

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号  
特許第5067035号  
(P5067035)

(45) 発行日 平成24年11月7日 (2012. 11. 7)

(24) 登録日 平成24年8月24日 (2012. 8. 24)

(51) Int. Cl.	F I
<b>H03H 9/19 (2006.01)</b>	H03H 9/19 J
<b>H03H 9/02 (2006.01)</b>	H03H 9/02 K
<b>H03B 5/32 (2006.01)</b>	H03B 5/32 H
<b>H01L 41/09 (2006.01)</b>	H01L 41/08 C
<b>H01L 41/18 (2006.01)</b>	H01L 41/08 L
請求項の数 8 (全 11 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2007-163088 (P2007-163088)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成19年6月20日 (2007. 6. 20)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2009-5024 (P2009-5024A)		東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号
(43) 公開日	平成21年1月8日 (2009. 1. 8)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成22年6月15日 (2010. 6. 15)		弁理士 稲葉 良幸
		(74) 代理人	100080953
			弁理士 田中 克郎
		(74) 代理人	100093861
			弁理士 大賀 真司
		(72) 発明者	船坂 司
			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
		(72) 発明者	舟川 剛夫
			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
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 音叉型振動子、発振器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 面と該第 1 面に対向して配置された第 2 面とを有し、複数本が配列された腕部と、前記腕部の各々の前記第 1 面上に設けられた圧電体素子と、前記腕部の各々の前記第 2 面上に設けられた無機膜と、前記腕部の一端を互いに連結した基部と、を含み、前記腕部及び前記基部は、半導体を用いて形成され、前記圧電体素子は、前記第 1 面上に設けられた第 1 電極膜と、前記第 1 電極膜の上方に設けられた第 2 電極膜と、前記第 1 電極膜と前記第 2 電極膜との間に配置された圧電体膜および絶縁膜と、を含んだ積層構造体であり、且つ、前記絶縁膜が、前記第 1 電極膜の側壁を覆うように配置されたことを特徴とする音叉型振動子。

【請求項 2】

前記絶縁膜の膜厚は、50nm 以上であり、500nm 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載の音叉型振動子。

【請求項 3】

前記無機膜の厚みに対する前記腕部の厚みの比率は、1：100 - 1：5 の範囲であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の音叉型振動子。

【請求項 4】

前記無機膜が酸化硅素膜であることを特徴とする、

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の音叉型振動子。

【請求項 5】

前記半導体がシリコンであることを特徴とする、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の音叉型振動子。

【請求項 6】

前記圧電体膜が  $ZnO$ 、 $AlN$ 、 $PZT$ 、 $LiNbO_3$  及び  $KNbO_3$  の何れかを含有膜であることを特徴とする、

請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の音叉型振動子。

【請求項 7】

前記腕部は 3 以上の奇数本が配列され、

前記第 1 電極膜は、前記第 1 面と前記圧電体膜との間に配置され、

前記腕部のうち、端から数えて奇数番目に配置された前記腕部を第 1 腕部とし、偶数番目に配置された前記腕部を第 2 腕部としたときに、前記第 1 腕部の前記第 1 電極膜と、前記第 2 腕部の前記第 2 電極膜と、が相互に電氣的に接続され、

かつ、前記第 1 腕部の前記第 2 電極膜と、前記第 2 腕部の前記第 1 電極膜と、が相互に電氣的に接続されたことを特徴とする、

請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の音叉型振動子。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の音叉型振動子と、

前記音叉型振動子と接続されたインバータと、

を含む、発振器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、主に集積回路 (IC) のクロック源として用いられる振動子およびこの振動子を備える発振器に関する。

【背景技術】

【0002】

特開 2003 - 227719 号公報 (特許文献 1) には、少なくとも 2 つのアームを有した非圧電材料からなる音叉と、この音叉の少なくとも 1 つアームの主面上の中心線より内側及び外側にそれぞれ離間するように設けられた第 1、第 2 の電極と、第 1、第 2 の電極上にそれぞれ設けられた圧電薄膜と、各圧電薄膜上にそれぞれ設けられた第 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前記音叉が X 方向に共振するように構成された薄膜微小機械式共振子、が開示されている。しかしながら、この公知例に代表される従来の共振子は、非圧電材料や圧電薄膜の有する温度特性に起因し、温度変化による特性変動を抑制することが難しかった。

【0003】

【特許文献 1】特開 2003 - 227719 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明に係る幾つかの態様は、温度変化による特性変動の少ない振動子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係る音叉型振動子の一態様は、第 1 面と該第 1 面に対向して配置された第 2 面とを有し、複数が配列された腕部と、腕部の各々の第 1 面上に設けられた圧電体素子と、腕部の各々の第 2 面上に設けられた無機膜と、腕部の一端を互いに連結した基部と、を含み、腕部及び基部は、半導体を用いて形成され、圧電体素子は、前記第 1 面上に設けられた第 1 電極膜と、前記第 1 電極膜の上方に設けられた第 2 電極膜と、前記第 1 電極膜と

10

20

30

40

50

前記第 2 電極膜との間に配置された圧電体膜および絶縁膜と、を含んだ積層構造体であり、且つ、前記絶縁膜が、前記第 1 電極膜の側壁を覆うように配置されたことを特徴とする。

音叉型振動子は、さらに、腕部は 3 以上の奇数本が配列され、第 1 電極膜は、第 1 面と圧電体膜との間に配置され、腕部のうち、端から数えて奇数番目に配置された腕部を第 1 腕部とし、偶数番目に配置された腕部を第 2 腕部としたときに、第 1 腕部の第 1 電極膜と、第 2 腕部の第 2 電極膜と、が相互に電氣的に接続され、かつ、第 1 腕部の第 2 電極膜と、第 2 腕部の第 1 電極膜と、が相互に電氣的に接続されたことを特徴とする。

【 0 0 0 6 】

本発明に係る音叉型振動子によれば、各腕部の第 2 面に設けた無機膜により、第 1 面側の圧電体膜等の温度特性が補正され、温度変化による特性変動の少ない振動子を提供することが可能となる。また、各腕部と基部とが水晶で構成されることにより、温度変化による特性変動を抑制する効果が得られる。また、絶縁膜を含むことにより、圧電体膜をより薄膜化することにより圧電体膜の一部に貫通孔が生じた場合等においても、下部電極膜と上部電極膜との間をより確実に絶縁することが可能となる。

10

【 0 0 0 7 】

好ましくは、上記無機膜は、酸化珪素膜である。

【 0 0 0 8 】

これにより、温度特性を補正する効果が高い無機膜を比較的容易に設けることが可能となる。

20

【 0 0 0 9 】

好ましくは、上記半導体がシリコン（珪素）である。

【 0 0 1 0 】

シリコン基板を用いることにより、腕部や基部のエッチングによる形状加工を容易に行うことができる。

【 0 0 1 1 】

上述した圧電体膜としては、例えば  $ZnO$ 、 $AlN$ 、 $PZT$ 、 $LiNbO_3$  又は  $KNbO_3$  の何れかを含む膜を用いることができる。

【 0 0 1 2 】

また、上記圧電体膜と上記上部電極膜との間に配置された絶縁膜、を更に含むことも好ましい。

30

【 0 0 1 4 】

本発明に係る発振器は、上記した本発明に係る音叉型振動子と、この音叉型振動子と接続されたインバータと、を含んで構成される。

【 0 0 1 5 】

この発明によれば、温度変化による特性変動の少ない発振器が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、一実施形態の音叉型振動子の平面図である。図 2 は、音叉型振動子の図 1 に示す II - II 線における断面図である。図 1 及び図 2 に示す本実施形態の音叉型振動子 1 は、腕部 11、12、13 と、これら 3 個の腕部のそれぞれの一端を連結する基部 14 と、圧電体素子 15、16、17 と、無機膜 31、32、33 と、を含んで構成されている。

40

【 0 0 1 8 】

腕部 11 は、第 1 方向（図中の Z 方向）へ向けて配置された第 1 面 11a を有する。同様に、腕部 12 は、第 1 方向へ向けて配置された第 1 面 12a を有し、腕部 13 は、第 1 方向へ向けて配置された第 1 面 13a を有する。本実施形態では、各第 1 面 11a、12a、13a は平面であるが、これに限定されず、曲面、凹凸面などであってもよい。これらの腕部 11、12、13 は、第 1 方向と交差する第 2 方向（図中の X 方向）に沿って配

50

列されている。各腕部 11、12、13 は、それぞれ長手方向が第 3 方向（図中の Y 方向）に沿うように配置されている。これらの腕部 11、12、13 の断面形状は、例えば図 2 に示すように矩形上であるが、この形状に限定されない。

#### 【0019】

無機膜 31 は、腕部 11 の裏面側に設けられている。同様に、無機膜 32 は、腕部 12 の裏面側に設けられ、無機膜 33 は、腕部 13 の裏面側に設けられている。無機膜 31、32、33 は、例えば酸化珪素膜（SiO 膜又は SiO<sub>2</sub> 膜）である。

#### 【0020】

基部 14 は、3 個の腕部 11、12、13 のそれぞれの一端（Y 方向に沿った一方の端部）と接続されており、これらの腕部 11、12、13 を連結している。本実施形態では、各腕部 11、12、13 とこの基部 14 とは一体に形成される。この様子を図 3 に斜視図で示す。各腕部 11、12、13 と基部 14 とは、シリコン基板などの半導体基板を形状加工することによって形成される。

#### 【0021】

圧電体素子 15 は、腕部 11 の第 1 面 11a 上に設けられている。同様に、圧電体素子 16 は、腕部 12 の第 1 面 12a 上に設けられ、圧電体素子 17 は、腕部 13 の第 1 面 13a 上に設けられている。

#### 【0022】

図 4 は、圧電体素子 15、17 の構造を示した拡大断面図である。圧電体素子 15 は、第 1 面 11a 上に配置された下部電極膜（第 1 電極膜）15a と、当該下部電極膜 15a 上に配置された圧電体膜 15b と、当該圧電体膜 15b 上に配置された上部電極膜（第 2 電極膜）15c と、を含む。図示の例では、圧電体膜 15b は、下部電極膜 15a の全体を覆う。この圧電体膜 15b は、例えば ZnO、AlN、PZT、LiNbO<sub>3</sub> 又は KNbO<sub>3</sub> の何れかを含む膜である。圧電体膜 15b の膜厚は、例えば 2 μm 程度である。

#### 【0023】

図 4 に示すように、無機膜 31 は、腕部 11 の第 2 面 11b 上に設けられている。腕部 11 の第 2 面 11b は、図示のように第 1 面 11a と対向配置されている。すなわち、腕部 11 の一方向が第 1 面 11a であり、他方向が第 2 面 11b である。同様に、無機膜 33 は、腕部 13 の第 2 面 13b 上に設けられている。第 2 面 13b は、上記の第 1 面 13a と対向配置されている。すなわち、腕部 13 の一方向が第 1 面 13a であり、他方向が第 2 面 13b である。無機膜 31、33 は、例えば酸化珪素膜（SiO 膜又は SiO<sub>2</sub> 膜）である。

#### 【0024】

ここで、各無機膜 31、33 の膜厚について詳述する。無機膜 31、33 の厚みとシリコン等の半導体からなる腕部 11、13 の厚みとの関係（比率）は、1：100～1：5 とすることが望ましい。すなわち、無機膜 31、33 の厚みは、腕部 11、13 の厚みの 0.01 倍～0.2 倍に設定されることが望ましい。具体的な数値例を挙げると、腕部 11、13 の厚みが 100 μm である場合に、無機膜 31、33 の膜厚は、1 μm～20 μm 程度である。また、このときの無機膜 31 の厚みと圧電体膜 15b の厚みとの関係（比率）は、1：4～50：1 とすることが望ましい。すなわち、無機膜 31、33 の厚みは、圧電体膜 15b の厚みの 0.25 倍～50 倍に設定されることが望ましい。具体的な数値例を挙げると、例えば無機膜 31、33 の膜厚が 2 μm に設定されたとすると、圧電体膜 15b、17b の厚みは、0.5 μm～100 μm 程度である。従って、無機膜 31、33 の膜厚は、腕部との関係および圧電体膜との関係のいずれも満たす範囲で適宜設定される。なお、後述する無機膜 32 と腕部 12 および圧電膜 16b との関係も同様である。

#### 【0025】

また、図 4 に示す圧電体素子 15 は、絶縁膜 15d を更に含む。この絶縁膜 15d は、圧電体膜 15b と上部電極膜 15c との間に配置されている。図示の例では、絶縁膜 15d は、圧電体膜 15b の全体を覆う。絶縁膜 15d は、例えば酸化珪素膜である。この絶縁膜 15d は、圧電体膜 15b を保護するとともに、下部電極膜 15a と上部電極膜 15

10

20

30

40

50

cとの短絡を防止する機能を果たす。絶縁膜15dの膜厚は、短絡防止の観点から50nm以上であることが望ましく、また圧電体素子15の特性低下を抑制する観点から500nm以下であることが望ましい。なお、絶縁膜15dは省略してもよい。

【0026】

圧電体素子17は、第1面13a上に配置された下部電極膜17aと、当該下部電極膜17a上に配置された圧電体膜17bと、当該圧電体膜17b上に配置された上部電極膜17cと、を含む。図示の例では、圧電体膜17bは、下部電極膜17aの全体を覆う。この圧電体膜17bは、例えばZnO、AlN、PZT、LiNbO<sub>3</sub>又はKNbO<sub>3</sub>の何れかを含む膜である。圧電体膜17bの膜厚は、例えば2μm程度である。

【0027】

また、図示の圧電体素子17は、絶縁膜17dを更に含む。この絶縁膜17dは、例えば酸化硅素膜であり、圧電体膜17bと上部電極膜17cとの間に配置されている。図示の例では、絶縁膜17dは、圧電体膜17bの全体を覆う。絶縁膜17dは、例えば酸化硅素膜である。この絶縁膜17dは、圧電体膜17bを保護するとともに、下部電極膜17aと上部電極膜17cとの短絡を防止する機能を果たす。絶縁膜17dの膜厚は、短絡防止の観点から50nm以上であることが望ましく、また圧電体素子17の特性低下を抑制する観点から500nm以下であることが望ましい。なお、絶縁膜17dは省略してもよい。

【0028】

図5は、圧電体素子16の構造を示した拡大断面図である。圧電体素子16は、第1面12a上に配置された下部電極膜(第1電極膜)16aと、当該下部電極膜16a上に配置された圧電体膜16bと、当該圧電体膜16b上に配置された上部電極膜(第2電極膜)16cと、を含む。図示の例では、圧電体膜16bは、下部電極膜16aの全体を覆う。この圧電体膜16bは、例えばZnO、AlN、PZT、LiNbO<sub>3</sub>又はKNbO<sub>3</sub>の何れかを含む膜である。圧電体膜16bの膜厚は、例えば2μm程度である。この圧電体膜16bの膜厚は、腕部12の厚みに対して1/40~1/4程度に設定されることが望ましい。なお、本実施形態では、各圧電体膜15b、16b、17bは一体に形成される。

【0029】

図5に示すように、無機膜32は、腕部12の第2面12b上に設けられている。第2面12bは、上記の第1面12aと対向配置されている。すなわち、腕部12の一方面が第1面12aであり、他方面が第2面12bである。無機膜32は、例えば酸化硅素膜(SiO<sub>2</sub>膜又はSiO膜)である。この無機膜32の膜厚は、上述した無機膜31、33と同様の範囲内で設定される。

【0030】

また、図示の圧電体素子16は、絶縁膜16dを更に含む。この絶縁膜16dは、例えば酸化硅素膜であり、圧電体膜16bと上部電極膜16cとの間に配置されている。図示の例では、絶縁膜16dは、圧電体膜16bの全体を覆う。絶縁膜16dは、例えば酸化硅素膜である。この絶縁膜16dは、圧電体膜16bを保護するとともに、下部電極膜16aと上部電極膜16cとの短絡を防止する機能を果たす。絶縁膜16dの膜厚は、短絡防止の観点から50nm以上であることが望ましく、また圧電体素子16の特性低下を抑制する観点から500nm以下であることが望ましい。なお、絶縁膜16dは省略してもよい。

【0031】

各下部電極膜15a、16a、17a、各上部電極膜15c、16c、17cは、それぞれ、例えばクロム膜、金膜などの導電体膜である。これらのうち、X方向において外側に配置された2つの腕部(第1腕部)11、13に設けられた各圧電体素子15、17の各下部電極膜15a、17aと、X方向において内側に配置された1つの腕部(第2腕部)12に設けられた圧電体素子16の上部電極膜16cと、が相互に電氣的に接続されている。また、X方向において外側に配置された2つの腕部11、13に設けられた各圧電

10

20

30

40

50

体素子 15、17 の各上部電極膜 15c、17c と、X 方向において内側に配置された 1 つの腕部 12 に設けられた圧電体素子 16 の下部電極膜 16a と、が相互に電氣的に接続されている。

#### 【0032】

各電極膜の接続構造について、主に図 1 及び図 2 を参照しながら更に説明する。

上部電極膜 15c と上部電極膜 17c とは、接続部 21c を介して相互に電氣的に接続されている。本実施形態では、これらの上部電極膜 15c、17c と接続部 21c とは一体に形成される。下部電極膜 16a は、接続部 22a およびプラグ（接続片）23 を介して接続部 21c と電氣的に接続されている。これらにより、上部電極膜 15c、17c と下部電極膜 16a との相互間が電氣的に接続される。また、接続部 21c は、電極パッド 24 と電氣的に接続されている。この電極パッド 24 を通じて、上部電極膜 15c、17c および下部電極膜 16a に対して電気信号を供給することができる。

10

#### 【0033】

下部電極膜 15a と下部電極膜 17a とは、接続部 21a を介して相互に電氣的に接続されている。本実施形態では、これらの下部電極膜 15a、17a と接続部 21a とは一体に形成される。上部電極膜 16c は、プラグ（接続片）25 を介して接続部 21a と電氣的に接続されている。これらにより、下部電極膜 15a、17a と上部電極膜 16c との相互間が電氣的に接続される。また、接続部 21a は、電極パッド 26 と電氣的に接続されている。この電極パッド 26 を通じて、下部電極膜 15a、17a および上部電極膜 16c に対して電気信号を供給することができる。

20

#### 【0034】

上記の電極パッド 24 および電極パッド 26 に電気信号を供給することにより、腕部 11、13 と腕部 12 とを互い違いに上下振動させることができる。具体的には、各上部電極膜と下部電極膜との間に電圧を印加した際に、外側の各圧電体素子 15、17 にかかる電界の方向と内側の圧電体素子 16 にかかる電界の方向とが逆向きとなる。従って、図 3 に矢印で示すように、腕部 15、17 の振動方向と腕部 16 の振動方向とが逆向きになり、電界印加により腕部 15、17 と腕部 16 とが互い違いに上下運動を行う。このように、3 脚構造とすることにより、上下振動（図中の Z 方向に沿った振動）を用いる振動モードにおいても Q 値を高めることが可能となる。

#### 【0035】

30

図 6 は、音叉型振動子の他の構成例を示す平面図である。図 7 は、この音叉型振動子の図 6 に示す VII - VII 線方向の断面図である。上記した実施形態では 3 本の腕部を有する音叉型振動子の構成例を説明したが、図 6 および図 7 に示すように、腕部は 5 個以上の奇数個であってもよい。具体的には、図 6 及び図 7 に示す音叉型振動子 100 は、5 個の腕部 111、112、113、114、115 と、圧電体素子 116、117、118、119、120 と、腕部のそれぞれの一端を連結する基部 121 と、無機膜 131、132、133、134、135、を含んで構成されている。

#### 【0036】

各腕部 111、112、113、114、115 は、各々が第 1 方向（Z 方向）へ向けて配置された第 1 面 111a、112a、113a、114a、115a を有し、第 1 方向と交差する第 2 方向（X 方向）に沿って配列されている。

40

#### 【0037】

圧電体素子 116 は、腕部 111 の第 1 面 111a 上に設けられている。同様に、圧電体素子 117 は、腕部 112 の第 1 面 112a 上に設けられ、圧電体素子 118 は、腕部 113 の第 1 面 113a 上に設けられ、圧電体素子 119 は、腕部 114 の第 1 面 114a 上に設けられ、圧電体素子 120 は、腕部 115 の第 1 面 115a 上に設けられている。

#### 【0038】

基部 121 は、5 個の腕部 111、112、113、114、115 のそれぞれの一端（Y 方向に沿った一方の端部）と接続されており、これらの腕部 111、112、113

50

、 1 1 4、 1 1 5 を連結している。本実施形態では、各腕部 1 1 1、 1 1 2、 1 1 3、 1 1 4、 1 1 5 とこの基部 1 2 1 とは一体に形成される。各腕部 1 1 1、 1 1 2、 1 1 3、 1 1 4、 1 1 5 と基部 1 2 1 とは、シリコン基板などの半導体基板を形状加工することによって形成される。

#### 【 0 0 3 9 】

無機膜 1 3 1 は、腕部 1 1 1 の裏面側に設けられている。同様に、無機膜 1 3 2 は、腕部 1 2 の裏面側に設けられ、無機膜 1 3 3 は、腕部 1 1 3 の裏面側に設けられ、無機膜 1 3 4 は、腕部 1 1 4 の裏面側に設けられ、無機膜 1 3 5 は、腕部 1 1 5 の裏面側に設けられている。無機膜 1 3 1 ~ 1 3 5 は、例えば酸化珪素膜 (  $\text{SiO}_2$  膜又は  $\text{SiO}$  膜 ) である。

10

#### 【 0 0 4 0 】

圧電体素子 1 1 6 は、第 1 面 1 1 1 a 上に配置された下部電極膜 1 1 6 a と、当該下部電極 1 1 6 a 上に配置された圧電体膜 1 1 6 b と、当該圧電体膜 1 1 6 b 上に配置された上部電極膜 1 1 6 c と、を含んで構成される。同様に、圧電体素子 1 1 7 は、第 1 面 1 1 2 a 上に配置された下部電極膜 1 1 7 a と、当該下部電極 1 1 7 a 上に配置された圧電体膜 1 1 7 b と、当該圧電体膜 1 1 7 b 上に配置された上部電極膜 1 1 7 c と、を含んで構成される。圧電体素子 1 1 8 は、第 1 面 1 1 3 a 上に配置された下部電極膜 1 1 8 a と、当該下部電極 1 1 8 a 上に配置された圧電体膜 1 1 8 b と、当該圧電体膜 1 1 8 b 上に配置された上部電極膜 1 1 8 c と、を含んで構成される。圧電体素子 1 1 9 は、第 1 面 1 1 4 a 上に配置された下部電極膜 1 1 9 a と、当該下部電極 1 1 9 a 上に配置された圧電体膜 1 1 9 b と、当該圧電体膜 1 1 9 b 上に配置された上部電極膜 1 1 9 c と、を含んで構成される。圧電体素子 1 2 0 は、第 1 面 1 1 5 a 上に配置された下部電極膜 1 2 0 a と、当該下部電極 1 2 0 a 上に配置された圧電体膜 1 2 0 b と、当該圧電体膜 1 2 0 b 上に配置された上部電極膜 1 2 0 c と、を含んで構成される。

20

#### 【 0 0 4 1 】

上記の各圧電体素子 1 1 6 ~ 1 2 0 のうち、奇数番目に配置された各腕部 1 1 1、 1 1 3、 1 1 5 に設けられた各圧電体素子 1 1 6、 1 1 8、 1 2 0 の下部電極膜 1 1 6 a、 1 1 8 a、 1 2 0 a と、偶数番目に配置された各腕部 1 1 2、 1 1 4 に設けられた各圧電体素子の上部電極膜 1 1 2 c、 1 1 4 c と、が相互に電氣的に接続されている。これらの電極膜は電極パッド 1 2 6 と電氣的に接続されている。また、奇数番目に配置された各腕部 1 1 1、 1 1 3、 1 1 5 に設けられた各圧電体素子 1 1 6、 1 1 8、 1 2 0 の上部電極膜 1 1 6 c、 1 1 8 c、 1 2 0 c と、偶数番目に配置された各腕部 1 1 2、 1 1 4 に設けられた各圧電体素子の下部電極膜 1 1 2 a、 1 1 4 a と、が相互に電氣的に接続されている。これらの電極膜は電極パッド 1 2 4 と電氣的に接続されている。なお、具体的な接続態様については上記した音叉型振動子 1 と同様であるので、ここでは説明を省略する。

30

#### 【 0 0 4 2 】

電極パッド 1 2 4 および電極パッド 1 2 6 に電気信号を供給することにより、腕部 1 1 1、 1 1 3、 1 1 5 ( 奇数番目の各腕部 ) と腕部 1 1 2、 1 1 4 ( 偶数番目の各腕部 ) とを互い違いに上下振動させることができる。このように、奇数個の腕部を有する構造とすることにより、上下振動 ( 図中の Z 方向に沿った振動 ) を用いる振動モードにおいても Q 値を高めることが可能となる。

40

#### 【 0 0 4 3 】

なお、音叉型振動子 1 0 0 の各要素の構成材料、形状、膜厚等の好適な例は上記実施形態と共通しており、ここでは説明を省略する。

#### 【 0 0 4 4 】

図 8 は、本実施形態に係る音叉型振動子の温度特性の一例を示すグラフである。図 8 に示すグラフの横軸は温度 (  $^{\circ}\text{C}$  )、縦軸は周波数温度特性  $F$  (  $\text{ppm}$  ) に対応している。太い実線で示したグラフが本実施形態に係る音叉型振動子の特性である。点線で示したグラフ、細かい実線で示したグラフは、それぞれ、無機膜を有しない比較例の音叉型振動子における温度特性である。温度補正用の無機膜を設けることにより、この音叉型振動子は、2

50

0 付近に頂点温度を有する放物線を描いた良好な温度特性を得られる。

【0045】

図9は、上記の音叉型振動子1（又は音叉型振動子100）を含んで構成される発振器の構成例を示す回路図である。図8に示す発振器は、音叉型振動子1と、この音叉型振動子1と並列に接続されたインバータ2と、を含む。インバータ2の一方端が上記の電極パッド24と接続され、他方端が上記の電極パッド26と接続される。また、図示のように、音叉型振動子1とインバータ2との一方の接続点と接地端との間に接続された容量素子（コンデンサ）3と、音叉型振動子1とインバータ2との他方の接続点と接地端との間に接続された容量素子（コンデンサ）4と、を更に備えてもよい。

【0046】

以上に説明した本実施形態によれば、各腕部の第2面に設けた無機膜により、第1面側の圧電体膜等の温度特性が補正され、温度変化による特性変動の少ない音叉型振動子を提供することが可能となる。また、各腕部と基部とがシリコン等の半導体で構成されることにより、温度変化による特性変動を抑制する効果が得られる。また、各腕部の第2面に無機膜を設けたことにより、第1面側の圧電体膜に生じる応力を緩和する効果も得られる。また、本実施形態によれば、温度変化による特性変化の少ない発振器を提供することが可能となる。

【0047】

なお、本発明は上述した実施形態の内容に限定されるものではなく、本発明の要旨の範囲内において種々に変形して実施をすることが可能である。例えば、上記した実施形態では、奇数個の腕部を有する音叉型振動子を例示していたが、腕部の個数は必ずしも奇数個である必要はなく、少なくとも2個以上の複数であればよい。また、奇数個の腕部を有する場合には、上述した3個または5個の腕部を有する場合のほか、更に多くの奇数個（7個、9個・・・）の腕部を有する音叉型振動子を構成することも可能である。また、上記した実施形態においては、各腕部とこれらを連結する基部の構成材料たる半導体としてシリコンを例示していたが、他の半導体材料を用いることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】一実施形態の音叉型振動子の平面図である。

【図2】音叉型振動子の図1に示すII-II線における断面図である。

【図3】腕部および基部を示す斜視図である。

【図4】圧電体素子の構造を示した拡大断面図である。

【図5】圧電体素子の構造を示した拡大断面図である。

【図6】この音叉型振動子の図6に示すVII-VII線方向の断面図である。

【図7】音叉型振動子の他の構成例を示す平面図である。

【図8】音叉型振動子の温度特性の一例を示すグラフである。

【図9】発振器の構成例を示す回路図である。

【符号の説明】

【0049】

1...音叉型振動子、2...インバータ、3、4...容量素子、11、12、13...腕部、11a、12a、13a...第1面、14...基部、15、16、17...圧電体素子、15a、16a、17a...下部電極膜、15b、16b、17b...圧電体膜、15c、16c、17c...上部電極膜、15d、16d、17d...絶縁膜、21a、21c、22a...接続部、24、26...電極パッド、31、32、33...無機膜

10

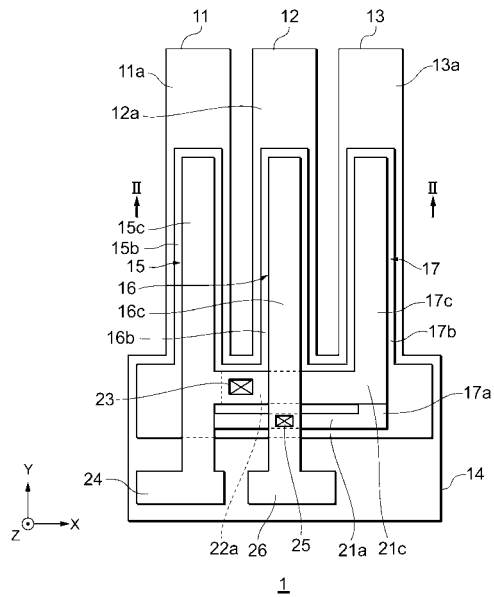
20

30

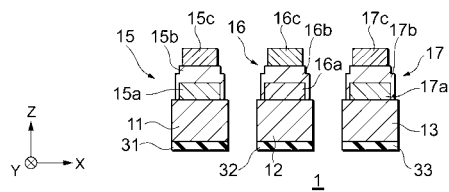
40



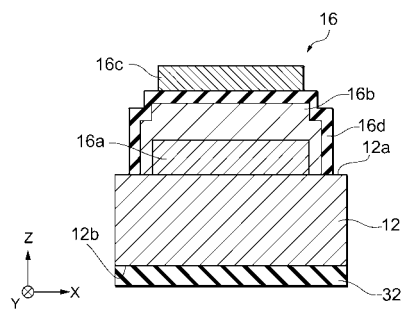
【図 1】



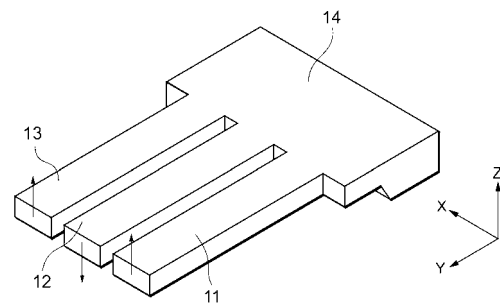
【図 2】



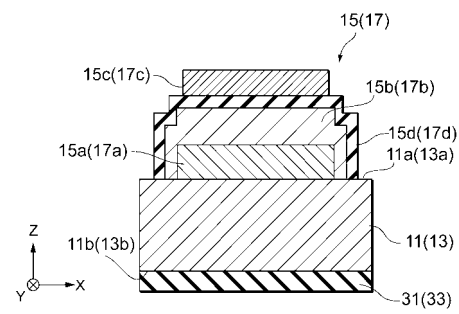
【図 5】



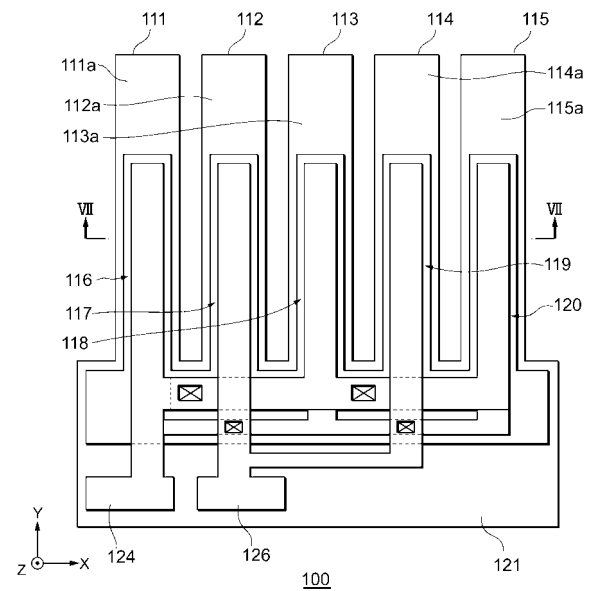
【図 3】



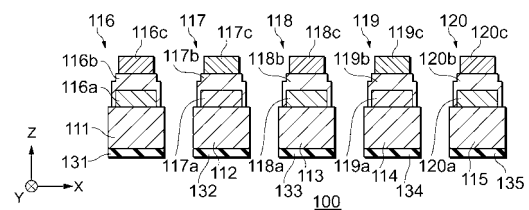
【図 4】



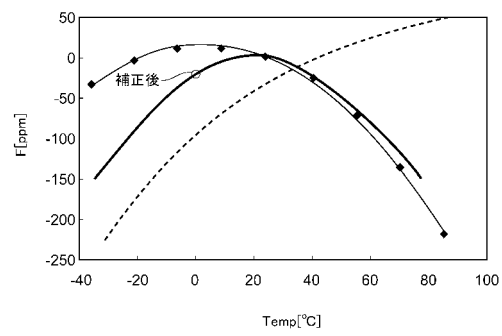
【図 6】



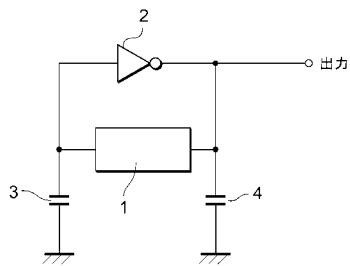
【図 7】



【図 8】



【図 9】



## フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 1 L 41/22 (2006.01) H 0 1 L 41/18 1 0 1 Z  
H 0 1 L 41/08 K  
H 0 1 L 41/22 Z

(72)発明者 山崎 隆  
東京都日野市日野4 2 1 - 8 エプソントヨコム株式会社内  
(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  
(72)発明者 藤井 知  
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 高 橋 徳浩

(56)参考文献 特開平08-005382(JP,A)  
特開昭60-126907(JP,A)  
特開昭58-150317(JP,A)  
特開昭60-090415(JP,A)  
特開2007-024810(JP,A)  
特開2001-203558(JP,A)  
特開2001-211053(JP,A)  
特開2003-051732(JP,A)  
特開2007-060729(JP,A)  
特開2007-096900(JP,A)  
特表2007-510386(JP,A)  
特開平11-257965(JP,A)  
特開2004-251663(JP,A)  
特開2003-188678(JP,A)  
実開平09-000105(JP,U)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 3 H 3 / 0 0 7 - H 0 3 H 3 / 1 0  
H 0 3 H 9 / 0 0 - H 0 3 H 9 / 7 6  
H 0 3 B 5 / 3 0 - H 0 3 B 5 / 4 2  
G 0 1 C 1 9 / 0 0 - G 0 1 C 1 9 / 7 2  
H 0 1 L 4 1 / 0 9  
H 0 1 L 4 1 / 1 8  
H 0 1 L 4 1 / 2 2