

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6338367号  
(P6338367)

(45) 発行日 平成30年6月6日(2018.6.6)

(24) 登録日 平成30年5月18日(2018.5.18)

(51) Int.Cl.

H03H 9/19 (2006.01)

F I

H03H 9/19

B

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2013-265268 (P2013-265268)	(73) 特許権者	000232483
(22) 出願日	平成25年12月24日(2013.12.24)		日本電波工業株式会社
(65) 公開番号	特開2015-122624 (P2015-122624A)		東京都渋谷区笹塚一丁目4 7 番 1 号
(43) 公開日	平成27年7月2日(2015.7.2)	(74) 代理人	100123788
審査請求日	平成28年9月23日(2016.9.23)		弁理士 宮崎 昭夫
		(74) 代理人	100127454
			弁理士 緒方 雅昭
		(72) 発明者	山田 博章
			埼玉県狭山市大字上広瀬1 2 7 5 番地の2
			日本電波工業株式会社 狭山事業所内
		(72) 発明者	山口 貴士
			埼玉県狭山市大字上広瀬1 2 7 5 番地の2
			日本電波工業株式会社 狭山事業所内
		審査官	橋本 和志
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水晶振動子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水晶の結晶学的なX軸、Y軸及びZ軸を前記X軸の周りに $+37^{\circ}$ 以上 $+51.5^{\circ}$ 以下の角度だけ回転して得られた軸をそれぞれX'軸、Y'軸及びZ'軸とし、前記X'軸及び前記Z'軸を前記Y'軸の周りで前記Z'軸から前記X'軸に向かう方向に $45^{\circ}$ 回転させて得られる軸をそれぞれX''軸及びZ''軸として、

前記X''軸及び前記Z''軸を含む面に平行に前記水晶から切り出された水晶板と、

前記水晶板を支持する支持部と、

を有し、

前記水晶板は、前記X''軸及び前記Z''軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形を基準長方形として、前記基準長方形の少なくとも1対の対向する辺を前記基準長方形の外方に膨らますことによる六角形以上の多角形の形状を有して、前記X''軸方向及び前記Z''軸方向をそれぞれ振動方向とする直交する2つの縦振動モードを有し、

前記支持部は、前記基準長方形の頂点の近傍の位置であって前記2つの縦振動モードが結合したときに前記X''軸方向または前記Z''軸方向の振動変位が極小となる位置において、前記水晶板の外周に接続する、水晶振動子。

【請求項 2】

水晶の結晶学的なX軸、Y軸及びZ軸を前記X軸の周りに $+37^{\circ}$ 以上 $+51.5^{\circ}$ 以下の角度だけ回転して得られた軸をそれぞれX'軸、Y'軸及びZ'軸とし、前記X'軸及び前記Z'軸を前記Y'軸の周りで前記Z'軸から前記X'軸に向かう方向に $45^{\circ}$ 回

10

20

転させて得られる軸をそれぞれ X " 軸及び Z " 軸として、

前記 X " 軸及び前記 Z " 軸を含む面に平行に前記水晶から切り出された水晶板と、

前記水晶板を支持する支持部と、

を有し、

前記水晶板は、前記 X " 軸及び前記 Z " 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形を基準長方形として、前記基準長方形の 4 つの辺の各々を該基準長方形の外方に膨らませた形状であって前記基準長方形の隣接する頂点間をそれぞれ楕円弧で接続した形状を有して、前記 X " 軸方向及び前記 Z " 軸方向をそれぞれ振動方向とする直交する 2 つの縦振動モードを有し、前記基準長方形の頂点ごとに、当該頂点で相互に接続する 2 つの楕円弧は、異なる楕円から切り出された楕円弧であり、

10

前記支持部は、前記基準長方形の頂点の近傍の位置であって前記 2 つの縦振動モードが結合したときに前記 X " 軸方向または前記 Z " 軸方向の振動変位が極小となる位置において、前記水晶板の外周に接続する、水晶振動子。

#### 【請求項 3】

水晶の結晶学的な X 軸、Y 軸及び Z 軸を前記 X 軸の周りに  $+37^{\circ}$  以上  $+51.5^{\circ}$  以下の角度だけ回転して得られた軸をそれぞれ X ' 軸、Y ' 軸及び Z ' 軸とし、前記 X ' 軸及び前記 Z ' 軸を前記 Y ' 軸の周りで前記 Z ' 軸から前記 X ' 軸に向かう方向に  $45^{\circ}$  回転させて得られる軸をそれぞれ X " 軸及び Z " 軸として、

前記 X " 軸及び前記 Z " 軸を含む面に平行に前記水晶から切り出された水晶板と、

前記水晶板を支持する支持部と、

を有し、

前記水晶板は、前記 X " 軸及び前記 Z " 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形を基準長方形として、前記基準長方形の 4 つの辺の各々を余弦曲線によって前記基準長方形の外方に膨らませた形状を有して、前記 X " 軸方向及び前記 Z " 軸方向をそれぞれ振動方向とする直交する 2 つの縦振動モードを有し、

20

前記支持部は、前記基準長方形の頂点の近傍の位置であって前記 2 つの縦振動モードが結合したときに前記 X " 軸方向または前記 Z " 軸方向の振動変位が極小となる位置において、前記水晶板の外周に接続する水晶振動子。

#### 【請求項 4】

前記支持部は水晶からなり、前記水晶板と一体的に形成されている、請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の水晶振動子。

30

#### 【請求項 5】

前記 X " 軸方向での前記水晶板の最大寸法と前記 Z " 軸方向での前記水晶板の最大寸法とのうちの大きい方を a、小さい方を b として、 $b/a$  が  $0.84$  以上  $0.98$  以下である、請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の水晶振動子。

#### 【請求項 6】

前記水晶板の各主面に形成された励振電極をさらに備える、請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の水晶振動子。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

40

#### 【0001】

本発明は、水晶振動子に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

周波数や時間の基準源として用いられる水晶振動子は、水晶振動子を構成する振動板すなわち水晶板を水晶の単結晶から切り出すときの結晶学的な方位にしたがって、何種類かの“カット”に分類される。そのようなカットとしては、従来から、例えば、AT カット、SC カットなどが広く知られている。中でも GT カットの水晶板は、優れた周波数温度特性を有し、周囲温度が変化した場合における共振周波数の変化が非常に小さいので、高精度高安定の水晶発振器への適用などが期待されている。長形状の GT カットの水晶振

50

動子は、低周波数帯（例えば、 $2 \sim 10 \text{ MHz}$ ）において小型化が可能であり、常温（ $25$  近傍）で一次の温度係数が $0$ となるような周波数温度特性を有している。

【0003】

水晶においては、周知のように、結晶学的に $X$ 軸、 $Y$ 軸及び $Z$ 軸の3本の結晶軸が定められている。 $Y$ 軸に直交する面（すなわち、 $X$ 軸と $Z$ 軸に平行な面）に沿って切り出される水晶板を $Y$ 板と呼ぶが、 $Y$ 板を $X$ 軸の周りに $+51.5^\circ$ 回転させ（すなわち  $= +51.5^\circ$ ）、さらにその板の面内で板を $+45^\circ$ 回転させる（すなわち  $= +45^\circ$ ）ことによって形成される水晶板からなるカットが $GT$ カットである（例えば、特許文献1参照）。及び は、水晶におけるカット方位を特定するために一般的に用いられるパラメータである。 $GT$ カットの水晶板内での方位を指定するために、 $X$ 軸、 $Y$ 軸及び $Z$ 軸を $X$ 軸の周りで上記の $+51.5^\circ$ 回転させて得られる軸をそれぞれ $X'$ 軸、 $Y'$ 軸及び $Z'$ 軸とする。 $X$ 軸周りの回転であるので、当然のことながら $X'$ 軸は $X$ 軸に一致する。そして、 $X'$ 軸及び $Z'$ 軸を $Y'$ 軸の周りで $Z'$ 軸から $X'$ 軸に向かう方向に $45^\circ$ 回転させて得られる軸をそれぞれ $X''$ 軸及び $Z''$ 軸とする。

10

【0004】

ここで $GT$ カットの水晶板における振動モードを説明する。図1に示すように、 $GT$ カットの水晶板11における振動モードは、 $X''$ 軸方向の縦振動（伸縮振動）モードと $Z''$ 軸方向の縦振動モードとが結合した振動モード（幅・長さ縦結合振動モードともいう）である。図において、伸縮振動の方向が矢印で示されており、振動によって変位した輪郭が破線によって示されている。ただし、説明のために、変位した輪郭は、水晶板11における実際の変位量よりもはるかな大きな変位をしたものとして描かれている。2つの縦振動モードが結合した振動モードであるため、従来、 $GT$ カットの水晶板は、1対の辺が $X''$ 軸に平行となりもう1対の辺が $Z''$ 軸に平行になるような長方形あるいは角型の形状にして、水晶振動子における振動板すなわち水晶片として用いられていた。振動板としての水晶板を励振するための励振電極は、水晶板の両方の主面にそれぞれ設けられる。縦振動モードを主振動として利用することから、 $GT$ カットの水晶板は、共振周波数が低周波帯にあるときであっても、小型に形成することができる。なお、 $GT$ カットの振動子は、各辺の長さを等しくし正方形の振動板とした場合には、幅・長さ縦結合振動モードとは異なるラーム振動モードと呼ばれる振動モードで振動するので、原則として、 $GT$ カットの振動子の平面形状は正方形とはしない。

20

30

【0005】

水晶板の振動モードは、カットごとに異なっている。例えば、従来から広く用いられている $AT$ カットの水晶板の場合、振動モードは厚み滑り振動モードであって、その厚さのみによって共振周波数が決定する。そのため $AT$ カットの水晶板では、平面形状を任意に設定することができる。しかしながら $GT$ カットの水晶片の場合、振動モードが幅・長さ縦結合振動モードであって幅や長さなどの平面形状やサイズに応じて共振周波数が変化し、かつ、相互に結合する2つの振動モードの振動が両方とも確実に起きるようにしなければならないから、平面形状を任意に設定したり、任意の位置に支持部を配置したりすることはできない。特に、長方形の $GT$ カットの水晶板の外周部には、一般的には、振動変位における不動点は存在しない。

40

【0006】

水晶振動子を構成する振動板すなわち水晶片として $GT$ カットの水晶板を使用する場合には、水晶振動子の容器の壁面などと接触しないように水晶板を容器内に保持する必要があるが、長方形の $GT$ カットの水晶板の外周部には振動変位における不動点は存在しないから、できるだけ、振動を妨げないような位置と形状で、水晶片に対する支持部を設ける必要がある。そこで、特許文献2に示されるように、フォトリソグラフィ技術を用いることにより、振動板の本体部分（振動部）とそれに対する支持部とを水晶の板状部材から一体的に形成してしまうことが提案されている。その場合、図2に示すように、振動板としての水晶板11における長方形の本体部分における対向する1対の辺の各々の中点の

50

位置に対し、支持部 1 2 が接続するようにする。このとき、クランク状の折れ曲がり部を設けるなどして支持部 1 2 が水晶板 1 1 の振動に影響を及ぼさないようにする。さらに、有限要素法などの手法を用いることによって、振動部単独での共振周波数と、支持部 1 2 までを含めた共振系全体としての共振周波数とがほぼ同じになるように、支持部 1 2 の形状を設計する。

#### 【 0 0 0 7 】

しかしながら、図 2 に示したような支持部を備える G T カットの水晶振動子は、構造が複雑であって製造が難しく、また支持部自体の大きさが振動板の本体部分に比べて無視できないので、支持部における寸法ばらつきが水晶板の振動特性に大きな影響を及ぼすとともに、水晶振動子の小型化を阻害する、という課題を有する。

10

#### 【 0 0 0 8 】

そこで本発明者らは、G T カットの水晶振動子として、楕円形状の水晶板を振動板として用いることを提案した（特許文献 3）。G T カットにおける直交する 2 つの縦振動モードの振動方向をそれぞれ長軸と短軸とする楕円形に形成された水晶板では、2 つの縦振動モードが結合したときに水晶板の外周において振動変位が極小となる位置が 4 点存在するようになるので、そのような点で水晶板を支持する構成とすることによって、簡単な構造の支持部を用いた場合であっても、水晶振動子としての振動特性に悪影響を与えることなく、水晶板を支持できるようになる。

#### 【 先行技術文献 】

#### 【 特許文献 】

20

#### 【 0 0 0 9 】

【 特許文献 1 】 特開平 8 - 2 1 3 8 7 2 号公報

【 特許文献 2 】 特開昭 5 8 - 1 5 9 0 1 4 号公報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 1 2 - 1 7 5 5 2 0 号公報

#### 【 発明の概要 】

#### 【 発明が解決しようとする課題 】

#### 【 0 0 1 0 】

G T カットの水晶振動子では、その形状によって、周波数、振動特性及び周波数温度特性が決まる。特許文献 3 に示したような楕円形状の G T カットの水晶板を用いた場合、楕円としての形状（特に、長軸と短軸の長さの比）によって周波数温度特性が決まるため、所望の諸特性を有する水晶振動子を得ようとした場合に、設計の自由度が限られてしまう、という課題がある。

30

#### 【 0 0 1 1 】

本発明の目的は、振動特性に悪影響を及ぼすことなく小型で簡単な構造の支持部を設けることができ、かつ、周波数、振動特性及び周波数温度特性を含む各種の特性に関する設計の自由度が高い水晶振動子を提供することにある。

#### 【 課題を解決するための手段 】

#### 【 0 0 1 2 】

本発明の水晶振動子は、水晶の結晶学的な X 軸、Y 軸及び Z 軸を X 軸の周りに  $+37^\circ$  以上  $+51.5^\circ$  以下の角度だけ回転して得られた軸をそれぞれ X' 軸、Y' 軸及び Z' 軸とし、X' 軸及び Z' 軸を Y' 軸の周りで Z' 軸から X' 軸に向かう方向に  $45^\circ$  回転させて得られる軸をそれぞれ X'' 軸及び Z'' 軸として、X'' 軸及び Z'' 軸を含む面に平行に水晶から切り出された水晶板と、水晶板を支持する支持部と、を有し、水晶板は、X'' 軸及び Z'' 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形を基準長方形として、基準長方形の少なくとも 1 対の対向する辺を基準長方形の外方に膨らませた形状を有して、X'' 軸方向及び Z'' 軸方向をそれぞれ振動方向とする直交する 2 つの縦振動モードを有し、支持部は、基準長方形の頂点の近傍の位置であって 2 つの縦振動モードが結合したときに X'' 軸方向または Z'' 軸方向の振動変位が極小となる位置において、水晶板の外周に接続する。

40

#### 【 0 0 1 3 】

本発明の水晶振動子は、G T カットの水晶振動子と同様に、いわゆる Y 板を水晶の X 軸

50

の周りに回転させ、さらに、面内で  $45^\circ$  回転させた水晶板を振動板として用いるものである。本発明の水晶振動子が G T カットの水晶振動子と異なるところは、水晶の Y 板を X 軸の周りで回転するときの回転角  $\theta$  を  $+37^\circ$  から  $+51.5^\circ$  の範囲で定めることである。 $\theta = +51.5^\circ$  とすると通常の G T カットの水晶板となる。長方形の G T カットの水晶板では、 $\theta = +51.5^\circ$  とすることによって周波数温度特性における一次の温度係数が常温近傍でゼロとなるが、本発明では水晶板の形状を以下に述べるように単純な長方形とはしないので、好ましい特性を得るために  $\theta$  の値を  $+51.5^\circ$  よりも小さくすることができる。 $\theta$  の値が小さくなると圧電定数が大きくなるので、良好な振動子の特性を得ることが容易になる。

#### 【0014】

さらに本発明では、水晶板の形状を、X 軸及び Z 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形（これを基準長方形と呼ぶ）とするのではなく、この基準長方形の少なくとも 1 対の対向する辺を基準長方形の外方に膨らせた形状とする。好ましくは、水晶板の形状は、基準長方形の 4 つの辺の各々をその基準長方形の外方に膨らませた形状とする。基準長方形自体は、水晶板の形状を定義するために導入された仮想的なものであり、実際の水晶板では、基準長方形の内部であるか外部であるかによって性状等に格別の相違があるわけではない。また、基準長方形の形状は正方形であってもよいが、ラーメ振動モードが励起されることを防ぐためには、水晶板における X 軸方向の最大寸法と Z 軸方向の最大寸法とが異なるか、または、膨らみの形状が異なる必要がある。

#### 【発明の効果】

#### 【0015】

本発明によれば、Y 板を X 軸の周りに回転させた上で面内で  $45^\circ$  回転させて得られる水晶板であって、X 軸及び Z 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形（基準長方形）からさらに基準長方形の各辺を外方に膨らませた形状の水晶板を用いることによって、振動特性や周波数温度特性を所望のものとするのが可能となり、水晶振動子の設計の自由度が高くなる。この場合、単純な楕円形状の G T カットの水晶板に比べ、良好な周波数温度特性を得ながら、X 軸方向の最大寸法と Z 軸方向の最大寸法との比を 1 に近づけることが可能となり、振動子のさらなる小型化が可能になる。また、振動変位が極小となる点で水晶板を保持することが可能となって、振動特性に影響を及ぼすことなく、小型で簡単な構造の支持部を使用した水晶振動子を構成することができる。本発明の水晶振動子は、縦振動モードを主振動として利用するため、低周波帯においても小型化することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0016】

【図 1】G T カットの水晶板の振動モードを説明する平面図である。

【図 2】支持部が設けられている従来の長方形の G T カット水晶振動子を説明する平面図である。

【図 3】(a) ~ (d) は、本発明の実施の一形態の水晶振動子における水晶板の平面形状の例を示す上面図である。

【図 4】振動子の振動変位における Z 軸方向の変位量の分布を示す図である。

【図 5】振動子の振動変位における X 軸方向の変位量の分布を示す図である。

【図 6】本発明の実施の一形態の水晶振動子の具体的構成の一例を示す平面図である。

【図 7】図 6 の C - C' 線での断面図である。

【図 8】(a), (b) は水晶板を面内で回転させて X 軸方向の寸法と Z 軸方向の寸法を入れ替えることを説明する図である。

【図 9】基準長方形からの膨らみの度合いに応じた、辺比と周波数温度特性における一次の温度係数との関係を示すグラフである。

【図 10】種々の回転角  $\theta$  に対する、辺比と周波数温度特性における一次の温度係数との関係を示すグラフである。

#### 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 1 7 】

次に、本発明の好ましい実施の形態について、図面を参照して説明する。

## 【 0 0 1 8 】

図 3 ( a ) ~ ( d ) は、いずれも、本発明に基づく水晶振動子において振動板として用いられる水晶板 3 1 の平面形状の例を示している。これらの水晶板 3 1 は、いずれも、Y 板（水晶の結晶学的な Y 軸に垂直な面）を水晶の X 軸の周りに角度  $\theta$  だけ回転させ、さらに、面内で  $45^\circ$  回転させた水晶板である。ここで回転角  $\theta$  は  $+37^\circ$  ~  $+51.5^\circ$  の範囲にある。ここで水晶の X 軸、Y 軸、Z 軸を X 軸の周りに角度  $\theta$  だけ回転して得られる座標軸を X' 軸、Y' 軸、Z' 軸とし（したがって、X' 軸は X 軸に一致する）、さらに X' 軸及び Z' 軸を Y' 軸の周りに Z' 軸から X' 軸に向かう方向に  $45^\circ$  回転させて得られる軸をそれぞれ X'' 軸及び Z'' 軸とすると、水晶板 3 1 は、X'' 軸及び Z'' 軸に平行な面を有する水晶板 3 1 ということになる。水晶板 3 1 は、X'' 軸方向及び Z'' 軸方向をそれぞれ振動方向とする直交する 2 つの縦振動モードを有し、かつこれらの縦振動モードが結合して、X'' 軸方向と Z'' 軸方向とに交互に伸縮する幅・長さ縦結合振動モードを有することになる。

10

## 【 0 0 1 9 】

ここで、仮想的に X'' 軸及び Z'' 軸にそれぞれ平行な辺を有する長方形を基準長方形 3 0 として考えると、本実施形態に基づく水晶板 3 1 は、基準長方形 3 0 の 4 つの辺の各々を基準長方形 3 0 の外方に膨らませた形状を有する。したがって、基準長方形 3 0 は、その各頂点が水晶板 3 1 の外周上にあるようにして、水晶板 3 1 の外周に対して内接することになる。ここで基準長方形 3 0 の X'' 軸方向での長さを  $L_x$  とし、Z'' 軸方向での長さを  $L_z$  とする。また、水晶板 3 1 の X'' 軸方向での最大長さを  $a$  とし、Z'' 軸方向での最大長さを  $b$  とする。本実施形態では、 $L_x = L_z$  であってもよいが、ラーム振動モードなどの意図しない振動モードによる振動を抑制するために、 $a \neq b$  である必要がある。もっとも、X'' 軸方向と Z'' 軸方向の 2 つの縦振動モードを結合させて幅・長さ縦結合振動モードとするために、 $a$  と  $b$  とは比較的近い値である必要がある。以下では説明のため、 $L_x > L_z$ 、 $a > b$  としているが、X'' 軸方向の弾性係数  $C'_{11}$  と Z'' 軸方向の弾性係数  $C'_{33}$  とが等しいので、X'' 軸方向の寸法と Z'' 軸方向の寸法とを入れ替えても全く同じ振動特性が得られる。水晶板 3 1 における X'' 軸方向の長さ  $a$  と Z'' 軸方向の長さ  $b$  との比を辺比と呼ぶが、 $a > b$  である場合には、 $0.84 \leq b/a \leq 0.96$  とすることが好ましい。X'' 軸方向の寸法と Z'' 軸方向の寸法とを入れ替えても全く同じ振動特性が得られることから、 $b > a$  の場合には、 $0.84 \leq a/b \leq 0.96$  とすることが好ましい。

20

30

## 【 0 0 2 0 】

図 3 ( a ) に示した水晶板 3 1 は、基準長方形 3 0 の隣接する頂点間がそれぞれ楕円弧で結ばれるように、基準長方形 3 0 の各辺をその外方に膨らませた形状を有する。このとき、基準長方形 3 0 の頂点の位置で相互に接続する 2 つの楕円弧は、異なる楕円から切り出された楕円弧であるようにする。すなわち、水晶板 3 1 は、全体として単一の楕円で表されるような形状とはなっていない。各楕円弧のもととなるそれぞれの楕円は、例えば、その長軸の長さに対する短軸の長さが  $0.3$  以上  $0.6$  以下のものである。

## 【 0 0 2 1 】

図 3 ( b ) に示した水晶板 3 1 は、基準長方形 3 0 の各辺をそれぞれ底辺とする 4 つの三角形によって、基準長方形 3 0 を外方に膨らませた形状を有する。したがってこの水晶板 3 1 は、凸八角形に構成されていることになる。ここでは図示しないが、基準長方形 3 0 の対向する 1 対の辺だけを三角形によって外方に膨らませることにより、凸六角形の形状の水晶板 3 1 としてもよい。

40

## 【 0 0 2 2 】

図 3 ( c ) に示した水晶板 3 1 は、基準長方形 3 0 の各辺を余弦（コサイン）曲線によって外方に膨らませた形状を有する。基準長方形 3 0 の各辺を曲線によって外方に膨らませる場合、使用する曲線は余弦曲線に限られるものではなく、任意の曲線を用いることができる。

50

## 【 0 0 2 3 】

図 3 ( d ) に示した水晶板 3 1 は、基準長方形 3 0 の各辺をそれぞれ 4 つの線分からなる折れ線で置き換えて、全体として十六角形に形成されている。このとき、必ずしも凸十六角形とする必要はなく、図示するように凹十六角形としてもよい。基準長方形 3 0 の各辺をそれぞれ外方に膨らませて多角形状の水晶板 3 1 とする場合、図 3 ( b ) に示した八角形や図 3 ( d ) に示した十六角形に限られるものではなく、六角形以上の任意の角数の多角形とすることができる。図 3 ( a )、図 3 ( c ) 及び図 3 ( d ) に示したものにおいても、図 3 ( b ) の場合と同様に、基準長方形 3 0 の対向する 1 対の辺だけを外方に膨らませた形状としてもよい。

## 【 0 0 2 4 】

次に、本実施形態の水晶振動子において水晶板 3 1 を支持するための支持部の接続位置について検討する。

## 【 0 0 2 5 】

図 4 及び図 5 は、それぞれ、図 3 ( a ) に示す水晶板 3 1 が幅・長さ縦結合振動モードで振動したときの水晶板 3 1 の板面内での Z " 軸方向の変位量の分布と X " 軸方向の変位量の分布とをシミュレーションによって求めた結果を示している。これらの図において、正の変位量は各軸の正方向への変位であることを示し、負の変位量は負方向への変位であることを示している。Z " 軸方向の振動変位に関しては、水晶板 3 1 の Z " 軸方向に伸びる中心線上では変位が小さいが、この中心線と水晶板 3 1 の外周とが交わる位置において、X " 軸方向の振動変位の変位量の絶対値が極大となる。一方、X " 軸方向の振動変位に関しては、水晶板 3 1 の X " 軸方向に伸びる中心線上では変位が小さいが、この中心線と水晶板 3 1 の外周とが交わる位置において、Z " 軸方向の振動変位の変位量の絶対値が極大となる。したがって、水晶板 3 1 の X " 軸方向に伸びる中心線の位置、あるいは Z " 軸方向に伸びる中心線の位置、言い換えれば、基準長方形 3 0 の各辺の midpoint に対応する位置において、水晶板 3 1 の外周に対して支持部を接続することは好ましくない。ところで、図 5 を参照すると、基準長方形 3 0 の頂点の近傍であって水晶板 3 1 の外周上に、X " 軸方向の変位がほぼ 0 となる点がある。図では、これらの点を  $P_1 \sim P_4$  で表している。図 4 を参照すると、点  $P_1 \sim P_4$  では、Z " 軸方向の変位も比較的小さい。そこで、これらの点  $P_1 \sim P_4$  のうちのいくつかの点に対し細い棒状の支持部 3 2 を接続することにより、水晶板 3 1 を支持することができる。

## 【 0 0 2 6 】

一般に棒状の支持部材を水晶板の外周に接続して水晶板を保持する場合、振動変位が 0 の位置で保持することが好ましい。しかしながら、振動モードによっては振動変位が 0 となる位置が水晶板に存在しない場合もある。棒状の部材は、圧縮 / 伸張応力に対してよりも曲げ応力に対して「柔らかい」挙動を示すから、振動変位が 0 となる位置が存在しない場合には、振動変位によって支持部材に加わる応力が圧縮 / 伸張応力となるのではなく曲げ応力となる位置に支持部材を接続することが好ましい。図 4 及び図 5 に示す例の場合、点  $P_1 \sim P_4$  は基準長方形 3 0 における Z " 軸方向に平行な辺上にあるから、この辺に対して直交する方向に伸びるように棒状の支持部 3 2 を設けるとすると、支持部 3 2 には Z " 軸方向の振動変位による曲げ応力のみが加わることとなり、またその振動変位の絶対値も比較的小さいので、支持部 3 2 は、水晶板 3 1 の振動特性に大きな影響を与えることなく水晶板 3 1 を支持できることになる。

## 【 0 0 2 7 】

このように本実施形態の水晶振動子では、水晶板 3 1 の外周において、基準長方形 3 0 の頂点の近傍であって X " 軸方向あるいは Z " 軸方向の変位が極小となる位置 ( 図 4 及び図 5 に示した例では点  $P_1 \sim P_4$  の 1 つまたは複数 ) に対して支持部 3 2 を接続することにより、水晶板 3 1 の振動特性に影響を及ぼすことなく、水晶板 3 1 を支持することができる。支持部 3 2 は、振動変位が極小となる点に対して接続するので、その共振周波数を水晶板 3 1 の共振周波数に一致させる必要がなく、簡単な構成のものとすることができる。例えば、水晶板 3 1 の外周に接続する単純な棒状部材あるいは梁部材によって支持部 3 2

10

20

30

40

50

を構成することができる。またこの水晶振動子は、幅・長さ縦結合振動モードで振動する水晶板 3 1 を用いていることから、良好な周波数温度特性が得られ、この水晶振動子と発振回路とを組み合わせることによって、高精度高安定な水晶発振器を得ることができる。

#### 【 0 0 2 8 】

図 6 及び図 7 は、このようにして構成された本実施形態の水晶振動子の具体的な構成の一例を示している。

#### 【 0 0 2 9 】

この水晶振動子は、略長方形に形成されたフレーム（枠）3 3 を備え、フレーム 3 3 の開口部内に上述した水晶板 3 1 が保持されたものである。ここで示す例では、図 3（a）に示した水晶板 3 1 が用いられているとする。このときフレーム 3 3 も、X 軸方向及び Z 軸方向に平行となるように形成されている。水晶板 3 1 は、フレーム 3 3 の内壁から延びる棒状の 2 本の支持部 3 2 によって支持されている。2 本の支持部 3 2 は、楕円形の水晶板 3 1 の外周にある上述した 4 つの点  $P_1 \sim P_4$  のうちの 2 つにおいて、それぞれ、水晶板 3 1 に機械的に接続している。ここでは、水晶板 3 1 の中心を挟む一対の点  $P_2$  ,  $P_4$ （図 4 及び図 5 参照）に対して支持部 3 2 が接続している。フレーム 3 3 の厚さは、水晶板 3 1 の厚さよりも十分に厚くなっている。これにより、例えばフレーム 3 3 の上面と下面とに蓋部材をそれぞれ配してフレーム 3 3 と蓋部材とによって囲まれた空間内に水晶板 3 1 が格納されるようにした場合に、水晶板 3 1 の蓋部材への接触が防止されるようになっている。

#### 【 0 0 3 0 】

このような水晶振動子は、Y 板を X 軸の周りに角度（ただし、 $+37^\circ$   $+51.5^\circ$ ）だけ回転させたものに相当する水晶の板状部材を用い、水晶板 3 1、支持部 3 2 及びフレーム 3 3 となる部分が残存し他の部分は除去されるようにその板状部材に対してフォトリソグラフィ技術を適用することによって形成できる。水晶の板状部材に対してフォトリソグラフィ技術を用いて水晶振動子を形成した場合には、支持部 3 2 及びフレーム 3 3 も水晶からなり、水晶板 3 1 と一体的に構成されていることになる。

#### 【 0 0 3 1 】

さらに、水晶板 3 1 の一方の主面のほぼ全面には励振電極 3 4 が形成され、この励振電極 3 4 に対する電氣的接続を実現するための引出電極 3 6 が、一方の支持部 3 2 の表面に形成されて、フレーム 3 3 の上面に形成されている接続パッド 3 7 にまで延びている。同様に、水晶板 3 2 の他方の主面のほぼ全面にも励振電極 3 5 が形成され、この励振電極 3 5 は、フレーム 3 3 の下面に形成されている接続パッド（不図示）に対し、他方の支持部の表面に形成された引出電極（不図示）を介して電氣的に接続している。

#### 【 0 0 3 2 】

図 6 及び図 7 に示したものでは、水晶板 3 1 を 2 点で支持しているが、基準長方形 3 0 の頂点の近傍の位置であって（言い換えれば、基準長方形の X 軸方向の中心線の近傍の位置でも Z 軸方向の中心線の近傍の位置でもない）、幅・長さ縦結合振動モードでの X 軸方向または Z 軸方向の振動変位が極小となる位置において水晶板 3 1 を支持するものである限り、何か所で支持するか、どの点で支持するかは、任意に定めることができる。

#### 【 0 0 3 3 】

上述したように、本実施形態の水晶振動子の水晶板 3 1 は、Y 板を X 軸の周りで回転させた上で、面内で  $45^\circ$  回転させているから、X 軸方向の弾性係数  $C'_{11}$  と Z 軸方向の弾性係数  $C'_{33}$  とが等しくなる。したがって、図 8（a）,（b）に示すように、水晶板 3 1 を面内で  $90^\circ$  回転させることにより X 軸方向の寸法と Z 軸方向の寸法とを入れ替えても全く同じ振動特性が得られる。図 8（a）は、 $90^\circ$  の面内回転を行う前の水晶板 3 1 を示しており、ここでは、X 軸方向の長さが Z 軸方向の長さよりも長くなっている。これに対し、図 8（b）は、 $90^\circ$  の面内回転を行った後の水晶板 3 1 を示しており、ここでは、Z 軸方向の長さが X 軸方向の長さよりも長くなっている。

#### 【 0 0 3 4 】



本実施形態では、水晶板 31 は、基準長方形 30 の各辺を外方に膨らませた形状を有している。そこで、膨らみの度合いをどの程度にすれば良好な周波数温度特性が得られるかを検討した。ここで、基準長方形 30 の辺からの膨らみが全体の長さに対してどれだけの比率を占めるかによって、膨らみの度合いを表した。図 3 (a) に示した水晶板 31 を考えると、基準長方形 30 の対向する辺がそれぞれ膨らんでいるから、X 軸方向及び Z 軸方向のそれぞれに対する膨らみの度合い  $x$  ,  $z$  は、

$$x = (a - L_x) / 2a ,$$

$$z = (b - L_z) / 2b$$

で表される。種々の  $x$  ,  $z$  の組み合わせに対し、辺比 ( $b/a$ ) を変化させたときの周波数温度特性における 25 での一次の温度係数の変化をシミュレーションによって求めた。結果を図 9 に示す。

10

#### 【0035】

また、水晶板 31 を水晶結晶から切り出すときの切断方位 (回転角) を変えたときに周波数温度特性がどのように変化するかを検討した。 $x = 4.4\%$ 、 $z = 2.6\%$ とし、種々の回転角 に対し、辺比 ( $b/a$ ) を変化させたときの周波数温度特性における 25 での一次の温度係数の変化をシミュレーションによって求めた。結果を図 10 に示す。図 9 及び図 10 において、円で囲んだ部分は、一次の温度係数がほぼ 0 となっていることを示している。

#### 【0036】

図 9 及び図 10 から、切断角度すなわち回転角 が  $+37^\circ$  以上  $+51.5^\circ$  以下の範囲であって、水晶板の辺比 ( $b/a$ ) が 0.84 以上 0.98 以下であるときに、常温 (25) 付近で一次の温度係数が 0 となる周波数温度特性が得られることが分かる。

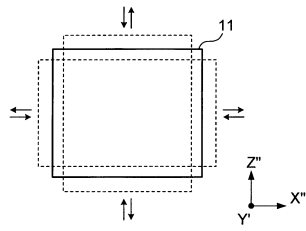
20

#### 【符号の説明】

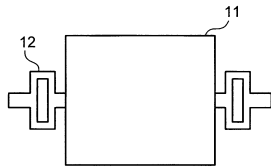
#### 【0037】

30 ... 基準長方形 ; 31 ... 水晶板 ; 32 ... 支持部 ; 33 ... フレーム ; 34 , 35 ... 励振電極 ; 36 ... 引出電極 ; 37 ... 接続パッド。

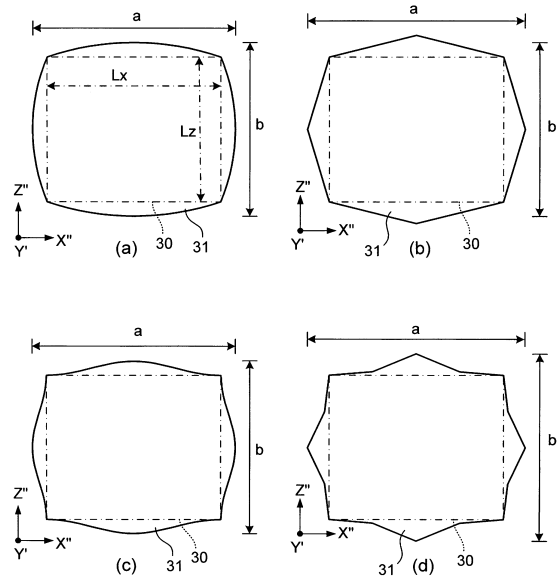
【図 1】



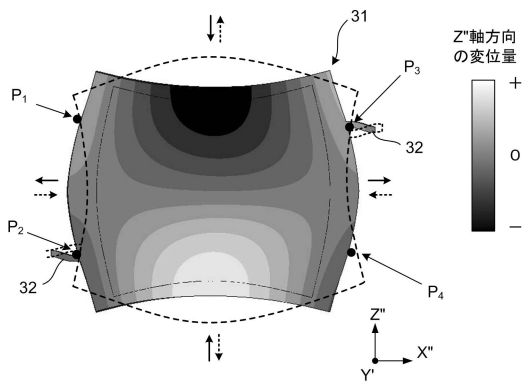
【図 2】



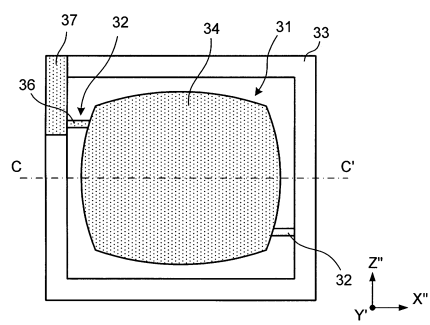
【図 3】



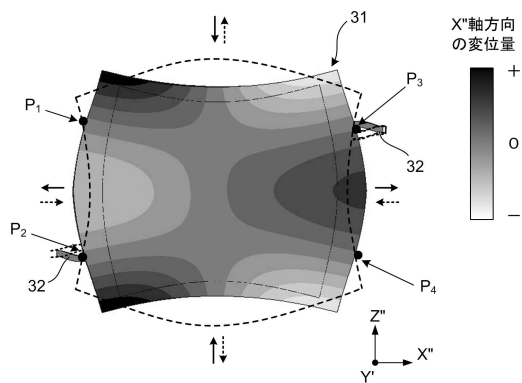
【図 4】



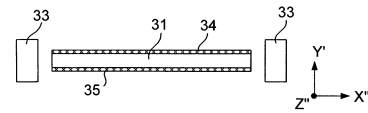
【図 6】



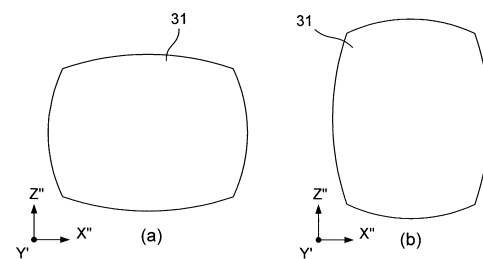
【図 5】



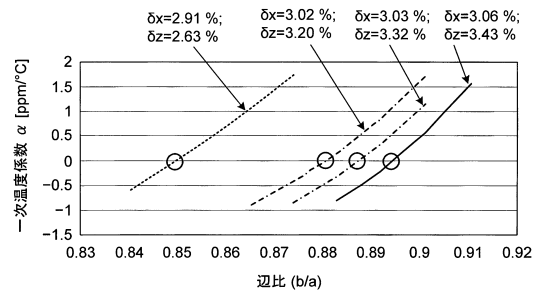
【図 7】



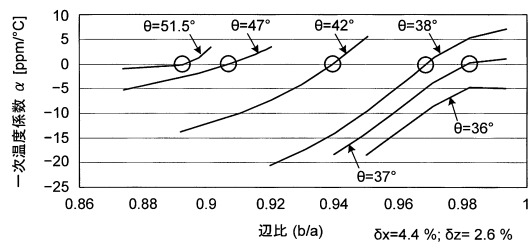
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 1 7 5 5 2 0 ( J P , A )  
特開昭 5 2 - 0 9 1 6 7 4 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H 0 3 H 9 / 1 9