入射端部 E1 に入射する。その後、バンドルファイバ 42 によって導光されたレーザ光 L は、バンドルファイバ 42 中の各光ファイバ 42a の出射端部 E2 から出射し、測定光として被検体 M に照射される。なお、測定光はレーザ光に限られない。

【0033】

< 筐体 >

筐体 11a は、プローブ 11 の操作者がプローブ 11 を保持するための保持部材としても機能する。本実施形態では、筐体 11a はハンドヘルド型の形状を有しているが、本発明の筐体 11a はこれに限られない。

【0034】

< ホモジナイザ >

ホモジナイザ 40 は、本実施形態では、光学系の上流側から入射したレーザ光 L のエネルギープロファイル（エネルギー分布）をフラットトップ化するとともにレーザ光 L を拡散させる光学要素である。フラットトップ化されたレーザ光 L は、集光部材 41 へ導光され、フラットトップなエネルギープロファイルを有する状態で入射端部 E1 に入射する。エネルギープロファイルを「フラットトップ化する」とは、言い換えれば、ホモジナイザに入射したレーザ光を、中心付近がフラットトップなエネルギープロファイルを有するも

10

20

30

40

50

のに成形することである。本明細書において「フラットトップ」とは、ホモジナイザから出射したレーザ光のエネルギープロファイルにおいて直径がビーム径の80%である同心円を取り、この同心円内の各点のエネルギーについて標準偏差を求めた場合に、この標準偏差がこの同心円内における平均エネルギーの25%以内である状態を意味する。通常、ホモジナイザは、無限遠において光が完全にフラットトップ（つまり上記標準偏差がほぼ0に等しい）となるように構造設計されている。しかしながら、本発明において測定光がバンドルファイバの入射端部に入射する際のエネルギープロファイルは、必ずしも完全にフラットトップな状態である必要はなく、上記範囲の程度においてフラットトップな状態であれば足りる。レーザ光Lのエネルギープロファイルがフラットトップ化されることにより、局所的に光強度が強くなることが防止され、バンドルファイバ42の損傷も抑制される。さらに、バンドルファイバ42内の光ファイバのそれぞれに入射する光エネルギーのばらつきも抑制される。

10

【0035】

また本実施形態のホモジナイザ40は、レーザユニット13から出力されたレーザ光Lを拡散させてレーザ光Lのビーム径を大きくする機能、つまりレーザ光Lに含まれる光束の伝播角度の分布を拡げる機能を果たす。これにより、ホモジナイザ40の発光面がレーザ光Lの2次光源となるため、集光部材41によりレーザ光Lが集光される際、レーザ光Lが絞られすぎること防止できる。ホモジナイザ40の拡散角は0.2~5.0°であることが好ましく、0.4~3.0°であることがより好ましい。透過効率が高いためである。なお、ホモジナイザの拡散機能は必須ではない。

20

【0036】

ホモジナイザ40および集光部材41の距離は、ホモジナイザ40を透過したレーザ光Lが効率よく集光部材41と結合されるように適宜調整される。このとき、ホモジナイザ40は、集光部材41に対して光学系の上流側かつ集光部材41の中心から焦点距離の3倍の範囲内に配置されることが好ましい。

【0037】

ホモジナイザ40は、単一の光学素子から構成されてもよいし、複数の光学素子が組み合わせられて構成されてもよい。ホモジナイザ40を単一の光学素子から構成する場合には、ホモジナイザ40として、例えばAdlOptica社製のπシェーパーを使用することができる。また、拡散機能を有するホモジナイザ40としては、例えば、微小な凹レンズ等が基板の片面53Sにランダムに配置されたレンズ拡散板53を使用することが好ましい（図4）。このようなレンズ拡散板としては、例えば、RPC Photonics社製のEngineered Diffusers（型番：EDC-2.0-A、拡散角：2.0°）を使用することができる。このような素子を用いることにより、レーザ光Lのエネルギープロファイルおよび形状をほぼ任意に変化させることができる。このように、ホモジナイザ40を単一の光学素子から構成した場合には、簡易な構成により導光部44を組むことが可能となる。

30

【0038】

一方、ホモジナイザ40を複数の光学素子から構成する場合には、例えば次のような構成が挙げられる。図3は、ホモジナイザ40の構成例を示す概略断面図である。ホモジナイザ40は、例えばマイクロレンズアレイA45、マイクロレンズアレイB46、平凸レンズ47および可変ビームエキスパンダ48を図3aに示されるように配置して構成することができる。また、ホモジナイザ40は、ホログラフィック拡散板49、集光平凸レンズ50およびライトパイプ51を適当に組み合わせて図3bに示されるように構成することもできる。また、ホモジナイザ40は、図3cに示されるように例えばビームエネルギープロファイルを補正するような非球面レンズが組み込まれたフラットトップレーザビームシェーパー52により構成することもできる。

40

【0039】

ホモジナイザ40は、図4aに示されるように、保持部60aによって集光部材41およびバンドルファイバ42と一体化して保持されるように構成してもよい。この場合、ホ

50

モジナイザ 40 および集光部材 41 の位置関係の調整が不要となり、光学系を小型化することができる。

【0040】

＜集光部材＞

集光部材 41 は、ホモジナイザ 40 を通過したレーザ光 L をバンドルファイバ 42 の入射端部に導光するためのものであり、集光レンズやミラーまたはこれらの組合せ等により構成することができる。例えば本実施形態では集光部材 41 は、1つの集光レンズからなる集光レンズ系である。集光部材 41 の焦点距離（バンドルファイバ 42 側の主点と焦点との距離）は、10～100 mm であることが好ましく、15～50 mm であることがより好ましい。光学系の小型化が可能であり、コアが石英からなりクラッドがフッ素ドープ石英からなる一般的な光ファイバの開口数 NA（最大で 0.22 程度）に焦点距離を整合させるためである。また、集光部材 41 は、複数の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。集光部材 41 が結合系レンズである場合には、集光部材 41 の焦点距離とは、当該結合系レンズの合成焦点距離をいう。集光部材 41 は、図 4a に示されるように保持部 60a によってホモジナイザ 40 およびバンドルファイバ 42 と一体化して保持されるように構成してもよく、図 4b に示されるように保持部 60b によってバンドルファイバ 42 のみと一体化して保持されるように構成してもよい。

10

【0041】

＜バンドルファイバ＞

バンドルファイバ 42 は、集光部材 41 により集光された（つまり、集光部材 41 を透過した）レーザ光 L を音響波振動子アレイ 20 の近傍にまで導光するものである。なお、集光部材 41 とバンドルファイバ 42 の間に他の導光部材が設けられてもよい。バンドルファイバ 42 は、例えば図 5 に示されるように、コアおよびクラッドから構成される複数の光ファイバ 42a と、フェルールおよびシース等の被覆部材 42c と、複数の光ファイバ 42a の外周と被覆部材 42c との間を充填する充填部材 42b から構成される。バンドルファイバ 42 中の光ファイバ 42a のコア径は 20～300 μm であることが好ましく、50～200 μm であることがより好ましい。バンドルファイバ 42 中の光ファイバ 42a 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。

20

【0042】

さらに本実施形態では、バンドルファイバ 42 の少なくともその入射端部において、融着加工が施されている。融着加工とは、光ファイバ素線を束ねてバンドル化する際、接着剤ではなく熱と圧力にて加工するバンドル加工技術である。融着加工されたバンドルファイバでは、クラッド同士が融着され六角形の蜂の巣状に光ファイバが束ねられ、接着剤を使用したバンドル加工と比較して、光ファイバ間の余分な間隙が無くなる。そのため、単位面積あたりのコアが占める面積が向上するという利点がある。また、バンドルファイバの入射端部に光エネルギーに弱い材料が表れないため、光エネルギーに対する耐久性も向上するという利点もある。バンドルファイバ 42 においてさらに光エネルギーに対する耐久性を向上させる観点から、充填部材 42b は、光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料によって構成されていることが好ましい。このような材料としては、例えば石英等のガラス材料が挙げられる。このようなバンドルファイバは、例えば石英からなる円筒状の部材に、複数の光ファイバを挿入し、光ファイバと一緒に円筒状の部材も含めて融着加工し、その後その周りを被覆部材で被覆することにより製造することができる。

30

40

【0043】

バンドルファイバ 42 は、例えば、その入射端部 E1 が集光部材 41 の焦点に位置するように位置調整される。バンドルファイバ 42 の位置の微調整を可能にするため、バンドルファイバ 42 をその光軸方向に移動せしめるバンドルファイバ位置調整部（図示省略）を有するように構成することもできる。このようにすることで、フラットトップ性を損ねない範囲において、焦点位置近傍での位置を調整することが可能となり、さらには入射端部 E1 に入射する際のビーム径を微調整することも可能となる。

【0044】

50

また、図4aに示されるように保持部60aによってホモジナイザ40、集光部材41およびバンドルファイバ42が一体化して保持される場合、または図4bに示されるように保持部60bによって集光部材41およびバンドルファイバ42が一体化して保持される場合には、バンドルファイバ42の入射端部E1が集光部材41の焦点位置に容易に固定されるように、バンドルファイバ42はネジ構造等の着脱を可能にする構造によって保持部60aおよび60bに固定されることが好ましい。図4では、保持部60aおよび60bの集光レンズ41側の接合部100a、並びに、バンドルファイバ42側の接続部100bのそれぞれが互いに相補的なネジ構造を有することにより、バンドルファイバ42が保持部60aおよび60bに着脱可能に固定されている。このように、バンドルファイバ42を例えばネジ構造によって保持部60aまたは60bに固定した場合、バンドルファイバ位置調整部が不要となるため光学系を小型化することができる。また、保持部60aまたは60bからネジを外すだけで容易にバンドルファイバ42を交換することができるため、損傷したバンドルファイバ42を交換する際に、集光部材41およびバンドルファイバ42の再度の位置合わせが不要となりメンテナンス性が向上する。集光部材41およびバンドルファイバ42の位置関係が固定されるようネジ部を介して一体化するためには、例えば、Thorlabs社製の非球面レンズファイバコリメータパッケージ（型番：F280SMA-AまたはF280SMA-B、焦点距離：18.4mm）等を使用することができる。また、Thorlabs社製の非球面レンズファイバコリメータパッケージのシリーズでは、約4mmから18.4mmまでの焦点距離を有する製品が揃えられているため、目的に合わせて適宜選択することが可能である。

10

20

【0045】

本実施形態におけるバンドルファイバ42の出射側では、被検体に照射された光のエネルギープロファイルの均一性を向上させるために、複数の光ファイバ42aの出射端部E2が音響波振動子アレイ20の周囲にほぼ均等に配置されている。

【0046】

<音響波振動子アレイ>

音響波振動子アレイ20は、複数の音響波振動子（または音響波検出素子）の1次元または2次元的に配列したものであり、音響波信号を電気信号に変換する。音響波振動子は、例えば、圧電セラミクス、圧電単結晶、またはポリフッ化ビニリデン（PVDF）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。なお本明細書において、「音響波」とは超音波および光音響波を含む意味である。ここで、「超音波」とは音響波振動子アレイの振動により被検体内に発生した弾性波およびその反射波を意味し、「光音響波」とは測定光の照射による光音響効果により被検体内に発生した弾性波を意味する。なお、音響波振動子アレイ20は、正確な音響波信号を検出するため、音響整合層、音響レンズおよびバッキング材等の音響素子を備えることが好ましい。

30

【0047】

<ビーム径の制御>

ホモジナイザ40が拡散機能を有する場合において、集光部材41は、下記式3で規定されるレーザ光L（測定光）の最小ビーム径D（つまり、焦点面におけるビーム径）がバンドルファイバ42の径dとの関係で下記式4を満たすようにレーザ光を集光するものであり、バンドルファイバ42は、レーザ光Lのビーム径Dが0.8d以上1.2d以下である状態でレーザ光が入射するように配置されたものであることが好ましい。

40

【0048】

【数 2】

$$D = 2.5 \cdot f \cdot \tan \left(\sqrt{\left(\frac{\phi}{2} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{2} \right)^2} \right) \quad \text{式3}$$

$$0.8d \leq D \leq 1.2d \quad \text{式4}$$

【0049】

10

最小ビーム径 D を $0.8d$ 以上としたのは、ビーム径が絞られることによりエネルギーが集中してバンドルファイバ42の入射端部E1が損傷すること（コア損傷モード）を抑制するためであり、具体的には以下の通りである。

【0050】

図6aは、ホモジナイザ40によってエネルギープロファイルがフラットトップ化された後、レンズで集光されたレーザ光Lの焦点面におけるエネルギープロファイルを示す図である。また図6bは、ホモジナイザ40を使用せずにレンズで集光させただけのレーザ光の焦点面におけるエネルギープロファイルを示す図である。図6から、図6aにおけるレーザ光の最小ビーム径 D_1 に対する半値全幅 W_1 の割合が、図6bにおけるレーザ光の最小ビーム径 D_2 に対する半値全幅 W_2 の割合と比較して、大きくなっていることが分かる。通常、レーザユニットから出力されたときのレーザ光Lの拡がり角 ϕ は小さい（大きくても 0.15° 程度）ため、集光されたレーザ光Lはバンドルファイバ42の入射端部E1で小さく絞られてしまう。この結果、バンドルファイバ42の入射端でレーザ光Lのエネルギーが集中してしまい、バンドルファイバ42の入射端部E1の損傷が生じる。

20

【0051】

そこで、本実施形態では、ホモジナイザ40でレーザ光Lを一旦拡散させることにより、レーザ光Lのレンズ焦点位置でのビーム径を制御する。図7は、レンズ拡散板（Engineered Diffusers）および集光部材の光学特性と最小ビーム径との関係を示すグラフである。当該グラフ中の横軸は、レンズ拡散板の拡散角（deg.）を表し、縦軸は最小ビーム径の大きさ（ μm ）を表す。また、当該グラフ中の丸形のプロットは集光部材の焦点距離が 100mm の場合のデータを示し、正方形のプロットは集光部材の焦点距離が 50mm の場合のデータを示し、三角形のプロットは集光部材の焦点距離が 25mm の場合のデータを示す。図7から、ホモジナイザおよび集光部材の光学特性を調整することにより、最小ビーム径を調整できることがわかる。

30

【0052】

このようなビーム径の制御方法では、集光部材の光軸との成す角度が α となる方向に進行する平行光が焦点距離 f の当該集光部材に入射した場合、当該平行光が集光される集光点の位置がその集光部材の焦点の位置からずれて、その集光点とその焦点との距離が $f \cdot \tan \alpha$ で近似することができる原理を利用している。

【0053】

40

したがって、集光部材に入射するレーザ光束の進行方向と集光部材の光軸との成す角度が分布を持つ場合には、それぞれの角度に対応した位置にレーザ光束が集光されるため、それぞれの角度に対応した集光点を重ね合わせたレーザ光全体の集光範囲（裾野も含む）は大きくなる。例えば集光部材の上流側に、拡散機能を有するホモジナイザを配置した場合には、ホモジナイザ入射前におよそ $\phi/2$ 以内であったレーザ光束の上記角度分布は、ホモジナイザ透過後には半角でおよそ $\sqrt{(\phi/2)^2 + (\theta/2)^2}$ 以内に拡がるため、これに対応してその後集光部材により集光されたレーザ光全体の集光範囲はさらに大きくなる。

【0054】

50

そして、集光範囲のうちレーザ光の $1/e^2$ 径をビーム径としたことを考慮すると、集

光範囲の直径 $2f \cdot \tan(\sqrt{(\phi/2)^2 + (\theta/2)^2})$ および最小ビーム径 D は互いに一定の相関性を有することが推定される。

【0055】

図8は、進行方向と集光レンズの光軸との成す角度が分布を持つレーザ光束が当該集光レンズに集光された場合において、集光範囲の直径 $2f \cdot \tan(\sqrt{(\phi/2)^2 + (\theta/2)^2})$ および実験的に得られた実際の最小ビーム径 D の相関性を示すグラフである。より具体的にはこのグラフは、所定の拡散角 θ を有するホモジナイザに、波長が 532 nm 、パルス幅が 3.5 ns 、ホモジナイザに入射する際のビーム径が 3.5 mm 、拡がり角 ϕ が 0.13° のレーザ光を入射させた後、所定の焦点距離 f を有する集光レンズにより当該レーザ光を集光した場合における集光範囲をビームプロファイラ（Coherent社製のLaserCam-HR）で測定した実験結果である。なお、ホモジナイザの拡散角を求める際にも同じビームプロファイラで測定した。グラフ中の5点の丸形のプロットは、焦点距離 f が 100 mm である集光レンズとホモジナイザとの組み合わせからなる光学系で測定した結果であり、ホモジナイザの拡散角 θ は左下のプロットからそれぞれ 0.25 、 0.50 、 1.02 、 2.05 および 3.15° である。また、グラフ中の5点の四角形のプロットは、焦点距離 f が 50 mm である集光レンズとホモジナイザとの組み合わせからなる光学系で測定した結果であり、ホモジナイザの拡散角 θ は左下のプロットからそれぞれ 0.25 、 0.50 、 1.02 、 2.05 および 3.15° である。また、グラフ中の5点の三角形のプロットは、焦点距離 f が 25 mm である集光レンズとホモジナイザとの組み合わせからなる光学系で測定した結果であり、ホモジナイザの拡散角 θ は左下のプロットからそれぞれ 0.25 、 0.50 、 1.02 、 2.05 および 3.15° である。

【0056】

図8から最小ビーム径 D は集光範囲の直径に対して一次関数の関係にあることがわかる。そして、グラフ中の一次関数の傾きはおよそ 1.25 であった。したがって、最小ビーム径 D は上記式3で与えられる。

【0057】

つまり、所定のレーザ光について、上記実験に用いた焦点距離および拡散角に限らず、焦点距離 f および拡散角 θ を適当に設定することにより、任意の最小ビーム径 D を作ることが可能であると言える。そして、ビーム径を広くするほど、エネルギー密度を下げることができる。

【0058】

本実施形態では、上記の集光部材の焦点距離とホモジナイザの拡散角の関係を用いてレーザ光 L の最小ビーム径 D を制御することにより、バンドルファイバ42の入射端部の損傷閾値エネルギー密度を越えないように、高エネルギーのレーザ光 L をバンドルファイバ42によって導光することが可能となる。

【0059】

また、バンドルファイバ42の径 d との関係で最小ビーム径 D を $1.2d$ 以下としたのは、最小ビーム径 D が広がることによりバンドルファイバ42の入射端部E1の周囲の部材がレーザ光 L のエネルギーを吸収して損傷し、損傷した部位から塵およびガス等の放出物が放出されることを抑制するためである。このような放出物は、バンドルファイバ42の端面に付着して端面付近におけるコアの破壊を誘発し、エネルギーの伝送を阻害するといった問題（周囲損傷モード）の原因となりうる。つまり、最小ビーム径 D を $1.2d$ 以下としたのは上記のような周囲損傷モードの発生を抑制するためである。バンドルファイバの周囲の部材とは、例えば樹脂製の上記充填部材42b、およびその外周を覆う金属製フェルール等の被覆部材42cを意味する。

【0060】

なお、最小ビーム径 D が d を超えている範囲は、ビームの外周側（光軸から遠い側）の光強度は比較的弱いため、最小ビーム径 D がバンドルファイバの径を少々超えていても周囲損傷モードが発生しづらいためである。最小ビーム径 D の好ましい範囲は、 $0.8d$ 以

上 1.0 d 以下である。また、レーザ光 L のビーム径 D が 0.8 d 以上 1.2 d 以下である状態でレーザ光 L が入射するようにバンドルファイバ 42 を配置するのは、バンドルファイバ 42 の径 d に合わせて集光されたレーザ光 L を効率よくバンドルファイバ 42 の入射端部 E1 に入射させるためである。

【0061】

以上のように、本実施形態に係る音響波検出用プローブでは、レーザ光（測定光）を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際のビーム径を集光部材によって制御している。これにより、フラットトップ化されたレーザ光をバンドルファイバ中の各光ファイバに分割して入射させることで、局所的なエネルギーが損傷閾値エネルギーを超えてバンドルファイバの端面が損傷することを広い範囲で防止することができる。局所的な損傷が防止されるということは、エネルギー伝送という観点からは全体としてより多くのエネルギーを投入できることに繋がり、光エネルギー量の偏りという観点からはそれぞれの光ファイバに適切にエネルギー分配ができていることを表す。この結果、光音響計測において、高エネルギー光を伝送し、かつ、複数の光ファイバそれぞれを進行する光のエネルギー量の偏りを解消することが可能となる。

【0062】

「音響波検出用プローブの第 2 の実施形態」

次に、音響波検出用プローブの第 2 の実施形態の実施形態について説明する。本実施形態のプローブは、導光部がバンドルファイバ 42 の上流側にビームエキスパンダ光学系を有する点で、第 1 の実施形態と異なる。したがって、第 1 の実施形態と同様な構成要素の詳細な説明は特に必要がない限り省略する。

【0063】

図 9 はビームエキスパンダを含む場合の導光部の構成を示す概略図である。

【0064】

本実施形態におけるプローブ 11 は、ビームエキスパンダ 55、ホモジナイザ 40、集光部材 41 および融着加工されたバンドルファイバ 42 から構成される導光部 44 と、音響波振動子アレイと、バンドルファイバ 42 の出射端部および音響波振動子アレイを保持する筐体とを備える。本実施形態においてプローブ 11 は、レーザユニット 13 から出力されたレーザ光 L がビームエキスパンダ 55 に入射するように、レーザユニット 13 と光学的に接続されて使用される。ビームエキスパンダ 55 に入射したレーザ光 L は、ホモジナイザ 40 および集光部材 41 を経由してバンドルファイバ 42 の入射端部 E1 に入射する。その後、バンドルファイバ 42 によって導光されたレーザ光 L は、バンドルファイバ 42 中の複数の光ファイバ 42a の出射端部から出射し、測定光として被検体に照射される。

【0065】

筐体、ホモジナイザ 40、集光部材 41、音響波振動子アレイについては、第 1 の実施形態と同様である。

【0066】

＜ビームエキスパンダ光学系＞

ビームエキスパンダ光学系 55 は、例えば図 9 に示されるように、バンドルファイバ 42 中の複数の光ファイバ 42a の開口角に適合したビーム径に、さらにはその開口角に対して最適なビーム径に測定光を拡大するものである。「光ファイバの開口角に適合したビーム径」とは、ホモジナイザおよび集光部材を経由し、バンドルファイバの入射端部に集光されたときに、光の集光角がその光ファイバの開口角に近くなるビーム径を意味し、「光ファイバの開口角に対して最適なビーム径」とは、そのときに、光の集光角がほぼその光ファイバの開口角となるビーム径を意味する。また、ビームエキスパンダ光学系 55 は集光部材 41 の上流側（つまり光源側）に配置される。ビームエキスパンダ光学系 55 の拡大率は、光ファイバ 42a の開口数を超えない範囲において、レーザ光 L がより広い拡がり角でバンドルファイバ 42 の入射端部 E1 に入射可能となるように、上記複数の光フ

ファイバ４２aの開口角に適合させる。例えば一般的なコア／クラッド構造を有する石英ファイバの開口数は０．２０～２２であり、開口角は１１．４～１２．７°である。このように設定することにより、光ファイバ４２aを出射した後の光の拡がり角を可能な限り広げることができ、光ファイバ４２aの出射端面からより短い距離で照明の均一化を図ることができる。また、ビームエキスパンダ光学系５５は、ホモジナイザ４０と集光部材４１との間に配置してもよいが、制御性の観点から図９に示されるように、ホモジナイザ４０の上流側の直近（直前）の位置に配置することが好ましい。

【００６７】

上記のようなビームエキスパンダ光学系５５は、光ファイバ４２aの開口数に応じて、例えば適宜凹レンズおよび凸レンズ等を組み合わせて作ることができる。

10

【００６８】

以上のように、本実施形態に係る音響波検出用プローブにおいても、レーザ光（測定光）を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際のビーム径を集光部材によって制御している。これにより、第１の実施形態と同様の効果を奏する。

【００６９】

さらに本実施形態では、ビームエキスパンダ光学系５５を使用して、バンドルファイバ４２中の複数の光ファイバ４２aの開口角に対して最適なビーム径に測定光を拡大するから、照明の均一性をより向上させることが可能となる。

【００７０】

20

「音響波検出用プローブの第３の実施形態」

次に、音響波検出用プローブの第３の実施形態の実施形態について説明する。本実施形態のプローブは、導光板を介してバンドルファイバ４２によって導光した測定光を照射する点で、第１の実施形態と異なる。したがって、第１の実施形態と同様な構成要素の詳細な説明は特に必要がない限り省略する。

【００７１】

図１０は、導光板の構成例を示す概略図である。図１１は、本実施形態のプローブにおける音響波振動子、光ファイバおよび導光板の配置を示す概略断面図である。

【００７２】

本実施形態におけるプローブ１１は、ホモジナイザ、集光部材、融着加工されたバンドルファイバ４２および導光板４３から構成される導光部と、音響波振動子アレイ２０と、バンドルファイバ４２の出射端部Ｅ２および音響波振動子アレイ２０を保持する筐体１１aとを備える。本実施形態においてもプローブ１１は、レーザユニットから出力されたレーザ光Ｌがホモジナイザに入射するように、レーザユニットと光学的に接続されて使用される。ホモジナイザに入射したレーザ光Ｌは、集光部材を経由してバンドルファイバ４２の入射端部に入射する。その後、バンドルファイバ４２によって導光されたレーザ光Ｌは、バンドルファイバ４２中の複数の光ファイバ４２aの出射端部Ｅ２から、導光板４３の接続面Ｓ１に直接入射し、導光板４３によって導光されたレーザ光Ｌは、導光板４３の出射面Ｓ２から出射し、測定光として被検体Ｍに照射される。

30

【００７３】

筐体、ホモジナイザ、集光部材、音響波振動子アレイ２０については、第１の実施形態と同様である。

40

【００７４】

<導光板>

導光板４３は、例えばアクリル板や石英板の表面に特殊な加工を施して、一方の端面（接続面Ｓ１）から入れた光を他方の端面（出射面Ｓ２）から均一に面発光させる板である。例えば導光板４３は、図１０に示されるように、石英板４３aの対向する１対の側面に低屈折率の樹脂薄膜４３bを成膜する等により製造することができる。この場合、接続面Ｓ１から入射したレーザ光は、石英板４３aおよび樹脂薄膜４３bの界面Ｓ３で多重反射しながら伝搬し、出射面Ｓ２から出射することとなる。光ファイバ４２aの出射端部Ｅ２

50

は、導光板 4 3 の接続面 S 1 上にほぼ均等に配置されかつ光学的に接続されている。図 1 0 a のように、導光板 4 3 が接続面 S 1 から出射面 S 2 へ向かって広がるテーパ形状を有する場合、より広範囲に均一にレーザ光 L を照射することが可能となる。なお、導光板 4 3 は、図 1 0 c に示されるように直方体形状を有するものでもよい。図 1 1 に示されるように、本実施形態では 2 つの導光板 4 3 が、音響波振動子アレイ 2 0 を挟んで対向するように配置され、それぞれの導光板 4 3 の接続面 S 1 に光ファイバ 4 2 a が接続されている。導光板 4 3 は、より広範囲の被検体 M をレーザ光 L によって照射できるように、その先端部に光を拡散させる機構（拡散板、散乱粒子を包含する樹脂等）または光の進行方向を音響波振動子アレイ 2 0 側へ向ける機構（光を屈折させるための切り欠き等）を有している。10

【0075】

以上のように、本実施形態に係る音響波検出用プローブにおいても、レーザ光（測定光）を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際のビーム径を集光部材によって制御している。これにより、第 1 の実施形態と同様の効果を奏する。

【0076】

さらに本実施形態では、導光板を介して測定光を照射するため、被検体に照射された光のエネルギープロファイルの均一性をより向上させることが可能となる。

【0077】

＜プローブの設計変更＞

本発明では、測定光を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化している。しかしながら、ホモジナイザを使用しても完全にエネルギープロファイルを均一にすることは難しい場合がある。そこで、本発明において、光ファイバの出射端部を配置する際に、光ファイバのバンドルファイバ中における位置を考慮することが好ましい。20

【0078】

例えば、通常レーザ光のエネルギープロファイルは光軸を中心としたガウス分布となる。この場合、ホモジナイザを使用しても、光軸からの距離に依存した局所的な強度の偏りが生じることがある。具体的には、例えば図 6 a のエネルギープロファイルにおいてフラットトップの領域から外縁部にかけて強度が徐々に減少する領域が存在する。そこで、例えば図 1 2 のように、入射端部の端面配置において複数の光ファイバをバンドルファイバ 4 2 の中心に近い分割領域（中心側領域 6 2）と外周に近い分割領域（外周側領域 6 4）とに分割する。そして、中心側領域 6 2 に属する光ファイバ 6 2 a と外周側領域 6 4 に属する光ファイバ 6 4 a とをこれらの分割領域ごとの相対的な大きさに応じて均一に配置する。なお、ここで「配置する」とは、例えば図 1 3 a のように光ファイバ 6 2 a および 6 4 a の出射端部を音響波振動子アレイ 2 0 の周囲に等間隔に配置すること、および、例えば図 1 3 b のように光ファイバ 6 2 a および 6 4 a の出射端部を導光板 4 3 の接続面上に等間隔に配置することを含む意味である。また、ここで出射端部が属する「分割領域ごとの相対的な大きさに応じて均一に」とは、それぞれの分割領域に属する光ファイバの本数の比率が必ずしも 1 対 1 である必要はなく、それぞれの分割領域に属する光ファイバの本数の比率に従って、それぞれの分割領域に属する光ファイバの出射端部を全体的に混在させて配置することを意味する。このようにすれば、上記局所的な強度の偏りの影響を低減し、実際に被検体に照射される測定光のエネルギープロファイルの均一性をより向上させることができる。30

【0079】

なお領域の分割方法は、上記の方法に限られず、例えばバンドルファイバの中心からの距離に応じて 3 つの領域に分割したり、当該中心の周りの角度について 6 等分したりすることもできる。

【0080】

さらに、保持部が導光部の構成要素を一体化して保持する場合において、保持部は、光 40

10

20

30

40

50

源を内包する装置筐体の装着部と着脱可能なコネクタ構造を有するものであることが好ましい。例えば図14aは、レーザユニット13（光源）を含む装置筐体68の装着部69および保持部65aの構成を示す概略図である。装置筐体68には、レーザユニット13が内蔵されており、保持部65aを装着部69に装着することにより、レーザユニット13とレンズ拡散板53（ホモジナイザ）とが光学的に接続される。

【0081】

例えば保持部65aのコネクタ構造は、基本的には図4aの保持部60aと同様であるが、ばね等の弾性部材67によって紙面上下方向に運動が可能な突起部66を有する点で異なる。突起部66は、上から外力が作用した場合には保持部65aの溝中に押し下げられ、その後外力が作用しなくなったときには弾性部材67の復元力によって元に戻る。なお、紙面水平方向の外力が作用しても突起部66が保持部65aの溝中に押し下げられるように、突起部66の突出している部分の表面は湾曲面を形成している。一方、装着部69には、図14aに示されるように例えば突起部66と相補的な形状の溝からなる係合部69aが設けられている。保持部65aの装着部69への挿入が開始されると、突起部66は装着部69の内壁によって押し下げられ、その後突起部66が係合部69aに到達すると、突起部66が元に戻って突起部66と係合部69aとが係合することになる。そして、出力されたレーザ光Lは、光学系70によってレンズ拡散板53まで導光され、その後本発明のプロープ中を伝搬していくことになる。

【0082】

或いは、保持部が装着部と着脱可能なコネクタ構造を有する例として、図15に示されるような態様も挙げられる。

【0083】

例えば保持部65bのコネクタ構造は、基本的には図4bの保持部60bと同様であるが、ばね等の弾性部材67によって紙面上下方向に運動が可能な突起部66を有する点で異なる。突起部66は前述したものと同様である。一方、装着部69には、図15aに示されるように例えば突起部66と相補的な形状の溝からなる係合部69aと、レンズ拡散板53とが設けられている。保持部65bの装着部69への挿入が開始されると、突起部66は装着部69の内壁によって押し下げられ、その後突起部66が係合部69aに到達すると、突起部66が元に戻って突起部66と係合部69aとが係合することになる。これと同時に、レンズ拡散板53と集光部材41の配置が固定され、光学的に接続可能となる。そして、出力されたレーザ光Lは、光学系70によってレンズ拡散板53まで導光され、その後本発明における導光部を伝搬していくことになる。この態様では、プロープが装着されていない場合でも、装置から拡散された測定光しか出力されないため好ましい。

【0084】

或いは、保持部が装着部と着脱可能なコネクタ構造を有する例として、図16に示されるような態様も挙げられる。

【0085】

例えば保持部65cは、バンドルファイバ42の入射面を覆うように入射端部を保持する保持部であって、上記と同様な突起部66と、レーザ光Lが入射する部分にウィンドウ部74とを有する保持部である。ウィンドウ部74は、光透過性の材料（例えば石英）により構成され、バンドルファイバ42の入射面が露出する溝を塞ぐようにレーザ光Lの光路上に設けられている。これにより、例えばバンドルファイバ42の入射面は、保持部65cによって密閉された空間内に存在することとなる。ウィンドウ部74の光源側の表面には、MgF₂膜、Ta₂O₅膜またはSiO₂多層膜等の反射防止コート（ARコート）を有することが好ましい。一方、装着部69には、図16に示されるように例えば突起部66と相補的な形状の溝からなる係合部69aの他、ビームエキスパンダ73、ホモジナイザ40および集光部材41が設けられている。例えば、ビームエキスパンダ73は、平凹レンズ71および凸レンズ72から構成される。保持部65cと装着部69との装着手順は上記と同様である。保持部65cが装着部69へ装着されると、ビームエキスパンダ73、ホモジナイザ40および集光部材41を経由したレーザ光Lは、ウィンドウ部7

4を透過してバンドルファイバ42の入射面へ入射する。この態様では、ホコリ等の付着が、バンドルファイバ42の入射面に比べ、エネルギー密度の低いウィンドウ部74の光源側の表面で生じるため、端面損傷が起きにくいという利点がある。図14または図15においても、ウィンドウ部を設ければ、同様の効果が得られる。また、集光部材41が、光源システム側に設置されているため、保持部65cと装着部69とを着脱する際に、保持部65cの角度精度の要求が緩和され、位置精度を重点的に考慮すればよいという利点もある。

【0086】

また、図16において、ウィンドウ部74としてNDフィルタを使用することもできる。NDフィルタは、例えば酸化物の多層膜をコーティングした石英基板である。このような場合には、プローブ側でレーザ光Lの強度を減少させることができ、光源システム側にレーザ光強度の調整機構が不要となる。

【0087】

また、例えば図17に示されるように、保持部は、バンドルファイバに入射する測定光を通過させる開口を有しかつテーパ構造の開口部材を、バンドルファイバ42の入射端に有することが好ましい。当該開口の径は、入射端に向かうほどバンドルファイバの径に対応した大きさまで小さくなるように形成されている。例えば図17では、開口部材75のバンドルファイバ側の開口の直径がバンドルファイバの径に一致している。上記テーパ構造のテーパ角は、バンドルファイバ42へ入射する時の光の集光角よりも大きく、光ファイバのNAより小さいことが好ましい。開口部材75の開口内面は、光を反射し、散乱しまたは吸収するように構成されている。したがって、開口内面が光を反射しまたは散乱する場合には、光ファイバが受光できる入射角から外れた角度成分の光が反射または散乱を經由して光ファイバに入射することができるようになり、光の伝送効率がより向上する。一方、開口内面が光を吸収する場合には、光ファイバが受光できる入射角から外れた角度成分の光が、光ファイバから離れかつ広い範囲の場所で吸収されるため、光ファイバ近傍で吸収されるときよりも、光ファイバの損傷が抑制される。

【0088】

開口内面が光を反射する構成とするためには、例えば、開口内面に鏡面仕上げ等の平滑化処理を施したり、金薄膜等の反射率の高い膜を形成したりすればよい。また、開口内面が光を散乱する構成とするためには、例えば、開口部材を Al_2O_3 、 TiO_2 や ZrO_2 等のセラミックスの厚粉体または焼結体で形成したり、テフロン（登録商標）や研磨を行っていないガラスで形成したりすればよい。また、開口内面が光を吸収する構成とするためには、例えば、開口部材をアルミニウム、真ちゅうまたは銅等の金属で形成すればよい。

【0089】

また、エネルギープロファイルの裾野部分の影響により周囲損傷モードが生じるおそれがある場合には、例えば図18A、図18Bまたは図20に示されるような、バンドルファイバの周囲部材（フェルール等）の損傷を防止するための導光部材をバンドルファイバの入射端に設けることが好ましい。例えば図18Aおよび図18Bの導光部材は、キャップ部材と、の光エネルギーに対して耐性のある材料（例えば、使用する測定光の波長帯域において光吸収性に優れたサファイア等）から形成されたチップ77であってキャップ部材に嵌められたリング形状のチップ77とから構成される。キャップ部材としては、例えば石英ロッド76a（図18A）またはエアギャップ光ファイバ76b（図18B）を使用することができる。チップ77は、キャップ部材の入射端部に嵌められる。特に、エアギャップ光ファイバ76bをキャップ部材として使用する場合には、このエアギャップ光ファイバ76bのコネクタにチップ77が埋め込まれていることが好ましい。例えば、図18Bのエアギャップ光ファイバ76bにはバンドルファイバ42側のコネクタ65dと着脱可能な出射側コネクタ65eおよび入射側コネクタ65fが設けられ、少なくともこの入射側コネクタ65fにチップ77が埋め込まれている。このような導光部材を使用した場合には、裾野部分の光が例えばチップ77に吸収または反射されて遮断される（図1

10

20

30

40

50

9)。したがって、裾野部分の光がバンドルファイバの周囲部材に到達することが防止され、周囲損傷モードの発生が防止される。

【0090】

一方、例えば図20の導光部材は、第1の絞り78（裾野部分遮断用）、第2の絞り79（光量調節用）、リレーレンズ系80および第3の絞り81（裾野部分遮断用）から構成される。例えば、第1の絞り78は集光部材41の焦点の近傍、第2の絞り79はリレーレンズ系80の近傍、第3の絞り81はバンドルファイバの入射端部の近傍に配置される。このような導光部材を使用した場合には、リレーレンズ系80の前後で光束径を拡大または縮小させることができ、使用するプローブによってバンドルファイバの径が異なる場合に、リレーレンズ系80を調整して光束径を所望の大きさにすることが可能となる。光の裾野部分の遮断は第1の絞り78および第3の絞り81により行われ、リレーレンズ系80に直前に設けられた第2の絞り79は光量の調節に使用される。

10

【0091】

また例えば、石英ロッド76aおよびチップ77からなる導光部材（図18A）や、絞り78・79・81およびリレーレンズ系80からなる導光部材（図20）は、図4、図14または図15に示されるような保持部内部に設けることもできる。

【0092】

上記のように保持部に装着部と着脱可能なコネクタ構造を設けることにより、プローブとしての利便性が向上する。なお、コネクタ構造は上記の構造に限定されず、保持部はコンパクトであることが好ましい。

20

【0093】

「光音響計測装置の第1の実施形態」

次に、光音響計測装置の第1の実施形態について説明する。本実施形態では、光音響計測装置が、光音響信号に基づいて光音響画像を生成する光音響画像生成装置である場合について具体的に説明する。図21は、本実施形態の光音響画像生成装置10の構成を示すブロック図である。

【0094】

本実施形態の光音響画像生成装置10は、本発明に係るプローブ11、超音波ユニット12、レーザユニット13、画像表示手段14および入力手段16を備える。

【0095】

30

<レーザユニット>

レーザユニット13は、本発明における光源に相当し、例えばレーザ光Lを、被検体Mに照射する測定光として出力する。レーザユニット13は、例えば、制御手段29からのトリガ信号を受けてレーザ光Lを出力するように構成されている。レーザユニット13が出力するレーザ光Lは、例えば光ファイバなどの導光手段を用いてプローブ11まで導光され、プローブ11から被検体Mに照射される。レーザユニット13は、レーザ光として1~100ns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。

【0096】

また、レーザ光Lのパルス幅 t_p (ns)は、下記式5を満たすことが好ましい。ここで、Aは使用するレーザ光のバンドルファイバへ入射する際のパルスエネルギー(J)であり、 λ は使用するレーザ光の波長(nm)であり、Gはバンドルファイバの損傷閾値エネルギー密度(J/mm²)であり、 λG および $t G$ はそれぞれ損傷閾値エネルギー密度を求めたレーザ光の波長およびパルス幅であり、dはバンドルファイバの径(mm)である。これは、バンドルファイバの端面損傷を防止するためには、下記式6が成立することが好ましいためである。

40

【数 3】

$$\left(\frac{4Ad^2\lambda_G}{\pi G\lambda}\right)^2 t_G < t_P \quad \text{式5}$$

$$A < \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 G \left(\frac{\lambda}{\lambda_G}\right) \sqrt{\frac{t_P}{t_G}} \quad \text{式6}$$

【0097】

10

例えば本実施形態では、レーザユニット13は、Qスイッチ（Qsw）アレキサンドライトレーザである。この場合、レーザ光Lのパルス幅は、例えばQswによって制御される。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。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、一般的にはその波長は近赤外波長域に属する波長であることが好ましい。近赤外波長域とはおよそ700～850nmの波長域を意味する。また、レーザ光Lは、単波長でもよいし、複数の波長（例えば750nmおよび800nm）を含んでもよい。さらに、レーザ光Lが複数の波長を含む場合には、これらの波長の光は、同時に被検体Mに照射されてもよいし、交互に切り替えられながら照射されてもよい。

【0098】

20

＜プローブ＞

プローブ11は、被検体M内で発生した光音響波Uを検出する本発明に係るプローブであり、本実施形態では第3の実施形態に係るプローブである。

【0099】

＜超音波ユニット＞

超音波ユニット12は、受信回路21、AD変換手段22、受信メモリ23、光音響画像再構成手段24、検波・対数変換手段27、光音響画像構築手段28、制御手段29、画像合成手段38および観察方式選択手段39を有する。例えば、受信回路21、AD変換手段22、受信メモリ23、光音響画像再構成手段24、検波・対数変換手段27および光音響画像構築手段28が一体として、本発明における信号処理手段としての光音響画像生成手段に相当する。

30

【0100】

制御手段29は、光音響画像生成装置10の各部を制御するものであり、本実施形態ではトリガ制御回路30を備える。トリガ制御回路30は、例えば光音響画像生成装置の起動の際に、レーザユニット13に光トリガ信号を送る。これによりレーザユニット13で、フラッシュランプが点灯し、レーザロッドの励起が開始される。そして、レーザロッドの励起状態は維持され、レーザユニット13はパルスレーザ光を出力可能な状態となる。

【0101】

そして、制御手段29は、その後トリガ制御回路30からレーザユニット13へQswトリガ信号を送信する。つまり、制御手段29は、このQswトリガ信号によってレーザユニット13からのパルスレーザ光の出力タイミングを制御している。また本実施形態では、制御手段29は、Qswトリガ信号の送信と同時にサンプリングトリガ信号をAD変換手段22に送信する。サンプリングトリガ信号は、AD変換手段22における光音響信号のサンプリングの開始タイミングの合図となる。このように、サンプリングトリガ信号を使用することにより、レーザ光の出力と同期して光音響信号をサンプリングすることが可能となる。

40

【0102】

受信回路21は、プローブ11で検出された光音響信号を受信する。受信回路21で受信された光音響信号はAD変換手段22に送信される。

【0103】

50

A/D変換手段22は、サンプリング手段であり、受信回路21が受信した光音響信号をサンプリングしてデジタル信号に変換する。例えば、A/D変換手段22は、サンプリング制御部およびA/D変換器を有する。受信回路21によって受信された受信信号は、A/D変換器によってデジタル化されたサンプリング信号に変換される。A/D変換器は、サンプリング制御部によって制御されており、サンプリング制御部がサンプリングトリガ信号を受信したときに、サンプリングを開始するように構成されている。A/D変換手段22は、例えば外部から入力する所定周波数のA/Dクロック信号に基づいて、所定のサンプリング周期で受信信号をサンプリングする。

【0104】

受信メモリ23は、A/D変換手段22でサンプリングされた光音響信号（つまり上記サンプリング信号）を記憶する。そして、受信メモリ23は、プローブ11によって検出された光音響信号を光音響画像再構成手段24に出力する。

【0105】

光音響画像再構成手段24は、受信メモリ23から光音響信号を読み出し、プローブ11の音響波振動子アレイ20で検出された光音響信号に基づいて、光音響画像の各ラインのデータを生成する。光音響画像再構成手段24は、例えばプローブ11の64個の音響波振動子からのデータを、音響波振動子の位置に応じた遅延時間で加算し、1ライン分のデータを生成する（遅延加算法）。光音響画像再構成手段24は、遅延加算法に代えて、CBP法（Circular Back Projection）により再構成を行ってもよい。あるいは光音響画像再構成手段24は、ハフ変換法又はフーリエ変換法を用いて再構成を行ってもよい。

【0106】

検波・対数変換手段27は、各ラインのデータの包絡線を求め、求めた包絡線を対数変換する。

【0107】

光音響画像構築手段28は、対数変換が施された各ラインのデータに基づいて、1フレーム分の光音響画像を構築する。光音響画像構築手段28は、例えば光音響信号（ピーク部分）の時間軸方向の位置を光音響画像における深さ方向の位置に変換して光音響画像を構築する。

【0108】

観察方式選択手段39は、光音響画像の表示態様を選択するものである。光音響信号についてのボリュームデータの表示態様としては、例えば三次元画像としての態様、断面画像としての態様および所定の軸上のグラフとしての態様が挙げられる。いずれの態様によって表示するかは、初期設定或いは使用者による入力手段16からの入力に従って選択される。

【0109】

画像合成手段38は、順次取得された光音響信号を使用して、ボリュームデータを生成する。ボリュームデータの生成は、それぞれの光音響信号の信号値を、光音響画像のフレームごとに関連付けられた座標および光音響画像中の画素座標に従って、仮想空間に割り当てることにより行う。例えば、Qswトリガ信号が送信された時の座標、実際に光が出力された時の座標、および光音響信号のサンプリングが開始された時の座標等が光音響画像の1フレームごとに関連付けられる。信号値を割り当てる際に、割り当てる場所が重複する場合には、その重複する場所の信号値として例えばそれらの信号値の平均値またはそれらのうちの最大値が採用される。また、必要に応じて、割り当てられる信号値がない場合には、その周辺の信号値を用いて補間することが好ましい。補間は、例えば、最近接点から順に4つの近接点の重み付き平均値を補間場所に割り当てることにより行う。これにより、より自然な形のボリュームデータを生成することができる。さらに、画像合成手段38は、生成されたボリュームデータに必要な処理（例えばスケールの補正およびボクセル値に応じた色付け等）を施す。

【0110】

また、画像合成手段38は、観察方式選択手段39によって選択された観察方式に従っ

10

20

30

40

50

て光音響画像を生成する。選択された観察方法に従って生成された光音響画像が、画像表示手段１４に表示するための最終的な画像（表示画像）となる。なお、上記の光音響画像の生成方法において、一旦光音響画像が生成された後、使用者が必要に応じて当該画像を回転させたり移動させたりすることも当然可能である。つまり、三次元画像が表示されている場合に、使用者が入力手段１６を使用して視点とする方向を順次指定する或いは移動させることにより、光音響画像が再計算されて三次元画像が回転することになる。また、使用者が入力手段１６を使用して適宜観察方法を変更することも可能である。

【０１１１】

画像表示手段１４は、画像合成手段３８によって生成された表示画像を表示するものである。

10

【０１１２】

以上のように、本実施形態に係る光音響計測装置においても、レーザ光（測定光）を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際のビーム径を集光部材によって制御している。この結果、光音響計測において、高エネルギー光を伝送し、かつ、複数の光ファイバそれぞれを進行する光のエネルギー量の偏りを解消することが可能となる。

【０１１３】

そしてその結果として、より強いかつ均質な光音響信号が得られるために高画質の光音響画像を生成することが可能となる。また、レーザ光の伝送ケーブルの小型化および軽量化が可能となり、光音響計測装置の操作性が向上する。

20

【０１１４】

「光音響計測装置の第２の実施形態」

次に、光音響計測装置の第２の実施形態について説明する。本実施形態でも、光音響計測装置が光音響画像生成装置である場合について具体的に説明する。図２２は、本実施形態の光音響画像生成装置１０の構成を示すブロック図である。本実施形態は、光音響画像に加えて超音波画像も生成する点で、第１の実施形態と異なる。したがって、第１の実施形態と同様の構成要素についての詳細な説明は、特に必要がない限り省略する。

【０１１５】

本実施形態の光音響画像生成装置１０は、第１の実施形態と同様に、本発明に係るプローブ１１、超音波ユニット１２、レーザユニット１３、画像表示手段１４および入力手段１６を備える。

30

【０１１６】

<超音波ユニット>

本実施形態の超音波ユニット１２は、図２１に示す光音響画像生成装置の構成に加えて、送信制御回路３３、データ分離手段３４、超音波画像再構成手段３５、検波・対数変換手段３６、および超音波画像構築手段３７を備える。本実施形態では、受信回路２１、ＡＤ変換手段２２、受信メモリ２３、データ分離手段３４、光音響画像再構成手段２４、検波・対数変換手段２７、光音響画像構築手段２８、超音波画像再構成手段３５、検波・対数変換手段３６、及び超音波画像構築手段３７が一体として、本発明における信号処理手段としての音響画像生成手段に相当する。

40

【０１１７】

本実施形態では、プローブ１１は、光音響信号の検出に加えて、被検体に対する超音波の出力（送信）、及び送信した超音波に対する被検体からの反射超音波の検出（受信）を行う。超音波の送受信を行う音響波振動子としては、前述した音響波振動子アレイ２０を使用してもよいし、超音波の送受信に別途プローブ１１中に設けられた新たな音響波振動子アレイを使用してもよい。また、超音波の送受信は分離してもよい。例えばプローブ１１とは異なる位置から超音波の送信を行い、その送信された超音波に対する反射超音波をプローブ１１で受信してもよい。

【０１１８】

トリガ制御回路３０は、超音波画像の生成時は、送信制御回路３３に超音波送信を指示

50

する旨の超音波送信トリガ信号を送る。送信制御回路 33 は、このトリガ信号を受けると、プローブ 11 から超音波を送信させる。プローブ 11 は、超音波の送信後、被検体からの反射超音波を検出する。

【0119】

プローブ 11 が検出した反射超音波は、受信回路 21 を介して A/D 変換手段 22 に入力される。トリガ制御回路 30 は、超音波送信のタイミングに合わせて A/D 変換手段 22 にサンプリグトリガ信号を送り、反射超音波のサンプリングを開始させる。ここで、反射超音波はプローブ 11 と超音波反射位置との間を往復するのに対し、光音響信号はその発生位置からプローブ 11 までの片道である。反射超音波の検出には、同じ深さ位置で生じた光音響信号の検出に比して 2 倍の時間がかかるため、A/D 変換手段 22 のサンプリングクロックは、光音響信号サンプリング時の半分、例えば 20 MHz としてもよい。A/D 変換手段 22 は、反射超音波のサンプリング信号を受信メモリ 23 に格納する。光音響信号のサンプリングと、反射超音波のサンプリングとは、どちらを先に行ってもよい。

10

【0120】

データ分離手段 34 は、受信メモリ 23 に格納された光音響信号のサンプリング信号と反射超音波のサンプリング信号とを分離する。データ分離手段 34 は、分離した光音響信号のサンプリング信号を光音響画像再構成手段 24 に入力する。光音響画像の生成は、第 1 の実施形態と同様である。一方、データ分離手段 34 は、分離した反射超音波のサンプリング信号を、超音波画像再構成手段 35 に入力する。

【0121】

超音波画像再構成手段 35 は、プローブ 11 の複数の音響波振動子で検出された反射超音波（そのサンプリング信号）に基づいて、超音波画像の各ラインのデータを生成する。各ラインのデータの生成には、光音響画像再構成手段 24 における各ラインのデータの生成と同様に、遅延加算法などを用いることができる。検波・対数変換手段 36 は、超音波画像再構成手段 35 が出力する各ラインのデータの包絡線を求め、求めた包絡線を対数変換する。

20

【0122】

超音波画像構築手段 37 は、対数変換が施された各ラインのデータに基づいて、超音波画像を生成する。

【0123】

画像合成手段 38 は、光音響画像と超音波画像とを合成する。画像合成手段 38 は、例えば光音響画像と超音波画像とを重ねることで画像合成を行う。合成された画像は、画像表示手段 14 に表示される。画像合成を行わずに、画像表示手段 14 に、光音響画像と超音波画像とを並べて表示し、或いは光音響画像と超音波画像とを切り替えて表示することも可能である。

30

【0124】

以上のように、本実施形態に係る光音響計測装置においても、レーザ光（測定光）を一度ホモジナイザに通すことによりエネルギープロファイルをフラットトップ化し、バンドルファイバに入射する際のビーム径を集光部材によって制御している。これにより、第 1 の実施形態と同様の効果を奏する。

40

【0125】

さらに本実施形態の光音響計測装置は、光音響画像に加えて超音波画像を生成する。したがって、超音波画像を参照することで、光音響画像では画像化することができない部分を観察することができる。

【産業上の利用可能性】

【0126】

なお、以上では光音響計測装置が光音響画像や超音波画像を生成する場合について説明したが、このような画像生成は必ずしも必要ではない。例えば光音響計測装置を、光音響信号の大きさに基づいて測定対象の存在の有無や物理量を計測するような構成にすることもできる。

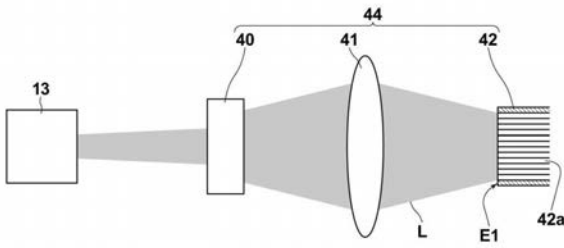
50

【符号の説明】

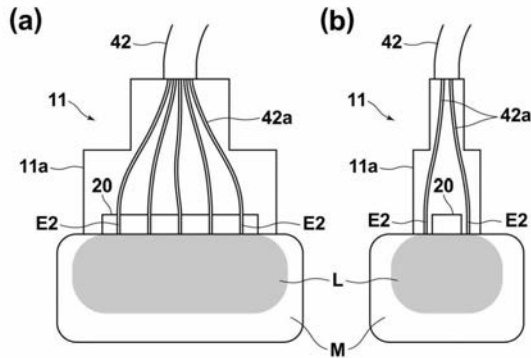
【0127】

10	光音響画像生成装置	
11	音響波検出用プローブ	
12	超音波ユニット	
13	レーザユニット	
14	画像表示手段	
16	入力手段	
20	音響波振動子アレイ	
21	受信回路	10
24	光音響画像再構成手段	
28	光音響画像構築手段	
30	トリガ制御回路	
33	送信制御回路	
34	データ分離手段	
35	超音波画像再構成手段	
37	超音波画像構築手段	
38	画像合成手段	
39	観察方式選択手段	
40	ホモジナイザ	20
41	集光部材	
42	バンドルファイバ	
42a	光ファイバ	
43	導光板	
44	導光部	
53	レンズ拡散板	
55	ビームエキスパンダ光学系	
60a、60b	保持部	
62	中心側領域	
64	外周側領域	30
65a、65b、65c	コネクタ構造を有する保持部	
D	レーザ光の最小ビーム径	
E1	入射端部	
E2	出射端部	
L	レーザ光	
M	被検体	
U	光音響波	

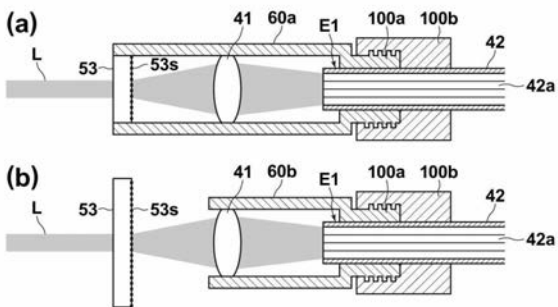
【図 1】



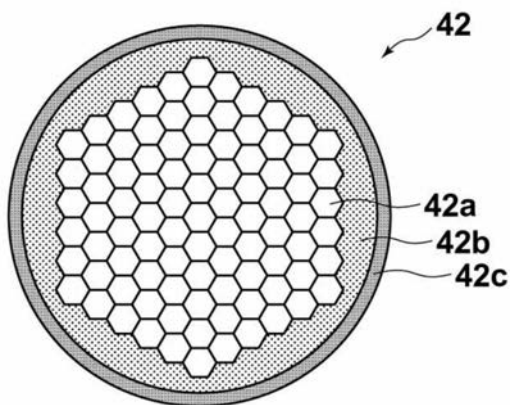
【図 2】



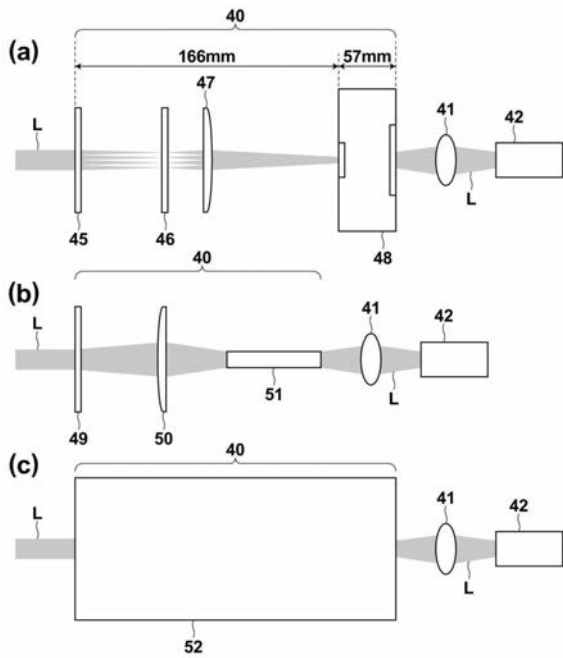
【図 4】



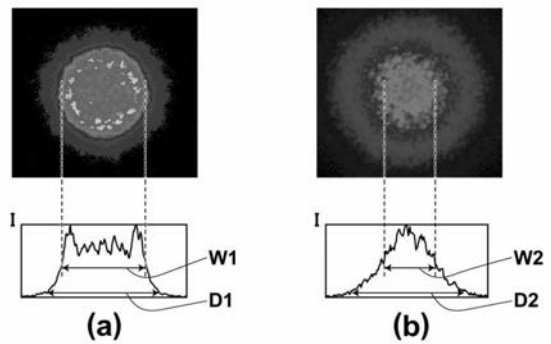
【図 5】



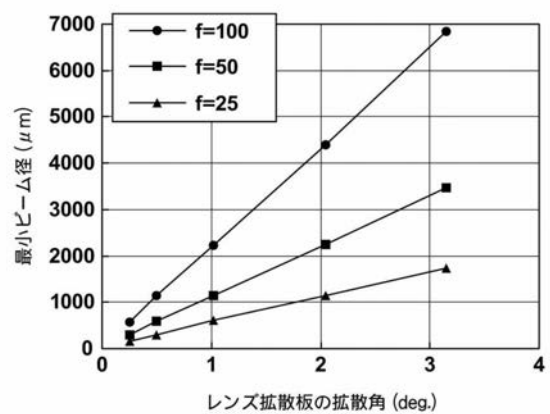
【図 3】



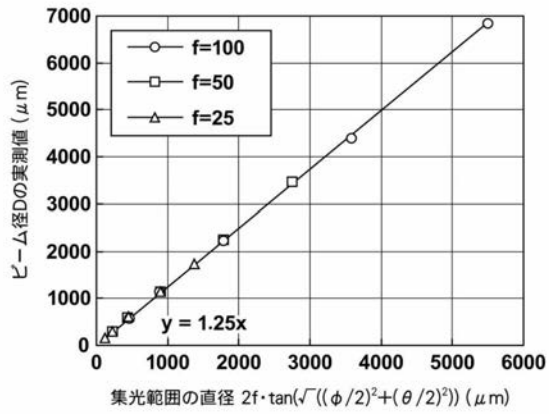
【図 6】



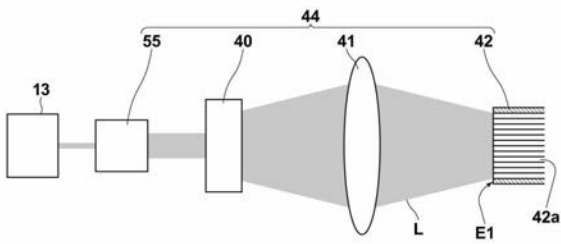
【図 7】



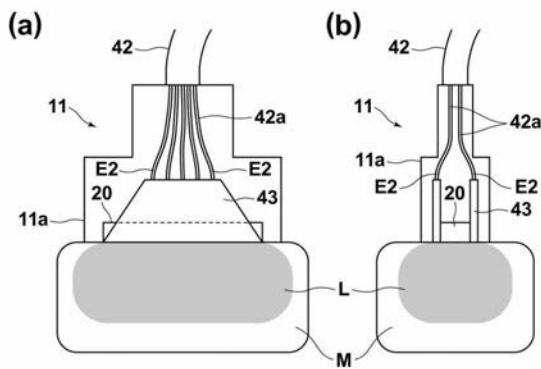
【図 8】



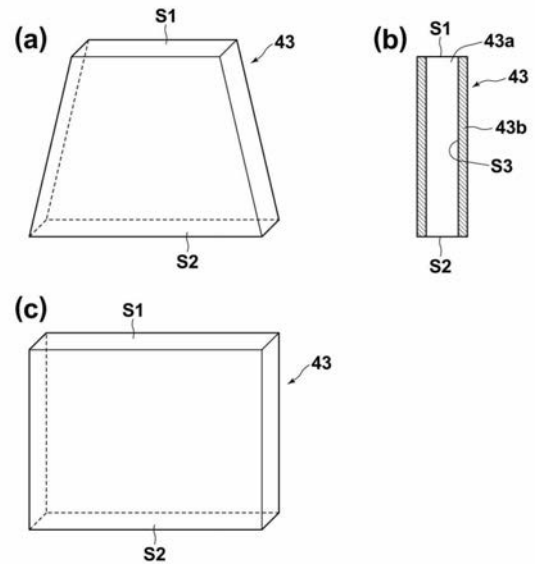
【図 9】



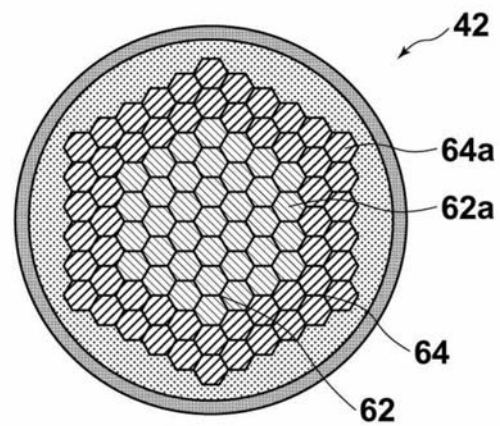
【図 11】



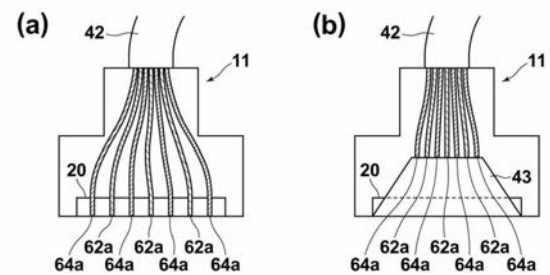
【図 10】



【図 12】

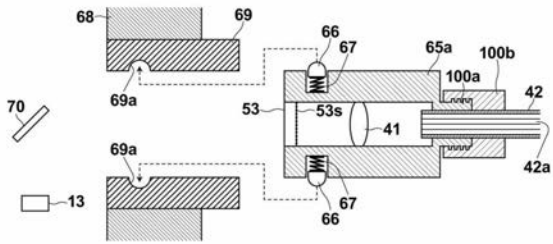


【図 13】

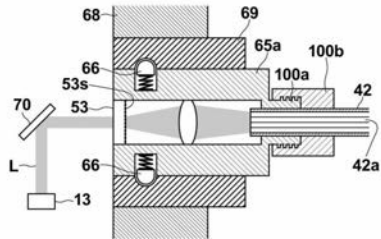


【図 14】

(a)

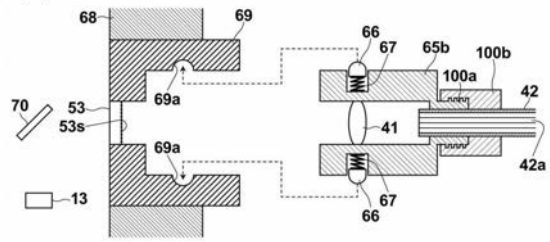


(b)

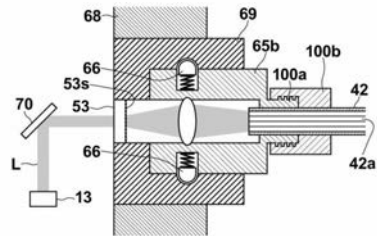


【図 15】

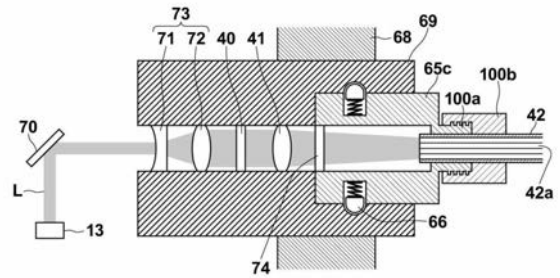
(a)



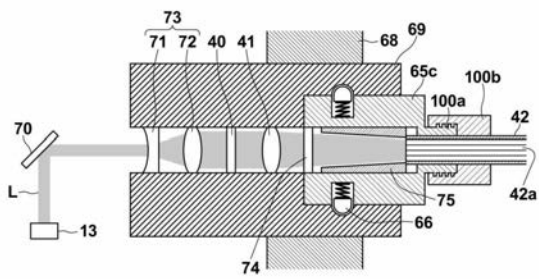
(b)



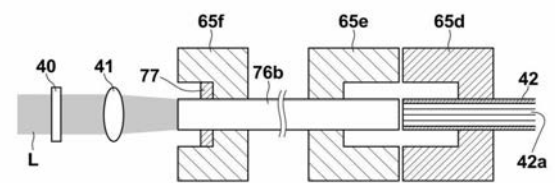
【図 16】



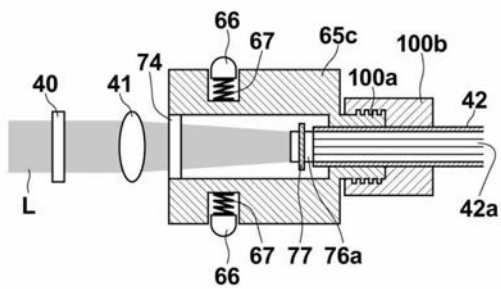
【図 17】



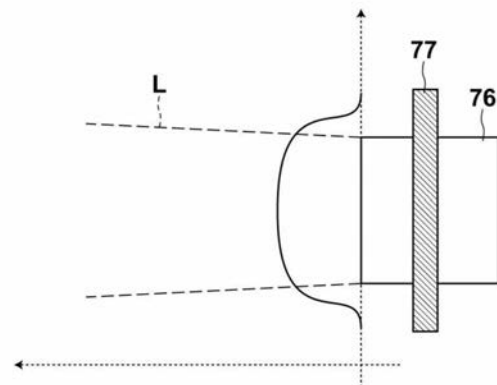
【図 18 B】



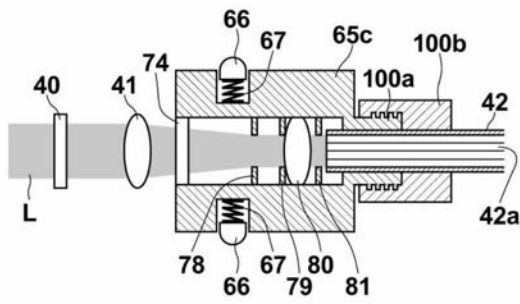
【図 18 A】



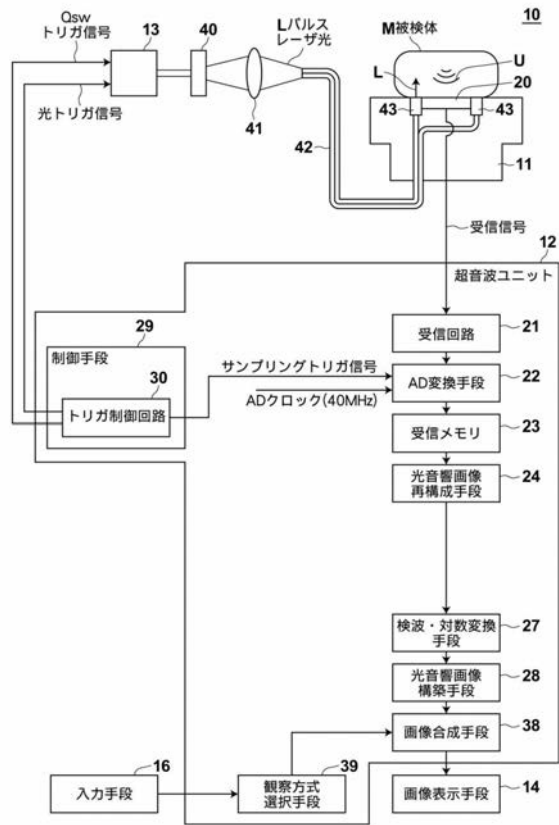
【図 19】



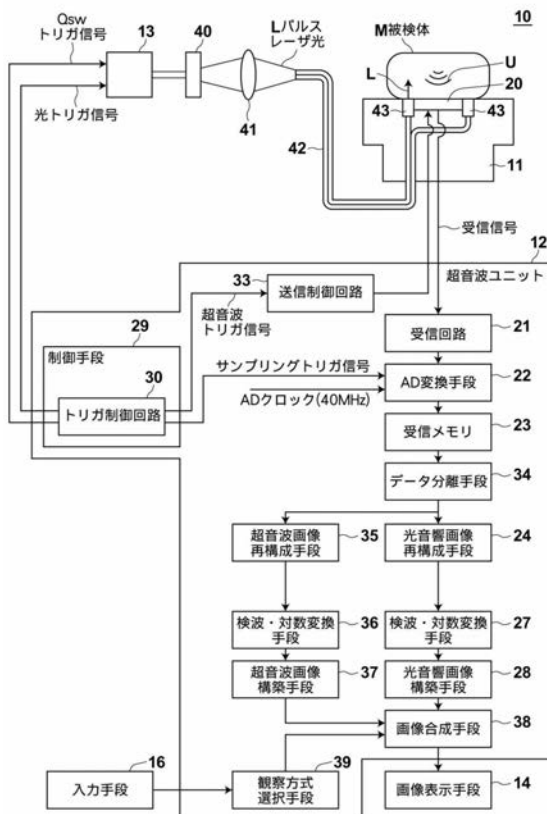
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【手続補正書】

【提出日】平成29年5月31日(2017.5.31)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定光を発する光源と、入射した前記測定光を被検体に向けて出射させると共に、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音響波振動子により検出する音響波検出用プローブと、該プローブの基端が装着される装置筐体とを備えた光音響計測装置であって、

前記プローブは、該プローブの一部を保持する保持部を有し、

前記装置筐体は、前記保持部と着脱可能とされた装着部を有し、

前記装着部には、前記測定光のビーム径を拡大させるビームエキスパンダ光学系が取り付けられ、

前記保持部には、前記ビームエキスパンダ光学系を経た前記測定光を集光する集光部材と、前記集光部材を経た前記測定光を伝搬させる複数の光ファイバを包含するバンドルファイバとが取り付けられ、

前記装着部または前記保持部に、前記測定光のエネルギープロファイルをフラットトップ化するホモジナイザが取り付けられ、

前記集光部材が、前記集光部材の焦点距離を f とし、前記ホモジナイザに入射する際の前記測定光の拡がり角を ϕ とし、前記ホモジナイザの拡散角を θ としたとき、下記式 1 で規定される前記測定光の最小ビーム径 D が前記バンドルファイバの径 d との関係で下記式 2 を満たすように前記測定光を集光するものであり、

前記バンドルファイバが、前記測定光のビーム径が $0.8d$ 以上 $1.2d$ 以下である状態で前記測定光が入射するように配置されたものである光音響計測装置。

【数 1】

$$D = 2.5 \cdot f \cdot \tan \left(\sqrt{\left(\frac{\phi}{2} \right)^2 + \left(\frac{\theta}{2} \right)^2} \right) \quad \text{式1}$$

$$0.8d \leq D \leq 1.2d \quad \text{式2}$$

【請求項 2】

前記ホモジナイザが、微小なレンズが基板の片面にランダムに配置されたレンズ拡散板であって、前記測定光をさらに拡散させるものである請求項 1 に記載の光音響計測装置。

【請求項 3】

前記保持部が、前記バンドルファイバの入射面を覆うように前記光ファイバの入射端部を保持し、前記測定光が入射する部分にウィンドウ部を有するものである請求項 1 または 2 に記載の光音響計測装置。

【請求項 4】

前記ウィンドウ部が ND フィルタから構成されている請求項 3 に記載の光音響計測装置。

【請求項 5】

前記バンドルファイバに入射する前記測定光を通過させる開口を有しかつ前記バンドルファイバの入射端に設けられた開口部材であって、前記開口の径が入射端に向かうほど前記バンドルファイバの径に対応した大きさを小さくする開口部材を備える請求項 1 から 4 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 6】

前記保持部が、キャップ部材と、光エネルギーに対して耐性のある材料から形成されたチップであってキャップ部材に嵌められたリング形状のチップとを含む導光部材を前記保持部内部に備える請求項 1 から 5 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 7】

前記保持部が、絞りおよびリレーレンズ系を含む導光部材を前記保持部内部に備える請求項 1 から 5 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 8】

前記バンドルファイバの入射端部に融着加工が施されている請求項 1 から 7 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 9】

前記光ファイバの入射端部における前記複数の光ファイバの外周が、光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料によって被覆されている請求項 1 から 8 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 10】

前記光エネルギーに対して高い耐久性を有する材料が石英である請求項 9 に記載の光音響計測装置。

【請求項 11】

前記複数の光ファイバの出射端部の少なくとも一部が接続される接続面と、該接続面から入射した前記測定光が出射する出射面とを有する少なくとも 1 つの導光板を備える請求項 1 から 10 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 12】

前記導光板が、前記音響波振動子を挟んで対向するように複数配置されている請求項 11 に記載の光音響計測装置。

【請求項 13】

前記音響波振動子によって検出された光音響波の光音響信号を処理する信号処理手段を備える請求項 1 から 12 いずれか 1 項に記載の光音響計測装置。

【請求項 14】

前記信号処理手段が、前記光音響信号に基づいて光音響画像を生成する音響画像生成手段を含むものである請求項 13 に記載の光音響計測装置。

【請求項 15】

前記音響波振動子が、前記被検体に対して送信された音響波に対する反射音響波を検出するものであり、

前記音響画像生成手段が、前記反射音響波の信号に基づいて反射音響波画像を生成するものである請求項 14 に記載の光音響計測装置。