

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6665667号  
(P6665667)

(45) 発行日 令和2年3月13日(2020.3.13)

(24) 登録日 令和2年2月25日(2020.2.25)

(51) Int.Cl.	F I	
HO 4 R 17/00 (2006.01)	HO 4 R 17/00	3 3 0 H
A 6 1 B 8/14 (2006.01)	A 6 1 B 8/14	
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 4 R 17/00	
HO 1 L 41/113 (2006.01)	HO 1 L 41/09	
HO 1 L 41/04 (2006.01)	HO 1 L 41/113	

請求項の数 7 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-90953 (P2016-90953)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成28年4月28日 (2016.4.28)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-200106 (P2017-200106A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成29年11月2日 (2017.11.2)	(74) 代理人	110000637
審査請求日	平成31年3月6日 (2019.3.6)		特許業務法人樹之下知的財産事務所
		(72) 発明者	宮澤 弘
			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	伊藤 浩
			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	中村 友亮
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

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

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第一開口と第二開口とを有する基板と、  
 前記基板上に設けられ、前記第一開口及び前記第二開口を閉塞する支持膜と、  
 前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一対の電極に挟まれた送信用圧電膜と、  
 前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一対の電極に挟まれた受信用圧電膜と、  
 を備え、  
 前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法は、前記受信用圧電膜の厚みよりも薄く、  
 前記支持膜は、前記第一開口を閉塞する第一振動部と、前記第二開口を閉塞する第二振動部と、を含み、  
 前記第一振動部と、前記送信用圧電膜とを含んで、送信トランスデューサーが構成され、  
 前記第二振動部と、前記受信用圧電膜とを含んで、受信トランスデューサーが構成され、  
 前記送信トランスデューサーの固有周波数と、前記受信トランスデューサーの固有周波数との差が0.2MHz以上0.8MHz以下であることを特徴とする超音波デバイス。

10

20

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波デバイスにおいて、  
前記送信用圧電膜の厚み寸法は、300 nm 以上 2750 nm 以下であり、  
前記受信用圧電膜の厚み寸法は、600 nm 以上 3100 nm 以下であり、  
前記送信用圧電膜と前記受信用圧電膜の厚み寸法の差は、350 nm 以上である  
ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 3】

請求項 1 又は請求項 2 に記載の超音波デバイスにおいて、  
前記第一開口の開口幅は、前記第二開口の開口幅よりも小さい  
ことを特徴とする超音波デバイス。

10

## 【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の超音波デバイスにおいて、  
前記受信トランスデューサーの固有周波数は、前記送信トランスデューサーの固有周波  
数よりも小さい  
ことを特徴とする超音波デバイス。

## 【請求項 5】

請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の超音波デバイスにおいて、  
前記送信用圧電膜に送信分極電圧を印加し、前記受信用圧電膜に受信分極電圧を印加す  
る分極電圧出力部を有し、  
前記送信分極電圧は、前記受信分極電圧よりも小さい  
ことを特徴とする超音波デバイス。

20

## 【請求項 6】

第一開口と第二開口とを有する基板と、前記基板上に設けられ、前記第一開口及び前記  
第二開口を閉塞する支持膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見  
た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極  
に挟まれた送信用圧電膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た  
際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に  
挟まれた受信用圧電膜と、を備えた超音波デバイスと、

前記超音波デバイスを収納する筐体と、を備え、

前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法が、前記受信用圧電膜の厚み  
よりも薄く、

30

前記支持膜は、前記第一開口を閉塞する第一振動部と、前記第二開口を閉塞する第二振  
動部と、を含み、

前記第一振動部と、前記送信用圧電膜とを含んで、送信トランスデューサーが構成され

、  
前記第二振動部と、前記受信用圧電膜とを含んで、受信トランスデューサーが構成され

、  
前記送信トランスデューサーの固有周波数と、前記受信トランスデューサーの固有周波  
数との差が 0.2 MHz 以上 0.8 MHz 以下である

ことを特徴とする超音波モジュール。

40

## 【請求項 7】

第一開口と第二開口とを有する基板と、前記基板上に設けられ、前記第一開口及び前記  
第二開口を閉塞する支持膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見  
た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極  
に挟まれた送信用圧電膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た  
際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に  
挟まれた受信用圧電膜と、を備えた超音波デバイスと、

前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、

前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法が、前記受信用圧電膜の厚み  
よりも薄く、

50

前記支持膜は、前記第一開口を閉塞する第一振動部と、前記第二開口を閉塞する第二振動部と、含み、

前記第一振動部と、前記送信用圧電膜とを含んで、送信トランスデューサーが構成され、

前記第二振動部と、前記受信用圧電膜とを含んで、受信トランスデューサーが構成され、

前記送信トランスデューサーの固有周波数と、前記受信トランスデューサーの固有周波数との差が0.2MHz以上0.8MHz以下である

ことを特徴とする超音波測定装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波測定装置等に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、超音波の送信処理及び受信処理を行う超音波トランスデューサーとして、一對の電極により挟まれた圧電体を備え、電極間に電圧を印加して圧電体自身を振動させて超音波を送信したり、超音波が入力された圧電体からの出力電圧を検出することで超音波を受信したりする、いわゆるバルク型の圧電体を用いた超音波トランスデューサーが知られている。

20

しかしながら、このようなバルク型の圧電体では、圧電体の厚み寸法を厚く形成する必要があり、薄型化や小型化が困難となる。

【0003】

これに対して、開口を有する支持体の前記開口を覆うように設けられた振動膜と、振動膜上に設けられ、一對の電極により挟まれた圧電膜とにより構成された、薄膜型の圧電膜を用いた超音波トランスデューサーが知られている（例えば、特許文献1参照）。

このような超音波トランスデューサーでは、電極間への電圧印加によって振動膜を振動させて超音波を送信し、振動膜の振動により圧電膜からの出力電圧により超音波の受信を検出する。このような薄膜型の圧電体により振動膜を振動させる超音波トランスデューサーでは、バルク型の超音波トランスデューサーに比べて、超音波の送受信方向に対する厚み寸法を大幅に縮小でき、超音波測定装置の薄型化及び小型化を図ることができる。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2002-271897号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、薄膜型の超音波トランスデューサーでは、振動膜の振動により超音波を送信させた後、反射された超音波により振動される振動膜により圧電膜が歪むことで超音波の受信を検出する。この場合、超音波を送信させる際には、振動膜を大きく変位させることで高出力の超音波を出力し、超音波を受信する際には、振動膜の振動が小さい場合でも高感度に振動を検出して超音波の受信を検出する必要がある。したがって、それぞれの機能に応じた特性となるように、送信用の超音波トランスデューサーと受信用のトランスデューサーとを構成する必要がある。したがって、上記特許文献1に記載のような超音波トランスデューサーを送受兼用の超音波トランスデューサーとしたり、送信用と受信用とで同一構成の超音波トランスデューサーを用いたりすると、超音波の送受信効率が低下すると

40

の課題がある。

【0006】

本発明は、超音波の送受信効率が高い超音波デバイス、超音波モジュール、及び超音波

50

測定装置を提供することを目的の1つとし、以下に当該目的と達成可能な適用例及び実施形態について説明する。

【課題を解決するための手段】

【0007】

一適用例に係る超音波デバイスは、第一開口と第二開口とを有する基板と、前記基板上に設けられ、前記第一開口及び前記第二開口を閉塞する支持膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた送信用圧電膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた受信用圧電膜と、を備え、前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法は、前記受信用圧電膜の厚みよりも薄いことを特徴とする。

10

【0008】

本適用例では、超音波デバイスは、送信用の超音波トランスデューサー（送信トランスデューサー）と、受信用の超音波トランスデューサー（受信トランスデューサー）と、を備える。送信トランスデューサーは、基板の第一開口を覆う支持膜（支持膜における第一開口と重なる領域である第一振動部）と、送信用圧電膜と、を含む。受信トランスデューサーは、基板の第二開口を覆う支持膜（支持膜における第二開口と重なる領域である第二振動部）と、受信用圧電膜と、を含む。そして、送信用圧電膜は、受信用圧電膜より膜厚が薄く形成されている。

20

このような構成では、送信トランスデューサーと、受信トランスデューサーとがそれぞれ別体として設けられているので、送信トランスデューサーにおいては、超音波の送信に適した特性とし、受信トランスデューサーにおいては、超音波の受信に適した特性とすることができる。よって、1つの超音波トランスデューサーで、超音波の送信及び受信を行う場合に比べて、超音波の送受信効率を向上させることができる。つまり、超音波の送信においては、音圧の高い超音波を送信ことができ、超音波の受信においては、高い受信感度で、高精度に超音波を受信できる。

【0009】

ところで、送信トランスデューサーでは、小さい駆動電圧で第一振動部を大きく変位させて、高い音圧の超音波を出す必要がある。送信用圧電膜の厚み寸法（一对の電極間の距離）を  $t_A$ 、電極間に印加する駆動電圧を  $V_1$ 、電極間の誘電率（送信用圧電膜）の誘電率を  $\epsilon$ 、送信用圧電膜の圧電定数を  $e$  とすると、送信用圧電膜の歪み量  $d$  は、近似的には  $d = V_1 / t_A \epsilon$  となる。よって、送信用圧電膜の歪み量  $d$  を大きくして高音圧の超音波を送信するためには、送信用圧電膜の厚み寸法  $t_A$  を小さくする必要がある。これに加え、送信用圧電膜の厚み寸法が大きいと、第一振動部の剛性も大きくなるため撓みにくくなるので、この点からの送信用圧電膜の厚み寸法を小さくすることが好ましい。

30

一方、受信トランスデューサーでは、超音波が送信された後、反射超音波を受信する。この反射超音波は、送信トランスデューサーから送信された超音波に対して大きく減衰されている可能性が高く、第二振動部の変位も小さくなる場合がある。受信トランスデューサーは、このような場合でも、高感度で反射超音波による第二振動部の振動を検出する必要がある。第二振動部の振動による受信用圧電膜の変位量（歪み量）を  $d$ 、受信用圧電膜の厚み寸法（一对の電極間の距離）を  $t_B$ 、電極間の誘電率（送信用圧電膜）の誘電率を  $\epsilon$ 、受信用圧電膜の圧電定数を  $e$  とすると、受信トランスデューサーにおいて電極から出力される出力電圧  $V_2$  は、近似的には  $V_2 = d t_B \epsilon$  となる。よって、受信用圧電膜からの出力電圧  $V_2$  を大きくするためには、受信用圧電膜の厚み寸法を大きくする必要がある。

40

本適用例では、送信用圧電膜が、受信用圧電膜よりも厚み寸法が薄く構成されている。つまり、1つの超音波トランスデューサーにより超音波の送受信を行う場合、或いは、同じ厚み寸法の圧電膜を用いて、送信用のトランスデューサーと受信用のトランスデューサーとを構成する場合等に比べて、送信トランスデューサーにおける超音波の送信効率を高

50

く、受信トランスデューサーにおける超音波の受信効率を高くすることができる。

【0010】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記送信用圧電膜の厚み寸法は、300nm以上2750nm以下であり、前記受信用圧電膜の厚み寸法は、600nm以上3100nm以下であり、前記送信用圧電膜と前記受信用圧電膜の厚み寸法の差は、350nm以上である。

本適用例では、送信用圧電膜が、300nm以上2750nm以下の厚み寸法を有し、受信用圧電膜が、600nm以上3100nm以下の厚み寸法を有する。そして、送信用圧電膜は、受信用圧電膜よりも350nm以上薄く形成されている。このような構成では、送信用圧電膜の超音波の送信効率を向上でき、かつ受信用圧電膜の超音波の受信効率を向上できる。

10

また、送信トランスデューサーに対して所定電圧を印加した際の第一振動部の歪み量(nm)と、受信トランスデューサーにおける受信感度(nV/Pa)の積を、超音波デバイスにおける超音波の送受信の性能指数(nm・nV/Pa)とすると、性能指数が75000(nm・nV/Pa)を超えることが好ましい。上述したように送信用圧電膜及び受信用圧電膜を構成することで、第一開口及び第二開口の開口幅(開口面積)によらず、十分な性能指数を得ることができ、高い送受信効率の超音波デバイスを得ることができる。

【0011】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記第一開口の開口幅は、前記第二開口の開口幅よりも小さいことが好ましい。

20

本適用例では、第一開口の開口幅(開口面積)が、第二開口の開口幅(開口面積)よりも小さい。つまり、送信トランスデューサーを構成する第一振動部の面積が、受信トランスデューサーを構成する第二振動部の面積よりも小さい。

開口を閉塞する支持膜により振動部を形成し、この振動部上に一对の電極により挟まれる圧電膜を配置した超音波トランスデューサーでは、送受信する超音波の周波数(超音波トランスデューサーの固有周波数)は、開口の開口幅(振動部の面積)と、圧電膜の厚み寸法に依存する。超音波トランスデューサーの固有周波数は、開口の開口幅が大きくなるに従って低減し、圧電膜の厚み寸法が小さくなるに従って低減する。上記のように、本適用例では、送信用圧電膜の厚み寸法が、受信用圧電膜の厚み寸法よりも小さくなる。したがって、第一開口の開口幅を第二開口の開口幅に比べて小さくすることで、送信トランスデューサーから送信させる超音波と、受信トランスデューサーにて受信させる超音波の周波数とを一致若しくは略一致させることができる。

30

【0012】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記支持膜は、前記第一開口を閉塞する第一振動部と、前記第二開口を閉塞する第二振動部と、を含み、前記第一振動部と、前記送信用圧電膜とを含んで、送信トランスデューサーが構成され、前記第二振動部と、前記受信用圧電膜とを含んで、受信トランスデューサーが構成され、前記送信トランスデューサーの固有周波数は、前記受信トランスデューサーの固有周波数と異なることが好ましい。

本適用例では、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数が異なっている。上述したように、本適用例では、送信トランスデューサーから超音波を送信し、対象物にて反射された超音波を受信トランスデューサーにて受信するが、この際、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数を一致させると、送信トランスデューサーから超音波を送信した際に、受信トランスデューサーが共振してしまう。この場合、受信トランスデューサーからノイズ成分を含んだ出力電圧が出力され、超音波の受信精度に影響が出る。これに対して、本適用例では、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数がそれぞれ異なっているため、超音波を送信した際に、受信トランスデューサーの共振を抑制でき、出力電圧にノイズが含まれる不都合を抑制できる。

40

【0013】

50

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記送信トランスデューサーの固有周波数と、前記受信トランスデューサーの固有周波数との差が0.2MHz以上0.8MHz以下であることが好ましい。

送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数の差が0.2MHz未満である場合、上述したように、超音波の送信時に受信トランスデューサーが共振することで出力電圧にノイズが多く含まれ、受信トランスデューサーにおける受信精度が低下する。一方、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数の差が0.8MHzを超える場合、送信トランスデューサーにより送信される超音波の周波数と、受信トランスデューサーにて好適に受信可能な超音波の周波数との差が大きくなり、受信トランスデューサーにおける受信精度が低下する。

10

これに対して、本適用例では、上記のように、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとの固有周波数の差を0.2MHz以上0.8MHz以下とすることで、ノイズ成分を低減しつつ、送信トランスデューサーから送信される超音波の反射波を受信トランスデューサーにて高い受信感度で受信することができ、超音波デバイスにおける超音波の送受信効率の向上を図れる。

#### 【0014】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記受信トランスデューサーの固有周波数は、前記送信トランスデューサーの固有周波数よりも小さいことが好ましい。

本適用例では、受信トランスデューサーの固有周波数が、送信トランスデューサーの固有周波数よりも小さくなる。つまり、送信トランスデューサーから超音波を送信して対象物により反射された超音波を受信トランスデューサーで受信する場合には、反射された超音波が送信された超音波に比べて大きく減衰する。したがって、超音波測定においては、受信トランスデューサーにおける受信感度をより高める必要がある。本適用例では、受信トランスデューサーにおける固有周波数を小さくする、つまり、第二開口の開口幅を大きくする。これにより、受信トランスデューサーにおける第二振動部が撓みやすくなり、受信感度を上げることができる。

20

なお、受信用圧電膜の厚み寸法を小さくすることでも、固有周波数を低減できるが、この場合、受信トランスデューサーの受信感度が低下して、超音波デバイスにおける送受信の性能指数が低下することも考えられる。したがって、第二開口の開口幅を広げることが好ましい。

30

#### 【0015】

本適用例の超音波デバイスにおいて、前記送信用圧電膜に送信分極電圧を印加し、前記受信用圧電膜に受信分極電圧を印加する分極電圧出力部を有し、前記送信分極電圧は、前記受信分極電圧よりも小さいことが好ましい。

本適用例では、超音波デバイスに対して分極電圧を印加する分極電圧出力部を有する。超音波デバイスにおける超音波測定を実施する場合、送受信処理を実施する前に、分極電圧出力部から送信用圧電膜及び受信用圧電膜のそれぞれに対して分極電圧を印加して分極させることで、超音波デバイスにおける送受信効率の向上を図れる。この際、分極電圧出力部は、厚み寸法が小さい送信用圧電膜に対する送信分極電圧を、厚み寸法が大きい受信用圧電膜に対する受信分極電圧よりも小さくする。これにより、送信用圧電膜における絶縁破壊を抑制でき、各圧電膜を好適に分極させることができる。

40

#### 【0016】

一適用例に係る超音波モジュールは、第一開口と第二開口とを有する基板と、前記基板上に設けられ、前記第一開口及び前記第二開口を閉塞する支持膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた送信用圧電膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた受信用圧電膜と、を備えた超音波デバイスと、前記超音波デバイスを収納する筐体と、を備え、前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法が、前記受信用圧電膜の厚みよりも薄いことを特徴とする。

50

本適用例では、上述したように、超音波デバイスにおける送受信効率を向上させることができる。したがって、このような超音波デバイスを収納した超音波モジュールにおいても同様の作用効果を奏することができ、超音波の送受信処理を行う際に送受信効率を向上できる。

【0017】

一適用例に係る超音波測定装置は、第一開口と第二開口とを有する基板と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第一開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた送信用圧電膜と、前記支持膜上に設けられ、かつ前記基板の厚み方向から見た際に、前記第二開口と重なる位置に設けられ、前記基板の厚み方向において一对の電極に挟まれた受信用圧電膜と、を備えた超音波デバイスと、前記超音波デバイスを制御する制御部と、を備え、前記基板の厚み方向に対する前記送信用圧電膜の厚み寸法が、前記受信用圧電膜の厚みよりも薄いことを特徴とする。

10

本適用例では、上述したように、超音波デバイスにおける送受信効率を向上させることができる。したがって、このような超音波デバイスを制御部により制御することで、送受信効率の高い超音波の送受信処理により、精度の高い超音波測定を実施でき、例えば、超音波測定の測定結果に基づいて、対象物の内部断層画像を取得する場合には、精度の高い内部断層画像を取得することができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

20

【図1】本発明の第一実施形態に係る超音波測定装置の概略構成を示す斜視図。

【図2】第一実施形態の超音波測定装置の概略構成を示すブロック図。

【図3】第一実施形態の超音波プローブの概略構成を示す断面図。

【図4】第一実施形態の超音波デバイスの概略構成を示す平面図。

【図5】図4において、超音波デバイスの一部を拡大した送信トランスデューサー及び受信トランスデューサーの拡大平面図。

【図6】図5のB-B線を切断した際の送信トランスデューサー及び受信トランスデューサーの断面図。

【図7】超音波トランスデューサーの開口の開口幅と、超音波トランスデューサーの固有周波数との関係を示す図。

30

【図8】送信トランスデューサーにおける送信用圧電膜の厚み寸法と、送信感度との関係を示す図。

【図9】受信トランスデューサーにおける受信用圧電膜の厚み寸法と、受信感度との関係を示す図。

【図10】第一開口及び第二開口が30 $\mu$ mの時の、送信用圧電膜の厚み寸法と、受信用圧電膜の厚み寸法と、性能指数との関係を示す図。

【図11】第一開口及び第二開口が35 $\mu$ mの時の、送信用圧電膜の厚み寸法と、受信用圧電膜の厚み寸法と、性能指数との関係を示す図。

【図12】第一開口及び第二開口が40 $\mu$ mの時の、送信用圧電膜の厚み寸法と、受信用圧電膜の厚み寸法と、性能指数との関係を示す図。

40

【図13】第一開口及び第二開口が45 $\mu$ mの時の、送信用圧電膜の厚み寸法と、受信用圧電膜の厚み寸法と、性能指数との関係を示す図。

【図14】図10に対して、性能指数が75000以上となる領域を明示した図。

【図15】図11に対して、性能指数が75000以上となる領域を明示した図。

【図16】図12に対して、性能指数が75000以上となる領域を明示した図。

【図17】図13に対して、性能指数が75000以上となる領域を明示した図。

【図18】従来例における超音波トランスデューサーの性能指数を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本実施形態の超音波測定装置について、図面に基づいて説明する。

50

### [ 超音波測定装置の構成 ]

図 1 は、本実施形態の超音波測定装置 1 の概略構成を示す斜視図である。図 2 は、本実施形態の超音波測定装置 1 の概略構成を示すブロック図である。

本実施形態の超音波測定装置 1 は、図 1 に示すように、超音波プローブ 2 と、超音波プローブ 2 にケーブル 3 を介して電氣的に接続された制御装置 10 と、を備えている。

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

10

### 【 0 0 2 0 】

#### [ 超音波プローブの構成 ]

図 3 は、超音波プローブ 2 の概略構成を示す断面図である。

超音波プローブ 2 は、超音波モジュールであり、筐体 21 と、超音波センサー 22 と、を備える。

#### [ 筐体の構成 ]

筐体 21 は、図 1 に示すように、平面視矩形状の箱状に形成され、超音波センサー 22 を収納する。筐体 21 の厚み方向に直交する一面（センサー面 21A）には、センサー窓 21B が設けられており、超音波センサー 22 の一部（後述する音響レンズ 7）が露出している。また、筐体 21 の一部（図 1 に示す例では側面）には通過孔が設けられ、通過孔を介してケーブル 3 が筐体 21 の内部に挿入される。このケーブル 3 は、図示を省略するが、筐体 21 の内部にて超音波センサー 22（後述する回路基板 6）に接続されている。

20

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

### 【 0 0 2 1 】

#### [ 超音波センサーの構成 ]

超音波センサー 22 は、図 3 に示すように、超音波デバイス 4 と、回路基板 6 と、音響レンズ 7 と、を備える。後述するが、回路基板 6 には、超音波デバイス 4 を制御するためのドライバ回路等が設けられており、超音波デバイス 4 は、例えばフレキシブル基板等の配線部材 5 を介して回路基板 6 に電氣的に接続される。この超音波デバイス 4 の超音波送受信側の面に、音響レンズ 7 が設けられており、当該音響レンズ 7 は、筐体 21 の一側から外部に露出する。

30

### 【 0 0 2 2 】

#### [ 超音波デバイスの構成 ]

図 4 は、超音波デバイス 4 の一例を示す平面図である。

以下の説明では、後述するように一次アレイ構造を有する超音波デバイス 4 のスキャン方向を X 方向とし、スキャン方向に交差（例えば本実施形態では直交）するスライス方向を Y 方向とする。

40

超音波デバイス 4 は、超音波送信部 42 と、超音波受信部 43 と、信号電極線 SL と、コモン電極線 CL と、第一信号端子 SA と、第二信号端子 SB と、コモン端子 CA と、を備えている。

これらのうち超音波送信部 42 は、送信用の超音波トランスデューサーである複数の送信トランスデューサー 421 を有し、これら複数の送信トランスデューサー 421 が、Y 方向に沿って配置されて構成される。また、超音波受信部 43 は、受信用の超音波トランスデューサーである複数の受信トランスデューサー 431 を有し、これら複数の受信トランスデューサー 431 が、Y 方向に沿って配置されて構成される。

### 【 0 0 2 3 】

なお、本実施形態の超音波デバイス 4 では、複数の超音波送信部 42 及び超音波受信部

50

43が、X方向に交互に配置され、X方向に隣り合う1組の超音波送信部42が、1つの送信チャンネルとして機能する。また、各超音波受信部43が、1つの受信チャンネルとして機能する。

#### 【0024】

図5は、図4に示す超音波デバイス4の一部(図4の領域A)を拡大した送信トランスデューサー421及び受信トランスデューサー431の拡大平面図である。図6は、図5におけるB-Bに沿った送信トランスデューサー421及び受信トランスデューサー431の断面を示す断面図である。

超音波デバイス4は、図6に示すように、素子基板411と、素子基板411に積層された支持膜412と、支持膜412上に設けられた送信圧電素子413と、支持膜412上に設けられた受信圧電素子414と、を備えている。

素子基板411は、例えばSi等の半導体基板である。この素子基板411には、各送信トランスデューサー421の配置位置と重なる位置に設けられた第一開口411A、各受信トランスデューサー431の配置位置と重なる位置に設けられた第二開口411Bと、が設けられている。これらの第一開口411A及び第二開口411Bは、素子基板411の背面41A側に設けられた支持膜412により閉塞されている。なお、第一開口411A及び第二開口411Bの開口幅(開口面積)についての説明は後述する。

Si基板の面方位は(100)、(110)、(111)のいずれかであればよい。また素子基板411は、SOI(Silicon On Insulator)などの複合基板から構成されていてもよい。さらに素子基板411は、アルミナ、 $Ga_2O_3$ 、GaNであってもよい。

#### 【0025】

支持膜412は、例えば $SiO_2$ の単層や、 $SiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、及びYSZ(イットリウム安定化ジルコニウム)の積層体等より構成され、素子基板411の背面41A側全体を覆って設けられている。この支持膜412の厚み寸法は、素子基板411に対して十分小さい厚み寸法となる。 $SiO_2$ のヤング率は75GPa程度である。また、 $ZrO_2$ のヤング率は200GPa程度である。

ここで、図5及び図6に示すように、支持膜412のうち、素子基板411及び支持膜412の厚み方向から見た際に、第一開口411A(送信トランスデューサー421)と重なる領域は第一振動部412Aを構成する。また、図5及び図6に示すように、支持膜412のうち、素子基板411及び支持膜412の厚み方向から見た際に、第二開口411B(受信トランスデューサー431)と重なる領域は第二振動部412Bを構成する。つまり、第一振動部412Aは、第一開口411Aを囲う隔壁部411Cにより支持され、第二振動部412Bは、第二開口411Bを囲う隔壁部411Cにより支持されている。

#### 【0026】

送信圧電素子413は、第一開口411Aを閉塞する第一振動部412Aとともに、送信トランスデューサー421を構成する。

この送信圧電素子413は、下部電極413A、送信用圧電膜413B、及び上部電極415の積層体であり、第一振動部412A上に設けられる。

下部電極413Aは、素子基板411の厚み方向において送信用圧電膜413Bを挟む一対の電極の一方を構成し、上部電極415は、前記一対の電極の他方を構成する。

#### 【0027】

下部電極413Aは、Y方向に沿う直線状に形成されており、複数の送信トランスデューサー421に跨って設けられる。従って、Y方向に並ぶ送信トランスデューサー421において、下部電極413Aは同電位となる。この下部電極413Aは、図4に示すように、信号電極線SLによって、支持膜412の±Y側の外周部に配置された対応する第一信号端子SAに接続され、第一信号端子SAにおいて回路基板6に電氣的に接続されている。

本実施形態では、Y方向における超音波送信部42の2つを1組として、1つの送信チャンネルが構成される。すなわち、図5に示すように、隣り合う2つの超音波送信部42

10

20

30

40

50

は、同一の第一信号端子 S A に接続される。

【 0 0 2 8 】

送信用圧電膜 4 1 3 B は、P Z T ( ジルコン酸チタン酸鉛 ) 等の圧電体の薄膜により形成され、第一振動部 4 1 2 A 上で下部電極 4 1 3 A を覆うように構成される。

上部電極 4 1 5 は、X 方向に沿う直線状に形成されており、X 方向に並ぶ複数の超音波トランスデューサー ( 送信トランスデューサー 4 2 1 及び受信トランスデューサー 4 3 1 ) に跨って設けられる。また、各上部電極 4 1 5 は、コモン電極線 C L によって接続されており、支持膜 4 1 2 の外周部 ( 例えば ± Y 側 ) に設けられたコモン端子 C A に接続され ( 図 4 参照 )、コモン端子 C A において回路基板 6 に電氣的に接続される。つまり、本実施形態では、上部電極 4 1 5 は、X 方向に並ぶ送信圧電素子 4 1 3 と受信圧電素子 4 1 4 とにおいて共通であり、各送信トランスデューサー 4 2 1 及び各受信トランスデューサー 4 3 1 において互いに接続されて、同一のコモン電圧を印加する。

10

【 0 0 2 9 】

受信圧電素子 4 1 4 は、第二開口 4 1 1 B を閉塞する第二振動部 4 1 2 B とともに、受信トランスデューサー 4 3 1 を構成する。

この受信圧電素子 4 1 4 は、図 5 及び図 6 に示すように、下部電極 4 1 4 A、送信用圧電膜 4 1 4 B、及び上部電極 4 1 5 の積層体であり、第二振動部 4 1 2 B 上に設けられる。

下部電極 4 1 4 A は、送信用圧電膜 4 1 4 B を挟む一対の電極の一方を構成し、上部電極 4 1 5 は、前記一対の電極の他方を構成する。

20

【 0 0 3 0 】

下部電極 4 1 4 A は、送信圧電素子 4 1 3 の下部電極 4 1 3 A と同様、Y 方向に沿う直線状に形成されており、複数の受信トランスデューサー 4 3 1 に跨って設けられる。従って、Y 方向に並ぶ受信トランスデューサー 4 3 1 において、下部電極 4 1 4 A は同電位となる。この下部電極 4 1 4 A は、図 4 に示すように、信号電極線 S L によって、支持膜 4 1 2 の ± Y 側の外周部に配置された対応する第二信号端子 S B に接続され、第二信号端子 S B において回路基板 6 に電氣的に接続されている。

【 0 0 3 1 】

送信用圧電膜 4 1 4 B は、送信用圧電膜 4 1 3 B と同様、P Z T ( ジルコン酸チタン酸鉛 ) 等の圧電体の薄膜により形成され、第二振動部 4 1 2 B 上で下部電極 4 1 4 A を覆うように構成される。

30

送信用圧電膜 4 1 3 B および送信用圧電膜 4 1 4 B を構成する P Z T は、Z r と T i の組成比が 5 2 : 4 8 であることが高い圧電特性を得るうえで好ましい。また、モノクリニックな結晶構造を有していると、より高い圧電特性を得ることができる。圧電体は P Z T に限らず、B i F e M n O <sub>3</sub> - B a T i O <sub>3</sub>、K N a N b O <sub>3</sub> などの P b フリー材料であってもよい。P Z T のヤング率は、薄膜では 8 0 G P a 程度である。

本明細書のシミュレーションで用いた圧電体 P Z T の圧電定数  $e_{ij}$ 、比誘電率  $\epsilon_{ij}$ 、スティッフネス  $c_{ij}$  の値は P Z T - 5 H のデータを採用している。薄膜 ( スパッタリング等で形成された膜 ) の P Z T は、バルク ( 焼結体から切り出した比較的大きなサイズの固体 ) の P Z T とほぼ同等の物理定数を有することが知られている。

40

下部電極 4 1 3 A、4 1 4 A および上部電極 4 1 5 は、導電性、材料の安定性、および P Z T への薄膜応力の観点から、T i、I r、T i O <sub>2</sub>、I r O <sub>2</sub>、P t のうち、複数の材料を複合させて用いることが好ましい。下部電極 4 1 3 A、4 1 4 A および上部電極 4 1 5 のヤング率は 2 0 0 G P a 程度である。

【 0 0 3 2 】

このような構成の超音波デバイス 4 では、下部電極 4 1 3 A 及び上部電極 4 1 5 の間に所定周波数の矩形波電圧が印加されることで、第一振動部 4 1 2 A が振動され、送信トランスデューサー 4 2 1 から超音波を送信される。また、生体により反射された超音波により第二振動部 4 1 2 B が振動されると、送信用圧電膜 4 1 4 B を挟む下部電極 4 1 4 A から送信用圧電膜 4 1 4 B の歪み量に応じた出力電圧が出力され、超音波の受信が検出され

50

る。

【 0 0 3 3 】

また、図示は省略するが、支持膜 4 1 2 の素子基板 4 1 1 とは反対側には、補強板が配置されている。この補強板は、例えば、素子基板 4 1 1 の隔壁部 4 1 1 C 上に位置する支持膜 4 1 2 に対して、樹脂層等により接合され、素子基板 4 1 1 及び支持膜 4 1 2 を補強する。

さらに、素子基板 4 1 1 の第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B には、シリコーン等により構成された音響整合層が充填され、この音響整合層上に音響レンズ 7 が設けられる。

【 0 0 3 4 】

[ 送信トランスデューサー及び受信トランスデューサーの寸法 ]

次に、上述したような送信トランスデューサー 4 2 1 及び受信トランスデューサー 4 3 1 の寸法について、以下に説明する。

なお、以下の説明において、図 7、図 8、図 9 ~ 図 1 8 は、有限要素法に基づき、COMSOL Multiphysics (登録商標: COMSOL 社) を用いて計算された結果である。COMSOL Multiphysics では、構造計算と圧電計算がマルチフィジックスとして連成させて計算されている。

送信感度については、上下電極間に一定電圧 2 5 V を印加し、そのときのダイアフラムの変位量を評価した。送信感度の単位は n m である。受信感度については、ダイアフラムに一定の静水圧を印加し、そのときに上下電極に発生する電圧を評価した。受信感度の単位は n V / P a である。

図 7 は、超音波トランスデューサーの開口 (第一開口 4 1 1 A や第二開口 4 1 1 B) の開口幅と、超音波トランスデューサーの固有周波数 (送受信可能な超音波の周波数) との関係を示す図である。

一般に、生体への超音波測定を行う場合の超音波の周波数は、3 ~ 1 4 M H z 程度である。超音波トランスデューサー (送信トランスデューサー 4 2 1 や受信トランスデューサー 4 3 1) において、上記 3 ~ 1 4 M H z の超音波を送受信する場合、図 7 に示すように、当該周波数に対応した開口幅 (短軸方向の幅寸法) は、3 0 μ m ~ 4 5 μ m 程度となる。従って、以下の説明において、第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B の開口幅を、3 0 μ m ~ 4 5 μ m の範囲で変化させた場合の、送信トランスデューサー 4 2 1 及び受信トランスデューサー 4 3 1 の各特性について説明する。

【 0 0 3 5 】

図 8 は、送信トランスデューサー 4 2 1 における送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法と、送信感度との関係を示す図である。なお、ここで述べる送信感度とは、所定の駆動電圧 (例えば 2 5 V) を下部電極 4 1 3 A 及び上部電極 4 1 5 間に印加した際の送信用圧電膜 4 1 3 B の歪み量 (開口方向、つまり支持膜 4 1 2 の厚み方向への撓み量 (n m)) を示している。

図 8 は有限要素法によるシミュレーション結果である。送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法を  $t_A$ 、下部電極 4 1 3 A 及び上部電極 4 1 5 間に印加する駆動電圧を  $V_1$ 、電極間の誘電率 (送信用圧電膜) の誘電率を  $\epsilon$ 、送信用圧電膜 4 1 3 B の圧電定数を  $e$  とすると、駆動電圧  $V_1$  を印加した際の送信用圧電膜 4 1 3 B の歪み量 (送信感度) は、 $\epsilon \cdot V_1 / t_A \cdot e$  となる。駆動電圧  $V_1$  を印加した際の送信用圧電膜 4 1 3 B の歪み量 (送信感度) は、有限要素法によるシミュレーションによって得られる。

従って、図 8 に示すように、厚み寸法  $t_A$  が増大する程、送信感度が低下する。ここで、厚み寸法  $t_A$  が 3 0 0 n m 未満である場合は、例えば、分極処理時の分極電圧や駆動電圧の印加により絶縁破壊が起こる可能性があるため好ましくない。

また、厚み寸法が 2 7 5 0 n m を超える場合は、送信用圧電膜 4 1 3 B の剛性の影響により第一振動部 4 1 2 A が撓みにくくなる (送信感度が低下する)。特に、超音波測定装置 1 では、送信トランスデューサー 4 2 1 から送信した超音波が、生体内で減衰され、減衰された反射超音波が受信トランスデューサー 4 3 1 にて受信される。この場合、送信

10

20

30

40

50

トランスデューサー 4 2 1 の送信感度として、第一振動部 4 1 2 A の撓み量を少なくとも約 1 0 0 n m 以上確保することが好ましい。第一開口 4 1 1 A の開口幅が、送信感度が最も低くなる 3 0 μ m となる場合において、上記条件を満たすために、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法としては、2 7 5 0 n m 以下とすることが好ましい。

つまり、本実施形態では、送信用圧電膜 4 1 3 B は、厚み寸法  $t_A$  が 3 0 0 n m 以上 2 7 5 0 n m 以下の範囲で形成されることが好ましい。

#### 【 0 0 3 6 】

図 9 は、受信トランスデューサー 4 3 1 における受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法と、受信感度 ( n V / P a ) との関係を示す図である。

受信用圧電膜 4 1 4 B の歪み量を  $\epsilon$ 、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法を  $t_B$ 、電極間の誘電率 (送信用圧電膜) の誘電率を  $\epsilon_0$ 、受信用圧電膜 4 1 4 B の圧電定数を  $e$  とすると、受信トランスデューサー 4 3 1 において下部電極 4 1 4 A から出力される出力電圧  $V_2$  は、 $V_2 = \epsilon_0 \epsilon e / t_B$  となる。

このため、厚み寸法  $t_B$  を 3 0 0 n m から大きくしていくと、出力電圧  $V_2$  が増大する。一方、厚み寸法  $t_B$  が大きすぎる場合、第二振動部 4 1 2 B の剛性も大きくなり撓みにくくなる。よって、受信トランスデューサー 4 3 1 の受信感度は、図 9 に示すように、厚み寸法  $t_B$  の増大に伴って受信感度が増大した後、1 3 0 0 n m から 1 7 0 0 n m の間で、受信感度がピークとなり、さらに厚み寸法  $t_B$  を大きくすると、緩やかに受信感度が低下していく。

受信トランスデューサー 4 3 1 では、減衰された反射超音波を受信するため、少なくとも 3 0 0 ( n V / P a ) 以上の受信感度が求められる。ここで、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  が 6 0 0 n m 未満である場合は、上記の条件を満たすことができず、受信効率が低下する。

また、厚み寸法  $t_B$  が 3 1 0 0 n m を超える場合は、受信用圧電膜 4 1 4 B の剛性の影響により第二振動部 4 1 2 B が撓みにくくなり、受信感度が低下する。

つまり、本実施形態では、受信用圧電膜 4 1 4 B は、厚み寸法  $t_B$  が 6 0 0 n m 以上 3 1 0 0 n m 以下の範囲で形成されていることが好ましい。

#### 【 0 0 3 7 】

ところで、超音波デバイス 4 では、送信トランスデューサー 4 2 1 による超音波の送信処理と、受信トランスデューサー 4 3 1 による超音波の受信処理を行う。このため、いずれか一方の特性のみが適切であっても、他方が適切でない場合、送受信効率が低下する。

ここで、本願発明の発明者は、送信トランスデューサー 4 2 1 における送信感度、受信トランスデューサー 4 3 1 における受信感度との積を、超音波デバイスにおける送受信処理の性能指数と定義し、高精度な送受信処理を実施するためには、性能指数が 7 5 0 0 0 以上となる必要があることを見出した。

#### 【 0 0 3 8 】

図 1 0 は、第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B が 3 0 μ m の時の、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  と、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  と、性能指数との関係を示す図である。図 1 1 は、第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B が 3 5 μ m の時の、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  と、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  と、性能指数との関係を示す図である。図 1 2 は、第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B が 4 0 μ m の時の、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  と、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  と、性能指数との関係を示す図である。図 1 3 は、第一開口 4 1 1 A 及び第二開口 4 1 1 B が 4 5 μ m の時の、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  と、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  と、性能指数との関係を示す図である。また、図 1 4 から図 1 7 は、図 1 0 から図 1 3 において、性能指数が 7 5 0 0 0 以上となる領域をそれぞれに明示した図である。なお、図 1 0 から図 1 3 に示す等高線は、性能指数 7 5 0 0 0 の等高線である。

また、図 1 8 は、従来例における超音波トランスデューサーの性能指数を示す図である。従来例として、1 つの超音波トランスデューサーにおいて、超音波の送受信を行う (送信用圧電膜の厚み寸法  $t_A$  と、受信用圧電膜の厚み寸法  $t_B$  とが同値) である例を示して

10

20

30

40

50

いる。

【0039】

図10から図18に示すように、性能指数は、第一開口411A及び第二開口411Bの開口幅が大きくなるに従って大きくなる。

ここで、従来のように、送信用圧電膜の厚み寸法 $t_A$ と、受信用圧電膜の厚み寸法 $t_B$ とが同値である場合、第一振動部や第二振動部の開口幅が $30\mu\text{m}$ の場合、性能指数が75000未満となる。また、開口幅が $35\mu\text{m}$ の場合であっても、性能指数を超える範囲は、圧電膜の膜厚が $400\text{nm}\sim 1800\text{nm}$ の範囲であり、設計の自由度が低下する。

【0040】

これに対して、図10及び図14に示すように、本実施形態では、第一開口411A及び第二開口411Bの開口幅が $30\mu\text{m}$ であっても、性能指数が75000を超える超音波デバイス4が得られる。例えば、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ を、送信感度が最大となる $300\text{nm}$ とする場合には、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ を $650\text{nm}$ 程度にすれば、性能指数が75000近傍となる超音波デバイス4が得られる。また、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ が $900\text{nm}$ 近傍であっても、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ が、 $650\text{nm}$ 程度にすれば性能指数が75000近傍となる超音波デバイス4が得られる。つまり、開口幅が $30\mu\text{m}$ の場合では、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ として $300\text{nm}$ 以上 $900\text{nm}$ 以下の範囲であれば、当該厚み寸法 $t_A$ よりも $350\text{nm}$ 以上大きい厚み寸法 $t_B$ の受信用圧電膜414Bを設計すれば、性能指数が75000以上となる超音波デバイス4が得られる。

【0041】

また、第一開口411A及び第二開口411Bの開口幅が $35\mu\text{m}$ 以上の場合では、開口幅が $30\mu\text{m}$ の場合に比べて、更に、性能指数が75000を超える領域が大きくなる。また、図18と比較すると分かるように、従来例に対して極めて高い性能指数を得ることができる。

以上のように、図10から図17から、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ は、 $300\text{nm}$ 以上 $2750\text{nm}$ 以下であり、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ は、 $600\text{nm}$ 以上 $3100\text{nm}$ 以下であり、かつ、送信用圧電膜413Bが受信用圧電膜414Bよりも厚み寸法が小さく、 $t_B - t_A \geq 350$  (nm)を満たすことが好ましい。

【0042】

ところで、図7に示すように、超音波トランスデューサーの固有周波数を所定値に設定する場合、当該超音波トランスデューサーを構成する圧電膜(送信用圧電膜413Bや受信用圧電膜414B)の厚み寸法にも依存し、厚み寸法が増大する程、固有周波数が高く、厚み寸法が減少する程、固有周波数が低くなる。

上述したように、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ は、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ よりも小さい。超音波デバイス4において、所定の周波数の超音波の送受信処理を実施するためには、送信トランスデューサー421の固有周波数と、受信トランスデューサー431の固有周波数とを略揃える必要がある。よって、本実施形態では、送信トランスデューサー421と重なる第一開口411Aの開口幅 $L_A$ は、受信トランスデューサー431と重なる第二開口411Bの開口幅 $L_B$ よりも小さく形成されている。

例えば、 $8\text{MHz}$ の超音波の送受信処理を行う際に、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ が $300\text{nm}$ であり、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ が $1350\text{nm}$ である場合、第一開口411Aの開口幅 $L_A$ は約 $33\mu\text{m}$ となり、第二開口の開口幅 $L_B$ は約 $35\mu\text{m}$ となる。

【0043】

しかしながら、送信トランスデューサー421及び受信トランスデューサー431の固有周波数を同じ値とすると、送信トランスデューサー421から超音波を送信した際に、受信トランスデューサー431が共振し、当該共振に起因する出力電圧が受信トランスデューサー431から出力され、ノイズ成分となる。

したがって、本実施形態では、送信トランスデューサー421の固有周波数は、受信ト

10

20

30

40

50

ランスドューサー 431 の固有周波数とは異なる値に設定されている。具体的には、受信トランスドューサー 431 の固有周波数は、送信トランスドューサー 421 の固有周波数に比べて、0.2 MHz 以上 0.8 MHz 以下の範囲で小さく設定されることが好ましく、より好ましくは、受信トランスドューサー 431 の固有周波数よりも 0.5 MHz 小さく設定される。

例えば、8 MHz の超音波の送受信処理において、送信トランスドューサー 421 の固有周波数を 8 MHz に設定する場合には、受信トランスドューサー 431 の固有周波数は、7.5 MHz に設定される。したがって、送信用圧電膜 413B の厚み寸法  $t_A$  が 300 nm であり、受信用圧電膜 414B の厚み寸法  $t_B$  が 1350 nm である場合、第一開口 411A の開口幅  $L_A$  は約 33  $\mu\text{m}$  となり、第二開口 411B の開口幅  $L_B$  は約 37  $\mu\text{m}$  となる。

この場合、受信トランスドューサー 431 に対応する第二開口 411B の開口幅  $L_B$  が大きくなり、第二振動部 412B が振動しやすくなるので、受信感度も向上する。

#### 【0044】

本実施形態の超音波デバイス 4 では、生体における測定部位（深度）に応じた超音波の周波数に合わせて送信トランスドューサー 421 の固有周波数  $f_A$  を設定し、当該送信トランスドューサー 421 の固有周波数よりも例えば 0.5 MHz 小さい周波数を受信トランスドューサー 431 の固有周波数  $f_B$  として設定する。そして、上記設定された固有周波数  $f_A$  を満たす送信用圧電膜 413B の厚み寸法  $t_A$ 、及び第一開口 411A の開口幅  $L_A$  の組合せと、固有周波数  $f_B$  を満たす受信用圧電膜 414B の厚み寸法  $t_B$ 、及び第二開口 411B の開口幅  $L_B$  の組合せとのうち、超音波の送受信処理における性能指数 75000 を超える組合せ、より好ましくは、性能指数が最大となる組み合わせを求める。このように求められた送信用圧電膜 413B の厚み寸法  $t_A$ 、第一開口 411A の開口幅  $L_A$ 、受信用圧電膜 414B の厚み寸法  $t_B$ 、及び第二開口 411B の開口幅  $L_B$  となるように、送信トランスドューサー 421 及び受信トランスドューサー 431 が形成される。

これにより、所望の超音波周波数に対して送受信効率が最適となる超音波デバイス 4 が構成されている。

#### 【0045】

##### [音響レンズの構成]

図 3 に戻り、超音波センサー 22 を構成する音響レンズ 7 について説明する。

音響レンズ 7 は、超音波デバイス 4 から送信された超音波を測定対象である生体に効率よく伝搬させ、また、生体内で反射した超音波を効率よく超音波デバイス 4 に伝搬させる。この音響レンズ 7 は、超音波デバイス 4 が超音波を送受信する面に沿って配置される。なお、図示を省略するが、超音波デバイス 4 と音響レンズ 7 との間には、音響整合層が設けられる。これら、音響レンズ 7 及び音響整合層は、例えばシリコン等により構成され、素子基板 411 の超音波トランスドューサー（送信トランスドューサー 421 及び受信トランスドューサー 431）の音響インピーダンスと、生体の音響インピーダンスとの中間の音響インピーダンスに設定されている。

#### 【0046】

##### [回路基板の構成]

次に、図 2 に戻り、回路基板 6 について説明する。

回路基板 6 は、複数の駆動信号端子（図示省略）と、複数の受信信号端子（図示略）と、複数のコモン信号端子（図示省略）とを備え、配線部材 5 によって超音波デバイス 4 が接続される。具体的には、複数の駆動信号端子のそれぞれは、送信トランスドューサー 421 の下部電極 413A に接続された対応する第一信号端子 SA に接続され、複数の受信信号端子のそれぞれは、受信トランスドューサー 431 の下部電極 414A に接続された対応する第二信号端子 SB に接続され、複数のコモン信号端子のそれぞれは、コモン端子 CA に接続されている。

また、この回路基板 6 は、超音波デバイス 4 を駆動させるためのドライバ回路等が設け

10

20

30

40

50

られている。具体的には、回路基板 6 は、図 2 に示すように、送信回路 6 1、受信回路 6 2、分極電圧出力部 6 3、送信選択回路 6 4、及び受信選択回路 6 5 等を含んで構成されている。

【 0 0 4 7 】

送信回路 6 1 は、制御装置 1 0 の制御により送信トランスデューサー 4 2 1 を駆動させるためのパルス波形の駆動電圧を送信選択回路 6 4 に出力する。

受信回路 6 2 は、受信トランスデューサー 4 3 1 から出力された出力電圧（受信信号）を制御装置 1 0 に出力する。受信回路 6 2 は、例えば増幅回路、ローパスフィルター、A / D コンバーター、整相加算回路等を含んで構成されており、受信信号のデジタル信号への変換、ノイズ成分の除去、所望信号レベルへの増幅、各受信チャンネル毎の整相加算処理等の各信号処理を実施した後、処理後の受信信号を制御装置 1 0 に出力する。

【 0 0 4 8 】

分極電圧出力部 6 3 は、送信用圧電膜 4 1 3 B 及び受信用圧電膜 4 1 4 B の分極処理を行うための分極電圧を出力する。

送信トランスデューサー 4 2 1 及び受信トランスデューサー 4 3 1 の送受信効率を維持するためには、超音波の送受信処理を実施する前（又は一定周期毎に）に、送信用圧電膜 4 1 3 B 及び受信用圧電膜 4 1 4 B の双方に対して、200 kV / cm 以上の電界をかけて、分極方向を初期化する必要がある。200 kV / cm 未満の電界では、各圧電膜の分極方向の初期化が不十分となり、送受信効率の低下を招く。

また、上述したように、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  は、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  よりも小さい。したがって、分極電圧出力部 6 3 は、受信用圧電膜 4 1 4 B を分極するための受信分極電圧  $V_B$  として、送信用圧電膜 4 1 3 B を分極するための送信分極電圧  $V_A$  よりも大きい電圧を出力する。下記表 1 には、各圧電膜（送信用圧電膜 4 1 3 B、受信用圧電膜 4 1 4 B）の厚み寸法と、その厚み寸法に対する分極電圧（送信分極電圧  $V_A$ 、受信分極電圧  $V_B$ ）の一例を示す。分極電圧出力部 6 3 は、表 1 に示すような送信分極電圧  $V_A$  を、送信選択回路 6 4 に出力し、受信分極電圧  $V_B$  を、受信選択回路 6 5 に出力する。

【 0 0 4 9 】

【表 1】

送信用圧電膜		送信用圧電膜	
厚み寸法 $t_A$ (nm)	分極電圧 $V_A$ (V)	厚み寸法 $t_B$ (nm)	分極電圧 $V_B$ (V)
300	6	1350	27
500	10	1700	34
800	16	850	17

【 0 0 5 0 】

送信選択回路 6 4 は、制御装置 1 0 の制御に基づいて、各超音波送信部 4 2（第一信号端子 S A）と送信回路 6 1 とを接続する超音波送信接続と、各超音波送信部 4 2（第一信号端子 S A）と分極電圧出力部 6 3 とを接続する送信分極接続と、に切り替える。

受信選択回路 6 5 は、制御装置 1 0 の制御に基づいて、各超音波受信部 4 3（第二信号端子 S B）と受信回路 6 2 とを接続する超音波受信接続と、各超音波受信部 4 3（第二信号端子 S B）と分極電圧出力部 6 3 とを接続する受信分極接続と、に切り替える。

【 0 0 5 1 】

[ 制御装置の構成 ]

制御装置 1 0 は、図 2 に示すように、例えば、操作部 1 1 と、表示部 1 2 と、記憶部 1 3 と、制御部 1 4 と、を備えて構成されている。この制御装置 1 0 は、例えば、タブレット端末やスマートフォン、パーソナルコンピューター等の端末装置を用いてもよく、超音波プローブ 2 を操作するための専用端末装置であってもよい。

操作部 1 1 は、ユーザーが超音波測定装置 1 を操作するための U I（User Interface）

であり、例えば表示部 1 2 上に設けられたタッチパネルや、操作ボタン、キーボード、マウス等により構成することができる。

表示部 1 2 は、例えば液晶ディスプレイ等により構成され、画像を表示させる。

記憶部 1 3 は、超音波測定装置 1 を制御するための各種プログラムや各種データを記憶する。

#### 【 0 0 5 2 】

制御部 1 4 は、例えば CPU (Central Processing Unit) 等の演算回路や、後述する各処理を実施する処理回路や、メモリー等の記憶回路により構成されている。そして、制御部 1 4 は、記憶部 1 3 に記憶された各種プログラムを読み込み実行することで、送受信制御部 1 4 1、信号処理部 1 4 2、及び分極制御部 1 4 3 等として機能する。

10

#### 【 0 0 5 3 】

送受信制御部 1 4 1 は、例えば操作部 1 1 から超音波測定を実施する旨の操作信号が入力された際に、送信選択回路 6 4 を超音波送信接続に切り替え、受信選択回路 6 5 を超音波受信接続に切り替える。そして、送受信制御部 1 4 1 は、送信回路 6 1 から駆動電圧を出力させ、各送信トランスデューサー 4 2 1 から超音波を送信させる。また、送受信制御部 1 4 1 は、受信回路 6 2 から出力された受信信号を取得する。

信号処理部 1 4 2 は、受信回路 6 2 から取得した受信信号に基づいて、所定の処理を実施する。例えば、信号処理部 1 4 2 は、受信信号に基づいて、生体の内部断層画像を生成して、表示部 1 2 に出力したり、血流や血圧の測定処理を実施したりする。

#### 【 0 0 5 4 】

分極制御部 1 4 3 は、例えば所定のタイミングで送信選択回路 6 4 を送信分極接続に切り替え、受信選択回路 6 5 を受信分極接続に切り替える。このタイミングとしては、例えば、超音波測定装置 1 の電源がオフ状態からオン状態に切り替わった際や、送受信制御部 1 4 1 による測定処理を実施する直前、あるいは一定周期毎等が例示できる。

20

#### 【 0 0 5 5 】

[ 本実施形態の作用効果 ]

本実施形態の超音波デバイス 4 は、送信トランスデューサー 4 2 1 と、受信トランスデューサー 4 3 1 とを備える。送信トランスデューサー 4 2 1 は、素子基板 4 1 1 の第一開口 4 1 1 A を覆う支持膜 4 1 2 (第一振動部 4 1 2 A) と、第一振動部 4 1 2 A 上に設けられた送信圧電素子 4 1 3 により構成されており、送信圧電素子 4 1 3 は、厚み方向において下部電極 4 1 3 A 及び上部電極 4 1 5 により挟まれた送信用圧電膜 4 1 3 B を備える。また、受信トランスデューサー 4 3 1 は、素子基板 4 1 1 の第二開口 4 1 1 B を覆う支持膜 4 1 2 (第二振動部 4 1 2 B) と、第二振動部 4 1 2 B 上に設けられた受信圧電素子 4 1 4 により構成されており、受信圧電素子 4 1 4 は、厚み方向において下部電極 4 1 4 A 及び上部電極 4 1 5 により挟まれた受信用圧電膜 4 1 4 B を備える。そして、本実施形態では、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  は、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  より小さく形成されている。

30

送信トランスデューサー 4 2 1 では、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  が小さくなる程、送信感度が高くなる。一方、受信トランスデューサー 4 3 1 では、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  を 300 nm から大きくすると、受信感度が急峻に高まり、厚み寸法  $t_B$  が 1300 nm から 1700 nm となる際にピークとなり、その後、徐々に受信感度が低下する。したがって、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  を、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  よりも小さくすることで、1つの超音波トランスデューサーにより超音波の送受信を行う場合や、送信トランスデューサーと受信トランスデューサーとにおいて同じ厚み寸法の圧電膜を用いる場合等に比べて、送信トランスデューサー 4 2 1 における超音波の送信効率を高く、受信トランスデューサー 4 3 1 における超音波の受信効率を高くすることができる。

40

#### 【 0 0 5 6 】

また、本実施形態では、送信用圧電膜 4 1 3 B の厚み寸法  $t_A$  は、300 nm 以上 2750 nm 以下であり、受信用圧電膜 4 1 4 B の厚み寸法  $t_B$  は、600 nm 以上 3100

50

nm以下であり、 $t_B - t_A = 350 \text{ nm}$ となる。このような構成では、図10から図18に示すように、超音波デバイス4における超音波の送受信の性能指数 ( $\text{nm} \cdot \text{nV} / \text{Pa}$ ) が75000 ( $\text{nm} \cdot \text{nV} / \text{Pa}$ ) を超え、高い送受信効率の超音波デバイスを得ることができる。

【0057】

本実施形態では、第一開口411Aの開口幅 $L_A$ は、第二開口411Bの開口幅 $L_B$ よりも小さい。送信トランスデューサー421や受信トランスデューサー431の固有周波数は、第一開口411Aの開口幅 $L_A$ や第二開口411Bの開口幅 $L_B$ 、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ や受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ に依存し、開口幅 $L_A$ 、 $L_B$ が大きくなるに従って、また、厚み寸法 $t_A$ 、 $t_B$ が小さくなるに従って低減する。本実施形態では、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ が、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ よりも小さくなる。従って、第一開口411Aの開口幅 $L_A$ を第二開口411Bの開口幅 $L_B$ よりも小さくすることで、送信トランスデューサー421から送信させる超音波の周波数と、受信トランスデューサー431にて受信させる超音波の周波数とを略一致させることができる。

10

【0058】

本実施形態では、送信トランスデューサー421の固有周波数 $f_A$ は、受信トランスデューサー431の固有周波数 $f_B$ よりも、 $0.2 \text{ MHz} \sim 0.8 \text{ MHz}$  (より好ましくは $0.5 \text{ MHz}$ ) 大きく設定されている。

送信トランスデューサー421と受信トランスデューサー431との固有周波数を一致させると、送信トランスデューサー421から超音波を送信した際に、受信トランスデューサー431が共振し、ノイズ成分を含んだ出力電圧が出力され、超音波の受信精度に影響が出る。これに対して、本実施形態では、送信トランスデューサー421と受信トランスデューサー431との固有周波数がそれぞれ異なるため、上記のような共振によるノイズを低減でき、受信精度を向上できる。

20

【0059】

ここで、 $f_A - f_B < 0.2 \text{ MHz}$ となる場合では、超音波の送信時に受信トランスデューサー431の共振を十分に抑制できず受信精度が低下する。また、 $f_A - f_B > 0.8 \text{ MHz}$ となる場合、送信トランスデューサー421により送信される超音波の周波数と、受信トランスデューサー431にて好適に受信可能な超音波の周波数との差が大きくなるので、受信トランスデューサーにおける受信精度が低下する。これに対して、上記のような範囲とすることで、受信トランスデューサー431から出力される出力電圧へのノイズ成分の混入を抑制しつつ、送信トランスデューサー421から送信される超音波の反射波を、受信トランスデューサー431にて高い受信感度で受信することができ、超音波デバイス4における超音波の送受信効率の向上を図れる。

30

また、受信トランスデューサー431の固有周波数 $f_B$ を、送信トランスデューサー421の固有周波数 $f_A$ よりも小さくする。この場合、受信トランスデューサー431における第二開口411Bの開口幅 $L_B$ を大きくすることになるので、第二振動部412Bが撓みやすくなり、受信トランスデューサー431における受信感度の向上を図れる。

【0060】

本実施形態では、回路基板6には、分極電圧出力部63が設けられ、この分極電圧出力部63は、例えば超音波デバイス4における超音波の送受信処理を実施する前に、送信用圧電膜413Bに対して送信分極電圧 $V_A$ を印加して分極処理を行い、受信用圧電膜414Bに対して送信分極電圧 $V_A$ よりも大きい受信分極電圧 $V_B$ を印加して分極処理を行う。送信用圧電膜413Bに対して、受信分極電圧 $V_B$ を印加すると、電圧が大きすぎることで送信用圧電膜413Bに絶縁破壊が発生するおそれがあり、受信用圧電膜414Bに対して、送信分極電圧 $V_A$ を印加すると、十分な分極処理ができず受信感度が低下することが考えられる。これに対して、本実施形態では、送信用圧電膜413B及び受信用圧電膜414Bのそれぞれに対して最適な分極電圧を印加することができ、送信トランスデューサー421及び受信トランスデューサー431における送受信効率を高く維持すること

40

50

ができる。

【0061】

以上のように、本実施形態では、超音波デバイス4における送受信効率が高くなるので、超音波プローブ2を用いた生体への超音波測定を実施する場合においても、好適に超音波の送受信処理を行うことができる。また、制御装置10は、当該超音波デバイス4により得られた超音波測定の結果に基づいて、高精度な測定処理（例えば内部断層画像の生成や、血圧や血流の測定等）を行うことができる。

【0062】

[変形例]

なお、本発明は上述の各実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良、及び各実施形態を適宜組み合わせる等によって得られる構成は本発明に含まれるものである。

【0063】

上記実施形態において、送信用圧電膜413Bと受信用圧電膜414Bの厚み寸法の差が350nm以上であるとしたが、これに限定されない。例えば図14に示すように、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ を650nmとし、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ を800nmとしてもよい。

【0064】

上記実施形態において、第一開口411Aの開口幅 $L_A$ が、第二開口411Bの開口幅 $L_B$ よりも小さいとしたが、これに限定されない。

上述したように、送信トランスデューサー421における固有周波数と、受信トランスデューサー431の固有周波数とを異なる周波数とすることで、超音波の送信時に、受信トランスデューサー431の共振を避けることができる。この際、送信トランスデューサー421の固有周波数を、受信トランスデューサー431の固有周波数よりも小さくしてもよい。例えば、送信トランスデューサー421の固有周波数を7.5MHzとし、受信トランスデューサー431の固有周波数を8MHzとしてもよい。この場合では、例えば、図7に示すように、送信用圧電膜413Bの厚み寸法 $t_A$ を800nmとし、受信用圧電膜414Bの厚み寸法 $t_B$ を1300nmとし、第一開口411A及び第二開口411Bの開口幅 $L_A$ 、 $L_B$ を35 $\mu$ mとしてもよい。この場合、図11や図17に示すように、送受信の性能指数も75000を超える値となり、超音波デバイス4において、高い送受信効率での送受信処理が可能である。

【0065】

上記実施形態において、送信分極電圧 $V_A$ が、受信分極電圧 $V_B$ よりも小さい例を示したが、これに限定されない。分極電圧としては、送信用圧電膜413Bや、受信用圧電膜414Bにおいて、絶縁破壊が発生せず、かつ、200kV/cm以上の電界が印加されればよい。したがって、受信分極電圧 $V_B$ を送信用圧電膜413Bに印加した差に、絶縁破壊が発生しない場合では、送信用圧電膜413B及び受信用圧電膜414Bに対して、受信分極電圧 $V_B$ を印加してもよい。

【0066】

上記実施形態において、第一開口411A及び第二開口411Bが、素子基板411の厚み方向から見た際に正形状となる構成を例示したが、これに限定されない。例えば、円形状であってもよく、長形状であってもよい。

【0067】

上記実施形態では、超音波デバイス4は、素子基板411の第一開口411Aに超音波を送信し、第二開口411Bから入射する超音波を受信する構成例を示したが、これに限定されない。例えば、素子基板411の支持膜412とは反対側に図示略の補強板が設けられ、第一開口411Aとは反対側（送信圧電素子413側）に超音波を送信し、第二開口411Bとは反対側（受信圧電素子414側）から入射する超音波を受信する構成としてもよい。

【0068】

10

20

30

40

50

上記各実施形態では、生体の一部を測定対象とする超音波測定装置を例示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、各種構造物を測定対象として、当該構造物の欠陥の検出や老朽化の検査を行う超音波測定装置に、本発明を適用することができる。また、例えば、半導体パッケージやウェハ等を測定対象として、当該測定対象の欠陥を検出する超音波測定装置にも本発明を適用することができる。

【0069】

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

【符号の説明】

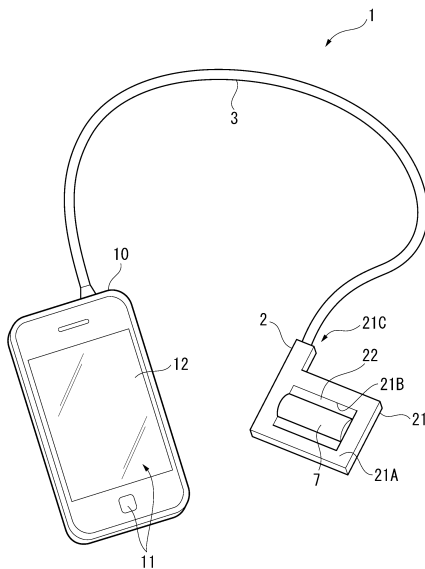
【0070】

1 ... 超音波測定装置、2 ... 超音波プローブ（超音波モジュール）、4 ... 超音波デバイス、6 ... 回路基板、10 ... 制御装置、14 ... 制御部、21 ... 筐体、22 ... 超音波センサー、40 ... 超音波トランスデューサー、41 ... 素子基板、42 ... 超音波送信部、43 ... 超音波受信部、61 ... 送信回路、62 ... 受信回路、63 ... 分極電圧出力部、64 ... 送信選択回路、65 ... 受信選択回路、411 ... 素子基板、411A ... 第一開口、411B ... 第二開口、411C ... 隔壁部、412 ... 支持膜、412A ... 第一振動部、412B ... 第二振動部、413 ... 送信圧電素子、413A ... 下部電極、413B ... 送信用圧電膜、414 ... 受信圧電素子、414A ... 下部電極、414B ... 受信用圧電膜、415 ... 上部電極、421 ... 送信トランスデューサー、431 ... 受信トランスデューサー、 $L_A$  ... 第一開口の開口幅、 $L_B$  ... 第二開口の開口幅、 $t_A$  ... 送信用圧電膜の厚み寸法、 $t_B$  ... 受信用圧電膜の厚み寸法。

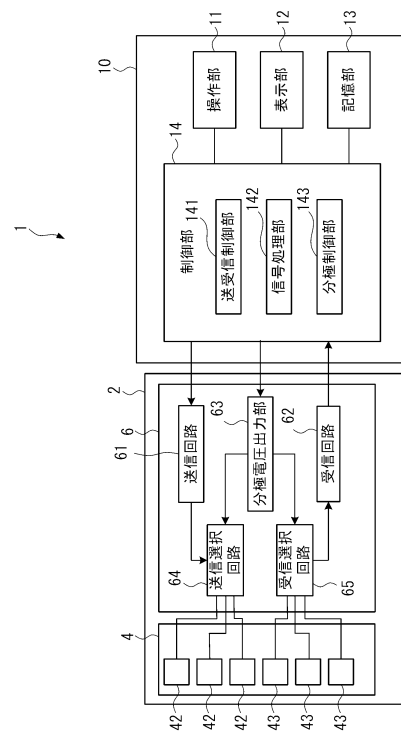
10

20

【図1】

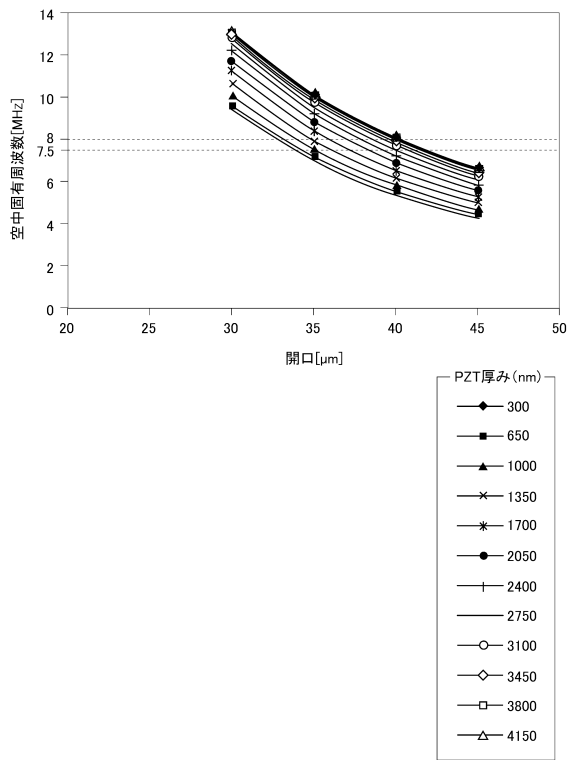


【図2】

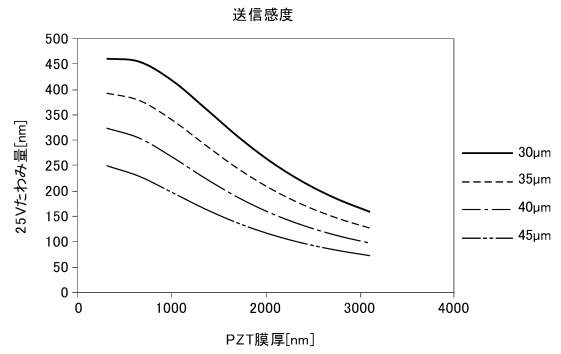




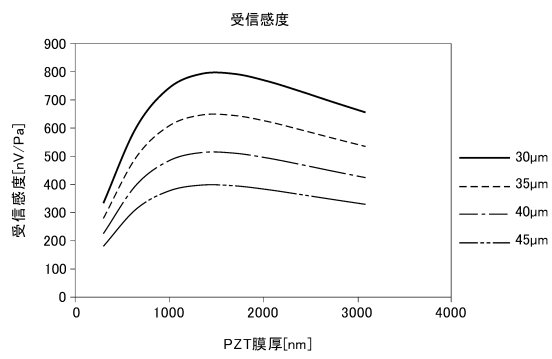
【 図 7 】



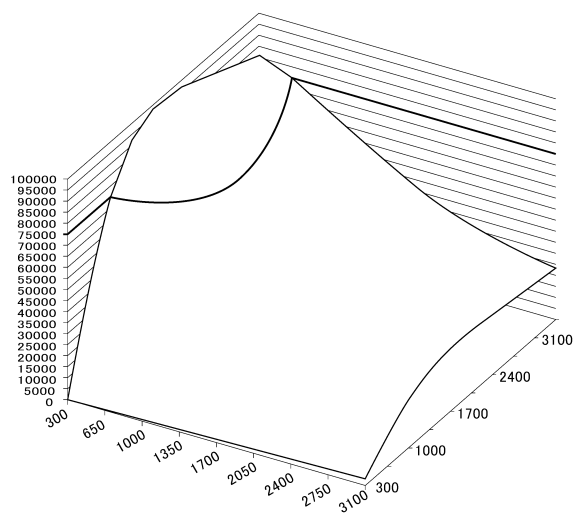
【 図 8 】



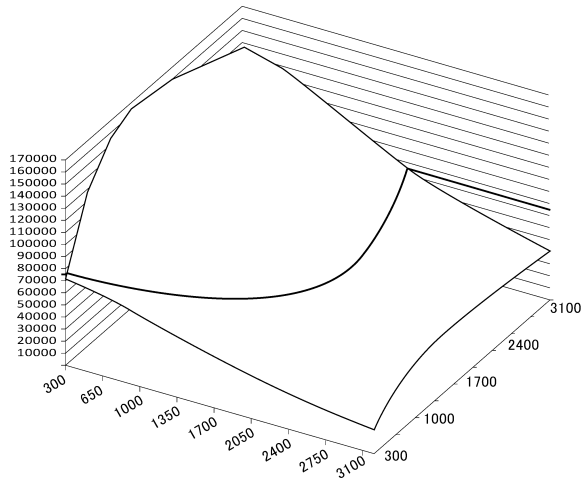
【 図 9 】



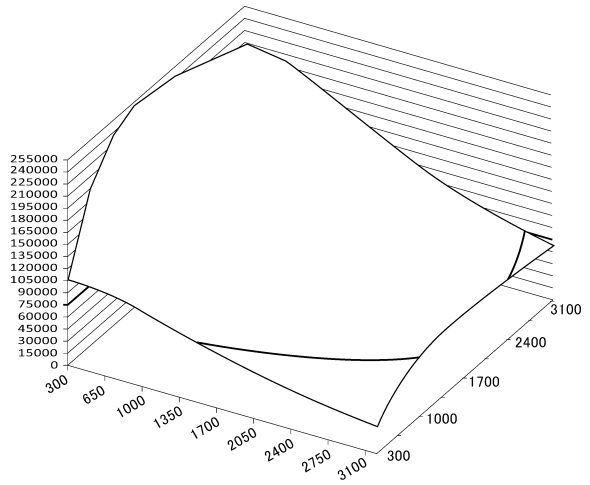
【 図 10 】



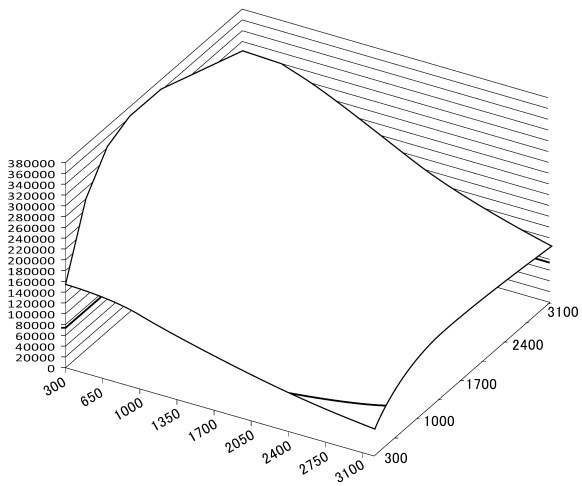
【図 1 1】



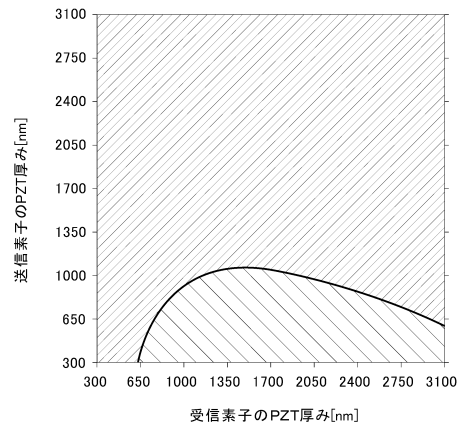
【図 1 2】



【図 1 3】

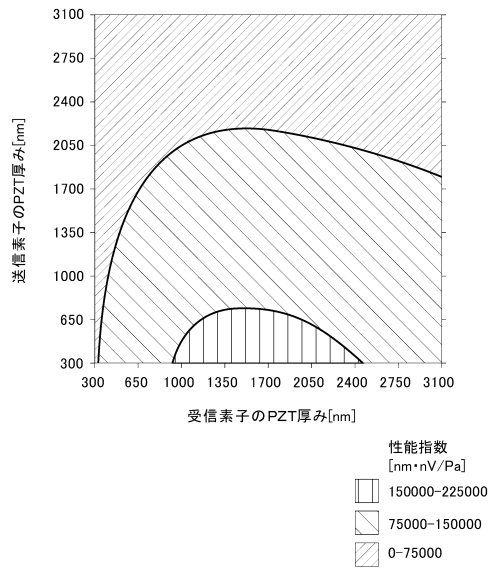


【図 1 4】

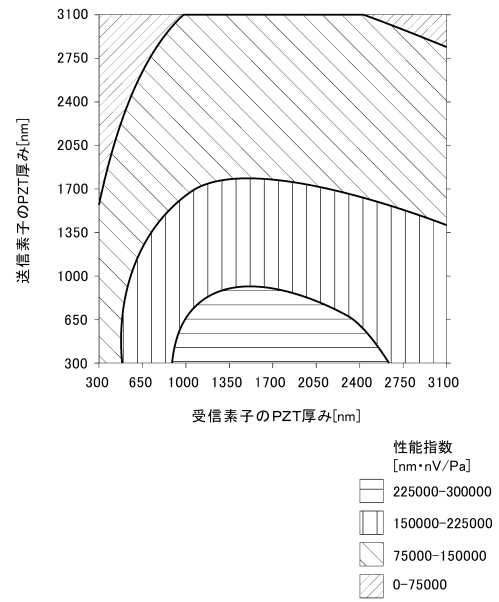


性能指数  
[nm·nV/Pa]  
75000-150000  
0-75000

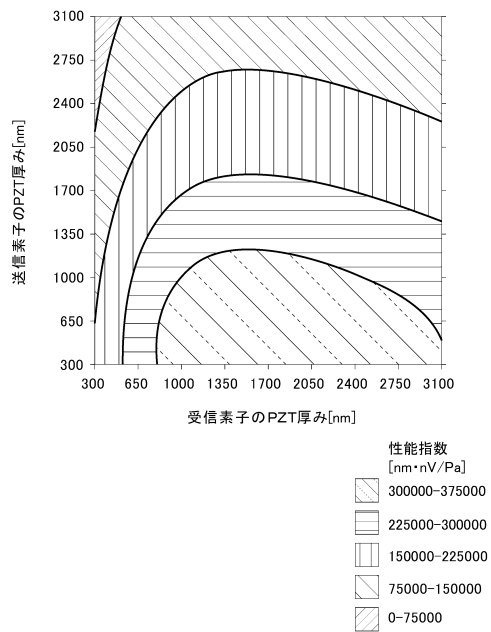
【図15】



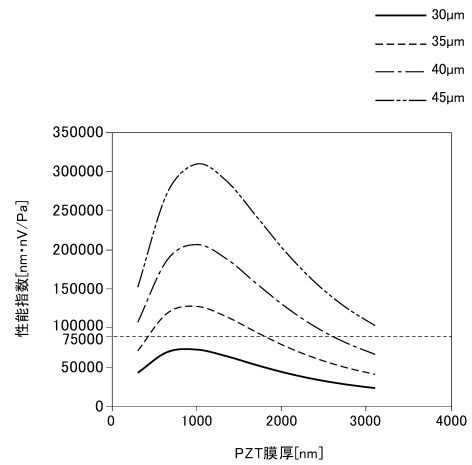
【図16】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 L 41/04

(72)発明者 山田 昌佳  
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 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 船坂 司  
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

審査官 鈴木 圭一郎

(56)参考文献 国際公開第2016/002971(WO, A1)  
特開2013-005137(JP, A)  
特開2011-234073(JP, A)  
特開2002-085361(JP, A)  
米国特許出願公開第2011/0062535(US, A1)  
国際公開第2009/078208(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 4 R 1 7 / 0 0  
A 6 1 B 8 / 1 4  
H 0 1 L 4 1 / 0 4  
H 0 1 L 4 1 / 0 9  
H 0 1 L 4 1 / 1 1 3  
B 0 6 B 1 / 0 0