

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4650754号  
(P4650754)

(45) 発行日 平成23年3月16日(2011.3.16)

(24) 登録日 平成22年12月24日(2010.12.24)

|                      |              |
|----------------------|--------------|
| (51) Int.Cl.         | F I          |
| H03B 5/32 (2006.01)  | H03B 5/32 E  |
| H03H 3/02 (2006.01)  | H03H 3/02 B  |
| H03H 9/19 (2006.01)  | H03H 9/19 J  |
| H01L 41/09 (2006.01) | H01L 41/08 C |
| H01L 41/18 (2006.01) | H01L 41/08 L |

請求項の数 4 (全 20 頁) 最終頁に続く

|              |                               |           |                       |
|--------------|-------------------------------|-----------|-----------------------|
| (21) 出願番号    | 特願2008-105123 (P2008-105123)  | (73) 特許権者 | 500505197             |
| (22) 出願日     | 平成20年3月17日(2008.3.17)         |           | 有限会社ピエデック技術研究所        |
| (62) 分割の表示   | 特願2005-49697 (P2005-49697)    |           | 東京都中野区上高田 1-4-4-1     |
| 原出願日         | 平成15年1月10日(2003.1.10)         | (72) 発明者  | 川島 宏文                 |
| (65) 公開番号    | 特開2008-259216 (P2008-259216A) |           | 東京都中野区上高田 1-4-4-1 有限会 |
| (43) 公開日     | 平成20年10月23日(2008.10.23)       |           | 社 ピエデック技術研究所内         |
| 審査請求日        | 平成20年3月17日(2008.3.17)         | 審査官       | 畑中 博幸                 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2002-40795 (P2002-40795)    |           |                       |
| (32) 優先日     | 平成14年1月11日(2002.1.11)         |           |                       |
| (33) 優先権主張国  | 日本国(JP)                       |           |                       |
| 早期審査対象出願     |                               |           |                       |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水晶ユニットの製造方法と水晶発振器の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

音叉基部と、前記音叉基部に接続された音叉腕とを備えて構成され、逆相の屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子と、前記音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースとを少なくとも備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、

前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を備え、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々は、上面とそれに対抗する下面と第1側面とそれに対抗する第2側面とを有し、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の一端部は前記音叉基部に接続され、他端部は自由であり、前記音叉型屈曲水晶振動子は2電極端子を備えていて、

水晶ウエハを準備し、前記水晶ウエハの上面とそれに対抗する下面の各々に金属膜を蒸着又はスパッタリングにより形成し、前記水晶ウエハの上面と下面に形成された前記金属膜の上にレジストを塗布し、前記レジストと前記金属膜とが音叉形状のレジストと金属膜を残して除去された後に、エッチング加工により、前記音叉基部と前記第1音叉腕と前記第2音叉腕とを備えた音叉形状を形成し、前記音叉形状を形成した後に、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の上面と下面の各々に溝を形成し、前記溝を有する前記第1音叉腕と前記第2音叉腕を備えた前記音叉形状の面に金属膜を形成し、かつ、その金属膜の上にレジストを塗布し、前記2電極端子の第1電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の第1側面と第2側面の各々に配置された電極と、前記第2音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置し、前記2電極端子の第2電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の上面と下面の各々に形成され

10

20

た前記溝の面に配置された電極と、前記第 2 音叉腕の第 1 側面と第 2 側面の各々に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置し、かつ、前記第 1 音叉腕の上面と下面の前記溝の前記電極と前記第 1 音叉腕の第 1 側面と第 2 側面の前記電極は極性が異なるように前記電極が配置され、前記第 1 電極端子と前記第 2 電極端子を形成した後に、前記 2 電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定し、前記音叉型屈曲水晶振動子と前記ケースと蓋とを備えた水晶ユニットを構成するために、前記蓋が前記ケースに接続されていて、前記音叉型屈曲水晶振動子は基本波モード振動と 2 次高調波モード振動を備え、前記基本波モード振動のフィガーオブメリット  $M_1$  が、前記 2 次高調波モード振動のフィガーオブメリット  $M_2$  より大きくなるように、前記音叉形状と前記溝と前記電極の寸法を決定する工程を備えていることを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

10

#### 【請求項 2】

前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によって前記ケースの固定部に固定した後に、かつ、前記蓋が前記ケースに接続される前に、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数が調整されていて、前記音叉型屈曲水晶振動子の前記基本波モード振動の等価直列抵抗  $R_1$  が、前記 2 次高調波モード振動の等価直列抵抗  $R_2$  より小さくなるように、前記溝の長さ寸法と前記音叉型屈曲水晶振動子の全長の寸法を決定する工程を備え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の製造方法。

#### 【請求項 3】

請求項 1 または請求項 2 に記載の水晶ユニットの製造方法と、増幅器とコンデンサーと抵抗素子とを搭載する工程と、を備えていることを特徴とする水晶発振器の製造方法。

20

#### 【請求項 4】

音叉基部と、前記音叉基部に接続された音叉腕とを備えて構成され、逆相の屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子と、前記音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースとを少なくとも備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、

前記音叉腕は少なくとも第 1 音叉腕と第 2 音叉腕を備え、前記第 1 音叉腕と前記第 2 音叉腕の各々は、上面とそれに対抗する下面と第 1 側面とそれに対抗する第 2 側面とを有し、前記第 1 音叉腕と前記第 2 音叉腕の各々の一端部は前記音叉基部に接続され、他端部は自由であり、前記音叉型屈曲水晶振動子は 2 電極端子を備えていて、

水晶ウエハを準備する工程と、前記水晶ウエハの上面とそれに対抗する下面の各々に金属膜を蒸着又はスパッタリングにより形成する工程と、前記水晶ウエハの上面と下面に形成された前記金属膜の上にレジストを塗布する工程と、前記レジストと前記金属膜とが音叉形状のレジストと金属膜を残して除去された後に、エッチング加工により、前記音叉基部と前記第 1 音叉腕と前記第 2 音叉腕とを備えた音叉形状を形成する工程と、前記第 1 音叉腕と前記第 2 音叉腕の各々の上面と下面の各々に溝を形成する工程と、前記溝を有する前記第 1 音叉腕と前記第 2 音叉腕と、前記音叉基部とを備えた前記音叉形状の面に金属膜を形成し、かつ、その金属膜の上にレジストを塗布する工程と、前記 2 電極端子の第 1 電極端子を形成するために、前記第 1 音叉腕の第 1 側面と第 2 側面の各々に配置された電極と、前記第 2 音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置する工程と、前記 2 電極端子の前記第 1 電極端子と電氣的極性が異なる第 2 電極端子を形成するために、前記第 1 音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極と、前記第 2 音叉腕の第 1 側面と第 2 側面の各々に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置する工程と、前記第 1 電極端子と前記第 2 電極端子を形成した後に、前記 2 電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定する工程と、前記音叉型屈曲水晶振動子と前記ケースと蓋とを備えた水晶ユニットを構成するために、前記蓋を前記ケースに接続する工程と、を備えていて、

30

前記 2 電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定する工程の後に、前記音叉型屈曲水晶振動子の発振周波数が  $32.768\text{ KHz}$  の基準周波数に対して、 $-100\text{ PPM}$  から  $+100\text{ PPM}$  の範囲内にあるように前記発

40

50

振周波数を調整する工程と、前記音叉型屈曲水晶振動子は基本波モード振動と２次高調波モード振動を備え、前記基本波モード振動のフィガーオブメリット $M_1$ が、前記２次高調波モード振動のフィガーオブメリット $M_2$ より大きくなるように、前記音叉形状と前記溝と前記電極の寸法を決定する工程とを備えてい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】

【技術分野】

【０００１】

本発明は少なくとも表示部と水晶発振器を具えて構成される電子機器に関する。特に、クロック源あるいは基準信号源として最適な水晶発振器を具え、更に、少なくとも二個の水晶発振器を具えて構成され、それらの内の二個は異なる振動モードの水晶振動子から成る水晶発振器を具えた電子機器に関する。

10

【背景技術】

【０００２】

電子機器に用いられる従来の水晶発振器の一つは増幅器とコンデンサーと抵抗素子と音叉腕の上下面と側面に電極が配置された音叉型屈曲水晶振動子から成る水晶発振器がよく知られている。図１１には、この従来の水晶発振器に用いられている音叉形状の屈曲水晶振動子２００の概観図を示す。図１１において水晶振動子２００は２本の音叉腕２０１、２０２と音叉基部２３０とを具えている。図１２には図１１の音叉腕の断面図を示す。図１２に示すように、励振電極は音叉腕の上下面と側面に配置されている。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と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。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、特許文献１から特許文献３では、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。

20

【特許文献１】特開昭５６－６５５１７

【特許文献２】特開昭特開２０００－２２３９９２（ $P2000-223992A$ ）

30

【特許文献３】国際公開第００／４４０９２

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００３】

音叉型屈曲水晶振動子では、電界成分 $E_x$ が大きいほど損失等価直列抵抗 $R_1$ 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１２で示したように、各音叉腕の上下面と側面の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、損失等価直列抵抗 $R_1$ 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。同時に、時間基準として高精度な、即ち、高い周波数安定性を有し、高調波モード振動を抑えた屈曲水晶振動子を得ることが課題として残されていた。又、前記課題を解決する方法として、例えば、特許文献１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、寸法と振動モード及び基本波モード振動の等価直列抵抗 $R_1$ と高調波モード振動の等価直列抵抗 $R_n$ との関係及び周波数安定性に関係するフィガーオブメリット $M$ については全く開示されていない。又、従来の水晶振動子や溝を設けた振動子を従来の回路に接続し水晶発振回路を構成すると、基本波振動モードの出力信号が衝撃や振動などの影響で出力信号が高調波モード振動の周波数に変化、検出される等の問題が生じ、電子機器が正常に動作しない等の問題が発生していた。このようなことから、衝撃や振動を受けても、それらの影響を受けない高調波モード振動を抑えた基本波モードで振動する音叉形状の屈曲水晶振動

40

50

子を具えた水晶発振器が所望されていた。更に、水晶発振器の消費電流を低減するために、負荷容量 $C_L$ を小さくすると高調波モードの振動がし易くなり、基本波モード振動の出力周波数が得られない等の課題が残されていた。それ故、基本波モードで振動する超小型で、等価直列抵抗 $R_1$ の小さい、品質係数 $Q$ 値が高くなる音叉形状の屈曲水晶振動子を具え、出力信号が基本波モード振動の周波数で、高い周波数安定性（高い時間精度）を有し、消費電流の少ない水晶発振器が所望されていた。又、特に、等価直列抵抗 $R_1$ の小さい、 $Q$ 値の高い幅縦モード水晶振動子を具えた水晶発振器に関する報告はなされていないのが実状である。

【課題を解決するための手段】

【0004】

本発明は、以下の方法で従来の課題を有利に解決した屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子又は幅縦モード水晶振動子又は厚みすべりモード水晶振動子から成る水晶発振器を具えた電子機器を提供することを目的とするものである。

【0005】

即ち、本発明の水晶ユニットの製造方法の第1の態様は、音叉基部と、前記音叉基部に接続された音叉腕とを備えて構成され、逆相の屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子と、前記音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースとを少なくとも備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を備え、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々は、上面とそれに対抗する下面と第1側面とそれに対抗する第2側面とを有し、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の一端部は前記音叉基部に接続され、他端部は自由であり、前記音叉型屈曲水晶振動子は2電極端子を備えていて、水晶ウエハを準備し、前記水晶ウエハの上面とそれに対抗する下面の各々に金属膜を蒸着又はスパッタリングにより形成し、前記水晶ウエハの上面と下面に形成された前記金属膜の上にレジストを塗布し、前記レジストと前記金属膜とが音叉形状のレジストと金属膜を残して除去された後に、エッチング加工により、前記音叉基部と前記第1音叉腕と前記第2音叉腕とを備えた音叉形状を形成し、前記音叉形状を形成した後に、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の上面と下面の各々に溝を形成し、前記溝を有する前記第1音叉腕と前記第2音叉腕を備えた前記音叉形状の面に金属膜を形成し、かつ、その金属膜の上にレジストを塗布し、前記2電極端子の第1電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の第1側面と第2側面の各々に配置された電極と、前記第2音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置し、前記2電極端子の第2電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極と、前記第2音叉腕の第1側面と第2側面の各々に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置し、かつ、前記第1音叉腕の上面と下面の前記溝の前記電極と前記第1音叉腕の第1側面と第2側面の前記電極は極性が異なるように前記電極が配置され、前記第1電極端子と前記第2電極端子を形成した後に、前記2電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定し、前記音叉型屈曲水晶振動子と前記ケースと蓋とを備えた水晶ユニットを構成するために、前記蓋が前記ケースに接続されていて、前記音叉型屈曲水晶振動子は基本波モード振動と2次高調波モード振動を備え、前記基本波モード振動のフィガーオブメリット $M_1$ が、前記2次高調波モード振動のフィガーオブメリット $M_2$ より大きくなるように、前記音叉形状と前記溝と前記電極の寸法を決定する工程を備えている水晶ユニットの製造方法である。

本発明の水晶ユニットの製造方法の第2の態様は、前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によって前記ケースの固定部に固定した後に、かつ、前記蓋が前記ケースに接続される前に、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数が調整されていて、前記音叉型屈曲水晶振動子の前記基本波モード振動の等価直列抵抗 $R_1$ が、前記2次高調波モード振動の等価直列抵抗 $R_2$ より小さくなるように、前記溝の長さ寸法と前記音叉型屈曲水晶振動子の全長の寸法を決定する工程を備えている第1の態様に記載の水晶ユニットの製造方法である。

【0006】

10

20

30

40

50

本発明の水晶発振器の製造方法の第1の態様は、第1の態様または第2の態様に記載の水晶ユニットの製造方法と、増幅器とコンデンサーと抵抗素子とを搭載する工程と、を備えている水晶発振器の製造方法である。

本発明の水晶ユニットの製造方法の第3の態様は、音叉基部と、前記音叉基部に接続された音叉腕とを備えて構成され、逆相の屈曲モードで振動する音叉型屈曲水晶振動子と、前記音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースとを少なくとも備えて構成される水晶ユニットの製造方法で、前記音叉腕は少なくとも第1音叉腕と第2音叉腕を備え、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々は、上面とそれに対抗する下面と第1側面とそれに対抗する第2側面とを有し、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の一端部は前記音叉基部に接続され、他端部は自由であり、前記音叉型屈曲水晶振動子は2電極端子を備えていて、水晶ウエハを準備する工程と、前記水晶ウエハの上面とそれに対抗する下面の各々に金属膜を蒸着又はスパッタリングにより形成する工程と、前記水晶ウエハの上面と下面に形成された前記金属膜の上にレジストを塗布する工程と、前記レジストと前記金属膜とが音叉形状のレジストと金属膜を残して除去された後に、エッチング加工により、前記音叉基部と前記第1音叉腕と前記第2音叉腕とを備えた音叉形状を形成する工程と、前記第1音叉腕と前記第2音叉腕の各々の上面と下面の各々に溝を形成する工程と、前記溝を有する前記第1音叉腕と前記第2音叉腕と、前記音叉基部とを備えた前記音叉形状の面に金属膜を形成し、かつ、その金属膜の上にレジストを塗布する工程と、前記2電極端子の第1電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の第1側面と第2側面の各々に配置された電極と、前記第2音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置する工程と、前記2電極端子の前記第1電極端子と電氣的極性が異なる第2電極端子を形成するために、前記第1音叉腕の上面と下面の各々に形成された前記溝の面に配置された電極と、前記第2音叉腕の第1側面と第2側面の各々に配置された電極とが同極になるように前記電極を配置する工程と、前記第1電極端子と前記第2電極端子を形成した後に、前記2電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定する工程と、前記音叉型屈曲水晶振動子と前記ケースと蓋とを備えた水晶ユニットを構成するために、前記蓋を前記ケースに接続する工程と、を備えていて、前記2電極端子を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子を導電性接着剤によってケースの固定部に固定する工程の後に、前記音叉型屈曲水晶振動子の発振周波数が $32.768\text{ KHz}$ の基準周波数に対して、 $-100\text{ PPM}$ から $+100\text{ PPM}$ の範囲内にあるように前記発振周波数を調整する工程と、前記音叉型屈曲水晶振動子は基本波モード振動と2次高調波モード振動を備え、前記基本波モード振動のフィガーオブメリット $M_1$ が、前記2次高調波モード振動のフィガーオブメリット $M_2$ より大きくなるように、前記音叉形状と前記溝と前記電極の寸法を決定する工程とを備えている水晶ユニットの製造方法である。

#### 【発明の効果】

#### 【0007】

このように、本発明は音叉形状の屈曲水晶振動子又は幅縦モード水晶振動子又は厚みすべりモード水晶振動子から成る水晶発振器を具えた電子機器で、特に、増幅回路と帰還回路との関係と水晶振動子の形状とカット角を示すことにより、高い周波数安定性を有する水晶発振器を具えた電子機器を得る事ができる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0008】

以下、本発明の実施例を図面に基づき具体的に述べる。

図1は本発明の電子機器の一実施例で、ファクシミリのブロック図の一例である。即ち、モデム、音声回路、時計回路、印刷部、取り込み部、操作部と表示部から構成されている。又、この原理は、まず取り込み部で原稿に投影した光の反射光を電荷結合素子(CCD)で感知し走査される。感知された反射光の濃淡はデジタル信号に変換され、モデムで変調されて電話回線へ送られる。又、受信側では、受けた信号をモデムで復調し、印刷部で送信側と同期させて記録紙に印刷される。図1に示すように、水晶振動子は制御部や印

刷部のCPUクロック、音声回路の音声合成ICのクロック、モデムの同期クロックそして時計回路の時間基準等に使用される。即ち、これらは水晶発振器を構成しその出力信号が用いられる。例えば、表示部に時間を表示するための信号として使用される。本実施例の電子機器の一つであるファクシミリが正常に動作するには、この機器に使われる水晶発振器の正確な出力信号が要求される。本実施例では、電子機器の一例としてファクシミリを示したが、本発明の電子機器には水晶発振器を具えて構成される機器はすべて包含される。例えば、携帯電話、電話、テレビ、カメラ、ビデオ、ビデオカメラ、ページャ、パーソナルコンピュータ、プリンタ、CDプレーヤ、MDプレーヤ、電子楽器、カーナビゲーション、カーエレクトロニクス、時計、ICカード等である。以下、本発明の電子機器に使用される水晶発振器について詳述する。

10

#### 【0009】

図2は本発明の電子機器に使用される水晶発振器を構成する水晶発振回路図の一実施例である。本実施例では、水晶発振回路1は増幅器(CMOSインバータ)2、帰還抵抗4、ドレイン抵抗7、コンデンサー5, 6と音叉形状の屈曲水晶振動子3から構成されている。即ち、水晶発振回路1は、増幅器2と帰還抵抗4から成る増幅回路8とドレイン抵抗7、コンデンサー5, 6と屈曲水晶振動子3から成る帰還回路9から構成されている。更に、基本波モードで振動する音叉形状の屈曲水晶振動子3を具えて構成される水晶発振回路1の出力信号はバッファ回路(図示されていない)を通してドレイン側から出力される。即ち、基本波モード振動の周波数がバッファ回路を通して出力信号として出力される。本発明では、基本波モード振動の周波数は10KHz~200KHzが用いられる。又、本発明では、前記出力信号の周波数を分周回路又は逡倍回路によって分周又は逡倍された周波数も基本波モード振動の周波数に含まれる。さらに詳細には、本実施例の水晶発振器は水晶発振回路とバッファ回路を具えて構成されている。換言するならば、水晶発振回路は増幅回路と帰還回路から構成され、増幅回路は少なくとも増幅器から構成され、帰還回路は少なくとも音叉形状の屈曲水晶振動子とコンデンサーから構成されている。又、本実施例の水晶発振器に用いられる音叉形状の屈曲水晶振動子は図4から図8で詳述される。

20

#### 【0010】

図3は図2の帰還回路図を示す。今、屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子の角周波数を $\omega_i$ 、ドレイン抵抗7の抵抗を $R_d$ 、コンデンサー5, 6の容量を $C_g$ 、 $C_d$ 、水晶のクリスタルインピーダンスを $R_{ei}$ 、入力電圧を $V_1$ 、出力電圧を $V_2$ とすると、帰還率 $\beta_i$ は $\beta_i = |V_2|_i / |V_1|_i$ で定義される。但し、 $i$ は屈曲モード振動の振動次数を表し、例えば、 $i = 1$ のとき、基本波モード振動、 $i = 2$ のとき、2次高調波モード振動、 $i = 3$ のとき、3次高調波モード振動である。即ち、 $i = n$ のとき、 $n$ 次高調波モード振動であるが、以下単に、高調波モード振動と言う。更に、負荷容量 $C_L$ は $C_L = C_g C_d / (C_g + C_d)$ で与えられ、 $C_g = C_d = C_{gd}$ と $R_d \gg R_{ei}$ とすると、帰還率 $\beta_i$ は $\beta_i = 1 / (1 + k C_L^2)$ で与えられる。但し、 $k$ は $\omega_i$ 、 $R_d$ 、 $R_{ei}$ の関数で表される。又、 $R_{ei}$ は近似的に等価直列抵抗 $R_i$ に等しくなる。

30

#### 【0011】

このように、帰還率 $\beta_i$ と負荷容量 $C_L$ との関係から、負荷容量 $C_L$ が小さくなると、基本波振動モードと高調波振動モードの共振周波数の帰還率はそれぞれ大きくなることが良く分かる。それ故、負荷容量 $C_L$ が小さくなると、基本波モード振動よりも高調波モード振動の方が発振し易くなる。その理由は高調波モード振動の最大振動振幅が基本波モード振動の最大振動振幅より小さいために、発振持続条件である振幅条件と位相条件を同時に満足するためである。

40

#### 【0012】

本発明の電子機器に使用される水晶発振器は、消費電流が少なく、しかも、出力周波数が高い周波数安定性(高い時間精度)を有する、基本波モード振動の周波数である水晶発振器を提供することを目的としている。それ故、消費電流を少なくするために、本実施例では、負荷容量 $C_L$ は10pF以下を用いる。より消費電流を少なくするには、消費電流は負荷容量に比例するので、 $C_L = 8$ pF以下が好ましい。ここで言う、容量 $C_g$ 、 $C_d$

50

は回路の浮遊容量を含まない数値であるが、実際には、回路構成により浮遊容量が存在する。それ故、本実施例では、この回路構成による浮遊容量を含んだ負荷容量  $C_L$  は  $18 \text{ pF}$  以下を用いる。また、高調波モードの振動を抑え、発振器の出力信号が基本波モード振動の周波数を得るために、 $\alpha_1 / \alpha_n > \beta_n / \beta_1$  と  $\alpha_1 \beta_1 > 1$  を満足するように本実施例の水晶発振回路は構成される。但し、 $\alpha_1$ 、 $\alpha_n$  は基本波モード振動と高調波モード振動の増幅回路の増幅率で、 $\beta_1$ 、 $\beta_n$  は基本波モード振動と高調波モード振動の帰還回路の帰還率である。即ち、 $n = 2, 3$  のとき、それぞれ、2次、3次高調波モード振動である。

#### 【0013】

換言するならば、増幅回路の基本波モード振動の増幅率  $\alpha_1$  と高調波モード振動の増幅率  $\alpha_n$  の比が帰還回路の高調波モード振動の帰還率  $\beta_n$  と基本波モード振動の帰還率  $\beta_1$  の比より大きく、かつ、基本波モード振動の増幅率  $\alpha_1$  と基本波モード振動の帰還率  $\beta_1$  の積が1より大きくなるように構成される。このような構成により、消費電流の少ない、出力信号が基本波モード振動の周波数である水晶発振器が実現できる。更に、高い周波数安定性については後述される。

#### 【0014】

又、本実施例の水晶発振回路を構成する増幅回路の増幅部は負性抵抗  $-RL_i$  でその特性を示すことができる。 $i = 1$  のとき基本波モード振動の負性抵抗で、 $i = n$  のとき高調波モード振動の負性抵抗である。即ち、 $n = 2, 3$  のとき、2次、3次高調波モード振動の負性抵抗である。本実施例の水晶発振器は、増幅回路の基本波モード振動の負性抵抗の絶対値  $|-RL_1|$  と基本波モード振動の等価直列抵抗  $R_1$  の比が増幅回路の高調波モード振動の負性抵抗の絶対値  $|-RL_n|$  と高調波モード振動の等価直列抵抗  $R_n$  の比より大きくなるように水晶発振回路が構成されている。即ち、 $|-RL_1| / R_1 > |-RL_n| / R_n$  を満足するように構成されている。このように水晶発振回路を構成することにより、高調波モード振動の発振起動が抑えられ、その結果、基本波モード振動の発振起動が得られるので基本波モード振動の周波数が出力信号として得られる。

#### 【0015】

図4は本発明の電子機器を構成する第1実施例の水晶発振器に用いられる屈曲モードで振動する音叉形状の屈曲水晶振動子10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  $z$  からなる  $O - xyz$  を構成している。本実施例の音叉形状の屈曲水晶振動子10は音叉腕20、音叉腕26と音叉基部40とから成り、音叉腕20と音叉腕26は音叉基部40に接続されている。また、音叉腕20と音叉腕26はそれぞれ上面と下面と側面とを有する。更に、音叉腕20の上面には中立線を挟んで、即ち、中立線を含むように溝21が設けられ、又、音叉腕26の上面にも音叉腕20と同様に溝27が設けられるとともに、さらに、音叉基部40に溝32と溝36とが設けられている。なお、角度  $\theta$  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。又、音叉腕20、26の下面にも上面と同様に溝が設けられている。

#### 【0016】

図5は、図4の音叉形状の屈曲水晶振動子10の音叉基部40の  $D - D'$  断面図を示す。図5では図4の水晶振動子の音叉基部40の断面形状並びに電極配置について詳述する。音叉腕20と連結する音叉基部40には溝21、22が設けられている。同様に、音叉腕26と連結する音叉基部40には溝27、28が設けられている。更に、溝21と溝27との間には更に溝32と溝36とが設けられている。又、溝22と溝28との間にも溝33と溝37とが設けられている。そして、溝21と溝22には電極23、24が、溝32、33、36、37には電極34、35、38、39が、溝27と溝28には電極29、30が配置され、音叉基部40の両側面には電極25、31が配置されている。詳細には、溝の側面に電極が配置され、前記電極に対抗して極性の異なる電極が配置されている。

#### 【0017】

また、音叉形状の屈曲水晶振動子10は厚み  $t$  を有し、溝は厚み  $t_1$  を有している。こ

10

20

30

40

50

ここで言う厚み  $t_1$  は溝の一番深いところの厚みを言う。その理由は水晶は異方性の材料のために、化学的エッチング法では各結晶軸の方向によりエッチングスピードが異なる。それ故、化学的エッチング法では溝の深さにバラツキが生じ、図5に示した様な形状に加工するのが極めて難しいためである。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 0.79 より小さくなるように、好ましくは、0.01 ~ 0.79 となるように溝が音叉腕又は音叉腕と音叉基部に形成されている。特に、音叉基部の歪みを大きくするために、音叉基部の溝の厚みと音叉基部の厚みの比を 0.01 ~ 0.025 にする事が好ましい。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。すなわち、電気機械変換効率の良い屈曲振動子が得られる。即ち、容量比の小さい音叉形状の屈曲水晶振動子が得られる。更に、本実施例では、音叉基部の溝と溝との間にさらに溝 32, 33, 36, 37 が設けられているので、その電界強度はより一層大きくなり、より電気機械変換効率が良くなる。又、本実施例では、音叉基部 40 の上面に溝 32, 36 が、下面に溝 33, 37 が設けられているが、片面にのみ設けても良い。

#### 【0018】

更に、電極 25, 29, 30, 34, 35 は一方の同極に、電極 23, 24, 31, 37, 38, 39 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電極は同極に、且つ、 $x$  軸方向に対抗する電極は異極になるように構成されている。今、2 電極端子  $E - E'$  に直流電圧を印加 ( $E$  端子に正極、 $E'$  端子に負極) すると電界  $E_x$  は図4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、音叉形状の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  $Q$  値の高い屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子が得られる。

#### 【0019】

図6は図4の音叉形状の屈曲水晶振動子 10 の上面図を示すものである。図6では溝 21, 27 の配置及び寸法について特に詳述する。音叉腕 20 の中立線 41 を挟むようにして溝 21 が設けられている。他方の音叉腕 26 も中立線 42 を挟むようにして溝 27 が設けられている。更に、本実施例の音叉形状の屈曲水晶振動子 10 では、音叉基部 40 の、溝 21 と溝 27 との間に挟まれた部分にも溝 32 と溝 36 とが設けられている。それら溝 21, 27 及び溝 32, 36 を設けたことで、音叉形状の屈曲水晶振動子 10 には、先に述べたように、電界  $E_x$  が図5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、特に音叉基部の電界  $E_x$  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、本実施例の音叉形状の屈曲水晶振動子 10 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の実現できる。

#### 【0020】

更に、部分幅  $W_1$ 、 $W_3$  と溝幅  $W_2$  とすると、音叉腕 20, 26 の腕幅  $W$  は  $W = W_1 + W_2$

+  $W_3$  で与えられ、通常は  $W_1$  と  $W_3$  の一部、又は全部が  $W_1 \geq W_3$  または、 $W_1 < W_3$  となる

ように構成される。又、溝幅  $W_2$  は  $W_2 = W_1, W_3$  を満足する条件で構成される。更に具体的に述べると、本実施例では、溝幅  $W_2$  と音叉腕幅  $W$  との比 ( $W_2 / W$ ) が 0.35 より大きく、1 より小さくなるように、好ましくは、0.35 ~ 0.95 で、溝の厚み  $t_1$  と音叉腕の厚み  $t$  又は音叉腕と音叉基部の厚み  $t$  との比 ( $t_1 / t$ ) が 0.79 より小さくなるように、好ましくは、0.01 ~ 0.79 となるように溝が音叉腕に形成されている。このように形成することにより、音叉腕の中立線 41 と 42 を基点とする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形状の屈曲水晶振動子を得る事ができる。

## 【 0 0 2 1 】

これに対して、溝 2 1 および溝 2 7 の長さ  $l_1$  について本実施例では、溝 2 1 , 2 7 が音叉腕 2 0 , 2 6 から音叉基部 4 0 の長さ  $l_2$  にまで延在し、基部の溝の長さ  $l_3$  となるような寸法とされている。それ故、音叉腕 2 0 , 2 6 に設けられた溝の長さは  $(l_1 - l_3)$  で与えられ、 $R_1$  の小さい振動子を得るために、 $(l_1 - l_3) / (l_1 - l_2)$  が  $0.4 \sim 0.8$  の値を有する。更に、音叉形状の屈曲水晶振動子 1 0 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。と共に、基本波モードで振動する良好な音叉形状の屈曲水晶振動子を得るためには、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。

## 【 0 0 2 2 】

すなわち、音叉腕 2 0 , 2 6 又は音叉腕 2 0 , 2 6 と音叉基部 4 0 に設けられた溝の長さ  $l_1$  と音叉形状の屈曲水晶振動子の全長  $l$  との比  $(l_1 / l)$  が  $0.2 \sim 0.78$  となるように溝の長さは設けられる。このように形成する理由は、不要振動である高調波モード振動、特に、2 次、3 次高調波モード振動を抑圧する事ができると共に基本波モード振動の周波数安定性を高めることができる。それ故、基本波モードで容易に振動する良好な音叉形状の屈曲水晶振動子が実現できる。さらに詳述するならば、基本波モードで振動する音叉形状の屈曲水晶振動子の等価直列抵抗  $R_1$  が高調波モード振動の等価直列抵抗  $R_n$  より小さくなる。即ち、 $R_1 < R_n$  ( $n = 2, 3$  のとき、2 次、3 次高調波モード振動の等価直列抵抗) となり、増幅器 (CMOS インバータ)、コンデンサー、抵抗素子、本実施例の音叉形状の屈曲水晶振動子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できる。又、溝の長さ  $l_1$  は音叉腕の長さ方向に分割されていても良く、その中の少なくとも 1 個が前記辺比  $(l_1 / l)$  を満足すれば良いか、又は、分割された溝の長さ方向の加えられた溝の長さが前記辺比  $(l_1 / l)$  を満足すれば良い。

## 【 0 0 2 3 】

また、この実施例では、音叉基部 4 0 は図 6 中、振動子 1 0 の長さ  $l_2$  の下側部分全体とされ、又、音叉腕 2 0 及び音叉腕 2 6 は、図 6 中、振動子 1 0 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 字型をしていても良い。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、溝は音叉腕と音叉基部に設けられているが、本発明はこれに限定されるものでなく、音叉腕にのみ溝を設けても良く、同様の効果が得られる。この場合、溝の長さ  $l_3 = 0$  となる。また、本発明で言う溝の長さ  $l_1$  とは、音叉腕にのみ溝が設けられている時には、溝幅  $W_2$  と音叉腕幅  $W$  との比  $(W_2 / W)$  が  $0.35$  より大きく、且つ、1 より小さくなるように形成された溝の長さである。更に、前記音叉腕に設けられた溝が、音叉基部にまで延在し、音叉基部に延在した溝の間にさらに溝が設けられている時には、溝の長さ  $l_3$  を含む長さが  $l_1$  である。しかし、音叉腕の溝が音叉基部に延在しているが、その溝の間にさらに溝が設けられていない時には、長さ  $l_1$  は音叉腕の溝の長さである。

## 【 0 0 2 4 】

換言するならば、音叉形状の音叉腕の中立線を挟んだ、即ち、中立線を含む音叉腕の上下面に各々少なくとも 1 個の溝が長さ方向に設けられ、前記溝の両側面に電極が配置され、前記溝側面の電極とその電極に対抗する音叉腕側面の電極とが互いに異極となるように構成されていて、音叉腕に生ずる慣性モーメントが大きくなるように前記各々少なくとも 1 個の溝の内少なくとも 1 個の溝幅  $W_2$  と音叉腕幅  $W$  との比  $(W_2 / W)$  が  $0.35$  より大きく、1 より小さく、且つ、前記溝の厚み  $t_1$  と音叉腕の厚み  $t$  との比  $(t_1 / t)$  が  $0.79$  より小さくなるように溝が形成されている。

## 【 0 0 2 5 】

更に、本実施例の音叉腕の間隔は  $W_4$  で与えられ、間隔  $W_4$  と溝幅  $W_2$  は  $W_4 \geq W_2$  を満足するように構成され、間隔  $W_4$  は  $0.05 \text{ mm} \sim 0.35 \text{ mm}$  で、溝幅  $W_2$  は  $0.03 \text{ mm}$

10

20

30

40

50

$m \sim 0.12 \text{ mm}$ の値を有する。このように構成する理由は超小型の屈曲水晶振動子で、かつ、音叉形状と音叉腕の溝とをフォトリソグラフィ技術を用いて別々（別々の工程）に形成でき、更に、基本波モード振動の周波数安定性が高調波モード振動の周波数安定性より高くすることができる。この場合、厚み $t$ は通常 $0.05 \text{ mm} \sim 0.12 \text{ mm}$ の水晶ウエハが用いられる。しかし、本発明は本実施例に限定されるものでなく、 $0.12 \text{ mm}$ より厚い水晶ウエハを使用してもよい。

#### 【0026】

更に詳述するならば、屈曲水晶振動子の誘導性と電気機械変換効率と品質係数を表すフィガーオブメリット $M_i$ は品質係数 $Q_i$ 値と容量比 $r_i$ の比（ $Q_i / r_i$ ）によって定義され（ $i = 1$ のとき基本波振動、 $i = 2$ のとき2次高調波振動、 $i = 3$ のとき3次高調波振動）、屈曲水晶振動子の並列容量に依存しない機械的直列共振周波数 $f_s$ と並列容量に依存する直列共振周波数 $f_r$ の周波数差 $\Delta f$ はフィガーオブメリット $M_i$ に反比例し、その値 $M_i$ が大きい程 $\Delta f$ は小さくなる。従って、 $M_i$ が大きい程、屈曲水晶振動子の共振周波数は並列容量の影響を受けないので、屈曲水晶振動子の周波数安定性は良くなる。即ち、時間精度の高い音叉形状の屈曲水晶振動子が得られる。

#### 【0027】

詳細には、前記音叉形状と溝と電極とその寸法の構成により、基本波モード振動のフィガーオブメリット $M_1$ が高調波モード振動のフィガーオブメリット $M_n$ より大きくなる。即ち、 $M_1 > M_n$ となる。但し、 $n$ は高調波モード振動の振動次数を表し、 $n = 2, 3$ のとき、2次、3次高調波モード振動のフィガーオブメリットである。一例として、基本波モード振動の周波数が $32.768 \text{ kHz}$ で、 $W_2 / W = 0.5$ 、 $t_1 / t = 0.34$ 、 $l_1 / l = 0.48$ のとき、製造によるバラツキが生ずるが、音叉形状の屈曲水晶振動子の $M_1$ 、 $M_2$ はそれぞれ $M_1 > 65$ 、 $M_2 < 30$ となる。即ち、高い誘導性と電気機械変換効率の良い（等価直列抵抗 $R_1$ の小さい）、品質係数の大きい基本波モードで振動する屈曲水晶振動子を得ることができる。その結果、基本波モード振動の周波数安定性が2次高調波モード振動の周波数安定性より良くなると共に、2次高調波モード振動を抑圧することができる。従って、本実施例の屈曲水晶振動子から構成される水晶発振器は基本波モード振動の周波数が出力信号として得られ、かつ、高い周波数安定性（優れた時間精度）を有する。また、本発明の基本波モード振動の基準周波数は $10 \text{ kHz} \sim 200 \text{ kHz}$ が用いられる。特に、 $32.768 \text{ kHz}$ は広く使用されている。

#### 【0028】

図7は本発明の電子機器を構成する第2実施例の水晶発振器に用いられる屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子45の上面図である。音叉形状の屈曲水晶振動子45は、音叉腕46、47と音叉基部48とを具えて構成されている。即ち、音叉腕46、47の一端部が音叉基部48に接続されている。本実施例では、音叉基部48に切り欠き部53、54が設けられている。又、音叉腕46、47には中立線51、52を挟んで（含む）溝49、50が設けられている。更に、本実施例では溝49、50は音叉腕46、47の一部に設けられていて、溝49、50はそれぞれ幅 $W_2$ と長さ $l_1$ を有する。更に詳述するならば、溝の面積 $S = W_2 \times l_1$ で示し、 $S$ は $0.025 \sim 0.12 \text{ mm}^2$ の値を有するように構成される。このように溝の面積を構成する理由は化学的エッチング法による溝の形成が容易で、しかも、電気機械変換効率が良い溝の形成ができる。と同時に、基本波モード振動の品質係数 $Q$ 値の高い屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子が得られる。その結果、出力信号が基本波モード振動の周波数である水晶発振器が実現できる。

#### 【0029】

上記溝の面積 $S$ では、溝と音叉腕を別々の工程で加工できる。しかし、音叉腕とそれに設けられた溝を同時に加工するには、音叉腕の厚み $t$ と溝幅 $W_2$ と音叉腕の間隔 $W_4$ と面積 $S$ を最適寸法にする必要が有る。即ち、音叉腕の厚み $t$ が $0.06 \text{ mm} \sim 0.15 \text{ mm}$ のとき、溝幅 $W_2$ が $0.02 \text{ mm} \sim 0.068 \text{ mm}$ の範囲内に、更に、面積 $S$ は $0.023 \text{ mm}^2 \sim 0.088 \text{ mm}^2$ の範囲内にあり、間隔 $W_4$ は $0.05 \text{ mm} \sim 0.35 \text{ mm}$ となるように構成される。このように構成する理由は水晶の結晶性を利用し、その結晶性が

ら貫通穴でない溝（音叉腕の長さ方向に分割された溝を含む）と音叉形状を同時に形成することができる。また、図 7 には示されていないが、音叉腕 46, 47 の下面にも溝 49, 50 と対抗する位置に溝が設けられている。

#### 【0030】

更に、音叉基部 48 に設けられた切り欠き部 53、54 の音叉部側の幅寸法は  $W_5$  で与えられ、切り欠き部 53、54 の端部側の寸法は  $W_6$  で与えられる。そして、音叉基部 48 の端部側で表面実装型のケースや円筒型のケースに半田や接着剤によって固定されるとき、振動子の振動エネルギーの損失を小さくするには、 $W_6 \geq W_5$  を満たす必要がある。また、切り欠き部 53、54 も振動子の固定による振動部のエネルギー損失を小さくすることができる。図 7 で示されている音叉腕の腕幅  $W$ 、部分幅  $W_1$ 、 $W_3$ 、溝幅  $W_2$  と間隔  $W_4$  及び溝の長さ  $l_1$  と音叉振動子の全長  $l$  との関係は図 6 で述べられているので、ここでは省略する。

#### 【0031】

図 8 は本発明の電子機器を構成する第 3 実施例の水晶発振器に用いられる幅縦モード水晶振動子の上面図 (a) と側面図 (b) である。幅縦モード水晶振動子 62 は振動部 63、接続部 66、69 とマウント部 68、81 をそれぞれ含む支持部 67、80 を具えて構成されている。更に、支持部 67 と支持部 80 にはそれぞれ穴 67a と穴 80a が設けられている。更に詳述するならば、第一接続部 66 と第二接続部 69 は振動部 63 の長さ方向の反対に位置する端部に設けられている。即ち、一方の第一支持部 67 は第一接続部 66 を介して振動部 63 に接続されていて、他方の第二支持部 80 は第二接続部 69 を介して振動部 63 に接続されている。また、振動部 63 の上面と下面には電極 64 と電極 65 が対抗して配置され、それらの電極は異極となるように構成されている。即ち、一对の電極が配置されている。更に、電極 64 は一方の第二接続部 69 を介して第二マウント部 81 にまで延在して配置されている。また、電極 65 は他方の第一接続部 66 を介して第一マウント部 68 にまで延在して配置されている。本実施例では、振動部 63 に配置された電極 64 と電極 65 は互いに異なる方向に延在してマウント部まで配置されているが、同方向に延在するように配置しても振動子として同じ特性が得られる。本実施例の振動子はマウント部 68、81 がユニットのケース又は蓋の固定部に接着剤や半田によって固定される。

#### 【0032】

次に、前記幅縦モード水晶振動子のカット角とその座標系との関係について説明する。座標系は原点  $O$ 、電気軸  $x$ 、機械軸  $y$ 、光軸  $z$  とする時、 $O - xyz$  を構成する。まず、 $x$  軸に垂直な水晶板、いわゆる、 $X$  板水晶を考える。このとき、 $X$  板水晶の各寸法である幅  $W_0$ 、長さ  $L_0$ 、と厚み  $T_0$  はそれぞれ  $y$  軸、 $z$  軸、及び  $x$  軸方向に一致している。更に、この  $X$  板水晶を  $x$  軸の廻りに角度  $\theta_x = -25^\circ \sim +25^\circ$  回転し、更に、 $y$  軸の新軸  $y'$  軸の廻りに角度  $\theta_y = -30^\circ \sim +30^\circ$  回転される。このとき、 $x$  軸の新軸は  $x'$  軸に、 $z$  軸は  $2$  軸の廻りに回転されるので、新軸は  $z''$  と成る。本実施例の幅縦モード水晶振動子は前記した回転水晶板から形成される。尚、本実施例の電気軸 +  $x$  軸の定義は JIS 規格に従い、反時計方向の回転角を正（プラス）とする。又、前記振動子の頂点温度を室温付近に設定するには、角度  $\theta_x$  は  $\theta_x = -12^\circ \sim -13.5^\circ$ 、 $-18.5^\circ \sim -19.8^\circ$  又は、角度  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  はそれぞれ  $\theta_x = -13^\circ \sim -18^\circ$ 、 $\theta_y = + / - (0.5^\circ \sim 30^\circ)$  により得られる。本実施例では、 $X$  板水晶を最初に、 $x$  軸の廻りに角度  $\theta_x = -25^\circ \sim +25^\circ$  回転し、次に、 $y'$  軸の廻りに角度  $\theta_y = -30^\circ \sim +30^\circ$  回転されているが、最初に、 $x$  軸の廻りに角度  $\theta_x = 25^\circ \sim +25^\circ$  回転し、次に、 $z$  軸の新軸  $z'$  軸の廻りに角度  $\theta_z = -15^\circ \sim +15^\circ$  回転してもよい。本実施例では、幅縦モード水晶振動子の形成に用いる水晶板のカット角について述べたが、本発明の振動子のカット角はこれに限定されるものでなく、形成された幅縦モード水晶振動子が前記した角度を有する振動子であれば良く、本発明はそれらの振動子をも包含するものである。例えば、水晶板の面内回転をしないで、振動子形成に用いるマスク等で面内回転を行うものである。

## 【 0 0 3 3 】

更に詳述するならば、幅縦モード水晶振動子の厚み方向を電気軸  $x$  軸方向に、幅方向を機械軸  $y$  軸方向に、長さ方向を光軸  $z$  軸方向にそれぞれ一致させ、前記幅縦モード水晶振動子を最初に厚み方向の軸 ( $x$  軸) を回転軸として角度  $\theta_x$ 、回転させ、次に、幅方向の軸 ( $y$  軸の回転後の新軸  $y'$  軸) を回転軸として角度  $\theta_y$  回転させるか、又は、前記幅縦モード水晶振動子を最初に厚み方向の軸 ( $x$  軸) を回転軸として角度  $\theta_x$  回転させ、次に、長さ方向の軸 (光軸  $z$  軸の回転後の新軸  $z'$  軸) を回転軸として角度  $\theta_z$  回転させ、前記角度  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  と  $\theta_z$  がそれぞれ  $\theta_x = -25^\circ \sim +25^\circ$ 、 $\theta_y = -30^\circ \sim +30^\circ$ 、 $\theta_z = -15^\circ \sim +15^\circ$  を有するように幅縦モード水晶振動子は形成される。これらのカット角の組み合わせにより、広い温度範囲に互って頂点温度を設定することができる。

10

## 【 0 0 3 4 】

更に、振動部 63 は幅  $W_0$ 、長さ  $L_0$ 、及び厚み  $T_0$  の寸法を有し、幅  $W_0$ 、長さ  $L_0$ 、及び厚み  $T_0$  はそれぞれ  $y'$  軸、 $z''$  軸、及び  $x'$  軸方向と一致している。すなわち、 $x'$  軸に垂直な面となる振動部 63 の上面と下面に電極 64 と電極 65 が配置されている。又、電極 64 に対抗する電極 65 は異極となるように構成されている。更に、振動部 63 の長さ  $L_0$  は幅  $W_0$  より大きく、厚み  $T_0$  は幅  $W_0$  より小さくなるように設計される。即ち、幅縦モード振動と長さ縦モード振動との結合を無視できるほどに小さく、且つ、振動部の電極面積を大きくして、等価直列抵抗  $R_1$  の小さい幅縦モード水晶振動子を得るためには、幅  $W_0$  と長さ  $L_0$  の比  $W_0/L_0$  は 0.8 より小さく、且つ、電界  $E_x$  を大きくして、等価直列抵抗  $R_1$  の小さい幅縦水晶振動子を得るためには、厚み  $T_0$  と幅  $W_0$  との比  $T_0/W_0$  は 0.85 より小さくすることが必要である。実際のこれらの寸法の決定は幅縦モード水晶振動子に要求される特性によって決まる。通常、厚み  $T_0$  は  $250\mu\text{m}$  以下に設定される。

20

## 【 0 0 3 5 】

更に詳述するならば、幅縦モード水晶振動子の共振周波数は幅寸法  $W_0$  に反比例し、他の寸法 (長さ、厚み、接続部と支持部) には殆ど依存しない。それ故、幅  $W_0$  を小さくすることにより、小型で、高周波数化が図れる。また、前記した寸法の関係から不要振動のない単一振動モードで振動する幅縦モード水晶振動子が得られる。と同時に、厚み方向に電界がかかるように振動部に電極を配置することにより、幅縦モード水晶振動子の基本波モード振動とオーバートンモード振動の振動次数が圧電定数に依存しなくなる。即ち、基本波モード振動とオーバートンモード振動の振動次数が圧電定数に依存しないように振動部とその上に配置される電極との構成がなされる。それ故、本発明の幅縦モード水晶振動子の共振周波数は圧電定数に依存しないので、振動子の設計が非常に容易になると言う著しい効果を有する。

30

## 【 0 0 3 6 】

次に、本実施例の幅縦モード水晶振動子を駆動するのに必要な圧電定数  $e_{12}$  の値について説明する。この圧電定数  $e_{12}$  の値が大きいほど、電気機械変換効率は高くなる。本実施例の幅縦モード水晶振動子の圧電定数  $e_{12}$  の絶対値は  $0.095 \sim 0.18\text{C/m}^2$  を有する。即ち、本実施例の幅縦モード水晶振動子は高い電気機械変換効率を有するので、等価直列抵抗  $R_1$  の小さい、品質係数  $Q$  値の高い、しかも、超小型の幅縦モード水晶振動子を得ることができる。

40

## 【 0 0 3 7 】

今、図 8 の電極 64 と電極 65 の間に交番電圧を印加すると、電界  $E_x$  は図 8 の側面図 (b) の実線と点線の矢印で示したように厚み方向に交互に働く。その結果、振動部 63 は幅方向に伸縮する振動をする。即ち、電界方向に対して垂直方向に振動する、いわゆる横効果型の幅縦モード水晶振動子を得ることができる。この主 (幅縦) 振動の共振周波数は圧電定数に依存しない振動子である。また、本実施例の幅縦モード水晶振動子は、電界方向に対して平行に振動する  $KT$  カット幅縦モード水晶振動子とは異なる振動子である。と同時に、 $KT$  カット水晶振動子はその振動次数が圧電定数に依存する、いわゆる縦効果

50

型の振動子である。即ち、共振周波数が圧電定数に依存する振動子である。本実施例では、幅縦モード水晶振動子について述べたが、この振動子の代わりに振動子の厚みに周波数が依存する厚みすべりモード水晶振動子を本発明の電子機器に用いても良い。

【0038】

図9は本発明の電子機器を構成する第4実施例の水晶発振器に用いられる水晶ユニットの断面図である。水晶ユニット170は音叉形状の屈曲水晶振動子70、ケース71と蓋72を具えて構成されている。更に詳述するならば、振動子70はケース71に設けられた固定部74に導電性接着剤76や半田によって固定される。又、ケース71と蓋72は接合部材73を介して接合される。本実施例では、振動子70は図4と図7で詳細に述べられた屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子10、45の内の一個と同じ振動子である。又、本実施例の水晶発振器では回路素子は水晶ユニットの外側に接続される。即ち、音叉形状の屈曲水晶振動子のみがユニット内に収納されている。この時、屈曲水晶振動子は真空中のユニット内に収納される。又、図8で述べた幅縦モード水晶振動子と厚みすべりモード水晶振動子も同様に本実施例の表面実装型水晶ユニットに収納される。通常、幅縦モード水晶振動子はその両端部で、厚みすべりモード水晶振動子は片方の端部で固定部に固定される。

10

【0039】

更に、ケースの部材はセラミックスかガラス、蓋の部材は金属かガラス、接合部材は金属か低融点ガラスでできている。又、本実施例で述べられた振動子とケースと蓋との関係は以下に述べられる図10の水晶発振器にも適用される。

20

【0040】

図10は本発明の電子機器を構成する第5実施例の水晶発振器の断面図を示す。水晶発振器190は水晶発振回路とケース91と蓋92を具えて構成されている。本実施例では、水晶発振回路はケース91と蓋92から成る水晶ユニット内に収納されている。又、水晶発振回路は音叉形状の屈曲水晶振動子90と帰還抵抗を含む増幅器98とコンデンサー（図示されていない）とドレイン抵抗（図示されていない）を具えて構成され、増幅器98はCMOSインバータが用いられる。

【0041】

更に、本実施例では、振動子90はケース91に設けられた固定部94に接着剤96や半田によって固定される。これに対して、増幅器98はケース91に固定されている。また、ケース91と蓋92は接合部材93を介して接合されている。本実施例の振動子90は図4と図7で詳細に述べられた音叉形状の屈曲水晶振動子10、45か、又は、図8で述べられた幅縦モード水晶振動子62又は厚みすべり水晶振動子の中の振動子が用いられる。

30

【0042】

次に、本発明の電子機器に用いられる水晶発振器の製造方法について述べる。上記音叉形状の屈曲水晶振動子は半導体の技術を用いたフォトリソグラフィ法と化学的エッチング法によって形成される。まず、研磨加工あるいはポリッシュ加工された水晶ウエハの上下面に金属膜（例えば、クロムそしてその上に金）をスパッタリング法又は蒸着法により形成する。次に、その金属膜の上にレジストが塗布される。そして、フォトリソ工程により、それらレジストと金属膜が音叉形状を残して除去された後、化学的エッチング法により、音叉腕と音叉基部を具えた音叉形状が形成される。この音叉形状を形成するときに、音叉基部に切り欠き部を形成しても良い。更に、音叉形状の面上に前記工程で示した金属膜とレジストが塗布され、フォトリソ工程と化学的エッチング法により、音叉腕又は音叉腕と音叉基部に溝が形成される。

40

【0043】

次に、溝を有する音叉形状に金属膜とレジストが再び塗布されて、フォトリソ工程により、電極が形成される。即ち、音叉腕の側面の電極と溝の側面の電極は極性が異なるように対抗して配置される。さらに詳述するならば、第1の音叉腕の側面電極と第2の音叉腕の溝の電極は同極に、第1の音叉腕の溝の電極と第2の音叉腕の側面電極は同極に構成さ

50

れ、第1の音叉腕の溝の電極と側面電極は極性が異なるように構成される。即ち、2電極端子が振動子に形成される。その結果、2電極端子に交番電圧を印加する事により、音叉腕は逆相で屈曲振動する。本実施例では、音叉形状の形成の後に溝を音叉腕又は音叉腕と音叉基部に形成しているが、本発明は前記実施例に限定されるものではなくて、まず、溝を形成してから音叉形状を形成してもよい。又は、音叉形状と溝を同時に形成しても良い。

#### 【0044】

この実施例の工程により、水晶ウエハには多数個の音叉形状の屈曲水晶振動子が形成されている。それ故、次の工程では、このウエハの状態、最初の周波数調整がレーザ又はプラズマエッチング又は蒸着にて行われる。と共に、不良振動子はマーキングされるかウエハから取り除かれる。また、本工程では10kHz～200kHzの基準周波数に対して、周波数偏差は-9000PPM～+5000PPMの範囲内にあるように周波数調整がなされる。更に、次の工程では、形成された振動子は表面実装型のケース、あるいは蓋又は円筒型のケースのリード線に接着材あるいは半田等で固定される。その固定後に、第2回目の周波数調整がレーザ又はプラズマエッチング又は蒸着にて行われる。本工程では、周波数偏差は-100PPM～+100PPMの範囲内にあるように周波数調整がなされる。又、本発明での固定後に周波数調整が行われるということは、固定後すぐに周波数調整しても良いし、あるいは固定後にケースと蓋を接続した後に周波数調整をしても良い。即ち、固定後にいかなる工程を入れても、その後に周波数調整をすれば良く、本発明はこれらを全て包含するものである。又、ケースと蓋を接続した後の周波数調整はガラスを介してレーザで行われる。

#### 【0045】

尚、第3回目の周波数調整がなされるときには、前記2回目の周波数調整による周波数偏差は-950PPM～+950PPMの範囲内にあるように周波数調整がなされる。又、上記実施例では、前記ウエハの状態、最初の周波数調整を行い、それと共に、不良振動子はマーキングされるかウエハから取り除かれているが、本発明はこれに限定されるものでなく、本発明は水晶ウエハにできた多数個の音叉形状の屈曲水晶振動子をウエハの状態で検査し、良振動子が不良振動子かを検査する工程を含めば良い。即ち、不良振動子はマーキングされるか、ウエハから取り除かれるか、コンピュータに記憶される。このような工程を含むことにより、不良振動子を早く見つけることができ、次工程に流れないので、歩留まりを上げることができる。その結果、安価な屈曲水晶振動子を得る事ができる。

#### 【0046】

更に、周波数調整後に、前記振動子はケースと蓋となるユニットに真空中で収納され、水晶ユニットが得られる。蓋がガラスで構成されているときには、収納後、第3回目の周波数調整がレーザにて行われる。本工程では、周波数偏差は-50PPM～+50PPMの範囲内にあるように周波数調整がなされる。本実施例では、周波数調整は3回の別々の工程で行われるが、少なくとも2回の別々の工程で行えば良い。例えば、第3回目の工程の周波数調整はしなくても良い。更に次の工程では、前記した振動子の2電極端子が増幅器とコンデンサーと抵抗素子に電氣的に接続される。換言するならば、増幅回路はCMOSインバータと帰還抵抗素子からなり、帰還回路は音叉形状の屈曲水晶振動子とドレイン抵抗素子とゲート側のコンデンサーとドレイン側のコンデンサーからなるように接続される。又、前記第3回目の周波数調整は水晶発振回路を構成後に行っても良い。

#### 【0047】

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、上記実施例では、音叉腕は2本で構成されているが、本発明は3本以上の音叉腕を包含するものである。この場合、少なくとも2本の音叉腕が逆相で振動するように電極が構成されていれば良い。

#### 【0048】

更に、本実施例では、溝が中立線を挟む(含む)ように音叉腕に設けられているが、本発明はこれに限定されるものでなく、中立線を残して、その両側に溝を形成しても良い。

この場合、音叉腕の中立線を含めた部分幅 $W_7$ は $0.05\text{ mm}$ より小さくなるように構成される。又、各々の溝の幅は $0.04\text{ mm}$ より小さくなるように構成され、溝の厚み $t_1$ と音叉腕の厚み $t$ の比は $0.79$ 以下に成るように構成される。このような構成により、 $M_1$ を $M_n$ より大きくする事ができる。

【0049】

更に、本実施例の屈曲水晶振動子の音叉形状と溝及び幅縦モード水晶振動子の形状は化学的、物理的と機械的方法の内の少なくとも一つの方法を用いて加工される。物理的方法では、例えば、イオン化した原子、分子を飛散させて加工するものである。また、機械的方法では、例えば、プラスト加工用の粒子を飛散させて加工するものである。それ故、本発明では、物理的方法と機械的方法による加工方法を粒子法による加工と言う。

10

【0050】

以上述べたように、本発明の電子機器を提供する事により多くの効果が得られることを既に述べたが、その中でも特に、次の如き著しい効果が得られる。

(1) 少なくとも一つの水晶発振器に音叉形状の屈曲水晶振動子を用い、その基本波モード振動のフィガーオブメリット $M_1$ が高調波モード振動のフィガーオブメリット $M_n$ より大きい振動子を具えて水晶発振器は構成され、更に、増幅回路の基本波モード振動の負性抵抗の絶対値 $|-R_{L1}|$ と基本波モード振動の等価直列抵抗 $R_1$ の比が増幅回路の高調波モード振動の負性抵抗の絶対値 $|-R_{Ln}|$ と高調波モード振動の等価直列抵抗 $R_n$ の比より大きくなるように水晶発振器は構成されているので、水晶発振器の出力信号が基本波モード振動の周波数で、かつ、高い周波数安定性を有する。その結果、その出力信号を用いた高精度の電子機器が実現できる。

20

(2) 少なくとも一つの水晶発振器に幅縦モード水晶振動子又は厚みすべりモード水晶振動子を用いるので、小型で、かつ、高精度の出力信号が得られ、更に、この出力信号により電子機器は動作するので、高い信頼性を有する電子機器が実現できる。

【産業上の利用可能性】

【0051】

本発明の水晶発振器は超小型で、高い周波数安定性を有するので、特に高い信頼性を必要とする電子機器に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0052】

30

【図1】 本発明の電子機器の一実施例で、ファクシミリのブロック図の一例である。

【図2】 本発明の電子機器に使用される水晶発振器を構成する水晶発振回路図の一実施例である。

【図3】 図2の帰還回路図を示す。

【図4】 本発明の電子機器を構成する第1実施例の水晶発振器に用いられる音叉形状の屈曲水晶振動子の外観図とその座標系を示す。

【図5】 図4の音叉形状の屈曲水晶振動子の音叉基部のD-D'断面図を示す。

【図6】 図4の音叉形状の屈曲水晶振動子の上面図を示す。

【図7】 本発明の電子機器を構成する第2実施例の水晶発振器に用いられる屈曲モードで振動する音叉形状の水晶振動子の上面図である。

40

【図8】 本発明の電子機器を構成する第3実施例の水晶発振器に用いられる幅縦モード水晶振動子の上面図(a)と側面図(b)である。

【図9】 本発明の電子機器を構成する第4実施例の水晶発振器に用いられる水晶ユニットの断面図である。

【図10】 本発明の電子機器を構成する第5実施例の水晶発振器の断面図である。

【図11】 従来の電子機器を構成する水晶発振器に用いられる音叉形状の屈曲水晶振動子の斜視図とその座標系を示す。

【図12】 図11の音叉形状水晶振動子の音叉腕の断面図である。

【符号の説明】

【0053】

50

1, 9 増幅回路, 帰還回路

$V_1, V_2$  入力電圧, 出力電圧

$W_2, t_1$  溝幅、溝の厚み

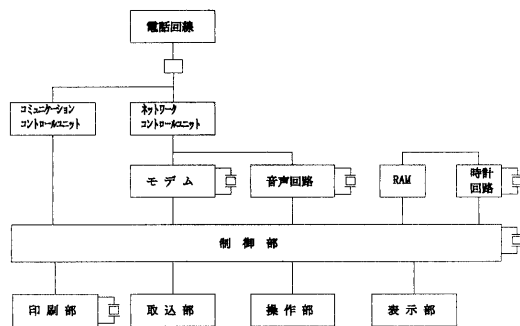
$W, W_4$  音叉腕の腕幅、音叉腕の間隔

$W_1, W_3$  音叉腕の部分幅

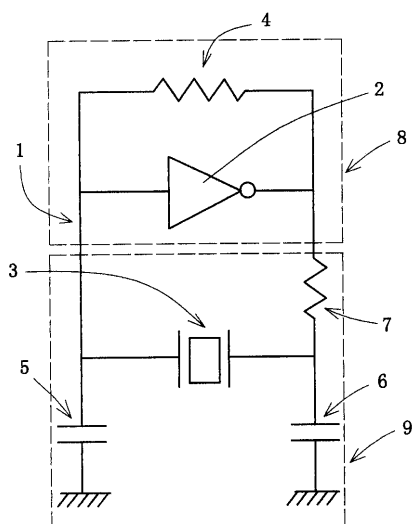
$l_1, l_2, l$  溝の長さ、音叉基部の長さ、音叉形状の屈曲水晶振動子の全長

$t$  音叉腕又は音叉腕と音叉基部の厚み

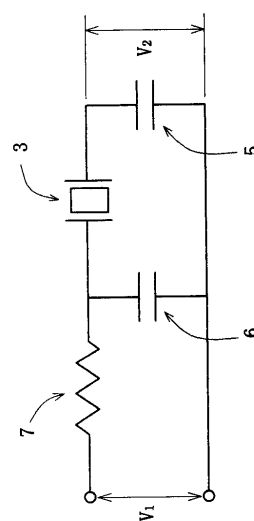
【図 1】



【図 2】

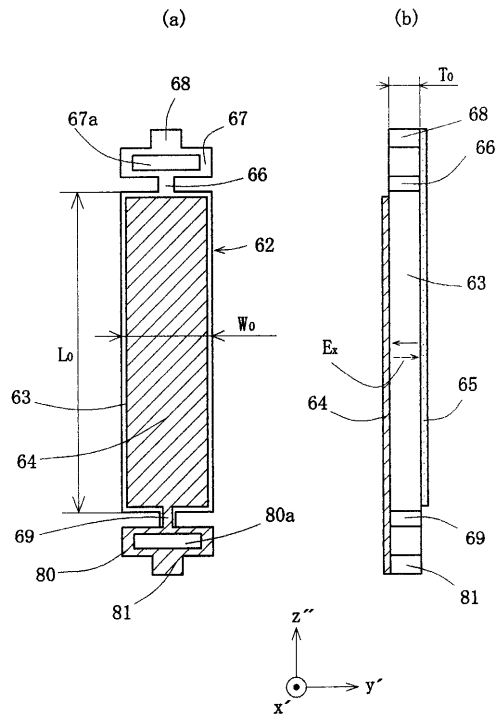


【図 3】

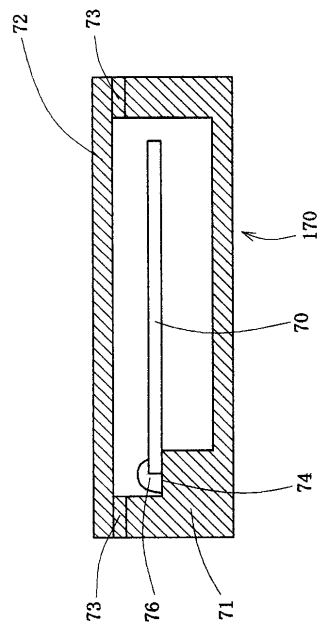




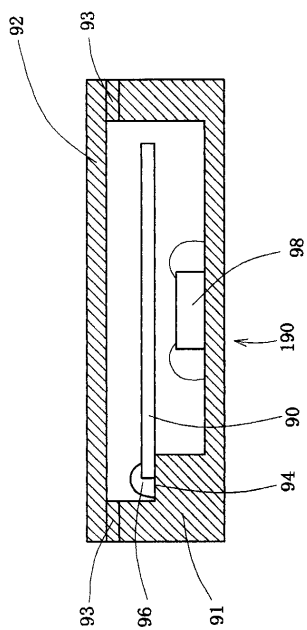
【図 8】



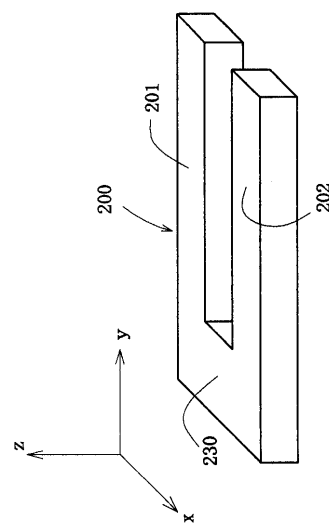
【図 9】



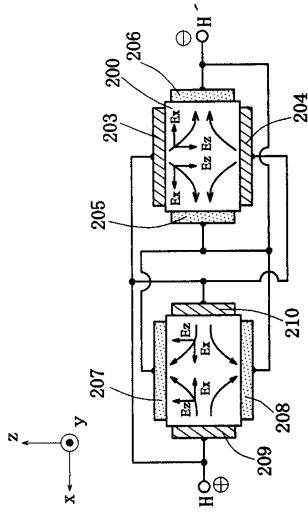
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

 フロントページの続き

|                |              |                  |                       |
|----------------|--------------|------------------|-----------------------|
| (51)Int.Cl.    |              | F I              |                       |
| <b>H 0 1 L</b> | <b>41/22</b> | <b>(2006.01)</b> | H 0 1 L 41/18 1 0 1 A |
| <b>H 0 3 H</b> | <b>9/215</b> | <b>(2006.01)</b> | H 0 1 L 41/22 Z       |
|                |              |                  | H 0 1 L 41/08 K       |
|                |              |                  | H 0 3 H 9/215         |

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
 H 0 3 B 5 / 3 2  
 H 0 3 H 3 / 0 2  
 H 0 3 H 9 / 1 9  
 H 0 3 H 9 / 2 1 5  
 H 0 1 L 4 1 / 0 9  
 H 0 1 L 4 1 / 1 8  
 H 0 1 L 4 1 / 2 2