

(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2017-163330

(P2017-163330A)

(43) 公開日 平成29年9月14日(2017.9.14)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>HO4R 17/00 (2006.01)</b>	HO4R 17/00 330J	4C601
<b>A61B 8/14 (2006.01)</b>	HO4R 17/00 332B	5D019
	A61B 8/14	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号 特願2016-45884 (P2016-45884)  
 (22) 出願日 平成28年3月9日(2016.3.9)

(71) 出願人 000002369  
 セイコーエプソン株式会社  
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号  
 (74) 代理人 110000637  
 特許業務法人樹之下知的財産事務所  
 (72) 発明者 中村 友亮  
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
 Fターム(参考) 4C601 EE01 GB06 GB19 GB20 GB25  
 GB26 GB28 GB29 GB33 GB41  
 LL26  
 5D019 AA22 BB09 BB19 EE06 FF04  
 GG02

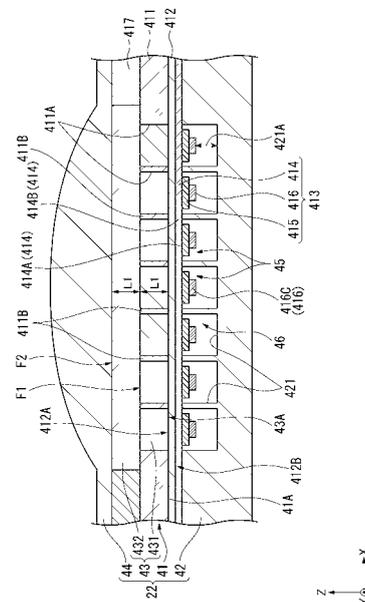
(54) 【発明の名称】 超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波測定装置

(57) 【要約】

【課題】 距離分解能を向上させることができる超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波測定装置を提供することを目的とする。

【解決手段】 超音波デバイス22は、振動膜412を有し、振動膜412の第一面412A側から超音波を送信する超音波トランスデューサー45と、振動膜412の第一面412A側に設けられた音響整合層43と、音響整合層43の振動膜412とは反対側に設けられた音響レンズ44と、を備え、音響整合層43は、第一層431と、第一層43及び音響レンズ44よりも音響インピーダンスが小さい第二層432を含む偶数層で構成され、振動膜413から音響レンズ44に向かって、第一層431及び第二層432が順に配置され、第一層431及び第二層432は、超音波の波長をとして / 4の奇数倍の厚みを有する。

【選択図】 図4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、

前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備え、

前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記第一層及び前記第二層が順に配置され、

前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する

10

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波デバイスにおいて、

前記音響整合層は、前記第一層及び前記第二層をそれぞれ一層ずつ有する

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 3】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、

20

前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備え、

前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の超音波デバイスにおいて、

前記音響整合層と前記音響レンズとの間に配置された中間層を備え、

前記中間層は、前記音響整合層よりも音響インピーダンスが大きい第一中間層と、前記第一中間層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二中間層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記第一中間層及び前記第二中間層が順に配置され、

30

前記第一中間層及び前記第二中間層は、 $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 5】

請求項 4 に記載の超音波デバイスにおいて、

前記中間層は、前記第一中間層及び前記第二中間層をそれぞれ一層ずつ有する

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 6】

請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の超音波デバイスにおいて、

前記振動膜は、平面状の前記第一面を有し、

40

前記音響整合層の前記振動膜側の面及び前記音響レンズ側の面、並びに、前記音響レンズの前記音響整合層側の面が、前記第一面に平行である

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の超音波デバイスにおいて、

前記超音波トランスデューサーは、前記振動膜の前記第一面とは反対側の第二面側に設けられた圧電素子を備える

ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の超音波デバイスにおいて、

50

前記超音波トランスデューサーは、前記振動膜を支持する基板を有し、  
前記基板は、前記振動膜に閉塞され、前記振動膜とは反対側で開口する開口部を有し、  
前記音響整合層の少なくとも一部が、前記開口部内に配置されている  
ことを特徴とする超音波デバイス。

【請求項 9】

請求項 8 に記載の超音波デバイスにおいて、  
前記基板の前記音響レンズ側に配置され、前記音響整合層の厚みを調整する調整部材を  
備える

ことを特徴とする超音波デバイス。

【請求項 10】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサー  
と、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、  
前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デ  
バイスト、

前記超音波デバイスが設けられる回路基板と、を備え、  
前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダン  
スが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かっ  
て前記第一層及び前記第二層が順に配置され、

前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有  
する

ことを特徴とする超音波モジュール。

【請求項 11】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサー  
と、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、  
前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デ  
バイスト、

前記超音波デバイスが設けられる回路基板と、を備え、  
前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の  
波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する

ことを特徴とする超音波モジュール。

【請求項 12】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサー  
と、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、  
前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デ  
バイスト、

前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、  
前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダン  
スが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かっ  
て前記第一層及び前記第二層が順に配置され、

前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有  
する

ことを特徴とする超音波測定装置。

【請求項 13】

振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサー  
と、

前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、  
前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デ

10

20

30

40

50

バイスト、

前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、

前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する

ことを特徴とする超音波測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波測定装置に関する。

【背景技術】

10

【0002】

従来、振動膜と、振動膜を振動させる振動子として、振動膜上に設けられた圧電素子と、を備える圧電デバイスが知られている（例えば特許文献1）。この圧電デバイスは、圧電素子を駆動させ振動膜を振動させることにより超音波を送信し、超音波による振動膜の振動を、圧電素子を用いて検出することにより超音波を受信する。

【0003】

特許文献1に記載の圧電デバイスは、さらに振動膜上に設けられた音響整合層と、音響整合層上に設けられ、測定対象である生体と近い音響インピーダンスを有する音響レンズと、を備えている。この圧電デバイスは、音響レンズを生体等の測定対象に当接させた状態で、超音波を送受信する。例えば、圧電素子の駆動によって送信された超音波は、音響整合層及び音響レンズを伝播した後、音響レンズの表面から生体内に出力される。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-195351号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ここで、上述のように、音響整合層と、音響レンズとを積層する構成では、振動子から送信された超音波のうちの一部（以下、第一波とも称する）が、音響レンズから測定対象に出力され、他の一部が、音響整合層と音響レンズとの界面で反射される場合がある。この場合、界面で反射された界面反射波が、振動子において音響レンズ側に反射され、音響レンズから生体に出力されることにより、距離分解能が低下するおそれがある。

30

【0006】

すなわち、界面反射波は、第一波に対して音響整合層の厚みに応じた時間だけ遅延して測定対象に出射される。このため、測定対象で反射された第一波と、測定対象で反射された界面反射波とが、異なるタイミングで検出される。この場合、圧電デバイスで超音波を受信した際に出力される受信信号は、第一波に対応するピーク以外にも、界面反射波に対応するピークが検出される、所謂、尾引きが発生し、距離分解能が低下するとの課題がある。

40

【0007】

本発明は、距離分解能を向上させることができる以下の形態又は適用例として、超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

一適用例に係る超音波デバイスは、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備え、前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記

50

第一層及び前記第二層が順に配置され、前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有することを特徴とする。

【0009】

本適用例では、音響整合層は、振動膜側から第一層及び第二層が順に配置され、偶数の層により構成されている。これら第一層及び第二層の各層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する。また、第二層は、第一層及び音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。すなわち、本適用例では、音響整合層は、偶数層で構成されており、各層における隣接する層に対する音響インピーダンスの関係は、振動膜から音響レンズに向かって大、小の順となっている。

このような構成では、音響整合層と音響レンズとの界面や、音響整合層間の界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、上述のように第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

つまり、音響インピーダンスが大きい第一媒質から、音響インピーダンスが小さい第二媒質に向かって伝播する超音波が、第一媒質と第二媒質との界面で反射されると、超音波の位相が反転する。したがって、音響整合層（第一層）からの超音波が超音波トランスデューサー（振動膜）との界面で反射される際、及び、第一層からの超音波が第二層との界面で反射される際に、超音波の位相が反転する。この際、本適用例では、各音響整合層の厚みが  $\lambda/4$  の奇数倍であるので、上記のように位相が反転した超音波と、位相が反転していない超音波とが、互いに打ち消し合う。したがって、超音波トランスデューサーと音響レンズとの間に位置する各界面での界面反射波が、音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

【0010】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記音響整合層は、前記第一層及び前記第二層をそれぞれ一層ずつ有することが好ましい。

本適用例では、音響整合層が二層で構成されている。このような構成では、例えば、音響整合層が四層以上で構成される場合と比べて、音響整合層全体の厚みを薄くすることができる。音響レンズから出射される超音波の減衰を抑制できる。

【0011】

一適用例に係る超音波デバイスは、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備え、前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有することを特徴とする。

本適用例では、音響整合層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する。また、音響整合層は、音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。

このような構成では、音響整合層と音響レンズとの界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。すなわち、上記適用例と同様に、界面反射波の位相を、上記第一波と逆位相とすることができ、界面反射波を第一波によって打ち消すことができる。

【0012】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記音響整合層と前記音響レンズとの間に配置された中間層を備え、前記中間層は、前記音響整合層よりも音響インピーダンスが大きい第一中間層と、前記第一中間層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二中間層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記第一中間層及び前記第二中間層が順に配置され、前記第一中間層及び前記第二中間層は、  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有することが好ましい。

本適用例では、中間層は、音響整合層と音響レンズとの間に配置されている。この中間層は、音響整合層側から第一中間層及び第二中間層が順に配置され、偶数の層によって構

10

20

30

40

50

成されている。また、第一中間層は、音響整合層よりも音響インピーダンスが大きく、第二中間層は、第一中間層及び音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。また、第一中間層及び第二中間層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波をとして / 4 の奇数倍の厚みを有する。

このような構成では、上記適用例と同様に、音響整合層と中間層との界面や、第一中間層と第二中間層との界面や、中間層と音響レンズとの界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が上記第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

【0013】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記中間層は、前記第一中間層及び前記第二中間層をそれぞれ一層ずつ有することが好ましい。

本適用例では、中間層が二層で構成されている。このような構成では、例えば、中間層が四層以上で構成される場合と比べて、中間層全体の厚みを薄くすることができ、第一波の減衰を抑制できる。

【0014】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記振動膜は、平面状の前記第一面を有し、前記音響整合層の前記振動膜側の面及び前記音響レンズ側の面、並びに、前記音響レンズの前記音響整合層側の面が、前記第一面に平行であることが好ましい。

本適用例では、振動膜は、平面状の第一面を有し、各界面は、平面状でありかつ第一面に平行である。これにより、例えば、界面が平面状ではない場合と比べて、各界面の面方向における界面反射波の反射位置によらず、当該界面反射波をより確実に打ち消すことができ、距離分解能を向上させることができる。すなわち、界面が平面状かつ平行でない場合、界面反射波が反射位置に応じた方向に反射され、反射位置に応じて伝播距離が変化する。これにより、界面に再入射した際の界面反射波の位相が、第一波と逆位相とならず、界面反射波が相殺されないおそれがある。本適用例では、反射位置に関わらず、界面の法線方向に界面反射波が反射されるため、上記不具合の発生を抑制でき、第一波によって界面反射波をより確実に打ち消すことができる。

【0015】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記超音波トランスデューサーは、前記振動膜の前記第一面とは反対側の第二面側に設けられた圧電素子を備えることが好ましい。

本適用例では、超音波トランスデューサーは、振動膜における、音響整合層が設けられた第一面とは反対側の第二面に圧電素子が設けられている。この圧電素子を駆動させることにより、振動膜を振動させて、第一面側から超音波を送信できる。

このような構成では、音響整合層と超音波トランスデューサーとの界面が、平面状の第一面によって形成されるため、音響整合層と超音波トランスデューサーとの界面の平坦性を向上させることができる。したがって、界面間距離をより均一とすることができ、界面反射波をより確実に打ち消すことができる。

【0016】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記超音波トランスデューサーは、前記振動膜を支持する基板を有し、前記基板は、前記振動膜に閉塞され、前記振動膜とは反対側で開口する開口部を有し、前記音響整合層の少なくとも一部が、前記開口部内に配置されていることが好ましい。

本適用例では、超音波トランスデューサーは、振動膜によって閉塞される開口部を有し、当該振動膜を閉塞する基板を有する。そして、振動膜に隣接する音響整合層の少なくとも一部が、開口部内に配置されている。このような構成では、例えば、音響整合層が一層で形成されている場合では音響整合層の全体を開口部に配置し、音響整合層が複数層で形成されている場合では振動膜側の一層を開口部に配置することにより、開口部の厚みに応じて音響整合層の厚みを調整することができ、かつ容易である。

【0017】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記基板の前記音響レンズ側に配置され、前記音

10

20

30

40

50

響整合層の厚みを調整する調整部材を備えることを特徴とする超音波デバイス。

本適用例では、音響整合層の厚みを調整する調整部材を備える。このような構成では、例えば、調整部材の厚みを調整することにより、音響整合層の厚みを容易に調整することができる。また、音響整合層の厚みを適切な値とすることが容易である。

【0018】

一適用例に係る超音波モジュールは、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デバイスと、前記超音波デバイスが設けられる回路基板と、を備え、前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記第一層及び前記第二層が順に配置され、前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有することを特徴とする。

10

本適用例では、音響整合層は、振動膜側から第一層及び第二層が順に配置され、偶数層により構成されている。これら第一層及び第二層の各層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する。また、第二層は、第一層及び音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。

このような構成では、上記超音波デバイスに係る適用例と同様に、音響整合層と音響レンズとの界面や、音響整合層間の界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、上述のように第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

20

【0019】

一適用例に係る超音波モジュールは、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デバイスと、前記超音波デバイスが設けられる回路基板と、を備え、前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有することを特徴とする。

本適用例では、音響整合層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する。また、音響整合層は、音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。このような構成では、上記超音波デバイスに係る適用例と同様に、音響整合層と音響レンズとの界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

30

【0020】

一適用例に係る超音波測定装置は、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デバイスと、前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、前記音響整合層は、第一層と、前記第一層及び前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい第二層と、を含む偶数層で構成され、前記振動膜から前記音響レンズに向かって前記第一層及び前記第二層が順に配置され、前記第一層及び前記第二層は、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有することを特徴とする。

40

本適用例では、音響整合層は、振動膜側から第一層及び第二層が順に配置され、偶数層により構成されている。これら第一層及び第二層の各層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する。また、第二層は、第一層及び音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。

このような構成では、上記超音波デバイスに係る適用例と同様に、音響整合層と音響レンズとの界面や、音響整合層間の界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、上述のように第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、

50

距離分解能を向上させることができる。

【 0 0 2 1 】

一適用例に係る超音波測定装置は、振動膜を有し、前記振動膜の第一面側から超音波を送信する超音波トランスデューサーと、前記振動膜の前記第一面側に設けられた音響整合層と、前記音響整合層の前記振動膜とは反対側に設けられた音響レンズと、を備える超音波デバイスと、前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、前記音響整合層は、前記音響レンズよりも音響インピーダンスが小さく、前記超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有することを特徴とする。

本適用例では、音響整合層は、超音波トランスデューサーから送信される超音波を  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する。また、音響整合層は、音響レンズよりも音響インピーダンスが小さい。

このような構成では、上記超音波デバイスに係る適用例と同様に、音響整合層と音響レンズとの界面で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波が、第一波に遅延して音響レンズから測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 2 】

【 図 1 】 第一実施形態の超音波装置の概略構成を示す図。

【 図 2 】 第一実施形態における超音波センサーの概略構成を示す平面図。

【 図 3 】 第一実施形態における超音波デバイスの素子基板を封止板側から見た平面図。

【 図 4 】 図 3 の A - A 線で超音波デバイスを切断した際の断面図。

【 図 5 】 第一実施形態における超音波デバイスの概略構成を示す断面図。

【 図 6 】 第一実施形態の超音波デバイスと比較例の超音波デバイスとから送信される超音波による音圧変動を示す図。

【 図 7 】 第一実施形態の超音波デバイスと比較例の超音波デバイスとから送信される超音波による音圧変動を示す図。

【 図 8 】 第一実施形態の超音波デバイスの製造方法の一例を示すフローチャート。

【 図 9 】 第一実施形態の超音波デバイスの製造工程を示す図。

【 図 1 0 】 第一実施形態の超音波デバイスの製造工程を示す図。

【 図 1 1 】 第一実施形態の超音波デバイスの製造工程を示す図。

【 図 1 2 】 第二実施形態の超音波デバイスの概略構成を示す断面図。

【 図 1 3 】 第二実施形態の超音波デバイスと比較例の超音波デバイスとから送信される超音波による音圧変動を示す図。

【 図 1 4 】 第三実施形態の超音波デバイスの概略構成を示す断面図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 3 】

[ 第一実施形態 ]

以下、第一実施形態の超音波装置について、図面に基づいて説明する。

[ 超音波測定装置の構成 ]

図 1 は、本実施形態の超音波測定装置 1 の概略構成を示す斜視図である。

本実施形態の超音波測定装置 1 は、電子機器に相当し、図 1 に示すように、超音波プローブ 2 と、超音波プローブ 2 にケーブル 3 を介して電氣的に接続された制御装置 1 0 と、を備えている。

この超音波測定装置 1 は、超音波プローブ 2 を生体（例えば人体）の表面に当接させ、超音波プローブ 2 から生体内に超音波を送出する。また、生体内の器官にて反射された超音波を超音波プローブ 2 にて受信し、その受信信号に基づいて、例えば生体内の内部断層画像を取得したり、生体内の器官の状態（例えば血流等）を測定したりする。

【 0 0 2 4 】

[ 制御装置の構成 ]

制御装置 1 0 は、図 1 に示すように、例えば、操作部 1 1 と、表示部 1 2 と、を備える

。また、制御装置 10 は、図示は省略するが、メモリー等により構成された記憶部、CPU (Central Processing Unit) 等により構成された演算部と、を備える。そして、制御装置 10 は、演算部により、記憶部に記憶された各種プログラムを読み込み実行することで、例えば超音波プローブ 2 の駆動を制御するための指令を出力したり、超音波プローブ 2 から入力された受信信号に基づいて、生体の内部構造の画像を形成して表示部 12 に表示させたり、血流等の生体情報を測定して表示部 12 に表示させたりする。すなわち、制御装置 10 は、制御部に相当する。このような制御装置 10 としては、例えば、タブレット端末やスマートフォン、パーソナルコンピューター等の端末装置を用いることができ、超音波プローブ 2 を操作するための専用端末装置を用いてもよい。

#### 【0025】

##### [超音波プローブの構成]

図 2 は、超音波プローブ 2 における超音波センサー 24 の概略構成を示す平面図である。

超音波プローブ 2 は、筐体 21 (図 1 参照) と、筐体 21 内部に設けられた超音波デバイス 22 と、超音波デバイス 22 を制御するためのドライバ回路等が設けられた配線基板 23 と、を備えている。なお、超音波デバイス 22 と、配線基板 23 とにより超音波センサー 24 (超音波モジュールに相当) が構成される。

#### 【0026】

##### [筐体の構成]

筐体 21 は、図 1 に示すように、例えば平面視矩形形状の箱状に形成され、厚み方向に直交する一面 (センサー面 21A) には、センサー窓 21B が設けられており、超音波デバイス 22 の一部が露出している。また、筐体 21 の一部 (図 1 に示す例では側面) には、ケーブル 3 の通過孔 21C が設けられ、ケーブル 3 は、通過孔 21C から筐体 21 の内部に挿入され、配線基板 23 のコネクタ部 231 (図 2 参照) に接続されている。また、ケーブル 3 と通過孔 21C との隙間は、例えば樹脂材等が充填されることで、防水性が確保されている。

なお、本実施形態では、ケーブル 3 を用いて、超音波プローブ 2 と制御装置 10 とが接続される構成例を示すが、これに限定されず、例えば超音波プローブ 2 と制御装置 10 とが無線通信により接続されていてもよく、超音波プローブ 2 内に制御装置 10 の各種構成が設けられていてもよい。

#### 【0027】

##### [配線基板の構成]

配線基板 23 は、回路基板に相当し、超音波デバイス 22 が備える電極パッド 414P、416P (図 3 参照) と電氣的に接続される端子部を有する。

また、配線基板 23 は、超音波デバイス 22 を駆動させるためのドライバ回路等が設けられている。具体的には、配線基板は、超音波デバイス 22 から超音波を送信するための送信回路、超音波デバイス 22 にて超音波を受信した際の受信信号を処理する受信回路等が設けられている。そして、この配線基板には、ケーブル 3 等によって制御装置 10 に接続されており、制御装置 10 からの指令に基づいて、超音波デバイス 22 を駆動させる。

#### 【0028】

##### [超音波デバイスの構成]

図 3 は、超音波デバイス 22 における素子基板 41 を、封止板 42 側から見た平面図である。図 4 は、図 3 における A - A 線で切断した超音波デバイス 22 の断面図である。

超音波デバイス 22 は、図 4 に示すように、素子基板 41 と、封止板 42 と、音響整合層 43 と、音響レンズ 44 と、により構成されている。

#### 【0029】

##### (素子基板の構成)

素子基板 41 は、図 4 に示すように、基板本体部 411 と、基板本体部 411 の封止板 42 側に設けられる振動膜 412 と、振動膜 412 に設けられた圧電素子 413 と、後述する音響整合層 43 の第二層 432 の厚みを調整するための調整部材 417 と、を備えて

10

20

30

40

50

いる。ここで、以降の説明にあたり、素子基板 4 1 の封止板 4 2 に対向する面を背面 4 1 A と称する。また、振動膜 4 1 2 の封止板 4 2 とは反対側の面（第一面）を超音波送受面 4 1 2 A と称し、封止板 4 2 側の面（第二面）を作動面 4 1 2 B と称する。また、素子基板 4 1 を基板厚み方向から見た平面視において、素子基板 4 1 の中央領域はアレイ領域 A r 1 となり、このアレイ領域 A r 1 には、複数の超音波トランスデューサー 4 5 がマトリックス状に配置されている。

#### 【0030】

基板本体部 4 1 1 は、振動膜 4 1 2 を支持する基板であり、例えば Si 等の半導体基板で構成される。基板本体部 4 1 1 におけるアレイ領域 A r 1 内には、各々の超音波トランスデューサー 4 5 に対応した開口部 4 1 1 A が設けられている。また、各開口部 4 1 1 A は、基板本体部 4 1 1 の背面 4 1 A 側に設けられた振動膜 4 1 2 により閉塞されている。なお、後述するが開口部 4 1 1 A の内部には、音響整合層 4 3 の第一層 4 3 1 が充填されており、開口部 4 1 1 A の深さ寸法は、第一層 4 3 1 の厚み寸法と一致している。したがって、開口部 4 1 1 A の深さ寸法によって、第一層 4 3 1 の厚み寸法を調整することができる。

10

#### 【0031】

振動膜 4 1 2 は、例えば SiO<sub>2</sub> や、SiO<sub>2</sub> 及び ZrO<sub>2</sub> の積層体等より構成され、基板本体部 4 1 1 の背面 4 1 A 側全体を覆って設けられている。この振動膜 4 1 2 の厚み寸法は、基板本体部 4 1 1 に対して十分小さい厚み寸法となる。基板本体部 4 1 1 を Si により構成し、振動膜 4 1 2 を SiO<sub>2</sub> により構成する場合、例えば基板本体部 4 1 1 の背面 4 1 A 側を酸化処理することで、所望の厚み寸法の振動膜 4 1 2 を容易に形成することが可能となる。また、この場合、SiO<sub>2</sub> の振動膜 4 1 2 をエッチングストップパとして基板本体部 4 1 1 をエッチング処理することで、容易に前記開口部 4 1 1 A を形成することが可能となる。

20

#### 【0032】

また、図 4 に示すように、各開口部 4 1 1 A を閉塞する振動膜 4 1 2 上（背面 4 1 A 側）には、それぞれ下部電極 4 1 4、圧電膜 4 1 5、及び上部電極 4 1 6 の積層体である圧電素子 4 1 3 が設けられている。ここで、開口部 4 1 1 A を閉塞する振動膜 4 1 2 及び圧電素子 4 1 3 により、1つの超音波トランスデューサー 4 5 が構成される。

#### 【0033】

このような超音波トランスデューサー 4 5 では、下部電極 4 1 4 及び上部電極 4 1 6 の間に所定周波数の矩形波電圧が印加されることで、開口部 4 1 1 A の開口領域内の振動膜 4 1 2 を振動させて、超音波送受面 4 1 2 A 側から超音波を送出することができる。また、対象物から反射され、超音波送受面 4 1 2 A 側から入射する超音波により振動膜 4 1 2 が振動されると、圧電膜 4 1 5 の上下で電位差が発生する。したがって、下部電極 4 1 4 及び上部電極 4 1 6 間に発生する前記電位差を検出することで、受信した超音波を検出することが可能となる。

30

#### 【0034】

また、本実施形態では、図 3 に示すように、上記のような超音波トランスデューサー 4 5 が、素子基板 4 1 の所定のアレイ領域 A r 1 内に、X 方向（スライス方向）、及び X 方向に交差（本実施形態では直交）する Y 方向（スキャン方向）に沿って複数配置されることで、超音波トランスデューサーアレイ 4 6 を構成する。なお、超音波トランスデューサーアレイ 4 6 は、超音波送受部に相当する。

40

ここで、下部電極 4 1 4 は、X 方向に沿う直線状に形成されている。すなわち、下部電極 4 1 4 は、X 方向に沿って並ぶ複数の超音波トランスデューサー 4 5 に跨って設けられており、圧電膜 4 1 5 と振動膜 4 1 2 との間に位置する下部電極本体 4 1 4 A と、隣り合う下部電極本体 4 1 4 A を連結する下部電極線 4 1 4 B と、アレイ領域 A r 1 外の端子領域 A r 2 に引き出される下部端子電極線 4 1 4 C とにより構成されている。よって、X 方向に並ぶ超音波トランスデューサー 4 5 では、下部電極 4 1 4 は同電位となる。

また、下部端子電極線 4 1 4 C は、アレイ領域 A r 1 外の端子領域 A r 2 まで延出し、

50

端子領域 Ar 2 において第一電極パッド 4 1 4 P を構成する。この第一電極パッド 4 1 4 P は、配線基板に設けられた端子部に接続されている。

【 0 0 3 5 】

一方、上部電極 4 1 6 は、図 3 に示すように、Y 方向に沿って並ぶ複数の超音波トランスデューサー 4 5 に跨って設けられた素子電極部 4 1 6 A と、複数の素子電極部 4 1 6 A の端部同士を連結する共通電極部 4 1 6 B とを有する。素子電極部 4 1 6 A は、圧電膜 4 1 5 上に積層された上部電極本体 4 1 6 C と、隣り合う上部電極本体 4 1 6 C を連結する上部電極線 4 1 6 D と、Y 方向の両端部に配置された超音波トランスデューサー 4 5 から Y 方向に沿って外側に延出する上部端子電極 4 1 6 E とを有する。

共通電極部 4 1 6 B は、アレイ領域 Ar 1 の + Y 側端部及び - Y 側端部にそれぞれ設けられている。+ Y 側の共通電極部 4 1 6 B は、Y 方向に沿って複数設けられた超音波トランスデューサー 4 5 のうちの + Y 側端部に設けられた超音波トランスデューサー 4 5 から + Y 側に延出した上部端子電極 4 1 6 E 同士を接続する。- Y 側端部の共通電極部 4 1 6 B は、- Y 側に延出した上部端子電極 4 1 6 E 同士を接続する。よって、アレイ領域 Ar 1 内の各超音波トランスデューサー 4 5 では、上部電極 4 1 6 は同電位となる。また、これら一对の共通電極部 4 1 6 B は、X 方向に沿って設けられ、その端部がアレイ領域 Ar 1 から端子領域 Ar 2 まで引き出されている。そして、共通電極部 4 1 6 B は、端子領域 Ar 2 において、配線基板の端子部に接続される第二電極パッド 4 1 6 P を構成する。

【 0 0 3 6 】

上記のような超音波トランスデューサーアレイ 4 6 では、下部電極 4 1 4 で連結された X 方向に並ぶ超音波トランスデューサー 4 5 により、1 つの超音波トランスデューサー群 4 5 A が構成され、当該超音波トランスデューサー群 4 5 A が Y 方向に沿って複数並ぶ 1 次元アレイ構造を構成する。

【 0 0 3 7 】

調整部材 4 1 7 は、後述する音響整合層 4 3 の第二層 4 3 2 の厚みを調整する部材であり、基板本体部 4 1 1 の + Z 側に、開口部 4 1 1 A が形成されたアレイ領域 Ar 1 を囲むように配置される。この調整部材 4 1 7 で囲まれた領域には、第二層 4 3 2 が充填され、調整部材 4 1 7 の厚み寸法が、第二層 4 3 2 の厚み寸法と一致している。したがって、調整部材 4 1 7 の厚みによって、第二層 4 3 2 の厚みを調整することができる。

【 0 0 3 8 】

( 封止板の構成 )

封止板 4 2 は、厚み方向から見た際の平面形状が例えば素子基板 4 1 と同形状に形成され、Si 等の半導体基板や、絶縁体基板により構成される。なお、封止板 4 2 の材質や厚みは、超音波トランスデューサー 4 5 の周波数特性に影響を及ぼすため、超音波トランスデューサー 4 5 にて送受信する超音波の中心周波数に基づいて設定することが好ましい。

【 0 0 3 9 】

そして、この封止板 4 2 は、素子基板 4 1 のアレイ領域 Ar 1 に対向するアレイ対向領域には、素子基板 4 1 の開口部 4 1 1 A に対応した複数の凹溝 4 2 1 が形成されている。これにより、振動膜 4 1 2 のうち、超音波トランスデューサー 4 5 により振動される領域 ( 開口部 4 1 1 A 内 ) では、素子基板 4 1 との間所定寸法のギャップ 4 2 1 A が設けられることになり、振動膜 4 1 2 の振動が阻害されない。また、1 つの超音波トランスデューサー 4 5 からの背面波が他の隣接する超音波トランスデューサー 4 5 に入射される不都合 ( クロストーク ) を抑制することができる。

【 0 0 4 0 】

また、振動膜 4 1 2 が振動すると、開口部 4 1 1 A 側 ( 超音波送受面 4 1 2 A 側 ) の他、封止板 4 2 側 ( 背面 4 1 A 側 ) にも背面波として超音波が放出される。この背面波は、封止板 4 2 により反射され、再びギャップ 4 2 1 A を介して振動膜 4 1 2 側に放出される。この際、反射背面波と、振動膜 4 1 2 から超音波送受面 4 1 2 A 側に放出される超音波との位相がずれると、超音波が減衰する。したがって、本実施形態では、ギャップ 4 2 1 A における音響的な距離が、超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍となるように、各凹

10

20

30

40

50

溝 4 2 1 の溝深さが設定されている。言い換えれば、超音波トランスデューサー 4 5 から発せられる超音波の波長を考慮して、素子基板 4 1 や封止板 4 2 の各部の厚み寸法が設定される。

【 0 0 4 1 】

また、封止板 4 2 は、素子基板 4 1 の端子領域 A r 2 に対向する位置に、端子領域 A r 2 に設けられた各電極パッド 4 1 4 P , 4 1 6 P に対応して、開口部 ( 図示略 ) が設けられる構成などとしてもよい。この場合、当該開口部に封止板 4 2 を厚み方向に貫通する貫通電極 ( T S V ; Through-Sillicon Via ) を設けることで、当該貫通電極を介して、各電極パッド 4 1 4 P , 4 1 6 P が配線基板における端子部に接続される。また、開口部に F P C ( Flexible printed circuits ) やケーブル線、ワイヤ等を挿入して、各電極パッド 4 1 4 P , 4 1 6 P と配線基板とを接続する構成などとしてもよい。

10

【 0 0 4 2 】

( 音響レンズの構成 )

音響レンズ 4 4 は、後に詳述する音響整合層 4 3 上 ( + Z 側 ) に設けられる。この音響レンズ 4 4 は、図 1 に示すように、筐体 2 1 のセンサー窓 2 1 B から外部に露出する。また、音響レンズ 4 4 の音響インピーダンス Z 3 は、生体の音響インピーダンスに近い音響インピーダンスに設定されている。音響レンズ 4 4 は、生体表面に密着されることにより、音響整合層 4 3 を介して、超音波トランスデューサー 4 5 から送信された超音波を生体内で効率良く収束させ、また、生体内で反射した超音波を効率良く超音波トランスデューサー 4 5 に伝搬させる。なお、本実施形態では、音響インピーダンス Z 3 は、例えば、1

20

【 0 0 4 3 】

このような音響レンズ 4 4 の形成材料として、例えばミラブル型シリコンゴムを例示できる。ミラブル型シリコンゴムは、例えばビニル基を含むジメチルポリシロキサン構造のシリコンゴム、シリカ、及び加硫剤を含有する。具体的には、シリカは、シリコンゴムに対する質量比 4 0 質量 % 以上 5 0 質量 % 以下の重量平均粒子径 1 5  $\mu$  m ~ 3 0  $\mu$  m のシリカ粒子として、シリコンゴムに混入される。加硫剤として、例えば 2 , 5 - ジメチル - 2 , 5 - ジターシャリーブチルパーオキシシヘキサンを用いることができる。

【 0 0 4 4 】

( 音響整合層の構成 )

音響整合層 4 3 は、図 4 に示すように、振動膜 4 1 2 の超音波送受面 4 1 2 A 側に設けられ、振動膜 4 1 2 上の第一層 4 3 1 と、第一層 4 3 1 上に設けられた第二層 4 3 2 とを有する。音響整合層 4 3 は、音響レンズ 4 4 とともに、超音波トランスデューサー 4 5 から送信された超音波を測定対象である生体に効率良く伝搬させ、また、生体内で反射した超音波を効率良く超音波トランスデューサー 4 5 に伝搬させる。このため、音響整合層 4 3 は、生体の音響インピーダンスに近い音響インピーダンスに設定されている。このような音響インピーダンスを有する材料としては、例えば R T V シリコンゴム等のシリコン樹脂材料を用いることができる。

30

【 0 0 4 5 】

第一層 4 3 1 は、素子基板 4 1 の開口部 4 1 1 A 内に充填され、振動膜 4 1 2 上 ( + Z 側 ) に設けられている。すなわち、第一層 4 3 1 は、開口部 4 1 1 A の深さ寸法に応じた厚み寸法 L 1 を有する。この第一層 4 3 1 の振動膜 4 1 2 と反対側の面、すなわち第二層 4 3 2 との界面 ( 以下、第一界面 F 1 とも称する ) は、超音波送受面 4 1 2 A と略平行である。なお、音響整合層 4 3 の振動膜 4 1 2 側の面 4 3 A は、超音波送受面 4 1 2 A に接する面であり、超音波送受面 4 1 2 A に平行である。また、第一層 4 3 1 の音響インピーダンス Z 1 は、第二層 4 3 2 の音響インピーダンス Z 2 よりも大きい。本実施形態では、音響インピーダンス Z 1 は、例えば、1 . 5 M R a y l s であり、音響インピーダンス Z 2 は、例えば、1 M R a y l s である。また、音響インピーダンス Z 1 と音響インピーダンス Z 2 との差は第 1 層と第 2 層との間で超音波の反射が適度に生じる値に設定することが好ましく、0 . 1 M R a y l s から 1 M R a y l s 程度が好ましく、0 . 3 M R a y l

40

50

s から 0.7 Mrayls 程度がより好ましい。

【0046】

第二層 432 は、第一層 431 上 (+Z 側) に設けられ、第一層 431 と同じ厚み寸法 L1 を有する。なお、第二層 432 の厚みは、上述の調整部材 417 の厚み寸法を L1 とすることにより調整される。第一層 431 の第二層 432 の第一層 431 側の面 (すなわち第一界面 F1) と、音響レンズ 44 側の界面 (以下、第二界面 F2 とも称する) は、超音波送受面 412A と略平行である。

また、第二層 432 の音響インピーダンス Z2 は、第一層 431 の音響インピーダンス Z1 及び音響レンズ 44 の音響インピーダンス Z3 よりも小さい。なお、音響インピーダンスの値は、媒質の密度と、媒質中の音速との積で得ることができる。例えば、第二層 432 は、第一層 431 よりも密度が小さい材料を用いて形成することにより、第二層 432 の音響インピーダンス Z2 を、第一層 431 の音響インピーダンス Z1 よりも小さくすることができる。なお、本実施形態では、音響インピーダンス Z1 は、例えば、1.5 Mrayls である。

10

【0047】

これら第一層 431 及び第二層 432 の厚み寸法 L1、すなわち、超音波送受面 412A と第一界面 F1 との距離であり、第一界面 F1 と第二界面 F2 との距離は、超音波トランスデューサー 45 から送信される超音波の波長を  $\lambda$  とし、1 以上の整数を n として、下記式 (1) を満たす。すなわち、寸法 L1 が、 $\lambda/4$  の奇数倍となるように、第一層 431 及び第二層 432 が形成されている。なお、L1 が下記式 (1) を満たすことによる作用効果については後述する。

20

【0048】

[数 1]

$$L1 = (\lambda/4) \times (2n - 1) \cdots (1)$$

【0049】

[音響整合層による尾引きの抑制]

ここで、超音波デバイス 22 は、超音波トランスデューサー 45 から送信され、音響整合層 43 及び音響レンズ 44 を伝播し、生体内に出射される超音波 (以下、第一波とも称する) の反射波を受信することにより超音波測定を実施する。この超音波測定を実施する際に、超音波送受面 412A 上に音響整合層 43 と音響レンズ 44 とが積層されている構成では、音響整合層 43 と音響レンズ 44 との界面で生じた界面反射波に起因する超音波 (以下、第二波とも称する) が、第一波に遅延して生体内に出射され、超音波デバイス 22 から出射される超音波に尾引きが生じるおそれがある。この尾引きが生じると、超音波のパルス幅が増大し、距離分解能が低下するおそれがある。

30

【0050】

これに対し、本実施形態の超音波デバイス 22 は、後に詳述するように、音響整合層 43 の第一層 431 及び第二層 432 の厚み寸法 (超音波送受面 412A と第一界面 F1 との距離、及び第一界面 F1 と第二界面 F2 との距離) L1 が、上記式 (1) を満たす。また、第二層 432 の音響インピーダンス Z1 が、第一層 431 の音響インピーダンス Z1 より小さく、かつ、音響レンズ 44 の音響インピーダンス Z3 よりも小さい。このような構成により、上記第二波が生体内に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

40

【0051】

図 5 は、本実施形態の超音波デバイス 22 における、界面反射波による尾引きの抑制作用を説明するための図であり、超音波デバイス 22 の要部 (音響整合層 43 と音響レンズ 44) の断面を模式的に示している。なお、図 5 では、超音波デバイス 22 の構成を簡略化して図示している。

図 5 に示すように、超音波トランスデューサー 45 から法線方向に送信され、第一界面 F1 及び第二界面 F2 を透過する超音波 U0 が、音響レンズ 44 から測定対象内に出射される。この超音波 U0 の反射波を超音波トランスデューサー 45 によって検出することに

50

より超音波測定が行われる。

【0052】

ここで、図5に示すように、第一界面F1に入射する超音波U0の一部が、第一界面F1で反射されることにより、界面反射波U1が発生する場合がある。この界面反射波U1は、超音波送受面412Aにて反射されて再び第一界面F1に到達する際に、超音波U0に対して逆位相となる。このため、界面反射波U1の少なくとも一部は、超音波U0によって打ち消される。

詳述すると、第二層432よりも音響インピーダンスが小さい第一層431側から第一界面F1に入射した超音波が、第一界面F1で反射されると、超音波の位相が反転する。また、第一層431を伝播して超音波送受面412Aで反射される際にも、超音波の位相が反転する。このため、第一層431の厚み（超音波送受面412Aと第一界面F1との距離）を $\lambda/4$ の奇数倍とすることにより、第一界面F1に再入射する際の界面反射波U1の位相を、超音波U0に対して逆位相とすることができる。以上から、第一界面F1で反射され、超音波送受面412Aで反射された後、再び第一界面F1に入射する界面反射波U2の少なくとも一部が、超音波U0によって打ち消される。

10

【0053】

また、第二界面F2に入射する超音波U0の一部が、第二界面F2で反射されることにより、界面反射波U2が発生し、さらに、この界面反射波U2の一部が第一界面F1で反射して界面反射波U21が生じる場合がある。この界面反射波U21は、第一界面F1にて反射されて再び第二界面F2に到達する際に、超音波U0に対して逆位相となる。このため、界面反射波U21の少なくとも一部は、超音波U0によって打ち消される。

20

詳述すると、第二層432の厚み（第一界面F1と第二界面F2との距離）が、 $\lambda/4$ の奇数倍とすることにより、第二界面F2に再入射する際の界面反射波U21の位相を、超音波U0に対して逆位相とすることができる。したがって、第二界面F2において、界面反射波U21の少なくとも一部が、超音波U0によって打ち消される。

【0054】

また、界面反射波U2のうち、第一界面F1を透過した界面反射波U22は、第一層431を透過した後、超音波送受面412Aで反射され、再び界面F2に到達する際に、超音波U0に対して逆位相となる。界面反射波U22の少なくとも一部は、超音波U0によって打ち消される。すなわち、界面反射波U22は、超音波送受面412Aで反射される際に、位相が反転する。したがって、第一層431及び第二層432の厚みを $\lambda/4$ の奇数倍とすることにより（すなわち、界面F2と超音波送受面412Aとの間の距離を $\lambda/4$ の偶数倍、換言すると $\lambda/2$ の整数倍とすることにより）、第二界面F2に再入射する際の界面反射波U22の位相を、超音波U0に対して逆位相とすることができる。したがって、第二界面F2において、界面反射波U22の少なくとも一部が、超音波U0によって打ち消される。

30

【0055】

上述のように、各界面F1, F2で生じた界面反射波の少なくとも一部を打ち消すことにより、当該界面反射波が生体内に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

40

また、本実施形態では、音響整合層43の振動膜412側の面43Aと各界面F1, F2は、超音波送受面412Aと略平行であるため、界面反射波が、超音波送受面412A及び各界面F1, F2の法線方向（Z方向）に伝播させることができる。このため、界面反射波の伝播距離を上記距離とすることができ、より確実に、界面反射波を打ち消すことができる。

【0056】

図6及び図7は、超音波デバイスから送信される超音波の時間変化の一例を示す図である。ここで、本実施形態の超音波デバイス22から出射された超音波の時間変化を実線で示す。一方、一点鎖線は、厚みが $\lambda/2$ の整数倍ではない一層の音響整合層を備える、比較例の超音波デバイスから送信された超音波の時間変化の一例を示す。なお、図6及び図

50

7では、第一層431及び音響レンズ44の音響インピーダンスの値を1.5MRaylsとし、第二層432の音響インピーダンスの値を1MRaylsとしている。

【0057】

図6及び図7に示す例では、超音波トランスデューサー45に、例えば、5MHzのバースト波の波形を有する駆動電圧を印加し、超音波トランスデューサー45を駆動する。図6に示すように、超音波デバイス22のQ値が2の場合、一点鎖線で示す比較例では、凡そ $3.00 \times 10^{-7}$ sec以降に音圧の変動が検出され、所謂、尾引きが発生している。これに対して、実線で示す本実施形態の超音波デバイス22では、音圧変化が抑制されており、尾引きが抑制されていることが見て取れる。

また、図7に示すように、超音波デバイス22のQ値が4の場合でも、比較例と比べて本実施形態の超音波デバイス22を用いることにより、尾引き部分の音圧変化が抑制されている。

10

【0058】

また、図5に示すように、超音波U0は、第一界面F1を通過する際に、音響インピーダンスが高い第一層431から、低い第二層432へ伝播することとなり、その音圧が小さくなるが、第二界面F2を通過する際には、逆に、音響インピーダンスが低い第二層432から音響レンズ44へ伝播することとなり、音圧が大きくなる。したがって、音響整合層が一層構成である比較例の超音波デバイスと比べて、二層構成の音響整合層43を備える超音波デバイス22では、尾引きを抑制しつつ、音圧の低下を抑制できる。

【0059】

20

なお、図6及び図7に示すように、比較例の場合でも、超音波デバイスのQ値を小さくすることにより、尾引き部分の音圧変化を抑制できる。しかしながら、超音波U0の出力も小さくなってしまふ。これに対して、本実施形態の超音波デバイス22を用いることにより、Q値を小さくしなくても、尾引き部分の音圧変化を抑制できる。したがって、超音波デバイス22によれば、超音波U0の出力の低下を抑制し、かつ尾引きの影響を抑制でき、高精度の超音波測定を行うことができる。

【0060】

[超音波デバイスの製造方法]

次に、上述したような超音波デバイス22の製造方法について説明する。

図8は、本実施形態の超音波センサー24の製造における各工程を示すフローチャートである。図9から図11は、各工程での超音波センサー24の概略を示す図である。

30

超音波センサー24を製造するためには、図8に示すように、デバイス本体形成工程S1、第一層形成工程S2、第二層形成工程S3及び音響レンズ配置工程S4を実施する。

【0061】

デバイス本体形成工程S1では、素子基板41及び封止板42を含むデバイス本体40(図9参照)を形成する。

このステップS1では、基板本体部411に振動膜412を形成した後、振動膜412上に圧電素子413を形成し、基板本体部411に開口部411Aを形成する。この際、開口部411Aは、深さが第一層431の厚みと同じとなるように形成される。その後、封止板42を形成し、デバイス本体40と封止板42とを接合する。

40

【0062】

次に、第一層形成工程S2を実施する。ステップS2では、図10に示すように、デバイス本体40の開口部411Aに音響整合層43の第一層431を形成する。具体的には、開口部411Aの内部に第一層431の形成材料を充填する。なお、開口部411Aと第一層431との+Z側の面が同一平面となるように、開口部411Aからはみ出た余分な形成材料を除去する。

【0063】

次に、第二層形成工程S3を実施する。ステップS3では、図11に示すように、基板本体部411に調整部材417を配置する。この調整部材417の厚みは、第二層432の厚みと同じとなるように形成されている。その後、調整部材417に囲まれた領域に、

50

第二層 4 3 2 の形成材料を充填する。なお、調整部材 4 1 7 と第二層 4 3 2 との + Z 側の面が同一平面となるように、はみ出た余分な形成材料を除去する。

次に、音響レンズ配置工程 S 4 を実施して、第二層 4 3 2 の + Z 側に音響レンズ 4 4 を配置する。このようにして超音波デバイス 2 2 が形成される。

#### 【 0 0 6 4 】

なお、上述の超音波デバイス 2 2 の形成方法では、素子基板 4 1 と封止板 4 2 とを接合した後に、音響整合層 4 3 を形成し、音響レンズ 4 4 を配置したが、これに限定されない。すなわち、封止板 4 2 に接合する前の素子基板 4 1 に音響整合層 4 3 を形成し、音響レンズ 4 4 を配置してもよい。

また、素子基板 4 1 に調整部材 4 1 7 を配置した後、第二層 4 3 2 を形成したが、これに限定されず、調整部材 4 1 7 を設けずに、第二層 4 3 2 を形成してもよい。また、素子基板 4 1 側に第二層 4 3 2 を形成せずに、音響レンズ 4 4 側に第二層 4 3 2 を形成してもよい。この場合、例えば、音響レンズ 4 4 に凹部を設け、当該凹部の内部に第二層 4 3 2 を形成し、第二層 4 3 2 が形成された音響レンズ 4 4 を第一層 4 3 1 が形成された素子基板 4 1 に接合してもよい。

#### 【 0 0 6 5 】

##### [ 第一実施形態の作用効果 ]

本実施形態の超音波デバイス 2 2 は、振動膜 4 1 2 の超音波送受面 4 1 2 A に設けられた音響整合層 4 3 と、音響整合層 4 3 に設けられた音響レンズ 4 4 と、を備えている。この音響整合層 4 3 は、超音波送受面 4 1 2 A 側の第一層 4 3 1 と、音響レンズ 4 4 側の第二層 4 3 2 と、を備え、各層が超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/4$  の奇数倍の厚みを有する。そして、第二層 4 3 2 は、第一層 4 3 1 及び音響レンズ 4 4 よりも音響インピーダンスが小さい。このように構成された超音波デバイス 2 2 では、音響整合層 4 3 及び音響レンズ 4 4 における各界面 F 1 , F 2 で界面反射波が生じたとしても ( 図 5 の界面反射波 U 1 , S 2 参照 )、上述のように、界面反射波が界面に再入射する際に、界面反射波の位相を、超音波トランスデューサー 4 5 から送信される超音波 U 0 の位相と逆位相とすることができる。したがって、界面反射波の少なくとも一部を打ち消すことにより、当該界面反射波が超音波 U 0 に遅延して音響レンズ 4 4 から測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

#### 【 0 0 6 6 】

また、本実施形態では、音響整合層 4 3 は、二層で構成されている。ここで、音響整合層 4 3 が、偶数層で、かつ、第一層 4 3 1 及び第二層 4 3 2 を交互に配置した構成としても、同様に、界面反射波による尾引きの発生を抑制できる。一方で、音響整合層 4 3 が厚くなると超音波の減衰が増大し、超音波の送信出力、ひいては受信感度が低下するおそれもある。各層を薄くすることにより、音響整合層 4 3 の全体を薄くすることも可能であるが、各層を薄くすることにも限界がある。これに対して、音響整合層 4 3 を二層で構成することにより、音響整合層 4 3 の薄型化を図ることができ、薄型化も容易である。

#### 【 0 0 6 7 】

また、振動膜 4 1 2 は、平面状の超音波送受面 4 1 2 A を有し、各界面 F 1 , F 2 は、超音波送受面 4 1 2 A に平行である。ここで、各界面 F 1 , F 2 が平面状ではなく、超音波送受面 4 1 2 A に平行ではない場合、界面反射波は、反射位置に応じた方向に反射される。このため、界面反射波の反射位置に応じて伝播距離が変化し、界面に再入射した際の界面反射波の位相が、超音波 U 0 と逆位相とならないおそれがある。これに対して、本実施形態では、反射位置に関わらず、界面 F 1 , F 2 の法線方向である Z 方向に沿って界面反射波が反射されるため、上記不具合の発生を抑制でき、界面反射波をより確実に打ち消すことができる。

#### 【 0 0 6 8 】

また、本実施形態では、圧電素子 4 1 3 が、振動膜 4 1 2 の作動面 4 1 2 B 側に設けられ、超音波送受面 4 1 2 A 側から超音波が送信される。このような構成では、例えば、超音波送受面 4 1 2 A 側に圧電素子 4 1 3 が形成されている構成と比べて、音響整合層 4 3

10

20

30

40

50

と超音波トランスデューサー 45 との界面である超音波送受面 412A の平坦性を向上させることができる。したがって、超音波送受面 412A と各界面 F1, F2 との間の距離をより均一とすることができ、界面反射波をより確実に打ち消すことができる。

【0069】

本実施形態では、音響整合層 43 のうち第一層 431 は、基板本体部 411 に形成された開口部 411A に充填されている。このような構成では、開口部 411A の深さに応じた第一層 431 を形成することができ、また、開口部 411A の厚みを適宜調整することにより、第一層 431 の厚みを適切な値に調整することができ、所望の厚みの第一層 431 を形成することが容易である。

【0070】

また、本実施形態では、音響整合層 43 のうち第二層 432 の厚みを調整する調整部材 417 を備える。この調整部材 417 は、基板本体部 411 の +Z 側に配置された枠状の部材である。この調整部材 417 に囲まれる凹部に第二層 432 を形成することにより、調整部材 417 の厚みに応じた第二層 432 を形成することができる。したがって、調整部材 417 の厚みを調整することにより、第二層 432 の厚みを適切な値に調整することができ、所望の厚みの第二層 432 を形成することが容易である。

【0071】

[第二実施形態]

次に、超音波デバイスの第二実施形態について説明する。

上述の第一実施形態では、超音波デバイス 22 が第一層 431 及び第二層 432 からなる音響整合層 43 を備える構成を例示した。これに対して、第二実施形態の超音波デバイスは、上記音響整合層 43 の代りに一層の音響整合層 47 を備える点で上記第一実施形態と相違する。

【0072】

図 12 は、第二実施形態の超音波デバイス 25 の断面を模式的に示す断面図である。

図 12 に示すように、超音波デバイス 25 は、素子基板 41 と、封止板 42 と、音響整合層 47 と、音響レンズ 44 と、により構成されている。

本実施形態の素子基板 41 は、開口部 411A の深さ寸法は、超音波トランスデューサー 45 によって送信される超音波の波長を  $\lambda$  として、 $\lambda/2$  の整数倍である点以外は、第一実施形態と略同様に構成される。

音響整合層 47 は、第一実施形態の第二層 432 と同様に、音響レンズ 44 よりも音響インピーダンスが小さい材料で形成されている。この音響整合層 47 は、開口部 411A に充填されている。この音響整合層 47 の +Z 側に音響レンズ 44 が配置されている。

【0073】

音響整合層 47 の厚み寸法  $L_2$ 、すなわち、音響整合層 47 及び音響レンズ 44 の界面 F3 と、超音波送受面 412A との距離  $L_2$  は、超音波トランスデューサー 45 から送信される超音波の波長を  $\lambda$  とし、1 以上の整数を  $n$  として、下記式 (2) を満たす。すなわち、寸法  $L_2$  が、 $\lambda/2$  の整数倍となるように、第一層 431 及び第二層 432 が形成されている。なお、本実施形態においても、開口部 411A の深さによって、音響整合層 47 の厚みを調整することができる。

【0074】

[数 2]

$$L_2 = (\lambda/2) \times n \quad \dots (2)$$

【0075】

[音響整合層による尾引きの抑制]

本実施形態においても、界面 F3 で生じる界面反射波による尾引きの発生を抑制でき、距離分解能を向上させることができる。すなわち、界面 F3 で生じた、-Z 方向に伝播する界面反射波は、超音波送受面 412A にて反射される際に位相が反転する。このため、音響整合層 47 の厚み (超音波送受面 412A と界面 F3 との距離) を  $\lambda/2$  の整数倍とすることにより、界面 F3 に再入射する際の界面反射波の位相を、超音波トランスデュー

10

20

30

40

50

サー 45 から送信された超音波 U0 (図 5 参照) に対して逆位相とすることができる。以上から、界面 F3 で反射され、超音波送受面 412A で反射された後、再び界面 F3 に入射する界面反射波の少なくとも一部が、超音波 U0 によって打ち消される。したがって、界面反射波が、超音波 U0 に遅延して生体内に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

#### 【0076】

図 13 は、超音波デバイス 25 から送信される超音波の時間変化の一例を示す図である。図 13 では、図 6 と同様に、本実施形態の超音波デバイス 25 から出射された超音波の時間変化を実線で示す。一方、一点鎖線は、厚みが  $\lambda/2$  の整数倍ではない一層の音響整合層を備える、比較例の超音波デバイスから送信された超音波の時間変化の一例を示す。また、図 13 では、音響レンズ 44 の音響インピーダンスの値を  $1.5 \text{ MRayls}$  とし、音響整合層 47 の音響インピーダンスの値を  $1 \text{ MRayls}$  とし、超音波デバイス 25 の Q 値を 2 としている。また、超音波トランスデューサー 45 に、例えば、 $5 \text{ MHz}$  のパースト波の波形を有する駆動電圧を印加した場合について例示している。

図 13 に示すように、一点鎖線で示す比較例に対して、実線で示す本実施形態の超音波デバイス 25 では、凡そ  $3.00 \times 10^{-7} \text{ sec}$  以降の音圧変化が抑制されており、尾引きが抑制されていることが見て取れる。

#### 【0077】

##### [ 第二実施形態の作用効果 ]

本実施形態の超音波デバイス 25 では、音響整合層 47 は、一層で構成され、超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda/2$  の整数倍の厚みを有する。そして、音響整合層 47 は、音響レンズ 44 よりも音響インピーダンスが小さい。このように構成された超音波デバイス 25 では、音響整合層 47 と音響レンズ 44 との界面 F3 で界面反射波が生じたとしても、上述のように、界面反射波が界面に再入射する際に、界面反射波の位相を、超音波トランスデューサー 45 から送信された超音波 U0 の位相と逆位相とすることができる。したがって、界面反射波の少なくとも一部を打ち消すことにより、当該界面反射波が超音波 U0 に遅延して音響レンズ 44 から測定対象に出射されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

#### 【0078】

##### [ 第三実施形態 ]

次に、超音波デバイスの第三実施形態について説明する。

上述の第二実施形態では、超音波デバイス 25 が音響整合層 47 上に音響レンズ 44 が配置される構成を例示した。これに対して、第三実施形態の超音波デバイスは、音響整合層 47 と音響レンズ 44 との間に中間層 48 を備える点で上記第一実施形態と相違する。

#### 【0079】

図 14 は、第三実施形態の超音波デバイス 26 の断面を模式的に示す断面図である。

図 14 に示すように、超音波デバイス 26 は、素子基板 41 と、封止板 42 と、音響整合層 47 と、中間層 48 と、音響レンズ 44 と、により構成されている。第三実施形態では、中間層 48 は、第一中間層 481 と第二中間層 482 とを備える点と、第一中間層 481 の厚みを調整する第一調整部材 418 と、第二中間層 482 の厚みを調整する第二調整部材 419 と、を備える点以外は、第二実施形態と略同様に構成される。

第一調整部材 418 は、第一実施形態の調整部材 417 と同様に構成され、基板本体部 411 の +Z 側に設けられている。この第一調整部材 418 によって囲まれる凹部に中間層 48 の第一中間層 481 が充填されている。したがって、第一調整部材 418 の厚みを適宜調整することにより、第一中間層 481 の厚みを調整することができる。

第二調整部材 419 は、第一調整部材 418 の +Z 側に設けられている。この第二調整部材 419 によって囲まれる凹部に第二中間層 482 が充填されている。したがって、第二調整部材 419 の厚みを適宜調整することにより、第二中間層 482 の厚みを調整することができる。

第二調整部材 419 及び第二中間層 482 の +Z 側には音響レンズ 44 が配置されてい

10

20

30

40

50

る。

【 0 0 8 0 】

中間層 4 8 は、図 1 4 に示すように、音響整合層 4 7 上に設けられた第一中間層 4 8 1 と、第一中間層 4 8 1 上に設けられた第二中間層 4 8 2 とを有する。これらのうち第一中間層 4 8 1 は、第一実施形態の第一層 4 3 1 に対応し、また、第二中間層 4 8 2 は、第一実施形態の第二層 4 3 2 に対応する。すなわち、第一中間層 4 8 1 の音響インピーダンスは、第二中間層 4 8 2 の音響インピーダンスよりも大きく、かつ、音響整合層 4 7 の音響インピーダンスよりも大きい。また、第二中間層 4 8 2 の音響インピーダンスは、音響レンズ 4 4 の音響インピーダンスよりも小さい。

【 0 0 8 1 】

また、音響整合層 4 7 と第一中間層 4 8 1 との界面（以下、第一界面 F 4 とも称する）、第一中間層 4 8 1 と第二中間層 4 8 2 との界面（以下、第二界面 F 5 とも称する）、及び、第二中間層 4 8 2 と音響レンズ 4 4 との界面（以下、第三界面 F 6 とも称する）は、超音波送受面 4 1 2 A と略平行である。

さらに、第一中間層 4 8 1 及び第二中間層 4 8 2 の厚み寸法 L 3（すなわち、第一界面 F 4 と第二界面 F 5 との距離、及び、第二界面 F 5 と第三界面 F 6 との距離）は、超音波トランスデューサー 4 5 から送信される超音波の波長を  $\lambda$  とし、1 以上の整数を n として、下記式（3）を満たす。

【 0 0 8 2 】

[ 数 3 ]

$$L 3 = ( \lambda / 4 ) \times ( 2 n - 1 ) \cdots ( 3 )$$

【 0 0 8 3 】

このように構成された中間層 4 8 は、第一実施形態の音響整合層 4 3 と同様に機能する。すなわち、本実施形態の第一界面 F 4、第二界面 F 5、及び第三界面 F 6 は、それぞれ第一実施形態の超音波送受面 4 1 2 A、第一界面 F 1、及び第二界面 F 2 に相当する。

また、本実施形態の第一界面 F 4 は、第二実施形態の界面 F 3 に相当する。

したがって、上述のように構成された超音波デバイス 2 2 においても、第一実施形態及び第二実施形態と同様に各界面 F 4、F 5、F 6 で界面反射波が生じたとしても、当該界面反射波による尾引きの発生を抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

【 0 0 8 4 】

[ 第三実施形態の作用効果 ]

本実施形態の超音波デバイス 2 6 は、振動膜 4 1 2 の超音波送受面 4 1 2 A に設けられた音響整合層 4 7 と、音響整合層 4 7 に設けられた中間層 4 8 と、中間層 4 8 に設けられた音響レンズ 4 4 と、を備えている。この中間層 4 8 は、音響整合層 4 7 側の第一中間層 4 8 1 と、音響レンズ 4 4 側の第二中間層 4 8 2 と、を備え、各層が超音波の波長を  $\lambda$  として  $\lambda / 4$  の奇数倍の厚みを有する。そして、第二中間層 4 8 2 は、第一中間層 4 8 1 及び音響レンズ 4 4 よりも音響インピーダンスが小さい。このように構成された超音波デバイス 2 6 では、音響整合層 4 3、中間層 4 8、及び音響レンズ 4 4 における各界面 F 3、F 4、F 5 で界面反射波が生じたとしても、上述のように、界面反射波が界面に再入射する際に、界面反射波の位相を、超音波トランスデューサー 4 5 から送信される超音波 U 0 の位相と逆位相とすることができる。したがって、界面反射波の少なくとも一部を打ち消すことにより、当該界面反射波が超音波 U 0 に遅延して音響レンズ 4 4 から測定対象に射出されることを抑制でき、距離分解能を向上させることができる。

【 0 0 8 5 】

また、本実施形態では、中間層 4 8 は、二層で構成されている。ここで、中間層 4 8 が、四層以上の偶数層で、かつ、第一中間層 4 8 1 及び第二中間層 4 8 2 を交互に配置した構成としても、同様に、界面反射波による尾引きの発生を抑制できる。一方で、中間層 4 8 が厚くなると超音波の減衰が増大し、超音波の送信出力、ひいては受信感度が低下するおそれもある。各層を薄くすることにより、中間層 4 8 の全体を薄くすることも可能であるが、各層を薄くすることにも限界がある。これに対して、中間層 4 8 を二層で構成する

10

20

30

40

50

ことにより、中間層 4 8 の薄型化を図ることができ、薄型化も容易である。

【 0 0 8 6 】

[ 変形例 ]

なお、上述の各実施形態は、各実施形態の説明にて記載された構成に限定されるものではなく、変形、改良、及び各実施形態を適宜組み合わせる等を行ってもよい。

【 0 0 8 7 】

例えば、上記第一実施形態では、音響整合層 4 3 が二層構成である場合について例示したが、これに限定されず、四層以上の偶数層で構成されてもよい。この場合、第一層 4 3 1 と第二層 4 3 2 とが交互に配置される構成とすればよい。

また、上記第三実施形態では、中間層 4 8 が二層構成である場合について例示したが、これに限定されず、四層以上の偶数層で構成されてもよい。この場合、第一中間層 4 8 1 と第二中間層 4 8 2 とが交互に配置される構成とすればよい。

【 0 0 8 8 】

上記第一実施形態では、第一層 4 3 1 と第二層 4 3 2 とが同じ厚みである構成を例示したが、これに限定されず、第一層 4 3 1 と第二層 4 3 2 とが異なる厚みであってもよい。また、同様に、上記第三実施形態では、第一中間層 4 8 1 と第二中間層 4 8 2 とが同じ厚みである構成を例示したが、これに限定されず、第一中間層 4 8 1 と第二中間層 4 8 2 とが異なる厚みであってもよい。

【 0 0 8 9 】

上記第一実施形態では、第二層 4 3 2 の厚みを調整する調整部材 4 1 7 を素子基板 4 1 に設ける構成を例示したが、この調整部材 4 1 7 を素子基板 4 1 に一体的に形成してもよいし、調整部材 4 1 7 を設けない構成としてもよい。例えば、第二層 4 3 2 の厚みを調整する調整部材としての凹部を音響レンズ 4 4 に設けてもよい。この場合でも、音響レンズ 4 4 の凹部の深さを調整することにより、第二層 4 3 2 の厚みを調整することができる。

また、調整部材 4 1 7 を設けない構成としてもよい。例えば、第一層 4 3 1 上に第二層 4 3 2 を形成した後に厚みを調整してもよいし、適切な厚みとなるように形成された第二層 4 3 2 を第一層 4 3 1 上に配置してもよい。

また、上記第三実施形態でも同様に、調整部材 4 1 8 , 4 1 9 を素子基板 4 1 に設ける構成を例示したが、これに限定されず、調整部材 4 1 8 , 4 1 9 を素子基板 4 1 に一体的に形成してもよいし、調整部材 4 1 8 , 4 1 9 を設けない構成としてもよい。

【 0 0 9 0 】

上記第一実施形態では、第一層 4 3 1 の厚みが、開口部 4 1 1 A の深さと同じである構成を例示し、開口部 4 1 1 A の深さによって第一層 4 3 1 の厚みを調整するとしたが、これに限定されない。例えば、開口部 4 1 1 A の深さと、第一層 4 3 1 の厚みが異なる構成でもよい。また、上記第二実施形態及び第三実施形態でも同様に、音響整合層 4 7 の厚みが開口部 4 1 1 A と異なる構成としてもよい。

【 0 0 9 1 】

上記各実施形態では、図 4 に示すように、開口部 4 1 1 A が形成された基板本体部 4 1 1 が、振動膜 4 1 2 の超音波送受面 4 1 2 A 側に設けられ、振動膜 4 1 2 の作動面 4 1 2 B 側に圧電素子 4 1 3 が設けられ、超音波送受面 4 1 2 A 側から超音波を送受信する構成を例示したがこれに限定されない。

例えば、振動膜 4 1 2 の超音波送受面 4 1 2 A 側に基板本体部 4 1 1 が設けられ、超音波送受面 4 1 2 A 側に圧電素子 4 1 3 が設けられる構成としてもよい。また、振動膜 4 1 2 の作動面 4 1 2 B 側に基板本体部 4 1 1 が設けられ、超音波送受面 4 1 2 A 側に圧電素子 4 1 3 が設けられる構成としてもよい。また、振動膜 4 1 2 の作動面 4 1 2 B 側に基板本体部 4 1 1 が設けられ、作動面 4 1 2 B 側の開口部 4 1 1 A の内に圧電素子 4 1 3 が設けられる構成としてもよい。

【 0 0 9 2 】

上記各実施形態では、超音波トランスデューサー 4 5 が備える圧電素子 4 1 3 として、下部電極 4 1 4、圧電膜 4 1 5、上部電極 4 1 6 が厚み方向に積層される積層体により構

10

20

30

40

50

成される例を示したが、これに限定されない。例えば、圧電膜 415 の厚み方向に直交する一面側に、一对の電極を互いに対向させて配置する構成などとしてもよい。また、圧電膜の厚み方向に沿った側面で圧電膜を挟み込むように電極を配置してもよい。

また、上記各実施形態では、超音波トランスデューサー 45 が送受信を行う構成を例示したが、超音波トランスデューサー 45 が送信のみを行う構成であってもよい。

【0093】

上記実施形態では、生体を測定対象とする超音波測定装置を例示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、各種構造物を測定対象として、当該構造物の欠陥の検出や老化の検査を行う電子機器に、本発明を適用することができる。また、例えば、半導体パッケージやウェハ等を測定対象として、当該測定対象の欠陥を検出する電子機器にも本発明を適用することができる。

10

【0094】

その他、本発明の実施の際の具体的な構造は、本発明の目的を達成できる範囲で上記各実施形態及び変形例を適宜組み合わせることで構成してもよく、また他の構造などに適宜変更してもよい。

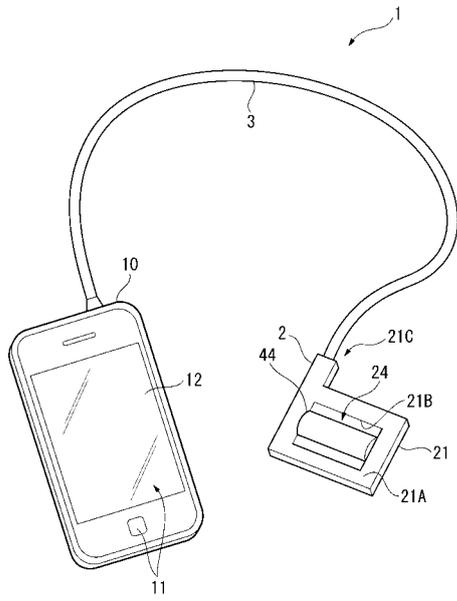
【符号の説明】

【0095】

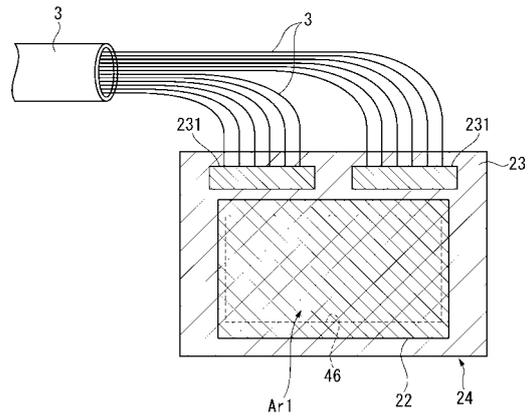
1 ... 超音波測定装置、2 ... 超音波プローブ、10 ... 制御装置（制御部）、22 ... 超音波デバイス、23 ... 配線基板（回路基板）、24 ... 超音波センサー（超音波モジュール）、41 ... 素子基板、41A ... 背面、42 ... 封止板、43 ... 音響整合層、44 ... 音響レンズ、45 ... 超音波トランスデューサー、46 ... 超音波トランスデューサーアレイ、47 ... 音響整合層、48 ... 中間層、411 ... 基板本体部、411A ... 開口部、412 ... 振動膜、412A ... 超音波送受面（第一面）、412B ... 作動面（第二面）、413 ... 圧電素子、414 ... 下部電極、414A ... 下部電極本体、414B ... 下部電極線、414C ... 下部端子電極線、415 ... 圧電膜、416 ... 上部電極、416C ... 上部電極本体、421 ... 凹溝、421A ... ギャップ、431 ... 第一層、432 ... 第二層、481 ... 第一中間層、482 ... 第二中間層、F1 ... 第一界面、F2 ... 第二界面、F3 ... 界面、F4 ... 第一界面、F5 ... 第二界面、F6 ... 第三界面、L1 ... 第一層及び第二層の厚み寸法、L2 ... 音響整合層の厚み寸法、L3 ... 第一中間層及び第二中間層の厚み寸法。

20

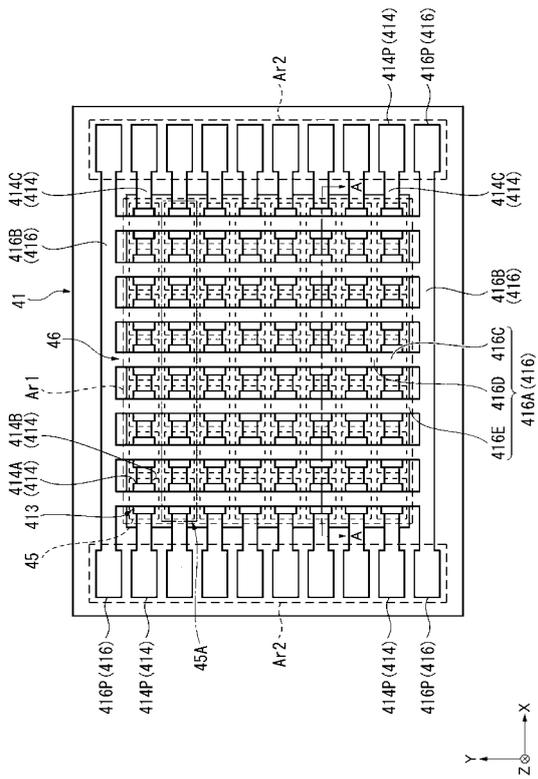
【 図 1 】



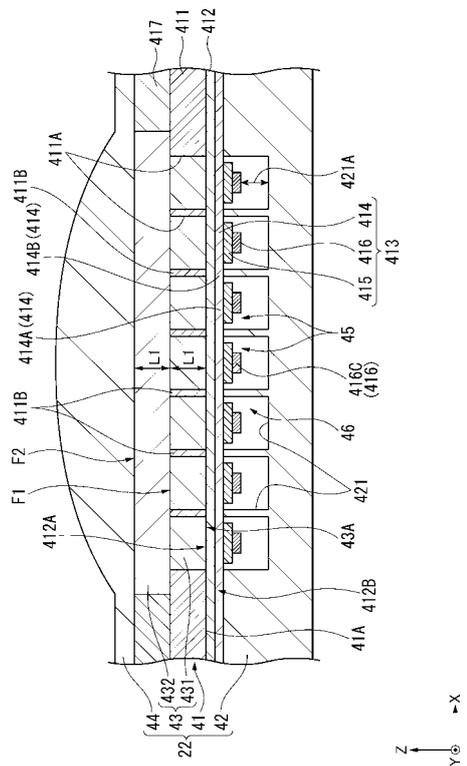
【 図 2 】



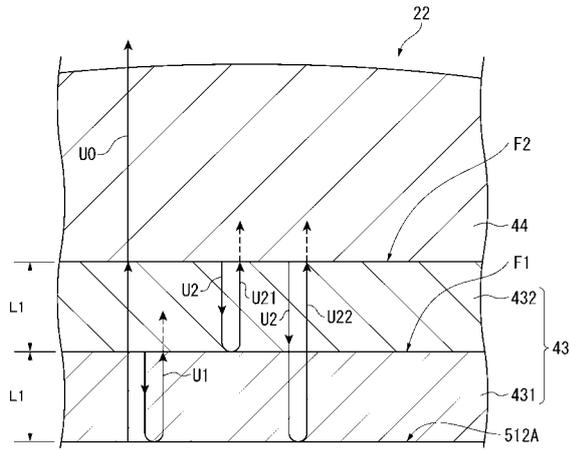
【 図 3 】



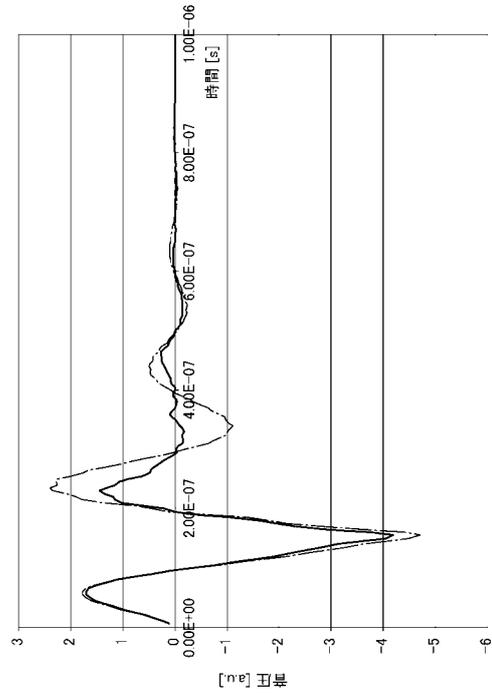
【 図 4 】



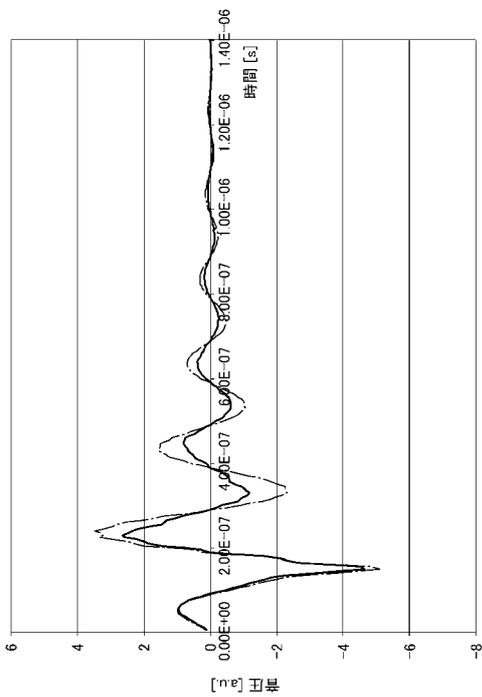
【図5】



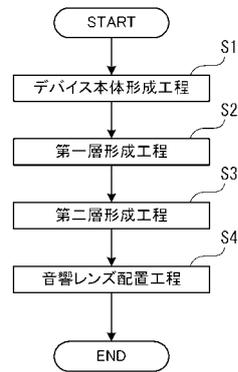
【図6】



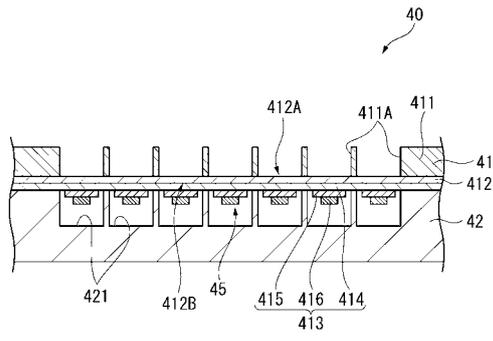
【図7】



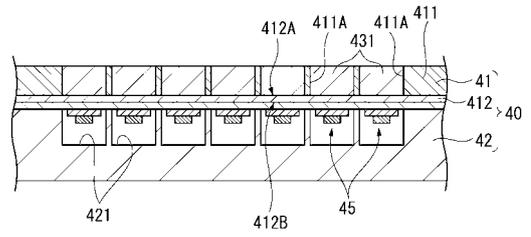
【図8】



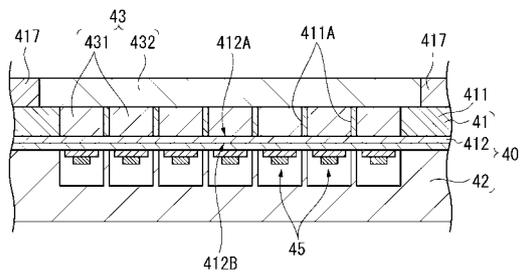
【 図 9 】



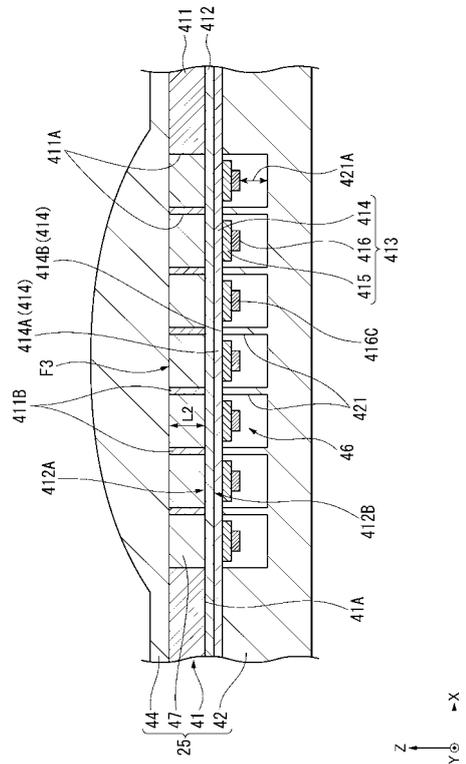
【 図 10 】



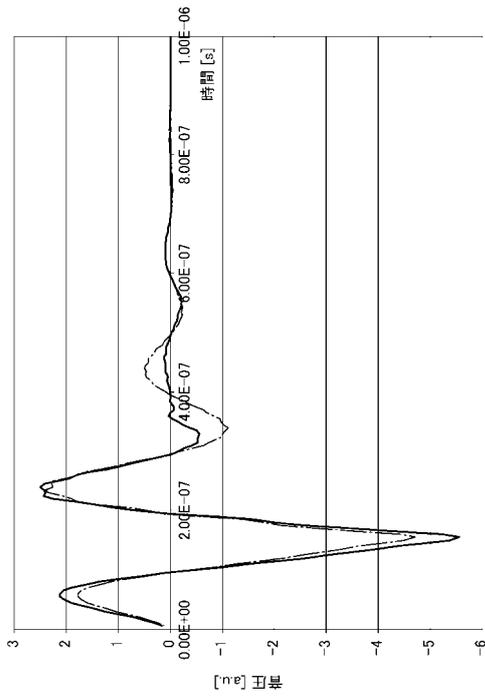
【 図 11 】



【 図 12 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】

