

(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2015-76825

(P2015-76825A)

(43) 公開日 平成27年4月20日 (2015.4.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04R 17/00 (2006.01)	H04R 17/00 330J	4C601
A61B 8/00 (2006.01)	H04R 17/00 332A	5D019
	A61B 8/00	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2013-213463 (P2013-213463)	(71) 出願人	000002369
(22) 出願日	平成25年10月11日 (2013.10.11)		セイコーエプソン株式会社
			東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
		(74) 代理人	100095728
			弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100116665
			弁理士 渡辺 和昭
		(72) 発明者	清瀬 摂内
			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
		(72) 発明者	内山 敏一
			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

最終頁に続く

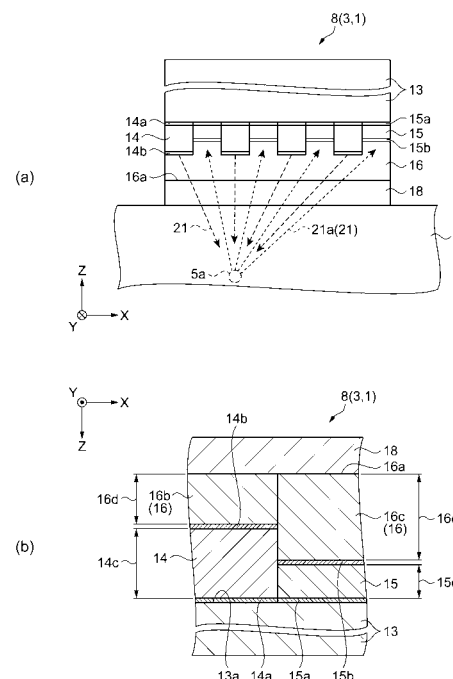
(54) 【発明の名称】 超音波デバイス、超音波デバイスの製造方法、超音波プローブおよび超音波診断装置

(57) 【要約】

【課題】 共振周波数異なる複数の振動子を多数配置するときにも製造し易い構造の超音波デバイスを提供する。

【解決手段】 基板13と、基板13上に設けられた第1圧電体14と、基板13上に設けられ第1圧電体14と厚みの異なる第2圧電体15と、第1圧電体14及び第2圧電体15上に設けられ音響インピーダンスを調整する音響整合部16と、を備え、基板13の第1圧電体14及び第2圧電体15が設けられた第1面13aは平坦であり、音響整合部16において第1圧電体14及び第2圧電体15と反対側の第2面16aも平坦となっている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板と、
 前記基板の第 1 面に設けられた第 1 圧電体と、
 前記基板の前記第 1 面に設けられ前記第 1 圧電体と厚みの異なる第 2 圧電体と、
 前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、
 前記第 1 面は平坦であり、前記音響整合部において前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体の反対側に位置する第 2 面は前記第 1 面と平行かつ平坦である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であって、
 前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体における音速を C_p 、前記音響整合部における音速を C_s 、前記第 1 圧電体の共振周波数を f_1 、前記第 2 圧電体の共振周波数を f_2 、前記第 1 圧電体の厚みを d_1 、前記第 2 圧電体の厚みを d_2 、前記第 1 圧電体上に設けられた前記音響整合部の厚みを t_1 、前記第 2 圧電体上に設けられた前記音響整合部の厚みを t_2 、 n を整数、 k_1 及び k_2 を奇数、とするとき、下記式 1 ～ 式 7 を満たすことを特徴とする超音波デバイス。

$$f_2 = n \times f_1 \quad \dots (式 1)$$

$$d_1 = C_p / (2 \times f_1) \quad \dots (式 2)$$

$$d_2 = C_p / (2 \times f_2) \quad \dots (式 3)$$

$$t_1 = k_1 \times C_s / (4 \times f_1) \quad \dots (式 4)$$

$$t_2 = k_2 \times C_s / (4 \times f_2) \quad \dots (式 5)$$

$$d_1 + t_1 = d_2 + t_2 \quad \dots (式 6)$$

$$C_s = 2 \times (n - 1) \times C_p (k_2 - n \times k_1) \quad \dots (式 7)$$

【請求項 3】

請求項 2 に記載の超音波デバイスであって、
 前記音響整合部の材質は天然ゴムであることを特徴とする超音波デバイス。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の超音波デバイスであって、
 前記音響整合部の材質はシリコン樹脂であることを特徴とする超音波デバイス。

【請求項 5】

請求項 2 に記載の超音波デバイスであって、
 前記音響整合部の材質はポリエチレン樹脂であることを特徴とする超音波デバイス。

【請求項 6】

基板の平坦な第 1 面上に第 1 圧電体と第 2 圧電体とを形成する工程と、
 前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体上に前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体の反対側に位置する第 2 面が前記第 1 面と平行かつ平坦となるように音響整合部を形成する工程と、
 を備えることを特徴とする超音波デバイスの製造方法。

【請求項 7】

超音波デバイスと、
 前記超音波デバイスを駆動する駆動部と、を備え、
 前記超音波デバイスは、基板と、
 前記基板の第 1 面に設けられた第 1 圧電体と、
 前記基板の前記第 1 面に設けられた第 2 圧電体と、
 前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、
 前記第 1 面は平坦であり、前記音響整合部において前記第 1 圧電体及び前記第 2 圧電体の反対側の第 2 面は前記第 1 面と平行かつ平坦であることを特徴とする超音波プローブ。

【請求項 8】

被検体に超音波を射出し、前記被検体にて反射された超音波を検出する超音波デバイスと、

10

20

30

40

50

前記超音波デバイスを駆動する駆動部と、

前記超音波デバイスが検出した超音波から前記被検体における超音波の反射率の分布を演算する反射分布演算部と、

前記反射分布演算部が演算した前記被検体における超音波の反射率の分布に基づいた画像を表示する表示部と、を備え、

前記超音波デバイスは、基板と、

前記基板に設けられた第1圧電体と、

前記基板に設けられた第2圧電体と、

前記第1圧電体及び前記第2圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、

前記基板の前記第1圧電体及び前記第2圧電体が設けられた第1面は平坦であり、前記音響整合部において前記第1圧電体及び前記第2圧電体の反対側に位置する第2面は前記第1面と平行かつ平坦であることを特徴とする超音波診断装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波デバイス、超音波デバイスの製造方法、超音波プローブおよび超音波診断装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

超音波を送信し受信する超音波デバイスが超音波診断装置等に広く用いられている。そして、超音波デバイスにはPZT（チタン酸ジルコン酸鉛：Pb（lead）zirconate titanate）に代表される圧電セラミック等の圧電体の両端に電極を形成した振動子が一般的に用いられてきた。このような超音波デバイスが特許文献1に開示されている。それによると、超音波デバイスは段差のある基板に厚みの異なるPZTが設置されている。下の段には共振周波数の低い振動子が設置され、上の段には共振周波数の高い振動子が設置されている。

【0003】

そして、各振動子に重ねて音響整合層が配置されている。音響整合層は振動子の反対側を表面とすると、表面が平坦に形成されている。平坦にすることにより被検体に接触し易くすることができる。音響整合層の厚み及び振動子の厚みは共振周波数に対応して設定されている。そして、2つの音響整合層の厚み及び振動子の厚みを加算した長さの差が基板の段差の高さとなっている。従って、基板に段差を設けることにより、表面を平坦にしても2つの振動子及び音響整合層の長さを適切に設定することが可能となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平2-49640号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1では基板の段差が振動子の素子と対応しているので、振動子の数が増える程段差の数が増える。従って、基板に振動子を多数配置する構造の超音波デバイスでは基板の製造が難しくなる。そこで、共振周波数が異なる複数の振動子を多数配置するときにも製造し易い構造の超音波デバイスが望まれていた。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明は、上述の課題を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0007】

〔適用例1〕

10

20

30

40

50

本適用例にかかる超音波デバイスであって、基板と、前記基板の第1面に設けられた第1圧電体と、前記基板の前記第1面に設けられ前記第1圧電体と厚みの異なる第2圧電体と、前記第1圧電体及び前記第2圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、前記第1面は平坦であり、前記音響整合部において前記第1圧電体及び前記第2圧電体の反対側に位置する第2面は前記第1面と平行かつ平坦であることを特徴とする。

【0008】

本適用例によれば、超音波デバイスは基板に第1圧電体及び第2圧電体を備えている。第1圧電体は交流電圧を印加されることにより超音波を射出する。第1圧電体及び第2圧電体の上には音響整合部が設けられている。射出された超音波は音響整合部を通過して被検体に射出される。被検体にて反射した超音波は音響整合部を通過して第2圧電体に入射する。音響整合部は音響インピーダンスを調整するので、超音波は効率良く第1圧電体、被検体、第2圧電体との間を進行することができる。

10

【0009】

また、第2圧電体は超音波を入射して交流電圧の信号を出力する。第1圧電体と第2圧電体とは厚みが異なるので、各圧電体の共振周波数は異なる周波数となっている。従って、超音波デバイスは第1圧電体から超音波を被検体に向けて射出し、第2圧電体は被検体にて反射した超音波のうち異なる周波数の超音波を検出することができる。そして、基板において第1圧電体及び第2圧電体が設置された第1面は平坦な面となっている。さらに、音響整合部において第1圧電体及び第2圧電体と反対側の第2面も平坦な面となっている。従って、基板は第1面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。音響整合部は第2面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。その結果、生産性良く超音波デバイスを製造することができる。

20

【0010】

〔適用例2〕

上記適用例にかかる超音波デバイスにおいて、前記第1圧電体及び前記第2圧電体における音速を C_p 、前記音響整合部における音速を C_s 、前記第1圧電体の共振周波数を f_1 、前記第2圧電体の共振周波数を f_2 、前記第1圧電体の厚みを d_1 、前記第2圧電体の厚みを d_2 、前記第1圧電体上に設けられた前記音響整合部の厚みを t_1 、前記第2圧電体上に設けられた前記音響整合部の厚みを t_2 、 n を整数、 k_1 及び k_2 を奇数、とするとき、下記式1～式7を満たすことを特徴とする。 $f_2 = n \times f_1 \cdots$ (式1)。 $d_1 = C_p / (2 \times f_1) \cdots$ (式2)。 $d_2 = C_p / (2 \times f_2) \cdots$ (式3)。 $t_1 = k_1 \times C_s / (4 \times f_1) \cdots$ (式4)。 $t_2 = k_2 \times C_s / (4 \times f_2) \cdots$ (式5)。 $d_1 + t_1 = d_2 + t_2 \cdots$ (式6)。 $C_s = 2 \times (n - 1) \times C_p (k_2 - n \times k_1) \cdots$ (式7)。

30

【0011】

本適用例によれば、式1に示すように第2圧電体の共振周波数は第1圧電体の共振周波数の整数倍となっている。従って、第1圧電体が超音波を出力し、第2圧電体は被検体にて反射する超音波の n 次高周波を検出することができる。第1圧電体の厚み d_1 を式2が示すようにすることにより、第1圧電体の共振周波数を共振周波数 f_1 にすることができる。同様に、第2圧電体の厚み d_2 を式3が示すようにすることにより、第2圧電体の共振周波数を共振周波数 f_2 にすることができる。

40

【0012】

音響整合部を進行する超音波の波長を λ 、周波数を f とするとき、 $\lambda = C_s / f$ の関係がある。従って、式4は $t_1 = k_1 \times \lambda / 4$ を示し、式5は $t_2 = k_2 \times \lambda / 4$ を示している。つまり、音響整合部の厚みは $\lambda / 4$ の奇数倍となる。 $\lambda / 4$ の奇数倍は波長整合条件であるので、音響整合部を進行する超音波は音響整合部の界面で反射する超音波と互いに打消しあうことを抑制する。従って、音響整合部は効率よく超音波を進行させることができる。

【0013】

式6が示すように、第1圧電体の厚みと第1圧電体上の音響整合部とを加算した厚みは

50

、第2圧電体の厚みと第2圧電体上の音響整合部とを加算した厚みと同じ厚みに作られている。これにより、基板において第1圧電体及び第2圧電体が設置された第1面を平坦にして、音響整合部において第1圧電体及び第2圧電体と反対側の第2面も平坦にすることができる。そして、式1～式6により式7が導かれる。式7に示すように n 、 k_1 、 k_2 及び C_p を設定することにより、 C_s が演算される。そして、音響整合部の材質は演算された C_s に対応する音速となる材質が選定されている。従って、超音波が音響整合部を効率よく進行する超音波デバイスを生産性良く製造することができる。

【0014】

〔適用例3〕

上記適用例にかかる超音波デバイスにおいて、前記音響整合部の材質は天然ゴムであることを特徴とする。

10

【0015】

本適用例によれば、音響整合部の材質は天然ゴムである。適用例2の式7において、 $n = 2$ 、 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 7$ 、 $C_p = 4000 \text{ m/s}$ のとき $C_s = 1600 \text{ m/s}$ にすることができる。そして、 $C_s = 1600 \text{ m/s}$ は天然ゴムが適合する。天然ゴムは加工性が良い。従って、音響整合部の材質に天然ゴムを使用することにより超音波が音響整合部を効率よく進行する超音波デバイスを生産性良く製造することができる。

【0016】

〔適用例4〕

上記適用例にかかる超音波デバイスにおいて、前記音響整合部の材質はシリコン樹脂であることを特徴とする。

20

【0017】

本適用例によれば、音響整合部の材質はシリコン樹脂である。適用例2の式7において、 $n = 2$ 、 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 9$ 、 $C_p = 4000 \text{ m/s}$ のとき $C_s = 1143 \text{ m/s}$ にすることができる。そして、 $C_s = 1143 \text{ m/s}$ はシリコン樹脂が適合する。シリコン樹脂は加工性が良い。従って、音響整合部の材質にシリコン樹脂を使用することにより超音波が音響整合部を効率よく進行する超音波デバイスを生産性良く製造することができる。

【0018】

〔適用例5〕

上記適用例にかかる超音波デバイスにおいて、前記音響整合部の材質はポリエチレン樹脂であることを特徴とする。

30

【0019】

本適用例によれば、音響整合部の材質はポリエチレン樹脂である。適用例2の式7において、 $n = 3$ 、 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 11$ 、 $C_p = 4000 \text{ m/s}$ のとき $C_s = 2000 \text{ m/s}$ にすることができる。そして、 $C_s = 2000 \text{ m/s}$ はポリエチレン樹脂が適合する。ポリエチレン樹脂は加工性が良い。従って、音響整合部の材質にポリエチレン樹脂を使用することにより超音波が音響整合部を効率よく進行する超音波デバイスを生産性良く製造することができる。

【0020】

〔適用例6〕

本適用例にかかる超音波デバイスの製造方法であって、基板の平坦な第1面上に第1圧電体と第2圧電体とを形成する工程と、前記第1圧電体及び前記第2圧電体上に前記第1圧電体及び前記第2圧電体の反対側に位置する第2面が前記第1面と平行かつ平坦となるように音響整合部を形成する工程と、を備えることを特徴とする。

40

【0021】

本適用例によれば、基板上に第1圧電体と第2圧電体とが形成される。基板の第1圧電体及び第2圧電体が設けられた第1面は平坦であり容易に加工することができる。第1圧電体及び第2圧電体上には音響整合部が形成される。音響整合部において第1圧電体及び第2圧電体と反対側の第2面は平坦となっている。従って、第1面及び第2面ともに生産

50

性よく製造することができる。

【0022】

〔適用例7〕

本適用例にかかる超音波プローブであって、超音波デバイスと、前記超音波デバイスを駆動する駆動部と、を備え、前記超音波デバイスは、基板と、前記基板の第1面に設けられた第1圧電体と、前記基板の前記第1面に設けられた第2圧電体と、前記第1圧電体及び前記第2圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、前記第1面は平坦であり、前記音響整合部において前記第1圧電体及び前記第2圧電体の反対側の第2面は前記第1面と平行かつ平坦であることを特徴とする。

【0023】

本適用例によれば、超音波プローブは超音波デバイスと駆動部とを備えている。駆動部は超音波デバイスを駆動する。超音波デバイスでは基板において第1圧電体及び第2圧電体が設置された第1面は平坦な面となっている。さらに、音響整合部において第1圧電体及び第2圧電体と反対側の第2面も平坦な面となっている。従って、基板は第1面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。音響整合部は第2面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。その結果、超音波プローブは生産性良く製造可能な超音波デバイスを備えた超音波プローブとすることができる。

【0024】

〔適用例8〕

本適用例にかかる超音波診断装置であって、被検体に超音波を射出し、前記被検体にて反射された超音波を検出する超音波デバイスと、前記超音波デバイスを駆動する駆動部と、前記超音波デバイスが検出した超音波から前記被検体における超音波の反射率の分布を演算する反射分布演算部と、前記反射分布演算部が演算した前記被検体における超音波の反射率の分布に基づいた画像を表示する表示部と、を備え、前記超音波デバイスは、基板と、前記基板に設けられた第1圧電体と、前記基板に設けられた第2圧電体と、前記第1圧電体及び前記第2圧電体上に設けられた音響整合部と、を備え、前記基板の前記第1圧電体及び前記第2圧電体が設けられた第1面は平坦であり、前記音響整合部において前記第1圧電体及び前記第2圧電体の反対側に位置する第2面は前記第1面と平行かつ平坦であることを特徴とする。

【0025】

本適用例によれば、超音波診断装置は超音波デバイス、駆動部、反射分布演算部及び表示部を備えている。駆動部は超音波デバイスを駆動する。超音波デバイスは被検体に超音波を射出し、被検体にて反射する超音波を検出する。反射分布演算部は超音波デバイスが検出した超音波から被検体における超音波の反射率の分布を演算する。表示部は反射分布演算部が演算した被検体における超音波の反射率の分布を表示する。操作者は表示部を見て被検体の内部における超音波の反射率の分布を知ることができる。

【0026】

超音波デバイスでは基板において第1圧電体及び第2圧電体が設置された第1面は平坦な面となっている。さらに、音響整合部において第1圧電体及び第2圧電体と反対側の第2面も平坦な面となっている。従って、基板は第1面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。音響整合部は第2面に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。その結果、超音波診断装置は生産性良く製造可能な超音波デバイスを備えた超音波診断装置とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】第1の実施形態にかかわり、(a)は、超音波画像装置の構造を示す概略斜視図、(b)は、超音波センサーの構造を示す概略斜視図。

【図2】(a)は、超音波センサーにおける超音波の射出及び検出を説明するための模式図、(b)は、音響整合部と圧電体との寸法の関係を示すための模式図。

【図3】音響整合部の材質を選定する手順を説明するためのフローチャート。

10

20

30

40

50

【図 4】ハーモニックイメージングの次数 $n = 2$ のときの材質選定結果を示す図。

【図 5】ハーモニックイメージングの次数 $n = 3$ のときの材質選定結果を示す図。

【図 6】超音波センサーの製造方法のフローチャート。

【図 7】超音波センサーの製造方法を説明するための模式図。

【図 8】第 2 の実施形態にかかわる超音波センサーの構造を示す概略斜視図。

【図 9】第 3 の実施形態にかかわり、(a) は超音波センサーの構造を示す模式側断面図、(b) は、超音波センサーの製造方法のフローチャート。

【図 10】超音波センサーの製造方法を説明するための模式図。

【発明を実施するための形態】

【0028】

10

本実施形態では、特徴的な構造を有する超音波デバイスとこの超音波デバイスを備えた超音波プローブ及び超音波画像装置の例について説明する。以下、実施形態について図面に従って説明する。尚、各図面における各部材は、各図面上で認識可能な程度の大きさとするため、各部材毎に縮尺を異ならせて図示している。

【0029】

(第 1 の実施形態)

第 1 の実施形態にかかわる超音波画像装置について図 1 ～図 7 に従って説明する。図 1 (a) は、超音波画像装置の構造を示す概略斜視図である。図 1 (a) に示すように超音波画像装置 1 は画像処理装置 2 及び超音波プローブ 3 を備えている。画像処理装置 2 と超音波プローブ 3 とはケーブル 4 により接続されている。超音波プローブ 3 は被検体 5 に押圧して用いられる。被検体 5 の表面には液状体 6 が塗布され、超音波プローブ 3 と被検体 5 との間には液状体 6 が介在する。液状体 6 は超音波プローブ 3 が射出する超音波を反射させずに伝導する機能を備えている。

20

【0030】

超音波プローブ 3 は外装部 7 を備えている。外装部 7 の形状は有底角筒状となっている。外装部 7 には被検体 5 を向く側に超音波センサー 8 が設置され、超音波センサー 8 から被検体 5 に向けて超音波が射出される。超音波は被検体 5 の内部で反射する。超音波センサー 8 は被検体 5 の内部で反射した反射波を検出する。外装部 7 の内部には超音波センサー 8 を駆動する駆動部としてのセンサー駆動部 9 が収納されている。

【0031】

30

画像処理装置 2 は反射分布演算部としての画像演算部 10、表示部としての画像表示部 11 及び入力部 12 を備えている。画像演算部 10 は超音波プローブ 3 が出力する反射波信号を用いて被検体 5 の断面における反射率の分布を演算する。そして、反射率の分布の演算結果より断面画像を演算して画像表示部 11 に出力する。画像表示部 11 は画像演算部 10 が出力する演算結果を入力して被検体 5 の断面画像を表示する。断面画像は反射率の分布を表示する。入力部 12 は操作者が超音波画像装置 1 に指示内容を入力する部位である。

【0032】

超音波プローブ 3 の長手方向を Z 方向とする。詳しくは、超音波プローブ 3 が被検体 5 を向く方向を -Z 方向とする。超音波プローブ 3 と被検体 5 とが接触する面上で直交する 2 方向を X 方向と Y 方向とする。X 方向、Y 方向、Z 方向はそれぞれ直交する方向となっている。

40

【0033】

図 1 (b) は、超音波センサーの構造を示す概略斜視図である。図 1 (b) に示すように、超音波センサー 8 は四角形の基板 13 を備えている。基板 13 の材質は音響減衰の大きい材質であれば良く特に限定されない。この材質はバッキング材と称される。基板 13 は例えば、エポキシ樹脂、ゴム等の弾性部材に金属、フェライト、セラミック等の紛体を混入して形成される。

【0034】

基板 13 において -Z 方向を向く面を第 1 面 13a とする。第 1 面 13a は平坦な面と

50

なっている。第1面13a上には第1圧電体14と第2圧電体15とがX方向に交互に並べて配置されている。第1圧電体14の形状は角柱状であり第1圧電体14の基板13側を向く面には第1電極14aが設置されている。第1圧電体14において第1電極14aと反対側の面には第2電極14bが設置されている。

【0035】

第2圧電体15の形状も角柱状であり、第2圧電体15のY方向の長さは第1圧電体14と同じ長さとなっている。第2圧電体15のX方向の幅の長さも第1圧電体14と同じ長さとなっている。第2圧電体15のZ方向の厚みの長さは第1圧電体14よりも短い長さとなっている。第2圧電体15の基板13側を向く面には第1電極15aが設置されている。第2圧電体15において第1電極15aと反対側の面には第2電極15bが設置されている。

10

【0036】

図をわかり易くするために図中第1圧電体14及び第2圧電体15は各4個ずつ配置されている。第1圧電体14及び第2圧電体15の個数は特に限定されない。個数が多い程検査範囲を広くすることができる。若しくは、分解能を高くすることができる。本実施形態では、例えば、第1圧電体14及び第2圧電体15の個数はそれぞれ256個となっている。

【0037】

第1圧電体14及び第2圧電体15の材質は交流電圧を印加して超音波を射出する材質であれば良く特に限定されない。第1圧電体14及び第2圧電体15の材質にはPZT（チタン酸ジルコン酸鉛）素子やPDVF（ポリフッ化ビニリデン）素子等の圧電素子を用いることができる。本実施形態では圧電素子の1つであるPZT素子を用いている。第1圧電体14及び第2圧電体15は音響トランスデューサーとも称す。

20

【0038】

第1電極14aと第2電極14bとの間に交流電圧を印加するとき、第1圧電体14は超音波を射出する。第1圧電体14は超音波を射出する素子として機能する。第2圧電体15は超音波を入射して第1電極15aと第2電極15bとの間に交流電圧を発生する。第2圧電体15は超音波を検出する素子として機能する。厚い圧電体は薄い圧電体より低い周波数の超音波を射出し、低い周波数の超音波を検出することができる。第2圧電体15の厚みは第1圧電体14より薄く設定されている。これにより、第2圧電体15は第1圧電体14が射出する超音波より高い周波数の超音波を検出するようになっている。

30

【0039】

第1電極14a及び第1電極15aの基板13を向く面は平坦になっている。そして、第1電極14aは第1面13aに接着固定され、第1電極15aも第1面13aに接着固定されている。

【0040】

第1圧電体14及び第2圧電体15の-Z方向側には音響整合部16が設置されている。音響整合部16は第1圧電体14及び第2圧電体15と被検体5との間で音響インピーダンスのマッチングをとる機能を有している。音響整合部16において-Z方向を向く面を第2面16aとする。第2面16aは平坦な面となっている。

40

【0041】

第1電極14a、第2電極14b、第1電極15a及び第2電極15bの材質は導電性のある材質であれば良く特に限定されない。金、銀、銅、ニッケル、アルミニウム等の金属の他これらの金属の合金や積層した金属を用いることができる。

【0042】

基板13から音響整合部16までの部分を超音波デバイス17とする。超音波デバイス17には基板13、第1圧電体14、第1電極14a、第2電極14b、第2圧電体15、第1電極15a、第2電極15b及び音響整合部16が含まれる。

【0043】

第2面16aには音響レンズ18が固着されている。音響レンズ18はX方向からみた

50

形状が凸状であり、X方向に延在する柱状のレンズである。音響レンズ18はロッドレンズとも称される。第1圧電体14から射出された超音波は音響整合部16を通過し音響レンズ18に入射する。超音波は音響レンズ18により収束される。音響レンズ18の材質は音響レンズ18中を進行するときの音速が被検体5より遅い材質が用いられる。例えば、被検体5が人体のときには音響レンズ18の材質にシリコンゴムを用いることができる。

【0044】

図2(a)は、超音波センサーにおける超音波の射出及び検出を説明するための模式図である。図2(a)に示すように、複数の第1圧電体14から超音波21が射出される。射出された超音波21は音響整合部16、音響レンズ18を通過して被検体5に入射する。配列する第1圧電体14はそれぞれ位相の異なる超音波21を射出する。被検体5の検査する場所を検査点5aとする。各第1圧電体14から射出された超音波21は検査点5aにて同位相になるように射出される。検査点5aでは超音波21が強め合うので音響レンズ18等による収束と同じ効果が得られる。

【0045】

検査点5aにて反射する超音波21を反射波21aとする。反射波21aは被検体5、音響レンズ18及び音響整合部16を通過して第2圧電体15に入射する。検査点5aと各第2圧電体15との距離は異なるので各第2圧電体15が検出する反射波21aは位相が異なる波形となっている。センサー駆動部9は反射波21aの位相を調整することにより検査点5aにて反射する反射波21aの強度を演算する。超音波プローブ3は第1圧電体14が射出する超音波21の位相を変更して検査点5aをX方向に移動させる。そして、各場所における反射波21aの強度を演算する。これにより、超音波画像装置1は被検体5の内部における反射波21aの強度分布を演算する。

【0046】

第1圧電体14が射出する超音波21の周波数を f_1 とする。反射波21aには f_1 の整数倍の周波数である音波が含まれている。反射波21aは周波数が高くなる程直進性が良いので高い周波数の反射波21aを解析した画像は空間分解能が高くなる。また、周波数が高くなる程音圧が低くなるので検出が難しくなる。そこで、音響整合部16において効率よく超音波を進行させることがますます重要になる。第2圧電体15は第1圧電体14より厚みが薄いので f_1 より高い周波数の反射波21aを検出することができる。 f_1 に対して検出する周波数が n 倍のとき n をハーモニックイメージングの次数と称す。

【0047】

図2(b)は、音響整合部と圧電体との寸法の間係を説明するための模式図である。図2(b)に示すように、第1圧電体14の-Z側に位置する音響整合部16を第1音響整合部16bとする。第2圧電体15の-Z側に位置する音響整合部16を第2音響整合部16cとする。

【0048】

第1面13aと第2面16aとは平坦な面であり平行な面となっている。第1電極14aと第1電極15aとは同じ厚みであり、第2電極14bと第2電極15bとは同じ厚みである。第1圧電体14の厚みを第1圧電体厚14cとし第1音響整合部16bの厚みを第1音響整合部厚16dとする。第2圧電体15の厚みを第2圧電体厚15cとし第2音響整合部16cの厚みを第2音響整合部厚16eとする。このとき、第1圧電体厚14cと第1音響整合部厚16dとを加算した厚みは第2圧電体厚15cと第2音響整合部厚16eとを加算した厚みと同じ厚みとなっている。

【0049】

次に、音響整合部16の材質の選定と第1音響整合部厚16d及び第2音響整合部厚16eを設定する方法について説明する。音響整合部16を進行する超音波21の波長を λ とすると、第1音響整合部厚16d及び第2音響整合部厚16eは $1/4 \times \lambda$ の奇数倍に設定する。これにより、超音波21が界面で反射する量を小さくすることができる。従って、音響整合部16を通過するときの音圧の減少を抑えて効率よく反射波21aを検出

することができる。

【0050】

さらに、第1面13a及び第2面16aを平坦にするための条件を満足する。つまり、第1圧電体厚14cと第1音響整合部厚16dとを加算した厚みは第2圧電体厚15cと第2音響整合部厚16eとを加算した厚みと同じ厚みに設定する。第1圧電体厚14cをd1とし、第1音響整合部厚16dをt1とする。第2圧電体厚15cをd2とし、第2音響整合部厚16eをt2とする。このとき次の式(1)を満たす必要がある。

$$d1 + t1 = d2 + t2 \quad \cdots \text{式(1)}$$

【0051】

第1圧電体14及び第2圧電体15の材質を共に同じ材質とする。第1圧電体14及び第2圧電体15を通過するときの音速をCpとする。第1圧電体14の共振周波数をf1とする。このとき次の式(2)の関係が成り立つ。

$$d1 = Cp / (2 \times f1) \quad \cdots \text{式(2)}$$

【0052】

第2圧電体15が検出する共振周波数をf2とする。f2はf1の整数倍の周波数であり、整数倍の整数をnとする。このとき次の式(3)～式(5)の関係が成り立つ。

$$d2 = Cp / (2 \times f2) \quad \cdots \text{式(3)}$$

$$f2 = n \times f1 \quad \cdots \text{式(4)}$$

$$d2 = Cp / (2 \times n \times f1) \quad \cdots \text{式(5)}$$

【0053】

音響整合部16を通過するときの超音波21の音速をCsとする。第1圧電体14を射出する超音波21の周波数はf1である。第1音響整合部16bを通過するときの超音波21の波長をλ1とする。k1を奇数とする。このとき次の式(6)～式(8)の関係が成り立つ。

$$\lambda1 = Cs / f1 \quad \cdots \text{式(6)}$$

$$t1 = k1 \times \lambda1 / 4 \quad \cdots \text{式(7)}$$

$$t1 = k1 \times Cs / (4 \times f1) \quad \cdots \text{式(8)}$$

【0054】

第2音響整合部16cを通過する反射波21aの波長をλ2とする。k2を奇数とする。このとき次の式(9)～式(12)の関係が成り立つ。

$$\lambda2 = Cs / f2 \quad \cdots \text{式(9)}$$

$$t2 = k2 \times \lambda2 / 4 \quad \cdots \text{式(10)}$$

$$t2 = k2 \times Cs / (4 \times f2) \quad \cdots \text{式(11)}$$

$$t2 = k2 \times Cs / (4 \times n \times f1) \quad \cdots \text{式(12)}$$

【0055】

式(1)に式(2)、式(5)、式(8)、式(12)を代入してd1、d2、t1、t2を消去する。この操作により次の式(13)の関係が成り立つ。式(13)を変形して式(14)が導かれる。

$$k2 = n \times k1 + 2 \times (n - 1) \times Cp / Cs \quad \cdots \text{式(13)}$$

$$Cs = 2 \times (n - 1) \times Cp (k2 - n \times k1) \quad \cdots \text{式(14)}$$

【0056】

式(14)において、n、k1、k2、Cpを設定することにより、Csを演算することができる。Csは音響整合部16の材質に固有の値である。演算したCsの値と一致または近似する音速となる材質を音響整合部16の材質に選定する。適切な材質がないときには、n、k1、k2を変えてCsを再演算し、適切な材質を選定する。この操作の手順を次に説明する。

【0057】

図3は音響整合部の材質を選定する手順を説明するためのフローチャートである。ステップS1は、「ハーモニックイメージングの次数nを決める」工程に相当する。この工程では、ハーモニックイメージングの次数nを設定する。次数nは2以上の整数である。次

10

20

30

40

50

にステップ S 2 に移行する。ステップ S 2 は、「 $k_1 = 1$ とする」工程に相当する。この工程は、 k_1 の初期値を 1 にする工程である。次にステップ S 3 に移行する。

【0058】

ステップ S 3 は、「 k_2 の初期値を $n \times k_1$ を超える最小の奇数とする」工程に相当する。この工程は、 k_2 の初期値を設定する工程である。 $n = 2$ 、 $k_1 = 1$ のときには $k_2 = 3$ に設定する。 $n = 3$ 、 $k_1 = 1$ のときには $k_2 = 5$ に設定する。次にステップ S 4 に移行する。ステップ S 4 は、「 $C_p = 4000 \text{ m/s}$ として C_s を求める」工程に相当する。第 1 圧電体 14 及び第 2 圧電体 15 の材質を PZT とする。 C_p は PZT の音速とする。この工程は、式 (13) に n 、 k_1 、 k_2 、 C_p を代入して C_s を演算する工程である。次にステップ S 5 に移行する。

10

【0059】

ステップ S 5 は、「求めた C_s 値を有する音響整合材があるか？」を判定する工程に相当する。この工程は、音響整合材を設定する工程である。適切な音響整合材が設定できるときには YES に相当し音響整合部 16 の材質を選定する手順を終了する。適切な音響整合材が設定できないときには NO に相当し、次にステップ S 6 に移行する。

【0060】

ステップ S 6 は、「 $k_2 > 20$ か？」を判定する工程に相当する。 k_2 の上限を 20 に設定し、この工程は k_2 の値が上限を超えたかを判定する工程である。 k_2 の値が上限を超えたときには YES に相当し、次にステップ S 8 に移行する。 k_2 の値が上限を超えていないときには NO に相当し、次にステップ S 7 に移行する。

20

【0061】

ステップ S 7 は、「 $k_2 = k_2 + 2$ 」とする工程に相当する。この工程は、 k_2 に整数 2 を加算する工程である。加算後の k_2 は奇数となる。次にステップ S 4 に移行する。

【0062】

ステップ S 8 は、「 $k_1 > 10$ か？」を判定する工程に相当する。 k_1 の上限を 10 に設定し、この工程は k_1 の値が上限を超えたかを判定する工程である。 k_1 の値が上限を超えたときには YES に相当し音響整合部 16 の材質を選定する手順を終了する。 k_1 の値が上限を超えていないときには NO に相当し、次にステップ S 9 に移行する。尚、 $k_2 > 20$ または $k_1 > 10$ の場合は基板 13、第 1 圧電体 14 及び第 2 圧電体 15 の厚さに対して音響整合部 16 の厚さが支配的となってしまう。このため、超音波プローブ 3 の小型化に不向きとなることへの配慮であり、音響整合条件が失われることを意味するものではない。

30

【0063】

ステップ S 9 は、「 $k_1 = k_1 + 2$ 」とする工程に相当する。この工程は、 k_1 に整数 2 を加算する工程である。加算後の k_1 は奇数となる。次にステップ S 3 に移行する。以上で、音響整合部 16 の材質を選定する手順の説明を終了する。 $n = 2$ を実施して適切な音響整合部 16 の材質が選定できないときには、 $n = 3$ 以上にして音響整合部 16 の材質を選定する。

【0064】

図 4 は、ハーモニックイメージングの次数 $n = 2$ のときの材質選定結果を示す図である。図 4 に示すように第 1 圧電体 14 及び第 2 圧電体 15 の材質には PZT が選択され、 $n = 2$ が選択されている。 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 3$ のとき $C_s = 8000 \text{ m/s}$ となる。この C_s に該当する材質はベリリウムのような特殊な金属に限定される。音響整合部 16 の音響インピーダンスは被検体 5 の音響インピーダンスと PZT 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にする必要がある。ベリリウムは被検体 5 を人体とするとき金属は音響インピーダンスの条件を満たさないので不適当である。

40

【0065】

$k_1 = 1$ 、 $k_2 = 5$ のとき $C_s = 2667 \text{ m/s}$ となる。この C_s に該当する材質には高分子材料を用いることができる。高分子材料は例えば合成繊維、合成樹脂、合成ゴムを示す。高分子材料は音響インピーダンスが高く第 1 圧電体 14 及び第 2 圧電体 15 がバル

50

クタイプのときには音響インピーダンスの条件を満たすので用いることができる。第1圧電体14及び第2圧電体15が薄膜タイプのときには音響インピーダンスの条件を満たさないで用いることができない。

【0066】

$k_1 = 1$ 、 $k_2 = 7$ のとき $C_s = 1600 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質には天然ゴムを用いることができる。天然ゴムは音響インピーダンスの条件を満たし加工性も良いので音響整合部16の材料として用いることができる。

【0067】

$k_1 = 1$ 、 $k_2 = 9$ のとき $C_s = 1143 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質にはシリコーン樹脂を用いることができる。シリコーン樹脂は音響インピーダンスの条件を満たし加工性も良いので音響整合部16の材料として用いることができる。

10

【0068】

$k_1 = 3$ 、 $k_2 = 7$ のとき $C_s = 8000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質はベリリウムのような特殊な金属に限定される。ベリリウムは被検体5を人体とするとき金属は音響インピーダンスの条件を満たさないで不適当である。 $k_1 = 3$ 、 $k_2 = 9$ のとき $C_s = 2667 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質には高分子材料を用いることができる。

【0069】

図5は、ハーモニックイメージングの次数 $n = 3$ のときの材質選定結果を示す図である。図5に示すように第1圧電体14及び第2圧電体15の材質にはPZTが選択され、 $n = 3$ が選択されている。 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 5$ のとき $C_s = 8000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に

20

【0070】

$k_1 = 1$ 、 $k_2 = 7$ のとき $C_s = 4000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質にはセラミックを用いることができる。セラミックは音響インピーダンスが高く第1圧電体14及び第2圧電体15がバルクタイプのときには音響インピーダンスの条件を満たすので用いることができる。第1圧電体14及び第2圧電体15が薄膜タイプのときには音響インピーダンスの条件を満たさないで用いることができない。セラミックは焼結した後に厚みを調整するために研磨する工程が必要となるので加工性の面で不適当である。

【0071】

$k_1 = 1$ 、 $k_2 = 9$ のとき $C_s = 2667 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質には高分子材料を用いることができる。 $k_1 = 1$ 、 $k_2 = 11$ のとき $C_s = 2000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質にはポリエチレン樹脂を用いることができる。ポリエチレン樹脂は音響インピーダンスの条件を満たし加工性も良いので音響整合部16の材料として用いることができる。

30

【0072】

$k_1 = 3$ 、 $k_2 = 11$ のとき $C_s = 8000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質はベリリウムのような特殊な金属に限定される。特殊な金属は音響インピーダンスの条件を満たさないで不適当である。 $k_1 = 3$ 、 $k_2 = 13$ のとき $C_s = 4000 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質にはセラミックを用いることができる。 $k_1 = 3$ 、 $k_2 = 15$ のとき $C_s = 2667 \text{ m/s}$ となる。 C_s に該当する材質には高分子材料を用いることができる。

40

【0073】

$n = 2$ のときには音響整合部16に天然ゴム及びシリコーン樹脂を好適に用いることができる。 $n = 3$ のときには音響整合部16にポリエチレン樹脂を好適に用いることができる。このときには、第1面13a及び第2面16aを平坦にしても音響整合部16に超音波21を効率よく通過させることができる。

【0074】

次に上述した超音波センサー8の製造方法について図6及び図7にて説明する。図6は、超音波センサーの製造方法のフローチャートであり、図7は超音波センサーの製造方法を説明するための模式図である。図6のフローチャートにおいて、ステップS11は電極

50

めっき工程に相当する。第1圧電体14の材料に第1電極14a及び第2電極14bを形成し、第2圧電体15の材料に第1電極15a及び第2電極15bを形成する工程である。次にステップS12に移行する。ステップS12は、圧電体分割工程に相当する。この工程は、棒状の圧電体を分割して第1圧電体14及び第2圧電体15を形成する工程である。次にステップS13に移行する。

【0075】

ステップS13は、圧電体接着工程に相当する。この工程は、基板13に第1圧電体14及び第2圧電体15を接着する工程である。次にステップS14に移行する。ステップS14は、整合部塗布工程に相当する。この工程は、音響整合部16の材料を塗布する工程である。次にステップS15に移行する。ステップS15は、平坦化工程に相当する。この工程は、塗布された音響整合部16の材料の上面を平坦にする工程である。次にステップS16に移行する。ステップS16は、整合部固化工程に相当する。この工程は、音響整合部16の材料を固化する工程である。次にステップS17に移行する。ステップS17は、レンズ接着工程に相当する。この工程は、音響整合部16上に音響レンズ18を接着する工程である。以上の工程により超音波センサー8が完成する。

【0076】

次に、図7を用いて、図6に示したステップと対応させて、製造方法を詳細に説明する。図7(a)及び図7(b)はステップS11の電極めっき工程に対応する図である。図7(a)及び図7(b)に示すように、ステップS11では第1圧電体板22及び第2圧電体板23を用意する。第1圧電体板22は第1圧電体14の材料であり、第2圧電体板23は第2圧電体15の材料である。

【0077】

第1圧電体板22の対向する面に金属膜22aを形成する。金属膜22aの形成方法は無電解めっき法やスパッタ法を用いることができる。さらに、電気めっきにて金属膜22aを厚くしてもよい。同様に、第2圧電体板23の対向する面に金属膜23aを形成する。金属膜23aの形成方法は金属膜22aの形成方法と同様の方法を用いることができる。

【0078】

図7(c)及び図7(d)はステップS12の圧電体分割工程に対応する図である。図7(c)に示すように、ステップS12では第1圧電体板22を切断して棒状にする。第1圧電体板22を切断する方法にはダイシング装置やワイヤーソウ切断機を用いることができる。第1圧電体板22が切断されて金属膜22aの一方が第1電極14aとなり、他方が第2電極14bとなる。同様に、図7(d)に示すように、第2圧電体板23を切断して棒状にする。第2圧電体板23を切断する装置は第1圧電体板22を切断する装置と同様の装置を用いることができる。第2圧電体板23が切断されて金属膜23aの一方が第1電極15aとなり、他方が第2電極15bとなる。

【0079】

図7(e)はステップS13の圧電体接着工程に対応する図である。図7(e)に示すように、ステップS13では基板13に第1圧電体14及び第2圧電体15を配列して接着する。第1圧電体14及び第2圧電体15は交互に並べて配置される。このとき、基板13の第1面13aは平坦な面であるので第1面13aは形成し易い面となっている。そして、基板13の第1面13aは平坦な面であるので容易に第1圧電体14及び第2圧電体15を配置することができる。

【0080】

図7(f)はステップS14の整合部塗布工程に対応する図である。図7(f)に示すように、ステップS14では第1圧電体14及び第2圧電体15に重ねて音響整合部材料24を塗布する。音響整合部材料24はステップS5にて設定した材料に溶媒を加えたものである。音響整合部材料24には塗布しやすいように溶媒が加えられ、音響整合部材料24の粘度が調整されている。

【0081】

図 7 (g) はステップ S 1 5 の平坦化工程及びステップ S 1 6 の整合部固化工程に対応する図である。図 7 (g) に示すように、ステップ S 1 5 では音響整合部材料 2 4 の上面を平坦にする。音響整合部材料 2 4 は適度な粘度のある液体である。平坦にする方法としては、塗布された音響整合部材料 2 4 の上面を真直度を有する板でかき取る方法を用いることができる。かき取る板はスキージと称される。

【0082】

次に、ステップ S 1 6 では音響整合部材料 2 4 を乾燥させて音響整合部材料 2 4 に含まれる溶媒を蒸発させる。音響整合部材料 2 4 を乾燥するには温度調節可能な恒温槽を用いることにより品質良く乾燥させることができる。乾燥させる温度及び時間は音響整合部材料 2 4 の材質に合わせて設定される。その結果、音響整合部材料 2 4 が固化して音響整合部 1 6 になる。音響整合部 1 6 の第 2 面 1 6 a は平坦な面となっている。

10

【0083】

図 7 (h) はステップ S 1 7 のレンズ接着工程に対応する図である。図 7 (h) に示すように、ステップ S 1 7 では音響整合部 1 6 に音響レンズ 1 8 を接着する。音響整合部 1 6 の第 2 面 1 6 a は平坦な面となっている為、音響整合部 1 6 と音響レンズ 1 8 との間に隙間ができないように音響整合部 1 6 と音響レンズ 1 8 とを容易に接着することができる。接着材は音響整合部 1 6 に合わせて選択される。以上の工程により超音波センサー 8 が完成する。

【0084】

上述したように、本実施形態によれば、以下の効果を有する。

20

(1) 本実施形態によれば、基板 1 3 の第 1 面 1 3 a は平坦な面となっている。従って、基板 1 3 の第 1 面 1 3 a に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。さらに、音響整合部 1 6 の第 2 面 1 6 a も平坦な面となっている。従って、音響整合部 1 6 は第 2 面 1 6 a に凹凸を設けるときに比べて加工し易い形状となっている。その結果、生産性良く超音波デバイス 1 7 を製造することができる。

【0085】

(2) 本実施形態によれば、式 (4) に示すように第 2 圧電体 1 5 の共振周波数である f_2 は第 1 圧電体 1 4 の共振周波数である f_1 の整数倍となっている。従って、第 1 圧電体 1 4 が超音波を出力し、第 2 圧電体 1 5 は被検体 5 にて反射する反射波 2 1 a の n 次高周波を検出することができる。第 1 圧電体の厚み d_1 を式 (2) が示すようにすることにより、第 1 圧電体 1 4 の共振周波数を f_1 にすることができる。同様に、第 2 圧電体 1 5 の厚み d_2 を式 (3) が示すようにすることにより、第 2 圧電体の共振周波数を f_2 にすることができる。

30

【0086】

(3) 本実施形態によれば、音響整合部 1 6 を進行する超音波 2 1 の波長を λ 、周波数を f とするとき、 $\lambda = C_s / f$ の関係がある。そして、式 (8) は $t_1 = k_1 \times \lambda / 4$ を示し、式 (11) は $t_2 = k_2 \times \lambda / 4$ を示している。つまり、音響整合部 1 6 を進行する超音波 2 1 は $\lambda / 4$ の奇数倍となる。これにより、音響整合部 1 6 を進行する超音波 2 1 は音響整合部 1 6 の界面で反射する超音波 2 1 と互いに打消しあうことを抑制する。従って、音響整合部 1 6 は効率よく超音波 2 1 を進行させることができる。

40

【0087】

(4) 本実施形態によれば、式 (1) が示すように、第 1 圧電体厚 1 4 c と第 1 音響整合部厚 1 6 d とを加算した厚みは、第 2 圧電体厚 1 5 c と第 2 音響整合部厚 1 6 e とを加算した厚みと同じ厚みとなっている。これにより、基板 1 3 において第 1 圧電体 1 4 及び第 2 圧電体 1 5 が設置された第 1 面 1 3 a が平坦なとき、音響整合部 1 6 の第 2 面 1 6 a も平坦になる。そして、式 (14) に示すように n 、 k_1 、 k_2 及び C_p を設定することにより、 C_s が演算される。そして、音響整合部 1 6 の材質を演算された C_s に対応する材質にすることにより、超音波 2 1 が音響整合部 1 6 を効率よく進行する超音波デバイス 1 7 を生産性良く製造することができる。

【0088】

50

(5) 本実施形態によれば、式(14)において、 $n=2$ 、 $k_1=1$ 、 $k_2=7$ 、 $C_p=4000\text{ m/s}$ のとき $C_s=1600\text{ m/s}$ になる。そして、 $C_s=1600\text{ m/s}$ は天然ゴムが適合する。天然ゴムは加工性が良い。従って、音響整合部16の材質に天然ゴムを使用することにより超音波21が音響整合部16を効率よく進行する超音波デバイス17を生産性良く製造することができる。

【0089】

(6) 本実施形態によれば、式(14)において、 $n=2$ 、 $k_1=1$ 、 $k_2=9$ 、 $C_p=4000\text{ m/s}$ のとき $C_s=1143\text{ m/s}$ にすることができる。そして、 $C_s=1143\text{ m/s}$ はシリコン樹脂が適合する。シリコン樹脂は加工性が良い。従って、音響整合部16の材質にシリコン樹脂を使用することにより超音波21が音響整合部16を

10

【0090】

(7) 本実施形態によれば、式(14)において、 $n=3$ 、 $k_1=1$ 、 $k_2=11$ 、 $C_p=4000\text{ m/s}$ のとき $C_s=2000\text{ m/s}$ にすることができる。そして、 $C_s=2000\text{ m/s}$ はポリエチレン樹脂が適合する。ポリエチレン樹脂は加工性が良い。従って、音響整合部16の材質にポリエチレン樹脂を使用することにより超音波21が音響整合部16を効率よく進行する超音波デバイス17を生産性良く製造することができる。

【0091】

(8) 本実施形態によれば、基板13の第1面13aは平坦な面である。従って、第1面13aは凹凸があるときに比べて容易に形成することができる。そして、第1面13a上に第1圧電体14と第2圧電体15とが設置される。第1面13aは平坦な面である為容易に第1圧電体14と第2圧電体15とを設置することができる。音響整合部16の第2面16aは平坦な面となっている。従って、第2面16aと音響レンズ18との間に隙間ができないように容易に第2面16aと音響レンズ18とを接着することができる。

20

【0092】

(第2の実施形態)

次に、特徴的な構造を有する超音波センサーの一実施形態について図8の超音波センサーの構造を示す概略斜視図である。本実施形態が第1の実施形態と異なるところは、図1(b)に示した第1圧電体14及び第2圧電体15の配置が異なる点にある。尚、第1の実施形態と同じ点については説明を省略する。

30

【0093】

すなわち、本実施形態では、図8に示すように超音波センサー27は基板13を備え、第1面13aには第1圧電体28及び第2圧電体29が配置されている。第1面13aは平坦な面となっている為、第1圧電体28及び第2圧電体29は第1面13a上に配置し易くなっている。第1圧電体28の形状は角柱状であり第1圧電体28の基板13側を向く面には第1電極28aが設置されている。第1圧電体28において第1電極28aと反対側の面には第2電極28bが設置されている。

【0094】

第2圧電体29の形状も角柱状であり、第2圧電体29のY方向の長さは第1圧電体28と同じ長さとなっている。第2圧電体29のX方向の幅の長さも第1圧電体28と同じ長さとなっている。第2圧電体29のZ方向の厚みの長さは第1圧電体28よりも短い長さとなっている。第2圧電体29の基板13側を向く面には第1電極29aが設置されている。第2圧電体29において第1電極29aと反対側の面には第2電極29bが設置されている。

40

【0095】

第1面13a上のY方向側に第1圧電体28が配置され、-Y方向側に第2圧電体29が配置されている。第1圧電体28及び第2圧電体29はそれぞれX方向に並べて配列されている。

【0096】

図をわかり易くするために図中第1圧電体28及び第2圧電体29は各8個ずつ配置さ

50

れている。第1圧電体28及び第2圧電体29の個数は特に限定されない。個数が多い程検査範囲を広くすることができる。若しくは分解能を高くすることができる。本実施形態では、例えば、第1圧電体28及び第2圧電体29の個数はそれぞれ256個となっている。

【0097】

第1圧電体28及び第2圧電体29の-Z側には音響整合部30が設置されている。音響整合部30の材質は第1の実施形態における音響整合部16と同じ材質になっている。基板13、第1圧電体28、第2圧電体29及び音響整合部30等により超音波デバイス31が構成されている。そして、音響整合部30の上には音響レンズ18が設置されている。音響整合部30の音響レンズ18を向く面である第2面30aは平坦な面となっている。従って、音響整合部30と音響レンズ18との間に隙間ができないように容易に第2面30aと音響レンズ18とを接着することができる。

10

【0098】

第1圧電体28の厚みは第1の実施形態における第1圧電体14の第1圧電体厚14cと同じ厚みとなっている。第1圧電体28の材質は第1圧電体14と同じ材質となっている。同様に、第2圧電体29の厚みも第1の実施形態における第2圧電体15の第2圧電体厚15cと同じ厚みとなっている。第2圧電体29の材質は第2圧電体15と同じ材質となっている。

【0099】

音響整合部30の材質は第1の実施形態における音響整合部16と同じ材質となっている。そして、音響整合部30において第1圧電体28と対向する場所の厚みは第1音響整合部厚16dと同じ厚みであり、第2圧電体29と対向する場所の厚みは第2音響整合部厚16eと同じ厚みとなっている。

20

【0100】

従って、超音波センサー27は効率良く超音波21を射出することができる。そして、被検体5にて反射した高次の反射波21aを効率良く検出することが可能になっている。

【0101】

(第3の実施形態)

次に、超音波センサーを製造する一実施形態について図9及び図10を用いて説明する。本実施形態が第1の実施形態と異なるところは、第1圧電体14及び第2圧電体15をバルクタイプから薄膜タイプにした点にある。尚、第1の実施形態と同じ点については説明を省略する。

30

【0102】

図9(a)は超音波センサーの構造を示す模式側断面図である。図9(a)に示すように、超音波センサー34はバッキング基板35を備えている。バッキング基板35は第1の実施形態の基板13に対応する部位である。バッキング基板35上に基板36が設置されている。基板36はシリコン基板やガラス基板等耐熱性のある基板であれば良く特に限定されない。本実施形態では、例えば、基板36にシリコン基板を用いている。

【0103】

基板36においてバッキング基板35の反対側には第1電極37が設置されている。基板36と第1電極37との間には図示しない絶縁膜が形成されている。絶縁膜は例えば二酸化シリコンや窒化シリコンの膜にすることができる。第1電極37の材質はイリジウム、酸化イリジウム、白金の層を基板36側からこの順に積層している。イリジウムは配向制御、酸化イリジウムは還元ガスバリア、白金はシード層としての機能を備えている。

40

【0104】

第1電極37上には第1圧電体38と第2圧電体39とが交互に配置されている。第1圧電体38及び第2圧電体39はPZTにより構成されている。第1圧電体38の上には第2電極38bが設置され、第2圧電体39の上には第2電極39bが設置されている。第2電極38b及び第2電極39bの上には音響整合部40が設置されている。さらに、音響整合部40上には音響レンズ41が設置されている。第2電極38b及び第2電極3

50

9 b の材質は白金、酸化イリジウム、イリジウムの層が第 1 圧電体 3 8 及び第 2 圧電体 3 9 側からこの順に積層している。

【0105】

第 1 圧電体 3 8、第 2 圧電体 3 9、音響整合部 4 0、音響レンズ 4 1 はそれぞれ第 1 の実施形態における第 1 圧電体 1 4、第 2 圧電体 1 5、音響整合部 1 6、音響レンズ 1 8 に対応する部位である。第 1 圧電体 3 8、第 2 圧電体 3 9 及び音響整合部 4 0 の厚みは式 (1) ~ 式 (1 4) に従って設定された厚みになっている。従って、効率良く超音波 2 1 を射出し、効率良く反射波 2 1 a を検出することが可能になっている。

【0106】

基板 3 6 の第 1 電極 3 7 が設置された面である第 1 面 3 6 a は平坦な面であり、加工し易い面となっている。音響整合部 4 0 において音響レンズ 4 1 を向く面である第 2 面 4 0 a も平坦な面であり、加工し易い面となっている。第 2 面 4 0 a は平坦な為、音響整合部 4 0 と音響レンズ 4 1 との間に隙間ができないように容易に音響整合部 4 0 と音響レンズ 4 1 とを接合することが可能になっている。バッキング基板 3 5 から音響整合部 4 0 までが超音波デバイス 4 2 である。

【0107】

次に上述した超音波センサー 3 4 の製造方法について図 9 (b) 及び図 1 0 にて説明する。図 9 (b) は、超音波センサーの製造方法のフローチャートであり、図 1 0 は超音波センサーの製造方法を説明するための模式図である。図 9 (b) のフローチャートにおいて、ステップ S 2 1 は第 1 電極形成工程に相当する。基板 3 6 の第 1 面 3 6 a に絶縁膜と第 1 電極 3 7 を形成する工程である。次にステップ S 2 2 に移行する。ステップ S 2 2 は、圧電体形成工程に相当する。この工程は、第 1 電極 3 7 上に第 1 圧電体 3 8 及び第 2 圧電体 3 9 を形成する工程である。次にステップ S 2 3 に移行する。

【0108】

ステップ S 2 3 は、第 2 電極形成工程に相当する。この工程は、第 1 圧電体 3 8 上に第 2 電極 3 8 b を形成し、第 2 圧電体 3 9 上に第 2 電極 3 9 b を形成する工程である。次にステップ S 2 4 に移行する。ステップ S 2 4 は、整合部塗布工程に相当する。この工程は、音響整合部 4 0 の材料を塗布する工程である。次にステップ S 2 5 に移行する。ステップ S 2 5 は、平坦化工程に相当する。この工程は、塗布された音響整合部 4 0 の材料の上面を平坦にする工程である。次にステップ S 2 6 に移行する。ステップ S 2 6 は、整合部固化工程に相当する。この工程は、音響整合部 4 0 の材料を固化する工程である。次にステップ S 2 7 に移行する。ステップ S 2 7 は、基板接着工程に相当する。この工程は、バッキング基板 3 5 に基板 3 6 を接着する工程である。次にステップ S 2 8 に移行する。ステップ S 2 8 は、基板分割工程に相当する。この工程は、バッキング基板 3 5 及び基板 3 6 を分割する工程である。次にステップ S 2 9 に移行する。ステップ S 2 9 は、レンズ接着工程に相当する。この工程は、音響整合部 4 0 上に音響レンズ 4 1 を接着する工程である。以上の工程により超音波センサー 3 4 が完成する。

【0109】

次に、図 1 0 を用いて、図 9 (b) に示したステップと対応させて、製造方法を詳細に説明する。図 1 0 (a) はステップ S 2 1 の第 1 電極形成工程に対応する図である。図 1 0 (a) に示すように、ステップ S 2 1 ではまず、マザー基板 4 3 を用意する。マザー基板 4 3 は基板 3 6 が複数配置可能な大きさとなっている。マザー基板 4 3 を酸化して酸化膜を形成する。酸化膜は絶縁膜として機能する。次に、マザー基板 4 3 上に第 1 電極 3 7 の材料からなるベタ膜を形成する。ベタ膜にはスパッタ法を用いることができる。次に、フォトリソ法を用いてベタ膜をパターニングして第 1 電極 3 7 を形成する。

【0110】

図 1 0 (b) はステップ S 2 2 の圧電体形成工程に対応する図である。図 1 0 (b) に示すように、第 1 電極 3 7 上に第 1 圧電体 3 8 及び第 2 圧電体 3 9 を形成する。第 1 圧電体 3 8 及び第 2 圧電体 3 9 は、例えば、スパッタ法やゾルゲル法による成膜とパターニングとを繰り返すことにより形成される。

10

20

30

40

50

【0111】

図10(c)はステップS23の第2電極形成工程に対応する図である。図10(c)に示すように、第1圧電体38上に第2電極38bが形成され、第2圧電体39上に第2電極39bが形成される。第2電極38b及び第2電極39bはスパッタ法にて形成したベタ膜をフォトリソ法を用いて形成する。

【0112】

図10(d)はステップS24の整合部塗布工程に対応する図である。図10(d)に示すように、ステップS24では第1圧電体38及び第2圧電体39に重ねて音響整合部材料44を塗布する。音響整合部材料44はステップS5にて設定した材料に溶媒を加えたものである。音響整合部材料44には塗布しやすいように溶媒が加えられ、音響整合部材料44の粘度が調整されている。

10

【0113】

図10(e)はステップS25の平坦化工程、ステップS26の整合部固化工程、ステップS27の基板接着工程及びステップS28の基板分割工程に対応する図である。図10(e)に示すように、ステップS25では音響整合部材料44の上面を平坦にする。音響整合部材料44は適度な粘度のある液体である。平坦にする方法としては、塗布された音響整合部材料44の上面を真直度を有する板でかき取る方法を用いることができる。

【0114】

次に、ステップS26では音響整合部材料44を乾燥させて音響整合部材料44に含まれる溶媒を蒸発させる。音響整合部材料44を乾燥するには温度調節可能な恒温槽を用いることにより品質良く乾燥させることができる。乾燥させる温度及び時間は音響整合部材料44の材質に合わせて設定される。その結果、音響整合部材料44が固化して音響整合部40になる。音響整合部40の第2面40aは平坦な面となっている。

20

【0115】

次に、ステップS27では、バッキング大基板45を用意する。バッキング大基板45は複数のバッキング基板35を配置可能な大きさとなっている。そして、バッキング大基板45とマザー基板43とを接着する。そして、ステップS28ではバッキング大基板45及びマザー基板43をダイサーにて分割する。マザー基板43は分割されて基板36になり、バッキング大基板45は分割されてバッキング基板35となる。そして、バッキング基板35及び基板36は超音波センサー34の大きさになる。

30

【0116】

図10(f)はステップS29のレンズ接着工程に対応する図である。図10(f)に示すように、ステップS29では音響整合部40に音響レンズ41を接着する。音響整合部40の第2面40aは平坦な面となっている為、音響整合部40と音響レンズ41との間に隙間ができないように音響整合部40と音響レンズ41とを容易に接着することができる。接着材は音響整合部40に合わせて選択される。以上の工程により超音波センサー34が完成する。

【0117】

上述したように、本実施形態によれば、以下の効果を有する。

(1) 本実施形態によれば、第1圧電体38及び第2圧電体39はフォトリソ法を用いて形成されている。従って、狭い面積に多数の第1圧電体38及び第2圧電体39を形成することができる。従って、超音波センサー34は分解能の高いセンサーにすることができる。

40

【0118】

尚、本実施形態は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想内で当分野において通常の知識を有する者により種々の変更や改良を加えることも可能である。変形例を以下に述べる。

(変形例1)

前記第1の実施形態では、超音波画像装置1の超音波プローブ3に超音波センサー8が設置された。超音波プローブ3に第2の実施形態の超音波センサー27が設置されても良

50

い。超音波プローブ 3 に第 3 の実施形態の超音波センサー 3 4 が設置されても良い。このときにも、超音波センサー 2 7, 3 4 は効率良く超音波 2 1 を射出し反射波 2 1 a を効率よく検出することができる。

【0119】

(変形例 2)

前記第 1 の実施形態では、ハーモニックイメージングの次数 $n = 2$ の場合と $n = 3$ の場合の音響整合部 1 6 を選定した。 n は 4 以上でも良い。 n が高次の方が反射波 2 1 a を検出する分解能を高くすることができる。

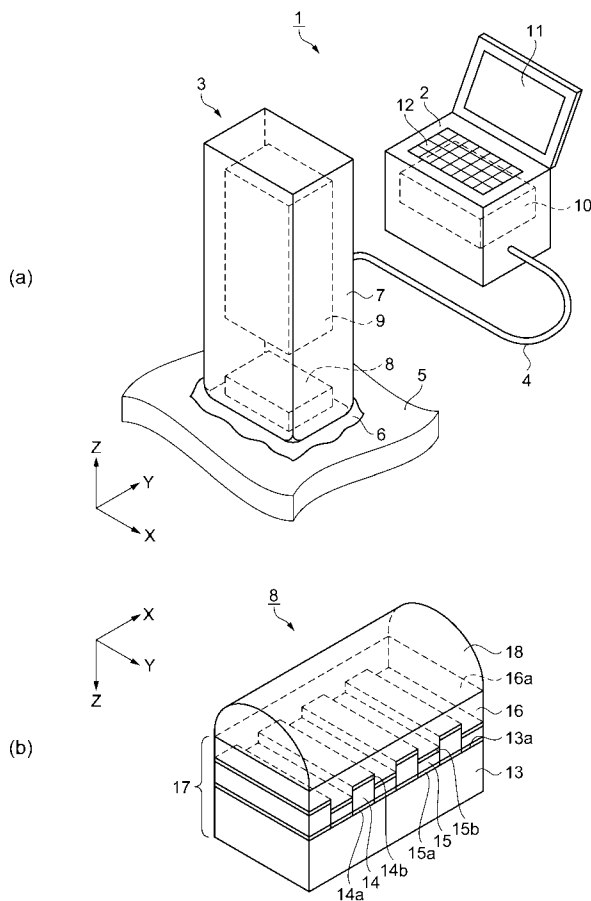
【符号の説明】

【0120】

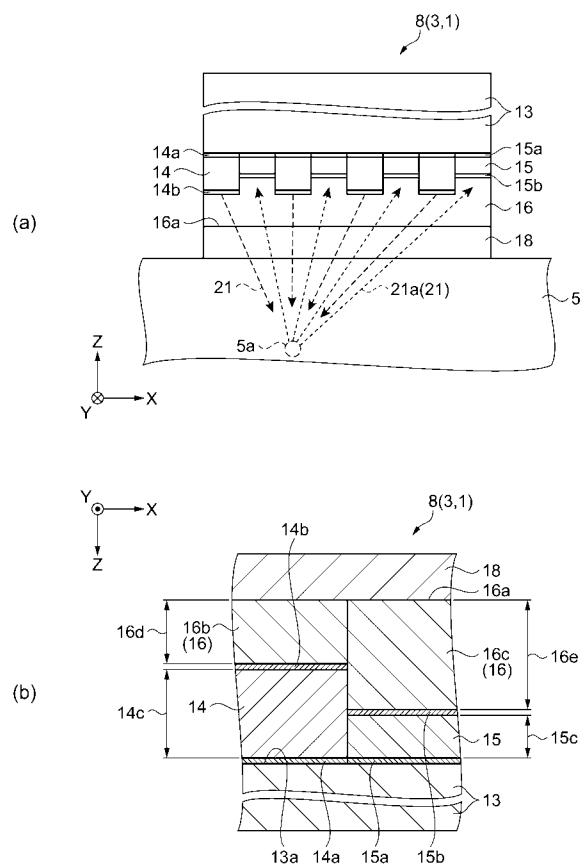
2 … 画像処理装置、3 … 超音波プローブ、9 … 駆動部としてのセンサー駆動部、10 … 反射分布演算部としての画像演算部、11 … 表示部としての画像表示部、13, 36 … 基板、13a, 36a … 第 1 面、14 … 第 1 圧電体、15 … 第 2 圧電体、16 … 音響整合部、16a, 40a … 第 2 面。

10

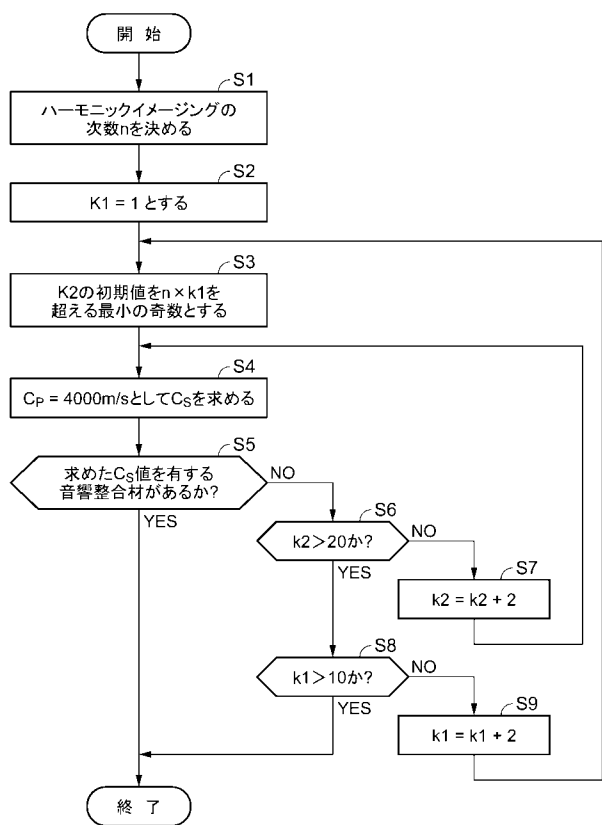
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

n = 2

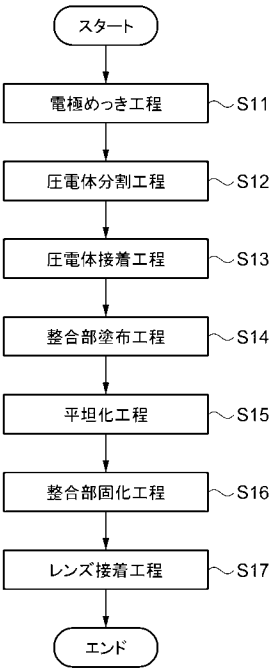
k1	k2	d1	t1	d2	t2	$\frac{C_p}{C_s}$	$C_p=4,000$ [m/s] の場合の C_s [m/s]	該当する音響整合材	音響整合材の適合
1	3				$\frac{3C_s}{8f_1}$	0.5	8,000	特殊金属	×
	5	$\frac{C_p}{2f_1}$	$\frac{C_s}{4f_1}$	$\frac{C_p}{4f_1}$	$\frac{5C_s}{8f_1}$	1.5	2,667	高分子材	○
	7				$\frac{7C_s}{8f_1}$	2.5	1,600	天然ゴム	◎
	9				$\frac{9C_s}{8f_1}$	3.5	1,143	シリコン	◎
	⋮				⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	7	$\frac{C_p}{2f_1}$	$\frac{3C_s}{4f_1}$	$\frac{C_p}{4f_1}$	$\frac{7C_s}{8f_1}$	0.5	8,000	特殊金属	×
	9				$\frac{9C_s}{8f_1}$	1.5	2,667	高分子材	○
	⋮				⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

【図 5】

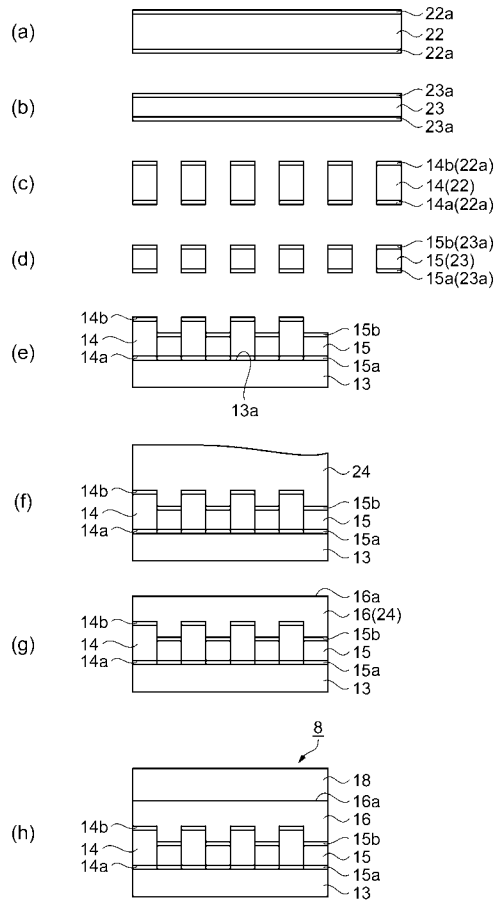
n = 3

k1	k2	d1	t1	d2	t2	$\frac{C_p}{C_s}$	$C_p=4,000$ [m/s] の場合の C_s [m/s]	該当する音響整合材	音響整合材の適合
1	5				$\frac{5C_s}{12f_1}$	0.5	8,000	特殊金属	×
	7	$\frac{C_p}{2f_1}$	$\frac{C_s}{4f_1}$	$\frac{C_p}{6f_1}$	$\frac{7C_s}{12f_1}$	1.0	4,000	セラミック	△
	9				$\frac{9C_s}{12f_1}$	1.5	2,667	高分子材	○
	11				$\frac{11C_s}{12f_1}$	2.0	2,000	ポリエチレン	◎
	⋮				⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	11	$\frac{C_p}{2f_1}$	$\frac{3C_s}{4f_1}$	$\frac{C_p}{6f_1}$	$\frac{11C_s}{12f_1}$	0.5	8,000	特殊金属	×
	13				$\frac{13C_s}{12f_1}$	1.0	4,000	セラミック	△
	15				$\frac{15C_s}{12f_1}$	1.5	2,667	高分子材	○
	⋮				⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

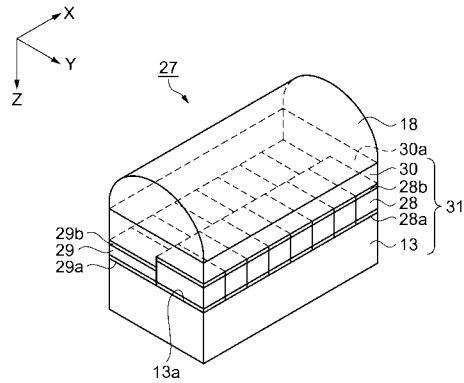
【図 6】



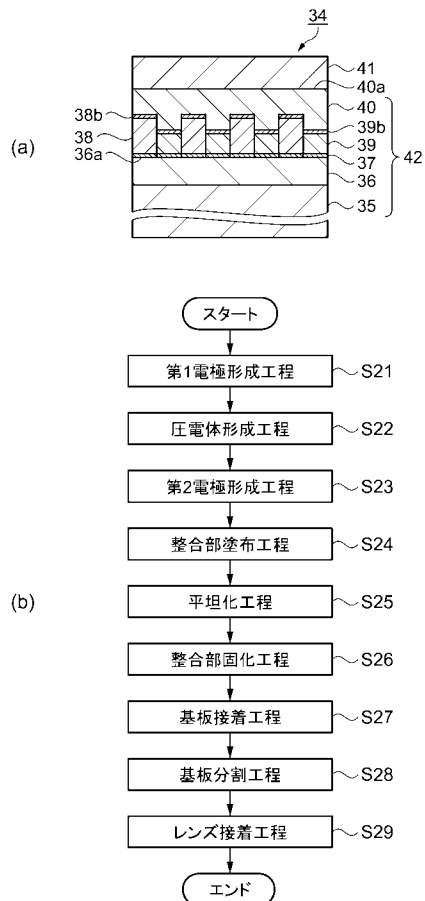
【図 7】



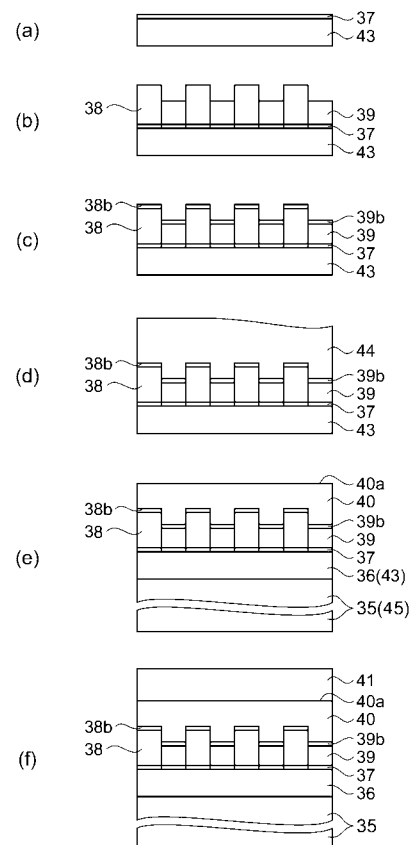
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

Fターム(参考) 4C601 DE08 EE30 GB04 GB12 GB19 GB25 GB29 GB41 GB44 GB45
GB50
5D019 BB18 FF04 GG01 GG06

