

(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2015-114196  
(P2015-114196A)

(43) 公開日 平成27年6月22日(2015.6.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 C 19/5628 (2012.01)	GO 1 C 19/56 1 2 8	2 F 1 0 5
HO 1 L 41/113 (2006.01)	HO 1 L 41/113	
HO 1 L 41/332 (2013.01)	HO 1 L 41/332	
HO 1 L 41/337 (2013.01)	HO 1 L 41/337	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 25 頁)

(21) 出願番号	特願2013-256000 (P2013-256000)	(71) 出願人	000104722
(22) 出願日	平成25年12月11日 (2013.12.11)		京セラクリスタルデバイス株式会社
			山形県東根市大字東根甲5850番地
		(74) 代理人	100079164
			弁理士 高橋 勇
		(72) 発明者	井上 憲司
			山形県東根市大字東根甲5850番地 京
			セラクリスタルデバイス株式会社内
		Fターム(参考)	2F105 BB02 BB13 BB15 CC01 CD02
			CD06

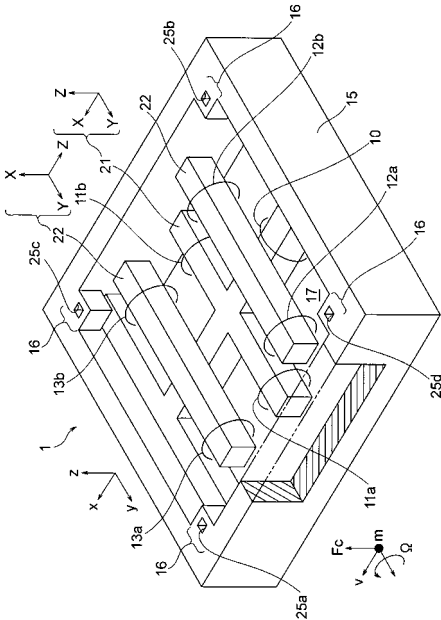
(54) 【発明の名称】 圧電センサ及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 大きな信号が得られる構造でありながら、構成が簡素かつ小型で、製造も容易な圧電センサ及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 圧電センサ1は、支持部10、駆動腕11a、11b及び検出腕12a、12b、13a、13bを備えている。駆動腕11a、11bは、支持部10に設けられ、電圧Vinによって分極方向であるx方向に屈曲振動する。検出腕12a、12b、13a、13bは、支持部10に設けられ、x方向の屈曲振動に関係するコリオリ力によってx方向と垂直かつ分極方向であるz方向に屈曲振動し、この屈曲振動によって電圧Voutを発生する。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

支持部と、

この支持部に設けられ、電圧によって分極方向である第一の方向に屈曲振動する駆動部と、

前記支持部に設けられ、前記第一の方向の屈曲振動に関係するコリオリ力によって前記第一の方向と垂直かつ分極方向である第二の方向に屈曲振動し、この屈曲振動によって電圧を発生する検出部と、

を備えた圧電センサ。

**【請求項 2】**

前記支持部は棒状であり、

前記駆動部は、前記支持部から互いに逆方向に延びる二本の駆動腕を有し、

前記検出部は、前記支持部から互いに逆方向に延びる二本の検出腕を有し、

前記駆動部は、前記二本の駆動腕が互いに逆相になるように前記第一の方向に屈曲振動し、

前記検出部は、前記駆動部によって前記支持部を介して付勢されて前記二本の検出腕が互いに逆相になるように前記第一の方向に屈曲振動し、この第一の方向の屈曲振動及び当該検出部の回転に起因する前記コリオリ力によって当該二本の検出腕が互いに逆相になるように前記第二の方向に屈曲振動する、

請求項 1 記載の圧電センサ。

**【請求項 3】**

前記支持部は棒状であり、

前記駆動部は、前記支持部から互いに逆方向に延びる二本の駆動腕を有し、

前記検出部は、前記支持部から互いに逆方向に延びる二本の検出腕を有し、

前記駆動部は、前記二本の駆動腕が互いに同相になるように前記第一の方向に屈曲振動し、この第一の方向の屈曲振動及び当該駆動部の回転に起因する前記コリオリ力によって前記第二の方向に屈曲振動し、

前記検出部は、前記駆動部によって前記支持部を介して付勢されて前記二本の検出腕が互いに同相になるように前記第二の方向に屈曲振動する、

請求項 1 記載の圧電センサ。

**【請求項 4】**

前記支持部、前記駆動部及び前記検出部を囲むとともに前記支持部に設けられた外枠を更に備え、

前記駆動部は、前記第一の方向に X 軸を有する第一の水晶片からなり、

前記検出部は、前記第二の方向に X 軸を有する第二の水晶片からなる、

請求項 2 又は 3 記載の圧電センサ。

**【請求項 5】**

前記検出部は、前記第二の方向に積層されるとともに互いに逆となる分極方向を有する第一層及び第二層を含む、

請求項 2 又は 3 記載の圧電センサ。

**【請求項 6】**

前記支持部、前記駆動部及び前記検出部を囲むとともに前記支持部に設けられた外枠を更に備え、

前記駆動部は、前記第一の方向に X 軸を有する第一の水晶片からなり、

前記第一層は、前記第二の方向に X 軸及び - X 軸のどちらか一方を有する第二の水晶片からなり、

前記第二層は、前記第二の方向に X 軸及び - X 軸のどちらか他方を有する第三の水晶片からなる、

請求項 5 記載の圧電センサ。

**【請求項 7】**

請求項 4 記載の圧電センサを製造する方法であって、

第一のウェハに、前記第一の水晶片と前記外枠とをウェットエッチングにより形成するための耐食膜のパターンを形成する第一工程と、

第二のウェハに、前記第二の水晶片と前記外枠とを前記ウェットエッチングにより形成するための耐食膜のパターンを形成する第二工程と、

前記耐食膜が形成された前記第一及び第二のウェハをそれぞれの厚み方向に貼り合わせる第三工程と、

前記貼り合わされた前記第一及び第二のウェハに対し前記ウェットエッチングを施すことにより、前記第一及び第二の水晶片及び前記外枠を形成する第四工程と、

を含む圧電センサの製造方法。

10

【請求項 8】

請求項 6 記載の圧電センサを製造する方法であって、

第一のウェハに、前記第一の水晶片と前記外枠とをウェットエッチングにより形成するための耐食膜のパターンを形成する第一工程と、

第二のウェハに、前記第二の水晶片と前記外枠とを前記ウェットエッチングにより形成するための耐食膜のパターンを形成する第二工程と、

第三のウェハに、前記第三の水晶片と前記外枠とを前記ウェットエッチングにより形成するための耐食膜のパターンを形成する第三工程と、

前記耐食膜が形成された前記第一、第二及び第三のウェハをそれぞれの厚み方向に貼り合わせる第四工程と、

20

前記貼り合わされた前記第一、第二及び第三のウェハに対し前記ウェットエッチングを施すことにより、前記第一、第二及び第三の水晶片及び前記外枠を形成する第五工程と、

を含む圧電センサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電子機器などに用いられる圧電センサ及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

圧電センサの一種として角速度センサ、特に音叉型角速度センサが知られている。この音叉型角速度センサは、例えば全体が水晶 Z 板から形成され、Y 軸方向に延びる二本の振動腕を有している。これらの振動腕に所定の駆動電圧を与えると、XY 平面内で各腕が逆相で振動する。このとき Y 軸周りの回転が加わると、XY 面内の振動と Y 軸周りの回転とによるコリオリ力が生じ、Z 軸方向の振動が加わる。一般的な音叉型角速度センサは、この Z 軸方向の振動を検知し、所定の信号処理を経て角速度を検出する（例えば特許文献 1 参照）。しかしながら、水晶 Z 板から形成された音叉型角速度センサの場合、Z 軸方向は、水晶の分極方向ではないため、小さな圧電効果しか生じない。したがって、Z 軸方向に振動しても、電氣的に得られる信号が非常に小さく、これが問題となっていた。

30

【0003】

一方、特許文献 2 には、複合型ジャイロからなる角速度センサが開示されている。この角速度センサは、上記問題を解決するため、駆動用の音叉振動子と検出用の音叉振動子とを分離し、かつ駆動用には Z 板水晶を用い、検知用には X 板水晶を用いている。駆動用と検知用は結合子で結合され、駆動用で発生したコリオリ力が検知用に伝達され、駆動用の Z 軸方向に検知用が振動をする。検知用は、X 板を用いているため、駆動用の Z 軸方向が分極方向になっており、従来と異なり圧電定数が大きく、大きな電気信号を得ることができる。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開平 10 - 153433 号公報（図 6 等）

50

【特許文献2】特開平7-260489号公報(図1等)

【特許文献3】特開2011-217039号公報(図4等)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献2の角速度センサでは、次のような問題があった。

【0006】

同じ構造の音叉振動子が二個必要であり、構成が複雑化かつ大型化していた。また、漏れ振動を生じないように、結合子を用いて音叉振動子同士を固定することが難しかった。すなわち、製造が困難であった。

【0007】

そこで、本発明の目的は、大きな信号が得られる構造でありながら、構成が簡素かつ小型で、製造も容易な圧電センサ及びその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】

【0008】

本発明に係る圧電センサは、支持部と、この支持部に設けられ、電圧によって分極方向である第一の方向に屈曲振動する駆動部と、前記支持部に設けられ、前記第一の方向の屈曲振動に係るコリオリ力によって前記第一の方向と垂直かつ分極方向である第二の方向に屈曲振動し、この屈曲振動によって電圧を発生する検出部と、を備えたものである。本発明に係る圧電センサの製造方法は、上記本発明に係る圧電センサを製造する方法である。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、検出腕がその分極方向の屈曲振動による電圧を発生することにより大きな信号が得られるとともに、支持部に駆動腕及び検出腕が設けられることにより、結合子を用いて音叉振動子同士を固定する場合に比べて、構成が簡素かつ小型で製造も容易である。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】実施形態1の圧電センサを示す斜視図である。

【図2】図1の圧電センサの表面を示す平面図(その1)である。

【図3】図1の圧電センサの表面を示す平面図(その2)である。

【図4】図2におけるIV-IV線断面図である。

【図5】図2におけるV-V線断面図である。

【図6】図1の圧電センサの動作を説明するための概略図(その1)である。

【図7】実施形態1の製造方法における第一工程及び第二工程を示す平面図であり、図7[A]は上側ウェハ、図7[B]は中間ウェハ、図7[C]は下側ウェハである。

【図8】実施形態1の製造方法における第三工程を示す斜視図である。

【図9】実施形態1の製造方法における第四工程を示し、図9[A]は平面図、図9[B]は底面図である。

【図10】実施形態1の製造方法のその後の工程によって得られるパッケージ組立て後の圧電センサを示す斜視図である。

【図11】実施形態2の圧電センサを示す斜視図である。

【図12】図11の圧電センサの表面を示す平面図(その1)である。

【図13】図11の圧電センサの表面を示す平面図(その2)である。

【図14】図12におけるXIV-XIV線断面図である。

【図15】図15[A]は実施形態1における検出腕の動作を示す断面図であり、図15[B]は実施形態2における検出腕の動作を示す断面図である。

【図16】実施形態2における第二工程及び第三工程を示す平面図であり、図16[A1]は第二上側ウェハ、図16[A2]は第一上側ウェハである。

10

20

30

40

50

【図 17】実施形態 3 の圧電センサの表面を示す平面図（その 1）である。

【図 18】実施形態 3 の圧電センサの表面を示す平面図（その 2）である。

【図 19】図 17 の圧電センサの動作を説明するための概略図（その 1）である。

【図 20】図 1 の圧電センサの動作を説明するための概略図（その 2）である。

【図 21】図 17 の圧電センサの動作を説明するための概略図（その 2）である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、添付図面を参照しながら、本発明を実施するための形態（以下「実施形態」という。）について説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の構成要素については同一の符号を用いる。図面に描かれた形状は、当業者が理解しやすいように描かれているため、実際の寸法及び比率とは必ずしも一致していない。

10

【0012】

図 1 は、実施形態 1 の圧電センサを示す斜視図である。図 2 及び図 3 は、図 1 の圧電センサの表面を示す平面図である。図 4 は、図 2 における IV - IV 線断面図である。図 5 は、図 2 における V - V 線断面図である。以下、これらの図面に基づき、実施形態 1 の圧電センサを説明する。

【0013】

各図において、水晶の結晶軸を  $X$  ,  $Y$  ,  $Z$  で示し、三次元座標を  $x$  ,  $y$  ,  $z$  で示す。特許請求の範囲に記載の「第一の方向に屈曲振動する」とは、第一の方向への屈曲とその逆方向への屈曲とを交互に繰り返すことをいう。「第二の方向に屈曲振動する」についても同様である。「分極方向」は圧電性及び逆圧電性が生じる方向（電気軸方向）であり、水晶の分極方向は  $X$  軸方向である。本実施形態 1 における「 $x$  方向」及び「 $z$  方向」は、それぞれ特許請求の範囲における「第一の方向」及び「第二の方向」の一例に相当する。本実施形態 1 における水晶片 21 及び水晶片 22 は、それぞれ特許請求の範囲における「第一の水晶片」及び「第二の水晶片」の一例に相当する。

20

【0014】

まず、図 1 に基づき、本実施形態 1 の基本的な構成を説明する。図 1 では、わかりやすくするために、一部を切り欠いて示すとともに電極等を省略している。

【0015】

本実施形態 1 の圧電センサ 1 は、少なくとも水晶片 21 , 22 からなり、支持部 10、駆動部（駆動腕 11a , 11b）及び検出部（検出腕 12a , 12b , 13a , 13b）を備えている。駆動部（駆動腕 11a , 11b）は、支持部 10 に設けられ、電圧  $V_{in}$ （図 4）によって分極方向である  $x$  方向に屈曲振動する。検出部（検出腕 12a , 12b , 13a , 13b）は、支持部 10 に設けられ、 $x$  方向の屈曲振動に関係するコリオリ力によって  $x$  方向と垂直かつ分極方向である  $z$  方向に屈曲振動し、この屈曲振動によって電圧  $V_{out}$ （図 5）を発生する。

30

【0016】

支持部 10 は、両端が固定された棒状である。駆動部（駆動腕 11a , 11b）は、支持部 10 の中央から互いに逆方向に延びる二本の駆動腕 11a , 11b からなる。検出部（検出腕 12a , 12b , 13a , 13b）は、駆動部（駆動腕 11a , 11b）を挟んで支持部 10 に設けられた第一の検出部（検出腕 12a , 12b）及び第二の検出部（検出腕 13a , 13b）からなる。第一の検出部（検出腕 12a , 12b）は支持部 10 から互いに逆方向に延びる二本の検出腕 12a , 12b からなり、第二の検出部（検出腕 13a , 13b）は支持部 10 から互いに逆方向に延びる二本の検出腕 13a , 13b からなる。

40

【0017】

駆動腕 11a , 11b は、互いに逆相になるように  $x$  方向に屈曲振動する。検出腕 12a , 12b は、駆動腕 11a , 11b によって支持部 10 を介して付勢されて、互いに逆相になるように  $x$  方向に屈曲振動し、 $x$  方向の屈曲振動（速度  $v$ ）及び検出腕 12a , 12b の回転（角速度  $\omega$ ）に起因するコリオリ力  $F_c$  によって互いに逆相になるように  $z$  方向

50

に屈曲振動する。検出腕 1 3 a , 1 3 b も、検出腕 1 2 a , 1 2 b と同様に z 方向に屈曲振動する。

【 0 0 1 8 】

また、圧電センサ 1 は外枠 1 5 を更に備えている。外枠 1 5 は、支持部 1 0、駆動腕 1 1 a , 1 1 b 及び検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b を囲むとともに、支持部 1 0 に設けられている。そして、駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、x 方向に X 軸を有する水晶片 2 1 からなる。検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b は、z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 からなる。つまり、三次元座標の x , y , z を、水晶片 2 1 の結晶軸の X , Y , Z に合せている。

【 0 0 1 9 】

外枠 1 5 の四隅の内側には、それぞれ固定部 1 6 が形成されている。各固定部 1 6 は、それぞれ一つずつ合計四つのピア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d を有する。支持部 1 0 の両端はそれぞれ二つに分岐し、各先端がピア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d の部分で固定部 1 6 に接合される。外枠 1 5 は、キャビティ 1 7 を介して水晶片 2 1 , 2 2 を囲む。

【 0 0 2 0 】

次に、電極等を書き入れた図 2 乃至図 5 を加え、図 1 乃至図 5 に基づき圧電センサ 1 の詳細な構成を説明する。なお、わかりやすくするために、図 2 では配線を省略し、図 3 では配線を記入するとともに電極及び配線以外の符号を省略している。

【 0 0 2 1 】

駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、それぞれ棒状かつ直方体状であり、棒状の支持部 1 0 から互いに反対方向に延設されている。駆動腕 1 1 a , 1 1 b の長さ方向には、それぞれ溝部 1 4 a , 1 4 b が設けられている。溝部 1 4 a , 1 4 b は、駆動腕 1 1 a の表裏面に二本ずつ及び駆動腕 1 1 b の表裏面に二本ずつ、支持部 1 0 との境界部分から駆動腕 1 1 a , 1 1 b の先端に向かって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b の長さ方向と平行に所定の長さで設けられる。なお、溝部 1 4 a , 1 4 b は、表裏面のどちらか一方にのみ設けてもよく、あるいは一本も設けなくてもよい。

【 0 0 2 2 】

駆動腕 1 1 a には、水晶片 2 1 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、両側面に励振電極 3 1 a が設けられ、表裏面の溝部 1 4 a の内側に励振電極 3 1 b が設けられる。同様に、駆動腕 1 1 b には、水晶片 2 1 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、両側面に励振電極 3 1 b が設けられ、表裏面の溝部 1 4 b の内側に励振電極 3 1 a が設けられる。したがって、駆動腕 1 1 a においては両側面に設けられた励振電極 3 1 a と溝部 1 4 a 内に設けられた励振電極 3 1 b とが異極同士となり、駆動腕 1 1 b においては両側面に設けられた励振電極 3 1 b と溝部 1 4 b 内に設けられた励振電極 3 1 a とが異極同士となる。励振電極 3 1 a と励振電極 3 1 b との間には、交流の電圧  $V_{in}$  が印加される。

【 0 0 2 3 】

検出腕 1 2 a , 1 2 b は、それぞれ棒状かつ直方体状であり、棒状の支持部 1 0 のから互いに反対方向に延設されている。ただし、検出腕 1 2 a , 1 2 b は、支持部 1 0 上において、駆動腕 1 1 a , 1 1 b から離れた位置に設けられている。

【 0 0 2 4 】

検出腕 1 2 a には、水晶片 2 2 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、表裏面に検出電極 3 1 c が設けられ、両側面に検出電極 3 1 d が設けられる。同様に、検出腕 1 2 b には、水晶片 2 2 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、表裏面に検出電極 3 1 d が設けられ、両側面に検出電極 3 1 c が設けられる。したがって、検出腕 1 2 a においては表裏面に設けられた検出電極 3 1 c と両側面に設けられた検出電極 3 1 d とが異極同士となり、検出腕 1 2 b においては表裏面に設けられた検出電極 3 1 d と両側面に設けられた検出電極 3 1 c とが異極同士となる。検出電極 3 1 c と検出電極 3 1 d との間からは、交流の電圧  $V_{out}$  が出力される。なお、駆動腕 1 1 a , 1 1 b と同様に、検出腕 1 2 a , 1 2 b の両側面に溝部を設け、それらの溝部の内側にそれぞれ検出電極 3 1 c , 3

10

20

30

40

50

1 d を設けてもよい。

【0025】

検出腕 1 3 a , 1 3 b も、検出腕 1 2 a , 1 2 b と同じ構造かつ同じ大きさである。検出腕 1 2 a , 1 2 b と検出腕 1 3 a , 1 3 b とは、支持部 1 0 上において駆動腕 1 1 a , 1 1 b を中心に対称となる位置に設けられている。

【0026】

支持部 1 0 は、棒状かつ直方体状である。水晶片 2 1 は、支持部 1 0 と駆動腕 1 1 a , 1 1 b とが一体となって十字状をなしている。支持部 1 0 の両端から延びた部分には、パッド電極 3 2 a , 3 2 b , 3 2 c , 3 2 d が設けられている。パッド電極 3 2 a , 3 2 b , 3 2 c , 3 2 d は、ビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d に対応して設けられ、それぞれビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d 内の導体を介して外部端子 4 5 a , 4 5 b , 4 5 c , 4 5 d ( 図 1 0 ) と電氣的に接続される。なお、図面では支持部 1 0 の両端が外枠 1 5 から離れているが、支持部 1 0 の両端を確実に固定するために、支持部 1 0 の両端を外枠 1 5 に固定してもよい。

10

【0027】

図 3 に示すように、支持部 1 0 、駆動腕 1 1 a , 1 1 b 及び検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b の表裏面及び両側面において、電極が形成されていない領域には、電極同士を電氣的に接続する配線 3 3 a , 3 3 b , 3 3 c , 3 3 d が設けられている。配線 3 3 a はパッド電極 3 2 a と励振電極 3 1 a とを接続し、配線 3 3 b はパッド電極 3 2 b と励振電極 3 1 b とを接続し、配線 3 3 c はパッド電極 3 2 c と検出電極 3 1 c とを接続し、配線 3 3 d はパッド電極 3 2 d と検出電極 3 1 d とを接続する。図 3 では結線関係のみを示すが、実際の配線 3 3 a , ... は、一定の線幅を有し、各面に接している。

20

【0028】

なお、配線 3 3 a , ... の代わりにボンディングワイヤを用いて、電極同士を接続してもよい。ただし、配線 3 3 a , ... は電極と同時に形成できるので、配線 3 3 a , ... を用いた場合は製造工程を簡素化できる。

【0029】

次に、図 1 乃至図 5 に図 6 を加えて、圧電センサ 1 の動作について説明する。

【0030】

駆動腕 1 1 a , 1 1 b を振動させる場合、パッド電極 3 2 a , 3 2 b に交流の電圧  $V_{in}$  を印加する。印加後のある電氣的状態を瞬間的に捉えたと、駆動腕 1 1 a の表裏の溝部 1 4 a に設けられた励振電極 3 1 b はプラス電位となり、駆動腕 1 1 a の両側面に設けられた励振電極 3 1 a はマイナス電位となり、プラスからマイナスに電界が生じる。このとき、駆動腕 1 1 b の表裏の溝部 1 4 b に設けられた励振電極 3 1 a はマイナス電位となり、駆動腕 1 1 b の両側面に設けられた励振電極 3 1 b はプラス電位となり、駆動腕 1 1 a に生じた極性とは反対の極性となり、プラスからマイナスに電界が生じる。この交流の電圧  $V_{in}$  で生じた電界によって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b に伸縮現象が生じることにより、互いに逆相となる屈曲振動モードが得られる。

30

【0031】

このとき、駆動腕 1 1 a , 1 1 b の振動は、支持部 1 0 を介して検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b へ伝わる。この振動に支持部 1 0 及び検出腕 1 2 a , ... が共振すると、検出腕 1 2 a , ... も振動する。支持部 1 0 及び検出腕 1 2 a , ... が共振するか否かは、駆動腕 1 1 a , 1 1 b の振動周波数、支持部 1 0 及び検出腕 1 2 a , ... の材質、構造及び寸法、支持部 1 0 に対しての検出腕 1 2 a , ... の取り付け位置などによって決まる。検出腕 1 2 a , ... の振動モードには、図 6 [ A 1 ] [ A 2 ] に示すように駆動腕 1 1 a , 1 1 b に対して同相で振動する場合、図 6 [ B 1 ] [ B 2 ] に示すように駆動腕 1 1 a , 1 1 b に対して逆相で振動する場合などがある。

40

【0032】

ここで、図 1 に示すように、屈曲振動によって  $\pm x$  方向へ速度  $v$  で移動する質量  $m$  の検出腕 1 2 a , 1 2 b が、原点から  $y$  軸方向を見て  $y$  軸を中心に時計回りに角速度  $\omega$  で回転

50

したとする。このとき、図 6 [ A 1 ] 及び図 6 [ B 2 ] に示すように、 $-x$  方向へ速度  $v$  で移動する検出腕 1 2 a は  $-z$  方向のコリオリ力  $F_c$  ( $F_c = -2m \times v$ ) を受け、 $x$  方向へ速度  $v$  で移動する検出腕 1 2 b は  $z$  方向のコリオリ力  $F_c$  を受ける。逆に、図 6 [ A 2 ] 及び図 6 [ B 1 ] に示すように、 $x$  方向へ速度  $v$  で移動する検出腕 1 2 a は  $z$  方向のコリオリ力  $F_c$  を受け、 $-x$  方向へ速度  $v$  で移動する検出腕 1 2 b は  $-z$  方向のコリオリ力  $F_c$  を受ける。したがって、検出腕 1 2 a , 1 2 b は、 $\pm z$  方向のコリオリ力を受けて  $z$  方向にも互いに逆相で屈曲振動するとともに、 $z$  方向に  $X$  軸を有する水晶片 2 2 からなるので、圧電効果による電圧  $V_{out}$  を出力する。これにより、電圧  $V_{out}$  の値から角速度の値を求めることができる。なお、このときの検出腕 1 2 a , 1 2 b の先端は、 $\pm y$  方向から見て楕円を描くようにつまり  $\pm x$  方向かつ  $\pm z$  方向に振動する。また、検出腕 1 2 a , 1 2 b が  $z$  方向に互いに逆相で屈曲振動することにより、検出腕 1 2 a , 1 2 b に加わる同じ  $\pm z$  方向の加速度の影響は検出腕 1 2 a , 1 2 b 同士で相殺される。

10

#### 【 0 0 3 3 】

検出腕 1 3 a , 1 3 b の動作も検出腕 1 2 a , 1 2 b の動作と同様である。検出腕 1 3 a , 1 3 b と検出腕 1 2 a , 1 2 b とは、駆動腕 1 1 a , 1 1 b を挟んで対称になるように支持部 1 0 設けられているので、バランスよく振動する。

#### 【 0 0 3 4 】

次に、圧電センサ 1 の効果について説明する。

#### 【 0 0 3 5 】

検出腕 1 2 a , ... がその分極方向の屈曲振動による電圧を発生することにより大きな信号が得られるとともに、支持部 1 0 に駆動腕 1 1 a , 1 1 b 及び検出腕 1 2 a , ... が設けられることにより、結合子を用いて音叉振動子同士を固定する場合に比べて、構成が簡素かつ小型で製造も容易である。

20

#### 【 0 0 3 6 】

次に、図 7 乃至図 9 に基づき、圧電センサ 1 の製造方法の一例（以下「実施形態 1 の製造方法」という。）について説明する。

#### 【 0 0 3 7 】

図 7 は実施形態 1 の製造方法における第一工程及び第二工程を示す平面図であり、図 7 [ A ] は上側ウェハ、図 7 [ B ] は中間ウェハ、図 7 [ C ] は下側ウェハである。図 8 は、実施形態 1 の製造方法における第三工程を示す斜視図である。図 9 は実施形態 1 の製造方法における第四工程を示し、図 9 [ A ] は平面図、図 9 [ B ] は底面図である。なお、圧電センサは、わかりやすくするために全ての図面で一個分のみを示すが、実際には一枚のウェハに多数個が形成され、最終工程で一個ずつに分離される。

30

#### 【 0 0 3 8 】

本実施形態 1 の製造方法は、次の第一乃至第四工程を含む。以下の説明における水晶片 2 1 , 2 2 、外枠 1 5 、固定部 1 6 、キャビティ 1 7 及びビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d は、図 1 及び図 9 に記載されている。なお、本実施形態 1 における中間ウェハ 4 1 及び上側ウェハ 4 2 は、特許請求の範囲における「第一のウェハ」及び「第二のウェハ」の一例に相当する。

#### 【 0 0 3 9 】

第一工程（図 7 [ B ]）；中間ウェハ 4 1 に、水晶片 2 1 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 1、及び、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 1 のパターンを形成する。

40

#### 【 0 0 4 0 】

第二工程（図 7 [ A ]）；上側ウェハ 4 2 に、水晶片 2 2 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 2、及び、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 2 のパターンを形成する。

#### 【 0 0 4 1 】

第三工程（図 8）；耐食膜 5 1 , 5 5 1 が形成された中間ウェハ 4 1 と耐食膜 5 2 , 5 5 2 が形成された上側ウェハ 4 2 とを、それぞれの厚み方向に貼り合せる。

50



## 【 0 0 4 2 】

第四工程（図 9）：貼り合わされた中間ウェハ 4 1 及び上側ウェハ 4 2 に対しウェットエッチングを施すことにより、水晶片 2 1 , 2 2 及び外枠 1 5 を形成する。

## 【 0 0 4 3 】

本実施形態 1 では、次の第五工程（図 7 [ C ]）を更に含む。第五工程（図 7 [ C ]）では、下側ウェハ 4 0 に、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 0 のパターンを形成する。そして、第三工程（図 8）では、中間ウェハ 4 1 の一方の面を上とし他方の面を下としたとき、中間ウェハ 4 1 の上に上側ウェハ 4 2 を貼り合せ、中間ウェハ 4 1 の下に下側ウェハ 4 0 を貼り合せる。第二工程（図 7 [ A ]）で形成する耐食膜 5 5 2 のパターンには、固定部 1 6 及びビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d をウェットエッチングで形成するための耐食膜のパターンも含まれる。

10

## 【 0 0 4 4 】

耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 1 , 5 5 2 は、拡散接合に用いられる接合膜を兼ねている。第三工程では、中間ウェハ 4 1 と上側ウェハ 4 2 とを耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 1 , 5 5 2 を介して拡散接合により貼り合せ、中間ウェハ 4 1 と下側ウェハ 4 0 とを耐食膜 5 5 1 , 5 5 0 を介して拡散接合により貼り合せる。

## 【 0 0 4 5 】

第一乃至第五工程の順番は、第一、第二及び第五工程 第三工程 第四工程である。ただし、第一、第二及び第五工程は、どのような順番でもよく、同時でもよい。

## 【 0 0 4 6 】

20

次に、上記第一乃至第五工程について、更に詳しく説明する。

## 【 0 0 4 7 】

第一工程（図 7 [ B ]）について説明する。中間ウェハ 4 1 は、Z 板と呼ばれる水晶ウェハである。耐食膜 5 1 , 5 5 1 のパターンは、中間ウェハ 4 1 の表裏で同じものを形成する。耐食膜 5 1 のパターンと耐食膜 5 5 1 のパターンとは、電氣的に絶縁するために、分離されている。耐食膜 5 1 のパターンには、図示しないが、溝部 1 4 a , 1 4 b（図 4）を形成するためのエッチング抑制パターン（例えば特許文献 3 参照）を形成するためのパターンが含まれている。なお、水晶は、シリコンと酸素で構成される三方晶系の単結晶からなり、成長軸（光軸）を Z 軸とし、これと垂直に稜線を結ぶ三本の軸を X 軸（電気軸）とし、これと直交する軸を Y 軸（機械軸）として表現される。それらの軸のウェットエッチング中のエッチング速度は、 $Z > X > Y$  の順となる。

30

## 【 0 0 4 8 】

第二工程（図 7 [ A ]）について説明する。上側ウェハ 4 2 は、X 板と呼ばれる水晶ウェハである。耐食膜 5 2 , 5 5 2 のパターンは上側ウェハ 4 2 の表裏で同じものを形成する。耐食膜 5 2 のパターンと耐食膜 5 5 2 のパターンとは、電氣的に絶縁するために、分離されている。

## 【 0 0 4 9 】

第五工程（図 7 [ C ]）について説明する。下側ウェハ 4 0 も、中間ウェハ 4 1 又は上側ウェハ 4 2 と同じ水晶ウェハである。ただし、中間ウェハ 4 1 でのエッチングの進行を表裏で均等にするために、下側ウェハ 4 0 は上側ウェハ 4 2 と同じ X 板を用いることが望ましい。同じ理由により、下側ウェハ 4 0 は上側ウェハ 4 2 よりも厚い Z 板を用いてもよい。なお、下側ウェハ 4 0 は、圧電性が不要であるので、第三工程でエッチングされる材料であればよく、例えばガラス基板などを用いてもよい。耐食膜 5 5 0 のパターンは下側ウェハ 4 0 の表裏で同じものを形成する。

40

## 【 0 0 5 0 】

第三工程（図 8）について説明する。第三工程では、上側ウェハ 4 2、中間ウェハ 4 1 及び下側ウェハ 4 0 の貼り合せに、原子拡散接合法と呼ばれる拡散接合を用いる。この場合、耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 1 , 5 5 2 として例えばクロムを下地とした金を用い、上側ウェハ 4 2、中間ウェハ 4 1 及び下側ウェハ 4 0 に対して、所定のアライメントをした後、加熱しながら加圧することにより接合する。その結果、耐食膜 5 1 と耐食膜 5

50

2 とが接合され、耐食膜 5 1 , 5 5 1 と耐食膜 5 5 2 とが接合され、耐食膜 5 5 1 と耐食膜 5 5 0 とが接合される。耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 1 , 5 5 2 のうち接合に用いられた部分の多くは、以後露出することが無いので、ウェットエッチングの耐食膜として用いられない。なお、ウェハの貼り合せ方法としては、拡散接合に代えて、接着剤や陽極酸化などの手法を用いることもできる。

#### 【 0 0 5 1 】

第四工程（図 9）について説明する。第四工程では、図 8 に示す上側ウェハ 4 2、中間ウェハ 4 1 及び下側ウェハ 4 0 からなる積層体に対して、例えばバッファードフッ酸（ $\text{HF} + \text{NH}_4\text{F}$ ）を用いてウェットエッチングを施す。これにより、耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 2 で表裏を覆われていない部分の水晶ウェハが抜け落ち、図 9 に示すように水晶片 2 1 , 2 2、外枠 1 5、固定部 1 6、キャピティ 1 7 及びビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d が形成される。外枠 1 5 は、上側ウェハ 4 2、中間ウェハ 4 1 及び下側ウェハ 4 0 由来の三層構造からなり、素子搭載部材の枠部となる。中間ウェハ 4 1 由来の水晶片 2 1 は、上側ウェハ 4 2 由来の固定部 1 6 のみによって固定される。

10

#### 【 0 0 5 2 】

また、第三工程（図 8）と第四工程（図 9）の間で、貼り合わされた上側ウェハ 4 2、中間ウェハ 4 1 及び下側ウェハ 4 0 のうち、上側ウェハ 4 2 及び下側ウェハ 4 0 の少なくとも一方を研磨する工程を含めてもよい。更に、上側ウェハ 4 2 及び下側ウェハ 4 0 の少なくとも一方を消滅するまで研磨し、続いて中間ウェハ 4 1 を研磨するようにしてもよい。この場合、その研磨された面に対して、必要に応じ、第四工程（図 9）の前に耐食膜を成膜及びパターンニングする。

20

#### 【 0 0 5 3 】

次に、第四工程（図 9）の後の工程について説明する。前述の図 2 乃至図 5 は、実施形態 1 の製造方法によって得られる電極形成後の圧電センサを示す。以下、図 9 及び図 2 乃至図 5 に基づき説明する。

#### 【 0 0 5 4 】

第四工程の後に、露出している耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 2（図 9）の全部又は一部をエッチングにより除去する。耐食膜の一部除去には、金属膜のパターンニングを用いる。金属膜のパターンニングとは、例えば、金属膜の全体を電着法やスプレー塗布などによりフォトリソist膜で覆い、ステッパなどによりフォトリソist膜を露光し、現像することによりフォトリソist膜を部分的に残し、残ったフォトリソist膜をマスクにして金属膜をエッチングにより除去することである。このとき、図 9 に示す平面及び底面以外の、側面のフォトリソist膜の露光には、斜め露光などの手法を用いる。

30

#### 【 0 0 5 5 】

例えば、パッド電極 3 2 a , 3 2 b , 3 2 c , 3 2 d（図 2）となる領域の耐食膜 5 1 は、ビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d との導通を得るために残す必要がある。また、金のエッチングには例えばヨウ素とヨウ化カリウムの混合液を用い、クロムのエッチングには例えば硝酸第二セリウムアンモニウムと過塩素酸の混合液を用いる。

#### 【 0 0 5 6 】

続いて、耐食膜 5 1 , 5 2 , 5 5 0 , 5 5 2 の全部又は一部が除去された水晶片 2 1 , 2 2、外枠 1 5、固定部 1 6 及びビア孔 2 5 a , 2 5 b , 2 5 c , 2 5 d , ... の全体に、電極となる金属膜（図示せず）をスパッタリングなどにより成膜する。金属膜は、例えばチタンの上にパラジウム又は金が設けられた二層構造である。その金属膜をパターンニングすることにより、電極形成後の圧電センサ 1（図 2 乃至図 5）が得られる。

40

#### 【 0 0 5 7 】

電極形成後の圧電センサ 1 は、その後の工程でパッケージが組み立てられる。図 1 0 は、実施形態 1 の製造方法によって得られるパッケージ組立て後の圧電センサを示す斜視図である。以下、この図面に基づき説明する。

#### 【 0 0 5 8 】

この工程では、電極形成後の圧電センサ 1 に対して、真空中又は不活性ガス雰囲気中で

50

、下側ウェハ４０の下に素子搭載部材の基板部となる基板部ウェハ４３を貼り合せ、上側ウェハ４２の上に蓋部材となる蓋部材ウェハ４４を貼り合せる。これにより、圧電センサ１は、基板部ウェハ４３と蓋部材ウェハ４４とによって挟持され気密化される。

【００５９】

基板部ウェハ４３及び蓋部材ウェハ４４は矩形平板状である。蓋部材ウェハ４４は、その内側にキャビティ用の凹部（図示せず）を有し、その四隅に外部端子４５ａ，４５ｂ，４５ｃ，４５ｄを有する。ビア孔２５ａ，２５ｂ，２５ｃ，２５ｄには、例えば銅などからなる埋込み電極（図示せず）が形成される。外部端子４５ａは、ビア孔２５ａの埋込み電極を介して、パッド電極３２ａ（図２）に電氣的に接続される。同様に、外部端子４５ｂ，４５ｃ，４５ｄもそれぞれパッド電極３２ｂ，３２ｃ，３２ｄ（図２）に電氣的に接続される。なお、基板部ウェハ４３及び蓋部材ウェハ４４の貼り合せ方法は上側ウェハ４２、中間ウェハ４１及び下側ウェハ４０を貼り合せた方法と異なってもよく、基板部ウェハ４３及び蓋部材ウェハ４４の材質もこれらのウェハと同じである必要はない。

【００６０】

最後に、蓋部材ウェハ４４、上側ウェハ４２、中間ウェハ４１、下側ウェハ４０及び基板部ウェハ４３からなる積層体を、ダイシングなどの手法により一個ずつ分離することで、圧電センサ１が完成する。

【００６１】

次に、本実施形態１の製造方法の作用及び効果について説明する。

【００６２】

（１）水晶ウェハに水晶片及び外枠を形成した後、この水晶ウェハを他のウェハに貼り合せる場合は、強度が弱くなった水晶ウェハを貼り合せのためにハンドリングするので、水晶ウェハの損傷を招くことになる。これに対し、本実施形態１では、その発想を逆転させ、耐食膜５１，５２，５５０，５５１，５５２が形成された中間ウェハ４１、上側ウェハ４２及び下側ウェハ４０を貼り合せた後に、これらの貼り合された中間ウェハ４１、上側ウェハ４２及び下側ウェハ４０にウェットエッチングを施すことにより、水晶片２１，２２及び外枠１５を形成する。そのため、水晶片２１，２２と外枠１５とが一体的に形成された中間ウェハ４１を、貼り合せのためにハンドリングする必要がなくなり、これにより生産性及び歩留まりを向上できる。

【００６３】

（２）換言すると、水晶片２１や外枠１５が形成されて強度が低下した中間ウェハ４１を貼り合せる工程がない。そのため、水晶片２１，２２が形成される中間ウェハ４１を薄くしても、中間ウェハ４１の割れや反りが問題にならず、十分な強度を確保できる。したがって、水晶片２１，２２の厚みの薄い小型の圧電センサ１を実現できる。

【００６４】

（３）下側ウェハ４０を用いた場合は、中間ウェハ４１を上側ウェハ４２とともに表裏から挟んでエッチングできるので、中間ウェハ４１に形成される水晶片２１のエッチングの進行を表裏で均等化できるとともに、基板部ウェハ４３と水晶片２１との空間を確保できるので、基板部ウェハ４３の形状を平板などに単純化できる。

【００６５】

（４）耐食膜５１，５２，５５０，５５１，５５２が拡散接合に用いられる接合膜を兼ねる場合は、拡散接合に用いた接合膜をそのままウェットエッチングのマスクとして用いることができるので、製造工程を簡素化できる。

【００６６】

（５）貼り合せ後の中間ウェハ４１の強度が十分保たれていることから、貼り合せ後に上側ウェハ４２及び下側ウェハ４０の少なくとも一方、又は更に中間ウェハ４１も研磨することにより、圧電センサ１の厚みを薄くすることが可能である。

【００６７】

次に、図１１乃至図１４に基づき、実施形態２の圧電センサについて説明する。

【００６８】

図 1 1 は、実施形態 2 の圧電センサを示す斜視図である。図 1 2 及び図 1 3 は、図 1 1 の圧電センサの表面を示す平面図である。図 1 4 は、図 1 2 におけるXIII - XIII線断面図である。ただし、図 1 2 では配線を省略し、図 1 3 では配線を記入するとともに電極及び配線以外の符号を省略している。なお、本実施形態 2 における水晶片 2 2 1 及び水晶片 2 2 2 は、それぞれ特許請求の範囲における「第二の水晶片」及び「第三の水晶片」の一例に相当する。

【 0 0 6 9 】

本実施形態 2 の圧電センサ 2 は、検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b の構造が実施形態 1 と異なる。検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b は z 方向に積層されるとともに互いに逆となる分極方向を有する第一層及び第二層を含む。その第一層は z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 1 からなり、その第二層は - z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 2 からなる。

10

【 0 0 7 0 】

図 1 5 [ A ] は実施形態 1 における検出腕の動作を示す断面図であり、図 1 5 [ B ] は実施形態 2 における検出腕の動作を示す断面図である。以下、この図面に基づき、実施形態 1、2 における検出腕の動作を説明する。

【 0 0 7 1 】

図 1 5 [ A ] に示すように、実施形態 1 における検出腕 1 2 a は z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 からなる。そのため、例えば z 方向の屈曲に対して、水晶片 2 2 の縮む側では z 方向に正電荷かつ - z 方向に負電荷が生じ、水晶片 2 2 の伸びる側では z 方向に負電荷かつ - z 方向に正電荷が生じる。したがって、z 方向に対向する一对の検出電極 3 1 c が正電位となり、y 方向に対向する一对の検出電極 3 1 d が負電位となるので、検出電極 3 1 c , 3 1 d から電圧  $V_{out}$  が取り出せる。ただし、このような分極は微視的な電気双極子が整列することで引き起こされているので、水晶片 2 2 内で電荷が移動することはない。そのため、検出電極 3 1 d では、水晶片 2 2 表面の線状に分布する負電荷しか利用できない。

20

【 0 0 7 2 】

これに対し、図 1 5 [ B ] に示すように、本実施形態 2 における検出腕 1 2 a は、z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 1 と、- z 方向に X 軸を有する水晶片 2 2 2 とが、z 方向に積層された構造からなる。そのため、例えば z 方向の屈曲に対して、縮む側である水晶片 2 2 2 では z 方向に負電荷かつ - z 方向に正電荷が生じ、伸びる側である水晶片 2 2 1 では z 方向に負電荷かつ - z 方向に正電荷が生じる。したがって、検出電極 3 1 c が負電位となり、検出電極 3 1 d が正電位となるので、z 方向に互いに対向する検出電極 3 1 c , 3 1 d のみから電圧  $V_{out}$  が取り出せる。しかも、検出電極 3 1 c では面状に分布する負電荷を利用でき、検出電極 3 1 d でも面状に分布する正電荷を利用できる。

30

【 0 0 7 3 】

次に、圧電センサ 2 の効果について説明する。

【 0 0 7 4 】

検出腕 1 2 a , ... を構成する水晶片 2 2 1 , 2 2 2 が z 方向の屈曲振動に対して常に同一方向の電界を発生することにより、z 方向に二枚の検出電極 3 1 c , 3 1 d を配置するだけで電圧  $V_{out}$  を取り出せるので、配線を簡素化できる。具体的には、本実施形態 2 では、実施形態 1 で必要であった、検出腕の両側面の検出電極が不要となる。

40

【 0 0 7 5 】

また、検出電極 3 1 c , 3 1 d では面状に分布する電荷を利用できるので、圧電センサ 2 の検出感度及び検出精度を向上できる。なぜなら、圧電センサ 2 が利用できる電荷量が大きいほど、その検出感度及び検出精度が向上するからである。なお、電圧  $V_{out}$  は入力した電荷量をチャージアンプなどで電圧に変換したものとしてもよい。

【 0 0 7 6 】

次に、図 1 6 及び図 7 乃至図 9 に基づき、圧電センサ 2 の製造方法の一例（以下「実施形態 2 の製造方法」という。）について説明する。

50

## 【 0 0 7 7 】

本実施形態 2 の製造方法は、図 7 乃至図 9 における上側ウェハ 4 2 の代わりに第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 を用いる点のみが実施形態 1 と異なる。そこで、図 7 乃至図 9 を流用して、本実施形態 2 の製造方法を説明する。図 1 6 は実施形態 2 の製造方法における第二工程及び第三工程を示す平面図であり、図 1 6 [ A 1 ] は第二上側ウェハ、図 1 6 [ A 2 ] は第一上側ウェハである。図 7 は実施形態 2 の製造方法における第一工程及び第六工程を示す平面図であり、図 7 [ B ] は中間ウェハ、図 7 [ C ] は下側ウェハである。図 8 は、実施形態 2 の製造方法における第四工程を示す斜視図である。図 9 は実施形態 2 の製造方法における第五工程を示し、図 9 [ A ] は平面図、図 9 [ B ] は底面図である。

10

## 【 0 0 7 8 】

本実施形態 2 の製造方法は、次の第一乃至第五工程を含む。以下の説明における水晶片 2 1 , 2 2 1 , 2 2 2 及び外枠 1 5 は、図 1 1 に記載されている。なお、本実施形態 2 における中間ウェハ 4 1 、第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 は、それぞれ特許請求の範囲における「第一のウェハ」、「第二のウェハ」及び「第三のウェハ」の一例に相当する。

## 【 0 0 7 9 】

第一工程（図 7 [ B ]）：中間ウェハ 4 1 に、水晶片 2 1 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 1 、及び、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 1 のパターンを形成する。

20

## 【 0 0 8 0 】

第二工程（図 1 6 [ A 2 ]）：第一上側ウェハ 4 2 1 に、水晶片 2 2 1 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 2 1 、及び、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 2 a のパターンを形成する。

## 【 0 0 8 1 】

第三工程（図 1 6 [ A 1 ]）：第二上側ウェハ 4 2 2 に、水晶片 2 2 2 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 2 2 、及び、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 2 b のパターンを形成する。

## 【 0 0 8 2 】

第四工程（図 8）：耐食膜 5 1 , 5 5 1 が形成された中間ウェハ 4 1 と耐食膜 5 2 1 , 5 5 2 a が形成された第一上側ウェハ 4 2 1 とを、耐食膜 5 2 1 , 5 5 2 a が形成された第一上側ウェハ 4 2 1 と耐食膜 5 2 2 , 5 5 2 b が形成された第二上側ウェハ 4 2 2 とを、それぞれの厚み方向に貼り合わせる。

30

## 【 0 0 8 3 】

第五工程（図 9）：貼り合わされた中間ウェハ 4 1 、第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 に対しウェットエッチングを施すことにより、水晶片 2 1 , 2 2 1 , 2 2 2 及び外枠 1 5 を形成する。

## 【 0 0 8 4 】

本実施形態 2 では、次の第六工程（図 7 [ C ]）を更に含む。第六工程（図 7 [ C ]）では、下側ウェハ 4 0 に、外枠 1 5 をウェットエッチングにより形成するための耐食膜 5 5 0 のパターンを形成する。第二工程（図 1 6 [ A 1 ]）及び第三工程（図 1 6 [ A 2 ]）で使用する第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 は、どちらも X 板と呼ばれる水晶ウェハである。ただし、第四工程（図 8）では、第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 の X 軸が互いに逆になるように貼り合わせる。

40

## 【 0 0 8 5 】

本実施形態 2 の製造方法は、図 7 乃至図 1 0 において上側ウェハ 4 2 が第一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 に置き換わり、水晶片 2 2 が水晶片 2 2 1 , 2 2 2 に置き換わった点を除き、実施形態 1 の製造方法と同様である。

## 【 0 0 8 6 】

本実施形態 2 の製造方法によれば、実施形態 1 の製造方法における上側ウェハ 4 2 を第

50

一上側ウェハ 4 2 1 及び第二上側ウェハ 4 2 2 に置き換えるだけでよいので、実施形態 1 の製造方法とほぼ同じ工数で圧電センサ 2 を製造できる。

【0087】

本実施形態 2 のその他の構成、作用及び効果は、実施形態 1 のそれらと同様である。

【0088】

次に、図 1、図 1 7 及び図 1 8 に基づき、実施形態 3 の圧電センサについて説明する。

【0089】

図 1 7 及び図 1 8 は実施形態 3 の圧電センサの表面を示す平面図である。図 1 7 では配線を省略し、図 1 8 では配線を記入するとともに電極及び配線以外の符号を省略している。また、実施形態 3 の圧電センサの外観は図 1 の圧電センサと同様である。

10

【0090】

本実施形態 3 の圧電センサの特徴を、図 1 に基づき説明する。駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、互いに同相になるように x 方向に屈曲振動し、この x 方向の屈曲振動（速度  $v$ ）及び駆動腕 1 1 a , 1 1 b の回転（角速度  $\omega$ ）に起因するコリオリ力  $F_c$  によって z 方向に屈曲振動する。検出腕 1 2 a , 1 2 b は、駆動腕 1 1 a , 1 1 b よって支持部 1 0 を介して付勢されて、互いに同相になるように z 方向に屈曲振動する。検出腕 1 3 a , 1 3 b も、検出腕 1 2 a , 1 2 b と同様に z 方向に屈曲振動する。

【0091】

図 1 7 及び図 1 8 に示すように、本実施形態 3 の圧電センサ 3 は、励振電極 3 1 a , 3 1 b 及び検出電極 3 1 c , 3 1 d の配置が、実施形態 1 の圧電センサと異なる。

20

【0092】

本実施形態 3 における駆動腕 1 1 a , 1 1 b の断面は、図 4 に示す実施形態 1 における駆動腕 1 1 a と同じである。つまり、駆動腕 1 1 a , 1 1 b には、それぞれ、水晶片 2 1 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、両側面に励振電極 3 1 a が設けられ、表裏面の溝部 1 4 a の内側に励振電極 3 1 b が設けられる。したがって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b においては、それぞれ、両側面に設けられた励振電極 3 1 a と溝部 1 4 a 内に設けられた励振電極 3 1 b とが異極同士となる。そして、実施形態 1 と同様に、励振電極 3 1 a と励振電極 3 1 b との間には、交流の電圧  $V_{in}$  が印加される。

【0093】

本実施形態 3 における検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b の断面は、図 5 に示す実施形態 1 における検出腕 1 2 a と同じである。つまり、検出腕 1 2 a , 1 2 b には、それぞれ、水晶片 2 2 を挟んで対向する平面同士が同極となるように、表裏面に検出電極 3 1 c が設けられ、両側面に検出電極 3 1 d が設けられる。したがって、検出腕 1 2 a , 1 2 b においては、それぞれ、表裏面に設けられた検出電極 3 1 c と両側面に設けられた検出電極 3 1 d とが異極同士となる。検出腕 1 3 a , 1 3 b も検出腕 1 2 a , 1 2 b と同じ構成である。そして、実施形態 1 と同様に、検出電極 3 1 c と検出電極 3 1 d との間からは、交流の電圧  $V_{out}$  が出力される。

30

【0094】

本実施形態 3 の製造方法は、電極及び配線形成用のフォトリソが異なる点を除き、実施形態 1 の製造方法と同様である。

40

【0095】

次に、図 1、図 1 7 及び図 1 8 に図 1 9 を加えて、圧電センサ 3 の動作について説明する。

【0096】

駆動腕 1 1 a , 1 1 b を振動させる場合、パッド電極 3 2 a , 3 2 b に交流の電圧  $V_{in}$  を印加する。この電圧  $V_{in}$  で生じた電界によって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b に伸縮現象が生じることにより、互いに同相となる屈曲振動モードが得られる。

【0097】

ここで、図 1 に示すように、屈曲振動によって  $\pm x$  方向へ速度  $v$  で移動する質量  $m$  の駆動腕 1 1 a , 1 1 b が、原点から y 軸方向を見て y 軸を中心に時計回りに角速度  $\omega$  で回転

50

したとする。このとき、図 19 [ A ] に示すように、 $x$  方向へ速度  $v$  で移動する駆動腕 11 a, 11 b は  $z$  方向のコリオリ力  $F_c$  ( $F_c = -2m \times v$ ) を受ける。また、図 19 [ B ] に示すように、 $-x$  方向へ速度  $v$  で移動する駆動腕 11 a, 11 b は  $-z$  方向のコリオリ力  $F_c$  を受ける。したがって、駆動腕 11 a, 11 b は、 $\pm z$  方向のコリオリ力を受けて  $z$  方向にも互いに同相で屈曲振動する。なお、このときの駆動腕 11 a, 11 b の先端は、 $\pm y$  方向から見て楕円を描くようにつまり  $\pm x$  方向かつ  $\pm z$  方向に振動する。

#### 【0098】

このとき、駆動腕 11 a, 11 b の  $\pm z$  方向の振動は、支持部 10 へ伝わる。この振動に支持部 10 及び検出腕 12 a, 12 b, 13 a, 13 b が共振すると、検出腕 12 a, ... も  $z$  方向に屈曲振動する。支持部 10 及び検出腕 12 a, ... が共振するか否かは、駆動腕 11 a, 11 b の振動周波数、支持部 10 及び検出腕 12 a, ... の材質、構造及び寸法、支持部 10 に対しての検出腕 12 a, ... の取り付け位置などによって決まる。検出腕 12 a, ... は、 $z$  方向に屈曲振動するとともに、 $z$  方向に  $X$  軸を有する水晶片 22 からなるので、圧電効果による電圧  $V_{out}$  を出力する。これにより、電圧  $V_{out}$  の値から角速度の値を求めることができる。

#### 【0099】

本実施形態 3 のその他の構成、作用及び効果は、実施形態 1、2 のそれらと同様である。

#### 【0100】

次に、図 20 に基づき、実施形態 1 の圧電センサについて補足する。ここでは、駆動腕と検出腕とが同相又は逆相で共振する理由について、詳しく言及する。

#### 【0101】

図 20 [ A ] に示す圧電センサ 1 では、支持部 10 の両端が固定端 101, 105 となっており、支持部 10 と検出腕 12 a, 12 b とが接点 102 で固定され、支持部 10 と駆動腕 11 a, 11 b とが接点 103 で固定され、支持部 10 と検出腕 13 a, 13 b とが接点 104 で固定されている。説明を簡潔にするために、支持部 10、駆動腕 11 a, 11 b、検出腕 12 a, 12 b, 13 a, 13 b について、それぞれの長さのみを考慮する。駆動腕 11 a, 11 b の長さはどちらも  $L_1$ 、検出腕 12 a, 12 b, 13 a, 13 b の長さは全て  $L_2$  とする。固定端 101 から接点 102 までの長さを  $L_{01}$ 、接点 102 から接点 103 までの長さを  $L_{02}$ 、接点 103 から接点 104 までの長さを  $L_{03}$ 、接点 103 から接点 104 までの長さを  $L_{04}$  とする。

#### 【0102】

ここで、図 20 [ B ] [ C ] に示すように、駆動腕 11 a, 11 b が振動して、支持部 10 及び検出腕 12 a, ... が共振すると、定常波が発生する。図 20 [ B ] は駆動腕 11 a, 11 b と検出腕 12 a, ... とが同相で共振する場合を示し、図 20 [ C ] は駆動腕 11 a, 11 b と検出腕 12 a, ... とが逆相で共振する場合を示す。図 20 [ B ] [ C ] では、位相が 0 [ rad ] の時の変位を実線で示し、位相が [ rad ] の時の変位を破線で示す。

#### 【0103】

駆動腕 11 a, 11 b が屈曲振動を始めると、駆動腕 11 a, 11 b の接点 103 では  $z$  軸を中心に時計回り及び反時計回りに交互かつ一定角度で回転（回動）する振動が発生する。この振動に支持部 10 が共振し、検出腕 12 a, ... が最も大きく屈曲振動を始めするには、図示するように、検出腕 12 a, ... の接点 102, 103 が支持部 10 における定常波の節に位置する必要がある。なぜなら、接点 102, 104 が支持部 10 における定常波の腹に位置するならば、検出腕 12 a, ... が  $\pm y$  方向に振動するだけであるので、検出腕 12 a, ... には屈曲振動が生じないからである。

#### 【0104】

駆動腕 11 a, 11 b 及び検出腕 12 a, ... の先端は自由端であり、支持部 10 の両端は固定端 101, 105 であるから、図 20 [ B ] に示すように、駆動腕 11 a, 11 b と検出腕 12 a, ... とが同相で共振する場合、次式が成り立つ。ただし、 $m, n, n_1$ ,

$n_2$  は自然数、 $L_{10}$  は支持部 10 の共振波長、 $L_{11a}$  は駆動腕 11a、 $L_{11b}$  の共振波長、 $L_{12a}$  は検出腕 12a、... の共振波長である。なお、各共振波長は、振動モードや媒質の違いなどによって、必ずしも同じ値にはならない。

【0105】

$$L_{11} = (n_1 - 1) L_{10} + L_{10} / 4$$

$$L_{12} = (n_2 - 1) L_{10} + L_{10} / 4$$

$$L_{02} = L_{03} = L_{10}$$

$$L_{01} = L_{04} = m L_{10} / 2$$

【0106】

また、図 20 [C] に示すように、駆動腕 11a、11b と検出腕 12a、... とが逆相で共振する場合、次式が成り立つ。

【0107】

$$L_{11} = (n_1 - 1) L_{10} + L_{10} / 4$$

$$L_{12} = (n_2 - 1) L_{10} + L_{10} / 4$$

$$L_{02} = L_{03} = (n - 1) L_{10} + L_{10} / 2$$

$$L_{01} = L_{04} = m L_{10} / 2$$

【0108】

図示する例では支持部 10 の両端が固定端 101、105 となっているが、支持部 10 の両端を自由端としてもよい。その場合は、支持部 10 の両端が支持部 10 における定常波の腹となることにより、

$$L_{01} = L_{04} = (m - 1) L_{10} / 2 + L_{10} / 4$$

となる。また、支持部 10 の両端の一方（例えば  $L_{01}$  側）を固定端とし他方（すなわち  $L_{04}$  側）を自由端としてもよい。その場合は、

$$L_{01} = m L_{10} / 2$$

$$L_{04} = (m - 1) L_{10} / 2 + L_{10} / 4$$

となる。

【0109】

支持部 10 の両端の少なくとも一方（例えば  $L_{04}$  側）を自由端とした場合は、

$$L_{04} = (m - 1) L_{10} / 2 + L_{10} / 4$$

となることにより、上式に  $L_{10} / 4$  の項が含まれることから、共振周波数の整数倍（共振波長の整数分の一）ごとに異なる  $L_{04}$  とする必要がある。つまり、 $L_{04}$  の部分がフィルタとして機能することにより、ただ一つの共振周波数で圧電センサ 1 を駆動できるので、圧電センサ 1 の動作を安定化できる。

【0110】

一方、支持部 10 の両端を固定端とした場合は、

$$L_{01} = L_{04} = m L_{10} / 2$$

となることにより、上式に  $L_{10} / 4$  の項が含まれないことから、共振周波数の整数倍（共振波長の整数分の一）によらず同じ  $L_{01}$ 、 $L_{04}$  とすることができる。したがって、複数の共振周波数で圧電センサ 1 を駆動できるので、共振周波数の選択の幅を拡大できる。

【0111】

以上の知見から、圧電センサ 1 について次の構成が導かれる。一对の駆動腕 11a、11b は、支持部 10 における定常波の節の位置（例えば接続点 102、103、104）であれば、どこに設けてもよい。その数も任意である。同様に、一对の検出腕 12a、12b は、支持部 10 における定常波の節の位置（例えば接続点 102、103、104）であれば、どこに設けてもよい。その数も任意である。支持部 10 の両端は、両方とも固定端又は自由端としてもよく、一方を固定端及び他方を自由端としてもよい。以上、実施形態 1 の圧電センサ 1 について説明したが、実施形態 2 の圧電センサについても同様である。

【0112】

次に、図 21 に基づき、実施形態 3 の圧電センサについて補足する。ここでは、駆動腕

10

20

30

40

50



と検出腕とが同相又は逆相で共振する理由について、詳しく言及する。

【0113】

図21[A]に示す圧電センサ3でも、図20[A]に示す圧電センサ1と同様に、 $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_{01} \sim L_{04}$ が定義される。

【0114】

ここで、前述したように駆動腕11a、11bが $\pm z$ 方向に振動すると、図21[B][C]に示すように支持部10及び検出腕12a、...が共振して、定常波が発生する。図20[B]は接続点103（駆動腕11a、11b）と接続点102、104（検出腕12a、...）とが同相で共振する場合を示し、図21[C]は接続点103（駆動腕11a、11b）と接続点102、104（検出腕12a、...）とが逆相で共振する場合を示す。図21[B][C]では、位相が0[rad]の時の変位を実線で示し、位相が[rad]の時の変位を破線で示す。

10

【0115】

駆動腕11a、11bが $\pm z$ 方向に交互に振動し始めると、駆動腕11a、11bの接続点103でも $\pm z$ 方向の振動が発生する。この振動に支持部10が共振し、検出腕12a、...が最も大きく屈曲振動を始めるには、図示するように、検出腕12a、...の接続点102、103が支持部10における定常波の腹に位置する必要がある。なぜなら、接続点102、104が支持部10における定常波の節に位置するならば、検出腕12a、...は $\pm z$ 方向に振動しないからである。

【0116】

20

駆動腕11a、11b及び検出腕12a、...の先端は自由端であり、支持部10の両端は固定端101、105であるから、図21[B]に示すように、駆動腕11a、11bと検出腕12a、...とが同相で共振する場合、次式が成り立つ。ただし、 $m$ 、 $n$ 、 $n_1$ 、 $n_2$ は自然数、 $L_1$ は支持部10の共振波長、 $L_2$ は駆動腕11a、11bの共振波長、 $L_{01}$ は検出腕12a、...の共振波長である。なお、各共振波長は、振動モードや媒質の違いなどによって、必ずしも同じ値にはならない。

【0117】

$$\begin{aligned} L_1 &= (n_1 - 1) L_1 + L_1 / 4 \\ L_2 &= (n_2 - 1) L_2 + L_2 / 4 \\ L_{02} &= L_{03} = n L_1 \\ L_{01} &= L_{04} = (m - 1) L_1 / 2 + L_1 / 4 \end{aligned}$$

30

【0118】

また、図20[C]に示すように、駆動腕11a、11bと検出腕12a、...とが逆相で共振する場合、次式が成り立つ。

【0119】

$$\begin{aligned} L_1 &= (n_1 - 1) L_1 + L_1 / 4 \\ L_2 &= (n_2 - 1) L_2 + L_2 / 4 \\ L_{02} &= L_{03} = (n - 1) L_1 + L_1 / 2 \\ L_{01} &= L_{04} = (m - 1) L_1 / 2 + L_1 / 4 \end{aligned}$$

【0120】

40

図示する例では支持部10の両端が固定端101、105となっているが、支持部10の両端を自由端としてもよい。その場合は、支持部10の両端が支持部10における定常波の腹となることにより、

$$L_{01} = L_{04} = m L_1 / 2$$

となる。また、支持部10の両端の一方（例えば $L_{01}$ 側）を固定端とし他方（すなわち $L_{04}$ 側）を自由端としてもよい。その場合は、

$$\begin{aligned} L_{01} &= (m - 1) L_1 / 2 + L_1 / 4 \\ L_{04} &= m L_1 / 2 \end{aligned}$$

となる。

【0121】

50

支持部 10 の両端の少なくとも一方（例えば L 0 1 側）を固定端とした場合は、

$$L 0 1 = (m - 1) \cdot \lambda / 4 + \lambda / 4$$

となることにより、上式に  $\lambda / 4$  の項が含まれることから、共振周波数の整数倍（共振波長の整数分の一）ごとに異なる L 0 1 とする必要がある。つまり、L 0 1 の部分がフィルタとして機能することにより、ただ一つの共振周波数で圧電センサ 3 を駆動できるので、圧電センサ 3 の動作を安定化できる。

#### 【 0 1 2 2 】

一方、支持部 10 の両端を自由端とした場合は、

$$L 0 1 = L 0 4 = m \cdot \lambda / 2$$

となることにより、上式に  $\lambda / 4$  の項が含まれないことから、共振周波数の整数倍（共振波長の整数分の一）によらず同じ L 0 1 , L 0 4 とすることができる。したがって、複数の共振周波数で圧電センサ 3 を駆動できるので、共振周波数の選択の幅を拡大できる。

10

#### 【 0 1 2 3 】

以上の知見から、圧電センサ 3 について次の構成が導かれる。一对の駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、支持部 10 における定常波の腹の位置であれば、どこに設けてもよい。その数も任意である。同様に、一对の検出腕 1 2 a , 1 2 b は、支持部 10 における定常波の腹の位置であれば、どこに設けてもよい。その数も任意である。支持部 10 の両端は、両方とも固定端又は自由端としてもよく、一方を固定端及び他方を自由端としてもよい。

#### 【 0 1 2 4 】

以上、上記各実施形態を参照して本発明を説明したが、本発明は上記各実施形態に限定されるものではない。本発明の構成や詳細については、当業者が理解し得るさまざまな変更を加えることができる。また、本発明には、上記各実施形態の構成の一部又は全部を相互に適宜組み合わせたものも含まれる。

20

#### 【 0 1 2 5 】

例えば、各実施形態における検出電極 3 1 c , 3 1 d に駆動用の電圧  $V_{in}$  を印加すると、検出腕 1 2 a , 1 2 b , 1 3 a , 1 3 b が駆動腕として動作し、駆動腕 1 1 a , 1 1 b が検出腕として動作することにより、励振電極 3 1 a , 3 1 b から検出用の電圧  $V_{out}$  を出力する圧電センサとなる。このような圧電センサも本発明に含まれる。

#### 【 0 1 2 6 】

つまり、実施形態 1、2 において検出電極 3 1 c , 3 1 d に電圧  $V_{in}$  を印加すると、検出腕 1 2 a , 1 2 b は z 方向に互いに逆相で屈曲振動を始める。検出腕 1 3 a , 1 3 b についても同様である。これに伴い、支持部 10 に固定されている駆動腕 1 1 a , 1 1 b も、z 方向に互いに逆相で屈曲振動を始める。このとき、駆動腕 1 1 a , 1 1 b が図 1 や図 1 1 に示す角速度  $\omega$  で回転すると、 $\pm x$  方向のコリオリ力  $F_c$  が駆動腕 1 1 a , 1 1 b に加わる。したがって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、 $\pm x$  方向のコリオリ力を受けて x 方向に互いに逆相で屈曲振動するとともに、x 方向に X 軸を有する水晶片 2 1 からなるので、圧電効果による電圧  $V_{out}$  を出力する。これにより、電圧  $V_{out}$  の値から角速度  $\omega$  の値を求めることができる。

30

#### 【 0 1 2 7 】

実施形態 3 においても、検出電極 3 1 c , 3 1 d に電圧  $V_{in}$  を印加すると、検出腕 1 2 a , 1 2 b は z 方向に互いに同相で屈曲振動を始める。検出腕 1 3 a , 1 3 b についても同様である。これに伴い、支持部 10 に固定されている駆動腕 1 1 a , 1 1 b も、z 方向に互いに同相で屈曲振動を始める。このとき、駆動腕 1 1 a , 1 1 b が図 1 や図 1 1 に示す角速度  $\omega$  で回転すると、 $\pm x$  方向のコリオリ力  $F_c$  が駆動腕 1 1 a , 1 1 b に加わる。したがって、駆動腕 1 1 a , 1 1 b は、 $\pm x$  方向のコリオリ力を受けて x 方向に互いに同相で屈曲振動するとともに、x 方向に X 軸を有する水晶片 2 1 からなるので、圧電効果による電圧  $V_{out}$  を出力する。これにより、電圧  $V_{out}$  の値から角速度  $\omega$  の値を求めることができる。

40

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【 0 1 2 8 】

50

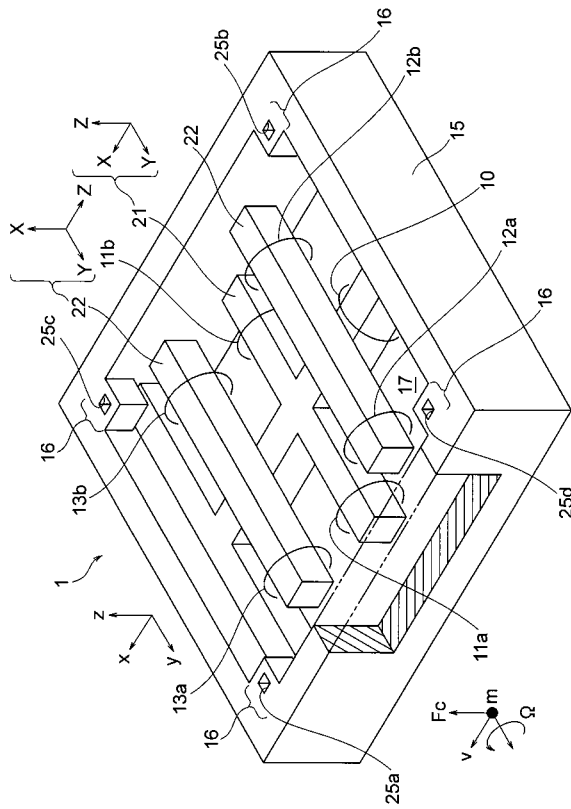
本発明は、水晶やセラミックスなどの圧電材料からなる圧電センサに利用可能である。

【符号の説明】

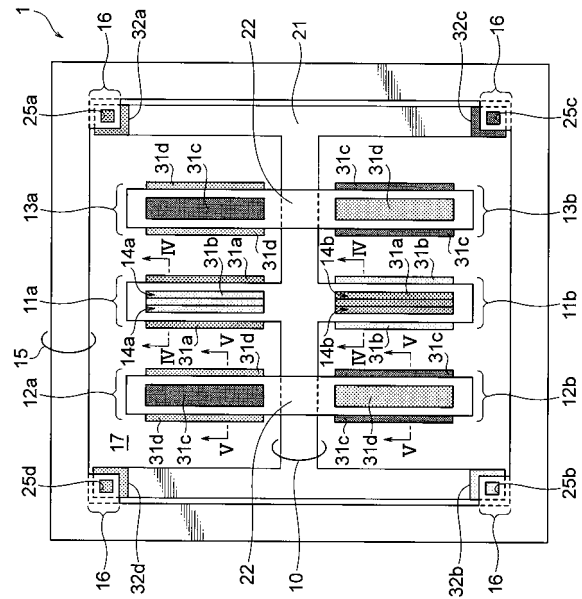
【0129】

1, 2, 3	圧電センサ	
10	支持部	
101, 105	固定端	
102, 103, 104	接続点	
11a, 11b	駆動腕（駆動部）	
12a, 12b	検出腕（第一の検出部）	
13a, 13b	検出腕（第二の検出部）	10
14a, 14b	溝部	
15	外枠	
16	固定部	
17	キャビティ	
21	水晶片（第一の水晶片）	
22	水晶片（第二の水晶片）	
221	水晶片（第二の水晶片）	
222	水晶片（第三の水晶片）	
25a, 25b, 25c, 25d	ビア孔	
31a, 31b	励振電極	20
31c, 31d	検出電極	
32a, 32b, 32c, 32d	パッド電極	
33a, 33b, 33c, 33d	配線	
40	下側ウェハ	
41	中間ウェハ（第一のウェハ）	
42	上側ウェハ（第二のウェハ）	
421	第一上側ウェハ（第二のウェハ）	
422	第二上側ウェハ（第三のウェハ）	
43	基板部ウェハ	
44	蓋部材ウェハ	30
45a, 45b, 45c, 45d	外部端子	
51, 52, 521, 522, 550, 551, 552, 552a, 552b	耐食膜	

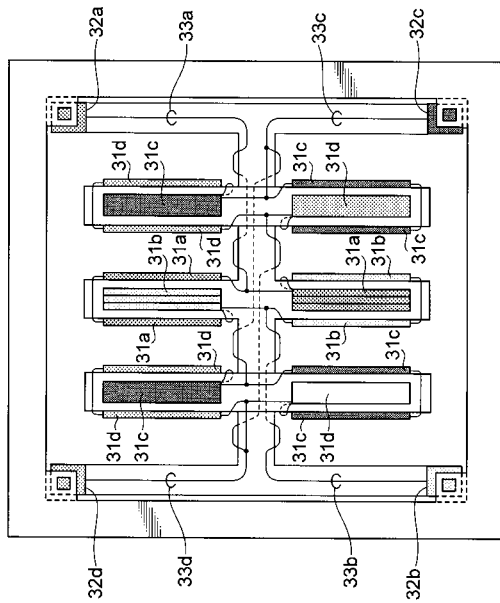
【図 1】



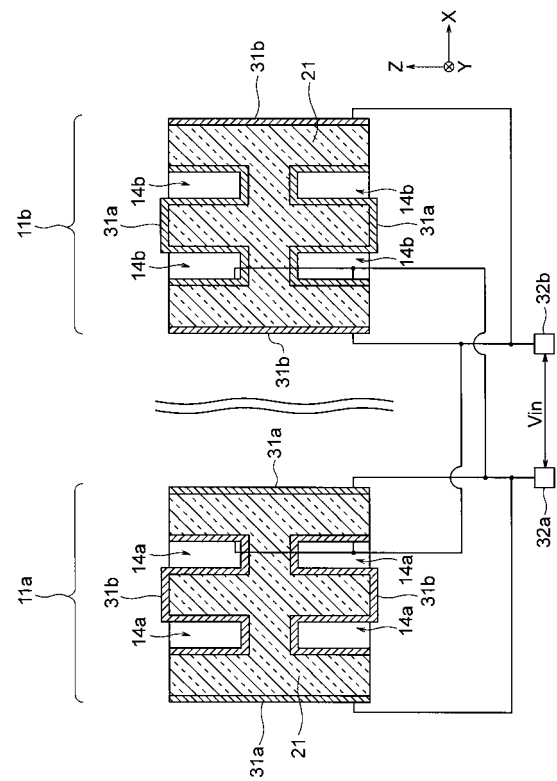
【図 2】



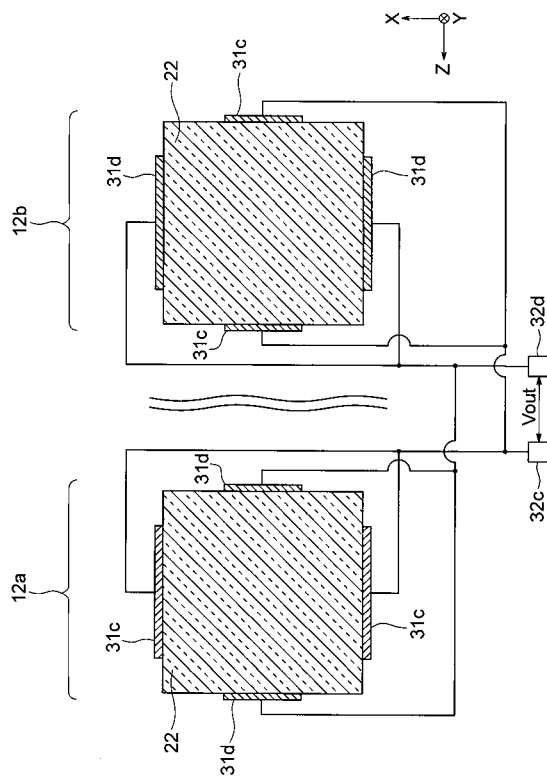
【図 3】



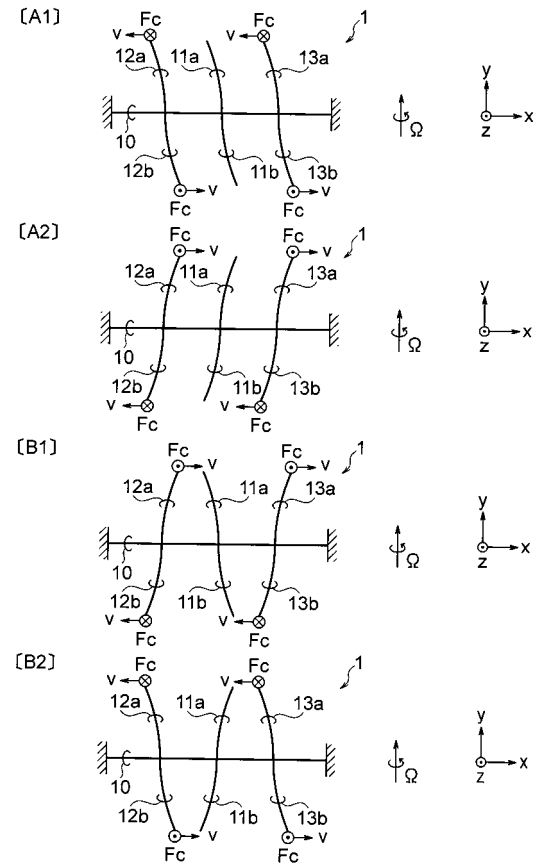
【図 4】



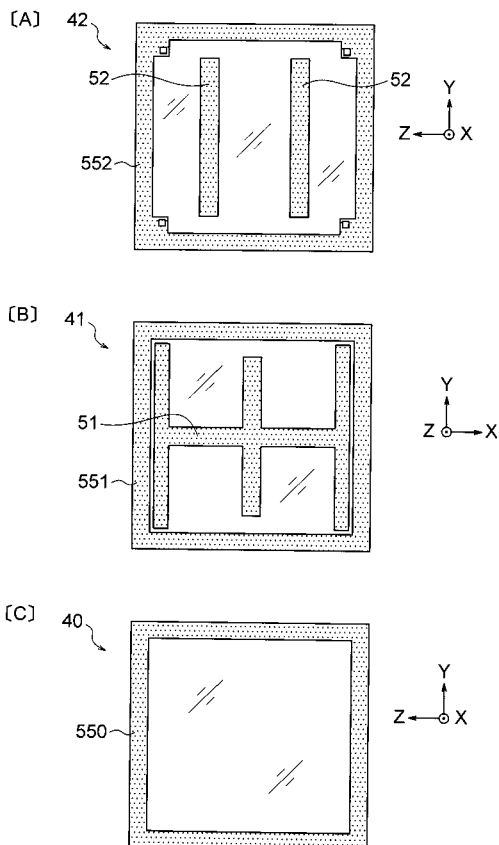
【図 5】



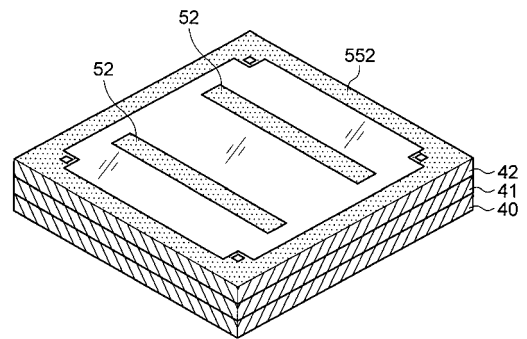
【図 6】



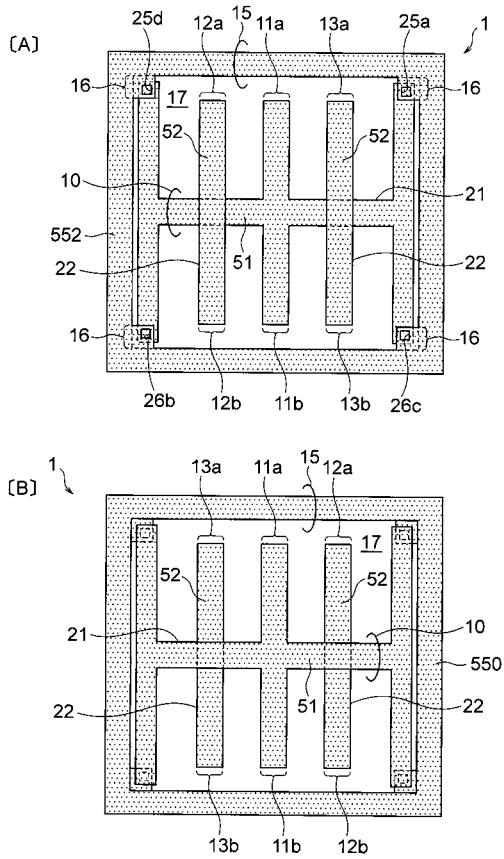
【図 7】



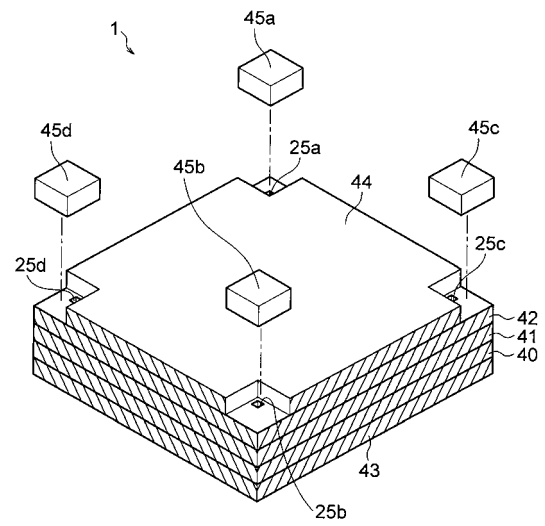
【図 8】



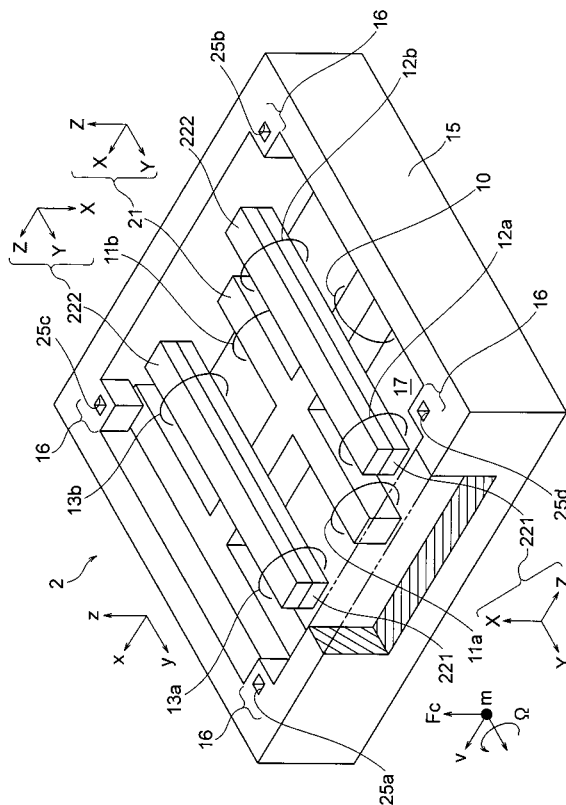
【図 9】



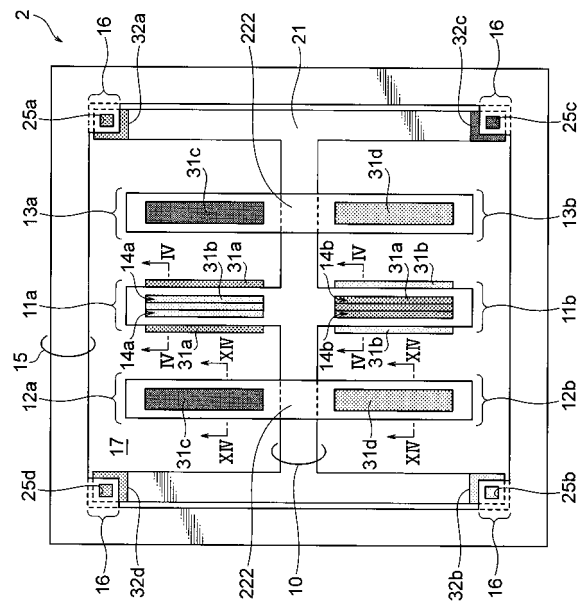
【図 10】



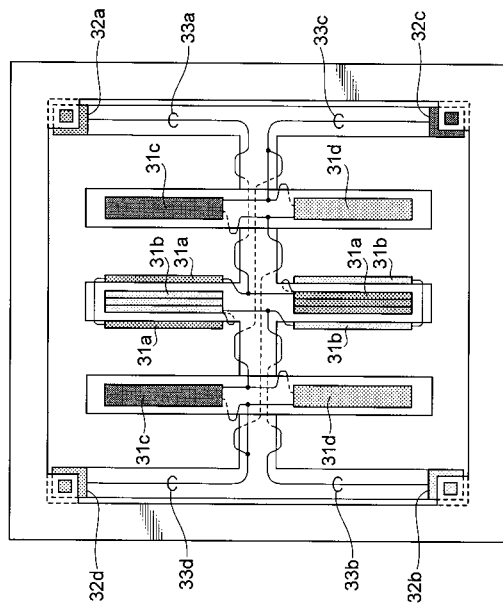
【図 11】



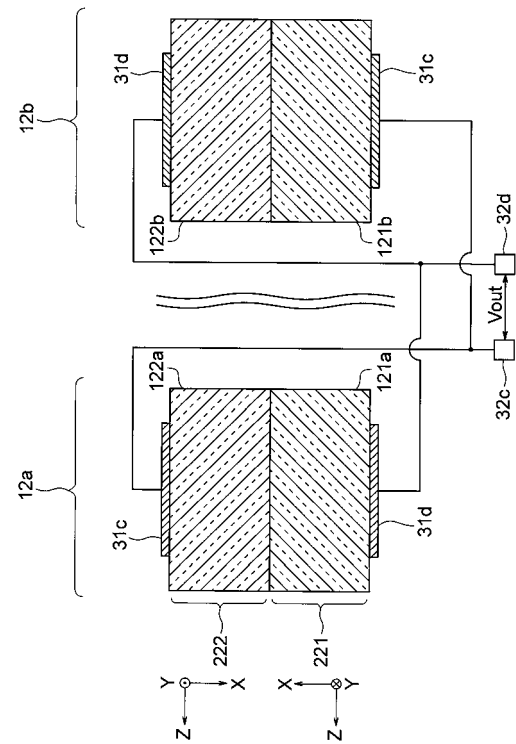
【図 12】



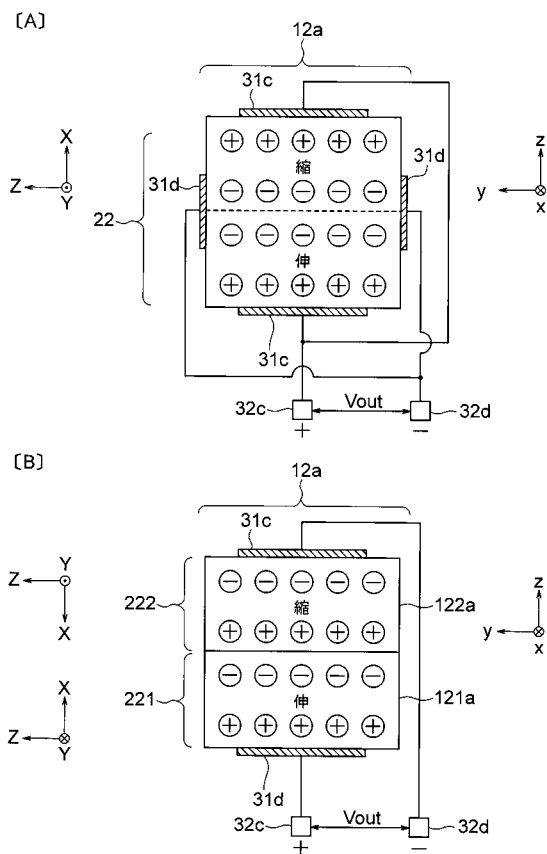
【図 13】



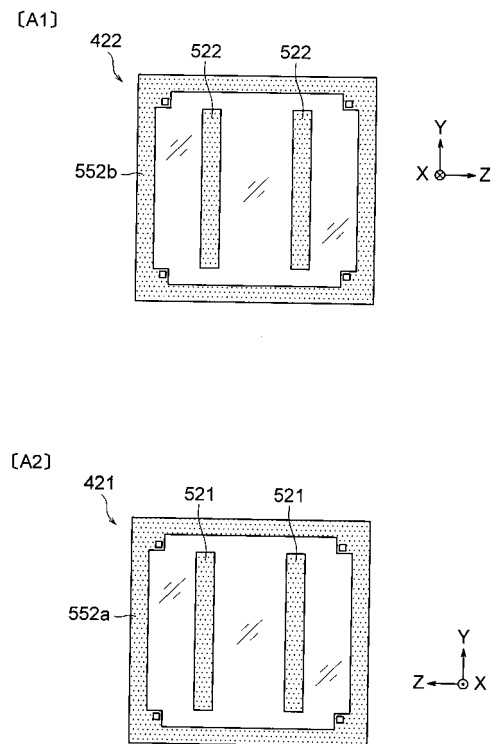
【図 14】



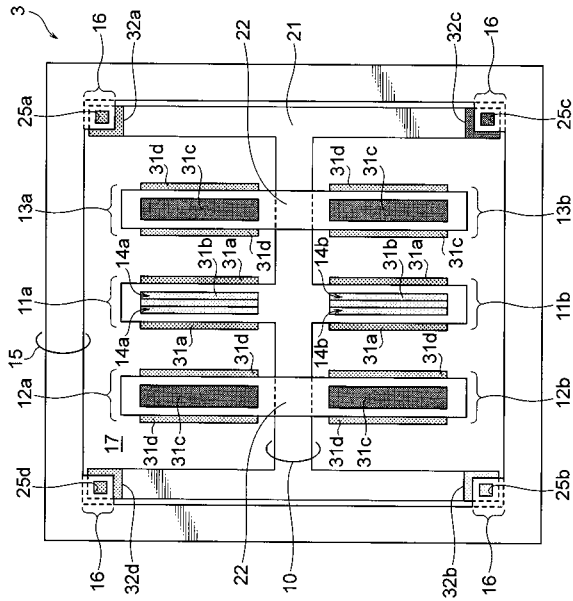
【図 15】



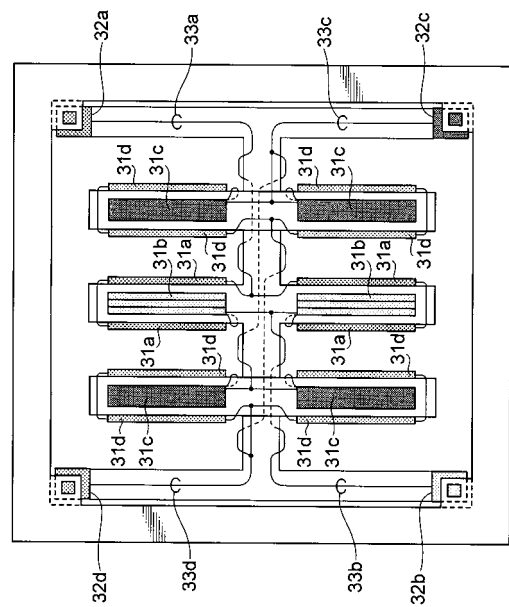
【図 16】



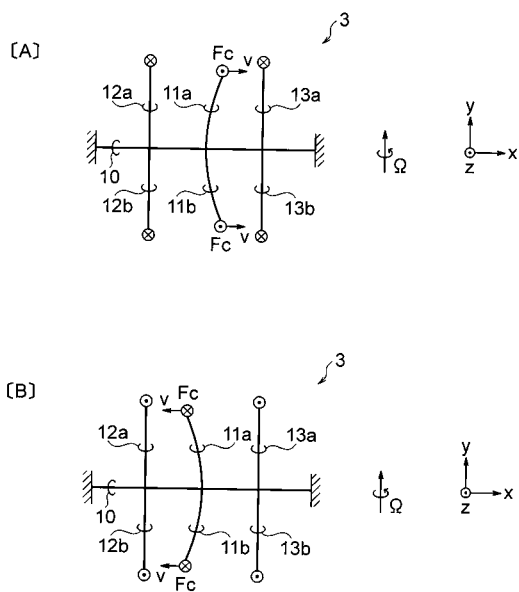
【図 17】



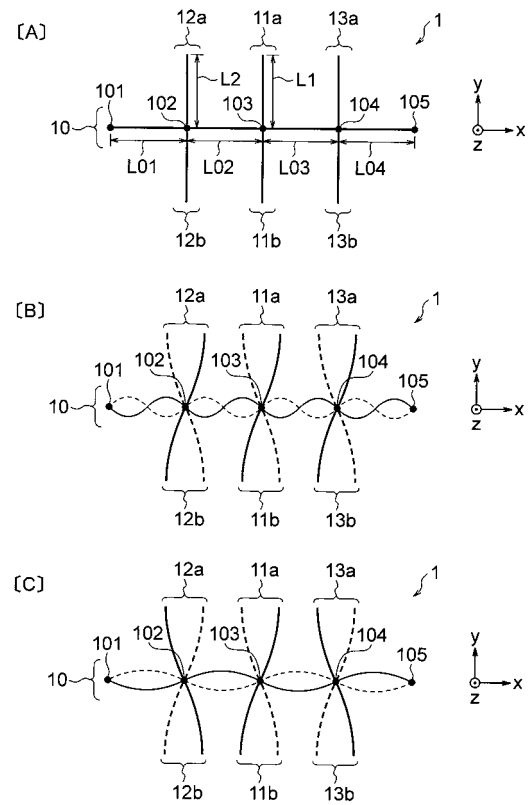
【図 18】



【図 19】



【図 20】





【図 2 1】

