

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-180362

(P2014-180362A)

(43) 公開日 平成26年9月29日(2014.9.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00	4 C 6 0 1
H 0 4 R 17/00 (2006.01)	H 0 4 R 17/00 3 3 0 J	5 D 0 1 9

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2013-55836 (P2013-55836)
 (22) 出願日 平成25年3月19日 (2013.3.19)

(71) 出願人 000001270
 コニカミノルタ株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
 (74) 代理人 110001254
 特許業務法人光陽国際特許事務所
 (72) 発明者 鈴木 謙次
 東京都日野市さくら町1番地 コニカミノ
 ルタエムジー株式会社内
 Fターム(参考) 4C601 BB06 EE03 GB25 GB26 GB28
 GB31
 5D019 AA21 BB02 BB04 BB12 BB18
 BB19 FF04 GG02 GG04

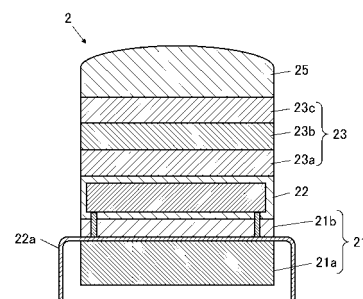
(54) 【発明の名称】 超音波探触子及び超音波画像診断装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 より感度のよい超音波探触子及び超音波画像診断装置を提供する。

【解決手段】 超音波探触子2は、超音波を送受信する圧電材22と、圧電材22から発信される超音波を被検体に収束させるよう設けられた音響レンズ25と、圧電材22と音響レンズ25との間に位置するよう設けられた音響整合層23と、圧電材22に対して音響整合層23の反対側に設けられた背面層21と、を備え、圧電材22と音響整合層23との界面よりも背面層側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材である背面反射材21bの積層方向の何れかの位置を始点とするとともに、音響レンズ25と音響整合層23との界面の位置を終点として、始点における音響インピーダンスから終点における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが漸次減少するように音響整合層23の音響インピーダンスが設定されている。

【選択図】 図6



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

超音波を送受信する圧電材と、

前記圧電材から発信される超音波を当該超音波の発信対象に収束させるように設けられた音響レンズと、

前記圧電材と前記音響レンズとの間に位置するよう設けられた音響整合層と、

前記圧電材に対して前記音響整合層の反対側に設けられた背面層と、を備え、

前記圧電材と前記音響整合層との界面よりも前記背面層側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材の積層方向の何れかの位置を始点とするとともに、前記音響レンズと前記音響整合層との界面の位置を終点として、前記始点における音響インピーダンスから前記終点における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが漸次減少するように前記音響整合層の音響インピーダンスが設定されていることを特徴とする超音波探触子。

10

【請求項 2】

前記始点は、音響インピーダンスが最も大きい部材の、前記反対側の面の位置にあることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波探触子。

【請求項 3】

前記背面層は、前記圧電材よりも高い音響インピーダンスを有する背面反射材を具備することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の超音波探触子。

【請求項 4】

前記始点から前記始点における音響インピーダンスから前記終点における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが指数関数的に減少することを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の超音波探触子。

20

【請求項 5】

前記音響整合層は、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層からなり、

前記複数の層の各々の厚みは、各層が有する音速及び前記超音波の中心周波数に応じた波長単位で $1/4$ 波長未満であることを特徴とする請求項 1 から 4 の何れか一項に記載の超音波探触子。

【請求項 6】

前記音響整合層は、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層からなり、

前記複数の層の各々は各層を構成する素材の塗布により積層されることを特徴とする請求項 1 から 5 の何れか一項に記載の超音波探触子。

30

【請求項 7】

駆動信号によって被検体に向けて送信超音波を出力するとともに、被検体からの反射超音波を受信することにより受信信号を出力する超音波探触子と、

前記超音波探触子を駆動する前記駆動信号を生成する送信部と、

前記超音波探触子によって出力された前記受信信号に基づいて超音波画像を表示するための超音波画像データを生成する画像生成部と、

を備えた超音波画像診断装置において、

前記超音波探触子は、請求項 1 から 6 の何れか一項に記載の超音波探触子であることを特徴とする超音波画像診断装置。

40

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、超音波探触子及び超音波画像診断装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

非破壊検査のための装置として、超音波により被検査物の内部を示す画像を得る超音波画像診断装置が知られている。超音波画像診断装置は、超音波を送受信する超音波探触子を被検査物に当接させて画像を得る。超音波探触子は、駆動信号の入力に応じて超音波を生じる圧電材や、超音波を被検査物に収束させる音響レンズ、圧電材から音響レンズに至

50

る音響インピーダンスを調整するための音響整合層等を有する（例えば、特許文献1）。特許文献1の音響整合層は、超音波の周波数の広帯域化のために圧電材と音響整合層との間の音響インピーダンスのギャップをなくす目的で、圧電材と当接する部分の音響整合層の音響インピーダンスを圧電材の音響インピーダンスと同一としている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-129554号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0004】

しかしながら、特許文献1のような従来の超音波探触子は、音響整合層内における圧電材から音響レンズに向かう音響インピーダンスの減少の変化が急激となり、超音波の減衰による感度の低下を生じる問題点を有していた。また、圧電材から送受信される超音波は、少なからず圧電材内を透過することとなるが、従来の音響整合層の音響インピーダンスは、圧電材等、音響整合層より圧電材側に存する超音波の透過経路を考慮したものではなかったため、当該透過経路における超音波の減衰による感度の低下を生じる問題点を有していた。

【0005】

本発明は、より感度のよい超音波探触子及び超音波画像診断装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

請求項1に記載の発明による超音波探触子は、超音波を送受信する圧電材と、前記圧電材から発信される超音波を当該超音波の発信対象に収束させるように設けられた音響レンズと、前記圧電材と前記音響レンズとの間に位置するよう設けられた音響整合層と、前記圧電材に対して前記音響整合層の反対側に設けられた背面層と、を備え、前記圧電材と前記音響整合層との界面よりも前記背面層側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材の積層方向の何れかの位置を始点とするとともに、前記音響レンズと前記音響整合層との界面の位置を終点として、前記始点における音響インピーダンスから前記終点における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが漸次減少するように前記音響整合層の音響インピーダンスが設定されていることを特徴とする。

30

【0007】

請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の超音波探触子であって、前記始点は、音響インピーダンスが最も大きい部材の、前記反対側の面の位置にあることを特徴とする。

【0008】

請求項3に記載の発明は、請求項1又は2に記載の超音波探触子であって、前記背面層は、前記圧電材よりも高い音響インピーダンスを有する背面反射材を具備することを特徴とする。

【0009】

40

請求項4に記載の発明は、請求項1から3の何れか一項に記載の超音波探触子であって、前記始点から前記始点における音響インピーダンスから前記終点における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが指数関数的に減少することを特徴とする。

【0010】

請求項5に記載の発明は、請求項1から4の何れか一項に記載の超音波探触子であって、前記音響整合層は、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層からなり、前記複数の層の各々の厚みは、各層が有する音速及び前記超音波の中心周波数に応じた波長単位で1/4波長未満であることを特徴とする。

【0011】

請求項6に記載の発明は、請求項1から5の何れか一項に記載の超音波探触子であって

50

、前記音響整合層は、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層からなり、前記複数の層の各々は各層を構成する素材の塗布により積層されることを特徴とする。

【0012】

請求項7に記載の発明による超音波画像診断装置は、駆動信号によって被検体に向けて送信超音波を出力するとともに、被検体からの反射超音波を受信することにより受信信号を出力する超音波探触子と、前記超音波探触子を駆動する前記駆動信号を生成する送信部と、前記超音波探触子によって出力された前記受信信号に基づいて超音波画像を表示するための超音波画像データを生成する画像生成部と、を備えた超音波画像診断装置において、前記超音波探触子は、請求項1から6の何れか一項に記載の超音波探触子であることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、より感度のよい超音波探触子及び超音波画像診断装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】超音波画像診断装置の外観構成を示す図である。

【図2】超音波画像診断装置の概略構成を示すブロック図である。

【図3】送信部の概略構成を示すブロック図である。

【図4】パルス信号の駆動波形について説明する図である。

20

【図5】送信するパルス信号の波形について説明する図である。

【図6】超音波探触子の概略構成を示す断面図である。

【図7】ダイシングの一例を示す断面図である。

【図8】実施例における音響インピーダンスの減少曲線を示す概略図である。

【図9】第1比較例における音響インピーダンスの減少曲線を示す概略図である。

【図10】実施例及び第1比較例の感度の測定結果を示すグラフである。

【図11】変形例における超音波探触子の概略構成を示す断面図である。

【図12】変形例における音響インピーダンスの減少曲線を示す概略図である。

【図13】変形例及び第2比較例の感度の測定結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

30

【0015】

以下に、本発明の実施形態について図面を用いて説明する。ただし、以下に述べる実施形態には、本発明を実施するために技術的に好ましい種々の限定が付されているが、発明の範囲を以下の実施形態及び図示例に限定するものではない。

【0016】

本実施の形態に係る超音波画像診断装置Sは、図1及び図2に示すように、超音波画像診断装置本体1と超音波探触子2とを備えている。超音波探触子2は、超音波画像診断装置Sにとっての被検査物としての図示しない生体等の被検体に対して超音波（送信超音波）を送信するとともに、この被検体で反射した超音波の反射波（反射超音波：エコー）を受信する。超音波画像診断装置本体1は、超音波探触子2とケーブル3を介して接続され、超音波探触子2に電気信号の駆動信号を送信することによって超音波探触子2に被検体に対して送信超音波を送信させるとともに、超音波探触子2にて受信した被検体内からの反射超音波に応じて超音波探触子2で生成された電気信号である受信信号に基づいて被検体内の内部状態を超音波画像として画像化する。

40

【0017】

超音波探触子2は、圧電素子からなる振動子2aを備えており、この振動子2aは、例えば、方位方向に一次元アレイ状に複数配列されている。本実施の形態では、例えば、192個の振動子2aを備えた超音波探触子2を用いている。なお、振動子2aは、二次元アレイ状に配列されたものであってもよい。また、振動子2aの個数は、任意に設定することができる。また、本実施の形態では、超音波探触子2について、リニア走査方式の電

50

子スキャンプローブを採用したが、電子走査方式あるいは機械走査方式の何れを採用してもよく、また、リニア走査方式、セクタ走査方式あるいはコンベックス走査方式の何れの方式を採用することもできる。超音波探触子 2 における帯域幅は任意に設定することができる。

【0018】

超音波画像診断装置本体 1 は、例えば、図 2 に示すように、操作入力部 1 1 と、送信部 1 2 と、受信部 1 3 と、画像生成部 1 4 と、メモリー部 1 5 と、D S C (Digital Scan Converter) 1 6 と、表示部 1 7 と、制御部 1 8 とを備えて構成されている。

【0019】

操作入力部 1 1 は、例えば、診断開始を指示するコマンドや被検体の個人情報等のデータの入力等を行うための各種スイッチ、ボタン、トラックボール、マウス、キーボード等を備えており、操作信号を制御部 1 8 に出力する。

10

【0020】

送信部 1 2 は、制御部 1 8 の制御に従って、超音波探触子 2 にケーブル 3 を介して電気信号である駆動信号を供給して超音波探触子 2 に送信超音波を発生させる回路である。より具体的には、送信部 1 2 は、図 3 に示すように、例えば、クロック発生回路 1 2 1、パルス発生回路 1 2 2、パルス幅設定部 1 2 3 及び遅延回路 1 2 4 を備えている。

【0021】

クロック発生回路 1 2 1 は、駆動信号の送信タイミングや送信周波数を決定するクロック信号を発生させる回路である。

20

パルス発生回路 1 2 2 は、所定の周期で駆動信号としてのパルス信号を発生させるための回路である。パルス発生回路 1 2 2 は、例えば、図 4 に示すように、3 値の電圧を切り替えて出力することにより、矩形波によるパルス信号を発生させることができる。このとき、パルス信号の振幅については、正極性及び負極性で同一となるようにしたが、これに限定されない。なお、2 値あるいは 4 値以上の電圧を切り替えてパルス信号を発生させる構成であってもよい。

パルス幅設定部 1 2 3 は、パルス発生回路 1 2 2 から出力されるパルス信号のパルス幅を設定する。即ち、パルス発生回路 1 2 2 は、パルス幅設定部 1 2 3 によって設定されたパルス幅に従ったパルス波形によるパルス信号を出力する。パルス幅は、例えば、操作入力部 1 1 による入力操作により可変することができる。また、超音波画像診断装置本体 1 に接続された超音波探触子 2 を識別することにより、識別した超音波探触子 2 に対応するパルス幅が設定されるように構成してもよい。

30

なお、駆動信号の形状に特に制限はなく、サイン波、コサイン波、矩形波等から適宜選択することができる。また、これらの複数の信号を合成した信号を用いるようにしてもよい。簡易かつ小型の回路で構成できるという観点からは、駆動信号を複数のパルスを含む矩形波とするのが好ましい。この際、複数のパルスのうちの少なくとも 1 つのパルスは、他のパルスとパルス幅 (デューティ) が異なるように構成するのが好ましい。これにより、駆動信号の周波数帯域幅が大きくなるので、送信される超音波の周波数帯域幅をより大きくすることができ、時間分解能、即ち、深さ方向の距離分解能をさらに向上させることができる。このような駆動信号の形状の例を図 5 に示す。図 5 に示される駆動信号は、第 1 のパルス信号と、この第 1 のパルス信号とは極性の異なる第 2 のパルス信号と、第 1 のパルス信号と極性の等しい第 3 のパルス信号とを備えた矩形波である。第 1 のパルス信号のパルス幅 (T 1)、第 2 のパルス信号のパルス幅 (T 2) 及び第 3 のパルス信号のパルス幅 (T 3) は、それぞれ 16 ns、56 ns、104 ns に設定されている。なお、各パルス信号のパルス幅は上述したものに限らず、任意に設定することができる。例えば、本実施の形態では、パルス幅が徐々に大きくなるように設定されているが、パルス幅が徐々に小さくなるように設定されていてもよい。このように、第 1 ~ 第 3 のパルスのパルス幅を全て異ならせることによって駆動信号の周波数帯域幅をより大きくすることができる。なお、複数のパルス信号のうち全てのパルス信号のパルス幅について同一に設定されていてもよい。

40

50

【 0 0 2 2 】

遅延回路 1 2 4 は、駆動信号の送信タイミングを振動子毎に対応した個別経路毎に遅延時間を設定し、設定された遅延時間だけ駆動信号の送信を遅延させて送信超音波によって構成される送信ビームの集束を行うための回路である。

【 0 0 2 3 】

以上のように構成された送信部 1 2 は、制御部 1 8 の制御に従って、駆動信号を供給する複数の振動子 2 a を、超音波の送受信毎に所定数ずらしながら順次切り替え、出力の選択された複数の振動子 2 a に対して駆動信号を供給することにより走査を行う。

【 0 0 2 4 】

図 2 に示すように、受信部 1 3 は、制御部 1 8 の制御に従って、超音波探触子 2 からケーブル 3 を介して電気信号の受信信号を受信する回路である。受信部 1 3 は、例えば、増幅器、A / D 変換回路、整相加算回路を備えている。増幅器は、受信信号を、振動子 2 a 毎に対応した個別経路毎に、予め設定された所定の増幅率で増幅させるための回路である。A / D 変換回路は、増幅された受信信号をアナログ - デジタル変換 (A / D 変換) するための回路である。整相加算回路は、A / D 変換された受信信号に対して、振動子 2 a 毎に対応した個別経路毎に遅延時間を与えて時相を整え、これらを加算 (整相加算) して音線データを生成するための回路である。

10

【 0 0 2 5 】

画像生成部 1 4 は、受信部 1 3 からの音線データに対して包絡線検波処理や対数増幅等を実施し、ゲインの調整等を行って輝度変換することにより、B モード画像データを生成する。即ち、B モード画像データは、受信信号の強さを輝度によって表したものである。画像生成部 1 4 にて生成された B モード画像データは、メモリー部 1 5 に送信される。

20

【 0 0 2 6 】

メモリー部 1 5 は、例えば、D R A M (Dynamic Random Access Memory) 等の半導体メモリーによって構成されており、画像生成部 1 4 から送信された B モード画像データをフレーム単位で記憶する。即ち、メモリー部 1 5 は、フレーム単位により構成された超音波診断画像データとして記憶することができる。メモリー部 1 5 に記憶された超音波診断画像データは、制御部 1 8 の制御に従って読み出され、D S C 1 6 に送信される。

【 0 0 2 7 】

D S C 1 6 は、メモリー部 1 5 より受信した超音波診断画像データをテレビジョン信号の走査方式による画像信号に変換し、表示部 1 7 に出力する。

30

【 0 0 2 8 】

表示部 1 7 は、L C D (Liquid Crystal Display)、C R T (Cathode-Ray Tube) ディスプレイ、有機 E L (Electronic Luminescence) ディスプレイ、無機 E L ディスプレイ及びプラズマディスプレイ等の表示装置が適用可能である。表示部 1 7 は、D S C 1 6 から出力された画像信号に従って表示画面上に超音波診断画像の表示を行う。なお、表示装置に代えてプリンター等の印刷装置等を適用してもよい。

【 0 0 2 9 】

制御部 1 8 は、例えば、C P U (Central Processing Unit)、R O M (Read Only Memory)、R A M (Random Access Memory) を備えて構成され、R O M に記憶されているシステムプログラム等の各種処理プログラムを読み出して R A M に展開し、展開したプログラムに従って超音波画像診断装置 S の各部の動作を集中制御する。

40

R O M は、半導体等の不揮発メモリー等により構成され、超音波画像診断装置 S に対応するシステムプログラム及び該システムプログラム上で実行可能な各種処理プログラムや、各種データ等を記憶する。これらのプログラムは、コンピューターが読み取り可能なプログラムコードの形態で格納され、C P U は、当該プログラムコードに従った動作を逐次実行する。

R A M は、C P U により実行される各種プログラム及びこれらプログラムに係るデータを一時的に記憶するワークエリアを形成する。

【 0 0 3 0 】

50

次に、本実施の形態に係る超音波探触子 2 について、図 6 を参照しながら説明する。

【0031】

超音波探触子 2 は、図 6 に示すように、例えば、図上正面視下方から、背面層 2 1 と、背面層 2 1 上に積層された圧電材 2 2 と、圧電材 2 2 上に積層された音響整合層 2 3 と、音響整合層 2 3 上に積層された音響レンズ 2 5 とを備えて構成されている。

【0032】

背面層 2 1 は、例えば、バッキング材 2 1 a と、バッキング材 2 1 a 上に積層された背面反射材 2 1 b とを備えて構成されている。圧電材 2 2 は、背面反射材 2 1 b 上に積層されている。即ち、背面層 2 1 は、超音波探触子を構成する各部材の積層方向について、圧電材 2 2 に対して音響整合層 2 3 が設けられた側と反対側（以下、単に「反対側」と記載する）に設けられている。また、反対側からみて、バッキング材 2 1 a、背面反射材 2 1 b の順に設けられている。

【0033】

バッキング材 2 1 a は、音響インピーダンスが圧電材 2 2 よりも低い材料により形成されており、不要な超音波を吸収し得る超音波吸収体である。即ち、バッキング材 2 1 a は、圧電材 2 2 の反対側から発生する超音波を吸収する。

【0034】

バッキング材 2 1 a を構成するバッキング材 2 1 a としては、天然ゴム、フェライトゴム、エポキシ樹脂や、これらの材料に酸化タンゲステンや酸化チタン、フェライト等の粉末を入れてプレス成形したゴム系複合材やエポキシ樹脂複合材、塩化ビニル、ポリビニルブチラール（PVB）、ABS樹脂、ポリウレタン（PUR）、ポリビニルアルコール（PVAL）、ポリエチレン（PE）、ポリプロピレン（PP）、ポリアセタール（POM）、ポリエチレンテレフタレート（PETP）、フッ素樹脂（PTFE）ポリエチレングリコール、ポリエチレンテレフタレート-ポリエチレングリコール共重合体等の熱可塑性樹脂等が適用できる。

【0035】

好ましいバッキング材 2 1 a としては、ゴム系複合材料、及び/又は、エポキシ樹脂複合材からなるものであり、その形状は背面反射材 2 1 b や圧電材 2 2、これらを含むプローブヘッドの形状に応じて、適宜選択することができる。

【0036】

背面反射材 2 1 b は、音響インピーダンスが圧電材 2 2 よりも高い材料により形成されており、圧電材 2 2 の反対側に出力される超音波を反射する。このように、背面反射材 2 1 b を備えることにより、圧電材 2 2 から発生する超音波をより効率よく被検体側に送信することができることから、圧電材 2 2 における超音波の送受波に対する感度をより向上させることができる。

【0037】

背面反射材 2 1 b を構成する素材としては、炭化タンゲステン（WC、タンゲステンカーバイド）や、これに結合剤（バインダ）であるコバルト（CO）を混合して焼結した超硬合金、さらにこれに炭化チタン（TiC）や炭化タンタル（TaC）等の添加剤を添加したもの等が適用できる。

【0038】

好ましい背面反射材 2 1 b としては、タンゲステンカーバイドからなるものであり、その形状は圧電材 2 2 やこれを含むプローブヘッドの形状に応じて、適宜選択することができる。

【0039】

背面反射材 2 1 b とバッキング材 2 1 a の間や背面反射材 2 1 b と圧電材 2 2 の間は、接着層を介して積層されていることが好ましい態様である。接着層を形成するための接着剤としては、エポキシ系の接着剤を用いることができる。なお、接着層はより薄いほうがより好ましく、また、各部材間の電氣的接続が必要な場合に当該電氣的接続のための接触を妨げないように設けられる。

10

20

30

40

50

【0040】

圧電材22は、電極及び圧電材料を有し、電気信号を機械的な振動に、また機械的な振動を電気信号に変換可能で超音波の送受信が可能な素子（圧電素子）である。

【0041】

圧電材料は、電気信号を機械的な振動に、また機械的な振動を電気信号に変換可能な圧電体を含む材料である。圧電体としては、チタン酸ジルコン酸鉛（PZT）系セラミックス、チタン酸鉛、メタニオブ酸鉛等の圧電セラミックス、ニオブ酸リチウム、亜鉛ニオブ酸鉛とチタン酸鉛、マグネシウムニオブ酸鉛とチタン酸鉛等の固溶系単結晶からなる圧電単結晶、水晶、ロッシェル塩、ポリフッ化ビニリデン（PVDF）、あるいはVDFと、例えば、3フッ化エチレン（TrFE）の共重合体であるポリフッ化ビニリデン-3フッ化エチレン（P(VDF-TrFE)）のようなPVDF共重合体、シアン化ビニリデン（VDCN）の重合体であるポリシアン化ビニリデン（PVDCN）、あるいはシアン化ビニリデン系共重合体あるいはナイロン9、ナイロン11等の奇数ナイロンや、芳香族ナイロン、脂環族ナイロン、あるいはポリ乳酸や、ポリヒドロキシブチレート等のポリヒドロキシカルボン酸、セルロース系誘導体、ポリウレア等の有機高分子圧電材料等を用いることができる。

10

【0042】

圧電材料の厚さとしては、例えば、100～500μmの範囲で用いられる。圧電材料は、その両面に電極が付された状態で、振動子2aとして用いられる。

【0043】

圧電材料に付される電極に用いられる材料としては、金（Au）、白金（Pt）、銀（Ag）、パラジウム（Pd）、銅（Cu）、アルミニウム（Al）、ニッケル（Ni）、スズ（Sn）等が挙げられる。

20

【0044】

圧電材料に電極を付す方法としては、例えば、チタン（Ti）やクロム（Cr）等の下地金属をスパッタ法により0.02～1.0μmの厚さに形成した後、上記金属元素を主体とする金属及びそれらの合金からなる金属材料、さらには必要に応じて一部絶縁材料をスパッタ法、その他の適当な方法で1～10μmの厚さに形成する方法が挙げられる。

【0045】

電極形成はスパッタ法以外にも、微粉末の金属粉末と低融点ガラスとを混合した導電ペーストをスクリーン印刷やディッピング法、溶射法で形成することもできる。電極は、圧電材料上に、超音波探触子2の形状に応じて、圧電体面の全面あるいは圧電体面の一部に、設けられる。

30

【0046】

また、圧電材22は、背面反射材21bを介して電極がFPC22aと接触されており、FPC22aはケーブル3と電氣的に接続されている。したがって、超音波画像診断装置本体1から出力される駆動信号がFPC22aを介して圧電材22に入力され、圧電材22で発生した受信信号が超音波画像診断装置本体1に出力される。

【0047】

音響整合層23は、圧電材22と音響レンズ25との間の音響インピーダンスを整合させ、圧電材22、音響整合層23及び音響レンズ25の各々の境界面での反射を抑制する傾斜音響整合層である。音響整合層23は、圧電材22に対して被検体側に装着される。

40

【0048】

音響整合層23は、例えば、最下層23a、中間層23b及び最上層（最前面層）23cのように、複数の層が積層されて構成されている。複数の層の厚みを合わせた音響整合層23の層厚は、圧電材22から送信される超音波の中心周波数（例えば、10MHz）の波長をとすると、1/2以上となるように定められる。より好ましくは、音響整合層23の層厚は、1/3以上となるように定められる。このように音響整合層23の層厚を定めることで、圧電材22から発生する超音波の中心周波数に対する低周波側の音響整合層23による減衰を低減することができる。即ち、音響整合層23が有する低周波側の透過

50

遮断特性をより向上させることができる。

【0049】

音響整合層23の音響インピーダンスは、最下層23aから最上層23cにかけて漸次減少するとともに、最下層23aの音響インピーダンスが圧電材22の音響インピーダンス未満となるよう設定される。また、後述する音響レンズ25の音響インピーダンスと整合させるため、最上層23cの音響インピーダンスと音響レンズ25の音響インピーダンスとの差をより小さくすることが好ましく、より好ましくは、最上層23cと音響レンズ25との界面における最上層23cの音響インピーダンスが音響レンズ25の音響インピーダンスとほぼ等しくなるように音響整合層23を設けることである。

また、音響整合層23を構成する複数の層の各々の厚みは、各層の組成により決定される音速及び圧電材22から送信される超音波の中心周波数に応じた波長（例えば、）単位で1/4未満であることが好ましい。このように複数の層の各々の厚みを定めることで、圧電材22から発生する超音波の中心周波数に対する低周波側の音響整合層23による減衰を低減することができる。即ち、音響整合層23が有する低周波側の透過遮断特性をより向上させることができる。なお、音響整合層23の層厚を以上となるように定め、かつ、各層の厚みを1/4未満とする場合、音響整合層23は、5以上のそれぞれ音響インピーダンスが異なる層による構造を有する。

【0050】

音響整合層23に用いられる材料として、具体的には、アルミ、アルミ合金（例えばAL-Mg合金）、マグネシウム合金、マコールガラス、ガラス、溶融石英、コッパーフライト、PE（ポリエチレン）やPP（ポリプロピレン）、PC（ポリカーボネート）、ABC樹脂、ABS樹脂、AAS樹脂、AES樹脂、ナイロン（PA6、PA6-6）、PPO（ポリフェニレンオキシド）、PPS（ポリフェニレンスルフィド：ガラス繊維入りも可）、PPE（ポリフェニレンエーテル）、PEEK（ポリエーテルエーテルケトン）、PAI（ポリアミドイミド）、PETP（ポリエチレンテレフタレート）、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂等が挙げられる。好ましくはエポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂に、充填剤として、タングステン、亜鉛華、酸化チタン、シリカやアルミナ、ベンガラ、フェライト、酸化タングステン、酸化イットリビウム、硫酸バリウム、モリブデン等を入れて成形したものが適用できる。ここで、充填材の種類や量、分布等を各層で異ならせることにより、同一の種類樹脂であっても各層の音響インピーダンスを異なるものとする事ができる。

【0051】

音響レンズ25は、屈折を利用して超音波ビームを集束し分解能を向上するために配置されるものである。即ち、音響レンズ25は、超音波探触子2の被検体と接する側に設けられ、圧電材22にて発生した超音波を、被検体に効率よく入射させる。音響レンズ25は、被検体と接する部分で、内部の音速に応じて凸型又は凹型のレンズ形状を有し、被検体に入射される超音波を、撮像断面と直交する厚さ方向（エレベーション方向）で収束させる。

【0052】

音響レンズ25の音響インピーダンスは、被検体の音響インピーダンスに対して、音響レンズ25と被検体との間での超音波の減衰や反射がより小さくなるよう適宜設定される。ここで、被検体はヒトの肉体等であることから、一般的に、音響レンズ25の音響インピーダンスは、圧電体のような硬質の物質に比して音響インピーダンスが極めて低く設定される。このことから、音響レンズ25は、設定された音響インピーダンスに対応する素材（例えば、軟質の高分子材料等）により形成される。

なお、音響レンズ25と音響整合層23との間での超音波の減衰や反射をより低減させるため、音響整合層23のうち、音響レンズ25と当接する部分（最上層23c）の音響インピーダンスは、音響レンズ25とほぼ同一であることが好ましい。

【0053】

音響レンズ25を構成する素材としては、従来公知のシリコン系ゴム、ブタジエン系

10

20

30

40

50

ゴム、ポリウレタンゴム、エポキシ樹脂等のホモポリマー、エチレンとプロピレンとを共重合させてなるエチレン-プロピレン共重合体ゴム等の共重合体ゴム等が適用可能である。これらのうち、シリコン系ゴム及びブタジエン系ゴムを用いることが好ましい。

【0054】

また、音響整合層23、圧電材22及びFPCにはダイシングが施されている。例えば、図7に示すように、音響整合層23、圧電材22及びFPCには、0.02mmの厚みを有するダイサーにて0.20mmピッチで音響整合層23からFPCまでダイシングが施されている。また、0.20mmピッチでダイシングされた各チャンネルには、さらに3等分するようにダイシングが施されている。

10

また、図示しないが、ダイシングにより生じたダイス溝にはシリコン接着剤等の樹脂が充填されている。

また、ダイシングにより生じたダイス溝には、図7に示すように、保護層24が設けられていてもよい。保護層24は、超音波探触子2が測定前後に洗浄される際、洗浄液が音響レンズ25を透過して音響レンズ25内部の構成部品および構成部品間の接着層への侵入することを防止し、精度の高い測定を可能にするガスバリア性を有する素材によって構成されている。

係るダイシングやダイス溝の充填に係る実施の形態の記載はあくまで一例であって、適宜変更可能である。また、図7の例は模式的なものであって、各層の厚みを限定するものではない。

20

【0055】

次に、圧電材22、背面反射材21b及びバッキング材21aの各々の音響インピーダンスと各部材間での超音波の反射について説明する。

背面反射材21bが設けられず、圧電材22の反対側にバッキング材21a等の圧電材22よりも音響インピーダンスが低い部材が接着されている場合、圧電材22から発生した超音波のうち反対側に送信された超音波が被検体側に反射される割合を示す反射率Rは、以下の式(1)により算出される。ここで、 Z_{pz} は、圧電材22の音響インピーダンスを示す。また、Zは、圧電材22の反対側に接着された部材の音響インピーダンスを示す。

$$R = (Z - Z_{pz}) / (Z_{pz} + Z) \dots (1)$$

30

【0056】

例えば、以下の表1に示すように、音響インピーダンスが33Mraylsである圧電材22の反対側に音響インピーダンスが5.8Mraylsであるバッキング材21aが接着されている場合、圧電材22から反対側に送信された超音波のうち、バッキング材21aにより反射される超音波の反射率Rは、式(1)に基づいて、約0.7となる。ここでは反射に伴う、反射波の極性反転は省略する。即ち、以下の表2に示すように、圧電材22とバッキング材21aとの界面における圧電材22から反対側に送信された超音波の反射率は約70%となる。係る反射率を示すバッキング材21aとして、例えば、エポキシ樹脂に10%体積分率のタングステン微粒子を分散させたものを材料としたバッキング材21aが挙げられるが、一例であってこれに限られるものでない。

40

【0057】

【表 1】

部材名	音響インピーダンス(MRayls)
圧電材	33
バックング材	5.8
背面反射材	107

10

【0058】

【表 2】

超音波の反射部位	反射率(%)
圧電材－バックング材間	70
圧電材－背面反射材間	52
背面反射材－バックング材間	90

20

【0059】

これに対し、上記の超音波探触子 2 における背面反射材 2 1 b のように、圧電材 2 2 とバックング材 2 1 a との間に圧電材 2 2 よりも音響インピーダンスが高い部材が設けられている場合、超音波の反射率は、背面反射材 2 1 b とバックング材 2 1 a との界面においてより高くなる。

【0060】

例えば、音響インピーダンスが 33 M r a y l s である圧電材 2 2 と音響インピーダンスが 5.8 M r a y l s であるバックング材 2 1 a との間に音響インピーダンスが 107 M r a y l s である背面反射材 2 1 b が設けられている場合、表 2 に示すように、圧電材 2 2 と背面反射材 2 1 b との界面における圧電材 2 2 から反対側に送信された超音波の反射率は約 52% となり、背面反射材 2 1 b とバックング材 2 1 a との界面における背面反射材 2 1 b 内を透過した超音波の反射率は約 90% となる。係る反射率を示す背面反射材 2 1 b として、WC を材料とした背面反射材 2 1 b が挙げられるが、一例であってこれに限られるものでない。

30

【0061】

言い換えれば、圧電材 2 2 から反対側に送信された超音波のうち 48% が背面反射材 2 1 b 内を透過し、透過した超音波の 90% が背面反射材 2 1 b とバックング材 2 1 a との界面で反射されて再度背面反射材 2 1 b を透過し、圧電材 2 2、音響整合層 2 3 及び音響レンズ 2 5 を経て被検体側に送信されることとなる。

40

このように、背面反射材 2 1 b が設けられている場合、圧電材 2 2 から反対側に送信された超音波は、圧電材 2 2 と背面反射材 2 1 b との界面だけでなく、背面反射材 2 1 b とバックング材 2 1 a との界面でも反射される。このことから、背面反射材 2 1 b とバックング材 2 1 a との界面で反射された超音波が被検体に送信されるまでの経路における当該超音波の減衰をより低減させることで、感度をより向上させることができる。

【0062】

そこで、本発明では、圧電材 2 2 と音響整合層 2 3 との界面よりも背面層 2 1 側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材である背面反射材 2 1 b を始点 P 1 とするとともに、音響レンズ 2 5 と音響整合層 2 3 との界面の位置を終点 P 2 として、始点 P 1 における音響インピーダンスから終点 P 2 における音響インピーダンスまで、音響インピーダン

50

スが漸次減少するように音響整合層 2 3 の音響インピーダンスが設定されている。これにより、背面反射材 2 1 b とパッキング材 2 1 a との界面で反射された超音波が被検体に送信されるまでの経路における当該超音波の減衰をより低減させることができることから、感度をより向上させることができる。

【0063】

具体例として、背面層 2 1 から音響レンズ 2 5 に至る音響インピーダンスの減少を示すグラフを図 8 に示す。図 8 に示す例では、音響インピーダンスが最も大きい部材の反対側の面の位置、即ち、パッキング材 2 1 a と当接する側の背面反射材 2 1 b の面の位置を始点 P 1 としている。そして、始点 P 1 における音響インピーダンスから終点 P 2 における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが指数関数的に減少するように音響整合層 2 3 の音響インピーダンスが設定されている。

10

【0064】

図 8 では、パッキング材 2 1 a と当接する側の背面反射材 2 1 b の面の位置を始点 P 1 としているが、始点 P 1 が厳密にパッキング材 2 1 a と当接する側の背面反射材 2 1 b の面の位置に存せずとも、背面反射材 2 1 b の音響インピーダンスが圧電材 2 2 の音響インピーダンスよりも高く設けられ、音響整合層 2 3 の初期音響インピーダンスが圧電材 2 2 よりも低く設けられることで背面反射材 2 1 b から圧電材 2 2、音響整合層 2 3 を経て音響レンズ 2 5 に至る部材の音響インピーダンスが漸次小さくなるようになっていれば、背面反射材 2 1 b とパッキング材 2 1 a との界面で反射された超音波の減衰をより低減することができることから、感度をより向上させることができる。具体的には、超音波探触子 2 の場合、音響インピーダンスの始点 P 1 が背面反射材 2 1 b 内であれば、背面反射材 2 1 b から圧電材 2 2、音響整合層 2 3 を経て音響レンズ 2 5 に至る部材の音響インピーダンスが漸次小さくなるようにすることができる。

20

【0065】

以下、実施例についてより具体的な条件及び測定結果により説明するが、勿論本発明はこれらの数値のものに限定されるものではない。

便宜上、圧電材 2 2 から発生する超音波の中心周波数を f_0 、圧電材 2 2 の板厚を t_{pz} 、背面反射材 2 1 b の音響インピーダンスを Z_{dm1} 、背面反射材 2 1 b の板厚を t_{dm1} 、パッキング材 2 1 a の音響インピーダンスを Z_{bk} 、音響レンズ 2 5 の音響インピーダンスを Z_a と記載する。

30

また、音響整合層 2 3 の厚みを t_{sgm1} 、音響整合層 2 3 内を透過する中心周波数の超音波の音速を V_{sgm1} と記載する。また、音響整合層 2 3 の音響インピーダンスのうち、圧電材 2 2 と当接する部分（例えば、最下層 2 3 a）の音響インピーダンス（初期音響インピーダンス）を Z_{slgm1} と記載する。

【0066】

図 8 に示すように、 $f_0 = 10 \text{ MHz}$ 、 $Z_{pz} = 32.76 \text{ MRayls}$ 、 $t_{pz} = 105 \mu\text{m}$ 、 $Z_{dm1} = 107 \text{ MRayls}$ 、 $t_{dm1} = 80 \mu\text{m}$ 、 $Z_{bk} = 2.8 \text{ MRayls}$ 、 $Z_a = 1.5 \text{ MRayls}$ の条件下における本発明の実施例と従来の超音波探触子に基づく第 1 比較例とを比較した。ここで、 $Z_{dm1} > Z_{pz}$ である。即ち、背面反射材 2 1 b の音響インピーダンスは、圧電材 2 2 の音響インピーダンスよりも高い

40

。また、図 8 に示すように、実施例は、 $Z_{slgm1} = 25 \text{ MRayls}$ 、 $t_{sgm1} = 0.64 \mu\text{m}$ である。第 1 比較例は、 $Z_{slgm1} = 32.76 \text{ MRayls}$ 、 $t_{sgm1} = 0.7 \mu\text{m}$ である。ここで、実施例は、 $Z_{pz} > Z_{slgm1}$ である。即ち、実施例は、初期音響インピーダンスが圧電材 2 2 の音響インピーダンス未満である。

一方、図 9 に示すように、第 1 比較例は、 $Z_{pz} = Z_{slgm1}$ であり、初期音響インピーダンスが圧電材 2 2 の音響インピーダンスと等しい。

【0067】

図 10 は、実施例及び第 1 比較例の感度の測定結果を示すグラフである。図 10 では、実施例に係る測定結果を実線 L 1 で示し、第 1 比較例に係る測定結果を破線 L 2 で示して

50

いる。

図10に示すように、本発明の実施例は、第1比較例に対して、0～20MHzの超音波の周波数帯における感度(dB)の値が描くグラフの曲線形状(帯域形状)を維持しつつ、周波数帯の全域に渡って感度を上げることができる。特に、中心周波数及び中心周波数付近の超音波における感度を約5dB上げることができる。

【0068】

以上、本実施形態の超音波画像診断装置Sによれば、圧電材22と音響整合層23との界面よりも背面層21側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材(例えば、背面反射材21b)の位置を始点P1とするとともに、音響レンズ25と音響整合層23との界面の位置を終点P2として、始点P1における音響インピーダンスから終点P2における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが漸次減少するように音響整合層23の音響インピーダンスが設定されているので、初期音響インピーダンスが圧電材22の音響インピーダンス未満となり、図10等に示すように、感度を上げることができる。即ち、本実施形態によれば、より感度のよい超音波探触子及び超音波画像診断装置を提供することができる。

10

【0069】

また、音響インピーダンスの始点P1が圧電材22と音響整合層23との界面よりも背面層21側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材(例えば、背面反射材21b)の反対側の面の位置にあるので、反射された超音波の経路における背面反射材21b、圧電材22、音響整合層23の音響インピーダンスを漸次小さくすることができる。即ち、バッキング材21aと背面反射材21bとの界面にて反射された超音波の減衰をより低減することができることから、より感度を上げることができる。

20

【0070】

また、音響整合層23が、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層からなり、複数の層の各々の厚みが、各層が有する音速及び超音波の中心周波数に応じた波長単位で1/4波長未満であるので、超音波が各層を透過する距離をより短くすることで超音波の減衰をより低減することができることから、より感度を上げることができる。

【0071】

また、圧電材22及び音響整合層23の音響インピーダンスが、起点から音響レンズ25に向かって指数関数的に減少するので、圧電材22から音響レンズ25までの音響インピーダンスの減少に要する距離を徒に長くすることなく、超音波の減衰をより低減することが可能な音響インピーダンスの減少を実現することができることから、より感度を上げることができる。

30

【0072】

(変形例)

次に、本発明の変形例について図11～図13を参照して説明する。

変形例の超音波探触子200における背面層21は、背面反射材21bを備えず、バッキング材21aのみを備え、圧電材22は、バッキング材21a上に積層されている。バッキング材21a。超音波探触子200は、背面層21がバッキング材21aのみを備え、圧電材22の電極とFPCが直接当接する点を除いて上記の実施形態における超音波探触子2と同様の構成を備えるので、図11にて同じ符号を付し、詳細な説明を省略する。

40

【0073】

上記にて式(1)を用いて説明したように、圧電材22とバッキング材21aとの界面でも圧電材22の背面側に送信された超音波は反射される。この場合、反射された超音波は、圧電材22、音響整合層23及び音響レンズ25を経て被検体側に送信されることとなる。よって、圧電材22とバッキング材21aとの界面で反射された超音波が被検体に送信されるまでの経路における当該超音波の減衰をより低減させることで、感度をより向上させることができる。

変形例においても、圧電材22と音響整合層23との界面よりも背面層21側に存する音響インピーダンスが最も大きい部材である圧電材22を始点P1とするとともに、音響

50

レンズ 25 と音響整合層 23 との界面の位置を終点 P2 として、始点 P1 における音響インピーダンスから終点 P2 における音響インピーダンスまで、音響インピーダンスが漸次減少するように音響整合層 23 の音響インピーダンスが設定されている。

また、図 12 に示すように、変形例では、音響インピーダンスが最も大きい部材の反対側の面、即ち、圧電材 22 とバッキング材 21a との界面を始点 P1 としている。これにより、圧電材 22 とバッキング材 21a との界面で反射された超音波が被検体に送信されるまでの経路における当該超音波の減衰をより低減させることができることから、感度をより向上させることができる。

【0074】

以下、変形例についてより具体的な条件及び測定結果により説明するが、勿論本発明の変形例はこれらの数値のものに限定されるものではない。

$f_0 = 10 \text{ MHz}$ 、 $Z_{pz t} = 32.76 \text{ MRayls}$ 、 $t_{pz t} = 105 \mu\text{m}$ 、 $Z_{bk} = 2.8 \text{ MRayls}$ 、 $Z_a = 1.5 \text{ MRayls}$ の条件下における変形例と従来の超音波探触子に基づく第 2 比較例とを比較した。

図 12 に示すように、変形例は、 $Z_{sl g m l} = 25 \text{ MRayls}$ 、 $t_{s g m l} = 0.64 \mu\text{m}$ である。第 2 比較例は、 $Z_{sl g m l} = 32.76 \text{ MRayls}$ 、 $t_{s g m l} = 0.7 \mu\text{m}$ である。ここで、変形例は、 $Z_{pz t} > Z_{sl g m l}$ である。即ち、変形例は、初期音響インピーダンスが圧電材 22 の音響インピーダンス未満である。一方、第 2 比較例は、 $Z_{pz t} = Z_{sl g m l}$ であり、初期音響インピーダンスが圧電材 22 の音響インピーダンスと等しい。

【0075】

図 13 は、変形例及び第 2 比較例の感度の測定結果を示すグラフである。図 13 では、変形例に係る測定結果を実線 L3 で示し、第 2 比較例に係る測定結果を破線 L4 で示している。

図 13 に示すように、本発明の変形例は、第 2 比較例に対して、0 ~ 20 MHz の超音波の周波数帯における帯域形状を維持しつつ、中心周波数の超音波における感度を数 dB 上げることができる。

【0076】

なお、本発明の実施の形態は、今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

【0077】

例えば、音響整合層 23 は、3 層による構成に限らず、音響整合層 23 を構成する複数の層の数や複数の層の形成方法を適宜変更してもよい。一例として、音響整合層 23 を構成する複数の層の各々は各層を構成する素材の塗布により積層されるようにしてもよい。この場合、具体的には、上記にて説明した音響整合層 23 として用いられうる材料のうち、温度等の調節により流動性及び粘性を有する塗布可能な形態を取る樹脂等を材料とする。また、充填剤の種類や量の調整等により、それぞれ音響インピーダンスが異なる複数の層の材料を用意する。そして、音響インピーダンスが相対的に低い材料が音響レンズ 25 側になり、音響インピーダンスが相対的に高い材料が反対側になるように、複数の材料を順次塗り重ねるように音響整合層 23 を形成する。

【0078】

音響整合層 23 を構成する複数の層の各々は各層を構成する素材の塗布により積層されるようにすることで、音響整合層 23 内における音響インピーダンスの減少をより理想的な減少曲線に対応させることができることから、音響整合層 23 内における超音波の減衰をより小さくすることができ、より感度を上げることができる。

【0079】

また、音響整合層 23 は、複数の層からなる多層構造以外の構造により音響インピーダンスを始点 P1 側から終点 P2 まで漸次減少させるようにしてもよい。例えば、上記にて

10

20

30

40

50

言及した音響整合層 2 3 の材料で単一部材の音響整合層 2 3 を形成し、さらに、当該材料で形成された単一部材における充填材の割合を始点 P 1 側から終点 P 2 側まで漸次変化させることにより音響整合層 2 3 の音響インピーダンスを始点 P 1 側から終点 P 2 まで漸次減少させるようにしてもよい。

【 0 0 8 0 】

また、上記の実施例や変形例では、圧電材 2 2 と音響整合層 2 3 との界面の反対側から音響レンズ 2 5 に至る音響インピーダンスの減少が指数関数的な減少曲線を示しているが、一例であってこれに限られるものでなく、適宜設定可能である。例えば、超音波画像診断装置の用途等に応じて、圧電材 2 2 と音響整合層 2 3 との界面の反対側から音響レンズ 2 5 に至る音響インピーダンスの減少が直線比例的な減少を示してもよいし、他の減少曲線を示すようにしてもよい。

10

【 0 0 8 1 】

なお、本発明の実施の形態における記述は、本発明に係る超音波画像診断装置の一例であり、これに限定されるものではない。超音波画像診断装置を構成する各機能部の細部構成及び細部動作に関しても、本発明の特徴を逸脱しない範囲内で適宜変更可能である。

【 符号の説明 】

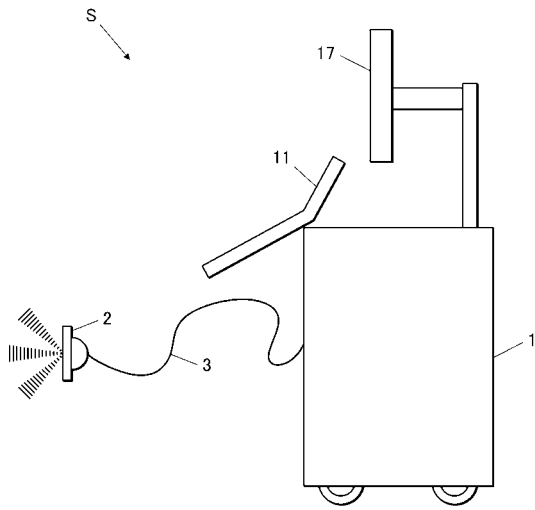
【 0 0 8 2 】

S	超音波画像診断装置
2、200	超音波探触子
2 a	振動子
1 2	送信部
1 3	受信部
1 4	画像生成部
1 5	メモリー部
1 7	表示部
2 1	背面層
2 1 a	バッキング材
2 1 b	背面反射材
2 2	圧電材
2 3	音響整合層
2 3 a	最下層
2 3 b	中間層
2 3 c	最上層
2 4	保護層
2 5	音響レンズ
P 1	始点
P 2	終点

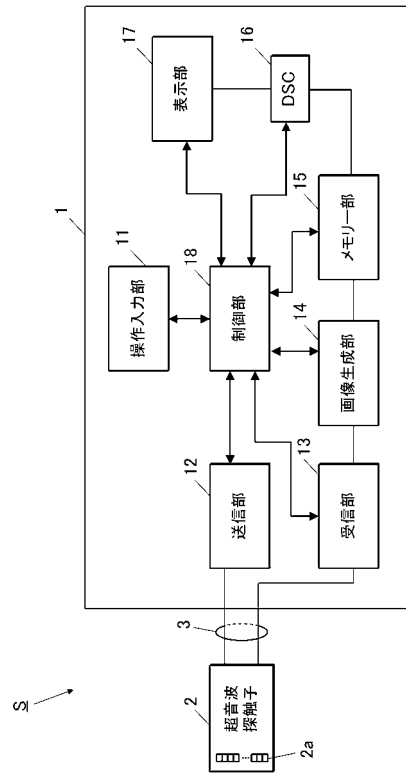
20

30

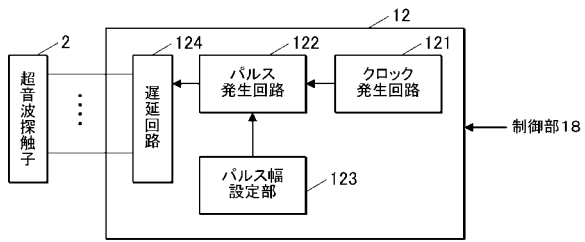
【図1】



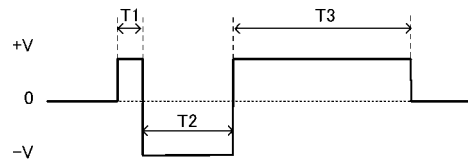
【図2】



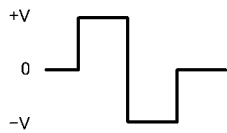
【図3】



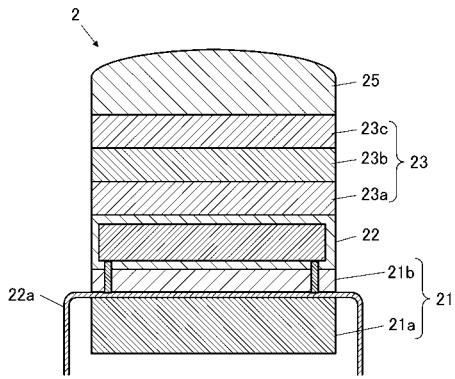
【図5】



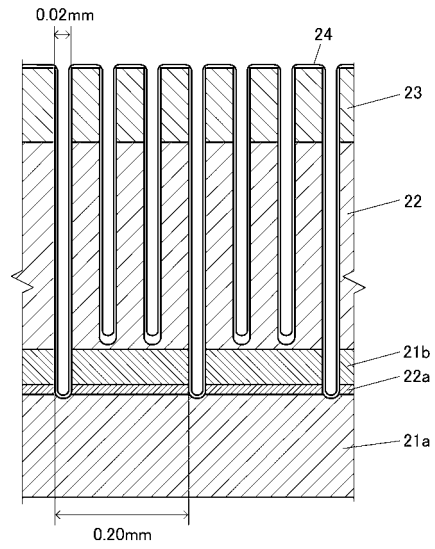
【図4】



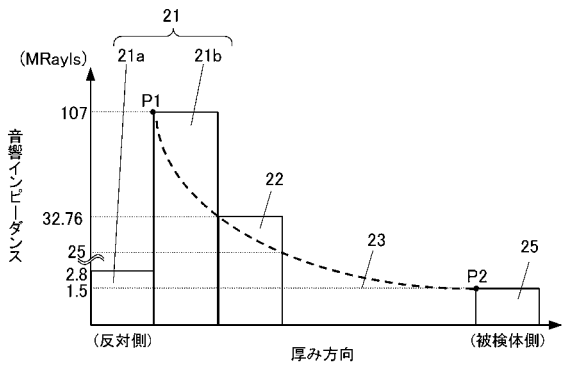
【 図 6 】



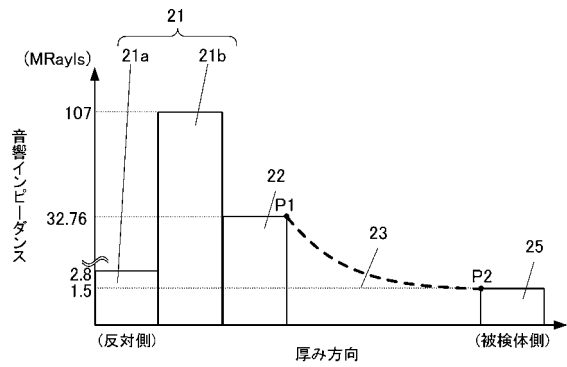
【 図 7 】



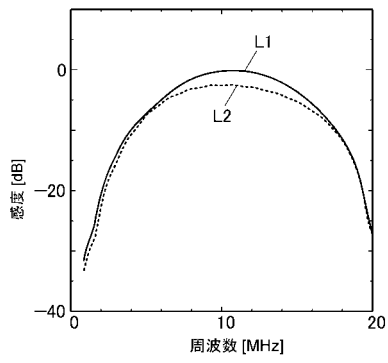
【 図 8 】



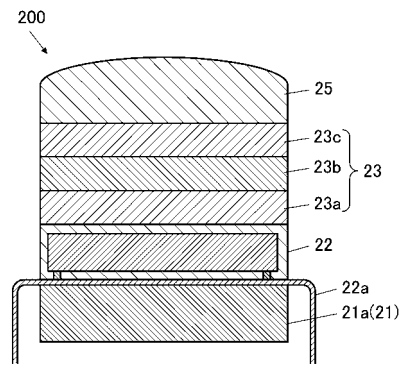
【 図 9 】



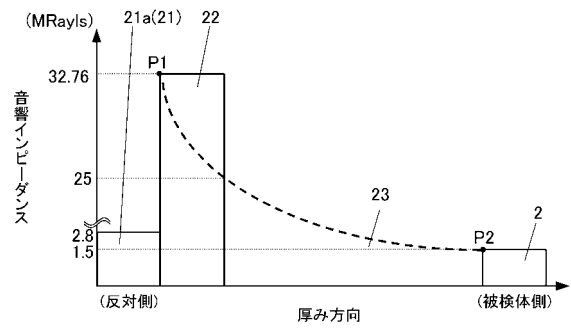
【図 10】



【図 11】



【図 12】



【図 13】

