

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5860822号
(P5860822)

(45) 発行日 平成28年2月16日(2016.2.16)

(24) 登録日 平成27年12月25日(2015.12.25)

(51) Int.Cl.

A 61 B 8/13 (2006.01)

F 1

A 61 B 8/13

請求項の数 17 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2013-19302 (P2013-19302)
 (22) 出願日 平成25年2月4日 (2013.2.4)
 (65) 公開番号 特開2013-188465 (P2013-188465A)
 (43) 公開日 平成25年9月26日 (2013.9.26)
 審査請求日 平成26年5月26日 (2014.5.26)
 (31) 優先権主張番号 特願2012-28372 (P2012-28372)
 (32) 優先日 平成24年2月13日 (2012.2.13)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 306037311
 富士フィルム株式会社
 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
 富士フィルム株式会社内
 (72) 発明者 山本 勝也
 神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地
 富士フィルム株式会社内

審査官 姫島 あや乃

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】音響波検出用のプローブおよびそれを備えた光音響計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音響波検出用のプローブにおいて、
 被検体に照射される測定光を発する光照射部と、
 該光照射部の近傍に配置された、音響波を検出可能な音響波振動子と、
 該音響波振動子の検出側に設けられた音響レンズと、
 前記光照射部、前記音響波振動子および前記音響レンズを収容する筐体とを備え、
 前記測定光の波長域が近赤外波長域であり、
 前記音響レンズ、および該音響レンズ近傍の前記筐体の表面部分が、前記測定光の波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下であり、さらに青-緑波長域における平均拡散反射率が70%以下である光学特性を有することを特徴とするプローブ。

【請求項 2】

前記筐体の前記表面部分における前記光学特性が、第1の無機顔料を含有する塗料により付与されたものであることを特徴とする請求項1に記載のプローブ。

【請求項 3】

前記第1の無機顔料が、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも1種の酸化物粒子であることを特徴とする請求項2に記載のプローブ。

【請求項 4】

前記第1の無機顔料の粒子の大きさが、0.05~0.35μmであることを特徴とす

る請求項2または3に記載のプローブ。

【請求項5】

前記第1の無機顔料の添加量が2～65wt%であることを特徴とする請求項2から4いずれか1項に記載のプローブ。

【請求項6】

前記筐体の前記表面部分における前記光学特性が、拡散反射シートにより付与されたものであることを特徴とする請求項1に記載のプローブ。

【請求項7】

前記筐体の前記表面部分における前記光学特性が、高反射素材で該表面部分が構成されることにより付与されたものであることを特徴とする請求項1に記載のプローブ。

10

【請求項8】

前記音響レンズにおける前記光学特性が、第2の無機顔料を含有する素材で前記音響レンズが構成されることにより付与されたものであることを特徴とする請求項1から7いずれか1項に記載のプローブ。

【請求項9】

前記第2の無機顔料が、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも1種の酸化物粒子であることを特徴とする請求項8に記載のプローブ。

【請求項10】

前記第2の無機顔料の粒子の大きさが、0.05～0.35μmであることを特徴とする請求項8または9に記載のプローブ。

20

【請求項11】

前記第2の無機顔料の添加量が2～65wt%であることを特徴とする請求項8から10いずれか1項に記載のプローブ。

【請求項12】

前記音響レンズの前記素材がシリコーンゴムであり、

前記第2の無機顔料が酸化チタン粒子であり、

前記第2の無機顔料の添加量が5～20wt%であることを特徴とする請求項11に記載のプローブ。

【請求項13】

前記筐体および/または前記音響レンズの表面が保護層によって覆われていることを特徴とする請求項1から12いずれか1項に記載のプローブ。

30

【請求項14】

請求項1から13いずれか1項に記載のプローブを備えることを特徴とする光音響計測装置。

【請求項15】

前記プローブの前記光照射部まで導光される近赤外波長域の測定光を出力する光源を備えることを特徴とする請求項14に記載の光音響計測装置。

【請求項16】

前記プローブによって検出された光音響波の光音響信号に基づいて、前記光音響信号についての光音響画像を生成する音響画像生成手段を備えることを特徴とする請求項14または15に記載の光音響計測装置。

40

【請求項17】

前記プローブが、前記被検体に対して送信された超音波に対する反射超音波を検出するものであり、

前記音響画像生成手段が、前記反射超音波の超音波信号に基づいて超音波画像を生成するものであることを特徴とする請求項16に記載の光音響計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【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それを備えた光音響計測

50

装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、音響波検出用のプローブ（または探触子）は、例えば、診断に使用される超音波画像生成装置および光音響画像生成装置、並びに漁業に使用される魚群探知機等に使用されている。このようなプローブには、音響波ビームを集束させて分解能を向上させるために音響レンズが組み込まれている。

【0003】

例えば特許文献1では、生体との密着性をよくするために、音響レンズは主に6つの特性を満たすことが望まれることが開示されている。具体的な6つの要件は、（1）測定対象との接触部分で超音波の反射を最小にすること、（2）超音波を高感度で送受信すること、（3）凸面形状にするために音響レンズ内の音速が測定対象内の音速（約1500m/s）以下の材料から作られること、（4）成型性に優れ、特に引き裂き強度が大きい材料から作られること、（5）添加物を含む音響レンズの構成材料が生体に対して安全であること、（6）使用の際に容易に変形しない程度の硬さを有する材料から作られることである。

【0004】

そこで特許文献1では、上記6つの要件をすべて満たす音響レンズを提供するため、シリコーンゴムに酸化亜鉛粉末または白金粉末を所定の重量濃度で混合させた組成物を開示している。

【0005】

また、これに関連して特許文献2には、粒径0.08～0.20μmの酸化チタン粒子がシリコーンゴムに混合された音響レンズが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2005-125071号公報

【特許文献2】特開昭58-216294号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

ところで、本発明者は、光音響計測を行う場合には、測定光の照射に起因する音響レンズについての課題があることを見出した。具体的には、測定対象で反射した光が音響レンズを通過し音響波振動子で吸収された場合に、音響波振動子の振動によるアーティファクト（虚像または偽像）が写し出されたり、測定対象で反射した光が音響レンズで吸収された場合に、そこで発生した光音響波によるアーティファクトが写し出されたりしてしまう。しかしながら、上記6つの要件を満たすだけでは当該課題を解決することは難しい。

【0008】

本発明は上記問題に鑑みてなされたものであり、プローブを用いた光音響計測において、測定光の照射に起因したアーティファクトの発生を低減することを可能とする音響波検出用のプローブおよびそれを備えた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】

【0009】

上記課題を解決するために、本発明に係るプローブは、

音響波検出用のプローブにおいて、

被検体に照射される測定光を発する光照射部と、

光照射部の近傍に配置された、音響波を検出可能な音響波振動子と、

音響波振動子の検出側に設けられた音響レンズと、

光照射部、音響波振動子および音響レンズを収容する筐体とを備え、

10

20

30

40

50

音響レンズ、および音響レンズ近傍の筐体の表面部分が、測定光の波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下である光学特性を有することを特徴とするものである。

【0010】

そして、本発明に係るプローブにおいて、音響レンズおよび/または筐体の上記表面部分における光学特性は、さらに青-緑波長域における平均拡散反射率が70%以下である特性を有することが好ましい。

【0011】

また、本発明に係るプローブにおいて、筐体の上記表面部分における光学特性は、第1の無機顔料を含有する塗料により付与されたものとすることができます。この場合において、第1の無機顔料は、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも1種の酸化物粒子であることが好ましい。また、第1の無機顔料の粒子の大きさは0.05~0.35μmであることが好ましく、第1の無機顔料の添加量は2~65wt%であることが好ましい。

10

【0012】

また、本発明に係るプローブにおいて、筐体の上記表面部分における光学特性は、拡散反射シートにより付与されたものとすることができます。

【0013】

また、本発明に係るプローブにおいて、筐体の上記表面部分における光学特性が、高反射素材で当該表面部分が構成されることにより付与されたものとすることができます。

20

【0014】

また、本発明に係るプローブにおいて、音響レンズにおける光学特性は、第2の無機顔料を含有する素材で音響レンズが構成されることにより付与されたものであることが好ましい。この場合において、第2の無機顔料は、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも1種の酸化物粒子であることが好ましい。また、第2の無機顔料の粒子の大きさは0.05~0.35μmであることが好ましく、第2の無機顔料の添加量は2~65wt%であることが好ましい。また、音響レンズの上記素材はシリコーンゴムであり、第2の無機顔料は酸化チタン粒子であり、第2の無機顔料の添加量は5~20wt%であることが特に好ましい。

【0015】

30

また、本発明に係るプローブにおいて、筐体および/または音響レンズの表面は保護層によって覆われていることが好ましい。

【0016】

また、本発明に係るプローブにおいて、測定光の波長域は近赤外波長域であることが好ましい。

【0017】

本発明に係る光音響計測装置は、上記に記載のプローブを備えることを特徴とするものである。

【0018】

そして、本発明に係る光音響計測装置は、プローブの光照射部まで導光される近赤外波長域の測定光を出力する光源を備えることが好ましい。

40

【0019】

また、本発明に係る光音響計測装置は、プローブによって検出された光音響波の光音響信号に基づいて、光音響信号についての光音響画像を生成する音響画像生成手段を備えることが好ましい。

【0020】

また、本発明に係る光音響計測装置において、プローブは、被検体に対して送信された超音波に対する反射超音波を検出するものであり、音響画像生成手段は、上記反射超音波の超音波信号に基づいて超音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】

50

【0021】

本発明に係るプローブおよび光音響計測装置は、特に、音響レンズ、および音響レンズ近傍の筐体の表面部分が、測定光の波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下である光学特性を有するものであることを特徴とする。これにより、測定対象で反射した光が、音響レンズを通過し音響波振動子で吸収されたり音響レンズで吸収されたりすることを抑制することができる。この結果、プローブを用いた光音響計測において、測定光の照射に起因したアーティファクトの発生を低減することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

10

【図1】本実施形態のプローブの構成を示す概略図である。

【図2】音響レンズ、および音響レンズ近傍の筐体の表面部分の構成を示す概略図である。

【図3】酸化物粒子に関する粒子サイズと散乱効率の関係を示す概略図である。

【図4】酸化チタン微粒子を含有するシリコーンゴム膜の赤外光に対する拡散反射率を示すグラフである。

【図5】酸化チタン微粒子の添加量と7MHzの音響減衰率との関係を示すグラフである。

【図6】第1の実施形態の光音響計測装置の構成を示す概略図である。

【図7】第2の実施形態の光音響計測装置の構成を示す概略図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0023】

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。

【0024】

「音響波検出用のプローブの実施形態」

まず、音響波検出用のプローブの実施形態について説明する。図1は本実施形態のプローブの構成を示す概略図であり、図2は音響レンズ、および音響レンズ近傍の筐体の表面部分の構成を示す概略図である。

30

【0025】

本実施形態のプローブ11は、図1に示されるように、光ファイバ40、導光板42、電気音響変換部20およびこれらを収容する筐体44から構成される。例えばプローブ11は、光源からのレーザ光Lを被検体Mに照射して、光音響効果によって被検体M内に発生する光音響波を検出するものである。レーザ光の波長は、計測の対象となる被検体M内の物質の光吸収特性によって適宜決定される。例えば測定対象が生体である場合には、一般的にヘモグロビンの吸収特性を考慮して、レーザ光として近赤外波長域の光が使用される。近赤外波長域とはおよそ700~850nmの波長域を意味する。しかしながら、レーザ光の波長は当然これに限られるものではない。

【0026】

40

<光ファイバ>

光ファイバ40は、レーザ光Lを出力する光源に光学的に接続されており、レーザ光Lを導光板42まで導光する。光ファイバ40は、特に限定されず、石英ファイバ等の公知のものを使用することができる。

【0027】

<導光板>

導光板42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、一方の端面から入れた光を他方の端面から均一に面発光させる板である。本発明の光照射部に相当する。図1bに示されるように、本実施形態では2つの導光板42が、電気音響変換部20を挟んで対向するように配置されている。光ファイバ40と導光板42とは互いに光学的に

50

結合されている。光ファイバ40と結合された側の導光板42の部分は、図1aに示されるように、例えばテーパー形状に形成される。さらに、光ファイバ40と結合される導光板42の部分は、光エネルギーによる破損を回避するために、ガラス材料で形成されることが好ましい。一方、その他の部分は、例えばアクリル等の樹脂材料で形成される。

【0028】

光ファイバ40によって導光されたレーザ光Lは、導光板42に入射した後、反対側の端部から被検体Mに照射される。導光板42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（散乱粒子を包含する樹脂等）または光の進行方向を電気音響変換部20側へ向ける機構（光を屈折させるための切り欠き等）を有していてもよい。

10

【0029】

＜電気音響変換部＞

電気音響変換部20は、例えばバッキング材50、音響波振動子アレイ51、音響整合層52および音響レンズ53を含む。

【0030】

バッキング材50は、音響波振動子アレイ51を透過した音響波を吸収して、音響波の反射波が被検体M側へ戻ることを抑制する機能を果たす。バッキング材50は、例えばベース樹脂であるエポキシ樹脂にタンゲステン(W)、鉛(Pb)、酸化亜鉛(ZnO)などの密度の高い粉末材料が混合された構成を有する。

20

【0031】

音響波振動子アレイ51は、複数の音響波振動子の1次元的または2次元的に配列したものであり、実際に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、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。

【0032】

音響整合層52は、例えば音響波振動子アレイ51の検出面上に形成されており、音響インピーダンスを整合する機能を果たす。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。

30

【0033】

音響レンズ53は、例えば音響整合層52上に形成されている。本発明の音響レンズ53は、測定光の波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下である光学特性を有する。「測定光の波長域」とは、測定光の波長分布における半値全幅に対応する波長域を意味する。例えば本実施形態では測定光の波長域は、近赤外波長域に含まれる。音響レンズの「平均拡散反射率」は、その音響レンズの平均厚さにおける拡散反射率であって、所定の波長域に属する光の拡散反射率の平均値を意味する。また音響レンズの「平均吸収率」は、その音響レンズの平均厚さにおける吸収率であって、所定の波長域に属する光の吸収率の平均値を意味する。所定の波長域に属する光の拡散反射率または吸収率の平均値は、例えば、その波長域に属するいくつかの光について拡散反射率または吸収率を求めて、それぞれその平均を取ることにより得られる。拡散反射率および吸収率は分光光度計等によって測定される。音響レンズ53の厚さは0.5~2mmであることが好ましく、0.7~1.5mmであることが好ましい。これは、薄すぎる場合には所定の濃度で測定光の波長域における拡散反射率を得ることやレンズ面を形成することが難しく、厚い場合にはシリコーンゴムによる測定光の波長域における吸収が増加するためである。

40

【0034】

例えば、音響レンズ53における上記光学特性は、無機顔料を含有する光透過性素材で音響レンズ53を構成することにより付与することができる。この場合において、無機顔

50

料は、酸化チタン、酸化ジルコニウム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも1種の酸化物粒子であることが好ましい。一方、上記光透過性素材としてはシリコーンゴム等の樹脂材料を使用することができる。シリコーンゴムとしては、例えば信越化学工業株式会社の品名KE-109、KE-106、KE-1031、KE-103、KE-108を使用することが好ましい。例えば、上記品名KE-109のシリコーンゴムの赤外吸収率は、音響レンズ53の好ましい厚さの範囲内において1%以下である。

【0035】

また、無機顔料の粒子の大きさは、後述するアーティファクトの発生が電気ノイズレベルになり画像上問題とならない範囲で適宜調整される。さらに無機顔料の粒子の大きさは、0.05~0.35μmであることが好ましい。これは、図3に示された、酸化物粒子に関する粒子サイズと散乱効率（これは粒子濃度一定での還元散乱定数に比例する。）の関係を考慮したものである。図3から分かるように、粒子の大きさが0.05~0.35μmである範囲において、素材に対する酸化物粒子の濃度（粒子濃度）が低くても高い拡散反射率を得ることができる。なお、図3のグラフは、756nmの光においてMie散乱を仮定して計算した値をプロットしたものである。さらに、無機顔料の粒子の大きさは、音響減衰率を低下させないことまで考慮すると0.08~0.2μmであることが好ましい。本明細書において、「粒子の大きさ」とは、その材料種の粒子の直径の平均値を意味し、例えば動的光散乱法、レーザ回折法および走査型電子顕微鏡(SEM)による画像イメージング法等によって測定される。

【0036】

無機顔料の添加量は、後述するアーティファクトの発生が電気ノイズレベルになり画像上問題とならない範囲で適宜調整される。無機顔料の添加量は、2~65wt%であることが好ましい。これは、添加量がこの範囲よりも低い場合には、測定光の波長域における平均拡散反射率が音響レンズ53の適当な厚さの範囲で85%に達せず、大きい場合には、測定光の波長域における平均拡散反射率を増加させる効果が、音響レンズ53を薄くしても飽和するためである。さらに無機顔料の添加量は、5~20wt%であることが好ましい。下限が5wt%であるのは、図4に示されるように音響レンズ53の好ましい厚さの範囲内においては、添加量が5wt%であるときに拡散反射率が85%を超えるためである。また、上限が20wt%であるのは、図4に示されるように20wt%程度で拡散反射率が飽和し、かつ図5から分かるように添加量が多いほど音響減衰率が上昇し音響検出を妨げてしまう（つまり音響減衰率の観点から言えば、無機顔料の添加量は少ない方が好ましい）ためである。ここで、図4は、白色顔料である酸化チタン粒子（4つの態様における添加量はそれぞれ1wt%、5wt%、10wt%および20wt%である）を含有するシリコーンゴム膜の赤外光に対する拡散反射率を示すグラフであり、横軸がその厚さ（mm）を表し、縦軸が拡散反射率（%）を表す。また図5は、酸化チタン微粒子の添加量と7MHzの音響減衰率との関係を示すグラフであり、横軸がその添加量（wt%）を表し、縦軸がその音響減衰率（dB/cm）を表す。

【0037】

音響レンズ53の設計に際しては、被検体Mと音響レンズ53との間で音響インピーダンスを整合させることを考慮することが好ましい。例えば上記無機顔料または他の添加剤の添加量を調整することにより、音響レンズ53の音響インピーダンスを調整することができる。例えば被検体Mが人体である場合には、上記無機顔料の添加量は5wt%よりも20wt%である方が、被検体Mおよび音響レンズ53それぞれの音響インピーダンスが互いに近づき、効率よく音響波が伝搬する。

【0038】

一般に、粒子同士が粒子径の半分以下の距離まで近接するような程度にまで粒子濃度が高くなると、散乱能は飽和する。例えば0.2μmの粒子が一辺0.3μmの立方体空間に入ることを想定すると、散乱能（拡散反射率）は、例えばシリコーンゴムおよび無機顔料の混合物中における無機顔料の体積分率が0.155のときに飽和する。そこで、本発明では、無機顔料の添加量は、音響レンズ53を構成する材料中における無機顔料の体積

10

20

30

40

50

分率が 0.155 の範囲で適宜設定される。これは、図 3 のグラフに示されていない酸化鉄および酸化セリウムについても同様である。

【 0 0 3 9 】

また、本発明において音響レンズ 53 は、さらに青・緑波長域における平均拡散反射率が 70% 以下である特性を有することが好ましい。「青・緑波長域」とはおよそ 450 ~ 550 nm の波長域を意味する。当該特性は、例えば上記無機顔料の粒子の大きさや添加量を調整することにより付与することができる。

【 0 0 4 0 】

＜筐体＞

筐体 44 は、例えば、アクリロニトリル (Acrylonitrile)、ブタジエン (Butadiene) およびスチレン (Styrene) 共重合合成樹脂 (ABS 樹脂) 等により構成される。本実施形態ではハンドヘルド型の形状を有しているが、本発明の筐体 44 はこれに限られない。本発明では筐体 44 の表面部分であって音響レンズ近傍の表面部分 (本実施形態の場合、図 1 における当接部分 R) は、測定光の波長域における平均拡散反射率が 85% 以上かつ平均吸収率が 10% 以下である光学特性を有する。本明細書において、「音響レンズ近傍の表面部分」とは、測定対象で反射した光の影響を受ける範囲を言い、例えば音響レンズから 1 cm 以内、より好ましくは 3 cm 以内、特に好ましくは 5 cm 以内と設定する。つまり、本発明における上記光学特性を有する領域を広く設定するほど、より本発明の効果を得ることができる。なお、少なくとも当接部分 R が上記光学特性を有していればよく、筐体 44 の全体が上記光学特性を有していてもよい。当接部分 R の「平均拡散反射率」とは、当接部分 R における部材全体の平均厚さにおける拡散反射率であって、所定の波長域に属する光の拡散反射率の平均値を意味する。また当接部分 R の「平均吸収率」は、当接部分 R における部材全体の平均厚さにおける吸収率であって、所定の波長域に属する光の吸収率の平均値を意味する。

【 0 0 4 1 】

例えば、当接部分 R における上記光学特性は、図 2a に示されるように、無機顔料を含有する塗料を当接部分 R に塗ることにより付与することができる。図 2a の符号 45 は、このようにして形成された塗料の塗布膜を表している。筐体 44 の当接部分 R 以外の部分または全体に上記光学特性を付与する場合には、上記光学特性を付与したいその部分または全体にも上記塗料を塗布すればよい。この場合において、無機顔料は、酸化チタン、酸化ジルコニアム、酸化鉄および酸化セリウムのうち少なくとも 1 種の酸化物粒子であることが好ましい。なお、塗料の主成分としては、特に制限されず、塗料として一般的に使用されている材料を使用することができる。塗布膜の厚みは例えば 0.03 mm 以上とする。また、無機顔料の粒子の大きさおよび添加量は、後述するアーティファクトの発生が電気ノイズレベルになり画像上問題とならない範囲で適宜調整される。さらに無機顔料の粒子の大きさは 0.05 ~ 0.35 μm であることが好ましく、無機顔料の添加量は 2 ~ 65 wt % であることが好ましい。これは、音響レンズ 53 の場合と同様の理由による。さらに、筐体および / または音響レンズは、機械的な強度を付与するための保護層 45a によって覆われていてもよい。この場合、保護層 45a の材料は、吸収特性の低い透明な樹脂 (パリレン、シリコーン系樹脂およびポリイミド系樹脂など) が好ましい。例えば、上記塗料は、酸化チタン粒子を 5 ~ 20 wt % の添加量で含有するシリコーンゴムであることが好ましい。

【 0 0 4 2 】

また、当接部分 R における上記光学特性は、図 2b に示されるように、上記光学特性を有する拡散反射シートを張ることにより付与することもできる。図 2b の符号 46 は、このようにして張られた拡散反射シートを表している。

【 0 0 4 3 】

また、当接部分 R における上記光学特性は、図 2c に示されるように、高反射素材で当接部分 R または筐体 44 の全体を構成することにより付与することができる。図 2c の符号 47 は、このようにして構成された筐体を表している。この場合において、高反射素材

10

20

30

40

50

は、上記無機顔料を含有するポリエステル、ポリエチレン、ポリカーボネートであることが好ましく、またはポリテトラフルオロエチレン（P T F E）、ペルフルオロアルコキシフッ素樹脂（P F A）、四フッ化エチレン・六フッ化プロピレン共重合体（F E P）、エチレン・四フッ化エチレン共重合体（F E P）およびエチレン・クロロトリフルオロエチレン共重合体（E C T F E）等のフッ素樹脂であることが好ましい。

【0044】

また、本発明において筐体44の当接部分および／または音響レンズ53における光学特性は、さらに青・緑波長域における平均拡散反射率が70%以下である特性を有することが好ましい。当該特性は、例えば、上記無機顔料の粒子の大きさや添加量を調整したり、所望の特性を有する拡散反射シートを選択したりすることにより付与することができる。例えば図2dでは、近赤外波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下であり、さらに青・緑波長域における平均拡散反射率が70%以下である光学特性を付与するように無機顔料が調整された、筐体48および音響レンズ55が表されている。なお、青・緑波長域における上記光学特性は、筐体44の全体に付与されていることが好ましい。

【0045】

以下本発明の作用効果を説明する。本発明のプローブ11は、特に、音響レンズ53および少なくとも筐体44の当接部分が、測定光の波長域における平均拡散反射率が85%以上かつ平均吸収率が10%以下である光学特性を有するものであることを特徴とする。

【0046】

例えば、測定光の波長域における平均拡散反射率が85%未満である場合には、測定対象で反射した光が音響レンズ53を通過し音響波振動子アレイ51で吸収されて、音響波振動子アレイ51の振動によるアーティファクト（虚像または偽像）が写し出されてしまう。また、測定光の波長域における平均吸収率が10%を超える場合には、測定対象で反射した光が音響レンズ53で吸収されて、そこで発生した光音響波によるアーティファクトが写し出されてしまう。したがって、本発明のように音響レンズ53が上記の光学特性を備えていれば、アーティファクトの発生を抑えることができる。また、反射した測定光の影響を受けやすい筐体44の当接部分についても同様の問題が生じうるため、本発明ではこの当接部分についても同じ光学特性を付与している。

【0047】

また、筐体44の当接部分および／または音響レンズ53において、青・緑波長域における平均拡散反射率が70%を超える場合には、厳しい医用環境において劣化したときに汚れが目立つようになってしまう。そこで、このような汚れが目立たないようにするために、プローブ11は真っ白ではなく僅かにでも色味（黄色、茶色またはクリーム色等）が付いていた方が良い。さらに、医療分野においては、使用できる色彩が限られている。したがって、筐体44および／または音響レンズ53が、青・緑波長域における上記光学特性を備えていれば、プローブ11の汚れが目立たなくなるため、医療現場においてもプローブ11を長く使用することが可能となる。

【0048】

「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6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。

【0049】

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。

【0050】

＜レーザユニット＞

10

20

30

40

50

レーザユニット13は、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1~100nsec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。

【0051】

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。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。

10

【0052】

<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、例えば図1および図2に示されたものを使用する。

【0053】

20

<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。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、本発明における音響画像生成手段に相当する。

【0054】

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。

30

【0055】

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

【0056】

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。

【0057】

AD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、AD変換手段22は、サンプリング制御部およびAD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、AD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。AD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

50

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 2 2 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。

【 0 0 5 8 】

受信メモリ 2 3 は、A D 変換手段 2 2 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 2 3 は、プローブ 1 1 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 2 4 に出力する。

【 0 0 5 9 】

光音響画像再構成手段 2 4 は、受信メモリ 2 3 から光音響信号を読み出し、プローブ 1 1 の電気音響変換部 2 0 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 2 4 は、例えばプローブ 1 1 の 6 4 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 2 4 は、遅延加算法に代えて、C B P 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 2 4 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。

【 0 0 6 0 】

検波・対数変換手段 2 7 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。

【 0 0 6 1 】

光音響画像構築手段 2 8 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 2 8 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。

【 0 0 6 2 】

観察方式選択手段 3 9 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。いずれの態様によつて表示するかは、初期設定或いは使用者による入力手段 1 6 からの入力に従つて選択される。

【 0 0 6 3 】

画像合成手段 3 8 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つて、仮想空間に割り当てるにより行う。例えば、Q s w 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、割り当た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 3 8 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。

【 0 0 6 4 】

また、画像合成手段 3 8 は、観察方式選択手段 3 9 によって選択された観察方式に従つて光音響画像を生成する。選択された観察方法に従つて生成された光音響画像が、画像表示手段 1 4 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 1 6 を使用して視点とする方向を順次指定する或いは移動

10

20

30

40

50

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。

【 0 0 6 5 】

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。

【 0 0 6 6 】

以上のように、本実施形態に係る光音響計測装置は、本発明のプローブを使用するものであるから、プローブを用いた光音響計測において、測定光の照射に起因したアーティファクトの発生を低減することが可能となる。

【 0 0 6 7 】

「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 7 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。

【 0 0 6 8 】

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。

【 0 0 6 9 】

〈超音波ユニット〉

本実施形態の超音波ユニット 12 は、図 6 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、A D 变換手段 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、本発明における音響画像生成手段に相当する。

【 0 0 7 0 】

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 51 を使用してもよいし、超音波の送受信用に別途プローブ 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。

【 0 0 7 1 】

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。

【 0 0 7 2 】

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 变換手段 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 变換手段 22 にサンプリン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 变換手段 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 M H z としてもよい。A D 变換

10

20

30

40

50

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。

【0073】

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。

【0074】

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。

【0075】

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。

【0076】

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畠す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。

【0077】

以上のように、本実施形態に係る光音響計測装置も、本発明のプローブを使用するものであるから、プローブを用いた光音響計測において、測定光の照射に起因したアーティファクトの発生を低減することが可能となる。

【0078】

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。

【0079】

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のみを計測するような構成にすることもできる。

【符号の説明】

【0080】

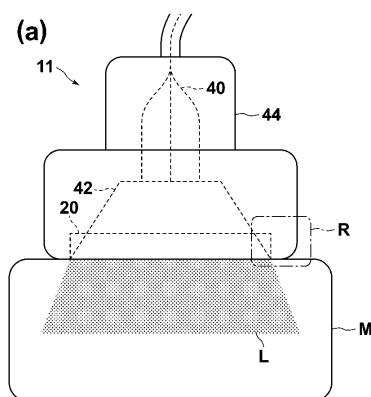
- | | | |
|-----|------------|----|
| 1 0 | 光音響画像生成装置 | 40 |
| 1 1 | プローブ | |
| 1 2 | 超音波ユニット | |
| 1 3 | レーザユニット | |
| 1 4 | 画像表示手段 | |
| 1 6 | 入力手段 | |
| 2 0 | 電気音響変換部 | |
| 2 1 | 受信回路 | |
| 2 2 | 変換手段 | |
| 2 3 | 受信メモリ | |
| 2 4 | 光音響画像再構成手段 | 50 |

- 2 7 検波・対数変換手段
 2 8 光音響画像構築手段
 2 9 制御手段
 3 0 トリガ制御回路
 3 3 送信制御回路
 3 4 データ分離手段
 3 8 画像合成手段
 3 9 観察方式選択手段
 4 0 光ファイバ
 4 2 導光板
 4 4 、 4 7 、 4 8 筐体
 4 5 塗布膜
 4 5 a 保護層
 4 6 拡散反射シート
 5 0 パッキング材
 5 1 音響波振動子アレイ
 5 2 音響整合層
 5 3 、 5 5 音響レンズ
 L 測定光
 M 被検体
 R 音響レンズ近傍の筐体の表面部分
 U 音響波

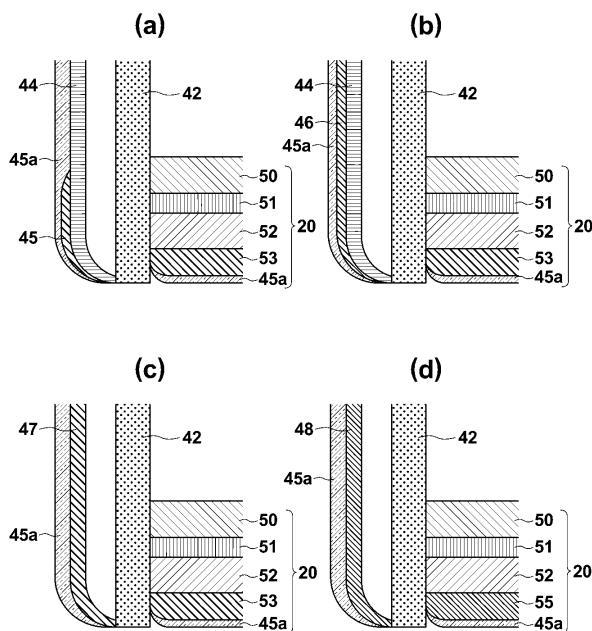
10

20

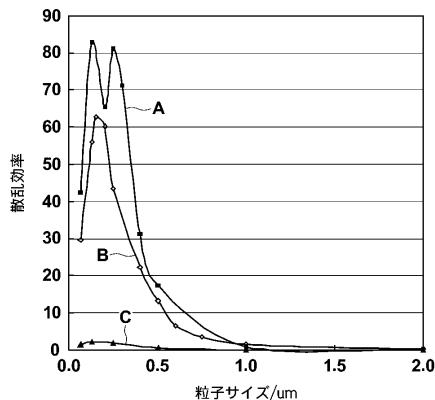
【図1】



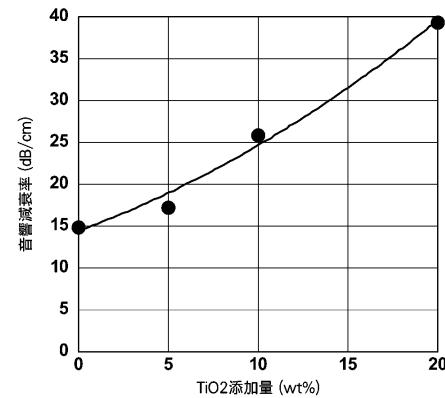
【図2】



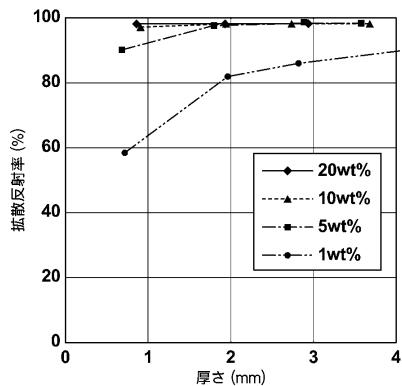
【図3】



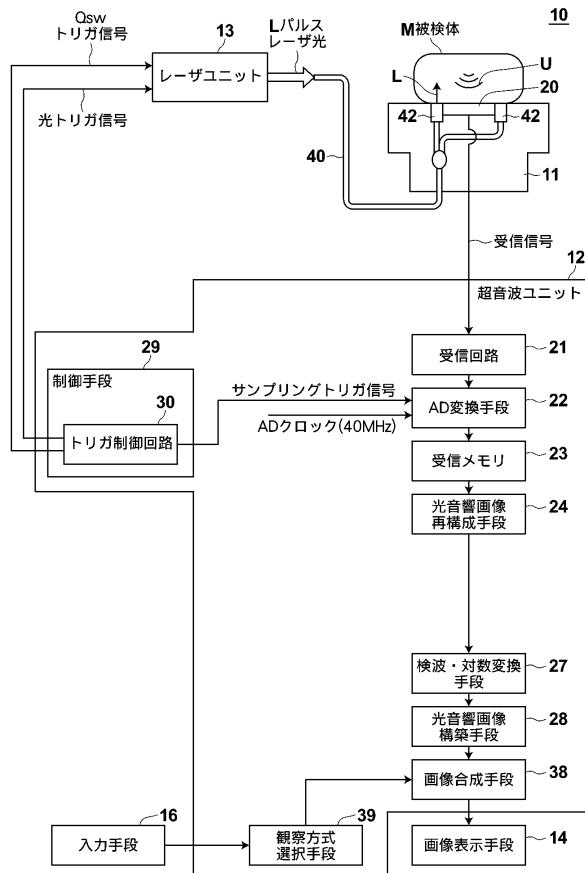
【図5】



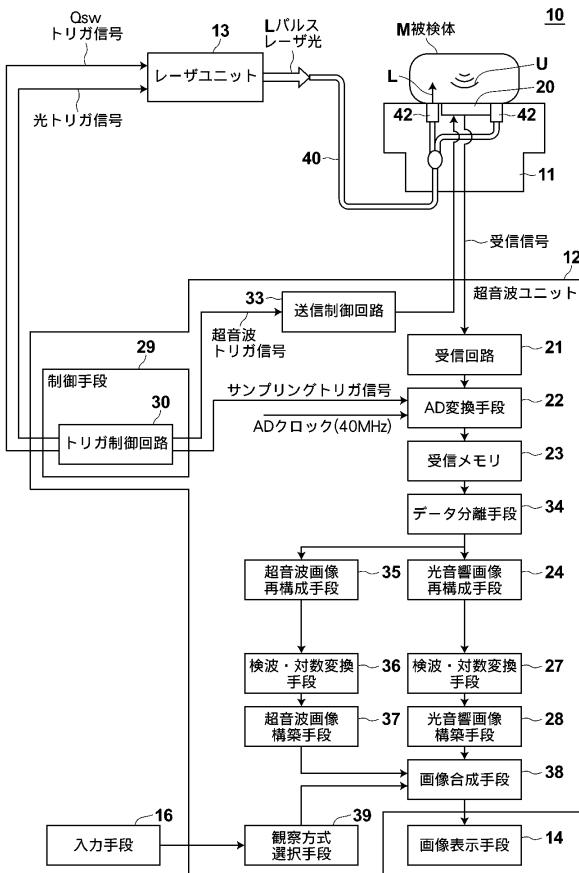
【図4】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-075681(JP, A)
特開2005-125071(JP, A)
特開2011-209691(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B 8 / 0 0 - 8 / 1 5