

(19)日本国特許庁 ( J P )

# (12) 公開特許公報 ( A )

(11)特許出願公開番号

特開2003 - 339707

(P2003 - 339707A)

(43)公開日 平成15年12月2日(2003.12.2)

(51) Int. Cl <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
A 6 1 B 8/00		A 6 1 B 8/00	2 G 0 4 7
G 0 1 N 29/24		G 0 1 N 29/24	4 C 3 0 1
H 0 4 R 23/00	330	H 0 4 R 23/00	5 D 0 1 9
// G 0 1 S 7/521		G 0 1 S 7/52	A 5 J 0 8 3

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14数)

(21)出願番号 特願2003 - 36037(P2003 - 36037)

(22)出願日 平成15年2月14日(2003.2.14)

(31)優先権主張番号 特願2002 - 75510(P2002 - 75510)

(32)優先日 平成14年3月19日(2002.3.19)

(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72)発明者 小川 英二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富士

写真フイルム株式会社内

(74)代理人 100100413

弁理士 渡部 温 (外1名)

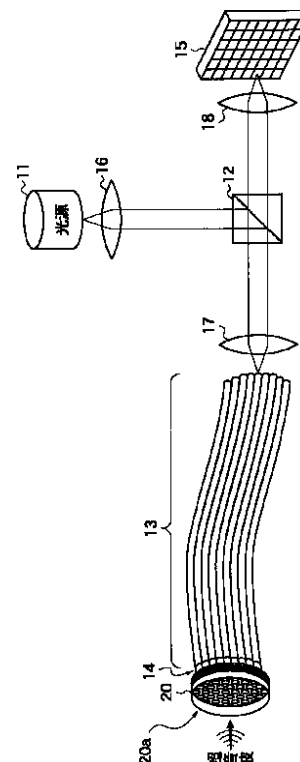
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 超音波受信装置

(57)【要約】

【課題】 光検出方式の超音波受信装置において、超音波の多重反射を抑制し、超音波画像の画質を向上させる。

【解決手段】 受信される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子20と、超音波検出素子に直接又は間接的に接続され、超音波検出素子によって受信される超音波を伝搬させるバックリング部であって、光透過性を有すると共に、超音波の検出に用いられる光を導光するバックリング部13と、超音波検出素子から出力される光を検出する光電変換部15とを有する。



【整理番号】 502059

【特許請求の範囲】

【請求項1】 受信される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子と、

前記超音波検出素子に直接又は間接的に接続され、前記超音波検出素子に受信される超音波を伝搬させるバッキング部であって、光透過性を有すると共に、超音波の検出に用いられる光を導光する前記バッキング部と、前記超音波検出素子から出力される光を検出する光電変換部と、を具備する超音波受信装置。

【請求項2】 前記超音波検出素子が、受信される超音波に応じて伸縮し、伸縮に応じて光反射率が変動することにより、入射される光を強度変調する超音波有感部を含み、

前記光電変換部が、前記超音波検出素子において強度変調された光を検出することを特徴とする、請求項1記載の超音波受信装置。

【請求項3】 前記バッキング部が、超音波を減衰させる部材を含む、請求項1又は2記載の超音波受信装置。

【請求項4】 受信される超音波に応じて伸縮し、伸縮に応じて光反射率が変動することにより、入射される光を強度変調する超音波有感部を含む超音波検出素子と、前記超音波検出素子に光を導くと共に、前記超音波検出素子によって受信される超音波を伝搬させる光伝送路と、

前記光伝送路によって導かれた光を前記超音波検出素子に対してコリメートするコリメート部と、

前記超音波検出素子から反射される光を検出する光電変換部と、を具備する超音波受信装置。

【請求項5】 前記光伝送路と前記コリメート部との内の少なくとも一方が、光透過性を有すると共に超音波を減衰させる部材を含む、請求項4記載の超音波受信装置。

【請求項6】 前記光伝送路と前記コリメート部との内の少なくとも一方が、超音波を減衰させる部材によって被覆されている、請求項4又は5記載の超音波受信装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、超音波を受信する超音波受信装置に関し、さらに、そのような超音波受信装置を用いて超音波を受信することにより医療診断や非破壊検査を行うために用いる超音波撮像装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、超音波撮像装置においては、超音波の送信及び受信を行う素子（振動子）としてPZT（チタン酸ジルコン酸鉛：Pb(lead) zirconate titanate）に代表される圧電セラミックや、PVDF（ポリフッ化ビニリデン：polyvinyl difluoride）等の高分子圧電素子を含む圧電素子を用いた1次元センサアレイが一

般的に用いられていた。そのような1次元センサアレイを機械的に移動させながら、被検体の複数の断面における2次元画像を取得し、さらに、それらの2次元画像を合成することにより3次元画像を得ていた。

【0003】しかしながら、この手法によれば、1次元センサアレイの移動方向にタイムラグがあるので、異なる時刻における断面像を合成することになり、合成画像がぼけたものになってしまう。そのため、このような手法は、超音波エコー観察等のように、被写体として生体を撮像する場合には適していない。

【0004】超音波を用いて高品位な3次元画像を取得するためには、センサアレイを移動させることなく2次元画像を取得できる2次元センサが必要である。しかしながら、上記PZTやPVDFを用いて2次元センサアレイを作製する場合には、素子の微細加工と、多数の微細素子への配線が必要であり、現状以上の微細化と素子集積は困難である。また、それらが解決されたとしても、素子間のクロストークが増大したり、微細配線による電氣的インピーダンスの上昇によりSN比が劣化したり、微細素子の電極部が破壊し易くなるといった問題があるので、PZTやPVDFを用いた2次元センサアレイの実現は困難である。

【0005】一方、受信した超音波信号を光信号に変換して検出する方式のセンサも知られている。このような光検出方式の超音波センサとして、ファイバブラッググレーティング（FBGと略称）を用いるもの（非特許文献1参照）や、ファブリーペロー共振器（FPRと略称）構造を用いるもの（非特許文献2参照）が報告されている。このような超音波センサを用いて2次元センサアレイを作製すると、多数の微細素子への電氣的配線が不要で、且つ、良好な感度が得られるという利点がある。

【0006】また、2次元の検出面を有する光検出方式の超音波センサも知られている。非特許文献3には、ファブリーペロー構造を有するポリマー膜を超音波の検出に用いることが記載されている。このような膜状の超音波センサは、多数の微細素子に対する加工が不要であるために、コストを抑制することができる。

【0007】ところで、このような光検出方式の超音波センサにおいては、超音波受信面の裏側において超音波の多重反射が生じてしまうという問題がある。ここで、超音波の多重反射について、光検出方式による2次元面センサを例にとって説明する。図15に示すように、超音波検出素子100は、基材101及び超音波有感部102を含んでいる。この例において、超音波有感部102は、全反射ミラー103、ハーフミラー104、及び、全反射ミラー103とハーフミラー104との間に形成されるキャビティ105を含むファブリーペロー共振器構造を有している。キャビティ105を形成する部材は、超音波が印加されることにより幾何学的変位を受

ける。

【0008】この超音波検出素子100の受信面102aに、基材101側から光を入射させながら超音波を印加する。すると、超音波の音圧変化により、キャピティ105の光路長Lが受信面102aの位置に応じて変化し、超音波有感部102から反射される光の強度が位置に応じて変化する。この反射光の強度を超音波の強度に換算することにより、受信面102aの位置に応じた超音波の強度を検出することができる。

【0009】ここで、図16及び図17の(a)を参照すると、媒質から伝搬し、被検体に関する情報を含む超音波は、位置Aにおいて振動を発生させると共に超音波検出素子100の内部に伝搬する(超音波US1)。続いて、超音波US1は、受信面102aとは反対側の境界面(位置B)によって反射され、その際に、位置Bにおいて振動を発生させ、再び受信面102a方向に戻ってくる(超音波US2)。さらに、超音波US2は、受信面102aによって反射され、その際に、位置Cにおいて振動を発生させ、再び受信面102aの裏面に伝搬する(超音波US3)。このように、超音波検出素子100においては、伝搬した超音波が減衰するまで反射が繰り返される。この現象により、図17の(b)に示すように、超音波検出素子100からは、本来検出すべき被検体に関する信号(位置Aにおける検出信号)の他に、多重反射して生じた信号(位置Cや位置Eにおける検出信号)が混入してしまう。

【0010】このような超音波の多重反射が、超音波画像におけるSN比を低下させ、画質を悪化させる一因となっている。そのため、例えば、超音波の送受信に圧電素子を用いる超音波受信装置においては、圧電素子にフェライトコア等を含むバックリング材を接続することにより、超音波を減衰させている。しかしながら、光検出方式の超音波受信装置においては、光透過性を考慮しなくてはならないので、従来と同様のバックリング材を用いることはできない。

【0011】

【非特許文献1】タカハシ(TAKAHASHI)、他2名、「ファイバブラッググレーティングを用いた水中音響センサ(Underwater Acoustic Sensor with Fiber Bragg Grating)」、オプティカルレビュー(OPTICAL REVIEW), Vol. 4, No. 6 (1997), P. 691-694

【非特許文献2】ウノ(UNO)、他1名、「メガヘルツ超音波領域測定のためのファイバーオプティックマイクロプローブの制作と性能(Fabrication and Performance of a Fiber Optic Micro-Probe for Megahertz Ultrasonic Field Measurement)」, 電学論(T. IEE Japan), Vol. 118-E, No. 11 (1998), P. 487-492

【非特許文献3】ベアード(Beard)、他2名、「広帯域な超音波検出のためのファブリーペローポリマーフィルムセンシングコンセプトの処理機構(Transduction M

echanisms of the Fabry-Perot Polymer Film Sensing Concept for Wideband Ultrasound Detection)」、アイ・イー・イー・イー会報(IEEE TRANSACTIONS ON ULTRASONICS, FERROELECTRICS, AND FREQUENCY CONTROL), VOL. 46, NO. 6 (NOVEMBER 1999), P.1575-1582

【0012】

【発明が解決しようとする課題】そこで、上記の点に鑑み、本発明は、光検出方式の超音波受信装置において、超音波の多重反射を抑制し、超音波画像の画質を向上させることを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】以上の課題を解決するため、本発明の第1の観点に係る超音波受信装置は、受信される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子と、該超音波検出素子に直接又は間接的に接続され、該超音波検出素子に受信される超音波を伝搬させるバックリング部であって、光透過性を有すると共に、超音波の検出に用いられる光を導光するバックリング部と、超音波検出素子から出力される光を検出する光電変換部とを具備する。ここで、上記超音波検出素子は、受信される超音波に応じて伸縮し、伸縮に応じて光反射率が変動することにより、入射される光を強度変調する超音波有感部を含み、上記光電変換部が、該超音波検出素子において強度変調された光を検出しても良い。

【0014】本発明の第1の観点によれば、受信した超音波をバックリング部に伝搬させることにより超音波を減衰させるので、超音波の多重反射による影響を避けることができる。また、光透過性を有するバックリング部によって検出に用いられる光が導光されるので、超音波検出素子から出力された光信号の減衰を抑制し、SN比を低下させることなく光電変換部に導くことができる。

【0015】また、本発明の第2の観点に係る超音波受信装置は、受信される超音波に応じて伸縮し、伸縮に応じて光反射率が変動することにより、入射される光を強度変調する超音波有感部を含む超音波検出素子と、超音波検出素子に光を導くと共に、超音波検出素子によって受信される超音波を伝搬させる光伝送路と、光伝送路によって導かれた光を超音波検出素子に対してコリメートするコリメート部と、超音波検出素子から反射される光を検出する光電変換部とを具備する。

【0016】本発明の第2の観点によれば、超音波検出素子に光を導く光伝送路に受信した超音波を伝搬させることにより、超音波の多重反射による影響を避けることができる。また、超音波検出素子と光伝送路とをコリメート部を介して接続するので、超音波検出素子に平行光を導光できると共に、超音波を光ファイバ等の光伝送路に伝搬させることができる。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、同一の構

成要素には同一の参照番号を付して、説明を省略する。図1は、本発明の第1の実施形態に係る超音波受信装置を示す図である。この超音波受信装置は、光源11と、分波器12と、光伝送路13と、コリメート部14と、受信される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子20と、光検出器15と、結像系16~18とを含んでいる。

【0018】光源11としては、所定の帯域（例えば、 $1.55\mu\text{m}$ ）を有するチューナブルLD（レーザダイオード）が用いられる。分波器12は、ハーフミラー、光サーキュレータ、又は、偏光ビームスプリッター等によって構成され、第1の方向から入射した入射光を第2の方向に反射すると共に、第2の方向から戻ってくる反射光を第1の方向とは別の第3の方向に通過させる。本実施形態においては、分波器12としてハーフミラーを用いている。ハーフミラーは、入射光を入射方向とほぼ $90^\circ$ の角度をなす方向に反射して、入射方向とほぼ $90^\circ$ の角度をなす方向から戻ってくる光を透過する。本実施形態においては、ハーフミラーの前段及び後段に、結像系16~18としてレンズを設けている。

【0019】光伝送路13は、分波器12を通過した光を超音波検出素子20に導く。光伝送路13としては、多数の（例えば、1024本）光ファイバを束ねたバンドルファイバが用いられる。本実施形態において、多数のファイバは、超音波検出素子の受信面の形状（例えば、円状）に合わせて束ねられている。

【0020】光伝送路13の先端部は、コリメート部14を介して超音波検出素子20に、光軸を合わせて接続されている。コリメート部14は、例えば、コリメートレンズがアレイ化されたコリメートレンズアレイを含んでいる。光伝送路13及びコリメート部14の構成については、後で詳しく説明する。

【0021】超音波検出素子20は、伝搬する超音波によって歪みを生じる2次元の受信面20aと、受信面20aによって受信される超音波に応じて伸縮する超音波有感部とを有している。この伸縮に応じて超音波有感部の光反射率が変動するので、光伝送路13及びコリメート部14を通して超音波検出素子20に入射した光は強度変調を受けて反射される。超音波検出素子20から反射された光は、再びコリメート部14及び光伝送路13を通り、分波器12を通過して複数の画素を有する光検出器15に入射する。

【0022】光検出器15は、PDA（フォトダイオードアレイ）やMOS型センサ等を含む2次元アレイ光電変換器である。光検出器15は、超音波検出素子20の対応する位置から分波器12を介して入射した光を複数の画素ごとに検出し、それぞれの画素における光強度に応じた検出信号を出力する。ここで、反射光は、直接あるいは光ファイバ等を通して光検出器15に入射する

設け、これを介して光検出器15に結像するようにしても良い。

【0023】次に、図2を参照しながら、超音波検出素子20の構造及び超音波の検出原理について詳しく説明する。超音波検出素子20は、基板21と、該基板の上に積層された多層膜22とを含む多層膜センサである。この多層膜22が、ブラッググレーティング構造を構成し、超音波有感部として働く。

【0024】基板21は、超音波を受信することによって歪みを生じる膜状の基板であり、例えば、直径2cm程度の円か、それ以上の面積を有している。基板21には、異なる屈折率を有する2種類の材料層を交互に積層することにより、ブラッググレーティング構造を有する多層膜22が形成されている。図2には、屈折率 $n_1$ を有する材料層Aと、屈折率 $n_2$ を有する材料層Bとが示されている。

【0025】多層膜22の周期構造のピッチ（間隔）を $d$ とし、入射光の波長を $\lambda$ とすると、ブラッグの反射条件は次の式で表される。ただし、 $m$ は任意の整数である。

$$2d \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda \quad \dots (1)$$

ここで、 $\theta$ は入射面と入射光とのなす角であり、 $\lambda = \lambda_0 / 2$ とすると次の式ようになる。

$$2d = m \cdot \lambda_0 \quad \dots (2)$$

ブラッググレーティングは、ブラッグの反射条件を満たす特定の波長の光を選択的に反射し、その他の波長の光を透過させる。

【0026】超音波検出素子20に超音波を伝搬させると、超音波の伝搬に伴い基板21が歪み、多層膜22の各位置において周期構造のピッチ $d$ が変化する。これに伴い、選択的に反射される光の波長 $\lambda$ が変化する。ブラッググレーティングの反射特性においては、最も光反射率の高い（透過率の低い）中心波長の前後に光反射率の変化する傾斜帯域があり、この傾斜帯域の範囲に中心波長を有する光を多層膜22に入射させながら基板21に超音波を加える。すると、受信面の各位置における超音波の強さに応じた反射光（又は透過光）の強度変化を観測できる。この光の強度変化を超音波の強度に換算することにより、超音波の2次元強度分布情報を取得できる。ここで、反射特性とは、超音波検出素子20における光の波長と反射強度との関係のことをいう。

【0027】基板21の材料としては、石英ガラス（ $\text{SiO}_2$ ）やBK7（ショット社の製品）等の光学ガラス等が用いられる。また、材料層A及びBに用いられる物質としては、屈折率が互いに10%以上異なる物質の組み合わせが望ましい。これには、例えば、 $\text{SiO}_2$ と酸化チタン（ $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ）との組み合わせや、 $\text{SiO}_2$ と酸化タンタル（ $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ）との組み合わせ等が挙げられる。材料層A及びBは、基板21上に、真空蒸着やスパッタリング等の方法によって形成される。

【0028】ところで、超音波の多重反射を抑制するためには、超音波が伝搬する距離を長くすることが有効である。超音波は、伝搬する際に少なからず減衰し、その伝搬距離が長いほど減衰量は大きくなる。そこで、十分な伝搬距離を取れば、一端に伝搬した超音波が他端において反射して戻る間に、超音波を十分に減衰させることができるからである。このため、本実施形態においては、光伝送路として光ファイバを用い、受信した超音波を光ファイバに伝搬させている。即ち、光伝送路に、光を通過させる機能と共に超音波を減衰させるバッキング部としての機能を持たせている。

【0029】図3は、図1に示す光伝送路13、コリメート部14、及び、超音波検出素子20の一部を拡大して示す断面図である。図3に示すように、光伝送路(バンドルファイバ)13に含まれる複数の光ファイバ13aと、コリメート部(コリメートレンズアレイ)14に含まれる複数のコリメートレンズ14aとは、それぞれ光軸を合わせて接続され、さらに、超音波検出素子20に2次元状に配置されて接続されている。複数の光ファイバ13aは、接着剤25を用いて束ねられている。

【0030】光ファイバ13aは、例えば、2m程度の長さを有するシングルモード又はマルチモードファイバであり、樹脂系材料を含む粘度の低い部材(被覆材23a)で覆われている。光ファイバを伝搬する間に超音波を減衰させるために、光ファイバを上記の部材で被覆することにより、超音波の伝搬エネルギー損失をさらに大きくして超音波減衰を早めることができる。

【0031】ここで、光ファイバ13a中を伝送される光は、該光ファイバから出射する際に回折する。このため、光ファイバ13aを超音波検出素子20に直接接続すると、光が拡散して超音波検出素子の光反射特性が著しく乱れ、超音波検出素子内で十分な干渉が生じなくなる。このため、超音波検出素子の検出感度が著しく悪くなってしまう。この現象を避けるため、光ファイバ13aの一端には、出射光の拡散を防止するためにコリメートレンズ14aが接続されている。コリメートレンズアレイに含まれる複数のコリメートレンズ14aは、それぞれの光ファイバによって導かれた光を超音波検出素子20の超音波受信面における複数の位置に対してコリメートする。

【0032】コリメートレンズ14aとしては、グラデyantインデックスレンズ(gradient index lens、以下GRINレンズと略す)が用いられる。GRINレンズは、例えば、セルフロック(Selfoc:日本板硝子株式会社の登録商標)レンズという製品名で知られている。GRINレンズは、位置によって異なる屈折率を有する屈折率分布型レンズであり、その長さを変えることによって光学特性が変化する。例えば、GRINレ

$$T = \{ 1 + 4R / (1 - R)^2 \cdot \sin^2(\theta / 2) \}^{-1} \dots (3)$$

$$= 2 / \dots \cdot 2nd \cdot \cos \dots (4)$$

ンズを物体像面間距離(光が正立に結像するピッチ)の1/4の長さにすると、入射光が平行光となって出射される。

【0033】本実施形態においては、セルフロックレンズが多数配列されたセルフロックレンズアレイNA0.46(日本板硝子株式会社の製品)を、0.25Lの長さ(Lは、物体像面間距離)で使用し、それぞれのセルフロックレンズをコリメートレンズ14aとして光ファイバに接続している。図3に示すように、コリメートレンズ14aを被覆材23aによって覆っても良い。光ファイバ13aにおけるものと同様に、超音波を早く減衰させるためである。

【0034】光ファイバとコリメートレンズ、又は、コリメートレンズと超音波検出素子は、融着又は接着剤を用いて接続される。接着剤を用いる場合には、エポキシ系を含む樹脂系接着剤を用いることが望ましい。このような接着剤においては、音響インピーダンスが光ファイバ及びコリメートレンズの部材や超音波検出素子の基板と近似しているため、超音波が伝搬する際にそれぞれの部材の境界において反射するのを抑制できるからである。また、複数の光ファイバを束ねるための接着剤25としても、エポキシ系を含む樹脂系接着剤を用いることが望ましい。超音波を減衰させ、隣接する光ファイバ間における超音波のクロストークを防ぐと共に、ケーブルとしての柔軟性を保つことができるからである。本実施形態においては、このような接着剤として、STYCAST(Emerson & Cuming社の製品)を用いている。

【0035】本実施形態によれば、受信された超音波が光ファイバを伝搬する間に減衰して消滅するので、超音波検出素子における超音波の多重反射を防ぐことができる。このため、超音波画像におけるSN比を高め、画質を向上させることができる。また、光ファイバと超音波検出素子とを、長さが数mm程度のセルフロックレンズを介して接続するため、超音波受信装置を小型化することができる。

【0036】本実施形態の変形例について、図4を参照しながら説明する。この例は、図1における超音波検出素子20の替わりに、図4に示す超音波検出素子(エタロンセンサ)30を用いている。その他の構成については、図1及び図3を用いて説明したのと同様である。図4に示すように、基板31は、超音波によって変形する膜状の基板である。基板31に対向して、基板32が配置されており、これらはエタロンと同様の構造を形成している。

【0037】基板31及び32の光反射率をR、これらの基板の間隔をdとし、入射光の波長をλとすると、エタロンの透過率は次のように表される。ただし、nは任意の整数である。

ここで、 $\theta$  は出射面の垂線から測った出射角であり、 $\theta = 0$  とすると次の式ようになる。

$$n = 4 \sin \theta \dots (5)$$

エタロンは、波長  $\lambda$  の光を光透過率  $T$  で透過し、光反射率  $R = (1 - T)$  で反射する。

【0038】超音波検出素子30に超音波を伝搬させると、基板31が歪み、受信面の各位置において基板31及び32の間隔  $d$  が変化するので、波長  $\lambda$  の光に対する反射率が変化する。エタロンの反射特性は、波長変化に対して周期的に変化する。反射特性の変化率の大きい領域に中心波長を有する光を基板31に入射させながら超音波を印加すると、受信面の各位置における超音波の強さに応じた反射光の強度変化を観測できる。この反射光の強度変化を超音波の強度に換算することにより、超音波の強度を2次元的に計測することができる。

【0039】次に、本発明の第2の実施形態に係る超音波受信装置について、図5の(a)及び(b)を参照しながら説明する。本実施形態においては、図1に示す超音波検出素子20、光伝送路13、及び、コリメート部14の替わりに、図5の(a)に示すように、超音波有感部を有するバンドルファイバ40を用いている。その他の構成については、第1の実施形態におけるものと同様である。

【0040】図5の(b)に、バンドルファイバ40に含まれるファイバ40aの構成を示す。ファイバ40aは、光ファイバ41とコリメートレンズ42とを含んでいる。本実施形態においては、第1の実施形態におけるものと同様に、コリメートレンズ42として、0.25Lの長さを持つセルフォックレンズを用いている。また、両者は、融着又はエポキシ系を含む樹脂系接着剤によって接続されている。

【0041】コリメートレンズ42の一端には、2種類の材料層が交互に積層された多層膜43が形成されている。この多層膜43が、ブラッググレーティング構造を構成し、超音波有感部として働く。多層膜43の材料としては、例えば、 $\text{SiO}_2$ と酸化チタン( $\text{Ti}_2\text{O}_3$ )との組み合わせや、 $\text{SiO}_2$ と酸化タンタル( $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )との組み合わせ等が用いられる。このような材料層は、コリメートレンズ42上に、真空蒸着やスパッタリング等の方法によって形成されている。

【0042】ファイバ40aは、ファイバ40aの一端に伝搬した超音波が他端において反射する前に、超音波が減衰してしまうように、粘度の低い部材(被覆材44)によって覆われている。さらに、図5の(b)に示すように、被覆材44がコリメートレンズ42まで覆うようにしても良い。これにより、ファイバ40aに伝搬した超音波のエネルギー損失を大きくすることができるので、超音波を早く減衰させてバックング部としての効果を上げることができる。

【0043】このようなファイバ40aを、エポキシ系

を含む樹脂系接着剤を用いて多数束ねることにより、超音波有感部を有するバンドルファイバ40が作製される。本実施形態によれば、コリメートレンズに直接多層膜が形成されるので、コリメートレンズと超音波検出素子との接続部分における強度が増す。また、この接続部分における超音波の反射がより抑制されるので、超音波をファイバ部分に逃がしやすくなり、効果的に多重反射を抑制することができる。

【0044】次に、本発明の第3の実施形態に係る超音波受信装置について、図6を参照しながら説明する。図6に示す超音波受信装置は、図1における光伝送路13及びコリメート部14の替わりに、バックング部50を有している。その他の構成については、第1の実施形態と同様である。

【0045】バックング部50は、検出に用いられる光を透過する光伝送部51と、超音波を減衰させるための被覆部52とを含んでいる。光伝送部51には、光学ガラス等の部材が用いられる。また、被覆部52には、樹脂、ゴム、液体等の粘度の低い部材が用いられる。このようなバックング部50と、超音波検出素子20とは、エポキシ系等の樹脂系接着剤によって接続される。

【0046】図6の超音波受信装置において、光源11から発生した光は、レンズ16を通過し、分波器12によって方向を変えられた後、レンズ17及び光伝送部51を通過し、超音波検出素子20に入射する。超音波検出素子20においては、受信面20aにおいて受信される超音波に応じて伸縮した部分の光反射率が変動する。これにより、超音波検出素子20に入射した光は、強度変調を受けて反射される。さらに、反射された光は、レンズ17、分波器12、及び、結像系18を通過し、光検出器15に入射して検出される。

【0047】一方、超音波検出素子20に印加された超音波は、超音波検出素子20の内部及びバックング部50に伝搬する。バックング部50において、超音波は、光伝送部51を伝搬する際にエネルギーを損失すると共に、被覆部52によってエネルギーを吸収されて急速に減衰する。これにより、超音波の多重反射による影響を低減することができる。

【0048】本実施形態によれば、それぞれの画素に対応する複数の光ファイバによって超音波検出素子に導光するのと異なり、超音波検出素子の反射面に対して所定の太さ(照射面積)を有する光を導光するので、超音波受信装置の構成を簡単にすることができる。なお、本実施形態においては、図6に示すレンズ17を通過した光を直接光伝送部に入射させているが、図1に示すような光ファイバやコリメート部を介して光伝送部に入射させても良い。また、光伝送部51と超音波検出素子20との間に、光伝送部51から出射した光を平行光にして超音波検出素子20に入射させるコリメート部を挿入しても良い。さらに、本実施形態においては、超音波検出素

子として、図2に示す多層膜センサを用いているが、図4に示すエタロンセンサを用いても良い。

【0049】以上説明した第1～第3の実施形態においては、光増幅器を付加することによって超音波検出性能を向上させることができる。この変形例について、図7を参照しながら説明する。図7に示す超音波受信装置は、図1に示す超音波受信装置に、光増幅器91と光増幅器92との内の少なくとも一方を追加したものである。光増幅器91は、光源11と分波器12の間、若しくは、レンズ16と分波器12の間に配置され、光源11から入射した光を増幅して分波器12に出射する。一方、光増幅器92は、分波器12と結像系18の間に配置され、分波器12から入射した光を増幅して結像系18に出射する。結像系18を用いない場合には、光増幅器92は、分波器12と光検出器15との間に配置され、分波器12から入射した光を増幅して光検出器15に出射する。

【0050】光増幅器としては、例えば、エルビウム(Er)をドープした光ファイバ増幅器EDFA(Er-doped optical fiber amplifier)を使用する。このEDFAは、光の強度を約1桁から2桁上昇させることができる。このような光増幅器を、光源11と超音波検出素子20との間に配置した場合には、超音波検出素子20に入射する入射光の強度が増幅される。また、光増幅器を超音波検出素子20と光検出器15との間に配置した場合には、超音波検出素子20に入射する入射光の強度は変化しないが、光検出器15に入射する反射光の強度が増幅される。この場合には、受信した超音波によって変調された反射光の強度変化も増幅されることになる。

【0051】いずれにしても、光の状態で強度を増幅することにより光検出器15に入射する反射光の光量が増加するので、光検出器15における電気的なノイズの影響を低減し、超音波受信装置のSN比を向上させることができる。さらに、両者を併用する場合には、より一層のSN比の向上が実現可能である。

【0052】また、第1～第3の実施形態においては、光源として、チューナブルLDの代わりにブロードバンド光源を用いることができる。この変形例について、図8及び図9を参照しながら説明する。図8においては、ブロードバンド光源から発生する光を、狭帯域化フィルタにより狭帯域化して用いている。ブロードバンド光源としては、例えば、増幅された自然放出光を放出するASE(amplified spontaneous emission)光源や、ブロードバンドファイバ光源を用いることができる。図8においては、ブロードバンド光源として、ASE光源93を使用している。ASE光源93は、広帯域光増幅器(broadband optical fiber amplifier)の構造を、増幅された自然放出光を発生できるように変えたものである。広帯域光増幅器の詳細については、例えば、大越春喜氏による「広帯域光増幅器」(電子情報通信学会誌V

01.82、No.7、p.718～724、1999年7月)を参照されたい。

【0053】ここで、図9は、図8に示すASE光源93の原理を説明するための図である。ASE光源93は、光増幅用の光ファイバ96を含んでいる。光ファイバ96の一方の端部にはレンズ97が取り付けられており、他方の端部には励起光反射用のブラッググレーティング部98が形成されている。レンズ97の図中左側には、レーザ発振器99が励起光源として配置されている。レーザ発振器99において発生した光は、レンズ97を介して光ファイバ96に入射して増幅され、増幅された光の一部は、自然放出光としてブラッググレーティング部98を透過する。

【0054】再び図8を参照すると、ASE光源93が発生した光は、分波器94に入射する。分波器94は、第1の方向から入射した光を第2の方向に通過させると共に、第2の方向から戻ってくる反射光を第1の方向とは別の第3の方向に通過させる。図8においては、分波器94としてハーフミラーを用いているが、この他、光サーキュレータや偏光ビームスプリッタを用いても良い。

【0055】ASE光源93を出た光が分波器94を通過する方向(図の下側)には、超音波検出素子20と同じ材料で構成される狭帯域フィルタ95が設けられている。狭帯域フィルタ95に入射した光は、狭帯域フィルタ95に含まれるブラッググレーティング構造を有する多層膜によって反射され、再び分波器94に入射する。ASE光源93から発生した自然放出光は、狭帯域フィルタ95を通過することにより、狭帯域化される。

【0056】狭帯域フィルタ95に反射された光は、再び分波器94に入射し、進路を変更されて分波器12に入射する。分波器12を通過した光は、受信される超音波に応じて伸縮することにより超音波有感部の光反射率が変動する超音波検出素子20に入射し、強度変調を受けて反射される。

【0057】ここで、ブラッググレーティング部は、温度の変化によって反射光の中心波長が0.01nm/の割合で変化する。そのため、単一波長のレーザ光を発生する光源を用いると、ブラッググレーティング部によって構成された超音波検出素子20の感度が、温度の変化によって大きく変化してしまうという問題があった。しかしながら、図8に示すように、ASE光源93から発生した自然放出光を狭帯域フィルタ95によって狭帯域化することにより、単一波長のレーザ光に近い帯域を確保できると共に、温度の変化による超音波受信装置の感度の変化を低減することができる。

【0058】即ち、狭帯域フィルタ95と超音波検出素子20とを同一の材料で形成し、狭帯域フィルタ95と超音波検出素子20とを、例えば、熱伝導率の高い材料で結合したり、狭帯域フィルタ95と超音波検出素子2

0とを物理的に近接させることにより、熱的結合を図っている。又は、狭帯域フィルタ95と超音波検出素子20との周りにヒートパイプを配置しても良い。

【0059】これにより、狭帯域フィルタ95のブラッググレーティング部と超音波検出素子20のブラッググレーティング部とがほぼ同じ温度となるので、温度によって超音波検出素子20の反射特性がシフトしても、超音波検出素子20に入射する光の波長も同様にシフトして、超音波受信装置の感度の変化を低減することができる。

【0060】以上において述べたような超音波受信装置を適用した超音波撮像装置について、図10を参照しながら説明する。図10に示す超音波検出部60は、第1～第3の実施形態における超音波検出素子を含んでおり、コリメート部や光伝送路を介してレンズ17や分波器12に接続されている。

【0061】また、この超音波撮像装置は、超音波送信部70と駆動信号発生回路71とを含んでいる。超音波送信部70は、駆動信号発生回路71から発生する駆動信号に基づいて超音波を送信する。超音波送信部70から送信された超音波は、被検体によって反射され、超音波検出部60に受信される。このとき、超音波検出部60の超音波有感部は、印加される超音波に応じて伸縮し、その伸縮に応じて超音波有感部の光反射率が変動する。一方、超音波検出部60には、光源から発生し、分波器12を通過した光が入射している。この光は、超音波検出部60の超音波有感部における光反射率の変動により強度変調を受け、反射される。反射された光は、分波器12や結像系18を介して光検出器15に入射し、2次元的に検出される。

【0062】また、この超音波撮像装置は、信号処理部81と、A/D変換器82と、1次記憶部83と、画像処理部84と、画像表示部85と、2次記憶部86と、タイミングコントロール部72とを含んでいる。光検出器15から出力される検出信号は、信号処理部81において位相調整、対数増幅、検波等の処理を施され、さらに、A/D変換器82においてデジタル信号に変換される。

【0063】1次記憶部83は、変換されたデータに基づく複数枚の面データを記憶する。画像処理部84は、それらのデータに基づいて、2次元データ又は3次元データを再構成すると共に、補間、レスポンス変調処理、階調処理等の処理を施す。画像表示部85は、例えば、CRTやLCD等のディスプレイ装置であり、これらの処理を施された画像データに基づいて画像を表示する。さらに、2次記憶部86は、画像処理部84において処理されたデータを記憶する。

【0064】タイミングコントロール部72は、所定のタイミングで駆動信号を発生するように駆動信号発生回路71を制御すると共に、送信時刻から一定時間経過後

に光検出器15から出力される検出信号を取り込むように、信号処理部81を制御する。このようにして、被写体の特定の深さから反射された超音波を検出することができる。ここで、超音波検出部60と超音波送信部70とは、別々に設けても良いし、超音波送信部70と超音波検出素子とを組み合わせることにより、超音波用探触子(超音波送受信部)1を形成しても良い。

【0065】超音波送信部70と超音波検出素子とを組み合わせる場合における超音波用探触子の構成について、図11及び図12を参照しながら説明する。図11に示す超音波用探触子1において、超音波検出素子20の周囲には、複数の超音波送信素子10が配置されている。超音波送信素子10は、圧電素子7及び電極8を含んでおり、配線9を介して駆動信号発生回路71に接続されている。なお、図11においては、簡単のために、1組のみの配線を示す。

【0066】圧電素子7は、PZT(チタン酸ジルコン酸鉛:Pb(lead) zirconate titanate)に代表される圧電セラミックや、PVDf(ポリフッ化ビニリデン:polyvinyl difluoride)等の高分子圧電素子によって構成される。このような圧電素子に、駆動信号発生回路71からパルス状の電気信号或いは連続波電気信号を送って電圧を印加すると、圧電素子は圧電効果により伸縮する。これにより、超音波パルス或いは連続波超音波が発生し、媒質中を超音波ビームとして伝搬する。

【0067】図12は、超音波用探触子1のハウジング内の正面図である。超音波用探触子1のハウジング35内には、圧電素子7及び電極8を含む超音波送信素子10と、コリメータ部14を介して光伝送部13に接続されている超音波検出素子20とが収納されている。

【0068】超音波送信素子10及び超音波検出素子20とハウジング35との間には、音響インピーダンスの整合を図るために音響整合層36を設けることが望ましい。音響整合層36は、超音波を伝え易いパイレックス(登録商標)ガラスや金属粉入りエポキシ樹脂等により構成することができる。また、ハウジング35の表面には、超音波送信素子10や超音波検出素子20を保護することも兼ねて、シリコンゴム等の音響レンズ材37を設けることが望ましい。なお、ハウジング35内は、超音波送信素子10及び超音波検出素子20が設けられた部分の近傍を除き、樹脂38で固められている。

【0069】図13は、超音波用探触子1の平面図を示している。本実施形態においては、図13の(a)に示すように、超音波検出素子20の周囲に複数の超音波送信素子10を配置しているが、図13の(b)又は(c)に示すように、超音波検出素子20の受信面が1つ又は複数の超音波送信素子10を囲むように配置することも可能である。図13の(b)に示すように、超音波検出素子20の中心に1つの超音波送信素子10を配置する場合には、送信波のビームスキャンはできないの

で、無指向性の超音波送信素子を用いることが望ましい。一方、図13の(a)又は(c)に示すように、複数の超音波送信素子10を1次元又は2次元的に配置する場合には、1次元又は2次元的なビームスキャン送信が可能になる。なお、図13の(a)~(c)において、超音波送信素子10や超音波検出素子20の周囲を、超音波のクロストークを低減させるために、吸音材39で満たしても良い。吸音材39としては、金属粉入りエポキシ樹脂や、フェライト粉入りゴム等が適している。

【0070】超音波送信素子10と超音波検出素子20とを図13(c)に示すように配置する場合には、例えば、次のように超音波用探触子を作製することができる。図14は、超音波用探触子の作製方法の例を説明するための図である。図14の(a)~(d)は、図13の(c)のA-A'面における断面を示している。まず、図14の(a)に示すように、光学ガラス等を材料とする基板21に、複数の開口を形成する。次に、図14の(b)に示すように、基板21の図中下側の面上に、異なる屈折率を有する2種類の材料層を交互に積層することにより、ブラッググレーティング構造を有する多層膜22を形成する。次に、図14の(c)に示すように、基板21の開口内に、圧電素子7及び電極8を含む超音波送信素子10を挿入する。これにより、超音波検出素子20の受信面が、超音波送信素子10を囲むように形成される。なお、この際に、超音波送信素子10と超音波検出素子20との隙間に吸音材39やエポキシ系の接着剤等を充填してもよい。さらに、図14の(d)に示すように、超音波送信素子10に配線9を接続し、超音波検出素子20にコリメート部14及び光伝送路13を接続する。

【0071】このように、異なる方式を用いた超音波送信部と超音波検出部とを一つの探触子にまとめると、従来の送受同一方式を用いた探触子と同様の操作感で超音波診断を行うことができる。

【0072】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、受信した超音波を光伝送路に伝搬させることにより、超音波の多重反射を抑制することができる。これにより、SN比の高い信号を得ることができ、画質の良い超音波画像を得ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る超音波受信装置の構成を示す図である。

【図2】図1に示す超音波検出素子の超音波検出原理を説明するための図である。

【図3】図1に示す超音波検出素子、コリメート部、及び、光伝送路の接続部分を拡大して示す断面図である。

【図4】図1に示す超音波受信装置の変形例を示す図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る超音波受信装置の一部を示す図である。

【図6】本発明の第3の実施形態に係る超音波受信装置を示す図である。

【図7】本発明の第1~第3の実施形態に係る超音波受信装置の変形例を示す図である。

【図8】本発明の第1~第3の実施形態に係る超音波受信装置の別の変形例を示す図である。

【図9】図8に示すASE光源の構成を示す図である。

【図10】本発明に係る超音波受信装置を適用した超音波撮像装置を示すブロック図である。

【図11】図10の超音波撮像装置に含まれる超音波用探触子の構成を示す模式図である。

【図12】図11に示す超音波用探触子の構造を示す正面図である。

【図13】超音波検出素子と超音波送信素子の配置例を示す図である。

【図14】超音波検出素子が超音波送信素子を囲むように配置されている超音波用探触子の作製方法の例を示す図である。

【図15】ファブリーペロー共振器構造を有する2次元面センサの構成を示す図である。

【図16】光検出方式の超音波検出素子における超音波の多重反射を説明するための図である。

【図17】図17の(a)は、超音波検出素子における位置A~Eにおいて生じた振動を示す波形図であり、図17の(b)は、超音波検出素子によって検出された位置A、C、Eにおける検出信号を示す波形図である。

【符号の説明】

- 1 超音波用探触子(超音波送受信部)
- 7 圧電素子
- 8 電極
- 9 配線
- 10 超音波送信素子
- 11 光源
- 13 光伝送路
- 13 a、96 光ファイバ
- 14 コリメート部
- 14 a コリメートレンズ
- 15 光検出器
- 16、17、97 レンズ
- 18 結像系
- 20、30、100 超音波検出素子
- 20 a、102 a 受信面
- 21、31、
- 32 基板
- 22、43 多層膜
- 23 a 被覆材
- 25 接着剤
- 35 ハウジング
- 36 音響整合層
- 37 音響レンズ
- 38 樹脂
- 39 吸音材

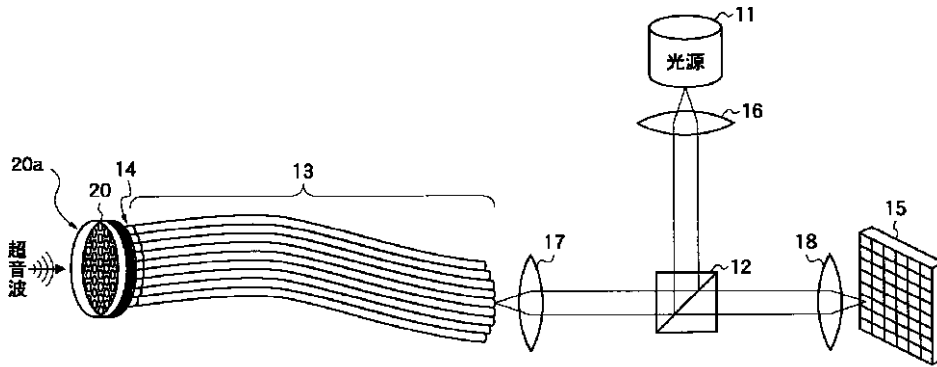
40 超音波有感部を有するバンドルファイバ  
 40a ファイバ  
 42 コリメートレンズ  
 50 バックリング部  
 52 被覆部  
 検出部  
 70 超音波送信部  
 号発生回路  
 72 タイミングコントロール部  
 理部  
 82 A/D変換器  
 憶部

41 光ファ  
 44 被覆材  
 51 光伝送  
 60 超音波  
 71 駆動信  
 81 信号処  
 83 1次記

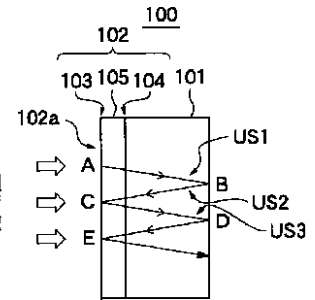
\* 84 画像処理部  
 示部  
 86 2次記憶部  
 光増幅器  
 93 ASE光源  
 分波器  
 95 狭帯域フィルタ  
 ググレーティング部  
 99 レーザ発振器  
 10 102 超音波有感部  
 射ミラー  
 104 ハーフミラー  
 ビティ

85 画像表  
 91、92  
 94、12  
 98 ブラッ  
 101 基材  
 103 全反  
 105 キャ

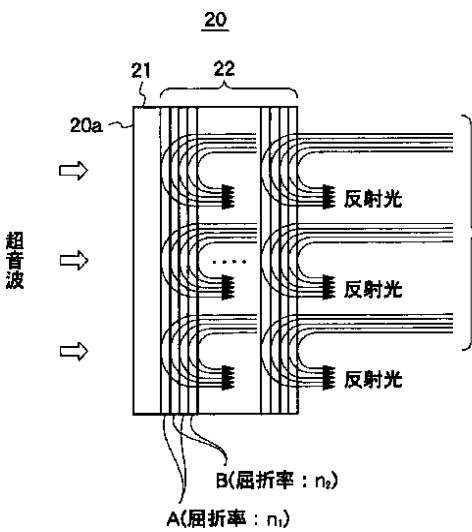
【図1】



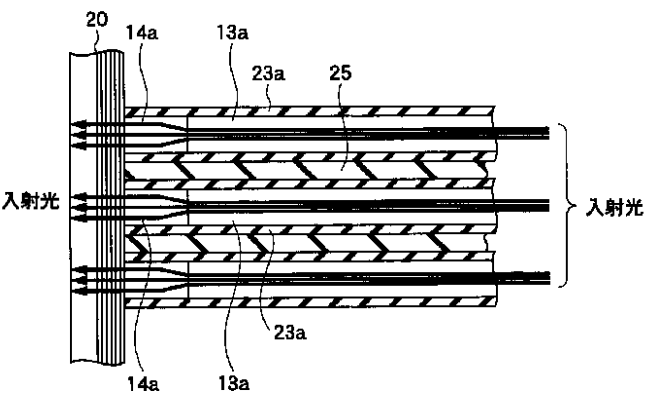
【図16】



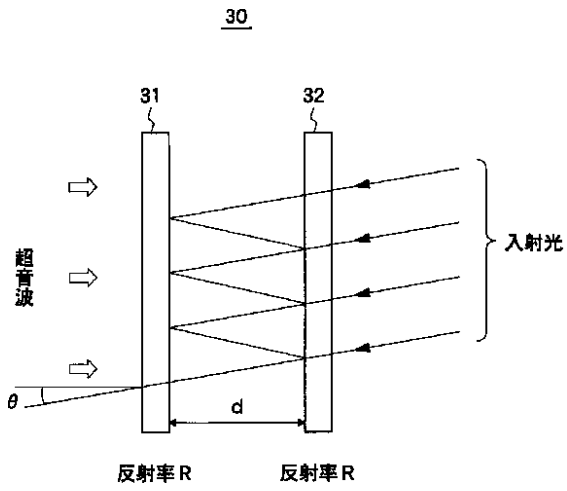
【図2】



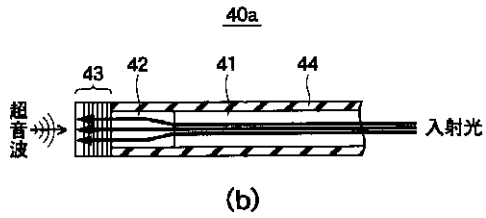
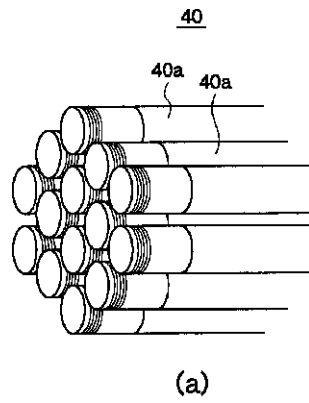
【図3】



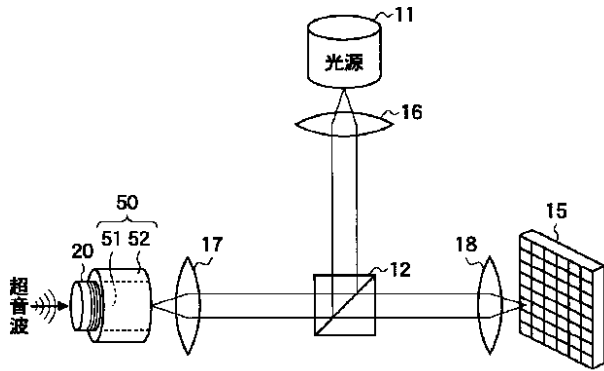
【図4】



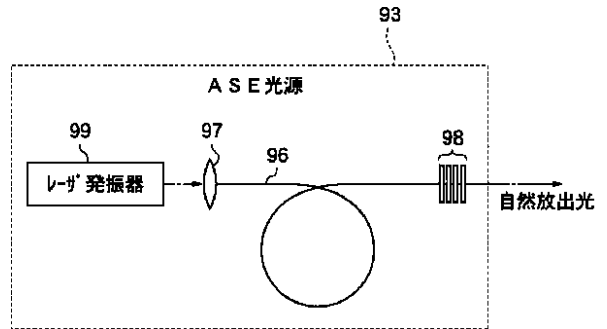
【図5】



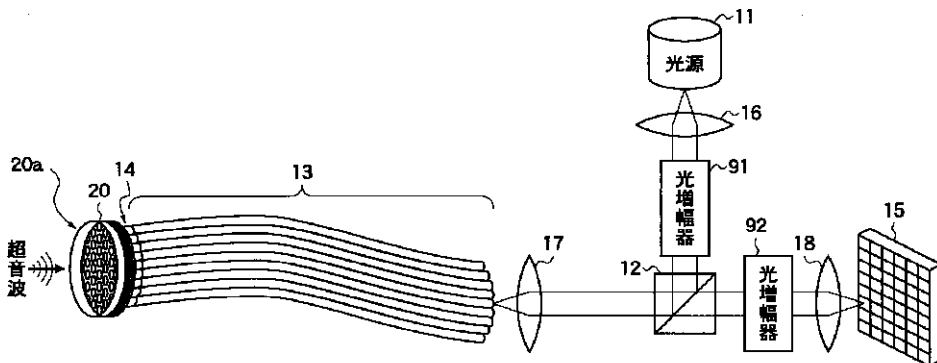
【図6】



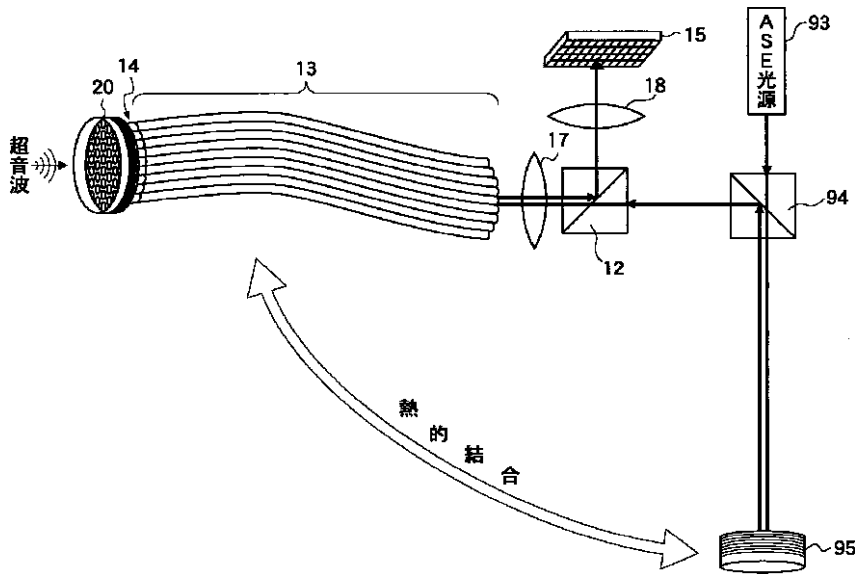
【図9】



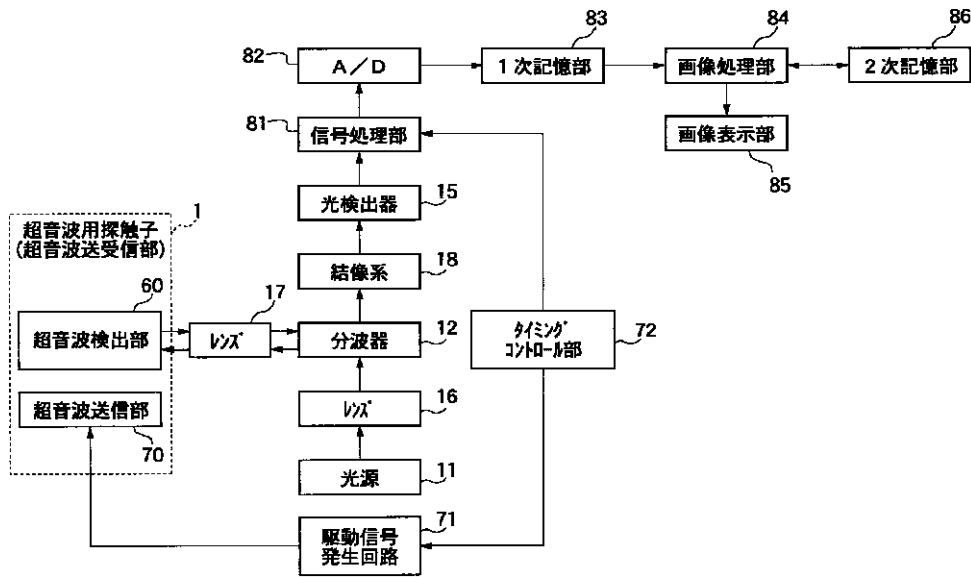
【図7】



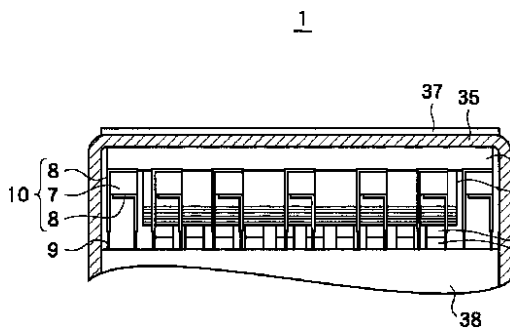
【図8】



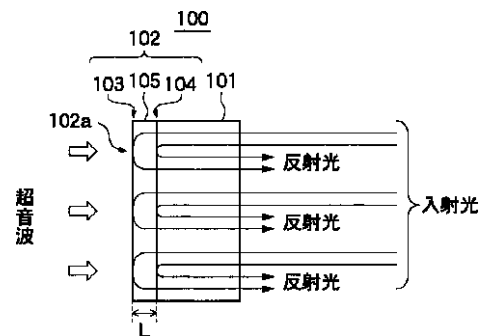
【図10】



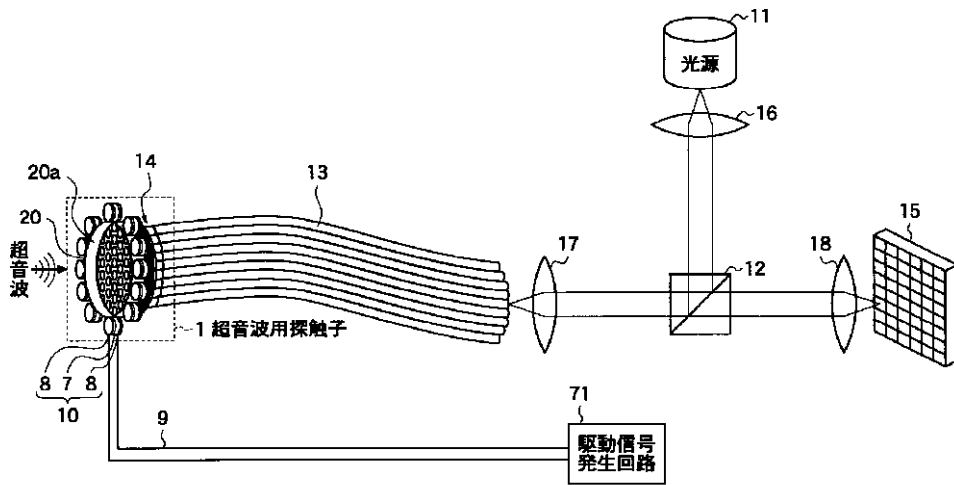
【図12】



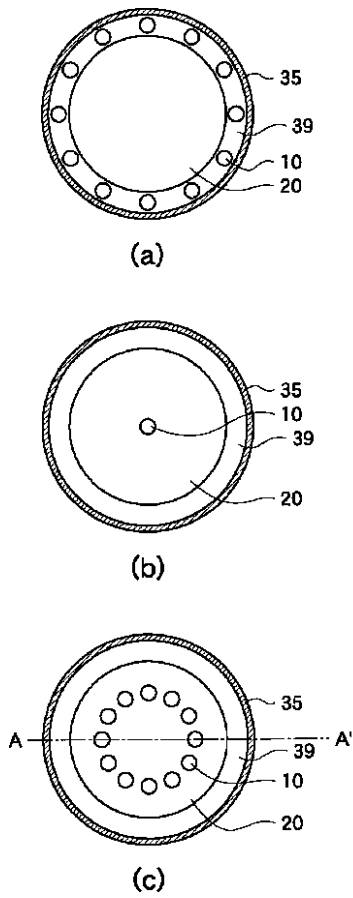
【図15】



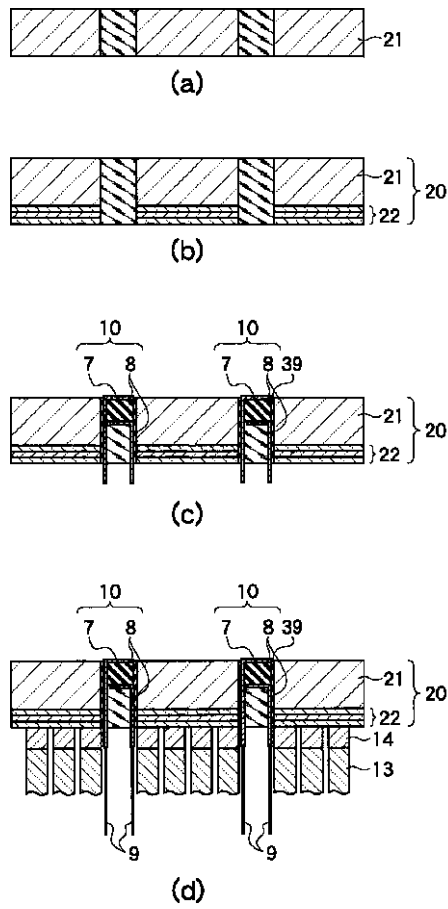
【圖11】



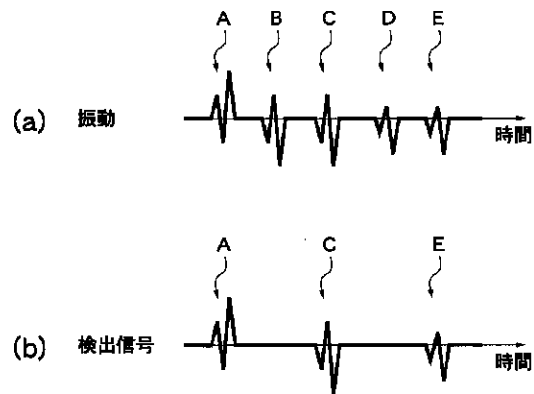
【圖13】



【圖14】



【図17】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2G047 AC13 BC07 CA01 EA04 GB23  
GF25 GH06  
4C301 AA03 EE07 GB08 GB10 GB20  
JB03 LL05  
5D019 AA21 DD00 FF04 FF05 GG06  
GG11  
5J083 AB17 AB18 AC16 AC19 AC29  
AD01 AD13 CA12 CB02 CB30

专利名称(译)	超声波受信装置		
公开(公告)号	<a href="#">JP2003339707A</a>	公开(公告)日	2003-12-02
申请号	JP2003036037	申请日	2003-02-14
[标]申请(专利权)人(译)	富士胶片株式会社		
申请(专利权)人(译)	富士胶片有限公司		
[标]发明人	小川英二		
发明人	小川 英二		
IPC分类号	G01N29/24 A61B8/00 G01S7/521 H04R23/00		
FI分类号	A61B8/00 G01N29/24 H04R23/00.330 G01S7/52.A G01S7/521.A		
F-TERM分类号	2G047/AC13 2G047/BC07 2G047/CA01 2G047/EA04 2G047/GB23 2G047/GF25 2G047/GH06 4C301/AA03 4C301/EE07 4C301/GB08 4C301/GB10 4C301/GB20 4C301/JB03 4C301/LL05 5D019/AA21 5D019/DD00 5D019/FF04 5D019/FF05 5D019/GG06 5D019/GG11 5J083/AB17 5J083/AB18 5J083/AC16 5J083/AC19 5J083/AC29 5J083/AD01 5J083/AD13 5J083/CA12 5J083/CB02 5J083/CB30 4C601/EE04 4C601/GB01 4C601/GB03 4C601/GB04 4C601/GB05 4C601/GB06 4C601/GB20 4C601/GB30 4C601/JB19 4C601/LL01 4C601/LL05		
优先权	2002075510 2002-03-19 JP		
其他公开文献	JP4076872B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

解决的问题：在光检测型超声波接收装置中，抑制超声波的多次反射并提高超声波图像的图像质量。解决方案：超声波检测元件20，其基于所接收的超声波来调制光，以及直接或间接连接至超声波检测元件并传播由超声波检测元件接收的超声波的背衬。该单元包括透光的并引导用于超声波检测的光的背衬单元13，以及检测从超声波检测元件输出的光的光电转换单元15。

