

(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 - 169801

(P2003 - 169801A)

(43)公開日 平成15年6月17日(2003.6.17)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード* (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	502	G 0 1 N 29/24	4 C 3 0 1
H 0 4 R 23/00		H 0 4 R 23/00	4 C 6 0 1
	320		5 D 0 2 1
// G 0 1 S 7/521		G 0 1 S 15/89	5 J 0 8 3
審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 11数) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2002 - 107850(P2002 - 107850)

(22)出願日 平成14年4月10日(2002.4.10)

(31)優先権主張番号 特願2001 - 142708(P2001 - 142708)

(32)優先日 平成13年5月14日(2001.5.14)

(33)優先権主張国 日本(JP)

(31)優先権主張番号 特願2001 - 296344(P2001 - 296344)

(32)優先日 平成13年9月27日(2001.9.27)

(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)

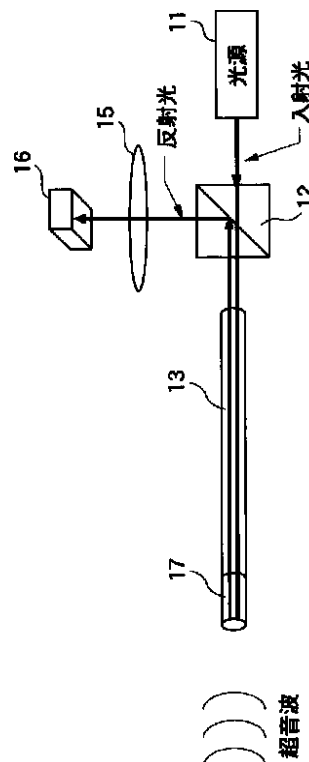
最終頁に続く

(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、良好な感度を得るための条件を具備した超音波受信装置を提供する。

【解決手段】 印加される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子であって、伝搬する超音波の波長の3 / 4 以下の長さを有する超音波有感部を有する超音波検出素子 1 7 と、超音波検出素子から出力される光を検出する光検出器 1 6 とを具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 印加される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子であって、伝搬する超音波の波長の 3 / 4 以下の長さを有する超音波有感部を有する前記超音波検出素子と、
前記超音波検出素子から出力される光を検出する光検出器と、
を具備する超音波受信装置。

【請求項 2】 前記超音波有感部が、ブラッググレーティング構造を含む、請求項 1 記載の超音波受信装置。 10

【請求項 3】 前記超音波検出素子が、光が入射する第 1 の端部を有する光ファイバの第 2 の端部に形成されたファイバブラッググレーティングである、請求項 1 又は 2 記載の超音波受信装置。

【請求項 4】 前記光ファイバが、シングルモードファイバである、請求項 3 記載の超音波受信装置。

【請求項 5】 前記超音波検出素子が、異なる屈折率を有する 2 種類の材料を交互に積層することにより形成される多層膜を含む、請求項 1 又は 2 記載の超音波受信装置。

【請求項 6】 前記異なる屈折率を有する 2 種類の材料が、互いに少なくとも 10 % 異なる屈折率を有する、請求項 5 記載の超音波受信装置。

【請求項 7】 前記多層膜を形成する各材料の層が、該多層膜に入射する光の波長の概 1 / 4 の膜厚を有する層を含む、請求項 5 又は 6 記載の超音波受信装置。

【請求項 8】 前記多層膜を形成する各材料の層が、該多層膜に入射する光の波長の概 1 / 2 の膜厚を有する層をさらに含む、請求項 7 記載の超音波受信装置。

【請求項 9】 光源から発生した光を増幅して前記超音波検出素子に入射する光増幅器を具備する請求項 1 ~ 8 のいずれか 1 項記載の超音波受信装置。 30

【請求項 10】 前記超音波検出素子から出力される光を増幅して前記光検出器に入射する光増幅器を具備する請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項記載の超音波受信装置。

【請求項 11】 500 ~ 1600 nm の波長を有するシングルモードレーザ光を発生する光源を具備する請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項記載の超音波受信装置。

【請求項 12】 ブロードバンド光源と、
前記ブロードバンド光源から発生した光を狭帯域化する狭帯域化フィルタと、を具備する請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項記載の超音波受信装置。 40

【請求項 13】 前記ブロードバンド光源が、増幅された自然放出光を放出する ASE (Amplified Spontaneous Emission) 光源である、請求項 12 記載の超音波受信装置。

【請求項 14】 前記狭帯域化フィルタが、前記超音波検出素子のブラッググレーティング構造と同一の材料で構成されたブラッググレーティング構造を有し、
前記狭帯域化フィルタのブラッググレーティング構造と 50

前記超音波検出素子のブラッググレーティング構造とが、熱的に結合している、請求項 12 又は 13 記載の超音波受信装置。

【請求項 15】 前記光検出器が、CCD、MOS 型センサ、又は、フォトダイオードを含む、請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項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、超音波受信装置に関し、特に、光を用いて超音波を検出する超音波受信装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、超音波を用いて 3 次元画像を取得する際には、深度方向の断面についての 2 次元画像を複数取得して合成していた。この 2 次元画像は、位置センサ付きの 1 次元センサアレイを用いて被検体をスキャンすることにより得られ、さらに、時系列で取得した複数の 2 次元画像を合成することにより、3 次元画像が得られる。

【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スキャン方向にタイムラグがあるため、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。従って、生体のような、動きを伴う被写体のイメージングには適していない。

【0004】リアルタイムで 3 次元画像を取得するためには、センサアレイを用いて被検体をスキャンすることなく 2 次元画像を取得することができる 2 次元センサアレイが必須であり、このようなセンサアレイの開発が望まれている。

【0005】超音波診断装置において、超音波の送受信を行う素子（振動子又は探触子）としては、PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）に代表される圧電セラミックや、P(VDF)（ポリフッ化ビニリデン：polyvinylidene fluoride）等の高分子圧電素子を用いるのが一般的であり、これらの素子を用いて 2 次元アレイを作製する手法が検討されている。しかし、上述の PZT や P(VDF) を用いる場合には、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 P(VDF) を用いた 2 次元センサアレイの実現は困難である。

【0006】一方、PZT のような圧電材料を用いない超音波センサとして、光ファイバを利用し、超音波信号を光信号に変換して検出する方式（以下、光検出方式という）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(防衛大のTAKAHASHIらによる「Underwater Acoustic Sensor with Fiber Bragg Grating」OPTICAL REVIEW Vol. 4, No. 6 (1997) p. 691-694 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(東工大のUNOらによる「Fabrication and Performance of a Fiber Optic Micro-Probe for Megahertz Ultrasonic Field Measurements」T. IEE Japan, Vol. 118-E, No. 11, '98 参照)が報告されている。

【0007】上記のTAKAHASHIらの論文には、FBGを超音波センサとして用いた場合に、20kHz程度の比較的低い周波数帯域の超音波に対してある感度を得られることが記載されている。しかしながら、実際の超音波診断において用いられるメガヘルツの周波数帯域の超音波については記載されていない。従って、超音波診断において、このようなセンサを実用化するために、記載例より高い周波数帯域の超音波に対する動作確認を行うと共に、必要であれば、そのような帯域において良好な感度を得るための条件を求めなくてはならない。

【0008】

【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、光変換方式の超音波受信装置において、良好な感度を得るための条件を備えた超音波検出素子を有する超音波受信装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】以上の課題を解決するため、本発明に係る超音波受信装置は、印加される超音波に基づいて光を変調する超音波検出素子であって、伝搬する超音波の波長の3/4以下の長さを有する超音波有感部を有する超音波検出素子と、超音波検出素子から出力される光を検出する光検出器とを具備する。本発明によれば、伝搬する超音波の波長に基づいて超音波有感部の長さを限定するので、検出対象である超音波に対して高い感度を有する超音波受信装置を実現することができる。

【0010】

【発明の実施の形態】以下、図面に基づいて本発明の実施の形態について説明する。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原理的に示す図である。この超音波受信装置は、望ましくは500~1600nmの単波長を有するシングルモードレーザ光を発生するための光源11を有する。光源11から発生した光は、ハーフミラー又は光サーキュレータ又は偏光ビームスプリッター等を用いて構成される分波器1

2に入射する。分波器12は、第1の方向から入射した入射光を第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。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、入射光を透過して、入射方向と反対の方向から戻ってくる反射光を、入射方向とほぼ90°の角度をなす方向に反射する。

【0011】光源11を出て分波器12を通過した光は、光ファイバ13に入射する。この光ファイバは、シングルモードファイバであることが望ましい。光ファイバ13の先端には、超音波有感部として、ブラッググレーティング構造を有するブラッググレーティング部が形成されており、これにより、超音波検出素子17が構成される。

【0012】図2は、図1に示す超音波検出素子を拡大した図である。ブラッググレーティング部は、屈折率の異なる2種類の材料層(光伝搬媒質)を、ブラッグの反射条件を満たすピッチで数千層交互に重ねたものである。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。これらの層の周期構造のピッチ(間隔)を d とし、入射光の波長をとすると、ブラッグの反射条件は(1)式で表される。ただし、 m は任意の整数である。

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

ここで、 θ は入射面から測った入射角であり、 λ は波長、 m は整数、 d はピッチである。ここで、 $\theta = 90^\circ$ とすると(2)式ようになる。

$$2d = m \cdot \lambda \quad \cdots (2)$$

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

【0013】ブラッググレーティング部に超音波を伝搬させると、ブラッググレーティング部が歪んで上記周期構造のピッチ d が変化するので、選択的に反射される波長成分が変化する。ブラッググレーティング部の反射特性においては、最も反射率の高い(透過率の低い)中心波長の前後に反射率が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検出光をブラッググレーティング部に入射させながら超音波を加える。すると、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換算することにより超音波の強度を計測することができる。

【0014】再び図1を参照すると、光ファイバ13に入射した光は、ブラッググレーティング部により変調されて反射される。この反射光は、再び分波器12に入射して進路を変更され、CCDやMOS型センサやフォトダイオード(PD)等で構成される光検出器16に入射する。ここで、反射光は、直接あるいは光ファイバー等を通して光検出器16に入射するようにしても良いし、分波器12の後段にレンズ等の結像系15を設けて、こ

れを介して光検出器16に結像するようにしても良い。

【0015】ここで、ブラッググレーティング部は、一般的には、感度が高い上に作り易い。しかしながら、超音波診断におけるように高感度のセンサとしては、通常市場において使用されているブラッググレーティングをそのまま用いることはできない。ファイバブラッググレーティングを用いた超音波センサに関する記述としては、例えば、防衛大のTAKAHASHIらによる「Underwater Acoustic Sensor with Fiber Bragg Grating」(OPTICAL REVIEW Vol. 4, No. 6 (1997) p. 691 - 694参照)が挙げられる。この論文においては、20kHz程度の低い周波数帯域の超音波に対してはある感度が得られるとしてい

(超音波波長 λ_s) = (ブラッググレーティング部における音速)

/ (超音波の周波数)

・・・(3)

【0017】以下、この動作確認について、具体的に説明する。まず、ブラッググレーティング部の長さ(センサ長)を変化させて、ブラッググレーティングの動作を比較する実験を行った。この実験においては、PZTを用いて発生させた周波数帯域3.5MHzの超音波を、センサ長 $3/4\lambda_s$ 及びセンサ長 $3/2\lambda_s$ を有する2種類のブラッググレーティングに印加した。この際に、上記2種類のセンサからそれぞれ出力された検出信号の波形を、図3の(a)及び(b)に示す。

【0018】図3の(a)に示すように、センサ長が $3/4\lambda_s$ の場合には、印加される超音波に応じて検出信号の振幅が観測された。これに対して、図3の(b)に示すように、センサ長が $3/2\lambda_s$ の場合には、検出信号の振幅の変化はほとんど観測されなかった。これより、センサ長が長くなると、センサの感度が著しく悪化することがわかる。

【0019】次に、異なるセンサ長を有するブラッググレーティングに対して、超音波を印加することによって出力される検出信号の波形をシミュレーションにより求めた。このシミュレーションにおいては、センサ長 $1/2\lambda_s$ 、 $3/4\lambda_s$ 、 λ_s 、 $3/2\lambda_s$ を有する4種類のセンサに対して、サイン波の2波長に相当する2周期に渡って超音波を印加すると仮定した。また、超音波がセンサに入射した際には、波形強度に対応した応力分布がセンサ長方向に生じ、センサ内での平均応力に比例した信号強度が得られると仮定した。このシミュレーション結果を図4に示す。

【0020】図4において、センサ長が $(1/\lambda_s)$

λ_s 、即ち無限小であるときの波形は、印加される3.5MHzの超音波の2周期分の波形を示す理想的な波形である。これに対して、他のセンサ長を用いたときの波形は、センサ長が長くなるに従い、検出信号の振幅は小さくなり、検出信号の位相は遅れてくる。また、センサ長が λ_s であるときには、 $1/2$ 波長を検出した後に振幅

るものの、通常の超音波診断において使用されるメガヘルツの周波数帯域の超音波に関する記述はない。

【0016】そこで、今回、通常市場において使用されているブラッググレーティングを図1に示す超音波受信装置に適用し、20kHzよりも高い周波数帯域の超音波に対する動作確認を行った。その結果、軸方向から入射する超音波に対しては、十分な感度が得られないことが確認された。また、ブラッググレーティング部の長さを変えて動作確認を行ったところ、下記の(3)式で表されるブラッググレーティング部における超音波波長の概略 $3/4$ より大きい場合には、検出された波形が実際に受信した超音波の波形と比較して低周波側に歪むと共に、センサの感度が低くなることが確認された。

が0になっている部分が続いている。これは、超音波がセンサ内を伝搬する途中に、センサ内に存在する振幅の平均値が0になる状態が続いているためと思われる。さらに、センサ長が $3/2\lambda_s$ であるときには、振幅がより小さくなり、波形が超音波の受信波形の相似形にもなっていない。このように、センサ長が長くなると、センサの性能が悪くなる。このため、位相及び振幅を含む超音波の波形をセンサから出力される検出信号によって忠実に再現するためには、センサ長を無限に短くする必要がある。しかしながら、図4に示すように、センサ長が $3/4\lambda_s$ であるときの波形程度の検出信号を得ることができれば、予め位相歪みを得て、この位相歪みを用いて超音波の受信波形を再現することは可能である。また、一般的な超音波受信装置において、検出信号は位相整合処理やローパスフィルタ処理等を経て画像化されるので、検出信号を画像化する際には、検出信号の波形としては必ずしも超音波の受信波形を忠実に再現する必要はない。例えば、図4に示すセンサ長が $3/4\lambda_s$ であるときの波形程度の歪みであれば、超音波の受信波形を完全に再現しなくても実用上問題にはならない。従って、センサ長が $3/4\lambda_s$ 以下であれば、画像化するために必要な検出信号を得ることができると考えられる。

【0021】このように、実験やシミュレーションにおいて、センサ長が長い場合に、検出信号の波形歪みが観測されたが、この原因としては、次のようなことが考えられる。ここで、図5を参照すると、ブラッググレーティング部がブラッググレーティング部を伝搬する超音波波長以上の長さを有する場合に、超音波がブラッググレーティング部を伝搬する過程で、ブラッググレーティング部内に伸び縮みの位相が反転する部分が生じてしまう。このため、センサ部全体としてみた場合に、伸び縮みの位相が相殺されてしまうことが原因と考えられる。

【0022】このような現象を避けるためには、ブラッググレーティング部の長さをブラッググレーティング部

における超音波波長よりも短くすることが必要であり、望ましくは超音波波長の概略 3/4 以下、さらに望ましくは半分程度とすれば良い。例えば、検出対象である超音波の周波数が 3.5 MHz、ブラッググレーティング部の材質中の音速が 5500 m/s であるとき、ブラッググレーティング部を伝搬する超音波の波長 λ_s は、次のように算出される。

$$\lambda_s = 5500 / (3.5 \times 10^6) \\ = 1571.4 (\mu\text{m})$$

従って、ブラッググレーティング部の長さの上限は、次のように算出される。

$$1571 \times (3/4) = 1178.5 (\mu\text{m})$$

これより、ブラッググレーティング部の長さを 1178.5 μm 以下（例えば、1 mm 程度）とすれば、ブラッググレーティング部内の伸び縮み位相の反転による影響を抑制することができる。従って、特に軸方向からの超音波に対して高い感度を得ることができる。

【0023】図 6 は、本実施形態に係る超音波受信装置の変形例である。この超音波受信装置は、図 1 に示す超音波受信装置に、光増幅器 1 と光増幅器 2 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 1 は、光源 11 と分波器 12 との間に配置され、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 2 は、分波器 12 とレンズ等の結像系 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結像系 15 に出射する。結像系 15 を用いない場合には、光増幅器 2 は、分波器 12 と光検出器 16 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 16 に出射する。

【0024】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。

【0025】このような光増幅器を光源 11 と光ファイバ 13 との間に配置した場合には、超音波検出素子 17 に入射する入射光の強度が増幅される。また、光増幅器を光ファイバ 13 と光検出器 16 との間に配置した場合には、超音波検出素子 17 に入射する入射光の強度は変化しないが、光検出器 16 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。

【0026】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 16 に入射する反射光の光量が増加するので、光検出器 16 における電氣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。

【0027】次に、本実施形態に係る超音波受信装置の別の変形例について、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の光源を変更したものである。即ち、図 7 に示す例においては、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。

【0028】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 7 においては、ブロードバンド光源として、ASE 光源 9 を使用している。ASE 光源 9 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 Vol. 82, No. 7, p. 718~724, 1999 年 7 月) を参照されたい。

【0029】図 8 に示すように、ASE 光源 9 は、光増幅用の光ファイバ 94 を含んでいる。光ファイバ 94 の一方の端部にはレンズ 91 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 92 が形成されている。レンズ 91 の図中左側には、レーザ発振器 93 が励起光源として配置されている。レーザ発振器 93 において発生した光は、レンズ 91 を介して光ファイバ 94 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 92 を透過する。

【0030】再び図 7 を参照すると、ASE 光源 9 が発生した光は、分波器 10 に入射する。分波器 10 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 7 においては、分波器 10 としてハーフミラーを用いているが、この他、光サークキュレータや偏光ビームスプリッタを用いても良い。

【0031】ASE 光源 9 を出て分波器 10 を通過した光は、光ファイバ 20 に入射する。光ファイバ 20 の先端には、ブラッググレーティング部によって構成された狭帯域フィルタ 19 が設けられている。光ファイバ 20 に入射した光は、狭帯域フィルタ 19 のブラッググレーティング部によって反射され、再び分波器 10 に入射する。ASE 光源 9 から発生した自然放出光は、狭帯域フィルタ 19 を通過することにより、狭帯域化される。

【0032】狭帯域フィルタ 19 によって反射された光は、再び分波器 10 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、光ファイバ 13 に入射し、光ファイバ 13 の先端に設けられた超音波検出素子 17 によって変調される。

【0033】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 0.01 nm/ 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 17 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。

【0034】しかしながら、図 7 に示すように、ASE 光源 9 から発生した自然放出光を狭帯域フィルタ 19 によって狭帯域化すると、単一波長のレーザ光に近い帯域を確保すると共に、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。

【0035】即ち、狭帯域フィルタ 19 と超音波検出素子 17 とを同一の材料で形成し、例えば、狭帯域フィルタ 19 と超音波検出素子 17 とを熱伝導率の高い材料で結合したり、狭帯域フィルタ 19 と超音波検出素子 17 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 19 と超音波検出素子 17 との周りにヒートパイプを配置しても良い。

【0036】これにより、狭帯域フィルタ 19 のブラッググレーティング部と超音波検出素子 17 のブラッググレーティング部とがほぼ同一の温度となるので、温度によって超音波検出素子 17 の反射特性がシフトしても、超音波検出素子 17 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。

【0037】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 9 及び図 10 を参照しながら説明する。この超音波受信装置は、本発明の第 1 の実施形態に係る超音波受信装置における超音波検出素子 17 を、超音波検出素子（多層膜センサ）30 に変更したものである。

【0038】図 9 は、本実施形態に係る超音波受信装置を原理的に示す図である。この超音波受信装置は、超音波有感部として、ブラッググレーティング構造を有する超音波検出素子 30 を有している。超音波検出素子 30 は、直径 2 cm 程度の円か、それ以上の面積を有しており、超音波を印加されることにより歪みを生じる。

【0039】図 10 は、図 9 に示す超音波検出素子 30 の構造を拡大して示している。超音波検出素子 30 は、基板 31 と、基板 31 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って形成された多層膜 32 とを含んでいる。図 10 には、屈折率 n_3 を有する材料層 C と、屈折率 n_4 を有する材料層 D とが示されている。基板 31 としては、例えば、石英ガラス (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。

【0040】材料層 C 及び D 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。即ち、 $n_3 < n_4$ のとき、 $n_3 \times 1.1 \sim n_4$ を満たす物質を選択する。これは、材料層 C と材料層 D との境界面において、高い反射率を得るためである。また、材料層 C 及び D は、伸縮しやすい物質であることが望ましい。これは、超音波が印加された際の歪み量を増

大し、結果的にシステムの感度を高めるためである。このような条件を満たす物質の組み合わせとして、 SiO_2 と酸化チタン (Ti_2O_3) との組み合わせや、 SiO_2 と酸化タンタル (Ta_2O_5) との組み合わせ等が挙げられる。例えば、前者の場合に、1520nm のレーザ光に対する SiO_2 の屈折率は約 1.45、 Ti_2O_3 の屈折率は約 2.0 であり、これは、屈折率が 10% 以上異なるという上記の条件を十分に満たしている。

【0041】それぞれの材料層 C、D の層厚（膜厚）は、超音波検出素子 30 に入射する光の波長の概ね $1/4$ 程度であることが望ましい。ここで、膜厚とは、材料層の屈折率 (n) と材料層の厚さ (t) との積で表される光学距離である。即ち、 $nt = \lambda/4$ が条件となる。これにより、多層膜 32 の周期構造のピッチが入射光の波長の概ね $1/2$ 程度となり、ブラッグの反射条件の式 (2) を満たす波長成分を選択的に反射し、その他の波長成分を透過させるようになる。或いは、層厚 $\lambda/4$ を有する材料層 C 及び D を交互に積層し、所々に層厚 $\lambda/2$ を有する材料層 C 又は D のいずれか一方を積層しても良い。

【0042】このような材料層 C 及び D が、基板 31 上に、真空蒸着やスパッタリング等の方法によって多層（例えば、各 100 層）形成されている。ここで、本実施形態においても、第 1 の実施形態と同様に、超音波有感部の長さ、即ち、多層膜 32 の厚さは、伸び/縮みの位相がセンサ内で概ね一致するように、伝搬する超音波の波長の $3/4$ 以下の長さであることが望ましい。

【0043】このような超音波検出素子を、基板に SiO_2 、材料層に SiO_2 及び Ti_2O_3 を用いて作製した。多層膜 32 の層数は、各層 100 層ずつ、計 200 層とした。この超音波検出素子にレーザ光を入射するシミュレーションを行ったところ、次のような結果が得られた。即ち、入射光の波長の変化に対する反射率の傾斜は、反射率 25% において、 $2.8 \text{ dB}/0.01 \text{ nm}$ であった。このように、多層膜 32 の層数を増やすことにより、反射率が高くなると共に、波長の変化に対して反射率は急峻な変化を示すようになり、センサの感度を上げることができる。

【0044】再び図 9 を参照すると、光源 11 から発生したレーザ光は、分波器 12 を通過し、超音波検出素子 30 の多層膜 32 側に入射する。ここで、入射光が分波器 12 を通過する前に、ビームエキスパンダー 33 によって入射光を拡大しても良い。一方、超音波検出素子 30 に超音波を伝搬させると、超音波の伝搬に伴い超音波検出素子 30 が歪み、多層膜 32 の周期構造のピッチが変化する。これに伴って選択的に反射される光の波長成分も変化するので、超音波の強さに応じた反射光の強度変化を観測することができる。ここで、超音波検出素子 30 は、超音波を面で受けるので、超音波の 2 次元強度分布情報を取得できる。

【0045】超音波検出素子 30 から反射された光は、分波器 12 によって反射され、光検出器 34 に入射する。光検出器 34 は、複数の CCD や PD 等で構成される 2 次元アレイ検出器であり、反射光はここで画素分割されて検出される。このとき、反射光は、直接或いは光ファイバー等を通して光検出器 34 に入射するようにしても良いし、分波器 12 の後段にレンズ等の結像系 15 を設けて、これを介して光検出器 34 に結像するようにしても良い。

【0046】本実施形態に係る超音波受信装置において 10 は、この他に、図 6 に示す変形例のように光増幅器 1、2 をさらに設けたり、図 7 に示す変形例のようにブロードバンド光源を狭帯域化して用いても良い。後者を用いる際には、狭帯域フィルタ 19 のブラッググレーティング部の代わりに本実施形態における超音波検出素子を用い、超音波検出用の超音波検出素子と熱的結合を図ると良い。

【0047】本実施形態によれば、多層膜センサを用いることにより、超音波を 2 次元的に検出することができる。このような多層膜センサは、ファイバーブラッググ 20 レーティングをアレイ化するよりも安価に製作することができるので、2 次元センサを製作する際のコストを下げることができる。また、多層膜は、蒸着やスパッタリング等で 1 層毎に製膜されるので、屈折率差の大きい部材を選択することができる。これにより、反射率の傾斜を上げることが可能となり、超音波受信装置の感度を向上させることができる。

【0048】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 11 を参照しながら説明する。この超音波受信装置は、本発明の第 1 の実施形態に係る 30 超音波受信装置における超音波検出素子 17 を、超音波検出素子 18 に変更したものである。

【0049】図 11 に示すように、光ファイバ 13 の先端には、超音波検出素子 18 が設けられている。超音波検出素子 18 は、ブラッググレーティング部 17 と、ファブリーペロー共振器 14 との両方を含んでいる。即ち、光ファイバ 13 の先端にブラッググレーティング部 17 を形成し、さらにその先にハーフミラー（図中右側）及び全反射ミラー（図中左側）を有するファブリーペロー共振器 14 を形成している。本実施形態において 40 も、ブラッググレーティング部 17 とファブリーペロー共振器 14 とを含む超音波有感部の長さは、位相の伸び縮みによる影響を抑制するために、伝搬する超音波の波長の 3/4 以下の長さ、望ましくは半分程度の長さを有するものとする。

【0050】ここで、ファブリーペロー共振器について説明する。ファブリーペロー共振器は、シングルモード光ファイバの先に金蒸着等によってハーフミラーを形成し、その先にポリエステル樹脂等によって形成されるキャビティを設け、さらにその先に金蒸着等によって全反* 50

*射ミラーを形成したものである。キャビティを形成する部材は、超音波が印加されることにより幾何学的変位を受ける。

【0051】このファブリーペロー共振器に、ハーフミラー側から検出光を入射させ、全反射ミラー側から超音波を印加すると、超音波の音圧変化によりキャビティの光路長が変化するため、ファブリーペロー共振器から反射される光の強度が変化する。従って、この光の強度変化を換算することにより超音波の強度を計測することができる。このファブリーペロー共振器は、センサ長が短いため、センサの軸方向の分解能が高いという特徴を有している。

【0052】このようなファブリーペロー共振器をブラッググレーティング部と組み合わせることで、ブラッググレーティング部 17 によって反射されなかった光を、ファブリーペロー共振器によって反射することができる。

【0053】
【発明の効果】以上述べた様に、本発明によれば、伝搬する超音波の波長に基づいて超音波有感部の長さを限定するので、該超音波有感部における伸び縮み位相の反転による影響を抑制し、特に軸方向からの超音波に対して高い感度を有する超音波受信装置を実現することができる。従って、そのような超音波受信装置を用いた 2 次元センサや超音波診断装置等を実現できる可能性がある。

【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を原理的に示す図である。

【図 2】図 1 の超音波検出素子を拡大して示す図である。

【図 3】異なるセンサ長を有するセンサに超音波を印加し、センサから出力される検出信号を観測する実験結果を示す図である。

【図 4】異なるセンサ長を有するセンサに超音波を印加し、センサから出力される検出信号を観測するシミュレーション結果を示す図である。

【図 5】ブラッググレーティングによって超音波を検出する原理を説明する図である。

【図 6】図 1 の超音波受信装置の変形例を示す図である。

【図 7】図 1 の超音波受信装置の別の変形例を示す図である。

【図 8】図 7 に示す ASE 光源を原理的に示す図である。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態に係る超音波受信装置を原理的に示す図である。

【図 10】図 9 の超音波検出素子を拡大して示す図である。

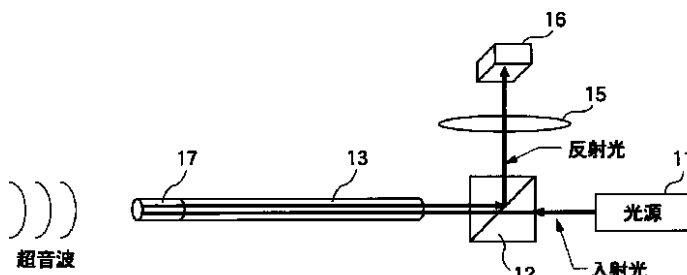
【図 11】本発明の第 3 の実施形態に係る超音波受信装置の一部を原理的に示す図である。

【符号の説明】

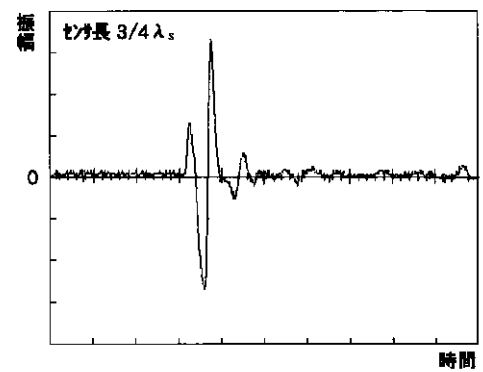
1、2 光増幅器
 16、34 光検出器
 9 ASE光源
 10、12 分波器
 11 光源
 13、20 光ファイバ
 14、17、18、30 超音波検出素子
 15 結像系

*19 狭帯域フィルタ
 25 樹脂
 31 基板
 32 多層膜
 33 ビームエキスパンダー
 91 レンズ
 92 ブラッググレーティング部
 93 レーザ発振器
 * 94 光ファイバ

【図1】

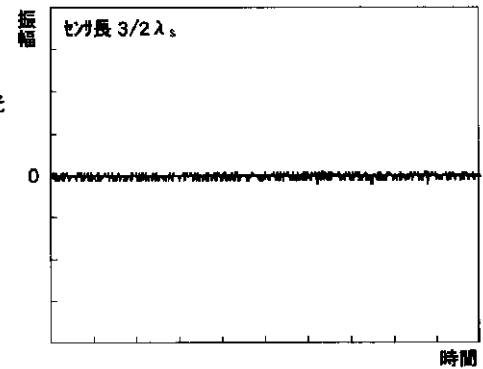
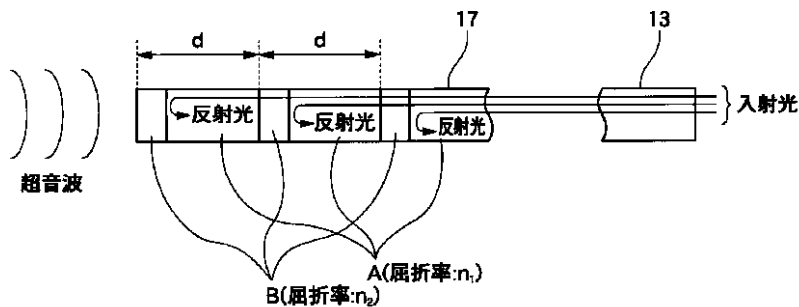


【図3】



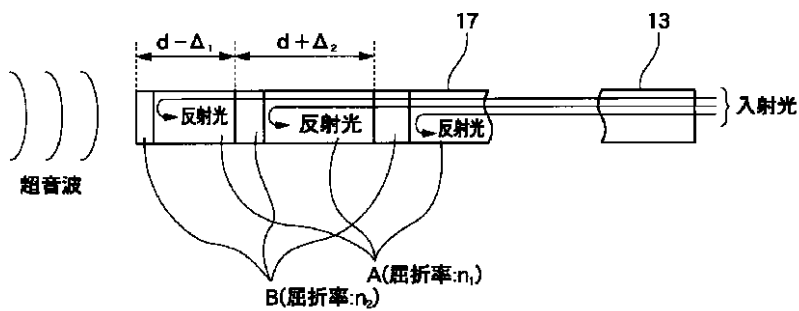
(a)

【図2】

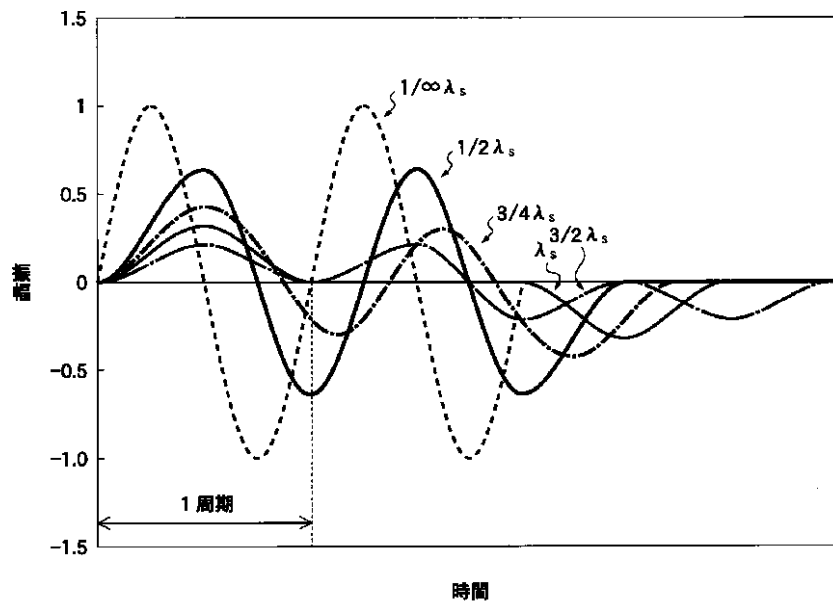


(b)

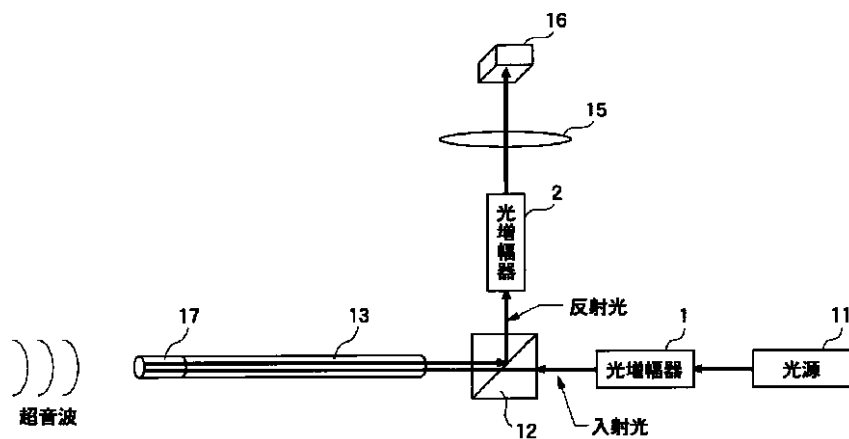
【図5】



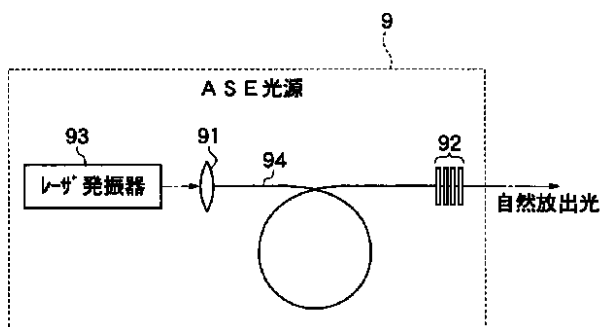
【図4】



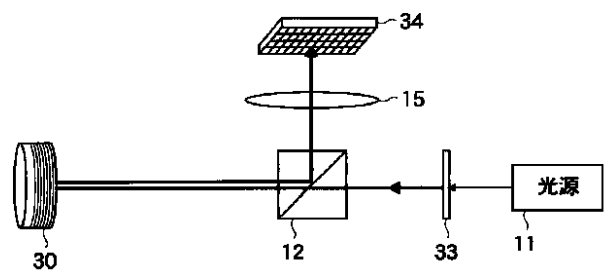
【図6】



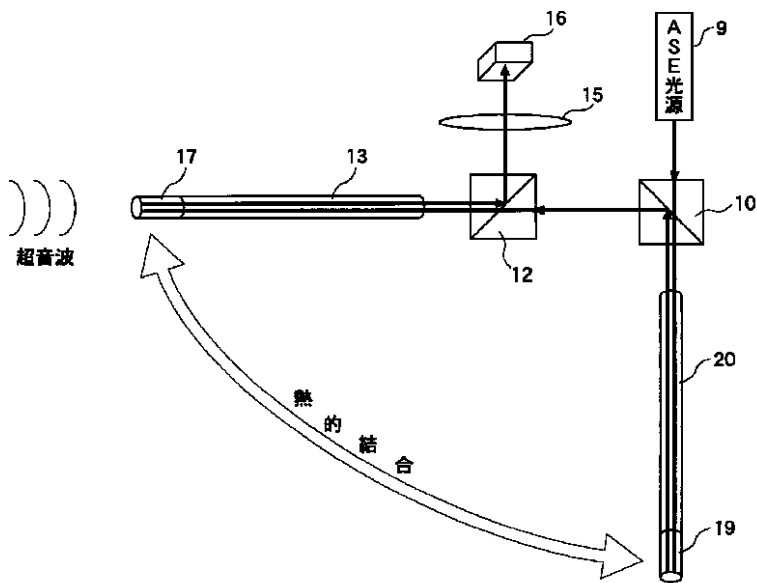
【図8】



【図9】

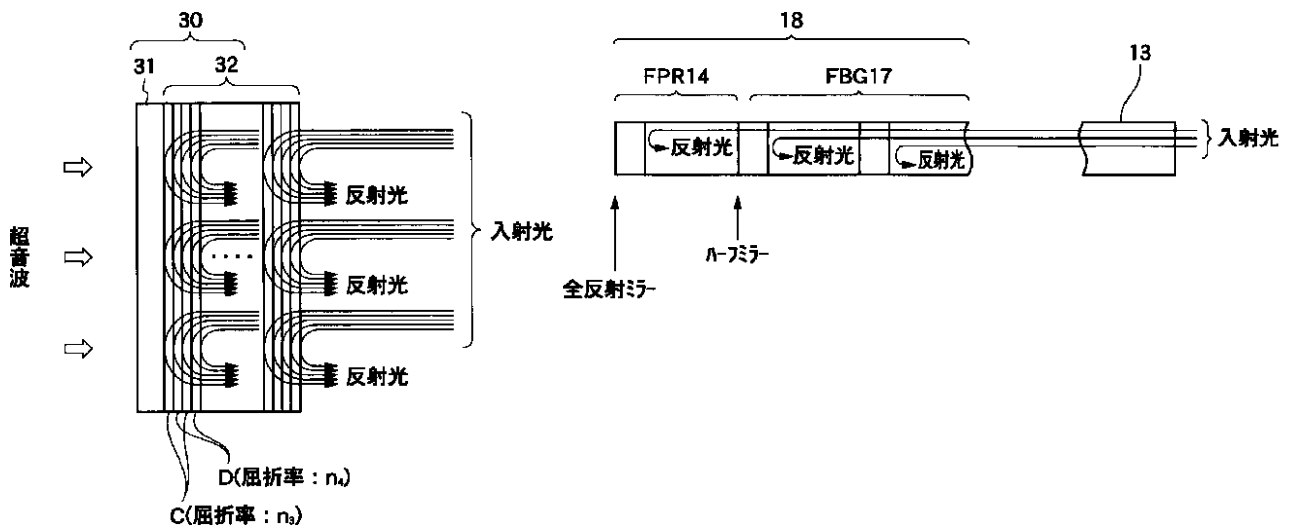


【図7】



【図10】

【図11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

G 0 1 S 15/89

識別記号

F I

G 0 1 S 7/52

テ-マ-ド' (参考)

A

F ターム(参考) 2G047 CA04 DB02 DB12 EA05 GA02
GB02 GB16 GD00 GF25 GG15
4C301 BB13 EE06 GA01 GB10 JA03
JB11 JB35 LL20
4C601 BB03 EE03 GA01 GB01 GB03
GB06 GD01 GD02 GD03 JB11
JB28 JB34 LL40
5D021 DD04
5J083 AB17 AC14 AC18 AD13 CA07
CA14 CB30

专利名称(译)	超音波受信装置		
公开(公告)号	JP2003169801A	公开(公告)日	2003-06-17
申请号	JP2002107850	申请日	2002-04-10
[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 G01H9/00 G01S7/521 G01S15/89 H04R23/00		
CPC分类号	G01H9/004		
FI分类号	A61B8/00 G01N29/24.502 H04R23/00 H04R23/00.320 G01S15/89.B G01S7/52.A G01S7/521.A H04R23/00.330		
F-TERM分类号	2G047/CA04 2G047/DB02 2G047/DB12 2G047/EA05 2G047/GA02 2G047/GB02 2G047/GB16 2G047/GD00 2G047/GF25 2G047/GG15 4C301/BB13 4C301/EE06 4C301/GA01 4C301/GB10 4C301/JA03 4C301/JB11 4C301/JB35 4C301/LL20 4C601/BB03 4C601/EE03 4C601/GA01 4C601/GB01 4C601/GB03 4C601/GB06 4C601/GD01 4C601/GD02 4C601/GD03 4C601/JB11 4C601/JB28 4C601/JB34 4C601/LL40 5D021/DD04 5J083/AB17 5J083/AC14 5J083/AC18 5J083/AD13 5J083/CA07 5J083/CA14 5J083/CB30 5D019/AA21 5D019/AA27 5D019/FF04		
优先权	2001142708 2001-05-14 JP 2001296344 2001-09-27 JP		
其他公开文献	JP3957276B2		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种满足获得良好灵敏度条件的光电检测型超声波接收器。一种用于基于所施加的超声波来调制光的超声波检测元件，该超声波检测具有超声波敏感部分，该超声波敏感部分的长度为所传播的超声波的波长的3/4或更小。提供了用于检测从超声波检测元件输出的光的元件17和光电检测器16。

