

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4116353号

(P4116353)

(45) 発行日 平成20年7月9日(2008.7.9)

(24) 登録日 平成20年4月25日(2008.4.25)

(51) Int.Cl.		F 1	
A 6 1 B	8/00	(2006.01)	A 6 1 B 8/00
G O 1 N	29/24	(2006.01)	G O 1 N 29/24
H O 4 R	23/00	(2006.01)	H O 4 R 23/00 3 3 0

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2002-209708 (P2002-209708)	(73) 特許権者	306037311
(22) 出願日	平成14年7月18日(2002.7.18)		富士フイルム株式会社
(65) 公開番号	特開2003-169802 (P2003-169802A)		東京都港区西麻布2丁目26番30号
(43) 公開日	平成15年6月17日(2003.6.17)	(74) 代理人	100110777
審査請求日	平成17年3月23日(2005.3.23)		弁理士 宇都宮 正明
(31) 優先権主張番号	特願2001-296376 (P2001-296376)	(74) 代理人	100100413
(32) 優先日	平成13年9月27日(2001.9.27)		弁理士 渡部 温
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(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
		審査官	川上 則明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波用探触子及びその製造方法並びに超音波診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ガラス基板と、

前記ガラス基板に設けられ、順次積層された第1の電極、圧電体、及び、第2の電極を含み、超音波を送信する少なくとも1つの超音波送信素子と、

前記ガラス基板に設けられ、異なる屈折率を有する2種類の材料が交互に積層された多層膜センサを含み、該多層膜センサの超音波受信面が前記少なくとも1つの超音波送信素子を囲むように形成されており、該受信面の各位置に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と、

を具備する超音波用探触子。

【請求項2】

前記異なる屈折率を有する2種類の材料が、互いに10%以上異なる屈折率を有する、請求項1記載の超音波用探触子。

【請求項3】

前記多層膜センサが、該多層膜センサ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1又は2記載の超音波用探触子。

【請求項4】

前記多層膜センサが、該多層膜センサ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3記載の超音波用探触子。

【請求項5】

10

20

前記多層膜センサが、該多層膜センサを伝搬する超音波の波長の3/4以下の厚さを有する、請求項1～4のいずれか1項記載の超音波用探触子。

【請求項6】

前記超音波送信素子及び前記多層膜センサが、前記ガラス基板上に設けられている、請求項1～5のいずれか1項記載の超音波用探触子。

【請求項7】

前記超音波送信素子が、前記ガラス基板に形成された開口内に設けられており、前記多層膜センサが、前記ガラス基板上に設けられている、請求項1～5のいずれか1項記載の超音波用探触子。

【請求項8】

請求項1～7のいずれか1項記載の超音波用探触子と、
前記超音波送信素子に印加する駆動信号を発生する駆動信号発生回路と、
複数の画素を有する光検出器であって、前記超音波検出素子の対応する位置から出力される光を検出して検出信号を出力する前記光検出器と、
前記光検出器から出力される検出信号を取り込んで処理する信号処理手段と、
前記駆動信号の発生タイミング及び前記検出信号の取込みタイミングを制御する制御手段と、
前記信号処理手段の出力信号に基づいて画像データを構成する画像処理部と、
前記画像データに基づいて画像を表示する画像表示部と、
を具備する超音波診断装置。

10

20

【請求項9】

前記光検出器が、CCD、MOS型センサ、又は、複数のフォトダイオードを含む、請求項8記載の超音波診断装置。

【請求項10】

ガラス基板上に、第1の電極、圧電体、及び、第2の電極を順次形成する工程と、
前記ガラス基板及び前記第2の電極上に、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を形成する工程と、
前記第2の電極上に形成された前記多層膜を選択的に除去する工程と、
を具備する超音波探触子の製造方法。

【請求項11】

ガラス基板に複数の開口を形成する工程と、
前記ガラス基板上に、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を形成する工程と、
前記複数の開口内に、第1の電極、圧電体、及び、第2の電極を含む超音波送信部を挿入する工程と、
を具備する超音波探触子の製造方法。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、超音波を送受信する超音波用探触子及びその製造方法に関し、さらに、そのような超音波用探触子を用いて超音波を送受信することにより医療診断を行うための超音波診断装置に関する。

40

【0002】

【従来の技術】

従来、超音波診断装置においては、超音波の送信手段及び受信手段には同じ方式を用いており、超音波の送信及び受信を行う素子（振動子）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、PVDf（ポリフッ化ビニリデン：polyvinylidene difluoride）等の高分子圧電素子を用いた1次元センサアレイが一般的であった。さらに、そのような1次元センサアレイをスキャンさせることにより2次元画像を取得し、複数の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。

50

【0003】

しかしながら、この手法によれば、1次元センサ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るので、合成画像がぼけたものになってしまう。従って、超音波診断装置を用いて超音波エコー観察等を行う場合のように、生体を対象とする被写体には適していない。

【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、センサレイをスキャンさせることなく2次元画像を取得できる2次元センサレイが必要である。このため、上記PZTやPVDfを用いて2次元センサレイを作製する手法が検討された。上記PZTやPVDf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PVDfを用いた2次元センサレイの実現は困難である。

10

【0005】

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。

20

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、これらの超音波センサを用いて2次元センサレイを作製すると、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はあるものの、センサ自体が高価であるため、2次元センサレイやそれを用いた超音波用探触子を作製する際のコストが上昇してしまうという問題があった。また、光検出方式のセンサは、超音波の送信機能を持たないため、送信機能を備えることが必要である。

30

【0007】

そこで、上記の点に鑑み、本発明は、多数の微細素子への電氣的配線の必要がなく、クロストークや電氣的インピーダンスの増大を招かずに超音波信号を2次元的に検出することができ、且つ、超音波の送信機能を備えた超音波用探触子を低コストで提供することを目的とする。さらに、本発明は、そのような超音波用探触子を適用して2次元又は3次元の超音波画像を得ることができる超音波診断装置を提供することを目的とする。

40

【0008】

【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1つの観点に係る超音波用探触子は、ガラス基板と、ガラス基板に設けられ、順次積層された第1の電極、圧電体、及び、第2の電極を含み、超音波を送信する少なくとも1つの超音波送信素子と、ガラス基板に設けられ、異なる屈折率を有する2種類の材料が交互に積層された多層膜センサを含み、該多層膜センサの超音波受信面が少なくとも1つの超音波送信素子を囲むように形成されており、該受信面の各位置に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とを具備する。

【0009】

また、本発明の1つの観点に係る超音波診断装置は、本発明に係る超音波用探触子と、超音波送信素子に印加する駆動信号を発生する駆動信号発生回路と、複数の画素を有する

50

光検出器であって、超音波検出素子の対応する位置から出力される光を検出して検出信号を出力する光検出器と、光検出器から出力される検出信号を取り込んで処理する信号処理手段と、駆動信号の発生タイミング及び検出信号の取込みタイミングを制御する制御手段と、信号処理手段の出力信号に基づいて画像データを構成する画像処理部と、画像データに基づいて画像を表示する画像表示部とを具備する。

【0010】

さらに、本発明の1つの観点に係る超音波探触子の製造方法は、ガラス基板上に、第1の電極、圧電体、及び、第2の電極を順次形成する工程と、ガラス基板及び第2の電極上に、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、プラググレーティング構造を有する多層膜を形成する工程と、第2の電極上に形成された多層膜を選択的に除去する工程とを具備する。

10

本発明によれば、受信面の各位置に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の内部に超音波送信素子を配置することにより、クロストークや電氣的インピーダンスの増大を招かずに超音波信号を2次元的に検出することができ、且つ、超音波の送信機能を備えた超音波用探触子を、低コストで作製することができる。従って、そのような超音波用探触子を用いて良質な2次元又は3次元の超音波画像を得ることができる超音波診断装置を実現できる。

【0011】

【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。

20

まず、本発明の第1の実施形態に係る超音波用探触子について説明する。本発明の第1の実施形態に係る超音波用探触子においては、複数の超音波送信素子が、超音波検出素子の受信面の周囲に配置されている。

【0012】

図1は、本発明の第1の実施形態に係る超音波用探触子の構造を示す図であり、(a)はハウジング内の正面図、(b)はハウジング内の平面図である。図1に示すように、超音波用探触子1のハウジング2内に、超音波送信素子10及び電極11、12を含む複数の超音波送信部40と、超音波検出素子20及び光ファイバ23を含む超音波検出部50とが収納されている。光ファイバ23は、光源から光を入射し、超音波検出素子20によっ

30

【0013】

超音波送信部40において、超音波送信素子10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のような圧電性を有する材料(圧電素子)等によって構成される。このような圧電素子にパルス状あるいは連続波の電圧(駆動信号)を印加すると、圧電素子は微少な機械的振動を生じる。この機械的振動により、パルス状あるいは連続波の超音波が発生し、伝播媒質中を超音波ビームとして伝わる。電極11、12は、超音波送信素子10に駆動信号を印加するために用いられる。

【0014】

40

超音波送信素子10及び超音波検出素子20とハウジング2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3を設けることが望ましい。音響整合層3は、超音波を伝え易いパイレックスガラス(パイレックスは登録商標)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2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4を設けることが望ましい。さらに、隣接する超音波送信素子10の間は、超音波のクロストークを低減させるために、吸音材5で満たすことが望ましい。吸音材5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。なお、ハウジング2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6で固められている。

50

【 0 0 1 5 】

ここで、図 2 を参照しながら、超音波検出部 5 0 における超音波検出素子 2 0 の構造及び超音波の検出原理について詳しく説明する。本実施形態においては、超音波検出素子 2 0 として多層膜センサを用いている。

図 2 に示す超音波検出素子（多層膜センサ）2 0 において、基板 2 1 は、超音波が印加されると歪みを生じる膜状の基板であり、例えば、直径 2 c m 程度の円か、それ以上の面積を有している。基板 2 1 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 2 2 が形成されている。図 2 においては、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。

【 0 0 1 6 】

多層膜 2 2 の周期構造のピッチ（間隔）を d とし、入射光の波長を λ 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。

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

ここで、 θ は入射面から測った入射角であり、 $\lambda = \lambda_0 / n$ とすると次の式のようなになる。

$$2 d = m \cdot \lambda_0 \cdot n \quad \cdots (2)$$

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。

【 0 0 1 7 】

超音波検出素子 2 0 に超音波を伝搬させると、超音波の伝搬に伴い基板 2 1 及び多層膜 2 2 が歪み、多層膜 2 2 の面の各位置において周期構造のピッチ d が変化するので、選択的に反射される光の波長 λ 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、最も反射率の高い（透過率の低い）中心波長の前後に反射率の変化する傾斜領域があり、この傾斜領域において中心波長を有する検出光を多層膜 2 2 に入射させながら超音波を加える。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。

【 0 0 1 8 】

基板 2 1 の材料としては、石英ガラス (SiO_2) や BK 7 (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 1 0 % 以上異なる物質の組み合わせが望ましい。即ち、 $n_1 < n_2$ のとき、 $n_1 \times 1.1 > n_2$ を満たす物質を選択する。これは、材料層 A と材料層 B 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 A 及び B 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としては、例えば、石英ガラス (SiO_2) と酸化チタン (Ti_2O_3) との組み合わせが挙げられる。1 5 2 0 n m のレーザ光に対する SiO_2 の屈折率は約 1 . 4 5、 Ti_2O_3 の屈折率は約 2 . 0 であり、これは、屈折率が 1 0 % 以上異なるという上記の条件を十分に満たしている。これ以外には、石英ガラス (SiO_2) と酸化タンタル (Ta_2O_5) との組み合わせ等を用いることができる。

【 0 0 1 9 】

材料層 A 及び B の層厚（膜厚）は、多層膜 2 2 に入射する光の波長 λ 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、 $n t = \lambda / 4$ が条件となる。これにより、多層膜 2 2 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) を満たす波長の光を選択的に反射し、その他の波長の光を透過させるようになる。また、層厚が概ね $\lambda / 4$ である材料層 A 及び B を含む多層膜の所々に、層厚が概ね $\lambda / 2$ である材料層 A 又は B を含むようにしても良い。

【 0 0 2 0 】

このような材料層 A 及び B が、基板 2 1 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 1 0 0 層）形成されている。

ここで、基板に SiO_2 、材料層に SiO_2 及び Ti_2O_3 を用いて、それぞれ 1 0 0 層ずつ

10

20

30

40

50

、計200層として作製した多層膜センサを用い、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 dB / 0.01 nmであった。

このように、多層膜22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、超音波検出素子20の感度を上げることができる。

【0021】

ところで、図2に示す多層膜センサ20においては、超音波有感部である多層膜22の厚さ、即ち、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 s の長さよりも短くすることが望ましく、さらには、多層膜22の厚さを、ブラッググレーティング部における超音波波長 s の長さの概略3/4以下にすることが望ましい。ここで、ブラッググレーティング部における超音波波長 s は、下記の(3)式によって表される。

$$\left(\text{超音波波長 } s \right) = \left(\text{ブラッググレーティング部における音速} \right) / \left(\text{超音波の周波数} \right) \cdots (3)$$

【0022】

このようにブラッググレーティング部の長さを限定する理由は、次の通りである。即ち、ブラッググレーティング部の長さがブラッググレーティング部における超音波波長 s 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ってしまふからである。これは、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い、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ふからと考えられる。

【0023】

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、図3の(a)及び(b)は、センサ長 $3/4 s$ 及びセンサ長 $3/2 s$ を有する2種類のブラッググレーティングに、周波数帯域3.5 MHzの超音波を印加したときに、それぞれのセンサから出力された検出信号の波形を示している。図3の(a)に示すように、センサ長が $3/4 s$ 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 $3/2 s$ 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。このように、ブラッググレーティング構造を有する超音波有感部においては、センサ長が長くなると、センサの感度が著しく悪化してしまう。

【0024】

また、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それぞれ超音波を印加すると、図4に示すような検出信号の波形が得られる。図4は、センサ長 $1/2 s$ 、 $3/4 s$ 、 s 、 $3/2 s$ 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て行ったシミュレーションの結果を示している。図4において、センサ長が $(1/2)s$ 、即ち無限小であるときの波形は、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 s であるときには、 $1/2$ 波長を検出した後に振幅が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 $3/2 s$ 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 $3/4 s$ 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

10

20

30

40

50

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。

【0025】

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 $1178.5 \mu\text{m}$ 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、特に多層膜22の垂直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。

【0026】

本実施形態に係る超音波用探触子においては、図2に示す超音波検出素子（多層膜センサ）20の替わりに、図5に示す超音波検出素子（エタロンセンサ）24を用いることもできる。

図5に示す超音波検出素子（エタロンセンサ）24において、基板25は、超音波によって変形する膜状の基板であり、例えば、直径 2 cm 程度の円か、それ以上の面積を有している。基板25と対向して、基板26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。

【0027】

基板25及び26の反射率を 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 T は次のように表される。ただし、 n は任意の整数である。

$$T = [1 + 4R / (1 - R)^2 \cdot \sin^2(\pi d / \lambda)]^{-1} \dots (4) \\ = 2 / (1 + 2nd \cdot \cos(\pi d / \lambda)) \dots (5)$$

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

$$T = 4nd / (1 + 2nd) \dots (6)$$

エタロンは、波長 λ の光を透過率 T で透過し、反射率 $(1 - T)$ で反射する。

【0028】

超音波検出素子24に超音波を伝搬させると、基板25が歪み、受信面の各位置において基板25及び26の間隔 d が変化するので、波長 λ の光の反射率が変化する。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検出光を基板26に入射させながら超音波を加えると、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。

【0029】

次に、本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子について説明する。本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子においては、超音波送信素子の受信面が、少なくとも1つの超音波送信素子を囲むように形成されている。

【0030】

図6は、本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子の構造を示す図であり、図6の(a)は1つの超音波送信素子を有する超音波用探触子のハウジング内の平面図、図6の(b)は

10

20

30

40

50

b) は複数の超音波送信素子を有する超音波用探触子のハウジング内の平面図である。図6の(a)及び(b)に示すように、超音波用探触子1のハウジング2内に、少なくとも1つの超音波送信素子10と、超音波検出素子20とが収納されている。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、超音波検出素子20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。

【0031】

本実施形態においては、図2に示すような超音波検出素子(多層膜センサ)20を用いているが、図5に示すような超音波検出素子(エタロンセンサ)24を用いることも可能である。

10

【0032】

図7は、本実施形態に係る超音波用探触子の第1の製造方法を説明するための図であり、図6の(b)のA-A'面における断面を示している。

まず、図7の(a)に示すように、石英ガラス(SiO_2)やBK7(ショット社の製品)等の光学ガラス等を材料とする基板21上に、電極12、超音波送信素子10、電極11を形成する。その際、電極11及び12は、基板21の反対側まで突き抜けるようにする。

【0033】

次に、図7の(b)に示すように、電極12、超音波送信素子10、電極11が形成された基板21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。2種類の材料としては、例えば、石英ガラス(SiO_2)と酸化チタン(Ti_2O_3)との組み合わせや、石英ガラス(SiO_2)と酸化タンタル(Ta_2O_5)との組み合わせ等を用いることができる。2種類の材料層の形成は、真空蒸着やスパッタリング等の方法によって行う。

20

【0034】

次に、図7の(c)に示すように、電極11上に形成された多層膜22を選択性エッチング等により除去する。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、ここでは基板21の超音波受信面と同じ側に多層膜22を形成したが、基板21の超音波受信面と反対側に多層膜22を形成しても良い。

30

【0035】

図8は、本実施形態に係る超音波用探触子の第2の製造方法を説明するための図であり、図6の(b)のA-A'面における断面を示している。

まず、図8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。

【0036】

次に、図8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。

40

次に、図8の(c)に示すように、基板21の開口内に、電極11、超音波送信素子10、電極12を含む超音波送信部を挿入する。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。

【0037】

次に、本発明の一実施形態に係る超音波診断装置について説明する。

図9は、本実施形態に係る超音波診断装置を示すブロック図である。この超音波診断装置は、以上述べたような本発明に係る超音波用探触子を用いたものである。図9に示すように、超音波用探触子1は、超音波送信素子を含む超音波送信部40と、超音波検出素子を含む超音波検出部50とを有している。

【0038】

50

本実施形態に係る超音波診断装置は、駆動信号発生回路30と、光源31と、ビームエキスパンダー32と、分波器33と、結像系34と、光検出器35とを含んでいる。この中で、ビームエキスパンダー32と結像系34は、任意の構成要素である。超音波送信部40は、駆動信号発生回路30によって発生される駆動信号に基づいて超音波を送信する。超音波送信部40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50によって受信される。超音波検出部50には、光源31によって発生された光が、ビームエキスパンダー32及び分波器33を介して入射しており、この入射光は、超音波検出部50に印加される超音波に基づいて変調されて反射される。反射された光は、分波器33及び結像系34を介して光検出器35に入射し、光検出器35によって2次元的に検出される。

10

【0039】

また、この超音波診断装置は、信号処理部61及びA/D変換器62を含む信号処理手段60と、タイミングコントロール部70と、1次記憶部80と、画像処理部90と、画像表示部100と、2次記憶部110とを含んでいる。光検出器16から出力される検出信号は、信号処理部61において信号処理が施され、さらに、A/D変換器62においてデジタル信号に変換される。

【0040】

タイミングコントロール部70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30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16から出力される検出信号を取り込むように、信号処理手段60を制御する。このように、駆動信号及び検出信号をコントロールすることにより、読み取る時間帯を限定し、被写体の特定の深さからの超音波の反射を光検出することができる。

20

【0041】

1次記憶部80は、信号処理手段60において取得された複数枚の面データを記憶する。画像処理部90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100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110は、画像処理部90において処理されたデータを記憶する。

【0042】

次に、本実施形態に係る超音波診断装置の動作について、図10を参照しながら説明する。

30

図10において、駆動信号発生回路30は、パルス状又は連続波状の駆動信号を発生する。この駆動信号は、電極11、12を介して超音波送信素子10に印加され、超音波送信素子10は、駆動信号に基づいて超音波を送信する。超音波送信素子10から送信された超音波は、被検体によって反射され、超音波検出素子20によって受信される。

【0043】

光源31は、例えば、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。また、分波器33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33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。ここで、入射光が分波器33を通過する前に、ビームエキスパンダー32によって入射光を拡大しても良い。

40

【0044】

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とを含んでおり、伝搬する超音波を受信して各位置における超音波の強さに応じて歪みを生じる超音波受信面を有する。超音波検出素子20は、光源31から分波器33を介して多層膜22に入射した光を、基板21に印加される超音波に基づいて変調して反射する。超音波検出素子

50

20によって反射された光は、さらに分波器33によって反射され、複数の画素を有する光検出器35に入射する。

【0045】

光検出器35は、CCD、MOS型センサ、又は、複数のPD（フォトダイオード）で構成される2次元アレイ検出器である。光検出器35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ー等を通して光検出器35に入射するようにしても良いし、分波器33の後段にレンズ等の結像系34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。

【0046】

【発明の効果】

本発明によれば、光検出器の複数の画素に対応した超音波受信面を有する超音波検出素子を用いることにより、多数の微細素子への電氣的配線の必要がなく、クロストークや電氣的インピーダンスの増大を招かずに、超音波を2次元的に検出することができる。さらに、このような超音波検出素子の周囲又は内部に超音波送信素子を配置することにより、超音波の送受信機能を備えた超音波用探触子を、低コストで作製することができる。従って、このような超音波用探触子を適用した超音波診断装置を用いることにより、良質な2次元又は3次元の超音波画像を得ることが可能である。

【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用探触子の構造を示す図であり、(a)はハウジング内の正面図、(b)はハウジング内の平面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態において用いる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】本発明の第1の実施形態において用いることのできる別の超音波検出素子を示す図である。

【図6】本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子の構造を示す図であり、(a)は1つの超音波送信素子を有する超音波用探触子のハウジング内の平面図、(b)は複数の超音波送信素子を有する超音波用探触子のハウジング内の平面図である。

【図7】本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子の第1の製造方法を説明するための断面図である。

【図8】本発明の第2の実施形態に係る超音波用探触子の第2の製造方法を説明するための断面図である。

【図9】本発明の一実施形態に係る超音波診断装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の一実施形態に係る超音波診断装置の動作を説明するための図である。

【符号の説明】

- 1 超音波用探触子
- 2 ハウジング
- 3 音響整合層
- 4 音響レンズ材
- 5 吸音材
- 6 樹脂
- 10 超音波送信素子
- 11、12 電極
- 20、24 超音波検出素子
- 21、25、26 基板
- 22 多層膜

10

20

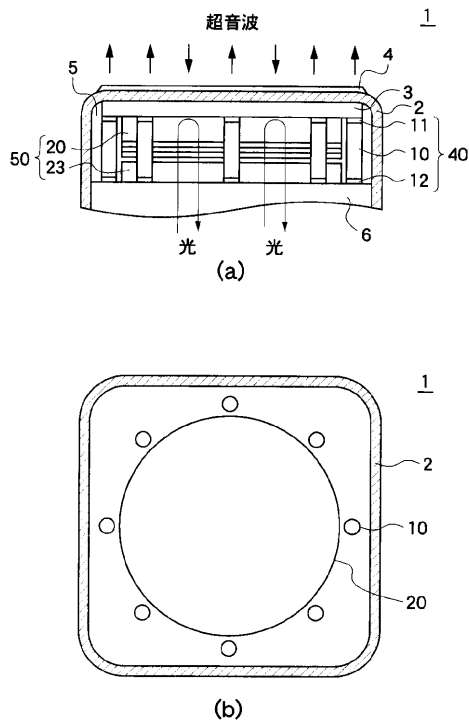
30

40

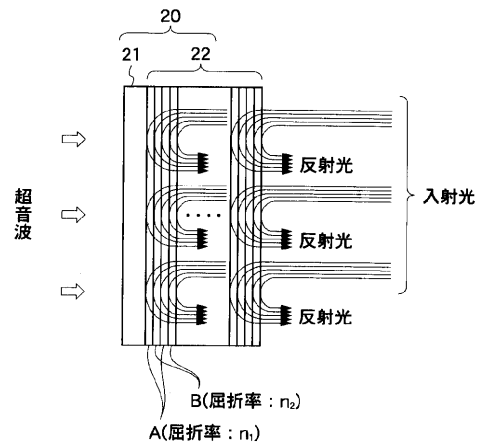
50

- 2 3 光ファイバ
- 3 0 駆動信号発生回路
- 3 1 光源
- 3 2 ビームエキスパンダー
- 3 3 分波器
- 3 4 結像系
- 3 5 光検出器
- 4 0 超音波送信部
- 5 0 超音波検出部
- 6 0 信号処理手段
- 6 1 信号処理部
- 6 2 A / D 変換器
- 7 0 タイミングコントロール部
- 8 0 1次記憶部
- 9 0 画像処理部
- 1 0 0 画像表示部
- 1 1 0 2次記憶部

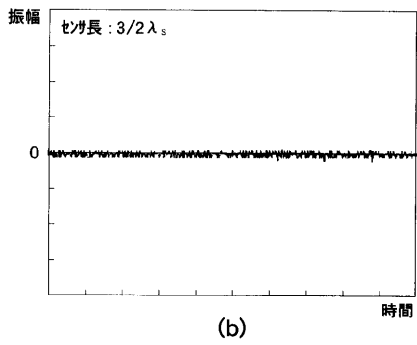
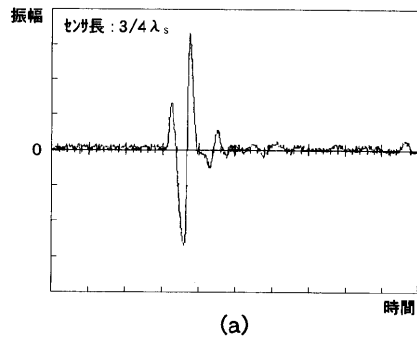
【図1】



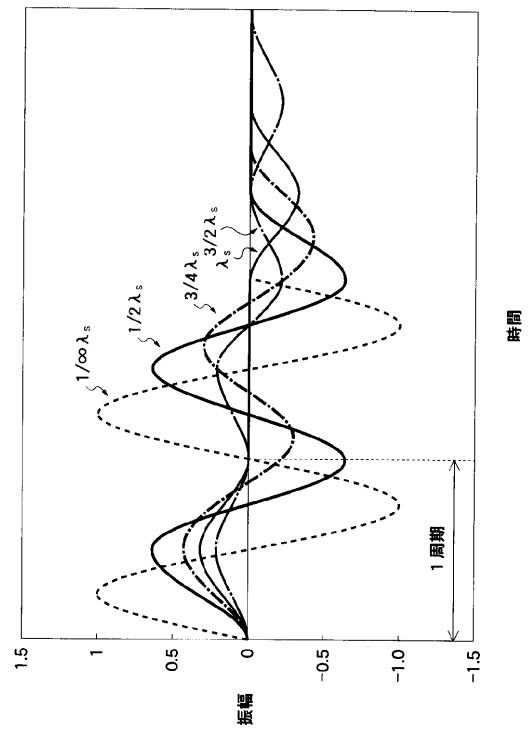
【図2】



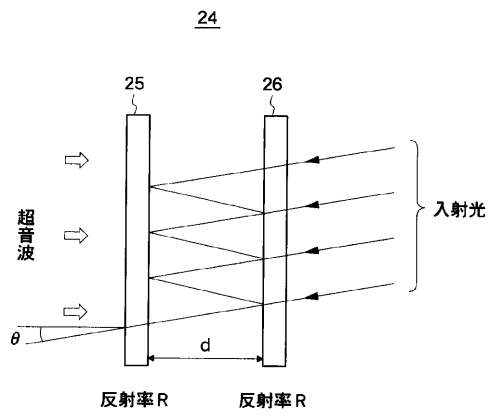
【 図 3 】



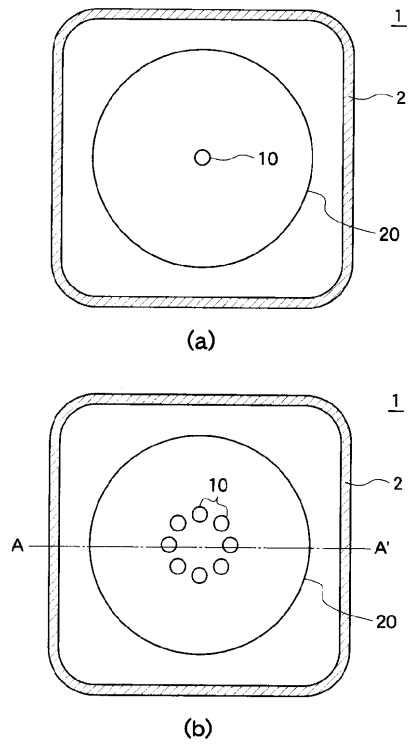
【 図 4 】



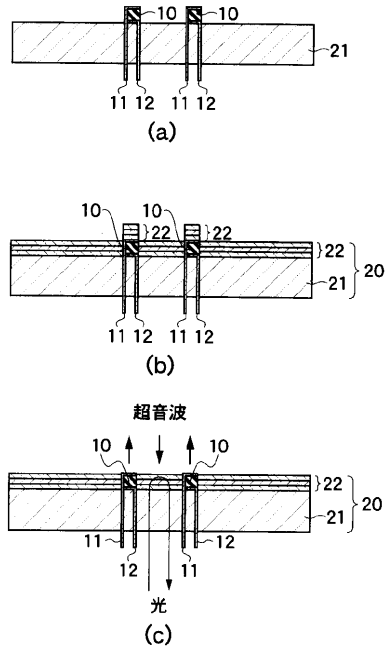
【 図 5 】



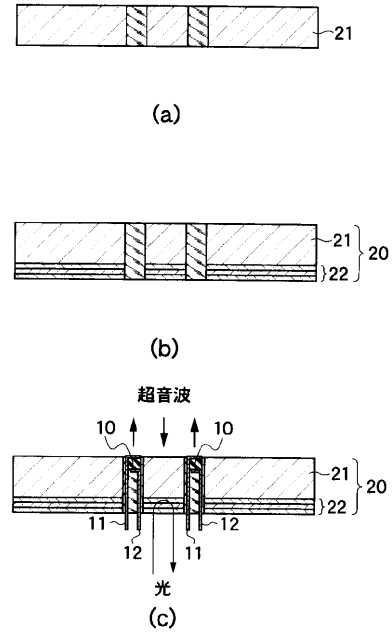
【 図 6 】



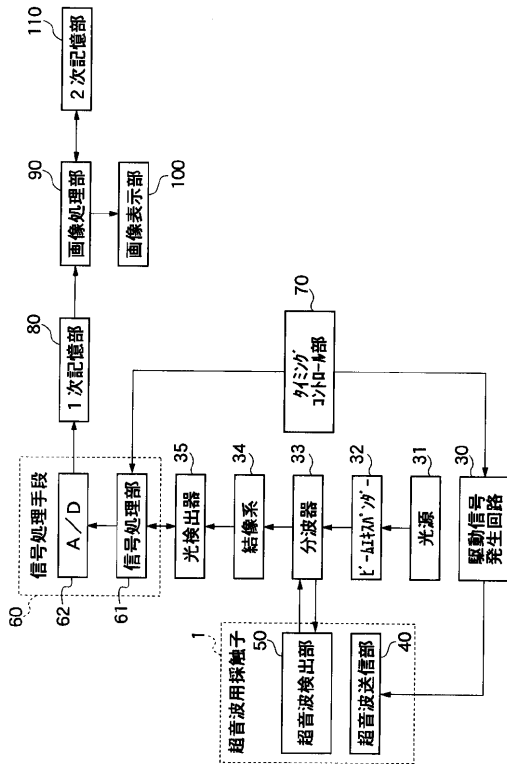
【 図 7 】



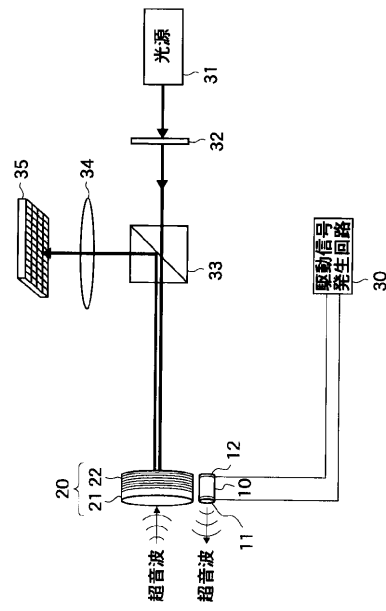
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 1 1 - 2 3 4 7 9 7 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 7 1 2 8 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 4 4 5 6 3 (J P , A)
特開昭 6 3 - 0 5 4 1 5 1 (J P , A)
特開平 0 9 - 2 1 0 7 6 2 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 6 2 9 5 0 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 3 2 1 3 7 4 (J P , A)
高橋信明、高橋純夫，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，オプトロニクス，日本，株式会社オプトロニクス社，2000年 3月10日，通巻219号，p . 1 4 9 -
1 5 2

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

A61B 8/00

