

(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2017-183542

(P2017-183542A)

(43) 公開日 平成29年10月5日(2017.10.5)

(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 G 0 3 1
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/09	
CO 4 B 35/491 (2006.01)	CO 4 B 35/49	A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2016-69146 (P2016-69146)
 (22) 出願日 平成28年3月30日(2016.3.30)

(71) 出願人 000004064
 日本碍子株式会社
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
 (74) 代理人 110000202
 新樹グローバル・アイビー特許業務法人
 (72) 発明者 植谷 政之
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
 日本碍子株式会社内
 (72) 発明者 日比野 朝彦
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
 日本碍子株式会社内
 (72) 発明者 森下 瑛文
 愛知県名古屋市瑞穂区須田町2番56号
 日本碍子株式会社内
 Fターム(参考) 4G031 AA11 AA12 AA32 BA10 CA04
 GA11

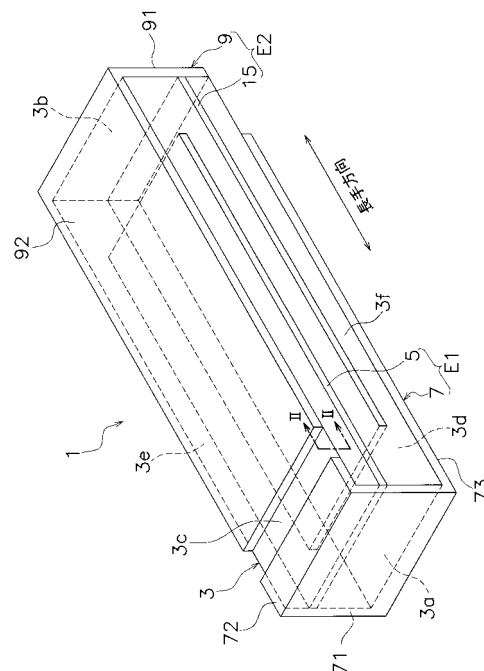
(54) 【発明の名称】 圧電素子

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 表面にクラックが発生することを抑制可能な圧電素子を提供する。

【解決手段】 圧電素子1は、PZTを主相としPZTとは異なる成分を異相とする圧電体3と、第1及び第2電極E1、E2とを備える。圧電体3は、第1側面3cから10μm以内の表面領域と、第1側面3cから10μm超の内部領域とを有する。表面領域の断面における異相の面積占有率は、内部領域の断面における異相の面積占有率よりも0.75%以上大きい。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

チタン酸ジルコン酸鉛を主相とし、チタン酸ジルコン酸鉛とは異なる成分を異相とする圧電体と、

前記圧電体に設けられる一対の電極と、
を備え、

前記圧電体は、表面から 10 μm 以内の表面領域と、前記表面から 10 μm 超の内部領域とを有し、

前記表面領域の断面における前記異相の面積占有率は、前記内部領域の断面における前記異相の面積占有率よりも 0.75% 以上大きい、

圧電素子。

10

【請求項 2】

前記表面領域の断面における前記異相の面積占有率は、1.6% 以上であり、

前記内部領域の断面における前記異相の面積占有率は、1.3% 以下である、

請求項 1 に記載の圧電素子。

【請求項 3】

前記表面領域を構成するチタン酸ジルコン酸鉛粒子の平均粒径は、前記内部領域を構成するチタン酸ジルコン酸鉛粒子の平均粒径よりも小さい、

請求項 1 又は 2 に記載の圧電素子。

20

【請求項 4】

前記表面領域を構成するチタン酸ジルコン酸鉛粒子の平均粒径は、0.90 μm 以下であり、

前記内部領域を構成するチタン酸ジルコン酸鉛粒子の平均粒径は、0.95 μm 以上である、

請求項 3 に記載の圧電素子。

【請求項 5】

前記表面領域の断面における前記異相の平均円相当径は、前記内部領域の断面における前記異相の平均円相当径よりも大きい、

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の圧電素子。

30

【請求項 6】

前記表面領域の断面における前記異相の個数は、前記内部領域の断面における前記異相の個数よりも多い、

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の圧電素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電素子に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、圧電セラミックス材料によって構成される圧電体と、圧電体に設けられる一対の電極とを備える圧電素子が知られている。圧電素子は、電圧の印加によって圧電体が変形する逆圧電効果を利用したアクチュエータ、インクジェットヘッド、スピーカー、ブザー及びレゾネータや、圧電体に加えられる力を電圧に変換する圧電効果を利用したジャイロセンサ及びショックセンサなどに用いられる。

40

【0003】

圧電体を構成する圧電セラミックス材料としては、高い電気機械結合係数と高い圧電定数を両立可能なチタン酸ジルコン酸鉛 (PZT) が好適である (例えば、特許文献 1 参照)。

【先行技術文献】

【特許文献】

50

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 1 4 - 1 9 5 0 0 0 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、圧電体に機械的負荷がかかると、圧電体の表面にクラックが発生する場合がある。そこで、PZT粒子の粒成長を抑制して粒径を小さくすることによって、圧電体の機械的強度を向上させることが考えられるが、PZT粒子の粒径を小さくすると圧電体の変位特性が低下してしまうという問題がある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、上述の状況に鑑みてなされたものであり、表面クラックを抑制しつつ変位特性の低下を抑制可能な圧電素子を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明に係る圧電素子は、チタン酸ジルコン酸鉛を主相とし、チタン酸ジルコン酸鉛とは異なる成分を異相とする圧電体と、圧電体に設けられる一対の電極とを備える。圧電体は、表面から10 μ m以内の表面領域と、表面から10 μ m超の内部領域とを有する。表面領域の断面における異相の面積占有率は、内部領域の断面における異相の面積占有率よりも0.75%以上大きい。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、表面にクラックが発生することを抑制可能な圧電素子を提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 圧電素子の構成を示す斜視図

【 図 2 】 図 1 の II - II 断面図

【 図 3 】 表面領域断面の反射電子像の一例

【 図 4 】 表面領域断面の二次電子像の一例

【 図 5 】 反射電子像を二値化した画像の一例

【 図 6 】 PZT粒子の平均粒径Uの算出方法を説明するためのSEM画像

【 図 7 】 圧電素子の製造方法を説明するための図

【 図 8 】 3点曲げ試験方法を説明するための図

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

(圧電素子 1 の 構成)

1 . 概 要

図 1 は、実施形態に係る圧電素子 1 の構成を示す斜視図である。圧電素子 1 は、圧電体 3、第 1 電極 E 1 及び第 2 電極 E 2 を備える。第 1 電極 E 1 は、第 1 内部電極 5 と第 1 外部電極 7 を有する。第 2 電極 E 2 は、第 2 内部電極 1 5 と第 2 外部電極 9 を有する。圧電素子 1 は、例えば、ハードディスク装置 (HDD) のヘッドサスペンションに設けられるヘッドスライダを駆動するためのアクチュエータとして好適に用いられる。

【 0 0 1 1 】

2 . 圧電体 3

圧電体 3 は、長手方向に延びる略直方体状に形成される。圧電体 3 は、一対の端面 3 a、3 b、一対の第 1 側面 3 c、3 d 及び一対の第 2 側面 3 e、3 f を有する。一対の端面 3 a、3 b、一対の第 1 側面 3 c、3 d 及び一対の第 2 側面 3 e、3 f は、圧電体 3 の表面である。一対の端面 3 a、3 b は、長手方向に対して垂直であり、互いに対向する。一対の第 1 側面 3 c、3 d は、長手方向と平行に延びており、互いに対向する。一対の第 2 側面 3 e、3 f は、長手方向と平行に延びており、互いに対向する。一対の第 2 側面 3 e

10

20

30

40

50

, 3 f は、一对の第 1 側面 3 c , 3 d と直交する。

【 0 0 1 2 】

圧電体 3 は、圧電セラミック材料によって構成される。圧電体 3 は、チタン酸ジルコン酸鉛 (P Z T : P b (Z r , T i) O ₃) を主相 (主成分) として含有する。圧電体 3 は、P Z T とは異なる成分を異相 (異成分) として含有する。異相を構成する材料としては、ジルコニア (Z r O ₂) 、アルミナ (A l ₂ O ₃) 、シリカ (S i O ₂) 、酸化ニッケル (N i O) 、酸化ニオブ (N b ₂ O ₅) 、酸化鉛 (P b O) 、酸化亜鉛 (Z n O) 、酸化銅 (C u O) 、酸化マンガン (M n O) 及びこれらのうち 2 以上を組み合わせた混合材料が挙げられる。また、圧電体 3 は、アルミナ (A l ₂ O ₃) 、シリカ (S i O ₂) 、酸化ニッケル (N i O) 、酸化ニオブ (N b ₂ O ₅) 、酸化鉛 (P b O) 、酸化亜鉛 (Z n O) 、酸化銅 (C u O) 、酸化マンガン (M n O) を副成分として含有していてもよい。圧電体 3 の微構造については後述する。

10

【 0 0 1 3 】

3 . 第 1 電極 E 1

第 1 内部電極 5 は、圧電体 3 に埋設される。第 1 内部電極 5 は、一对の第 1 側面 3 c , 3 d と平行に形成される。第 1 内部電極 5 は、板状に形成される。第 1 内部電極 5 は、端面 3 a に露出し、かつ、端面 3 b には露出しない。第 1 内部電極 5 は、一对の第 2 側面 3 e , 3 f それぞれに露出する。第 1 内部電極 5 は、例えば P t によって構成することができる。第 1 内部電極 5 の厚みは特に制限されないが、例えば 0 . 5 μ m ~ 3 . 0 μ m にすることができる。

20

【 0 0 1 4 】

第 1 外部電極 7 は、第 1 電極部 7 1 、第 2 電極部 7 2 及び第 3 電極部 7 3 を有する。第 1 電極部 7 1 は、端面 3 a 上に配置される。第 1 電極部 7 1 は、端面 3 a の略全部を覆う。第 2 電極部 7 2 は、第 1 側面 3 c 上に配置される。第 2 電極部 7 2 は、第 1 側面 3 c の一端部を覆う。第 3 電極部 7 3 は、第 1 側面 3 d 上に配置される。第 3 電極部 7 3 は、第 1 側面 3 d の半分以上を覆う。第 3 電極部 7 3 は、第 2 内部電極 1 5 と対向する。第 1 電極部 7 1 、第 2 電極部 7 2 及び第 3 電極部 7 3 は、一体的に形成される。第 1 電極部 7 1 は、端面 3 a に露出する第 1 内部電極 5 に連結される。第 1 電極部 7 1 、第 2 電極部 7 2 及び第 3 電極部 7 3 は、例えば P t によって構成することができる。第 1 電極部 7 1 、第 2 電極部 7 2 及び第 3 電極部 7 3 それぞれの厚みは特に制限されないが、例えば 0 . 5 μ m ~ 3 . 0 μ m にすることができる。

30

【 0 0 1 5 】

4 . 第 2 電極 E 2

第 2 内部電極 1 5 は、圧電体 3 に埋設される。第 2 内部電極 1 5 は、一对の第 1 側面 3 c , 3 d と平行に形成される。第 2 内部電極 1 5 は、第 1 内部電極 5 と第 3 電極部 7 3 の間に配置される。第 2 内部電極 1 5 は、板状に形成される。第 2 内部電極 1 5 は、端面 3 b に露出し、かつ、端面 3 a には露出しない。第 2 内部電極 1 5 は、一对の第 2 側面 3 e , 3 f それぞれに露出する。第 2 内部電極 1 5 は、例えば P t によって構成することができる。第 2 内部電極 1 5 の厚みは特に制限されないが、例えば 0 . 5 μ m ~ 3 . 0 μ m にすることができる。

40

【 0 0 1 6 】

第 2 外部電極 9 は、第 1 電極部 9 1 及び第 2 電極部 9 2 を有する。第 1 電極部 9 1 は、端面 3 b 上に配置される。第 1 電極部 9 1 は、端面 3 b の略全部を覆う。第 2 電極部 9 2 は、第 1 側面 3 c 上に配置される。第 2 電極部 9 2 は、第 1 側面 3 c の半分以上を覆う。第 2 電極部 9 2 は、第 1 内部電極 5 と対向する。第 1 電極部 9 1 及び第 2 電極部 9 2 は、一体的に形成される。第 1 電極部 9 1 は、端面 3 b に露出する第 2 内部電極 1 5 に連結される。第 1 電極部 9 1 及び第 2 電極部 9 2 は、例えば P t によって構成することができる。第 1 電極部 9 1 及び第 2 電極部 9 2 それぞれの厚みは特に制限されないが、例えば 0 . 5 μ m ~ 3 . 0 μ m にすることができる。

【 0 0 1 7 】

50

圧電素子 1 において、第 1 内部電極 5 及び第 1 外部電極 7 は圧電体 3 に電界を印加するための第 1 電極 E 1 として機能し、第 2 内部電極 1 5 及び第 2 外部電極 9 は圧電体 3 に電界を印加するための第 2 電極 E 2 として機能する。圧電体 3 のうち、第 2 電極部 9 2 と第 1 内部電極 5 によって挟まれた領域、第 1 内部電極 5 と第 2 内部電極 1 5 とで挟まれた領域、及び第 2 内部電極 1 5 と第 3 電極部 7 3 とで挟まれた領域は、印加された電界に応じて変位する活性領域である。

【 0 0 1 8 】

(圧電体 3 の微構造)

1 . 表面領域 3 1 と内部領域 3 2

図 2 は、図 1 の II - III 断面図である。圧電体 3 は、表面領域 3 1 と内部領域 3 2 とを有する。

10

【 0 0 1 9 】

表面領域 3 1 は、圧電体 3 の第 1 側面 3 c から $10\ \mu\text{m}$ 以内の領域である。表面領域 3 1 は、内部領域 3 2 上に形成される。表面領域 3 1 は、層状に形成される。内部領域 3 2 は、圧電体 3 の第 1 側面 3 c から $10\ \mu\text{m}$ 超の領域である。内部領域 3 2 は、表面領域 3 1 の内側に配置される。

【 0 0 2 0 】

2 . 異相の面積占有率 R

表面領域 3 1 及び内部領域 3 2 それぞれは、主相として P Z T を含有する。表面領域 3 1 における P Z T の含有率は、 $96\ \text{vol}\%$ 以上とすることができる。内部領域 3 2 における P Z T の含有率は、 $97\ \text{vol}\%$ 以上とすることができる。表面領域 3 1 は、異相として P Z T 以外の成分を含有する。内部領域 3 2 は、異相を含有していてもよいし、異相を含有していなくてもよい。

20

【 0 0 2 1 】

本実施形態において、表面領域 3 1 の断面における異相の面積占有率 R 1 は、内部領域 3 2 の断面における異相の面積占有率 R 2 よりも 0.75% 以上大きい。これによって、圧電体 3 の焼成時に、表面領域 3 1 を構成する P Z T 粒子の粒成長が異相の存在によって抑制されるため、表面領域 3 1 を構成する P Z T 粒子の平均粒径を小さくすることができる。その結果、圧電体 3 の表面における機械的強度を向上させることができるため、圧電体 3 の表面にクラックが発生することを抑制できる。また、圧電体 3 の焼成時に、内部領域 3 2 を構成する P Z T 粒子の粒成長が異相によって阻害されにくいため、内部領域 3 2 を構成する P Z T 粒子の平均粒径が大きくなり変位特性の低下が抑制される。

30

【 0 0 2 2 】

ここで、表面領域 3 1 における異相の面積占有率 R 1 と、内部領域 3 2 における異相の面積占有率 R 2 との算出方法について説明する。面積占有率 R 1 と面積占有率 R 2 の算出方法は同じであるため、以下においては面積占有率 R 1 の算出方法について説明する。

【 0 0 2 3 】

まず、反射電子検出器付き SEM (Scanning Electron Microscope) を用いて、表面領域 3 1 断面の反射電子像と二次電子像を取得する。観察範囲は、深さ方向 $10\ \mu\text{m}$ × 面方向 $20\ \mu\text{m}$ の矩形領域とする。SEM の加速電圧は $10.0\ \text{kV}$ とし、観察倍率は 5000 倍とする。反射電子像を取得する際には、異相が暗く表示されるようにコントラストと明るさを調整する。そして、反射電子像と二次電子像を比較して、反射電子像上において気孔を白色で塗りつぶす。図 3 は、表面領域 3 1 断面における気孔を白色で塗りつぶした後の反射電子像の一例である。図 4 は、表面領域 3 1 断面の二次電子像の一例である。

40

【 0 0 2 4 】

次に、画像処理ソフトウェア Pick Map (URL ; <http://fishers.dtdns.net/software/pickmap/index.html#1>) を用いて、SEM 画像と一致するように RGB の平均値を閾値として、反射電子像を白と黒に二値化する。図 5 は、反射電子像を二値化した画像の一例である。図 5 では、異相が黒で表示され、異相以外が白で表示されている。そして、

50

画像処理ソフトウェア P i c k M a p を用いて算出される異相の合計面積に基づいて、観察範囲における異相の面積占有率を取得する。

【 0 0 2 5 】

以上のように取得される面積占有率を表面領域 3 1 断面の 5 箇所を取得して、5 つの面積占有率の算術平均値を「面積占有率 R 1」とする。面積占有率を測定する 5 箇所は、長手方向において表面領域 3 1 を均等に 6 分割して得られる 5 断面とする。

【 0 0 2 6 】

表面領域 3 1 の断面における異相の面積占有率 R 1 は、1 . 6 % 以上であることが好ましく、2 . 0 % 以上であることがより好ましい。内部領域 3 2 の断面における異相の面積占有率 R 2 は、1 . 3 % 以下であることが好ましく、1 . 0 % 以下であることがより好ましい。

10

【 0 0 2 7 】

2 . 異相の平均円相当径 S

表面領域 3 1 の断面における異相の平均円相当径 S 1 は、内部領域 3 2 の断面における異相の平均円相当径 S 2 よりも大きいことが好ましい。表面領域 3 1 における異相の平均円相当径 S 1 は特に制限されないが、0 . 5 μ m 以上 2 . 0 μ m 以下とすることができる。内部領域 3 2 における異相の平均円相当径 S 2 は特に制限されないが、0 . 1 μ m 以上 1 . 0 μ m 以下とすることができる。

【 0 0 2 8 】

異相の円相当径は、S E M 画像を二値化した画像において、各異相の断面積と同じ面積を有する円の直径である。異相の平均円相当径 S は、1 枚の二値化画像（深さ方向 1 0 μ m × 面方向 2 0 μ m）において観察される全異相の円相当径の算術平均値である。

20

【 0 0 2 9 】

また、表面領域 3 1 の断面における異相の個数 T 1 は、内部領域 3 2 の断面における異相の個数 T 2 よりも多い。異相の個数 T は、1 枚の二値化画像（深さ方向 1 0 μ m × 面方向 2 0 μ m）において観察される異相の総個数である。

【 0 0 3 0 】

3 . P Z T 粒子の平均粒径 U

また、表面領域 3 1 を構成する P Z T 粒子の平均粒径 U 1 は、内部領域 3 2 を構成する P Z T 粒子の平均粒径 U 2 よりも小さい。表面領域 3 1 を構成する P Z T 粒子の平均粒径 U 1 は特に制限されないが、0 . 9 0 μ m 以下とすることができ、0 . 8 5 μ m 以下が好ましい。内部領域 3 2 を構成する P Z T 粒子の平均粒径 U 2 は特に制限されないが、0 . 9 5 μ m 以上とすることができ、1 . 0 μ m 以上が好ましい。

30

【 0 0 3 1 】

図 6 は、P Z T 粒子の平均粒径 U の算出方法を説明するための S E M 画像（反射電子像）である。P Z T 粒子の平均粒径 U の算出に用いる反射電子像には、観察範囲を深さ 1 0 μ m × 幅 2 4 μ m とし、加速電圧を 1 5 . 0 k V とし、観察倍率を 5 0 0 0 倍の条件で取得されたものを用いる。まず、反射電子像上に 2 4 μ m 幅の直線を 5 μ m 間隔で 3 本引く。次に、各直線上の P Z T 粒子の個数を数える。次に、2 4 μ m を各直線上の P Z T 粒子の個数で除すことで、3 本の直線それぞれにおける P Z T 粒子の粒径を求める。そして、3 本の直線それぞれにおける P Z T 粒子の粒径を算術平均（すなわち、3 で割る）することによって、P Z T 粒子の平均粒径 U が求められる。

40

【 0 0 3 2 】

（他の実施形態）

本発明は以上のような実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲を逸脱しない範囲で種々の変形又は変更が可能である。

【 0 0 3 3 】

上記実施形態において、圧電素子 1 は、第 1 内部電極 5 と第 1 外部電極 7 を有する第 1 電極 E 1 と、第 2 内部電極 1 5 と第 2 外部電極 9 を有する第 2 電極 E 2 を備えることとしたが、これに限られるものではない。圧電素子 1 は、圧電体 3 に電界を印加することので

50

きる一対の電極を備えていればよく、その構成、サイズ及び材料などに制限はない。従って、本発明に係る圧電体は、圧電素子 1 以外の様々な態様の圧電素子に適用可能である。

【0034】

上記実施形態では、圧電体 3 の表面のうち第 1 側面 3 c に表面領域 3 1 が形成されていることとしたが、これに限られるものではない。表面領域 3 1 は、圧電体 3 の表面の全面に形成されていてもよいし、圧電体 3 の表面の一部にのみ形成されていてもよい。表面領域 3 1 は、圧電体 3 のうち特にクラックを抑制したい箇所に設けてあればよい。

【実施例】

【0035】

以下において本発明に係る実施例について説明する。ただし、本発明は以下に説明する実施例に限定されるものではない。

10

【0036】

(実施例 1 ~ 3 の作製)

図 7 は、実施例 1 ~ 3 に係る圧電素子の製造方法を説明するための図である。

【0037】

まず、主成分としての P Z T 粉末 5 0 0 g、異相成分としての $A l_2 O_3$ 粉末 2 g、ビヒクル、分散剤及び可塑剤を混合したスラリーを用いて、表面領域用グリーンシートを 2 枚作製した。

【0038】

次に、主成分としての P Z T 粉末 5 0 0 g、ビヒクル、分散剤及び可塑剤を混合したスラリーを用いて、内部領域用グリーンシートを 3 枚作製した。そして、1 枚の内部領域用グリーンシートの主面上に P t を含む導電性ペーストを塗布して第 1 内部電極の成形体を形成し、もう 1 枚の内部領域用グリーンシートの主面上に P t を含む導電性ペーストを塗布して第 2 内部電極の成形体を形成した。残った内部領域用グリーンシートには導電性ペーストを塗布しなかった。

20

【0039】

次に、図 7 に示すように、3 枚の内部領域用グリーンシートを 2 枚の表面領域用グリーンシートで挟むように熱圧着して積層体を形成した。そして、積層体の外面上に P t を含む導電性ペーストを塗布して第 1 外部電極及び第 2 外部電極の成形体を形成した(図 1 参照)。

30

【0040】

次に、各電極の成形体が設けられたグリーンシートの積層体を焼成(1200、2時間)して、圧電素子を作製した。実施例 1 に係る圧電素子のサイズは、長さ 1.0 mm x 幅 0.3 mm x 高さ 0.08 mm であった。

【0041】

(比較例 1, 2 の作製)

比較例 1, 2 では、表面領域用グリーンシートに異相成分として $A l_2 O_3$ を混合しないこと以外は、実施例 1 ~ 3 と同じ工程にて圧電素子を作製した。比較例 1, 2 に係る圧電素子のサイズは、実施例 1 ~ 3 に係る圧電素子のサイズと同じであった。

【0042】

(異相の面積占有率の測定)

まず、実施例 1 ~ 3 及び比較例 1, 2 の圧電素子を切断して、表面領域と内部領域の断面を露出させた。

40

【0043】

次に、反射電子検出器付き S E M (日本電子製)を所定条件(観察範囲:深さ方向 10 μ m x 面方向 20 μ m、加速電圧:10.0 k V、観察倍率:5000 倍)で用いて、表面領域の断面上の 5 箇所(長手方向において圧電体を均等に 6 分割して得られる 5 断面)における反射電子像と二次電子像(図 4 参照)を取得した。

【0044】

次に、反射電子像と二次電子像を比較して、反射電子像上において気孔を白色で塗りつ

50

ぶした(図3参照)。次に、画像処理ソフトウェアPickMapを用いて、SEM画像と一致するようにRGBの平均値を閾値として反射電子像を白と黒に二値化した(図5参照)。そして、PickMapを用いて二値化画像における黒色領域(異相)の合計面積を算出し、二値化画像における異相の面積占有率を取得した。表面領域の断面上の5箇所における面積占有率の算術平均値を表1に示す。

【0045】

また、反射電子検出器付きSEM(日本電子製)を所定条件(観察範囲:深さ方向10 μm ×面方向20 μm 、加速電圧:10.0kV、観察倍率:5000倍)で用いて、内部領域の断面上の5箇所(長手方向において圧電体を均等に6分割して得られる5断面)における反射電子像と二次電子像を取得した。そして、上述した表面領域における異相の面積占有率と同じ算出手法によって、内部領域における異相の面積占有率を算出した。内部領域の断面上の5箇所における面積占有率の算術平均値を表1に示す。

10

【0046】

(PZT粒子の平均粒径)

まず、SEM(日本電子製)を所定条件(観察範囲:深さ方向19 μm ×面方向24 μm 、加速電圧:15.0kV、観察倍率:5000倍)で用いて、表面領域の断面上の1箇所(圧電体の表面付近)における反射電子像を取得した。

【0047】

反射電子像上に24 μm 幅の直線を5 μm 間隔で3本引く。次に、各直線上のPZT粒子の個数を数える。そして、24 μm をPZT粒子の個数で除した値の算術平均値をPZT粒子の平均粒径 U とした。表面領域におけるPZT粒子の平均粒径を表1に示す。

20

【0048】

また、SEM(日本電子製)を所定条件(観察範囲:深さ19 μm ×幅24 μm 、加速電圧:15.0kV、観察倍率:5000倍)で用いて、内部領域の断面上の1箇所(圧電体の表面から深さ30 μm 地点)における反射電子像を取得した。そして、上述した表面領域におけるPZT粒子の平均粒径と同じ算出手法によって、内部領域におけるPZT粒子の平均粒径を算出した。内部領域におけるPZT粒子の平均粒径を表1に示す。

【0049】

(破壊強度の測定)

図8に示すように、いわゆる3点曲げ試験によって、実施例1~3及び比較例1,2の圧電素子の破壊強度を測定した。測定結果を表1に示す。

30

【0050】

【表 1】

	表面領域の断面		内部領域の断面		圧電数	破壊強度
	異相の面積占有率	PZT粒子の平均粒径	異相の面積占有率	PZT粒子の平均粒径		
実施例1	2.0%	0.85 μ m	0.8%	0.95 μ m	150pm/V	0.180N
実施例2	1.8%	0.88 μ m	1.0%	0.95 μ m	150pm/V	0.175N
実施例3	2.2%	0.82 μ m	0.7%	1.00 μ m	150pm/V	0.182N
比較例1	1.0%	0.95 μ m	0.7%	0.95 μ m	150pm/V	0.165N
比較例2	0.8%	0.95 μ m	2.3%	0.80 μ m	135pm/V	0.185N

【0051】

表1に示すように、表面領域における異相の面積占有率が内部領域における異相の面積占有率よりも0.75%以上大きい実施例1～3では、圧電素子の破壊強度を向上させることができた。そのため、実施例1～3の圧電素子によれば、圧電体に機械的負荷がかかっても圧電体の表面にクラックが発生することを抑制できる。このような結果が得られたのは、圧電体の焼成時に、表面領域を構成するPZT粒子の粒成長が異相の存在によって抑制されて表面領域を構成するPZT粒子の平均粒径を小さくすることができたためである。なお、実施例1～3を比較すると、PZT粒子の平均粒径が小さいほど破壊強度を向上できることが分かる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

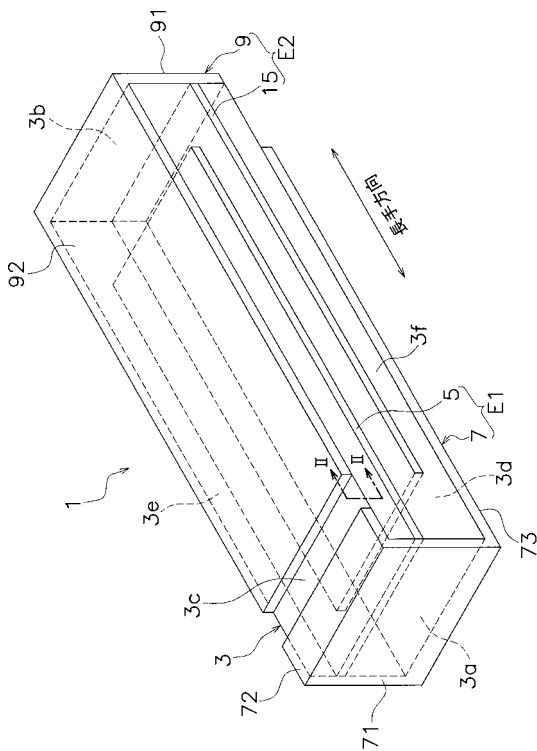
また、内部領域では、圧電体の焼成時に、内部領域を構成する P Z T 粒子の粒成長が抑制されず内部領域を構成する P Z T 粒子の平均粒径を大きくすることができるため、圧電体の変位特性を維持することができた。

【 符号の説明 】

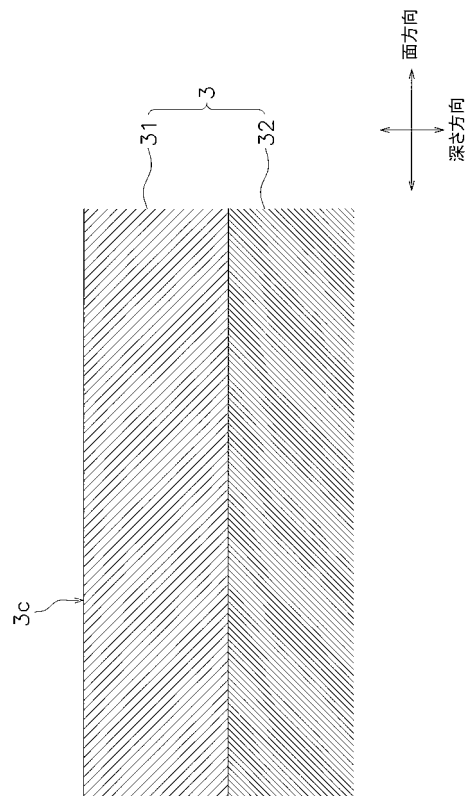
【 0 0 5 3 】

- 1 圧電素子
- 3 圧電体
- 3 1 表面領域
- 3 2 内部領域
- E 1 第 1 電極
- E 2 第 2 電極

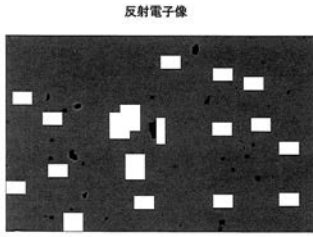
【 図 1 】



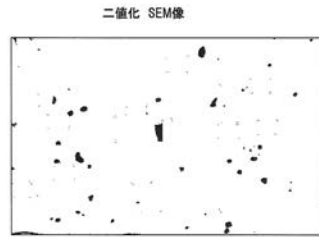
【 図 2 】



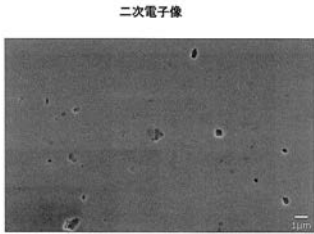
【 図 3 】



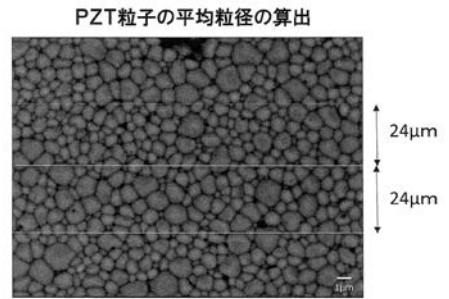
【 図 5 】



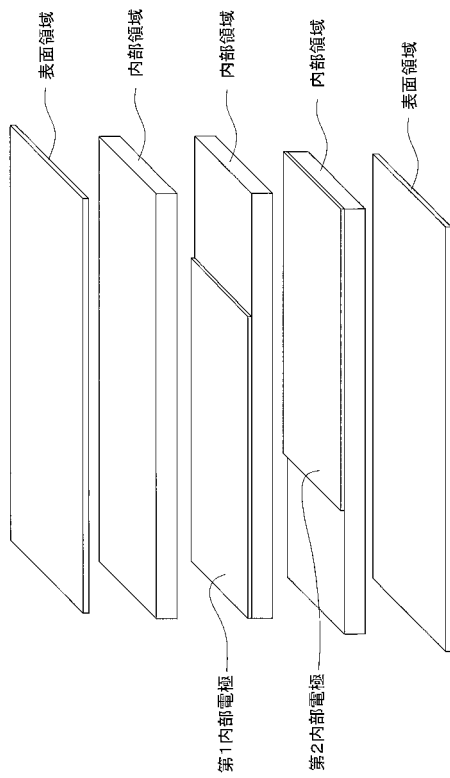
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

