

(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2014-135632

(P2014-135632A)

(43) 公開日 平成26年7月24日(2014.7.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 4 R 17/00 (2006.01)	H O 4 R 17/00 3 3 O J	2 G O 4 7
H O 4 R 31/00 (2006.01)	H O 4 R 17/00 3 3 O G	4 C 6 O 1
H O 1 L 41/18 (2006.01)	H O 4 R 17/00 3 3 O E	5 D O 1 9
H O 1 L 41/08 (2006.01)	H O 4 R 31/00 Z	
H O 1 L 41/09 (2006.01)	H O 1 L 41/18 1 O 1 A	
審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 31 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2013-2458 (P2013-2458)
 (22) 出願日 平成25年1月10日 (2013.1.10)

(71) 出願人 000003078
 株式会社東芝
 東京都港区芝浦一丁目1番1号
 (71) 出願人 594164542
 東芝メディカルシステムズ株式会社
 栃木県大田原市下石上1385番地
 (74) 代理人 100108855
 弁理士 蔵田 昌俊
 (74) 代理人 100109830
 弁理士 福原 淑弘
 (74) 代理人 100088683
 弁理士 中村 誠
 (74) 代理人 100103034
 弁理士 野河 信久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 接合型圧電振動子、接合型圧電振動子製造方法、超音波プローブおよび超音波プローブ製造方法

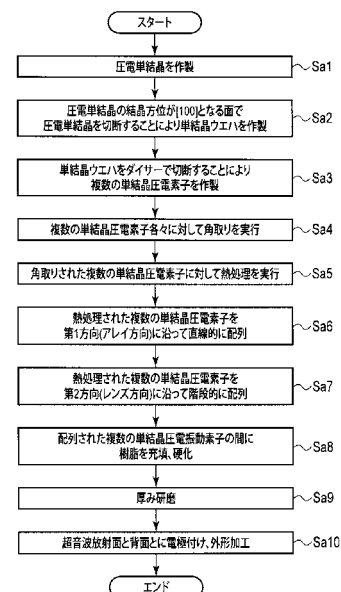
(57) 【要約】

【課題】チャンネル間の圧電体特性の一様性が向上する接合圧電体および超音波プローブを提供すること。

【解決手段】本実施形態に係る接合型圧電振動子は、複数の単結晶圧電素子を接合した接合圧電体と、接合圧電体における複数の面のうち、第1方向および第1方向と交わる第2方向に平行な第1面側と第2面側とに設けられた電極とを具備し、第1面に関して単結晶圧電素子の結晶方位は[100]であり、単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、第1方向に垂直な第3面の結晶方位は他の単結晶圧電素子における第3面の結晶方位とは異なり、単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、第2方向に垂直な第4面の結晶方位は他の単結晶圧電素子における前記第4面の結晶方位とは異なり、接合圧電体は、第1方向に沿って複数の単結晶圧電素子を配列して形成した複数の単結晶圧電素子の列を、接合位置を異ならせながら第2方向へ配列して形成されること、を特徴とする。

【選択図】 図1

図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数の単結晶圧電素子を接合した接合圧電体と、
前記接合圧電体における複数の面のうち、第 1 方向および前記第 1 方向と交わる第 2 方向に平行な第 1 面側と第 2 面側とに設けられた電極とを具備し、
前記第 1 面に関して、前記単結晶圧電素子の結晶方位は $[100]$ であり、
前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 1 方向に垂直な第 3 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 3 面の結晶方位とは異なり、
前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 2 方向に垂直な第 4 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 4 面の結晶方位とは異なり、
前記接合圧電体は、前記第 1 方向に沿って前記複数の単結晶圧電体素子を配列して形成した前記複数の単結晶圧電素子の列を、接合位置を異ならせながら前記第 2 方向へ配列して形成される接合型圧電振動子。

10

【請求項 2】

前記接合圧電体を形成する単結晶圧電素子は、前記複数の単結晶圧電素子を前記第 1 方向に沿って配列する一方、前記第 2 方向に対しては傾斜して配列される請求項 1 に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 3】

前記接合圧電体を形成する単結晶圧電素子のうちいずれかは、前記第 2 方向に対して 2 つの単結晶圧電素子と隣接するよう配列される請求項 1 または 2 に記載の接合型圧電振動子。

20

【請求項 4】

前記接合圧電体は複数の切断されており、切断方向は前記第 2 方向に平行な方向であり、
前記第 2 方向に沿って段階的に配列された前記単結晶圧電素子のうち互いに隣接する 2 つの単結晶圧電素子において、前記第 1 方向に沿ったずれ量は、前記単結晶圧電素子の前記第 1 方向に沿った幅より短く、かつ前記接合圧電体における切断された一部分の前記第 2 方向に沿った幅より長いこと、

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 5】

前記単結晶圧電素子各々は、
前記接合圧電体において前記第 1 方向および前記第 2 方向に垂直な第 3 方向に沿った長さの 10 % 以下を半径として、角取りされた形状を有すること、
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

30

【請求項 6】

前記所定の割合は、
前記第 3 方向に沿った長さの 1 % 以上 10 % 以下であること、
を特徴とする請求項 5 に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 7】

前記第 1 方向に沿った前記接合圧電体の長さは、40 乃至 80 mm であり、
前記第 2 方向に沿った前記接合圧電体の長さは、4 mm 乃至 15 mm であり、
前記第 3 方向に沿った前記接合圧電体の長さは、0.1 乃至 0.4 mm であり、
前記半径は、1 乃至 40 μm であること、
を特徴とする請求項 5 に記載の接合型圧電振動子。

40

【請求項 8】

前記接合圧電体の体積に対する前記単結晶圧電素子の体積の割合は、90 乃至 99.8 % であること、
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 9】

前記第 1 側と前記第 2 面側とに設けられた電極とのうちいずれか一方の電極の面積は、

50

4 乃至 25 mm^2 であること、

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 10】

前記第 1 方向に沿って配列される前記単結晶圧電素子の数は 5 個以上であって、

前記第 2 方向に沿って配列される前記単結晶圧電素子の数は 3 個以上、10 個以下であること、

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 11】

前記単結晶圧電素子は、40 乃至 70 mol % のマグネシウムニオブ酸鉛を有すること

10

、
を特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 12】

前記単結晶圧電素子は、10 乃至 30 mol % のインジウムニオブ酸鉛またはジルコン酸鉛を有すること、

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 11 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 13】

前記単結晶圧電素子にそれぞれ対応する複数のキュリー温度における最大値と最小値との温度差は、5 乃至 30 であること、

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のうちいずれか一項に記載の接合型圧電振動子。

【請求項 14】

圧電単結晶の結晶方位が $[100]$ となる面で前記圧電単結晶を切断することにより、結晶方位 $[100]$ 面を有する単結晶ウエハを準備し、

前記結晶方位 $[100]$ 面に直交する第 3 面と、前記第 3 面および前記結晶方位 $[100]$ 面に直交する第 4 面とに沿って前記単結晶ウエハを切断することにより、複数の単結晶圧電素子を作製し、

前記単結晶圧電素子の前記結晶方位 $[100]$ 面に垂直な第 3 面を第 1 方向に沿って配列し、前記第 1 方向に交わる第 2 方向に沿って、前記単結晶圧電素子を階段的に配列し、

前記第 1 方向に交わる第 2 方向に沿って、前記単結晶圧電素子を階段的に配列して接合し、

前記単結晶圧電素子における複数の面のうち、前記結晶方位 $[100]$ 面に平行な第 1 面と第 2 面とに電極を設けること、

30

を具備することを特徴とする接合型圧電振動子製造方法。

【請求項 15】

前記単結晶圧電素子における角部分の角取りは、バレル研磨処理により実行されることをさらに具備すること、

を特徴とする請求項 14 に記載の接合型圧電振動子製造方法。

【請求項 16】

前記角取りされた単結晶圧電素子は、250 乃至 500 で熱処理されること、をさらに具備すること、

を特徴とする請求項 14 または請求項 15 に記載の接合型圧電振動子製造方法。

40

【請求項 17】

第 1 方向と前記第 1 方向と交わる第 2 方向とに平行な第 1 面に対して平行に配置された複数のチャンネルを有する超音波プローブであって、

前記チャンネル各々は、複数の単結晶圧電素子にそれぞれ対応する素子部分と、前記単結晶圧電素子を接合する複数の接合部分とを有し、

前記単結晶圧電素子の前記第 1 面に平行な結晶方位は、 $[100]$ 面であり、

前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 1 方向に垂直な第 3 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 3 面の結晶方位とは異なり、

前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 2 方向に垂直な第 4 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 4 面の結晶方位とは異なり、

50

前記接合部分は、前記第 1 面において、前記第 1 方向に平行な複数の第 1 部分と、前記第 2 方向に平行な少なくとも一つの第 2 部分とを有し、

前記チャンネル各々において、前記第 2 方向に垂直であって対向する 2 面における前記接合部分の位置は、それぞれ異なること、
を特徴とする超音波プローブ。

【請求項 18】

前記第 2 方向に沿った階段的な配列において、前記単結晶圧電素子の個数が n 個である場合、前記チャンネル 1 つにつき前記第 2 部分の個数は $(n - 2)$ 個以下であること、
を特徴とする請求項 17 に記載の超音波プローブ。

【請求項 19】

圧電単結晶の結晶方位が $[100]$ となる面で前記圧電単結晶を切断することにより、結晶方位 $[100]$ 面を有する単結晶ウエハを準備し、

前記結晶方位 $[100]$ 面に直交する第 3 面と、前記第 3 面および前記結晶方位 $[100]$ 面に直交する第 4 面とに沿って前記単結晶ウエハを切断することにより、複数の単結晶圧電素子を作製し、

前記単結晶圧電素子を第 1 方向に沿って配列し、

前記第 1 方向に交わる第 2 方向に沿って、前記角取りされた単結晶圧電素子を階段的に配列して接合した接合圧電体を作製し、

前記結晶方位 $[100]$ 面に平行な第 1 面と第 2 面とに電極を設け、

前記第 1 面に少なくとも一つの音響整合層を設け、

前記第 1 方向に沿った所定の間隔で、前記第 1 方向と前記第 2 方向とに垂直な第 3 方向と前記第 2 方向とに沿って、前記接合圧電体とを分割し、

前記第 2 面の電極の背面にバックング材を設け、

前記音響整合層の前面に音響レンズを設けること、

を特徴とする超音波プローブ製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、接合型圧電振動子、接合型圧電振動子製造方法、超音波プローブおよび超音波プローブ製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

医療用の超音波診断装置や超音波画像検査装置は、対象物に対し超音波信号を送信し、その対象物内からの反射信号（エコー信号）を受信して対象物内を画像化する装置である。この医療用の超音波診断装置および超音波画像検査装置においては、超音波信号送受信機能を有する電子操作式のアレイ式超音波プローブが主に用いられている。

【0003】

一般的な超音波プローブは、バックング材料と、バックング材料上に接合され、圧電体の両面に電極が形成された振動子と、振動子上に接合された音響整合層とを有する。振動子および音響整合層には、アレイ加工により複数のチャンネルが形成される。音響整合層上には音響レンズが形成される。各チャンネルのアレイ振動子の電極には、制御信号基板（フレキシブル印刷配線板（Flexible Printed Circuit：以下、FPC と呼ぶ））が設けられる。超音波プローブは、FPC に接続されたケーブルを介して、超音波診断装置および超音波画像検査装置などの装置本体に接続される。超音波プローブには、対象物の診断部位に応じて異なる大きさと周波数のプローブが用いられる。一般的には、 $2 \sim 3 \text{ MHz}$ の中心周波数を有する心臓用の循環器プローブ、 $3 \sim 5 \text{ MHz}$ の中心周波数を有する腹部コンベックスプローブ、 $6 \sim 12 \text{ MHz}$ の中心周波数を有する高周波リニアプローブなどが主要な超音波プローブである。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

【特許文献 1】特開昭 6 2 - 1 2 2 4 9 9 号公報

【特許文献 2】特開平 6 - 3 8 9 6 3 号公報

【特許文献 3】特開 2 0 0 1 - 2 7 6 0 6 7 号公報

【特許文献 4】特開 2 0 0 5 - 1 0 1 7 4 8 号公報

【非特許文献】

【 0 0 0 5 】

【非特許文献 1】Kailiang Ren et al., Single Crystal PMN-PT/Epoxy 1-3 Composite for Energy-Harvesting Application, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 53, no. 3, march 2006

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

目的は、アレイダイシング後のチャンネル間の圧電体特性の一様性を向上可能な接合型圧電振動子、接合型圧電振動子製造方法、超音波プローブおよび超音波プローブ製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

本実施形態に係る接合型圧電振動子は、複数の単結晶圧電素子を接合した接合圧電体と、前記接合圧電体における複数の面のうち、第 1 方向および前記第 1 方向と交わる第 2 方向に平行な第 1 面側と第 2 面側とに設けられた電極とを具備し、前記第 1 面に関して、前記単結晶圧電素子の結晶方位は $[100]$ であり、前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 1 方向に垂直な第 3 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 3 面の結晶方位とは異なり、前記単結晶圧電素子のうち少なくとも一つに関して、前記第 2 方向に垂直な第 4 面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における前記第 4 面の結晶方位とは異なり、前記接合圧電体は、前記第 1 方向に沿って前記複数の単結晶圧電素子を配列して形成した前記複数の単結晶圧電素子の列を、接合位置を異ならせながら前記第 2 方向へ配列して形成されること、を特徴とする。

20

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

30

【図 1】図 1 は、本実施形態に係る接合型圧電振動子を製造する手順の流れを示すフローチャートである。

【図 2】図 2 は、本実施形態に係り、単結晶圧電素子の超音波放射面において、角取りされた 4 隅を、角取りに関する半径とともに示す図である。

【図 3】図 3 は、本実施形態に係り、複数の単結晶圧電素子を第 1、第 2 方向に配列させる処理を説明するための説明図である。

【図 4】図 4 は、本実施形態に係り、複数の単結晶圧電素子を第 1 方向に沿って直線的に、第 2 方向に沿って段階的に配列した一例を示す図である。

【図 5】図 5 は、本実施形態に係り、図 4 の一部分を拡大した一例を示す拡大図である。

【図 6】図 6 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 1 配列パターンの一例を、従来例 1 乃至 3 とともに示す図である。

40

【図 7】図 7 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 2 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 4 および 5 とともに示す図である。

【図 8】図 8 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 3 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 6 および 7 とともに示す図である。

【図 9】図 9 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 4 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 8 および 9 とともに示す図である。

【図 10】図 10 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 5 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 10 および 11 とともに示す図である。

50

【図 1 1】図 1 1 は、本実施形態に係り、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 6 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 1 2 および 1 3 とともに示す図である。

【図 1 2】図 1 2 は、本実施形態に係り、超音波プローブの構造の一例を示す図である。

【図 1 3】図 1 3 は、本実施形態に係る超音波プローブを製造する手順の流れを示すフローチャートである。

【図 1 4】図 1 4 は、本実施形態の超音波プローブに係り、接合圧電体の超音波放射面における第 7 配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図および一つのチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する 2 面とともに示す図である。

【図 1 5】図 1 5 は、本実施形態の超音波プローブに係り、接合圧電体の超音波放射面における第 8 配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図および一つのチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する 2 面とともに示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、本実施形態の超音波プローブに係り、接合圧電体の超音波放射面における第 9 配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図および一つのチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する 2 面とともに示す図である。

【図 1 7】図 1 7 は、本実施形態に係るチャンネル毎の静電容量の値を、従来のチャンネル毎の静電容量の値とともに示す図である。

【図 1 8】図 1 8 は、本実施形態に係るチャンネル毎の感度を、従来のチャンネル毎の感度とともに示す図である。

【図 1 9】図 1 9 は、本実施形態に係り、感度測定の概略を示す概略図である。

【図 2 0】図 2 0 は、従来技術に係り、直径 8 0 m m 単結晶ウエハの [1 0 0] 面を、切り出される単結晶圧電体 (7 5 m m) とともに示す図である。

【図 2 1】図 2 1 は、従来技術に係り、直径 8 0 m m 単結晶ウエハの [1 0 0] 面を、切り出される単結晶圧電体 (4 5 m m) とともに示す図である。

【図 2 2】図 2 2 は、従来技術に係り、直径 8 0 m m 単結晶ウエハの [1 0 0] 面を、切り出される単結晶圧電体 (2 5 m m) とともに示す図である。

【図 2 3】図 2 3 は、従来技術に係り、D i c e & F i l l 法で複合振動子を作製する場合の圧電体の加工途中の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

超音波プローブにおいて、分極された圧電振動子は超音波の送受信を行う能動部品である。超音波プローブには、広帯域で高感度のプローブを実現するために、圧電振動子の誘電率が大きいこと、圧電定数 d_{33} が大きいこと、誘電損失 $D F$ が小さいこと、および音響インピーダンス (A c o u s t i c I m p e d a n c e : 以下、 $A I$ と呼ぶ) が低いことが要求される。更に個々のチャンネル間の静電容量や感度ばらつきが小さいことが、シグナル / ノイズ (S / N) 比を向上させるために要望されている。

【 0 0 1 0 】

超音波プローブとしては、感度が高いことと、周波数帯域幅すなわち比帯域 ($B W$) が大きいことが要求される。ここで、感度は送信感度および受信感度 (以下、送受信感度と呼ぶ) である。送受信感度は、圧電定数 d_{33} に関する重要な定数である電気機械結合係数と誘電率とで、決定される。一方、比帯域は次の方法で求められる。次式に従って、比帯域 $B W$ (%) は求められる。

$$B W (\%) = 100 \times (f_H - f_L) / f_C$$

ここで、周波数 f_L は、音圧がピーク値から 6 d B に減衰する周波数である。 f_H は、音圧がピーク値を示す周波数である。また、周波数 f_L は、周波数 f_H より小さい ($f_L < f_H$)。周波数 f_C は、次式によって表されるように、周波数 f_L と周波数 f_H とにより求まる中心周波数である。

$$f_C = (f_L + f_H) / 2$$

比帯域 $B W$ を拡大させるには、前述の圧電定数 d_{33} が大きいことと $A I$ が低いことが重要である。圧電振動子による超音波の送受信には、厚み方向に伸縮する厚み振動が利用

10

20

30

40

50

される。また、超音波プローブの中心周波数が $2 \sim 10 \text{ MHz}$ の範囲であるために、圧電振動子の材料として、 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ の厚みを有する圧電材料が一般的には用いられる。

【0011】

圧電材料としては、ジルコンチタン酸鉛 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (以下: PZT と呼ぶ) 系圧電セラミクスが 1970 年代から用いられてきた。PZT 系セラミクスにおいて、抗電界 E_c は 6 kV/cm 以上と大きい、圧電定数 d_{33} は 1000 pC/N 以下と低い。このために、PZT 系セラミクスを用いて高感度の超音波プローブを製造出来ない欠点があった。この欠点を改善するために、1995 年ごろから鉛複合ペロブスカイト構造を持つ高性能の圧電単結晶が研究、実用化されてきている。

10

【0012】

鉛複合ペロブスカイト構造を持つ高性能の圧電単結晶は、例えば、少なくとも 5 から 60 mol % のチタン酸鉛 (PbTiO_3) と、60 から 95 mol % の $\text{Pb}(\text{B}_1, \text{Nb})\text{O}_3$ (B_1 はマグネシウム、亜鉛、インジウム、スカンジウムなどの少なくとも一つ) とから構成されたリラクサ系鉛複合ペロブスカイト化合物である。なお、鉛複合ペロブスカイト構造を持つ高性能の圧電単結晶は、リラクサ系鉛複合ペロブスカイト化合物に加えてビスマススカンジウム酸鉛 (BiScO_3) を含んでいてもよい。代表的な圧電材料としてマグネシウムニオブ酸鉛 - チタン酸鉛 $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (以下、PMN - PT と呼ぶ) と、亜鉛ニオブ酸鉛 - チタン酸鉛 $\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (以下、PZN - PT と呼ぶ) と、インジウムニオブ酸鉛 - チタン酸鉛 $\text{Pb}(\text{In}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3 - \text{PbTiO}_3$ (以下、PIN - PT と呼ぶ) と、PIN - PMN - PT 3 成分型圧電材料とが知られている。

20

【0013】

鉛複合ペロブスカイト構造を持つ高性能の圧電単結晶は、例えば、上記材料にジルコン酸鉛 PbZrO_3 を 20 mol % 以下で含ませてもよい。また、超音波プローブにおける矩形板振動子の 6 面における結晶方位が $[100]$ である圧電材料が、振動子として用いられている。これらの圧電材料は、その厚みが $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$ となるまで研磨される。銀 (Ag)、金 (Au)、ニッケル (Ni)、クロム (Cr)、パラジウム (Pd) などを有する電極が、研磨された圧電材料の上下面に、焼付け方法、スパッタや蒸着方法、湿式メッキ方法などの方法で形成される。

30

【0014】

電極が形成された圧電材料に、例えば、室温から 200°C の温度範囲で、 $1 \sim 100^\circ\text{C}$ 程度に亘って、 2 kV/cm から 30 kV/cm の直流電界を印加する分極処理が実行される。これにより、超音波振動子が完成する。以下、圧電材料として圧電単結晶を用いて作製された超音波振動子を単結晶振動子と呼ぶ。これらの圧電材料では、圧電材料の組成により相転移温度 T_{rt} とキュリー温度 T_c とが異なる。超音波プローブには、例えば、抗電界 E_c が $2 \sim 10 \text{ kV/cm}$ であり、圧電定数 d_{33} が $1000 \sim 3500 \text{ pC/N}$ であり、室温において 1 kHz で測定した時の誘電率が $1000 \sim 10000$ である圧電材料が用いられる。また、さらに低い AI を得るために PZT セラミクスや圧電単結晶を樹脂と複合させた複合圧電材料も知られている。以下、複合圧電材料を用いて作成される超音波振動子を複合振動子と呼ぶ。

40

【0015】

しかしながら、超音波プローブに関する圧電材料として、これまで知られている圧電単結晶 (以下、単結晶材料と呼ぶ) を用いて従来の方法で振動子を製造した場合には次のような問題点がある。

(1) 複数の単結晶振動子における特性差が大きい。特に 35 mm 以上の大型振動子を用いて腹部コンベックスプローブおよび高周波リニアプローブを製造した際、複数のチャンネルに関して静電容量、感度、比帯域のばらつきが 10 % 以上となる。

(2) 複数の超音波プローブを製造した際、複数の超音波プローブの間の感度および比帯域のばらつきが 10 % 以上となる。

50

(3) 超音波プローブの製造過程におけるアレイダンシングにより、誘電率および圧電定数 d_{33} が低下する。これにより、誘電率および結合係数が設計値に到達せず、結果として感度が低下する。

(4) 脆い単結晶材料に対する分極処理において、単結晶材料に反りなどが発生することがある。これにより、単結晶材料に割れが多発する。更に単結晶材料から作製された単結晶振動子を整合層などと張り合わせる際の加圧で、単結晶振動子に割れが多発する。これにより、特に長さが 35 mm 以上の振動子、又は厚みが 0.3 mm 以下の単結晶振動子を用いる超音波プローブにおいて、製造歩留りが低い。

(5) 特に従来のダイスアンドフィル (dice & fill) 法を用いた複合振動子の製造方法では、数か所の不良単結晶振動子が生じるだけで、超音波プローブにおける単結晶振動子全体が不良となる。従って、腹部コンベックスプローブ用振動子のような大型形状 (65 mm × 12 mm × 0.25 mm (縦 × 横 × 厚み)) の単結晶振動子を安定的に製造することが難しい。また、従来の dice & fill 法では、複合振動子における単結晶の割合が 90% 以上の充填率を持つ複合振動子を作製することが出来ない。このため、単結晶振動子における複数の素子各々の電気容量が低下することにより、プローブとケーブルの電氣的インピーダンスマッチングが取りにくくなり感度が低下する。

特に (1) の問題は、例えば、長さが 35 - 50 mm 程度の高周波リニアプローブ用振動子や長さが 75 mm 程度の腹部コンベックスプローブ用振動子を、直径 80 mm 以上の単結晶板から切り出して製造する場合は、図 20 乃至図 22 に示すように、単結晶ウエハにおける面内での周辺部と中心部とで、誘電率および結合係数が異なる。図 20、図 21 において、208 は中央部、209 は周辺部を示す。このために 50 - 300 チャンネルから構成される超音波プローブにおいては、チャンネル間やプローブ間の感度のばらつきが大きくなる。チャンネル間やプローブ間の感度のばらつきの増大は、超音波プローブの量産において大きな問題となっている。この問題は、単結晶の育成時において直径 80 mm を越えるような大型るつぼの周辺部と中央部とでは、大型るつぼ内における温度が不均一であることが主要因である。このため、 PbO 、 Nb_2O_5 、 MgO と異なる分配係数を有する TiO_2 の量が、大型るつぼの周辺部と中心部とで異なるために生じる本質的な問題である。この本質的な問題は、解決が望まれている。図 23 は、単結晶圧電複合振動子を従来の Dice & Fill 法で作製する場合の振動子の加工途中の一例を示す図である。

【0016】

以下、図面を参照しながら本実施形態に係る接合型圧電振動子および超音波プローブについて説明する。なお、以下の説明において、略同一の構成を有する構成要素については、同一符号を付し、重複説明は必要な場合にのみ行う。

【0017】

以下、図面を参照しながら、本実施形態に係る接合型圧電振動子を説明する。

本実施形態に係る接合型圧電振動子は、以下の方法で製造される。

図 1 は、本接合型圧電振動子を製造する手順の流れを示すフローチャートである。まず、マグネシウムニオブ酸鉛 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (略号 PMN)、亜鉛ニオブ酸鉛 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ (略号 PZN)、またはインジウムニオブ酸鉛 $Pb(In_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ (略号 PIN) と、チタン酸鉛 $PbTiO_3$ (略号 PT) との混晶における相境界近傍の結晶 (以下、圧電単結晶と呼ぶ) がブリッジマン法などにより作製される (ステップ S a 1)。これらは、例えば、71 PMN - 29 PT、93 PZN - 7 PT、63 PIN - 37 PT および上記チタン酸鉛の混合物である 24 PIN - 45 PMN - 31 PT などである。

【0018】

結晶方位が [100] となる面 (以下、[100] 面と呼ぶ) で、圧電単結晶インゴットは、ワイヤーソーなどで切断される。この切断により、単結晶ウエハが作製される (ステップ S a 2)。作製された単結晶ウエハは、例えば、0.1 乃至 0.6 mm の厚みと、 0.5 cm^2 乃至 100 cm^2 の面積とを有する。なお、単結晶ウエハの形状は任意であ

10

20

30

40

50

る。単結晶ウエハは、ダイサーを用いて、長さおよび幅が 0.1 乃至 5 mm となるように切断加工される。この切断加工により、例えば、 0.01 乃至 25 mm^2 の面積と、 0.1 乃至 0.6 mm の厚みとを有する複数の単結晶圧電素子が作製される（ステップ S a 3）。

【0019】

なお、 $[100]$ 面が超音波放射面（以下、Z 面と呼ぶ）であれば、ダイサーによる切断加工（ダイシング）において、Z 面と異なる他の面の結晶方位は、 $[100]$ からずれていてもよい。他の面とは、例えば Z 面に直交する 2 面である。以下、これら 2 面を X 面、Y 面と呼ぶ。典型的な単結晶圧電素子の形状は、長さ、幅、厚みがそれぞれ 0.15 mm 、 0.15 mm 、 0.5 mm または、 2 mm 、 2 mm 、 0.5 mm となる形状である。なお、長さ、幅、厚みがそれぞれ 0.15 mm 、 0.15 mm 、 0.5 mm となる形状を有する単結晶圧電素子を棒状圧電素子と呼び、長さ、幅、厚みがそれぞれ 2 mm 、 2 mm 、 0.5 mm となる形状を有する単結晶圧電素子を板状圧電素子と呼ぶ。

10

【0020】

複数の単結晶圧電素子各々の角は、例えば、バレル研磨処理により、角取りされる（ステップ S a 4）。具体的には、複数の単結晶圧電素子各々の角は、例えば単結晶圧電素子の厚み（結晶方位 $[100]$ 面に対向する対向面と結晶方位 $[100]$ 面との間の距離）の 10% 以下を半径として、角取りされる。より好ましくは、単結晶圧電素子の厚みの 1% 以上 10% 以下を半径として各取りされる。なお、R 付けにおける半径は、例えば、 1 乃至 $40\text{ }\mu\text{m}$ であってもよい。

20

【0021】

図 2 は、単結晶圧電素子の超音波放射面において、角取りされた 4 隅を、角取りに関する半径とともに示す図である。図 2 における点線は、角取り（R 付け）に関する円を示している。ここで、図 2 における R は、点線の円の半径を示している。図 2 における t は、単結晶圧電素子の厚みを示している。

【0022】

ダイサーにて切断後の単結晶圧電素子（棒状圧電素子および板状圧電素子）に対して、超音波洗浄が実行される。超音波洗浄が実行された単結晶圧電素子は、乾燥される。乾燥後、単結晶圧電素子は、酸化アルミニウムのるつぼ（以下アルミなるつぼと呼ぶ）に投入される。アルミなるつぼに、例えば、 250 乃至 500 の熱が、数時間にわたって加えられる。これにより、単結晶圧電素子に熱処理が実行される（ステップ S a 5）。この熱処理により、加工歪が取り去られる。

30

【0023】

熱処理された単結晶圧電素子は、 $[100]$ 面が Z 面と一致するように、配列される。具体的には、熱処理された単結晶圧電素子は、Z 面に平行な第 1 方向（以下、アレイ方向と呼ぶ）に沿って、直線的に配列される（ステップ S a 6）。熱処理された単結晶圧電素子は、Z 面に平行であって、アレイ方向に交わる第 2 方向（以下、レンズ方向と呼ぶ）に沿って、階段的に配列される（ステップ S a 7）。なお、ここではアレイ方向とレンズ方向とは直行するものとする。レンズ方向に沿って配列された複数の単結晶圧電素子にうち、互いに隣接する 2 つの単結晶圧電素子において、アレイ方向に沿ったずれ量 a' は、単結晶圧電素子のアレイ方向に沿った幅 a より短く、かつ後述する接合圧電体をレンズ方向に沿って切断する切断間隔 w より長い。なお、切断間隔 w は、言い換えると接合圧電体の切断された一部分の前記第 2 方向に沿った幅である。すなわち、上記関係は、

40

$$w - a' < a \cdots (1)$$

となる。

【0024】

ステップ S a 6 およびステップ S a 7 における配列に関する処理（以下、配列処理と呼ぶ）は、例えば、所定の枠に、 $[100]$ 面を上面（Z 面）として単結晶圧電素子を投入し、所定の振動を加えることにより実行される。所定の枠は、Z 面に垂直な第 3 方向（以下、厚み方向と呼ぶ）に沿って、例えば、単結晶圧電素子の厚みに対応する厚みを有する

50

。説明を簡単にするため、複数の単結晶圧電素子各々におけるZ面の形状は、角取りされた正方形（例えば、 $4\text{ mm} \times 4\text{ mm}$ ）であるものとする。なお、複数の単結晶圧電素子各々におけるZ面の形状は、角取りされた長方形であってもよい。また、切断間隔 w は、一例として 0.3 mm であるとする。式（1）により、ずれ量 a' は、 $0.3\text{ mm} < a' < 4\text{ mm}$ となる。一例として、アレイ方向に沿った接合型圧電振動子の長さ A は、 68 mm であるとする。また、レンズ方向に沿った接合型圧電振動子の長さ B は、 12 mm であるとする。

【0025】

図3は、上記場合における配列処理に用いられる所定の枠の一例を示す図である。図3におけるSの部分は、レンズ方向に沿って単結晶圧電素子を階段的に配列させるために設けられた階段部分である。図3に示すように階段部分Sの寸法および形状は、レンズ方向に沿った単結晶圧電素子の長さ p と、ずれ量 a' と、レンズ方向に沿った接合型圧電振動子の長さ B とにより予め決定される。図3における階段部分は2段である。例えば、接合型圧電振動子の長さ B が 16 mm である場合、階段部分の段数は、3段となる。一般的には、階段部分の段数は、 B/p における整数となる。

10

【0026】

所定の枠を用いた配列処理において、複数の単結晶圧電素子は、アレイ方向によって直線的に配列され、レンズ方向に沿って階段的に配列される。図4は、複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿って直線的に、レンズ方向に沿って階段的に配列した一例を示す図である。図4に示すように、レンズ方向の各行ごとに、ずれ量 a' だけアレイ方向にずらして、単結晶圧電素子は配列される。配列処理において、Z面は、 $[100]$ 面となる。また、アレイ方向に沿った直線的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、5個以上である。加えて、レンズ方向に沿った階段的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、3個以上であって10個以下である。なお、レンズ方向に沿った階段的な配列における単結晶圧電素子の最も好ましい個数は、3個以上であって5個以下である。加えて、配列された複数の単結晶圧電素子各々において、X面における結晶方位は非一様となる。以下、X面、Y面における結晶方位の非一様性について説明する。

20

【0027】

例えば、チャンネルを形成するための接合圧電体に対する切断処理後、1つのチャンネルに含まれる複数の単結晶圧電素子のうち少なくとも一つにおけるX面（第3面）の結晶方位は、同じチャンネルに含まれる他の単結晶圧電素子のX面の結晶方位と異なってもよい。同様に、1つのチャンネルに含まれる複数の単結晶圧電素子のうち少なくとも一つにおけるY面（第4面）の結晶方位は、同じチャンネルに含まれる他の単結晶圧電素子のY面の結晶方位と異なってもよい。

30

【0028】

複数の単結晶圧電素子の配列後に、粘性を低下させたエポキシ樹脂、シリコーン（Silicone）、シアノアクリレート、ポリウレタン樹脂等（以下、樹脂と呼ぶ）が、所定の枠内であって、配列された単結晶圧電素子の間に充填される。図5は、図4の一部分を拡大した一例を示す図である。樹脂は、例えば、図5に示すように角取りにより生じた隙間と、複数の単結晶圧電素子間の隙間に充填される。単結晶圧電素子と樹脂との混合物に対して、真空脱泡が実行される。その後、樹脂は、室温から 100°C の間で1乃至24時間かけて硬化される（ステップS a 8）。

40

【0029】

十分に樹脂を硬化させた後、複数の単結晶圧電素子と樹脂とを接合した接合圧電体が、所定の枠から取り出される。取り出された接合圧電体の上下（超音波放射面である第1面と背面である第2面）面は、平面研磨機またはダイサブレードを用いて研磨される（ステップS a 9）。この研磨は、接合圧電体の厚みが所定の厚み t となるまで実行される（厚み研磨）。所定の厚み t は、使用される超音波の周波数に依存する。所定の厚み t は、例えば、 0.1 乃至 0.4 mm である。

【0030】

50

研磨後、 MnO_x 、 ZnO 、 TiO_x 、 SRO （ストロンチウムルテニウムオキサイド）、 ITO （酸化インジウムスズ）などの半導体下地電極が、研磨された両面に、スパッタ法やメッキ方法及び溶液方法でコートされる。半導体下地電極に続けて、ニッケル（ Ni ）、クロム（ Cr ）、チタン（ Ti ）、パラジウム（ Pd ）などの下部電極が、スパッタ法やメッキ方法及び溶液方法で設けられる。下部電極に続けて、金（ Au ）、白金（ Pt ）、銀（ Ag ）などの上部電極が、スパッタ法やメッキ方法及び溶液方法で設けられる。上部電極の取り付け後、電極が取り付けられた接合圧電体の外形は、加工される（ステップ $Sa10$ ）。以下、半導体下地電極と下部電極がヘテロ構造に形成されたものを複合電極と呼ぶ。

【0031】

例えば、半導体下地電極の酸化マンガンは、5乃至30nmの厚みであって、多孔質となる。多孔質とは、例えば、単位体積当たりの隙間の割合を示す空隙率が20乃至80%となることを示す。例えば下部電極は、10nm以上50nm以下の厚みであって、一部は酸化マンガンの多孔質部分の空隙を埋める形で緻密質となる。緻密質とは、例えばパラジウム、ニッケル、クロム、チタン金属の空隙率が0乃至5%となることを示す。例えば上部電極は、100nm以上400nm以下の厚みであって、緻密質となる。緻密質とは、例えば、金、白金、銀の空隙率が0乃至5%となることを示す。なお、電極は、3層に限定されず、単層または2層以上の構造としてもよい。以下、電極が取り付けられた接合圧電体を接合型圧電振動子と呼ぶ。電極が取り付けられた後、接合型圧電振動子の外形は、矩形または円盤などの形状に、用途に応じて加工される。

【0032】

図6は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第1配列パターンの一例を、従来例1乃至3とともに示す図である。図6における第1配列パターンは、アレイ方向に沿って直線的に複数の単結晶圧電素子を配列させ、レンズ方向の1行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の2行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量 a' だけずらした位置に配列させる配列パターンである。図6における従来例1は、複合化されていない1枚の単結晶圧電体である。図6における従来例2は、アレイ方向に対して、2枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図6における従来例3は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。すなわち、レンズ方向に隣り合う単結晶圧電素子同士のアレイ方向のずれ量はゼロである。図6から明らかなように、従来例1乃至3において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

【0033】

図7は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第2配列パターンの一例を、従来例1、従来例4および5とともに示す図である。図7における第2配列パターンは、図6の第1配列パターンに加えて、レンズ方向の2行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の3行目における複数の単結晶圧電素子を、アレイ方向に沿ってずれ量 a' だけずらした位置に配列させる配列パターンである。図7における従来例4は、アレイ方向に対して、3枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図7における従来例5は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図7から明らかなように、従来例1、従来例4および5において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

【0034】

図8は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第3配列パターンの一例を、従来例1、従来例6および7とともに示す図である。図8における第3配列パターンは、図7の第2配列パターンに加えて、レンズ方向の3行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の4行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量 a' だけずらした位置に配列させる配列パターンである。図8における従来例6は、アレイ方向に対して、4枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図8における従来例7は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図8から明

らかなように、従来例 1、従来例 6 および 7 において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

【0035】

図 9 は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 4 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 8 および 9 とともに示す図である。図 9 における第 4 配列パターンは、図 8 の第 3 配列パターンに加えて、レンズ方向の 4 行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の 5 行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量 a' だけずらした位置に配列させる配列パターンである。図 9 における従来例 8 は、アレイ方向に対して、5 枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 9 における従来例 9 は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 9 から明らかなように、従来例 1、従来例 8 および 9 において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

10

【0036】

図 10 は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 5 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 10 および 11 とともに示す図である。図 10 における第 5 配列パターンは、図 9 の第 4 配列パターンに加えて、レンズ方向の 5 行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の 6 行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量 a' だけずらした位置に配列させる配列パターンである。図 10 における従来例 10 は、アレイ方向に対して、6 枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 10 における従来例 11 は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 10 から明らかなように、従来例 1、従来例 10 および 11 において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

20

【0037】

図 11 は、接合圧電体の超音波放射面における単結晶圧電素子の第 6 配列パターンの一例を、従来例 1、従来例 12 および 13 とともに示す図である。図 11 における第 6 配列パターンは、図 6 における第 1 配列パターンと似ている。第 1 配列パターンと第 6 配列パターンとの相違は、単結晶圧電素子の Z 面の形状にある。すなわち、第 1 配列パターンで用いられる単結晶圧電素子の Z 面の形状は、正方形である。第 6 配列パターンで用いられる単結晶圧電素子の Z 面の形状は、アレイ方向に対して長軸を有し、レンズ方向に対して短軸を有する長方形である。図 11 における従来例 12 は、アレイ方向およびレンズ方向に対してそれぞれ 2 枚ずつ配列された計 4 枚の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 11 における従来例 13 は、格子状に整列された複数の単結晶圧電素子を接合した圧電体である。図 11 から明らかなように、従来例 1、従来例 12 および 13 において、本実施形態に係る複数の単結晶圧電素子の配列に見られるようなずれ量はない。

30

【0038】

なお、接合圧電体の体積に対する接合圧電体に含まれる複数の単結晶圧電素子の体積の割合（以下、体積率と呼ぶ）は、90 乃至 99.8% 程度まで自由に変化させることが出来る。これにより、音響インピーダンス（AI）を変化させることが可能である。また、接合型圧電振動子における複数の単結晶圧電素子各々に設けられた電極の面積は、例えば、4 乃至 25 mm² となる。

40

【0039】

室温から 180 程度までの温度範囲で、2 kV / cm から 20 kV / cm までの範囲における直流電界が、研磨加工された接合型圧電振動子に対して、1 乃至 30 分程度印加される。直流電界の印加により、接合型圧電振動子は分極され、接合型圧電振動子が完成される。直流電界の印加（分極処理）は、図 1 のフローチャートにおけるステップ S a 10 の処理の後に実行される。

【0040】

分極処理した 24 時間後に、接合型圧電振動子における静電容量と誘電損失と圧電特性とを測定して、評価を行った。圧電特性、誘電特性は 25 において LCR メータで 1 kHz、1 v r m s で行う。圧電歪定数 d_{33} は d_{33} メータを用いて測定する。電気機械

50

結合係数はインピーダンスアナライザを用いて求める。すなわち、分極と特性の測定、評価に関する処理は、分極処理の24時間後に実行される。

【0041】

今回の測定に用いた接合型圧電振動子の形状は、長さ、幅、厚みがそれぞれ10mm、10mm、0.3mmと10mm、0.15mm、0.3mmとである。前者で容量、誘電損失、誘電率、結合係数 k_t を求め、後者では容量、誘電損失、誘電率、短冊状振動子の結合係数 k_{33} を求めた。

【0042】

続いて、本実施形態に係る超音波プローブを説明する。

まず、超音波プローブの構成について、図12を参照して説明する。図12は、超音波プローブの構造の一例を示す図である。

10

【0043】

図12に示すように、超音波プローブ201は、バッキング材100と、信号用FPC(Flexible Printed Circuit)102と、接合型振動素子1と、第1の音響整合層106と、第2の音響整合層108と、アース用FPC110と、音響レンズ112とを有する。

【0044】

バッキング材100は、例えば、低い音響インピーダンス($AI = 2$ 乃至6MRayls)を有する材料、もしくは硬度の高い金属などを有する。信号用FPC102は、バッキング材100の超音波放射面側に設けられる。信号用FPC102の超音波放射面側には、金属配線が配置される。接合型振動素子1は、超音波放射面側と背面側とに図示していない電極層を有する。なお、電極層における接合型振動素子1側には、下地電極が設けられていてもよい。第1の音響整合層106は、接合型振動素子1の超音波放射面側に設けられる。第1の音響整合層106は、超音波放射面側と背面側とに図示していない電極層を有する。第2の音響整合層108は、接合型振動素子1の超音波放射面側に設けられる。第2の音響整合層108は、超音波放射面側と背面側とに図示していない電極層を有する。アース用FPC110は、背面側にアース用電極を有する。音響レンズ112は、アース用FPC110の超音波放射面側に設けられる。

20

【0045】

なお、接合型振動素子1の超音波放射面側には、2層のみならず、3層または4層の音響整合層が配置されてもよい。複数の音響整合層が接合型振動素子1の超音波放射面側に設けられている場合、音響整合層各々の音響インピーダンスは、接合型振動素子1から音響レンズ112に向けて段階的に小さくなる。音響整合層が例えば1層の場合、接合型振動素子1の直上の1番目の音響整合層(第1の音響整合層)は、25にて4~7MRaylsの音響インピーダンスを有する。音響整合層が2層の場合、接合型振動素子1の直上の第1の音響整合層106は、25にて5~10MRayls、2番目の音響整合層(第2の音響整合層108)は、2~4MRaylsの音響インピーダンスを有する材料を用いることが好ましい。

30

【0046】

音響整合層が1層の場合、第1の音響整合層106は、例えば導電材料のカーボン、有機物であるエポキシ樹脂に酸化物粒子を添加することで音響インピーダンスを調整した材料から作られることが好ましい。

40

【0047】

音響整合層が2層の場合、第1の音響整合層106は、例えば、カーボン、酸化物を含有するエポキシ樹脂の材料から作製される。第2の音響整合層108は、例えば、エポキシ、シリコン、またはポリエチレン系樹脂材料などから作製されることが好ましい。なお、絶縁性のエポキシ材料を音響整合層に用いる場合には、必要に応じてメッキなどにより音響整合層の表面に導電性が付与されても良い。

【0048】

音響整合層が3層の場合、第1の音響整合層106は、例えば、ガラス材料から作製さ

50

れる。第2の音響整合層108は、例えば、カーボン、エポキシに酸化物を充填した材料などから作製される。第3の音響整合層は、ポリエチレン系樹脂材料、シリコン系樹脂などから作製されることが好ましい。なお、絶縁性の材料を音響整合層に用いる場合には、導電性が、必要に応じてスパッタやメッキなどにより音響整合層の表面に付与されても良い。

【0049】

続いて、超音波プローブ201の作製方法について説明する。

図13は、超音波プローブ201を製造する手順の流れを示すフローチャートである。上記接合型圧電振動子の製造方法で説明した方法で、接合型圧電振動子が作製される（ステップSb1乃至ステップSb10）。接合型圧電振動子の背面側に信号取り出し用FPCとバックング材とが接着される（ステップSb11）。接合型圧電振動子の超音波放射面側に複数の音響整合層が接着される（ステップSb12）。接合型圧電振動子の超音波放射面側からバックング材まで、ダイシングブレードにより、所定の間隔でダンシングが実行される（ステップSb13）。このダイシングにより、接合型圧電振動子および複数の音響整合層は、複数の分割される。この分割により、複数のチャンネルが形成される。複数のチャンネル各々に対応する複数の分割された接合型圧電振動子各々を、接合型振動素子1と呼ぶ。ダイシングにより分割される方向は、例えばレンズ方向と平行である。接合圧電体の分割される間隔は、切断間隔wである。分割により生じた隙間の一部に絶縁性の樹脂が充填される場合もある。充填された樹脂の硬化後、分割された音響整合層の前面に、アース用FPC110と音響レンズ112とが接着される（ステップSb14）。

【0050】

図14は、超音波プローブの接合圧電体の超音波放射面における第7配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図およびチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する2面とともに示す図である。図14に示すように、接合圧電体の寸法は、アレイ方向に沿って70mmであり、レンズ方向に沿って12mmである。図14における第7配列パターンは、まず、図10の第5配列パターンに加えて、レンズ方向の6行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の7行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量a'だけずらした位置に配列させる。次いで、レンズ方向の7行目における複数の単結晶圧電素子に対して、レンズ方向の8行目における複数の単結晶圧電素子をアレイ方向に沿ってずれ量a'だけずらした位置に配列させた配列パターンである。

【0051】

図14に示すように、接合圧電体は、切断間隔wで切断される。切断間隔wは、例えば、0.1乃至0.3mmである。これにより、複数のチャンネル各々において、超音波放射面における樹脂部分（接合部分）は、図14に示すように、アレイ方向に平行な複数の第1部分と、レンズ方向に平行な少なくとも一つの第2部分とを有する。加えて、複数のチャンネル各々の樹脂部分（第2部分）の位置は、図14に示すように、それぞれ異なる。すなわち、複数のチャンネル各々において、レンズ方向に垂直な対向する2面における素子部分の位置は、図14に示すように、それぞれ異なる。

【0052】

図15は、超音波プローブの接合圧電体の超音波放射面における第8配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図およびチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する2面とともに示す図である。図15における第8配列パターンは、レンズ方向の幅が等しい複数の単結晶圧電素子により構成される。図15に示すように、接合圧電体は、切断間隔wで切断される。切断間隔wは、例えば、0.1乃至0.3mmである。これにより、複数のチャンネル各々において、超音波放射面における樹脂部分（接合部分）は、図15に示すように、アレイ方向に平行な複数の第1部分と、レンズ方向に平行な少なくとも一つの第2部分とを有する。加えて、複数のチャンネル各々において、レンズ方向に垂直な対向する2面における樹脂部分の位置は、図15に示すように、それぞれ異なる。すなわち、複数のチャンネル各々において、レンズ方向に垂直な対向する2面における素子部分の位置は、図15に示すように、それぞれ異なる。

【 0 0 5 3 】

図 1 6 は、超音波プローブの接合圧電体の超音波放射面における第 9 配列パターンの一例を、チャンネルの拡大図およびチャンネルにおけるレンズ方向に垂直な対向する 2 面とともに示す図である。図 1 6 における第 9 配列パターンは、レンズ方向およびアレイ方向の幅が異なる複数の単結晶圧電素子により構成される。図 1 6 に示すように、接合圧電体は、切断間隔 w で切断される。切断間隔 w は、例えば、0.1 乃至 0.3 mm である。これにより、複数のチャンネル各々において、超音波放射面における樹脂部分（接合部分）は、図 1 6 に示すように、アレイ方向に平行な複数の第 1 部分と、レンズ方向に平行な少なくとも一つの第 2 部分とを有する。加えて、複数のチャンネル各々の樹脂部分（第 2 部分）の位置は、図 1 6 に示すように、それぞれ異なる。すなわち、複数のチャンネル各々において、レンズ方向に垂直な対向する 2 面における素子部分の位置は、図 1 6 に示すように、それぞれ異なる。

10

【 0 0 5 4 】

一般的には、レンズ方向に沿った段階的な配列において、単結晶圧電素子の個数が n 個（ n は自然数）である場合、第 2 部分の個数は（ $n - 2$ ）個以下となる。

【 0 0 5 5 】

上記製造方法で製造された超音波プローブ 2 0 1 を用いた超音波の送信について説明する。被検体に超音波プローブ 2 0 1 が当接される。次いで、接合型振動素子 1 の超音波放射面における電極（前面電極）と、接合型振動素子 1 の背面における電極（背面電極）との間に所定の電圧が印加される。所定の電圧の印加により、接合型振動素子 1 は共振し、超音波を発生する。発生された超音波は、第 1 の音響整合層 1 0 6 と第 2 の音響整合層 1 0 8 と音響レンズ 1 1 2 とを介して、被検体に送信される。

20

【 0 0 5 6 】

上記製造方法で製造された超音波プローブ 2 0 1 を用いた超音波の受信について説明する。被検体内で発生した超音波は、音響レンズ 1 1 2 と第 1 の音響整合層 1 0 6 と第 2 の音響整合層 1 0 8 とを介して、接合型振動素子 1 を振動させる。接合型振動素子 1 は、超音波による振動を電気信号に変換する。電気信号は、チャンネル毎に、被検体の深さに応じて遅延加算される。遅延加算された信号は、包絡線検波及び対数変換され、画像として表示される。また、第 1 の音響整合層 1 0 6 と第 2 の音響整合層 1 0 8 との音響インピーダンスを、接合型振動素子 1 の音響インピーダンス（20 ~ 30 M R a y l s）と被検体の音響インピーダンス（1.5 M R a y l s）との間で、徐々に被検体の音響インピーダンスに近付くように設定することによって、超音波の送受信効率を向上させることが可能になる。

30

【 0 0 5 7 】

なお、チャンネルを構成する音響整合層は 2 層に限らず、3 層または 4 層にしてもよい。この場合、音響整合層は、アース側 F P C 上に形成されてもよい。

【 0 0 5 8 】

以下、本接合型圧電振動子および本超音波プローブ 2 0 1 について、より具体的に説明する。

【 0 0 5 9 】

40

（実施例 1）

実施例 1 は、単結晶圧電素子として亜鉛ニオブ酸鉛 チタン酸鉛を用いた場合である。具体的には、 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - PbTiO_3$ における 0.93 $Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O_3 - 0.07 PbTiO_3$ （93 P Z T - 7 P T）の単結晶が、酸化鉛（ PbO ）のフラックスを用いた溶液ブリッジマン法により作製される。

【 0 0 6 0 】

次いで、この単結晶を [1 0 0] 面で切断することにより、0.5 mm の厚み t を有する複数の単結晶ウエハが作製される。複数の単結晶ウエハ各々を切断することにより、10 mm の幅及び長さを有する板（以下 [1 0 0] 板と呼ぶ）が、100 枚準備される。この [1 0 0] 板の代表的な特性は、分極後の誘電率が 5000、相転移温度 T_{rt} が 11

50

0、キュリー温度 T_c が 165、圧電定数 d_{33} が 2200 pC/N である。

【0061】

100枚の[100]板各々は、ダイサーを用いて、長さおよび幅が2.5mmとなるように切断される。この切断により、複数の単結晶圧電素子が作製される。複数の単結晶圧電素子各々のZ面における結晶方位は、[100]である。この切断は、作製された単結晶圧電素子のX面、Y面の結晶方位が[100]ではなく、Z面における結晶方位パターンの差異が、0°乃至180°の任意の範囲となるように実行されてもよい。

【0062】

複数の単結晶圧電素子各々の角は、例えば、パレル研磨処理により、角取りされる。具体的には、複数の単結晶圧電素子各々の角は、単結晶圧電素子の厚み t の1乃至10%を半径 ($t \times (0.1 \text{ 乃至 } 0.01)$) として、角取りされる。なお、R付けにおける半径は、例えば、1乃至40 μm であってもよい。

【0063】

ダイサーにて切断後の単結晶圧電素子(棒状圧電素子および板状圧電素子)に対して、超音波洗浄が実行される。超音波洗浄が実行された単結晶圧電素子は、乾燥される。乾燥後、単結晶圧電素子は、酸化アルミニウムのるつぼ(以下アルミナるつぼと呼ぶ)に投入される。アルミナるつぼに、400の熱が、1時間にわたって加えられる。これにより、単結晶圧電素子に熱処理が実行される。この熱処理により、加工歪が取り去られる。

【0064】

熱処理された単結晶圧電素子は、[100]面がZ面と一致するように、配列される。具体的には、熱処理された単結晶圧電素子は、Z面に平行なアレイ方向に沿って、直線的に配列される。熱処理された単結晶圧電素子は、レンズ方向に沿って、段階的に配列される。レンズ方向に沿って配列された複数の単結晶圧電素子にうち、互いに隣接する2つの単結晶圧電素子において、アレイ方向に沿ったずれ量は、単結晶圧電素子のアレイ方向に沿った幅より短く、かつ接合圧電体をレンズ方向に沿って切断される切断間隔より長い。

【0065】

具体的には、配列処理は、例えば、所定の枠に、[100]面を上面(Z面)として単結晶圧電素子を投入し、所定の振動を加えることにより実行される。所定の枠を用いた配列処理において、複数の単結晶圧電素子は、アレイ方向によって直線的に配列され、レンズ方向に沿って段階的に配列される。また、アレイ方向に沿った直線的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、5個以上である。加えて、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、3個以上であって10個以下である。なお、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の最も好ましい個数は、3個以上であって5個以下である。配列処理において、Z面は、[100]面となる。

【0066】

複数の単結晶圧電素子の配列後に、粘性を低下させた樹脂が、所定の枠内であって、配列された単結晶圧電素子の間(以下、スペースと呼ぶ)に充填される。粘性を低下させた樹脂とは、例えば、エポキシ樹脂とエポキシ樹脂の重量の10%のアセトンなどの有機溶剤とを混ぜることによりエポキシ樹脂を希釈することにより作製される。その後、真空脱泡が5分間実行される。次いで、スペースに注入された液は、室温で20時間経過後、100で6時間の熱処理が実行され、完全に硬化される。

【0067】

上記パレル研磨処理、超音波洗浄処理、配列処理などの処理を複数の単結晶圧電素子各々に対して実行し、単結晶圧電素子間の溝を完全にエポキシ樹脂で埋めることにより、複数の単結晶圧電素子と樹脂とを接合した接合圧電体が作製される。作製された接合圧電体の厚みが0.3mmとなるように、平面研削盤を用いて接合圧電体の超音波放射面と背面と(以下、両面と呼ぶ)が研磨される。その後、クロムが、両面に30nmの厚さでスパッタにより設けられる。次いで、金が、両面に300nmの厚さでスパッタにより設けられる。

10

20

30

40

50

【0068】

クロムおよび金が設けられた接合圧電体は、幅が12mm、長さが75mmとなるよう切断される。切断された接合圧電体に、室温で7kV/cmの直流電界が10分間印加される。この直流電界の印加により、接合圧電体に含まれる複数の単結晶圧電素子は分極される。また、体積率は98%である。分極後の接合圧電体の誘電率は4800を示した。また、幅を0.14mmにアレイ及びサブダイシングした後の短冊状の複合体の結合係数 k_{33}' は85乃至88%であった。また、接合圧電体を192チャンネルに分割した後（接合型圧電振動子）での各チャンネルによる静電容量のばらつきは±3.5%以内であった。

【0069】

比較として、直径50mm径の同一材料の単結晶ウエハから切り出した2枚の[100]板（幅12mm、長さ35mm）を接合した単結晶圧電振動子を作製した。この単結晶圧電振動子の結合係数 k_{33}' は85乃至88%で、誘電率は4920であり、192チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量の分布は±18%であった。

【0070】

比較として、誘電率が5500の高誘電率PZT系セラミクス材料を用いて幅12mm、長さ75mmの圧電振動子を作製した。この圧電振動子を0.14mmにアレイ及びサブダイシングした後の短冊振動子の結合係数 k_{33}' は66乃至70%で、誘電率は4800であり、192チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量の分布は±4%以内であった。

以上のことから、本実施形態の方法で作製した接合型圧電振動子は、単結晶ウエハから切り出して作製した単結晶圧電振動子と比べて、誘電率はほぼ同等、結合係数は数%大きく、更にチャンネル毎の静電容量のばらつきは通常のPZTセラミクス並みに小さいことは明らかである。

【0071】

（実施例2）

実施例2は、単結晶圧電素子として、マグネシウムニオブ酸鉛 チタン酸鉛を用いた場合である。具体的には、 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ $PbTiO_3$ における0.71 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ -0.29 $PbTiO_3$ （71PMN-29PT）の単結晶が、ブリッジマン法により作製される。

【0072】

次いで、この単結晶を[100]面で切断することにより、0.5mmの厚み t を有する複数の単結晶ウエハが作製される。複数の単結晶ウエハ各々を切断することにより、10mmの幅および長さを有する板（以下[100]板と呼ぶ）が、100枚準備される。この[100]板の代表的な特性は、分極後の誘電率が7000、相転移温度 T_{rt} が95、キュリー温度 T_c が140、圧電定数 d_{33} が2000pC/N、抗電界が2.5kV/cmである。

【0073】

100枚の[100]板各々は、ダイサーを用いて、長さ及び幅が2.5mmとなるように、切断される。なお、ダイサーによる[100]板の切断に関する角度は、結晶方位[100]のパターンが異なる任意の角度であってもよい。この切断により、複数の単結晶圧電素子が作製される。複数の単結晶圧電素子各々のZ面における結晶方位は、[100]である。

【0074】

複数の単結晶圧電素子各々の角は、例えば、バレル研磨処理により、角取りされる。具体的には、複数の単結晶圧電素子各々の角は、単結晶圧電素子の厚み t の1乃至10%を半径（ $t \times (0.1 \text{ 乃至 } 0.01)$ ）として、角取りされる。なお、R付けにおける半径は、例えば、1乃至40 μm であってもよい。

【0075】

ダイサーにて切断後の単結晶圧電素子（棒状圧電素子および板状圧電素子）に対して、

10

20

30

40

50

超音波洗浄が実行される。超音波洗浄が実行された単結晶圧電素子は、乾燥される。乾燥後、単結晶圧電素子は、酸化アルミニウムのるつぽ（以下アルミナるつぽと呼ぶ）に投入される。アルミナるつぽに、例えば、400 の熱が、0.2 時間にわたって加えられる。これにより、単結晶圧電素子に熱処理が実行される。この熱処理により、加工歪が取り去られる。

【0076】

熱処理された単結晶圧電素子は、[100]面がZ面と一致するように、配列される。具体的には、熱処理された単結晶圧電素子は、Z面に平行なアレイ方向に沿って、直線的に配列される。熱処理された単結晶圧電素子は、レンズ方向に沿って、段階的に配列される。レンズ方向に沿って配列された複数の単結晶圧電素子にうち、互いに隣接する2つの単結晶圧電素子において、アレイ方向に沿ったずれ量は、単結晶圧電素子のアレイ方向に沿った幅より短く、かつ接合圧電体をレンズ方向に沿って切断される切断間隔より長い。

10

【0077】

具体的には、配列処理は、例えば、所定の枠に、[100]面を上面（Z面）として単結晶圧電素子を投入し、所定の振動を加えることにより実行される。所定の枠を用いた配列処理において、複数の単結晶圧電素子は、アレイ方向によって直線的に配列され、レンズ方向に沿って段階的に配列される。また、アレイ方向に沿った直線的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、5個以上である。加えて、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、3個以上であって10個以下である。なお、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の最も好ましい個数は、3個以上であって5個以下である。配列処理において、Z面は、[100]面となる。加えて、配列された複数の単結晶圧電素子各々において、X面における結晶方位は非一様となっていてよい。

20

【0078】

複数の単結晶圧電素子の配列後に、粘性を低下させた樹脂が、所定の枠内であって、配列された単結晶圧電素子の間に充填される。粘性を低下させた樹脂とは、例えば、エポキシ樹脂とエポキシ樹脂の重量の10%のアセトンなどの有機溶剤とを混ぜることによりエポキシ樹脂を希釈することにより作製される。その後、真空脱泡が15分間実行される。次いで、スペースに注入された液は、室温で20時間経過後、100 で6時間の熱処理が実行され、完全に硬化される。

30

【0079】

上記パレル研磨処理、超音波洗浄処理、配列処理などの処理を複数の単結晶圧電素子各々に対して実行し、単結晶圧電素子間の溝を完全にエポキシ樹脂で埋めることにより、複数の単結晶圧電素子と樹脂とを接合した接合圧電体が作製される。作製された接合圧電体の厚みが0.3mmとなるように、平面研削盤を用いて接合圧電体の超音波放射面と背面と（以下、両面と呼ぶ）が研磨される。その後、クロムが、両面に30nmの厚さでスパッタにより設けられる。次いで、金が、両面に300nmの厚さでスパッタにより設けられる。

【0080】

クロムおよび金が設けられた接合圧電体は、幅が12mm、長さが75mmとなるよう切断される。切断された接合圧電体に、室温で5kV/cmの直流電界が10分間印加される。この直流電界の印加により、接合圧電体に含まれる複数の単結晶圧電素子は分極される。また、体積率は98%である。分極後の接合圧電体の誘電率は7600を示した。また、幅を0.14mmにアレイ及びサブダイシングした後の短冊状の接合圧電体の結合係数 k_{33} は89乃至92%であった。また、接合圧電体を192チャンネルに分割した後（接合型圧電振動子）での各チャンネルによる静電容量のばらつきは±4%以内であった。

40

【0081】

比較として、直径80mm径の同一材料の単結晶ウエハから切り出すことにより、[100]板（幅12mm、長さ35mm）の単結晶圧電振動子を作製した。この単結晶圧電

50

振動子の結合係数 k_{33} は 87 乃至 90 % で、誘電率は 6200 であり、192 チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量の分布は ± 17 % であった。さらに、この工程により、振動子の割れが 55 % で発生し、歩留まりは 45 % であった。

【0082】

比較として、誘電率が 5500 の高誘電率 PZT 系セラミクス材料を用いて幅 12 mm、長さ 75 mm、厚さ 0.45 mm の圧電振動子を作製した。この圧電振動子の幅を 0.14 mm にアレイ及びサブダイシングした後の短冊状の接合圧電体の場合の結合係数 k_{33} は 66 乃至 70 % で、誘電率は 4800 であり、192 チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量の分布は ± 4 % 以内であった。さらに、この工程により、振動子の割れが 10 % で発生し、歩留まりは 90 % であった。

10

【0083】

以上のことから、本実施形態の方法で作製した接合型圧電振動子における静電容量（誘電率）と結合係数とは、単結晶ウエハから切り出して作製した単結晶圧電振動子と比べてほぼ同等、更に接合型圧電振動子におけるチャンネル毎の静電容量のばらつきは、通常の PZT セラミクス並みに小さいことは明らかである。

【0084】

加えて、本実施形態の方法で作製した接合型圧電振動子の背面側に、信号用 FPC と所定の厚みのバッキング材料とを接着し、超音波放射面側に複数の音響整合層とアース用 FPC と音響レンズとを張り付けることにより、超音波プローブ 201（以下、接合型単結晶超音波プローブと呼ぶ）が作製される。また、比較として、上記単結晶圧電振動子の背面側に、信号用 FPC と所定の厚みのバッキング材料とを接着し、超音波放射面側に複数の音響整合層とアース用 FPC と音響レンズとを張り付けることにより、超音波プローブ（以下、単結晶超音波プローブと呼ぶ）を作製した。比較として、上記高誘電率 PZT 系セラミクス材料による圧電振動子の背面側に、信号用 FPC と所定の厚みのバッキング材料とを接着し、超音波放射面側に複数の音響整合層とアース用 FPC と音響レンズとを張り付けることにより、超音波プローブ（以下、PZT セラミクス超音波プローブと呼ぶ）を作製した。この 3 種の超音波プローブ各々に対して、静電容量と感度との測定が実行される。

20

【0085】

図 17 は、本実施形態に係る接合型単結晶超音波プローブと、従来の単結晶超音波プローブと、従来の PZT セラミクス超音波プローブとにおける各チャンネルに対する静電容量のばらつきを示す図である。作製された超音波プローブ各々の静電容量は、インピーダンスアナライザ（4192A、Yokogawa Hewlett Packard）により測定される。静電容量は、共振周波数よりも十分に低い 1 kHz、1 V rms で測定される。

30

【0086】

図 18 は、本実施形態に係る接合型単結晶超音波プローブと、従来の単結晶超音波プローブと、従来の PZT セラミクス超音波プローブとにおける各チャンネルに対する感度のばらつきを示す図である。図 19 は、本超音波プローブ 201 における各チャンネルの感度測定の方法を示す概略図である。水槽 200 の水面近くに超音波プローブ 201 の先端が設置される。超音波プローブ 201 から引き出された信号用 FPC 102 にパルサー・レシーバ 203（5800、Panametrics）が接続される。パルサー・レシーバ 203 は、超音波プローブ 201 における各チャンネルを駆動させるための駆動信号を、各チャンネルに供給する。パルサー・レシーバ 203 には、オシロスコープ 205 が接続される。

40

【0087】

超音波プローブ 201 は、パルサー・レシーバ 203 から供給された駆動信号により、超音波を発生する。また、超音波プローブ 201 は、パルサー・レシーバ 203 を介して、水面から深さ 6 cm の位置に配置されたアクリル板 207 から反射された反射波を受信する。オシロスコープ 205 は、超音波の送受信により発生された送受信波形を計測する

50

。３種類の超音波プローブにおける各チャンネルに対して、送受信波形の計測を実行することで、チャンネル間の感度分布が評価される。感度は、送受信波形の最大値と最小値の差（Vpp）で表すこととした。

【００８８】

上記静電容量と感度との測定において、本実施形態の接合型圧電振動子を有する超音波プローブ２０１（接合型単閥所う超音波プローブ）における１９２チャンネルに亘る静電容量と感度とのばらつきは、ＰＺＴセラミクス超音波プローブ並みに小さく、かつ感度は単結晶圧電振動子からなる単結晶超音波プローブと同等であることが示される。また、接着、アレイダイシングなどのプローブ組み立て工程において、本実施形態に係る接合型圧電振動子に割れなどは発生せず、歩留まりは１００％であった。一方、通常の方法で製造した同一形状の単結晶振動子ではプローブの組み立て時に２０％以上の振動子に割れが生じ、製造歩留まりは８０％以下であった。

10

【００８９】

（実施例３）

実施例３は、単結晶圧電素子として、マグネシウムニオブ酸鉛 チタン酸鉛を用い、接合型圧電振動子の１チャンネルに含まれる複数の単結晶圧電素子における少なくとも一つのキュリー温度が、他のキュリー温度と異なる場合である。具体的には、 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 、 $PbTiO_3$ における７４PMN－２６PT、７３PMN－２７PT、７２PMN－２８PT、７１PMN－２９PT、７０PMN－３０PT、６９PMN－３１PT、６８PMN－３２PTの単結晶各々が、ブリッジマン法により作製される。

20

【００９０】

次いで、この単結晶各々を〔１００〕面で切断することにより、０．５mmの厚みtを有する複数の単結晶ウエハが作製される。複数の単結晶ウエハ各々を切断することにより、１１mmの幅および長さを有する板（以下〔１００〕板と呼ぶ）が、複数の単結晶ウエハ各々に対して、１０枚ずつ準備される。複数の単結晶ウエハ各々に対応する〔１００〕板のキュリー温度は、それぞれ約１２５、１３０、１３５、１４０、１４５、１５０、１５５である。

【００９１】

７０枚の〔１００〕板各々は、ダイサーを用いて、長さ及び幅が１．５mmとなるように、切断される。なお、ダイサーによる〔１００〕板の切断に関する角度は、結晶方位〔１００〕のパターンが異なる任意の角度であってもよい。この切断により、複数の単結晶圧電素子が作製される。複数の単結晶圧電素子各々のＺ面における結晶方位は、〔１００〕である。

30

【００９２】

複数の単結晶圧電素子各々の角は、例えば、パレル研磨処理により、角取りされる。具体的には、複数の単結晶圧電素子各々の角は、単結晶圧電素子の厚みtの１乃至１０％を半径（ $t \times (0.1 \text{ 乃至 } 0.01)$ ）として、角取りされる。なお、R付けにおける半径は、例えば、１乃至４０μmであってもよい。

【００９３】

ダイサーにて切断後の単結晶圧電素子（棒状圧電素子および板状圧電素子）に対して、超音波洗浄が実行される。超音波洗浄が実行された単結晶圧電素子は、乾燥される。乾燥後、単結晶圧電素子は、酸化アルミニウムのるつぼ（以下アルミなるつぼと呼ぶ）に投入される。アルミなるつぼに、例えば、５００で２時間にわたって加えられる。これにより、単結晶圧電素子に熱処理が実行される。この熱処理により、加工歪が取り去られる。

40

【００９４】

熱処理された単結晶圧電素子は、〔１００〕面がＺ面と一致するように、配列される。具体的には、熱処理された単結晶圧電素子は、Ｚ面に平行なアレイ方向に沿って、直線的に配列される。熱処理された単結晶圧電素子は、レンズ方向に沿って、階段的に配列される。レンズ方向に沿って配列された複数の単結晶圧電素子にうち、互いに隣接する２つの単結晶圧電素子において、アレイ方向に沿ったずれ量は、単結晶圧電素子のアレイ方向に

50

沿った幅より短く、かつ接合圧電体をレンズ方向に沿って切断される切断間隔より長い。

【 0 0 9 5 】

具体的には、配列処理は、例えば、所定の枠に、[1 0 0] 面を上面 (Z 面) として単結晶圧電素子を投入し、所定の振動を加えることにより実行される。所定の枠を用いた配列処理において、複数の単結晶圧電素子は、アレイ方向によって直線的に配列され、レンズ方向に沿って段階的に配列される。また、アレイ方向に沿った直線的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、5 個以上である。加えて、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の好ましい個数は、例えば、3 個以上であって 1 0 個以下である。なお、レンズ方向に沿った段階的な配列における単結晶圧電素子の最も好ましい個数は、3 個以上であって 5 個以下である。配列処理において、Z 面は、[1 0 0] 面となる。加えて、配列された複数の単結晶圧電素子各々において、X 面における結晶方位は非一様となってもよい。

10

【 0 0 9 6 】

複数の単結晶圧電素子の配列後に、粘性を低下させた樹脂が、所定の枠内であって、配列された単結晶圧電素子の間に充填される。粘性を低下させた樹脂とは、例えば、エポキシ樹脂とエポキシ樹脂の重量の 1 0 % のアセトンなどとを混ぜることによりエポキシ樹脂を希釈することにより作製される。その後、真空脱泡が 5 分間実行される。次いで、スペースに注入された液は、室温で 2 0 時間経過後、1 0 0 で 6 時間の熱処理が実行され、完全に硬化される。

【 0 0 9 7 】

20

上記パレル研磨処理、超音波洗浄処理、配列処理などの処理を複数の単結晶圧電素子各々に対して実行し、単結晶圧電素子間の溝を完全にエポキシ樹脂で埋めることにより、複数の単結晶圧電素子と樹脂とを接合した接合圧電体が作製される。作製された接合圧電体の厚みが 0 . 3 mm となるように、平面研削盤を用いて接合圧電体の超音波放射面と背面と (以下両面と呼ぶ) が研磨される。その後、クロムが、両面に 3 0 nm の厚さでスパッタにより設けられる。次いで、金が、両面に 3 0 0 nm の厚さでスパッタにより設けられる。

【 0 0 9 8 】

クロムおよび金が設けられた接合圧電体は、幅が 1 2 mm、長さが 7 5 mm となるよう切断される。切断された複合体に、室温で 5 k V / c m の直流電界が 1 0 分間印加される。この直流電界の印加により、接合圧電体に含まれる複数の単結晶圧電素子は分極される。作製された接合圧電体に関する体積率は 9 8 % である。分極後の複合体の誘電率は 5 3 0 0 を示した。また、幅を 0 . 1 5 mm にアレイ及びサブダイシングした後の短冊状の接合圧電体の誘電率は 5 2 0 0 であった。また、複合体を 1 9 2 チャンネルに分割した後 (接合型圧電振動子) での各チャンネルによる静電容量のばらつきは ± 4 % 以内であった。

30

【 0 0 9 9 】

比較として、キュリー温度 T_c の異なる長さ及び幅が 1 2 mm の [1 0 0] 板を 6 枚張り合わせて、長さ 7 2 mm、幅 1 2 mm を有する貼り合わせ振動子を作製した。貼り合わせ振動子を 1 9 2 チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量のばらつきは ± 3.4 % であった。

40

【 0 1 0 0 】

比較として、誘電率が 6 0 0 0 の高誘電率 P Z T 系セラミクス材料を用いて、長さ 7 5 mm、幅 1 2 mm の圧電振動子を作製した。この圧電振動子を 0 . 3 mm の幅でアレイ及びサブダイシングした場合の短冊振動子の誘電率は 5 6 0 0 であり、1 9 2 チャンネルに分割した後での各チャンネルによる静電容量分布は ± 4 % であった。

【 0 1 0 1 】

以上のことから、本実施形態の方法で作製した接合型圧電振動子における誘電率は、単一の単結晶ウエハから切り出して作製した単結晶圧電振動子と比べてほぼ同等、更に接合型圧電振動子におけるチャンネル毎の静電容量のばらつきは、通常の P Z T セラミクス並みに小さいことは明らかである。このように、異なるキュリー温度 T_c を有する複数の単

50

結晶圧電素子を混合、配列させることで、1チャンネル内に複数のキュリー温度 T_c と、チャンネル間で静電容量の均一性を有し、長さが70mm以上の大型の接合型圧電振動子を作製することが出来る。さらに、単結晶ウエハに対する振動子への利用可能部分が増えるため、低コスト化も実現できる。

【0102】

(実施例4)

実施例4は、単結晶圧電素子としてインジウムニオブ酸鉛-マグネシウムニオブ酸鉛チタン酸鉛($Pb(In_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ $PbTiO_3$ における0.24 $Pb(In_{1/2}Nb_{1/2})O_3$ 0.45 $Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3$ 0.31 $PbTiO_3$ に(24PIN-45PMN-31PT))の単結晶を用いて、超音波プローブ201を作製した場合である。具体的には、まず、実施例1乃至実施例3に示した製造方法で接合型圧電振動子(幅12mm、長さ75mm、厚み0.3mm)が作製される。この[100]板の代表的な特性は、分極後の誘電率が6500、相転移温度 T_{rt} が100、キュリー温度 T_c が185、圧電定数 d_{33} が2000pC/N、抗電界が5kV/cmである。

【0103】

作製された接合型圧電振動子の[100]面に、第1の音響整合層106として、0.4mmの厚みであって、15MRaylsの音響インピーダンスを有するガラス板が接着される。第1の音響整合層106の前面に、第2の音響整合層108として、0.2mmの厚みがあって、5.8MRaylsの音響インピーダンスを有するカーボンが接着される。電極取出しとして、アース用FPC110が、カーボンの前面に接着される。アース用FPC110の前面に、第3の音響用整合層として、0.18mmの厚みであって、2.1MRaylsの音響インピーダンスを有する軟質エポキシ樹脂が接着される。電極取出しとして、信号用FPC102が接合圧電体の背面に接着される。

【0104】

接合型圧電振動子に複数の音響整合層とFPCとを接着した接着体は、50 μ mの厚みのダイサブレードを用いて、接着体の長さ75mmに対して0.14mmの幅でサブダイスされる。サブダイスされた0.14mm \times 12mmを有する複数の領域において、2つの領域で1チャンネルが構成される。すなわち、上記サブダイスにより192チャンネルを有するコンベックス型超音波プローブが作製される。上記サブダイス後、接合型圧電振動子に含まれる複数の単結晶圧電素子各々に、240V(0.8kV/mm)の直流電圧が、1分間印加される。上記直流電圧の印加により、複数の単結晶圧電素子各々は分極される。作製された超音波プローブ201における各チャンネルの特徴が通常の方法で測定される。以下の表1は、実施例4で作製された超音波プローブ201において、測定された各チャンネルの特徴を示す表である。なお、表1には、比較として、参考例1が示されている。参考例1は、24PIN-45PMN-31PTにより作製された複合化されていない超音波プローブに対して測定された各チャンネルの特徴を示している。

【表1】

	平均容量 (pF)	平均感度 (mV)	感度ばらつき	帯域 (-6dB)	帯域ばらつき
実施例4	426	176	$\pm 4\%$	99	$\pm 4\%$
参考例1	425	173	$\pm 50\%$	98	$\pm 25\%$

【0105】

上記表1から明らかなように、実施例4に関する接合型圧電振動子を用いて作製したコンベックス型超音波プローブは、同一材料の単結晶(PIN-PMN-PT)に関する1枚の[100]板から作製した3成分系振動子を用いたプローブ(参考例1)に比べて、チャンネル間の帯域のばらつき、感度ばらつきが小さい。更に本実施例の接合型圧電振動子を用いてプローブを作製する場合、接合型圧電振動子の長さが70mm以上と大きくて

も、更に厚みが0.15mm以下と薄くても、プローブの製造プロセス中に割れが生じないために、高い製造歩留まりで超音波プローブ201を作製することが出来る。

【0106】

なお、第1乃至第4実施例における接合型圧電振動子に含まれる単結晶圧電素子の結晶方位[100]を超音波放射面側に配置したのは、従来に比べて高い誘電率と結合係数とを得るためである。また、チャンネル各々について、単結晶圧電素子のうち少なくとも一つにおけるアレイ方向に垂直な第1面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における第1面の結晶方位と異なってもよい。加えて、単結晶圧電素子のうち少なくとも一つにおけるレンズ方向に垂直な第2面の結晶方位は、他の単結晶圧電素子における第2面の結晶方位と異なってもよい。異なる角度の振動子を用いることでスプリアスを効果的に抑制することが可能であり、チャンネル毎の誘電率（静電容量）や結合係数のばらつきを小さく出来る。

10

【0107】

第1乃至第4実施例に係り、レンズ方向に沿って、段階的に複数の単結晶圧電素子を配列させる（以下、階段配列と呼ぶ）理由は、以下の通りである。階段配列は、レンズ方向に沿ったアレイダイシングにより作製された複数のチャンネル各々のZ面において、複数の単結晶圧電素子の合計面積に対する樹脂の面積の割合を、所定の範囲内（実質的に一致）にすることができる。これにより、チャンネル各々において、図17および図18に示すように、本実施形態の接合型圧電振動子を有する超音波プローブ201における192チャンネルに亘る静電容量と感度とのばらつきは、PZTセラミクス超音波プローブ並みに小さくすることができる。加えて、感度は、単結晶圧電振動子からなる超音波プローブと同等にすることができる。さらに、接合圧電体に複数の音響整合層などを接着する接着工程と、アレイダイシングなどのプローブ組み立て工程とにおいて、本実施形態に係る接合型圧電振動子に割れなどは発生せず、歩留まりを100%にすることができる。

20

【0108】

第1乃至第4実施例に係り、複数の棒状振動子または板状振動子の分極方向に垂直なZ面が同一平面内に位置するように配列された接合型圧電振動子において、接合型圧電振動子の最長辺の長さを40乃至80mmに限定した理由は、以下の通りである。まず、最長辺の長さが40mm以下の振動子を持つ超音波プローブの場合、例えば、図22に示すように、単結晶圧電素子内の特性ばらつきは比較的小さいために、チャンネル間や振動子間の特性ばらつきは大きな問題にならないためである。また、最長辺の長さが80mmを超える接合型圧電振動子は、超音波プローブの製造工程において、変形（反り）が生じること、およびこの変形により割れが生じやすいためである。

30

【0109】

第1乃至第4実施例に係り、接合型圧電振動子の最短辺の長さ（レンズ方向の長さ）を4乃至15mmに限定した理由は、4mm以下の長さでは、本方法を用いても均一な圧電体特性を有する接合型圧電振動子を作製することが困難であり、15mm以上では、超音波プローブの製造工程において、変形（反り）が生じること、およびこの変形により割れが生じやすいためである。

【0110】

第1乃至第4実施例に係り、接合型圧電振動子の厚みを0.1乃至0.4mmに限定した理由は、以下のとおりである。被検体体表面から最も深い部分（例えば胎児、心臓など）に送信される超音波の中心周波数は2MHzであり、被検体体表面から最も浅い部分（例えば乳房の乳腺、皮膚など）に送信される超音波の中心周波数は10MHzであるので、これらの周波数に対応した振動子の厚みの幅が、0.1乃至0.4mmである。

40

【0111】

第1乃至第4実施例に係り、アレイダイシングされる幅（切断間隔w）が0.1乃至0.3mmに限定した理由は、以下のとおりである。スプリアスを抑えるためのアレイダイシングの幅は、概ね上記振動子の厚みの70%であるため、0.035乃至0.35mmである。0.035mmでアレイダイシングを実行すると超音波プローブの歩留まりが悪

50

いたため、アレイダイシングされる幅の下限は、歩留まりを向上させるために 0.1 mm とした。また、スプリアス振動を低減させるために、アレイダイシングされる幅の上限は、0.3 mm とした。

【0112】

また、第1乃至第4実施例に係る接合型圧電振動子において、レンズ方向に沿って段階的に配列される単結晶圧電素子の個数（以下、レンズ方向個数と呼ぶ）を3個以上10個以下にした理由は以下の通りである。レンズ方向個数を3個以上（1チャンネルに含まれる単結晶圧電素子の数）としたのは、チャンネル毎の静電容量のばらつきを低下させ、スプリアスを抑制し、振動子の割れを低減させるためである。1チャンネルに含まれる単結晶圧電素子が3個未満では、チャンネル毎の静電容量のばらつきを低減させることと、スプリアスを抑制することと、振動子の割れを低減させることとに対する効果は薄れる。さらに好ましくは、1チャンネルに含まれる単結晶圧電素子の数は、4乃至10個である。

10

【0113】

加えて、第1乃至第4実施例に係る接合型圧電振動子において、アレイ方向に沿って直線的に配列される単結晶圧電素子の個数（以下、アレイ方向個数と呼ぶ）を5個以上にした理由は以下の通りである。アレイ方向個数を5個以上としたのは、チャンネル毎の静電容量のばらつきを低下させ、スプリアスを抑制し、振動子の割れを低減させるためである。アレイ方向個数に含まれる単結晶圧電素子が5個未満では、チャンネル毎の静電容量のばらつきを低減させることと、スプリアスを抑制することと、振動子の割れを低減させることとに対する効果は薄れる。

20

【0114】

第1乃至第4実施例に係り、1チャンネルに含まれる複数の単結晶圧電素子にそれぞれ対応する複数のキュリー温度 T_c に関して、キュリー温度 T_c の最大値と最小値との温度差を5乃至30に限定する理由は、以下のとおりである。温度差が5以下の場合、大型形状の接合型圧電振動子の特性に関する均一性が改善される効果が乏しくなる。また、温度差が30以上の場合、上記特性の均一性の改善、更に高い誘電率、感度を得ることが困難となる。

【0115】

第1乃至第4実施例に係る接合型圧電振動子の圧電材料として、40乃至70 mol % のマグネシウムニオブ酸鉛（PMN）、10乃至30 mol % のインジウムニオブ酸鉛（PIN）または10乃至30 mol % のジルコン酸鉛を含むことに限定した理由は、上記以外の範囲では高い誘電率や結合係数が得られないためである。また、これらの材料に1 mol % 以下の少量の鉄（Fe）、マンガン（Mn）、クロム（Cr）、バナジウム（V）などの酸化物が、上記圧電材料に添加されてもよい。これらの単結晶は、ブリッジマン法以外に、引き上げ法、固相反応法、フラックス法で作製されてもよい。

30

【0116】

第1乃至第4実施例に係る電極において、半導体性酸化マンガンの厚みを5 nm 乃至30 nm に限定する理由は、以下のとおりである。まず、酸化マンガンの厚みが5 nm より薄いと、誘電率を増加させる効果はほとんど見られない。また、酸化マンガンの厚みが30 nm を超えると、誘電率は低下する。従って、酸化マンガンの厚みは、5 nm 乃至30 nm である必要がある。上記範囲の厚みを有する酸化マンガンの空隙率を20乃至80%（多孔質）とする理由は、以下の通りである。20%以下の空隙率では誘電率を向上させる効果が充分でなく、80%を超えると誘電率が低下するためである。また、酸化マンガンのように金属と比較して抵抗率が大きな酸化物電極である ZnO 、 TiO_x 、チタン酸ストロンチウム（ $SrTiO_3$ ）、 SRO （ストロンチウムルテニウムオキシサイド）、 ITO （酸化インジウムスズ）などを用いても同様な効果が得られるためにこれらも本実施形態の範囲である。

40

【0117】

また、第1乃至第4実施例に係る電極において、接合圧電体の両面に設けられた電極のうちいずれか一方の電極の面積は、4乃至25 mm² となる理由は、以下のとおりである

50

。接合型圧電振動子に含まれる複数の単結晶圧電素子各々のZ面における面積は、単結晶ウエハから単結晶圧電素子を切断加工して切り出す技術および本実施例に関する目的の達成に必要なコストの制約上、4乃至25mm²となる。

【0118】

多孔質の酸化マンガんに次いで、パラジウム、ニッケル、クロム、チタンのうちいずれか一つの金属を10乃至50nmの厚みで下地電極として設け、下地電極に続けて100乃至400nmの厚みで金を積層させることで、接合型圧電振動子の誘電率および圧電定数を向上させることが出来る。加えて、チャンネル感度も向上され、チャンネル感度のばらつきも均一化できる。

【0119】

第1乃至第4実施例の接合型圧電振動子を作製する方法において、一つのチャンネルに含まれる複数の単結晶圧電素子のうち少なくとも一つにおける第1面、第2面の結晶方位が、上記一つのチャンネルに含まれる他の単結晶圧電素子における第1面、第2面の結晶方位とそれぞれ異なるように、結晶方位[100]面を超音波放射面側に配置させて単結晶圧電素子を配列することにより、効率的に、均一な特性を有する大型の接合型圧電振動子を作製することができる。なお、本実施形態の接合型圧電振動子を作製する方法は、複数の単結晶圧電素子を作製後、作製された複数の単結晶圧電素子に対して熱処理、混合、検査選別する工程をさらに具備していてもよい。

【0120】

第1乃至第4実施例に係る接合型圧電振動子を作製する方法および超音波プローブを作製する方法において、複数の単結晶圧電素子各々に対して、例えば、バレル研磨処理により、角取り(R付け)する理由は、以下の通りである。R付けにより、隣接する複数の単結晶圧電素子の間の間隔が広げられ、この間隔に樹脂を効率的に充填することと、配列パターンに従って複数の単結晶圧電素子各々を配列させやすくすることとができる。また、角取りしていない場合に比べて、配列時において、複数の単結晶圧電素子各々の角部分の欠けを低減させることができ、製造歩留まりを向上させることができる。R付けにおける半径を、単結晶圧電素子の厚みの1乃至10%または1乃至40μmとする理由は、以下の通りである。接合型圧電振動子の厚みは、上述した理由により0.1乃至0.4mmである。すなわち、R付けの半径の最小値を0.1μmとする理由は、この半径より短いと、隣接する複数の単結晶圧電素子の間に樹脂を充填しにくくなるためと、単結晶圧電素子の間の角部分が欠けやすくなるためである。加えて、R付けの半径の最大値を0.4μmとする理由は、この半径より長いと、チャンネル各々の感度が低下するからである。

【0121】

第1乃至第4実施例において、接合圧電体に関する体積率が90乃至99.8%である理由は以下の通りである。角取りされた複数の単結晶圧電素子を用いた作製された接合型圧電振動子において、R付けの半径が0.4μmである場合、体積率は90%となる。また、接合型圧電振動子において、R付けの半径が0.1μmである場合、体積率は99.8%となる。すなわち、体積率の上限値と下限値とは、R付けの半径の上限値と下限値とにそれぞれ対応する。

【0122】

本実施例に係る接合型圧電振動子を作製する方法および超音波プローブを作製する方法において、切断加工により単結晶ウエハから切り出され、R付けされた複数の単結晶圧電素子に対して、250乃至500の熱処理を実行する理由は、以下の通りである。250未満の熱処理では、切断加工およびR付けによる複数の単結晶圧電素子各々の加工歪みをとることができず、500を超える温度での熱処理では、単結晶圧電素子の組成が蒸発により変化する可能性があるためである。

【0123】

以上に述べた構成および方法によれば、以下の効果を得ることができる。

本実施形態によれば、長さが35乃至50mm程度、幅が5乃至10mm程度で厚みtが0.05乃至0.15mmの高周波リニアプローブ用振動子や、長さが75mm程度で

10

20

30

40

50

幅が10乃至15mm程度で厚み t が0.2乃至0.4mmの腹部コンベックスプローブ用振動子のような大型の接合型圧電振動子を製造する際に、チャンネル間、及び振動子間におけるプローブ感度のバラツキと、アレイダイシング後における振動子の特性の劣化とを低減させることができる。また、これらの方法で作製された接合型圧電振動子を用いて医療用アレイ式超音波プローブを作製することにより、超音波プローブにおけるチャンネルの感度と比帯域の特性ばらつきとを低減させることが出来る。更に、超音波プローブに含まれる短冊振動子の幅振動によるスプリアスを効果的に低下させることが出来る。これにより、プローブ感度を向上させることが出来る。

【0124】

加えて、本実施形態における他の効果として、単結晶インゴットにおいて、より多くの場所から単結晶ウエハを多量に効率良く作製できるとともに、超音波プローブの組み立て時において、単結晶圧電素子の破壊が生じにくいために、製造歩留まりの良い超音波プローブを作製することが出来る。

10

【0125】

また、本実施形態によれば、単結晶ウエハから作製される複数の単結晶圧電素子が無駄なく利用して、接合型圧電振動子および超音波プローブを作製することができる。また、複数の接合型振動素子各々において、接合型振動素子の体積に対する樹脂の体積の占める割合（X面、Y面における樹脂部分の割合、Z面における第1部分、第2部分の割合）は、ほぼ均等にすることができる。これにより、超音波プローブにおける複数のチャンネル（接合型振動素子）に対して、圧電特性を均一化させることができる。以上のことから、本実施形態によれば、より低コストでかつ均一な圧電特性を有する接合型圧電振動子および超音波プローブを作製することができる。

20

【0126】

なお、本発明は上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

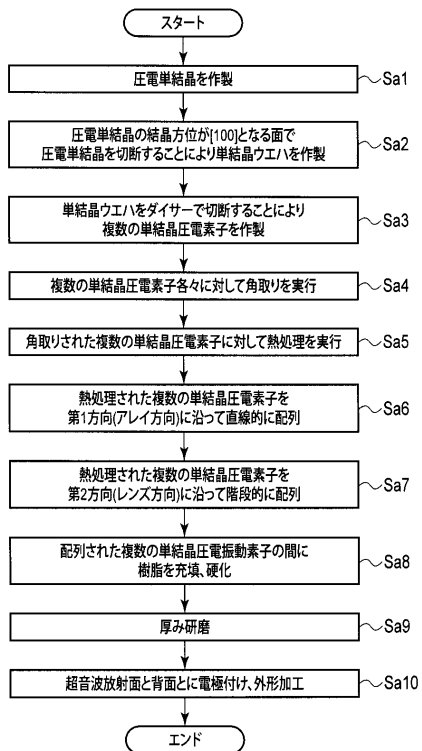
【0127】

1...接合型圧電振動素子、100...バッキング材、102...信号用FPC、106...第1の音響整合層、108...第2の音響整合層、110...アース用FPC、112...音響レンズ、201...超音波プローブ、200...水槽、203...パルサー・レシーバ、205...オシロスコープ、207...アクリル板、208...中心部、209...周辺部

30

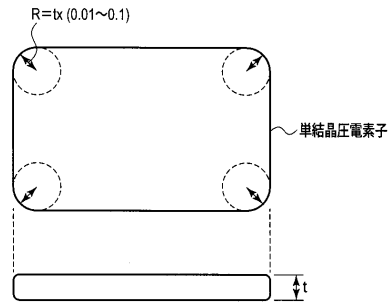
【 図 1 】

図 1



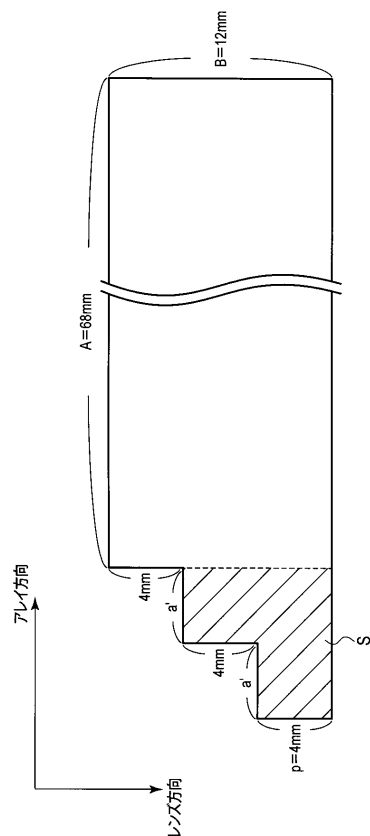
【 図 2 】

図 2



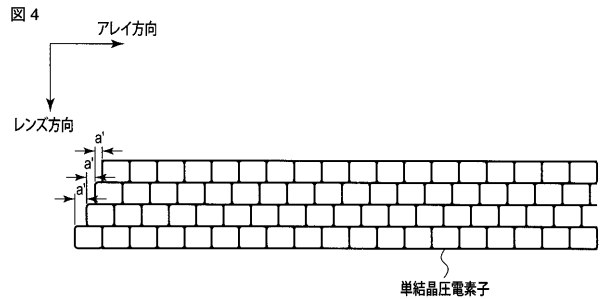
【 図 3 】

図 3



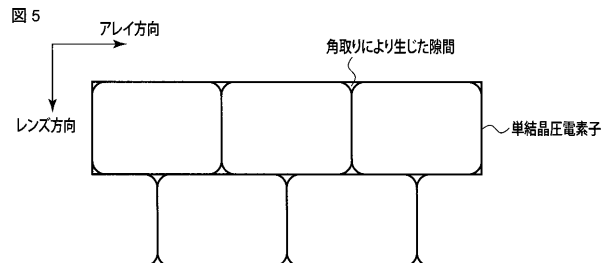
【 図 4 】

図 4



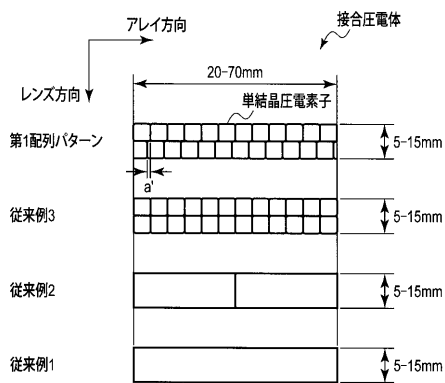
【 図 5 】

図 5



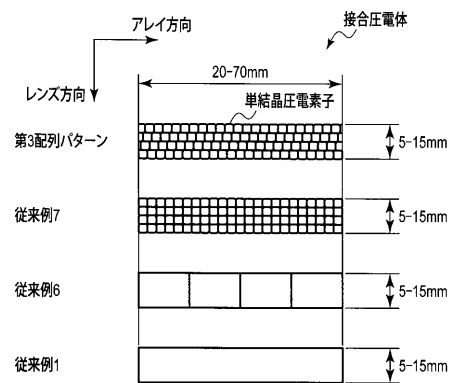
【 図 6 】

図 6



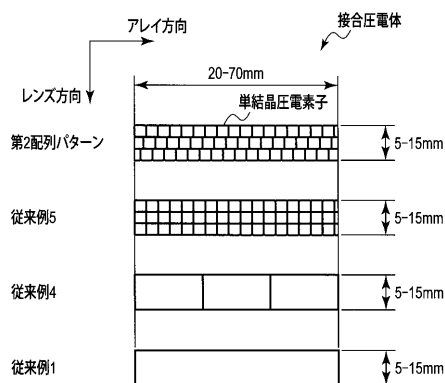
【 図 8 】

図 8



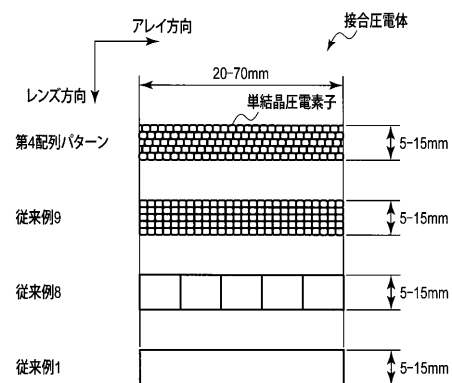
【 図 7 】

図 7



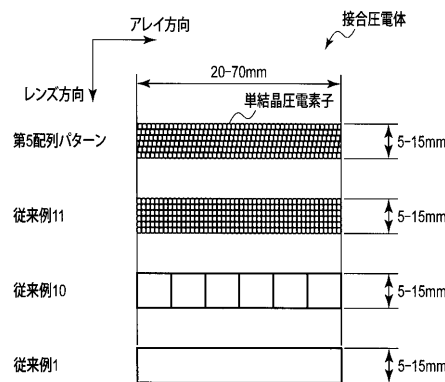
【 図 9 】

図 9



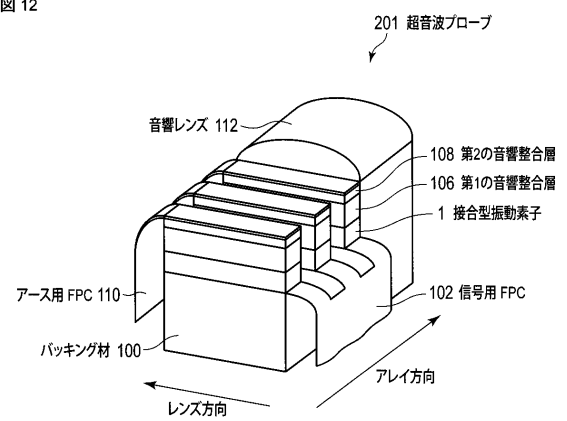
【 図 1 0 】

図 10



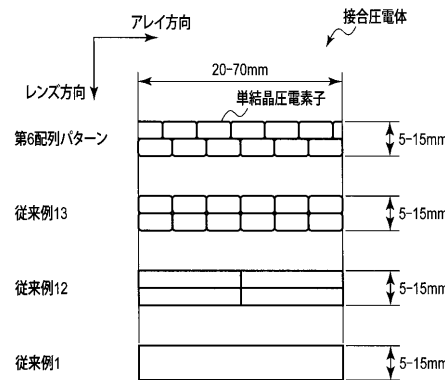
【 図 1 2 】

図 12



【 図 1 1 】

図 11



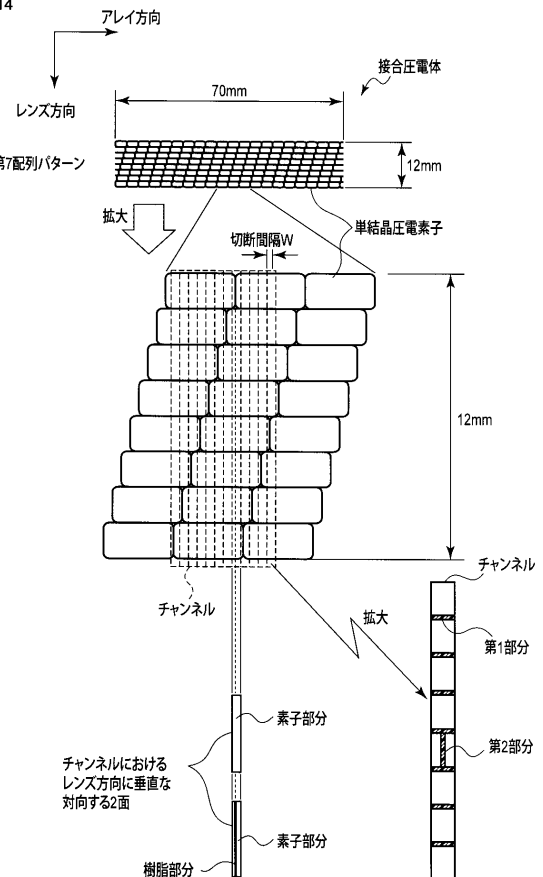
【図 13】

図 13



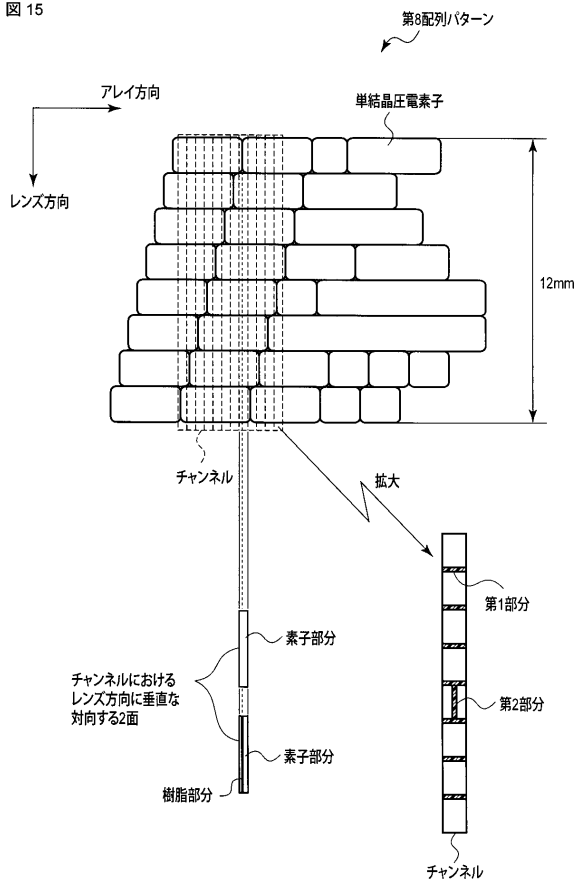
【図 14】

図 14



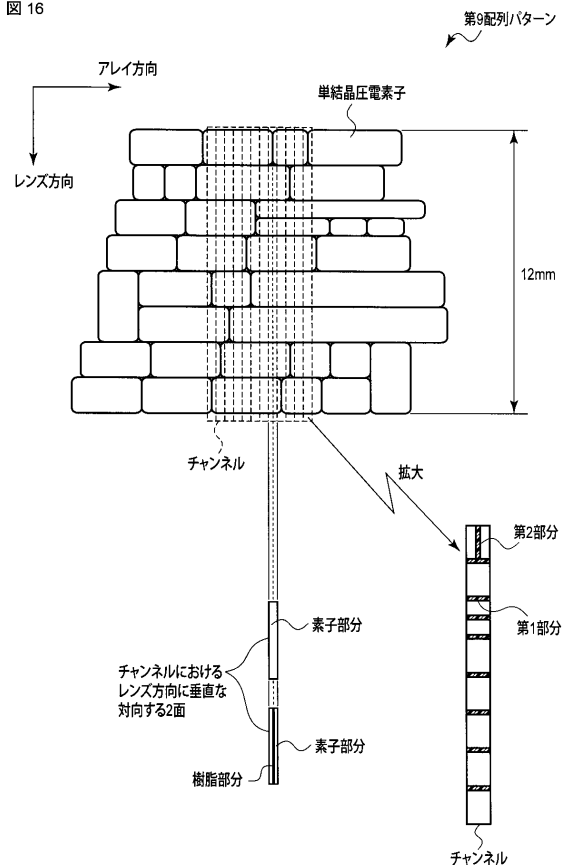
【図 15】

図 15

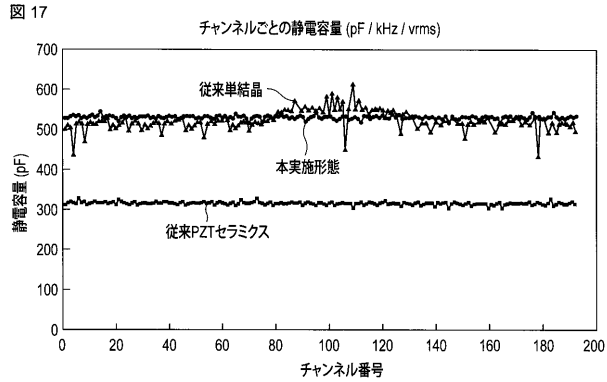


【図 16】

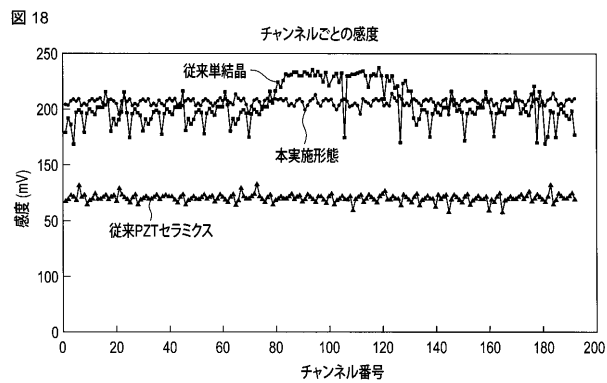
図 16



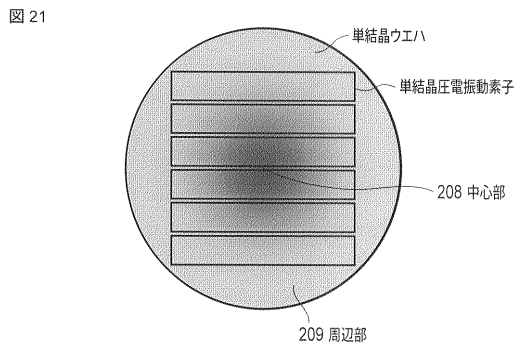
【図 17】



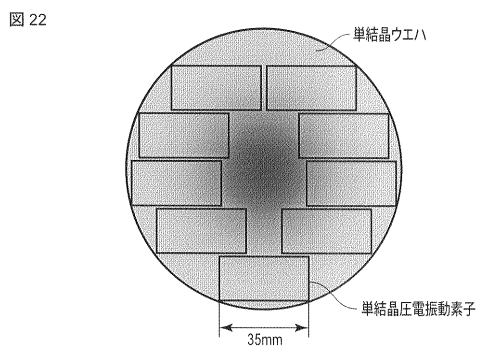
【図 18】



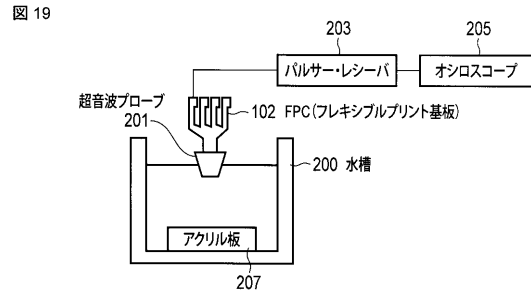
【図 21】



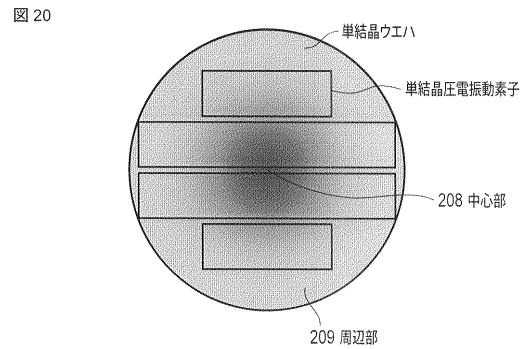
【図 22】



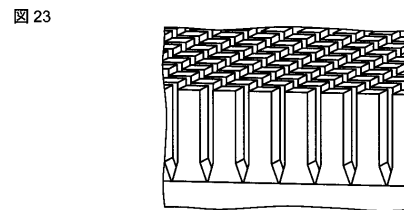
【図 19】



【図 20】



【図 23】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H 0 1 L 41/187 (2006.01)		H 0 1 L 41/08		Z
H 0 1 L 41/22 (2013.01)		H 0 1 L 41/08		C
A 6 1 B 8/00 (2006.01)		H 0 1 L 41/18	1 0 1 C	
G 0 1 N 29/24 (2006.01)		H 0 1 L 41/22		Z
		A 6 1 B 8/00		
		G 0 1 N 29/24	5 0 2	

- (74)代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100172580
弁理士 赤穂 隆雄
- (74)代理人 100179062
弁理士 井上 正
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (72)発明者 山下 洋八
神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 東芝リサーチ・コンサルティング株式会社内
- (72)発明者 細野 靖晴
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内
- (72)発明者 山本 紀子
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内
- (72)発明者 逸見 和弘
東京都港区芝浦一丁目 1 番 1 号 株式会社東芝内

F ターム(参考) 2G047 CA01 DB02 EA05 EA07 EA16 GB02 GB32 GB35
4C601 EE03 EE04 EE14 GB06 GB41 GB44
5D019 AA21 AA26 BB02 BB14 EE02 FF04 HH01

专利名称(译)	连接的压电振动器，制造结型压电振子的方法，超声波探头和制造超声波探头的方法		
公开(公告)号	JP2014135632A	公开(公告)日	2014-07-24
申请号	JP2013002458	申请日	2013-01-10
[标]申请(专利权)人(译)	株式会社东芝 东芝医疗系统株式会社		
申请(专利权)人(译)	东芝公司 东芝医疗系统有限公司		
[标]发明人	山下洋八 細野靖晴 山本紀子 逸見和弘		
发明人	山下 洋八 細野 靖晴 山本 紀子 逸見 和弘		
IPC分类号	H04R17/00 H04R31/00 H01L41/18 H01L41/08 H01L41/09 H01L41/187 H01L41/22 A61B8/00 G01N29/24		
FI分类号	H04R17/00.330.J H04R17/00.330.G H04R17/00.330.E H04R31/00.Z H01L41/18.101.A H01L41/08.Z H01L41/08.C H01L41/18.101.C H01L41/22.Z A61B8/00 G01N29/24.502 G01N29/24 H01L41/337 H01L41/338		
F-TERM分类号	2G047/CA01 2G047/DB02 2G047/EA05 2G047/EA07 2G047/EA16 2G047/GB02 2G047/GB32 2G047/GB35 4C601/EE03 4C601/EE04 4C601/EE14 4C601/GB06 4C601/GB41 4C601/GB44 5D019/AA21 5D019/AA26 5D019/BB02 5D019/BB14 5D019/EE02 5D019/FF04 5D019/HH01		
代理人(译)	中村诚 河野直树 井上 正 冈田隆		
外部链接	Espacenet		

摘要(译)

解决的问题：提供一种粘合的压电材料和超声波探头，其中，通道之间的压电材料特性的均匀性得到改善。 根据本实施例的粘合压电振动器包括：粘合压电体，其中结合多个单晶压电元件；粘合压电体的多个表面的第一方向；和与第一方向相交的第一方向。 它具有在平行于两个方向的第一表面侧和第二表面侧上设置的电极，并且单晶压电元件相对于第一表面的晶体取向为[100]，并且至少单晶压电元件为 关于一个，垂直于第一方向的第三表面的晶体取向不同于另一个单晶压电元件中的第三表面的晶体取向，并且至少一个单晶压电元件垂直于第二方向。 第四表面的晶体取向与另一单晶压电元件中的第四表面的晶体取向不同，并且通过沿着第一方向布置多个单晶压电元件来形成接合压电体。 通过在改变结合位置的同时在第二方向上布置一行单晶压电元件而形成。 它的特点是 [选型图]图1

