

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

**特許第3646258号
(P3646258)**

(45) 発行日 平成17年5月11日(2005.5.11)

(24) 登録日 平成17年2月18日(2005.2.18)

(51) Int.Cl.⁷

F I

H03H 9/19
H01L 41/09
H01L 41/18
H01L 41/22
H03H 3/04

H03H 9/19 K
H03H 3/04 B
H03H 9/10
H01L 41/08 C
H01L 41/22 Z

請求項の数 6 (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2002-60827 (P2002-60827)
(22) 出願日 平成14年3月6日(2002.3.6)
(65) 公開番号 特開2003-204240 (P2003-204240A)
(43) 公開日 平成15年7月18日(2003.7.18)
審査請求日 平成15年6月30日(2003.6.30)
(31) 優先権主張番号 特願2001-334978 (P2001-334978)
(32) 優先日 平成13年10月31日(2001.10.31)
(33) 優先権主張国 日本国(JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 500505197
有限会社ピエデック技術研究所
東京都中野区上高田 1-4-4-1
(72) 発明者 川島 宏文
東京都中野区上高田 1-4-4-1 有限会
社 ピエデック技術研究所内
審査官 小林 正明

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水晶ユニットとその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、前記ケースをカバーする蓋とを備えて構成される水晶ユニットで、前記水晶振動子は水晶音叉基部と前記水晶音叉基部に接続され、対抗する主面を有する水晶音叉腕とを備えて構成され、屈曲モードで振動する水晶音叉振動子で、水晶音叉腕の一端部は水晶音叉基部に接続され、他端部は自由である水晶音叉振動子で、水晶音叉腕は少なくとも第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕を備えて構成され、各々の水晶音叉腕は第1主面とその第1主面に対抗する第2主面と側面とを有し、第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各主面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部と中面部を設け、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に第1電極が配置され、第1電極と極性の異なる第2電極が、第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置され、さらに、第1水晶音叉腕の側面に第3電極が配置され、第3電極と極性の異なる第4電極が第2水晶音叉腕の側面に配置されていて、前記水晶音叉振動子は2電極端子を備えて構成され、前記2電極端子の内1電極端子は、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置された第1電極と第2水晶音叉腕の側面に配置された第4電極から構成され、かつ、第1電極と第4電極とが接続され、他の1電極端子は、第1水晶音叉腕の側面に配置された第3電極と第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置された第2電極から構成され、かつ、第3電極と第2電極とが接続されている水晶音叉振動子を備えて構成さ

10

20

れていることを特徴とする水晶ユニット。

【請求項 2】

第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の第 1 主面または第 2 主面には、長さ方向に互いに対向しない第 1 段差部と第 2 段差部が設けられ、前記第 1 段差部と前記第 2 段差部は第 3 段差部を介して接続されていることを特徴とする請求項 1 に記載の水晶ユニット。

【請求項 3】

水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、前記ケースをカバーする蓋とを備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、前記水晶振動子は水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続され、対抗する主面を有する水晶音叉腕とを備えて構成され、屈曲モードで振動する水晶音叉振動子で、水晶音叉腕の一端部は水晶音叉基部に接続され、他端部は自由である水晶音叉振動子で、水晶音叉腕は少なくとも第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えて構成され、各々の水晶音叉腕は第 1 主面とその第 1 主面に対抗する第 2 主面と側面とを有する水晶音叉振動子を備えた水晶ユニットの製造方法であって、

水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を形成するためのエッチング工程にて、水晶ウエハをエッチングによって屈曲モードで振動する水晶音叉振動子を形成する工程と、

第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面の各主面の幅方向の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するためのエッチング工程にて、前記水晶ウエハをエッチングする工程と、

第 1 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面に設けられた各々 1 個の段差部と中面部の各々に第 1 電極を配置する工程と、

第 1 電極と極性の異なる第 2 電極を、第 2 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面に設けられた各々 1 個の段差部と中面部の各々に配置する工程と、

第 1 水晶音叉腕の側面に第 3 電極を配置する工程と、

第 3 電極と極性の異なる第 4 電極を第 2 水晶音叉腕の側面に配置する工程と、

水晶音叉振動子をケースの固定部に固定する工程と、

ケースをカバーするために蓋をケースに接続する工程と、を有し、

前記水晶音叉振動子は 2 電極端子を備えて構成され、前記 2 電極端子の内 1 電極端子は、第 1 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面に設けられた各々 1 個の段差部と中面部の各々に配置された第 1 電極と第 2 水晶音叉腕の側面に配置された第 4 電極から構成され、かつ、第 1 電極と第 4 電極とが接続され、他の 1 電極端子は、第 1 水晶音叉腕の側面に配置された第 3 電極と第 2 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面に設けられた各々 1 個の段差部と中面部の各々に配置された第 2 電極から構成され、かつ、第 3 電極と第 2 電極とが接続されている水晶音叉振動子を備えて構成されていることを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項 4】

請求項 3 において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するための第 2 エッチング工程とは異なる工程であって、第 1 エッチング工程の後に、第 2 エッチング工程を有することを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項 5】

請求項 3 において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するための第 2 エッチング工程とは異なる工程であって、第 2 エッチング工程の後に、第 1 エッチング工程を有することを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項 6】

請求項 3 において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と

10

20

30

40

50

中面部を形成するための第2エッチング工程とは同じ工程であることを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は音叉型屈曲水晶振動子を収納した水晶ユニットとその製造方法に関する。特に、小型化、高精度化、耐衝撃性、低廉化の要求の強い携帯機器用の基準信号源として最適な新電極形成を具えた水晶ユニットとその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

10

図28(a)および(b)は従来の音叉型屈曲水晶振動子100を収納した水晶ユニット101の、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。音叉型屈曲水晶振動子100は音叉腕102, 103と音叉基部104を具えて構成されている。音叉基部104はケース105の固定部106に接着剤107, 108等によって固定されている。又、固定部106には電極109, 110が配置されていて、2電極端子を構成している。更に、ケース105と蓋111は金属112を介して接合されている。従来の水晶ユニットはこのように構成されているが、水晶ユニットを小さくしようとすると水晶振動子も小型化が要求される。

【0003】

図29には従来の音叉型屈曲水晶振動子外観図を示す。図29において水晶振動子113は2本の音叉腕114, 115と音叉基部116を具えている。励振電極は音叉腕の表裏面と側面に配置されている。図30には図29の音叉腕の断面図を示す。音叉腕の断面形状は一般的には長方形をしている。一方の音叉腕の断面の上面には電極203が下面には電極204が配置されている。側面には電極205, 206が設けられている。他方の音叉腕の上面には電極207が下面には電極208が更に側面には電極209, 210が配置され2電極端子H-H'構造を成している。

20

【0004】

今、H-H'間に直流電圧を印加すると電界は矢印方向に働く。その結果、一方の音叉腕が内側に曲がると他方の音叉腕も内側に曲がる。この理由は、x軸方向の電界成分 E_x が各音叉腕の内部で方向が反対になるためである。交番電圧を印加することにより振動を持続することができる。又、例えば、特開昭56-65517と特開2000-223992(P2000-223992A)では、音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕に溝を設け、且つ、電極構成について開示されている。

30

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

音叉型屈曲水晶振動子では、電界成分 E_x が大きいほど等価直列抵抗 R_1 が小さくなり、品質係数Q値が大きくなる。しかしながら、従来から使用されている音叉型屈曲水晶振動子は、図30で示したように、各音叉腕の表裏側面の4面に電極を配置している。そのために電界が直線的に働かず、かかる音叉型屈曲水晶振動子を小型化させると、電界成分 E_x が小さくなってしまい、等価直列抵抗 R_1 が大きくなり、品質係数Q値が小さくなるなどの課題が残されていた。

40

【0006】

又、例えば、上記従来の特開昭56-65517では音叉腕に溝を設け、且つ、溝の構成と電極構成について開示している。しかしながら、溝の構成、寸法と振動モード並びに等価直列抵抗 R_1 との関係について、更には水晶ユニットとその製造方法についても全く開示されていない。このようなことから、小型の水晶ユニットを実現するには超小型で、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数Q値が高くなるような新形状で、電気機械変換効率の良い電極配置構成を具える音叉型の屈曲水晶振動子とそれを具えて構成される水晶ユニットの製造方法とが所望されていた。

【0007】

50

【課題を解決するための手段】

本発明は、以下の方法で従来の課題を有利に解決した水晶ユニットとその製造方法を提供することを目的とするものである。

【0008】

即ち、本発明の水晶ユニットの第1の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、前記ケースをカバーする蓋とを備えて構成される水晶ユニットで、前記水晶振動子は水晶音叉基部と前記水晶音叉基部に接続され、対抗する主面を有する水晶音叉腕とを備えて構成され、屈曲モードで振動する水晶音叉振動子で、水晶音叉腕の一端部は水晶音叉基部に接続され、他端部は自由である水晶音叉振動子で、水晶音叉腕は少なくとも第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕を備えて構成され、各々の水晶音叉腕は第1主面とその第1主面に対抗する第2主面と側面とを有し、第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各主面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部と中面部を設け、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に第1電極が配置され、第1電極と極性の異なる第2電極が、第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置され、さらに、第1水晶音叉腕の側面に第3電極が配置され、第3電極と極性の異なる第4電極が第2水晶音叉腕の側面に配置されていて、前記水晶音叉振動子は2電極端子を備えて構成され、前記2電極端子の内1電極端子は、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置された第1電極と第2水晶音叉腕の側面に配置された第4電極から構成され、かつ、第1電極と第4電極とが接続され、他の1電極端子は、第1水晶音叉腕の側面に配置された第3電極と第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置された第2電極から構成され、かつ、第3電極と第2電極とが接続されている水晶音叉振動子を備えて構成されている水晶ユニットである。

【0009】

本発明の水晶ユニットの第2の態様は、第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕の第1主面または第2主面には、長さ方向に互いに対向しない第1段差部と第2段差部が設けられ、前記第1段差部と前記第2段差部は第3段差部を介して接続されている第1の態様に記載の水晶ユニットである。

【0010】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第1の態様は、水晶振動子と、その水晶振動子を収納するケースと、前記ケースをカバーする蓋とを備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、前記水晶振動子は水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続され、対抗する主面を有する水晶音叉腕とを備えて構成され、屈曲モードで振動する水晶音叉振動子で、水晶音叉腕の一端部は水晶音叉基部に接続され、他端部は自由である水晶音叉振動子で、水晶音叉腕は少なくとも第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕を備えて構成され、各々の水晶音叉腕は第1主面とその第1主面に対抗する第2主面と側面とを有する水晶音叉振動子を備えた水晶ユニットの製造方法であって、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕を形成するためのエッチング工程にて、水晶ウエハをエッチングによって屈曲モードで振動する水晶音叉振動子を形成する工程と、第1水晶音叉腕と第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各主面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部と中面部を形成するためのエッチング工程にて、前記水晶ウエハをエッチングする工程と、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に第1電極を配置する工程と、第1電極と極性の異なる第2電極を、第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置する工程と、第1水晶音叉腕の側面に第3電極を配置する工程と、第3電極と極性の異なる第4電極を第2水晶音叉腕の側面に配置する工程と、水晶音叉振動子をケースの固定部に固定する工程と、ケースをカバーするために蓋をケースに接続する工程と、を有し、前記水晶音叉振動子は2電極端子を備えて構成され、前記2電極端子の内1電極端子は、第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面に設けられた各々1個の段差部と中面部の各々に配置された第1電極と第2水晶音叉腕の側面に配置された第4電極から構成され、かつ、第1電極と第4電極とが接続

され、他の 1 電極端子は、第 1 水晶音叉腕の側面に配置された第 3 電極と第 2 水晶音叉腕の第 1 主面と第 2 主面に設けられた各々 1 個の段差部と中面部の各々に配置された第 2 電極から構成され、かつ、第 3 電極と第 2 電極とが接続されている水晶音叉振動子を備えて構成されている水晶ユニットの製造方法である。

【0011】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第 2 の態様は、第 1 の態様において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するための第 2 エッチング工程とは異なる工程であって、第 1 エッチング工程の後に、第 2 エッチング工程を有する水晶ユニットの製造方法である。

10

【0012】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第 3 の態様は、第 1 の態様において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するための第 2 エッチング工程とは異なる工程であって、第 2 エッチング工程の後に、第 1 エッチング工程を有する水晶ユニットの製造方法である。

【0013】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第 4 の態様は、第 1 の態様において、水晶音叉基部とその水晶音叉基部に接続された第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕を備えた水晶音叉振動子を形成するための第 1 エッチング工程と、第 1 水晶音叉腕と第 2 水晶音叉腕の幅方向の第 1 主面と第 2 主面の任意の位置に各々 1 個の段差部と中面部を形成するための第 2 エッチング工程とは同じ工程である水晶ユニットの製造方法である。

20

【0023】

【作用】

このように、本発明は水晶ユニットとその製造方法で、音叉腕の側面の電極およびそれに対抗する異極の電極を持つ新しい形状と電極構成を有する音叉型屈曲水晶振動子、即ち例えば、音叉腕の中立線を挟んだ中央部に溝を設け、且つその溝に電極を配置した音叉型屈曲水晶振動子を採用することにより、電氣的諸特性に優れた超小型の水晶ユニットを提供することができる。

30

【0024】

加えて、音叉腕に設けた溝を、各音叉腕と連結する音叉基部の部分まで延在させることで、音叉基部における歪の量を著しく大きくさせることができる。と同時に、前記音叉基部の溝との間に更に溝を設けるので、歪の量をより著しく大きくさせることができる。これにより、本発明の水晶ユニットに搭載される音叉型屈曲水晶振動子は、等価直列抵抗 R_1 が小さくなり、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0025】

更に、例えば、音叉腕の幅方向の位置に前記音叉腕の長さ方向に沿って 1 個の段差部を設け、その段差部に電極を配置し、その電極に対抗して極性の異なる電極が配置されているので、振動子の小型化が極めて容易に行えると同時に、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。その結果、超小型の水晶ユニットを得ることができる。

40

【0026】

又、本発明の水晶ユニットは複数個の音叉型屈曲水晶振動子を収納し、これらの振動子は電氣的に並列になるように電極が構成されるので、合成された等価直列抵抗を小さくすることができる。と同時に、周波数温度特性、即ち、頂点温度の異なる複数個の振動子を採用することにより、周波数温度特性を改善することができる。

【0027】

更に、本発明で用いられる新形状と新電極構成を有する音叉型屈曲水晶振動子と水晶ユニ

50

ットの製造方法を提供することにより、超小型で、品質に優れた、安価な水晶ユニットを実現することができる。

【 0 0 2 8 】

【本発明の実施の形態】

以下に、本発明の実施の形態を実施例によって図面に基づき具体的に述べる。

【 0 0 2 9 】

図 1 (a) および (b) は本発明の水晶ユニットの第 1 実施例の、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。この実施例の水晶ユニット 1 はケース 2 と音叉型屈曲水晶振動子 3 と蓋 1 9 とを具えて構成されている。又、音叉型屈曲水晶振動子 3 は音叉腕 4 , 5 と音叉基部 6 とを具えて構成されていて、音叉基部 6 はケース 2 に設けられた固定部 7 に導電性接着剤 8 , 9 又は半田によって固定されている。更に、音叉腕 4 , 5 には溝 1 0 , 1 1 が設けられ、本実施例では、音叉腕に設けられた溝は音叉基部 6 にまで延在している。なお、本実施例及びその他の実施例の水晶ユニットの、ケース内に収納される音叉型屈曲水晶振動子の詳細については図 2 から図 2 2 で詳細に説明される。

10

【 0 0 3 0 】

又、固定部 7 には電極 1 2 , 1 3 が配置されていて、音叉基部 6 に配置された互いに異極となる電極にそれぞれ接続されている。即ち、2 電極端子を構成している。更に、固定部 7 の電極 1 2 にはケース 2 の裏面の一方の端部にまで延在して配置され電極 1 4 と同極になるように構成される。これに対して、固定部 7 の電極 1 3 はケース 2 の裏面の他方の端部にまで延在して配置され電極 1 5 と同極になるように構成されている。又、ケース 2 と蓋 1 9 は接合部材 1 6 を介して接合されている。

20

【 0 0 3 1 】

なお、本実施例では、電極 1 4 と電極 1 5 とはケース 2 の互いに反対に位置する端部に設けられているが、電極 1 4 , 1 5 はケースの裏面の任意の位置に設けても良い。又、このケース 2 の裏面の電極構成は以下に述べられる実施例のケースについても適用されるものである。

【 0 0 3 2 】

更に、本実施例ではケース 2 に真空中で封止するための穴 1 7 が設けられていて、封止部材 1 8 で封止されている。又、本実施例では、ケースの材料としてセラミックス又はガラス、蓋の材料としてはガラス又は金属、又、ケースと蓋を接合する接合部材としては低融点ガラス又は半田を含む金属を用い、更に、ケースの穴を封止する封止部材としては同様に低融点ガラス又は半田を含む金属が用いられる。

30

【 0 0 3 3 】

又、本実施例では、ケース 2 に真空中で封止するための穴 1 7 が設けられているが、ケース 2 には真空封止用の穴 1 7 を設けなくて、ケースと蓋とを接合部材を介して真空中で直接封止しても良い。なお、本実施例のケースと蓋との構成は以下に述べられる他の実施例のケースと蓋にも適用されるものである。

【 0 0 3 4 】

図 2 は、ケース 2 に収納されて、そのケースとそれを封止する蓋 3 とともに本実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子 2 1 の外観図とその座標系を示すものである。座標系 O、電気軸 x、機械軸 y、光軸 z からなり O - x y z を構成している。本実施例の音叉型屈曲水晶振動子 2 1 は音叉腕 2 2 と音叉腕 2 3 と音叉基部 2 4 とから成り、音叉腕 2 2 と音叉腕 2 3 とは音叉基部 2 4 に接続されている。更に、音叉腕 2 2 の上面には中立線を挟んで溝 2 5 が設けられ、又、音叉腕 2 3 の上面には音叉腕 2 2 と同様に溝 3 1 が設けられている。なお、図 2 では音叉型屈曲水晶振動子 2 1 に配置された電極を省略して示し、角度 θ は、x 軸廻りの回転角であり、通常、 $0 \sim 10^\circ$ の範囲で選ばれる。

40

【 0 0 3 5 】

図 3 は図 2 の音叉型屈曲水晶振動子 2 1 の断面図を示し、図 4 は図 2 の音叉型屈曲水晶振動子 2 1 の上面図を示す。ここでは、図 2 中の、音叉腕 2 2 の A - A ' 断面図を、図 3 において紙面の右側に示し、又、図 2 中の、音叉腕 2 3 の B - B ' 断面図を図 3 において紙

50

面の左側に示す。音叉腕 22 の上下面には中立線 37 (図 4 参照) を挟んで溝 25, 26 が設けられている。更に、溝 25 には電極 27 が、溝 26 には電極 28 が配置され、その側面には電極 29, 30 が配置されていて、電極 27, 28 と電極 29, 30 とは異電極となるように構成されている。更に詳述するならば、各音叉腕の上下面の幅方向には各々 2 個の段差部が音叉腕の長さ方向に沿って設けられ、前記 2 個の段差部には同極となる電極が配置され、前記各電極と対抗する側面に配置された電極は極性が異なるように構成されている。と同時に、音叉腕 22 の溝 25, 26 と電極 27, 28 と側面の電極 29, 30 とは音叉基部 24 にまで延在して設けられている。

【0036】

音叉腕 23 の上下面にも音叉腕 22 と同様に中立線 38 (図 4 参照) を挟んで溝 31, 32 が設けられている。そして、溝 31 には電極 33 が、溝 32 には電極 34 が配置されている。更に、その側面には電極 35, 36 が配置されていて、電極 33, 34 と電極 35, 36 とは互いに異電極となるように構成されている。と同時に、音叉腕 23 の溝 31, 32 と電極 33, 34 と側面の電極 35, 36 とは音叉基部 24 にまで延在して設けられている。又、音叉腕 22 と音叉腕 23 との電極は図 3 に示すように接続されて、2 電極端子構造 C - C' を形成する。今、電極端子 C - C' 間に直流電圧を印加すると、音叉腕 22 と音叉腕 23 とには電界 E_x が各矢印方向に働く。この電界 E_x は音叉腕内で電極に垂直に、すなわち直線的に働くので、電界 E_x が大きくなり、歪の発生が大きくなる。その結果、音叉型屈曲水晶振動子 21 を小型化した場合でも損失等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0037】

図 4 では溝 25, 31 の配置及び寸法などを詳述する。すなわち、この実施例の音叉型屈曲水晶振動子 21 には音叉腕 22 の中立線 37 を挟むようにして溝 25 が設けられ、他方の音叉腕 23 にも中立線 38 を挟んで溝 31 が設けられている。そして、それら溝 25 および溝 31 の幅 W_2 は、中立線 37 と中立線 38 とを挟んだ寸法とすることが好ましい。この理由は、屈曲モードを引き起こすとき、音叉腕 22, 23 の振動を容易にすることができ、等価直列抵抗 R_1 を小さくすることができ、品質係数 Q 値の高い振動子を実現できる。

【0038】

更に、音叉腕 22, 23 の全幅 W は $W = W_1 + W_2 + W_3$ で与えられ、通常は $W_1 = W_3$ となるように設計される。又、溝幅 W_2 は $W_2 = W_1, W_3$ を満足する条件で設計される。更に、具体的に述べると、溝幅 W_2 と音叉腕幅 W との比 (W_2 / W) が $0.35 \sim 0.85$ となるように形成される。このように形成することにより、音叉腕の中立線 37 と中立線 38 を基点とする二次慣性モーメントが大きくなる。即ち、電気機械変換効率が良くなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい、Q 値の高い、しかも容量比の小さい音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0039】

これに対して、溝 25 および溝 31 の長さ l_1 については、溝 25, 31 が、音叉腕 22, 23 から長さ l_2 の音叉基部 24 にまで延在し、その音叉基部 24 に延在する溝の長さが l_3 となるような寸法とされている。それ故、音叉腕 22, 23 とに設けられた溝の長さは、 $l_1 - l_3$ で与えられ、等価直列抵抗 R_1 の小さな振動子を得るために、 $0.4 \sim 0.7$ の範囲内の値を有する。更に、音叉基部の歪量を大きくして、 R_1 を小さくし、且つ、支持、固定によるエネルギー漏れのない振動子を得るには音叉基部の溝の長さ l_3 と音叉基部の長さ l_2 との比が $0.04 \sim 0.78$ の範囲内の値になるように溝 25, 31 が構成される。なお、本実施例では、溝の長さ l_3 の側面全部に電極が配置されているが、側面の電極が溝の長さ l_3 より短く配置されている時には、 l_3 は電極の長さと同じ長さとする。また、音叉型屈曲水晶振動子 21 の全長 l は要求される周波数や収納容器の大きさなどから決定される。と同時に、基本波モードで振動する良好な音叉型屈曲水晶振動子を得るためには、以下で説明するように、溝の長さ l_1 と全長 l との間には密接な関係が存在する。

10

20

30

40

50

【0040】

すなわち、音叉腕22, 23又は音叉腕22, 23と音叉基部24とに設けられた溝の長さ l_1 と音叉型屈曲水晶振動子21の全長 l との比(l_1/l)が0.2~0.68の範囲内の値となるように溝の長さを設定している。このように形成する理由は、不要振動である2次高調波振動(基本波周波数の約6.3倍の周波数)を抑圧することができるからである。それ故、基本波モードで容易に振動する良好な音叉型屈曲水晶振動子の実現できる。さらに詳述するならば、基本波モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子の等価直列抵抗 R_1 が2次高調波振動での等価直列抵抗 R_2 より小さくなる。即ち、 $R_1 < R_2$ となり、増幅器(CMOSインバータ)、コンデンサ、抵抗、本実施例の水晶ユニット等から成る水晶発振器において、振動子が基本波モードで容易に振動する良好な水晶発振器が実現

10

【0041】

更に、図示されていないが、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子21は厚さ t の振動子で、溝の厚み t_1 を有している。本実施例では、溝の厚み t_1 と音叉腕又は音叉腕と音叉基部の厚み t との比(t_1/t)が0.05~0.79の範囲内の値となるように、振動子21に溝が形成されている。このように形成することにより、音叉腕又は音叉腕と音叉基部の溝の側面電極とそれに対抗する側面の電極との間の電界 E_x が大きくなる。即ち、電気機械変換効率の良い、等価直列抵抗 R_1 の小さい振動子が得られる。

【0042】

また、この実施例では、音叉基部24は、図4中、振動子21の長さ l_2 の下側部分全体とされ、又、音叉腕22及び音叉腕23は、図4中、振動子21の長さ l_2 の部分から上側の部分全体とされている。本実施例では音叉の叉部は矩形をしているが、本発明は前記形状に限定されるものではなく、音叉の叉部がU字型をしていてもよい。この場合も、矩形の形状と同じように、音叉腕と音叉基部との寸法の関係は前記関係と同じである。更に、本実施例では、音叉基部の溝と側面とに電極を配置しているが、本発明はこれに限定されるものではなく、音叉基部の溝の側面に配置された電極(側面電極)に対し x 軸方向(幅方向)に隣接する、溝の側面電極と極性の異なる少なくとも1個の電極を音叉基部の面上に配置しても良い。例えば、音叉基部の溝と溝との間に、隣接する溝の側面電極と極性の異なる2個の電極(例えば、図4に仮想線で示す電極25a, 31a)を面上に、又は4個の電極を上下面に配置しても良い。この場合、厚み方向の対抗電極は同極となるように構成される。このように構成することにより、音叉基部の歪量が大きくなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

20

30

【0043】

図5は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第2実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子69の外観図とその座標系を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子69では、先に述べた第1実施例における音叉型屈曲水晶振動子21と同様に、音叉腕70と音叉腕76とに、溝71と溝77とがそれぞれ設けられるとともに、さらに、音叉基部90には、溝82と溝86とが溝71と溝77との間に設けられている。

【0044】

図6は、図5の音叉型屈曲水晶振動子69の音叉基部90のD-D断面図を示す。図6では図5の水晶振動子の音叉基部90の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕70と連結する音叉基部90には溝71, 72が設けられている。同様に、音叉腕76と連結する音叉基部90には溝77, 78が設けられている。更に、溝71と溝77との間には溝82と溝86とが設けられている。又、溝72と溝78との間には溝83と溝87とが設けられている。そして、溝71と溝72とには電極73, 74が、溝82と溝83とには電極84, 85が、溝86と溝87とには電極88, 89が、溝77と溝78とには電極79, 80が配置され、音叉基部90の両側面には電極75, 81が配置されている。

40

【0045】

50

更に、電極 75, 79, 80, 84, 85 は一方の同極に、電極 73, 74, 81, 88, 89 は他方の同極になるように配置されていて、2 電極端子構造 E - E を構成する。即ち、z 軸方向に対抗する溝の電極は同極に、且つ、x 軸方向に隣接する電極は異極になるように構成されている。又、図示しないが音叉腕 70, 76 には第 1 実施例の音叉型屈曲水晶振動子 21 (図 3 参照) と同じ様に電極が配置されている。今、2 電極端子 E - E に直流電圧を印加 (E 端子に正、E 端子に負) すると電界 E x は図 6 に示した矢印のように働く。電界 E x は水晶振動子の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界 E x が大きくなり、その結果、発生する歪の量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

10

【0046】

図 7 は図 5 の音叉型屈曲水晶振動子 69 の上面図を示すものである。図 7 では溝 71, 77 の配置について特に詳述する。音叉腕 70 の中立線 91 を挟むようにして溝 71 が設けられている。他方の音叉腕 76 も中立線 92 を挟むようにして溝 77 が設けられている。更に、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子 69 では、音叉基部 90 の、溝 71 と溝 77 との間に挟まれた部分にも溝 82 と溝 86 とが設けられている。それら溝 71, 77 及び溝 82, 86 を設けたことで、音叉型屈曲水晶振動子 69 には、先に述べたように、電界 E x が図 6 に示した矢印のように働き、電界 E x は水晶振動子の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界 E x が大きくなり、その結果、発生する歪の量も大きくなる。このように、本実施例の音叉型屈曲水晶振動子 69 の形状と電極構成とは、音叉型屈曲水晶振動子を小型化した場合でも電氣的諸特性に優れた、即ち、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い水晶振動子を実現できる。尚、幅寸法 $W = W_1 + W_2 + W_3$ と長さ寸法 l_1, l_2, l_3 と厚み寸法 t, t_1 については先に述べた第 1 実施例と同様の寸法条件とすることが望ましく、これらの寸法条件は、既に図 4 の説明の際に詳述したので、ここでは省略する。

20

【0047】

図 8 は、図 1 に示すケース 2 に収納されて、そのケースとそれを封止する図 1 に示す蓋 3 とともに本発明の第 3 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子 145 の上面図である。音叉型屈曲水晶振動子 145 は、音叉腕 146, 147 と音叉基部 148 とを具えて構成されている。即ち、音叉腕 146, 147 の一端部が音叉基部 148 に接続されている。本実施例では、音叉基部 148 にのみ複数個の溝 149, 151, 152 が設けられている。又、図 8 には示されていないが、音叉基部 148 の裏面にも溝 149, 150, 151, 152 と対抗する位置に複数個の溝が設けられている。又、溝 149 と溝 150 とは、音叉腕 146 と音叉腕 147 との各々の一端部が接続された音叉基部 148 内に設けられている。

30

【0048】

更に、溝 151 と溝 152 とは、音叉基部 148 の、溝 149 と溝 150 との間に挟まれた部分に設けられている。また、図 8 では、電極配置及びその構成法は図示されていないが、前述の第 2 実施例において図 6 で説明した電極配置とその構成方法は同じである。このように溝 149, 150, 151, 152 を全て音叉基部 148 に設けるとともに第 2 実施例と同様の電極構成とすることにより、音叉基部 148 に発生する歪が大きくなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい音叉型屈曲振動子が得られる。

40

【0049】

図 9 は、図 1 に示すケース 2 に収納されて、そのケースとそれを封止する図 1 に示す蓋 3 とともに本発明の第 4 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子 153 を示す上面図である。本実施例の音叉型屈曲水晶振動子 153 は、音叉腕 154, 155 と音叉基部 156 とを具えて構成されている。音叉腕 154 と音叉腕 155 とには、音叉基部 156 にまで延在して設けられた溝 157 と溝 158 とが存在する。又、音叉基部 156 の、溝 157 と溝 158 との間に挟まれた部分には、溝 159 が設けられている。

【0050】

50

図10は、図9の音叉型屈曲水晶振動子153の音叉基部156のF-F断面の形状を示すものである。ここでは、図9の水晶振動子153の音叉基部156の断面形状並びに電極配置について詳述する。図10に示すように、この実施例の水晶振動子153では、音叉腕154とその腕に連結する音叉基部156との上下面に溝157と溝160とが互いに対抗して設けられている。同様に、音叉腕155とその腕に連結する音叉基部156との上下面にも溝158と溝161とが互いに対抗して設けられている。更に、溝157と溝158との間には、溝159が設けられ、又、溝160と溝161との間には溝162が溝159に対抗して設けられている。

【0051】

そして、溝157と溝160とには同極となる電極163と電極164とが、溝159と溝162とには、電極165、166と電極167、168とが、溝158と溝161とには、同極となる電極169と電極170とがそれぞれ配置され、音叉基部156の両側面（図10中紙面の左右方向に向く面）には、互いに異極となる電極171と電極172とが配置されている。しかも、溝157、158、159、160、161、162によって形成された音叉基部156の凸部を挟んで対抗して配置された電極は互いに異極となっている。即ち、電極165、167、169、170、171は一方の同極に、電極163、164、166、168、172は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子構造G-Gを構成する。これにより、溝159には異極となる電極165と電極166とが配置され、同様に、溝162にも異極となる電極167と電極168とが配置されることとなる。更に、x軸方向に隣接する溝の側面（段差部）に配置された対抗電極は異極となるように配置される。

【0052】

即ち、本実施例では、溝159側の一方の側面（段差部）に配置された電極165とそれに対抗する側面（段差部）の電極173とは異極に、同様に、他方の側面（段差部）に配置された電極166とそれに対抗する側面（段差部）の電極174とは異極に、全く同様に、溝162側の一方の側面（段差部）の電極167とそれに対抗する側面（段差部）の電極175並びに、他方の側面（段差部）の電極168とそれに対抗する側面（段差部）の電極176とは互いに異極となるように配置されている。又、溝157とそれに対抗する厚さ（z方向）の溝160に配置された電極163と電極164とは同極になるように構成されている。全く同様に、溝158とそれに対抗する厚さ（z方向）の溝161とに配置された電極169と電極170とは同極になるように構成される。更に、溝157、160、158、161に配置された電極163、164、169、170及び音叉基部156の側面の電極171と電極172とは、音叉基部156から音叉腕154、155まで延在して配置されている。

【0053】

今、2電極端子G-G間に交番電圧を印加すると電界E_xは、図10中、実線と点線とで示した矢印方向に交互に働き、屈曲振動を引き起こす。又、電界E_xは、溝の側面に配置された電極間に電極に対して垂直に、即ち直線的に生じるので、電界E_xが大きくなり、且つ、音叉基部156にも溝159、162と電極165、166、167、168とが設けられているので、発生する歪の量が著しく大きくなる。即ち、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い屈曲水晶振動子が得られる。

【0054】

図11は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第5実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子300の外観図とその座標系を示すものである。そして、図12は、図11の振動子300の上面図であり、又、図13は、図12の音叉型屈曲水晶振動子300のI-I断面の形状を示す断面図である。図11に示すように、振動子300の座標系は水晶の結晶軸であるx軸（電気軸）廻りに回転角度回転されている。そして、水晶の結晶軸であるy軸（機械軸）およびz軸（光軸）の回転後の新軸はそれぞれy'軸又はz'軸とされており、かか

10

20

30

40

50

る角度 は通常 $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ の範囲内の角度に設定される。この音叉型屈曲水晶振動子 300 は、音叉腕 301 と音叉腕 302 と音叉基部 303 とを具えて構成された、厚さ t を有するものである。さらに、音叉腕 301 には段差が設けられて、上面部 301a と中面部 301b との間に段差部（上面部 301a の内側面）304 が形成され、その中面部 301b および段差部 304 は音叉基部 303 にまで延在している。又、音叉腕 302 の上面にも音叉腕 301 と同様に図 12 及び図 13 に示すように中面部 302b および段差部 305 が形成されている。そして、音叉基部 303 にも、上面部 303a、中面部 303b 及び段差部 306 が形成されている。

【0055】

即ち、図 12 に示すように、この振動子 300 の音叉腕 301 には幅方向の任意の位置に段差部 304 が、一方、音叉腕 302 には幅方向の任意の位置に段差部 305 が、それぞれ音叉基部 303 にまで延在して設けられ、それら段差部 304 及び段差部 305 は、音叉基部 303 の段差部 306 にそれぞれ接続されている。又、音叉腕の側面と段差部との間の寸法は音叉腕幅 W の半分以下が好ましい。このように寸法を構成することにより、電界 E_x を大きくすることができる。その結果、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0056】

さらに、図 13 に示すように、音叉腕 301 の下面にも上面と同様に段差が設けられて、下面部 301c と中面部 301d との間に段差部 307 が形成され、その段差部 307 は音叉基部 303 にまで延在している。ここで、上面の段差部 304 は、音叉腕 301 の内側に向き、また、下面の段差部 307 は、音叉腕 301 の外側に向いている。そして、段差部 304 には電極 308 が、中面部 301b にはその電極 308 に連なる電極 309 が配置されている。一方、段差部 307 には電極 310 が、中面部 301d にはその電極 310 に連なる電極 311 が配置されている。また、音叉腕 301 の、段差部 304 に配置された電極 308 に対抗する側面（音叉腕 301 の上面部 301a の外側面）には電極 312 が配置され、段差部 307 に配置された電極 310 に対抗する側面（音叉腕 301 の下面部 301c の内側面）には電極 313 が配置されている。

【0057】

このように電極を配置することにより、電界 E_x は電極 308 と電極 312 間及び電極 310 と電極 313 間でそれら電極に垂直に働く。これと同様に音叉腕 302 にも、音叉腕 301 と左右対称に段差が設けられて各電極が配置されている。即ち、音叉腕 302 の、上面と下面とは段差部 305、314、上面部 302a 及び中面部 302b が設けられ、段差部 305 には電極 315 が、中面部 302b にはその電極 315 に連なる電極 316 が配置されている。又、段差部 314 には電極 317 が、中面部 302d にはその電極 317 に連なる電極 318 が配置されている。更に、音叉腕 302 の、電極 315 に対抗する側面（音叉腕 302 の上面部 302a の外側面）には電極 319 が、電極 317 に対抗する側面（音叉腕 302 の中面部 302b の内側面）には電極 320 が配置されている。更に、電極構成について詳述すると、電極 308、309、310、311、319、320 は一方の同極に、電極 312、313、315、316、317、318 は他方の同極にされて 2 電極端子 $K-K$ を構成している。

【0058】

今、電極端子 $K-K$ に交番電圧を印加すると、電界 E_x は図 13 の実線と点線との矢印で示すように電極間に垂直かつ交互に働き、屈曲振動を容易に引き起こすことができる。この結果、損失等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

【0059】

なお、本実施例では、段差部は音叉腕から音叉基部にまで延在して設けられているが、音叉腕にのみ設けても良く、又は、音叉基部にのみ設けても良い。更に、音叉基部 303 にまで延在している下面の段差部 307 と段差部 314 との間に溝を設け、溝の側面の電極と対抗する電極とが異極となるように構成しても同様の効果が得られる。

【 0 0 6 0 】

図 1 4 は、図 1 に示すケース 2 に収納されて、そのケースとそれを封止する図 1 に示す蓋 3 とともに本発明の第 6 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子 3 2 1 の外観図とその座標系を示すものである。そして、図 1 5 は、図 1 4 の振動子 3 2 1 の上面図であり、又、図 1 6 は、図 1 5 の音叉型屈曲水晶振動子 3 2 1 の J - J 断面の形状を示す断面図である。なお、本実施例の座標系は図 1 1 に示す座標系と同じである。ここでの音叉型屈曲水晶振動子 3 2 1 は、音叉腕 3 2 2 と音叉腕 3 2 3 と音叉基部 3 2 4 とを具えて構成され、厚み t を有している。

【 0 0 6 1 】

さらに、音叉腕 3 2 2 には段差が設けられて、図 1 4 及び図 1 6 に示すように、上面部 3 2 2 a , 中面部 3 2 2 b , 中面部 3 2 2 d 及び下面部 3 2 2 c が形成されるとともに、段差部 (上面部 3 2 2 a の内側面) 3 2 5 が形成され、その中面部 3 2 2 b および段差部 3 2 5 は音叉基部 3 2 4 にまで延在している。又、音叉腕 3 2 3 の上面にも音叉腕 3 2 2 と同様に図 1 5 及び図 1 6 に示すように中面部 3 2 3 b および段差部 3 2 6 が形成されている。そして、音叉基部 3 2 4 にも、上面部 3 2 4 a , 中面部 3 2 4 b および下面部 3 2 4 c (図示されていない) 及び段差部 3 2 7 が形成されている。

【 0 0 6 2 】

即ち、図 1 5 と図 1 6 に示すように、音叉腕 3 2 2 および音叉腕 3 2 3 には段差部 3 2 5 と段差部 3 2 6 が設けられ、それら段差部 3 2 5 , 3 2 6 は、音叉基部 3 2 4 にまで延在し、段差部 3 2 7 に接続されている。さらに、音叉腕 3 2 2 の上面には段差部 3 2 5 と下面には段差部 3 2 8 とが設けられ、又、音叉腕 3 2 3 の上面には段差部 3 2 6 と下面には段差部 3 2 9 とが設けられている。

【 0 0 6 3 】

ここで、上面の段差部 3 2 5 および下面の段差部 3 2 8 は音叉腕 3 2 2 の内側に向き、上面の段差部 3 2 6 および下面の段差部 3 2 9 は音叉腕 3 2 3 の内側に向いている。そして、段差部 3 2 5 には電極 3 3 0 が、中面部 3 2 2 b にはその電極 3 3 0 に連なる電極 3 3 1 が配置され、又、段差部 3 2 8 には電極 3 3 2 が、中面部 3 2 2 d にはその電極 3 3 2 に連なる電極 3 3 3 が配置される。更に、音叉腕 3 2 2 の内側面には電極 3 3 4 が、音叉腕 3 2 2 の外側面には電極 3 3 5 が配置されている。これにより、電極 3 3 0 および電極 3 3 2 に対抗するように異極の電極 3 3 5 が配置されることとなる。

【 0 0 6 4 】

かかる音叉腕 3 2 2 と同様に、音叉腕 3 2 3 にも音叉腕 3 2 2 と左右対称に段差が設けられて各電極が配置されている。即ち、音叉腕 3 2 3 には、段差部 3 2 6 , 3 2 9 , 上面部 3 2 3 a , 中面部 3 2 3 b , 中面部 3 2 3 d 及び下面部 3 2 3 c が設けられ、段差部 3 2 6 には電極 3 3 6 が、中面部 3 2 3 b にはその電極 3 3 6 に連なる電極 3 3 7 が配置される一方、段差部 3 2 9 には電極 3 3 8 が、中面部 3 2 3 d にはその電極 3 3 8 に連なる電極 3 3 9 が配置されている。又、音叉腕 3 2 3 の内側面には電極 3 4 0 が、音叉腕 3 2 3 の外側面には電極 3 4 1 が配置されることから、電極 3 3 6 および電極 3 3 8 に対抗するように異極の電極 3 4 1 が配置された構成となる。さらに、図 1 6 に示すように、電極 3 3 0 , 3 3 1 , 3 3 2 , 3 3 3 , 3 4 0 , 3 4 1 は一方の同極に、電極 3 3 4 , 3 3 5 , 3 3 6 , 3 3 7 , 3 3 8 , 3 3 9 は他方の同極にされ、2 電極端子 L - L を構成する。

【 0 0 6 5 】

今、2 電極端子 L - L に交番電圧を印加すると、電界 $E \times$ は図 1 6 の実線と点線との矢印で示すように電極間に垂直かつ交互に働き、屈曲振動を容易に引き起こすことができる。この結果、損失等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。なお、本実施例では、音叉腕 3 2 2 , 3 2 3 の内側に中面部 3 2 2 b , 3 2 2 d , 3 2 3 b , 3 2 3 d を設けているが、音叉腕 3 2 2 , 3 2 3 の外側に中面部を設けても同様の効果を有する。

【 0 0 6 6 】

又、本実施例では、中面部のある音叉腕の内側の両側面に電極 3 3 4 と電極 3 4 0 とが配

10

20

30

40

50

置されているが、これらの電極は配置しなくとも良く、又は、各中面部の電極と同極になるように配置しても良く、前記効果と同様の効果を有する。

【0067】

図17は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第7実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子351の上面図である。音叉腕352と音叉腕353との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が設けられている（下面の段差部は図示されていない）。図17では上面の段差部355と段差部356とが設けられている。更に、本実施例では、音叉腕352、353の外側に中面部355b、356bが設けられている。図示されていないが、中面部355d、356dは裏面にも設けられていて、段差部355と段差部356とは音叉基部354にまで延在して設けられている。また、音叉腕の電極配置については、図16と同じ様に配置されている。

10

【0068】

図18は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第8実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子351aの上面図である。音叉腕352aと音叉腕353aとの上下面には、幅方向の任意の位置に段差部が音叉腕の長さ方向に延在して設けられている（下面の段差部は図示されていない）。図18では上面の段差部355aと段差部356aとが設けられていて、段差部355a、356aとは、音叉腕352a、353aの長さ方向に1個の階段部355eと階段部356eとを有するように設けられている。更に詳述するならば、音叉腕の上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が設けられ、その段差部が音叉腕の長さ方向に1個延在して設けられ、前記段差部は音叉腕の長さ方向に1個の階段部を有している。ここで、「幅方向の任意の位置に1個の段差部」には、幅方向に厚みの異なる、いわゆる階段部を有する形状をも含むものである。なお、音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕の上下面の少なくとも1面には幅方向の任意の位置に1個の段差部が設けられ、その段差部が音叉腕の長さ方向に少なくとも1個延在している構成であれば、本実施例の構成に限らず、後述する本実施例の効果と同様の効果を得ることができる。

20

【0069】

更に、本実施例では、音叉腕352a、353aの外側に中面部355b、356bとが設けられている。図示されていないが、中面部355d、356dは裏面にも設けられていて、本実施例では段差部355aと段差部356aとは音叉基部354aにまで延在して設けられているが、音叉腕にのみ設けても良い。また、音叉腕の電極配置については、図16と同じ様に配置されている。

30

【0070】

なお、本実施例では、音叉腕の長さ方向に1個の階段部が設けられているが、2個以上の複数個の階段部を設けても良い。又、前記段差部は音叉腕の長さ方向に分割されていても良い。更に、本実施例の段差部及び階段部の構成は第5実施例～第7実施例及び以下に述べられる第9実施例と第10実施例の音叉型屈曲水晶振動子にも適用することができるのはもちろんである。

【0071】

図19は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第9実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子357の上面図を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子357では、図17で述べた音叉型屈曲水晶振動子351と同様に、音叉腕358と音叉腕359との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が設けられている（下面の段差部は図20参照）。図19の実施例では、音叉腕358と音叉腕359とには、段差部361、362と中面部361b、362bとがそれぞれ設けられているとともに、さらに、音叉基部360には、溝363と溝364とが設けられている。また、本実施例では、段差部361と段差部362とは音叉基部360にまで設けられている。即ち、それら段差部361、362は、音叉腕358と音叉腕359の長さ方向に沿って設けられている。

40

50

【0072】

図20は、図19の音叉型屈曲水晶振動子357の音叉基部360のM-M'断面図を示す。図20では図19の水晶振動子の音叉基部360の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕358, 359とそれら音叉腕に連結する音叉基部360とには段差部361, 362, 365, 366と中面部361b, 362b, 356d, 366dとが設けられている。更に、段差部361と段差部362との間には溝363と溝364とが設けられている。同様に、段差部365と段差部366との間には溝367と溝368とが設けられている。

【0073】

そして、溝363, 364, 367, 368の側面(段差部)を含む溝内に電極が配置されている。即ち、溝363と溝364とには電極369, 370が、溝367と溝368とには電極371, 372が配置されている。更に、段差部361と段差部362とには電極373, 374が中面部361b, 362bにそれぞれ連なるように配置されている。同様に、段差部365と段差部366とには電極375, 376が中面部365d, 366dにそれぞれ連なるように配置されている。また、音叉基部360の両側面には電極377, 378が配置されている。

10

【0074】

更に、電極369, 371, 374, 376, 377は一方の同極に、電極370, 372, 373, 375, 378は他方の同極になるように配置されていて、2電極端子構造P-P'を構成する。即ち、z'軸方向に対抗する溝電極は同極に、且つ、段差部の電極に対抗するx軸方向の電極は異極となるように構成されている。今、2電極端子P-P'に直流電圧を印加(P端子に正、P'端子に負)すると電界Exは図20に示した矢印のように働く。電界Exは段差部の側面と溝内の側面とに配置された電極により電極に垂直に、即ち、直線的に引き出されるので、電界Exが大きくなり、その結果、発生する歪量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

20

【0075】

なお、本実施例では、音叉基部360の両側面に互いに極性の異なる電極377と電極378とが配置されているが、これらの電極は配置しなくても良く、又は、隣接する中面部の電極と同極となるように配置しても良い。このように電極を配置しても、等価直列抵抗R₁の小さい、品質係数Q値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

30

【0076】

図21は、図1に示すケース2に収納されて、そのケースとそれを封止する図1に示す蓋3とともに本発明の第10実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子379の上面図を示すものである。この実施例の音叉型屈曲水晶振動子379では、図17で述べた音叉型屈曲水晶振動子351と同様に、音叉腕380と音叉腕381との上下面には、幅方向の任意の位置に各々1個の段差部が音叉腕の長さ方向に延在して設けられている(下面の段差部は図22参照)。図21の実施例では、音叉腕380と音叉腕381とには、段差部383, 384と中面部383b, 384bとがそれぞれ設けられているとともに、さらに音叉基部382に、溝385が設けられている。また、本実施例では、段差部383と段差部384とは音叉基部382にまで延在して設けられている。

40

【0077】

図22は、図21の音叉型屈曲水晶振動子379の音叉基部382のN-N'断面図を示す。図22では図21の水晶振動子の音叉基部382の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕380, 381とそれら音叉腕に連結する音叉基部382とには段差部383, 384, 386, 387と中面部383b, 384b, 386d, 387dとが設けられている。更に、段差部383と段差部384との間には溝385が設けられている。同様に、段差部386と段差部387との間には溝388が設けられている。

【0078】

そして、溝385, 388の側面(段差部)を含む溝内に電極が配置されている。即ち、

50

溝 385 には電極 389 と電極 390 とが配置され、極性が異なるように構成されている。同様に、溝 388 には極性の異なる電極 391 と電極 392 とが配置されている。更に、段差部 383 と段差部 384 とには電極 393, 394 とが中面部 383b, 384b にそれぞれ連なるように配置されている。同様に、段差部 386 と段差部 387 とには電極 395, 396 が中面部 386d, 387d にそれぞれ連なるように配置されている。また、音叉基部 382 の側面には電極 397, 398 が配置されている。

【0079】

更に、電極 389, 391, 394, 396, 397 は一方の同極に、電極 390, 392, 393, 395, 398 は他方の同極になるように配置されていて、2 電極端子 U - U' を構成する。即ち、各溝内には互いに極性の異なる電極が配置されていて、段差部の電極に対抗する電極は異極になるよう構成されている。今、2 電極端子 U - U' に交番電圧を印加すると、電界 E_x は図 22 に示した実線と点線の矢印方向に働く。電界 E_x は段差部の側面と溝内の側面とに配置された電極により、電極に垂直に、即ち、直線的に引き出せるので、電界 E_x が大きくなり、その結果、発生する歪量も大きくなる。従って、音叉型屈曲水晶振動子を小型化させた場合でも、等価直列抵抗 R₁ の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。

【0080】

なお、本実施例では、音叉基部 382 の両側面に異極となる電極 397 と電極 398 とが配置されているが、これらの電極は配置しなくても良く、又は、隣接する中面部の電極と同極となるように配置しても良い。又、この電極構成は音叉腕の両外側側面にも適用できる。このように電極を配置することにより、等価直列抵抗 R₁ の小さい、品質係数 Q 値の高い、より超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。又、本発明の上記第 5 実施例～第 10 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子では、音叉腕の上下面、即ち 4 面に段差部が設けられているが、音叉腕の上下面の少なくとも 1 面に幅方向の任意の位置に 1 個の段差部を音叉腕の長さ方向に延在して設けても良い。

【0081】

図 23 は本発明の第 11 実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。この実施例の水晶ユニット 400 はケース 401 と、図 2 で示された前記第 1 実施例の音叉型屈曲水晶振動子 21 と同じ溝構成と電極配置とを有する 2 個の音叉型屈曲水晶振動子 402, 403 と、図示しない蓋とを具えて構成されている。又、一方の音叉型屈曲水晶振動子 402 は音叉腕 404, 405 と音叉基部 406 とを具えて構成されている。同様に、他方の音叉型屈曲水晶振動子 403 は音叉腕 407, 408 と音叉基部 409 とを具えて構成されていて、音叉型屈曲水晶振動子 402 の音叉基部 406 と音叉型屈曲水晶振動子 403 の音叉基部 409 とは接続部 410 を介して一体に形成されている。更に、水晶振動子 402 と水晶振動子 403 とは角度 θ にて形成され、通常、角度 θ は 0°～30° に設定される。なお、角度 $\theta = 0^\circ$ でも製造のバラツキにより異なる頂点温度を有する振動子を得ることができる。

【0082】

ここで、「一体に形成」とは、水晶ウエハから音叉型屈曲水晶振動子が切り離されたとき、複数個の音叉型屈曲水晶振動子が音叉基部で接続部を介して接続、形成されているものをいい、更に、この構成の振動子をケースの固定部に接着剤等で固定した後、接続部を切り離したものの「一体に形成」に含まれる。

【0083】

また、音叉基部 406, 409 はケース 401 に設けられた固定部 411 の複数の個所に導電性接着剤 412, 413, 414, 415 又は半田によって固定されている。なお、本実施例では 4 個所で固定しているが、少なくとも 2 個所以上であれば良い。更に、音叉腕 404, 405 には溝 416, 417 が、音叉腕 407, 408 には溝 418, 419 とが設けられ、本実施例では、音叉腕に設けられた溝は音叉基部 406, 409 にまで延在しているが、音叉腕のみに溝を配置しても良い。

【0084】

10

20

30

40

50

又、固定部 4 1 1 には 4 個の電極 4 2 0 , 4 2 1 , 4 2 2 , 4 2 3 が配置されていて、音叉基部 4 0 6 , 4 0 9 にそれぞれ配置された互いに異極となる電極にそれぞれ接続されている。即ち、本実施例では、音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 と音叉型屈曲水晶振動子 4 0 3 とがそれぞれ 2 電極端子を構成している。更に、本実施例の電極構成の変形例としては、少なくとも 2 個の電極、例えば、電極 4 2 1 と電極 4 2 2 とが共通の電極 (1 個の電極) になるように構成しても良い。

【 0 0 8 5 】

更に、図示されていないが、固定部 4 1 1 の 4 個の電極 4 2 0 , 4 2 1 , 4 2 2 , 4 2 3 はケース 4 0 1 の裏面にまで延在して配置されている。又は、少なくとも前記電極の 2 個が共通電極となり、裏面には 3 個の電極又は 2 個の電極が配置されている。

10

【 0 0 8 6 】

さらに詳述するならば、音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 と音叉型屈曲水晶振動子 4 0 3 とが電氣的に並列になるようにケースの裏面の電極は構成される。即ち、2 個の音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 , 4 0 3 を電気信号により励振させた時に、両振動子が電氣的に並列に接続されている電極の構成を電氣的に並列な構成と言う。

【 0 0 8 7 】

このように両音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 , 4 0 3 に角度を持たせると、両水晶振動子にそれぞれ異なる周波数温度特性を持たせる事ができる。即ち、頂点温度の異なる音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。更に、これらの水晶振動子を電氣的に並列に接続することにより、音叉型屈曲水晶振動子の周波数温度特性を改善することができる。良好な周波数温度特性を得るためには、両振動子 4 0 2 , 4 0 3 の周波数差は 3 0 p p m 以内にすることが好ましい。また、図 2 4 に、両音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 , 4 0 3 の電氣的な接続図を示す。

20

【 0 0 8 8 】

図 2 5 に上記音叉型屈曲水晶振動子 4 0 2 , 4 0 3 を具える本実施例の水晶ユニットの周波数温度特性の一例を示す。図 2 3 の、一方の振動子 4 0 2 が温度特性 4 3 0 を、他方の振動子 4 0 3 が温度特性 4 3 1 を有する場合、電氣的に並列に接続されると両水晶振動子の周波数温度特性は曲線 4 3 2 のようになる。即ち、本実施例の音叉型屈曲振動子は、曲線 4 3 2 に示すような周波数温度特性を有することとなり、これにより、温度変化に対して周波数変化の少ない安定した特性の水晶振動子とすることができる。この結果、本実施例の水晶ユニットは超小型で、しかも、周波数温度特性に優れた水晶ユニットを実現できる。

30

【 0 0 8 9 】

図 2 6 は本発明の第 1 2 実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。この実施例の水晶ユニット 4 5 0 はケース 4 5 1 と、前記第 1 実施例の音叉型屈曲振動子 2 1 と同じ溝と電極構成とを有する 2 個の音叉型屈曲水晶振動子 4 5 2 , 4 5 3 と、図示しない蓋とを具えて構成されていて、2 個の振動子 4 5 2 , 4 5 3 は接続部 4 5 5 を介して一体に形成されている。又、ケース 4 5 1 には両水晶振動子 4 5 2 , 4 5 3 の振動の干渉を防止する仕切り 4 5 4 が両振動子 4 5 2 , 4 5 3 の間に設けられている。又、仕切り 4 5 4 の高さは、ケース 4 5 1 の高さと同じか、それより低くなるように設けられている。

40

【 0 0 9 0 】

又、本実施例では、2 個の音叉型屈曲水晶振動子 4 5 2 , 4 5 3 の振動の干渉を防止する仕切り 4 5 4 がケース 4 5 1 に連なるように設けられているが、両水晶振動子 4 5 2 , 4 5 3 との間に両水晶振動子と一体になるように形成しても両水晶振動子の振動の干渉を防止することができる。更に、本実施例の溝や電極等の構成は図示されていないが、図 2 3 と全く同じ様に構成されている。

【 0 0 9 1 】

なお、第 1 1 実施例と第 1 2 実施例では、水晶ユニットのケースに収納される、一体に形成された 2 個の音叉型屈曲水晶振動子は、先の第 1 実施例の水晶ユニットのケースに収納

50

される音叉型屈曲水晶振動子を用いて説明したが、これらの実施例の水晶ユニットのケースに収納される２個の音叉型屈曲水晶振動子は、第２実施例～第１０実施例の音叉型屈曲水晶振動子を用いても良く、又はそれら振動子を組み合わせて形成したものでも良く、又は２個の振動子のうちの少なくとも１個に、第１実施例～第１０実施例の音叉型屈曲水晶振動子を用いる事により、図２５で述べられた効果と同じ効果を得ることができる。

【００９２】

即ち、２個の音叉型屈曲水晶振動子を電氣的に並列に接続することにより、周波数温度特性の改善ができ、温度に対して周波数変化の小さい水晶ユニットを得ることができる。と同時に、両水晶振動子の等価直列抵抗 R_1 が同じとき、合成される等価直列抵抗は約半分になる。このように、損失抵抗の小さい音叉型屈曲水晶振動子を用いる水晶ユニットが実現できる。なお、上記第１１実施例と上記第１２実施例に用いられるケースと蓋とは上記第１～１０実施例で述べられたケースと蓋と同じ様に構成されている。

10

【００９３】

次に、本発明の水晶ユニットの製造方法の実施例について、図面に記載の工程に従って述べる。図２７は上記実施例の水晶ユニットを製造するための、本発明の製造方法の一実施例の工程図である。記号Ｓ－１からＳ－１２は工程の番号を示す。まず、Ｓ－１では水晶ウエハ４０（断面図で示す）が準備される。次に、Ｓ－２ではその水晶ウエハ４０の上面と下面に金属膜（例えば金）４１が蒸着又はスパッタリングにより形成される。更に、Ｓ－３では前記金属膜４１の上にレジスト４２が塗布される。そして、フォトリソ工程により、それら金属膜４１とレジスト４２とが音叉形状を残して除去された後、エッチング加工により、Ｓ－４で示される音叉腕４３，４４と音叉基部４５とを具えた音叉形状が形成される。なお、図２７では１個の音叉形状の形成について示したが、同様にして、１枚の水晶ウエハ上に多数個の音叉形状が形成される。

20

【００９４】

次に、Ｓ－２とＳ－３の工程で示したと同様の金属膜とレジストがＳ－４の音叉形状に塗布されて、フォトリソ工程とエッチング加工により、Ｓ－５で示される音叉腕４３および音叉腕４４に溝４６，４７，４８，４９が形成される。更に、Ｓ－５に金属膜とレジストが塗布されて、フォトリソ工程により極性が異なる電極がＳ－６で示されるように形成される。

【００９５】

30

即ち、音叉腕４３の側面に配置された電極５０，５３と音叉腕４４の溝４８，４９に配置された電極５５，５６は同極となるように接続形成される。同様に、音叉腕４３の溝４６，４７に配置された電極５１，５２と音叉腕４４の側面に配置された電極５４，５７は同極となるように接続形成される。更に詳述するならば、溝の側面（段差部）と対抗する音叉腕の側面に互いに異なる極性を有する電極が配置されているので、音叉腕は逆相で屈曲振動をする。

【００９６】

本実施例では、Ｓ－３の工程から音叉形状を形成し、その後、音叉腕に溝を形成しているが、本発明は前記実施例に限定されるものではなくて、Ｓ－３の工程からまず溝を形成し、その後に音叉形状を形成しても良い。又は、音叉形状と溝を同時に形成しても良い。更に、Ｓ－４からＳ－５の工程で音叉腕と音叉基部とに溝を形成しても良い。又、本実施例では溝を形成しているが、溝の代わりに、段差部と中面部とを形成しても良い。

40

【００９７】

次の工程は矢印で示されるＡとＢの２つの方法がある。Ａはケースに穴がない場合で、Ｂは穴がある場合である。まずＡの工程では形成された音叉型屈曲水晶振動子６０の音叉基部４５がＳ－７で示されるように、ケース５８の固定部５９に導電性接着剤６１又は半田にて固定される。次に、Ｓ－８では水晶振動子６０の周波数がレーザ６２又は蒸着にて所要の値に調整され、最後に、Ｓ－９で示すように、ケース５８と蓋６３とが低融点ガラス６４又は半田などの金属を介して接合される。この場合はケース５８は真空封止用の穴を持たないので、接合は真空中で行われる。図示されていないが、更に、周波数の偏差を小

50

さくするために、S - 9 の後にレーザで周波数調整をしても良い。

【0098】

次にBの工程では、S - 10で音叉型屈曲水晶振動子60の音叉基部45がケース65の固定部59に導電性接着剤61又は半田にて固定される。次に、S - 8と同じ様にして周波数調整が行われ、更に、S - 11では、ケース65と蓋63がS - 9と同じ方法で接合される。更に、真空中で周波数調整が行われ、最後に、S - 12では、ケース65に設けられた穴67が真空中で低融点ガラスや半田などの金属66を用いて封止される。このように、本実施例では、S - 10の工程の後とS - 11の工程の後とに周波数調整が行われるが、少なくともどちらか一方の工程の後に周波数調整をしても良い。又、Aの工程と同じように、周波数の偏差を小さくするために、S - 12の後にレーザーで周波数調整をし

10

【0099】

本実施例では、1個の音叉型屈曲水晶振動子を具える水晶ユニットの製造方法について説明したが、2個以上(複数個)の振動子を具える水晶ユニットの場合も同じ工程で製造される。即ち、S - 3の工程から接続部を介して音叉基部で接続される2個以上(複数個)の音叉形状を形成し(S - 4)、更に、S - 5では両音叉腕に溝又は両音叉腕と両音叉基部とに溝を形成し、S - 6では各音叉型屈曲水晶振動子は逆相で振動するように、更に、両音叉型屈曲水晶振動子の電極は両振動子が電氣的に並列になるように配置され、A工程(S - 7 ~ S - 9)又はB工程(S - 10 ~ S - 12)にて形成される。更に、周波数の偏差を小さくするために、S - 9又はS - 12の後にレーザで両振動子の周波数調整を行

20

【0100】

上記方法で製造された本発明の水晶ユニットは、超小型で、品質に優れた、安価な水晶ユニットを実現することができる。

【0101】

以上、図示例に基づき説明したが、この発明は上述の例に限定されるものではなく、例えば、上記第2実施例及び第4実施例の水晶ユニットにおける音叉型屈曲水晶振動子では、その音叉腕に設ける溝が音叉基部にまで延在して形成されるとともに音叉基部に形成される溝が、前記音叉基部に設けられた溝と溝との間に更に設けられて、かかる構成の溝の電極構成について述べているが、音叉基部の溝と連なる音叉腕の溝及び音叉腕の側面にも上

30

【0102】

更に、本発明の第5実施例～第10実施例では音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に各々1個の段差部を音叉腕の長さ方向に直線になるように設け、段差部と音叉腕の側面に電極が対抗して配置されていて、前記対抗電極は互いに極性が異なるように構成されている音叉型屈曲水晶振動子を示しているが、段差部は音叉腕の長さ方向に曲線になるように設けても良い。同時に、音叉腕が逆相で振動するように電極は構成される。更に、本発明の上記実施例では溝を音叉腕、又は音叉腕と音叉基部とに設けているが、溝の代わりに穴を設けても良い。

40

【0103】

又、上記第1実施例～第4実施例、第9実施例及び10実施例では、音叉型屈曲水晶振動子に溝として2個の対向する段差部(段差部4個)がその端部で接続されるような構成の形状(上面図で四角形)が示されているが、本発明に適用できる溝の形状はこれに限定されるものではない。即ち、本発明に適用できる溝の形状は、少なくとも2個の段差部からなる形状を有するものを含むものであり、音叉腕又は音叉基部の長さ方向に延在する段差部を有する、例えば三角形以上の多角形のような形状や円弧を含む形状をも包含するものである。と同時に、長さ方向に対向する段差部の片方の端部同士が段差部を介して接続されている形状をも溝として包含するものである。

【0104】

50

更に、上記実施例では、音叉基部と固定部とを導電性接着剤又は半田によって固定されているが、本発明はこれに限定されるものでなく、音叉基部とケースの固定部とに配置された金属同士を原子間結合による固定法を用いても良い。

【0105】

又、上記実施例の音叉型屈曲水晶振動子は音叉腕2本から構成されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、音叉腕が3本以上であっても良い。

【0106】

更に、本発明の水晶ユニットの上記第11, 12実施例では、周波数温度特性の異なる音叉型屈曲水晶振動子を得るために、両振動子の間に角度を持たせているが、異なる周波数温度特性を得るために、各振動子の寸法を異なるように形成しても良い。

10

【0107】

又、上記第11実施例と上記第12実施例では、一体に形成された2個の音叉型屈曲水晶振動子が水晶ユニットに収められているが、本発明はこれに限定されるものでなく、一体に形成される2個以上のいわゆる複数個の音叉型屈曲水晶振動子を用いても良い。これに加えて、これらの実施例では、2個の音叉型屈曲水晶振動子は各振動子の音叉基部の側面で接続部を介して一体に形成されているが、本発明では、音叉基部の側面での接続部を介しての、一体形成に限定されるものではなく、音叉基部での接続部を介しての、一体形成であればいかなる形状での接続、一体形成をも包含するものである。

【0108】

更に、上記第11実施例と上記第12実施例では、2個の音叉型屈曲水晶振動子が水晶ユニットに収納されているが、本発明の水晶ユニットはこれに限定されるものではなく、少なくとも1個の音叉型屈曲水晶振動子が収納されていれば良い。即ち、異なる振動モードの振動子、又はフィルター又は発振器を複数個収納しても良い。例えば、音叉型屈曲水晶振動子と厚みすべりモード振動子又は幅縦モード振動子又はラメモード振動子又は擦りモード振動子又はMCFフィルター又はTCXOやVCOである。なお、上記実施例の水晶振動子は化学的エッチング法を用いて形成される。

20

【0109】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明の水晶ユニットとその製造方法によれば、次の如き著しい効果が得られる。

30

(1) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設けることにより、電界が垂直に働く。その結果、電気機械変換効率が良くなるので、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

(2) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設け、当該溝に電極を配置し、かかる溝が音叉基部にまで延在しているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。

(3) 等価直列抵抗 R_1 の小さい超小型の音叉型屈曲水晶振動子が搭載されるので、超小型の水晶ユニットが高品質で実現できる。

(4) 搭載される音叉型屈曲水晶振動子が超小型であるので、体積の小さい水晶ユニットが得られる。即ち、軽い水晶ユニットが得られる。

40

(5) 水晶ユニットの製造方法が簡単であるので、工数が少なく安価な水晶ユニットが実現できる。

(6) 音叉基部で振動子を固定部に固定できるので、作業性に優れ、安価な水晶ユニットが得られる。

(7) 水晶ユニットの内部は真空中であるので、振動による振動損失が少なくなる。その結果、等価直列抵抗 R_1 の小さい水晶ユニットが得られる。

(8) ケースにはセラミックス又はガラスを、また蓋にはガラス又は金属を用いているので、信頼性の高い水晶ユニットが得られる。

(9) ケースと蓋の接合には低融点ガラス又は半田などの金属が用いられているので、信頼性が高く、且つ、作業性が良いので、安価な水晶ユニットが実現できる。更に、穴を封

50

止する部材として低融点ガラス又は半田が用いられているので、品質に優れた水晶ユニットが得られる。

(10) 音叉腕の中立線を挟んで溝を設け、当該溝に電極を配置し、かかる溝が音叉基部にまで延在し、更に、当該溝の間にさらに溝を設けているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。又、本振動子が搭載されるので、超小型の水晶ユニットが高品質で実現できる。

(11) 音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に段差を設けることにより形成される段差部に電極が配置され、前記電極に対抗する音叉腕の側面には前記電極と極性の異なる電極が配置されているので、電気機械変換効率が非常に良くなる。その結果、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が実現できる。又、この振動子が搭載された超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

10

(12) 音叉腕の上下面の幅方向の任意の位置に段差部を音叉腕の長さ方向に延在して設け、当該段差部に電極を配置し、かかる段差部が音叉基部にまで延在し、更に、当該段差部との間にさらに溝を設けているので、音叉基部での歪の量が著しく大きくなる。それ故、等価直列抵抗 R_1 の小さい、品質係数 Q 値の高い超小型の音叉型屈曲水晶振動子が得られる。又、本振動子を搭載した超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

(13) 音叉腕の上下面の幅方向に段差部を設けているので、十分な電気機械変換効率を維持したまま音叉腕の幅を著しく小さくできる。即ち、より小型化が可能である。それ故、極めて小型化された水晶ユニットが実現できる。

20

(14) 複数個の音叉型屈曲水晶振動子を一体に形成し、更に、電極的に並列に接続されるので、等価直列抵抗 R_1 が小さくなる。例えば、2 個の場合で同じ等価直列抵抗 R_1 を有する時、本発明の振動子では約半分の等価直列抵抗になる。即ち、複数個の振動子を搭載することにより、小さい等価直列抵抗を持った水晶ユニットが実現できる。

(15) 一体に形成された複数個の音叉型屈曲水晶振動子が搭載されるので、何らかの理由でそれらのうちの 1 個が破損しても、水晶ユニットとしての機能を維持することができる。

(16) 複数個の音叉型屈曲水晶振動子が、別々の各ユニットのケースに収納されるのではなく、同じユニットのケースに収納されるので、安価な水晶ユニットが実現できる。と同時に、これらの振動子を電氣的に並列に接続することにより、周波数温度特性に優れた水晶ユニットが得られる。

30

(17) 音叉型屈曲水晶振動子をエッチング法によって形成できるので、量産性に優れ、1 枚の水晶ウエハ上に多数個の振動子を一度にバッチ処理にて形成できるので、安価な音叉型屈曲水晶振動子が実現できる。更に、本振動子が搭載されるので安価な水晶ユニットが実現できる。

(18) 本発明の振動子は音叉形状に加工され、固定部で固定されるので、固定部等への固定による振動エネルギー損失が小さくなり、耐衝撃性に優れた水晶ユニットが得られる。

(19) 音叉型屈曲水晶振動子を真空中で封止後、更に、レーザで周波数調整をするので、周波数偏差の小さい水晶ユニットが得られる。

40

(20) 音叉型屈曲水晶振動子の音叉寸法と溝との関係を示すことにより、2 次高調波振動を抑えた基本波モードで振動する、しかも、等価直列抵抗 R_1 の小さい超小型の音叉型屈曲水晶振動子を得ることができる。その結果、超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 (a) および (b) は本発明の水晶ユニットの第 1 実施例の、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。

【図 2】 上記第 1 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の外観図とその座標系である。

【図 3】 図 2 の音叉腕の A - A' 断面図と B - B' 断面図である。

50

- 【図 4】 図 2 に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 5】 本発明の第 2 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の概観図とその座標系である。
- 【図 6】 図 5 の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部の D - D' 断面図である。
- 【図 7】 図 5 の音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 8】 本発明の第 3 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 9】 本発明の第 4 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 10】 図 9 の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部の F - F' 断面図である。 10
- 【図 11】 本発明の第 5 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の概観図とその座標系である。
- 【図 12】 図 11 に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 13】 図 12 の音叉腕の I - I' 断面の形状を示す断面図である。
- 【図 14】 本発明の第 6 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の外観図とその座標系である。
- 【図 15】 図 14 に示す音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 16】 図 15 の音叉腕の J - J' 断面の形状を示す断面図である。
- 【図 17】 本発明の第 7 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。 20
- 【図 18】 本発明の第 8 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 19】 本発明の第 9 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 20】 図 19 の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部の M - M' 断面図である。
- 【図 21】 本発明の第 10 実施例の水晶ユニットを構成する音叉型屈曲水晶振動子の上面図である。
- 【図 22】 図 21 の音叉型屈曲水晶振動子の音叉基部の N - N' 断面図である。
- 【図 23】 本発明の第 11 実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。 30
- 【図 24】 図 23 の音叉型屈曲水晶振動子の電気的な接続図である。
- 【図 25】 上記第 11 実施例の水晶ユニットの周波数温度特性の一例を示す関係線図である。
- 【図 26】 本発明の第 12 実施例の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図である。
- 【図 27】 本発明の水晶ユニットの製造方法の一実施例の工程図である。
- 【図 28】 (a) および (b) は従来の水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図および、蓋付きの状態での側面図である。
- 【図 29】 従来の音叉型屈曲水晶振動子を座標系とともに示す斜視図である。
- 【図 30】 図 29 に示す従来の音叉型屈曲水晶振動子の音叉腕を示す断面図である。 40

【符号の説明】

x, y, z 水晶の結晶軸

1, 101, 400, 450 水晶ユニット

2, 58, 65, 105, 401, 451 ケース

3, 21, 60, 100, 69, 145, 153, 300, 321, 351, 351a, 357, 379, 402, 403, 452, 453 音叉型屈曲水晶振動子

4, 5, 22, 23, 43, 44, 102, 103, 114, 115, 70, 76, 146, 147, 154, 155, 301, 302, 322, 323, 352, 353, 352a, 353a, 358, 359, 380, 381, 404, 405, 407, 408

音叉腕

6 , 2 4 , 4 5 , 9 0 , 1 0 4 , 1 1 6 , 1 4 8 , 1 5 6 , 3 0 3 , 3 2 4 , 3 5 4 , 3 5 4 a , 3 6 0 , 3 8 2 , 4 0 6 , 4 0 9	音叉基部	
7 , 5 9 , 1 0 6 , 4 1 1	固定部	
8 , 9 , 6 1 , 4 1 2 , 4 1 3 , 4 1 4 , 4 1 5	導電性接着剤	
1 0 , 1 1 , 2 5 , 2 5 a , 2 6 , 3 1 , 3 1 a , 3 2 , 4 6 , 4 7 , 4 8 , 4 9 , 7 1 , 7 2 , 7 7 , 7 8 , 8 2 , 8 3 , 8 6 , 8 7 , 1 4 9 , 1 5 0 , 1 5 1 , 1 5 2 , 1 5 7 , 1 5 8 , 1 5 9 , 1 6 0 , 1 6 1 , 1 6 2 , 3 6 3 , 3 6 4 , 3 6 7 , 3 6 8 , 3 8 5 , 3 8 8 , 4 1 6 , 4 1 7 , 4 1 8 , 4 1 9	溝	
1 2 , 1 3 , 1 4 , 1 5 , 2 7 , 2 8 , 2 9 , 3 0 , 3 3 , 3 4 , 3 5 , 3 6 , 5 0 , 5 1 , 5 2 , 5 3 , 5 4 , 5 5 , 5 6 , 5 7 , 7 3 , 7 4 , 7 5 , 7 9 , 8 0 , 8 1 , 8 4 , 8 5 , 8 8 , 8 9 , 1 0 9 , 1 1 0 , 1 6 3 , 1 6 4 , 1 6 5 , 1 6 6 , 1 6 7 , 1 6 8 , 1 6 9 , 1 7 0 , 1 7 1 , 1 7 2 , 1 7 3 , 1 7 4 , 1 7 5 , 1 7 6 , 2 0 3 , 2 0 4 , 2 0 5 , 2 0 6 , 2 0 7 , 2 0 8 , 2 0 9 , 2 1 0 , 3 0 8 , 3 0 9 , 3 1 0 , 3 1 1 , 3 1 2 , 3 1 3 , 3 1 5 , 3 1 6 , 3 1 7 , 3 1 8 , 3 1 9 , 3 2 0 , 3 3 0 , 3 3 1 , 3 3 2 , 3 3 3 , 3 3 4 , 3 3 5 , 3 3 6 , 3 3 7 , 3 3 8 , 3 3 9 , 3 4 0 , 3 4 1 , 3 6 9 , 3 7 0 , 3 7 1 , 3 7 2 , 3 7 3 , 3 7 4 , 3 7 5 , 3 7 6 , 3 7 7 , 3 7 8 , 3 8 9 , 3 9 0 , 3 9 1 , 3 9 2 , 3 9 3 , 3 9 4 , 3 9 5 , 3 9 6 , 3 9 7 , 3 9 8 , 4 2 0 , 4 2 1 , 4 2 2 , 4 2 3	電極	
1 9 , 6 3 , 1 1 1	蓋	
1 6	接合部材	20
1 8	封止部材	
,	角度	
3 7 , 3 8 , 9 1 , 9 2	音叉腕の中立線	
S - 1 ~ S - 1 2	工程の番号	
4 0	水晶ウエハ	
4 2	レジスト	
6 2	レーザ	
6 4	低融点ガラス	
6 6 , 1 1 2	金属	
6 7 , 1 7	穴	30
1 0 7 , 1 0 8	接着剤	
1 1 3	水晶振動子	
E_x	x 軸方向の電界	
E_z	z 軸方向の電界	
A - A ' , B - B ' , D - D ' , F - F ' , I - I ' , J - J ' , M - M ' , N - N '	断面記号	
C - C ' , E - E ' , G - G ' , H - H ' , K - K ' , L - L ' , P - P ' , U - U '	電極端子	
W_2	溝幅	
W	音叉腕の全幅	40
W_1 , W_3	音叉腕の部分幅	
l_1	溝の長さ	
l_2	音叉基部の長さ	
l_3	音叉基部の溝の長さ	
l	音叉型屈曲水晶振動子の全長	
t	振動子の厚み	
t_1	溝の厚み	
R_1 , R_2	等価直列抵抗	
Q	品質係数	
4 1 0 , 4 5 5	接続部	50

4 3 0 , 4 3 1 音叉型屈曲水晶振動子の周波数温度特性

4 5 4 仕切り

4 1 金属膜

3 0 4 , 3 0 5 , 3 0 6 , 3 0 7 , 3 1 4 , 3 2 5 , 3 2 6 , 3 2 7 , 3 2 8 , 3 2 9 ,
3 5 5 , 3 5 6 , 3 5 5 a , 3 5 6 a , 3 6 1 , 3 6 2 , 3 6 5 , 3 6 6 , 3 8 3 , 3 8
4 , 3 8 6 , 3 8 7 段差部

3 0 1 a , 3 0 2 a , 3 0 3 a , 3 2 2 a , 3 2 3 a , 3 2 4 a 上面部

3 0 1 b , 3 0 1 d , 3 0 2 b , 3 0 2 d , 3 0 3 b , 3 2 2 b , 3 2 2 d , 3 2 3 b ,
3 2 3 d , 3 2 4 b , 3 5 5 b , 3 5 6 b , 3 5 5 d , 3 5 6 d , 3 6 1 b , 3 6 2 b ,
3 6 5 d , 3 6 6 d , 3 8 3 b , 3 8 4 b , 3 8 6 d , 3 8 7 d 中面部

3 0 1 c , 3 0 2 c , 3 2 2 c , 3 2 3 c , 3 2 4 c 下面部

3 5 5 e , 3 5 6 e 階段部

【外 1】

⊕ 正極

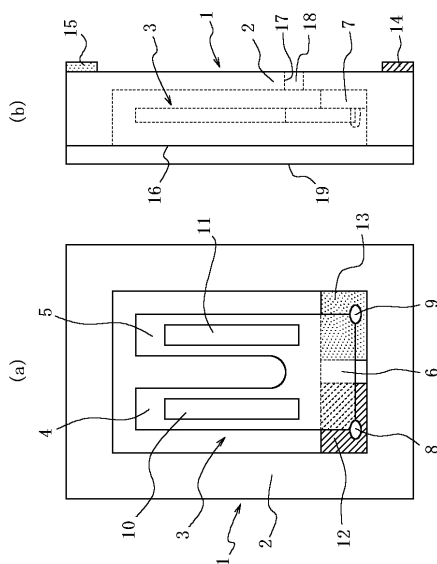
【外 2】

⊖ 負極

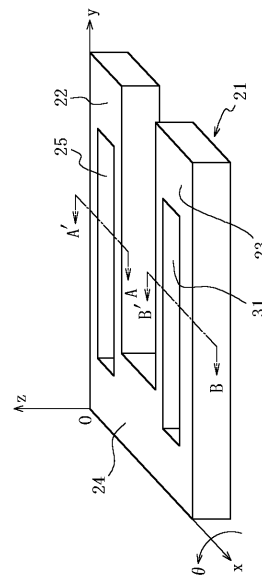
10

20

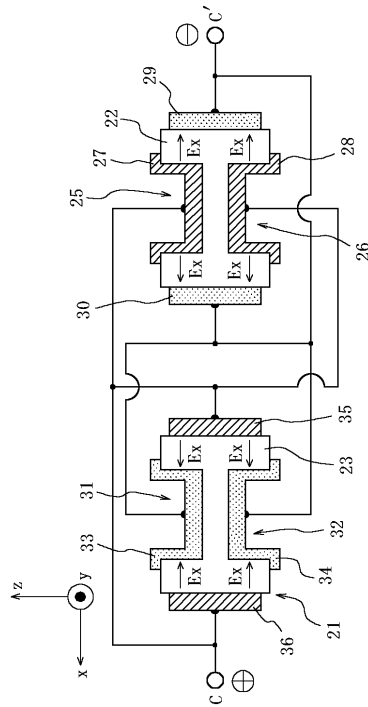
【図 1】



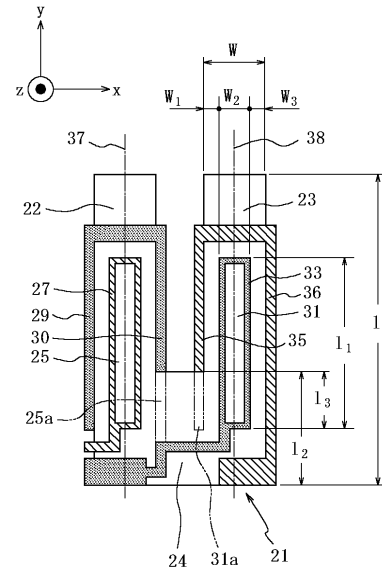
【図 2】



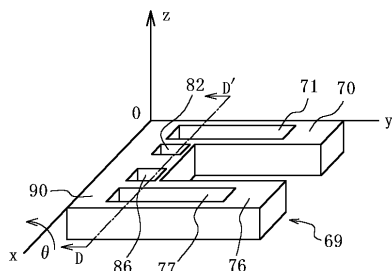
【図 3】



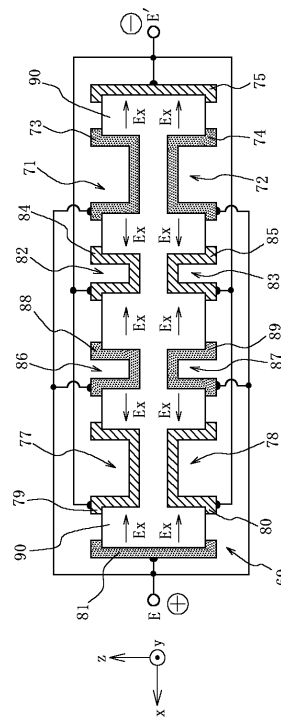
【図 4】



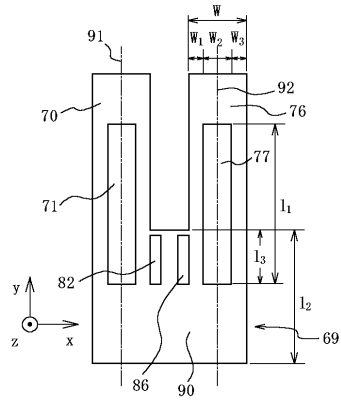
【図 5】



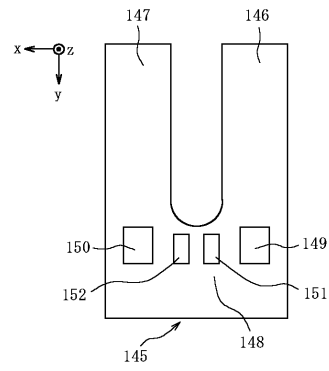
【図 6】



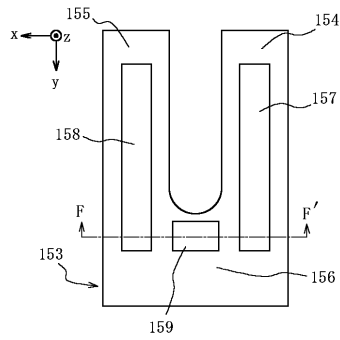
【図 7】



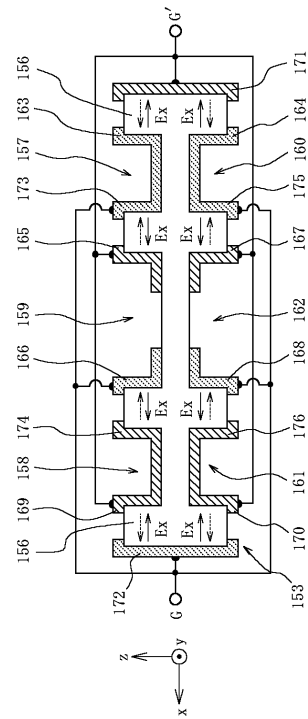
【図 8】



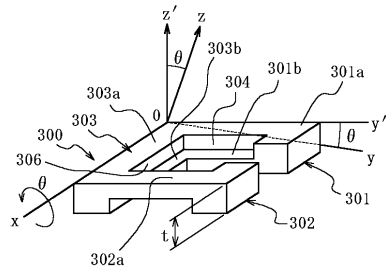
【図 9】



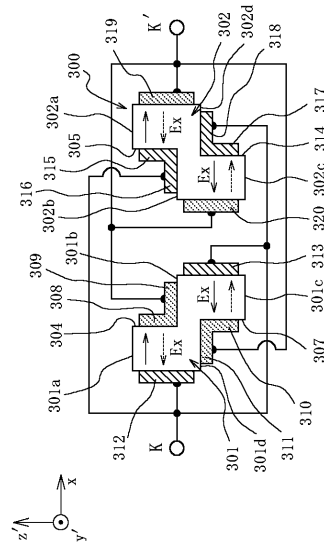
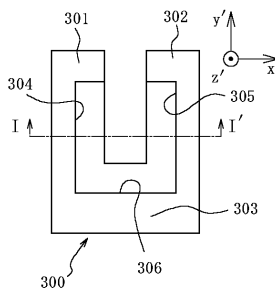
【図 10】



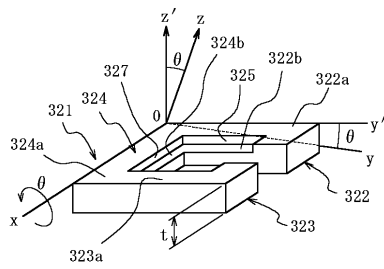
【 図 1 3 】



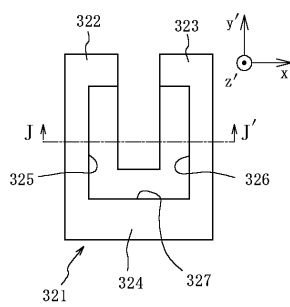
【 図 1 2 】



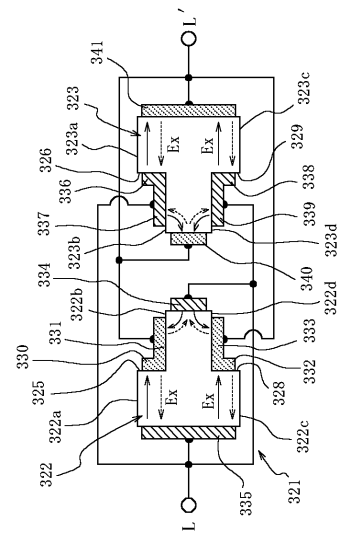
【 図 1 4 】



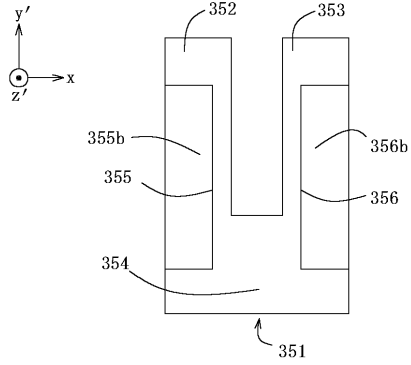
【 図 1 5 】



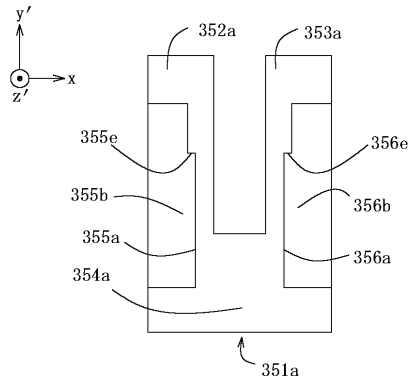
【 図 1 6 】



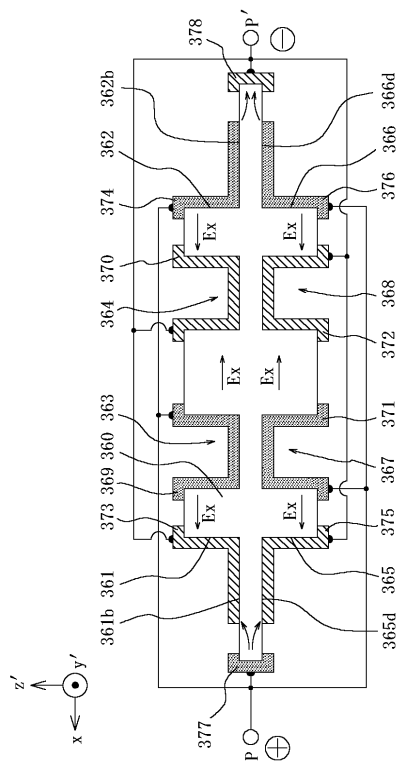
【図 17】



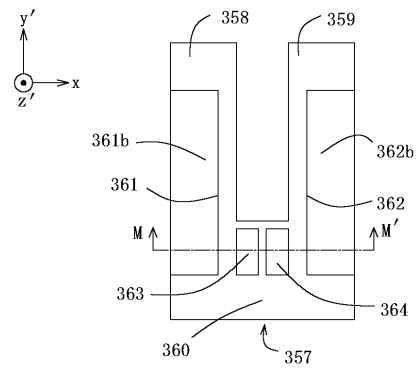
【図 18】



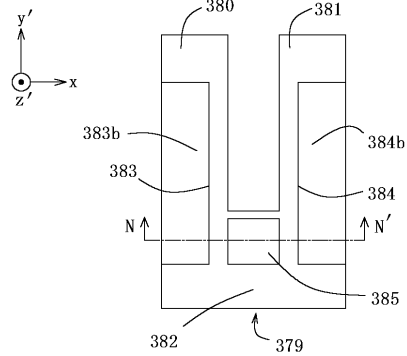
【図 20】



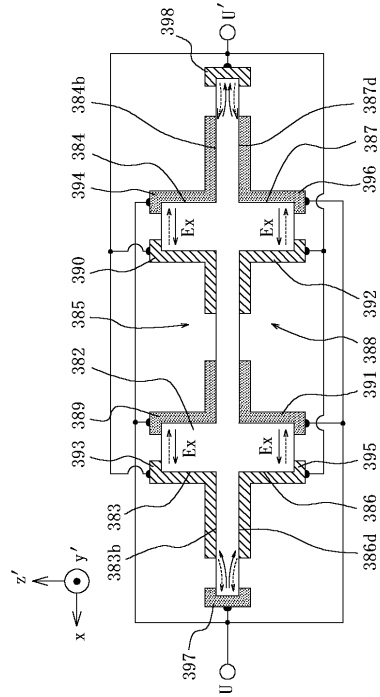
【図 19】



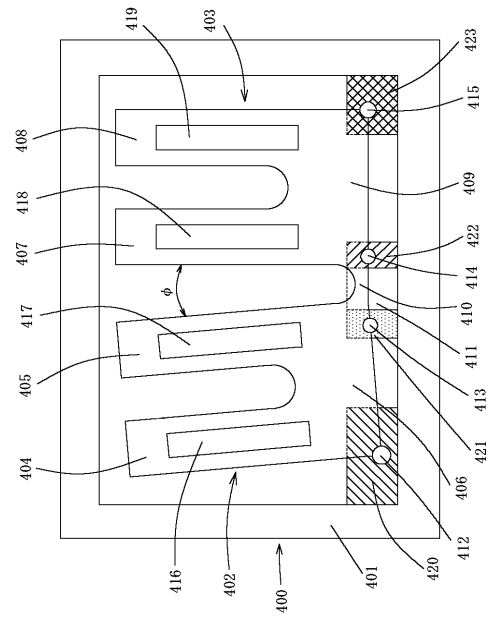
【図 21】



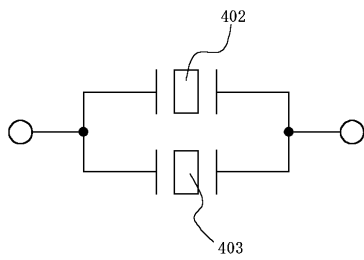
【図 2 2】



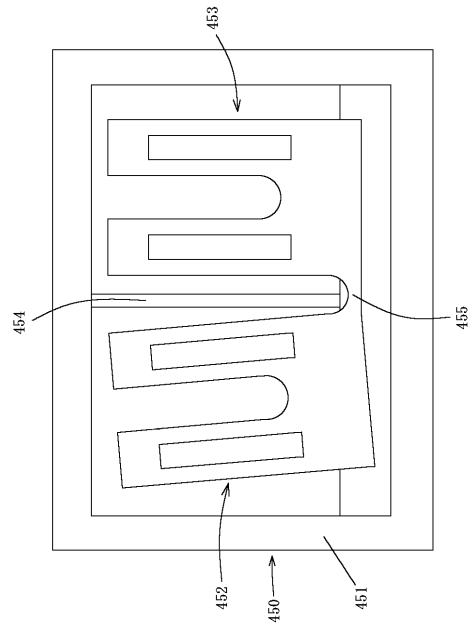
【図 2 3】



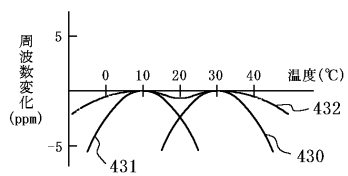
【図 2 4】



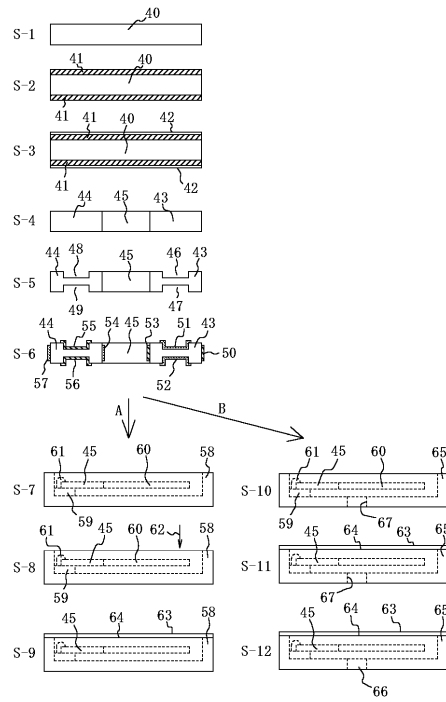
【図 2 6】



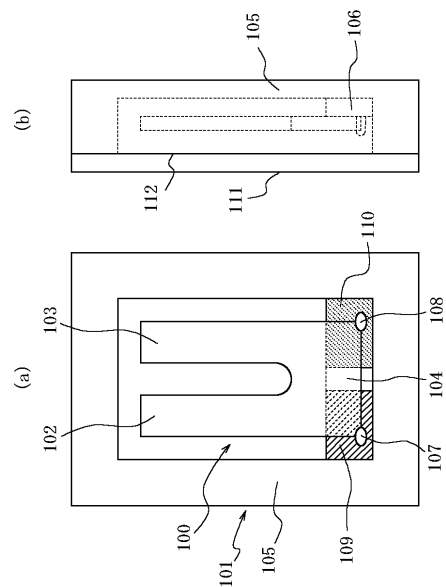
【図 2 5】



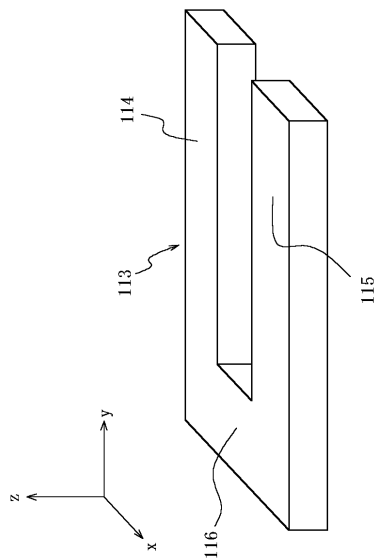
【図 27】



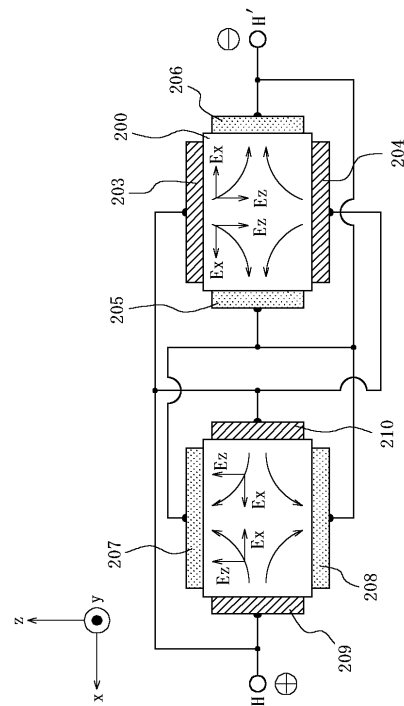
【図 28】



【図 29】



【図 30】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.⁷ F I
H 0 3 H 9/10 H 0 1 L 41/18 1 0 1 A

(56) 参考文献 特開平 0 1 - 1 2 6 0 0 8 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 1 2 9 4 8 (J P , A)
特開昭 5 2 - 0 5 2 5 9 7 (J P , A)
特開昭 5 6 - 0 6 5 5 1 7 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 0 6 5 1 5 (J P , A)
国際公開第 0 0 / 0 4 4 0 9 2 (W O , A 1)
特開平 0 1 - 1 2 6 0 0 8 (J P , A)
特開平 1 1 - 3 1 2 9 4 8 (J P , A)
特開昭 5 2 - 0 5 2 5 9 7 (J P , A)
特開昭 5 6 - 0 6 5 5 1 7 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 1 0 6 5 1 5 (J P , A)
国際公開第 0 0 / 0 4 4 0 9 2 (W O , A 1)

(58) 調査した分野(Int.Cl.⁷ , D B 名)
H01L 41/09
H01L 41/18
H01L 41/22
H03H 3/007 ~ 9/76