



GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 光音響画像生成装置及び方法

技術分野

[0001] 本発明は、光音響画像生成装置及び方法に関し、更に詳しくは、被検体に照射された光により被検体内で生じた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及び方法に関する。

背景技術

[0002] 生体内部の状態を非侵襲で検査できる画像検査法的一种として、超音波検査法が知られている。超音波検査では、超音波の送信及び受信が可能な超音波探触子を用いる。超音波探触子から被検体（生体）に超音波を送信させると、その超音波は生体内部を進んでいき、組織界面で反射する。超音波探触子でその反射音波を受信し、反射超音波が超音波探触子に戻ってくるまでの時間に基づいて距離を計算することで、内部の様子を画像化することができる。

[0003] また、光音響効果を利用して生体の内部を画像化する光音響イメージングが知られている。一般に光音響イメージングでは、レーザパルスなどのパルスレーザ光を生体内に照射する。生体内部では、例えば生体組織がパルスレーザ光のエネルギーを吸収し、そのエネルギーによる断熱膨張により超音波（光音響信号）が発生する。この光音響信号を超音波プローブなどで検出し、検出信号に基づいて光音響画像を構成することで、光音響信号に基づく生体内の可視化が可能である。光音響イメージング装置は、例えば特許文献１に記載されている。

[0004] ここで、パルスレーザ光の光音響効果によって被検査体に超音波を発生させ、この超音波を干渉計などの光学的手法で検出するレーザ超音波検査装置が、特許文献２に記載されている。特許文献２には、パルス光源重ね合わせ手段を用いて複数のパルスレーザ光線を重ね合わせ、被検査体に照射するパルスレーザ光線のパルス時間幅を制御することが記載されている。例えば第

1の波長可変パルス光源からパルス時間幅 t_p [s]のパルスレーザ光線を出射し、それから時間 t_p [s]だけ遅れて第2の波長可変パルス光源からパルス時間幅 t_p [s]のパルスレーザ光線を出射する。2つのパルスレーザ光線をハーフミラーで重ね合わせることで、パルス時間幅が $2t_p$ [s]の1つのパルスレーザ光線を得ることができる。特許文献2の段落0080には、照射するパルスレーザ光線の瞬時強度を下げることによって、被検査体に損傷を与えることなくパルスレーザ光線のエネルギーを大きくでき、超音波の検知信号の検知感度を向上できるという記載がある。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2010-104816号公報

特許文献2：特開2003-185639号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、パルスレーザ光の照射によって生じる光音響波の大きさは、パルスレーザ光の総エネルギーに依存するだけではなく、パルスレーザ光の時間波形にも依存する。例えばパルスレーザ光の時間波形が緩やかに変化するとき、発生する光音響波はあまり小さくなく、パルスレーザ光の時間波形が急峻に変化するほど、発生する光音響波の大きさが大きくなる。すなわち、光強度の時間変化量と光音響波の大きさとが相関する。従って、発生する光音響波、及びその検出信号の信号強度を大きくしたければ、光強度の時間変化量が大きい、パルス時間幅が短いパルスレーザ光を用いるとよい。

[0007] しかしながら、レーザ光源が、所望のパルス時間幅のパルスレーザ光を出射できるとは限らない。特許文献2では、パルスレーザ光のパルス時間幅を制御しているものの、特許文献2においては、複数のパルスレーザ光を互いに時間をずらして重ねることでパルス時間幅を制御しており、光強度の時間変化量を、レーザ光源を出射したパルスレーザ光の光強度の時間変化量より

も大きくすることはできない。従って、特許文献2に記載の技術では、光強度の時間変化量の大きいパルスレーザ光を被検体に照射して、検出される光音響信号を増強させることはできない。

[0008] 本発明は、上記に鑑み、光源から出射したパルス光の光強度の時間変化量よりも光強度の時間変化量を増加させたパルス光を被検体に照射できる光音響画像生成装置及び方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0009] 上記目的を達成するために、本発明は、被検体に照射すべきパルス光を出射する光源と、前記光源から出射したパルス光を入射し、該入射したパルス光の光強度の時間変化量よりも光強度の時間変化量が大きくなるように、前記パルス光の時間波形を波形整形するパルス波形整形手段と、前記パルス波形整形手段によって波形整形されたパルス光が被検体に照射された後に、被検体内で発生した光音響波を検出するプローブと、前記検出された光音響波に基づいて光音響画像を生成する光音響画像生成手段とを備えたことを特徴とする光音響画像生成装置を提供する。

[0010] 本発明の光音響画像生成装置では、前記波形整形手段が、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽する光シャッタを含む構成を採用できる。

[0011] 前記光シャッタが、前記パルス光の時間波形の立ち上がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽するものとしてもよい。その場合、前記光シャッタが、前記パルス光の出射から、前記パルス光の光強度が極大値をとる時刻かそれよりも前の時刻の間、前記入射したパルス光を遮蔽するものとしてすることができる。

[0012] 上記に代えて、又は加えて、前記光シャッタが、前記パルス光の時間波形の立ち下がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽してもよい。その場合、前記光シャッタが、前記パルス光の光強度が極大値を取る時刻の以後、前記パルス光を遮蔽するものとしてすることができる。

[0013] 前記光シャッタが、前記プローブで検出される光音響波の検出信号の強度

が、前記光源を出射したパルス光が前記パルス波形整形手段で波形整形されずに被検体に照射されたときに検出される光音響波の検出信号の強度よりも大きくなるように、前記パルス光の時間波形を波形整形するものであることが好ましい。

[0014] 本発明の光音響画像生成装置は、前記プローブが更に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、前記検出された反射音響波に基づいて反射音響波画像を生成する反射音響波画像生成手段と、前記光音響画像と前記反射音響波画像とを合成する画像合成手段とを更に備えた構成とすることができる。

[0015] 前記画像合成手段が、前記光音響画像と反射音響波画像とを重畳することで画像合成を行うものとしてもよい。

[0016] 本発明は、また、光源からパルス光を出射するステップと、前記出射したパルス光の光強度の時間変化量よりも光強度の時間変化量が大きくなるように前記パルス光の時間波形を波形整形するステップと、前記波形整形されたパルス光を被検体に照射するステップと、前記照射された光に起因して被検体内で発生した光音響波を検出するステップと、前記検出された光音響波に基づいて光音響画像を生成するステップとを有することを特徴とする光音響画像生成方法を提供する。

発明の効果

[0017] 本発明の光音響画像生成装置及び方法は、光源から出射したパルス光をパルス時間幅が狭くなるように波形整形し、波形整形したパルス光を被検体に照射して光音響信号を検出する。波形整形は、例えば入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽する光シャッタを用いて行うことができる。本発明では、光源自体から所望の光強度の時間変化量よりも時間変化量が小さいパルス光しか出射できない場合でも、光強度の時間変化量がより大きくなるように、言い換えれば光強度の時間波形における変化がより急峻となるように波形整形したパルス光を、被検体に照射することができる。光源を出射したパルス光より光強度の時間変化量が大きいパルス光を被検体に照射することで、

被検体から検出される光音響信号を増強することができる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]本発明の第1実施形態の光音響画像生成装置を示すブロック図。
[図2]レーザユニットが出射するパルスレーザ光の時間波形を示す波形図。
[図3]波形整形後のパルスレーザ光の時間波形の一例を示す波形図。
[図4]光音響波の圧力波形を示す波形図。
[図5]波形整形後のパルスレーザ光の時間波形の別の例を示す波形図。
[図6]光音響波の圧力波形を示す波形図。
[図7]光音響波の周波数と圧力との関係を示すグラフ。
[図8]動作手順を示すフローチャート。
[図9]本発明の第2実施形態の光音響画像生成装置を示すブロック図。
[図10]波形整形前後のパルスレーザ光とシャッタ制御信号とを示す波形図。
[図11]第2実施形態の変形例の光音響画像生成装置を示すブロック図。
[図12]本発明の第3実施形態の光音響画像生成装置を示すブロック図。

発明を実施するための形態

- [0019] 以下、図面を参照し、本発明の実施の形態を詳細に説明する。図1は、本発明の第1実施形態の光音響画像生成装置を示す。光音響画像生成装置（光音響画像診断装置）10は、超音波探触子（プローブ）11、超音波ユニット12、及びレーザ光源（レーザユニット）13を備える。なお、本発明の実施例では、音響波として超音波を用いるが、被検対象や測定条件等に応じて適切な周波数を選択することにより、可聴周波数の音響波であっても良い。

- [0020] レーザユニット（光源ユニット）13は、パルス光を出射する光源であり、被検体に照射するレーザ光を生成する。レーザ光の波長は、観察対象物に応じて適宜設定すればよい。レーザユニット13と被検体との間には、波形整形手段14が設けられる。波形整形手段14は、レーザユニット13から出射したパルスレーザ光を入射し、入射したパルスレーザ光の光強度の時間変化量よりも時間変化量が大きくなるように、つまり、光強度の時間波形の

変化がより急峻となるように、パルスレーザ光の時間波形を波形整形する。波形整形手段 14 は、例えば入射したパルスレーザ光の一部を遮蔽する光シャッタを含む。光シャッタは、例えばパルスレーザ光の時間波形の立ち上がり又は立ち下がりが波形整形前に比して急峻となるように、入射したパルスレーザ光の発光時間の一部を遮蔽する。光シャッタには E O (Electrical-optical) 素子と偏光板と E O 素子の駆動回路とを組み合わせた E O シャッタを用いることができる。あるいは、一度レーザ光を分岐し、片方の光路に E O 素子を配置して位相を変え、再び合波するような光学系を組み、マッハツェンダ型光強度変調器としてシャッタ作用をさせるものを用いてもよい。なお、光源ユニットから出射する光はパルス光であればよく、必ずしもパルスレーザ光である必要はない。

[0021] レーザユニット 13 が出射するパルスレーザ光は、波形整形手段 14 で波形整形された後に、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 から被検体に照射される。波形整形手段 14 による波形整形は、パルスレーザ光の出射から被検体に照射されるまでの間の光路上の任意の位置で行うことができる。波形整形手段 14 がレーザユニット 13 に内蔵されていてもよい。プローブ 11 は、波形整形されたパルスレーザ光が被検体に照射された後に、被検体内の光吸収体がパルスレーザ光を吸収することで生じた光音響波（光音響信号）を検出する。プローブ 11 は、例えば一次元配列された複数の超音波振動子を有する。

[0022] 超音波ユニット 12 は、受信回路 21、A D 変換手段 22、光音響画像再構成手段 24、検波・対数変換手段 25、光音響画像構築手段 26、トリガ制御回路 27、及び制御手段 28 を有する。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。A D 変換手段 22 は、受信回路 21 が受信した光音響信号をデジタル信号に変換する。A D 変換手段 22 は、例えば、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光音響信号をサンプリングする。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を記憶する。

- [0023] 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 の複数の超音波振動子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 個の超音波振動子からのデータを、超音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。
- [0024] 検波・対数変換手段 25 は、光音響画像再構成手段 24 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。光音響画像構築手段 26 は、対数変換が施された各ラインのデータに基づいて、光音響画像を生成する。光音響画像構築手段 26 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層画像における深さ方向の位置に変換して光音響画像を生成する。光音響画像再構成手段 24、検波・対数変換手段 25、及び光音響画像構築手段 26 は、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手段を構成する。
- [0025] 制御手段 28 は、超音波ユニット 12 内の各部を制御する。トリガ制御回路 27 は、光音響画像生成に際して、レーザユニット 13 にフラッシュランプトリガ信号を送る。また、フラッシュランプトリガ信号の出力後に、Q スイッチトリガ信号を送る。さらに、Q スイッチトリガ信号から実際にレーザユニット 13 においてレーザ発光が生じるまでのディレイ時間と、パルス時間幅及び E O シャッタが実際に駆動するまでのディレイ時間等を考慮したタイミングで、波形整形手段 14 へシャッタ制御信号を送る。また、トリガ制御回路 27 は、被検体に対するレーザ光照射と同期して A D 変換手段 22 にサンプリングトリガ信号を送り、A D 変換手段 22 における光音響信号のサンプリング開始タイミングを制御する。
- [0026] レーザユニット 13 は、フラッシュランプ 31 と Q スイッチ 32 とを含む

。レーザユニット13は、フラッシュランプトリガ信号を受けてフラッシュランプ31を点灯し、図示しないレーザロッド（レーザ結晶）に対して励起光を照射する。レーザ結晶には、例えばアレキサンドライト結晶やCr:LiSAF (Cr:LiSrAlF₆)、Cr:LiCAF (Cr:LiCaAlF₆)結晶、Ti:Sapphire結晶を用いることができる。レーザユニット13は、Qスイッチトリガ信号が入力されるとQスイッチをONにし、パルスレーザ光を出射する。

[0027] 図2は、レーザユニット13が出射するパルスレーザ光の時間波形を示す。横軸は時間を表し、縦軸は光強度を表している。レーザユニット13は、例えばパルス時間幅50nsのパルスレーザ光を出射する。パルス時間幅は、例えばパルスレーザ光の光強度が、そのピーク値の半分以上となる時間の幅（半値幅）と定義できる。パルス時間幅の定義は半値幅には限定されず、他の定義を用いてもよい。

[0028] 図3に、波形整形後のパルスレーザ光の時間波形の一例を示す。波形整形手段14は、例えばパルスレーザ光の時間波形の立ち上がり部分でパルスレーザ光を遮蔽する。つまり、波形整形手段14は、パルスレーザ光の出射開始から、パルスレーザ光の光強度がピーク値をとる時刻かそれよりも前の時刻の間、レーザユニット13から入射したパルスレーザ光を遮蔽する。このようにすることで、図3に示すような、立ち上がりが急峻になるように波形整形されたパルスレーザ光を得ることができる。例えば波形整形手段14が、パルスレーザ光がピークを取る時刻まではパルスレーザ光を遮蔽し、それ以降はパルスレーザ光を透過することで、パルス時間幅を50nsから、およそ25nsまで狭めることができ、発光前半部の光強度の時間変化量が大幅に増大する。

[0029] 図4は、光音響波の圧力波形を示す。横軸は時間を表し、縦軸は光音響波の圧力を示している。図4では、波形整形前のパルスレーザ光を被検体に照射したときの光音響波の圧力波形を破線で示し、図3に示した波形整形後のパルスレーザ光を被検体に照射したときの光音響波の圧力波形を実線で示し

ている。光音響波の圧力波形は、照射したパルスレーザ光の微分波形として表される。波形整形後のパルスレーザ光（図3）は、波形整形前（図2）に比して立ち上がり部分が急峻になっているため、波形整形後のパルスレーザ光を照射したときの光音響波の正の部分のピーク値は、波形整形前のパルスレーザ光を照射したときの光音響波の正の部分のピーク値よりも大きくなっている。従って、その差の分だけ、検出される光音響信号の信号強度（光音響波の検出信号の強度）を増強することができる。

[0030] 図5に、波形整形後のパルスレーザ光の時間波形の別の例を示す。波形整形手段14は、例えばパルスレーザ光の時間波形の立ち下がり部分でパルスレーザ光を遮蔽する。つまり、波形整形手段14は、パルスレーザ光の光強度がピーク値をとる時刻以後、レーザユニット13から入射したパルスレーザ光を遮蔽する。このようにすることで、図3に示すような、立ち上がりが急峻になるように波形整形されたパルスレーザ光を得ることができる。例えば波形整形手段14が、パルスレーザ光がピークを取る時刻まではパルスレーザ光を透過し、それ以降はパルスレーザ光を遮蔽することで、パルス時間幅を50 nsから、およそ25 nsまで狭めることができ、発光後半部の光強度の時間変化量が大幅に増大する。

[0031] 図6は、光音響波の圧力波形を示す。図6では、波形整形前のパルスレーザ光を被検体に照射したときの光音響波の圧力波形を破線で示し、図5に示した波形整形後のパルスレーザ光を被検体に照射したときの光音響波の圧力波形を実線で示している。波形整形後のパルスレーザ光（図5）は、波形整形前（図2）に比して立ち下がり部分が急峻になっているため、波形整形後のパルスレーザ光を照射したときの光音響波の負の部分のピーク値は、波形整形前のパルスレーザ光を照射したときの光音響波の負の部分のピーク値よりも大きくなっている。従って、その差の分だけ、検出される光音響信号の信号強度を増強することができる。光音響画像の生成では、光音響信号の絶対値を画像化するため、負の部分の圧力波を増強してもよい。

[0032] ここで、波形整形手段14が、レーザユニット13から出射したパルスレ

ーザ光の発光時間の一部を遮蔽することで、パルス時間幅が短くなり、それに伴って波形整形後のパルスレーザ光の光強度の時間変化量が増大する。このように、波形整形後のパルスレーザ光のパルス時間幅と光強度の時間変化量とは連動している。そこで、本実施形態では、主に、パルス時間幅を、パルスレーザ光の光強度の時間変化量を表す指標として使用するものとする。

[0033] 図7に、光音響波の周波数と圧力との関係を示す。横軸は光音響波の周波数を表し、縦軸は圧力を表している。図7では、パルス時間幅45 nsのパルスレーザ光を照射したときの光音響波の周波数と圧力との関係を破線で示し、パルス時間幅4.2 nsのパルスレーザ光を照射したときの光音響波の周波数と圧力との関係を一点鎖線で示し、パルス時間幅およそ25 nsの（波形整形後の）パルスレーザ光を照射したときの光音響波の周波数と圧力との関係を実線で示している。プローブ11で検出する光音響信号の周波数帯域はおよそ5 MHz - 10 MHzであるとする。

[0034] パルスレーザ光のパルス時間幅が狭い場合（4.2 ns）、図7に破線で示すように、光音響波に含まれる高い周波帯域においても、光音響波の圧力の落ち込みは少ない。これに対し、パルスレーザ光のパルス時間幅が広い場合（45 ns）、図7に一点鎖線で示すように、光音響波に含まれる高周波成分が少ない。そのようなパルス時間幅が広いパルスレーザ光に対して波形整形を行い、光強度の時間変化量を大きくすることで、図7に実線で示すように、元のパルス時間幅のパルスレーザ光を照射する場合に比して、高周波成分を多く含む光音響波を発生させることができる。

[0035] 波形整形を行った場合、高周波成分の落ち込みが少ない分だけ、受信帯域内の積分値を表わされる全体の信号強度を増強することができ、光音響画像のS/N比（Signal Noise Ratio）を向上できる。また、高周波成分が増強されることで、高い周波数のプローブ11を利用でき、画像の分解能を向上できる。一方で、波形整形されたパルスレーザ光を照射することによって信号処理を変更する必要はなく、既存の超音波ユニット12の利用が可能である。

- [0036] 図8は、動作手順を示す。トリガ制御回路27は、レーザユニット13に対してフラッシュランプトリガ信号を出力する。レーザユニット13は、フラッシュランプトリガ信号を受けてフラッシュランプ31を点灯する。トリガ制御回路27は、所定のタイミングでQスイッチトリガ信号を出力する。レーザユニット13は、Qスイッチトリガ信号が入力されると、Qスイッチ32をONにし、パルスレーザ光を出射する（ステップA1）。
- [0037] レーザユニット13を出射したパルスレーザ光は波形整形手段14に入射する。波形整形手段14は、パルス時間幅が狭くなるように、入射したパルスレーザ光の時間波形を整形する（ステップA2）。例えば、トリガ制御回路27は、レーザユニット13に対するQスイッチトリガ信号の出力後、所定のタイミングで波形整形手段14にシャッタ制御信号を送る。波形整形手段14は、受け取ったシャッタ制御信号に従って、光シャッタの開閉を制御する。波形整形手段14は、例えば立ち上がり部又は立ち下がり部に対応した時間領域で光シャッタを閉じることで、パルスレーザ光のパルス時間幅を、波形整形前のパルスレーザ光のパルス時間幅よりも狭くする。波形整形手段14で波形整形されたパルスレーザ光は、例えばプローブ11まで導光され、プローブ11から被検体に照射される（ステップA3）。
- [0038] プローブ11は、レーザ光の照射後、パルスレーザ光の照射により被検体内で発生した光音響信号を検出する（ステップA4）。超音波ユニット12の受信回路21は、プローブ11で検出された光音響信号を受信する。トリガ制御回路27は、被検体に対する光照射のタイミングに合わせてAD変換手段22にサンプリングトリガ信号を送る。AD変換手段22は、サンプリングトリガ信号を受けて光音響信号のサンプリングを開始し、光音響信号のサンプリングデータを受信メモリ23に格納する。
- [0039] 光音響画像再構成手段24は、受信メモリ23から光音響信号のサンプリングデータを読み出し、読み出した光音響信号のサンプリングデータに基づいて、光音響画像の各ラインのデータを生成する。検波・対数変換手段25は、光音響画像再構成手段24で生成された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。光音響画像構築手段 26 は、対数変換が施された各ラインのデータに基づいて光音響画像を生成する（ステップ A5）。画像表示手段 15 は、表示画面上に、ステップ A5 で生成された光音響画像を表示する（ステップ A6）。

[0040] 本実施形態では、波形整形手段 14 は、レーザユニット 13 から出射したパルスレーザ光を光強度の時間変化量が大きくなるように波形整形する。そのように波形整形されたパルスレーザ光を被検体に照射し、被検体内でパルスレーザ光照射により生じた光音響信号を検出する。レーザユニット 13 が、レーザ結晶の材質や装置構成の制限などに起因して、光音響に用いるにはパルス時間幅が長く、従って光強度の時間変化量が小さいパルスレーザ光しか出射できない場合がある。本実施形態では、そのような場合でも、パルスレーザ光の光強度の時間変化量を増大することができ、被検体内で発生する光音響波の圧力を、波形整形前のパルスレーザ光が照射される場合に比して強めることができる。その結果、プローブ 11 で検出される光音響信号の信号強度を増強することができる。

[0041] ところで、波形整形手段 14 を用いてパルスレーザ光の発光時間の一部を遮蔽すると、波形整形を行わない場合に比して、被検体に照射されるパルスレーザ光の総エネルギー量は減少する。パルスレーザ光の総エネルギー量が減少することで、光音響信号の信号強度が低下することも考えられる。波形整形に伴う総エネルギー量の減少分だけ入射エネルギーを大きくすれば、波形整形した場合でも、波形整形しない場合と同じ総エネルギー量のパルスレーザ光を照射することができる。総エネルギー量を同じにした場合、波形整形によってパルスレーザ光の光強度の時間変化量が増大しているために信号となる効率は高く、より高画質の画像を得ることができる。被検体に照射するパルスレーザ光のパルスあたりのエネルギー密度は MPE（最大許容露光量）により制限されており（例えば波長 750 nm では約 $2.7 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 程度）、そのエネルギー密度を超えない範囲で入射エネルギーを上げ、波形整形に伴う総エネルギー量の減少分を補うことで、より高画質の光音響画像を

得ることができる。

[0042] 次いで、本発明の第2実施形態を説明する。図9は、本発明の第2実施形態の光音響画像装置を示す。本実施形態の光音響画像生成装置10aは、図1に示す第1実施形態の光音響画像生成装置の構成に加えて、発光検出素子39を有する。発光検出素子39は、レーザユニット13からパルスレーザ光が出射した旨を検出する。発光検出素子39は、例えばレーザユニット13から出射した光が波形整形手段14に入射するまでの間の光路に近接して設けられる。発光検出素子39は、受光面を有しており、その受光面に入射した光の強度が所定の光強度以上となると、光を検出した旨の信号を出力する。発光検出素子39には、例えば高速フォトダイオードを用いることができる。発光検出素子39は、パルスレーザ光の出射を検出すると、その旨をトリガ制御回路27に通知する。

[0043] トリガ制御回路27は、発光検出素子39から、パルスレーザ光の出射が検出された旨の通知を受ける。トリガ制御回路27は、発光検出素子39がパルスレーザ光の出射を検出すると、波形整形手段14にシャッタ制御信号を出力する。例えば、はじめ波形整形手段14は光シャッタを閉じている。トリガ制御回路27は、発光検出素子39がパルスレーザ光の出射を検出した時刻、言い換えればパルスレーザ光の光強度の時間波形が立ち上がり始めた時刻から、所定の時間が経過した時刻にシャッタ制御信号を出力し、光シャッタを所定時間だけ開かせる。

[0044] 図10は、レーザユニット13を出射したパルスレーザ光とシャッタ制御信号と波形整形後のパルスレーザ光を示す。レーザユニット13がパルスレーザ光を出射すると、発光検出素子39は、パルスレーザ光の光強度がしきい値以上となった時刻 t_1 で、パルスレーザ光の出射を検出する。トリガ制御回路27は、時刻 t_1 で発光検出素子39からパルスレーザ光が出射した旨の通知を受けると、時刻 t_1 から所定の時間が経過した時刻 t_2 で、波形整形手段14にパルス状のシャッタ制御信号を出力する。時刻 t_1 から時刻 t_2 までの間の時間は、例えば波形整形前のパルスレーザ光の光強度の時間

波形、波形整形後の（得たい）パルスレーザ光の光強度の時間変化量、波形整形手段 14 に対してシャッタ制御信号が入力されてから実際に光シャッタが開くまでに要する時間などに基づいて決定することができる。

[0045] トリガ制御回路 27 は、例えば所定の期間だけ高電圧レベルを示すパルス状のシャッタ制御信号を波形整形手段 14 に出力する。波形整形手段 14 では、シャッタ制御信号に応答して、図示しない E O 素子の駆動回路から E O 素子に高電圧が印加される。E O 素子に高電圧が印加される間、レーザユニット 13 から出射したパルスレーザ光は光シャッタで遮蔽されずに、被検体側に透過する。時刻 t_3 でシャッタ制御信号が高電圧レベルから低電圧レベルに戻ると、E O 素子に対する高電圧の印加が停止され、レーザユニット 13 から出射したパルスレーザ光は光シャッタで遮蔽される。トリガ制御回路 14 から、レーザユニット 13 から出射したパルスレーザ光の光強度がピークを取る時刻を含む所定期間だけ高電圧レベルとなるようなシャッタ制御信号を出力することで、立ち上がり部と立ち下がり部の双方において、パルスレーザ光の光強度の時間変化波形を急峻にすることができる。

[0046] ここで、レーザユニット 13 から出射するパルスレーザ光のパルス時間幅が広い場合、Q スイッチトリガから実際にパルスレーザ光が出射するまでのディレイ時間のばらつきが大きいことが考えられる。本実施形態では、発光検出素子 39 を用い、発光ごとにパルスレーザ光の光強度の時間波形の立ち上がりを検出している。発光検出素子 39 の検出結果に応じて波形整形手段 14 を制御することで、ディレイ時間のばらつきが大きいときでも、波形整形手段 14 によりパルスレーザ光を所望の光強度の時間変化量を持つパルスレーザ光に波形整形することができる。

[0047] なお、上記では、トリガ制御回路 27 が波形整形手段 14 にシャッタ制御信号を出力するものとして説明したが、トリガ制御回路 27 とは別個にシャッタ制御回路を設ける構成とすることも可能である。図 11 は、第 2 実施形態の変形例の光音響画像生成装置を示す。変形例の光音響画像生成装置 10b は、図 9 に示す光音響画像生成装置 10a の構成に加えて、シャッタ制御

回路 40 を有する。シャッタ制御回路 40 は、発光検出素子 39 がパルスレーザ光の出射を検出すると、波形整形手段 14 にシャッタ制御信号を出力する。発光検出素子 39 及びシャッタ制御回路 40 は、波形整形手段 14 に含まれていてもよい。図 11 に示す例のように、トリガ制御回路 27 とは別個に、超音波ユニット 12 の外部にシャッタ制御回路 40 を設ける構成とする場合、シャッタ制御回路 40 を波形整形手段 14 に近接して設けることができ、シャッタ制御回路 40 から波形整形手段 14 までの回路長を短くすることができる。特に、数 10 ns オーダーで光シャッタの制御を行うことを考えると、シャッタ制御回路 40 から波形整形手段 14 までの回路長は短いことが好ましく、図 11 に示す回路構成の方が有利であると考えられる。

[0048] 引き続き、本発明の第 3 実施形態を説明する。図 12 は、本発明の第 3 実施形態の光音響画像生成装置を示す。光音響画像生成装置 10c は、図 1 に示す第 1 実施形態の光音響画像生成装置 10 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、超音波画像構築手段 37、及び画像合成手段 38 を備える。本実施形態の光音響画像生成装置 10c は、光音響画像に加えて、送信された超音波（音響波）に対する反射超音波（反射音響波）に基づく超音波画像（反射音響波画像）の生成を行う点で、第 1 実施形態の光音響画像生成装置 10 と相違する。

[0049] 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。なお、超音波送信手段を別に設け、プローブ 11 とは異なる位置から超音波送信を行い、プローブ 11 にて送信された超音波に対する反射超音波を検出してもよい。トリガ制御回路 27 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、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。

- [0050] プローブ 1 1 が検出した反射超音波は、受信回路 2 1 を介して A D 変換手段 2 2 に入力される。トリガ制御回路 2 7 は、超音波送信のタイミングに合わせて A D 変換手段 2 2 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。A D 変換手段 2 2 は、反射超音波のサンプリングデータを受信メモリ 2 3 に格納する。光音響信号の検出（サンプリング）と、反射超音波の検出（サンプリング）とは、どちらを先に行ってもよい。
- [0051] データ分離手段 3 4 は、受信メモリ 2 3 に格納された光音響信号のサンプリングデータと反射超音波のサンプリングデータとを分離する。データ分離手段 3 4 は、分離した光音響信号のサンプリングデータを光音響画像再構成手段 2 4 に入力する。データ分離手段 3 4 は、分離した反射超音波のサンプリングデータを、超音波画像再構成手段 3 5 に入力する。
- [0052] 超音波画像再構成手段 3 5 は、プローブ 1 1 の複数の超音波振動子で検出された反射超音波（そのサンプリングデータ）に基づいて、超音波画像の各ラインのデータを生成する。検波・対数変換手段 3 6 は、超音波画像再構成手段 3 5 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。
- [0053] 超音波画像構築手段 3 7 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。超音波画像再構成手段 3 5、検波・対数変換手段 3 6、及び超音波画像構築手段 3 7 は、反射超音波に基づいて超音波画像を生成する超音波画像生成手段（反射音響波画像生成手段）を構成する。画像合成手段 3 8 は、光音響画像と超音波画像とを合成する。画像合成手段 3 8 は、例えば光音響画像と超音波画像とを重畳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 1 5 に表示される。画像合成を行わずに、画像表示手段 1 5 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することも可能である。
- [0054] 本実施形態では、光音響画像生成装置は、光音響画像に加えて超音波画像を生成する。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。パルス時間幅が狭くなるように波

形整形されたパルスレーザ光を照射し、光音響信号を検出する点は、第1実施形態と同様である。なお、第2実施形態の光音響画像生成装置において、超音波画像を生成するようにすることも可能である。

[0055] 以上、本発明をその好適な実施形態に基づいて説明したが、本発明の光音響画像生成装置及び方法は、上記実施形態にのみ限定されるものではなく、上記実施形態の構成から種々の修正及び変更を施したもののも、本発明の範囲に含まれる。

請求の範囲

- [請求項1] 被検体に照射すべきパルス光を出射する光源と、
前記光源から出射したパルス光を入射し、該入射したパルス光の光強度の時間変化量よりも光強度の時間変化量が大きくなるように、前記パルス光の時間波形を波形整形するパルス波形整形手段と、
前記パルス波形整形手段によって波形整形されたパルス光が被検体に照射された後に、被検体内で発生した光音響波を検出するプローブと、
前記検出された光音響波に基づいて光音響画像を生成する光音響画像生成手段とを備えたことを特徴とする光音響画像生成装置。
- [請求項2] 前記波形整形手段が、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽する光シャッタを含むことを特徴とする請求項1に記載の光音響画像生成装置。
- [請求項3] 前記光シャッタが、前記パルス光の時間波形の立ち上がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽するものであることを特徴とする請求項2に記載の光音響画像生成装置。
- [請求項4] 前記光シャッタが、前記パルス光の出射から、前記パルス光の光強度が極大値をとる時刻かそれよりも前の時刻の間、前記入射したパルス光を遮蔽するものであることを特徴とする請求項3に記載の光音響画像生成装置。
- [請求項5] 前記光シャッタが、前記パルス光の時間波形の立ち下がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記入射したパルス光の発光時間の一部を遮蔽するものであることを特徴とする請求項2に記載の光音響画像生成装置。
- [請求項6] 前記光シャッタが、前記パルス光の光強度が極大値を取る時刻以後、前記パルス光を遮蔽するものであることを特徴とする請求項5に記載の光音響画像生成装置。

- [請求項7] 前記光源からパルス光が出射した旨を検出する発光検出素子と、
前記発光検出素子がパルス光の出射を検出すると、前記波形整形手段にシャッタ制御信号を出力するシャッタ制御回路とを更に備えることを特徴とする請求項2から6何れかに記載の光音響画像生成装置。
- [請求項8] 前記光シャッタが、前記プローブで検出される光音響波の検出信号の強度が、前記光源を出射したパルス光が前記パルス波形整形手段で波形整形されずに被検体に照射されたときに検出される光音響波の検出信号の強度よりも大きくなるように、前記パルス光の時間波形を波形整形するものであることを特徴とする請求項2から7何れかに記載の光音響画像生成装置。
- [請求項9] 前記プローブが更に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し、
前記検出された反射音響波に基づいて反射音響波画像を生成する反射音響波画像生成手段と、
前記光音響画像と前記反射音響波画像とを合成する画像合成手段とを更に備えたことを特徴とする請求項1から8何れかに光音響画像生成装置。
- [請求項10] 前記画像合成手段が、前記光音響画像と反射音響波画像とを重畳することで画像合成を行うものであることを特徴とする請求項9に記載の光音響画像生成装置。
- [請求項11] 光源からパルス光を出射するステップと、
前記出射したパルス光の発光強度の時間変化量に比して発光強度の時間変化量が大きくなるように前記パルス光の時間波形を波形整形するステップと、
前記波形整形されたパルス光を被検体に照射するステップと、
前記照射された光に起因して被検体内で発生した光音響波を検出するステップと、
前記検出された光音響波に基づいて光音響画像を生成するステップ

とを有することを特徴とする光音響画像生成方法。

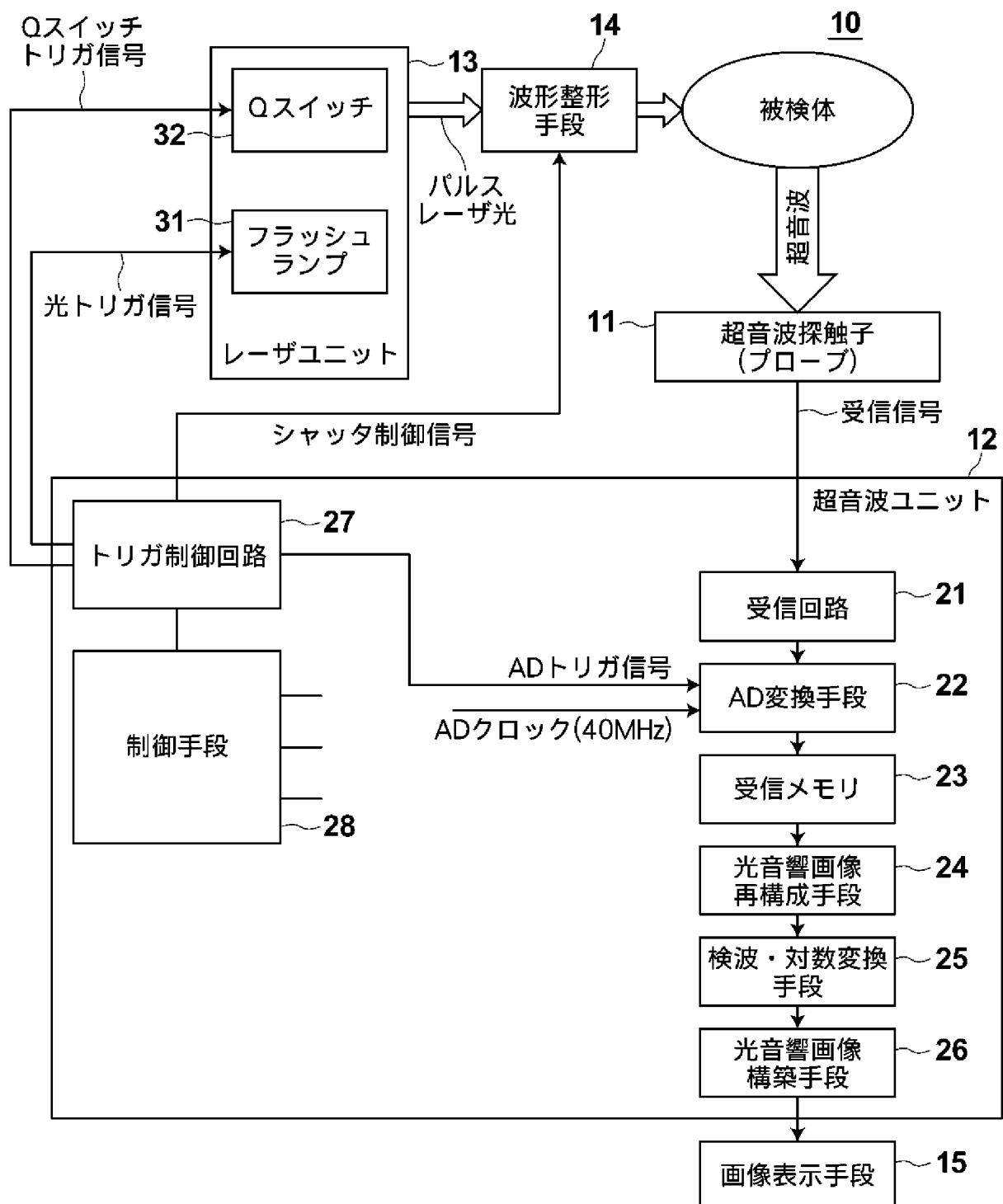
[請求項12] 前記パルス光の時間波形を生成するステップでは、前記パルス光の発光時間の一部を光シャッタにより遮蔽することを特徴とする請求項 1 1 に記載の光音響画像生成方法。

[請求項13] 前記パルス光の時間波形を生成するステップでは、前記パルス光の時間波形の立ち上がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記パルス光の発光時間の一部を光シャッタにより遮蔽することを特徴とする請求項 1 2 に記載の光音響画像生成方法。

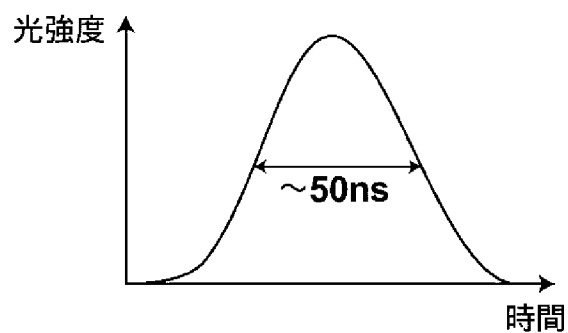
[請求項14] 前記パルス光の時間波形を生成するステップでは、前記パルス光の時間波形の立ち下がりが波形整形前に比して急峻となるように、前記パルス光の発光時間の一部を光シャッタにより遮蔽することを特徴とする請求項 1 2 に記載の光音響画像生成方法。

[請求項15] 前記光シャッタにより、前記検出される光音響波の検出信号の強度が、前記光源を出射したパルス光が波形整形されずに被検体に照射されたときに検出される光音響波の検出信号の強度よりも大きくなるように、前記パルス光の時間波形を波形整形することを特徴とする請求項 1 2 から 1 4 何れかに記載の光音響画像生成方法。

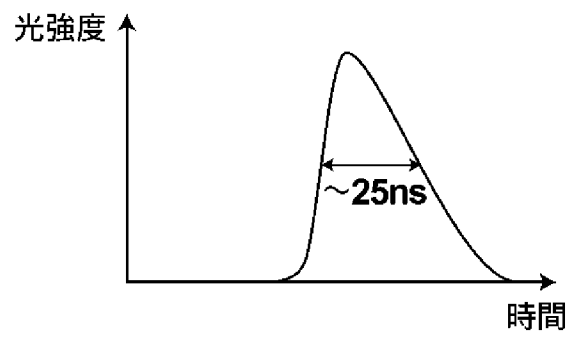
[図1]



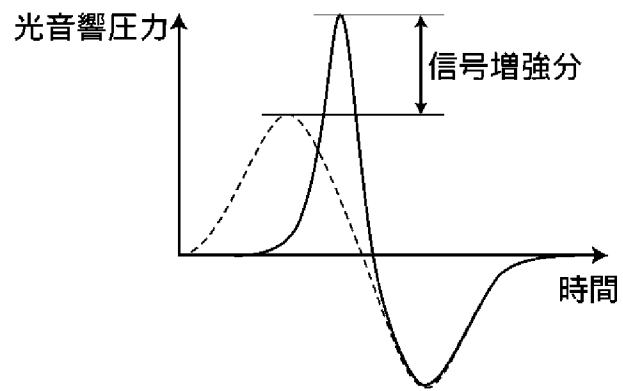
[図2]



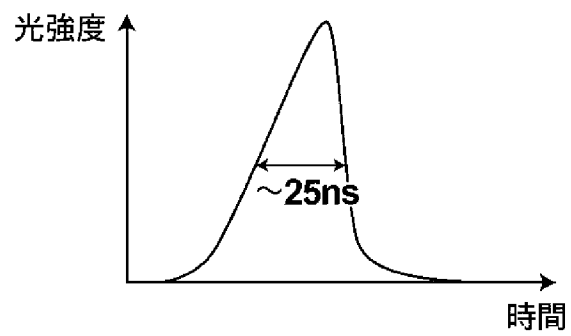
[図3]



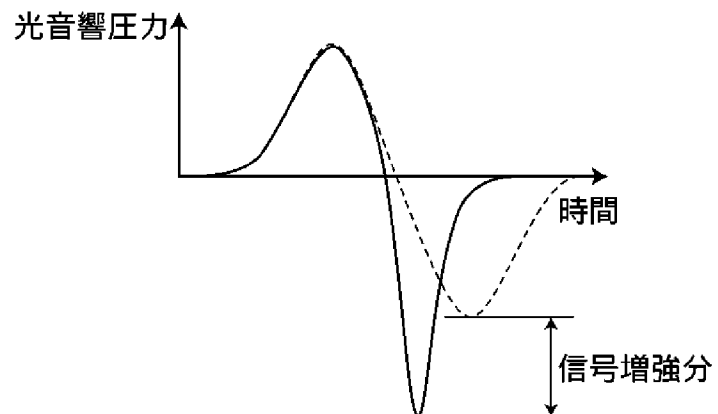
[図4]



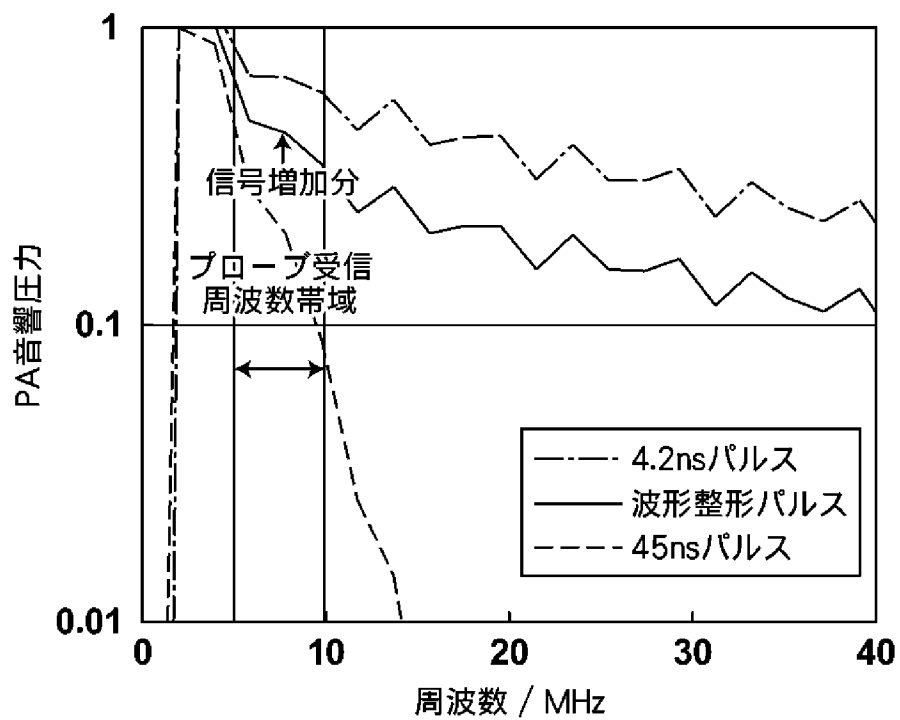
[図5]



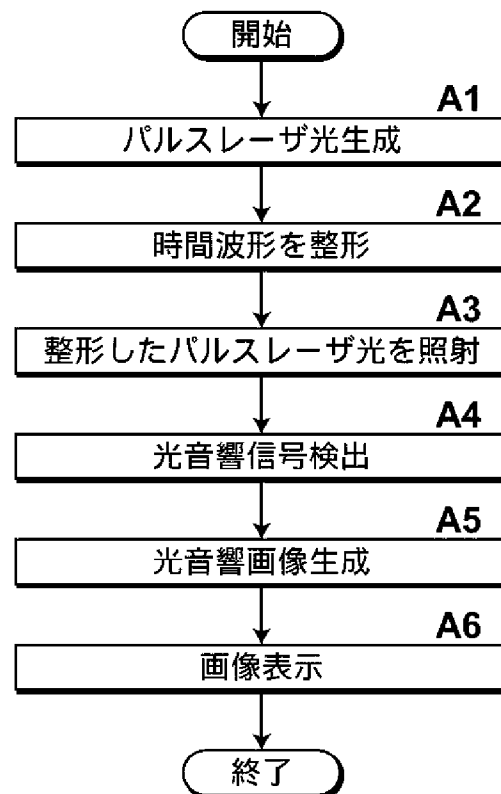
[図6]



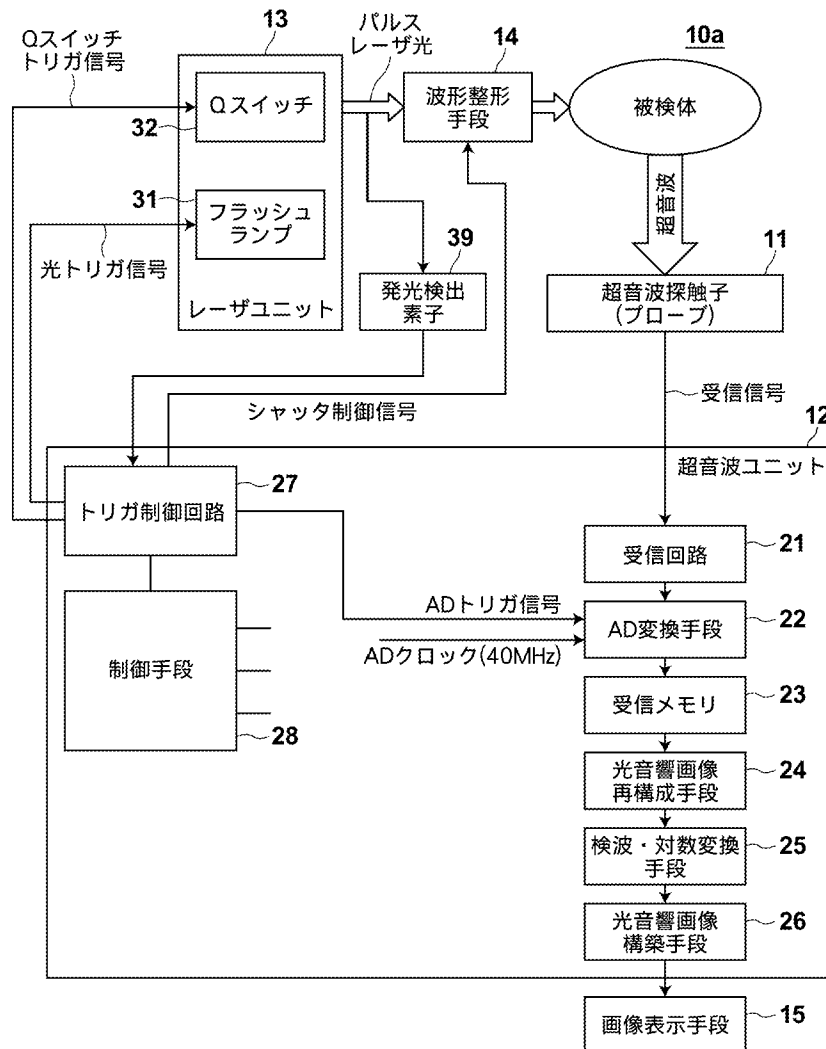
[図7]



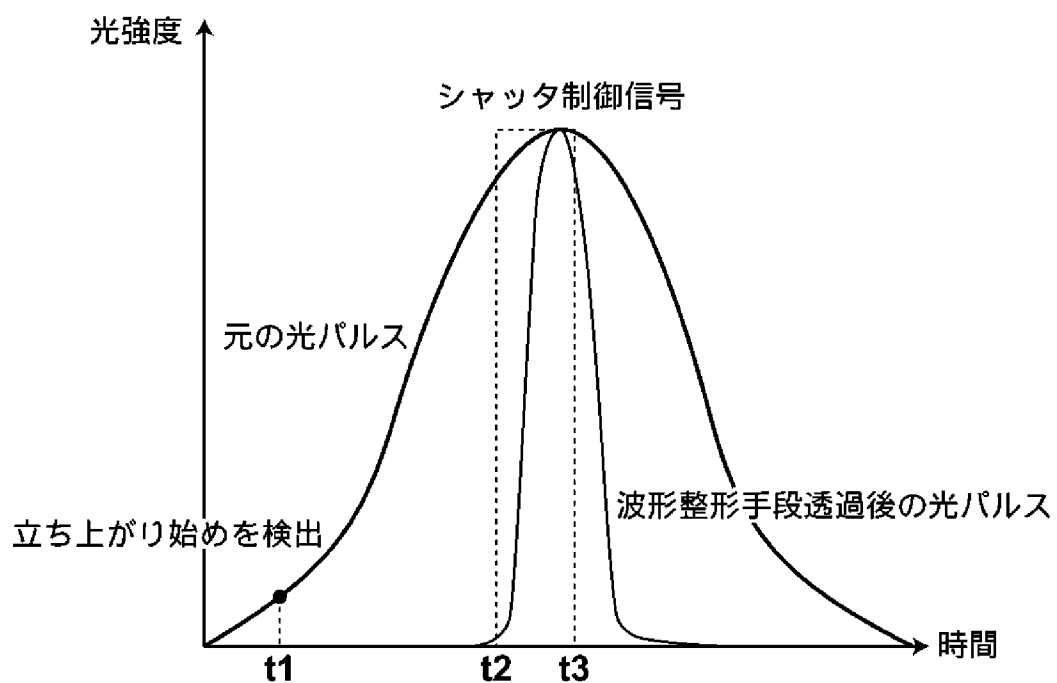
[図8]



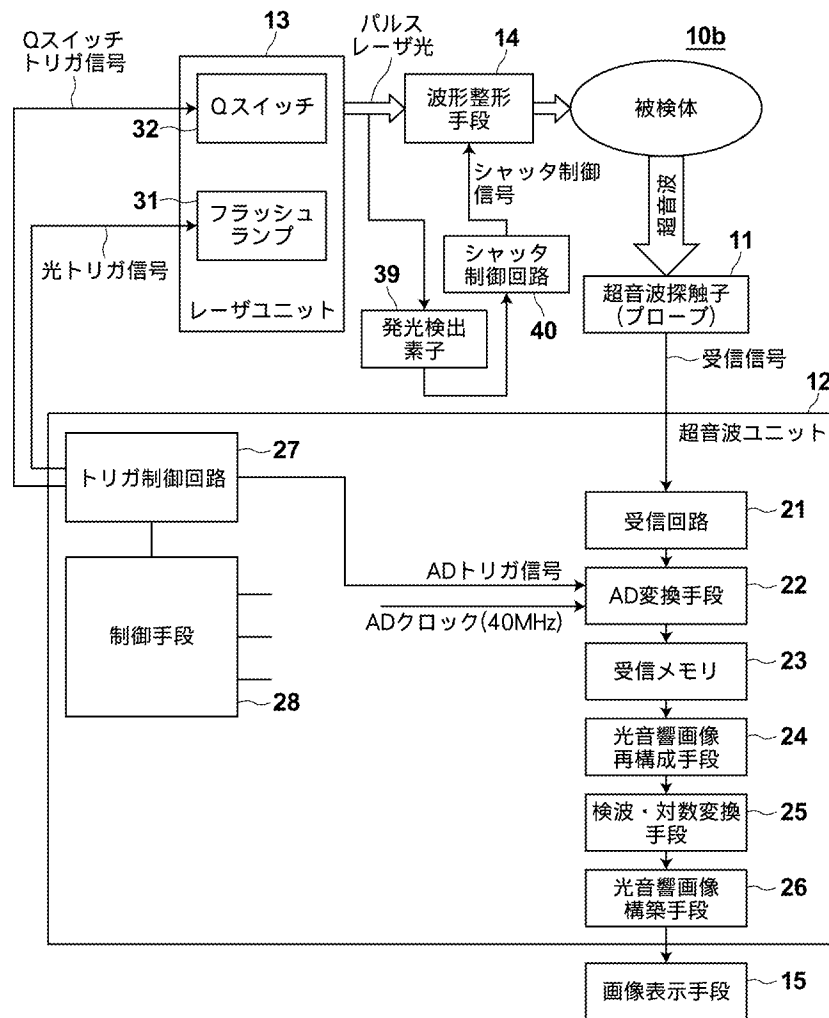
[図9]



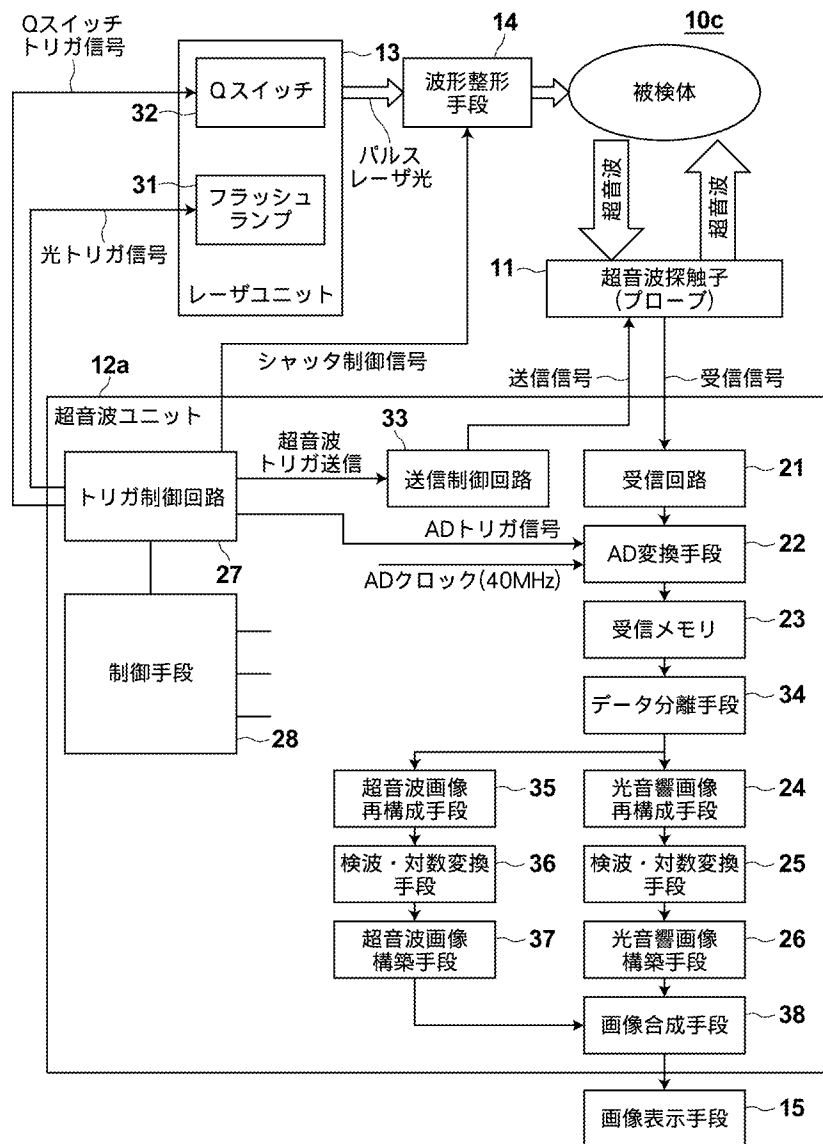
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/005787

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

A61B8/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

A61B8/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2012

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-83531 A (Canon Inc.), 28 April 2011 (28.04.2011), claim 4; paragraphs [0003], [0017], [0031], [0032] & WO 2011/048788 A1	1-15
A	JP 2011-183149 A (Canon Inc.), 22 September 2011 (22.09.2011), paragraphs [0011], [0012], [0017] (Family: none)	1-15
A	JP 2009-130143 A (Omron Corp.), 11 June 2009 (11.06.2009), entire text; all drawings & US 2009/0135858 A1 & CN 101442178 A & TW 200929755 A	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 November, 2012 (08.11.12)Date of mailing of the international search report
20 November, 2012 (20.11.12)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/005787

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-252402 A (Keyence Corp.), 06 September 2002 (06.09.2002), entire text; all drawings (Family: none)	1-15
P, A	JP 2011-229660 A (Canon Inc.), 17 November 2011 (17.11.2011), paragraphs [0011], [0012] & WO 2011/135821 A	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. A61B8/00(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. A61B8/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 2 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 2 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 2 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2011-83531 A (キヤノン株式会社) 2011.04.28, 請求項(4), 段落 [0003], [0017], [0031], [0032] & WO 2011/048788 A1	1-15
A	JP 2011-183149 A (キヤノン株式会社) 2011.09.22, 段落 [0011], [0012], [0017] (ファミリーなし)	1-15
A	JP 2009-130143 A (オムロン株式会社) 2009.06.11, 全文, 全図 & US 2009/0135858 A1 & CN 101442178 A & TW 200929755 A	1-15
A	JP 2002-252402 A (株式会社キーエンス) 2002.09.06, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-15

☒ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 8 . 1 1 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 0 . 1 1 . 2 0 1 2

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

宮川 哲伸

2 Q

9 2 0 8

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 9 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, A	JP 2011-229660 A (キヤノン株式会社) 2011. 11. 17, 段落 [0011], [0012] & WO 2011/135821 A	1-15