

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7689659号
(P7689659)

(45)発行日 令和7年6月9日(2025.6.9)

(24)登録日 令和7年5月30日(2025.5.30)

(51)国際特許分類		F I			
H 0 3 H	9/19 (2006.01)	H 0 3 H	9/19		D
H 0 3 H	3/02 (2006.01)	H 0 3 H	3/02		B

請求項の数 10 (全15頁)

(21)出願番号	特願2024-509736(P2024-509736)	(73)特許権者	000006231 株式会社村田製作所 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(86)(22)出願日	令和4年11月7日(2022.11.7)	(74)代理人	100079108 弁理士 稲葉 良幸
(86)国際出願番号	PCT/JP2022/041362	(74)代理人	100109346 弁理士 大貫 敏史
(87)国際公開番号	WO2023/181487	(74)代理人	100117189 弁理士 江口 昭彦
(87)国際公開日	令和5年9月28日(2023.9.28)	(74)代理人	100134120 弁理士 内藤 和彦
審査請求日	令和6年9月10日(2024.9.10)	(74)代理人	100126480 弁理士 佐藤 睦
(31)優先権主張番号	特願2022-45837(P2022-45837)	(72)発明者	後藤 大輝 京都府長岡京市東神足1丁目10番1号
(32)優先日	令和4年3月22日(2022.3.22)		最終頁に続く
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 水晶振動素子及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに対向する一対の主面を有する水晶片と、前記水晶片の前記一対の主面に設けられた一対の励振電極とを備え、

水晶の結晶軸であるX軸、Y軸及びZ軸について、前記Z軸を回転軸として前記X軸及び前記Y軸を回転角 θ で回転させた軸をそれぞれX'軸及びY'軸とし、

前記X'軸を回転軸として前記Y'軸及び前記Z軸を回転角 ϕ で回転させた軸をそれぞれY''軸及びZ'軸としたとき、

前記水晶片の前記一対の主面のそれぞれは、前記Y''軸に垂直であり、

前記水晶片の前記一対の主面のそれぞれは、短辺及び長辺を有する長形状であり、

前記水晶片の前記一対の主面を平面視したときに前記X軸と前記一対の主面の前記長辺とが成す角を α としたとき、

$$\alpha = \alpha_1 \times \alpha_2 \text{、及び}$$

$$\alpha = \pm 0.0165 \pm 0.016$$

の関係が成り立つ、

水晶振動素子。

【請求項2】

前記Z軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、

$$\alpha = 1 \text{ 度} \text{ 及び } 14 \text{ 度}$$

の関係が成り立つ、

請求項 1 に記載の水晶振動素子。

【請求項 3】

前記 X' 軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、
30度 40度
の関係が成り立つ、
請求項 1 又は 2 に記載の水晶振動素子。

【請求項 4】

前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、前記 X' 軸及び前記 Z' 軸と平行な辺を有する、

請求項 1 に記載の水晶振動素子。

10

【請求項 5】

主要振動は、厚みすべり振動モードである、
請求項 1 に記載の水晶振動素子。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の水晶振動素子と、
ベース部材と、
前記ベース部材に接合された蓋部材と、
を備え、
前記水晶振動素子は前記ベース部材と前記蓋部材との間の内部空間に設けられた、水晶振動素子。

20

【請求項 7】

互いに対向する一对の主面を有する水晶片と、前記水晶片の前記一对の主面に設けられた一对の励振電極とを備える水晶振動素子の製造方法であって、

結晶軸である X 軸、Y 軸及び Z 軸を有する水晶を準備することと、

前記 Z 軸を回転軸として前記 X 軸及び前記 Y 軸を回転角 で回転させた X' 軸及び Y' 軸を特定することと、

前記 X' 軸に垂直な面で前記水晶を切断することと、

前記 X' 軸を回転軸として前記 Y' 軸及び前記 Z 軸を回転角 で回転させた Y'' 軸及び Z' 軸を特定することと、

前記 Y'' 軸に垂直な面で前記水晶を切断することと
を含み、

30

前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、前記 Y'' 軸に垂直であり、

前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、短辺及び長辺を有する長形状であり、

前記水晶片の前記一对の主面を平面視したときに前記 X 軸と前記一对の主面の前記長辺とが成す角を としたとき、

$= \alpha \times \beta$ 、及び

$= \pm 0.0165 \pm 0.016$

の関係が成り立つ、

水晶振動素子の製造方法。

【請求項 8】

40

前記 Z 軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、

1度 14度

の関係が成り立つ、

請求項 7 に記載の水晶振動素子の製造方法。

【請求項 9】

前記 X' 軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、

30度 40度

の関係が成り立つ、

請求項 7 又は 8 に記載の水晶振動素子の製造方法。

【請求項 10】

50

前記 Z' 軸に垂直な面で前記水晶を切断することをさらに含み、
前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、前記 X' 軸及び前記 Z' 軸と平行な辺を有する、

請求項 7 に記載の水晶振動素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水晶振動素子及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

移動通信端末、通信基地局、家電などの各種電子機器において、タイミングデバイス、センサ又は発振器等の用途に水晶振動素子が用いられている。水晶振動素子は、一对の主面を有する水晶片と、水晶片の一对の主面に設けられた一对の励振電極を備える。

【0003】

例えば、特許文献 1 には、水晶の Y 軸に垂直な面を水晶の Z 軸を回転中心として 度回転し、さらにその状態から水晶の X 軸を回転中心として 度回転して生じる X' 軸に沿う辺を第 1 の辺とし、Z' 軸に沿う辺を第 2 の辺とする平面形状が四角形状の 2 回回転の水晶片、を備えた水晶振動素子が開示されている。

【0004】

特許文献 2 には、水晶の結晶軸である Z 軸を中心にして水晶の結晶軸である X 軸を 15 度から 25 度の範囲で回転した X' 軸及び前記 X' 軸を中心にして前記 Z 軸を 33 度から 34 度の範囲で回転した Z' 軸に平行な一对の主面を有する水晶片、を備えた水晶振動素子が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開 2021 - 78062 号公報

【文献】特開 2017 - 192032 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献 1 に記載の水晶振動素子においては、水晶を 度回転させるときに、水晶を傾けて角度測定する必要がため、角度測定装置や水晶切断装置の機構が複雑になる場合があった。このため、水晶片の角度精度が低下し、副振動の増大による ESR 値の増大や、所定の温度範囲における周波数の温度変化の増大が生じる可能性があった。

【0007】

また、特許文献 2 に記載の水晶振動素子においては、水晶片の主面を平面視したときに X 軸と X' 軸とが成す角度が大きいため、副振動が増加して主振動と結合することで ESR 値が悪化するという問題が生じていた。

【0008】

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、周波数の温度変化が小さく ESR 値の低い水晶振動素子及びその簡便な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】

【0009】

本発明の一態様に係る水晶振動素子は、互いに対向する一对の主面を有する水晶片と、前記水晶片の前記一对の主面に設けられた一对の励振電極とを備え、水晶の結晶軸である X 軸、Y 軸及び Z 軸について、前記 Z 軸を回転軸として前記 X 軸及び前記 Y 軸を回転角で回転させた軸をそれぞれ X' 軸及び Y' 軸とし、前記 X' 軸を回転軸として前記 Y' 軸及び Z 軸を回転角で回転させた軸をそれぞれ Y'' 軸及び Z' 軸としたとき、前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、前記 Y'' 軸に垂直であり、前記水晶片の前記一对の主面を平面視

10

20

30

40

50

したときに前記X軸と前記X'軸とが成す角を θ としたとき、 $\theta = \arcsin \frac{1}{\sqrt{2}}$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ。

【0010】

本発明の他の一態様に係る水晶振動素子の製造方法は、互いに対向する一对の主面を有する水晶片と、前記水晶片の前記一对の主面に設けられた一对の励振電極とを備える水晶振動素子の製造方法であって、結晶軸であるX軸、Y軸及びZ軸を有する水晶を準備することと、前記Z軸を回転軸として前記X軸及び前記Y軸を回転角 θ で回転させたX'軸及びY'軸を特定することと、前記X'軸に垂直な面で前記水晶を切断することと、前記X'軸を回転軸として前記Y'軸及びZ軸を回転角 θ で回転させたY''軸及びZ'軸を特定することと、前記Y''軸に垂直な面で前記水晶を切断することを含み、前記水晶片の前記一对の主面のそれぞれは、前記Y''軸に垂直であり、前記水晶片の前記一对の主面を平面視したときに前記X軸と前記X'軸とが成す角を θ としたとき、 $\theta = \arcsin \frac{1}{\sqrt{2}}$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、周波数の温度変化が小さくESR値の低い水晶振動素子及びその簡便な製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本発明の一実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。 20

【図2】図1に示した水晶振動子の断面図である。

【図3】図1に示した水晶片の角度を説明するための図である。

【図4】回転角 θ と周波数温度特性との関係を説明するためのグラフである。

【図5】回転角 θ と周波数温度特性との関係を説明するためのグラフである。

【図6】回転角 θ と電気機械結合係数との関係を説明するためのグラフである。

【図7】本発明の一実施形態に係る水晶振動素子の製造方法の一部を示すフローチャートである。

【図8】本発明の一実施形態に係る水晶振動素子の製造方法を説明するための図である。

【図9】本発明の一実施形態に係る水晶振動素子の製造方法を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】 30

【0013】

以下に本発明の実施形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の構成要素は同一又は類似の符号で表している。図面は例示であり、各部の寸法や形状は模式的なものであり、本発明の技術的範囲を当該実施形態に限定して解すべきではない。

【0014】

<水晶振動子>

まず、図1～図2を参照しつつ、本発明の一実施形態に係る水晶振動子100の構成について説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る水晶振動子の分解斜視図である。図2は、図1に示した水晶振動子の断面図である。

【0015】

水晶振動子100は、水晶振動素子102と、蓋部材140と、ベース部材150と、接合部材190とを備えている。水晶振動素子102は、ベース部材150と蓋部材140との間に設けられている。ベース部材150及び蓋部材140は、水晶振動素子102を収容するための保持器を構成している。図1及び図2に示した例では、ベース部材150が平板状を成しており、蓋部材140の凹部に水晶振動素子102が収容されている。但し、水晶振動素子102のうち少なくとも励振される部分が保持器に収容されれば、ベース部材150及び蓋部材140の形状は上記に限定されるものではない。例えば、ベース部材150は、蓋部材140の側に凹部を有してもよく、ベース部材150及び蓋部材140の両方が互いに対向する側に凹部を有してもよい。

【0016】

水晶振動素子 102 は、圧電効果により電気エネルギーと機械エネルギーとを変換可能な電気機械エネルギー変換素子である。水晶振動素子 102 は、水晶片 110 と、一对の励振電極を構成する第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 と、一对の引出電極を構成する第 1 引出電極 122 及び第 2 引出電極 132 と、一对の接続電極を構成する第 1 接続電極 124 及び第 2 接続電極 134 とを備えている。

【0017】

水晶片 110 は、互いに対向する上面 112 及び下面 114 を有している。上面 112 は、ベース部材 30 に対向する側とは反対側、すなわち後述する蓋部材 140 の天壁部 141 に対向する側に位置している。下面 114 は、ベース部材 150 に対向する側に位置している。上面 112 及び下面 114 は長方形をなしている。上面 112 及び下面 114 は、水晶片 110 の一对の主面に相当する。

10

【0018】

水晶片 110 を用いた水晶振動素子 10 の主要振動は、厚みすべり振動モード (Thickness Shear Vibration Mode) である。なお、図 1 及び図 2 に示す例において、水晶片 110 の上面 112 及び下面 114 は平面状に設けられているが、これに限定されるものではない。上面 112 及び下面 114 は、メサ形状、逆メサ形状、コンベックス形状又はベベル形状に設けられてもよい。

【0019】

第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 は、水晶片 110 に電圧を印加する。第 1 励振電極 120 は水晶片 110 の上面 112 に設けられ、第 2 励振電極 130 は、水晶片 110 の下面 114 に設けられている。第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 は、水晶片 110 を挟んで互いに対向している。水晶片 110 の上面 112 を平面視したとき、第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 は、それぞれ矩形状をなしており、互いの略全体が重なり合うように配置されている。

20

【0020】

なお、水晶片 110 の上面 112 を平面視したときの第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 のそれぞれの平面形状は矩形状に限定されるものではない。第 1 励振電極 120 及び第 2 励振電極 130 のそれぞれの平面形状は、多角形状、円形状、楕円形状又はこれらの組合せであってもよい。

【0021】

第 1 引出電極 122 は第 1 励振電極 120 と第 1 接続電極 124 とを電氣的に接続し、第 2 引出電極 132 は、第 2 励振電極 130 と第 2 接続電極 134 とを電氣的に接続する。第 1 引出電極 122 は水晶片 110 の上面 112 から下面 114 にわたって設けられ、第 2 引出電極 132 は水晶片 110 の下面 114 に設けられている。

30

【0022】

第 1 接続電極 124 及び第 2 接続電極 134 は、水晶振動素子 102 をベース部材 150 に電氣的に接続する。第 1 接続電極 124 及び第 2 接続電極 134 は、水晶片 110 の下面 114 の一方の短辺の両端部に設けられている。

【0023】

第 1 励振電極 120、第 1 引出電極 122 及び第 1 接続電極 124 は、一体的に設けられている。第 2 励振電極 130、第 2 引出電極 132 及び第 2 接続電極 134 も同様である。これら水晶振動素子 102 の電極は、例えば、下地層と表面層とをこの順に積層して設けられる多層構造である。例えば、下地層は水晶片 110 との密着性が良好なクロム (Cr) 層であり、表面層は化学的安定性の良好な金 (Au) 層である。

40

【0024】

ベース部材 150 は、水晶振動素子 102 を励振可能に保持している。ベース部材 150 は、基体 151 と、接続電極 160、162 と、引出電極 164、166 と、外部電極 170、172、174、176 と、導電性保持部材 180、182 とを備えている。

【0025】

基体 151 は、厚さ方向において互いに対向する上面 152 及び下面 154 を有する板

50

状の絶縁体である。上面 152 及び下面 154 は、基体 151 の一对の主面に相当する。上面 152 は、水晶振動素子 102 及び蓋部材 140 に対向する側に位置し、水晶振動素子 102 が搭載される搭載面に相当する。リフロー等の熱履歴によって基体 151 から水晶振動素子 102 に作用する熱応力を抑制する観点から、基体 151 は耐熱性材料によって構成されることが好ましい。同様の観点から、基体 151 は、水晶片 110 に近い熱膨張率を有する材料によって設けられてもよい。基体 151 は、例えば、セラミック基板、ガラス基板又は水晶基板によって設けられる。

【0026】

基体 151 のコーナー部は、その一部が円筒曲面状（キャストレーション形状とも呼ばれる。）に切断して形成された切り欠き側面を有している。なお、基体 151 のコーナー部の形状はこれに限定されるものではなく、切り欠きの形状は平面状であってもよいし、切り欠きがなく、略直角のコーナー部が残っていてもよい。

10

【0027】

接続電極 160, 162 は、水晶振動素子 102 に電氣的に接続される。接続電極 160 は水晶振動素子 102 の接続電極 124 に電氣的に接続され、接続電極 162 は、水晶振動素子 102 の接続電極 134 に接続される。

【0028】

引出電極 164 は接続電極 160 と外部電極 170 とを電氣的に接続し、引出電極 166 は接続電極 162 と外部電極 172 とを電氣的に接続している。引出電極 164, 166 は、基体 151 の上面 152 に設けられている。

20

【0029】

外部電極 170, 172 は水晶振動素子 102 を外部基板に電氣的に接続するための外部端子である。外部電極 170 は水晶振動素子 102 の第 1 励振電極 120 を外部基板に電氣的に接続し、外部電極 172 は水晶振動素子 102 の第 2 励振電極 130 を外部基板に電氣的に接続する。一例として、外部電極 174, 176 のうち一方は、蓋部材 140 を接地する接地電極であり、他方は水晶振動素子 102 とは電氣的に接続されていないダミー電極である。外部電極 170, 172, 174, 176 のそれぞれは、基体 151 の 4 つのコーナー部に設けられた切り欠き側面から下面 154 にわたって連続的に設けられている。図 1 に示す例において、外部電極 170 と外部電極 172 とは基体 151 の上面 152 における対角に位置し、外部電極 174 と外部電極 176 とは基体 151 の上面 152 における別の対角に位置している。但し、外部電極 170, 172, 174, 176 は上記に限定されるものではない。外部電極 174, 176 は両方とも接地電極であってもよく、両方ともダミー電極であってもよい。外部電極 174, 176 は省略されてもよい。外部電極 174 は外部電極 170, 172 のうち一方と電氣的に接続されてもよく、外部電極 176 は外部電極 170, 172 のうち他方と電氣的に接続されてもよい。

30

【0030】

導電性保持部材 180, 182 は、ベース部材 150 と水晶振動素子 102 とを電氣的に接続するとともに、水晶振動素子 102 を機械的に保持している。導電性保持部材 180 は、水晶振動素子 102 の第 1 接続電極 124 と、ベース部材 150 の接続電極 160 とを電氣的に接続している。導電性保持部材 182 は、水晶振動素子 102 の第 2 接続電極 134 と、ベース部材 150 の接続電極 162 とを電氣的に接続している。導電性保持部材 180, 182 は、熱硬化性樹脂や光硬化性樹脂等を含む導電性接着剤の硬化物である。導電性保持部材 180, 182 の主成分は、例えばシリコン樹脂である。導電性保持部材 180, 182 は導電性粒子を含んでおり、当該導電性粒子としては例えば銀（Ag）を含む金属粒子が用いられる。

40

【0031】

導電性保持部材 180, 182 の主成分は、シリコン樹脂に限定されるものではなく、例えばエポキシ樹脂やアクリル樹脂などであってもよい。また、導電性保持部材 180, 182 に含まれる導電性粒子は、銀粒子に限定されるものではなく、その他の金属、導電性セラミック、導電性有機材料などによって形成されてもよい。導電性保持部材 180

50

、182は、導電性高分子を含んでもよい。

【0032】

蓋部材140は、天壁部141と、天壁部141の外縁部からベース部材150に向かって延出する側壁部142とを有している。天壁部141は水晶振動素子102を挟んでベース部材150と対向し、側壁部142は間隔を空けて水晶振動素子102を囲んでいる。蓋部材140の材質は、望ましくは導電材料であり、さらに望ましくは気密性の高い金属材料である。蓋部材140が導電材料で構成されることによって、内部空間101への電磁波の出入りを低減する電磁シールド機能が蓋部材140に付与される。熱応力の発生を抑制する観点から、蓋部材140の材質は、ベース部材150に近い熱膨張率を有する材料であることが望ましく、例えば常温付近での熱膨張率がガラスやセラミックと広い温度範囲で一致するFe-Ni-Co系合金である。蓋部材140は、図示しない接地部材によって、外部電極174、176の少なくとも一方に電氣的に接続されている。

10

【0033】

接合部材190は、ベース部材150と蓋部材140とを接合し、水晶振動素子102が収容された内部空間101を封止する。接合部材190は、ベース部材150の外縁部の全周に亘って枠状に設けられており、蓋部材140の側壁部142の先端部とベース部材150の上面152によって挟まれている。接合部材190は絶縁材料によって設けられている。接合部材190は、例えば、エポキシ系、ビニル系、アクリル系、ウレタン系又はシリコン系の樹脂を含む有機系接着剤によって設けられる。接合部材190の材質は、有機系接着剤に限定されるものではなく、水ガラスなどを含むケイ素系接着剤や、セメントなどを含むカルシウム系接着剤などの無機系接着剤によって設けられてもよい。接合部材190の材質は、低融点ガラス（例えば鉛ホウ酸系や錫リン酸系等）であってもよい。

20

【0034】

次に、図3～図6を参照しつつ、水晶片110のより詳細な構成について説明する。図3は、図1に示した水晶片の角度を説明するための図である。図4は、回転角と周波数温度特性との関係を説明するためのグラフである。図5は、回転角と周波数温度特性との関係を説明するためのグラフである。図6は、回転角と電気機械結合係数との関係を説明するためのグラフである。

【0035】

水晶片110の主面112、114は、Y'軸に垂直なZ'X'面である。水晶片110は、人工水晶(Synthetic Quartz Crystal)の結晶体を切断及び研磨加工して得られる水晶基板(例えば、水晶ウェハ)をエッチング加工することで形成される。

30

【0036】

図3に示すように、水晶片110の上面112は、X'軸方向と平行な長辺と、Z'軸方向と平行な短辺とを有する長形状をなしている。また、水晶片110は、Y'軸方向と平行な厚みを有する板状である。ここで、X'軸、Y'軸及びZ'軸は、水晶の結晶軸(Crystallographic Axes)を基に規定される。具体的には、X'軸及びY'軸は、水晶の結晶軸(Crystallographic Axes)であるZ軸を回転軸として、水晶の結晶軸であるX軸及びY軸を回転角で回転させた軸である。また、Y'軸及びZ'軸は、X'軸を回転軸として、Y'軸及びZ軸を回転角で回転させた軸である。なお、X軸が水晶の電気軸(極性軸)、Y軸が水晶の機械軸、Z軸が水晶の光学軸に相当する。

40

【0037】

水晶片110の上面112を平面視したとき、X軸とX'軸とが成す角を θ としたとき、 $\theta = \alpha \times \beta$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ。このような角度の水晶片110を用いることで、良好な周波数温度特性を有し副振動の発生を抑制可能な水晶振動素子102を設けることが可能となる。なお、角 θ は、X軸をY'軸に沿って上面に投影した軸と、X'軸とが成す角と言い換えることができる。

50

【 0 0 3 8 】

Z軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、1度 14度の関係が成り立つ。図4に示すように、回転角を変化させると、周波数温度曲線が高温側又は低温側にシフトする。1度 14度の場合、 $\theta = 0$ 度の場合に比べて、周波数温度曲線が高温側にシフトする。このため、高温域での周波数の変化が抑制される。また、図6に示すように、回転角を変化させると、 $\theta = 0$ 度をピークとして電気機械結合係数kが低下し、副振動が増大する。1度 14度の関係が成り立つことで、電気機械結合係数kの低下が抑制され、副振動の抑制によりESR値が低く抑えられる。

【 0 0 3 9 】

X'軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、望ましくは30度 40度の関係が成り立つ。図5に示すように、回転角を変化させると、周波数温度曲線が変曲点を中心に回転する。30度 40度の場合、 $\theta = 0$ 度の場合に比べて、周波数温度曲線が時計回りに回転する。このため、低温域及び高温域での周波数の変化が抑制される。1度 14度且つ30度 40度とすることで、水晶振動素子102の保証温度を高温側に広げることができる。

【 0 0 4 0 】

< 製造方法 >

次に、図7～図9を参照しつつ、本発明の一実施形態に係る水晶振動素子102の製造方法について説明する。図7は、本発明の一実施形態に係る水晶振動素子の製造方法の一部を示すフローチャートである。図8及び図9は、本発明の一実施形態に係る水晶振動素子の製造方法を説明するための図である。

【 0 0 4 1 】

まず、水晶XT0を用意する(S110)。水晶XT0は、Z軸に垂直なXY面でカットされた水晶結晶である。

【 0 0 4 2 】

次に、水晶XT0のX'軸及びY'軸を特定し(S120)、ZX'面、Y'Z面で水晶XT0を切断する(S130)。回転ステージの載置面に一方のXY面が当接し、他方のXY面が上向きになるよう、回転ステージ上に水晶XT0を載せる。次に、他方のXY面を測定面として、X線方位測定装置によって水晶XT0の結晶方位を測定しつつ、載置面の面内方向で回転ステージを回転させる。これにより、水晶XT0のX'軸方向及びY'軸方向を特定する。次に、回転ステージの載置面に垂直に設けられた水晶切断装置の刃によって、回転ステージ上の水晶XT0をX'軸及びY'軸に沿って切断する。これにより、図8に示すように、水晶XT0から水晶XT1が切り出される。なお、ステップS130では、この後のステップS140においてX線方位測定装置の測定面となるY'Z面で水晶XT0が切断されてさえいればよく、ZX'面で水晶XT0を切断しなくてもよい。なお、このような水晶の結晶方位測定及び切断加工の詳細については、W.L. Bond及びJ.A. Kustersによって、31th Annual Symposium on Frequency Control (1977年6月1 - 3日)において発表された「MAKING DOUBLY ROTATED QUARTZ PLATES」という論文(2005年12月5日にIEEE Exploreに追加)を参照することができ、本実施形態における回転角の数値は同論文に準じて測定されたものである。

【 0 0 4 3 】

次に、水晶XT1のY''軸及びZ'軸を特定し(S140)、X'Y''面、Z'X'面で水晶XT1を切断する(S150)。ステップS120と同様、回転ステージの載置面上に載置した水晶XT1のY'Z面をX線方位測定装置の測定面とし、水晶XT1のY''軸方向及びZ'軸方向を特定する。また、ステップS130と同様に、回転ステージ上の水晶XT1をY''軸及びZ'軸に沿って切断する。このとき、水晶XT1から、基板状の複数の水晶XT2が切り出される。

【 0 0 4 4 】

この後、例えばエッチング加工によって1枚の水晶XT2の中に複数の水晶片110が

10

20

30

40

50

造形され、励振電極等が設けられて、水晶振動素子 102 の集合基板となる。このとき、エッチング加工によって、複数の水晶片 110 のそれぞれにメサ形状、逆メサ形状、コンベックス形状又はベベル形状等の形状を付与してもよい。最後に、集合基板が個片化され、水晶振動素子 102 となる。なお、複数の水晶片 110 を水晶 XT2 の中に造形する方法はエッチング加工に限定されるものではなく、機械切削等による加工であってもよい。また、複数の水晶片 110 のそれぞれに形状を付与する方法はエッチング加工に限定されるものではなく、化学機械研磨等による加工であってもよい。複数の水晶片 110 のそれぞれに形状を付与する加工は、励振電極等を設ける前に実施されてもよく、励振電極等を設けた後に実施されてもよい。

【0045】

10

以上のように、本発明の一実施形態に係る水晶振動素子 102 において、Z 軸を回転軸として X 軸及び Y 軸を回転角 θ で回転させた軸をそれぞれ X' 軸及び Y' 軸とし、X' 軸を回転軸として Y' 軸及び Z 軸を回転角 ϕ で回転させた軸をそれぞれ Y'' 軸及び Z' 軸とし、水晶片 110 の一对の主面 112, 114 を平面視したときに X 軸と X' 軸とが成す角を α としたとき、 $\alpha = \theta \times \phi$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ。

【0046】

これによれば、周波数の温度変化が小さく ESR 値の低い水晶振動素子 102 が提供される。

【0047】

上記の一態様として、Z 軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、1 度 14 度の関係が成り立つ。

20

【0048】

これによれば、高温域での周波数の変化を抑制することができる。また、電気機械結合係数 k の低下が抑制され、副振動の抑制により ESR 値を低く抑えることができる。

【0049】

上記の一態様として、X' 軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、30 度 40 度の関係が成り立つ。

【0050】

これによれば、低温域及び高温域での周波数の変化を抑制することができる。

【0051】

上記の一態様として、水晶片 110 の一对の主面 112, 114 のそれぞれは、X' 軸及び Z' 軸と平行な辺を有する矩形状である。

30

【0052】

これによれば、水晶振動素子 100 の内部空間 101 を効率的に活用して水晶片 110 の大きさを最大化することができる。このため、ESR 値を低く抑えることができる。

【0053】

また、本発明の他の一実施形態に係る水晶振動素子 102 の製造方法は、水晶 XT1 の Y'' 軸及び Z' 軸を特定することと、Z' Y' 面、Z' X' 面で水晶 XT1 を切断することと、水晶 XT1 の Y'' 軸及び Z' 軸を特定することと、Z' Y' 面、Z' X' 面で水晶 XT1 を切断することを含む。

40

【0054】

これによれば、良好な周波数温度特性を有し副振動の発生を抑制可能な水晶振動素子 102 を提供することができる。また、結晶方位測定装置による測定時及び水晶切断装置による加工時に水晶を傾ける必要がない。このため、水晶を傾けて結晶方位の測定や水晶の切断を行う製造方法に比べて、水晶振動素子 102 を簡便に製造することができ、水晶片 110 の角度誤差を低減することができる。

【0055】

なお、本発明の一実施形態に係る水晶振動素子は、内部空間 101 が金属封止されてもよい。すなわち、ベース部材と蓋部材とが金属材料からなる接合部材によって接合されてもよい。この場合、ベース部材の接続電極は封止部材から離間し、ベース部材の接続電極

50

と外部電極とは例えばベース部材を貫通する貫通電極によって電氣的に接続される。

【0056】

以下に、本発明の実施形態の一部又は全部を付記する。なお、本発明は以下の付記に限定されるものではない。

【0057】

本発明の一態様によれば、互いに対向する一对の主面を有する水晶片と、水晶片の一对の主面に設けられた一对の励振電極とを備え、水晶の結晶軸であるX軸、Y軸及びZ軸について、Z軸を回転軸としてX軸及びY軸を回転角 θ で回転させた軸をそれぞれX'軸及びY'軸とし、X'軸を回転軸としてY'軸及びZ軸を回転角 ϕ で回転させた軸をそれぞれY''軸及びZ'軸としたとき、水晶片の一对の主面のそれぞれは、Y''軸に垂直であり、水晶片の一对の主面を平面視したときにX軸とX'軸とが成す角を α としたとき、 $\alpha = \theta \times \phi$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ、水晶振動素子が提供される。

【0058】

上記水晶振動素子の一態様として、Z軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、1度 θ ϕ 14度の関係が成り立つ。

【0059】

上記水晶振動素子の一態様として、X'軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、30度 θ ϕ 40度の関係が成り立つ。

【0060】

上記水晶振動素子の一態様として、水晶片の一对の主面のそれぞれは、X'軸及びZ'軸と平行な辺を有する矩形形状である。

【0061】

上記水晶振動素子の一態様として、主要振動は、厚みすべり振動モードである。

【0062】

上記のいずれかの態様の水晶振動素子と、ベース部材と、ベース部材に接合された蓋部材と、を備え、水晶振動素子はベース部材と蓋部材との間の内部空間に設けられた、水晶振動子が提供される。

【0063】

本発明の他の一態様によれば、互いに対向する一对の主面を有する水晶片と、水晶片の一对の主面に設けられた一对の励振電極とを備える水晶振動素子の製造方法であって、結晶軸であるX軸、Y軸及びZ軸を有する水晶を準備することと、Z軸を回転軸としてX軸及びY軸を回転角 θ で回転させたX'軸及びY'軸を特定することと、X'軸に垂直な面で水晶を切断することと、X'軸を回転軸としてY'軸及びZ軸を回転角 ϕ で回転させたY''軸及びZ'軸を特定することと、Y''軸に垂直な面で水晶を切断することとを含み、水晶片の一对の主面のそれぞれは、Y''軸に垂直であり、水晶片の一对の主面を平面視したときにX軸とX'軸とが成す角を α としたとき、 $\alpha = \theta \times \phi$ 、及び $\theta = \pm 0.0165 \pm 0.016$ の関係が成り立つ、水晶振動素子の製造方法が提供される。

【0064】

上記水晶振動素子の製造方法の一態様として、Z軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、1度 θ ϕ 14度の関係が成り立つ。

【0065】

上記水晶振動素子の製造方法の一態様として、X'軸の正方向側から視て反時計回りを正としたとき、30度 θ ϕ 40度の関係が成り立つ。

【0066】

上記水晶振動素子の製造方法の一態様として、Z'軸に垂直な面で水晶を切断することをさらに含み、水晶片の一对の主面のそれぞれは、X'軸及びZ'軸と平行な辺を有する矩形形状である。

【0067】

以上説明したように、本発明の一態様によれば、周波数の温度変化が小さくESR値の低い水晶振動素子及びその簡便な製造方法を提供することができる。

【 0 0 6 8 】

なお、以上説明した実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、その趣旨を逸脱することなく、変更／改良され得るとともに、本発明にはその等価物も含まれる。すなわち、実施形態及び／又は変形例に当業者が適宜設計変更を加えたものも、本発明の特徴を備えている限り、本発明の範囲に包含される。例えば、実施形態及び／又は変形例が備える各要素及びその配置、材料、条件、形状、サイズなどは、例示したものに限定されるわけではなく適宜変更することができる。また、実施形態及び変形例は例示であり、異なる実施形態及び／又は変形例で示した構成の部分的な置換又は組み合わせが可能であることは言うまでもなく、これらも本発明の特徴を含む限り本発明の範囲に包含される。

10

【 符号の説明 】

【 0 0 6 9 】

1 0 0 ... 水晶振動子

1 0 1 ... 内部空間

1 0 2 ... 水晶振動素子

1 1 0 ... 水晶片

1 1 2 ... 上面

1 1 4 ... 下面

1 2 0 ... 第 1 励振電極

1 3 0 ... 第 2 励振電極

1 2 2 ... 第 1 引出電極

1 3 2 ... 第 2 引出電極

1 2 4 ... 第 1 接続電極

1 3 4 ... 第 2 接続電極

1 5 0 ... ベース部材

1 4 0 ... 蓋部材

1 9 0 ... 接合部材

... Z 軸を回転軸とした回転角

... X' 軸を回転軸とした回転角

... 水晶片の主面を平面視したときに X 軸と X' 軸とが成す角

20

30

40

50

【 図面 】

【 図 1 】

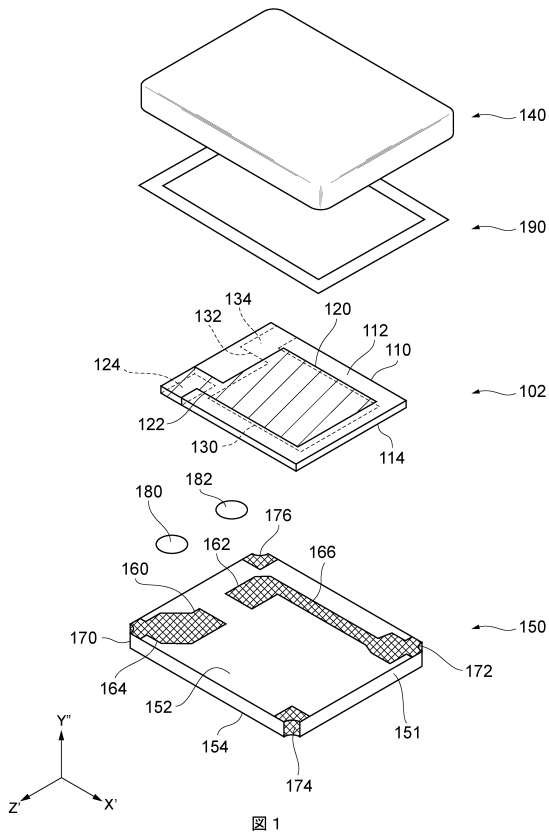


図 1

【 図 2 】

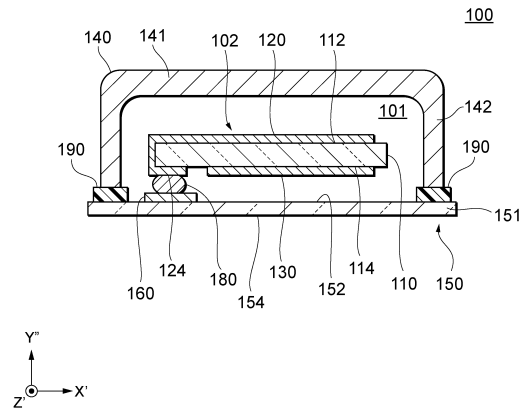


図 2

10

20

【 図 3 】

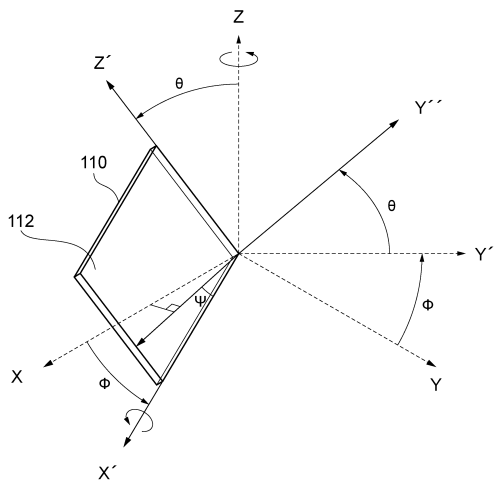


図 3

【 図 4 】

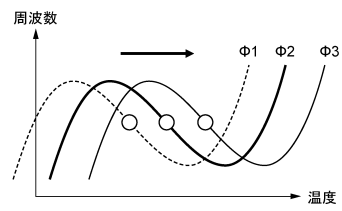


図 4

30

40

50

【 図 5 】

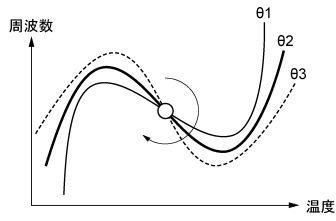


図 5

【 図 6 】

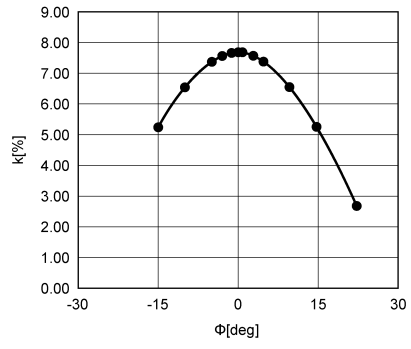


図 6

10

【 図 7 】

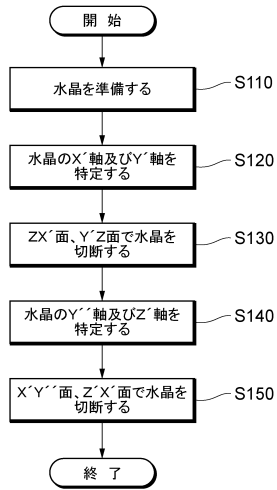


図 7

【 図 8 】

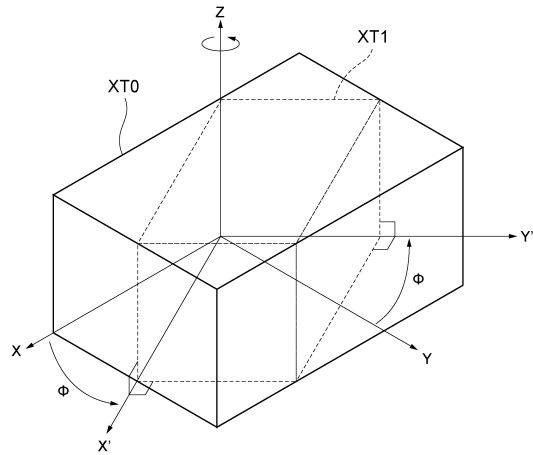


図 8

20

30

40

50

【 図 9 】

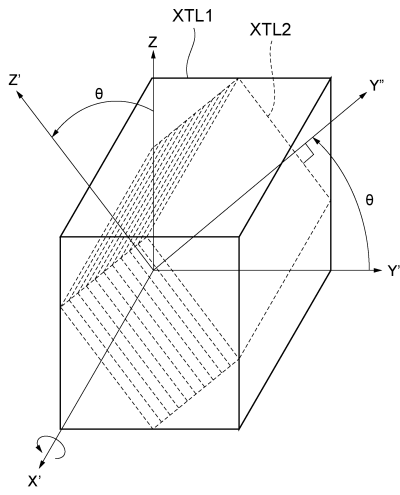


図 9

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 株式会社村田製作所内
(72)発明者 熊野 裕司
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
- (72)発明者 牧野 魁藏
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
- (72)発明者 長谷 貴志
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
- (72)発明者 山田 光洋
京都府長岡京市東神足1丁目10番1号 株式会社村田製作所内
- 審査官 柳下 勝幸
- (56)参考文献 特開2003-324332(JP,A)
特開2016-96583(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H03H 9/19
H03H 3/02