

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4658925号  
(P4658925)

(45) 発行日 平成23年3月23日(2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日(2011.1.7)

(51) Int.Cl.

F I

H03H 3/04 (2006.01)

H03H 3/04 C

H03H 3/02 (2006.01)

H03H 3/02 D

H03H 9/19 (2006.01)

H03H 9/19 J

H03H 9/215 (2006.01)

H03H 9/215

G01C 19/56 (2006.01)

G01C 19/56

請求項の数 6 (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2006-511642 (P2006-511642)  
 (86) (22) 出願日 平成17年3月28日(2005.3.28)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2005/005725  
 (87) 国際公開番号 W02005/096493  
 (87) 国際公開日 平成17年10月13日(2005.10.13)  
 審査請求日 平成20年3月26日(2008.3.26)  
 (31) 優先権主張番号 特願2004-97472 (P2004-97472)  
 (32) 優先日 平成16年3月30日(2004.3.30)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000001960  
 シチズンホールディングス株式会社  
 東京都西東京市田無町六丁目1番12号  
 (74) 代理人 100086759  
 弁理士 渡辺 喜平  
 (72) 発明者 滝沢 真紀  
 東京都西東京市田無町六丁目1番12号  
 シチズン時計株式会社内  
 (72) 発明者 柳沢 徹  
 東京都西東京市田無町六丁目1番12号  
 シチズン時計株式会社内

審査官 崎間 伸洋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水晶振動子の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エッチング加工によって水晶振動片を音叉型形状に加工する外形エッチング工程と、  
 音叉型形状に加工した前記水晶振動片に電極を形成する電極形成工程と、  
 前記電極を形成した水晶振動片を振動子パッケージに実装する実装工程と、  
 前記実装工程において実装された前記水晶振動片を駆動して漏れ振動を検出し、この検  
 出された漏れ振動にもとづいて、前記水晶振動片に対し、その一部の機械的除去加工を行  
 う漏れ振動調整工程と、

前記機械的除去加工の行なわれた水晶振動片を再度エッチングすることにより、機械的  
 除去加工により粗面となった水晶表面を腐食して滑らかな状態にする再エッチング工程と  
 を有し、

前記再エッチング工程において、前記水晶振動片を前記振動子パッケージとともにエッ  
 チング液に浸漬することを特徴とする水晶振動子の製造方法。

【請求項2】

前記漏れ振動調整工程において、前記再エッチング工程における漏れ調整量を見込んで  
 、目標値に達する前に機械的除去加工を終了する一次漏れ調整を行ない、さらに、前記再  
 エッチング工程において、前記目標値に達するまで前記水晶振動片をエッチングする二次  
 漏れ調整を行なうことを特徴とする請求項1記載の水晶振動子の製造方法。

【請求項3】

前記再エッチング工程において、前記二次漏れ調整を行った後に、前記水晶振動片を微

10

20

少量だけ更に除去加工する微量除去加工工程を有することを特徴とする請求項 2 記載の水晶振動子の製造方法。

【請求項 4】

前記微量除去加工を行った後に、前記水晶振動片を洗浄するための洗浄工程を有することを特徴とする請求項 3 記載の水晶振動子の製造方法。

【請求項 5】

前記水晶振動片及び前記振動子パッケージの一部を樹脂封止してから、前記エッチング液に浸漬することを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

【請求項 6】

前記水晶振動片は、駆動電極を備えた駆動脚と、検出電極を備えた検出脚とを有し、  
前記再エッチング工程において、前記駆動脚の共振周波数と前記検出脚の共振周波数との差を所定値にする離調度調整工程を有することを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一項に記載の水晶振動子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水晶振動子の製造方法に関し、特に、振動子パッケージに実装された水晶振動片に対して、その一部の除去加工が行なわれた水晶振動片を、振動子パッケージに実装した状態で再度エッチングすることにより、除去加工によって劣化した温度ドリフト特性を復元する水晶振動子の製造方法に関する。

【0002】

水晶振動子の一つである振動ジャイロは、航空機、車両等の移動体の姿勢制御装置、自動車のナビゲーションシステム、ビデオカメラの手振れ検出装置等に使用されている。

この振動ジャイロには、一般的に、二脚又は三脚の音叉型水晶ジャイロ（適宜、振動ジャイロと略称する。）がある。

二脚の音叉型水晶ジャイロは、駆動用圧電素子の設けられた第一の振動体と、検出用圧電素子の設けられた第二の振動体とからなっており、三脚の音叉型水晶ジャイロは、駆動用圧電素子の設けられた第一および第二の振動体と、検出用圧電素子の設けられた第三の振動体とからなっている。

【0003】

たとえば、二脚の音叉型水晶ジャイロは、駆動電極の設けられた振動体（駆動脚）を励振させることにより、検出電極の設けられた振動体（検出脚）を励振方向と同一方向に共振させる。この二脚音叉型水晶振動片をパッケージに収納して構成した水晶振動子が回転すると、検出電極の設けられた振動体が回転により受けるコリオリ力によって、励振方向と直交する方向に振動し、この振動を検出電極で検出することによって、水晶振動子が回転する角速度を検出することができる。

【0004】

また、上記振動ジャイロは、角速度を積分することによって回転した角度を算出するため、角速度の誤差が累積し、この累積された誤差が角度における誤差となる。したがって、振動ジャイロの測定精度を向上させるためには、角速度の誤差を低減する必要がある。

角速度の誤差を生じる第一の要因として、水晶振動片の加工方法があげられる。一般的に、水晶振動片は、耐食膜パターンを形成した平板状の水晶板にウェットエッチング加工を施し、耐食膜パターンに一致した所望の形状の振動片を作るが、水晶にはエッチング異方性があり、ウェットエッチングの際、耐食膜パターン通りの形状には加工できず、エッチングされた端面の一部にはエッチング残渣が残ってしまう。音叉型水晶振動子の場合、このエッチング残渣が振動体の励振方向と一致する側に残るため、振動体が励振方向へ振動するのを妨げてしまう。これにより、水晶振動子が回転していない状態においては、振動体が励振方向に直線的に振動せず、楕円軌跡を描きながら振動するため、この振動成分をコリオリ力による振動として検出してしまうことがある。

上記要因に対して、振動体を一方向に振動させる技術が様々開発されてきた。

【 0 0 0 5 】

たとえば、特許文献 1 には、振動ジャイロである角速度センサに、角速度を付与しない状態で、第一の振動体あるいは第二の振動体における駆動電極に交流電圧を印加し、このときの検出電極からの出力信号がほぼ零となるように、第一の振動体あるいは第二の振動体における稜線（角部）に、研磨材を埋め込んだテープを摺動させて研削部を設ける角速度センサの特性調整方法の技術が開示されている。

この技術を用いると、振動体の稜線に表面粗さが  $2\ \mu\text{m}$  以下の研削部を設けることができ、各振動体のバランスを厳密に釣り合わせることが可能となり、角速度を付与しない状態での出力信号をほぼ零に近づけることができる。

10

【 0 0 0 6 】

また、角速度の誤差を生じる第二の要因としては、温度変化があげられる。水晶振動子を回転させずに、所定の温度（一般的に、常温）で各振動体のバランスを厳密に釣り合わせ、各振動体を一方向に振動させたとしても、温度が変化すると、楕円軌跡を描きながら振動し、この振動成分をコリオリ力による振動として検出してしまう。

なお、温度変化によって、出力値が変化する特性を温度ドリフト特性といい、上記第二の要因は、水晶振動片に起因する温度ドリフト特性であり、この温度ドリフト特性を安定させる必要がある。ただし、この温度ドリフト特性が発生するメカニズムは、技術的に解明されておらず、また、温度ドリフト特性を向上させる技術も存在していなかった。

【 特許文献 1 】

20

特開 2 0 0 2 2 4 3 4 5 1 号公報

【 発明の開示 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、特許文献 1 に開示された角速度センサの特性調整方法の技術、すなわち、各振動体に対し研磨等の機械的な除去加工を行ない、各振動体のバランスを厳密に釣り合わせる技術では、上記水晶振動片に起因する温度ドリフト特性を安定させることができないといった問題があった。

【 0 0 0 8 】

本発明は、上記問題を解決すべく、水晶振動片に起因する温度ドリフト特性を安定化させることができる水晶振動子の製造方法の提供を目的とする。

30

【 0 0 0 9 】

なお、本発明者らは、振動ジャイロの測定精度を高めることを目的として、鋭意研究開発に取り組むことにより、水晶振動片に起因する温度ドリフト特性を安定化させる方法を、技術的に確立することに成功したものである。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

この目的を達成するために、本発明の水晶振動子の製造方法は、エッチング加工によって水晶振動片を音叉型形状に加工する外形エッチング工程と、音叉型形状に加工した前記水晶振動片に電極を形成する電極形成工程と、前記電極を形成した水晶振動片を振動子パッケージに実装する実装工程と、前記実装工程において実装された前記水晶振動片を駆動して漏れ振動を検出し、この検出された漏れ振動にもとづいて、前記水晶振動片に対し、その一部の機械的除去加工を行う漏れ振動調整工程と、前記機械的除去加工の行なわれた水晶振動片を再度エッチングすることにより、機械的除去加工により粗面となった水晶表面を腐食して滑らかな状態にする再エッチング工程とを有し、前記再エッチング工程において、前記水晶振動片を前記振動子パッケージとともにエッチング液に浸漬する方法としてある。

40

このようにすると、水晶振動片に起因する温度ドリフト特性を安定化させることができる。

【 0 0 1 1 】

50

また、本発明の水晶振動子の製造方法は、前記漏れ振動調整工程において、前記再エッチング工程における漏れ調整量を見込んで、目標値に達する前に機械的除去加工を終了する一次漏れ調整を行ない、さらに、前記再エッチング工程において、前記目標値に達するまで前記水晶振動片をエッチングする二次漏れ調整を行なう方法としてある。

このようにすると、再エッチング工程において、効率よく漏れ調整を行なうことができ、また、目標値をオーバーしてエッチングしてしまうといった不具合を防止することができる。

#### 【0012】

また、本発明の水晶振動子の製造方法は、前記再エッチング工程において、前記二次漏れ検出を行った後に、前記水晶振動片を微量だけ更に除去加工する微量除去加工工程を有する方法としてある。

10

このように、再エッチング工程において、二次漏れ調整を行った後に、水晶振動片を微量だけ更に除去加工すると、水晶振動片のバランスを厳密につりあわせることができる。

#### 【0013】

また、本発明の水晶振動子の製造方法は、前記微量除去加工を行った後に、前記水晶振動片を洗浄するための洗浄工程を有する方法としてある。

このように、微量除去加工を行った後に、水晶振動片を洗浄すると、除去加工時に発生した除去屑を効果的に取り除くことができる。

#### 【0014】

20

また、本発明の水晶振動子の製造方法は、前記水晶振動片及び前記振動子パッケージの一部を樹脂封止してから、前記エッチング液に浸漬する方法としてある。

このようにすると、エッチング液の浸漬から効果的に保護することができるので、たとえば、上記部分がエッチング液に腐食されるといった不具合を防止することができる。

#### 【0015】

また、本発明の水晶振動子の製造方法は、前記水晶振動片が、駆動電極を備えた駆動脚と、検出電極を備えた検出脚とを有し、前記再エッチング工程において、前記駆動脚の共振周波数と前記検出脚の共振周波数との差を所定値にする離調度調整工程を有する方法としてある。

このように、離調度を調整すると、水晶振動片間の離調度ばらつきを小さくすることができるので、出力のばらつきも小さくすることができる。

30

#### 【0016】

また、上記水晶振動子の製造方法を用いて製造した水晶振動子は、ジャイロとして構成することもでき、このようにすると、角度の測定精度を向上させることができる。

#### 【0017】

本発明の水晶振動子の製造方法によれば、水晶振動片を構成する振動体の振動方向を一方に規制できるので、ジャイロにした場合の漏れ出力をほぼ零に近づけることができる。また、水晶振動片に起因する温度ドリフト特性を安定化させることができる。さらに、離調度を調整することによって、出力のばらつきを小さくすることができる。

#### 【0018】

40

以下、本発明の好適な実施形態を、図面を参照しながら詳細に説明する。

#### [水晶振動子の製造方法]

図1は、本発明の水晶振動子の製造方法を説明する概略フローチャート図を示している。

また、図2は、本発明の水晶振動子の製造方法における水晶エッチング工程を説明するための、水晶ウェハーの概略平面図を示している。

図1、2において、水晶振動子である振動ジャイロの製造方法は、まず、振動ジャイロの主要部品である水晶振動片1を製造する。水晶振動片1は、水晶エッチング工程において、一枚の水晶ウェハー2から複数個製造される。

すなわち、水晶ウェハー2に対して、CrおよびAuの成膜、レジスト塗布、マスク露

50

光，現像，エッチング，及び，レジスト剥離などの作業を行ない、水晶ウェハー 2 の両面に、水晶振動片 1 の外形に応じた複数の Cr / Au 層を成形する。続いて、水晶を溶解するフッ化水素酸を主成分とするエッチング液を用いて、水晶エッチングを行ない、水晶振動片 1 の素子外形を所定形状に加工する（水晶エッチング工程：ステップ S 1 ）。

#### 【 0 0 1 9 】

本実施形態では、水晶振動片 1 を三脚の音叉型水晶ジャイロとしてあり、水晶振動片 1 の所定形状は、図 2 に示すように、三本の振動体 1 1 a ， 1 1 b ， 1 1 c が四角柱状であり、各振動体 1 1 a ， 1 1 b ， 1 1 c を連結する基部 1 2 が矩形板状である。ここで、振動体 1 1 a は、駆動電極 1 D ， 1 U ， 1 L ， 1 R が設けられる第一の振動体であり、振動体 1 1 b は、駆動電極 2 D ， 2 U ， 2 L ， 2 R が設けられる第二の振動体であり、振動体 1 1 c は、検出電極 3 D ， 3 U とアース電極 3 G の設けられる第三の振動体である（図 3 参照）。

10

また、支持部 1 4 は、水晶ウェハー 2 と連結部 1 3 によって連結され、表面には、外部接続電極 1 2 1 が設けられる（図 4 参照）。

なお、図示していないが、振動ジャイロを二脚の音叉型水晶ジャイロとした場合には、水晶振動片の所定形状は、二本の振動体が四角柱状であり、各振動体を連結する基部が矩形板状である。

#### 【 0 0 2 0 】

次に、水晶エッチングを行なった各水晶振動片 1 に対して、上面及び下面に形成した Cr / Au 層を剥離し、続いて、各水晶振動片 1 の全面に新たに Cr / Au 層を蒸着などで成膜する。

20

次に、レジスト電着，露光，現像，Au エッチング，Cr エッチング，及び，レジスト剥離などの作業を行ない、水晶ウェハー 2 に連結された状態の複数の水晶振動片 1 に対して、所定の電極膜を形成する（電極膜形成工程：ステップ S 2 ）。続いて、各水晶振動片 1 は、水晶ウェハーから切り離される

#### 【 0 0 2 1 】

図 3 は、本発明の水晶振動子の製造方法における電極膜成形工程を説明するための、要部の概略拡大上面図を示している。

同図において、水晶振動片 1 は、振動体（駆動脚）1 1 a ， 1 1 b に、駆動電極 1 L ， 1 R ， 1 D ， 1 U 及び 2 L ， 2 R ， 2 D ， 2 U を形成し、振動体（検出脚）1 1 c に、アース電極 3 G と検出電極 3 D ， 3 U を形成してある。

30

なお、水晶振動片 1 は、外部接続電極 1 2 1 として、五つのパッドが形成されており、電極 1 D ， 1 U ， 2 L ， 2 R は、第一のパッドと接続され、電極 1 L ， 1 R ， 2 D ， 2 U は、第二のパッドと接続され、アース電極 3 G と検出電極 3 D ， 3 U は、それぞれ専用のパッドと接続される。

#### 【 0 0 2 2 】

図 4 は、本発明の水晶振動子の製造方法における水晶搭載工程を説明するための、振動子パッケージの概略拡大図であり、（ a ）は平面図を、（ b ）は A - A 断面図を示している。

同図において、水晶振動片 1 は、水晶振動片 1 を収納可能な矩形箱状の振動子パッケージ 4 に、支持部 1 4 が接着剤（図示せず）によって固定される。したがって、各振動体 1 1 a ， 1 1 b ， 1 1 c は、振動子パッケージ 4 と接触することなく振動することができる。

40

また、支持部 1 4 に配設された五つの外部接続電極 1 2 1 は、ワイヤーボンディングによって、振動子パッケージ 4 に配設された五つの接続電極 4 1 と、それぞれワイヤー（Au 線）4 2 で接続される（水晶搭載工程：ステップ S 3 ）。

#### 【 0 0 2 3 】

また、水晶振動片 1 を振動子パッケージ 4 に実装する方法は、上記方法に限定されるものではなく、たとえば、導電性接着剤及び／又はボールバンプなどを使用して、外部接続電極 1 2 1 を接続電極 4 1 へ接続固定してもよい。このようにすると、水晶振動片 1 を振

50

動子パッケージ４に効率よく実装することができ、かつ、再エッチングに耐えることができる。

【００２４】

次に、振動体１１ａ，１１ｂ，１１ｃに対して、振動体特性の調整を行なう。

まず、振動体特性の調整を行なう前の状態について、図面を参照して説明する。

図５は、本発明の水晶振動子の製造方法における、漏れ調整を行なう前の状態を説明するための振動体の概略上面図を示している。

同図において、振動ジャイロにおける水晶振動片１は、駆動振動と検出振動の共振周波数が３００Ｈｚ程度の接近した構成を必要とするので、加工精度や水晶の結晶異方性等に起因して、駆動振動（Ｘ軸方向の振動）のほかに、水晶振動片１が回転していない状態において発生してはならない検出振動（Ｚ'軸方向の振動）が発生する。そして、駆動振動に加え検出振動が発生すると、振動体１１ａ，１１ｂの先端の軌跡は、Ｘ軸方向への直線的な振動とならず、Ｘ－Ｚ'平面に平行な平面内で楕円軌道を描くような振動となる。また、振動体１１ｃの先端の軌跡は、Ｚ'軸方向への直線的な振動となる。このとき、検出電極３Ｄ，３Ｕからはコリオリ出力と無関係な漏れ振動（漏れ出力）が発生しており、これがノイズやドリフトの原因となる。

【００２５】

上記楕円軌道の振動や、Ｚ'軸方向への直線的な振動は、水晶振動片１の一部を面取り加工することによって修正することができる。例えば、振動体（駆動脚）１１ａ，１１ｂと振動体（検出脚）１１ｃの一方又は両方の稜線（角部）を面取り加工して除去することによって、修正することができる。特に、振動体（駆動脚）１１ａ，１１ｂの角部を面取りすることによって除去すると、効果的に修正を行うことができる。

面取り加工（除去加工）は、研削装置などを用いて機械的に行う方法、レーザーなどを用いて電氣的に行う方法、溶融剤などを用いて化学的に行う方法等を採用することができる。

【００２６】

上記面取り加工の一例として、研削装置を用いた機械的な方法について、図面を参照して説明する。

図６は、本発明の水晶振動子の製造方法における漏れ振動調整工程を説明するための振動体の概略断面図を示している。

同図における機械的な面取り加工は、たとえば、板状の砥石５を片持ち支持した状態で往復振動させる研削装置（図示せず）を使用して、検出振動方向（Ｚ'軸方向）の振動成分に起因する出力をモニターしながら、漏れ出力が小さくなるように行なわれる（漏れ振動調整工程：ステップＳ４）。

【００２７】

上記漏れ振動調整工程では、研削し過ぎないように、段階的に面取りが行なわれ、その都度、面取り量（研削距離）と漏れ出力とを対比させている。したがって、漏れ振動調整工程の最終段階においては、漏れ出力を目標値に入れるために、あと、どのくらい研削すればよいかを推定することができる。

ここで、好ましくは、後述する再エッチング工程における漏れ出力の減少量を考慮して、上記研削加工を終了するとよい。このようにすると、再エッチングした際、研削して粗くなった水晶面が他の面よりも多く溶かされて面取りされるので、漏れ出力を目標値のほぼ中央に入れることができる。

【００２８】

なお、レーザーを用いて漏れ調整を行う場合は、例えば、レーザー発生装置から、振動体１１ａ，１１ｂのいずれかの稜線（角部）にレーザー光を照射して面取りを行う。レーザーを用いた方法によると、微量の除去を行うことができるので、振動体１１ａ，１１ｂ，１１ｃのバランスを厳密につりあわせることができる。これにより、角速度を付与しない状態で、振動体（検出脚）１１ｃに設けた検出電極３Ｄ，３Ｕからの出力信号がほぼ零となるように調整することができる。

## 【0029】

次に、離調度を測定する（離調度測定工程：ステップS5）。

離調度とは、駆動振動の共振周波数と検出振動の共振周波数との差で定義されるものであり、振動ジャイロの出力を決定する要素である。この離調度は、ジャイロの出力にほぼ反比例し、その僅かな変化によりジャイロの出力を大きく変化させるため、正確に値を設定する必要がある。

なお、駆動振動の共振周波数は、図3に示した駆動電極1L、1R、1D、1U、2L、2R、2D、2Uを用いて振動体11a、11bを自励発振させることにより測定することができ、また、検出振動の共振周波数は、検出電極3D、3Uを用いて振動体11cを自励発振させることにより測定することができる。そして、両者の共振周波数の差から離調度を求めることができる。

10

## 【0030】

ところで、現在の水晶の加工精度では、上記離調度を、小さい方では、温度特性が劣化したり、振動に対する擬似出力を出さない範囲で設定するのは難しく、また、大きい方では、所望の出力を最大限に発揮できる設定値の範囲に設定するのも難しいといった状況にある。また、駆動振動の周波数だけの調整ならば、一般の発振器用音叉に用いられるように、振動脚先端部の質量を変化させる周波数調整方法等で調整することも可能だが、この方法では、駆動振動と検出振動の双方の共振周波数がほぼ同じ量だけ変わってしまうので、離調度の調整は困難である。

## 【0031】

20

しかしながら、実際には、次の理由により、離調度調整の必要性が高まっている。すなわち、現在のプロセスで作製した水晶振動片の離調度のばらつきは、一枚のウエハー（水晶振動片60個）で $\pm 80\text{ Hz}$ である。さらに、ワンロット（ウエハー30枚）のうちでは $\pm 150\text{ Hz}$ のばらつきがある。出力が小さくてもよい場合には、離調度を大きくして離調度を調整することなく製造することもできる。しかし、大きな出力が必要で離調度を小さくしたい場合は、出力のばらつきを抑えるため、離調度調整は必須となる。

## 【0032】

ここで、離調度は、図7に示すように絶対値が小さいほど出力は大きくなるが、離調度変化に対する出力変化も大きくなる。したがって、離調度のばらつきが小さくなるように調整する必要がある。

30

図7に示すように、離調度を調整すると、離調度ばらつきを $\pm 30\text{ Hz}$ に抑えることができるので、離調度 $180 \pm 30\text{ Hz}$ 、相対出力 $1.7 \pm 0.2$ となり、高い出力で、しかも出力のばらつきを $0.4$ とすることができる。離調度 $200 \pm 50\text{ Hz}$ としても、相対出力 $1.6 \pm 0.3$ を得ることができる。

なお、離調度を調整しないときは、上記のように $\pm 150\text{ Hz}$ のばらつきの中で出力を調整しなければならないので、出力のばらつきを $0.5$ 以内とするには、図7に示すように、離調度を $400 \pm 150\text{ Hz}$ とし、相対出力を $1.1 \pm 0.2$ としなければならない。

## 【0033】

そこで、本実施形態では、離調度の調整を行うようにしている。具体的には、振動子パッケージ4に水晶振動片1が実装された状態で、振動子パッケージ4ごと水晶振動片1を再エッチングする（再エッチング工程：ステップS6）ことにより、検出振動の共振周波数を変化させて離調度と漏れ振動を調整するようにしている。

40

## 【0034】

次に、漏れ振動調整工程（ステップS4）から再エッチング工程（ステップS6）までの工程を、図面を参照して詳細に説明する。

図8は、本発明の水晶振動子の製造方法における、漏れ振動調整工程から再エッチング工程までの工程を説明するための概略フローチャート図を示している。

同図において、まず、水晶振動片1が実装された振動子パッケージ4は、漏れ出力測定用の測定装置（図示せず）にセットされ、振動子パッケージ4に角速度を与えない状態で

50

発生している漏れ出力を測定し、その漏れ出力のレベルが所定値を超えているか否かを判断する（ステップ S 4 1）。

【 0 0 3 5 】

そして、漏れ出力のレベルが所定値を超えていた場合は、漏れ出力が目標値になるまで振動体 1 1 a , 1 1 b の稜線（角部）を研削する（ステップ S 4 2）。この目標値は、上述したように再エッチング工程によっても漏れ出力が減少する分を考慮して適宜決定される。

また、漏れ出力が所定値を超えていなかった場合は、上述した離調度測定工程（ステップ S 5）へ移動する。

【 0 0 3 6 】

次に、離調度測定工程（ステップ S 5）において、上述したように駆動振動の共振周波数と検出振動の共振周波数をそれぞれ測定し、その離調度が所定範囲に入っているか否かを判断する。

そして、離調度が所定範囲に入っている場合は、ステップ S 6 1 へと移行し、離調度が所定範囲に入っていなかった場合は、ステップ S 6 2 へ移行する。

ステップ S 6 1 では、ステップ S 4 1 において、振動体 1 1 a , 1 1 b を研削したか否かを判断する。研削しなかったものは、測定調整が全て終了となる。

また、ステップ S 6 1 では、離調度が所定範囲に入っていた場合であっても、振動体 1 1 a , 1 1 b を研削したものは、ステップ S 6 2 へ移行する。

【 0 0 3 7 】

ステップ S 6 2 では、離調度のズレ量及び漏れ出力に応じて再エッチング工程が実施される。すなわち、ステップ S 5 において、離調度が所定範囲に入っていなかったものについては、離調度が所定範囲にはいるまで、再エッチングが実施される。

なお、本実施形態では、振動ジャイロに用いる水晶振動片 1 を用いているので、ここでは、離調度を優先して調整するようにしている。たとえば、水晶振動片 1 が通常発振子の場合は、漏れ出力だけを考慮すればよい。

【 0 0 3 8 】

この再エッチングは、上述した水晶エッチング工程（ステップ S 1）とほぼ同じものであるが、水晶振動片 1 はすでに振動子パッケージ 4 に実装されているので、振動子パッケージ 4 ごと水晶振動片 1 を再エッチングする。

ここで、エッチング液で腐食されるのは、各電極が形成されていない水晶素地の部分であり、しかも水晶厚み方向である Z' 軸方向（図 5 参照）のエッチング速度が速く、X 軸方向のエッチング速度はそれよりも遅いので、X 軸方向に振動方向を持つ駆動振動の共振周波数はほとんど変化せずに、Z' 軸方向に振動方向を持つ検出振動の共振周波数だけが低くなるように調整することができる。すなわち、この再エッチング時間によって、駆動振動の共振周波数と検出振動の共振周波数の差を調整することができる。

なお、振動子パッケージ 4 は、セラミックスのパッケージで構成されているが、再エッチング時間はあまり長くないので、エッチング液によるダメージはほとんどない。

【 0 0 3 9 】

さらに、ステップ S 6 2 では、再エッチングすることにより、除去して粗面となった水晶表面を腐食して滑らかな状態にできる。水晶振動片 1 は、除去によって水晶面が粗くなると、周波数 - 温度特性が劣化することがあるが、この再エッチングによって粗面を腐食して滑らかにすると、漏れ出力を小さくできるとともに、劣化した水晶振動片 1 の周波数 - 温度特性を復活することができる。

また、ステップ S 6 2 では、離調度測定工程（ステップ S 5）で離調度が所定範囲内に入っているものであっても、振動体 1 1 a , 1 1 b を研削したものを再エッチングするようにしている。これは、上述したように除去した水晶面が粗面となっていると、水晶振動片 1 の周波数 - 温度特性に影響するので、離調度と漏れ出力の変化を起こさない程度で再エッチングすることにより、除去した面を滑らかにして周波数 - 温度特性を回復している。



## 【 0 0 4 0 】

次に、再エッチングした水晶振動片 1 を有する振動子パッケージ 4 を、再度、漏れ出力測定用の測定装置（図示せず）にセットする。そして、振動子パッケージ 4 に角速度を与えていない状態で発生している二次漏れ出力を測定し、発生している二次漏れ出力の値が所定値を超えているか否かを判断する（ステップ S 6 3）。

ここでは、漏れ出力を所定値まで追い込んでいるのであまり大きなずれはないが、もし、所定値を超えていた場合は、ステップ S 6 4 において、漏れ出力が零になるまで振動体 1 1 a , 1 1 b の稜線（角部）を除去する。なお、所定値を超えてないものは、測定調整が全て終了となる。

## 【 0 0 4 1 】

10

なお、二次漏れ調整は、例えば、レーザー発生装置から、振動体 1 1 a , 1 1 b のいずれかの稜線（角部）にレーザー光を照射して微少量除去（面取り）することによって行う。二次漏れ調整において、レーザーを用いると、微少量の除去を容易に行うことができるので、振動体 1 1 a , 1 1 b , 1 1 c のバランスを厳密につりあわせることができる。これにより、角速度を付与しない状態で、振動体（検出脚） 1 1 c に設けた検出電極 3 D , 3 U からの出力信号がほぼ零となるように調整することができる。

## 【 0 0 4 2 】

次に、ステップ S 6 4 においては、微少量の除去が行われた水晶振動片 1 に対して、水晶表面を洗浄する目的で、所定の短時間だけ再々エッチングが実施される（ステップ S 6 5）。

20

このステップ S 6 5 は、除去屑を取り除くのに効果がある。なお、この再々エッチング工程は、必要に応じて省略することもできる。これで、再エッチングの工程を終了する。

## 【 0 0 4 3 】

## 「実験例」

次に、上記再エッチングの実験例について図面を参照して説明する。

図 1 0 は、本発明の水晶振動子の製造方法における、再エッチングが温度ドリフト特性に及ぼす効果を説明するための温度ドリフト曲線を示す図である。

同図において、再エッチングを行わない振動ジャイロは、約 2 0 において、漏れ出力が約 - 1 . 2 d e g / s e c であったが、 - 4 0 から 1 0 0 までの範囲で温度を変化させると、漏れ出力が約 2 . 5 d e g / s e c から - 2 d e g / s e c まで変化し、約 4 . 5 d e g / s e c の温度ドリフトが発生した。

30

これに対し、上記振動ジャイロに再エッチングを約 6 0 秒間行ない、同様の項目について測定を行なった。再エッチングを行なった振動ジャイロは、約 2 0 において、漏れ出力が約 0 d e g / s e c であったが、 - 4 0 から 1 0 0 までの範囲で温度を変化させると、漏れ出力が約 - 0 . 1 d e g / s e c から 0 . 2 d e g / s e c の範囲で変化し、約 0 . 3 d e g / s e c の温度ドリフトが発生した。すなわち、温度ドリフト特性を大幅に向上させることができた。これにより、振動ジャイロにおいては、測定精度を大幅に向上させることができる。

## 【 0 0 4 4 】

なお、再エッチングの条件を変えたり、微調整することによって、再エッチングを行なった振動ジャイロは、約 2 0 において、漏れ出力が約 0 d e g / s e c に調整することができた。

40

## 【 0 0 4 5 】

ここで、再エッチング工程における条件の一例を次に示す。

## ( 1 ) エッチング液

5 0 % フッ化水素酸と 4 0 % フッ化アンモニウムの 1 : 1 の混合液。

## ( 2 ) エッチング温度

5 5

## ( 3 ) エッチング時間

3 0 ~ 2 5 0 秒

50

図10に示すように、漏れ調整工程で振動体11a, 11bの除去加工を行った後に再エッチングを実施すると、温度ドリフト(漏れ出力)は約 $0\text{ deg/sec}$ に調整することができる。このとき、この温度ドリフト(漏れ出力)を約 $0\text{ deg/sec}$ とするためには、エッチング時間は30秒以上でなければならない。30秒未満であると、温度ドリフトをなくすることができない。

また、図9の特性図に示すように、エッチング時間を長くするとCI値(等価直列抵抗値)が高くなることが分かる。CI値が高すぎると振動体の振れる量(振幅)が小さくなってしまい、その結果、出力値が下がりS/N比が低下する。そこで、CI値が劣化しないようにするための、CI値の範囲を考慮するとエッチング時間は250秒以下になる。

上記の点から、再エッチング時間は30~250秒とすることが好ましい。

なお、離調度は、水晶振動片によってばらつきがあるので、離調度を目標値に調整する際には、その都度、離調度調整量に応じて再エッチング時間を個別に決める必要がある。このとき、図9に示したように、離調度は、再エッチング時間1秒につきほぼ1Hz小さくなるので、容易にエッチング時間を求めることができる。

【0046】

また、本実施形態では、水晶振動片1とともに振動子パッケージ4をエッチング液に浸漬したが、振動子パッケージ4などに、エッチング液への浸漬が好ましくない部分がある場合には、この部分を樹脂封止してから再エッチングを行なうとよい。このようにすると、エッチング液の浸漬から効果的に保護することができるので、たとえば、上記部分がエッチング液に腐食されるといった不具合を防止することができる。

【0047】

次に、水晶振動片1は、真空引きされた状態で、振動子パッケージ4に収納され、カバーが取り付けられる(カバー取付け工程:ステップS7)。

続いて、振動子パッケージは、図示していないが、IC搭載工程にてIC等の電子部品が実装された基板と接合され、完成組立工程(ステップS8)を経て振動ジャイロが製造される。

【0048】

上述したように、本実施形態にかかる水晶振動片の製造方法によれば、漏れ振動調整工程において、研削加工されることにより低下した温度ドリフト特性を、再エッチングすることにより、向上させることができ、振動ジャイロの測定精度を向上させることができる。

【0049】

このように、水晶振動片1の表面を再エッチングにより滑らかに成形した振動ジャイロは、温度ドリフト特性が大幅に改善される。

また、再エッチングにより温度ドリフト特性の改善された水晶振動子をジャイロとすることにより、振動ジャイロの測定精度を大幅に向上させることができる。

【0050】

以上、本発明の水晶振動子の製造方法について、好ましい実施形態を示して説明したが、本発明に係る水晶振動子の製造方法は、上述した実施形態にのみ限定されるものではなく、本発明の範囲で種々の変更実施が可能であることは言うまでもない。

【0051】

本発明の水晶振動子の製造方法は、振動ジャイロに限定されるものではなく、水晶振動子を使用する装置およびその製造方法としても、本発明を適用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0052】

【図1】 本発明の水晶振動子の製造方法を説明する概略フローチャート図を示している。

【図2】 本発明の水晶振動子の製造方法における水晶エッチング工程を説明するための、水晶ウェハーの概略平面図を示している。

【図3】 本発明の水晶振動子の製造方法における電極膜成形工程を説明するための、要

10

20

30

40

50

部の概略拡大上面図を示している。

【図４】 本発明の水晶振動子の製造方法における水晶搭載工程を説明するための、振動子パッケージの概略拡大図であり、（a）は平面図を、（b）はA - A断面図を示している。

【図５】 本発明の水晶振動子の製造方法における、漏れ調整を行なう前の状態を説明するための振動体の概略上面図を示している。

【図６】 本発明の水晶振動子の製造方法における漏れ振動調整工程を説明するための振動体の概略断面図を示している。

【図７】 本発明の水晶振動子の製造方法における、離調度と相対出力の特性図を示している。

10

【図８】 本発明の水晶振動子の製造方法における、漏れ振動調整工程から再エッチング工程までの工程を説明するための概略フローチャート図を示している。

【図９】 本発明の水晶振動子の製造方法における、再エッチング時間に対する離調度変化とC I値変化の特性図を示している。

【図１０】 本発明の水晶振動子の製造方法における、再エッチングが温度ドリフト特性に及ぼす効果を説明するための温度ドリフト曲線を示す図である。

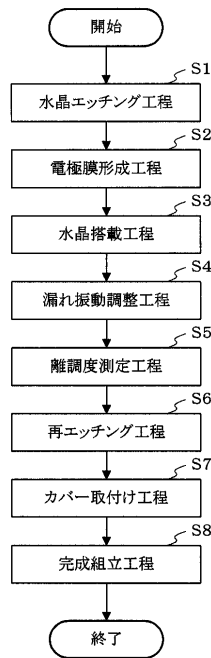
【符号の説明】

- 1 水晶振動片
- 2 水晶ウェハー
- 4 振動子パッケージ
- 5 砥石
- 1 1 a , 1 1 b , 1 1 c 振動体
- 1 2 基部
- 1 3 連結部
- 4 1 接続電極
- 4 2 ワイヤー
- 1 2 1 外部接続電極
- 1 L , 1 R , 1 D , 1 U 駆動電極
- 2 L , 2 R , 2 D , 2 U 駆動電極
- 3 G アース電極
- 3 D , 3 U 検出電極

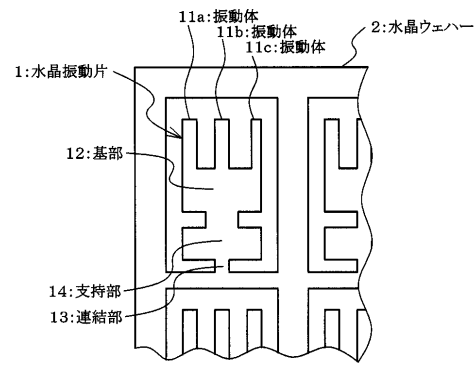
20

30

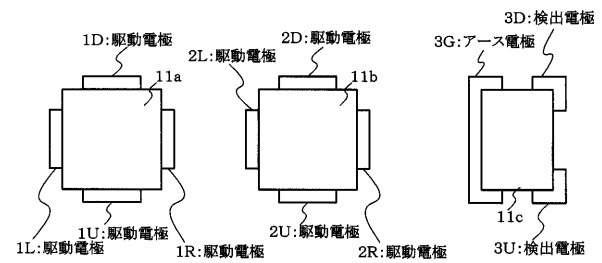
【図 1】



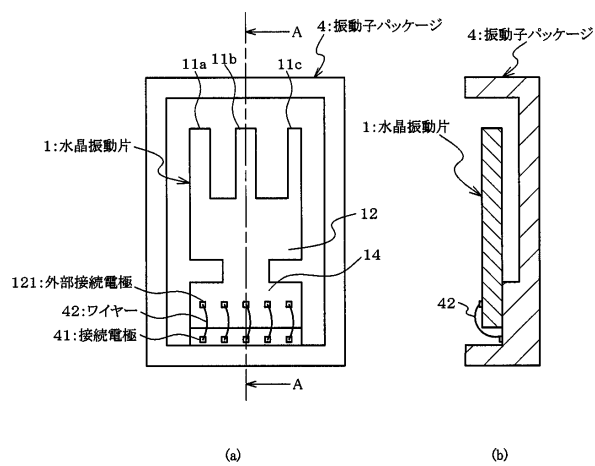
【図 2】



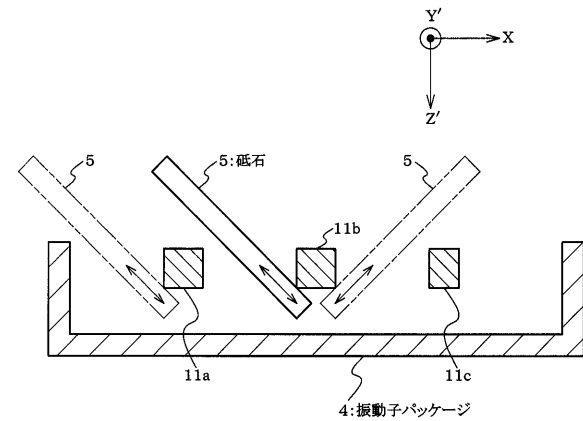
【図 3】



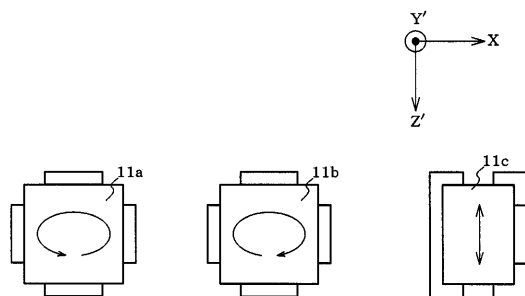
【図 4】



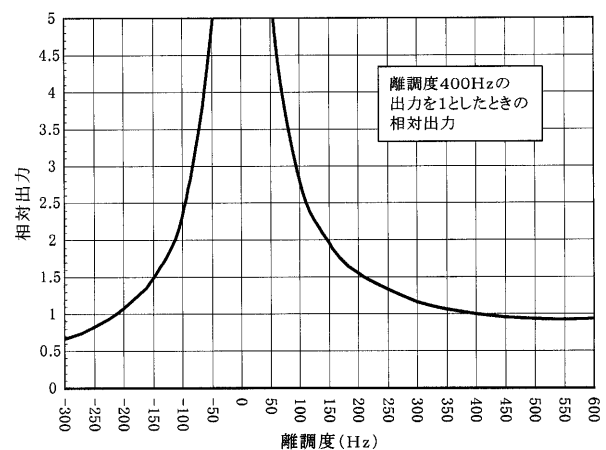
【図 6】



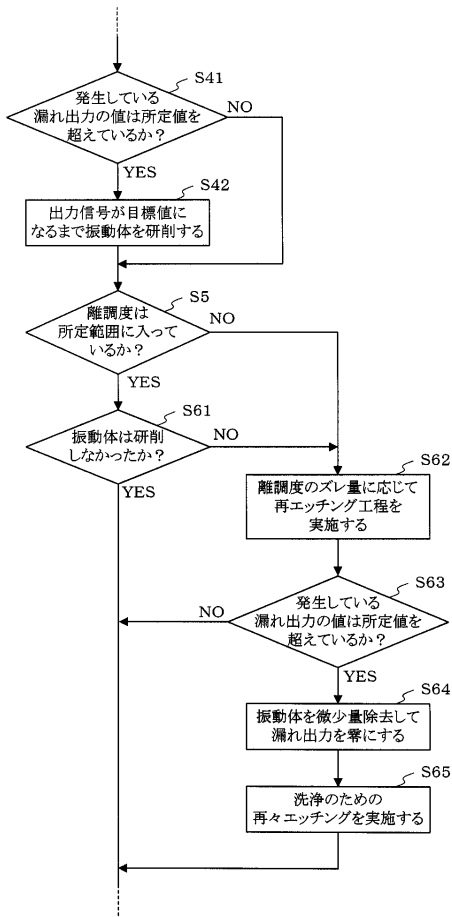
【図 5】



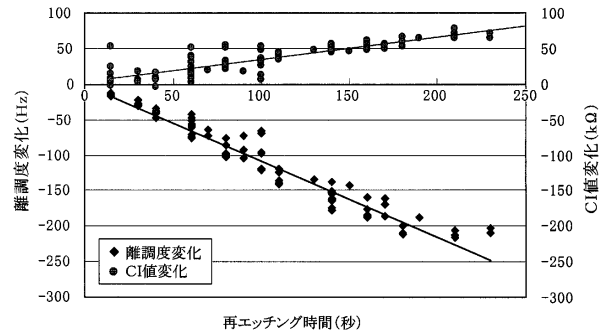
【図 7】



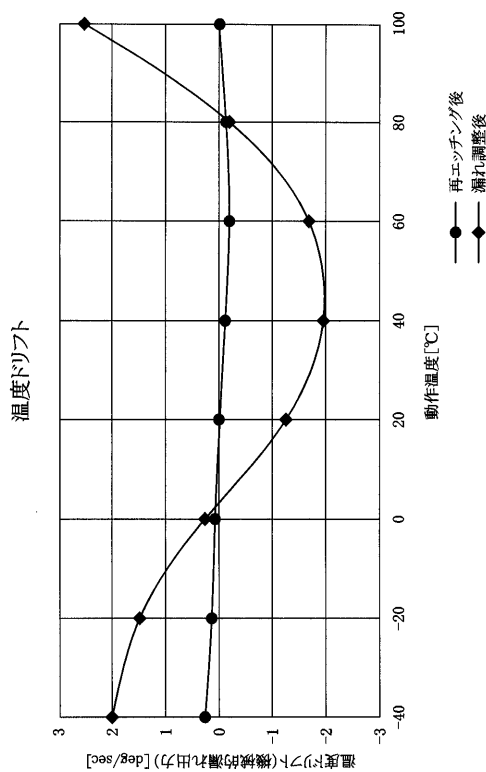
【図 8】



【図 9】



【図 10】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 1 P 9/04 (2006.01) G 0 1 P 9/04

(56)参考文献 特開 2 0 0 3 - 3 4 7 8 7 6 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 7 7 4 5 3 ( J P , A )  
特開 2 0 0 2 - 2 4 3 4 5 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 1 - 1 9 6 8 9 1 ( J P , A )  
特開 2 0 0 3 - 0 2 8 6 4 5 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 7 9 8 6 9 ( J P , A )  
特開 2 0 0 4 - 0 9 3 1 5 8 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
H03H3/007-H03H3/10  
H03H9/00-H03H9/76