

(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2011-4035  
(P2011-4035A)

(43) 公開日 平成23年1月6日(2011.1.6)

|                                      |                    |             |
|--------------------------------------|--------------------|-------------|
| (51) Int.Cl.                         | F I                | テーマコード (参考) |
| <b>H03H 9/19 (2006.01)</b>           | H03H 9/19 J        | 5 J 1 0 8   |
| <b>H03H 9/215 (2006.01)</b>          | H03H 9/215         |             |
| <b>H03H 3/02 (2006.01)</b>           | H03H 3/02 B        |             |
| <b>H01L 41/09 (2006.01)</b>          | H01L 41/08 C       |             |
| <b>H01L 41/187 (2006.01)</b>         | H01L 41/18 1 O 1 B |             |
| 審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 17 頁) 最終頁に続く |                    |             |

|           |                              |          |   |
|-----------|------------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願2009-143984 (P2009-143984) | (71) 出願人 | 000002369   |
| (22) 出願日  | 平成21年6月17日 (2009. 6. 17)     |          | セイコーエプソン株式会社  |
|           |                              |          | 東京都新宿区西新宿2丁目4番1号  |
|           |                              | (74) 代理人 | 100095728   |
|           |                              |          | 弁理士 上柳 雅誉   |
|           |                              | (74) 代理人 | 100107261   |
|           |                              |          | 弁理士 須澤 修  |
|           |                              | (74) 代理人 | 100127661   |
|           |                              |          | 弁理士 宮坂 一彦   |
|           |                              | (72) 発明者 | 瀧澤 照夫   |
|           |                              |          | 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内   |
|           |                              | Fターム(参考) | 5J108 BB02 BB08 CC01 CC06 CC08<br>CC10 CC13 DD05 EE03 EE07<br>FF02 HH01 HH05 HH06 KK01<br>KK02 MM08 MM12 MM15 |

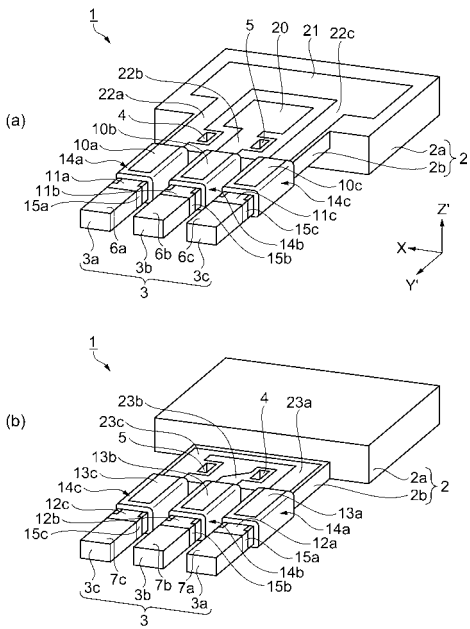
(54) 【発明の名称】 屈曲振動片および屈曲振動片の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 小型化に適した構成を有する屈曲振動片およびこの屈曲振動片を製造する方法を提供する。

【解決手段】 水晶振動片1は、基部2と、基部2から延長して形成され、屈曲振動するそれぞれの方向へ向いて配置された第1面6および第2面7を有する3本の振動腕3と、振動腕3の第1面6および第2面7に形成され相互に導電接続されている下部電極11, 12と、下部電極11, 12を覆って形成された圧電膜14と、圧電膜14に重ねて形成された上部電極10, 13と、を備え、第1面6(6a, 6b, 6c)に形成された圧電膜14(14a1, 14b1, 14c1)と第2面7(7a, 7b, 7c)に形成された圧電膜14(14a2, 14b2, 14c2)とは、形成されている振動腕3に対して互いに反対の分極方向を有している。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

基部と、

前記基部から延長して少なくとも 1 本形成され、第 1 面および該第 1 面に対向する第 2 面を有する振動腕と、

前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された下部電極と、

前記下部電極に重ねて形成された圧電膜と、

前記圧電膜に重ねて形成された上部電極と、を備え、

前記第 1 面に形成された前記圧電膜と、前記第 2 面に形成された前記圧電膜とは、前記振動腕に対して互いに反対の分極方向を有していることを特徴とする屈曲振動片。

10

**【請求項 2】**

請求項 1 に記載の屈曲振動片において、

前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された前記下部電極は、相互に導電接続されていて、前記第 1 面の側および前記第 2 面の側に形成された前記上部電極に駆動電圧が印加されることを特徴とする屈曲振動片。

**【請求項 3】**

基部と、

前記基部から延長して少なくとも 1 本形成され、第 1 面および該第 1 面に対向する第 2 面を有する振動腕と、

前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された下部電極と、

前記下部電極に重ねて形成された圧電膜と、

前記圧電膜に重ねて形成された上部電極と、を備え、

前記下部電極と前記上部電極との間に駆動電圧を印加して電界を発生させたときに、前記第 1 面と前記第 2 面のどちらか一方の面に形成された前記圧電膜における分極方向と電界方向とが互いに同じであり、他方の面に形成された前記圧電膜における分極方向と電界方向とが互いに反対であることを特徴とする屈曲振動片。

20

**【請求項 4】**

請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載の屈曲振動片において、

前記基部の一端から延長して形成された複数の振動腕を有していることを特徴とする屈曲振動片。

30

**【請求項 5】**

請求項 4 に記載の屈曲振動片において、

隣り合って位置する前記振動腕は、互いに異なる位相で屈曲振動をすることを特徴とする屈曲振動片。

**【請求項 6】**

基部と、前記基部から延長して少なくとも 1 本形成され屈曲振動をする振動腕と、を備えた屈曲振動片の製造方法であって、

前記振動腕の第 1 面および該第 1 面に対向する第 2 面に、下部電極を形成する下部電極形成ステップと、

前記第 1 面および前記第 2 面の前記下部電極に重ねられ、前記振動腕に対して互いに反対の分極方向を有する圧電膜を形成する圧電膜形成ステップと、

40

前記圧電膜に重ねて上部電極形成する上部電極形成ステップと、を有していることを特徴とする屈曲振動片の製造方法。

**【請求項 7】**

請求項 6 に記載の屈曲振動片の製造方法において、

前記下部電極形成ステップは、前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された前記下部電極が相互に導電接続されていることを特徴とする屈曲振動片の製造方法。

**【請求項 8】**

請求項 1 ないし 7 のいずれか一項に記載の屈曲振動片と、該屈曲振動片を駆動させる半導体素子とを備えていることを特徴とする屈曲振動デバイス。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、小型化に適した構成を有する屈曲振動片およびこの屈曲振動片を製造する方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

従来、屈曲振動片は、例えば特許文献1に開示されているように、振動腕の表面に一对の圧電体素子を離間して備えているものが開示されている。屈曲振動片は、それぞれの圧電体素子へ駆動電圧を印加して、圧電体素子をそれぞれ変形させることにより、振動腕を所定方向へ屈曲させている。この場合、圧電体素子は、2つの電極で圧電膜を挟みこんだ構成のものであり、2つの電極に対して駆動電圧を印加して圧電膜を変形させるようになっている。また、該表面と反対側の裏面へさらに一对の圧電体素子を設ける構成も開示されていて、これによれば、振動腕をより効率良く屈曲させることが可能である。つまり、屈曲振動片は、圧電特性の良い膜である圧電体素子を振動腕に形成し、この圧電体素子を変形させて振動腕を屈曲させているため、振動腕の形状に対する制約が少なくなり、小型化も可能である。

10

## 【0003】

ここで、振動腕の形状に対する制約としては、例えば、圧電体素子を有しない振動片の場合のように、小型化にともなって低下傾向となる電界効率を高めるため、圧電材である振動腕へ電極領域を広げるための溝を形成すること等が挙げられる。溝等を有する振動腕は、剛性が低下してしまい、振動腕の基材の特性を活かして安定した屈曲振動を得ることができず、小型化が困難である。一方、圧電体素子を備えた屈曲振動片は、振動腕が圧電材以外であっても良く、また、剛性を維持しつつ小型化が可能である。

20

## 【0004】

さらに、例えば特許文献2には、振動腕の表面へ1つの圧電体素子を広範に設けて、いわゆる面積効率を向上させた屈曲振動片（特許文献2における音叉型振動子）が開示されている。この場合、屈曲振動片の振動腕は、圧電体素子の変形方向に同調して同方向へ屈曲する。この圧電体素子は、振動腕が広範に設けられた1つの圧電体素子を有しているため、電界を高く維持でき、屈曲振動片のさらなる小型化が可能である。以上説明したように、屈曲振動片の振動腕表面に圧電体素子を設ける構成によれば、屈曲振動片は、振動腕の基材の特性を活かした屈曲振動が得られ、小型化を図ることが可能である。

30

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0005】

【特許文献1】特開2008-11348号公報

【特許文献2】特開2009-5022号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0006】

しかし、従来の技術では、振動腕のそれぞれに設けられ圧電膜を挟みこんでいる電極を接続する配線が、相互に隣接または絶縁膜を介して交差した複雑な構成になっている。また、振動腕の表面と反対側の裏面へさらに一对の圧電体素子を設ける構成において、その配線は、具体的に開示されていないが、より複雑に隣接または交差することになる、と考えられる。このような複雑な配線は、屈曲振動片の小型化に伴い、配線間隔が狭まって寄生容量の増大やクロストークが発生しやすくなることに加え、配線の形成に多大な工数がかかってしまう。また、振動腕の膜化により、圧電膜が反対面の電界の影響を受けやすくなり、屈曲振動片の小型化を阻害する要因にもなりうる、という諸課題があった。

40

## 【課題を解決するための手段】

## 【0007】

50

本発明は、上記課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の適用例または形態として実現することが可能である。

【0008】

[適用例1] 本適用例に係る屈曲振動片は、基部と、前記基部から延長して少なくとも1本形成され、第1面および該第1面に対向する第2面を有する振動腕と、前記振動腕の前記第1面および前記第2面に形成された下部電極と、前記下部電極に重ねて形成された圧電膜と、前記圧電膜に重ねて形成された上部電極と、を備え、前記第1面に形成された前記圧電膜と、前記第2面に形成された前記圧電膜とは、前記振動腕に対して互いに反対の分極方向を有していることを特徴とする。

【0009】

この屈曲振動片によれば、振動腕は、一方の方向と、一方の方向と異なる他方の方向と、へ交互に屈曲して振動し、一方の方向へ向いて配置された第1面および第1面に対向する他方の方向へ向いて配置された第2面を有している。振動腕の第1面および第2面には、振動腕の側から順に、下部電極、圧電膜、上部電極がそれぞれ形成されていて、振動腕は、圧電膜の圧電効果により屈曲振動する。この圧電膜は、圧電性を有する材料によって、下部電極に重ねて形成された膜である。そして、第1面の下部電極に形成された圧電膜は、振動腕に対して所定の配向性を有するように成膜されており、配向性に応じた分極方向を有している。また、第2面の下部電極に形成された圧電膜は、第1面の下部電極に形成された圧電膜と同様に、第2面の下部電極へ成膜される。これにより、第2面の下部電極に形成された圧電膜は、振動腕に対して、第1面の下部電極に形成された圧電膜とは逆方向の配向性を有して成膜されることになり、第1面の下部電極に形成された圧電膜とは異なる反対の分極方向を有している。このような構成を備えた屈曲振動片は、振動腕の第1面の下部電極に形成された圧電膜と、振動腕の第2面の下部電極に形成された第1面の下部電極に形成された圧電膜とは異なる反対の分極方向を有する圧電膜と、にそれぞれ同じ方向の電界を生じさせると、一方の圧電膜は圧縮し、他方の圧電膜は伸張する、という特性を備えている。振動腕は、これら圧電膜の圧縮および伸張により、圧縮側へ屈曲し、さらに、電界の方向を変えれば、振動腕は、反対側へ屈曲する。こうして、電界の方向を交互に変えることにより、振動腕は、一方の方向および他方の方向へ交互に屈曲して振動する。従って、屈曲振動片は、振動腕を屈曲振動させるために、第1面の側および第2面の側の圧電膜へ同じ方向の電界を生じさせれば良く、圧電膜が振動腕の反対面側の電界による影響を受けたとしても、その圧電膜の圧縮または伸張が阻害されない。つまり、屈曲振動片は、小型化のために、振動腕をより薄く膜化することが可能である。

【0010】

[適用例2] 上記適用例に係る屈曲振動片において、前記振動腕の前記第1面および前記第2面に形成された前記下部電極は、相互に導電接続されていて、前記第1面の側および前記第2面の側に形成された前記上部電極に駆動電圧が印加されることが好ましい。

【0011】

この構成によれば、屈曲振動片は、振動腕の第1面および第2面にそれぞれ形成された下部電極同士が、電気的な接続がなされて相互に導電接続された構成を有している。この屈曲振動片の振動腕における駆動電圧は、第1面側の上部電極から圧電膜、下部電極、導電接続部位、第2面側の下部電極、圧電膜、上部電極の順の経路、あるいはこの逆順の経路で印加される。これは、いわゆる直列配線の状態である。そして、直列配線された第1面側および第2面側の圧電膜へ駆動電圧を印加すると、それぞれの圧電膜には、互いの分極方向が異なっているため、一方の圧電膜が圧縮し、他方の圧電膜が伸張する。また、このような構成の下部電極および導電接続部位は、振動腕の周囲へ同時に一体形成することができ、導電接続のための配線を長く引き回す必要がなく、振動腕には、上部電極から延長する配線を第1面側および第2面側へそれぞれ設ければ良い。従って、屈曲振動片は、駆動電圧を印加するための配線が簡便であり、配線の形成も容易に行える。さらに、屈曲振動片は、配線が複雑に隣接または交差せず、小型化しても寄生容量の増大やクロストーク等の発生を抑制することが可能である。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 2 】

[ 適用例 3 ] 本適用例に係る屈曲振動片は、基部と、前記基部から延長して少なくとも 1 本形成され、第 1 面および該第 1 面に対向する第 2 面を有する振動腕と、前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された下部電極と、前記下部電極に重ねて形成された圧電膜と、前記圧電膜に重ねて形成された上部電極と、を備え、前記下部電極と前記上部電極との間に駆動電圧を印加して電界を発生させたときに、前記第 1 面と前記第 2 面のどちらか一方の面に形成された前記圧電膜における分極方向と電界方向とが互いに同じであり、他方の面に形成された前記圧電膜における分極方向と電界方向とが互いに反対であることを特徴とする。

## 【 0 0 1 3 】

この屈曲振動片によれば、振動腕は、一方の方向と、一方の方向と異なる他方の方向と、へ交互に屈曲して振動し、一方の方向へ向いて配置された第 1 面および他方の方向へ向いて配置された第 2 面を有している。振動腕の第 1 面および第 2 面には、振動腕の側から順に、下部電極、圧電膜、上部電極がそれぞれ形成されていて、振動腕は、圧電膜の圧電効果により屈曲振動する。この場合、振動腕は、一方の面に形成された圧電膜における分極方向と電界方向とが同じになるように電界を発生させた場合において、他方の面に形成された圧電膜における分極方向と電界方向とが反対になるように電界を発生させる構成である。これにより、振動腕の一方の面は圧縮し、振動片の他方の面は伸張することになり、振動片は、一方の面側へ屈曲する。また、振動腕は、一方の面に形成された圧電膜における分極方向と電界方向とが反対になるように電界を発生させた場合において、他方の面に形成された圧電膜における分極方向と電界方向とが同じになるように電界を発生させる構成である。これにより、振動腕の一方の面は伸張し、振動片の他方の面は圧縮することになり、振動片は、他方の面側へ屈曲する。このように、振動腕の第 1 面および第 2 面の伸張または圧縮を交互に行わせるような電界の発生により、振動腕は、一方の方向および他方の方向へ交互に屈曲して振動する。この屈曲振動片は、振動腕に形成された圧電膜の伸縮により屈曲し、また、圧電膜が振動腕の両面に形成されているため、多様な材種の振動腕を確実に振動させることが可能である。

## 【 0 0 1 4 】

[ 適用例 4 ] 上記適用例に係る屈曲振動片において、前記振動片は、前記基部の一端から延長して形成された複数の振動腕を有していることが好ましい。

## 【 0 0 1 5 】

この構成によれば、屈曲振動片は、複数の振動腕を有することにより、振動漏れ等を防止でき、精度の良い振動特性を発揮することが可能である。

## 【 0 0 1 6 】

[ 適用例 5 ] 上記適用例に係る屈曲振動片において、隣り合って位置する前記振動腕は、互いに異なる位相で屈曲振動をすることが好ましい。

## 【 0 0 1 7 】

この構成によれば、屈曲振動片の複数の振動腕のうち、ある 1 つの振動腕が第 1 面の側へ屈曲する場合、この振動腕と隣り合う振動腕は、第 2 面の側へ屈曲するように構成されている。このように隣り合う振動腕が、それぞれ異なる方向へ屈曲して振動すること、即ち、互いに異なる位相で屈曲振動することにより、屈曲振動片は、複数の振動腕のバランスが十分にとれて、振動漏れの無い安定した振動を維持することが可能である。

## 【 0 0 1 8 】

[ 適用例 6 ] 本適用例に係る屈曲振動片の製造方法は、基部と、前記基部から延長して少なくとも 1 本形成され屈曲振動をする振動腕と、を備えた屈曲振動片の製造方法であって、前記振動腕の第 1 面および該第 1 面に対向する第 2 面に、下部電極を形成する下部電極形成ステップと、前記第 1 面および前記第 2 面の前記下部電極に重ねられ、前記振動腕に対して互いに反対の分極方向を有する圧電膜を形成する圧電膜形成ステップと、前記圧電膜に重ねて上部電極形成する上部電極形成ステップと、を有していることを特徴とする。

。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 1 9 】

この屈曲振動片の製造方法によれば、屈曲振動片の振動腕には、振動腕の第 1 面および第 2 面にそれぞれ下部電極が形成され、この下部電極に重ねて圧電膜が形成され、さらに、圧電膜に重ねて上部電極が形成されていて、振動腕は、第 1 面または第 2 面の側へ交互に屈曲して振動する。製造方法の各ステップのうち、圧電膜形成ステップにおける圧電膜は、圧電性を有する材料によって、下部電極に重ねて形成された膜であり、第 1 面の下部電極に形成された圧電膜は、振動腕に対して所定の配向性を有するように成膜されており、配向性に応じた分極方向を有している。また、第 2 面の下部電極に形成された圧電膜は、第 1 面の下部電極に形成された圧電膜と同様にして、第 2 面の下部電極へ成膜され、振動腕に対して、第 1 面の下部電極に形成された圧電膜とは逆方向の配向性を有して成膜されることになり、第 1 面の下部電極に形成された圧電膜とは異なる反対の分極方向を有している。このような構成で製造された屈曲振動片は、第 1 面の側および第 2 面の側の圧電膜へ同じ方向の電界を生じさせれば、一方の圧電膜は圧縮し、他方の圧電膜は伸張して、振動腕が屈曲する。さらに、電界の方向を変えれば、振動腕は、反対側へ屈曲し、電界の方向を交互に変えることにより、振動腕は、屈曲振動をする。従って、屈曲振動片は、第 1 面の側および第 2 面の側の圧電膜へ同じ方向の電界を生じさせることにより、圧電膜が振動腕の反対面側の電界による影響を受けたとしても、その圧電膜の圧縮または伸張が阻害されず、安定した屈曲振動が行える。このように、第 1 面の側および第 2 面の側の圧電膜が互いに異なる分極方向を有するように形成される製造方法により、振動腕をより薄く膜化でき、屈曲振動片のさらなる小型化が可能である。

10

20

## 【 0 0 2 0 】

〔適用例 7〕上記適用例に係る屈曲振動片の製造方法において、前記下部電極形成ステップは、前記振動腕の前記第 1 面および前記第 2 面に形成された前記下部電極が相互に導電接続されていることが好ましい。

## 【 0 0 2 1 】

この方法によれば、下部電極形成ステップにおいて、屈曲振動片の振動腕は、第 1 面および第 2 面の下部電極が、電氣的な接続がなされるように形成されていて、相互に導電接続された構成である。下部電極同士が相互に導電接続されていることにより、屈曲振動片の振動腕における駆動電圧は、第 1 面側の上部電極から圧電膜、下部電極、導電接続部位、第 2 面側の下部電極、圧電膜、上部電極の順の経路、あるいはこの逆順の経路で直列に印加される。このような構成で導電接続された下部電極および導電接続部位は、振動腕の周囲へ同時に一体形成することができ、導電接続のための配線を長く引き回す必要がなく、振動腕には、上部電極から延長する配線を第 1 面側および第 2 面側へそれぞれ設ければ良い。従って、下部電極形成ステップを含む製造方法による屈曲振動片は、駆動電圧を印加するための配線が複雑に隣接または交差せず簡便であり、その形成も容易に行える。

30

## 【 0 0 2 2 】

〔適用例 8〕本適用例に係る屈曲振動デバイスは、上記適用例に記載の屈曲振動片と、該屈曲振動片を駆動させる半導体素子とを備えていることを特徴とする。

## 【 0 0 2 3 】

この屈曲振動デバイスによれば、振動腕を薄く膜化した屈曲振動片と、半導体素子と、を備えていて、屈曲振動片の小型化に伴って、より一層の小型化が図れると共に、精度の良い振動特性を有するものである。

40

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 4 】

【図 1】(a) 本実施形態に係る水晶振動片の表面側から見た外観を示す斜視図。(b) 水晶振動片の裏面側から見た外観を示す斜視図。

【図 2】(a) 圧電膜の表面側から見た構成を示す斜視図。(b) 圧電膜の裏面側から見た構成を示す斜視図。

【図 3】水晶振動片の製造工程を示すフローチャート。

【図 4】(a) 水晶基板の振動腕部を膜化した状態を示す斜視図。(b) 振動腕の形成を

50

示す斜視図。

【図 5】(c) 下部電極の形成を示す斜視図。(d) 圧電膜の形成を示す斜視図。

【図 6】(e) 裏面側の上部電極の形成を示す斜視図。(f) 表面側の上部電極の形成を示す斜視図。

【図 7】(a) 圧電膜の分極方向と上部電極および下部電極の配線を示す模式図、(b) 水晶振動片の屈曲方向を示す斜視図。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、屈曲振動片および屈曲振動片の製造方法について、具体的な実施形態を図面に従って説明する。本実施形態の屈曲振動片は、圧電膜および下部電極の構成に特徴を有するものであり、その具体的な一例として、3本の振動腕がいわゆる面外振動をする水晶振動片へ、これら特徴ある構成を適用した場合について説明する。なお、図面において、描かれている屈曲振動片の各部の縮尺は、部分的に異ならせてあり、分かりやすいように一部を強調してある。

(実施形態)

【0026】

図 1(a) は、本実施形態に係る水晶振動片の表面側から見た外観を示す斜視図、図 1(b) は、水晶振動片の裏面側から見た外観を示す斜視図である。また、図 2(a) は、圧電膜の表面側から見た構成を示す斜視図、図 2(b) は、圧電膜の裏面側から見た構成を示す斜視図であり、一部断面を表して圧電膜の詳細を示している。この水晶振動片(屈曲振動片) 1 においては、図 1(a) に示すように、基部 2 の主部 2a と薄部 2b とが同一面である側を表面側とし、図 1(b) に示すように、基部 2 の主部 2a と薄部 2b とが段差をなす側を裏面側として、表裏方向を厚さとする。

【0027】

水晶振動片 1 は、図 1 および図 2 に示すように、基部 2 と、3本の振動腕 3(3a, 3b, 3c) と、を備えている。基部 2 は、直方体状の主部 2a と、主部 2a の長手辺側から長手辺の長さより短幅で延長して形成され、表面側が主部 2a と同一面であり、裏面側が主部 2a と段差をなし、その段差分だけ厚みの薄い直方体状の薄部 2b と、を有している。薄部 2b は、表面側と裏面側を貫通する 2つの矩形孔を有し、1つが振動腕 3a 寄りに形成された貫通孔 4 であり、1つが振動腕 3c 寄りに形成された貫通孔 5 である。また、振動腕 3a, 3b, 3c のそれぞれは、薄部 2b から主部 2a と反対方向へ延長して形成され、薄部 2b と同じ厚みを有し、基部 2 の長手方向に沿って等間隔に配置されている。

【0028】

次に、振動腕 3 について、図 2 に詳細な断面が示されている振動腕 3c を代表にして説明する。振動腕 3c は、直方体柱の形状であって、表面側に基部 2 と同一面をなす第 1 面 6c を有し、裏面側に基部 2 と段差をなす第 2 面 7c を有している。そして、振動腕 3c の第 1 面 6c には、金属膜の下部電極 11c が形成されている。同様に、振動腕 3c の第 2 面 7c には、金属膜の下部電極 12c が形成されている。これら下部電極 11c と下部電極 12c とは、振動腕 3c の基部 2 と反対側である先端部の側に位置する電極端部において、電極端部から両側へ延長して形成された電極接続部 15c によって電氣的に接続(導電接続)されている。

【0029】

また、下部電極 11c, 12c のそれぞれを覆うように、振動腕 3c の全周を取り巻いて圧電膜 14c が形成されている。さらに、圧電膜 14c の第 1 面 6c の側に位置する圧電膜面 14c1 には、金属膜の上部電極 10c が形成されている。同様に、圧電膜 14c の第 2 面 7c の側に位置する圧電膜面 14c2 には、金属膜の上部電極 13c が形成されている。つまり、圧電膜 14c は、第 1 面 6c および第 2 面 7c のそれぞれにおいて、下部電極 11c, 12c と上部電極 10c, 13c とで挟持されている。このように、振動腕 3c は、第 1 面 6c へ順に重ねて形成された、下部電極 11c、圧電膜 14c、上部電

10

20

30

40

50

極 1 0 c と、第 2 面 7 c へ順に重ねて形成された、下部電極 1 2 c、圧電膜 1 4 c、上部電極 1 3 c と、を有している。

【 0 0 3 0 】

振動腕 3 c と同様に、振動腕 3 a は、第 1 面 6 a へ順に重ねて形成された、下部電極 1 1 a、圧電膜 1 4 a、上部電極 1 0 a と、第 2 面 7 a へ順に重ねて形成された、下部電極 1 2 a、圧電膜 1 4 a、上部電極 1 3 a と、を有している。同様に、振動腕 3 b は、第 1 面 6 b へ順に重ねて形成された、下部電極 1 1 b、圧電膜 1 4 b、上部電極 1 0 b と、第 2 面 7 b へ順に重ねて形成された、下部電極 1 2 b、圧電膜 1 4 b、上部電極 1 3 b と、を有している。

【 0 0 3 1 】

そして、水晶振動片 1 の表面側には、振動腕 3 a の上部電極 1 0 a から延長し基部 2 の薄部 2 b および主部 2 a の外縁に沿って形成された電極配線 2 2 a と、振動腕 3 c の上部電極 1 0 c から延長し基部 2 の薄部 2 b および主部 2 a の外縁に沿って形成された電極配線 2 2 c と、電極配線 2 2 a と電極配線 2 2 c とに接続して形成された電極端子 2 1 と、が設けられている。これら電極配線 2 2 a、電極端子 2 1 および電極配線 2 2 c は、基部 2 の外縁に沿って U 字状をなして延在している。また、U 字状をなす電極配線 2 2 a、電極端子 2 1 および電極配線 2 2 c の内側には、電極端子 2 0 と振動腕 3 b の上部電極 1 0 b とを接続する電極配線 2 2 b と、が形成されている。このように基部 2 の表面側に形成された電極配線 2 2 a、電極配線 2 2 b、電極配線 2 2 c、電極端子 2 0 および電極端子 2 1 は、上部電極 1 0 a、1 0 b、1 0 c と同じ金属膜で形成されている。

【 0 0 3 2 】

さらに、貫通孔 4 には、金属膜が電極配線 2 2 a から延長して貫通孔 4 の孔壁まで形成されており、同様に、貫通孔 5 には、金属膜が電極配線 2 2 b から延長して貫通孔 5 の孔壁まで形成されている。つまり、貫通孔 4、5 を介して薄部 2 b の表裏を金属膜で接続することができるようになっている。

【 0 0 3 3 】

一方、水晶振動片 1 の裏面側には、振動腕 3 a の上部電極 1 3 a から延長し基部 2 の薄部 2 b の外縁に沿って形成された電極配線 2 3 a と、振動腕 3 c の上部電極 1 3 c から延長し基部 2 の薄部 2 b の外縁に沿って形成された電極配線 2 3 c と、が設けられている。これら電極配線 2 3 a と電極配線 2 3 c とは、薄部 2 b の外縁に沿って U 字状をなして相互に接続されている。また、U 字状をなす電極配線 2 3 a および電極配線 2 3 c の内側には、振動腕 3 b の上部電極 1 3 b から延長する電極配線 2 3 b が形成されている。このように薄部 2 b の裏面側に形成された電極配線 2 3 a、電極配線 2 3 b、電極配線 2 3 c は、上部電極 1 3 a、1 3 b、1 3 c と同じ金属膜で形成されている。

【 0 0 3 4 】

さらに、貫通孔 4 には、金属膜が電極配線 2 3 b から延長して貫通孔 4 の孔壁まで形成されており、同様に、貫通孔 5 には、金属膜が電極配線 2 3 c から延長して貫通孔 5 の孔壁まで形成されている。つまり、貫通孔 4 を介して、薄部 2 b の表面側の電極配線 2 2 a と、薄部 2 b の裏面側の電極配線 2 3 b と、が電氣的に接続されており、貫通孔 5 を介して、薄部 2 b の表面側の電極配線 2 2 b と、薄部 2 b の裏面側の電極配線 2 3 c と、が電氣的に接続されている。

【 0 0 3 5 】

以上説明した構成の水晶振動片 1 について、上部電極 1 0、1 3、圧電膜 1 4、下部電極 1 1、1 2 および電極接続部 1 5 等の形成方法、材質、機能をより詳細に説明する。図 3 は、水晶振動片の製造工程を示すフローチャートである。まず、ステップ S 1 において、水晶基板 3 0 を作成し、続いて、ステップ S 2 において、振動腕 3 が形成される振動腕部の部分を膜化する。ここで、図 4 ( a ) は、水晶基板の振動腕部を膜化した状態を示す斜視図であって、ステップ S 1 および S 2 終了後の水晶基板 3 0 を示している。

【 0 0 3 6 】

この水晶基板 3 0 は、圧電単結晶材である水晶柱から切り出される。水晶柱は、六角柱



であって、柱の長手方向に光軸であるZ軸と、Z軸に垂直な六角形面のX-Y平面において、六角形の辺に平行な電気軸であるX軸と、X軸に垂直な機械軸であるY軸とを有している。このような水晶は、X軸（電気軸）方向に電圧を加えると、加えた電圧の方向に対応してY軸（機械軸）方向に伸びあるいは縮みの現象が生じ、逆に、Y軸（機械軸）方向に引っ張りあるいは圧縮を与えると、X軸（電気軸）方向に電圧が生じる性質を有している。つまり、水晶は、電気的エネルギーと機械的エネルギーとの変換が可能である。水晶のこの性質を有効に利用するため、この場合、水晶柱のX-Y平面において、X軸回りに約1～5度傾けたX-Y'平面に沿って切り出された水晶ウエハ（不図示）からさらに切り出された水晶基板30を用いている。水晶基板30は、X-Y'平面に沿う薄板状で、表裏の方向であるZ'方向に厚さを有している。このように切り出された水晶基板30は、厚さ方向に安定して振動する特性を有している。ステップS2では、水晶基板30の振動腕3を形成する部分を薄く膜化して、薄肉部31が形成されている。薄肉部31の形成後、ステップS3へ進む。

10

20

30

40

50

#### 【0037】

ステップS3において、振動腕3及び外形状を形成する。図4(b)は、振動腕の形成を示す斜視図である。図4(b)に示すように、水晶基板30から水晶振動片1（図1）の外形状が切り出されて形成されると共に、水晶基板30の薄肉部31には、基部2の薄部2bと、3本の振動腕3（3a, 3b, 3c）と、貫通孔4, 5と、が形成される。貫通孔4, 5を含む外形状および振動腕3は、バッファード弗酸（BHF）を用いた異方性エッチングを利用して切り出され、この場合、基部2における主部2aの厚さが50μm、そして、振動腕3の厚さが10μm以下に形成される。そして、直方体柱である振動腕3における基部2と同一面をなす各面が、第1面6（6a, 6b, 6c）であり、基部2の薄部2bと同一面で主部2aに対して段差をなす各面が、第2面7（7a, 7b, 7c）である。なお、ステップS3は、振動腕形成ステップに該当する。振動腕3等の形成後、ステップS4へ進む。

#### 【0038】

ステップS4において、下部電極11, 12となる金属膜を形成する。次いで、ステップS5において、下部電極形成のパターニングを行う。図5(c)は、下部電極の形成を示す斜視図である。図5(c)には、ステップS5で形成が完了した後における、裏面側の下部電極12（12a, 12b, 12c）と、下部電極12から延長した電極接続部15（15a, 15b, 15c）が示されている。なお、図中には下部電極11が記されていないが、表面側には、下部電極12と同様な下部電極11（11a, 11b, 11c）が電極接続部15（15a, 15b, 15c）と接続された状態で形成されている。これら下部電極11, 12および電極接続部15は、この場合、チタン（Ti）が下層膜として形成され、チタン（Ti）に重ねてプラチナ（Pt）が上層膜として形成された2層構造の金属膜である。2層構造の金属膜は、合計0.1μm程度の厚さに形成されている。

#### 【0039】

ここで、下部電極11, 12および電極接続部15を形成する金属膜形成およびパターニングについて簡単に説明する。まず、基部2および振動腕3の全面にチタン（Ti）をスパッタリングにて成膜し、チタン（Ti）に重ねてプラチナ（Pt）を同じくスパッタリングにて成膜する。次に、プラチナ（Pt）の全面にレジスト剤を塗布する。そして、フォトリソグラフィを用いて、下部電極11, 12および電極接続部15の部分にレジストを残した後、ウェットエッチング処理（例えば王水処理）により、レジストが残っている部分以外のチタン（Ti）およびプラチナ（Pt）の成膜を除去し、残っているレジストも除去する。また、上記ウェットエッチング処理の代わりにドライエッチングを用いても良い。こうして、下部電極11, 12および電極接続部15が一体に形成される。これにより、下部電極11と下部電極12とは、電極接続部15を介して相互に電気的な導通が可能に接続（導電接続）されている。これらステップS4およびS5は、下部電極形成ステップに該当する。下部電極11, 12等の形成後、ステップS6へ進む。

#### 【0040】

ステップ S 6 において、圧電膜 1 4 となる配向膜を形成する。次いで、ステップ S 7 において、圧電膜形状のパターニングを行う。図 5 ( d ) は、圧電膜の形成を示す斜視図である。圧電膜 1 4 は、反応性スパッタリングにより、振動腕 3 の下部電極 1 1 および下部電極 1 2 を覆って 0 . 1 ~ 0 . 5  $\mu$  m 程度の厚さで形成されており、この場合、圧電性を有する窒化アルミニウム ( A l N ) である。窒化アルミニウム ( A l N ) は、反応性スパッタリングによる成膜中において、柱状結晶が成長する際に、配向性が揃い、分極反転がし難い特性を有している。そこで、この特性をより活かすため、窒化アルミニウム ( A l N ) が形成される下部電極 1 1 , 1 2 の上層膜として、窒化アルミニウム ( A l N ) の配向性を揃える効果を促しやすいプラチナ ( P t ) を用いている。

尚、プラチナ以外に窒化アルミニウムの配向性を促す可能性のある金属膜としては、A U、A l、A g、C u、M o、C r、N b、W、N i、F e、T i、C o、Z n、Z r、などがある。

#### 【 0 0 4 1 】

圧電膜 1 4 の形成は、まず、振動腕 3 の全面へ、反応性スパッタリングにより窒化アルミニウム ( A l N ) を成膜する。この時、第 1 面 6 の下部電極 1 1 ( 図 1 ( a ) ) を覆って形成される圧電膜 1 4 と、第 2 面 7 の下部電極 1 2 ( 図 1 ( b ) ) を覆って形成される圧電膜 1 4 とは、窒化アルミニウム ( A l N ) の柱状結晶がプラチナ ( P t ) の膜面に対してほぼ垂直な方向へそれぞれ成長する。つまり、下部電極 1 1 へ成膜される窒化アルミニウム ( A l N ) の柱状結晶が成長する方向と、下部電極 1 2 へ成膜される窒化アルミニウム ( A l N ) の柱状結晶が成長する方向とが、振動腕 3 に対して反対方向となっており、配向性も振動腕 3 に対して逆になっている。これにより、振動腕 3 の第 1 面 6 に形成された圧電膜 1 4 と、第 2 面 7 に形成された圧電膜 1 4 とは、振動腕 3 に対して互いに反対の分極方向を有することになる。

#### 【 0 0 4 2 】

そして、下部電極 1 1 , 1 2 を形成する場合と同様に、圧電膜 1 4 のパターニングを行う。即ち、レジストの塗布後、圧電膜 1 4 が下部電極 1 1 , 1 2 のそれぞれを覆って振動腕 3 の周囲にリング状に残るように、不要な窒化アルミニウム ( A l N ) の部分を除去する。窒化アルミニウム ( A l N ) の除去は、強アルカリ水溶液を用いて行い、この場合、水酸化テトラメチルアンモニウム ( T M A H ) を用いた。これらステップ S 6 および S 7 は、圧電膜形成ステップに該当する。圧電膜 1 4 の形成後、ステップ S 8 へ進む。

#### 【 0 0 4 3 】

ステップ S 8 において、上部電極 1 0 , 1 3 となる金属膜を形成する。次いで、ステップ S 9 において、上部電極形成のパターニングを行う。図 6 ( e ) は、裏面側の上部電極の形成を示す斜視図、図 6 ( f ) は、表面側の上部電極の形成を示す斜視図である。ステップ S 8 および S 9 では、表裏の上部電極 1 0 , 1 3 を同時に形成するが、まず、図 6 ( e ) を参照して、裏面側の上部電極 1 3 ( 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c ) の形成について説明する。上部電極 1 3 を形成する際、既に説明した電極配線 2 3 ( 2 3 a , 2 3 b , 2 3 c ) も同時に形成する。これら上部電極 1 3 および電極配線 2 3 は、この場合、クロム ( C r ) が下層膜として形成され、クロム ( C r ) に重ねて金 ( A u ) が上層膜として形成された 2 層構造の金属膜となっている。2 層構造の金属膜は、合計 0 . 1  $\mu$  m 程度の厚さに形成されている。

#### 【 0 0 4 4 】

ここで、上部電極 1 3 において、振動腕 3 a の裏面側に位置する上部電極 1 3 a は、振動腕 3 a の周囲にリング状に形成されている圧電膜 1 4 a の 4 面のうち、第 2 面 7 a に対向する圧電膜面 1 4 a 2 に重ねて形成される。同じく、振動腕 3 b の裏面側に位置する上部電極 1 3 b は、振動腕 3 b の周囲にリング状に形成されている圧電膜 1 4 b の 4 面のうち、第 2 面 7 b に対向する圧電膜面 1 4 b 2 に重ねて形成され、上部電極 1 3 c は、第 2 面 7 c に対向する圧電膜面 1 4 c 2 に重ねて形成される。また、電極配線 2 3 ( 2 3 a , 2 3 b , 2 3 c ) は、基部 2 の薄部 2 b の裏面側に上部電極 1 3 ( 1 3 a , 1 3 b , 1 3 c ) から延長して形成される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 5 】

このような配置の上部電極 1 3 および電極配線 2 3 を形成する金属膜形成およびパターンニングは、まず、基部 2、振動腕 3 および圧電膜 1 4 の全面にクロム ( C r ) をスパッタリングにて成膜し、クロム ( C r ) に重ねて金 ( A u ) を同じくスパッタリングにて成膜する。次に、金 ( A u ) の全面にレジスト剤を塗布する。そして、フォトリソグラフィを用いて、上部電極 1 3 および電極配線 2 3 の部分にのみレジストを残す。その後、ウェットエッチング処理により、レジストが残っている部分以外のクロム ( C r ) および金 ( A u ) の成膜を除去し、残っているレジストも除去する。こうして、上部電極 1 3 および電極配線 2 3 が一体に形成される。なお、ここで、貫通孔 4、5 の孔壁にもクロム ( C r ) と金 ( A u ) の 2 層構造の金属膜を形成しておく。

10

## 【 0 0 4 6 】

次いで、図 6 ( f ) を参照して、表面側の上部電極 1 0 の形成について説明する。上部電極 1 0 ( 1 0 a , 1 0 b , 1 0 c ) を形成する際、既に説明した電極端子 2 0 , 2 1 および電極配線 2 2 ( 2 2 a , 2 2 b , 2 2 c ) も同時に形成する。これら上部電極 1 0、電極端子 2 0 , 2 1 および電極配線 2 2 は、上部電極 1 3 と同様、クロム ( C r ) と金 ( A u ) との 2 層構造の金属膜である。

## 【 0 0 4 7 】

ここで、上部電極 1 0 において、振動腕 3 a の表面側に位置する上部電極 1 0 a は、振動腕 3 a の周囲にリング状に形成されている圧電膜 1 4 a の 4 面のうち、第 1 面 6 a に対向する圧電膜面 1 4 a 1 に重ねて形成される。同じく、振動腕 3 b の表面側に位置する上部電極 1 0 b は、第 1 面 6 b に対向する圧電膜面 1 4 b 1 に重ねて形成され、上部電極 1 0 c は、第 1 面 6 c に対向する圧電膜面 1 4 c 1 に重ねて形成される。また、電極端子 2 0 , 2 1 および電極配線 2 2 は、基部 2 の主部 2 a および薄部 2 b の表面側に上部電極 1 0 から延長して形成される。

20

## 【 0 0 4 8 】

このような配置の上部電極 1 0、電極端子 2 0 , 2 1 および電極配線 2 2 は、上部電極 1 3 および電極配線 2 3 の形成と同時に、スパッタリングによる金属膜形成、フォトリソグラフィ、酸処理によるパターンニングを行い、一体に形成される。この時、貫通孔 4 には、クロム ( C r ) および金 ( A u ) の金属膜が電極配線 2 2 a と電極配線 2 3 b とから延長して、貫通孔 4 の孔壁まで形成されており、同様に、貫通孔 5 には、金属膜が電極配線 2 2 b と電極配線 2 3 c とから延長して貫通孔 5 の孔壁まで形成されている。

30

## 【 0 0 4 9 】

これにより、水晶振動片 1 の表面側の上部電極 1 0 a、電極配線 2 2 a、電極端子 2 1、電極配線 2 2 c、上部電極 1 0 c と、裏面側の電極配線 2 3 b、上部電極 1 3 b と、が貫通孔 4 を介して金属膜で接続されている。また、水晶振動片 1 の表面側の上部電極 1 0 b、電極配線 2 2 b、電極端子 2 0 と、裏面側の上部電極 1 3 c、電極配線 2 3 c、電極配線 2 3 a、上部電極 1 3 a と、が貫通孔 5 を介して金属膜で接続されている。これらステップ S 8 および S 9 は、上部電極形成ステップに該当する。上部電極 1 0 , 1 3 等の形成後、フローが終了する。

## 【 0 0 5 0 】

40

次に、水晶振動片 1 が屈曲振動する原理について説明する。図 7 ( a ) は、圧電膜の分極方向と上部電極および下部電極の配線を示す模式図、図 7 ( b ) は、水晶振動片の屈曲方向を示す斜視図である。図 7 ( a ) は、水晶振動片 1 の振動腕 3 における圧電膜 1 4 の形成部を、X 軸方向に沿って切断した断面を示している。図 7 ( a ) および図 7 ( b ) に示すように、振動腕 3 にそれぞれ形成された圧電膜 1 4 は、振動腕 3 の表面側と裏面側とで逆方向の配向性を有し、分極方向も異なっている。振動腕 3 a の表面側に形成されている圧電膜 1 4 a は、例えば、無負荷状態に於いて圧電膜中の自発分極が図中の上向きであるような分極方向 P 1 を有している。一方、振動腕 3 a の裏面側に形成されている圧電膜 1 4 a は、同じく無負荷状態での圧電膜中の自発分極が図中の下向きである分極方向 P 2 であって、分極方向 P 1 と反対の分極方向を有している。振動腕 3 b , 3 c においても、

50

表面側と裏面側との圧電膜 14 は、互いに反対の分極方向を有している。

【0051】

そして、水晶振動片 1 には、電極端子 20 または電極端子 21 から駆動電圧が印加される。例えば、電極端子 21 から電極端子 20 へ駆動電圧が印加されると、振動腕 3a において、表面側の上部電極 10a へまず印加され、以下順に、表面側の圧電膜 14a、下部電極 11a、電極接続部 15a、下部電極 12a、裏面側の圧電膜 14a、上部電極 13a を直列接続した状態で、電極端子 20 に至る。上部電極 13a から電極端子 20 へは、電極配線 23a、電極配線 23c (図 1)、貫通孔 5 および電極配線 22b を経て至る。同様に、振動腕 3c において、電極端子 21 から表面側の上部電極 10c へまず印加され、以下順に、表面側の圧電膜 14c、下部電極 11c、電極接続部 15c、下部電極 12c、裏面側の圧電膜 14c、上部電極 13c を直列接続した状態で、電極配線 23c、貫通孔 5 および電極配線 22b を経て電極端子 20 に至る。一方、振動腕 3b においては、電極端子 21 から電極配線 22a、貫通孔 4 および電極配線 23b を経て、裏面側の上部電極 13b へまず印加され、以下順に、裏面側の圧電膜 14b、下部電極 12b (図 1)、電極接続部 15b、下部電極 11b、表面側の圧電膜 14b、上部電極 10b を直列接続した状態で、電極配線 22b を経て電極端子 20 に至る。

10

【0052】

表面側に形成された圧電膜 14a の分極方向 P1 と、裏面側に形成された圧電膜 14a の分極方向 P2 とは、振動腕 3 に対して互いに反対の分極方向を有している。このような印加状態では、振動腕 3a において、反対の分極方向である、表面側の圧電膜 14a と裏面側の圧電膜 14a とに、表面側から裏面側の方向へ、同方向の駆動電流が印加されるため、両方の圧電膜 14a には、共に、表面側から裏面側の方向へ向いた電界 Q1 が生じる。これにより、分極方向 P1 と電界 Q1 とが反対の方向である表面側の圧電膜 14a は、電界 Q1 による電界効果によって伸張し、分極方向 P2 と電界 Q1 とが同一の方向である裏面側の圧電膜 14a は、電界 Q1 による電界効果によって圧縮する。この伸張および圧縮により、振動腕 3a は、裏面側の方向 A へ屈曲する。同様に、振動腕 3c も裏面側の方向 A へ屈曲する。一方、振動腕 3b において、反対の分極方向の表面側の圧電膜 14b と裏面側の圧電膜 14b とに、裏面側から表面側の方向へ、同方向の駆動電流が印加されるため、両方の圧電膜 14b には、共に、裏面側から表面側の方向へ向いた電界 Q2 が生じる。これにより、分極方向 P1 と電界 Q2 とが同一の方向である表面側の圧電膜 14b は、電界 Q2 による電界効果によって圧縮し、分極方向 P2 と電界 Q2 とが反対の方向である裏面側の圧電膜 14b は、電界 Q2 による電界効果によって伸張する。この圧縮および伸張により、振動腕 3b は、表面側の方向 B へ屈曲する。即ち、隣り合って位置する振動腕 3 は、互いに逆の位相で屈曲し、いわゆる面外振動をする。

20

30

【0053】

また、電極端子 20 および電極端子 21 へ印加する駆動電流の方向を変えると、振動腕 3 は、それぞれ逆方向へ屈曲する。つまり、印加する駆動電流の方向を交互に変えることにより、水晶振動片 1 は、振動腕 3 が屈曲を繰り返し、安定した振動をすることが可能である。

【0054】

以下、実施形態で説明した、屈曲振動片としての水晶振動片 1 における効果をまとめて記載する。

40

【0055】

(1) 水晶振動片 1 は、振動腕 3 が屈曲振動する方向へ向いて配置された第 1 面 6 および第 2 面 7 に圧電膜 14 を備え、これら圧電膜 14 は、振動腕 3 に対して反対方向の配向性を有するように成膜され、互いに反対の分極方向を有している。そのため、水晶振動片 1 は、振動腕 3 の表裏の圧電膜 14 に同じ方向の電界を生じさせ、さらに、その電界の方向を交互に変えることにより振動腕 3 を屈曲振動させることができる。このように、圧電膜 14 に同方向の電界を生じさせるため、各圧電膜 14 は、振動腕 3 の反対面側の電界による影響を受けたとしても、影響を受けた圧電膜 14 の圧縮または伸張が阻害されない。

50

つまり、水晶振動片 1 は、振動特性を維持しつつ、振動腕 3 をより薄く膜化することができ、さらなる小型化が可能である。

【0056】

(2) 水晶振動片 1 の振動腕 3 における駆動電流は、下部電極 11 と下部電極 12 とが電極接続部 15 で接続されているため、第 1 面 6 の上部電極 10 から第 2 面 7 の上部電極 13 の順、あるいはこの逆順の経路により直列的に印加される。また、下部電極 11, 12 および電極接続部 15 は、振動腕 3 の周囲へ同時に一体形成することができ、導電接続のために配線を長く引き回す必要がない。そして、振動腕 3 には、上部電極 10, 13 からそれぞれ延長する配線が、第 1 面 6 の側および第 2 面 7 の側へ貫通孔 4, 5 を介して、簡便に設けられている。このように、水晶振動片 1 は、駆動電流の印加用の配線が複雑に隣接または交差しておらず、配線を容易に形成できる。これにより、水晶振動片 1 は、小型化されても寄生容量の増大やクロストーク等の発生を抑制することができる。また、特許文献 2 では、水晶振動片の振動腕の片面のみに圧電膜を形成しているため、圧電膜の成膜後に振動腕に強い応力がかかり、振動腕に亀裂が生じ破損する場合があったが、本願発明では、水晶振動片 1 の振動腕 3 の両面に圧電膜 14 を形成しており、圧電膜による応力は表裏面で互いに相殺されるので、製造プロセス中に振動腕が破損することを低減できる。

10

【0057】

(3) 水晶振動片 1 は、3 本の振動腕 3a, 3b, 3c を備え、それらの配列方向は、振動腕 3 が屈曲振動する方向と交差する方向に沿っている。振動腕 3 の隣り合うそれぞれは、互いに逆の位相、即ち、反対の方向へ屈曲して振動するため、水晶振動片 1 は、複数の振動腕 3 のバランスがとれて、振動漏れの少ないより安定した振動を維持することができる。

20

【0058】

また、屈曲振動片および屈曲振動片の製造方法は、上記の実施形態における水晶振動片 1 に限定されるものではなく、次に挙げる変形例のような形態であっても、実施形態と同様な効果が得られる。

【0059】

(変形例 1) 水晶振動片 1 は、3 本の振動腕 3a, 3b, 3c を備えて、いわゆる面外振動をするが、これに限定されるものではなく、3 本以外の振動腕 3 を備える形態の振動片であっても良く、さらに、面外振動ではなく、振動腕がその振動方向に沿って配置される面内振動をする形態であっても良い。

30

【0060】

(変形例 2) 水晶振動片 1 の下部電極 11, 12 は、窒化アルミニウム (AlN) の配向性を促すため、チタン (Ti) およびプラチナ (Pt) の 2 層構造の金属膜であるが、窒化アルミニウム (AlN) の配向性を促すものであれば、これに限定されることなく、チタン (Ti) の単層構造の金属膜等であっても良い。

【0061】

(変形例 3) 水晶振動片 1 の圧電膜 14 は、反応性スパッタリングにより形成された窒化アルミニウム (AlN) であるが、これに限定されるものではなく、例えば、圧電性を有する酸化亜鉛 (ZnO) 等であっても良い。さらに、圧電膜 14 と上部電極 10, 13 の間に、絶縁性を高めるために絶縁膜 (或いは保護膜) を挿入しても良い。具体的には酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>)、窒化シリコン (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>)、アルミナ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) を絶縁層として成膜する。これら絶縁膜は固有振動周波数の温度特性制御に用いられる場合もある。

40

【0062】

(変形例 4) そして、圧電膜 14 が酸化亜鉛 (ZnO) の場合、酸化亜鉛 (ZnO) の配向性を促すため、下部電極 11, 12 として、クロム (Cr) が下層膜として形成され、クロム (Cr) に重ねて金 (Au) が上層膜として形成された 2 層構造の金属膜、あるいは、チタン (Ti) が下層膜として形成され、チタン (Ti) に重ねて金 (Au) が上層膜として形成された 2 層構造の金属膜を用いることが望ましい。そして、上部電極 10

50

、13としては、クロム（Cr）が下層膜として形成され、クロム（Cr）に重ねて金（Au）が上層膜として形成された2層構造の金属膜、あるいは、アルミニウム（Al）の単層金属膜を用いることが望ましい。

#### 【0063】

（変形例5）屈曲振動片は、水晶振動片1のような水晶を用いたものに限定されることなく、ニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）、チタン酸ジルコン鉛（PZT）等の圧電体や、シリコン等の半導体であっても良い。但し、屈曲振動片の共振周波数は屈曲振動片材のヤング率を質量密度で除した値の平方根に比例し、ヤング率を質量密度で除した値が小さい材料ほど、屈曲振動片の小型化にとって、より有利である。

#### 【0064】

（変形例6）屈曲振動片は、水晶振動片1のように、振動腕の第1面および第2面にそれぞれ形成された下部電極同士及び上部電極同士が、電気的な接続がなされて相互に導電接続されたものに限定されることなく、振動腕の第1面の側に形成された上部電極と第2面の側に形成された下部電極同士を導電接続し、第1面の側に形成された下部電極と第2面の側に形成された上部電極同士を導電接続したものでも良い。また、水晶振動片1のように、上部電極10a、表面側の圧電膜14a、下部電極11a、電極接続部15a、下部電極12a、裏面側の圧電膜14a、上部電極13aを直列接続した状態に限らず、下部電極と上部電極とを並列接続した構成でも構わない。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0065】

屈曲振動片としての水晶振動片1は、振動腕3に対して分極方向の異なっている圧電膜14を振動腕3の表裏に備え、それぞれの圧電膜14が直列に接続されているため、配線を簡略化でき、クロストークの抑制および小型化を図ることができる。この特徴により、水晶振動片1は、タイミングデバイス等として、デジタル携帯電話、パーソナルコンピューター、電子時計、ビデオレコーダー、テレビなどの電子機器に広く用いられる。そして、この水晶振動片1をパッケージ化した水晶振動子、水晶振動片1と水晶振動片1を駆動させる半導体素子を備えた屈曲振動デバイス等も小型化が可能であり、搭載される電子機器の小型化に貢献することができる。

#### 【符号の説明】

#### 【0066】

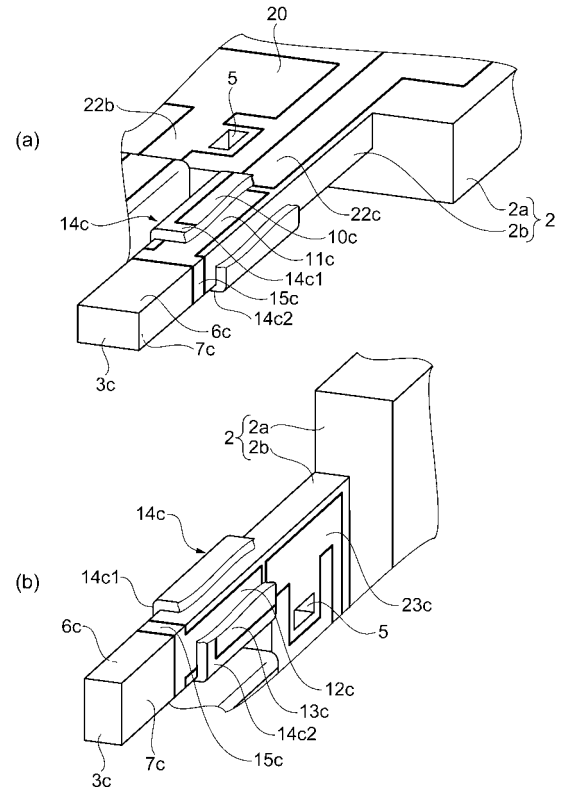
1...屈曲振動片としての水晶振動片、2...基部、3...振動腕、4, 5...貫通孔、6...第1面、7...第2面、10, 13...上部電極、11, 12...下部電極、14...圧電膜、15...電極接続部、20, 21...電極端子、22, 23...電極配線、P...分極方向、Q...電界方向。

10

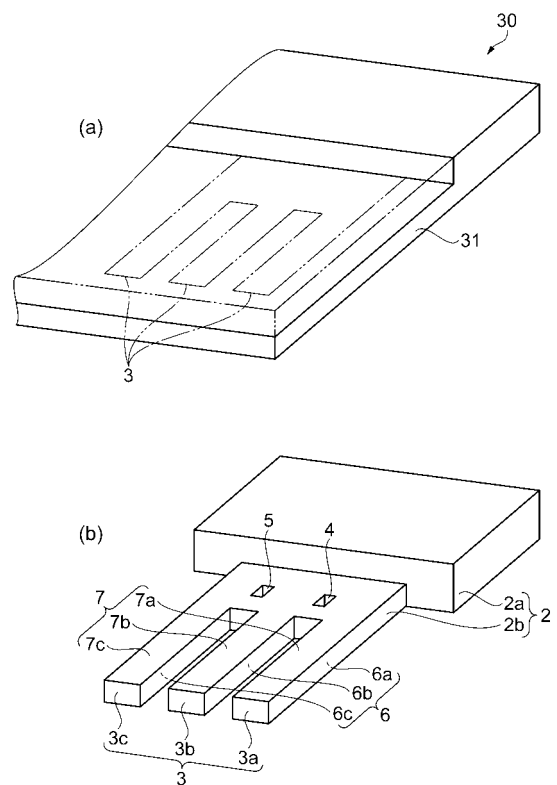
20

30

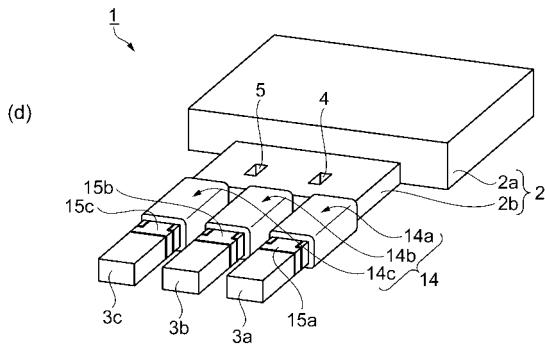
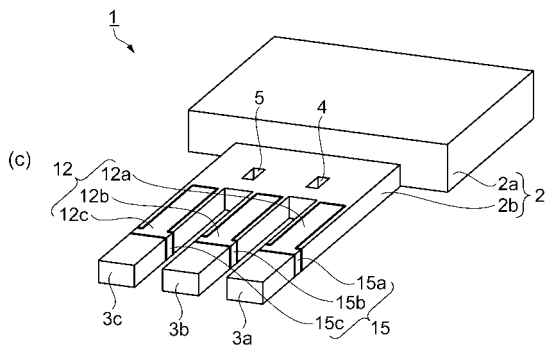
【 図 2 】



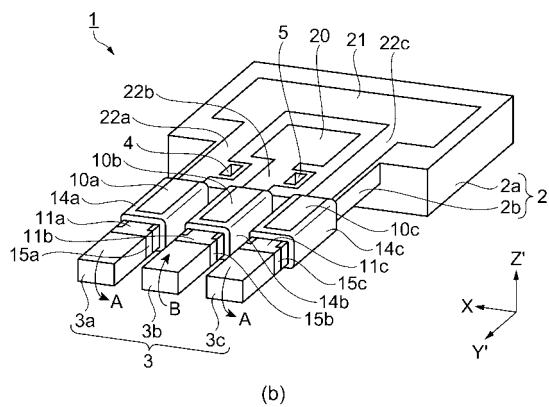
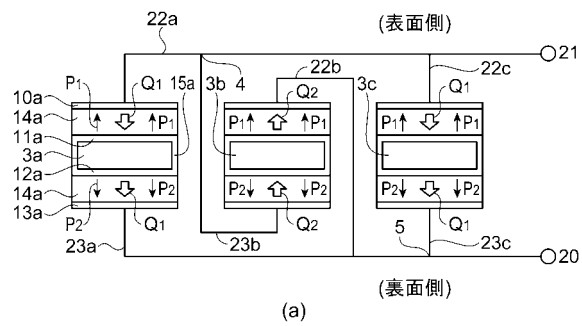
【 図 4 】



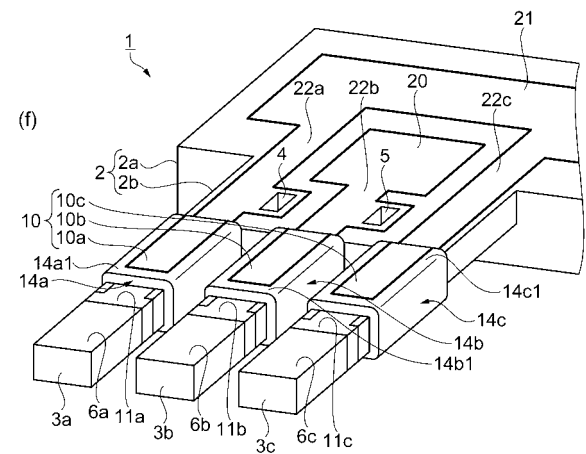
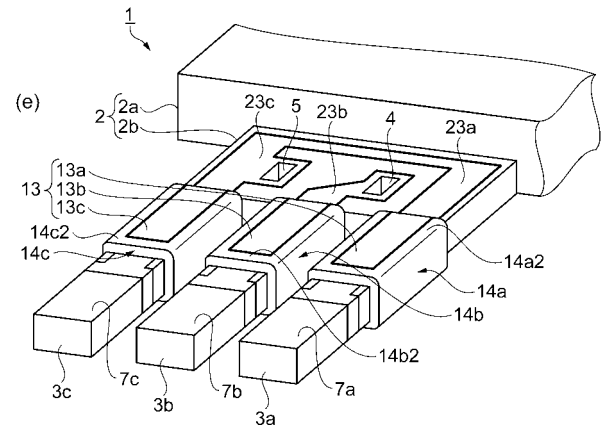
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】





---

フロントページの続き

| (51)Int.Cl.          |                  | F I           |         | テーマコード ( 参考 ) |
|----------------------|------------------|---------------|---------|---------------|
| <i>H 0 1 L 41/18</i> | <i>(2006.01)</i> | H 0 1 L 41/18 | 1 0 1 Z |               |
| <i>H 0 1 L 41/22</i> | <i>(2006.01)</i> | H 0 1 L 41/22 | Z       |               |