

(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2017-143394

(P2017-143394A)

(43) 公開日 平成29年8月17日(2017.8.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H04R 3/00 (2006.01)	H04R 3/00 330	4C601
H01L 41/09 (2006.01)	H01L 41/09	5D019
H01L 41/113 (2006.01)	H01L 41/113	
H04R 17/00 (2006.01)	H04R 17/00 330H	
A61B 8/14 (2006.01)	A61B 8/14	
審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 23 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-23098 (P2016-23098)
 (22) 出願日 平成28年2月9日 (2016.2.9)

(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 100101236
 弁理士 栗原 浩之
 (74) 代理人 100166914
 弁理士 山▲崎▼ 雄一郎
 (72) 発明者 板山 泰裕
 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 角 浩二
 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 EE03 HH01 HH04
 5D019 AA21 BB19 BB25 FF04

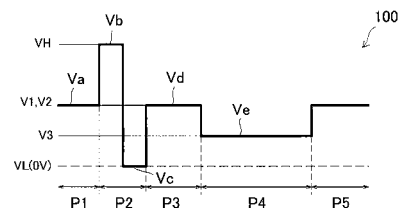
(54) 【発明の名称】 超音波センサー及び圧電素子の駆動方法

(57) 【要約】

【課題】超音波センサー用の圧電素子を対象として、送受信感度のばらつきの抑制、及び、受信感度の向上化のうち、少なくとも1つを達成することが可能な超音波センサー及び圧電素子の駆動方法を提供する。

【解決手段】超音波センサーの駆動回路は、第1の電位V1によって圧電素子の分極を維持する第1工程P1と、最大電位VHと最小電位VLを少なくとも1回ずつ付与することによって、圧電素子に超音波を送信させる第2工程P2と、第2の電位V2で圧電素子を待機させる第3工程P3と、第3の電位V3を付与することによって、圧電素子に超音波を受信させる第4工程P4とを有する駆動波形によって、圧電素子を駆動し、各電位の中で、最大電位VHが最も高く、最小電位VLが最も低く、第1の電位V1及び第2の電位V2は同じ電位であり、第3の電位V3は、第1の電位V1及び第2の電位V2よりも低い電位である。

【選択図】図13



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 電極と、第 2 電極と、これらの間に設けられた厚さ $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $1.5 \mu\text{m}$ 以下の薄膜の圧電体層とを備えた圧電素子と、

前記圧電素子を駆動する駆動回路と

を有する超音波センサーであって、

前記駆動回路は、

第 1 の電位 V_1 によって前記圧電素子の分極を維持する第 1 工程と、

前記第 1 工程の後、最大電位 V_H と最小電位 V_L を少なくとも 1 回ずつ付与することによって、前記圧電素子に超音波を送信させる第 2 工程と、

10

前記第 2 工程の後、第 2 の電位 V_2 で前記圧電素子を待機させる第 3 工程と、

前記第 3 工程の後、第 3 の電位 V_3 を付与することによって、前記圧電素子に超音波を受信させる第 4 工程と

を有する駆動波形によって、前記圧電素子を駆動し、

前記最大電位 V_H 、第 1 の電位 V_1 、第 2 の電位 V_2 、第 3 の電位 V_3 及び最小電位 V_L の中で、前記最大電位 V_H が最も高く、前記最小電位 V_L が最も低く、

前記第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 は同じ電位であり、

前記第 3 の電位 V_3 は、前記第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 よりも低い電位であることを特徴とする超音波センサー。

【請求項 2】

20

前記第 1 工程及び前記第 3 工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r1} 、前記第 2 工程において前記最大電位 V_H とした圧電体層の比誘電率を ϵ_{r2} 、前記第 4 工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r3} としたとき、 ϵ_{r1} は ϵ_{r2} よりも大きく、 ϵ_{r3} は ϵ_{r2} に対して 95% 以上 100% 以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の超音波センサー。

【請求項 3】

第 1 の電位 V_1 によって圧電素子の分極を維持する第 1 工程と、

前記第 1 工程の後、最大電位 V_H と最小電位 V_L を少なくとも 1 回ずつ付与することによって、前記圧電素子に超音波を送信させる第 2 工程と、

前記第 2 工程の後、第 2 の電位 V_2 で前記圧電素子を待機させる第 3 工程と、

前記第 3 工程の後、第 3 の電位 V_3 を付与することによって、前記圧電素子に超音波を受信させる第 4 工程と

30

を有し、

前記最大電位 V_H 、第 1 の電位 V_1 、第 2 の電位 V_2 、第 3 の電位 V_3 及び最小電位 V_L の中で、前記最大電位 V_H が最も高く、前記最小電位 V_L が最も低く、

前記第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 は同じ電位であり、

前記第 3 の電位 V_3 は、前記第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 よりも低い電位である駆動波形によって、前記圧電素子を駆動することを特徴とする圧電素子の駆動方法。

【請求項 4】

前記第 1 工程及び前記第 3 工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r1} 、前記第 2 工程において前記最大電位 V_H とした圧電体層の比誘電率を ϵ_{r2} 、前記第 4 工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r3} としたとき、 ϵ_{r1} は ϵ_{r2} よりも大きく、 ϵ_{r3} は ϵ_{r2} に対して 95% 以上 100% 以下であることを特徴とする請求項 3 に記載の圧電素子の駆動方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波センサー及び圧電素子の駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、圧電素子は、液体噴射ヘッドや超音波センサー等の様々なデバイスに応用されて

50

いる。各種デバイスのうち、例えば、超音波センサーは、空間が形成された基板、空間を塞ぐように基板上に設けられた振動板、振動板上に設けられた圧電素子等を具備している。

【0003】

超音波センサーでは、電圧を印加して圧電素子を変位させることで振動板が変位し、これに伴い、空間内の媒質（音響整合層や空気層等）に圧力変動が生じて、超音波（送信超音波）が送信される。また、測定対象物に反射された超音波（反射超音波）を受けて空間内の媒質に圧力変動が生じると、かかる圧力変動が伝達して振動板が変位し、これに伴い圧電素子を変位して、圧電素子から電圧が得られる。そして、これらの電圧、即ち、送信超音波や反射超音波の波形に基づき、測定対象物に関する情報（位置や形状等）が検出される。

10

【0004】

超音波センサーには、振動板の圧電素子とは反対側が超音波の通過領域となる型（CAV面型）や、振動板の圧電素子側が超音波の通過領域となる型（ACT面型）がある。また、超音波センサーには、超音波の送信に最適化させた送信専用型や、超音波の受信に最適化させた受信専用型の他、超音波の送信及び受信の両方に最適化させた送受信一体型等の分類もある。何れの型の超音波センサーでも、送信超音波の送信時には、圧電素子に電圧が印加されることで圧電体層に分極が生じ、この分極の状態に応じて電気機械変換能力が発揮される。

20

【0005】

例えば、特許文献1にはバルク圧電体を用いた圧電センサーが記載されている。この文献によれば、バルク圧電体は分極処理を施した後に当該センサーに組み込まれるため、その分極を維持するためのバイアス電圧を印加する必要が無い。従って、バルク圧電体における、分極特性の経時的な劣化は殆ど無い。

【0006】

しかしながら、バルク圧電体のかわりに薄膜圧電体を各種デバイスに用いた場合には、経時的に分極特性が劣化する。例えば、特許文献2には薄膜圧電体を用いた圧電センサーが記載されている。この文献によれば、薄膜圧電体には圧力の検出や温度の変化に伴って、基板から受ける応力の影響により分極特性が経時的に劣化し、感度が低下するという問題がある。そこで、特許文献2では、電子回路による分極処理を一定時間毎に実施しているが、具体的な分極処理を実施するための駆動波形は開示されていない。

30

【0007】

また、特許文献3には薄膜圧電体を用いた液体噴射ヘッドが記載されており、薄膜圧電体に施す分極処理を実施するための駆動波形が開示されている（図10参照）。即ち、特許文献3によれば、図10の電位維持期a4のバイアス電位によって、分極の維持が可能となっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2015-36056号公報

40

【特許文献2】特許第4984943号公報

【特許文献3】特許第4374551号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献2に記載の圧電センサーでは、分極してから送受信の動作に入るまでの時間が一定ではないため、感度にばらつき（分極量の変動）が生じる可能性がある。また、特許文献3に記載の駆動波形は、液体噴射ヘッド用の波形であり、同じ圧電素子を使っているとはいえ、液体を噴射するのに適した波形が圧電センサーの受信感度を向上させるのに適しているとは限らない。

50

【 0 0 1 0 】

本発明は、上記状況に鑑みてなされたものであり、特に、超音波センサー用の圧電素子を対象として、送受信感度のばらつきの抑制、及び、受信感度の向上化のうち、少なくとも1つを達成することが可能な超音波センサー及び圧電素子の駆動方法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】

【 0 0 1 1 】

上記目的を達成する本発明の態様は、第1電極と、第2電極と、これらの間に設けられた厚さ0.3 μ m以上1.5 μ m以下の薄膜の圧電体層とを備えた圧電素子と、前記圧電素子を駆動する駆動回路とを有する超音波センサーであって、前記駆動回路は、第1の電位V1によって前記圧電素子の分極を維持する第1工程と、前記第1工程の後、最大電位VHと最小電位VLを少なくとも1回ずつ付与することによって、前記圧電素子に超音波を送信させる第2工程と、前記第2工程の後、第2の電位V2で前記圧電素子を待機させる第3工程と、前記第3工程の後、第3の電位V3を付与することによって、前記圧電素子に超音波を受信させる第4工程とを有する駆動波形によって、前記圧電素子を駆動し、前記最大電位VH、第1の電位V1、第2の電位V2、第3の電位V3及び最小電位VLの中で、前記最大電位VHが最も高く、前記最小電位VLが最も低く、前記第1の電位V1及び第2の電位V2は同じ電位であり、前記第3の電位V3は、前記第1の電位V1及び第2の電位V2よりも低い電位であることを特徴とする超音波センサーにある。

かかる態様では、第1の電位V1によって分極を維持した状態で送受信動作を行うことにより、感度のばらつきを抑えた超音波センサーを得ることができる。また、受信時に、第1の電位V1及び第2の電位V2よりも低い第3の電位V3を付与することで、圧電体層の歪みに対する分極の変化量が大きくなり、その結果、起電圧が高くなることで、受信感度が向上した超音波センサーを得ることができる。

【 0 0 1 2 】

ここで、前記第1工程及び前記第3工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r1} 、前記第2工程において前記最大電位VHとした圧電体層の比誘電率を ϵ_{r2} 、前記第4工程における圧電体層の比誘電率を ϵ_{r3} としたとき、 ϵ_{r1} は ϵ_{r2} よりも大きく、 ϵ_{r3} は ϵ_{r2} に対して95%以上100%以下であることが好ましい。

これによれば、 ϵ_{r1} を ϵ_{r2} よりも大きくすることで、圧電体層の分極量を安定に保ちつつ、 ϵ_{r3} を ϵ_{r2} に対して95%以上100%以下にすることで、分極が緩和されて膜の硬度が下がり、薄膜の圧電体層を撓みやすくして受信感度を向上することが可能な超音波センサーを得ることができる。

【 0 0 1 3 】

上記目的を達成する本発明の他の態様は、第1の電位V1によって圧電素子の分極を維持する第1工程と、前記第1工程の後、最大電位VHと最小電位VLを少なくとも1回ずつ付与することによって、前記圧電素子に超音波を送信させる第2工程と、前記第2工程の後、第2の電位V2で前記圧電素子を待機させる第3工程と、前記第3工程の後、第3の電位V3を付与することによって、前記圧電素子に超音波を受信させる第4工程とを有し、前記最大電位VH、第1の電位V1、第2の電位V2、第3の電位V3及び最小電位VLの中で、前記最大電位VHが最も高く、前記最小電位VLが最も低く、前記第1の電位V1及び第2の電位V2は同じ電位であり、前記第3の電位V3は、前記第1の電位V1及び第2の電位V2よりも低い電位である駆動波形によって、前記圧電素子を駆動することを特徴とする圧電素子の駆動方法にある。

かかる態様では、第1の電位V1によって分極を維持した状態で送受信動作を行うため、超音波センサーの感度のばらつきを抑えることができる。また、受信時に、第1の電位V1及び第2の電位V2よりも低い第3の電位V3を付与することで、圧電体層の歪みに対する分極の変化量が大きくなり、その結果、起電圧が高くなることで、超音波センサーの受信感度を向上させることができる。

【 0 0 1 4 】

ここで、前記第 1 工程及び前記第 3 工程における圧電体層の比誘電率を ε_{r1} 、前記第 2 工程において前記最大電位 V_H とした圧電体層の比誘電率を ε_{r2} 、前記第 4 工程における圧電体層の比誘電率を ε_{r3} としたとき、 ε_{r1} は ε_{r2} よりも大きく、 ε_{r3} は ε_{r2} に対して 95% 以上 100% 以下であることが好ましい。

これによれば、 ε_{r1} を ε_{r2} よりも大きくすることで、圧電体層の分極量を安定に保ちつつ、 ε_{r3} を ε_{r2} に対して 95% 以上 100% 以下にすることで、分極が緩和されて膜の硬度が下がり、薄膜の圧電体層を撓みやすくして受信感度を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】超音波デバイスの構成例を示す断面図。

【図 2】超音波センサーの構成例を示す分解斜視図。

【図 3】超音波素子アレイの構成例を示す拡大斜視図。

【図 4】超音波素子の概略構成の一例を示す平面図。

【図 5】図 4 の超音波素子の A - A' 線断面図。

【図 6】図 4 の超音波素子の B - B' 線断面図。

【図 7】超音波センサーの製造方法の一例を示す断面図。

【図 8】超音波センサーの製造方法の一例を示す断面図。

【図 9】超音波センサーの製造方法の一例を示す断面図。

【図 10】超音波センサーの製造方法の一例を示す断面図。

【図 11】超音波センサーの製造方法の一例を示す断面図。

【図 12】超音波デバイスの制御構成例を示すブロック図。

【図 13】超音波センサーの駆動波形の一例を示す図。

【図 14】比誘電率の平方根と圧電定数との関係を示す図。

【図 15】実施例 1 の駆動波形を示す図。

【図 16】比較例 1 の駆動波形を示す図。

【図 17】第 3 の電位と起電圧との関係を示す図。

【図 18】超音波診断装置の一例を示す斜視図。

【図 19】超音波プローブの一例を示す正面図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。以下の説明は、本発明の一態様を示すものであって、本発明の範囲内で任意に変更可能である。各図において、同じ符号を付したものは、同一の部材を示しており、適宜説明が省略されている。

【0017】

また、図面において示す構成要素、即ち、各部の形状や大きさ、層の厚さ、相対的な位置関係、繰り返し単位等は、本発明を説明する上で誇張して示されている場合がある。更に、本明細書の「上」という用語は、構成要素の位置関係が「直上」であることを限定するものではない。例えば、「基板上の第 1 電極」や「第 1 電極上の圧電体層」という表現は、基板と第 1 電極との間や、第 1 電極と圧電体層との間に、他の構成要素を含むものを除外しない。

【0018】

(実施形態 1)

(超音波デバイス)

図 1 は、本発明の実施形態 1 にかかる超音波センサーを搭載した超音波デバイスの構成例を示す断面図である。図示するように、超音波プローブ I は、CAV 面型の超音波センサー 1 と、超音波センサー 1 に接続されたフレキシブルプリント基板 (FPC 基板 2) と、装置端末 (不図示) から引き出されたケーブル 3 と、FPC 基板 2 及びケーブル 3 を中継ぎする中継基板 4 と、超音波センサー 1、FPC 基板 2 及び中継基板 4 を保護する筐体 5 と、筐体 5 及び超音波センサー 1 の間に充填された耐水性樹脂 6 とを具備して構成され

10

20

30

40

50

ている。また、詳細は後述するが、超音波センサー１は、超音波素子１０、音響整合層３０、レンズ部材３１及び包囲板４０を含んで構成されている。なお、超音波プローブＩは、上記の構成に限定されず、必要に応じて他の要素を含んで構成されてもよい。

【００１９】

超音波プローブＩに搭載された超音波センサー１は、送受信一体型に構成されている。この超音波センサー１では、超音波センサー１の繰り返し発信周期に応じ、送信超音波が、音響整合層３０及びレンズ部材３１を通じて送信される。送信超音波が所定の間隔で送信されるなかで、測定対象物から反射された反射超音波が、音響整合層３０及びレンズ部材３１を通して受信される。これらの送信超音波や反射超音波の波形信号に基づき、超音波プローブＩの装置端末において、測定対象物に関する情報（位置や形状等）が検出される。

10

【００２０】

超音波センサー１によれば、後述のように、送受信感度のばらつきを抑制し、受信感度の向上化を図ることができる。従って、超音波プローブＩに超音波センサー１を搭載することで、検出感度に優れた超音波デバイスとなる。超音波センサー１は、ＣＡＶ面型に限定されず、ＡＣＴ面型にも適用できる。また、超音波センサー１は、送受信一体型に限定されず、送信専用型や受信専用型等にも適用できる。超音波センサー１を搭載可能な超音波デバイスは、超音波プローブＩに限定されない。

【００２１】

また、詳細は後述するが、ＣＡＶ面型の超音波センサー１は、ＡＣＴ面側の超音波センサーと比べて、測定対象物に対して超音波素子１０を構成する圧電素子１７が離れた位置にある。従って、外部からの水分が圧電素子１７に極めて到達し難い構成となり、使用時の電気的安全性に優れた超音波センサー１となる。しかも、圧電素子１７が薄膜である場合、製造時のハンドリング性も向上させることができるので、超音波センサー１の取り扱いが容易となる。

20

【００２２】

（超音波センサー）

図２は、超音波センサーの分解斜視図であり、図３は、超音波素子アレイの構成例を示す拡大斜視図である。図４は、超音波素子の概略構成を示す平面図、図５は、そのＡ－Ａ'線断面図、図６は、Ｂ－Ｂ'線断面図である。

30

【００２３】

図２～図６において、互いに直交する２つの軸をＸ軸及びＹ軸とし、Ｘ軸及びＹ軸によって形成される平面をＸＹ平面としたとき、基板１１は、ＸＹ平面に沿っている。以降、Ｘ軸を第１の方向Ｘ（Ｘ方向）と称し、Ｙ軸を第２の方向Ｙ（Ｙ方向）と称し、Ｘ方向及びＹ方向の何れにも直交するＺ軸を第３の方向Ｚ（Ｚ方向）と称する。

【００２４】

図１及び図２に示すように、超音波センサー１は、超音波素子１０、音響整合層３０、レンズ部材３１及び包囲板４０を含んで構成されている。図２において、包囲板４０と支持部材４１とは別体に示されているが、実際には、図１に示すように、両者は一体的に構成されている。なお、超音波センサー１は、上記の構成に限定されず、他の要素を含んで構成されてもよい。

40

【００２５】

超音波センサー１がＣＡＶ面型に構成されていることから、音響整合層３０は、空間２０内に設けられている。音響整合能を有する樹脂等が基板１１の空間２０内等に充填されて音響整合層３０が設けられることで、超音波素子１０及び測定対象物の間で音響インピーダンスが急激に変化することを防止でき、その結果、超音波の伝播効率の低下を防止することができる。音響整合層３０は、例えば、シリコンオイル、シリコン樹脂又はシリコンゴムから構成できるが、前記の例に限定されず、超音波センサー１の用途等に応じた材料を適宜選択して用いることができる。

【００２６】

50

レンズ部材 31 は、基板 11 上の振動板 50 とは反対側に設けられている。レンズ部材 31 は、超音波を収束させる役割を有している。超音波を電子フォーカス法で収束させる場合等には、レンズ部材 31 は省略可能である。また、レンズ部材 31 は、超音波の収束機能を有しない保護板等に代替させることも可能である。本実施形態では、上記の音響整合層 30 が、レンズ部材 31 と基板 11 との接着機能も有している。レンズ部材 31 と基板 11 との間に音響整合層 30 を介在させ、超音波センサー 1 が構成されている。なお、振動板 50 の詳細については、後述する。

【0027】

包囲板 40 は、振動板 50 の第 2 面 50b 側に設けられている。包囲板 40 の中央には凹部（圧電素子保持部 32）が形成され、この圧電素子保持部 32 の周囲は、包囲板 40 の縁部 40a 及び圧電素子 17 側の面 40b で囲われている。圧電素子保持部 32 によって、超音波素子 10（圧電素子 17）の周囲の領域（圧電素子 17 の上面及び側面を含む領域）が覆われる。従って、圧電素子 17 の上面は包囲板 40 の圧電素子 17 側の面 40b で覆われ、側面は縁部 40a で覆われることになる。なお、圧電素子 17 の詳細については、後述する。

10

【0028】

包囲板 40 は、縁部 40a において超音波素子 10 側に接合されている。包囲板 40 の接合は接着剤を用いることができるが、前記の例に限定されない。圧電素子保持部 32 の Z 方向の長さは約 80 μm であるが、前記の値に限定されない。圧電素子保持部 32 の長さは、圧電素子 17 の駆動を阻害しない程度のスペースが確保される値であればよい。また、圧電素子保持部 32 は、空気で満たされていてもよく、樹脂で満たされていてもよい。包囲板 40 の厚さは約 400 μm であるが、前記の値に限定されない。

20

【0029】

超音波センサー 1 には、包囲板 40 の圧電素子 17 側の面 40b と振動板 50 の第 2 面 50b との間、且つ、圧電素子 17 と重ならない位置に、支持部材 41 が設けられており、この支持部材 41 により振動板 50 を支持できる。このため、例えば、レンズ部材 31 を超音波素子 10 に実装する際や、超音波素子 10 とレンズ部材 31 の密着性を確保する際に、レンズ部材 31 を音響整合層 30 側に押圧することがある。レンズ部材 31 を具備していない場合や、レンズ部材 31 の代わりに他の部材を設けた場合にも、各部の密着性を確保するため、音響整合層 30 側から振動板 50 に押圧力を付すこともある。超音波センサー 1 では、支持部材 41 を具備して構成されているため、上記の通り、所定の外圧が振動板 50 に加わったとしても、構造歪みが生じることを抑制でき、高い信頼性を確保できる。

30

【0030】

また、支持部材 41 が圧電素子 17 と重ならない位置に設けられているため、圧電素子 17 が支持部材 41 によって過度に拘束されることが回避される。よって、支持部材 41 を設けていない場合と比べて、超音波の送信効率や受信効率が過度に低下することも防止される。

【0031】

ここで、圧電素子 17 と重ならない位置とは、Z 方向から見たとき、後述する能動部（第 1 電極 14 と第 2 電極 16 とで挟まれた部分（図 3 参照））に重ならない位置である。特に、超音波センサー 1 では、後述する隔壁 19 よりも狭い幅を有している支持部材 41 が、X 方向に沿って整列する圧電素子 17 間に設けられている。つまり、超音波センサー 1 では、Z 方向から見たとき、支持部材 41 が、後述する可動部（振動板 50 の第 2 面 50b 側のうち空間 20 に対応する部分）にすら重なっていない。このため、支持部材 41 を設けていない場合と比べ、超音波送信効率や受信効率が過度に低下することが確実に防止される。支持部材 41 は、接着剤により超音波素子 10 側に接合されているが、接合の手法は前の例に限定されない。

40

【0032】

支持部材 41 は、Y 方向に沿って延びる梁形状を有している。これによれば、Y 方向に

50

亘る広い範囲で振動板 50 を支持できる。梁形状の支持部材 41 は、Y 方向ではなく、X 方向に沿って延在していてもよい。梁形状の支持部材 41 は、延在する片方の端部が包囲板 40 の縁部 40a から離れていてもよい。延在方向の少なくとも片方の端部が包囲板 40 の縁部 40a に接していれば、梁形状の支持部材 41 に含まれる。

【0033】

勿論、支持部材 41 は、梁形状を有していなくてもよい。支持部材 41 は、延在方向に直線状でなくてもよい。支持部材 41 の作製手法によっては、支持部材 41 の XY 平面の断面積が Z 方向に応じて異なる態様となる場合があるものの、かかる態様も、振動板 50 を支持できる限り、本発明の支持部材 41 に含まれる。

【0034】

梁形状の支持部材 41 は、包囲板 40 をウエットエッチングすることで作製されたものである。このように、支持部材 41 は、包囲板 40 の構成材料を活かして作製されており、包囲板 40 と同一の構成を有している。ウエットエッチングは、例えばドライエッチングに比べ、加工精度は劣るものの、短時間で多くの領域を削ることができるため、梁形状の支持部材 41 を作製するのには好適な手法である。

【0035】

圧電素子保持部 32 の中心部分は、包囲板 40 の縁部 40a から比較的離れている。従って、振動板 50 において、圧電素子保持部 32 の中心部分に対応する中心箇所 C では、支持部材 41 がない場合に剛性が低くなりやすい。そこで、支持部材 41 は、そのような振動板 50 の中心箇所 C を支持するように、圧電素子保持部 32 の中心部分に設けられている。これにより、より高い信頼性を確保できる。

【0036】

超音波センサー 1 において、支持部材 41 の数、配置、形状等は種々に選択が可能である。例えば、支持部材 41 は複数であってもよい。その場合、支持部材 41 は、圧電素子保持部 32 内に、等間隔に設けられることが好ましい。これによれば、振動板 50 を万遍なく支持できる。従って、振動板 50 の数は、3 つ以上の奇数であることが好ましい。これは、圧電素子保持部 32 内に支持部材 41 を等間隔に設けたとき、その真ん中の支持部材 41 が、振動板 50 の中心箇所 C の近傍に位置し得るためである。例えば、支持部材 41 の数は、3 つ程度であるとバランスがよい。勿論、支持部材 41 は、振動板 50 の中心箇所 C からずれた部分のみに設けられてもよい。

【0037】

図 3 に示すように、超音波素子 10 は、基板 11、振動板 50 及び圧電素子 17 を含んで構成されている。なお、超音波素子 10 は、上記の構成に限定されず、他の要素を含んで構成されてもよい。

【0038】

図 1 に示すように、基板 11 には、複数の隔壁 19 が形成されている。この複数の隔壁 19 により、図 2 に示すように、X 方向及び Y 方向に沿って、複数の空間 20 が区画されている。空間 20 は、Z 方向に基板 11 を貫通するように形成されている。つまり、基板 11 には、開口部 18 が形成されている。空間 20 は、二次元状、即ち、X 方向に複数且つ Y 方向に複数形成されている。空間 20 の配列や形状は、種々に変形が可能である。例えば、図 3 に示すように、空間 20 は、一次元状、即ち、X 方向及び Y 方向の何れか一方の方向に沿って複数形成されてもよい。また、図 4 に示すように、空間 20 (開口部 18) は、Z 方向から見たときに正形状 (X 方向と Y 方向との長さの比が 1 : 1) に形成されてもよいし、長形状 (X 方向と Y 方向との長さの比が 1 : 1 以外) に形成されてもよい。

【0039】

基板 11 は、例えばシリコン (Si) 単結晶基板を用いることができるが、これに限定されるものではない。例えば、SOI 基板やガラス基板等を用いてもよい。

【0040】

図 3 に示すように、振動板 50 は、開口部 18 (空間 20) を塞ぐように基板 11 上に

10

20

30

40

50

設けられており、基板 11 上に形成された弾性膜 12 と、弾性膜 12 上に形成された絶縁体膜 13 とによって構成されている。以降、振動板 50 の基板 11 側の面を第 1 面 50 a と称し、第 1 面 50 a に対向する面を第 2 面 50 b と称する。振動板 50 は、この場合、弾性膜 12 によって第 1 面 50 a が構成され、絶縁体膜 13 によって第 2 面 50 b が構成される。ここで、振動板 50 の第 2 面 50 b 側のうち空間 20 に対応する部分を可動部と称する。可動部は、圧電素子 17 の変位によって振動が生じる部分である。例えば、圧電素子 17 に電圧を印加したとき、可動部に振動が生じる。この振動によって空間 20 内の媒質である音響整合層 30 (図 1 参照) に圧力変動が生じ、この圧力変動に応じて超音波センサー 1 から送信超音波が送信され、或いは、受信超音波が受信される。

【0041】

10

振動板 50 は、空間 20 に対応する領域(可動部)が、圧電素子 17 に電圧を印加していない状態で、空間 20 とは反対側に凸(即ち上凸)となる撓みを有している。かかる撓みをする振動板 50 となるように、超音波センサー 1、特に圧電素子 17 が構成されている。本明細書において、空間 20 とは反対側に凸であることは「上凸」で表される。また、空間 20 側に凸であることは「下凸」で表される。超音波センサー 1 の型によって圧電素子 17 近傍の構成が異なるが、振動板 50 の空間 20 に対向する側に圧電素子 17 が設けられている超音波センサー 1 であれば、何れの型でも、上記のように「上凸」及び「下凸」と解釈される。

【0042】

20

本実施形態では、二酸化シリコン(SiO_2)等からなる弾性膜 12 と、酸化ジルコニウム(ZrO_2)等からなる絶縁体膜 13 とで振動板 50 を構成するが、これに限定されるものではない。例えば、弾性膜 12 又は絶縁体膜 13 の何れか一方でもよく、又は他の膜としてもよい。或いは、振動板 50 を設けずに、後述する第 1 電極 14 のみが振動板として機能するようにしてもよい。基板 11 上に第 1 電極 14 を直接設ける場合には、第 1 電極 14 を絶縁性の保護膜等で保護することが好ましい。また、弾性膜 12 は、基板 11 と別部材でなくてもよい。基板 11 の一部を薄く加工し、これを弾性膜 12 として使用してもよい。

【0043】

30

図 5 及び図 6 に示すように、圧電素子 17 は、弾性膜 12 及び絶縁体膜 13 からなる振動板 50 上に設けられており、振動板 50 の開口部 18 (空間 20) に対向する位置に設けられている。圧電素子 17 は、第 1 電極 14 と、厚さが $3\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $0.3\mu\text{m}$ 以上 $1.5\mu\text{m}$ 以下の薄膜である圧電体層 15 と、第 2 電極 16 とを含んで構成されている。ここで、圧電素子 17 は、第 1 電極 14、圧電体層 15 及び第 2 電極 16 を含む部分をいう(図 4 参照)。この圧電素子 17 に対応する領域には開口部 18 (空間 20) が形成され、開口部 18 は隔壁 19 により区切られている。圧電素子 17 のうち、第 1 電極 14 と第 2 電極 16 とが Z 方向で重なった部分を能動部と称する。能動部は、選択された第 1 電極 14 と第 2 電極 16 による電圧の印加により駆動される領域であり、上述した可動部内に存在する。

【0044】

40

図示しないものの、圧電素子 17 と振動板 50 との間に、他の層が設けられてもよい。例えば、圧電素子 17 と振動板 50 との間に、密着性を向上させるための密着層が設けられてもよい。このような密着層は、例えば、酸化チタン(TiO_x)層、チタン(Ti)層又は窒化シリコン(SiN)層等から構成できる。

【0045】

図 4 に示すように、圧電素子 17 は、Z 方向から見たとき、空間 20 の内側の領域にある。即ち、圧電素子 17 の X 方向及び Y 方向は、何れも空間 20 より短い。ただし、圧電素子 17 の X 方向が空間 20 より長い場合や、圧電素子 17 の第 2 の方向 Y が空間 20 より長い場合も、本発明に含まれる。

【0046】

50

ここで、本実施形態では、圧電素子 17 と、弾性膜 12 及び絶縁体膜 13 からなる振動

板 50 とを合わせてアクチュエーター装置と称する。図 3 に示すように、アクチュエーター装置では、圧電素子 17 を構成する第 1 電極 14 及び第 2 電極 16 が駆動回路 201 (図 12 参照) に電氣的に接続されており、この駆動回路 201 から第 1 電極 14 及び第 2 電極 16 に電気信号 (駆動信号) が入力されることで、圧電素子 17 に電圧が印加され、圧電体層 15 に分極が生じて圧電素子 17 及び振動板 50 が変位する。また、圧電素子 17 が変位すると、圧電体層 15 に分極が生じて表面電荷が発生する。表面電荷は、駆動回路 201 にて電圧として検出される。

【0047】

圧電素子 17 は、超音波の送信のみに最適化して構成されていてもよく、超音波の受信のみに最適化して構成されていてもよく、超音波の送信及び受信の両方に最適化して構成されていてもよい。超音波センサー 1 は、送受信一体型に構成されているが、圧電素子 17 は、送信専用型、受信専用型、送受信一体型等の何れの型にも適用でき、CAV 型、AVT 型、送信専用型、受信専用型、送受信一体型等に応じて、高い検出感度を有するように設計することが可能である。

【0048】

通常、超音波センサーでは、超音波素子を X 方向及びこれに直交する Y 方向に、二次元的に並設しており、X 方向をスキャン方向、Y 方向をスライス方向とする。本実施形態の構成例では、スライス方向である Y 方向に、16 個の超音波素子 10 が並設され、スキャン方向である X 方向に、64 個の超音波素子 10 が並設されているが、図 3 には、それぞれその一部のみを示している。このような超音波センサー 1 では、スキャン方向にスキャンしながら、スライス方向に延びる列毎に駆動、即ち、超音波の送信及び受信を行うことにより、スライス方向のセンシング情報を、スキャン方向に連続して取得することができる。

【0049】

また、通常、圧電素子を駆動する場合、何れか一方の電極を共通電極とし、他方の電極を個別電極とするが、本実施形態の超音波素子 10 では、複数の超音波素子 10 毎に駆動し、スキャンすることが行われるので、何れか一方が共通電極で他方が個別電極という区別は現実的ではない。何れにしても、超音波素子 10 を一次元的又は二次元的に並列させた態様とする場合には、第 1 電極 14 を一方向に亘るように設け、第 2 電極 16 を一方向に直交する方向に亘るように設け、適宜選択した第 1 電極 14 と第 2 電極 16 との間に電圧を印加することにより、所定の圧電素子 17 のみを駆動することができる。また、所定の圧電素子 17 を選択する際に、一列又は複数列を一つのグループとして選択して駆動することが一般的に行われる。

【0050】

本実施形態では、第 1 電極 14 は 4 列が束ねられて共通化されている。これを仮に 1 チャンネルと呼び、このチャンネルは X 方向に亘って複数設けられている。つまり、第 1 電極 14 は、4 列毎に共通化し、4 列 1 チャンネル毎に駆動可能となっている。

【0051】

一方、第 2 電極 16 は、X 方向に沿って一列に連続して設けられ、Y 方向に沿って複数列設けられている。このような構成においては、第 2 電極 16 を 1 列毎に共通化して、1 チャンネル内の全ての圧電素子 17 を同時に駆動し、順次各チャンネルを駆動すると、X 方向に沿った 1 次元のデータが取得できる。また、第 2 電極 16 を 1 列毎、又は複数列毎に共通化し、1 チャンネル内の圧電素子 17 を第 2 電極 16 で共通化してグループ毎に順次駆動し、順次各チャンネルを駆動すると、XY 方向の二次元データが取得できる。

【0052】

第 1 電極 14 や第 2 電極 16 は、導電性を有するものであれば制限されず、例えば白金 (Pt)、イリジウム (Ir)、金 (Au)、アルミニウム (Al)、銅 (Cu)、チタン (Ti)、ステンレス鋼等の金属材料、酸化インジウムスズ (ITO)、フッ素ドーパ酸化スズ (FTO) 等の酸化スズ系導電材料、酸化亜鉛系導電材料、ルテニウム酸ストロンチウム (SrRuO_3)、ニッケル酸ランタン (LaNiO_3)、元素ドーパチタン酸

10

20

30

40

50

ストロンチウム等の酸化物導電材料や、導電性ポリマー等を用いることができる。ただし、前記の材料に制限されない。

【0053】

図5及び図6に示すように、圧電素子17を構成する圧電体層15は、空間20（開口部18）毎にパターンニングして構成されている。この圧電体層15は、電気機械変換能力を有している。

【0054】

圧電体層15は、電気機械変換能力を有していればよく、必要に応じて構成材料を適宜選定することができる。圧電体層15は、代表的にはチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）系のペロブスカイト構造の複合酸化物を用いることができる。これによれば、圧電素子17の変位量を確保しやすくなる。また、この他に、鉛、マグネシウム（Mg）、ニオブ（Nb）及びチタンを含むPMN-PT系やPMN-PZT系の多成分系の複合酸化物等も適用できる。

【0055】

また、圧電体層15は、鉛を含まないもの、例えば、ビスマス（Bi）及び鉄（Fe）を含むBFO系の複合酸化物、ビスマス、バリウム（Ba）、鉄及びチタンを含むBF-BT系の複合酸化物、ビスマス、鉄、マンガン（Mn）、バリウム及びチタンを含むBFM-BT系の複合酸化物、カリウム（K）、ナトリウム（Na）及びニオブを含むKNN系の複合酸化物等のペロブスカイト構造の複合酸化物を用いることもできる。これによれば、環境への負荷が少ない非鉛系材料を用いて超音波素子10を実現できる。

【0056】

例えば、Bi、Ba、Fe及びTiを含むペロブスカイト構造を有する複合酸化物では、その組成式は（Bi、Ba）（Fe、Ti）O₃として表されるが、代表的な組成としては、鉄酸ビスマスとチタン酸バリウムとの混晶として表されるものである。かかる混晶は、X線回折パターンで、鉄酸ビスマスやチタン酸バリウムが単独では検出できないものをいう。混晶の組成から外れる組成も含むものである。

【0057】

このようなペロブスカイト型構造、即ち、ABO₃型構造のAサイトは、酸素が12配位しており、また、Bサイトは酸素が6配位して8面体（オクタヘドロン）をつくっている。鉛を含まない上記の圧電体層15の例では、AサイトにBi及びBaが、BサイトにFe、Tiが位置している。

【0058】

ここでのペロブスカイト構造の複合酸化物には、欠損・過剰により化学量論の組成からずれたものや、元素の一部が他の元素に置換されたものも含まれる。即ち、ペロブスカイト構造を取り得る限りにおいて、格子不整合、酸素欠損等による不可避な組成のずれは勿論、元素の一部置換等も許容される。

【0059】

そして、ペロブスカイト構造の複合酸化物の構成は前記の例に制限されず、他の元素を含んで構成してもよい。例えば、圧電体層15は、マンガン（Mn）を更に含むことが好ましい。これによれば、リーク電流を抑制しやすくなり、例えば非鉛系の材料として信頼性の高い超音波素子10を実現できる。

【0060】

或いは、圧電体層15のAサイトのBiをリチウム（Li）、サマリウム（Sm）、セリウム（Ce）等で置換するようにしてもよく、BサイトのFeをアルミニウム（Al）、コバルト（Co）等で置換するようにしてもよい。これによれば、各種特性を向上させて構成や機能の多様化を図りやすくなる。これら他の元素を含む複合酸化物である場合も、ペロブスカイト構造を有するように構成されることが好ましい。

【0061】

（超音波センサーの製造方法）

次に、超音波センサー1の製造方法について説明する。図7～図11は、超音波センサ

10

20

30

40

50

一の製造方法の一例を示す断面図である。まず、基板 11 の表面に、熱酸化等によって酸化シリコンからなる弾性膜 12 を形成する。その後、弾性膜 12 上にジルコニウムをスパッタリング法や蒸着法等で成膜し、熱酸化等によって酸化ジルコニウムからなる絶縁体膜 13 を形成する。弾性膜 12 と絶縁体膜 13 とによって、振動板 50 が構成される。そして、振動板 50 の絶縁体膜 13 上に、第 1 電極 14 をスパッタリング法や蒸着法等で成膜し、第 1 電極 14 が所定形状となるようにパターニングして形成する。

【0062】

次いで、第 1 電極 14 及び振動板 50 上に圧電体層 15 を積層する。圧電体層 15 は、金属錯体（例えば、PZT 系のペロブスカイト構造の複合酸化物を構成する Pb、Zr 及び Ti を含む金属錯体）を溶媒に溶解・分散した溶液を塗布乾燥し、更に高温で焼成することで金属酸化物からなる圧電材料を得る、CSD (Chemical Solution Deposition) 法を用いて形成できる。圧電体層 15 の積層方法は、CSD 法に限定されず、例えば、ゾル-ゲル法や、レーザーアブレーション法、スパッタリング法、パルス・レーザー・デポジション法 (PLD (Pulsed Laser Deposition) 法)、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法、エアロゾル・デポジション法等を用いてもよい。圧電体層 15 は、湿式法（液相法）や固相法、或いは気相法等の何れの方法でも形成することができる。

【0063】

湿式法によって形成された層や膜は、界面を有する。湿式法によって形成された層や膜には、塗布または焼成の形跡が残り、このような形跡は、その断面を観察したり、層内（あるいは膜内）における元素の濃度分布を解析したりすることによって確認可能な「界面」となる。「界面」とは、厳密には層間あるいは膜間の境界を意味するが、ここでは、層あるいは膜の境界付近を意味するものとする。湿式法によって形成された層や膜の断面を観察した場合、このような界面は、隣の層や膜との境界付近に、他よりも色が濃い部分、あるいは他よりも色が薄い部分として確認される。また、元素の濃度分布を解析した場合、このような界面は、隣の層や膜との境界付近に、他よりも元素の濃度が高い部分、あるいは他よりも元素の濃度が低い部分として確認される。詳細は後述するが、圧電体層 15 は、塗布工程や焼成工程を複数繰り返して形成される（複数の圧電体膜 74 によって構成される）ため、各圧電体膜 74 に対応して、複数の界面を有することとなる。

【0064】

具体的には、図 7 に示すように、第 1 電極 14 上に 1 層目の圧電体膜 74 を形成した段階で、第 1 電極 14 及び 1 層目の圧電体膜 74 を同時にパターニングする。そして、図 8 に示すように、2 層目以降の圧電体膜 74 を積層することにより、複数層の圧電体膜 74 からなる圧電体層 15 を形成する。因みに、2 層目以降の圧電体膜 74 は、振動板 50 上、第 1 電極 14 及び 1 層目の圧電体膜 74 の側面上、並びに 1 層目の圧電体膜 74 上に亘って連続して形成される。更に、図 9 に示すように、圧電体層 15 をパターニングして凹部 71 等を形成する。

【0065】

次に、図 10 に示すように、圧電体層 15 をパターニングした側面上、振動板 50 上、及び第 1 電極 14 上等に亘って第 2 電極 16 を形成すると共にパターニングする（図 3 参照）。その後は、不要部分をダイシング等により切断・除去する。図 11 に示すように、常法により、図 1 等に示す空間 20、音響整合層 30 や包囲板 40 等を設け、超音波センサー 1 とする。なお、超音波センサー 1 の製造方法は、上記製法に限定されない。

【0066】

（超音波センサーの制御系）

次に、超音波センサー 1 の制御系について説明する。図 12 は、超音波センサーを搭載した超音波デバイスの制御構成例を示すブロック図である。

【0067】

図示するように、超音波プローブ I は、圧電素子 17 が駆動回路 201 に電氣的に接続されてなる超音波センサー 1 と、超音波センサー 1 の駆動を制御する制御装置 200 とを

10

20

30

40

50

含んで構成されている。制御装置 200 は、外部インターフェース（外部 I/F）202 と、各種データを一時的に記憶する RAM 203 と、制御プログラム等を記憶した ROM 204 と、CPU 等を含む制御部 205 と、クロック信号を発生する発振回路 206 と、超音波センサー 1 へ供給するための駆動信号を発生する駆動信号形成回路 207 と、この駆動信号形成回路 207 で使用するための電源を生成する電源生成部 208 と、クロック信号や駆動信号等を駆動回路 201 に送信する内部インターフェース（内部 I/F）209 とを含んで構成されている。

【0068】

このうち、電源生成部 208 は、駆動信号形成回路 207 に対し、駆動電源を供給する。そして、駆動信号形成回路 207 は、電源生成部 208 が生成した駆動電源に基づいて駆動信号を生成する。

10

【0069】

また、超音波センサー 1 の駆動回路 201 には、接続配線（不図示）を介して、各部から COM 信号や駆動波形、更に、所定のセンサー制御信号（クロック信号（CLK）、ラッチ信号（LAT）、チェンジ信号（CH）、画素データ（SI）、設定データ（SP）等）等が入力される。

【0070】

制御装置 200 は、公知の構成からなるマイクロコンピュータを中心に構成されている。制御装置 200 の各部の動作は、具体的には、マイクロコンピュータによるプログラムの実行によって実現される。上記の制御装置 200 を具備することで、本実施形態に係る圧電素子 17 の駆動方法を実現できる圧電素子応用デバイス（超音波センサー 1）が提供される。

20

【0071】

（超音波センサーの駆動方法）

超音波センサー 1 は、上述した駆動回路 201 から第 1 電極 14 及び第 2 電極 16 の何れか一方に COM 信号が、他方に所定の駆動波形（入力波形）がそれぞれ入力されることで、圧電素子 17 に電圧が印加され、圧電体層 15 に分極が生じて圧電素子 17 及び振動板 50 が変位して、超音波の送受信が行われる。

【0072】

ここで、所定の駆動波形とは、COM 信号が入力される電極に対して他方の電極に印加される電位状態を示す波形であり、圧電素子 17 を基準となる状態（基準電位）から変位（又は変形）させた後、再び基準となる状態に戻すように圧電素子 17 を駆動する、一連の駆動電圧の変化を示す波形の単位である。圧電素子 17 を基準となる状態から変位（又は変形）させた後、再び基準となる状態へ戻すための駆動は、第 1 電極 14 と第 2 電極 16 との間に印加される電圧（即ち、圧電体層 15 に印加される電圧）を変化させる一連の工程によって実施される。以下、より詳細に説明する。

30

【0073】

図 13 は、超音波センサーの駆動波形の一例である。図示するように、超音波センサー 1 の駆動波形 100 は、次のような第 1 工程 P1～第 5 工程 P5 を含む。即ち、第 1 の電位 V1 によって圧電素子 17 の分極を維持する第 1 工程 P1 と、第 1 工程 P1 の後、最大電位 VH と最小電位 VL を少なくとも 1 回ずつ付与することによって圧電素子 17 に超音波を送信させる第 2 工程 P2 と、第 2 工程 P2 の後、第 2 の電位 V2 で圧電素子 17 を待機させる第 3 工程 P3 と、第 3 工程 P3 の後、第 3 の電位 V3 を付与することによって圧電素子 17 に超音波を受信させる第 4 工程 P4 と、次の工程に続く第 5 工程 P5 とで構成される。

40

【0074】

第 1 工程 P1 では、超音波センサー 1 の駆動波形 100 が駆動回路 201 から第 1 電極 14 及び第 2 電極 16 に入力されると、圧電素子 17 に電圧 Va が印加され、電位は電圧 Va が印加される前の基準電位（0V）から第 1 の電位 V1 に上昇し、圧電体層 15 に分極が生じる。そして、第 1 工程 P1 では、第 1 の電位 V1 が所定時間保持され、圧電素子

50

１７の分極が維持される。

【００７５】

次いで、第２工程Ｐ２では、第１工程Ｐ１において圧電素子１７の分極が維持された状態（第１の電位Ｖ１を保持）で、圧電素子１７に最大電圧Ｖｂが印加されると、電位は第１の電位Ｖ１から最大電位ＶＨに上昇する。その後、圧電素子１７に最小電圧Ｖｃが印加されると、電位は最大電位ＶＨから最小電位ＶＬに下降し、電位の変化に伴って圧電素子１７の分極方向が揃う。第２工程Ｐ２では、圧電素子１７の分極方向が揃った状態で、圧電素子１７及び振動板５０が変位して測定対象物に超音波を送信させる。ただし、最大電圧Ｖｂ及び最小電圧Ｖｃの印加は、少なくとも１回ずつ行われればよく、各電圧の印加順序は問わない。

10

【００７６】

次いで、第３工程Ｐ３では、第２工程Ｐ２において圧電素子１７の分極方向が揃った状態（最小電位ＶＬを保持）で、圧電素子１７に電圧Ｖｄが印加されると、電位は最小電位ＶＬから第２の電位Ｖ２に上昇する。そして、第２の電位Ｖ２が所定時間保持され、圧電素子１７の分極が維持される。

【００７７】

ここで、圧電素子１７に印加される電圧Ｖｄは、第１工程Ｐ１において印加された電圧Ｖａと等しいため、第３工程Ｐ３でも第１工程Ｐ１と同等の電位が維持される。即ち、第３工程Ｐ３では、第２の電位Ｖ２が所定時間保持されることにより、圧電素子１７の分極が維持されて受信の準備が整った状態で待機させることができ、超音波の受信時におけるノイズを除去することができる。

20

【００７８】

次いで、第４工程Ｐ４では、第３工程Ｐ３において圧電素子１７の待機状態（第２の電位Ｖ２を保持）で、圧電素子１７に電圧Ｖｅが印加されると、電位は第２の電位Ｖ２から第３の電位Ｖ３に下降し、圧電体層１５の分極が緩和される。そして、第３の電位Ｖ３が所定時間保持されることにより、圧電素子１７の分極緩和状態が維持され、圧電素子１７における圧電体層１５の硬度が下がって撓みやすくなる。そして、かかる状態で維持された圧電素子１７に測定対象物からの超音波（反射波）を受信させることにより、受信感度を向上させることができる。

【００７９】

30

なお、第４工程Ｐ４における超音波の受信のタイミングは、超音波センサー１と測定対象物との距離に応じて適宜変更され得る。例えば、測定対象物が臓器の場合には、その深さに応じて受信のタイミングが変わり、それに応じて超音波センサー１の駆動波形１００が変更される。

【００８０】

次いで、次の工程に続く第５工程Ｐ５では、次工程における電圧（ここでは、圧電素子１７に分極を生じさせる電圧）を印加して電位を変化させ、圧電素子１７が分極を保持した状態から超音波の送受信が可能となるように準備する。

【００８１】

40

ここで、超音波センサー１の駆動波形１００においては、第１の電位Ｖ１、最大電位ＶＨ、最小電位ＶＬ、第２の電位Ｖ２及び第３の電位Ｖ３の各電位の中で、最大電位ＶＨが最も高く設定され、最小電位ＶＬが最も低く設定されている。このような設定により、双極子の持つ分極に変化が加わり圧電体層１５の分極方向を揃えることができる。

【００８２】

超音波センサー１の駆動波形１００では、第１の電位Ｖ１と第２の電位Ｖ２は、互いに等しくなるように設定されている。即ち、超音波センサー１の駆動波形１００を用いて駆動させた場合には、第１工程Ｐ１で圧電素子１７の分極を維持し、第２工程Ｐ２で超音波の送信動作を行い、第３工程Ｐ３で圧電素子１７の分極を再度維持し、第４工程Ｐ４で受信動作を行うため、常に圧電素子１７の分極を維持した状態で送受信動作を行うことになる。従って、超音波センサー１の感度のばらつきを抑制することができる。

50

【 0 0 8 3 】

また、超音波センサー 1 の駆動波形 1 0 0 では、第 3 の電位 V_3 は、第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 よりも低くなるように設定され、特に、第 3 の電位 V_3 の下限値は、第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 に対して 4 0 % 以内の電位に設定されることが好ましい。即ち、常に圧電素子 1 7 の分極を維持する中で、電極保持電位（第 1 の電位 V_1 及び第 2 の電位 V_2 ）より低い電位（第 3 の電位 V_3 ）を所定時間保持する工程（第 4 工程 P 4）を設けることで、圧電体層 1 5 の硬度が下がって撓みやすくなる。そして、かかる状態で圧電素子 1 7 に測定対象物からの超音波（反射波）を受信させることにより、圧電体層 1 5 の歪みに対する分極の変化量が大きくなる。その結果、圧電素子 1 7 の起電圧が高くなることにより、受信感度を向上させることができる。

10

【 0 0 8 4 】

更に、超音波センサー 1 の駆動波形 1 0 0 では、各工程における処理後の圧電体層 1 5 の比誘電率 ϵ_r が後述の値となるように、各工程における電位を適宜設定されることが好ましい。即ち、好適な電位設定により、第 1 工程 P 1 及び第 3 工程 P 3 における圧電体層 1 5 の比誘電率を ϵ_{r1} 、第 2 工程 P 2 において最大電位 V_H とした圧電体層 1 5 の比誘電率を ϵ_{r2} 、第 4 工程 P 4 における圧電体層 1 5 の比誘電率を ϵ_{r3} としたとき、 ϵ_{r1} は ϵ_{r2} よりも大きく（ $\epsilon_{r1} > \epsilon_{r2}$ ）、 ϵ_{r3} は ϵ_{r2} と略等しく（ $\epsilon_{r3} \approx \epsilon_{r2}$ ）なる。ここで、「 ϵ_{r3} は ϵ_{r2} と略等しい」とは、 ϵ_{r3} と ϵ_{r2} が等しい場合（ $\epsilon_{r3} = \epsilon_{r2}$ ）の他、 ϵ_{r3} が ϵ_{r2} を超えない程度である場合（ $\epsilon_{r3} < \epsilon_{r2}$ ）も含む。より詳細には、 ϵ_{r3} は、 ϵ_{r2} に対して 9 5 % 以上 1 0 0 % 以下である。

20

【 0 0 8 5 】

（メカニズム）

（I．起電圧を決定する因子）

圧電体膜（薄膜の圧電体層 1 5）に外部応力が印加されて膜が歪むと、膜内に存在する分極量が変わる（双極子の電極間距離が変わる）。分極の変化量に応じて、圧電体表面には電荷が発生し、これを補償する電荷が外部から電極表面に供給される。これが起電圧である。従って、起電圧 ΔV は下記式（1）及び（2）に基づき、下記式（3）のように定まる。なお、下記式（1）～（3）において、 P は分極量、 ϵ_0 は真空の誘電率、 ϵ_r は圧電体の比誘電率、 E は電界強度、 ΔP は分極の変化量、 ΔE は電界強度の変化量、 d は圧電体の膜厚をそれぞれ示す。

30

$$P = \epsilon_0 \epsilon_r E \quad \cdots (1)$$

$$\Delta P = \epsilon_0 \epsilon_r \Delta E \quad \cdots (2)$$

$$\Delta V = \Delta P d / \epsilon_0 \epsilon_r \quad \cdots (3)$$

【 0 0 8 6 】

起電圧の大きさを左右する因子は、分極の変化量 ΔP 、膜厚 d 、及び比誘電率 ϵ_r である。即ち、圧電体の組成と振動板の構成が同一（膜厚 d と比誘電率 ϵ_r が固定）であるとき、起電圧の高低（良し悪し）を左右するのは分極の変化量 ΔP である。

【 0 0 8 7 】

分極の変化量 ΔP は、分極 P の大きさに依存する。従って、バルク圧電体の場合には、圧電体膜を分極処理することで分極を発生させることは必須である。一方、薄膜圧電体（薄膜の圧電体層 1 5）の場合には、薄膜作製時における各処理（加熱等）によって分極が起こり、分極処理を施さなくても分極を有しているが、この所謂自然分極の大きさは極めて小さいので、分極処理は必要である。

40

【 0 0 8 8 】

しかしながら、薄膜圧電体に分極が発生すると、膜は分極の大きさを变化させる外力に対しては抗力を発揮するようになる。即ち、分極量に応じたヤング率の増大が発現する。膜が硬化すると、分極の変化量 ΔP は減少する。従って、起電圧 ΔV を向上させるためには分極の変化量 ΔP を大きくすればよいが、分極量 P が大きければよいという訳ではない。つまり、分極の変化量 ΔP を大きくするためには、分極量 P を程よい大きさに保ち、且つ膜のヤング率を小さくすることが望ましい。

50

【 0 0 8 9 】

(I I . 分極と膜のヤング率の関係)

圧電体膜 (薄膜の圧電体層 1 5) のヤング率は一定ではなく、膜中に発生する分極の大きさによって変化する。ここで、ヤング率とは、膜に印加される応力と膜に発生する歪みの比であるが、分極が生じると分極が変化するときには圧電体表面に電荷が生じる。この発生電荷によって新たに電界が発生するが、この電界は変化した分極を復元する様に働く。即ち、同じ応力に対して膜は歪み難くなり、膜のヤング率は分極が大きい程大きくなる。

【 0 0 9 0 】

本願発明者らは、このことを実験により確かめた。後述の試験例 1 において、詳細に説明する。

10

【 実施例 】

【 0 0 9 1 】

(試験例 1)

試験例 1 では、後述する超音波センサー 1 を用いて実験を行った。図 1 4 は、比誘電率 ϵ_r の電界依存性と圧電定数 d_{33} の電界依存性から、比誘電率の平方根 ($\sqrt{\epsilon_r}$) と圧電定数 d_{33} の関係を求めた図である。ここで、圧電性の指標である圧電定数 d_{33} は、比誘電率 ϵ_r に対し下記式 (4) の関係を持つ。なお、 k_{33} は電気機械結合係数、 Y_{33} はヤング率である。また、下付きの数字は方位を表し、前記 3 3 であれば、圧力と電圧方位が同一方向であることを示す。

20

$$d_{33} = k_{33} [\sqrt{\epsilon_r} / \sqrt{Y_{33}}] \cdots (4)$$

【 0 0 9 2 】

図 1 4 では、グラフの傾きが一定である領域が 3 つ存在する。グラフの傾きは、電気機械結合係数 k_{33} とヤング率 Y_{33} の平方根の比で決まる (式 (4) 参照) が、圧電体層 1 5 のリーク電流は印加電圧 0 V ~ 3 0 V の範囲で一定であるから、電圧印加時の熱損失は変化がないと考えるのが妥当である。従って、電気機械結合係数 k_{33} は一定であると推定される。

【 0 0 9 3 】

このことから、ヤング率 Y_{33} (同時に圧電定数 d_{11} に関係するヤング率 Y_{11} も) は、電界を印加するにつれて小さくなり、薄膜の圧電体層 1 5 (P Z T 膜) が軟化し、比誘電率が最大値を超えると、ヤング率 Y_{33} は大きくなり、逆に P Z T 膜が硬化することが分かる。比誘電率が最大となる電界は、分極の回転が終了する電界である。試験例 1 では、P Z T 膜の膜厚を 1 2 0 0 n m に設定しており、比誘電率が最大となる電圧は 8 V であることが確認できた。

30

【 0 0 9 4 】

次に、下記超音波素子について、実施例 1 及び比較例 1 の各入力パルス (駆動波形) を用いて反射受信電圧をそれぞれ測定した。

【 0 0 9 5 】

(超音波センサーの構造)

基本的な構造は、上述した超音波センサー 1 と同様な構造であり、圧電体層 1 5 は、厚さ 1 2 0 0 n m の P Z T とし、開口部 1 8 は大きさが $33 \mu m \times 66 \mu m$ でアスペクト比 1 : 2 の長方形であり、開口部 1 8 毎に超音波素子 1 0 (圧電素子 1 7) が形成されている。また、超音波センサー 1 は、1 チャンネル 3 6 セグメントであり、全 6 4 チャンネルを有する。

40

【 0 0 9 6 】

(実施例 1)

実施例 1 では、水中において、超音波センサー 1 の 1 チャンネル 3 6 セグメントの超音波素子 1 0 に、図 1 5 に示す入力パルス (駆動波形) 1 0 0 a を入力して超音波を送信し、2 0 m m 先の S U S 板から反射された超音波を受信し、オシロスコープで反射受信電圧を計測した。

50

【 0 0 9 7 】

図 1 5 に示す入力パルス 1 0 0 a は、第 1 の電位 1 0 V によって圧電素子 1 7 の分極を維持する第 1 工程 P 1 と、第 1 工程 P 1 の後、最大電位 2 0 V を 2 回と最小電位 0 V を 1 回付与することによって圧電素子 1 7 に超音波を送信させる第 2 工程 P 2 と、第 2 工程 P 2 の後、第 2 の電位 1 0 V で圧電素子 1 7 を待機させる第 3 工程 P 3 と、第 3 工程 P 3 の後、第 3 の電位 8 V を付与することによって圧電素子 1 7 に超音波を受信させる第 4 工程 P 4 と、第 1 工程 P 1 に続く第 5 工程 P 5 とからなる、モノポーラの波形であり、第 1 の電位 1 0 V、最大電位 2 0 V、最小電位 0 V、最大電位 2 0 V、第 2 の電位 1 0 V、及び第 3 の電位 8 V であり、周波数 7 . 5 M H z の 1 . 5 波の波形を 1 0 k H z 間隔で繰り返す波形である。なお、入力パルス 1 0 0 a における第 3 の電位は、試験例 1 により得られた比誘電率が最大となる電圧 (8 V) を用いた。

【 0 0 9 8 】

(比較例 1)

図 1 6 に示す入力パルス (駆動波形) 1 0 0 b を入力した以外は実施例 1 と同様にして、オシロスコープで反射受信電圧を計測した。

【 0 0 9 9 】

図 1 6 に示す入力パルス 1 0 0 b は、実施例 1 の入力パルス 1 0 0 a における第 4 工程 P 4 を含んでおらず、分極電位 (第 1 の電位 1 0 V) と受信電位が同一であり、第 1 の電位 1 0 V、最大電位 2 0 V、最小電位 0 V、最大電位 2 0 V、及び第 2 の電位 1 0 V であり、周波数 7 . 5 M H z の 1 . 5 波の波形を 1 0 k H z 間隔で繰り返す波形である。

【 0 1 0 0 】

反射波を受信する際の振動板 5 0 の変位量は、実施例 1 及び比較例 1 共に同一 (1 0 0 n m) であった。その変位量から圧電体層 1 5 に振動板 5 0 (圧電体層 1 5 以外) から加わる応力 (即ち圧電素子 1 7 の発生応力) を求めた結果と測定された起電圧を、下記表 1 に示した。

【 0 1 0 1 】

【 表 1 】

	波形	圧電素子 1 7 の発生応力	起電圧
実施例 1	入力パルス 1 0 0 a	4 0 M P a	5 0 m V
比較例 1	入力パルス 1 0 0 b	4 0 M P a	3 0 m V

【 0 1 0 2 】

表 1 に示した通り、実施例 1 及び比較例 1 では、発生応力は同一であるが、電極表面に発生する起電圧は、比較例 1 が 3 0 m V であるのに対して、実施例 1 では 5 0 m V を達成し、相違が認められた。これは、実施例 1 は比較例 1 と比べて受信感度が高いことを示している。

【 0 1 0 3 】

また、実施例 1 では、常に圧電素子 1 7 の分極を維持した状態で送受信動作を行うので、超音波センサー 1 の感度のばらつきを抑制することができる。

【 0 1 0 4 】

(実施例 2)

実施例 2 では、上述の超音波センサー 1 に図 1 5 に示す入力パルス (駆動波形) 1 0 0 a を入力して最大電位を 2 0 V に固定したまま、第 1 の電位を 1 5 V と 1 0 V に可変し、第 3 の電位と起電圧との関係を調べた。

【 0 1 0 5 】

図 1 7 は、実施例 2 の第 3 の電位と起電圧との関係を示した図である。図示するように、第 3 の電位が第 1 の電位より低い領域、特に第 3 の電位が概ね 4 V から 1 0 V 程度の範囲 (図中の範囲 T) で起電圧が高くなる。即ち、かかる範囲 T において、第 3 の電位 = 1 0 V のときより起電圧が向上する。第 1 の電位の電位のみを上げたときの起電圧を向上さ

せる効果は小さいことが分かる。例えば、第 1 の電位 = 第 3 の電位 = 10 V と、第 1 の電位 = 第 3 の電位 = 15 V の起電圧を比べると、30 mV が 35 mV へ増加しているだけである。即ち、分極量を増大させるだけでは起電圧は上昇しない。

【0106】

実施例 2 によれば、少なくとも第 3 の電位の下限値を第 1 の電位の 40 % 以内に設定することで、分極量を増大させ、且つ、起電圧を上昇させることができる。従って、起電圧を上昇させて、超音波センサー 1 の受信感度を向上させることができる。

【0107】

(他の実施形態)

以上説明した各本実施形態では説明は省略したが、例えば、振動板 50 の圧電素子 17 とは反対側が、測定対象物に向けて発信される超音波や測定対象物から反射した超音波 (エコー信号) の通過領域となる構成とすることができる。これによれば、振動板 50 の圧電素子 17 とは反対側の構成を簡素化させ、超音波等の良好な通過領域を確保できる。また、電極や配線等の電氣的領域や各部材の接着固定領域を測定対象物から遠ざけて、これらと測定対象物との間での汚染や漏れ電流を防止しやすくなる。従って、汚染や漏れ電流を特に嫌う医療用の機器、例えば超音波診断装置、血圧計及び眼圧計にも好適に適用できる。

【0108】

更に、上述した各実施形態では省略したが、圧電素子 17 を含む領域を封止する封止板を基板 11 に接合するのが好ましい。これによれば、圧電素子 17 を物理的に保護でき、また超音波センサー 1 の強度も増加するため、構造安定性を高めることができる。更に、圧電素子 17 が薄膜として構成される場合には、その圧電素子 17 を含む超音波センサー 1 のハンドリング性も向上させることができる。

【0109】

また、上述した各実施形態では、開口部 18 は、圧電素子 17 毎に形成した例を示したが、これに限定されず、複数の圧電素子 17 に対応して開口部 18 を形成してもよい。例えば、スキャン方向 (X 方向) に亘って並設される圧電素子 17 の列に共通する開口部 18 を設けてもよく、又は全体に 1 つの開口部 18 としてもよい。なお、このような複数の圧電素子 17 に対して共通する開口部 18 を設けた場合には、圧電素子 17 の振動状態が異なるようになるが、振動板 50 の基板 11 とは反対側から、各圧電素子 17 の間を押さえ込む部材等を設けて、独立した開口部 18 を設けた場合と同様な振動を行うようにしてもよい。

【0110】

本発明の超音波センサーは、種々の圧力センサーとして用いることができる。例えば、プリンター等の液体噴射装置において、インクの圧力を検知するセンサーとしても適用できる。また、本発明の超音波センサーの構成は、超音波モーター、圧電トランス、振動式ダスト除去装置、圧力電気変換機、超音波発信機及び加速度センサー等に好適に応用できる。この種の超音波センサーの構成を利用して得られた完成体、例えば、上記の超音波センサーを搭載したロボット等も、超音波デバイスに含まれる。

【0111】

ここで、上述した超音波センサーを用いた超音波診断装置の一例について説明する。図 18 は超音波診断装置の一例の概略構成を示す斜視図、図 19 は超音波プローブを示す平面図である。

【0112】

図 18 に示すように、超音波診断装置 101 は、装置端末 102 と超音波プローブ (プローブ) 103 とを備える。装置端末 102 と超音波プローブ 103 とはケーブル 104 で接続される。装置端末 102 と超音波プローブ 103 とはケーブル 104 を通じて電気信号をやり取りする。装置端末 102 にはディスプレイパネル (表示装置) 105 が組み込まれる。ディスプレイパネル 105 の画面は、装置端末 102 の表面に露出する。装置端末 102 では、超音波プローブ 103 の超音波センサー 1 (図 19 参照) から送信され

10

20

30

40

50

、検出された超音波に基づき画像が生成される。画像化された検出結果は、ディスプレイパネル 105 の画面に表示される。

【 0 1 1 3 】

図 19 に示すように、超音波プローブ 103 は、筐体 106 を有する。筐体 106 内には、複数の超音波素子 10（図 2 参照）が X 方向及び Y 方向の二次元に配列された超音波センサー 1 が収納される。超音波センサー 1 は、その表面が筐体 106 の表面に露出するように設けられる。超音波センサー 1 は、表面から超音波を出力すると共に、超音波の反射波を受信する。また、超音波プローブ 103 は、プローブ本体 103 a に着脱自在となるプローブヘッド 103 b を備えることができる。このとき、超音波センサー 1 は、プローブヘッド 103 b の筐体 106 内に組み込むことができる。

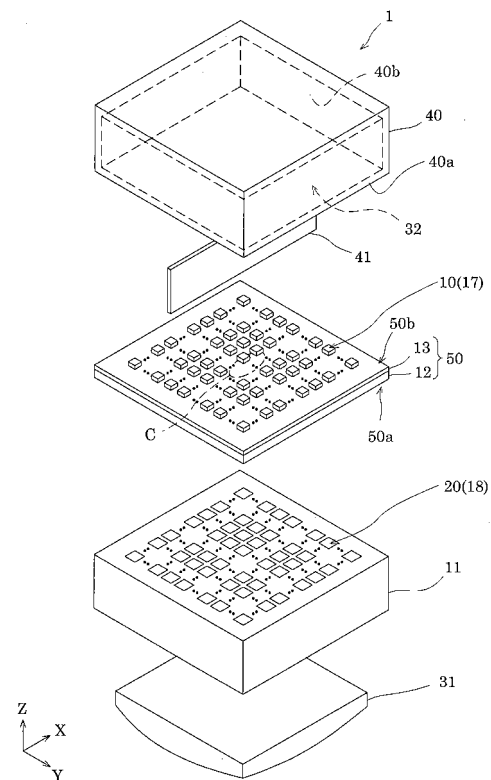
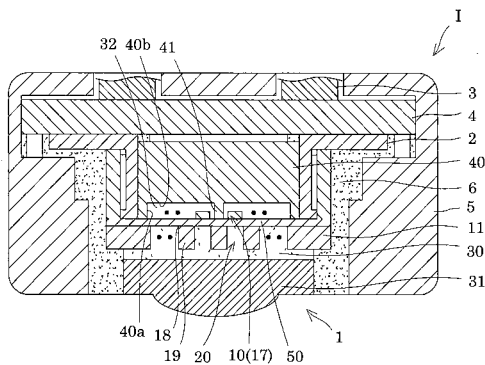
【符号の説明】

【 0 1 1 4 】

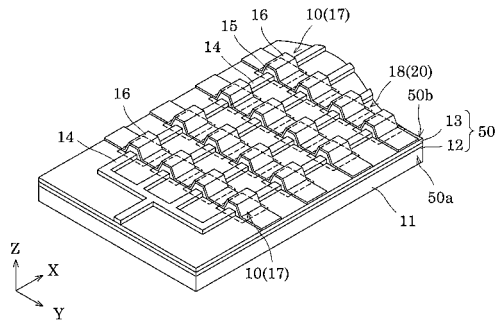
１…超音波プローブ、１…超音波センサー、２…ＦＰＣ基板、３…ケーブル、４…中継
 基板、５、１０６…筐体、６…耐水性樹脂、１０…超音波素子、１１…基板、１２…弾性
 膜、１３…絶縁体膜、１４…第１電極、１５…圧電体層、１６…第２電極、１７…圧電素
 子、１８…開口部、１９…隔壁、２０…空間、３０…音響整合層、３１…レンズ部材、３
 ２…圧電素子保持部、４０…包囲板、４０ａ…包囲板の縁部、４０ｂ…包囲板の圧電素子
 側の面、４１…支持部材、５０…振動板、５０ａ…第１面、５０ｂ…第２面、７１…凹部
 、７４…圧電体膜、１００…超音波センサーの駆動波形、１００ａ、１００ｂ…入力パル
 ス（駆動波形）、１０１…超音波診断装置、１０２…装置端末、１０３…超音波プローブ
 （プローブ）、１０３ａ…プローブ本体、１０３ｂ…プローブヘッド、１０４…ケーブル
 、１０５…ディスプレイパネル（表示装置）、２００…制御装置、２０１…駆動回路、２
 ０２…外部インターフェース（外部Ｉ／Ｆ）、２０３…ＲＡＭ、２０４…ＲＯＭ、２０５
 …制御部、２０６…発振回路、２０７…駆動信号形成回路、２０８…電源生成部、２０９
 …内部インターフェース（内部Ｉ／Ｆ）

【 図 1 】

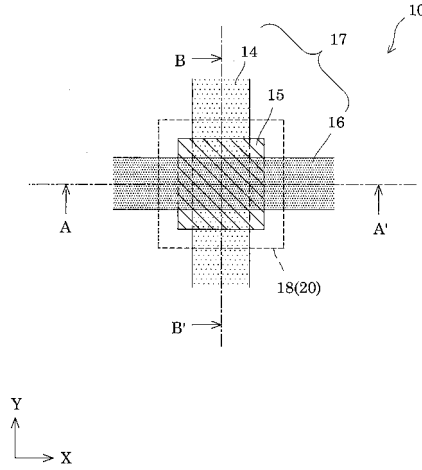
【 図 2 】



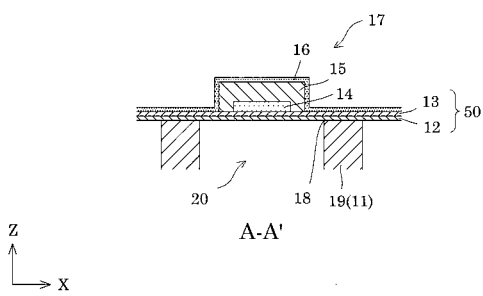
【図 3】



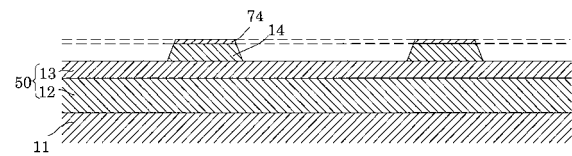
【図 4】



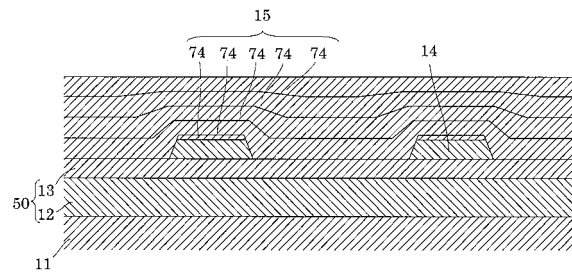
【図 5】



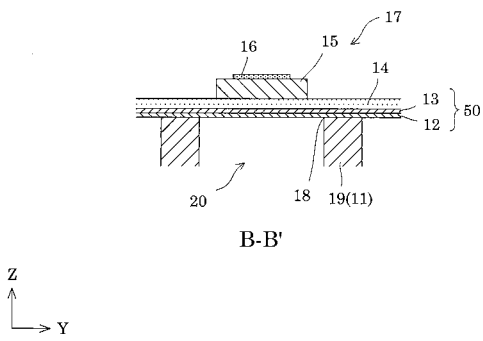
【図 7】



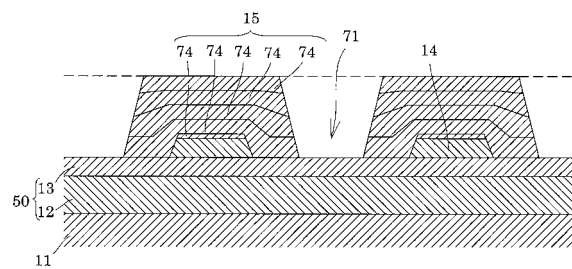
【図 8】



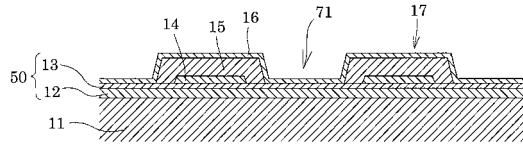
【図 6】



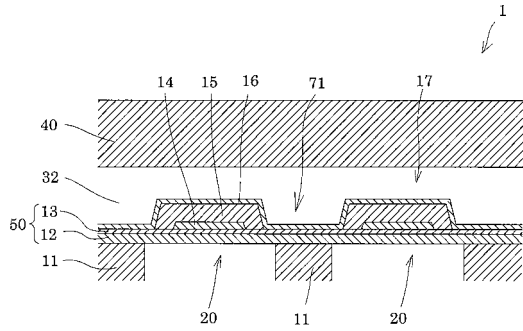
【図 9】



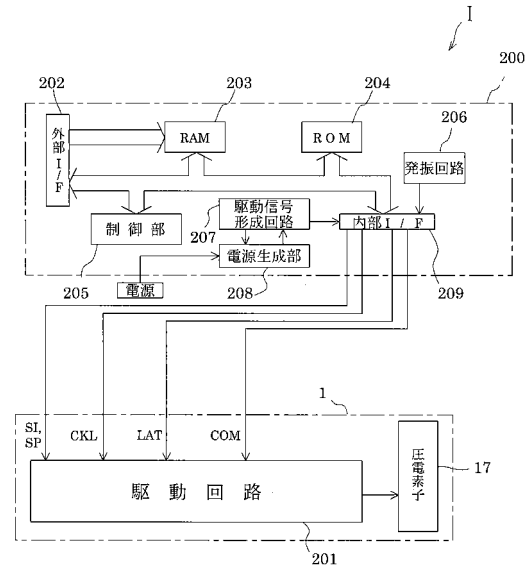
【図 10】



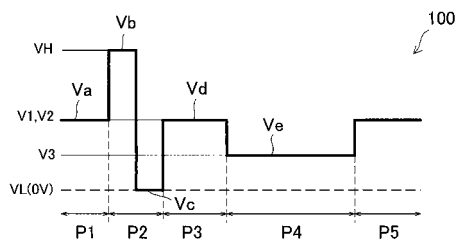
【図 11】



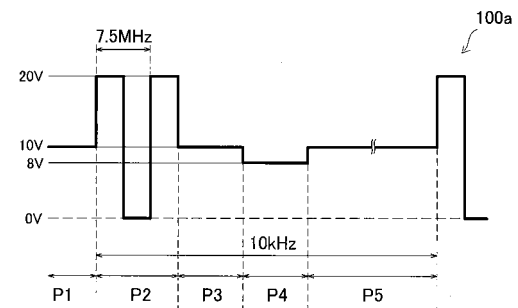
【図 12】



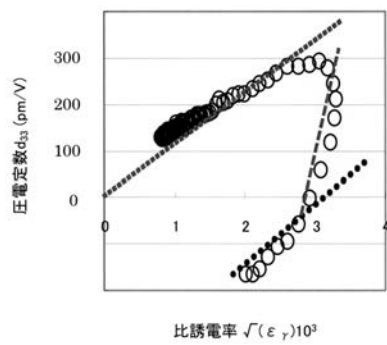
【図 13】



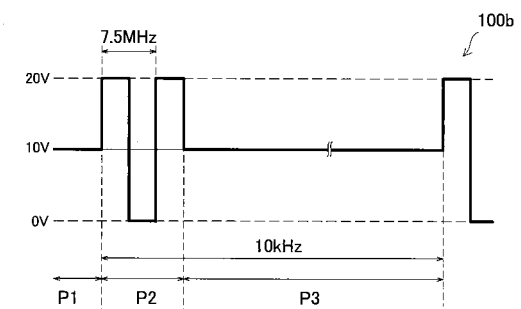
【図 15】



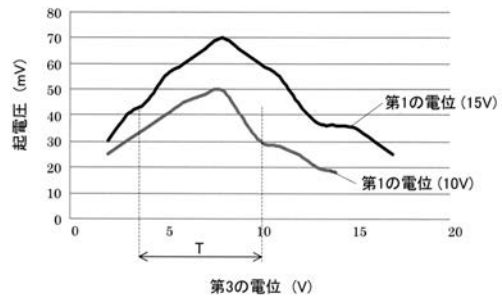
【図 14】



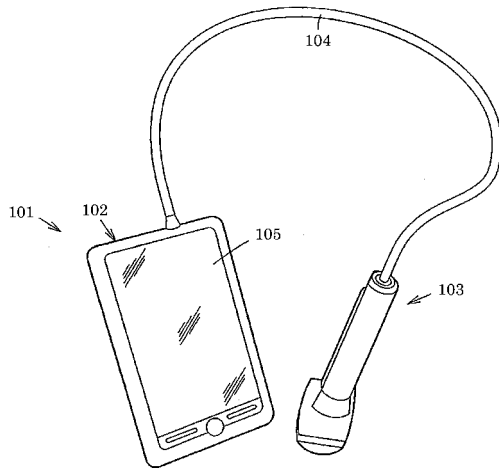
【図 16】



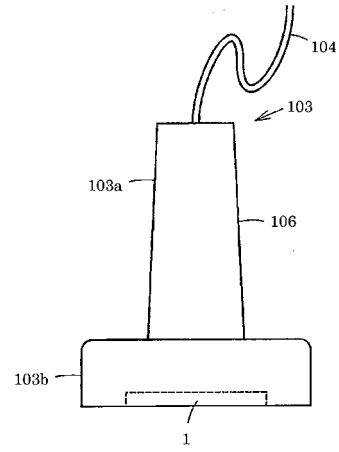
【図 17】



【図 18】



【図 19】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.

H 0 1 L 41/04 (2006.01)

F I

H 0 1 L 41/04

テーマコード (参考)