

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6186957号  
(P6186957)

(45) 発行日 平成29年8月30日(2017.8.30)

(24) 登録日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int. Cl. F I  
**A 6 1 B 8/00 (2006.01)** A 6 1 B 8/00  
**H 0 4 R 17/00 (2006.01)** H 0 4 R 17/00 3 3 0 J

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-140372 (P2013-140372)	(73) 特許権者	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
(22) 出願日	平成25年7月4日(2013.7.4)	(74) 代理人	110001254 特許業務法人光陽国際特許事務所
(65) 公開番号	特開2015-12943 (P2015-12943A)	(72) 発明者	奥田 修平 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コ ニカミノルタ株式会社内
(43) 公開日	平成27年1月22日(2015.1.22)	審査官	富永 昌彦
審査請求日	平成28年1月21日(2016.1.21)	(56) 参考文献	特開2000-131298 (JP, A) ) 特開2007-129554 (JP, A) ) 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波探触子及び超音波画像診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

超音波を送受信する圧電素子と、前記圧電素子の前面に設けられるn層(nは2以上の整数)の音響整合層と、前記音響整合層の前面に設けられる音響レンズと、前記圧電素子の後面に設けられる音響反射層と、を備えた超音波探触子であって、

前記音響反射層の層厚を $t_d$ 、前記圧電素子の層厚を $t_p$ 、及び前記圧電素子側から数えて1層目~n層目の前記音響整合層の層厚をそれぞれ $t_{m(1)}$ 、 $t_{m(2)}$ 、 $\dots$ 、 $t_{m(n)}$ とし、前記音響反射層内を伝播する、当該超音波探触子の送受信帯域の中心周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cd}$ 、前記圧電素子内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cp}$ 、及び前記圧電素子側から数えて1層目~n層目の前記音響整合層内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長をそれぞれ $\lambda_{cm(1)}$ 、 $\lambda_{cm(2)}$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_{cm(n)}$ としたとき、下記式(1)を満たし、

$\frac{t_{m(1)}}{\lambda_{cm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{cm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{cm(n)}} \geq 0.1$  がいずれも0.1より大きいことを特徴とする超音波探触子。

【数1】

$$\left( \frac{t_d}{\lambda_{cd}} + \frac{t_p}{\lambda_{cp}} + \frac{t_{m(1)}}{\lambda_{cm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{cm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{cm(n)}} \right) \leq \frac{3}{4} \quad \dots(1)$$

【請求項2】

前記音響整合層における層数が3層以上で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】

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請求項1又は2に記載の超音波探触子と、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、を備えることを特徴とする超音波画像診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【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】

超音波は、非破壊且つ無害で被検体内部を調べることが可能であることから、内部欠陥の検査や疾患の診断等の様々な分野に応用されている。その応用分野の一つに、被検体内を超音波で走査し、被検体内からの反射超音波から生成した受信信号に基づいて、当該被検体内の内部状態を画像化する超音波画像診断装置がある。

【0003】

この超音波画像診断装置には、被検体に対して超音波を送受信する超音波探触子が設けられている。この超音波探触子は、圧電現象を利用することによって、駆動信号に基づいて機械振動して超音波を発生し、被検体内部において音響インピーダンスの差によって生じる反射超音波を受けて受信信号を生成する複数の圧電素子を備えている。

20

超音波探触子は、圧電素子から出力される超音波をスライス方向に集束させる音響レンズと、圧電素子と音響レンズとの間に配置され、圧電素子と被検体との音響インピーダンスを整合させる音響整合層と、を備え、さらに、圧電素子の背面側には、超音波振動子から後方へ放射される超音波を反射、減衰及び吸収するためのバックリング層が設けられている。なお、音響整合層は、3層以上設けられることで、超音波探触子の感度及び応答性を改良できることが知られている（例えば、特許文献1参照）。

【0004】

30

このような超音波探触子において、圧電素子とバックリング層との間に、音響反射層を設け、圧電素子の背面から出力される超音波を前面側へ反射させることで、前面側に出力される超音波のエネルギーを増大させる技術が提供されており（例えば、特許文献2参照）、超音波探触子には距離方向の感度及び分解能を向上させるために広帯域でかつ低損失、低リップルであることが要求されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開昭60-185499号公報

【特許文献2】米国特許第6685647号明細書

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、音響整合層が複数層設けられ、全体の層厚が増大した超音波探触子に、音響反射層を更に設けると、超音波探触子内で超音波が反射し、超音波探触子から出力される超音波の送受信帯域内に不要な共振が含まれてリップルが発生してしまう場合がある。このような場合、生成される超音波画像の画質が低下するという問題がある。

【0007】

そこで、本発明は、高画質な超音波画像が得られる超音波探触子、及びこれを備えた超音波画像診断装置を提供することを目的としている。

50

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

以上の課題を解決するため、請求項1に記載の発明は、

超音波を送受信する圧電素子と、前記圧電素子の前面に設けられるn層（nは2以上の整数）の音響整合層と、前記音響整合層の前面に設けられる音響レンズと、前記圧電素子の後面に設けられる音響反射層と、を備えた超音波探触子であって、

前記音響反射層の層厚を $t_d$ 、前記圧電素子の層厚を $t_p$ 、及び前記圧電素子側から数えて1層目～n層目の前記音響整合層の層厚をそれぞれ $t_{m(1)}$ 、 $t_{m(2)}$ 、 $\dots$ 、 $t_{m(n)}$ とし、前記音響反射層内を伝播する、当該超音波探触子の送受信帯域の中心周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cd}$ 、前記圧電素子内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cp}$ 、及び前記圧電素子側から数えて1層目～n層目の前記音響整合層内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長をそれぞれ $\lambda_{cm(1)}$ 、 $\lambda_{cm(2)}$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_{cm(n)}$ としたとき、下記式(1)を満たし、

$\frac{t_{m(1)}}{\lambda_{cm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{cm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{cm(n)}} \geq 0.1$  がいずれも0.1より大きいことを特徴とする超音波探触子。

10

## 【0009】

## 【数1】

$$\left( \frac{t_d}{\lambda_{cd}} + \frac{t_p}{\lambda_{cp}} + \frac{t_{m(1)}}{\lambda_{cm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{cm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{cm(n)}} \right) \leq \frac{3}{4} \quad \dots(1)$$

20

## 【0010】

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において、

前記音響整合層における層数が3層以上であることを特徴とする。

## 【0011】

請求項3に記載の発明は、超音波画像診断装置において、

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請求項1又は2に記載の超音波探触子と、

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、

を備えることを特徴とする。

30

## 【発明の効果】

## 【0012】

本発明によれば、高画質な超音波画像が得られる超音波探触子及びこれを備えた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】

## 【0013】

【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】超音波探触子の概略構成を示す断面図である。

40

【図4】多数の構成層からなる従来の超音波探触子における周波数応答を示す図である。

【図5】構成が異なる各超音波探触子において、各リップルが現れる周波数をそれぞれプロットした図である。

【図6】超音波探触子の周波数応答を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0014】

以下、本発明の実施の形態に係る超音波画像診断装置について、図面を参照して説明する。ただし、発明の範囲は図示例に限定されない。なお、以下の説明において、同一の機能及び構成を有するものについては、同一の符号を付し、その説明を省略する。

## 【0015】

50

本実施の形態に係る超音波画像診断装置5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、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。

【0016】

超音波探触子2は、圧電素子（後述する圧電素子24）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良い。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良く、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。

【0017】

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11と、送信部12と、受信部13と、画像生成部14と、メモリー部15と、DSC（Digital Scan Converter）16と、表示部17と、制御部18とを備えて構成されている。

【0018】

操作入力部11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など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18に出力する。

【0019】

送信部12は、制御部18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。また、送信部12は、例えば、クロック発生回路、遅延回路、パルス発生回路を備えている。クロック発生回路は、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。遅延回路は、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（送信ビームフォーミング）を行うための回路である。パルス発生回路は、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。上述のように構成された送信部12は、例えば、超音波探触子2に配列された複数（例えば、192個）の振動子のうちの連続する一部（例えば、64個）を駆動して送信超音波を発生させる。そして、送信部12は、後述するBモードによる超音波画像を取得する場合には、送信超音波を発生させる毎に駆動する振動子を方位方向にずらすことで走査（スキャン）を行う。また、本実施の形態では、送信部12は、パルスドプラー法による超音波画像を表示するためのパルス波による送信超音波を超音波探触子2に発生させることができる。

【0020】

受信部13は、制御部18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13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2a毎に対応した個別経路毎に、あらかじ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2a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

20

30

40

50

## 【 0 0 2 1 】

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などを実施し、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。すなわち、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。

## 【 0 0 2 2 】

メモリー部 1 5 は、例えば、D R A M (Dynamic Random Access Memory) など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。すなわち、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。

10

## 【 0 0 2 3 】

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。

## 【 0 0 2 4 】

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良い。

20

## 【 0 0 2 5 】

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。

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。

30

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 2 6 】

次に、本実施の形態に係る超音波探触子 2 について、図 3 を参照しながら説明する。

## 【 0 0 2 7 】

超音波探触子 2 は、図 3 に示すように、例えば、バッキング層 2 1 と、フレキシブルプリント基板 (F P C ; Flexible printed circuits) 2 2 を介してバッキング層 2 1 の前面に積層された音響反射層 2 3 と、音響反射層 2 3 の前面に積層された圧電素子 2 4 と、圧電素子 2 4 の前面に積層された音響整合層 2 5 と、音響整合層 2 5 の前面に積層された音響レンズ 2 6 と、を備えて構成されている。なお、バッキング層 2 1、F P C 2 2、音響反射層 2 3、圧電素子 2 4 及び音響整合層 2 5 の積層体には、複数の切り込み溝 2 7 が形成されており、当該切り込み溝 2 7 には充填材 2 8 が充填されている。

40

## 【 0 0 2 8 】

バッキング層 2 1 は、音響反射層 2 3、圧電素子 2 4 及び音響整合層 2 5 を支持し、不要な超音波を吸収し得る超音波吸収体である。すなわち、バッキング層 2 1 は、圧電素子 2 4 の被検体に超音波を送受信する面と反対側の面に装着され、被検体と反対側の方向へ発生する超音波を吸収する。

## 【 0 0 2 9 】

バッキング層 2 1 を構成するバッキング材としては、天然ゴム、フェライトゴム、エポ

50

キシ樹脂や、これらの材料に酸化タング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などの熱可塑性樹脂などが適用できる。

【0030】

好ましいバッキング材としては、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、その形状は圧電素子24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。

10

【0031】

音響反射層23は、圧電素子24で発生した超音波を反射する層であり、圧電素子24とFPC22との間に接着して設けられている。音響反射層23は、後側方向に照射される超音波を、前側(被検体側)へ反射させて、被検体に入射する超音波のパワーを増大させる。音響反射層は、超音波を反射させるものであるため、圧電素子24よりも音響インピーダンスの大きいものが材料として用いられることが好ましく、例えばタングステン等が用いられる。また、音響反射層23は同時に高い導電性を有する物質でもあり、FPC22と圧電素子24とを電氣的に接続している。

【0032】

圧電素子24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あり、超音波の送受信が可能な素子である。

20

【0033】

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れば良く、圧電材料としては、チタン酸ジルコン酸鉛(PZT)系セラミックス、リラクサ系、ニオブ酸鉛系及びチタン酸鉛系の圧電セラミックスや、チタン酸亜鉛酸ニオブ酸鉛(PZNT)、マグネシウム酸ニオブ酸チタン酸(PMNT)等の単結晶が好適に用いられる。

また、圧電材料としては、上記した材料を加工し、充填材を加えた複合圧電体を使用するものとしても良い。この充填材としては、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、ウレタン樹脂、ポリエチレン樹脂、ポリウレタン樹脂等の有機合成高分子材料を用いることができる。

30

【0034】

圧電材料の前面及び後面には、図示しない一対の電極がそれぞれ設けられている。一方の電極は、FPC22からの電源電圧を圧電素子24に対して印加する。他方の電極は、図示しないグランド引き出しFPCを通じてアース接続されている。

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)などが挙げられる。

【0035】

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)など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一部絶縁材料をスパッタ法、その他の適当な方法で0.02~10μmの厚さに形成する方法が挙げられる。

40

【0036】

電極形成はスパッタ法以外でも、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。

【0037】

50

上記したように、圧電素子 2 4 は、電極が F P C 2 2 と接触されており、F P C 2 2 はケーブル 3 と電気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 F P C を介して圧電素子 2 4 に入力され、圧電素子 2 4 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。

【 0 0 3 8 】

音響整合層 2 5 は、圧電素子 2 4 と被検体との間の音響インピーダンスを整合させ、境界面での反射を抑制するものである。音響整合層 2 5 は、圧電素子 2 4 の、超音波の送受信が行われる送受信方向である被検体側に装着される。

【 0 0 3 9 】

音響整合層 2 5 はそれぞれ、圧電素子 2 4 の音響インピーダンスと被検体の音響インピーダンスとの中間程度の音響インピーダンスを有する。音響整合層 2 5 は、少なくとも 2 層以上設けられ、好ましくは 3 層以上設けられている。それらの各音響整合層 2 5 は、後側から前側にかけて音響インピーダンスが漸次低くなるように設定される。

【 0 0 4 0 】

音響整合層 2 5 に用いられる材料としては、アルミ、アルミ合金（例えば A L - M g 合金）、マグネシウム合金、マコールガラス、ガラス、溶融石英、コッパグラファイト、P E（ポリエチレン）や P P（ポリプロピレン）、P C（ポリカーボネート）、A B C 樹脂、A B S 樹脂、A A S 樹脂、A E S 樹脂、ナイロン（P A 6、P A 6 - 6）、P P O（ポリフェニレンオキシド）、P P S（ポリフェニレンスルフィド：ガラス繊維入りも可）、P P E（ポリフェニレンエーテル）、P E E K（ポリエーテルエーテルケトン）、P A I（ポリアミドイミド）、P E T P（ポリエチレンテレフタレート）、エポキシ樹脂、ウレタン樹脂等を用いることができる。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、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、タングステン、モリブデン等を入れて均一になるように混練、成型したものが適用できる。また、音響整合層 2 5 には、シリコン樹脂粒子が含有されているものとしても良い。

【 0 0 4 1 】

なお、バッキング層 2 1、F P C 2 2、音響反射層 2 3、圧電素子 2 4 及び音響整合層 2 5 の積層体は、ダイシングブレードによりダイシングされ、所定のピッチで複数の切り込み溝 2 7 が形成されている。これにより、複数の振動子 2 a が形成されている。

【 0 0 4 2 】

また、切り込み溝 2 7 には、充填材 2 8 が充填されている。これにより、上記積層体の前面が平坦状になっている。

充填材 2 8 として用いられる材料は、エポキシ樹脂やシリコン樹脂などの汎用樹脂が挙げられる。これらの材料には、物性調整のためにフィラーなどの他の添加物が加えられていても良い。

【 0 0 4 3 】

音響レンズ 2 6 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。すなわち、音響レンズ 2 6 は、超音波探触子 2 の被検体と接する側に設けられ、圧電素子 2 4 にて発生した超音波を、被検体に効率良く入射させる。音響レンズ 2 6 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。

【 0 0 4 4 】

音響レンズ 2 6 は、被検体と略同程度の音響インピーダンスを有する軟質の高分子材料により形成される。

【 0 0 4 5 】

音響レンズ 2 6 を構成する素材としては、従来公知のシリコン系ゴム、ブタジエン系ゴム、ポリウレタンゴム、エピクロルヒドリンゴム等のホモポリマー、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

10

20

30

40

50

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。

#### 【0046】

本実施の形態で使用されるシリコン系ゴムとしては、シリコンゴム、フッ素シリコンゴム等が挙げられる。特に、レンズ材の特性上、シリコンゴムを使用することが好ましい。シリコンゴムとは、Si-O結合からなる分子骨格を有し、そのSi原子に複数の有機基が主結合したオルガノポリシロキサンをいい、通常は、その主成分はメチルポリシロキサンで、全体の有機基のうち90%以上はメチル基である。メチル基に代えて水素原子、フェニル基、ビニル基、アリル基等を導入したものも使用することができる。当該シリコンゴムは、例えば、高重合度のオルガノポリシロキサンに過酸化ベンゾイルなどの硬化剤（加硫剤）を混練し、加熱加硫し硬化させることにより得ることができる。必要に応じてシリカ、ナイロン粉末等の有機又は無機充填剤、硫黄、酸化亜鉛等の加硫助剤等を添加しても良い。

10

#### 【0047】

本実施の形態で使用されるブタジエン系ゴムとしては、ブタジエン単独又はブタジエンを主体としこれに少量のスチロール又はアクリロニトリルが共重合した共重合ゴム等が挙げられる。特に、レンズ材の特性上、ブタジエンゴムを使用することが好ましい。ブタジエンゴムとは、共役二重結合を有するブタジエンの重合により得られる合成ゴムをいう。ブタジエンゴムは、共役二重結合を有するブタジエン単独が1.4又は1.2重合することにより得ることができる。ブタジエンゴムは、硫黄等により加硫させたものが使用できる。

20

#### 【0048】

本実施の形態に係る音響レンズ26においては、シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとを混合し加硫硬化させることにより得ることができる。例えば、シリコンゴムとブタジエンゴムとを適宜割合で、混練ロールにより、混合し、過酸化ベンゾイルなどの加硫剤を添加し、加熱加硫し架橋（硬化）させることにより得ることができる。その際に、加硫助剤として、酸化亜鉛を添加することが好ましい。酸化亜鉛は、レンズ特性を落とさずに、加硫促進を促し、加硫時間を短縮できる。他に、着色剤や音響レンズの特性を損なわない範囲内で他の添加剤を添加しても良い。シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとの混合割合は、その音響インピーダンスが人体に近似しているとともに、その音速が人体より小さく、減衰が少ないものを得るには、通常、1:1が好ましいが、当該混合割合は適宜変更可能である。

30

#### 【0049】

シリコンゴムは、市販品として入手することができ、例えば信越化学社製、KE742U、KE752U、KE931U、KE941U、KE951U、KE961U、KE850U、KE555U、KE575U等や、モメンティブパフォーマンスマテリアル社製のTSE221-3U、TE221-4U、TSE2233U、XE20-523-4U、TSE27-4U、TSE260-3U、TSE-260-4Uやダウコーニング東レ社製のSH35U、SH55UA、SH831U、SE6749U、SE1120USE4704Uなどを用いることができる。

40

#### 【0050】

なお、本実施の形態においては、上記シリコン系ゴム等のゴム素材をベース（主成分）として、音速調整、密度調整等の目的に応じ、シリカ、アルミナ、酸化チタンなどの無機充填剤や、ナイロンなどの有機樹脂等を配合することもできる。

#### 【0051】

超音波探触子2を構成する各層は、図示しない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。当該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。

#### 【0052】

ここで、本実施形態における超音波探触子2は、音響反射層23の層厚を $t_d$ 、圧電素

50

子24の層厚を $t_p$ 、及び圧電素子24側から数えて1層目～ $n$ 層目の音響整合層25の層厚をそれぞれ $t_{m(1)}$ 、 $t_{m(2)}$ 、 $\dots$ 、 $t_{m(n)}$ とし、音響反射層内23を伝播する、超音波探触子2の送受信帯域の中心周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cd}$ 、圧電素子24内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長を $\lambda_{cp}$ 、及び圧電素子24側から数えて1層目～ $n$ 層目の音響整合層25内を伝播する周波数 $f_c$ の超音波の波長をそれぞれ $\lambda_{cm(1)}$ 、 $\lambda_{cm(2)}$ 、 $\dots$ 、 $\lambda_{cm(n)}$ としたとき、下記式(1)を満たすように設定されている。

【0053】

【数2】

$$\left( \frac{t_d}{\lambda_{cd}} + \frac{t_p}{\lambda_{cp}} + \frac{t_{m(1)}}{\lambda_{cm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{cm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{cm(n)}} \right) \leq \frac{3}{4} \quad \dots(1)$$

10

【0054】

上記式(1)を変形すると、以下のようになる。

【0055】

【数3】

$$\left( \frac{t_d}{v_d} f_c + \frac{t_p}{v_p} f_c + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} f_c + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} f_c + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} f_c \right) \leq \frac{3}{4}$$

20

$$\left( \frac{t_d}{v_d} + \frac{t_p}{v_p} + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} \right) f_c \leq \frac{3}{4}$$

$$\left( \frac{t_d}{v_d} + \frac{t_p}{v_p} + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} \right) \leq \frac{3}{4} \times \frac{1}{f_c} \quad \dots(2)$$

【0056】

上記各式において、 $f_c$ は超音波探触子の送受信帯域の中心周波数を表す。送受信帯域とは、超音波探触子で超音波を反射板に送信し、反射して帰ってきた超音波を超音波探触子で受信した際の周波数応答である。途中の媒質の影響は考慮にいけない。実際に測定を行う場合は、探触子と反射板の間の媒質には、例えば脱気した水を使用することで減衰等の影響が小さい状態で測定を行うことができる。超音波探触子の送受信帯域の中心周波数とは、送受信帯域の最大感度から-6dBの帯域における中心周波数をいう。また、 $v_d$ は音響反射層23における超音波の音速を、 $v_p$ は圧電素子24における超音波の音速を、 $v_{m(1)}$ 、 $v_{m(2)}$ 、 $\dots$ 、 $v_{m(n)}$ は、圧電素子24側から数えて1層目～ $n$ 層目の音響整合層25における超音波の音速を、それぞれ表す。

30

【0057】

ここで、多数の構成層からなる従来の超音波探触子の周波数応答の一例を図4に示す。このような周波数応答において、低周波数側から数えて1番目のリップル(リップル1)、2番目のリップル(リップル2)、3番目のリップル(リップル3)、4番目のリップル(リップル4)のうち、リップル3の共振条件は、下記式で表される。

40

【0058】

【数4】

$$\left( \frac{t_d}{\lambda_{xd}} + \frac{t_p}{\lambda_{xp}} + \frac{t_{m(1)}}{\lambda_{xm(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{\lambda_{xm(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{\lambda_{xm(n)}} \right) = \frac{5}{4} \quad \dots(3)$$

50

【 0 0 5 9 】

上記式 ( 3 ) を変形すると、以下ようになる。

【 0 0 6 0 】

【 数 5 】

$$\left( \frac{t_d}{v_d} f_x + \frac{t_p}{v_p} f_x + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} f_x + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} f_x + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} f_x \right) = \frac{5}{4}$$

$$\left( \frac{t_d}{v_d} + \frac{t_p}{v_p} + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} \right) f_x = \frac{5}{4} \quad 10$$

$$\left( \frac{t_d}{v_d} + \frac{t_p}{v_p} + \frac{t_{m(1)}}{v_{m(1)}} + \frac{t_{m(2)}}{v_{m(2)}} + \dots + \frac{t_{m(n)}}{v_{m(n)}} \right) = \frac{5}{4} \times \frac{1}{f_x} \quad \dots (4)$$

【 0 0 6 1 】

上記各式において、 $f_x$  は共振周波数を表す。また、 $v_d$  は音響反射層 2 3 内を伝播する周波数  $f_x$  の超音波の波長を、 $v_p$  は圧電素子 2 4 内を伝播する周波数  $f_x$  の超音波の波長を、 $v_{m(1)}$ 、 $v_{m(2)}$ 、 $\dots$ 、 $v_{m(n)}$  は、圧電素子 2 4 側から数えて 1 層目 ~ n 層目の音響整合層 2 5 内を伝播する周波数  $f_x$  の超音波の波長をそれぞれ表す。 20

【 0 0 6 2 】

上記式 ( 2 ) と式 ( 4 ) から、下記式が得られる。

【 0 0 6 3 】

【 数 6 】

$$\frac{5}{4} \times \frac{1}{f_x} \leq \frac{3}{4} \times \frac{1}{f_c}$$

$$\frac{5}{3} f_c \leq f_x \quad 30$$

【 0 0 6 4 】

したがって、周波数応答において、リップル 3 は、中心周波数  $f_c$  の 5 / 3 倍よりも高い周波数で現れる。これにより、超音波探触子 2 の各構成層の層厚を式 ( 1 ) を満たすように設定することで、低周波数側から数えて 3 番目のリップルを、周波数応答において最大感度から - 6 d B の範囲で規定される送受信帯域の外側に配置させることができる。

したがって、超音波探触子 2 の各構成層の層厚が上記式 ( 1 ) を満たすように構成されていることにより、送受信帯域内に現れるリップルを低減させることができ、結果として、生成される超音波画像の画質を向上させることができる。なお、上記式 ( 1 ) において各構成層の  $t / v_c$  の合計値の下限値は特に規定しておらず、音響反射層、圧電素子及び音響整合層の各層がその機能を失わない程度の層厚を有していれば良い。 40

【 0 0 6 5 】

例えば、各構成層の層厚が下記表 1 に示すように設定された超音波探触子 2 A ~ 2 G を例にとって具体的に説明する。超音波探触子 2 A ~ 2 G では、各構成層の材料が同一であり、各構成層の層厚のみが異なっている。また、表 1 では、中心周波数を 1 0 M H z としたときの各構成層における波長  $\lambda_c$  を併せて示している。

【 0 0 6 6 】

【表 1】

超音波探触子の構成層	各構成層中の音速 [m/s]	各構成層中の波長 $\lambda_c$ [μm]	超音波探触子2A		超音波探触子2B		超音波探触子2C		超音波探触子2D		超音波探触子2E		超音波探触子2F		超音波探触子2G	
			層厚t [μm]	$t/\lambda_c$												
3層目の音響整合層	2270	227	55	0.24	50	0.22	45	0.20	40	0.18	33	0.15	35	0.15	25	0.11
2層目の音響整合層	2196	219.6	55	0.25	48	0.22	45	0.20	40	0.18	32	0.15	35	0.16	25	0.11
1層目の音響整合層	2699	269.9	65	0.24	59	0.22	55	0.20	48	0.18	54	0.20	40	0.15	30	0.11
圧電素子	4200	420	80	0.19	80	0.19	80	0.19	80	0.19	80	0.19	80	0.19	80	0.19
音響反射層	6850	685	50	0.07	50	0.07	50	0.07	50	0.07	50	0.07	50	0.07	50	0.07
各構成層の $t/\lambda_c$ の合計値			-	1.00	-	0.92	-	0.87	-	0.80	-	0.75	-	0.73	-	0.60
各音響整合層の $t/\lambda_c$ の合計値			-	0.73	-	0.66	-	0.61	-	0.54	-	0.49	-	0.46	-	0.34

## 【0067】

上記のように構成される超音波探触子2A～2Gの周波数応答において、リップル1～4が現れる周波数を縦軸とし、超音波探触子2A～2Gにおける各構成層の  $t/\lambda_c$  の合計値（式（1）の左辺に相当）を横軸としたグラフを図5に示す。また、図5には、各超音波探触子2A～2Gの周波数応答において、送受信帯域の周波数の上限値（最大感度-6dBにおける周波数）を併せて示す。

## 【0068】

図5に示されているように、各構成層の  $t/\lambda_c$  の合計値が0.75のとき、リップル

10

20

30

40

50

3 が現れる周波数が、送受信帯域の上限値に重なっている。また、各構成層の  $t / c$  の合計値が 0.75 よりも小さいとき、リップル 3 が現れる周波数は、送受信帯域の上限値よりも大きい。したがって、各構成層の  $t / c$  の合計値を 0.75 以下とすることにより、リップル 3 を送受信帯域の外側に配置させることができる。

【0069】

また、図 6 に、超音波探触子 2 D、2 E、2 F の周波数応答を示す。

上記したように、各構成層の  $t / c$  の合計値が 0.75 である超音波探触子 2 E においては、3 番目のリップル R e が現れる周波数は、送受信帯域の上限値（最大感度 - 6 dB における周波数）とほぼ同程度である。また、各構成層の  $t / c$  の合計値が 0.73 である超音波探触子 2 F においては、3 番目のリップル R f が現れる周波数は、送受信帯域の上限値（最大感度 - 6 dB における周波数）よりも大きく、リップル R f は送受信帯域の外側に配置しているといえる。一方、各構成層の  $t / c$  の合計値が 0.80 である超音波探触子 2 D においては、3 番目のリップル R d が現れる周波数が送受信帯域の上限値（最大感度 - 6 dB における周波数）よりも小さく、リップル R f は送受信帯域内に配置しているものである。

10

【0070】

なお、本実施形態における超音波探触子 2 は、各音響整合層 2 5 の  $t / c$  の合計値が 0.49 以下となるように設定しても良い。

【0071】

以上、本実施形態によれば、音響反射層 2 3 の層厚、圧電素子 2 4 の層厚、及び後側から数えて 1 層目 ~ n 層目の音響整合層 2 5 の各層厚がそれぞれ上記式 (1) を満たすので、超音波探触子 2 から出力される超音波の送受信帯域内に含まれるリップルを低減することができる。これにより、高画質な超音波画像を得ることができる。

20

【符号の説明】

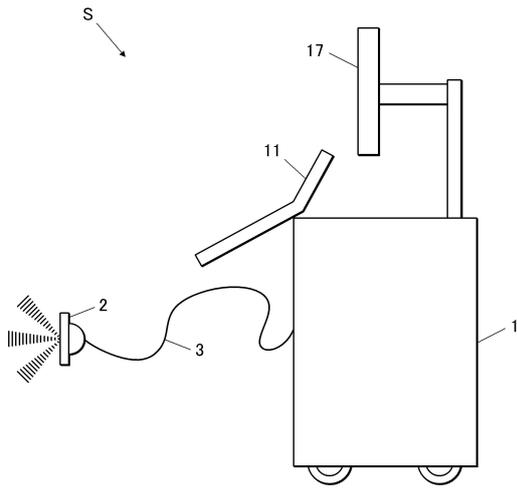
【0072】

- 1 超音波画像診断装置本体
- 2, 2 A, 2 B 超音波探触子
- 2 a 振動子
- 3 ケーブル
- 1 1 操作入力部
- 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
- 1 8 制御部
- 2 1 バッキング層
- 2 2 F P C
- 2 3 音響反射層
- 2 4 圧電素子
- 2 5 音響整合層
- 2 6 音響レンズ
- 2 7 切り込み溝
- 2 8 充填材
- S 超音波画像診断装置

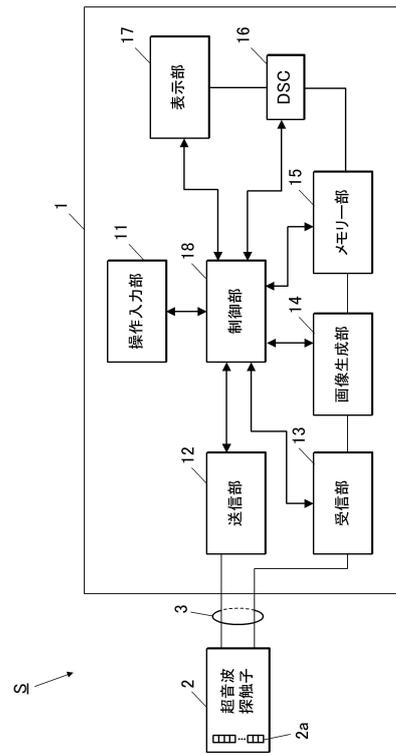
30

40

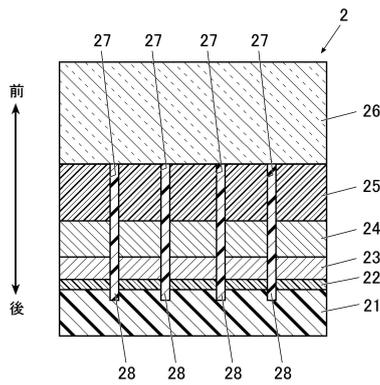
【図1】



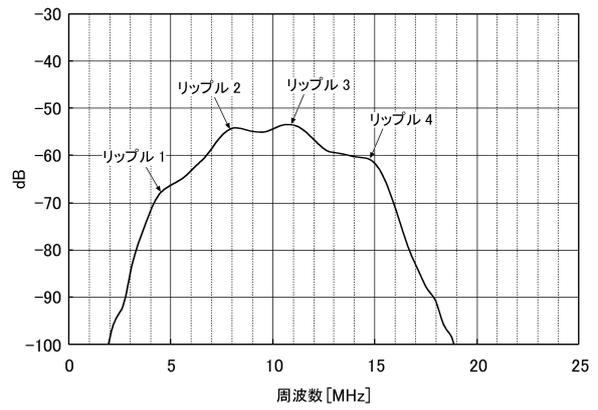
【図2】



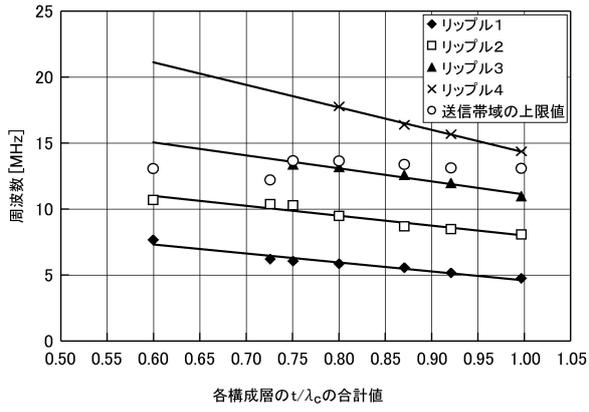
【図3】



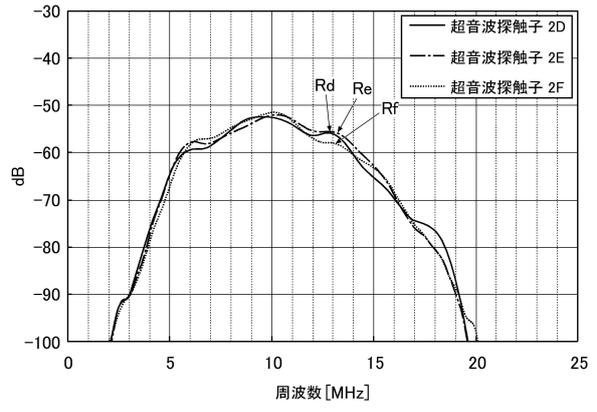
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A 6 1 B	8 / 0 0	-	8 / 1 5
H 0 4 R	1 / 0 0	-	3 1 / 0 0