

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5034541号  
(P5034541)

(45) 発行日 平成24年9月26日 (2012. 9. 26)

(24) 登録日 平成24年7月13日 (2012. 7. 13)

(51) Int. Cl.	F I
<b>H03H 9/17 (2006.01)</b>	H03H 9/17 E
<b>H03H 3/02 (2006.01)</b>	H03H 3/02 B
<b>H03B 5/30 (2006.01)</b>	H03B 5/30 B
<b>H01L 41/09 (2006.01)</b>	H01L 41/08 C
<b>H01L 41/18 (2006.01)</b>	H01L 41/18 1 O 1 A
請求項の数 3 (全 18 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2007-34392 (P2007-34392)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成19年2月15日 (2007. 2. 15)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2008-199439 (P2008-199439A)		東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号
(43) 公開日	平成20年8月28日 (2008. 8. 28)	(74) 代理人	100095728
審査請求日	平成22年1月28日 (2010. 1. 28)		弁理士 上柳 雅誉
		(74) 代理人	100127661
			弁理士 宮坂 一彦
		(72) 発明者	古畑 誠
			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
		審査官	橋本 和志
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 圧電振動子、発振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基部と、

前記基部から伸長する振動腕と、を有し、

前記振動腕は、第 1 面と、該第 1 面に対向する第 2 面と、前記第 1 面の端部と前記第 2 面の端部とを連結する側面と、を有し、

前記第 1 面および前記第 2 面には、前記振動腕の前記伸長する方向に第 1 電極が形成され、

前記側面には、前記振動腕の前記伸長する方向に第 2 電極が形成され、

前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面上には、圧電体層と該圧電体層上に形成された第 3 電極とを含む積層部が形成され、

前記積層部は前記第 1 電極と並列に配置され、

前記第 1 電極と前記第 2 電極とは極性が異なり、前記第 1 電極と前記第 3 電極とは極性が同じであることを特徴とする圧電振動子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧電振動子において、

前記振動腕は、第 1 振動腕および第 2 振動腕を備え、

前記第 1 振動腕および前記第 2 振動腕は、前記基部から並列に伸長し、且つ電極配置が互いに同じであり、

前記第 1 振動腕の前記第 1 電極と、前記第 1 振動腕の前記第 3 電極と、前記第 2 振動腕

10

20

の前記第 2 電極と、を互いに接続し、

前記第 1 振動腕の前記第 2 電極と、前記第 2 振動腕の前記第 1 電極と、前記第 2 振動腕の前記第 3 電極と、を互いに接続することを特徴とする圧電振動子。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の圧電振動子と、前記圧電振動子に接続される増幅回路と、を備えた発振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電体薄膜からなる圧電体薄膜素子を有する圧電振動子と、圧電振動子の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、電子機器等に搭載される時間標準やセンサとして低周波の圧電振動子が用いられている。電子機器の小型化に対応してこれらの圧電振動子の小型化が要求されている。

圧電振動子を単純に小型化していくと C I 値が上昇し Q 値が低下する。C I 値を上昇させない構造としては、振動片に圧電体膜を形成し、この圧電体膜を駆動する方法がある。具体的には、シリコンからなる音叉の振動腕の主面上の中心線より内側及び外側に第 1、第 2 の電極と、これら電極上にそれぞれ設けられた第 1、第 2 の圧電体膜と、これら圧電体膜上のそれぞれに設けられた第 3、第 4 の電極とを備え、第 3、第 4 の電極に互いに逆相の交流電圧を印加することにより音叉が屈曲振動する薄膜微小機械式共振子が提案されている（例えば、特許文献 1 参照）。

【0003】

【特許文献 1】特開 2003 - 227719 号公報（第 9 頁、図 1、2）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述した特許文献 1 では、圧電体膜を電極で挟み込んだ形態で電極に電圧を印加して音叉を励振している。このような構造では、音叉を駆動する駆動力を得るために圧電体膜の厚さを数  $\mu\text{m}$  程度にしなければならず、コンデンサ容量が大きくなり、常に信号を発生させるクロック信号用途等では、消費電力が大きくなってしまいうという課題を有している。

【0005】

また、圧電体膜を用いる振動子あるいは共振子の振動性能は、圧電体膜の結晶性が良好なほどよく、成膜温度が高いほど良好な結晶性が得られる。しかしながら、単純に圧電体膜をシリコン表面に形成する方法では圧電体膜が均一で良好な結晶性が得られず、また、高温にする場合には、音叉や電極等の材質が制約を受けるといような課題もある。

【0006】

本発明の目的は、小型で消費電力が小さく周波数温度変化量が小さい高精度の圧電振動子と、良好な結晶性を有する圧電体薄膜を有する圧電振動子の製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の圧電振動子は、基部と、該基部から平行に延在される少なくとも一対の振動腕と、前記一対の振動腕それぞれの主面または側面に互いに異極となる励振電極と、を有する圧電振動片と、前記一対の振動腕それぞれの対向する主面または側面の少なくとも一つの表面に設けられる圧電体薄膜と該圧電体薄膜の表面に形成される電極とを有する圧電体薄膜素子と、が備えられ、前記圧電振動片と前記圧電体薄膜素子とが直列接続されていることを特徴とする。また、ある実施形態では、基部と、前記基部から伸長する振動腕と、を有し、前記振動腕は、第 1 面と、該第 1 面に対向する第 2 面と、前記第 1 面の端部と前

10

20

30

40

50

記第 2 面の端部とを連結する側面と、を有し、前記第 1 面および前記第 2 面には、前記振動腕の前記伸長する方向に第 1 電極が形成され、前記側面には、前記振動腕の前記伸長する方向に第 2 電極が形成され、前記第 1 面および前記第 2 面の少なくとも一方の面上には、圧電体層と該圧電体層上に形成された第 3 電極とを含む積層部が形成され、前記積層部は前記第 1 電極と並列に配置され、前記第 1 電極と前記第 2 電極とは極性が異なり、前記第 1 電極と前記第 3 電極とは極性が同じであることを特徴とする。また、前記振動腕は、第 1 振動腕および第 2 振動腕を備え、前記第 1 振動腕および前記第 2 振動腕は、前記基部から並列に伸長し、且つ電極配置が互いに同じであり、前記第 1 振動腕の前記第 1 電極と、前記第 1 振動腕の前記第 3 電極と、前記第 2 振動腕の前記第 2 電極と、を互いに接続し、前記第 1 振動腕の前記第 2 電極と、前記第 2 振動腕の前記第 1 電極と、前記第 2 振動腕の前記第 3 電極と、を互いに接続することを特徴とする。また、前記圧電振動子と、前記圧電振動子に接続される増幅回路と、を備えた発振器としても良い。

10

#### 【0008】

この発明によれば、圧電振動片と圧電体薄膜からなる圧電体薄膜素子とを直列に接続し、圧電振動片と圧電体薄膜素子とを同一励振信号で励振することから、圧電振動片と圧電体薄膜素子とが相互に振動を補完し合うことによって、低周波領域において圧電振動子の小型化を実現できる。また、前記圧電振動子を用いれば、小型で且つ低消費電力の発振器を構成することができる。

#### 【0009】

また、圧電振動片と圧電体薄膜素子とを直列に接続していることから、圧電振動片と圧電体薄膜素子との総合コンデンサ容量を小さくすることができ、このことから消費電力を増加させずに、圧電振動子の小型化を図ることができる。

20

#### 【0010】

また、前記圧電体薄膜のコンデンサ容量が前記圧電振動片のコンデンサ容量よりも大きいことが好ましい。

#### 【0011】

本発明では、圧電振動片と圧電体薄膜素子とを直列に接続している。ここで、圧電振動片のコンデンサ容量を  $C_q$ 、圧電体薄膜のコンデンサ容量を  $C_z$  で表すと、圧電振動子のコンデンサ容量  $C$  は、 $1/C = 1/C_q + 1/C_z$  で表される。ここで、 $C_z > C_q$  とし、その差を十分大きくすれば、 $C \approx C_q$  と考えることができる。このことから、圧電振動子コンデンサ容量  $C$  を小さくすることができ、消費電力を増加させずに、水晶振動子の小型化を実現できる。

30

#### 【0012】

また、前記圧電振動片が、水晶からなることが好ましい。

#### 【0013】

水晶からなる圧電振動片は周波数温度特性に優れているため、補完的に圧電体薄膜を用いる構造であっても、水晶が本来有する優れた周波数温度特性を活用できる。

#### 【0014】

また、前記一対の振動腕が、水晶の Y 軸方向に沿って延在され、前記対向する主面の一方が水晶の X 軸方向に 2 分され、前記圧電体薄膜素子が、2 分された主面の水晶の結晶軸方向側に設けられていることが好ましい。

40

#### 【0015】

前述したように、圧電振動片と圧電体薄膜素子とを直列に接続し、圧電体薄膜素子を水晶の結晶軸方向側に配設することにより、圧電振動片と圧電体薄膜素子の振動モードが一致し、圧電振動片と圧電体薄膜素子とが相互に振動を補完し合うことができる。

#### 【0016】

また、前記一対の振動腕が、水晶の Y 軸方向に沿って延在され、前記対向する主面の両方が水晶の X 軸方向に 2 分され、前記圧電体薄膜素子が、2 分された前記対向する主面それぞれの水晶の結晶軸方向側に設けられていることが好ましい。

#### 【0017】

50

圧電振動片の表裏両面に圧電体薄膜素子を設けることにより、圧電振動片と圧電体薄膜素子とが相互により一層強く振動を補完し合うことができる。また、一方の主面（表裏面のどちらか一方）に圧電体薄膜素子を設ける構造よりも振動バランスをとることができる。

【 0 0 1 8 】

また、前記一対の振動腕が、水晶の Y 軸方向に沿って延在され、前記対向する主面の両方が水晶の X 軸方向に 2 分され、前記圧電体薄膜素子が、2 分された前記対向する主面それぞれの水晶の結晶軸方向に水晶の結晶軸方向側と、水晶の結晶軸方向とは反対側の側面と、に設けられていることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

このようにすれば、水晶の厚さ方向（Z 軸方向）にも圧電体薄膜素子を設けることにより、さらに強く相互に振動を補完し合うことができ、圧電振動子の振動効率を高めることができる。

【 0 0 2 0 】

また、前記振動腕にバランス質量が付加されていることが好ましい。

【 0 0 2 1 】

振動腕の表面に圧電体薄膜素子を設けることにより、振動のバランスが僅かではあるがくずれることが予測される。そこで、圧電体薄膜素子に対応したバランス質量を付加することにより、振動腕の振動バランスをとり、高精度な振動特性を維持することができる。

【 0 0 2 2 】

前記バランス質量が、前記圧電体薄膜と同材質で形成されていることが望ましい。

【 0 0 2 3 】

このようにすれば、バランス質量を圧電体薄膜と同じ工程で形成することができるので、高精度のバランス質量を付加することができる。また、圧電体薄膜形成設備を使用することが可能である。

【 0 0 2 4 】

また、本発明の圧電振動子の製造方法は、圧電基板の表面に第 1 圧電体薄膜を形成する工程と、前記第 1 圧電体薄膜を熱処理する工程と、熱処理された前記第 1 圧電体薄膜の表面に、前記第 1 圧電体薄膜と同一材料の第 2 圧電体薄膜を積層して圧電体薄膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 5 】

圧電体薄膜を用いる振動子あるいは共振子の振動性能は、圧電体薄膜の結晶性が良好なほどよい。そこで、第 1 圧電体薄膜を熱処理し、前記第 1 圧電体薄膜の表面に、前記第 1 圧電体薄膜と同一材料の第 2 圧電体薄膜を形成することにより、良好な結晶性が得られ、優れた振動性能を得ることができる。

【 0 0 2 6 】

また、本発明の圧電振動子の製造方法は、圧電基板の表面に Pt または Ti の少なくとも一方の金属薄膜を形成する工程と、前記金属薄膜の表面に圧電体薄膜を形成する工程と、を含むことを特徴とする。

【 0 0 2 7 】

圧電基板の表面に Pt または Ti の金属膜を形成することで、圧電体薄膜の結晶性を高めることができる。ここで、金属膜としては、Pt または Ti の一層でもよく、Ti と Pt の積層構造としてもよい。なお、金属膜は、電気的にはフローティングである。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 8 】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

図 1 ~ 図 5 は、本発明の実施形態 1 に係る圧電振動子と製造方法を示し、図 7 , 8 は実施形態 2、図 9 , 10 は実施形態 3、図 11 は実施形態 4 を示している。なお、以下の説明で参照する図は、図示の便宜上、部材ないし部分の縦横の縮尺は実際のものとは異なる模式図である。

10

20

30

40

50

## (実施形態1)

## 【0029】

図1は、本発明の実施形態1に係る圧電振動子の構造を示す斜視図、図2は、図1のA-A切断面を示す断面図及び各電極の接続説明図である。なお、本発明の圧電振動子の材質としては、圧電性能を有するものであれば適合できるが、以下の実施形態では、圧電振動子として水晶振動子を例示して説明する。図1、図2において、水晶振動子10は、水晶振動片20の表面に複数の電極と圧電体薄膜素子100、101とを有して構成されている。

## 【0030】

水晶振動片20は、基部21の一辺から、Y軸方向に平行に延在された一对の振動腕30、40を有した音叉型振動子である。そして、基部21の振動腕30、40の延在方向とは逆方向に支持部22が設けられている。振動腕30、40は、中心線C<sub>0</sub>に対して対称形である。また、水晶振動片20は、結晶軸方向をX軸方向にして切り出されている。

## 【0031】

振動腕30には、一方の主面(第1面)31(以降、表面31と表す)を2分し、振動腕30の中心線C<sub>1</sub>に対して結晶軸方向(振動腕の内側方向、または第1領域)に圧電体薄膜(圧電体層)71、外側方向(または、第2領域)に電極(第1電極)51が形成され、表面31に対向する主面(第2面)32(以降、裏面32と表す)に電極(第1電極)53が形成されている。なお、電極53は、圧電体薄膜71及び電極51に対向するように2分割する構成としてもよく、省略することもできる。また、振動腕30の外側側面33には電極(第2電極)52が、内側側面34には電極(第2電極)54が形成されている。さらに、圧電体薄膜71の表面には、電極(第3電極)55が形成されている。

## 【0032】

振動腕40には、一方の主面(第1面)41(以降、表面41と表す)を2分し、振動腕40の中心線C<sub>2</sub>に対して結晶軸方向(振動腕の外側方向、または第2領域)に圧電体薄膜(圧電体層)72、内側方向(または、第1領域)に電極(第1電極)56が形成され、他方の主面(第2面)42(以降、裏面42と表す)に電極(第1電極)58が形成されている。なお、電極58は、圧電体薄膜71及び電極56に対向するように2分割する構成としてもよく、省略してもよい。また、振動腕40の外側側面43には電極(第2電極)59が、内側側面44には電極(第2電極)57が形成されている。さらに、圧電体薄膜72の表面には、電極(第3電極)60が形成されている。

## 【0033】

圧電体薄膜71、72の材料としては、ZnO、AlN、GaN、PZT(登録商標)、KN、LN、LT等から選択することができ、本実施形態では、水晶よりも誘電率が大きく、しかもその差が大きい材料、ヤング率が大きい材料、電気機械結合係数K<sup>2</sup>が大きい材料を選択する。

## 【0034】

電極55、51、53、57、59及び接続端子93は、接続電極91によって接続される。また、これらの電極とは互いに異極となる電極52、54、58、60、56及び接続端子94は、接続電極92によって接続されている。そして、接続端子93、94にそれぞれ互いに逆相の交流電圧を印加することで、振動腕30、40がX軸方向に屈曲振動する。従って、電極51～60は、水晶振動片20の励振電極である。

## 【0035】

図3は、水晶振動子を特定の振動モードで励振する発振回路に接続した状態を示す等価回路図である。図3において、発振回路80は、増幅回路81と帰還回路82とを含んでいる。

## 【0036】

増幅回路81は、増幅器83と帰還抵抗84とを含んで構成されている。帰還回路82は、ドレイン抵抗85とコンデンサ86、87と水晶振動子10を含んで構成されている。水晶振動子10は、水晶振動片20と圧電体薄膜素子100、101とが直列に接続さ

10

20

30

40

50

れている（図 2 も参照する）。

【 0 0 3 7 】

ここで、増幅器 8 3 は C M O S インバータを用いることができる。このような構成により、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 とが同一振動モードで振動する発振器 8 0 を形成することができる。

【 0 0 3 8 】

続いて、本実施形態に係る水晶振動子の駆動について図面を参照して説明する。

図 4、図 5 は、水晶振動子の駆動について模式的に示す説明図である。なお、図 4、図 5 は、図 1 の A - A 切断面を表している。

図 4 ( a ) を参照して第 1 の状態を説明する。電極 5 1 , 5 3 , 5 5 , 5 7 , 5 9 には  
10 マイナス ( - ) 電位を印加し、電極 5 2 , 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 にはプラス ( + ) 電位を印加する。ここで、振動腕 3 0 , 4 0 の水晶の結晶軸方向を矢印 D で表し、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の分極方向を矢印 P<sub>0</sub> で表している。

【 0 0 3 9 】

まず、振動腕 3 0 について説明すると、圧電体薄膜 7 1 は、電極 5 5 と電極 5 4 によって挟まれた圧電体薄膜素子 1 0 0 が形成された状態であり（水晶を一部介在する）、電極 5 5 にマイナス電位、電極 5 4 にプラス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に縮み、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に伸びる。

【 0 0 4 0 】

従って、圧電体薄膜 7 1 は、水晶の結晶軸方向の偏った位置に設けられているために、  
20 振動腕 3 0 を矢印 F<sub>1</sub> 方向に変位しようとする。振動腕 3 0 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印 F<sub>1</sub> 方向に変位しようとするため、振動腕 3 0 は圧電体薄膜素子 1 0 0 と共に、矢印 F<sub>1</sub> 方向に変位する。

【 0 0 4 1 】

次に、振動腕 4 0 について説明する。圧電体薄膜 7 2 は、電極 6 0 と電極 5 9 によって挟まれた圧電体薄膜素子 1 0 1 が形成された状態であり（水晶を一部介在する）、電極 6 0 にプラス電位、電極 5 9 にマイナス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に伸び、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に縮む。

【 0 0 4 2 】

従って、圧電体薄膜 7 2 は、水晶の結晶軸方向の偏った位置に設けられているために、  
30 振動腕 4 0 を矢印 F<sub>2</sub> 方向に変位しようとする。振動腕 4 0 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印 F<sub>2</sub> 方向に変位しようとするため、振動腕 4 0 は圧電体薄膜素子 1 0 1 と共に、矢印 F<sub>2</sub> 方向に変位する。

このようにして、振動腕 3 0 , 4 0 は共に、図 4 ( b ) に示すように外側方向に変位する。

【 0 0 4 3 】

次に、図 5 ( a ) を参照して第 2 の状態を説明する。第 2 の状態は、上述した第 1 の状態に対して、各電極に逆相の電圧を印加した状態を示している。つまり、電極 5 1 , 5 3 , 5 5 , 5 7 , 5 9 にはプラス ( + ) 電位を印加し、電極 5 2 , 5 4 , 5 6 , 5 8 , 6 0 にはマイナス ( - ) 電位を印加する。  
40

【 0 0 4 4 】

まず、振動腕 3 0 について説明する。電極 5 5 にマイナス電位、電極 5 4 にプラス電位を印加すると、圧電体薄膜 7 1 は厚さ ( Z 軸 ) 方向に伸び、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に縮む。

【 0 0 4 5 】

従って、圧電体薄膜 7 1 は、振動腕 3 0 を矢印 F<sub>3</sub> 方向に変位しようとする。振動腕 3 0 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印 F<sub>3</sub> 方向に変位しようとするため、振動腕 3 0 は圧電体薄膜素子 1 0 0 と共に、矢印 F<sub>3</sub> 方向に変位する。

【 0 0 4 6 】

次に、振動腕 40 について説明する。電極 60 にマイナス電位、電極 59 にプラス電位を印加すると、圧電体薄膜 72 は厚さ (Z 軸) 方向に縮み、幅 (X 軸) 方向及び長さ (Y 軸) 方向に伸びる。従って、圧電体薄膜 72 は、矢印  $F_4$  方向に変位しようとする。振動腕 40 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印  $F_4$  方向に変位しようとするため、振動腕 40 は圧電体薄膜素子 101 と共に、矢印  $F_4$  方向に変位する。

このようにして、振動腕 30, 40 は、図 5 (b) に示すように内側方向に変位する。

【0047】

上述した第 1 の状態と第 2 の状態を繰り返す (つまり、交流電圧を印加する) と振動腕 30, 40 は、X 軸方向に屈曲振動を繰り返す。

【0048】

なお、上述した実施形態 1 では、圧電体薄膜素子 100, 101 を振動腕 30, 40 のそれぞれの表面 31, 41 に形成する構造を例示したが、圧電体薄膜素子 100, 101 を、裏面 32, 42 側に形成する構造としてもよい。この際、電極 51 と電極 53、電極 56 と電極 58 とを入れ替える構成とする。

【0049】

なお、圧電体薄膜 71, 72 は、その結晶性によって振動特性が影響される。そこで、良好な結晶性を得るための製造方法について説明する。

図 6 は、本実施形態に係る水晶振動子の第 1 の製造方法の一部を示す断面図である。図示を省略するが、まず、大判の圧電基板としての水晶基板 11 (水晶ウエハと呼称することがある) に、フォトリソグラフィ技術によって複数の水晶振動片 20 を形成する。この際、水晶振動片の基部 21 または支持部 22 を水晶基板 11 に接続しておく。

【0050】

続いて、圧電体薄膜を形成する。なお、圧電体薄膜 71 と圧電体薄膜 72 は、同じ構成であるので圧電体薄膜 71 を代表して説明する。図 6 (a) に示すように、振動腕 30 のそれぞれの表面 31 の所定位置に第 1 圧電体薄膜 71a を形成する。第 1 圧電体薄膜 71a の形成方法は、RF スパッタリング法等の PVD (Physical Vapor Deposition) 法であつてもよいし、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法であつてもよい。また、第 1 圧電体薄膜 71a の厚さは、5 nm ~ 100 nm が好ましい。

【0051】

続いて、図 6 (b) に示すように、第 1 圧電体薄膜 71a の熱処理を行い、熱処理後の第 1 圧電体薄膜 71b を形成する。熱処理は、ランプ加熱、レーザー光加熱であつてもよいが、400 以下での熱処理は、温度管理ができ温度を低温から上昇できる熱処理方法が好ましい。具体的には、より安定した温度管理ができる熱処理炉、ホットプレート、真空チャンバー中での熱処理が好ましい。熱処理後の第 1 圧電体薄膜 71b は結晶化が進んだ状態である。

【0052】

続いて、図 6 (c) に示すように、熱処理後の第 1 圧電体薄膜 71b 上に第 2 圧電体薄膜 71c を形成する。第 2 圧電体薄膜 71c は、結晶化が進んだ熱処理後の第 1 圧電体薄膜 71b 上において結晶生長する材料であればどのような圧電体薄膜でもよいが、本実施形態では、第 1 圧電体薄膜 71a と同じ材料を採用している。

【0053】

第 2 圧電体薄膜 71c も、PVD 法、CVD 法等で形成することが可能で、その厚さは数  $\mu$ m である。この第 2 圧電体薄膜 71c は、熱処理後の第 1 圧電体薄膜 71b を含めて圧電体薄膜 71 となる。

【0054】

このようにして圧電体薄膜 71, 72 を形成した後、電極 51 ~ 60 を形成する。圧電体薄膜 71, 72 それぞれの上面に形成する電極 55, 60 も他の電極と同時形成してもよいし、別工程で形成してもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

電極 5 1 ~ 6 0 を形成した後、水晶基板 1 1 をダイシング等で切断して、水晶振動子 1 0 を切り離し個片化する。

## 【 0 0 5 6 】

続いて、本実施形態に係る水晶振動子の第 2 の製造方法について説明する。第 2 の製造方法は、圧電体薄膜の製造方法のみが異なるため、圧電体薄膜の製造方法について説明する。図示は省略するが、図 1 , 2 , 6 を参照する。

まず、大判の水晶基板 1 1 (水晶ウエハ) にフォトリソグラフィ技術によって複数の水晶振動片 2 0 を形成する。この際、水晶振動片の基部 2 1 または支持部 2 2 を水晶基板 1 1 に接続しておく。

10

## 【 0 0 5 7 】

水晶基板 1 1 の振動腕 3 0 , 4 0 のそれぞれの表面 3 1 , 4 1 の所定位置に P t または T i の金属薄膜を形成する。これらの金属膜はスパッタリング法、蒸着法等で形成する。これらの金属薄膜は、圧電体薄膜の結晶化を促進する機能を有する。

## 【 0 0 5 8 】

続いて、P t または T i からなる金属薄膜の表面に圧電体薄膜 7 1 , 7 2 を形成する。圧電体薄膜 7 1 , 7 2 は、金属薄膜が存在するために良好な結晶性を有する。

## 【 0 0 5 9 】

なお、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の材質は、結晶性において金属薄膜に対しての相性がある。具体的には、金属薄膜を形成する構造では、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の材質として Z n O , A l N , G a N がより好ましい。しかし、上述した第 1 の製造方法においては、圧電体薄膜 7 1 の材質は結晶性ということでは特に限定されない。

20

## 【 0 0 6 0 】

また、金属薄膜として、T i の表面にさらに P t を積層する構造としてもよく、このようにすれば、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 と水晶振動片 2 0 との界面の密着性を向上させ、且つ、良好な結晶性を得ることができる。

## 【 0 0 6 1 】

従って、前述した実施形態 1 によれば、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 とを直列に接続し、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 とを同一励振信号で励振し、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 とが相互に振動を補完し合うことから、低周波領域において水晶振動子 1 0 の小型化を実現できる。

30

## 【 0 0 6 2 】

ここで、消費電力に影響を与える水晶振動子 1 0 のコンデンサ容量について考察する。コンデンサ容量 C は、誘電体の面積 S、厚さ (電極間距離) d、誘電率をとすれば、 $C = \epsilon \cdot S / d$  で表される。圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の誘電率  $\epsilon_z$ 、水晶の誘電率  $\epsilon_q$  の関係は、それぞれの材料を  $\epsilon_z$   $\epsilon_q$ 、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の厚さ d z と水晶振動片 2 0 の厚さ d q の関係を、 $d q = d z$  となるように設定している。従って、水晶振動片 2 0 のコンデンサ容量 C q と圧電体薄膜 7 1 , 7 2 のコンデンサ容量 C z の関係は、 $C z = C q$  となる。

## 【 0 0 6 3 】

本実施形態では、発振器 8 0 の等価回路において、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 とを直列に接続している。従って、水晶振動子 1 0 のコンデンサ容量 C は、 $1 / C = 1 / C q + 1 / C z$  で表される。ここで、 $C z = C q$  としているため、 $C = C q$  と考えることができる。このことから、水晶振動子 1 0 のコンデンサ容量を小さくすることができ、消費電力を増加させずに、水晶振動子の小型化を実現できる。

40

## 【 0 0 6 4 】

また、圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 の電気機械結合係数  $K^2$  は、水晶振動片 2 0 の電気機械結合係数よりも大きい。性能指数 M は  $M = K^2 \cdot Q$  で表すことができ、圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 の電気機械結合係数 ( $K^2$  で表される) を水晶よりも大きくすることで、圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 1 の性能指数 M が高くなる。従って、電気機械結合係数

50

が大きいほど振動しやすいので、薄い圧電体薄膜 7 1 , 7 2 により水晶振動片 2 0 の振動を高効率化することができる。

【 0 0 6 5 】

また、本実施形態では、圧電振動片として水晶を採用している。水晶は、周波数温度特性に優れているため、補完的に圧電体薄膜 7 1 , 7 2 を備える構造であっても、水晶の良好な周波数温度特性を活用できる。

【 0 0 6 6 】

また、振動腕 3 0 , 4 0 が、水晶の Y 軸（機械軸）方向に沿って延在され、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 が、振動腕 3 0 , 4 0 それぞれの表面 3 1 , 4 1 または裏面 3 2 , 4 2 の一方または両方の X 軸（電気軸）方向に 2 分された結晶軸方向側に設けられている。そのため

10

【 0 0 6 7 】

また、圧電体薄膜を用いる振動子あるいは共振子の振動性能は、圧電体薄膜の結晶性が良好なほどよい。本実施形態の水晶振動子 1 0 の製造方法は、水晶基板 1 1 の表面に第 1 圧電体薄膜 7 1 a を形成し、この第 1 圧電体薄膜 7 1 a を熱処理した後、熱処理された前記第 1 圧電体薄膜 7 1 b の表面に、第 1 圧電体薄膜 7 1 a と同一材料の第 2 圧電体薄膜 7 1 c を形成して結晶性を改善している。第 2 圧電体薄膜 7 1 c は、本実施形態の圧電体薄膜 7 1 に相当する。従って、良好な結晶性を有する圧電体薄膜 7 1 , 7 2 により、優れた振動性能を得ることができる。

20

【 0 0 6 8 】

また、本発明の水晶振動子 1 0 の他の製造方法として、水晶基板 1 1 の表面に P t または T i の少なくとも一方の金属薄膜を形成し、この金属薄膜の表面に圧電体薄膜 7 1 を形成する方法がある。このような金属薄膜を形成することで、圧電体薄膜 7 1 , 7 2 の結晶性を高めることができる。

（実施形態 2）

【 0 0 6 9 】

続いて、本発明の実施形態 2 について図面を参照して説明する。実施形態 2 は、前述した実施形態 1 に対して圧電体薄膜を振動腕の表裏両面に設けたことを特徴としている。従って、実施形態 1 との相違部分を中心に説明し、同じ構成部位には同じ符号を附している

30

。図 7、図 8 は、実施形態 2 に係る水晶振動子を示す断面図（図 1 の A - A 切断面に相当する）である。図 7、図 8 において、振動腕 3 0 の表面 3 1 には、幅方向（X 軸方向）を 2 分して、振動腕 3 0 の中心線 C<sub>1</sub> に対して結晶軸方向（振動腕 3 0 の内側側面 3 4 方向）に圧電体薄膜 7 1、外側方向に電極 5 1 が形成されている。

【 0 0 7 0 】

また、振動腕 3 0 の裏面 3 2 には、圧電体薄膜 7 1 に対向して圧電体薄膜 7 3 が形成され、電極 5 1 に対向して電極 5 3 が形成されている。さらに、振動腕 3 0 の外側側面 3 3 には電極 5 2 が、内側側面 3 4 には電極 5 4 が形成され、圧電体薄膜 7 1 の表面には、電極 5 5、圧電体薄膜 7 3 の表面には電極 6 1 が形成されている。従って、圧電体薄膜 7 3

40

【 0 0 7 1 】

一方、振動腕 4 0 の表面 4 1 には、幅方向（X 軸方向）を 2 分して、振動腕 4 0 の中心線 C<sub>2</sub> に対して結晶軸方向（振動腕 4 0 の外側側面 4 3 方向）に圧電体薄膜 7 2、内側方向に電極 5 6 が形成されている。

【 0 0 7 2 】

また、振動腕 4 0 の裏面 4 2 には、圧電体薄膜 7 2 に対向して圧電体薄膜 7 4 が形成され、電極 5 6 に対向して電極 5 8 が形成されている。さらに、振動腕 4 0 の外側側面 4 3 には電極 5 9 が、内側側面 4 4 には電極 5 7 が形成され、圧電体薄膜 7 2 の表面には、電極 6 0、圧電体薄膜 7 4 の表面には電極 6 2 が形成されている。従って、圧電体薄膜 7 4

50

は、電極 6 2 , 5 9 によって挟まれた圧電体薄膜素子 1 0 3 を構成する。

なお、圧電体薄膜 7 1 ~ 7 4 は実施形態 1 と同様な材料としての条件を満たし、厚さ、平面形状も同じとする。

#### 【 0 0 7 3 】

電極 5 5 , 5 1 , 5 3 , 6 1 , 5 7 , 5 9 及び接続端子 9 3 は、接続電極 9 1 によって接続される。また、電極 5 2 , 5 4 , 5 8 , 6 2 , 6 0 , 5 6 及び接続端子 9 4 は、接続電極 9 2 によって接続されている。そして、接続端子 9 3 , 9 4 にそれぞれ逆相の交流電圧を印加することで、振動腕 3 0 , 4 0 が屈曲振動する。従って、電極 5 1 ~ 6 2 は、水晶振動片 2 0 の励振電極である。

#### 【 0 0 7 4 】

上述したように構成される水晶振動子 1 0 は、発振器の等価回路において、図 3 に示したときと同じように、水晶振動片 2 0 と圧電体薄膜素子 1 0 0 ~ 1 0 3 とは直列に接続されている。

#### 【 0 0 7 5 】

続いて、本実施形態に係る水晶振動子の駆動について図面を参照して説明する。

図 8 は、水晶振動子の駆動について第 1 の状態を模式的に示す説明図である。電極 5 1 , 5 3 , 5 5 , 5 7 , 5 9 , 6 1 にはマイナス ( - ) 電位を印加し、電極 5 2 , 5 4 , 5 8 , 6 2 , 6 0 , 5 6 にはプラス ( + ) 電位を印加する。ここで、振動腕 3 0 , 4 0 の水晶の結晶軸方向を矢印 D で表し、圧電体薄膜 7 1 ~ 7 4 の分極方向を矢印  $P_0$  で表している。

#### 【 0 0 7 6 】

まず、振動腕 3 0 について説明すると、圧電体薄膜 7 1 , 7 3 は、電極 5 5 , 6 1 にマイナス電位、電極 5 4 にプラス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に縮み、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に伸びる。

#### 【 0 0 7 7 】

また、圧電体薄膜 7 3 は、電極 6 1 にマイナス電位、電極 5 4 にプラス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に縮み、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に伸びる。

#### 【 0 0 7 8 】

従って、圧電体薄膜 7 1 , 7 3 は、振動腕 3 0 の水晶の結晶軸方向に偏った位置に設けられていることから、それぞれ同じように振動腕 3 0 を矢印  $F_1$  方向に変位しようとする。振動腕 3 0 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印  $F_1$  方向に変位しようとするため、振動腕 3 0 は圧電体薄膜素子 1 0 0 , 1 0 2 と共に、矢印  $F_1$  方向に変位する。

#### 【 0 0 7 9 】

次に、振動腕 4 0 について説明する。圧電体薄膜 7 2 は、電極 6 0 にプラス電位、電極 5 9 にマイナス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に伸び、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に縮む。

#### 【 0 0 8 0 】

また、圧電体薄膜 7 4 は、電極 5 9 にマイナス電位、電極 6 2 にプラス電位を印加すると厚さ ( Z 軸 ) 方向に伸び、幅 ( X 軸 ) 方向及び長さ ( Y 軸 ) 方向に縮む。

#### 【 0 0 8 1 】

従って、圧電体薄膜 7 2 , 7 4 は、振動腕 4 0 の水晶の結晶軸方向に偏った位置に設けられていることから、それぞれ同じように振動腕 4 0 を矢印  $F_2$  方向に変位しようとする。振動腕 4 0 は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印 E 方向に電界が発生し、やはり矢印  $F_2$  方向に変位しようとするため、振動腕 4 0 は圧電体薄膜素子 1 0 1 , 1 0 3 と共に、矢印  $F_2$  方向に変位する。

このようにして、振動腕 3 0 , 4 0 は、図 8 ( b ) に示すように外側方向 ( 図中、実線で表す矢印方向 ) に変位する。

#### 【 0 0 8 2 】

次に、前述した第 1 の状態に対して各電極に逆相の電位を印加した第 2 の状態について

説明する。図示は省略するが、第２の状態では、電極５２，５４，５８，６２，６０，５６にはマイナス電位、電極５１，５３，６１，５５，５７，５９にはプラス電位の電圧を印加する。こうすることで、圧電体薄膜７１～７４の伸縮方向が第１の状態（図８（ａ）参照）とは逆方向となり、振動腕３０，４０は図８（ｂ）に破線で表す矢印方向に変位する。

従って、接続端子９３，９４に交流電圧を印加することで、振動腕３０，４０は屈曲振動を継続する。

#### 【００８３】

従って、上述したように、振動腕３０，４０の表裏両面の水晶の結晶軸方向の同じ位置に圧電体薄膜７１，７３、及び圧電体薄膜７２，７４を設けることにより、水晶振動片２０と圧電体薄膜素子１００～１０３とが、より一層強く相互に振動を補完し合うことができる。また、一方の主面（表裏面のどちらか一方）に圧電体薄膜を形成する場合よりも振動バランスをとることができ、捩れ等の不用振動を低減することができる。

（実施形態３）

#### 【００８４】

続いて、本発明の実施形態３について図面を参照して説明する。実施形態３は、前述した実施形態２に対して圧電体薄膜を振動腕の側面にも設けたことを特徴としている。従って、実施形態２との相違部分を中心に説明し、同じ構成部位には同じ符号を附している。

図９、図１０は、実施形態３に係る水晶振動子を示す断面図（図１のＡ－Ａ切断面に相当する）である。図９、図１０において、振動腕３０には、表面３１及び裏面３２の両面に圧電体薄膜７１，７３とそれらの表面それぞれに電極５５，６１が形成されている。

#### 【００８５】

そして、振動腕３０の外側側面３３に圧電体薄膜７５が設けられ、その表面に電極６３が形成されている。

また、振動腕３０の表面３１には電極５１、裏面３２には電極５１と対向して電極５３が形成され、内側側面３４には電極５４が形成されている。従って、圧電体薄膜７５は、電極６３と電極５１，５３とによって挟まれた圧電体薄膜素子１０４を構成する。

#### 【００８６】

一方、振動腕４０には、表面４１及び裏面４２の両面それぞれに圧電体薄膜７２，７４と、それらの表面それぞれに電極６０，６２が設けられている。そして、振動腕４０の内側側面４４に圧電体薄膜７６が設けられ、その表面に電極６４が形成されている。

また、振動腕４０の表面４１には電極５６、裏面４２には電極５６と対向して電極５８が形成され、外側側面４３には電極５９が形成されている。従って、圧電体薄膜７６は、電極６４と電極５６，５８とによって挟まれた圧電体薄膜素子１０５を構成する。

なお、圧電体薄膜７５，７６は、実施形態１，２と同様な材料が好ましく振動腕３０，４０の内側方向に分極方向を矢印 $P_0$ で表している。

#### 【００８７】

電極５５，５１，５３，６１，６４，５９及び接続端子９３は、接続電極９１によって接続される。また、電極６３，５４，５８，６２，６０，５６及び接続端子９４は、接続電極９２によって接続されている。そして、接続端子９３，９４にそれぞれ逆相の交流電圧を印加することで、振動腕３０，４０が屈曲振動する。従って、電極５１～６４は、水晶振動片２０の励振電極である。

#### 【００８８】

上述したように構成される水晶振動子１０は、発振器の等価回路において、図３に示したときと同じように、水晶振動片２０と圧電体薄膜素子１００～１０５とは直列に接続されている。

#### 【００８９】

続いて、本実施形態に係る水晶振動子の駆動について図面を参照して説明する。

図１０（ａ）は、水晶振動子の駆動について第１の状態を模式的に示す説明図である。電極５５，５１，５３，６１，６４，５９にはマイナス（－）電位を印加し、電極６３，

10

20

30

40

50

54, 58, 62, 60, 56にはプラス(+)電位を印加する。ここで、振動腕30, 40の水晶の結晶軸方向を矢印Dで表し、圧電体薄膜71~76の分極方向を矢印P<sub>0</sub>で表している。

#### 【0090】

まず、振動腕30について説明すると、圧電体薄膜71は、電極55と電極54によって挟まれた圧電体薄膜素子100が形成された状態であり、電極55にマイナス電位、電極54にプラス電位を印加すると厚さ(Z軸)方向に縮み、幅(X軸)方向及び長さ(Y軸)方向に伸びる。

#### 【0091】

また、圧電体薄膜73は、電極61と電極54によって挟まれた圧電体薄膜素子102が形成された状態であり、電極61にマイナス電位、電極54にプラス電位を印加すると厚さ(Z軸)方向に縮み、幅(X軸)方向及び長さ(Y軸)方向に伸びる。

#### 【0092】

圧電体薄膜75は、電極63と電極51, 53とによって挟まれた圧電体薄膜素子104が形成された状態であり、電極63にプラス電位、電極51, 53にマイナス電位を印加すると幅方向(Z軸方向)に伸び、厚さ方向(X軸方向)及び長さ方向(Y軸方向)に縮む。

#### 【0093】

従って、圧電体薄膜71, 73, 75は、それぞれ同じように振動腕30を矢印F<sub>1</sub>方向に変位しようとする。振動腕30は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印E方向に電界が発生し、やはり矢印F<sub>1</sub>方向に変位しようとするため、振動腕30は圧電体薄膜素子100, 102, 104と共に、矢印F<sub>1</sub>方向に変位する。

#### 【0094】

次に、振動腕40について説明する。圧電体薄膜72は、電極60と電極59によって挟まれた圧電体薄膜素子101が形成された状態であり、電極60にプラス電位、電極59にマイナス電位を印加すると厚さ(Z軸)方向に伸び、幅(X軸)方向及び長さ(Y軸)方向に縮む。

#### 【0095】

また、圧電体薄膜74は、電極62と電極59によって挟まれた圧電体薄膜素子103が形成された状態であり、電極59にマイナス電位、電極62にプラス電位を印加すると厚さ(Z軸)方向に伸び、幅(X軸)方向及び長さ(Y軸)方向に縮む。

#### 【0096】

また、圧電体薄膜76は、電極64と電極56, 58とによって挟まれた圧電体薄膜素子105が形成された状態であり、電極64にマイナス電位、電極56, 58にプラス電位を印加すると幅方向(Z軸方向)に縮み、厚さ方向(X軸方向)及び長さ方向(Y軸方向)に伸びる。

#### 【0097】

従って、圧電体薄膜素子101, 103, 105は、振動腕40を矢印F<sub>2</sub>方向に変位しようとする。振動腕40は、電極それぞれに電圧を印加すると矢印E方向に電界が発生し、やはり矢印F<sub>2</sub>方向に変位しようとするため、振動腕40は圧電体薄膜素子101, 103, 105と共に、矢印F<sub>2</sub>方向に変位する。

このようにして、振動腕30, 40は、図10(b)に示すように外側方向(図中、実線で表す矢印方向)に変位する。

#### 【0098】

次に、第1の状態に対して逆相の電位を各電極に印加した第2の状態について説明する。図示は省略するが、第2の状態では、電極55, 51, 53, 61, 64, 59にはプラス電位、電極63, 54, 58, 62, 60, 56にはマイナス電位の電圧を印加する。こうすることで、圧電体薄膜71~76の伸縮方向が第1の状態(図10(a)参照)とは逆方向となり、振動腕30, 40は図10(b)に破線で表す矢印方向に変位する。

従って、接続端子93, 94に交流電圧を印加することで、振動腕30, 40は屈曲振

10

20

30

40

50

動を継続する。

【0099】

従って、上述した実施形態3によれば、水晶の側面にも圧電体薄膜素子104, 105を設けることにより、さらに強く相互に振動を補完し合うことができ、水晶振動子10の振動効率を高めることができる。

(実施形態4)

【0100】

続いて、本発明の実施形態4について図面を参照して説明する。前述した実施形態1では圧電体薄膜素子100, 101、実施形態2では圧電体薄膜素子100~103、実施形態3では圧電体薄膜素子100~105をそれぞれ備えている。

10

【0101】

しかしながら、圧電体薄膜素子を設けることにより、水晶振動片20の中心線 $C_0$ に対して振動腕30と振動腕40との質量バランス、あるいは、振動腕30, 40それぞれの中心線 $C_1$ ,  $C_2$ に対する質量バランスがくずれることがある。そのことによって僅かであるが振動バランスがくずれることが考えられる。実施形態4では、そのような課題を解決するためにバランス質量を付加することを特徴としている。

なお、実施形態1~実施形態3と同じ部位には同じ符号を附している。

【0102】

図11(a)は、実施形態1(図2、参照)に対してバランス質量を付加した例を示している。図11(a)において、振動腕30には、中心線 $C_1$ に対して圧電体薄膜71と対称となるバランス質量としての圧電体薄膜77aが設けられている。従って、付加された圧電体薄膜77aと電極51との積層体は、圧電体薄膜71と電極55との積層体と中心線 $C_1$ に対して対称となり、振動腕30内において質量バランスがとれる。

20

【0103】

振動腕40においても同様に、バランス質量としての圧電体薄膜77bを設けることにより、付加された圧電体薄膜77bと電極56との積層体は、圧電体薄膜72と電極60との積層体と中心線 $C_2$ に対して対称となり、振動腕40内において質量バランスがとれている。

【0104】

このように、バランス質量として圧電体薄膜77a, 77bを設けることにより、振動腕30, 40が、中心線 $C_0$ に対して質量バランスがとれ、従って、振動バランスをとることができる。

30

【0105】

図11(b)は、実施形態2(図7、参照)に対してバランス質量を付加した例を示している。実施形態2は、振動腕30, 40それぞれの表裏両面に、圧電体薄膜71, 73、圧電体薄膜72, 74が設けられている構造であるので、振動腕30には中心線 $C_1$ に対して圧電体薄膜71, 73に対称なバランス質量としての圧電体薄膜77a, 78aを設け、振動腕40には中心線 $C_2$ に対して圧電体薄膜72, 74に対称なバランス質量としての圧電体薄膜77b, 78bを設けている。

【0106】

このようにバランス質量を設けることにより、振動腕30及び振動腕40内において質量バランスがとれると共に、振動腕30と振動腕40との質量バランスがとれ、そのことにより振動バランスがとれる。

40

【0107】

図11(c)は、実施形態3(図9、参照)に対してバランス質量を付加した例を示している。実施形態3は、振動腕30の表裏両面と側面に圧電体薄膜71, 73, 75が設けられている構造であるので、振動腕30には中心線 $C_1$ に対して圧電体薄膜71, 73, 75それぞれに対称なバランス質量としての圧電体薄膜77a, 78a, 79aを設ける。また、振動腕40の表裏両面と側面に圧電体薄膜72, 74, 76が設けられている構造であるので、振動腕40には中心線 $C_2$ に対して圧電体薄膜72, 74, 76それぞ

50

れに対称なバランス質量としての圧電体薄膜 77b, 78b, 79b を設けている。

【0108】

このようにバランス質量を設けることにより、振動腕 30 及び振動腕 40 内において質量バランスがとれると共に、振動腕 30 と振動腕 40 との質量バランスがとれ、そのことにより振動バランスがとれる。

【0109】

なお、本実施形態では、上述した図 11(a) ~ 図 11(c) において付加したバランス質量としての圧電体薄膜 77a, 77b, 78a, 78b, 79a, 79b それぞれを、他の圧電体薄膜 71 ~ 76 と同材質にしている。

【0110】

従って、上述した実施形態 4 によれば、圧電体薄膜 71 ~ 76 に対応したバランス質量を付加することにより、振動腕 30, 40 の振動バランスをとり、高精度な振動特性を得ることができる。

また、バランス質量を圧電体薄膜と同材質で形成することにより、圧電体薄膜と同じ工程でバランス質量を構成することができるので、高精度のバランス質量を付加することができる。さらに、圧電体薄膜形成設備を使用して形成することが可能である。

【0111】

なお、本発明は前述の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、前述した実施形態 1 では、圧電体薄膜 71, 72 を振動腕 30, 40 のそれぞれの表面 31, 41 に形成する構造、及び圧電体薄膜 71, 72 を裏面 32, 42 側に形成する構造を説明したが、振動腕 30 の表面 31 に圧電体薄膜 71 を形成し、振動腕 40 の裏面 42 に圧電体薄膜 72 を形成してもよく、その逆にしてもよい。

【0112】

また、前述した実施形態 4 では、付加するバランス質量を圧電体薄膜と同材質を用いているが、バランス質量は、中心線  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  に対して質量バランス（つまり振動バランス）がとれれば、同材質でなくてもよく、圧電体でなくてもよい。

【0113】

従って、前述した実施形態 1 ~ 実施形態 4 によれば、小型で消費電力が小さく高精度な圧電振動子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0114】

【図 1】本発明の実施形態 1 に係る水晶振動子の構造を示す斜視図。

【図 2】図 1 の A - A 切断面を示す断面図及び各電極の接続説明図。

【図 3】本発明の実施形態 1 に係る水晶振動子を特定の振動モードで励振する発振回路に接続した状態を示す等価回路図。

【図 4】(a)、(b) は、本発明の実施形態 1 に係る水晶振動子の駆動について第 1 の状態を模式的に示す説明図。

【図 5】(a)、(b) は、本発明の実施形態 1 に係る水晶振動子の駆動について第 2 の状態を模式的に示す説明図。

【図 6】本発明の実施形態 1 に係る第 1 の製造方法の一部を示す断面図。

【図 7】本発明の実施形態 2 に係る水晶振動子を示す断面図及び各電極の接続説明図。

【図 8】(a)、(b) は、本発明の実施形態 2 に係る水晶振動子の駆動について模式的に示す説明図。

【図 9】本発明の実施形態 3 に係る水晶振動子を示す断面図及び各電極の接続説明図。

【図 10】(a)、(b) は、本発明の実施形態 3 に係る水晶振動子の駆動について模式的に示す説明図。

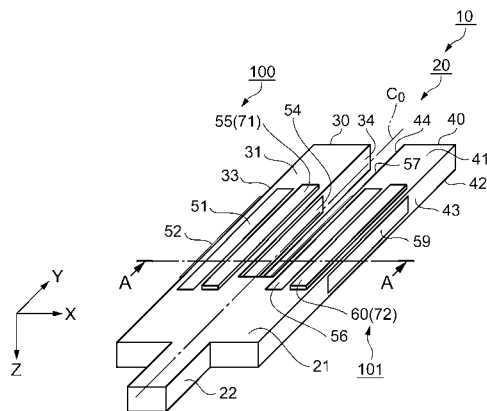
【図 11】(a)、(b)、(c) は、本発明の実施形態 4 に係る水晶振動子を示す断面図。

【符号の説明】

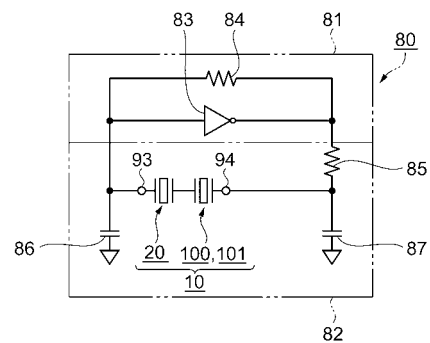
## 【 0 1 1 5 】

1 0 ...水晶振動子、2 0 ...水晶振動片、2 1 ...基部、3 0 , 4 0 ...振動腕、3 1 ...振動腕 3 0 の表面、3 2 ...振動腕 3 0 の裏面、3 3 ...振動腕 3 0 の外側側面、3 4 ...振動腕 3 0 の内側側面、4 1 ...振動腕 4 0 の表面、4 2 ...振動腕 4 0 の裏面、4 3 ...振動腕 4 0 の外側側面、4 4 ...振動腕 4 0 の内側側面、5 5 , 6 0 ...電極、7 1 , 7 2 ...圧電体薄膜、1 0 0 , 1 0 1 ...圧電体薄膜素子。

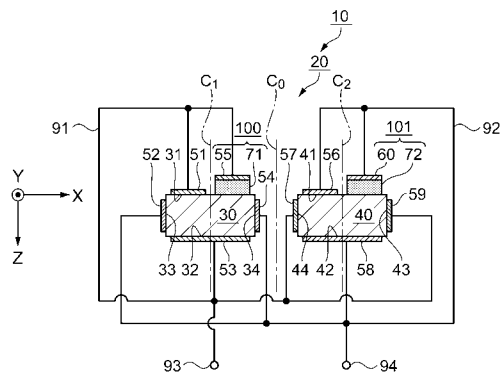
【 図 1 】



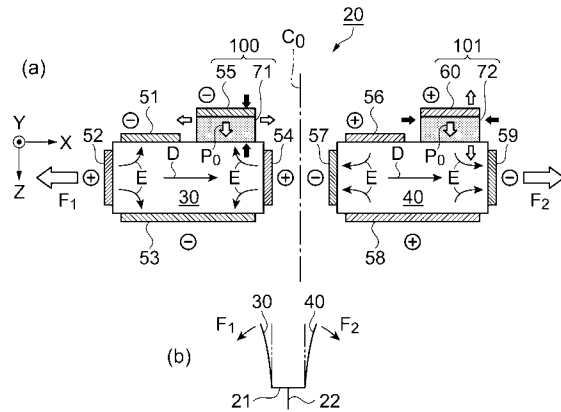
【 図 3 】



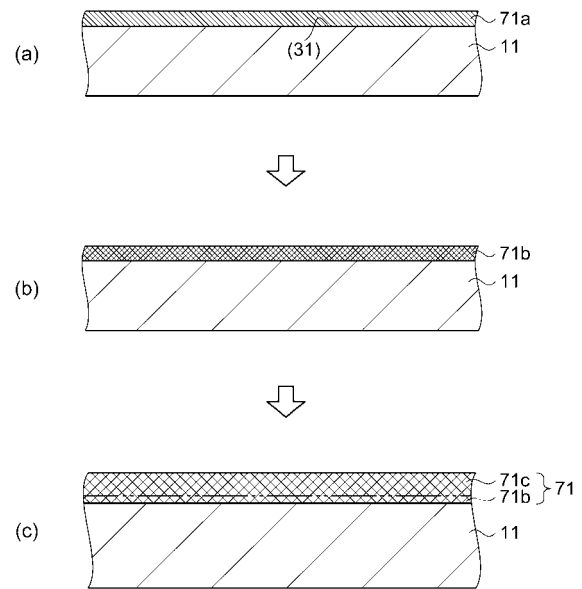
【 図 2 】



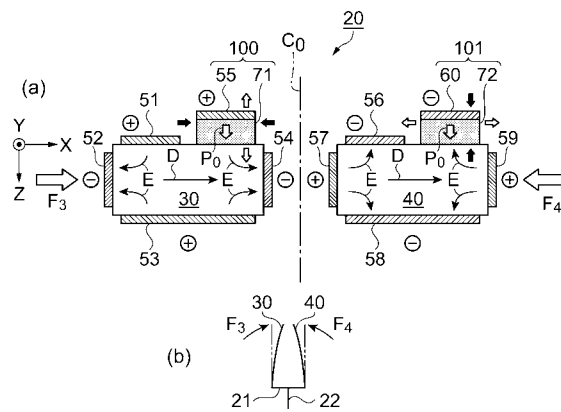
【 図 4 】



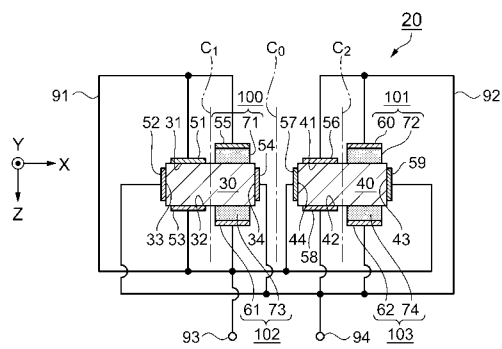
【 図 6 】



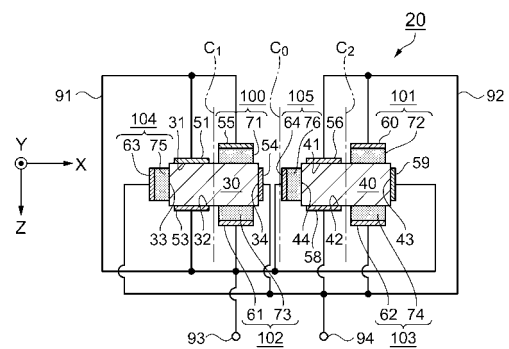
【 図 5 】



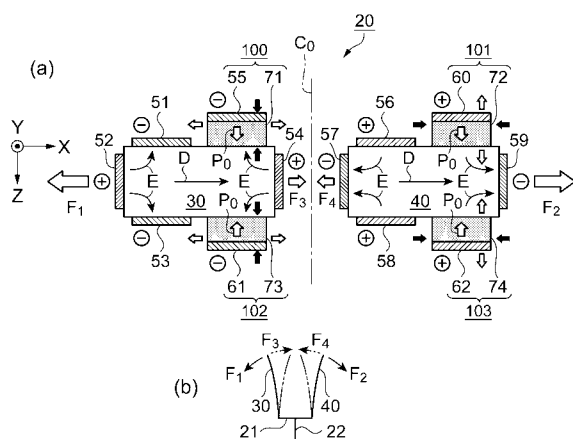
【圖 7】



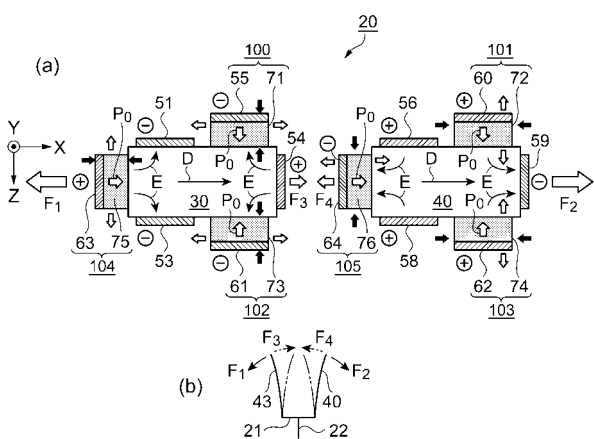
【 図 9 】



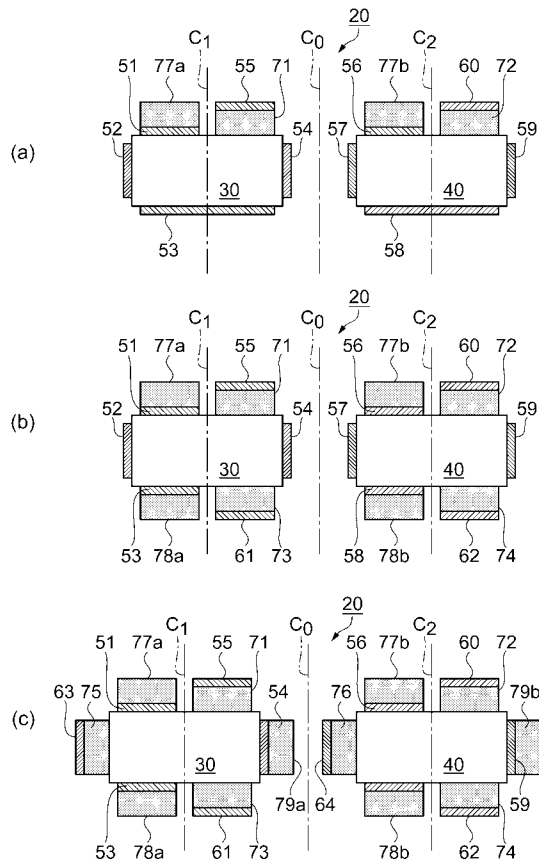
【 図 8 】



【 図 1 0 】



【図 11】



---

 フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/187</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>41/18</i> <i>1 0 1 B</i>
<i>H 0 1 L</i>	<i>41/22</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>H 0 1 L</i>	<i>41/18</i> <i>1 0 1 D</i>
			<i>H 0 1 L</i>	<i>41/22</i> <i>Z</i>

(56)参考文献 特開昭55-049020(JP,A)  
 実開昭56-099929(JP,U)  
 国際公開第03/019690(WO,A1)  
 特開2005-249646(JP,A)  
 特開2003-227719(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 3 H	9 / 1 7
H 0 1 L	4 1 / 0 9
H 0 1 L	4 1 / 1 8
H 0 1 L	4 1 / 1 8 7
H 0 1 L	4 1 / 2 2
H 0 3 B	5 / 3 0
H 0 3 H	3 / 0 2