

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6424507号
(P6424507)

(45) 発行日 平成30年11月21日(2018.11.21)

(24) 登録日 平成30年11月2日(2018.11.2)

(51) Int.Cl.	F I
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00
H 0 4 R 17/00 (2006.01)	H 0 4 R 17/00 3 3 2 Z

請求項の数 11 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2014-153018 (P2014-153018)	(73) 特許権者	000001270
(22) 出願日	平成26年7月28日 (2014. 7. 28)		コニカミノルタ株式会社
(65) 公開番号	特開2016-30019 (P2016-30019A)		東京都千代田区丸の内二丁目7番2号
(43) 公開日	平成28年3月7日 (2016. 3. 7)	(74) 代理人	100105050
審査請求日	平成29年3月22日 (2017. 3. 22)		弁理士 鷲田 公一
		(74) 代理人	100155620
			弁理士 木曾 孝
		(72) 発明者	鈴木 謙次
			東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内
		審査官	宮川 哲伸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサ及び超音波診断装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに異なる共振周波数を有する複数の圧電セルが配列された超音波トランスデューサであって、

前記複数の圧電セルの各々は、

圧電素子と、

前記圧電素子を支持する基板と、を有し、

前記圧電素子は、

圧電薄膜と、

前記圧電薄膜の厚さ方向の一方の面に配設され、前記基板上に接合された第1の電極と、

前記圧電薄膜の厚さ方向の他方の面に配設され、前記第1の電極とで一对となって前記圧電薄膜に電圧を印加する第2の電極と、を有し、

前記圧電セルによって形成されるダイアフラムにおける前記共振周波数と駆動周波数との比である駆動振動数比に対応する位相の特性が前記複数の圧電セル間において略同一となるように、前記ダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルにおけるばね定数、粘性係数、質量のうち少なくとも2つ以上のパラメータには前記複数の圧電セル間において異なる値が設定されている、

超音波トランスデューサ。

【請求項 2】

10

20

前記基板の前記圧電素子に接する面において、前記圧電素子の外周部分に穴が部分的に形成され、

前記複数の圧電セルでは、前記穴の大きさに応じて前記ばね定数がそれぞれ異なる、
請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項 3】

前記基板は、前記圧電素子の厚み方向に向かって前記圧電素子を前記基板へ投影した部分に中空部を有し、

前記複数の圧電セルでは、前記中空部に充填材が封入されるか否か又は前記充填材の材料に応じて、前記粘性係数がそれぞれ異なる、

請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

10

【請求項 4】

前記圧電素子を覆うように形成される絶縁層を、更に有し、

前記複数の圧電セルでは、前記絶縁層の材料に応じて前記粘性係数がそれぞれ異なる、
請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項 5】

前記複数の圧電セルでは、前記第 2 の電極の厚みに応じて前記質量がそれぞれ異なる、
請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項 6】

前記複数の圧電セルでは、前記第 2 の電極の径に応じて前記質量がそれぞれ異なる、
請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

20

【請求項 7】

前記複数の圧電セルでは、前記第 2 の電極の材料に応じて前記質量がそれぞれ異なる、
請求項 1 に記載の超音波トランスデューサ。

【請求項 8】

互いに異なる共振周波数を有する複数の圧電セルが配列された超音波トランスデューサと、

前記超音波トランスデューサを駆動させて、被検体への第 1 の超音波信号を送信する送信部と、

前記超音波トランスデューサを駆動させて、前記第 1 の超音波信号に対する前記被検体からの第 2 の超音波信号を受信する受信部と、

30

前記第 2 の超音波信号を用いて、超音波診断用の画像を生成する画像処理部と、

前記生成された画像を表示する表示部と、

を具備し、

前記複数の圧電セルの各々は、

圧電素子と、

前記圧電素子を支持する基板と、を有し、

前記圧電素子は、

圧電薄膜と、

前記圧電薄膜の厚さ方向の一方の面に配設され、前記基板上に接合された第 1 の電極と、

40

前記圧電薄膜の厚さ方向の他方の面に配設され、前記第 1 の電極とで一对となって前記圧電薄膜に電圧を印加する第 2 の電極と、を有し、

前記圧電セルによって形成されるダイアフラムにおける前記共振周波数と駆動周波数との比である駆動振動数比に対応する位相の特性が前記複数の圧電セル間において略同一となるように、前記ダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルにおけるばね定数、粘性係数、質量のうち少なくとも 2 つ以上のパラメータには前記複数の圧電セル間において異なる値が設定されている、

超音波診断装置。

【請求項 9】

前記超音波トランスデューサの駆動時における前記複数の圧電セルの各々の前記駆動振

50

動数比は同一である、

請求項 8 に記載の超音波診断装置。

【請求項 10】

前記駆動振動数比の値は、1 未満又は 1 より大きい、

請求項 9 に記載の超音波診断装置。

【請求項 11】

前記超音波トランスデューサの駆動時における前記複数の圧電セルの各々の前記駆動振動数比は異なり、

前記複数の圧電セルにおける最大位相と最小位相との差が所定の閾値未満である、

請求項 8 に記載の超音波診断装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波トランスデューサ及び超音波診断装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、超音波診断装置の超音波トランスデューサ（超音波探触子又は超音波プローブと称されることもある）として、半導体微細加工技術（MEMS：Micro Electro Mechanical System）による pMUT（Piezoelectric Micromachined Ultrasound Transducer）の開発が盛んに行われている（例えば、非特許文献 1 を参照）。

20

【0003】

pMUT において用いられる圧電セル（振動子。以下、pMUT セルと称することもある）は、高周波数適性及び高感度性には優れているものの、狭帯域特性が課題とされている。これに対して、例えば、特許文献 1 に開示された超音波トランスデューサでは、各々が狭帯域特性を有する圧電セルであって、互いに異なる共振周波数を有する複数の圧電セルを配列して同時駆動させることにより、全体として広帯域化が実現されている。例えば、特許文献 1 では、各圧電セルの振動膜のばね定数（例えば、振動膜の面積、厚さ、材料など）を異ならせることにより、異なる共振周波数を得ている。

【先行技術文献】

【特許文献】

30

【0004】

【特許文献 1】特開 2014-017565 号公報

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】D.E.Dausch et al., "Piezoelectric Micromachined Ultrasound Transducer (pMUT) Arrays for 3D Imaging Probes," Proceedings of the IEEE Ultrasonics Symposium, vol. 1(2006), pp.930-933

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

40

上述したように、特許文献 1 では、圧電セルの振動膜のばね定数により、各圧電セルでの共振周波数に関する振幅特性を調整している。しかしながら、圧電セルは、振幅特性の他に、位相特性を有する。特許文献 1 のように振幅特性が調整されたとしても、位相特性の異なる複数の圧電セルが同時駆動すると、位相が反転した場合には圧電セル同士の音圧が互いを打ち消し合ってしまう（反結合となる）。この結果、全体の出力音圧が低下するので、超音波トランスデューサの感度が劣化してしまう。

【0007】

本発明の目的は、超音波トランスデューサの感度を劣化させることなく、広帯域特性を得ることができる超音波トランスデューサ及び超音波診断装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

50

【0008】

本発明の一態様に係る超音波トランスデューサは、互いに異なる共振周波数を有する複数の圧電セルが配列された超音波トランスデューサであって、前記複数の圧電セルの各々は、圧電素子と、前記圧電素子を支持する基板と、を有し、前記圧電素子は、圧電薄膜と、前記圧電薄膜の厚さ方向の一方の面に配設され、前記基板上に接合された第1の電極と、前記圧電薄膜の厚さ方向の他方の面に配設され、前記第1の電極とで一对となって前記圧電薄膜に電圧を印加する第2の電極と、を有し、前記圧電セルによって形成されるダイアフラムにおける前記共振周波数と駆動周波数との比である駆動振動数比に対応する位相の特性が前記複数の圧電セル間において略同一となるように、前記ダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルにおけるばね定数、粘性係数、質量のうち少なくとも2つ以上のパラメータには前記複数の圧電セル間において異なる値が設定されている。

10

【0009】

本発明の一態様に係る超音波診断装置は、互いに異なる共振周波数を有する複数の圧電セルが配列された超音波トランスデューサと、前記超音波トランスデューサを駆動させて、被検体への第1の超音波信号を送信する送信部と、前記超音波トランスデューサを駆動させて、前記第1の超音波信号に対する前記被検体からの第2の超音波信号を受信する受信部と、前記第2の超音波信号を用いて、超音波診断用の画像を生成する画像処理部と、前記生成された画像を表示する表示部と、を具備し、前記複数の圧電セルの各々は、圧電素子と、前記圧電素子を支持する基板と、を有し、前記圧電素子は、圧電薄膜と、前記圧電薄膜の厚さ方向の一方の面に配設され、前記基板上に接合された第1の電極と、前記圧電薄膜の厚さ方向の他方の面に配設され、前記第1の電極とで一对となって前記圧電薄膜に電圧を印加する第2の電極と、を有し、前記圧電セルによって形成されるダイアフラムにおける前記共振周波数と駆動周波数との比である駆動振動数比に対応する位相の特性が前記複数の圧電セル間において略同一となるように、前記ダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルにおけるばね定数、粘性係数、質量のうち少なくとも2つ以上のパラメータには前記複数の圧電セル間において異なる値が設定されている。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、超音波トランスデューサの感度を劣化させることなく、広帯域特性を得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本開示に係る超音波診断装置の概観構成を示す図

【図2】本開示に係る超音波診断装置の構成を示すブロック図

【図3】本開示に係る超音波トランスデューサの内部構成を示す図

【図4】本開示に係るpMUTセルの配列の一例を示す図

【図5】本開示に係るpMUTセルの構造を示す図

【図6】本開示に係る κ と位相 β との関係を示す図

【図7】本開示に係るばね定数を調整する場合におけるpMUTセルの構造を示す図

【図8】本開示に係るばね定数を調整する場合におけるpMUTセルの構造の拡大図

40

【図9】本開示に係る粘性係数を調整する場合におけるpMUTセルの構造を示す図

【図10】本開示に係る質量を調整する場合におけるpMUTセルの構造を示す図

【図11】本開示に係る位相特性の調整に用いるパラメータの評価の説明に供する図

【図12】本開示に係る位相特性の調整前後における κ と位相 β との関係を示す図

【図13】本開示に係る各pMUTセルにおける κ を同一にした場合の説明に供する図

【図14】本開示に係る各pMUTセルにおける κ を異ならせた場合の説明に供する図

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本開示の実施の形態に係る超音波トランスデューサ及び超音波診断装置について図面を参照しながら説明する。なお、実施の形態において、同一の構成要素（同一の動作

50

を行うシーケンス)には同一の符号を付し、その説明は重複するので省略する。

【0013】

[超音波診断装置の構成]

図1は、本実施の形態に係る超音波トランスデューサを有する超音波診断装置の概観構成を示す図である。図2は、本実施の形態に係る超音波診断装置の電氣的な構成を示すブロック図である。

【0014】

超音波診断装置1は、超音波診断装置本体10と、超音波トランスデューサ20と、ケーブル30とを有する構成を採る。

【0015】

超音波トランスデューサ20は、被検体である人体(図示せず)に対して超音波信号を送信し、送信した超音波に基づく人体から来た超音波信号を受信する。超音波トランスデューサ20には、互いに異なる共振周波数を有する複数のpMUTセル(後述する)が配列されている。

【0016】

超音波診断装置本体10は、超音波トランスデューサ20とケーブル30を介して接続され、超音波トランスデューサ20へケーブル30を介して電気信号の送信信号を送信することによって超音波トランスデューサ20に対して超音波信号を送信させる。また、超音波診断装置本体10は、超音波トランスデューサ20が受信した超音波信号に基づいて超音波トランスデューサ20において生成された電気信号を用いて、人体の内部状態を超音波画像として画像化する。

【0017】

具体的には、超音波診断装置本体10は、操作入力部11と、送信部12と、受信部13と、画像処理部14と、表示部15と、制御部16と、を含む構成を採る。

【0018】

操作入力部11は、例えば、診断開始などを指示するコマンド又は被検体に関する情報を入力する。操作入力部11は、例えば、複数の入力スイッチを備えた操作パネル又はキーボードなどである。

【0019】

送信部12は、制御部16から受け取る制御信号をケーブル30を介して超音波トランスデューサ20へ送信する。すなわち、送信部12は、超音波トランスデューサ20を駆動させて、被検体への超音波信号を送信する。

【0020】

受信部13は、超音波トランスデューサ20からケーブル30を介して送信される受信信号を受信する。すなわち、受信部13は、超音波トランスデューサ20を駆動させて、送信した超音波信号に対する被検体からの超音波信号を受信する。そして、受信部13は、受信した超音波信号を画像処理部14へ出力する。

【0021】

画像処理部14は、制御部16の指示に従って、受信部13から受け取る超音波信号を用いて被検体内の内部状態を表す超音波診断用の画像(超音波画像)を生成する。

【0022】

表示部15は、制御部16の指示に従って、画像処理部14において生成された超音波画像を表示する。

【0023】

制御部16は、操作入力部11、送信部12、受信部13、画像処理部14、表示部15をそれぞれの機能に応じて制御することによって、超音波診断装置1の全体制御を行う。

【0024】

[超音波トランスデューサの構成]

図3は、本実施の形態に係る超音波トランスデューサ20の基本構成の一例を示す図で

10

20

30

40

50

ある。図 3 に示す超音波トランスデューサ 20 は、保護層 21 と、超音波送受信部 22 と、バックング材 23 と、信号処理回路 24 と、を含む構成を採る。

【0025】

保護層 21 は、例えば、人体に接触させる際に不快感を与えることがないように、超音波送受信部 22 を覆うようにしてシリコンゴムなどから形成される。

【0026】

超音波送受信部 22 は、保護層 21 とバックング材 23 との間に配設され、超音波の送受信を行う。超音波送受信部 22 は、複数の pMUT セル（後述する）を備える。

【0027】

バックング材 23 は、超音波送受信部 22 において発生する不要振動を減衰させる。

10

【0028】

信号処理回路 24 は、ケーブル 30 を介して超音波診断装置本体 10 と接続されており、超音波送信用のパルス信号の生成、又は、受信パルス信号の処理を行う。

【0029】

〔pMUT セルの構成〕

以下、図 3 に示す超音波送受信部 22 が備える pMUT セルの構成について詳細に説明する。

【0030】

超音波送受信部 22 は、基板と、基板上に形成された複数の pMUT セルとを含む構成を採る。例えば、図 4 A 又は図 4 B に示すように、複数の pMUT セル 200 は基板上に配列され、又は、電氣的に並列接続されている。なお、図 4 A は 2ch の 1D アレイの構成例を示し、図 4 B は、2ch × 2ch の 2D アレイの構成例を示す。ただし、複数の pMUT セル 200 の配列は、図 4 A 又は図 4 B に示す配列に限定されるものではない。

20

【0031】

図 5 は、pMUT セル 200 の基本的な構造を示す。図 5 A は pMUT セル 200 の平面図を示し、図 5 B は、図 5 A の A-A' 線断面図を示す。なお、図 5 A 及び図 5 B では、電極配線を省略している。

【0032】

pMUT セル 200 は、圧電素子 202 と、圧電素子 202 を支持する基板 201 とから構成される。

30

【0033】

また、圧電素子 202 は、圧電薄膜（圧電部材）203 と、圧電薄膜 203 の後面（厚さ方向の一方の面）に配設され基板 201 上に接合された下部電極 204 と、圧電薄膜 203 の前面（厚さ方向の他方の面）に配設され、下部電極 204 とで対となって圧電薄膜 203 に電圧を印加する上部電極 205 とから構成される。

【0034】

上部電極 205 及び下部電極 204 の電極材料としては、例えば、プラチナ、金、アルミニウムなどが挙げられる。

【0035】

図 5 B に示す pMUT セル 200 は、基板 201 を支持体とし、圧電素子 202 によって形成されるダイアフラムを太鼓状に振動させて超音波の送受信を行うダイアフラム構造である。

40

【0036】

図 5 C は、図 5 B に示す pMUT セル 200 によって形成されるダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルを示す。図 5 C において、 k はダイアフラム構造における振動のばね定数を示し、 c は粘性係数（減衰係数と称することもある）を示し、 m は集中質量（以下、単に質量と称することもある）を示し、 x は基準位置からの変位（ばねの伸び／縮み）を示し、 F_0 は周期的外力（すなわち、駆動信号の強度）を示す。

【0037】

図 5 C に示すダイアフラム構造（振動モデル）には、次式に示す関係が成立する。

50

【数 1】

$$kx + c \frac{dx}{dt} + m \frac{d^2x}{dt^2} = F_0 \sin \varpi t \quad (1)$$

【0038】

式(1)において ω はpMUTセル200の駆動振動数(つまり駆動周波数に対応)を示す。また、図5Cに示すダイヤフラム構造における変位速度応答 v (出力音圧に比例)は、次式で表される。

【数 2】

$$v = x_0 \varpi \cos(\varpi t + \beta) \quad (2)$$

10

【0039】

式(2)において、 x_0 は最大変位を示し、外力 F_0 とバネ定数 k の比で求まり、 t は時間を示す。また、 β は位相角を示し、次式で表される。

【数 3】

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{-2\kappa}{1-\kappa^2} \right) \zeta \quad (3)$$

【0040】

式(3)に示される κ (駆動振動数比)及び ζ (粘性係数比)は次式(4)、(5)でそれぞれ表される。

20

【数 4】

$$\kappa = \frac{\varpi}{\varpi_0} \quad (4)$$

【数 5】

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (5)$$

【0041】

式(4)、(5)において、 ω_0 は固有振動数(つまり共振周波数に対応)を示し、 c_c は臨界粘性係数(臨界減衰係数と称することもある)を示す。式(3)より、 $\kappa=1$ の場合($\omega=\omega_0$ 、つまり、共振周波数にて駆動時)、変位速度 v (出力音圧)が最大となることが分かる。

30

【0042】

また、上述した、 k 、 m 、 c_c は、次の関係がそれぞれ成立する。なお、 ρ は電極の材料密度を示し、 t は電極の厚みを示し、 A は電極の面積を示す。

【数 6】

$$\begin{aligned} k &= m \varpi_0^2 \\ m &= \rho t A \\ c_c &= 2\sqrt{mk} \end{aligned} \quad (6)$$

40

【0043】

ここで、図6は、変数 ζ が異なる場合における、変数 κ と位相角 β との関係(位相特性)を示す。図6に示すように、 $\kappa=1$ ($\omega=\omega_0$)では、 ζ が何れの値であっても位相 β が一致することが分かる。ただし、 κ が1以外の場合、すなわち、 $\kappa<1$ ($\omega<\omega_0$)又は $\kappa>1$ ($\omega>\omega_0$)の場合には、 ζ の値によって位相 β が異なる。特に、 $\kappa=1$ 付近での位相 β の変動は、 $\kappa=0$ 又は2付近(つまり、 $\kappa=1$ から十分離れた値)での位相 β の変動と比較して急であることが分かる。

50

【0044】

このように、超音波送受信部22に含まれる複数のpMUTセル200の各々のダイアフラム構造において、 ζ の値が異なる場合には、各pMUTセル200における位相特性が異なってしまう。上述したように、複数のpMUTセル200での位相特性が異なると、pMUTセル200同士の音圧が互いを打ち消し合ってしまう、超音波トランスデューサ20の感度が劣化してしまう。

【0045】

そこで、本実施の形態では、pMUTセル200のダイアフラム構造を調整することによって、複数のpMUTセルにおける位相特性を同程度に揃える。ここでは、式(5)に示す ζ の関係式に着目する。

10

【0046】

式(6)に示すように、臨界粘性係数 c_c は、ばね定数 k 及び質量 m によって表される。すなわち、式(5)に示す ζ は、ばね定数 k 、粘性係数 c 、及び、質量 m によって決定される。換言すると、 ζ は、ばね定数 k 、粘性係数 c 、又は、質量 m を変化させることによって調整可能である。

【0047】

ここで、ばね定数 k は、pMUTセル200のダイアフラムの支持体(つまり、基板201)の構造に応じて変化する。また、粘性係数 c は、pMUTセル200のダイアフラム全面又は背面の摩擦、粘性に応じて変化する。また、質量 m は、pMUTセル200の上部電極205の構成(面積、厚み、又は密度)に応じて変化する。

20

【0048】

本実施の形態では、例えば、上述したばね定数 k 、粘性係数 c 、及び質量 m のうち少なくとも2つのパラメータを変化させて位相特性(β)を調整することにより、各pMUTセル200の位相特性(つまり、 ζ)を同程度に揃える。つまり、本実施の形態では、図5Cに示すpMUTセル200によって形成されるダイアフラムにおける κ と位相 β との関係(位相特性)が複数のpMUTセル200間において略同一となるように、ダイアフラムの構造を表す等価単減衰振動モデルにおけるばね定数 k 、粘性係数 c 、質量 m のうち少なくとも2つ以上のパラメータには複数のpMUTセル200間において異なる値が設定されている。

【0049】

以下、ばね定数 k 、粘性係数 c 、及び質量 m の各々における位相特性の調整方法について詳細に説明する。

30

【0050】

[ばね定数 k]

図7は、本実施の形態に係るばね定数 k を調整する場合のpMUTセル200の構造を示す。図7AはpMUTセル200の平面図を示し、図7Bは、図7AのB-B'線断面図を示す。なお、図7A及び図7Bでは、電極配線を省略している。

【0051】

図7Aに示すように、pMUTセル200の基板201aの圧電素子202に接する面には、圧電素子202の外周部分に部分的に穴が形成される。このように、複数のpMUTセル200毎にダイアフラムの支持構造を変化させて、断面二次モーメントを変えることにより、バネ係数 k が調整される。図7A及び図7Bに示すように、基板201aに形成される穴を調整することにより、圧電素子202の径(ダイアフラム径と称することもある)を変えることなくばね係数 k が調整され、結果として、粘性係数比 ζ が調整される。すなわち、複数のpMUTセル200では、図7A及び図7Bに示す穴の大きさに応じてばね定数がそれぞれ異なる。

40

【0052】

図8Aは、穴の大きさに応じたばね係数 k の変化の説明に供する図である。具体的には、図8Aは、図7Aに示す領域Cにおける基板201aを拡大した斜視図である。図8Aに示すように、長さ L は、圧電素子202の外周部に形成される穴の径方向の長さに相当

50

し、Lが大きいほど穴の径方向の長さが長くなる。また、幅bは、形成される穴の円周方向の長さに対応し、bが大きいほど穴の円周方向の長さが短くなる。また、厚みhは、穴が形成される円周部における基板201aの厚みに相当する。つまり、図8Aに示すL、b、hの長さを調整することにより、穴の大きさが調整される。

【0053】

このように、図8A及び図8Bに示すpMUTセル200では、ダイヤフラムの支持体の形状を変化させることにより、ばね定数kが調整される。

【0054】

ここで、式(6)に示す臨界粘性係数 c_c は、変数L、b、hを用いると次式のように表される。

【数7】

$$c_c = 2\sqrt{mk} = 2\sqrt{\frac{mEbh^3}{4L^3}} \quad (7)$$

【0055】

式(7)において、mは質量を示し、Eはヤング率を示す。よって、ばね定数kは、変数L、b、hを用いて次式で表される。

【数8】

$$k = \frac{Ebh^3}{4L^3} \quad (8)$$

【0056】

そして、変数b、h、Lの各々を変化させてダイヤフラム支持構造を調整した場合における ζ の変化量は次式(9)－(11)でそれぞれ表される。

【数9】

$$\frac{\partial \zeta}{\partial b} = \frac{\partial \zeta}{\partial c_c} \frac{\partial c_c}{\partial b} = -\frac{c}{4c_c^2} \sqrt{\frac{mEh^3}{bL^3}} < 0 \quad (9)$$

【数10】

$$\frac{\partial \zeta}{\partial h} = \frac{\partial \zeta}{\partial c_c} \frac{\partial c_c}{\partial h} = -\frac{3c}{2c_c^2} \sqrt{\frac{mEbh}{L^3}} < 0 \quad (10)$$

【数11】

$$\frac{\partial \zeta}{\partial L} = \frac{\partial \zeta}{\partial c_c} \frac{\partial c_c}{\partial L} = \frac{3c}{2c_c^2} \sqrt{\frac{mEbh^3}{L^5}} > 0 \quad (11)$$

【0057】

式(9)－(11)より、図8Bに示すように、幅bの増加は ζ の負方向への変化に寄与し、厚みhの増加は ζ の負方向への変化に寄与し、長さLの増加は、 ζ の正方向への変化に寄与する。

【0058】

このようにして、複数のpMUTセル200毎にダイヤフラム支持構造を調整することにより、各pMUTセル200の位相特性(ζ)をpMUTセル200間において同程度に揃えることができる。

【0059】

[粘性係数c]

10

20

30

40

50

図 9 A 及び図 9 B は、本実施の形態に係る粘性係数 c を調整する場合の p M U T セル 2 0 0 の構造を示す。なお、図 9 A 及び図 9 B では、電極配線を省略している。

【0060】

図 9 A に示す p M U T セル 2 0 0 の基板 2 0 1 は、圧電素子 2 0 2 の厚み方向に向かって圧電素子 2 0 2 を基板 2 0 1 へ投影した部分（つまり、ダイアフラムの背面側）に中空部（内部空間）を有する。本実施の形態では、ダイアフラムの背面側である基板 2 0 1 の内部空間に、流体又は樹脂などの充填材 2 0 6 が封入される。充填材 2 0 6 としては、例えば、可撓性エポキシ樹脂、シリコンオイル類、フルオロエーテル類、フルオロカーボン類、純水などが挙げられる。

【0061】

一方、図 9 B に示す p M U T セル 2 0 0 では、ダイヤフラムの前面側に、圧電素子 2 0 2 を覆うようにして、樹脂材 2 0 7 から成る絶縁層が形成される。樹脂材 2 0 7 としては、例えば、可撓性エポキシ樹脂などが挙げられる。

【0062】

すなわち、図 9 A 及び図 9 B に示す p M U T セル 2 0 0 では、ダイヤフラムの前面又は背面に絶縁層の形成又は充填材 2 0 6 の封入により、粘性係数 c が調整される。すなわち、図 9 A に示す複数の p M U T セル 2 0 0 では、基板 2 0 1 の内部空間に充填材 2 0 6 が封入されるか否か又は充填材 2 0 6 の材料に応じて、粘性係数 c がそれぞれ異なる。また、図 9 B に示す複数の p M U T セル 2 0 0 では、絶縁層の材料（樹脂材 2 0 7）に応じて粘性係数 c がそれぞれ異なる。

【0063】

ここで、式（5）（式（7））において粘性係数 c を変化させた場合における ζ の変化量は次式で表される。

【数 1 2】

$$\frac{\partial \zeta}{\partial c} = \frac{1}{c_c} > 0 \quad (12)$$

【0064】

式（12）より、図 9 C に示すように、充填材 2 0 6 又樹脂材 2 0 7 による粘性係数 c の増加は ζ の正方向への変化に寄与する。なお、充填材 2 0 6 又樹脂材 2 0 7 の種別によって粘性係数 c の増加度合いは異なる。

【0065】

このようにして、複数の p M U T セル 2 0 0 毎に充填材 2 0 6 又樹脂材 2 0 7 の有り／無、及び、種別を調整することにより、各 p M U T セル 2 0 0 の位相特性（ ζ ）を同程度に揃えることができる。

【0066】

[質量 m]

図 1 0 A 及び図 1 0 B は、本実施の形態に係る質量 m を調整する場合の p M U T セル 2 0 0 の構造を示す。なお、図 1 0 A 及び図 1 0 B では、電極配線を省略している。

【0067】

式（6）に示すように、質量 m は、電極材料の密度 ρ 、厚み t 、面積 A によって表される。そこで、本実施の形態では、電極材料の密度 ρ 、厚み t 、面積 A を変化させて、複数の p M U T セル 2 0 0 間での質量 m を調整する。

【0068】

例えば、図 1 0 A に示す p M U T セル 2 0 0 では、例えば、図 5 B に示す上部電極 2 0 5 と比較して、上部電極 2 0 5 a の厚みが大きくなっている。

【0069】

また、図 1 0 B に示す p M U T セル 2 0 0 では、例えば、図 5 B に示す上部電極 2 0 5 と比較して、上部電極 2 0 5 b の径が短くなっている。つまり、図 1 0 B では、図 5 B と比較して、上部電極 2 0 5 b の面積が小さくなっている。

【0070】

また、上部電極205の電極材料の種別によって電極材料の密度は異なる。

【0071】

このように、pMUTセル200では、圧電素子202の上部電極のサイズ又は材料を変化させることにより、質量 m が調整される。すなわち、複数のpMUTセル200では、圧電素子202の上部電極の電極材料の密度 ρ （図示せず）、厚み t （図10A参照）又は面積 A （図10B参照）に応じて質量 m がそれぞれ異なる。

【0072】

ここで、式（5）（式（7））において質量 m を変化させた場合における ζ の変化量は次式で表される。

10

【数13】

$$\frac{\partial \zeta}{\partial m} = \frac{\partial \zeta}{\partial c_c} \frac{\partial c_c}{\partial m} = -\frac{c}{c_c^2} \sqrt{\frac{k}{m}} < 0 \quad (13)$$

【0073】

式（13）より、図10Cに示すように、圧電素子202の上部電極による質量 m の増加は ζ の正方向への変化に寄与する。

【0074】

このようにして、複数のpMUTセル200毎に圧電素子202の上部電極205の形状又は種別を調整することにより、各pMUTセル200の位相特性（ ζ ）を同程度に揃えることができる。

20

【0075】

以上、ばね定数 k 、粘性係数 c 、及び質量 m の各々における位相特性の調整方法について説明した。

【0076】

例えば、pMUTセル200の製造時に、ばね定数 k 、粘性係数 c 、及び質量 m のうち少なくとも2つのパラメータを調整することにより、複数のpMUTセル200の位相特性を同程度に揃えればよい。例えば、ばね定数 k 、粘性係数 c 、及び質量 m のうち何れか2つを調整してもよく、すべてのパラメータを調整してもよい。

30

【0077】

図11は、一例として、位相特性の調整に際して、所定の評価基準における各パラメータの評価を示す。ただし、位相特性の調整において用いるパラメータの決定方法は図11に示すものに限定されるものではない。

【0078】

例えば、図11では、ばね定数 k を決定するパラメータとして、図8に示す長さ L 、厚み h 、幅 b を用いて、質量 m を決定するパラメータとして、上部電極205の面積 A 、厚み t 、電極材料密度 ρ を用いる場合について説明する。また、図11では、各パラメータの評価基準として、（1）pMUTセル200の構造（形状、厚みなど）を調整する際の精度管理の容易性、（2）製造時におけるフォトリソグラフィプロセス数に影響する、圧電素子202の厚み方向の構造の少なさ、（3）pMUTセル200を構成する構成材料の少なさ、について考慮している。

40

【0079】

図11では、評価基準に対する各パラメータの評価を「○（優れている）」と「×（劣っている）」とで決定し、総合点（「○」の数）が決定される。そして、総合点の最も高いパラメータを複数のpMUTセル200において異なるように調整することにより、各pMUTセル200での位相特性を同程度に揃えればよい。例えば、図11では、長さ L 及び幅 b によってばね定数 k が調整され、上部電極205の面積 A によって質量 m が調整されることにより、pMUTセル200での位相特性を同程度に揃える。これにより、製造プロセスが複雑になることを防ぎ、製造されるpMUTセル200の品質の劣化を防ぎ

50

つつ、複数の pMUTセル 200 の位相特性を同程度に揃えることが可能となる。

【0080】

このようにして、pMUTセル 200 の各々において複数のパラメータ（ばね定数 k 、粘性係数 c 、又は、質量 m ）を用いることにより、例えば、1つのパラメータのみを用いる場合と比較して、位相特性（ ζ の値）の調整精度をより向上させることが可能となる。

【0081】

図 12 は、調整前と調整後における各 pMUTセル 200（図 12 ではセル 1～3）での位相特性の一例を示す。図 12 に示すように調整前にはセル 1～3 の位相特性がそれぞれ異なっていたのに対して、調整後にはセル 1～3 の位相特性がほぼ一致している。

【0082】

この際、超音波トランスデューサ 20 の駆動時における複数の pMUTセル 200 の各々の κ （駆動振動比）を同一にすればよい。例えば、図 12 において、各 pMUTセル 200（セル 1～3）は、 κ の値が同一になるような駆動周波数によって駆動されればよい。こうすることで、各 pMUTセル 200 での位相はほぼ同一となる。

【0083】

例えば、図 13 A のように、pMUTセル 200 であるセル 1～3 の共振周波数（ f_{r1} 、 f_{r2} 、 f_{r3} ）がそれぞれ異なる 8 MHz、10 MHz、12 MHz である場合について説明する。また、図 13 B に示すようにセル 1～3 の位相特性が同程度に調整されているものとする。また、ここでは、図 13 B に示すように、セル 1～3 が $\kappa = 0.8$ の同一の値で駆動される。この場合、図 13 A に示すように、セル 1～3 は、それぞれ 6.4 MHz、8 MHz、9.6 MHz の駆動周波数によって駆動することになる。

【0084】

つまり、図 13 B に示すように、異なる共振周波数を有する pMUTセル 200 に対して、同一の位相特性かつ同一の κ の値を用いることにより、同一の位相 β が得られる。つまり、複数の pMUTセル 200 において共振周波数（つまり、 ω_0 ）が異なる場合でも、同程度の位相特性において κ （式（4）を参照）が同一となるような駆動周波数（つまり、 ω ）で各 pMUTセル 200 を同時駆動させることにより、複数の pMUTセル 200 における位相特性（位相 β ）を揃えることができる。

【0085】

よって、本実施の形態によれば、複数の pMUTセル 200 が同時駆動しても、互いの位相が反転して各 pMUTセル 200 での出力音圧が互いを打ち消し合うことが無いので、超音波送受信部 22 全体の出力音圧の低下を防ぐことができる。すなわち、超音波トランスデューサ 20 の感度の劣化を防ぐことができる。

【0086】

なお、本実施の形態では、図 13 B に示すように、各 pMUTセル 200 が $\kappa = 0.8$ を用いる場合について説明した。しかし、各 pMUTセル 200 が用いる κ の値は 0.8 に限らず、例えば、 $\kappa > 1$ の値でもよい。

【0087】

一般に、 κ と位相 β との間の特性（例えば、図 6 を参照）において、 $\kappa = 1$ （ $\omega = \omega_0$ ）では ζ の値によらず位相 β は一定の値を採るものの、 $\kappa = 1$ 付近での位相 β の変動は急である。つまり、 $\kappa = 1$ 付近では、 κ の値の変動に対する位相 β の変動量は大きい。一方、図 6 に示すように、 κ がより小さいほど（ $\omega < \omega_0$ ）、又は、 κ が大きいほど（ $\omega > \omega_0$ ）、 κ の値の変動に対する位相 β の変動量はより小さくなる。

【0088】

また、pMUTセル 200 の構成を調整したとしても、例えば、製造プロセスでの誤差などに起因して、各 pMUTセル 200 の位相特性が完全には揃わないことも想定される。この場合、各 pMUTセル 200 において $\kappa = 1$ 付近の値を用いたのでは、各 pMUTセル 200 の位相 β が異なってしまい、出力音圧が互いを打ち消し合うことを回避できなくなってしまう。そこで、本実施の形態では、各 pMUTセル 200 において用いる κ の値として、 $\kappa = 1$ よりも十分に小さい値（例えば、図 6 では $\kappa = 0$ 付近）、又は、 $\kappa = 1$

10

20

30

40

50

よりも十分に大きい値（例えば、図6では $\kappa = 2$ 付近）を用いてもよい。こうすることで、各pMUTセル200の位相 β の調整精度をより向上させることができる。これにより、各pMUTセル200での ζ を調整して位相特性を揃えた結果にずれが生じる場合であっても、当該ずれに起因して各pMUTセル200の位相差が大きくなることを抑えることができる。

【0089】

また、本実施の形態では、図13Bに示すように、各pMUTセル200が κ として同一の値を用いる場合について説明した。しかし、各pMUTセル200が用いる κ の値は異なってもよい。例えば、図14Aのように、pMUTセル200であるセル1～3の共振周波数（ f_{r1} 、 f_{r2} 、 f_{r3} ）がそれぞれ異なる8MHz、10MHz、12MHzである場合について説明する。ここでは、図14Bに示すように、各pMUTセル200（セル1～3）での位相 β の差（最大値と最小値との差）が所定の閾値（例えば20度）未満となるように、各pMUTセル200において用いられる κ の値が決定されてもよい。例えば、図14Bでは、セル1～3は $\kappa = 0.625$ 、 0.5 、 0.416 でそれぞれ駆動される。この場合、図13Aに示すように、セル1～3の各々は5MHzの駆動周波数によって駆動することになる。こうすることで、例えば、各pMUTセル200での ζ を調整して位相特性を揃えた結果にずれが生じる場合であっても、当該ずれに起因する、各pMUTセル200の位相差が大きくなることを抑えることが可能となる。

【0090】

また、上述したように、 κ の値として、 $\kappa = 1$ よりも十分に小さい値（例えば、図6では $\kappa = 0$ 付近）、又は、 $\kappa = 1$ よりも十分に大きい値（例えば、図6では $\kappa = 2$ 付近）では、位相 β の変動量は小さい（つまり、位相差は小さいので）。そこで、図13Bに示す $\kappa = 0.8$ の代わりに、 $\kappa = 0$ 付近の値又は $\kappa = 2$ 付近の異なる値が各pMUTセル200に対して使用されてもよい。こうすることで、各pMUTセル200における位相差が大きくなることを抑えつつ、駆動周波数（ ω ）を柔軟に設定することができる。

【0091】

なお、上記では、各pMUTセル200に対する κ の設定例について説明したが、上記 κ の設定例については、所定数のpMUTセル200によって構成されるセルグループ毎に適用してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0092】

本開示は、複数のpMUTを備えた超音波トランスデューサに対して有用である。

【符号の説明】

【0093】

1 超音波診断装置

10 超音波診断装置本体

11 操作入力部

12 送信部

13 受信部

14 画像処理部

15 表示部

16 制御部

20 超音波トランスデューサ

21 保護層

22 超音波送受信部

23 バッキング材

24 信号処理回路

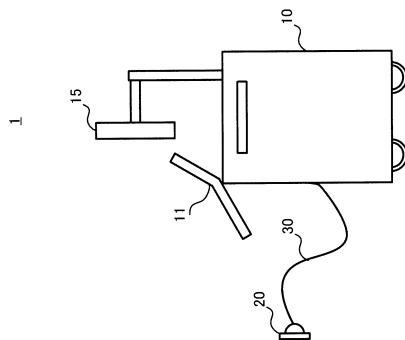
30 ケーブル

200 pMUTセル

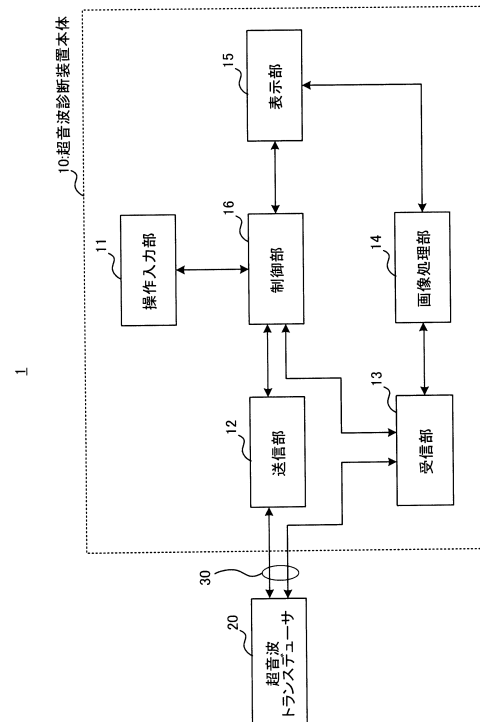
201, 201a 基板

- 202 圧電素子
 203 圧電薄膜
 204 下部電極
 205, 205a, 205b 上部電極
 206 充填材
 207 樹脂材

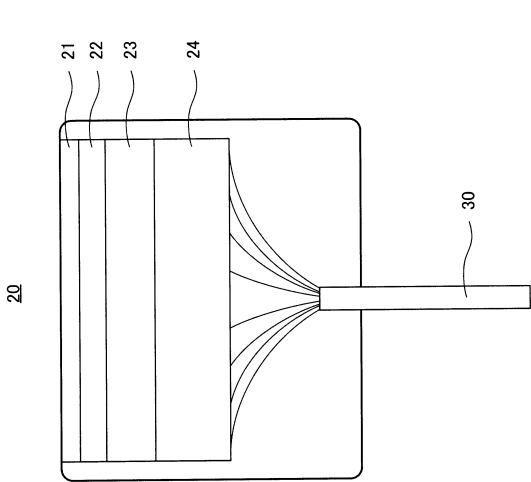
【図1】



【図2】



【図 3】



【図 4】

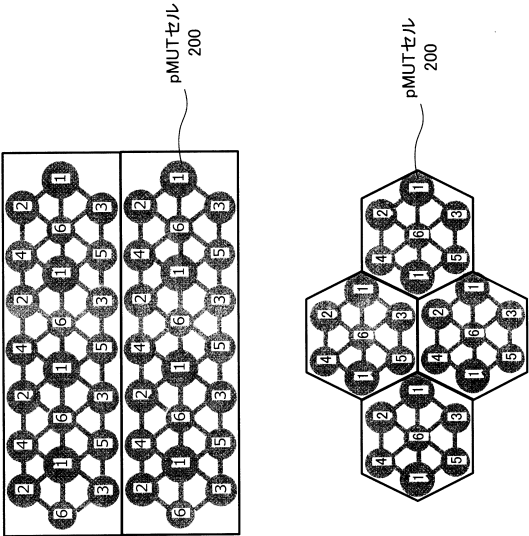


図4A

図4B

【図 5】

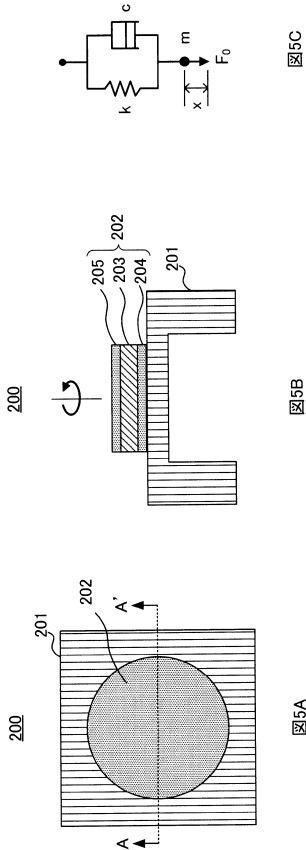
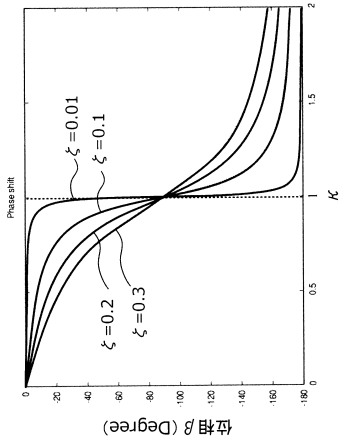


図5B

図5C

【図 6】



【図 1 1】

調整対象	パラメータ	精度管理の容易性 (形状、厚み等の 構造による調整)	厚み方向の 構造の少なさ (フォトマスク数、 リソグラフィプロセスの低減)	構成材料の 少なさ	総合点 (優先=3)
ばね定数 k	長さ L	○	○	○	3
	厚み h	○	×	○	2
	幅 b	○	○	○	3
粘性係数 c	—	×	○	—	1
質量 m	ダイアフラム 支持構造	○	○	○	3
	ダイアフラム 前面/背面での 液体・樹脂の形成	×	○	—	1
	上部電極205	○	○	○	3
電極材料密度 ρ	面積 A	○	○	○	2
	厚み t	○	×	○	2
	電極材料密度 ρ	○	×	×	1

【図 1 3】

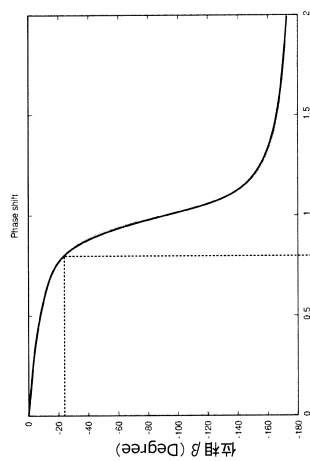


図13B

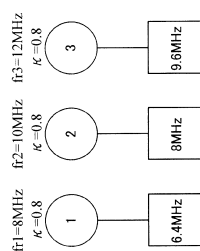
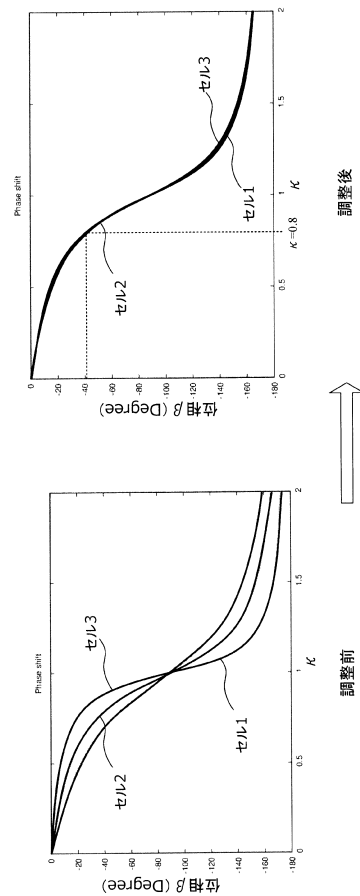


図13A

【図 1 2】



【図 1 4】

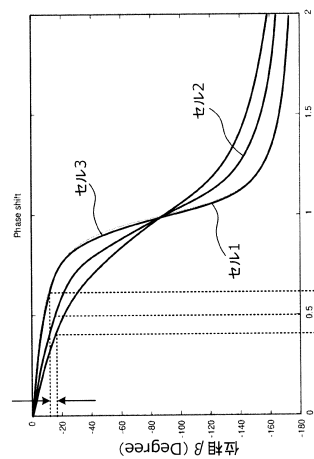


図14B

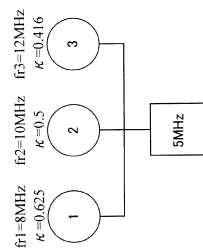


図14A

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2013-243513 (JP, A)
米国特許出願公開第2014/0117812 (US, A1)
特開2007-251505 (JP, A)
特開2011-015423 (JP, A)
米国特許出願公開第2014/0180117 (US, A1)
特開2008-118168 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00 - 8/15
H04R 1/00 - 31/00

专利名称(译)	超声换能器和超声诊断设备		
公开(公告)号	JP6424507B2	公开(公告)日	2018-11-21
申请号	JP2014153018	申请日	2014-07-28
[标]申请(专利权)人(译)	柯尼卡株式会社		
申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
当前申请(专利权)人(译)	柯尼卡美能达有限公司		
[标]发明人	鈴木 謙次		
发明人	鈴木 謙次		
IPC分类号	A61B8/00 H04R17/00		
CPC分类号	A61B8/5207 A61B8/145 A61B8/4494 A61B8/461 B06B1/0622 H01L27/20 H01L41/0973		
FI分类号	A61B8/00 H04R17/00.332.Z G01N29/06 G01N29/24 G01N29/24.502 G01N29/26		
F-TERM分类号	2G047/AA12 2G047/AC13 2G047/CA01 2G047/EA05 2G047/EA07 2G047/GB02 2G047/GB32 4C601/EE03 4C601/EE04 4C601/GB06 4C601/GB41 5D019/AA09 5D019/BB09 5D019/BB17 5D019/BB21 5D019/FF04		
代理人(译)	木曾隆		
其他公开文献	JP2016030019A		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

(经修改) 要解决的问题：提供一种能够在不降低超声换能器灵敏度的情况下获得宽带特性的装置。压电元件包括压电薄膜，第一电极设置在压电薄膜的厚度方向的一个表面上，并且粘合到基板上，压电薄膜203的厚度并且第二电极205设置在压电薄膜200的方向上的另一个表面上，并且与第一电极204成对地向压电薄膜203施加电压。由压电单元200形成的隔膜中的驱动频率比与相位之间的关系所以它们成为在所述多个压电单元200之间基本上是相同的，表示膜片，粘性系数的结构等效的单阻尼振荡模型的弹簧常数，在所述多个压电单元200之间的质量的至少两个或更多个参数设置不同的值。

(19) 日本国特許庁(JP)	(12) 特 許 公 報(B2)	(11) 特許番号 特許第6424507号 (P6424507)
(45) 発行日 平成30年11月21日(2018.11.21)	(24) 登録日 平成30年11月2日(2018.11.2)	
(51) Int. Cl. A 6 1 B 8 / 0 0 (2 0 0 6 . 0 1) H 0 4 R 1 7 / 0 0 (2 0 0 6 . 0 1)	F I A 6 1 B 8 / 0 0 H 0 4 R 1 7 / 0 0 3 3 2 Z	
請求項の数 11 (全 18 頁)		
(21) 出願番号 特願2014-153018 (P2014-153018) (22) 出願日 平成26年7月28日(2014.7.28) (65) 公開番号 特開2016-30019 (P2016-30019A) (43) 公開日 平成28年3月7日(2016.3.7) 審査請求日 平成29年3月22日(2017.3.22)	(73) 特許権者 000001270 コニカミノルタ株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 (74) 代理人 100105050 弁理士 巖田 公一 (74) 代理人 100155620 弁理士 木曾 孝 (72) 発明者 鈴木 謙次 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカミノルタ株式会社内 審査官 宮川 晋伸	
最終頁に続く		
(54) 【発明の名称】 超音波トランスデューサ及び超音波診断装置		