

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012 年 8 月 23 日(23.08.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/111337 A1

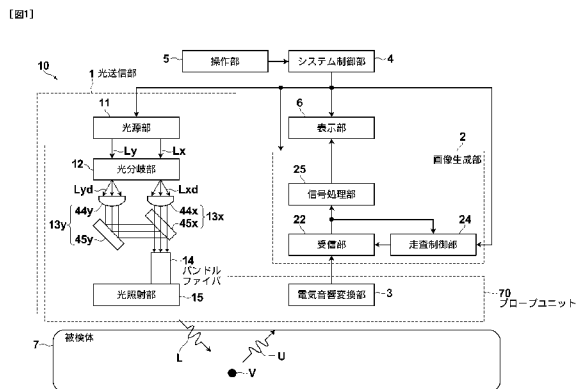
- (51) 国際特許分類:
G01N 29/00 (2006.01) A61B 8/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/001027
- (22) 国際出願日: 2012 年 2 月 16 日(16.02.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-030743 2011 年 2 月 16 日(16.02.2011) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 富士
フィルム株式会社 (FUJIFILM CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1068620 東京都港区西麻布 2 丁目 2 6
番 3 0 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 入澤 覚(IR-
ISAWA, Kaku) [JP/JP]; 〒2588538 神奈川県足柄上
郡開成町宮台 7 9 8 番地 富士フィルム株式会
社内 Kanagawa (JP).

- (74) 代理人: 柳田 征史, 外 (YANAGIDA, Masashi et
al.); 〒2220033 神奈川県横浜市港北区新横浜 3 -
1 8 - 3 新横浜 K S ビル 7 階 柳田国際特
許事務所 Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,
GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS,
KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA,
RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,
SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ユー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: PHOTOACOUSTIC IMAGING DEVICE AND PROBE UNIT USED IN SAME

(54) 発明の名称: 光音響撮像装置およびそれに用いられるプローブユニット



- 1 Optical transmission unit
2 Image generation unit
3 Electroacoustic transducer
4 System control unit
5 Operation unit
6 Display unit
7 Test object
11 Light source unit
12 Light branching unit
14 Bundled fiber
15 Light radiating unit
22 Reception unit
24 Scanning control unit
25 Signal processing unit
70 Probe unit

(57) Abstract: [Problem] To enable the facilitation of alignment of a plurality of optical fibers and a plurality of branched lights in photoacoustic imaging performed by guiding laser light using the plurality of optical fibers. [Solution] This photoacoustic imaging device (10) is provided with: a light branching unit (12) that branches laser lights (Lx and Ly) each into a plurality of branched lights (Lxd and Lyd) in accordance with a predetermined pattern; a bundled fiber (14) that contains the plurality of optical fibers (13) of which one end surface (13e) has been arrayed corresponding to a branching pattern; and branched light guide units (13x and 13y) that guide the plurality of branched lights (Lxd and Lyd) in a manner so as to cause the plurality of branched lights (Lxd and Lyd) to respectively enter the cores (13a) of the plurality of optical fibers (13) from the one end surface (14e) of the bundled fiber (14).

(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(10)において、レーザ光(LxおよびLy)を所定のパターンに従って複数の分岐光(LxdおよびLyd)としてそれぞれ分岐せしめる光分岐部(12)と、一方の端面(13e)が分岐パターンに対応して配列した複数の光ファイバ(13)を包含するバンドルファイバ(14)と、複数の分岐光(LxdおよびLyd)のそれぞれを複数の光ファイバ(13)のコア(13a)のそれぞれにバンドルファイバ(14)の上記一方の端面(14e)から入射せしめるように複数の分岐光(LxdおよびLyd)を導光する分岐光導光部(13xおよび13y)とを備える。

3 a) のそれぞれにバンドルファイバ(14)の上記一方の端面(14e)から入射せしめるように複数の分岐光(LxdおよびLyd)を導光する分岐光導光部(13xおよび13y)とを備える。

WO 2012/111337 A1



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：

光音響撮像装置およびそれに用いられるプローブユニット

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およびそれに用いられるプローブユニット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（P A I : Photoacoustic Imaging）或いは光音響トモグラフィー（P A T : Photoacoustic Tomography）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。

[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）の細長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。

[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

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。

[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およびそれに用いられるプローブユニット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] 上記課題を解決するために、本発明に係る光音響撮像装置は、

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入射した第1のレーザ光を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光として分岐せしめる第1の分岐回折光学素子と、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光であって第1のレーザ光とは波長および光路が異なる第2のレーザ光を、所定の第2の分岐パターンであって第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光として分岐せしめる第2の分岐回折光学素子と

を有する光分岐部と、

コア／クラッド構造を有する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、このバンドルファイバの一方の端面における複数の光ファイバの一方の端面が第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバと、

第1の複数の分岐光のそれぞれを複数の光ファイバのコアのそれぞれに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に第1の複数の分岐光を導光する第1の分岐光導光部と、

第2の複数の分岐光のそれぞれを上記コアのそれぞれに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に第2の複数の分岐光を導光する第2の分岐光導光部とを備え、

バンドルファイバが、上記コアに入射した第1の複数の分岐光および／または第2の複数の分岐光を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／または第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、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、第1の分岐光導光部は、焦点が第1の分岐回折光学素子における第1のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第1の集光レンズ系を有するものであることが好ましい。この場合において、第1の集光レンズ系は第1の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能な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、第2の分岐光導光部は、焦点が第2の分岐回折光学素子における第2のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第2の集光レンズ系を有するものであることが好ましい。この場合において、第2の集光レンズ系は第2の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能なものであることが好ましい。

[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、第1の分岐回折光学素子の光学系の上流側および第2の分岐回折光学素子の光学系の上流側の少なくとも一方にホモジナイザ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、第1の分岐回折光学素子の光学系の下流側および第2の分岐回折光学素子の光学系の下流側の少なくとも一方にホログラフィック拡散板を有することが好ましい。

[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、第1の分岐回折光学素子の光学系の上流側および第2の分岐回折光学素子の光学系の上流側の少なくとも一方に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、光分岐部は第1のレーザ

光および第2のレーザ光をそれぞれ16本以上に分岐せしめるものであり、バンドルファイバは少なくとも16本の光ファイバを包含することが好ましい。

[0021] そして、本発明に係る光音響撮像装置において、第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンは六方形構造を有し、

複数の光ファイバ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。

[0022] そして、本発明に係る光音響撮像装置において、バンドルファイバの上記一方の端面は、この端面におけるコアが露出するようにこの端面上に反射マスクを有することが好ましい。

[0023] そして、本発明に係る光音響撮像装置において、第1の分岐回折光学素子は第2の分岐回折光学素子を兼ねることが好ましい。

[0024] そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光照射部は複数の光ファイバの上記他方の端面であり、

この他方の端面は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。

[0025] そして、本発明に係る光音響撮像装置において、光照射部は先太りの形状を有する導光板であり、

バンドルファイバの上記他方の端面は、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。

[0026] 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入射した第1のレーザ光を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光として分岐せしめる第1の分岐回折光学素子と、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光であって第1のレーザ光とは波長および光路が異なる第2のレーザ光を、所定の第2の分岐パターンであ

って第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光として分岐せしめる第2の分岐回折光学素子とを有する光分岐部と、

コア／クラッド構造を有する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、このバンドルファイバの一方の端面における複数の光ファイバの一方の端面が第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバと、

第1の複数の分岐光のそれぞれを複数の光ファイバのコアのそれぞれに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に第1の複数の分岐光を導光する第1の分岐光導光部と、

第2の複数の分岐光のそれぞれを上記コアのそれぞれに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に第2の複数の分岐光を導光する第2の分岐光導光部とを備え、

バンドルファイバが、上記コアに入射した第1の複数の分岐光および／または第2の複数の分岐光を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／または第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。

[0027] そして、本発明に係るプローブユニットにおいて、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。

[0028] そして、本発明に係るプローブユニットにおいて、第1の分岐光導光部は、焦点が第1の分岐回折光学素子における第1のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第1の集光レンズ系を有するものであることが好ましい。この場合において、第1の集光レンズ系は第1の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能なものであることが好ましい。

発明の効果

[0029] 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

上流側から入射した第1のレーザ光を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光として分岐せしめる第1の分岐回折光学素子と、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光であって第1のレーザ光とは波長および光路が異なる第2のレーザ光を、所定の第2の分岐パターンであって第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光として分岐せしめる第2の分岐回折光学素子とを有する光分岐部と、コア／クラッド構造を有する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、このバンドルファイバの一方の端面における複数の光ファイバの一方の端面が第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバと、第1の複数の分岐光のそれぞれを複数の光ファイバのコアのそれぞれに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に第1の複数の分岐光を導光する第1の分岐光導光部と、第2の複数の分岐光のそれぞれを上記コアのそれぞれに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に第2の複数の分岐光を導光する第2の分岐光導光部とを備え、バンドルファイバが、上記コアに入射した第1の複数の分岐光および／または第2の複数の分岐光を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。

図面の簡単な説明

[0030] [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、第1の分岐光導光部、第2の分岐光導光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4A]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4B]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]1つの分岐回折光学素子を用いて2本のレーザ光を分岐せしめる場合の構成例を示す概略断面図である。

[図13]本発明のプローブユニットの先端部の構成を示す概略図である。

[図14]本発明のプロー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

[0031] 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。

[0032] 「光音響撮像装置およびプローブユニットの実施形態」

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 12、第 1 の分岐光導光部 13 x、第 2 の分岐光導光部 13 y およびバンドルファイバ 14 の一実施形態の構成を示す概略断面図である。

[0033] 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。

[0034] 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 12、第 1 の分岐光導光部 13 x、第 2 の分岐光導光部 13 y、バンドルファイバ 14 および光照射部 15 を備えている。

[0035] 光送信部 1 は、波長の異なる複数の光源を備える光源部 11 と、光源部 11 から出力された 2 本のレーザ光 L x および L y のそれぞれを第 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 として分岐する光分岐部 12 と、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 をバンドルファイバまで導光する第 1 の分岐光導光部 13 x および第 2 の分岐光導光部 13 y と、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 を光照射部 15 まで導光するバンドルファイバ 14 と、測定光 L を被検体 7 の体表面へ照射する光照射部 15 とを備えている。

[0036] 光源部 11 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 (LD)、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、2 本のレーザ光 L x および L y の波長および光路は、互いに異なるものである。レーザ光 L x および L y の波長が互いに異なるとは、それぞれが有する波長分布の中心波長が異なることを意味する。また、レーザ光 L x

および L_y の光路が互いに異なるとは、空間的に異なる位置において、それぞれのレーザ光が分岐されることを意味する。2本のレーザ光 L_x および L_y は、時間的に同時に出力されてもよいし、別々に出力されてもよい。2本のレーザ光 L_x および L_y のうち一方をエイミング光として用いることもできる。光源部 11 は、レーザ光として $1 \sim 100 \text{ nsec}$ 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빈は、その状態（酸化ヘモグロ빈、還元ヘモグロ빈、メトヘモグロ빈、炭酸ガスヘモグロ빈、等）により光学的な吸収特性が異なるが、一般的には 600 nm から 1000 nm 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빈である場合（つまり、血管を撮像する場合）には、一般的には $600 \sim 1000 \text{ nm}$ 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 $700 \sim 1000 \text{ nm}$ 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、 $10 \mu\text{J} / \text{cm}^2 \sim \text{数 } 10 \text{ mJ} / \text{cm}^2$ 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、 10 Hz 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。

[0037] より具体的には例えば、被検体 7 のヘモグロ빈濃度を測定する場合には、固体レーザの一種である $\text{Nd} : \text{YAG}$ レーザ（発光波長：約 1000 nm ）や、ガスレーザの一種である He-Ne ガスレーザ（発光波長： 633 nm ）を用い、 10 nsec 程度のパルス幅を有したレーザ光を形成する。また、LD等の小型発光素子を用いる場合には、 InGaAlP （発光波長： $550 \sim 650 \text{ nm}$ ）、 GaAlAs （発光波長： $650 \sim 900 \text{ nm}$ ）、 InGaAs もしくは InGaAsP （発光波長： $900 \sim 2300 \text{ nm}$ ）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 550 nm 以下で発光する InGaN 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OPO (Optical Parametrical Oscillators) レーザを用いることもできる。

[0038] 光分岐部12は、第1の分岐回折光学素子40x (分岐DOE) を用いて光源部11から出力されたレーザ光Lxを分岐せしめ、第2の分岐DOE40yを用いて光源部11から出力されたレーザ光Lyを分岐せしめるものである。本明細書において分岐DOE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、16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12は、分岐DOE40xおよび分岐DOE40yから構成される。分岐DOE40xおよび40yのそれぞれの表面には所定の加工が施されており、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DOE40xにより規定される所定の第1の分岐パターンの標準パターンと分岐DOE40yにより規定される所定の第2の分岐パターンの標準パターンとは、実質的に一致するように設計される。これにより、同じバンドルファイバを用いて複数の分岐光Lxdおよび複数の分岐光Lydを導光することができる。分岐するレーザ光の波長に依存して分岐パターンが変化するため、分岐DOEは分岐するレーザ光の波長を考慮して適宜選択される。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。

[0039] 第1の分岐光導光部13xは、分岐DOE40xにより生成された複数の分岐光Lxdのそれぞれを、バンドルファイバ14に包含される複数の光ファイバ13のコアのそれぞれに導光するものである。第1の分岐光導光部13xは、本実施形態において、集光レンズ系44xおよびダイクロイックミラー45xにより構成される。しかしながら、第1の分岐光導光部13xは上記構成に限られるものではない。集光レンズ系44xは、分岐DOE40xにより生成された複数の分岐光Lxdがバンドルファイバ14に入射しや

すくするため、および複数の分岐光 $L \times d$ のそれぞれとバンドルファイバ14との位置合わせを容易にするため、複数の分岐光 $L \times d$ を平行化する。集光レンズ系44xは、その焦点が分岐DOE40x上におけるレーザ光 $L \times$ 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DOE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DOE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わせることが一般的である。また、光音響撮像装置10は、集光レンズ系44xを有する場合、集光レンズ系44xの微調整を可能にするため、集光レンズ系44xをその光軸方向に駆動させ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44x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44xは、集光レンズ系44xの前側焦点を分岐DOE40の分岐光出射位置に、後側焦点面をバンドルファイバ14の端面14eに合わせて配置することが好ましい。

[0040] ダイクロイックミラー45xは、第1の複数の分岐光 $L \times d$ の光路および第2の複数の分岐光 $L y d$ の光路を同軸にする。集光レンズ系44xにより平行化された複数の分岐光 $L \times d$ は、ダイクロイックミラー45xをそのまま透過する。そして、ダイクロイックミラー45xを透過した複数の分岐光 $L \times d$ のそれぞれは、バンドルファイバ14の入射端面14eから複数の光ファイバ13のコアのそれぞれに入射する。

[0041] 第2の分岐光導光部13yは、分岐DOE40yにより生成された複数の分岐光 $L y d$ のそれぞれを、バンドルファイバ14に包含される複数の光ファイバ13のコアのそれぞれに導光するものである。第2の分岐光導光部13yは、本実施形態において、集光レンズ系44y、ミラー45yおよびダイクロイックミラー45xにより構成される。しかしながら、第2の分岐光導光部13yは上記構成に限られるものではない。集光レンズ系44yは、

分岐DOE40yにより生成された複数の分岐光Lydがバンドルファイバ14に入射しやすくするため、および複数の分岐光Lydのそれぞれとバンドルファイバ14との位置合わせを容易にするため、複数の分岐光Lydを平行化する。集光レンズ系44yは、その焦点が分岐DOE40y上におけるレーザ光Lyの入射位置に対応するように配置されている。また、光音響撮像装置10は、集光レンズ系44yを有する場合、集光レンズ系44yの微調整を可能にするため、集光レンズ系44yをその光軸方向に駆動させ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44x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44xは、集光レンズ系44xの前側焦点を分岐DOE40の分岐光出射位置に、後側焦点面をバンドルファイバ14の端面14eに合わせて配置することが好ましい。

[0042] 集光レンズ系44yにより平行化された複数の分岐光Lydは、ミラー45yおよびダイクロイックミラー45xで反射して、第1の複数の分岐光Lxdの光路と同軸の光路を伝搬する。そして、ダイクロイックミラー45xで反射した複数の分岐光Lydのそれぞれは、バンドルファイバ14の入射端面14eから複数の光ファイバ13のコアのそれぞれに入射する。

[0043] バンドルファイバ14は、光分岐部12によって分岐したレーザ光LxおよびLyを光照射部15にそれぞれ導光するものである。バンドルファイバ14は、コア13aおよびクラッド13bを有する複数の光ファイバ13を包含している。光ファイバ13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13は、複数の分岐光LxdおよびLydを効率よく導光する観点から、分岐DOE40xにより規定される所定の第1の分岐パターンおよび分岐DOE40yにより規定される所定の第2の分岐パターンに対応して配列している。つまり、バンドルファイバ14の入射端面14eにおける複数の光ファイバ13の端面13eの配列パターンの標準パターンと、第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンの標準パタ

ーンとは実質的に一致している。

[0044] バンドルファイバ14の入射端面14eにおける複数の光ファイバ13の端面13eの配列パターンは、バンドルファイバ14中での配列のしやすさ、および集光レンズ系44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13xの当該端面13e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4Aおよび図4Bは、バンドルファイバ14の入射端面14eにおける複数の光ファイバ13の端面13eの配列の例を示す概念図である。図4Aは64本の光ファイバ13の端面13eの配列が正方形構造を有する場合、および図4Bは61本の光ファイバ13の端面13e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13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4A中のW1および図4B中のW2）を互いに比較すると、最密充填構造の上記距離W2の方が、正方形構造の上記距離W1よりも短くなることが分かる。上記距離が長くなると、これに伴い複数の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、複数の分岐光のそれぞれと複数の光ファイバ13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14の入射端面14eにおける複数の光ファイバ13の端面13eの配列は、最密充填構造であることが特に好ましい。

[0045] また、上記観点とは別に、バンドルファイバ14中の複数の光ファイバ13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13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13のライン配列に合わせて分岐DOE40が設計される。

[0046] 複数の分岐光LxdおよびLydのそれぞれを複数の光ファイバ13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 $L \times d$ および $L y d$ の分岐パターンと光ファイバ 1 3 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、集光レンズ系を例えば下記のような構成を利用することにより、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系が設定されることが好ましい。

[0047] 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 DOE 9 0 から生じる複数の分岐光 $L d$ 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 DOE 9 0 およびバンドルファイバ 9 4 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 DOE 9 0 およびバンドルファイバ 9 4 の間にある集光レンズ系が、集光レンズ 9 1 と集光レンズ 9 2 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 9 1 の焦点距離が f_2 であり、集光レンズ 9 2 の焦点距離が f_1 であり、集光レンズ 9 1 および集光レンズ 9 2 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 9 1 の第 2 主面 H_2'' 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 9 1 の第 1 主面 H_2 から集光レンズ 9 2 の第 2 主面 H_1'' までの距離を意味し、基準面 P は分岐 DOE 9 0 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。

[0048] 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 9 1 a および／または 9 2 a 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 L

d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。

[0049] バンドルファイバ14において、バンドルファイバ14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14は通常、複数の光ファイバ13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14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。

[0050] 光照射部15は、本実施形態では複数の光ファイバ13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13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13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。

[0051] 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。

[0052] 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。

[0053] 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。

[0054] 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53によってエリア0（CH1～CH64までの変換素子の領域）、エリア1（CH65～CH128までの変換素子の領域）およびエリア2（CH129～CH192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、プローブユニット70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らずに済むので、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54によって得られるそれぞれの電気信号はプリアンプ55に供給される。

[0055] プリアンプ55は、上記のように選択された変換素子54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。

[0056] 受信遅延回路56は、電子スイッチ53によって選択された変換素子54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。

[0057] 加算器57は、受信遅延回路56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。

[0058] 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。

[0059] 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6

0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。

[0060] 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。

[0061] 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。

[0062] 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。

[0063] 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。

[0064] 次に、本発明の作用について説明する。

[0065] 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入射した第1のレーザ光 L_x を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光 L_{xd} として分岐せしめる第1の分岐DOE40xと、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光 L_y であって第1のレーザ光 L_x とは波長および光路が異なる第2のレーザ光 L_y を、所定の第2の分岐パターンであって第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光 L_{yd} として分岐せしめる第2の分岐DOE40yとを有する光分岐部12と、コア13a／クラッド13b構造を有する複数の光ファイバ13を包含するバンドルファイバ14であって、このバンドルファイバ14の一方の端面14eにおける複数の光ファイバ13の一方の端面14eが第1の分岐パターンおよび第2の分岐パターンに対応して配列したバンドルファイバ14と、第1の複数の分岐光 L_{xd} のそれぞれを複数の光ファイバ13のコア13aのそれぞれにバンドルファイバ14の上記一方の端面14eから入射せしめるように第1の複数の分岐光 L_{xd} を導光する第1の分岐光導光部13xと、第2の複数の分岐光 L_{yd} のそれぞれを上記コア13aのそれぞれにバンドルファイバ14の上記一方の端面14eから入射せしめるように第2の複数の分岐光 L_{yd} を導光する第2の分岐光導光部13yとを備え、バンドルファイバ14が、上記コア13aに入射した第1の複数の分岐光 L_{xd} および／または第2の複数の分岐光 L_{yd} をバンドルファイバ14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DOE40xおよび40yの分岐パターンとバンドルファイバ14の入射端面14eにおける複数の光ファイバ13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

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。

[0066] その結果として、高エネルギーのパルスレーザ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。

[0067] さらに、本発明のように2本のレーザ光をそれぞれ分岐せしめ、第1の複数の分岐光および第2の複数の分岐光を1本のバンドルファイバに導光する構成とすることにより、波長が互いに異なる2本のレーザ光を切り替えて撮像したり、および波長が互いに異なる2本のレーザ光を同時に照射して撮像したりすることができる。具体的には、分岐DOEの表面上の加工パターンは、通常波長毎に最適化されるため、波長が互いに異なる2本のレーザ光が同一の分岐DOEの同一の位置に入射すると、レーザ光のエネルギー伝搬効率が低下する。したがって、波長が互いに異なる2本のレーザ光が、それぞれの波長に対して最適化された空間的に異なる位置で分岐することにより、レーザ光のエネルギー伝搬効率が向上する。また、本発明では、バンドルファイバは1本でよいため、光音響撮像装置およびプローブユニットを低コストで製造することができる。また、波長が互いに異なる2本のレーザ光を同一の範囲に照射することができる。さらに、波長を切り替えるために光学系（例えば集光レンズ系）の配置を変更する必要がないため、光音響撮像装置およびプローブユニットを安定駆動させ、高速化し、および故障率を低減することができる。また、2本のレーザ光 L_x および L_y のうち一方をエイミング光として用いた場合には、光音響撮像装置の操作性をより向上させることができる。

[0068] 「光音響撮像装置およびプローブユニットの設計変更」

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、第1の分岐光導光部 13x およびバンドルファイバ 14）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、第2の分岐光導光部 13y およびバンドルファイバ 14）についても適用できる事項である。なお、図7から図10では、図3におけるダイクロイックミラー 45x に相当する光学要素の図示は便宜上省略する。

[0069] 上記では、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、波長が互いに異なる2本のレーザ光を分岐する場合について説明してきたが、これに限らず、波長が互いに異なる3本以上のレーザ光を分岐する場合についても、ダイクロイックミラー、回折光学素子、集光レンズおよび全反射ミラーを組み合わせることで光路を波長の数だけ増やすことで適用可能である。

[0070] 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 14 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 DOE 40x 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 Lx d のそれぞれと複数の光ファイバ 13 のそれぞれとの位置合わせがより容易になる。

[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8に示されるように、光分岐部 12 が、分岐 DOE 40x 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 41 により、複数の分岐光 Lx 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 Lx d が光ファイバ 13 へ入射して当該光ファイバ 13 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 Lx d の全体にわたって光ファイバ 13 の損傷閾値エネルギーを超えないように複数の分岐光 Lx d を導光することができる。

[0072] 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 DOE 40x 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 14 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 DOE 40x 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 14 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 14 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 13 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。

[0073] 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 DOE 40x 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 14 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。

[0074] 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、波長が互いに異なる 2 本のレーザ光の混合光 L_o をダイクロイックミラー 11a で分離し、一方をミラー 11b で反射させて

、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。

[0075] 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、第1の分岐DOEが第2の分岐DOEを兼ねる（つまり、1つの分岐DOE40の異なる位置に2本のレーザ光が入射する）ように構成してもよい。このように構成することにより光学系の部品点数を減らすことができる。

[0076] 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13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13のそれぞれから出射する分岐光 L_{xd} および L_{yd} 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。

[0077] 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14の上記他方の端面14eが、着脱可能な状態で導光板72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14では、コネクタ部73においてバンドルファイバ14の上記他方の端面14eと導光板72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14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。

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入射した第1のレーザ光を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光として分岐せしめる第1の分岐回折光学素子と、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光であって前記第1のレーザ光とは波長および光路が異なる前記第2のレーザ光を、所定の第2の分岐パターンであって前記第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する前記第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光として分岐せしめる第2の分岐回折光学素子とを有する光分岐部と、

コア／クラッド構造を有する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、該バンドルファイバの一方の端面における前記複数の光ファイバの一方の端面が前記第1の分岐パターンおよび前記第2の分岐パターンに対応して配列した前記バンドルファイバと、

前記第1の複数の分岐光のそれぞれを前記複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記バンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめるように前記第1の複数の分岐光を導光する第1の分岐光導光部と、

前記第2の複数の分岐光のそれぞれを前記コアのそれぞれに前記バンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめるように前記第2の複数の分岐光を導光する第2の分岐光導光部とを備え、

前記バンドルファイバが、前記コアに入射した前記第1の複数の分岐光および／または前記第2の複数の分岐光を前記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／または前記第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] 前記第1の分岐光導光部が、焦点が前記第1の分岐回折光学素子における前記第1のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第1の集光レンズ系を有するものである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4] 前記第1の集光レンズ系が前記第1の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能なものであ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] 前記第2の分岐光導光部が、焦点が前記第2の分岐回折光学素子における前記第2のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第2の集光レンズ系を有するものである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6] 前記第2の集光レンズ系が前記第2の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能なものであることを特徴とする請求項5に記載の光音響撮像装置。

[請求項7] 前記光分岐部が、前記第1の分岐回折光学素子の光学系の上流側および前記第2の分岐回折光学素子の光学系の上流側の少なくとも一方にホモジナイザを有する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8] 前記光分岐部が、前記第1の分岐回折光学素子の光学系の下流側および前記第2の分岐回折光学素子の光学系の下流側の少なくとも一方に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に記載の光音響撮像装置。

[請求項9] 前記光分岐部が、前記第1の分岐回折光学素子の光学系の上流側お

よび前記第2の分岐回折光学素子の光学系の上流側の少なくとも一方に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に記載の光音響撮像装置。

[請求項10] 前記光分岐部が前記第1のレーザ光および前記第2のレーザ光をそれぞれ16本以上に分岐せしめるものであり、

前記バンドルファイバが少なくとも16本の光ファイバを包含する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11] 前記第1の分岐パターンおよび前記第2の分岐パターンが六方形構造を有し、

前記複数の光ファイバ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に記載の光音響撮像装置。

[請求項12] 前記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コアが露出するように該端面上に反射マスクを有する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13] 前記第1の分岐回折光学素子が前記第2の分岐回折光学素子を兼ねる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14] 前記光照射部が前記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に記載の光音響撮像装置。

[請求項15] 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に記載の光音響撮像装置。

[請求項16] 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入射した第1のレーザ光を所定の第1の分岐パターンに従って第1の複数の分岐光として分岐せしめる第1の分岐回折光学素子と、光学系の上流側から入射した第2のレーザ光であって前記第1のレーザ光とは波長および光路が異なる前記第2のレーザ光を、所定の第2の分岐パターンであって前記第1の分岐パターンと同一の標準パターンを有する前記第2の分岐パターンに従って第2の複数の分岐光として分岐せしめる第2の分岐回折光学素子とを有する光分岐部と、

コア／クラッド構造を有する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、該バンドルファイバの一方の端面における前記複数の光ファイバの一方の端面が前記第1の分岐パターンおよび前記第2の分岐パターンに対応して配列した前記バンドルファイバと、

前記第1の複数の分岐光のそれぞれを前記複数の光ファイバのコアのそれぞれに前記バンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめるように前記第1の複数の分岐光を導光する第1の分岐光導光部と、

前記第2の複数の分岐光のそれぞれを前記コアのそれぞれに前記バンドルファイバの前記一方の端面から入射せしめるように前記第2の複数の分岐光を導光する第2の分岐光導光部とを備え、

前記バンドルファイバが、前記コアに入射した前記第1の複数の分岐光および／または前記第2の複数の分岐光を前記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／または前記第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17]

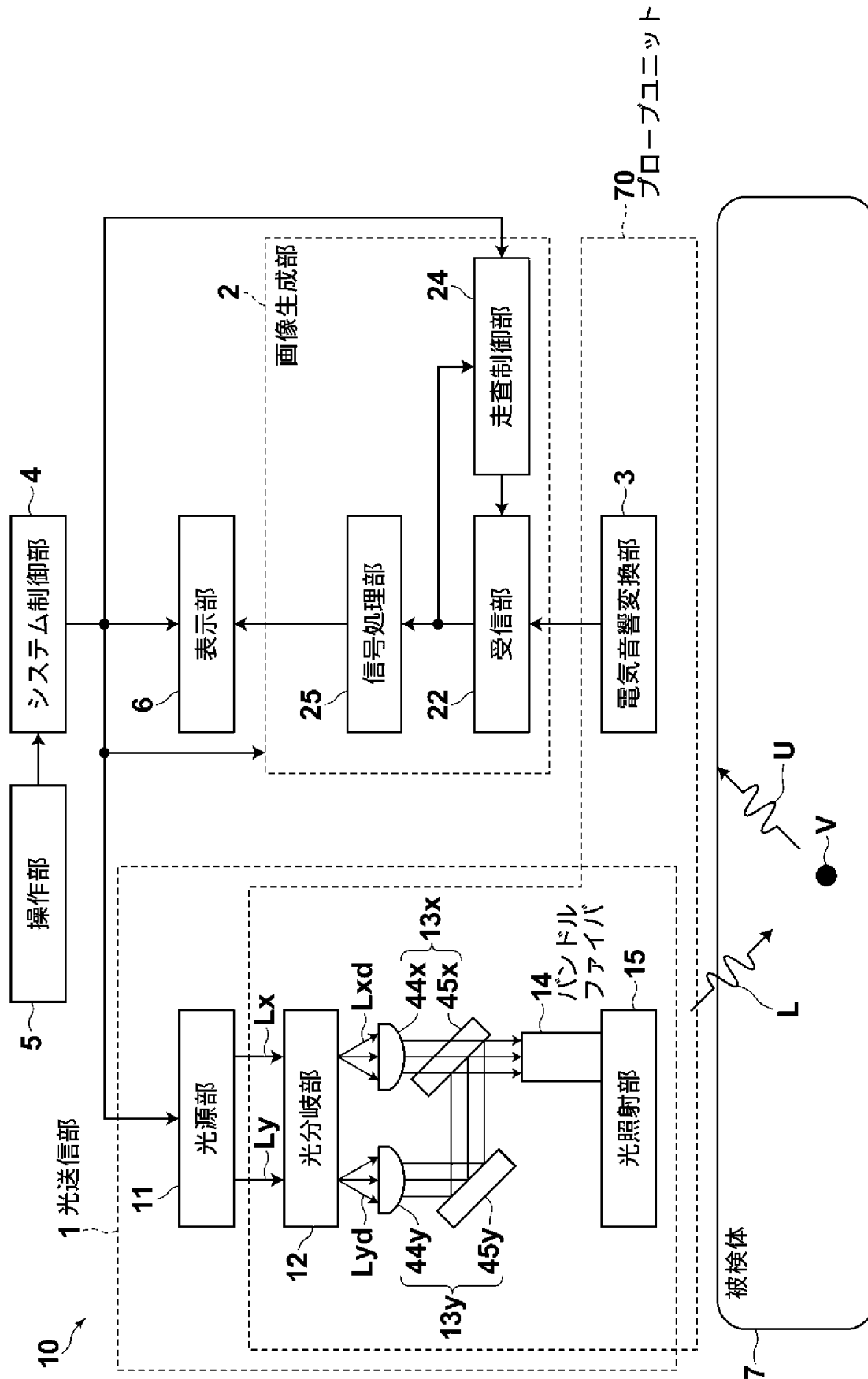
前記バンドルファイバの前記一方の端面と前記光分岐部との位置関

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 16 に記載のプローブユニット。

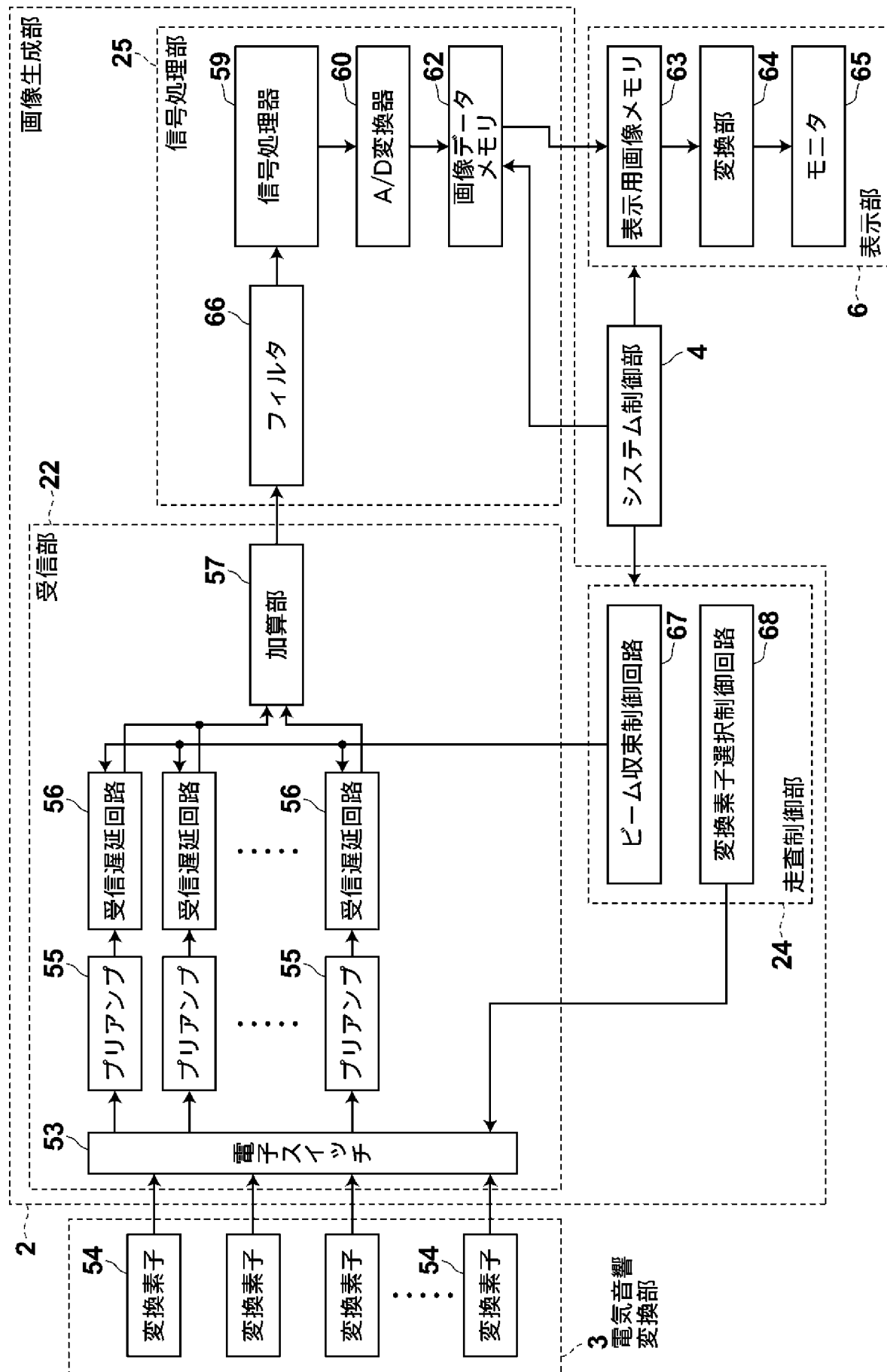
[請求項18] 前記第 1 の分岐光導光部が、焦点が前記第 1 の分岐回折光学素子における前記第 1 のレーザ光の入射位置に対応するように配置された第 1 の集光レンズ系を有するものであることを特徴とする請求項 16 に記載のプローブユニット。

[請求項19] 前記第 1 の集光レンズ系が前記第 1 の複数の分岐光の分岐パターンのスケールを調整可能なものであることを特徴とする請求項 18 に記載のプローブユニット。

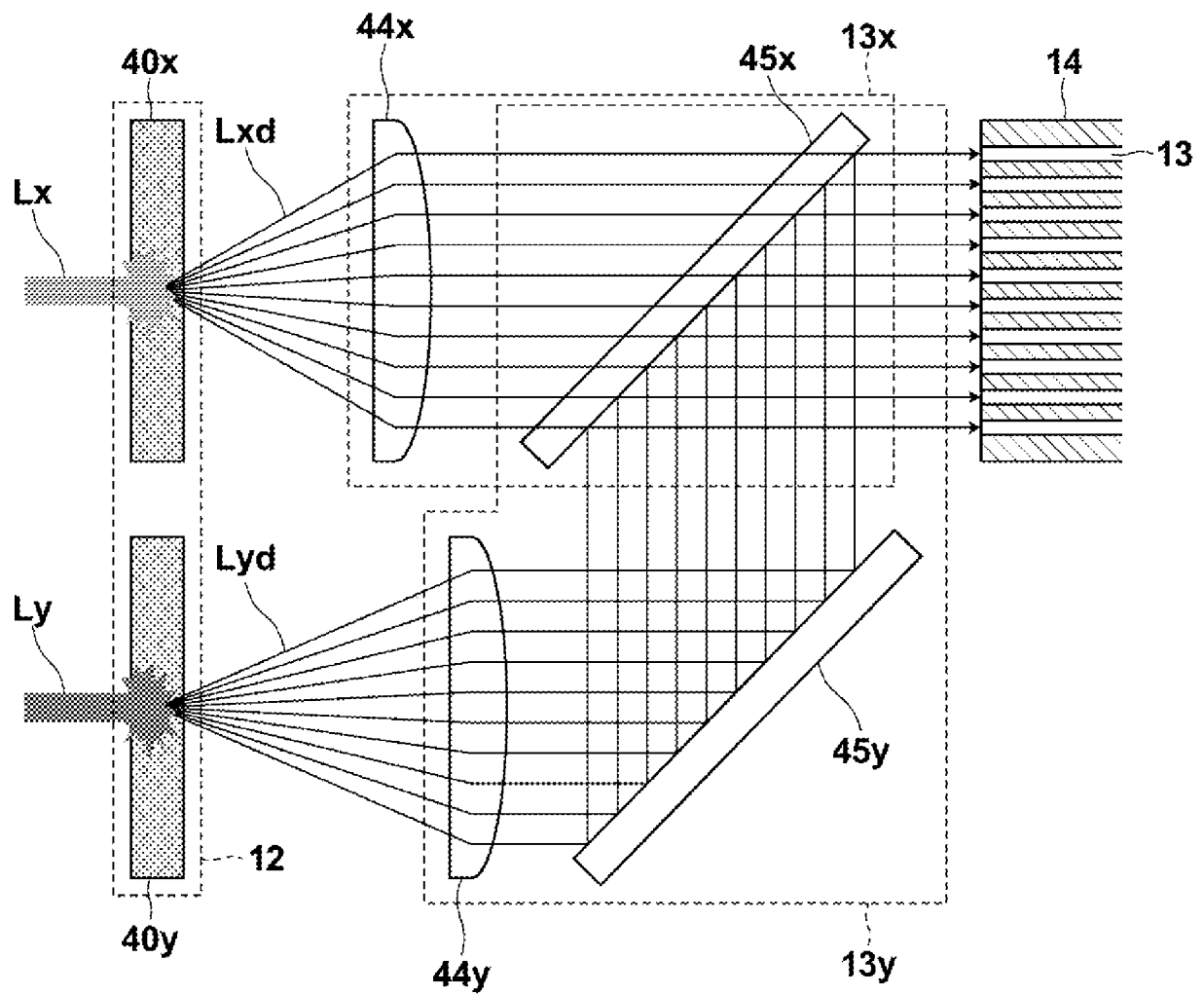
[図1]



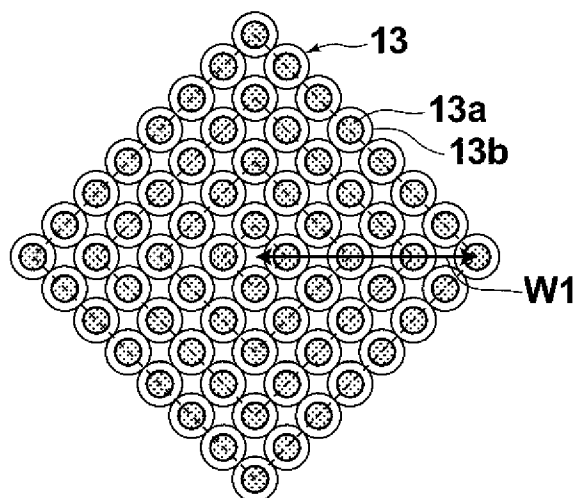
[図2]



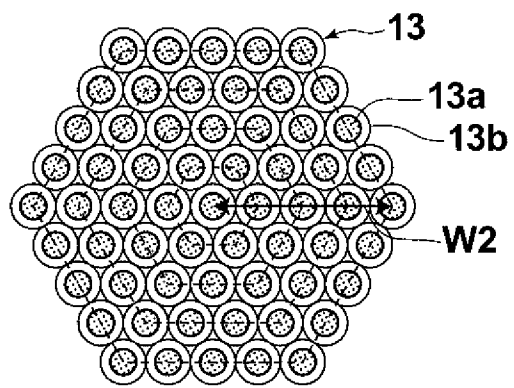
[図3]



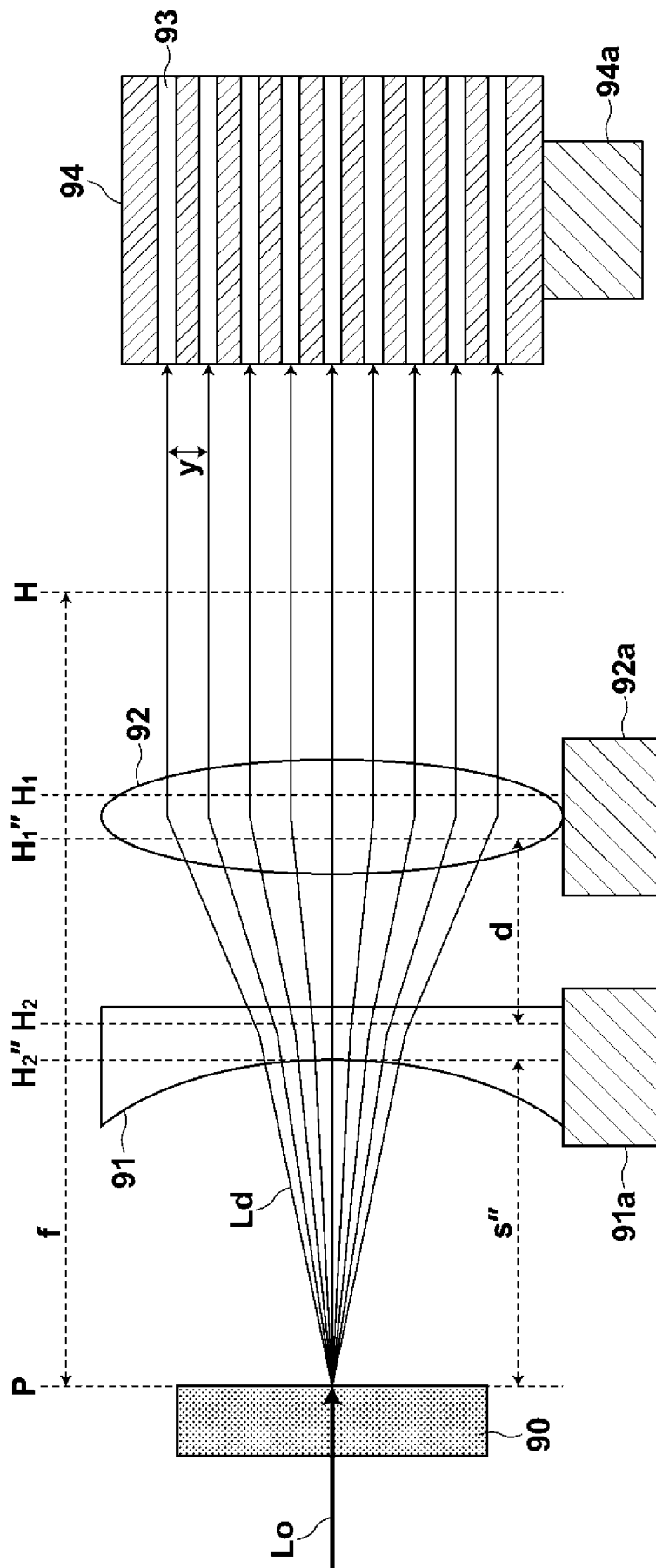
[図4A]



[図4B]



[図5]



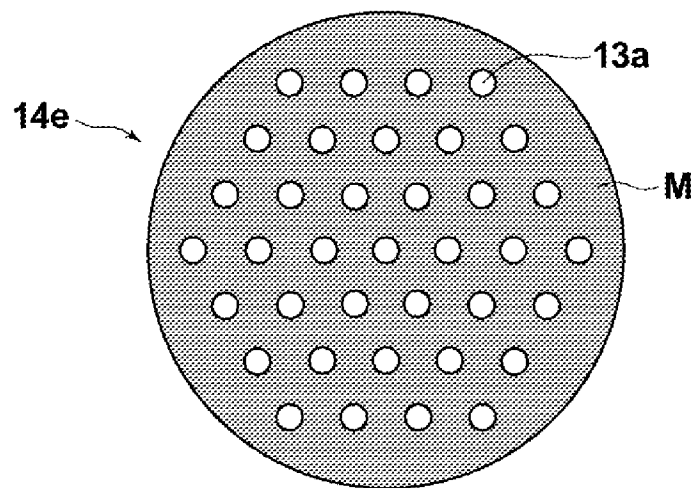
基準面Pから集光レンズ91の第2主面H₂”までの距離s”

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

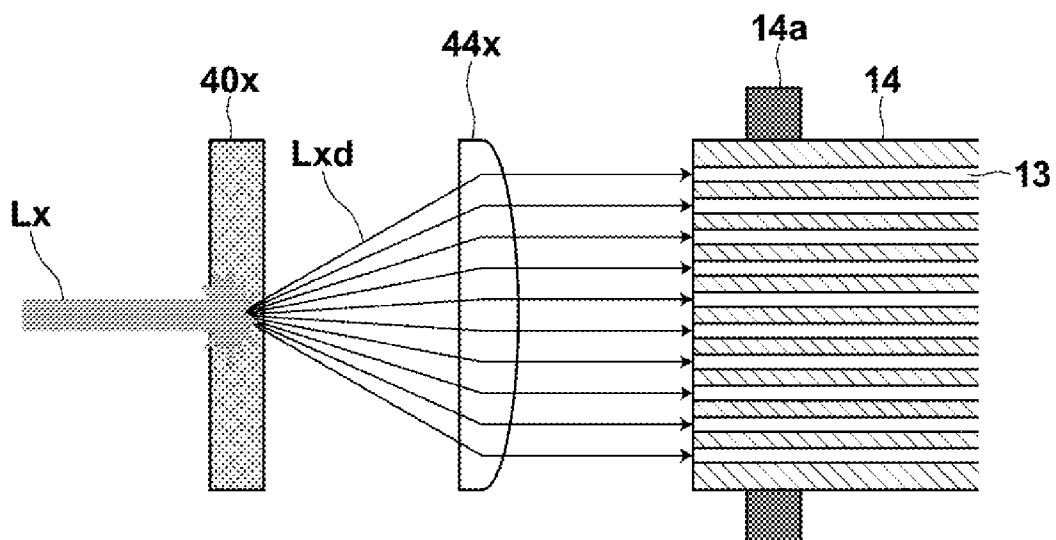
結合レンズの合成焦点距離f

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

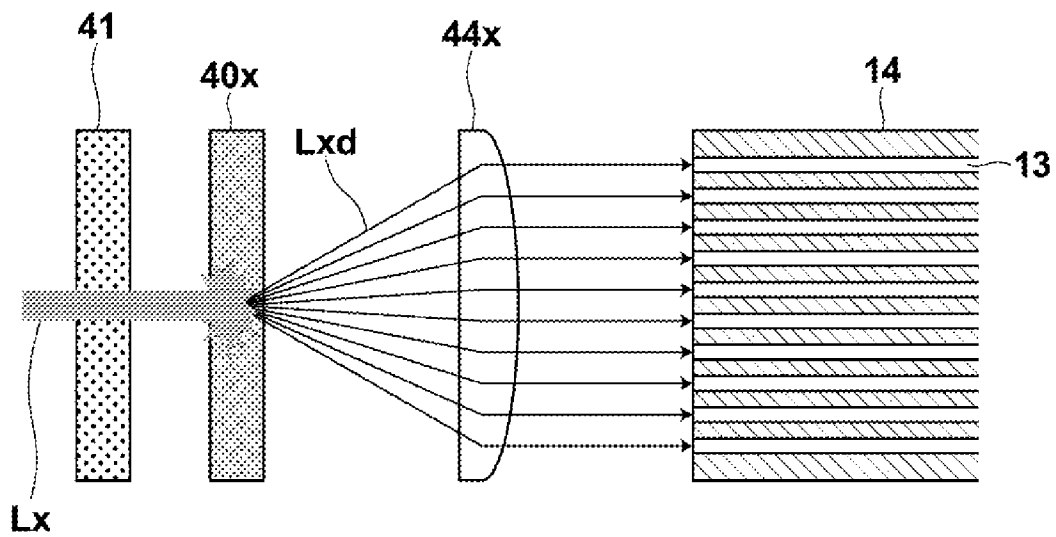
[図6]



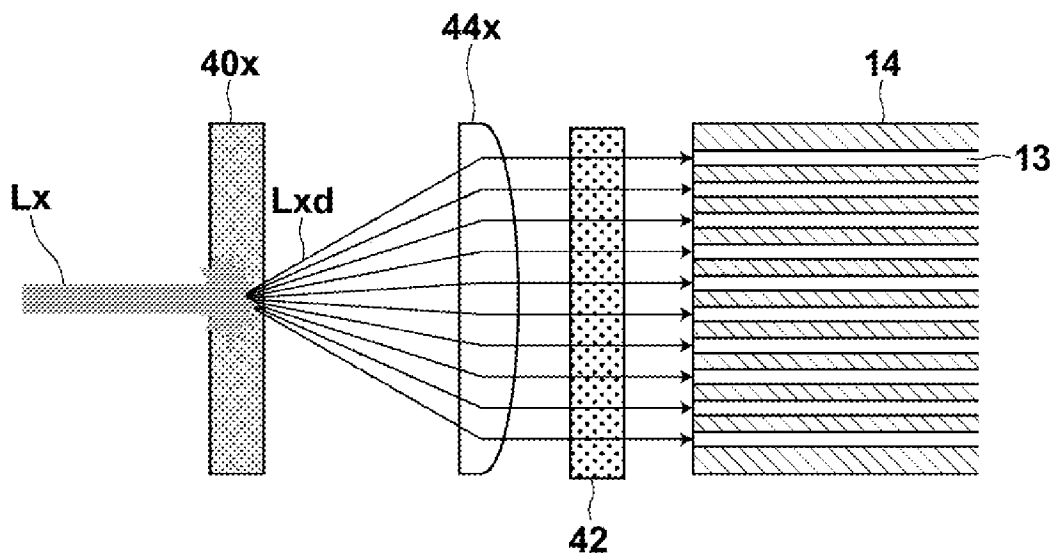
[図7]



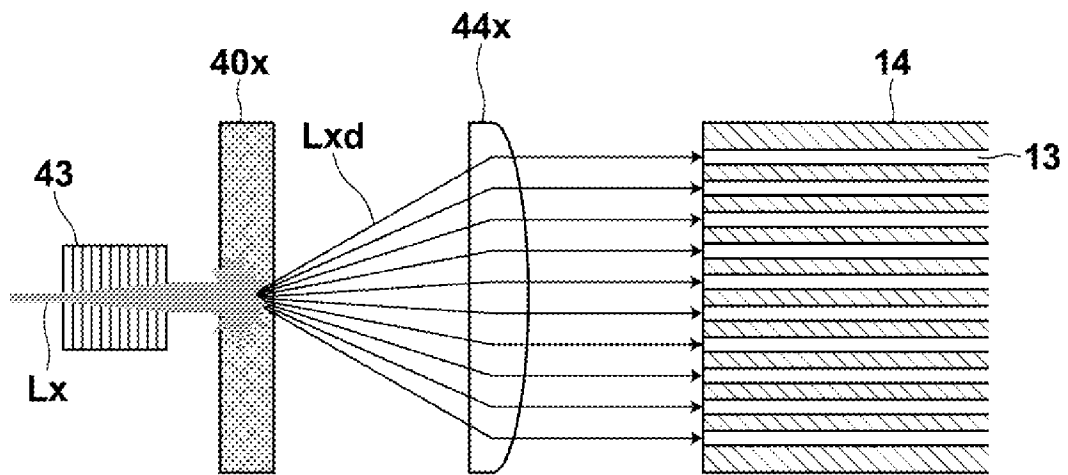
[図8]



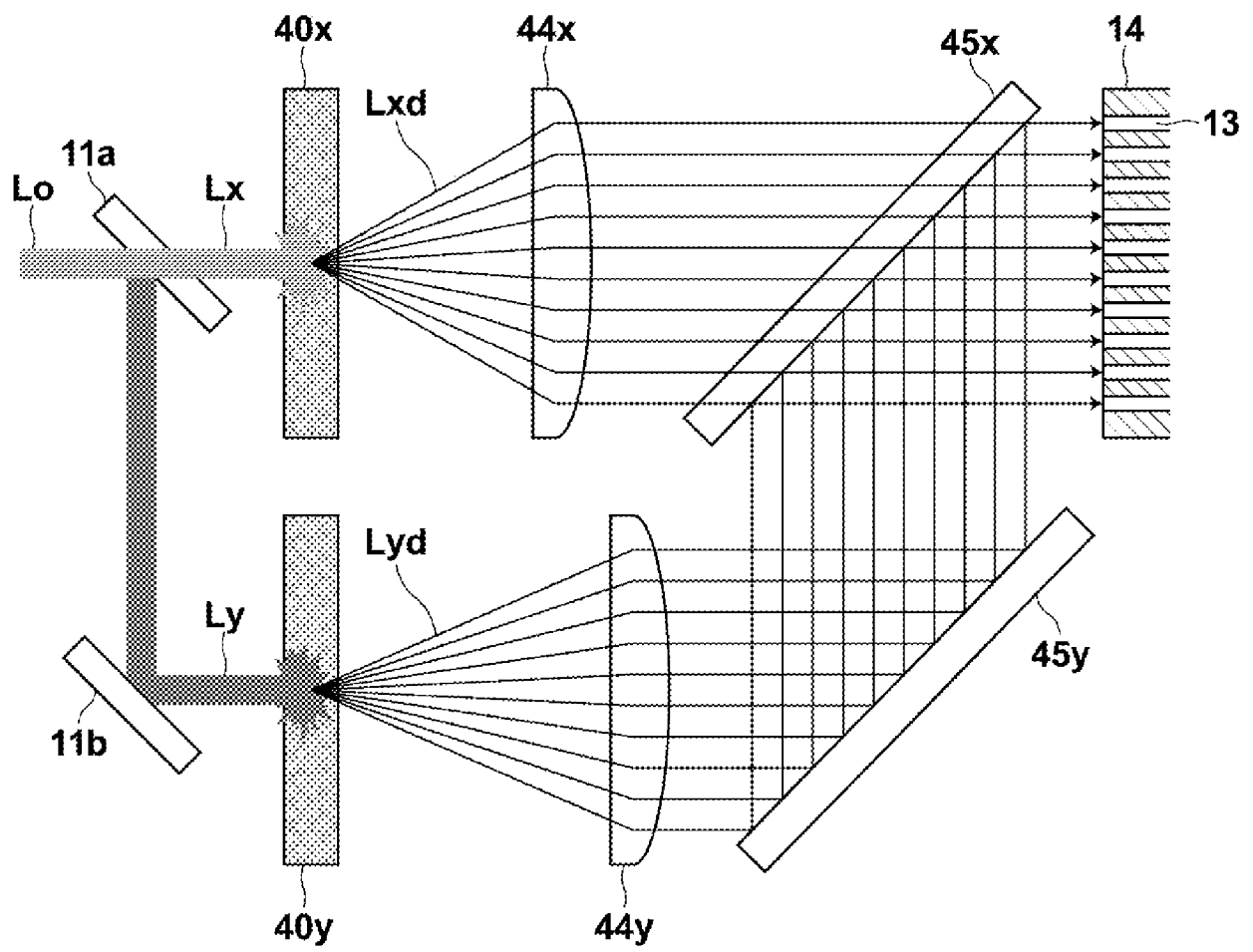
[図9]



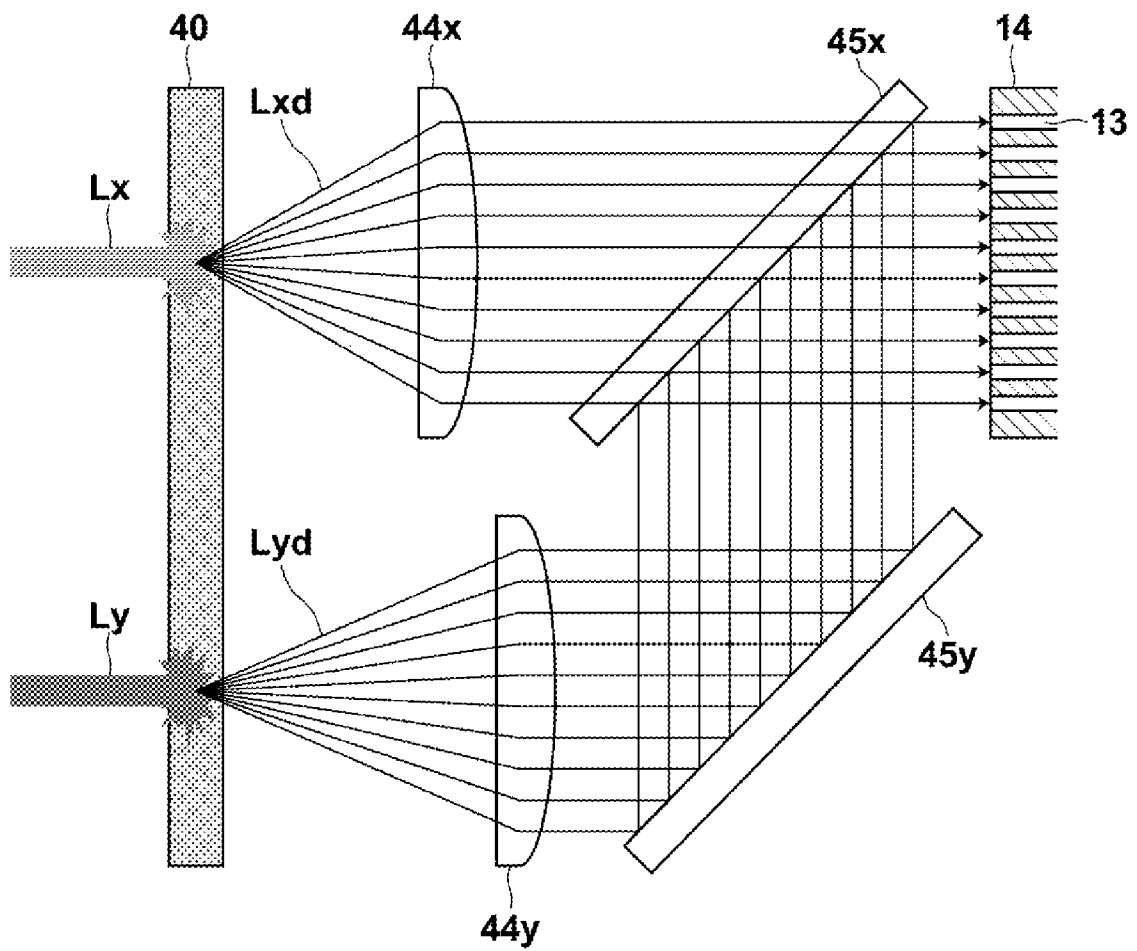
[図10]



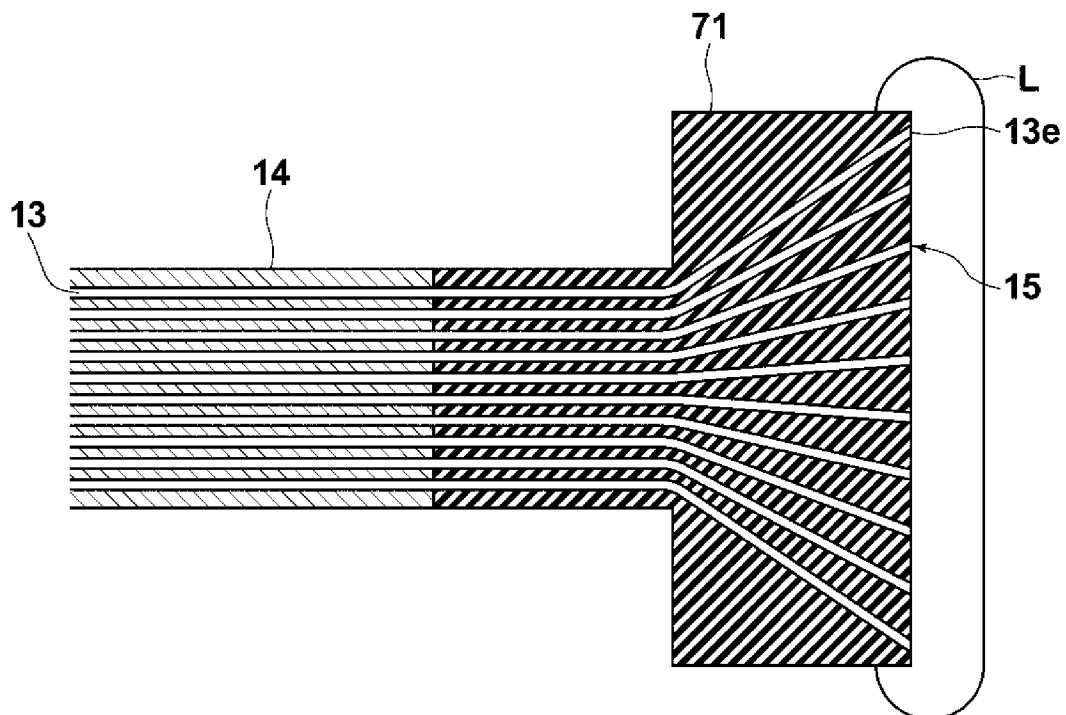
[図11]



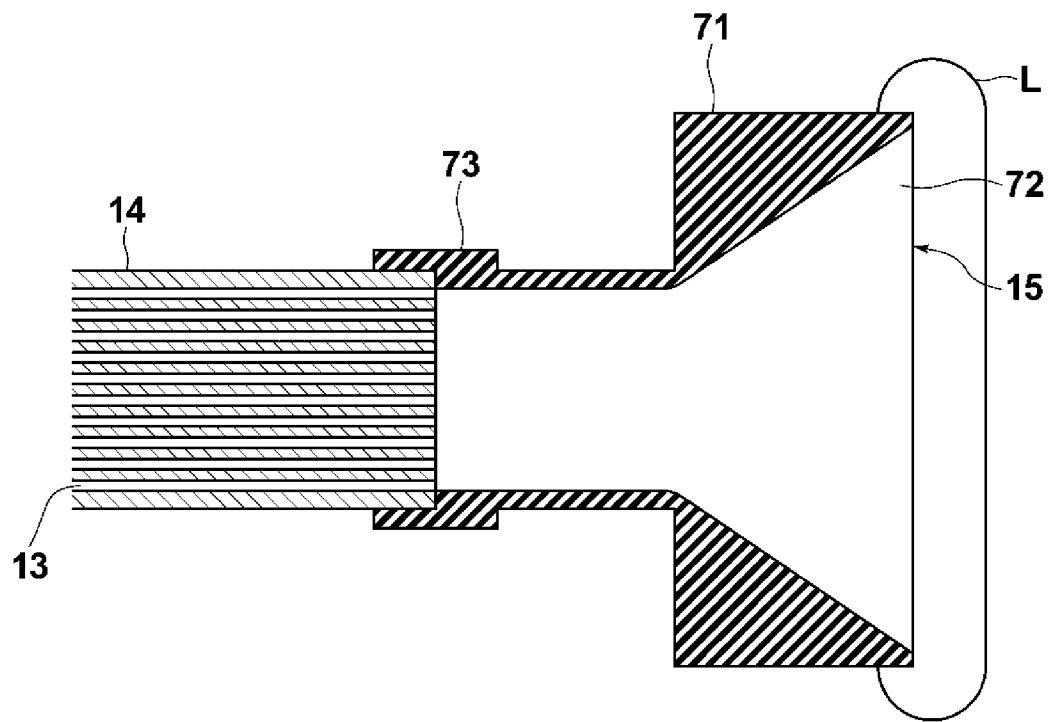
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/001027

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N29/00 (2006.01) i, 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)

G01N29/00, 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 2006-84932 A (Nippon Steel Corp.), 30 March 2006 (30.03.2006), (Family: none)	1-19
A	JP 2005-21380 A (Toshiba Corp.), 27 January 2005 (27.01.2005), & US 2005/0004458 A1 & EP 1493380 A1 & CA 2435990 A & KR 10-2005-0003948 A & KR 10-2006-0080562 A & CN 1575770 A & CA 2435990 A1	1-19
A	JP 2007-47757 A (Sony Corp.), 22 February 2007 (22.02.2007), & US 2007/0015068 A1 & EP 1744209 A1 & KR 10-2007-0008409 A & CN 1908807 A	8

☒ 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
13 April, 2012 (13.04.12)

Date of mailing of the international search report
24 April, 2012 (24.04.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/001027

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 2011-3509 A (Kel Corp.), 06 January 2011 (06.01.2011), (Family: none)	1-19
A	US 5708747 A (Hughes Aircraft Co.), 13 January 1998 (13.01.1998), (Family: none)	1-19

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N29/00(2006.01)i, 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. G01N29/00, 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 2006-84932 A (新日本製鐵株式会社) 2006.03.30, (ファミリーなし)	1-19
A	JP 2005-21380 A (株式会社東芝) 2005.01.27, & US 2005/0004458 A1 & EP 1493380 A1 & CA 2435990 A & KR 10-2005-0003948 A & KR 10-2006-0080562 A & CN 1575770 A & CA 2435990 A1	1-19
A	JP 2007-47757 A (ソニー株式会社) 2007.02.22, & US 2007/0015068 A1 & EP 1744209 A1 & KR 10-2007-0008409 A & CN 1908807 A	8

☒ 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

1 3 . 0 4 . 2 0 1 2

国際調査報告の発送日

2 4 . 0 4 . 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)

宮澤 浩

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

2 Q

9 4 0 7

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
A	JP 2011-3509 A (ケル株式会社) 2011.01.06, (ファミリーなし)	1-19
A	US 5708747 A (Hughes Aircraft Company) 1998.01.13, (ファミリーなし)	1-19