

(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2017-228562

(P2017-228562A)

(43) 公開日 平成29年12月28日(2017.12.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/187 (2006.01)	HO 1 L 41/187	4 C 6 0 1
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/09	4 G 0 3 1
HO 1 L 41/113 (2006.01)	HO 1 L 41/113	
A 6 1 B 8/00 (2006.01)	A 6 1 B 8/00	
C 0 4 B 35/493 (2006.01)	C 0 4 B 35/49	

Q  
審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 47 頁)

(21) 出願番号 特願2016-121715 (P2016-121715)  
 (22) 出願日 平成28年6月20日 (2016.6.20)

(71) 出願人 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 鷺田 公一  
 (74) 代理人 100155620  
 弁理士 木曾 孝  
 (72) 発明者 小澤 仁  
 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  
 (72) 発明者 峯本 尚  
 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

最終頁に続く

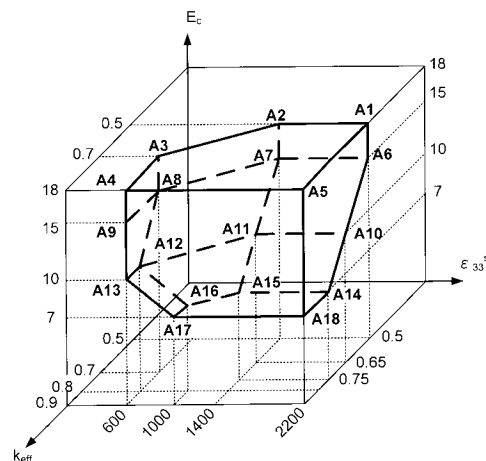
(54) 【発明の名称】 圧電素子、超音波探触子および超音波撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた超音波探触子を提供する。

【解決手段】 上記超音波探触子は、圧電組成物と、圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子を有する。圧電組成物は、 $k_{eff, 33}^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff, 33}^S, E_c$ ) において所定の複数の点を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子と、前記圧電素子の背面で前記圧電素子と音響的に結合している音響背面層と、を有する超音波探触子であって、

前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_3^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 A 1 から点 A 1 8 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する、

超音波探触子。

点 A 1 (0.5, 2200, 18)

点 A 2 (0.5, 1400, 18)

点 A 3 (0.7, 600, 18)

点 A 4 (0.9, 600, 18)

点 A 5 (0.9, 2200, 18)

点 A 6 (0.5, 2200, 15)

点 A 7 (0.5, 1400, 15)

点 A 8 (0.7, 600, 15)

点 A 9 (0.9, 600, 15)

点 A 10 (0.65, 2200, 10)

点 A 11 (0.65, 1400, 10)

点 A 12 (0.8, 600, 10)

点 A 13 (0.9, 600, 10)

点 A 14 (0.75, 2200, 7)

点 A 15 (0.75, 1400, 7)

点 A 16 (0.8, 1000, 7)

点 A 17 (0.9, 1000, 7)

点 A 18 (0.9, 2200, 7)

10

20

## 【請求項 2】

複数の圧電組成物と、前記複数の圧電組成物に電圧をそれぞれ印加するための電極とを備えており、前記圧電組成物の層と、前記電極とが交互に重ねられて構成されている圧電素子を有する超音波探触子であって、

前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_3^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 B 1 から点 B 1 4 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する、

超音波探触子。

点 B 1 (0.5, 2200, 18)

点 B 2 (0.5, 600, 18)

点 B 3 (0.9, 600, 18)

点 B 4 (0.9, 2200, 18)

点 B 5 (0.5, 2200, 15)

点 B 6 (0.5, 600, 15)

点 B 7 (0.65, 2200, 9)

点 B 8 (0.65, 1000, 9)

点 B 9 (0.75, 600, 9)

点 B 10 (0.9, 600, 9)

点 B 11 (0.8, 2200, 7)

点 B 12 (0.8, 1000, 7)

点 B 13 (0.9, 1000, 7)

30

40

50

点 B 1 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

【請求項 3】

前記圧電組成物は、下記点 B 5 1 から点 B 6 4 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する、請求項 2 に記載の超音波探触子。

点 B 5 1 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 5 2 ( 0 . 5 , 1 4 0 0 , 1 8 )

点 B 5 3 ( 0 . 6 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 5 4 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 5 5 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 5 6 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 7 )

点 B 5 7 ( 0 . 5 , 1 4 0 0 , 1 7 )

点 B 5 8 ( 0 . 6 , 6 0 0 , 1 7 )

点 B 5 9 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 1 )

点 B 6 0 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 1 )

点 B 6 1 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 9 )

点 B 6 2 ( 0 . 7 5 , 1 0 0 0 , 9 )

点 B 6 3 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 9 )

点 B 6 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 9 )

10

【請求項 4】

単層の圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子を有しており、かつ前記圧電素子の背面で前記圧電素子と音響的に結合する音響背面層を有さない超音波探触子であって、

20

前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  ( k V / c m ) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 (  $k_{eff}$  ,  $\epsilon_3^S$  ,  $E_c$  ) において下記点 C 1 から点 C 1 8 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する、

超音波探触子。

点 C 1 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 C 2 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 8 )

点 C 3 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 8 )

点 C 4 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )

点 C 5 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 C 6 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 3 )

点 C 7 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 3 )

点 C 8 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 3 )

点 C 9 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 3 )

点 C 1 0 ( 0 . 6 , 2 2 0 0 , 1 0 )

点 C 1 1 ( 0 . 6 , 1 4 0 0 , 1 0 )

点 C 1 2 ( 0 . 8 , 6 0 0 , 1 0 )

点 C 1 3 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 0 )

点 C 1 4 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 7 )

点 C 1 5 ( 0 . 7 5 , 1 4 0 0 , 7 )

点 C 1 6 ( 0 . 8 , 1 2 0 0 , 7 )

点 C 1 7 ( 0 . 9 , 1 2 0 0 , 7 )

点 C 1 8 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

30

40

【請求項 5】

前記圧電組成物の厚みは、0.02 ~ 1 mm である、請求項 4 に記載の超音波探触子。

【請求項 6】

送受信帯域の中心周波数は、7 MHz 以上である、請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の超音波探触子。

50

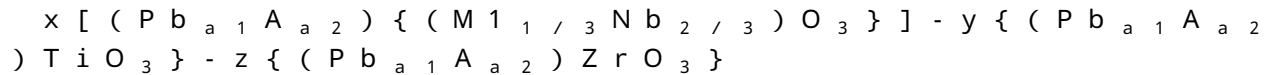
## 【請求項 7】

前記圧電組成物は、その電気機械結合係数を  $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、下記式を満足する、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の超音波探触子。

$$\begin{aligned} k_{33} & 0.65 \\ \epsilon_{33}^S & 1000 \\ E_c & 12 \end{aligned}$$

## 【請求項 8】

前記圧電組成物の主成分の組成は、下記一般式で表される、請求項 7 に記載の超音波探触子。

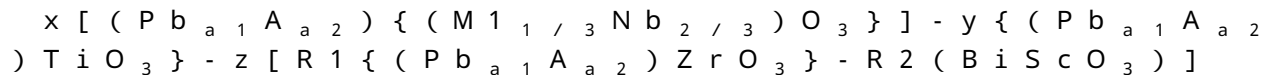


(ただし、上記一般式において、A は Ba または Sr であり、M1 は Mg、または Mg および Zn であり、かつ下記式が満足される。

$$\begin{aligned} 0 < a_2 < 0.1 \\ a_1 + a_2 & = 1 \\ x + y + z & = 1 \\ 0.1 < x < 0.375 \\ 0.5 < y / (y + z) < 0.64 \end{aligned}$$

## 【請求項 9】

前記圧電組成物の主成分の組成は、下記一般式で表される請求項 8 に記載の超音波探触子。



(ただし、上記一般式において、A は Ba または Sr であり、M1 は Mg、または Mg および Zn であり、かつ下記式が満足される。

$$\begin{aligned} 0 < a_2 < 0.1 \\ a_1 + a_2 & = 1 \\ x + y + z & = 1 \\ 0.1 < x < 0.25 \\ 0.5 < y / (y + z) < 0.64 \\ 0 < R2 < 0.25 \end{aligned}$$

## 【請求項 10】

前記圧電組成物は、副成分として、特定の面方位に配向しているセラミックスのシード粒子、酸化鉛、酸化ビスマス、ドナーおよびアクセプターからなる群から選ばれる一以上を含んでいる、請求項 8 または 9 に記載の超音波探触子。

## 【請求項 11】

前記圧電組成物は、特定の面方位に配向しているセラミックスである、請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の超音波探触子。

## 【請求項 12】

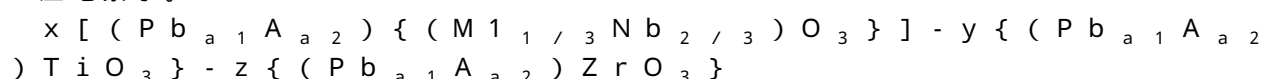
前記圧電組成物は、特定の面方位を有する単結晶である、請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載の超音波探触子。

## 【請求項 13】

下記一般式で表される組成を主成分とする圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極と、を備えており、

前記圧電組成物は、その電気機械結合係数を  $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、下記式 (1) ~ (3) を満足する、

圧電素子。



10

20

30

40

50

(ただし、上記一般式において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式(4)~(8)が満足される。)

$$k_{33} = 0.65 \quad (1)$$

$$k_{33}^S = 1000 \quad (2)$$

$$E_c = 12 \quad (3)$$

$$0 < a_2 < 0.1 \quad (4)$$

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (5)$$

$$x + y + z = 1 \quad (6)$$

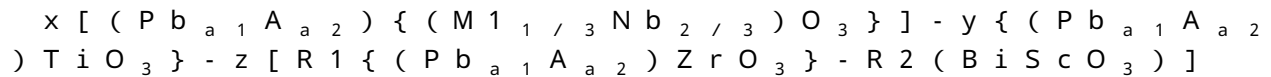
$$0.1 < x < 0.375 \quad (7)$$

$$0.5 < y / (y + z) < 0.64 \quad (8)$$

10

#### 【請求項14】

前記圧電組成物は、下記一般式で表される組成を主成分とする、請求項13に記載の圧電素子。



(ただし、上記一般式において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。)

$$0 < a_2 < 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 < x < 0.25$$

$$0.5 < y / (y + z) < 0.64$$

$$0 < R2 < 0.25$$

20

#### 【請求項15】

前記圧電組成物は、副成分として、特定の面方位に配向しているセラミックスのシード粒子、酸化鉛、酸化ビスマス、ドナーおよびアクセプターからなる群から選ばれる一以上を含んでいる、請求項13または14に記載の圧電素子。

#### 【請求項16】

前記圧電組成物は、特定の面方位に配向しているセラミックスである、請求項13~15のいずれか一項に記載の圧電素子。

30

#### 【請求項17】

前記圧電組成物は、特定の面方位を有する単結晶である、請求項13~15のいずれか一項に記載の圧電素子。

#### 【請求項18】

請求項13~17のいずれか一項に記載の圧電素子を有する、超音波探触子。

#### 【請求項19】

請求項1~12および請求項18のいずれか一項に記載の超音波探触子を有する、超音波撮像装置。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

40

#### 【0001】

本発明は、圧電素子、超音波探触子、およびその超音波探触子を有する超音波撮像装置に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

医療分野において利用されている超音波撮像装置における超音波探触子は、圧電組成物と、圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子を有する。超音波撮像装置では、圧電組成物を電気信号により振動させることで、超音波が発生して送信される。そして、被検体で反射した超音波は、超音波探触子により受信される。これにより、超音波撮像装置は、被検体の超音波画像を得ることができる。

50

## 【0003】

超音波に対して高い感度を有する超音波探触子を実現する観点から、超音波探触子は、高い比誘電率、抗電界および電気機械結合係数を有する圧電組成物を備えていることが好ましい。このような超音波探触子の例として、所定の組成のジルコニウムを含むペロブスカイト型構造を有する圧電組成物を備えている超音波探触子が知られている（例えば、特許文献1参照）。当該超音波探触子の圧電組成物は、4000以上の比誘電率と、5.3～10kV/cm程度の抗電界とを有する。ここで、上記特許文献1に記載の圧電組成物の比誘電率は、分極処理後であって十分に低い周波数（通常、1kHz）で測定された値であり、すなわち自由状態における比誘電率（ $\epsilon^T$ ）である。

## 【0004】

また、上記超音波探触子の他の例として、BiScO<sub>3</sub>系の固溶体である圧電組成物を備えている圧電素子が知られている（例えば、特許文献2参照）。当該圧電素子の圧電組成物の比誘電率も低い周波数で測定されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特許第5063606号公報

【特許文献2】特開2006-188414号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

圧電素子と音響的に結合している音響背面層を有する場合、中心周波数が高い超音波（例えば、中心周波数7MHz以上）を用いる場合、または圧電素子が積層されている場合のように、厚みが小さい圧電組成物が用いられる場合がある。このような場合、超音波撮像装置のさらなる高性能化の観点から、高い駆動電圧で駆動でき、超音波に対して従来よりも高い感度を有する超音波探触子が望まれている。

## 【0007】

また、上記の場合、圧電組成物はほぼ束縛された状態にある。すなわち、実際の超音波探触子における圧電組成物は、他の部材（例えば、音響背面層）に接着剤などで固定されており、ある程度束縛された状態にある。さらに、超音波の周波数が反共振周波数近傍か、または反共振周波数より高いとき、圧電組成物は、ほぼ束縛された状態となる。このため、超音波探触子のプローブ設計をする場合には、分極処理後における自由状態の比誘電率 $\epsilon^T$ （以下、「自由比誘電率」ともいう）ではなく、分極処理後における束縛状態の比誘電率 $\epsilon^S$ （以下、「束縛比誘電率」ともいう）が重要となる。

## 【0008】

このため、自由比誘電率を考慮したプローブ設計では、厚みが小さい圧電素子を有する超音波探触子において、所望の圧電特性を実現できず、超音波に対する十分な感度を得られないことがある。従来、上記特許文献からも明らかなように、自由比誘電率に着目されている圧電組成物を有する圧電素子を備えた超音波探触子は知られている。

## 【0009】

超音波探触子としては、分極方向（電界方向）に平行な方向（縦方向）の振動モードに対する電気機械結合係数が高いことが好ましいが、分極方向（電界方向）に垂直な方向（横方向）の振動モードに対する電気機械結合係数は小さいことが好ましい。従来、特許文献2からも明らかなように、PMN-PZT系の圧電組成物の一部をBiScO<sub>3</sub>で置換した圧電組成物を有する圧電素子として、上記横方向の電気機械結合係数（ $k_p$ 、 $k_{31}$ ）に着目した圧電スピーカや圧電ポンプなどの低周波数用の圧電部品は知られている。しかし、上記圧電組成物を有する圧電素子であって、超音波領域の束縛比誘電率 $\epsilon_{33}^S$ および電気機械結合係数 $k_{33}$ を考慮した圧電素子は、全く知られていない（なお、PMNは、Pb(Mg<sub>1/3</sub>Nb<sub>2/3</sub>)O<sub>3</sub>を表し、PZTは、Pb(ZrTi)O<sub>3</sub>をそれぞれ表す）。

10

20

30

40

50

## 【0010】

さらに、束縛比誘電率、および上記縦方向の電気機械結合係数または実効的電気機械結合係数に着目されている超音波探触子であって、束縛比誘電率、抗電界および実効的電気機械結合係数がいずれも十分に高い圧電組成物を有する超音波探触子は知られていない。したがって、圧電組成物の厚みが小さい場合、超音波に対する十分な感度が得られないことがある。

## 【0011】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた圧電素子および超音波探触子を提供することを第1の課題とする。また、本発明は、この超音波探触子を有する超音波撮像装置を提供することを第2の課題とする。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0012】

上記第1の課題を解決するための第1の手段として、圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子と、前記圧電素子の背面で前記圧電素子と音響的に結合している音響背面層と、を有する超音波探触子であって、前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_3^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 A1 から点 A18 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する超音波探触子を提供する。

20

点 A1 (0.5, 2200, 18)

点 A2 (0.5, 1400, 18)

点 A3 (0.7, 600, 18)

点 A4 (0.9, 600, 18)

点 A5 (0.9, 2200, 18)

点 A6 (0.5, 2200, 15)

点 A7 (0.5, 1400, 15)

点 A8 (0.7, 600, 15)

点 A9 (0.9, 600, 15)

点 A10 (0.65, 2200, 10)

点 A11 (0.65, 1400, 10)

点 A12 (0.8, 600, 10)

点 A13 (0.9, 600, 10)

点 A14 (0.75, 2200, 7)

点 A15 (0.75, 1400, 7)

点 A16 (0.8, 1000, 7)

点 A17 (0.9, 1000, 7)

点 A18 (0.9, 2200, 7)

30

## 【0013】

上記第1の課題を解決するための第2の手段として、複数の圧電組成物と、前記複数の圧電組成物に電圧をそれぞれ印加するための電極とを備えており、前記圧電組成物の層と、前記電極とが交互に重ねられて構成されている圧電素子を有する超音波探触子であって、前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_3^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 B1 から点 B14 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する超音波探触子を提供する。

40

点 B1 (0.5, 2200, 18)

点 B2 (0.5, 600, 18)

点 B3 (0.9, 600, 18)

点 B4 (0.9, 2200, 18)

50

点 B 5 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 5 )  
 点 B 6 ( 0 . 5 , 6 0 0 , 1 5 )  
 点 B 7 ( 0 . 6 5 , 2 2 0 0 , 9 )  
 点 B 8 ( 0 . 6 5 , 1 0 0 0 , 9 )  
 点 B 9 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 9 )  
 点 B 1 0 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 9 )  
 点 B 1 1 ( 0 . 8 , 2 2 0 0 , 7 )  
 点 B 1 2 ( 0 . 8 , 1 0 0 0 , 7 )  
 点 B 1 3 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 7 )  
 点 B 1 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

10

## 【 0 0 1 4 】

上記第 1 の課題を解決するための第 3 の手段として、単層の圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子を有しており、かつ前記圧電素子の背面で前記圧電素子と音響的に結合する音響背面層を有さない超音波探触子であって、前記圧電組成物は、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (  $kV/cm$  ) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 (  $k_{eff}$  ,  $\epsilon_{33}^S$  ,  $E_c$  ) において下記点 C 1 から点 C 1 8 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する超音波探触子を提供する。

点 C 1 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )  
 点 C 2 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 8 )  
 点 C 3 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 8 )  
 点 C 4 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )  
 点 C 5 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )  
 点 C 6 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 3 )  
 点 C 7 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 3 )  
 点 C 8 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 3 )  
 点 C 9 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 3 )  
 点 C 1 0 ( 0 . 6 , 2 2 0 0 , 1 0 )  
 点 C 1 1 ( 0 . 6 , 1 4 0 0 , 1 0 )  
 点 C 1 2 ( 0 . 8 , 6 0 0 , 1 0 )  
 点 C 1 3 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 0 )  
 点 C 1 4 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 7 )  
 点 C 1 5 ( 0 . 7 5 , 1 4 0 0 , 7 )  
 点 C 1 6 ( 0 . 8 , 1 2 0 0 , 7 )  
 点 C 1 7 ( 0 . 9 , 1 2 0 0 , 7 )  
 点 C 1 8 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

20

30

## 【 0 0 1 5 】

上記第 1 の課題を解決するための第 4 の手段として、下記一般式で表される組成を主成分とする圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極と、を備えており、前記圧電組成物は、その電気機械結合係数を  $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (  $kV/cm$  ) としたときに、下記式 ( 1 ) ~ ( 3 ) を満足する、圧電素子を提供する。

40

$$x [ ( P b_{a1} A_{a2} ) \{ ( M 1_{1/3} N b_{2/3} ) O_3 \} ] - y \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) T i O_3 \} - z \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) Z r O_3 \}$$

( ただし、上記一般式において、A は B a または S r であり、M 1 は M g、または M g および Z n であり、かつ下記式 ( 4 ) ~ ( 8 ) が満足される。 )

$$k_{33} = 0 . 6 5 \quad ( 1 )$$

$$\epsilon_{33}^S = 1 0 0 0 \quad ( 2 )$$

$$E_c = 1 2 \quad ( 3 )$$

$$0 < a 2 < 0 . 1 \quad ( 4 )$$

50

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (5)$$

$$x + y + z = 1 \quad (6)$$

$$0.1x + 0.375 \quad (7)$$

$$0.5y / (y + z) + 0.64 \quad (8)$$

【0016】

上記第2の課題を解決するための一手段として、上記の超音波探触子を有する超音波撮像装置を提供する。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた圧電素子および超音波探触子を提供することができ、この超音波探触子を有する超音波撮像装置を提供することができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】図1は、本発明の実施の形態1に係る超音波探触子の構成の一例を示す断面模式図である。

【図2】図2は、本発明の実施の形態1に係る圧電組成物の圧電特性を概略的に示す図である。

【図3】図3Aは、本発明の実施の形態に係る超音波撮像装置の構成の一例を模式的に示す図であり、図3Bは、本発明の実施の形態に係る超音波撮像装置の電氣的な構成の一例を示すブロック図である。

20

【図4】図4は、本発明の実施の形態2に係る超音波探触子の構成の一例を示す断面模式図である。

【図5】図5は、本発明の実施の形態2に係る圧電組成物の圧電特性を概略的に示す図である。

【図6】図6は、本発明の実施の形態2に係る圧電組成物の圧電特性を概略的に示す図である。

【図7】図7は、本発明の実施の形態2に係る超音波探触子の構成の一例を示す断面模式図である。

【図8】図8は、本発明の実施の形態3に係る圧電組成物の圧電特性を概略的に示す図である。

30

【図9】図9は、本発明の実施の形態4に係る超音波探触子の構成の一例を示す断面模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

中心周波数が高い超音波を発生させる観点からは、圧電素子を構成する圧電組成物の厚みを小さくする必要がある。圧電組成物の抗電界の大きさが同じ場合、圧電組成物の厚みが小さくなるにつれて、圧電素子に印加できる電圧の大きさは小さくなる。圧電組成物の抗電界が小さすぎると、圧電素子に高い電圧を印加することができず、超音波の出力を大きくすることができなくなる。この結果として、超音波探触子としての感度を高めることが困難となる。したがって、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度を高める観点からは、超音波探触子の圧電組成物は、大きい抗電界を有することが好ましい。

40

【0020】

一方で、抗電界が大きくなるにつれて、圧電組成物の比誘電率は小さくなる傾向にある。圧電組成物の比誘電率が小さくなるほど、その圧電組成物を用いた圧電素子の電氣的インピーダンスは大きくなる。超音波に対する感度を高める観点からは、上記電氣的インピーダンスは、超音波撮像装置の送信回路および受信回路の電氣的インピーダンスと整合させる必要がある。既存の超音波探触子において、圧電組成物の電氣的インピーダンスは、上記送信回路および受信回路の電氣的インピーダンスより大きい場合が多く、圧電素子の

50

電氣的インピーダンスの低減が望まれている。すなわち、超音波探触子における電氣的インピーダンスを整合させ、超音波に対する感度を高める観点から、超音波探触子の圧電組成物は、高い比誘電率を有することが好ましい。

【0021】

前述のとおり、本発明者らは、自由比誘電率  $\epsilon'$  に代えて、束縛比誘電率  $\epsilon''$  に着目するとともに、実効的電気機械結合係数  $k_{eff}$  にさらに着目した。

【0022】

本発明では、束縛比誘電率、抗電界、および実効的電気機械結合係数がいずれも十分である圧電組成物を備え、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対して高い感度を有する圧電素子および超音波探触子を実現することを目的としている。また、本発明では、当該超音波探触子を有する超音波撮像装置を実現することも目的としている。以下、本発明の実施の形態を説明する。

10

【0023】

[実施の形態1]

実施の形態1に係る超音波探触子は、音響背面層を有することを構造上の特徴とする。

【0024】

図1は、実施の形態1に係る超音波探触子の構成の一例を示す断面模式図である。本実施の形態に係る超音波探触子100aは、背面負荷材110、音響背面層120、圧電素子130a、音響整合層140、フレキシブルプリント基板(FPC、不図示)を有する。

20

【0025】

超音波探触子100aは、圧電素子130a以外は、公知の超音波探触子と同様に構成することが可能である。たとえば、圧電素子130aには、不図示のFPCにて電極が取り付けられ、超音波探触子100aが接続された超音波撮像装置で制御される超音波の送受信駆動により、任意のビームフォーミングが可能となる。

【0026】

本実施の形態に係る超音波探触子100aにおける超音波の送受信帯域の中心周波数は、特に限定されない。超音波探触子100aの分解能を高める観点からは、7MHz以上であることが好ましく、10MHz以上であることがより好ましく、12MHz以上であることがさらに好ましい。また、上記中心周波数は、超音波の減衰を抑制する観点からは、30MHz以下であることが好ましい。送受信帯域とは、圧電素子130aが送信し、受信する超音波の周波数帯域をいう。中心周波数は、超音波の最大ピーク値が-6dB低下するまでの周波数帯域における上限周波数と下限周波数との平均値をいう。

30

【0027】

上記中心周波数は、超音波探触子100aの用途に応じて適宜設定されうる。上記中心周波数は、圧電素子130aの厚みが小さいほど、大きくすることができる。

【0028】

(背面負荷材)

背面負荷材110は、圧電素子130aの音響インピーダンスより大きい音響インピーダンスを有し、不要な超音波を吸収するための超音波吸収体である。本実施の形態では、背面負荷材110は、音響背面層120を支持している。背面負荷材110は、圧電素子130aにおける被検体(例えば生体)に超音波を送信し、被検体からの超音波を受信する方向と反対側の面(裏面、背面)に装着され、被検体の方向の反対側に発生する超音波を吸収する。

40

【0029】

背面負荷材110の材料の例には、天然ゴム、フェライトゴム、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、熱可塑性樹脂、および、これらの材料の少なくともいずれかと酸化タンゲステンや酸化チタン、フェライトなどの粉末との混合物をプレス成形した樹脂系複合材が含まれる。また、背面負荷材110の材料の他の例には、当該樹脂系複合材を粉碎し、上記熱可塑性樹脂やエポキシ樹脂などの他の材料と混合し、硬化させた材料が含まれる。

50

## 【0030】

上記熱可塑性樹脂の例には、塩化ビニル、ポリビニルブチラール、ABS樹脂、ポリウレタン、ポリビニルアルコール、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリアセタール、ポリエチレンテレフタレート、フッ素樹脂、ポリエチレングリコール、および、ポリエチレンテレフタレート-ポリエチレングリコール共重合体が含まれる。背面負荷材110の材料としては、中でも樹脂系複合材、その中でも特にゴム系複合材料またはエポキシ樹脂系複合材が好ましい。

## 【0031】

また、背面負荷材110には、必要に応じて他の配合剤が添加されていてもよい。たとえば、背面負荷材110の音響インピーダンスを調整する観点から、マコールガラスやガラスなどの無機材料、空隙を有する多孔質材料が背面負荷材110に添加されていてもよい。

10

## 【0032】

背面負荷材110の形状は、圧電素子130aや、圧電素子130aを有する超音波探触子100aなどの形状に応じて、適宜に決めることができる。

## 【0033】

背面負荷材110の厚みは、1~30mmの範囲内であることが好ましく、1~10mmの範囲内であることがより好ましい。

## 【0034】

なお、背面負荷材110および後述のFPCは、例えば、当該技術分野で通常使用される接着剤（例えば、エポキシ系接着剤）で互いに接着され得る。

20

## 【0035】

（音響背面層）

音響背面層120は、圧電素子130aの背面側に配置されており、圧電素子130aの振動モードを変化させる。音響背面層120は、圧電素子130aと音響的に結合されている。ここで、圧電素子の正面とは、被検体に向けて超音波を送信し、被検体からの超音波を受信する側に配置された面をいい、圧電素子の背面とは、正面に対して圧電素子の反対側に配置された面をいう。音響背面層120は、圧電組成物130aの音響インピーダンスと異なる音響インピーダンスを有していてもよいし、同程度の音響インピーダンスを有していてもよい。

30

## 【0036】

また、音響背面層120を音響反射層として機能させる場合には、音響背面層120の音響インピーダンスは、圧電組成物131aの音響インピーダンスより大きい。この場合、音響背面層120は、圧電素子130aの背面に装着され、被検体に対して反対（圧電素子130aの背面）側に送信された超音波を反射する。超音波に対する感度を高める観点から、超音波探触子100aは、音響背面層120を有していることが好ましい。

## 【0037】

音響背面層120の材料は、特に限定されない。音響背面層120の材料の例には、タングステンおよびタンタルが含まれる。また、音響背面層120は、分極処理されていない圧電組成物であってもよい。中でも、音響背面層120が音響反射層の場合に反射効率の観点からは、音響背面層120の材料としては、タングステンカーバイドであることが好ましい。

40

## 【0038】

音響背面層120の厚みは、中心周波数の大きさや音響設計などに応じて適宜決定される。音響背面層120の厚みは、0.01~1mmの範囲内であることが好ましく、0.02~0.4mmの範囲内であることがより好ましい。

## 【0039】

（圧電素子）

圧電素子130aは、電気信号を機械的な振動に変換することができ、機械的な振動を電気信号に変換することもできる。これにより、圧電素子130aは、超音波を送信し、

50

受信することができる。

【0040】

なお、圧電素子130aおよび音響背面層120の接着性を高める観点から、圧電素子130aおよび音響背面層120の少なくとも一部は、接着層で互いに接着されていることが好ましい。接着層の材料としては、例えば、シリコン系接着剤やエポキシ系接着剤などを使用することができる。

【0041】

圧電素子130aの形状は、用途に応じて適宜設定されうる。たとえば、圧電素子130dの形状は、直方体形状であってもよいし、円柱形状であってもよい。また、圧電素子130aの形状は、厚みが中央部から周辺部に亘って一定である形状であってもよいし、厚みが中央部から周辺部に近づくほど薄くなるハナフィーレンズ形状であってもよい。圧電素子130aの形状がハナフィーレンズ形状であることは、超音波に対する感度を高める観点から好ましい。

10

【0042】

本実施の形態に係る圧電素子130aは、圧電組成物131aと、圧電組成物131aに電圧を印加するための電極132とを備えている。本実施の形態では、単層の圧電組成物131aの両面において、2つの電極132が、圧電組成物131aを挟んで互いに対向するように配置されている。

【0043】

圧電組成物131aは、圧電性を有していればよく、セラミックスであってもよいし、配向セラミックスであってもよいし、無機・有機コンポジットであってもよいし、単結晶であってもよい。

20

【0044】

図2は、実施の形態1に係る圧電組成物131aの圧電特性を概略的に示す図である。圧電組成物131aは、図2に示されるように、その実効的電気機械結合係数を $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を $E_c$  (kV/cm)としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$ および $E_c$ を変数とする直交座標( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ )において下記点A1から点A18を頂点とする第1多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。

点A1 (0.5, 2200, 18)

点A2 (0.5, 1400, 18)

点A3 (0.7, 600, 18)

点A4 (0.9, 600, 18)

点A5 (0.9, 2200, 18)

点A6 (0.5, 2200, 15)

点A7 (0.5, 1400, 15)

点A8 (0.7, 600, 15)

点A9 (0.9, 600, 15)

点A10 (0.65, 2200, 10)

点A11 (0.65, 1400, 10)

点A12 (0.8, 600, 10)

点A13 (0.9, 600, 10)

点A14 (0.75, 2200, 7)

点A15 (0.75, 1400, 7)

点A16 (0.8, 1000, 7)

点A17 (0.9, 1000, 7)

点A18 (0.9, 2200, 7)

30

40

【0045】

$k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$ 、および $E_c$ の少なくとも1つが小さすぎて、圧電組成物131aが上記第1多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない場合には、超音波に対す

50

る感度が十分に得られない。また、 $k_{eff}$ 、 $\lambda_{33}^S$ 、および  $E_c$  の少なくとも1つが大きすぎて、上記第1多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない圧電組成物131aは、現実的に作製することが困難となるため、好ましくない。

【0046】

ここで、「実効的電気機械結合係数  $k_{eff}$ 」とは、超音波探触子100aに組み込まれている圧電組成物131aが有する実効的な電気機械結合係数（圧電組成物131aに与えられた電気的エネルギーと、機械的エネルギーとの変換能力を示す係数）を表す。 $k_{eff}$ は、超音波探触子100aにおける圧電組成物131aの振動モードと、超音波探触子100aの構造とに依存する値である。

【0047】

上記  $k_{eff}$  は、超音波探触子として実際に用いられるときの形状に加工された圧電組成物131aについて、市販のインピーダンスアナライザを用いて、共振・反共振法によって測定され得る。

【0048】

上記  $k_{eff}$  は、圧電組成物131aの組成や、圧電組成物131aの理論密度に対する相対密度（圧電組成物131aがセラミックスの場合）、圧電組成物131aの結晶方位などによって調整することが可能である。圧電組成物131aの組成が組成相境界（MPB）に近づくほど、上記  $k_{eff}$  は大きくなる傾向にある。また、圧電組成物131aの相対密度が大きくなるほど、上記  $k_{eff}$  は、大きくなる傾向にある。

【0049】

また、「束縛比誘電率  $\lambda_{33}^S$ 」とは、圧電組成物131aの歪みが一定の場合の33方向に沿う比誘電率を表し、反共振周波数と比較して十分に高い周波数（例えば、中心周波数7MHz以上）での比誘電率を意味する。超音波探触子100aでは、共振周波数から反共振周波数までの間の周波数と同じか、それ以上の周波数を用いられ、かつ他の部に接着剤などにより固定されているため、圧電組成物131aは、ほぼ束縛されている。このため、超音波探触子としては、自由比誘電率  $\lambda_{33}^T$  ではなく、束縛比誘電率  $\lambda_{33}^S$  が重要なパラメータとなる。

【0050】

上記  $\lambda_{33}^S$  は、分極方向に垂直な方向の長さと比較して、分極方向に平行な方向の長さが大きい棒状（33形状）の圧電組成物131a（例えば、1mm×1mm×3mmの大きさの長手方向に分極した圧電組成物）について、市販のインピーダンスアナライザによって測定され得る。このとき、周波数としては、33モードの反共振周波数より十分に大きい周波数（例えば、10MHz）が使用される。なお、上記  $\lambda_{33}^S$  の調整法については後述する。

【0051】

さらに、「抗電界  $E_c$ 」とは、圧電組成物131aにおける残留分極の分極方向に対して、逆方向の電圧を印加して、圧電組成物131aの残留分極を消失させるために必要な印加電圧を表す。

【0052】

上記  $E_c$  は、例えば、以下の方法で測定され得る。まず、強誘電体特性評価システム（株式会社リードテック製）を用いて、室温において0kV/cmから40kV/cmまで圧電組成物131aに電界を印加し、連続して40kV/cmから-40kV/cmまで電界を印加し、連続して-40kV/cmから40kV/cmまで電圧を印加したときの、電界強度（kV/cm）に対する分極量（ $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ ）のヒステリシスを測定する。得られたヒステリシス曲線において、分極量が0のときの電界強度の値から、抗電界を測定できる。

【0053】

圧電組成物131aの厚みは、超音波の中心周波数の大きさや圧電組成物131aの周波数定数、音響設計などに応じて適宜設定されうる。高い中心周波数を実現する観点からは、圧電組成物131aの厚みは小さいことが好ましい。たとえば、圧電組成物131a

10

20

30

40

50

の厚みは、0.02～1mmの範囲内であることが好ましく、0.03～0.4mmの範囲内であることがより好ましい。中心周波数が10MHzのとき、圧電組成物131aの厚みは、例えば、0.04～0.2mmの範囲内である。

【0054】

超音波に対するより高い感度を実現する観点から、圧電組成物131aは、その電気機械結合係数を $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を $E_c$ (kV/cm)としたときに、下記式を満足することが好ましい。

$$\begin{aligned} k_{33} & 0.65 \\ \epsilon_{33}^S & 1000 \\ E_c & 12 \end{aligned}$$

10

【0055】

ここで、「電気機械結合係数 $k_{33}$ 」とは、圧電組成物に与えられた電気的エネルギーと、機械的エネルギーとの変換能力を示す係数であり、圧電組成物に固有の値を示す。なお、本実施の形態では、上記 $k_{eff}$ の値は、 $0.9 \times k_{33}$ から $1 \times k_{33}$ 程度の大きさである。また、束縛比誘電率 $\epsilon_{33}^S$ および抗電界 $E_c$ は、前述した $\epsilon_{33}^S$ および $E_c$ と同じである。

【0056】

上記 $k_{33}$ は、分極方向に垂直な方向の長さと比較して、分極方向に沿う方向の長さが大きい棒状(33形状)の圧電組成物131a(例えば、1mm×1mm×3mmの大きさの長手方向に分極した圧電組成物)について、市販のインピーダンスアナライザを用いて、共振・反共振法によって測定され得る。なお、上記 $k_{33}$ の調整法については後述する。

20

【0057】

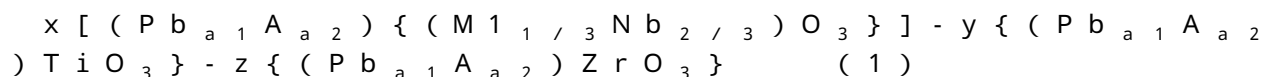
上記 $k_{33}$ の上限値は、特に限定されない。上記 $k_{33}$ の上限値は、圧電組成物131aを作製可能な範囲内において適宜決定され得る。

【0058】

圧電組成物131aの組成は、本実施形態の効果が得られる範囲において、適宜に変更されうる。圧電組成物131aは、後述の製造方法により製造されたものであってもよいし、既製品であってもよい。超音波に対するより高い感度を実現する観点から、圧電組成物131aは、下記一般式(1)で表される組成を主成分とすることが好ましく、下記一般式(2)で表される組成を主成分とすることがより好ましい。ここで、上記主成分の含有量は、例えば、圧電組成物131aに対して0～20質量部(0質量部超20質量部以下)である。ただし、圧電組成物131aが無機・有機コンポジットである場合は、上記主成分の含有量は、有機物を除いた無機物のみの部分を100質量部としたときの割合と定義する。

30

【0059】



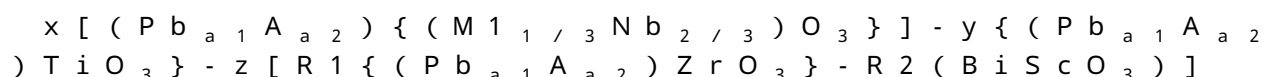
【0060】

ただし、上記一般式(1)において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。なお、M1がMgおよびZnの場合、MgおよびZnの割合は、特に限定されないが、例えば、10:0～5:5である。

40

$$\begin{aligned} 0 & a2 & 0.1 \\ a1 + a2 & = & 1 \\ x + y + z & = & 1 \\ 0.1 & x & 0.375 \\ 0.5 & y / (y + z) & 0.64 \end{aligned}$$

【0061】



50

(2)

## 【0062】

ただし、上記一般式(2)において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。なお、M1がMgおよびZnの場合、MgおよびZnの割合は、特に限定されないが、例えば、10:0~5:5である。

$$0 < a_2 < 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0 < x < 0.25$$

$$0 < y / (y + z) < 0.64$$

$$0 < R_2 < 0.25$$

10

## 【0063】

上記一般式(1)および(2)において、 $a_1$ 、 $a_2$ 、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ および $R_2$ の値は、本実施形態の効果が得られる範囲において、適宜に設定されうる。圧電組成物131aにバリウム(Ba)またはストロンチウム(Sr)を添加しすぎると上記 $k_{33}$ が小さくなりすぎることがあるため、 $a_2$ は、0.1以下であることが好ましい。また、本発明者らは、圧電組成物131aがBiScO<sub>3</sub>を含有することが、上記 $k_{33}$ <sup>S</sup>の大きさを保ちつつ、上記分極方向の圧電特性である上記 $k_{33}$ (上記 $k_{eff}$ )および圧電定数 $d_{33}$ を高める観点から有効であることを初めて見出した。

## 【0064】

圧電組成物131aは、その各微結晶が特定の面方位に配向しているセラミックス(いわゆる配向セラミックス)であってもよいし、特定の面方位を有する単結晶であってもよい。上記特定の面方位はいかなる方向でもよいが、圧電性をより高める観点から、擬立方晶表示で(001)、(110)または(111)であることが好ましい。

20

## 【0065】

セラミックスの配向方法としては、公知の方法を用いることが可能であり、例えば、シード粒子(またはテンプレート粒子という)とマトリクス粒子を用いるTGG法、途中に反応を伴うRTGG法、磁場配向法などを用いることができる。

## 【0066】

圧電組成物131a中の各種元素の含有量は、例えばセラミックスの場合は、原料の仕込み量より算出可能であり、より精密には誘導結合プラズマ(ICP)発光分析などを用いることができる。単結晶の場合は、仕込み組成と作製された結晶の組成との間に差が生じる場合があるので、電子線マイクロアナライザ(EPMA)やICP発光分析などの方法によって求めることが可能である。また、圧電組成物131a中の化合物の結晶系は、例えばX線回折法によって確認することが可能である。また、圧電組成物131a中の上記面方位は、例えば、X線回折法によって確認され得る。また、配向度は、例えば、ロットゲーリング法やロックンカーブ法によって確認され得る。

30

## 【0067】

圧電組成物131aは、必要に応じて他の副成分を含有していてもよい。当該副成分の例には、不純物(ドナーおよびアクセプター)と、圧電組成物131aが配向セラミックスの場合におけるシード粒子(例えば、BaTiO<sub>3</sub>やSrTiO<sub>3</sub>)と、圧電組成物131aの製造時(焼結時)にPbおよびBiの蒸発を抑制するための添加剤(例えば、酸化鉛、酸化ビスマス)とが含まれる。ここで、副成分の含有量は、例えば、圧電組成物131aに対して0~20質量部(0質量部超20質量部以下)である。なお、上記副成分は、一部または全部が固溶していてもよいし、固溶していなくてもよい。上記副成分が固溶していない場合は、上記副成分は、上記圧電組成物において副相(副相を含むシード粒子)として存在する。

40

## 【0068】

次に、圧電組成物131aの製造方法を説明する。圧電組成物131aを製造する方法は、少なくとも鉛、バリウム、ストロンチウム、マグネシウム、ニオブ、チタン、ジルコ

50

ニウム、ビスマスおよびスカンジウムからなる群から選択される所望の元素を含む粉体を上記の生成すべき圧電組成物 131a の組成に応じた割合で含有する原料組成物を得る原料準備工程と、当該組成物を 800 ~ 1300 に加熱して圧電組成物 131a を得る熱処理工程と、圧電組成物 131a を所望の温度好ましくは -20 ~ 40 に冷却する冷却工程と、を含む。

#### 【0069】

上記製造方法は、以下に説明する材料の種類や温度に関する条件などの特定の条件を満たす範囲で、通常の圧電組成物の製造と同様に行うことが可能である。以下、各工程について説明する。

#### 【0070】

##### [原料準備工程]

原料準備工程は、上記原料組成物、例えば原料粉体またはその成形物、を準備する工程である。以下に具体例を示しつつ原料準備工程を説明する。まず、所望の酸化物や炭酸塩、各種酸塩などの、圧電組成物 131a 中の各無機元素の供給源となる粉体を準備する。上記酸化物の例には、 $PbO$ 、 $Pb_2O_3$ 、 $Pb_3O_4$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $Sc_2O_3$ 、 $MgO$ 、 $ZnO$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $MgNb_2O_6$  および  $ZnNb_2O_6$  が含まれる。また、炭酸塩の例には、 $BaCO_3$  および  $SrCO_3$  が含まれる。

#### 【0071】

次に、必要量を秤量した、各無機元素を含有する粉体を混合して、原料粉体を作製する。原料粉体を作製する方法としては、乾式および湿式のうちのいかなる方法でもよい。当該方法の例には、ボールミルやジェットミルなどの湿式粉砕が含まれる。湿式粉砕をボールミルによって行う場合には、上記原料粉体を分散剤と混合し、粉砕装置に投入する。分散剤の例には、メタノールやエタノールなど各種アルコールおよび純水が含まれる。粉砕装置には、ジルコニアボールなどの粉砕メディアがさらに加えられ、例えば、原料粉体の粒度が微細で実質的に均一となるまで、混合、粉砕が行われる。

#### 【0072】

次に、得られた混合物から上記粉砕メディアを取り除き、吸引ろ過や乾燥器などの通常の装置を利用して上記混合物から分散剤を除去して原料粉体を得る。

#### 【0073】

次に、得られた原料粉体を坩堝などの容器に入れて仮焼成を行う。仮焼成は、例えば、600 ~ 1000 で行うことができる。これによって、上記原料粉体の組成の均一化や、焼結密度の向上を図ることができる。ただし、上記の仮焼成は、必ずしも必須ではなく、分散剤を乾燥除去した上記原料粉体を、仮焼成を行わずに以下の成形工程を行ってもよいし、逆に、組成の均一性や焼結密度の向上などのために仮焼成を2回以上行ってもよい。

#### 【0074】

仮焼成後には、仮焼成後の上記原料粉体を再度粉砕してもよい。また、この再粉砕工程において、上記原料粉体にバインダーをさらに添加してもよい。当該バインダーは、再粉砕工程の最初、途中または最終段階のいずれで添加することができる。上記バインダーを添加した場合には、得られた混合物は、例えば再度乾燥される。上記バインダーの例には、ポリビニルアルコール (PVA) およびポリビニルブチラール (PVB) が含まれる。

#### 【0075】

次に、上記混合物を成形して成形物を得る。当該成形は、例えば通常使用される機械を用いて行われ、上記混合物は、例えば円柱状のペレットに成形される。当該ペレットの大きさは、例えば、直径は 10 ~ 50 mm 程度であり、厚みは 1 ~ 5 mm 程度である。また、アレイ型の超音波探触子の場合には、上記混合物は、縦幅が 10 ~ 20 mm 程度であり、横幅が 30 ~ 70 mm 程度であり、厚みが 1 ~ 5 mm 程度である板状のペレットに成形されうる。

#### 【0076】

最後に、得られた成形物を電気炉に入れて、500 ~ 750 に数時間から 20 時間程

10

20

30

40

50

度加熱する。この加熱により、上記成形物からバインダーが除去される。こうして、上記原料組成物の一例である、上記原料粉体を所定の形状に成形してなる成形物が得られる。以上により、原料準備工程が完了する。

【0077】

なお、当該成形物は、前述したように、仮焼されていなくてもよい。上記の説明では、通常の固相法の場合の原料準備工程を示したが、例えば、水熱合成法を利用する方法や、アルコキシドを出発原料として用いる方法などにより行うことも可能であり、この場合、仮焼されていない上記成形物が得られうる。

【0078】

[熱処理工程]

熱処理工程は、上記原料組成物を坩堝などの加熱炉に入れ、処理温度である800～1300、より好ましくは950～1250まで加熱する。加熱速度は、上記原料組成物のサイズにもよるが、通常50～300/時間である。熱処理工程により、圧電組成物の焼結体を得られる。当該加熱速度は、熱処理工程中において一定であってもよいし、変動してもよい。上記加熱速度は、それを代表する値(例えば平均値)で表示することができる。

10

【0079】

熱処理工程における処理時間は、従来では、通常、5分間から4時間程度であるが、圧電組成物131aが単結晶の場合には6～3000時間であることが好ましい。これは、圧電組成物131が特に単結晶の場合には、熱処理工程が結晶成長工程となるためである。圧電組成物131aが配向セラミックスまたはセラミックス(多結晶)の場合では、上記処理時間は、5分～300時間であることが好ましく、1時間～200時間であることがより好ましい。

20

【0080】

なお、上記処理温度は、一定でもよいし、一定でなくてもよい。たとえば、熱処理工程では、上記処理温度を徐々に降下させてもよい。このような処理温度の降下は、得られる圧電組成物131aが単結晶の場合に特に有効である。また、例えば2段階焼結の場合には、初期のごく短時間のみを高温で、その後を初期温度よりも50～250程度下げた温度で、焼結を行う。この場合も、上記処理温度は一定とはならない。

【0081】

[冷却工程]

冷却工程は、熱処理工程で得られた圧電組成物131aを所望の温度、例えば-20～40、さらに具体的には室温、まで冷却する。冷却工程における冷却速度は、0.1～200/分であることが、生産性とドメインのピン止め防止の観点から好ましい。冷却工程における冷却速度は、一定であってもよいし、当該工程中において変動してもよい。当該冷却速度は、それを代表する値(例えば平均値)で表示することができる。

30

【0082】

圧電組成物131aは、圧電素子130aに好適に用いられる。圧電素子130aは、圧電組成物131aと、圧電組成物131aに電圧を印加するための電極132とを有し、圧電組成物131aを用いる以外は、公知の圧電組成物と同様の方法によって所期の形態に形成される。

40

【0083】

圧電組成物131aの成形は、上記熱処理工程の後に行う。圧電組成物131aの成形は、切削や研磨などの公知の加工法により行うことが可能であり、たとえば、このような加工により、圧電組成物131aの厚みが調整される。上記研磨は、通常、ダイヤモンドやSiC、アルミナなどの砥粒を用いた機械研磨で行われる。

【0084】

さらに、圧電素子130aは、圧電組成物131aに電極を配置する工程と、圧電組成物131aに電界を印加する工程と、を含む方法によって製造することができる。

【0085】

50

電極 132 は、通常、圧電組成物 131a に対して少なくとも二つ、配置される。電極 132 の配置は、圧電組成物 131a に電極 132 の配置する通常の方法と同様に行うことができる。電極 132 の材料の例には、金、銀、白金、パラジウム、ニッケルおよび銅が含まれる。たとえば、電極 132 を配置する工程は、銀や銀 - パラジウムペーストを焼き付ける方法でもよいし、上記電極材料のスパッタや蒸着でもよい。銀ペーストの場合は、例えば 400 ~ 700 程度で、短時間で焼き付け処理を行うことが好ましい。また、電極 132 の配置に先立って、圧電組成物 131a と電極 132 との密着性を高めるために、電極 132 と圧電組成物 131a との間に、チタンなどのバッファ電極を配置してもよい。

#### 【0086】

上記の電界を印加する工程は、圧電組成物 131a の分極処理のための工程（以下、この工程を「分極工程」とも言う）である。当該分極工程は、高温のオイルバス中で行うことが可能であるが、他の方法としては、高真空中や絶縁性の高い紛体中でも行うことも可能である。当該分極工程は、圧電組成物 131a に電極 132 を配置する前に行ってもよいし、圧電組成物 131a に電極 132 を配置した後に行ってもよい。印加電界は必ずしも直流である必要はなく、矩形波、のこぎり波、パースト波などの高周波でもよいし、直流成分に上記の電界を重畳させてもよい。

#### 【0087】

上記分極工程は、通常、圧電組成物 131a に電極 132 を配置した後に、絶縁性のオイルの中で行われる。処理温度は、通常、数十 ~ 200 程度である。また、印加する電界の強度は、10 ~ 100 kV/cm 程度である。通常、高温、強電界の条件で行うことが好ましい。処理時間は、通常、5 ~ 60 分程度である。

#### 【0088】

分極工程時は、電界の印加を停止し、絶縁オイル中から圧電組成物 131a または圧電素子 130a を取り出して冷却してもよい。より完全な分極処理を行う場合には、絶縁オイル中で電界を印加しながらのフォールドクリーニングを行ってもよい。上記のような分極処理を行い、圧電定数  $d_{33}$  などの所望の圧電特性を測定して、圧電素子 130a の製造を完了させることができる。

#### 【0089】

圧電素子 130a の製造方法は、圧電素子 130a の所期の態様に応じて、さらなる他の工程を含んでいてもよい。たとえば、上記製造方法は、圧電組成物 131a を所望の形状に加工する工程をさらに含んでいてもよい。圧電組成物 131a の加工は、研磨や切削などの公知の加工法により行うことができる。圧電組成物 131a の上記加工は、通常、電極 132 が作製される前に行われるが、電極 132 が作製された後に行われてもよい。たとえば、電極 132 の形成後に、所望の大きさおよび形状に切断、切削加工することで、圧電素子 130a を作製することができる。

#### 【0090】

圧電組成物 131a の圧電定数  $d_{33}$  が 200 pC/N 以上であることが、圧電素子 130a の性能向上の観点から好ましく、400 pC/N 以上であることがより好ましい。当該圧電定数  $d_{33}$  は、例えば、等方的なセラミックスから所望の面方位に配向した配向セラミックスや単結晶とすることによってより高められる。

#### 【0091】

前述のとおり、分極処理を再現性よく行うことが可能であるため、所期の圧電定数を呈する圧電素子 130a を生産性よく得ることが可能である。圧電素子 130a は、各種アクチュエータ、インクジェットヘッド、センサーに用いることが可能であるが、特に、超音波探触子に好適に利用することができる。

#### 【0092】

（音響整合層）

音響整合層 140 は、圧電素子 130a および被検体（超音波探触子 100a が後述の音響レンズを有する場合は、音響レンズ）の間の音響インピーダンスを整合させて、境界

10

20

30

40

50

面での超音波の反射を抑制するための層である。このために、音響整合層 140 は、圧電素子 130 a と被検体との概ね中間の音響インピーダンスを有する。音響整合層 140 は、圧電素子 130 a の上記被検体側（表面側）に、例えば、前述の他方の電極を介して配置されている。

#### 【0093】

音響整合層 140 は、単層でも積層でもよいが、音響特性の調整の観点から、音響インピーダンスが異なる複数の層の積層体であることが好ましく、例えば 2 層以上、より好ましくは 4 層以上である。音響整合層 140 の厚みは、 $\lambda/4$  であることが好ましい。 $\lambda$  は、超音波の波長である。

#### 【0094】

音響整合層 140 は、例えば、種々の材料で構成することが可能である。音響整合層 140 の音響インピーダンスは、音響レンズに向けて被検体の音響インピーダンスに、段階的または連続的により近づくように設定されていることが好ましく、例えば、当該材料に添加する添加剤の種類および含有量によって調整することが可能である。

#### 【0095】

音響整合層 140 の材料の例には、アルミニウム、アルミニウム合金（例えば Al-Mg 合金）、マグネシウム合金、マコールガラス、ガラス、熔融石英、コッパーグラファイトおよび樹脂が含まれる。当該樹脂の例には、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリカーボネート、ABS 樹脂、AAS 樹脂、AES 樹脂、ナイロン 6 やナイロン 66 などのナイロン、ポリフェニレンオキシド、ポリフェニレンスルフィド、ポリフェニレンエーテル、ポリエーテルエーテルケトン、ポリアミドイミド、ポリエチレンテレフタレート、エポキシ樹脂およびウレタン樹脂が含まれる。

#### 【0096】

上記添加剤の例には、亜鉛華、酸化チタン、シリカやアルミナ、ベンガラ、フェライト、酸化タンゲステン、酸化イットリビウム、硫酸バリウム、タンゲステン、モリブデン、ガラス繊維およびシリコン粒子が含まれる。

#### 【0097】

音響整合層 140 の音響インピーダンスを調整する観点から、例えば、音響整合層 140 の表面部は、エポキシ樹脂で構成されているとともにシリコン粒子を含有していることが好ましい。後述するように、音響レンズの材料であるシリコンを音響整合層 140 の基材中に分散して存在させると、音響整合層 140 の音響インピーダンスを音響レンズのそれに近づけることが可能である。

#### 【0098】

なお、音響整合層 140 の各層は、例えば、当該技術分野で通常使用される接着剤（例えば、エポキシ系接着剤）で接着されている。

#### 【0099】

（フレキシブルプリント基板）

FPC は、例えば、圧電組成物 131 a のための一对の電極と接続される、圧電素子 130 a に対応したパターンの配線を有する。たとえば、特に図示しないが、FPC は、一方の電極となる信号引き出し配線と、他方の電極に接続されるグランド引き出し配線とを有する。FPC は、上記の適当なパターンを有していれば、市販品であってもよい。

#### 【0100】

上記電極の材料の例には、金、白金、銀、パラジウム、銅、アルミニウム、ニッケル、スズ、および、これらの金属元素を含む合金、が含まれる。たとえば、上記電極は、まず、チタンやクロムなどの下地金属をスパッタ法により  $0.002 \sim 1.0 \mu\text{m}$  の厚みに形成し、次いで、上記材料を、さらには必要に応じて絶縁材料を部分的に、スパッタ法、蒸着法その他の適当な方法で  $0.02 \sim 10 \mu\text{m}$  の厚みに形成することによって作製される。上記電極は、微粉末の金属粉末と低融点ガラスを混合した導電ペーストをスクリーン印刷やディッピング法、溶射法によって当該導電ペーストの層を形成することによって作製することも可能である。

10

20

30

40

50

## 【0101】

また、超音波探触子100aは、超音波ビームを焦点に集めるための音響レンズなどの他の構成をさらに有していてもよい。

## 【0102】

音響レンズは、例えば、被検体と音響整合層140との中間の音響インピーダンスを有する軟質の高分子材料により構成される。当該高分子材料の例には、シリコン系ゴム、ブタジエン系ゴム、ポリウレタンゴム、エピクロルヒドリンゴム、および、エチレンとプロピレンとを共重合させてなるエチレン-プロピレン共重合体ゴム、が含まれる。中でも、上記高分子材料は、シリコン系ゴムおよびブタジエン系ゴムからなることが好ましい。

10

## 【0103】

上記シリコン系ゴムの例には、シリコンゴムおよびフッ素シリコンゴムが含まれる。特に、音響レンズは、シリコンゴムであることが好ましい。当該シリコンゴムとは、Si-O結合からなる分子骨格を有し、そのSi原子に複数の有機基が主結合したオルガノポリシロキサンをいい、通常は、その主成分はメチルポリシロキサンで、その全体の有機基のうち90%以上がメチル基である。上記シリコンゴムは、上記メチルポリシロキサンのメチル基の少なくとも一部が、水素原子、フェニル基、ビニル基またはアシル基も置き換わっていてもよい。

## 【0104】

上記シリコンゴムは、例えば、高重合度のオルガノポリシロキサンに過酸化ベンゾイルなどの硬化剤（加硫剤）を混練し、加熱加硫し硬化させることにより得ることができる。音響レンズ170における音速の調整や密度の調整などの目的に応じ、シリカやナイロン粉末などの有機または無機の充填剤や、硫黄や酸化亜鉛などの加硫助剤などがさらに添加されてもよい。

20

## 【0105】

上記ブタジエン系ゴムの例には、ブタジエンのホモポリマーであるブタジエンゴム、および、ブタジエンを主体としこれに少量のスチロールまたはアクリロニトリルが共重合した共重合ゴム、が含まれる。特に、音響レンズは、ブタジエンゴムであることが好ましい。ブタジエンゴムとは、共役二重結合を有するブタジエンの重合により得られる合成ゴムをいう。ブタジエンゴムは、共役二重結合を有するブタジエンが1,4位で、または1,2位で、単独で重合することにより得ることができる。ブタジエンゴムは、さらに、硫黄などにより加硫されていてもよい。

30

## 【0106】

シリコン系ゴムおよびブタジエン系ゴムからなる音響レンズは、例えば、シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとを混合し、加硫硬化させることにより生成することが可能である。たとえば、音響レンズは、シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとを適宜割合で混練ロールにより混合し、過酸化ベンゾイルなどの加硫剤を添加して加熱加硫して架橋（硬化）させることにより、得ることができる。

## 【0107】

上記の場合、加硫助剤として、酸化亜鉛をさらに添加することが好ましい。酸化亜鉛は、音響レンズのレンズ特性を実質的に損なわずに加硫を促進し、加硫時間を短縮することができる。他に、着色剤や音響レンズの特性を損なわない範囲内で他の添加剤を添加してもよい。シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとの混合割合は、適宜設定することができる。たとえば、音響レンズの音響インピーダンスは、被検体のそれに近似するとともに、音響レンズ内における音速が被検体のそれよりも小さく、音響レンズの音響インピーダンスの減衰がより少なくなるように設定されていることが好ましい。このような観点から、シリコン系ゴムとブタジエン系ゴムとの混合割合は、1:1が好ましい。

40

## 【0108】

また、超音波探触子100aは、例えば、複数の圧電素子130a（チャンネル）が所定の間隔で並列して配置されている、いわゆるアレイ型の超音波探触子であってよい。

50

## 【0109】

さらに、超音波探触子100aは、水中もしくは含水環境にて用いることができるように、パリレンコーティングなどの防水加工を、例えば音響レンズを接着する前の超音波探触子100aの前面に、施してもよい。なお、「パリレン」は、日本パリレン合同会社の登録商標である。

## 【0110】

超音波探触子100aは、超音波撮像装置に好適に用いられる。当該超音波撮像装置は、超音波探触子100a以外の部分は、公知の超音波撮像装置と同様に構成し得る。当該超音波撮像装置は、例えば、医療用超音波診断装置や非破壊超音波検査装置などに好適である。

10

## 【0111】

図3Aは、本実施の形態に係る超音波撮像装置200aの構成の一例を模式的に示す図であり、図3Bは、超音波撮像装置200aの電氣的な構成の一例を示すブロック図である。

## 【0112】

超音波撮像装置200aは、図3Aに示されるように、装置本体201と、装置本体201にケーブル202を介して接続されている超音波探触子100aと、装置本体201上に配置されている入力部203および表示部208と、を有する。

## 【0113】

装置本体201は、図3Bに示されるように、入力部203に接続されている制御部204と、制御部204およびケーブル202に接続されている送信部205および受信部206と、受信部206および制御部204のそれぞれと接続されている画像処理部207と、を有する。なお、制御部204および画像処理部207は、それぞれ表示部208と接続されている。

20

## 【0114】

ケーブル202は、超音波探触子100aおよび送信部205と、超音波探触子100aおよび受信部206とをそれぞれ接続し、信号を伝達する。

## 【0115】

入力部203は、例えば、診断開始などを指示するコマンドや被検体の個人情報などのデータを入力するための装置であり、例えば、複数の入力スイッチを備えた操作パネルやキーボードなどである。

30

## 【0116】

制御部204は、例えば、マイクロプロセッサや記憶素子、その周辺回路などを備えて構成されている。制御部204は、超音波探触子100a、入力部203、送信部205、受信部206、画像処理部207および表示部208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200の全体の制御を行う回路である。

## 【0117】

送信部205は、例えば、制御部204からの信号を、ケーブル202を介して超音波探触子100aに送信する。

## 【0118】

受信部206は、例えば、超音波探触子100aからの信号を、ケーブル202を介して受信して制御部204または画像処理部207へ出力する。

40

## 【0119】

画像処理部207は、例えば、制御部204の制御に従い、受信部206で受信した信号に基づいて被検体内の内部状態を表す画像(超音波画像)を形成する回路である。たとえば、画像処理部207は、被検体の超音波画像を生成するDigital Signal Processor(DSP)、および、当該DSPで処理された信号をデジタル信号からアナログ信号へ変換するデジタル-アナログ変換回路(DAC回路)などを有している。

## 【0120】

50

表示部 208 は、例えば、制御部 204 の制御に従って、画像処理部 207 で生成された、被検体の超音波画像を表示するための装置である。表示部 208 は、例えば、CRT ディスプレイや液晶ディスプレイ (LCD)、有機 EL ディスプレイ、プラズマディスプレイなどの表示装置や、プリンタなどの印刷装置などである。

【0121】

超音波撮像装置 200 a では、制御部 204 が入力部 203 からの信号を受信し、生体などの被検体に対して超音波 (第 1 超音波信号) を送信させる信号を送信部 205 に出力するとともに、当該第 1 超音波信号に基づく被検体内から来た超音波 (第 2 超音波信号) に応じた電気信号を受信部 206 に受信させる。

【0122】

受信部 206 で受信した電気信号は、画像処理部 207 に送られて当該電気信号に応じた画像信号に処理される。当該画像信号は、表示部 208 に送られて、当該画像信号に応じた画像が表示部 208 に表示される。表示部 208 は、また、入力部 203 から入力された、制御部 204 を介して送られる情報に基づき、当該情報に応じた画像および操作 (文字の表示、表示された画像の移動や拡大など) も表示する。

【0123】

超音波撮像装置 200 a では、超音波成分の電気信号が検出される。圧電組成物 131 a は、上記第 1 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。すなわち、圧電組成物 131 a では、束縛比誘電率、抗電界、および実効的電気機械結合係数がいずれも十分となる。よって、音響背面層 120 を有する超音波探触子 100 a において、圧電組成物 131 a の厚みが小さい場合でも、超音波に対して高い感度を得ることができる。この結果として、超音波撮像装置 200 a は、高い空間分解能による精密かつ信頼性がより高い測定結果を得ることができる。これは、圧電組成物 131 a が上記第 1 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有することで、超音波撮像装置 200 a における送受信回路と圧電素子 130 a との電気的なインピーダンスマッチングがよくなり、かつ十分に大きい抗電界が確保されるため、圧電組成物 131 a の厚みが小さい場合でも、電圧印加時に圧電組成物 131 a の脱分極および分極劣化が生じることを抑制できるためである。

【0124】

超音波撮像装置 200 a は、医療用の超音波診断装置に適用される。超音波撮像装置 200 a は、この他にも、魚群探知機 (ソナー) や非破壊検査用の探傷機などの、超音波による探查結果を画像や数値などで表示する装置に適用され得る。

【0125】

以上の説明から明らかなように、上記超音波探触子は、圧電組成物と、上記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子と、上記圧電素子の背面で音響的に結合している音響背面層と、を有する超音波探触子であって、上記圧電組成物は、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 A1 から点 A18 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。よって、上記実施の形態によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた超音波探触子および超音波撮像装置を提供することができる。

点 A1 (0.5, 2200, 18)

点 A2 (0.5, 1400, 18)

点 A3 (0.7, 600, 18)

点 A4 (0.9, 600, 18)

点 A5 (0.9, 2200, 18)

点 A6 (0.5, 2200, 15)

点 A7 (0.5, 1400, 15)

点 A8 (0.7, 600, 15)

点 A9 (0.9, 600, 15)

点 A10 (0.65, 2200, 10)

点 A11 (0.65, 1400, 10)

10

20

30

40

50

点 A 1 2 ( 0 . 8 , 6 0 0 , 1 0 )  
 点 A 1 3 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 0 )  
 点 A 1 4 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 7 )  
 点 A 1 5 ( 0 . 7 5 , 1 4 0 0 , 7 )  
 点 A 1 6 ( 0 . 8 , 1 0 0 0 , 7 )  
 点 A 1 7 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 7 )  
 点 A 1 8 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

## 【 0 1 2 6 】

上記送受信帯域の中心周波数が 7 M H z 以上であることは、高周波駆動を実現する観点からより効果的である。

10

## 【 0 1 2 7 】

また、上記圧電組成物が下記式を満足することは、超音波に対する感度を高める観点からより一層効果的である。

$$k_{33} = 0.65$$

$$d_{33}^S = 1000$$

$$E_c = 12$$

## 【 0 1 2 8 】

また、圧電組成物が下記一般式 ( 1 ) で表される組成を主成分とすることは、超音波に対する感度を高める観点から、より一層効果的である。

$$x [ ( P b_{a1} A_{a2} ) \{ ( M 1_{1/3} N b_{2/3} ) O_3 \} ] - y \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) T i O_3 \} - z \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) Z r O_3 \} \quad ( 1 )$$

20

## 【 0 1 2 9 】

ただし、上記一般式 ( 1 ) において、A は B a または S r であり、M 1 は M g、または M g および Z n であり、かつ下記式が満足される。

$$0 < a_2 < 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 < x < 0.375$$

$$0.5 < y / ( y + z ) < 0.64$$

## 【 0 1 3 0 】

また、圧電組成物が下記一般式 ( 2 ) で表される組成を主成分とすることは、超音波に対する感度を高める観点から、より一層効果的である。

$$x [ ( P b_{a1} A_{a2} ) \{ ( M 1_{1/3} N b_{2/3} ) O_3 \} ] - y \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) T i O_3 \} - z [ R 1 \{ ( P b_{a1} A_{a2} ) Z r O_3 \} - R 2 ( B i S c O_3 ) ] \quad ( 2 )$$

30

## 【 0 1 3 1 】

ただし、上記一般式 ( 2 ) において、A は B a または S r であり、M 1 は M g、または M g および Z n であり、かつ下記式が満足される。

$$0 < a_2 < 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 < x < 0.25$$

$$0.5 < y / ( y + z ) < 0.64$$

$$0 < R 2 < 0.25$$

40

## 【 0 1 3 2 】

また、上記圧電組成物が特定の面方位に配向しているセラミックスであることは、等方的なセラミックスの圧電組成物に比べて高い圧電特性を発現させる観点から、より効果的であり、上記圧電組成物が特定の面方位を有する単結晶であることも、上記の観点からより効果的である。

## 【 0 1 3 3 】

50

[ 実施の形態 2 ]

実施の形態 2 に係る超音波探触子 1 0 0 b は、圧電素子 1 3 0 b が複数の圧電組成物 1 3 1 と複数の電極 1 3 2 とが交互に重ねられて構成されていることを構造上の特徴とする。

【 0 1 3 4 】

実施の形態 2 に係る超音波探触子 1 0 0 b は、圧電素子 1 3 0 b の構成のみが、実施の形態 1 に係る超音波探触子 1 0 0 a と異なる。そこで、実施の形態 1 に係る超音波探触子 1 0 0 a と同一の構成については同一の符号を付して説明を省略し、超音波探触子 1 0 0 a と異なる構成について主に説明する。

【 0 1 3 5 】

図 4 は、実施の形態 2 に係る超音波探触子 1 0 0 b の構成の一例を示す断面模式図である。本実施の形態に係る超音波探触子 1 0 0 b は、背面負荷材 1 1 0、圧電素子 1 3 0 b、音響整合層 1 4 0、フレキシブルプリント基板（不図示）を有する。

【 0 1 3 6 】

（圧電素子）

圧電素子 1 3 0 b は、電気信号を機械的な振動に変換することができ、機械的な振動を電気信号に変換することもできる。これにより、圧電素子 1 3 0 b は、超音波を送信し、受信することができる。

【 0 1 3 7 】

圧電素子 1 3 0 b は、FPC に、例えば導電性接着剤によって接着されている。当該導電性接着剤は、例えば、銀粉や銅粉、カーボンファイバーなどの導電性材料を含有する接着剤である。

【 0 1 3 8 】

本実施の形態に係る圧電素子 1 3 0 b は、複数の圧電組成物 1 3 1 b と、複数の圧電組成物 1 3 1 b に電圧をそれぞれ印加するための電極 1 3 2 とを備えており、圧電組成物 1 3 1 b の層と、電極 1 3 2 とが交互に重ねられて構成されている。圧電組成物 1 3 1 b の数は、必要に応じて適宜選択されうる。本実施の形態では、3つの圧電組成物 1 3 1 b の層と、4つの電極 1 3 2（2つの電極 1 3 2 1 および2つの電極 1 3 2 2）とが交互に重ねられて構成されている。

【 0 1 3 9 】

圧電素子 1 3 0 b は、図 4 に示されるように、複数の圧電組成物 1 3 1 b と、複数の圧電組成物 1 3 1 b 間に配置される複数の電極 1 3 2 1、1 3 2 2 と、電極 1 3 2 1 同士または電極 1 3 2 2 同士を接続する取り出し電極 1 3 3 1、1 3 3 2 と、電極 1 3 2 1 および電極 1 3 2 2 の間を絶縁するための絶縁体 1 3 4 とを有する。

【 0 1 4 0 】

圧電組成物 1 3 1 b は、圧電性を有していればよく、セラミックスであってもよいし、配向セラミックスであってもよいし、無機・有機コンポジットであってもよいし、単結晶であってもよい。

【 0 1 4 1 】

圧電組成物 1 3 1 b は、積層方向に隣り合う圧電組成物 1 3 1 b の間で、それぞれの分極方向が逆方向となるように、それぞれ配置されている。なお、図 4 中の矢印は、それぞれの圧電組成物 1 3 1 b の分極方向を示している。電極 1 3 2 1 は、圧電組成物 1 3 1 b の平面方向における一端側に突出しており、電極 1 3 2 2 は、当該平面方向における他端側に突出している。そして、電極 1 3 2 1、1 3 2 2 は、それぞれの突端で取り出し電極 1 3 3 1、1 3 3 2 と接続されている。電極 1 3 2 1 の他端と取り出し電極 1 3 3 2 との間、および電極 1 3 2 2 と取り出し電極 1 3 3 1 との間には絶縁体 1 3 4 が充填されており、それにより、取り出し電極に接続されていない電極と当該取り出し電極との接続が防止されている。

【 0 1 4 2 】

超音波プローブ（超音波探触子 1 0 0 b）では、通常、50 オーム程度のインピーダン

10

20

30

40

50

スで圧電素子 130b を動作させる。多層構造の圧電素子 130b は、例えば、圧電組成物 131b と電極 132 とのグリーンシートを積層して圧着し、脱バイ、焼結、切断、電極付け、リード線による取り出し、などの各工程を含む公知の製造方法によって製造することが可能である。

#### 【0143】

超音波探触子 100b は、例えば、複数の圧電素子 130b (チャンネル) が所定の間隔で並列して配置されている、いわゆるアレイ型の超音波探触子であってよい。当該超音波探触子は、一般に、超音波を照射する部分が小さくなりやすく、そのため圧電素子が配列する部分の面積が小さくなりやすい。このため、超音波を送受信する際のインピーダンスをより容易に整合させる観点から、圧電素子 130b は、複数の圧電組成物 131b の層と複数の電極 132 とが交互に重ねられて構成されている、多層構造の圧電素子 130b であることが好ましい。多層構造の圧電素子 130b は、圧電素子 130b におけるインピーダンスを低減させ、効率よく超音波の送受信を行う観点から好ましい。

10

#### 【0144】

図 5 および図 6 は、実施の形態 2 に係る圧電組成物 131b の圧電特性を概略的に示す図である。圧電組成物 131b は、図 5 に示されるように、その実効的電気機械結合係数を  $k_{eff}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_3^S$ 、その抗電界を  $E_c$  (kV/cm) としたときに、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_3^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 B1 から点 B14 を頂点とする第 2 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。

20

点 B1 (0.5, 2200, 18)

点 B2 (0.5, 600, 18)

点 B3 (0.9, 600, 18)

点 B4 (0.9, 2200, 18)

点 B5 (0.5, 2200, 15)

点 B6 (0.5, 600, 15)

点 B7 (0.65, 2200, 9)

点 B8 (0.65, 1000, 9)

点 B9 (0.75, 600, 9)

点 B10 (0.9, 600, 9)

点 B11 (0.8, 2200, 7)

点 B12 (0.8, 1000, 7)

点 B13 (0.9, 1000, 7)

点 B14 (0.9, 2200, 7)

30

#### 【0145】

$k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$ 、および  $E_c$  の少なくとも 1 つが小さすぎて、圧電組成物 131b が上記第 2 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない場合には、超音波に対する感度が十分に得られない。また、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_3^S$ 、および  $E_c$  の少なくとも 1 つが大きすぎて、上記第 2 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない圧電組成物 131b は、現実的に作製することが困難となるため、好ましくない。

40

#### 【0146】

超音波に対するより高い感度を実現する観点から、圧電組成物 131b は、図 6 に示されるように、下記点 B51 から点 B64 を頂点とする第 2' 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有することが好ましい。

点 B51 (0.5, 2200, 18)

点 B52 (0.5, 1400, 18)

点 B53 (0.6, 600, 18)

点 B54 (0.9, 600, 18)

点 B55 (0.9, 2200, 18)

点 B56 (0.5, 2200, 17)

50

点 B 5 7 ( 0 . 5 , 1 4 0 0 , 1 7 )  
 点 B 5 8 ( 0 . 6 , 6 0 0 , 1 7 )  
 点 B 5 9 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 1 )  
 点 B 6 0 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 1 )  
 点 B 6 1 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 9 )  
 点 B 6 2 ( 0 . 7 5 , 1 0 0 0 , 9 )  
 点 B 6 3 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 9 )  
 点 B 6 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 9 )

【 0 1 4 7 】

圧電組成物 1 3 1 b の厚みは、超音波の中心周波数の大きさや圧電組成物 1 3 1 b の周波数定数、音響設計などに応じて適宜設定されうる。高い中心周波数を実現する観点からは、圧電組成物 1 3 1 b の厚みは小さいことが好ましい。たとえば、圧電組成物 1 3 1 b の厚みは、0 . 0 2 ~ 1 mm の範囲内であることが好ましく、0 . 0 3 ~ 0 . 5 mm の範囲内であることがより好ましい。中心周波数が 7 MHz のとき、圧電組成物 1 3 1 b の厚みは、例えば、0 . 0 5 ~ 0 . 2 mm の範囲内である。

【 0 1 4 8 】

超音波に対するより高い感度を実現する観点から、圧電組成物 1 3 1 b も下記式を満足することが好ましい。

$$k_{33} = 0.65$$

$$s_{33}^S = 1000$$

$$E_c = 12$$

20

【 0 1 4 9 】

圧電組成物 1 3 1 b の組成は、本実施形態の効果が得られる範囲において、適宜に変更されうる。圧電組成物 1 3 1 b の組成の例は、実施の形態 1 に係る圧電組成物 1 3 1 a と同一である。

【 0 1 5 0 】

図 3 A は、本実施の形態に係る超音波撮像装置 2 0 0 b の構成の一例を模式的に示す図であり、図 3 B は、超音波撮像装置 2 0 0 b の電気的な構成の一例を示すブロック図である。

【 0 1 5 1 】

超音波探触子 1 0 0 b も、超音波撮像装置に好適に用いられる。超音波撮像装置 2 0 0 b は、超音波探触子 1 0 0 b 以外の部分は、公知の超音波撮像装置と同様に構成し得る。当該超音波撮像装置は、例えば、医療用超音波診断装置や非破壊超音波検査装置などに好適である。

30

【 0 1 5 2 】

超音波撮像装置 2 0 0 b でも、実施の形態 1 に係る超音波撮像装置 2 0 0 a と同様に、超音波成分の電気信号が検出される。圧電組成物 1 3 1 b は、上記第 2 多面体または上記第 2 ' 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。すなわち、圧電組成物 1 3 1 b では、束縛比誘電率、抗電界、および実効的電気機械結合係数がいずれも十分となる。よって、複数の圧電組成物 1 3 1 b と複数の電極 1 3 2 とが交互に重ねられて構成されている圧電素子 1 3 0 b を備えている超音波探触子 1 0 0 b において、中心周波数が高い超音波に対して高い感度を得ることができる。この結果として、超音波撮像装置 2 0 0 b は、高い空間分解能による精密かつ信頼性がより高い測定結果を得ることができる。これは、圧電組成物 1 3 1 b が上記第 2 多面体または第 2 ' 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有することで、超音波撮像装置 2 0 0 b が受信した信号を効率よく圧電素子 1 3 0 b に伝達することが可能となり、かつ十分に大きい抗電界が確保されるため、圧電組成物 1 3 1 b の厚みが小さい場合でも、電圧印加時に圧電組成物 1 3 1 b の脱分極および分極劣化が生じることを抑制できるためである。

40

【 0 1 5 3 】

以上の説明から明らかなように、上記超音波探触子は、複数の圧電組成物と、上記複数

50

の圧電組成物に電圧をそれぞれ印加するための電極とを備えており、上記圧電組成物の層と、上記電極とが交互に重ねられて構成されている圧電素子を有する超音波探触子であって、上記圧電組成物は、 $k_{eff}$ 、 $\omega_0^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\omega_0^S$ ,  $E_c$ ) において下記点 B 1 から点 B 14 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。よって、上記実施の形態によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた超音波探触子および超音波撮像装置を提供することができる。

点 B 1 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 2 ( 0 . 5 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 3 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 5 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 5 )

点 B 6 ( 0 . 5 , 6 0 0 , 1 5 )

点 B 7 ( 0 . 6 5 , 2 2 0 0 , 9 )

点 B 8 ( 0 . 6 5 , 1 0 0 0 , 9 )

点 B 9 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 9 )

点 B 1 0 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 9 )

点 B 1 1 ( 0 . 8 , 2 2 0 0 , 7 )

点 B 1 2 ( 0 . 8 , 1 0 0 0 , 7 )

点 B 1 3 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 7 )

点 B 1 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

10

20

#### 【 0 1 5 4 】

このように、上記超音波探触子において、上記圧電素子が複数の上記圧電組成物と複数の上記電極とが交互に重ねられて構成されていることは、圧電素子の超音波の送受信におけるインピーダンスを低減させる観点からより一層効果的である。

#### 【 0 1 5 5 】

また、圧電素子が下記点 B 5 1 から点 B 6 4 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有することは、中心周波数が高い超音波に対する高い感度を得る観点から、より一層効果的である。

点 B 5 1 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 5 2 ( 0 . 5 , 1 4 0 0 , 1 8 )

点 B 5 3 ( 0 . 6 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 5 4 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )

点 B 5 5 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 B 5 6 ( 0 . 5 , 2 2 0 0 , 1 7 )

点 B 5 7 ( 0 . 5 , 1 4 0 0 , 1 7 )

点 B 5 8 ( 0 . 6 , 6 0 0 , 1 7 )

点 B 5 9 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 1 )

点 B 6 0 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 1 )

点 B 6 1 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 9 )

点 B 6 2 ( 0 . 7 5 , 1 0 0 0 , 9 )

点 B 6 3 ( 0 . 9 , 1 0 0 0 , 9 )

点 B 6 4 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 9 )

30

40

#### 【 0 1 5 6 】

##### [ 実施の形態 3 ]

実施の形態 3 に係る超音波探触子 1 0 0 c は、圧電素子 1 3 0 c が、単層の圧電組成物を有し、かつ音響背面層を有さないことを構造上の特徴とする。

#### 【 0 1 5 7 】

実施の形態 3 に係る超音波探触子 1 0 0 c は、圧電素子 1 3 0 c が音響背面層を有さないことが、実施の形態 1 に係る超音波探触子 1 0 0 a と異なる。そこで、実施の形態 1 に

50

係る超音波探触子 100a と同一の構成については、同一の符号を付してその説明を省略する。

【0158】

図7は、実施の形態3に係る超音波探触子100cの構成を示す断面模式図である。本実施の形態に係る超音波探触子100cは、背面負荷材110、圧電素子130c、音響整合層140、フレキシブルプリント基板（不図示）を有する。前述のとおり、本実施の形態に係る超音波探触子100cは、前記圧電素子の背面で音響的に結合する音響背面層を有さない。

【0159】

（圧電素子）

圧電素子130cは、電気信号を機械的な振動に変換することができ、機械的な振動を電気信号に変換することもできる。これにより、圧電素子130cは、超音波を送信し、受信することができる。

10

【0160】

圧電素子130cは、FPCに、例えば導電性接着剤によって接着されている。当該導電性接着剤は、例えば、銀粉や銅粉、カーボンファイバーなどの導電性材料を含有する接着剤である。

【0161】

本実施の形態に係る圧電素子130cは、単層の圧電組成物131cと、圧電組成物131cに電圧を印加するための電極132とを備えている。

20

【0162】

圧電組成物131cは、圧電性を有していればよく、セラミックスであってもよいし、配向セラミックスであってもよいし、無機・有機コンポジットであってもよいし、単結晶であってもよい。

【0163】

図8は、実施の形態3に係る圧電組成物の圧電特性を概略的に示す図である。圧電組成物131cは、図8に示されるように、 $k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$  および  $E_c$  を変数とする直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において下記点C1から点C18を頂点とする第3多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。

点C1 (0.55, 2200, 18)

点C2 (0.55, 1400, 18)

点C3 (0.75, 600, 18)

点C4 (0.9, 600, 18)

点C5 (0.9, 2200, 18)

点C6 (0.55, 2200, 13)

点C7 (0.55, 1400, 13)

点C8 (0.75, 600, 13)

点C9 (0.9, 600, 13)

点C10 (0.6, 2200, 10)

点C11 (0.6, 1400, 10)

点C12 (0.8, 600, 10)

点C13 (0.9, 600, 10)

点C14 (0.75, 2200, 7)

点C15 (0.75, 1400, 7)

点C16 (0.8, 1200, 7)

点C17 (0.9, 1200, 7)

点C18 (0.9, 2200, 7)

30

40

【0164】

$k_{eff}$ 、 $\epsilon_{33}^S$ 、および  $E_c$  の少なくとも1つが小さすぎて、圧電組成物131cが上記第3多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない場合には、超音波に対す

50

る感度が十分に得られない。また、 $k_{eff}$ 、 $k_{33}^S$ 、および $E_c$ の少なくとも1つが大きすぎて、上記第3多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さない圧電組成物131cは、現実的に作製することが困難となるため、好ましくない。

【0165】

圧電組成物131cの厚みは、超音波の中心周波数の大きさや圧電組成物131cの周波数定数、音響設計などに応じて適宜設定されうる。高い中心周波数を実現する観点からは、圧電組成物131cの厚みは小さいことが好ましい。たとえば、圧電組成物131cの厚みは、0.02~1mmの範囲内であることが好ましく、0.03~0.5mmの範囲内であることがより好ましい。中心周波数が15MHzのとき、圧電組成物131cの厚みは、例えば、0.04~0.2mmの範囲内である。

10

【0166】

超音波に対するより高い感度を実現する観点から、圧電組成物131cも下記式を満足することが好ましい。

$$\begin{aligned} k_{33} & 0.65 \\ k_{33}^S & 1000 \\ E_c & 12 \end{aligned}$$

【0167】

圧電組成物131cの組成は、本実施形態の効果が得られる範囲において、適宜に変更されうる。圧電組成物131cの組成の例は、実施の形態1に係る圧電組成物131aと同一である。

20

【0168】

図3Aは、本実施の形態に係る超音波撮像装置200cの構成の一例を模式的に示す図であり、図3Bは、超音波撮像装置200cの電気的な構成の一例を示すブロック図である。

【0169】

超音波探触子100cも、超音波撮像装置に好適に用いられる。超音波撮像装置200cは、超音波探触子100c以外の部分は、公知の超音波撮像装置と同様に構成し得る。当該超音波撮像装置は、例えば、医療用超音波診断装置や非破壊超音波検査装置などに好適である。

【0170】

また、超音波探触子100cも、例えば、複数の圧電素子130c(チャンネル)が所定の間隔で並列して配置されている、いわゆるアレイ型の超音波探触子であってよい。

30

【0171】

超音波撮像装置200cでも、実施の形態1に係る超音波撮像装置200aと同様に、超音波成分の電気信号が検出される。圧電組成物131cは、上記第3多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。すなわち、圧電組成物131cでは、束縛比誘電率、抗電界、および実効的電気機械結合係数がいずれも十分となる。よって、単層の圧電組成物131cを有し、かつ音響背面層を有さない超音波探触子100cにおいて、中心周波数が高い超音波に対して高い感度を得ることができる。この結果として、超音波撮像装置200cは、高い空間分解能による精密かつ信頼性がより高い測定結果を得ることができる。これは、圧電組成物131cが上記第3多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有することで、超音波撮像装置200cが受信した信号を効率よく圧電素子130cに伝達することが可能となり、かつ十分に大きい抗電界が確保されるため、圧電組成物131cの厚みが小さい場合でも、電圧印加時に圧電組成物131cの脱分極および分極劣化が生じることを抑制できるためである。

40

【0172】

以上の説明から明らかなように、上記超音波探触子は、単層の圧電組成物と、上記圧電組成物に電圧を印加するための電極とを備えている圧電素子を有しており、かつ上記圧電素子の背面で前記圧電素子と音響的に結合する音響背面層を有さない超音波探触子であって、上記圧電組成物は、 $k_{eff}$ 、 $k_{33}^S$ および $E_c$ を変数とする直交座標( $k_{eff}$

50

$k_{33}^S, E_c$ ) において下記点 C 1 から点 C 18 を頂点とする多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有する。よって、上記実施の形態によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた超音波探触子および超音波撮像装置を提供することができる。

点 C 1 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 C 2 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 8 )

点 C 3 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 8 )

点 C 4 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 8 )

点 C 5 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 1 8 )

点 C 6 ( 0 . 5 5 , 2 2 0 0 , 1 3 )

点 C 7 ( 0 . 5 5 , 1 4 0 0 , 1 3 )

点 C 8 ( 0 . 7 5 , 6 0 0 , 1 3 )

点 C 9 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 3 )

点 C 10 ( 0 . 6 , 2 2 0 0 , 1 0 )

点 C 11 ( 0 . 6 , 1 4 0 0 , 1 0 )

点 C 12 ( 0 . 8 , 6 0 0 , 1 0 )

点 C 13 ( 0 . 9 , 6 0 0 , 1 0 )

点 C 14 ( 0 . 7 5 , 2 2 0 0 , 7 )

点 C 15 ( 0 . 7 5 , 1 4 0 0 , 7 )

点 C 16 ( 0 . 8 , 1 2 0 0 , 7 )

点 C 17 ( 0 . 9 , 1 2 0 0 , 7 )

点 C 18 ( 0 . 9 , 2 2 0 0 , 7 )

10

20

30

40

50

#### 【 0 1 7 3 】

このように、上記超音波探触子において、上記圧電素子が複数の上記圧電組成物と複数の上記電極とが交互に重ねられて構成されていることは、圧電素子の超音波の送受信におけるインピーダンスを低減させる観点からより一層効果的である。

#### 【 0 1 7 4 】

また、上記超音波探触子において、単層の圧電組成物と、上記圧電組成物に電圧を印加するための上記電極とを備えている上記圧電素子を有しており、かつ上記圧電素子の背面で音響的に結合する音響背面層を有さないように構成されていることは、超音波探触子の構成を単純にする観点からより一層効果的である。

#### 【 0 1 7 5 】

##### [ 実施の形態 4 ]

実施の形態 4 に係る超音波探触子は、圧電素子の圧電組成物に特徴を有する。実施の形態 4 に係る超音波探触子は、実施の形態 1 に係る超音波探触子 1 0 0 a、実施の形態 2 に係る超音波探触子 1 0 0 b および実施の形態 3 に係る超音波探触子 1 0 0 c のいずれの構造の超音波探触子であってもよい。以下実施の形態 4 では、実施の形態 1 に係る超音波探触子 1 0 0 a と同様の構造を有する超音波探触子 1 0 0 d について説明し、同一の構成要素については、その説明を省略する。

#### 【 0 1 7 6 】

上記圧電組成物は、圧電性を有していればよく、セラミックスであってもよいし、配向セラミックスであってもよいし、無機・有機コンポジットであってもよいし、単結晶であってもよい。

#### 【 0 1 7 7 】

本実施の形態に係る超音波探触子の圧電組成物は、その電気機械結合係数を  $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を  $k_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  ( k V / c m ) としたときに、下記式を満足し得る。

$$k_{33} \geq 0.65$$

$$k_{33}^S \geq 1000$$

$$E_c \geq 12$$

## 【0178】

$k_{33}$  およびその測定方法と、 $d_{33}^S$  およびその測定方法と、 $E_c$  およびその測定方法とについては、実施の形態1と同様であるため、その説明を省略する。ここで、 $k_{33}$ 、 $d_{33}^S$  および  $E_c$  の調整方法について説明する。

## 【0179】

上記  $k_{33}$  は、上記圧電組成物の組成や、理論密度に対する相対密度（上記圧電組成物がセラミックスの場合）、上記圧電組成物の結晶方位などによって調整することが可能である。上記圧電組成物の組成が組成相境界（MPB）に近づくほど、上記  $k_{33}$  は大きくなる傾向にある。また、上記圧電組成物の相対密度が大きくなるほど、上記  $k_{33}$  は、大きくなる傾向にある。

10

## 【0180】

上記  $d_{33}^S$  は、上記圧電組成物の組成によって調整することが可能である。たとえば、上記圧電組成物中の  $Mg_{1/3}Nb_{2/3}$  の含有量が大きくなるほど、上記  $d_{33}^S$  は、大きくなる傾向にある。また、上記圧電組成物の組成が組成相境界（MPB）に近づくほど、上記  $d_{33}^S$  は、大きくなる傾向にある。

## 【0181】

上記  $E_c$  は、上記圧電組成物の組成や、不純物の組成などによって調整することが可能である。不純物によって  $E_c$  を調整する場合、 $E_c$  が大きくなるにつれて、 $d_{33}^S$  は小さくなる傾向にあり、 $d_{33}^S$  が小さすぎると超音波探触子として使用できる圧電組成物を作製することが困難となる。かかる点を考慮しつつ、 $E_c$  の大きさを調整することが好ましい。たとえば、本発明者らは、PMN-PZT系材料、特に  $BiScO_3$  を含有させることにより、 $d_{33}^S$  の大きさを保持したまま  $E_c$  を高めることと、かつ分極方向と平行な方向における圧電特性（ $k_{33}$  および  $d_{33}$ ）を高めることを両立できることを初めて見出した。

20

## 【0182】

上記圧電組成物の厚みは、超音波の中心周波数の大きさや上記圧電組成物の周波数定数、音響設計などに応じて適宜設定されうる。高い中心周波数を実現する観点からは、上記圧電組成物の厚みは小さいことが好ましい。たとえば、上記圧電組成物の厚みは、0.02～1mmの範囲内であることが好ましく、0.03～0.5mmの範囲内であることがより好ましく、0.04～0.2mmであることがさらに好ましい。中心周波数が10MHzのとき、上記圧電組成物の厚みは、例えば、0.04～0.2mmの範囲内である。

30

## 【0183】

上記圧電組成物の組成は、本実施形態の効果を得られる範囲において、適宜に変更されうる。上記圧電組成物は、前述の製造方法により製造されたものであってもよいし、既製品であつてもよい。超音波に対するより高い感度を実現する観点から、上記圧電組成物は、下記一般式(1)で表される組成を有することが好ましく、下記一般式(2)で表される組成を主成分とすることがより好ましい。

## 【0184】

$$x[(Pb_{a1}A_{a2})\{(M_{11/3}Nb_{2/3})O_3\}] - y\{(Pb_{a1}A_{a2})TiO_3\} - z\{(Pb_{a1}A_{a2})ZrO_3\} \quad (1)$$

40

## 【0185】

ただし、上記一般式(1)において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。なお、M1がMgおよびZnの場合、MgおよびZnの割合は、特に限定されないが、例えば、10:0～5:5である。

$$0 \leq a_2 \leq 1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 \leq x \leq 0.375$$

$$0.5 \leq y / (y + z) \leq 0.64$$

## 【0186】

50

$$x [(P b_{a_1} A_{a_2}) \{ (M 1_{1/3} N b_{2/3}) O_3 \}] - y \{ (P b_{a_1} A_{a_2}) T i O_3 \} - z [R 1 \{ (P b_{a_1} A_{a_2}) Z r O_3 \} - R 2 (B i S c O_3)]$$

(2)

【0187】

ただし、上記一般式(2)において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。なお、M1がMgおよびZnの場合、MgおよびZnの割合は、特に限定されないが、例えば、10:0~5:5である。

$$0 < a_2 < 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 < x < 0.25$$

$$0.5 < y / (y + z) < 0.64$$

$$0 < R_2 < 0.25$$

10

【0188】

上記一般式(1)および(2)において、a1、a2、x、y、zおよびR2の値は、本実施形態の効果を得られる範囲において、適宜に設定されうる。上記圧電組成物にバリウム(Ba)またはストロンチウム(Sr)を添加しすぎると上記k<sub>33</sub>が小さくなりすぎることがあるため、a2は、0.1以下であることが好ましい。また、本発明者らは、上記圧電組成物がBiScO<sub>3</sub>を含有することが、上記k<sub>33</sub><sup>S</sup>の大きさを保ちつつ、上記Ec、上記k<sub>33</sub>および圧電定数d<sub>33</sub>を高める観点から有効であることを見出した。

20

【0189】

また、上記圧電組成物は、上記一般式(1)および(2)で表される組成を主成分とするが、ペロブスカイト構造が安定に保たれる範囲であれば、PbやBiの蒸発分だけ組成が異なってもよい。また、実施の形態1に係る圧電組成物と同様に、上記圧電組成物も、他の副成分を含有していてもよい。

【0190】

上記圧電組成物は、その各微結晶が特定の面方位に配向しているセラミックス(いわゆる配向セラミックス)であってもよいし、特定の面方位を有する単結晶であってもよい。上記特定の面方位はいかなる方向でもよいが、圧電性をより高める観点から、擬立方晶表示で(111)、(110)または(001)であることが好ましい。セラミックスの配向方法および上記圧電組成物中の各種元素の含有量については、実施の形態1と同様であるため、その説明を省略する。

30

【0191】

また、上記圧電組成物の製造方法の例も、実施の形態1に係る圧電組成物131aの製造方法と同様であるため、その説明を省略する。

【0192】

図9は、実施の形態4に係る超音波探触子100dの構成を示す断面模式図である。本実施の形態に係る超音波探触子100dは、背面負荷材110、音響背面層120、圧電素子130d、音響整合層140、フレキシブルプリント基板(FPC、不図示)を有する。本実施の形態に係る圧電素子130dは、単層の圧電組成物131dと、圧電組成物131dに電圧を印加するための電極132とを備えている。本実施の形態では、圧電組成物131dの両面において、2つの電極132が、圧電組成物131dを挟んで互に対向するように配置されている。

40

【0193】

図3Aは、本実施の形態に係る超音波撮像装置200dの構成の一例を模式的に示す図であり、図3Bは、超音波撮像装置200dの電氣的な構成の一例を示すブロック図である。

【0194】

超音波撮像装置200dは、図3Aに示されるように、装置本体201と、装置本体201にケーブル202を介して接続されている超音波探触子100dと、装置本体201

50

上に配置されている入力部 203 および表示部 208 と、を有する。

【0195】

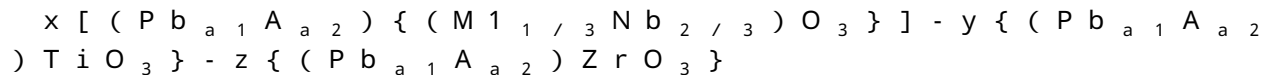
超音波撮像装置 200d でも、実施の形態 1 に係る超音波撮像装置 200a と同様に、超音波成分の電気信号が検出される。超音波撮像装置 200d の超音波探触子 100d は、圧電組成物 131d を有する。圧電組成物 131b では、束縛比誘電率、抗電界、および実効的電気機械結合係数がいずれも十分となる。よって、音響背面層 120 を有する超音波探触子 100d において、圧電組成物 131d の厚みが小さい場合にも、超音波に対して高い感度を得ることができる。この結果として、超音波撮像装置 200d は、高い空間分解能による精密かつ信頼性がより高い測定結果を得ることができる。これは、超音波探触子 100d が圧電組成物 131d を有することで、圧電素子 130d の電気的なインピーダンスマッチングがよくなり、かつ十分に大きい抗電界が確保されるため、圧電組成物 131d の厚みが小さい場合でも、電圧印加時に圧電組成物 131d の脱分極および分極劣化が生じることを抑制できるためである。

10

【0196】

以上の説明から明らかなように、上記圧電素子は、下記一般式で表される組成を主成分とする圧電組成物と、前記圧電組成物に電圧を印加するための電極と、を備えており、前記圧電組成物は、その電気機械結合係数を  $k_{33}$ 、その束縛比誘電率を  $\epsilon_{33}^S$ 、その抗電界を  $E_c$  ( $kV/cm$ ) としたときに、下記式 (1) ~ (3) を満足する。よって、上記実施の形態によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合でも、超音波に対する感度に優れた圧電素子、超音波探触子および超音波撮像装置を提供することができる。

20



(ただし、上記一般式において、A は Ba または Sr であり、M1 は Mg、または Mg および Zn であり、かつ下記式 (4) ~ (8) が満足される。)

$$k_{33} \geq 0.65 \quad (1)$$

$$\epsilon_{33}^S \geq 1000 \quad (2)$$

$$E_c \geq 12 \quad (3)$$

$$0 \leq a_2 \leq 0.1 \quad (4)$$

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (5)$$

$$x + y + z = 1 \quad (6)$$

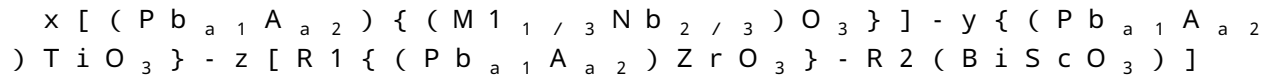
$$0.1 \leq x \leq 0.375 \quad (7)$$

$$0.5 \leq y / (y + z) \leq 0.64 \quad (8)$$

30

【0197】

また、圧電組成物が下記一般式で表される組成を主成分とすることは、超音波に対する感度を高める観点から、より一層効果的である。



(ただし、上記一般式において、A は Ba または Sr であり、M1 は Mg、または Mg および Zn であり、かつ下記式が満足される。)

$$0 \leq a_2 \leq 0.1$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 \leq x \leq 0.25$$

$$0.5 \leq y / (y + z) \leq 0.64$$

$$0 < R2 \leq 0.25$$

40

【0198】

また、上記圧電組成物が特定の面方位に配向しているセラミックスであることは、等方的なセラミックスの圧電組成物に比べて高い圧電特性を発現させる観点から、より効果的であり、上記圧電組成物が特定の面方位を有する単結晶であることも、上記の観点からより効果的である。

50

## 【0199】

なお、本実施の形態に係る超音波探触子では、実施の形態1に係る超音波探触子100aと同じ構成をとる場合について説明したが、実施の形態4に係る超音波探触子はこれに限定されない。実施の形態4に係る超音波探触子は、上記実施の形態2または3に係る超音波探触子のいずれの構成をとる超音波探触子にも採用されうる。

## 【0200】

従来、上記の特許文献1に開示されているように、超音波探触子用の圧電組成物として、自由比誘電率 $\epsilon_{33}^T$ 、電気機械結合係数 $k_{33}$ および抗電界 $E_c$ を高めることの必要性については知られていた。しかしながら、上記特許文献に開示されているのは、自由比誘電率 $\epsilon_{33}^T$ であり束縛比誘電率 $\epsilon_{33}^S$ ではない。また、上記特許文献の実施例で開示されている $E_c$ の最大値は、10kV/cm程度である。一方、圧電体の厚みが小さい場合、より大きな $E_c$ が望まれる。これに対し、本発明者らは、上記組成を有する圧電組成物を採用することで、 $\epsilon_{33}^S$ 、 $E_c$ および $k_{33}$ のいずれも十分に高められることを見出した。また、PMN-PZT系において、BiScO<sub>3</sub>系の材料で置換することにより、 $\epsilon_{33}^S$ を高い値に保持したまま、さらに高い分極方向の $k_{33}$ を実現できることも見出した。

10

## 【0201】

また、上記の特許文献2では、BiScO<sub>3</sub>で置換された圧電組成物の用途としては、圧電スピーカや圧電ポンプなどの低周波用の圧電部品について開示されている。このため、特許文献2では、圧電組成物の分極方向（電界方向）に直交する方向（横方向、31方向）の圧電定数および電気機械結合係数にのみ着目されている。超音波探触子がアレイ型の超音波探触子の場合には、隣り合う圧電素子の超音波信号が互いに影響しないように、横方向（31方向）の結合係数は、むしろ小さいことが望ましい。しかし、上記の特許文献2では、超音波探触子として必要な圧電組成物の分極方向（電界方向）に平行な方向（縦方向、33方向）の束縛比誘電率および電気機械結合係数には着目されていない。これに対し、本発明者らは、 $\epsilon_{33}^S$ および $k_{33}$ に着目し、上記圧電組成物を採用することで、 $\epsilon_{33}^S$ 、 $E_c$ および $k_{33}$ のいずれも十分に高められることを見出した。

20

## 【実施例】

## 【0202】

以下、本発明に関してさらに詳細に実施例を用いて説明する。

30

## 【0203】

## [シミュレーション]

上記 $k_{eff}$ 、上記 $\epsilon_{33}^S$ 、および上記 $E_c$ を変化させたときの、超音波に対する感度について、シミュレーションを行った。ここでは、音響インピーダンスが2.8MRaylの背面負荷材と、圧電組成物と、4層の音響整合層と、音響レンズとがこの順で積層された超音波探触子についてシミュレーションを行った。また、超音波探触子と超音波撮像装置の装置本体とを接続するケーブル（長さ2.2m）のインピーダンスは75であり、かつ送受信の入出力インピーダンスは50とした。本シミュレーションは、このような構成条件において、KLM（Krimholtz, Leedom and Matthei model）法を用いて行った。

40

## 【0204】

上記 $k_{eff}$ 、上記 $\epsilon_{33}^S$ 、および上記 $E_c$ を表1に示されるように条件を設定し、出力電圧 $V_{out}$ を100Vとして、上記実施の形態1～3に係る超音波探触子と同一の構成をとるアレイ型の超音波探触子について、超音波に対する感度のシミュレーションをそれぞれ行った。

## 【0205】

区分、超音波探触子No.、超音波探触子の構成、本シミュレーションの条件およびシミュレーション結果（感度）を表1～3に示す。表1～3において、「No.」は、超音波探触子No.を示している。

## 【0206】

50

実施の形態 1 に係る超音波探触子については表 1 に示す。表 1 の表題において、「DML 型の超音波探触子」は、実施の形態 1 に係る超音波探触子の構成をとるアレイ型の超音波探触子についてのシミュレーション結果であることを示している。このとき、中心周波数は、10 MHz に設定されている。なお、本実施例において、DML 型超音波探触子とは、上記構成条件において、背面負荷材と圧電組成物との間に音響インピーダンス 94 MRayl の音響背面層がさらに設けられた構成の超音波探触子である。また、さらなる条件として、アレイ状に配列されたチャンネルのピッチを 0.2 mm とし、チャンネルの短軸方向における開口幅を 3 mm とした。また、表 1 中の「相対感度」は、圧電組成物の材料として、市販のソフト系材料のうち圧電特性が良好で  $\epsilon_c$  の大きな C-6 (株式会社富士セラミックス製) を使用したときの条件に設定し、シミュレーションを行った場合の超音波に対する感度を基準 (0) としたときの、各超音波探触子の感度を示している。

10

## 【0207】

実施の形態 2 に係る超音波探触子については表 2 に示す。表 2 の表題において、「多層型超音波探触子」は、実施の形態 2 に係る超音波探触子の構成をとるアレイ型の超音波探触子についてのシミュレーション結果であることを示している。このとき、中心周波数は、7 MHz に設定されている。本シミュレーションは、上記構成条件と同様の条件で行い、圧電組成物の層の数は、3 つである。さらなる条件として、アレイ状に配列されたチャンネルのピッチを 0.1 mm とし、チャンネルの短軸方向における開口幅を 5 mm とした。表 2 中の「相対感度」は、圧電組成物の材料として、市販のソフト系材料のうち圧電特性が良好で  $\epsilon_3$  の大きな C-83H (株式会社富士セラミックス製) を使用したときの条件に設定し、シミュレーションを行った場合の超音波に対する感度を基準 (0) としたときの、各超音波探触子の感度を示している。

20

## 【0208】

実施の形態 3 に係る超音波探触子については表 3 に示す。表 3 の表題において、「単層型超音波探触子」は、実施の形態 3 に係る超音波探触子の構成をとるアレイ型の超音波探触子についてのシミュレーション結果であることを示している。このとき、中心周波数は、15 MHz に設定されている。本シミュレーションは、上記構成条件と同様の条件で行った。さらなる条件として、アレイ状に配列されたチャンネルのピッチを 0.2 mm とし、チャンネルの短軸方向における開口幅を 2.5 mm とした。表 3 中の「相対感度」は、圧電組成物の材料として C-6 (株式会社富士セラミックス製) を使用し、単層圧電板を用いたときの条件に設定し、シミュレーションを行った場合の超音波に対する感度を基準 (0) としたときの、各超音波探触子の感度を示している。

30

## 【0209】

【表 1】

表 1. DML型超音波探触子についてのシミュレーション結果

区分	No.	$k_{\text{eff}}$ [-]	$\epsilon_{33}^s$ [-]	$E_c$ [kV/cm]	相対感度[dB]
実施例	1	0.5	2200	18	1.2
	2	0.5	1700	18	0.5
	3	0.7	600	18	1.8
	4	0.9	600	18	3.6
	5	0.9	2200	18	8.2
	6	0.7	1200	18	5.3
	7	0.5	2200	15	1.0
	8	0.55	1400	15	1.3
	9	0.7	600	15	1.6
	10	0.9	600	15	3.4
	11	0.9	2200	15	8.0
	12	0.7	1400	15	5.7
	13	0.65	2200	10	2.0
	14	0.65	1400	10	0.8
	15	0.85	600	10	1.1
	16	0.9	1400	10	3.5
	17	0.9	2200	10	4.5
	18	0.75	1400	10	3.4
	19	0.75	2200	7	1.1
	20	0.75	1400	7	0.3
	21	0.9	1600	7	0.8
参考例	R1	0.69	820	10.5	0
比較例	C1	0.5	1200	18	-1.5
	C2	0.6	600	18	-2.2
	C3	0.55	800	15	-2.4
	C4	0.55	2200	10	-1.0
	C5	0.6	1200	10	-1.2
	C6	0.7	600	10	-2.0
	C7	0.65	2200	7	-1.1
	C8	0.65	1400	7	-2.3
	C9	0.85	800	7	-0.6

10

20

30

40

【表 2】

表 2. 多層型超音波探触子についてのシミュレーション結果

区分	No.	$k_{\text{eff}}$ [—]	$\epsilon_{33}^s$ [—]	$E_c$ [kV/cm]	相対感度 [dB]
実施例	22	0.5	800	18	1.0
	23	0.5	2200	15	1.1
	24	0.5	1000	15	0.4
	25	0.65	2200	9	0.4
	26	0.65	1000	9	0.4
	27	0.75	600	9	0.9
	28	0.9	600	9	0.9
	29	0.9	2200	9	2.1
	30	0.8	2200	7	0.2
	31	0.8	800	7	0.6
	32	0.9	1000	7	0.1
	33	0.55	2200	15	2.5
	34	0.55	1400	15	2.7
	35	0.6	600	15	1.5
	36	0.65	2200	11	2.1
	37	0.65	1000	11	2.1
	38	0.75	600	9	0.9
	39	0.9	600	9	0.9
	40	0.5	2200	18	2.5
	41	0.9	600	18	6.7
	42	0.9	1400	18	8.4
	43	0.9	2200	18	8.0
	44	0.7	1200	18	7.7
	45	0.75	600	15	5.3
	46	0.9	600	15	5.3
	47	0.9	2200	15	6.5
	48	0.7	1400	15	6.3
	49	0.75	1400	9	2.8
	50	0.5	1400	18	2.3
	51	0.6	600	18	3.0
52	0.5	2200	17	2.5	
53	0.5	1400	17	2.3	
54	0.6	600	17	3.0	
55	0.75	600	11	2.6	
56	0.9	600	11	2.6	
57	0.75	2200	9	2.4	
58	0.75	1000	9	2.4	
59	0.9	1000	9	2.2	
60	0.9	2200	9	2.2	
参考例	R2	0.70	1210	7	0
比較例	C10	0.55	600	13	-1.3
	C11	0.5	1400	13	-0.4
	C12	0.5	2200	13	-0.2
	C13	0.6	2200	9	-0.8
	C14	0.6	1200	9	-0.6
	C15	0.7	600	9	-0.3
	C16	0.7	2200	7	-0.9
	C17	0.65	1000	7	-0.6
C18	0.8	600	7	-0.3	

10

20

30

40

【表 3】

表 3. 単層型超音波探触子についてのシミュレーション結果

区分	No.	$k_{\text{eff}}$ [-]	$\epsilon_{33}^s$ [-]	$E_c$ [kV/cm]	相対感度 [dB]
実施例	61	0.55	2200	18	1.3
	62	0.55	1400	18	0.2
	63	0.75	600	18	1.4
	64	0.9	600	18	1.1
	65	0.9	2200	18	5.2
	66	0.7	1200	18	3.8
	67	0.55	2200	13	1.3
	68	0.55	1400	13	0.2
	69	0.75	600	13	1.4
	70	0.9	600	13	1.1
	71	0.9	2200	13	5.2
	72	0.7	1400	13	4.4
	73	0.8	600	10	0.4
	74	0.85	600	10	0.7
	75	0.9	2200	10	3.3
	76	0.75	2200	7	1.0
	77	0.75	1400	7	0.3
	78	0.85	1200	7	0.3
	79	0.9	2200	7	0.2
	80	0.8	1600	7	1.2
参考例	R3	0.69	820	10.5	0
比較例	C19	0.5	2000	13	-0.7
	C20	0.5	1400	13	-0.9
	C21	0.6	600	13	-2.1
	C22	0.55	2200	10	-0.7

## 【0212】

表 1 に示されるように、実施例に係る超音波探触子 1 ~ 21 については、基準となる超音波探触子 R1 と比較して、超音波に対する感度が優れていた。これは、超音波探触子 1 ~ 21 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{\text{eff}}$ ,  $\epsilon_{33}^s$ ,  $E_c$ ) において上記点 A1 から点 A18 を頂点とする上記第 1 多面体で囲まれる領域 (図 2 参照) に含まれる圧電特性を有するためと考えられる。

## 【0213】

一方、比較例に係る超音波探触子 C1 ~ C9 については、基準となる超音波探触子 R1 と比較して、超音波に対する感度が不十分であった。これは、超音波探触子 C1 ~ C9 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{\text{eff}}$ ,  $\epsilon_{33}^s$ ,  $E_c$ ) において上記点 A1 から点 A18 を頂点とする上記第 1 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さないためと考えられる。

## 【0214】

10

20

30

40

50

また、表 2 に示されるように、実施例に係る超音波探触子 22 ~ 60 については、基準となる超音波探触子 R 2 と比較して、超音波に対する感度が優れていた。これは、超音波探触子 22 ~ 60 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において上記点 B 1 から点 B 14 を頂点とする上記第 2 多面体で囲まれる領域 (図 5 参照) に含まれる圧電特性を有するためと考えられる。

【0215】

特に、実施例に係る超音波探触子 40 ~ 60 については、基準となる超音波探触子 R 2 と比較して、相対感度が 2.2 dB 以上であった。これは、超音波探触子 40 ~ 60 の圧電組成物が ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において上記点 B 51 から点 B 64 を頂点とする上記第 2 多面体で囲まれる領域 (図 6 参照) に含まれる圧電特性を有するためと考えられる。

10

【0216】

一方、比較例に係る超音波探触子 C 10 ~ C 18 については、基準となる超音波探触子 R 2 と比較して、超音波に対する感度が不十分であった。これは、超音波探触子 C 10 ~ C 18 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において上記点 B 1 から点 B 18 を頂点とする上記第 2 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さないためと考えられる。

【0217】

また、表 3 に示されるように、実施例に係る超音波探触子 61 ~ 80 については、基準となる超音波探触子 R 3 と比較して、超音波に対する感度が優れていた。これは、超音波探触子 61 ~ 80 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において上記点 C 1 から点 C 18 を頂点とする上記第 3 多面体で囲まれる領域 (図 8 参照) に含まれる圧電特性を有するためと考えられる。

20

【0218】

一方、比較例に係る超音波探触子 C 19 ~ C 22 については、基準となる超音波探触子 R 3 と比較して、超音波に対する感度が不十分であった。これは、超音波探触子 C 19 ~ C 22 の圧電組成物が直交座標 ( $k_{eff}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) において上記点 C 1 から点 C 18 を頂点とする上記第 3 多面体で囲まれる領域に含まれる圧電特性を有さないためと考えられる。

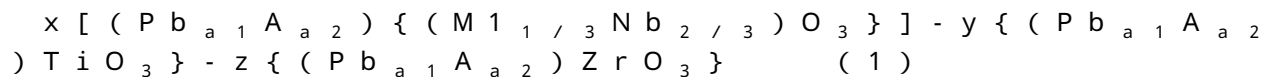
30

【0219】

[ 圧電素子の製造 ]

次いで、本発明に係る超音波探触子に使用されうる、下記一般式 (1) または (2) で表される組成を有する圧電組成物および当該圧電組成物を主成分とする圧電素子の製造方法を説明する。また、製造した圧電素子の圧電特性 ( $d_{33}$ ,  $k_{33}$ ,  $\epsilon_{33}^S$ ,  $E_c$ ) についても評価した。

【0220】



【0221】

ただし、上記一般式 (1) において、A は Ba または Sr であり、M1 は Mg、または Mg および Zn であり、かつ下記式が満足される。

40

$$0 \leq a_2 \leq 1$$

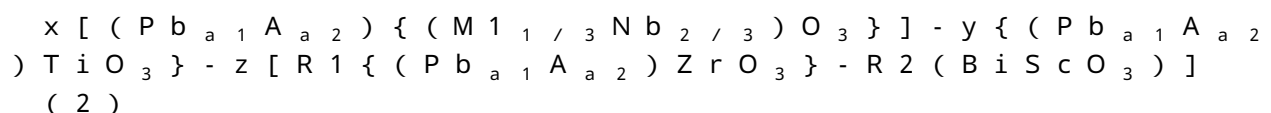
$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0 \leq x \leq 0.375$$

$$0 \leq y / (y + z) \leq 0.64$$

【0222】



50

## 【0223】

ただし、上記一般式(2)において、AはBaまたはSrであり、M1はMg、またはMgおよびZnであり、かつ下記式が満足される。

$$0.1 < a_2 < 0.15$$

$$a_1 + a_2 = 1$$

$$x + y + z = 1$$

$$0.1 < x < 0.25$$

$$0.5 < y / (y + z) < 0.64$$

$$0 < R_2 < 0.25$$

## 【0224】

なお、以下では、バルクセラミックスに関して説明するが、本発明における圧電組成物は、特にセラミックス(多結晶)に限るわけではなく、配向セラミックス、厚膜、単結晶の場合にも適用され得る。また、当該圧電組成物がセラミックスや単結晶の場合には、セラミックスや単結晶の熱処理は、所望の大きさに切断してから行ってもよい。

## 【0225】

[圧電素子1の作製]

(原料準備工程)

上記一般式(1)において、 $x : y : z$ が $0.375 : 0.40 : 0.225$ 、 $a_2$ が $0.05$ となる割合で、 $PbO$ 、 $BaCO_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $TiO_2$ および $MgNb_2O_6$ の各粉体を、全体で $30g$ となるように秤量した。

## 【0226】

上記粉体と、 $80mL$ のエタノールと、適量の $ZrO_2$ ボールとをポットに入れ、上記粉体をボールミルで $16$ 時間粉碎した。次いで、得られた混合粉体を、炉内温度 $800$ で $6$ 時間加熱することで仮焼した。得られた粉体をさらに上記と同様の条件でボールミルによってさらに粉碎して仮焼粉体1を得た。

## 【0227】

$100$ 質量部の仮焼粉体1に対して $3$ 質量部のPVBを仮焼粉体1に添加し、混合し、プレス成形によって円板状に成形して成形体1を得た。成形体1の直径は $12mm$ であり、高さ(厚み)は $1.5mm$ である。

## 【0228】

(熱処理工程)

成形体1からの原料成分の揮発を抑えるために成形体1を坩堝に入れて、坩堝炉内温度を室温から $1250$ まで、昇温速度 $200$ /時間で昇温した。次いで、成形体1を炉内温度 $1250$ で $2$ 時間加熱した。

## 【0229】

(冷却工程)

当該熱処理後の成形体1を冷却速度 $0.05 \sim 0.3$ /秒で室温まで冷却し、第1熱処理を施した成形体1を得た。

## 【0230】

(電極形成工程)

そして、圧電組成物1を研磨し、スパッタによって金電極を配置し、ダイヤモンドカッターにて所望の大きさ( $4mm \times 1.5mm \times 0.4mm$ )に切断した。

## 【0231】

(分極工程)

次に、分極処理を、オイルバス中の $60$ のオイル中で $35kV/cm$ の電界を $30$ 分間印加することで行い、こうして圧電定数 $d_{33}$ および抗電界 $E_c$ の測定用の圧電素子1を得た。

## 【0232】

なお、後述の電気機械結合係数 $k_{33}$ および束縛比誘電率 $\epsilon_{33}^S$ の測定用のサンプルとして、圧電組成物1を $1mm \times 1mm \times 3mm$ の大きさに切断し、長手方向において互

10

20

30

40

50

いに対向する面にスパッタにより金電極を成膜した圧電素子を作製した。そして、上記分極工程と同様にして、 $k_{33}$  および  $d_{33}^S$  の測定用の圧電素子 1 についても分極処理を行った。

【0233】

[評価]

(1) 圧電定数  $d_{33}$  の測定

$d_{33}$  測定用の圧電素子 1 を用いて、圧電組成物 1 の圧電定数  $d_{33}$  を、ベルリンコート式の  $d_{33}$  メータを用いて測定した。その結果、圧電素子 1 の  $d_{33}$  は  $432 \text{ pC/N}$  であった。

【0234】

(2) 電気機械結合係数  $k_{33}$  の測定

$k_{33}$  測定用の圧電素子 1 を用いて、圧電組成物 1 の電気機械結合係数  $k_{33}$  を、インピーダンスアナライザ (Agilent 4294A; アジレント・テクノロジー株式会社製) を用いて共振・反共振法により測定した。その結果、圧電素子 1 の  $k_{33}$  は  $0.66$  であった。

【0235】

(3) 束縛比誘電率  $d_{33}^S$  の測定

$d_{33}^S$  測定用の圧電素子 1 を用いて、圧電組成物 1 の束縛比誘電率  $d_{33}^S$  を、前述のインピーダンスアナライザを用いて反共振周波数以上の周波数で測定した。その結果、圧電素子 1 の  $d_{33}^S$  は  $1510$  であった。

【0236】

(4) 抗電界  $E_c$  の測定

$E_c$  測定用の圧電素子 1 を用いて、圧電組成物 1 の抗電界  $E_c$  を、チャージアンプ方式の強誘電体特性評価システム (株式会社リードテック製) を用いて測定した。その結果、圧電素子 1 の  $E_c$  は  $12 \text{ kV/cm}$  であった。

【0237】

[圧電素子 2 ~ 7 の作製]

$x$ 、 $y$ 、 $z$  および  $a_2$  が下記表 4 に示す値となるように  $\text{PbO}$ 、 $\text{BaCO}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$  および  $\text{MgNb}_2\text{O}_6$  の各粉体を使用した以外は圧電素子 1 と同様にして、圧電素子 2 ~ 7 を作製し、圧電素子 1 と同様にして圧電特性を評価した。

【0238】

[圧電素子 8、9 の作製]

上記一般式 (1) における  $A$  として、 $Ba$  の代わりに  $Sr$  に置換されるように  $\text{BaCO}_3$  の代わりに  $\text{SrCO}_3$  の粉体を使用した以外は圧電素子 2 と同様にして、圧電素子 8 を作製し、圧電素子 1 と同様にして圧電特性を評価した。また、 $A$  として、 $Ba$  の代わりに  $Sr$  に置換されるように  $\text{BaCO}_3$  の代わりに  $\text{SrCO}_3$  の粉体を使用した以外は圧電素子 3 と同様にして、圧電素子 9 を作製し、圧電素子 1 と同様にして圧電特性を評価した。

【0239】

[圧電素子 10 ~ 13 の作製]

$x$ 、 $y$ 、 $z$  および  $a_2$  が下記表 4 に示す値となるように、かつ上記一般式 (2) における  $R_2$  が下記表 4 に示す値となるように  $\text{PbO}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{BaCO}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgNb}_2\text{O}_6$  および  $\text{Sc}_2\text{CO}_3$  の各粉体を使用した以外は圧電素子 1 と同様にして、圧電素子 10 ~ 13 を作製し、圧電素子 1 と同様にして圧電特性を評価した。

【0240】

なお、圧電素子 2 ~ 13 の作製において、分極処理での温度はいずれも  $40 \sim 150$  の範囲内であり、印加電圧は  $10 \sim 40 \text{ kV/cm}$  の範囲内であり、電圧印加時間は  $10 \sim 60$  分間の範囲内であった。

【0241】

圧電素子 1 ~ 13 について、区分、 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $y/(y+z)$ 、 $a_2$ 、 $R_2$ 、元素  $A$ 、 $d_{33}$ 、 $k_{33}$ 、 $d_{33}^S$  および  $E_c$  を表 4 に示す。表 4 において、「No.」は、圧

10

20

30

40

50

電素子 No. を示している。

【 0 2 4 2 】

【 表 4 】

No.	x	y	z	y/(y+z)	a2	R2	A	d <sub>33</sub> [pC/N]	k <sub>33</sub> [-]	ε <sub>33s</sub> [-]	E <sub>c</sub> [kV/cm]
1	0.375	0.40	0.225	0.64	0.05	0	Ba	432	0.66	1510	12.0
2	0.25	0.42	0.33	0.56	0.05	0	Ba	505	0.69	1100	12.1
3	0.20	0.43	0.37	0.538	0.05	0	Ba	460	0.72	1120	13.5
4	0.20	0.43	0.37	0.538	0.07	0	Ba	516	0.71	1230	12.9
5	0.20	0.44	0.36	0.55	0.07	0	Ba	420	0.67	1130	15.0
6	0.15	0.44	0.41	0.518	0.07	0	Ba	550	0.72	1140	13.0
7	0.15	0.45	0.40	0.529	0.07	0	Ba	400	0.67	1060	15.4
8	0.25	0.42	0.33	0.56	0.05	0	Sr	524	0.70	1250	12.5
9	0.20	0.43	0.37	0.538	0.05	0	Sr	480	0.71	1150	13.0
10	0.10	0.48	0.42	0.533	0.05	0.25	Ba	572	0.72	1100	13.1
11	0.15	0.46	0.39	0.541	0.05	0.12	Ba	440	0.68	1080	15.8
12	0.15	0.465	0.385	0.547	0.05	0.25	Ba	599	0.72	1150	13.0
13	0.20	0.44	0.36	0.55	0.05	0.12	Ba	563	0.73	1130	12.0

10

20

30

40

【 0 2 4 3 】

表 4 から明らかなように、圧電素子 1 ~ 13 は、いずれも、下記式を満たしていた。k<sub>eff</sub> の値は、0.9 × k<sub>33</sub> から 1 × k<sub>33</sub> 程度の大きさであることを考慮すると、圧電素子 1 ~ 13 は、いずれも、上記第 1 多面体、上記第 2 多面体、上記第 2' 多面体および上記第 3 多面体のいずれにも含まれる。すなわち、上記一般式 (1) または一般式 (2) で表される組成を主成分とする圧電素子 1 ~ 13 は、上記実施の形態 1 ~ 3 に係る超音波探触子と同一の構成を有する超音波探触子のいずれにも有効な材料であることがわかる。

50

$$k_{33} = 0.65$$

$$s_{33} = 1.000$$

$$E_c = 1.2$$

## 【0244】

また、圧電素子2および圧電素子8の圧電特性と、圧電素子3および圧電素子9の圧電特性とをそれぞれ互いに比較すると、A元素がBaまたはSrのいずれであっても、圧電特性に顕著な違いがないことがわかる。すなわち、A元素がBaまたはSrのいずれであっても、上記一般式(1)または一般式(2)で表される組成を有する圧電素子1~13は、上記実施の形態1~3に係る超音波探触子と同一の構成を有する超音波探触子のいずれにも有効な材料であることがわかる。

10

## 【0245】

さらに、圧電素子1~9および圧電素子10~13の圧電特性を互いに比較すると、R2が0より大きい場合には、 $s_{33}$ を同程度の大きさに保ちながら、 $d_{33}$ および $k_{33}$ の値が大きくなっていることがわかる。すなわち、圧電組成物に $\text{BiScO}_3$ を導入することは、超音波探触子として重要な圧電組成物の分極方向の圧電特性を高める観点から好ましいことがわかる。なお、本実施例では、AのBaおよびSrの置換量を0とすることも可能である。また、M1の一部をZnに置換することも可能である。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0246】

本発明によれば、圧電組成物の厚みが小さい場合においても高感度な超音波探触子を構成することが可能となる。したがって、本発明によれば、超音波撮像装置のさらなる普及が期待される。

20

## 【符号の説明】

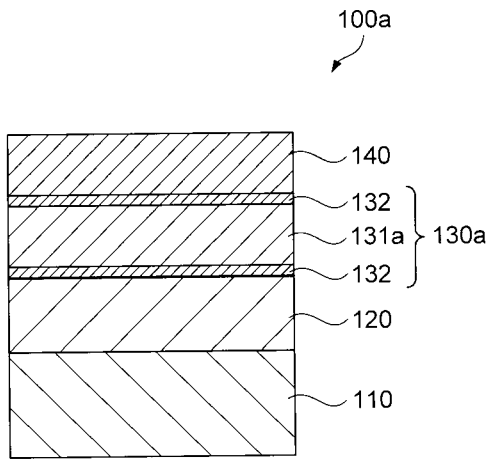
## 【0247】

- 100 a ~ d 超音波探触子
- 110 背面負荷材
- 120 音響背面層
- 130 a ~ d 圧電素子
- 131 a ~ d 圧電組成物
- 132 (1321、1322) 電極
- 1331、1332 取り出し電極
- 134 絶縁体
- 140 音響整合層
- 200 a ~ d 超音波撮像装置
- 201 装置本体
- 202 ケーブル
- 203 入力部
- 204 制御部
- 205 送信部
- 206 受信部
- 207 画像処理部
- 208 表示部

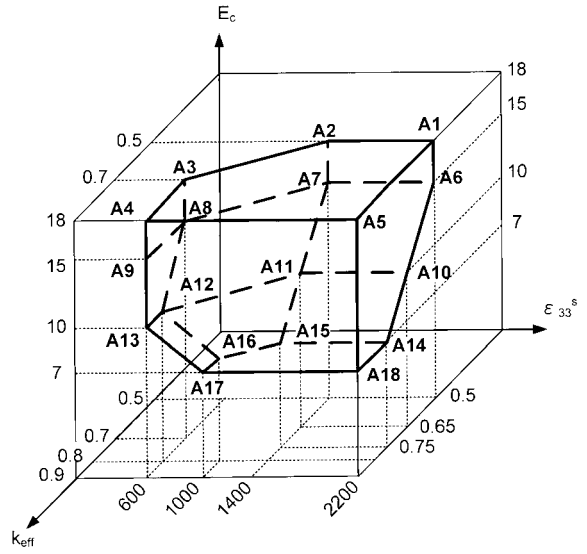
30

40

【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】

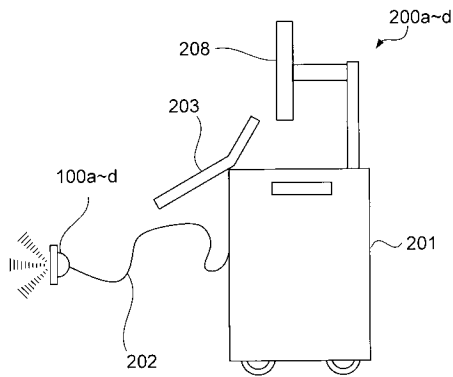


図3A

【 図 4 】

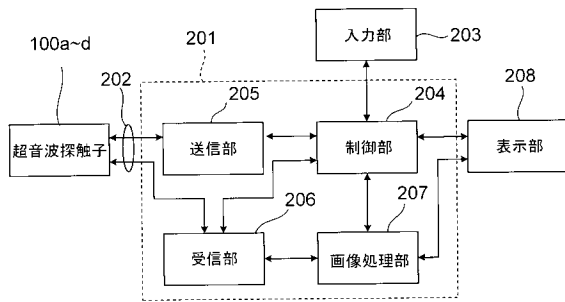
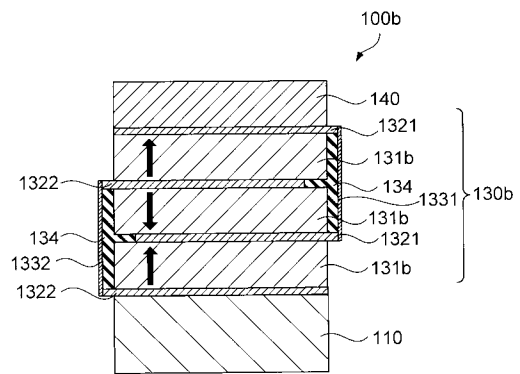
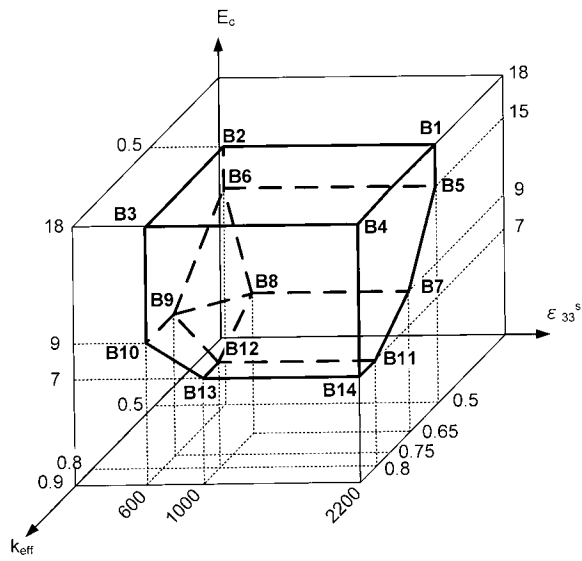
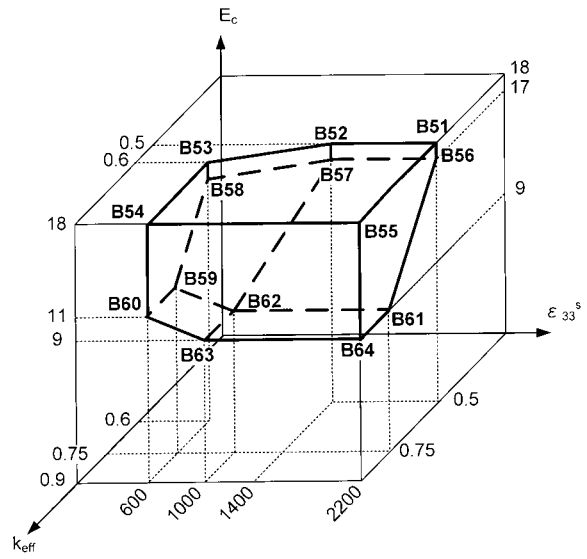


図3B

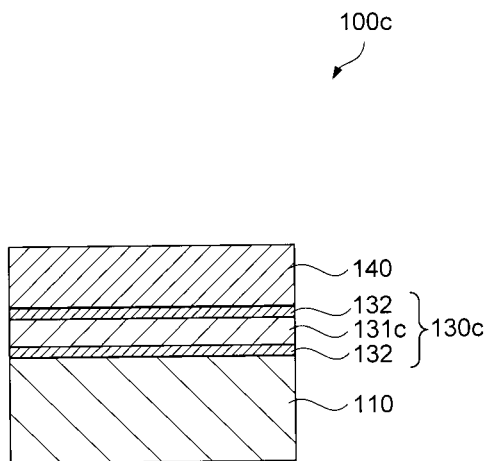
【 図 5 】



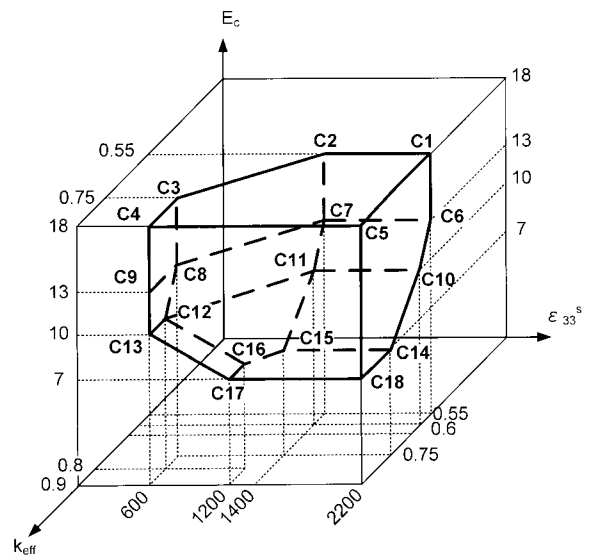
【 図 6 】



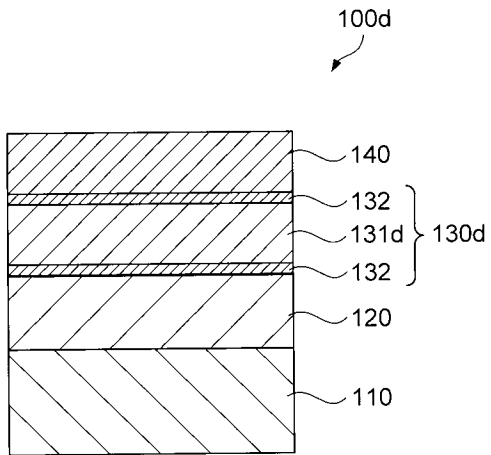
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 加藤 純一

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

(72)発明者 齋藤 孝悦

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

Fターム(参考) 4C601 EE03 GB02

4G031 AA03 AA05 AA06 AA07 AA11 AA12 AA14 AA26 AA32 AA35

BA10 CA01 CA02 GA01 GA04 GA06 GA07 GA11

专利名称(译)	压电元件，超声波探头和超声波成像设备		
公开(公告)号	<a href="#">JP2017228562A</a>	公开(公告)日	2017-12-28
申请号	JP2016121715	申请日	2016-06-20
[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		
[标]发明人	小澤仁 峯本尚 加藤純一 齋藤孝悦		
发明人	小澤 仁 峯本 尚 加藤 純一 齋藤 孝悦		
IPC分类号	H01L41/187 H01L41/09 H01L41/113 A61B8/00 C04B35/493		
CPC分类号	A61B8/00 H01L41/04 A61B8/4494 B06B1/0607 B06B1/0611 B06B1/0677 G01S7/52079 G01S15/8909 G01S15/8915 H01L41/18 H01L41/1875 H01L41/1876 A61B8/4444 H01L41/047 H01L41/1132		
FI分类号	H01L41/187 H01L41/09 H01L41/113 A61B8/00 C04B35/49.Q C04B35/493		
F-TERM分类号	4C601/EE03 4C601/GB02 4G031/AA03 4G031/AA05 4G031/AA06 4G031/AA07 4G031/AA11 4G031/AA12 4G031/AA14 4G031/AA26 4G031/AA32 4G031/AA35 4G031/BA10 4G031/CA01 4G031/CA02 4G031/GA01 4G031/GA04 4G031/GA06 4G031/GA07 4G031/GA11		
代理人(译)	木曾隆		
其他公开文献	JP6683029B2		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

要解决的问题：即使压电组合物的厚度小，也能提供对超声波的灵敏度优异的超声波探头。 解决方案：超声波探头具有压电元件，该压电元件包括压电组合物和用于向压电组合物施加电压的电极。压电组合物是正交坐标  $(k(\text{sub}) > ,$  其变量为  $k_{\text{eff}}, \epsilon_{33} \text{ S}$  和  $E_c$  由多面体包围，其顶点是  $\text{eff}$  中预定数量的点， $\epsilon_{33} \text{ S}, E_c$  ) 并且具有包含在该区域中的压电特性。 .The

