

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5103632号
(P5103632)

(45) 発行日 平成24年12月19日 (2012.12.19)

(24) 登録日 平成24年10月12日 (2012.10.12)

(51) Int.Cl.	F I
H03H 3/02 (2006.01)	H03H 3/02 B
H03B 5/32 (2006.01)	H03B 5/32 H
H03H 3/04 (2006.01)	H03H 3/04 B
H03H 9/02 (2006.01)	H03H 9/02 K

請求項の数 3 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2007-131043 (P2007-131043)	(73) 特許権者	500505197
(22) 出願日	平成19年4月16日 (2007.4.16)		有限会社ピエデック技術研究所
(62) 分割の表示	特願2004-360576 (P2004-360576)		東京都中野区上高田 1-4-4-1
	の分割	(72) 発明者	川島 宏文
原出願日	平成14年3月6日 (2002.3.6)		東京都中野区上高田 1-4-4-1 有限会
(65) 公開番号	特開2007-209039 (P2007-209039A)		社 ピエデック技術研究所内
(43) 公開日	平成19年8月16日 (2007.8.16)		
審査請求日	平成19年4月16日 (2007.4.16)	合議体	
審判番号	不服2010-28790 (P2010-28790/J1)	審判長	小曳 満昭
審判請求日	平成22年12月2日 (2010.12.2)	審判官	飯田 清司
(31) 優先権主張番号	特願2001-334978 (P2001-334978)	審判官	吉村 博之
(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)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水晶ユニットの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

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音叉型屈曲水晶振動子と、その音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースと、その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、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の一端部は前記水晶音叉基部に接続され、他端部は自由であって、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々は、第1主面とその第1主面に対抗する第2主面と第1側面とその第1側面に対抗する第2側面とを有する音叉型屈曲水晶振動子を備えた水晶ユニットの製造方法であって、

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、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と、

水晶ウエハを準備する工程と、

前記水晶ウエハの上面と下面の各々に金属膜を形成する工程と、

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を除去して音叉形状のパターンを形成する工程と、

前記水晶音叉基部と、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕とを備えた水晶音叉形状

を形成する工程と、

前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の各々に溝を形成する工程と、

前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面と第1側面と第2側面の各々と、前記第1主面と前記第2主面の各々に形成された溝の面の上に金属膜を形成し、その金属膜の上にレジストを塗布する工程と、

前記第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極と、前記第2水晶音叉腕の第1側面と第2側面の各々に形成された電極とが電氣的に接続され、前記第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極と、前記第1水晶音叉腕の第1側面と第2側面の各々に形成された電極とが電氣的に接続され、かつ、前記第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極の電氣的極性と、前記第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極の電氣的極性が異なるように、前記電極を形成し、かつ、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、前記溝の長さ寸法を有する溝に電極を配置する工程と、

前記電極を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子をケース内に収納する工程と、

前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数を調整する工程と、

蓋を前記ケースに接続する工程と、を含み、前記工程の順になされることを特徴とする水晶ユニットの製造方法。

【請求項2】

請求項1において、前記蓋はガラス製の蓋で、蓋を前記ケースに接続する工程は前記ガラス製の蓋を前記ケースに接続する工程を含み、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の各々に形成された溝の形状が四角形を除く多角形の形状であって、前記第1水晶音叉腕の第1側面は前記第2水晶音叉腕の第1側面に対向していて、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の少なくとも一面に形成された溝は、第1段差部と、水晶音叉腕の長さ方向において第1段差部に対向する第2段差部と、水晶音叉腕の長さ方向に延在する第3段差部と第4段差部とを備えていて、第3段差部と第4段差部の各々は第1端部と第2端部を備え、第3段差部の第1端部は第1段差部の端部に接続され、第4段差部の第1端部は第2段差部の端部に接続されていて、前記第1水晶音叉腕の第3段差部の第2端部は第5段差部を介して第4段差部の第2端部に接続され、かつ、前記第1水晶音叉腕の第1段差部から第5段差部の内、第3段差部と第4段差部のみが前記第1水晶音叉腕の第1側面に対抗して形成され、前記第2水晶音叉腕の第3段差部の第2端部は第5段差部を介して第4段差部の第2端部に接続され、かつ、前記第2水晶音叉腕の第1段差部から第5段差部の内、第3段差部と第4段差部のみが前記第2水晶音叉腕の第1側面に対抗して形成され、前記ケースは貫通穴を備え、前記ガラス製の蓋を前記ケースに接続する工程の後に、前記ケースの貫通穴を金属を用いて真空中で封止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。

【請求項3】

請求項2において、前記ケースの貫通穴を金属を用いて真空中で封止する工程の後に、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数を調整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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は音叉型屈曲水晶振動子とそれを収納した水晶ユニットと水晶発振器と携帯機器、及び、音叉型屈曲水晶振動子と水晶ユニットのそれら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と新形状を備えた水晶ユニットとその製造方法に関する。特に、水晶ユニットに収納された水晶振動子と水晶ユニットを備えた水晶発振器と携帯機器、及び、水晶振動子と水晶ユニットのそれらの製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、図20(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。

10

【0003】

小型の水晶振動子を得るために、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。更に、特開昭56-65517では、振動子形状と溝を同時に形成すること、また、特開2000-223992(P2000-223992A)では、振動子の溝部を別工程で形成することが記載されている。

【特許文献1】特開昭56-65517

【特許文献2】国際公開第00/44092

【特許文献3】2000-223992

【特許文献4】2001-221638

【特許文献5】特開昭52-52597

【特許文献6】特開昭55-138916

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

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、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、基本波モード振動の等価直列抵抗 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、等価直列抵抗 R_2 が小さいと2次高調波モードで発振するという問題も存在していた。

30

【0005】

又、例えば、上記従来の特開昭56-65517と国際公開第00/44092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。又、2001-221638の特許文献では電界方向が示されている。しかしながら、本発明の音叉型屈曲水晶振動子の溝の構成、寸法と振動モード並びに等価直列抵抗 R_1 、 R_2 との関係、及び2電極端子と電極配置との関係について記載されていない。更に、本発明の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とその構成を備える音叉型屈曲水晶振動子とそれを備えた水晶ユニットとその製造方法とが所望されていた。

40

【課題を解決するための手段】

【0006】

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振動子、水晶ユニットとそれらの製造方法を提供することを目的とするものである。

【0007】

本発明の水晶ユニットの製造方法の第1の態様は、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音叉型屈曲水晶振動子と、その音叉型屈曲水晶振動子を収納するケースと、そのケースをカ

50

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、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の一端部は前記水晶音叉基部に接続され、他端部は自由であって、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々は、第1主面とその第1主面に対抗する第2主面と第1側面とその第1側面に対抗する第2側面とを有する音叉型屈曲水晶振動子を備えた水晶ユニットの製造方法であって、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、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と、水晶ウエハを準備する工程と、前記水晶ウエハの上面と下面の各々に金属膜を形成する工程と、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を除去して音叉形状のパターンを形成する工程と、前記水晶音叉基部と、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕とを備えた水晶音叉形状を形成する工程と、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の各々に溝を形成する工程と、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面と第1側面と第2側面の各々と、前記第1主面と前記第2主面の各々に形成された溝の面の上に金属膜を形成し、その金属膜の上にレジストを塗布する工程と、前記第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極と、前記第2水晶音叉腕の第1側面と第2側面の各々に形成された電極とが電氣的に接続され、前記第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極と、前記第1水晶音叉腕の第1側面と第2側面の各々に形成された電極とが電氣的に接続され、かつ、前記第1水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極の電氣的極性と、前記第2水晶音叉腕の第1主面と第2主面の各々の溝に形成された電極の電氣的極性とが異なるように、前記電極を形成し、かつ、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、前記溝の長さ寸法を有する溝に電極を配置する工程と、前記電極を備えた前記音叉型屈曲水晶振動子をケース内に収納する工程と、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数を調整する工程と、蓋を前記ケースに接続する工程と、を含み、前記工程の順になされる水晶ユニットの製造方法である。

【0008】

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、前記蓋はガラス製の蓋で、蓋を前記ケースに接続する工程は前記ガラス製の蓋を前記ケースに接続する工程を含み、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の各々に形成された溝の形状が四角形を除く多角形の形状であって、前記第1水晶音叉腕の第1側面は前記第2水晶音叉腕の第1側面に対向して、前記第1水晶音叉腕と前記第2水晶音叉腕の各々の第1主面と第2主面の少なくとも一面に形成された溝は、第1段差部と、水晶音叉腕の長さ方向において第1段差部に対向する第2段差部と、水晶音叉腕の長さ方向に延在する第3段差部と第4段差部とを備えていて、第3段差部と第4段差部の各々は第1端部と第2端部を備え、第3段差部の第1端部は第1段差部の端部に接続され、第4段差部の第1端部は第2段差部の端部に接続されていて、前記第1水晶音叉腕の第3段差部の第2端部は第5段差部を介して第4段差部の第2端部に接続され、かつ、前記第1水晶音叉腕の第1段差部から第5段差部の内、第3段差部と第4段差部のみが前記第1水晶音叉腕の第1側面に対抗して形成され、前記第2水晶音叉腕の第3段差部の第2端部は第5段差部を介して第4段差部の第2端部に接続され、かつ、前記第2水晶音叉腕の第1段差部から第5段差部の内、第3段差部と第4段差部のみが前記第2水晶音叉腕の第1側面に対抗して形成され、前記ケースは貫通穴を備え、前記ガラス製の蓋を前記ケースに接続する工程の後に、前記ケースの貫通穴を金属を用いて真空中で封止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3の態様は、第2の態様において、前記ケースの貫通穴を金属を用いて真空中で封止する工程の後に、前記音叉型屈曲水晶振動子の周波数を調整する工程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】

【 0 0 0 9 】

このように、本発明は水晶振動子、水晶ユニットとそれらの製造方法で、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。

【 0 0 1 0 】

更に、例えば、音叉腕の厚み t に対する溝の厚み t_1 は 0.05 から 0.79 の範囲内にあり、その溝に電極を配置し、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と水晶発振器を得ることができる。

10

【 0 0 1 1 】

又、音叉腕に溝を有する前記音叉型屈曲水晶振動子の基本波モード振動の等価直列抵抗 R_1 が2次高調波モード振動の等価直列抵抗 R_2 より小さい音叉型屈曲水晶振動子を備えた水晶ユニットを備えて水晶発振器が構成されるので、2次高調波モード振動を抑えた基本波モードで振動する信頼性の極めて高い水晶発振器が実現できる。その結果、信頼性の高い携帯機器が実現できる。

【 0 0 1 2 】

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、安価な水晶振動子を実現することができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 3 】

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 1 4 】

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19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10, 11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19で詳細に説明される。

30

【 0 0 1 5 】

又、固定部7には電極12, 13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12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14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13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15と同極になるように構成されている。又、ケース2と蓋19は接合部材16を介して接合されている。

40

【 0 0 1 6 】

なお、本実施例では、電極14と電極15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14, 15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 1 7 】

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17が設けられていて、封止部材18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

50

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。

【0018】

又、本実施例では、ケース2に真空中で封止するための穴17が設けられているが、ケース2には真空封止用の穴17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。

【0019】

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21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21は音叉腕22と音叉腕23と音叉基部24とから成り、音叉腕22と音叉腕23とは音叉基部24に接続されている。更に、音叉腕22の上面には中立線を挟んで溝25が設けられ、又、音叉腕23の上面には音叉腕22と同様に溝31が設けられている。なお、図2では音叉型屈曲水晶振動子21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。

【0020】

図3は図2の音叉型屈曲水晶振動子21の断面図を示し、図4は図2の音叉型屈曲水晶振動子21の上面図を示す。ここでは、図2中の、音叉腕22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23のB - B断面図を図3において紙面の左側に示す。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。

【0021】

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。

【0022】

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るからである。これにより、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。

【0023】

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。

【0024】

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 に設けられた溝の長さは、 $l_0 = (l_1 - l_3)$ 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。

【0025】

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 $0.2 \sim 0.68$ 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)、コンデンサー、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できる。

【0026】

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 $0.05 \sim 0.79$ の範囲内の値となるよう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。

【0027】

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

10

20

30

40

50

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。

【0028】

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共に、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。

10

【0029】

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。

20

【0030】

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。

30

【0031】

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、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、本実施例の音叉型水晶振動子69の形状と電極構成とは、音叉型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。

40

【0032】

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

50

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。

【0033】

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。

【0034】

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。

【0035】

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。

【0036】

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。

【0037】

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 1 5 8 とそれに対抗する厚さ (z 方向) の溝 1 6 1 とに配置された電極 1 6 9 と電極 1 7 0 とは同極になるように構成される。更に、溝 1 5 7 , 1 6 0 , 1 5 8 , 1 6 1 に配置された電極 1 6 3 , 1 6 4 , 1 6 9 , 1 7 0 及び音叉基部 1 5 6 の側面の電極 1 7 1 と電極 1 7 2 とは、音叉基部 1 5 6 から音叉腕 1 5 4 , 1 5 5 まで延在して配置されている。

【 0 0 3 8 】

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 1 0 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 1 5 6 にも溝 1 5 9 , 1 6 2 と電極 1 6 5 , 1 6 6 , 1 6 7 , 1 6 8 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 R_1 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。

10

【 0 0 3 9 】

図 1 1 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 3 0 0 の外観図とその座標系を示すものである。そして、図 1 2 は、図 1 1 の振動子 3 0 0 の上面図であり、又、図 1 3 は、図 1 2 の音叉型屈曲水晶振動子 3 0 0 の I - I 断面の形状を示す断面図である。図 1 1 に示すように、振動子 3 0 0 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 θ 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、かかる角度 θ 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 3 0 0 は、音叉腕 3 0 1 と音叉腕 3 0 2 と音叉基部 3 0 3 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 3 0 1 には段差が設けられて、上面部 3 0 1 a と中面部 3 0 1 b との間に段差部 (上面部 3 0 1 a の内側面) 3 0 4 が形成され、その中面部 3 0 1 b および段差部 3 0 4 は音叉基部 3 0 3 にまで延在している。又、音叉腕 3 0 2 の上面にも音叉腕 3 0 1 と同様に図 1 2 及び図 1 3 に示すように中面部 3 0 2 b および段差部 3 0 5 が形成されている。そして、音叉基部 3 0 3 にも、上面部 3 0 3 a , 中面部 3 0 3 b 及び段差部 3 0 6 が形成されている。

20

【 0 0 4 0 】

即ち、図 1 2 に示すように、この振動子 3 0 0 の音叉腕 3 0 1 には幅方向の任意の位置に段差部 3 0 4 が、一方、音叉腕 3 0 2 には幅方向の任意の位置に段差部 3 0 5 が、それぞれ音叉基部 3 0 3 にまで延在して設けられ、それら段差部 3 0 4 及び段差部 3 0 5 は、音叉基部 3 0 3 の段差部 3 0 6 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。

30

【 0 0 4 1 】

さらに、図 1 3 に示すように、音叉腕 3 0 1 の下面にも上面と同様に段差が設けられて、下面部 3 0 1 c と中面部 3 0 1 d との間に段差部 3 0 7 が形成され、その段差部 3 0 7 は音叉基部 3 0 3 にまで延在している。ここで、上面の段差部 3 0 4 は、音叉腕 3 0 1 の内側に向き、また、下面の段差部 3 0 7 は、音叉腕 3 0 1 の外側に向いている。そして、段差部 3 0 4 には電極 3 0 8 が、中面部 3 0 1 b にはその電極 3 0 8 に連なる電極 3 0 9 が配置されている。一方、段差部 3 0 7 には電極 3 1 0 が、中面部 3 0 1 d にはその電極 3 1 0 に連なる電極 3 1 1 が配置されている。また、音叉腕 3 0 1 の、段差部 3 0 4 に配置された電極 3 0 8 に対抗する側面 (音叉腕 3 0 1 の上面部 3 0 1 a の外側面) には電極 3 1 2 が配置され、段差部 3 0 7 に配置された電極 3 1 0 に対抗する側面 (音叉腕 3 0 1 の下面部 3 0 1 c の内側面) には電極 3 1 3 が配置されている。

40

【 0 0 4 2 】

このように電極を配置することにより、電界 E_x は電極 3 0 8 と電極 3 1 2 間及び電極

50

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、上面と下面とには段差部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。

10

【0043】

今、電極端子K-Kに交番電圧を印加すると、電界 $E \times$ 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。

【0044】

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。

20

【0045】

図14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321の外観図とその座標系を示すものである。そして、図15は、図14の振動子321の上面図であり、又、図16は、図15の音叉型屈曲水晶振動子321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11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321は、音叉腕322と音叉腕323と音叉基部324とを具えて構成され、厚み t を有している。

【0046】

30

さらに、音叉腕322には段差が設けられて、図14及び図16に示すように、上面部322a, 中面部322b, 中面部322d及び下面部322cが形成されるとともに、段差部(上面部322aの内側面)325が形成され、その中面部322bおよび段差部325は音叉基部324にまで延在している。又、音叉腕323の上面にも音叉腕322と同様に図15及び図16に示すように中面部323bおよび段差部326が形成されている。そして、音叉基部324にも、上面部324a, 中面部324bおよび下面部324c(図示されていない)及び段差部327が形成されている。

【0047】

即ち、図15と図16に示すように、音叉腕322および音叉腕323には段差部325と段差部326が設けられ、それら段差部325, 326は、音叉基部324にまで延在し、段差部327に接続されている。さらに、音叉腕322の上面には段差部325と下面には段差部328とが設けられ、又、音叉腕323の上面には段差部326と下面には段差部329とが設けられている。

40

【0048】

ここで、上面の段差部325および下面の段差部328は音叉腕322の内側に向き、上面の段差部326および下面の段差部329は音叉腕323の内側に向いている。段差部325には電極330が、中面部322bにはその電極330に連なる電極331が配置され、又、段差部328には電極332が、中面部322dにはその電極332に連なる電極333が配置される。更に、音叉腕322の内側面には電極334が、音叉腕322の外側面には電極335が配置されている。これにより、電極330および電極332

50

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 4 9 】

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 3 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。

10

【 0 0 5 0 】

今、2 電極端子 L - L に交番電圧を印加すると、電界 E x 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 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。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。

20

【 0 0 5 1 】

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。

【 0 0 5 2 】

図 1 7 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 3 5 1 の上面図である。音叉腕 3 5 2 と音叉腕 3 5 3 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 1 7 では上面の段差部 3 5 5 と段差部 3 5 6 とが設けられている。更に、本実施例では、音叉腕 3 5 2 , 3 5 3 の外側に中面部 3 5 5 b , 3 5 6 b が設けられている。図示されていないが、中面部 3 5 5 d , 3 5 6 d は裏面にも設けられていて、段差部 3 5 5 と段差部 3 5 6 とは音叉基部 3 5 4 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 1 6 と同じ様に配置されている。

30

【 0 0 5 3 】

図 1 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 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 5 1 a の上面図である。音叉腕 3 5 2 a と音叉腕 3 5 3 a 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 1 8 では上面の段差部 3 5 5 a と段差部 3 5 6 a とが設けられていて、段差部 3 5 5 a , 3 5 6 a とは、音叉腕 3 5 2 a , 3 5 3 a の長さ方向に 1 個の階段部 3 5 5 e と階段部 3 5 6 e 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。

40

【 0 0 5 4 】

50

更に、本実施例では、音叉腕 3 5 2 a , 3 5 3 a の外側に中面部 3 5 5 b 、 3 5 6 b が設けられている。図示されていないが、中面部 3 5 5 d , 3 5 6 d は裏面にも設けられていて、本実施例では段差部 3 5 5 a と段差部 3 5 6 a とは音叉基部 3 5 4 a 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 1 6 と同じ様に配置されている。

【 0 0 5 5 】

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 3 実施例～第 5 実施例の音叉型屈曲水晶振動子にも適用できる。

【 0 0 5 6 】

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 1 9 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 - 1 2 は工程の番号を示す。まず、S - 1 では水晶ウエハ 4 0 (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 4 0 の上面と下面に金属膜(例えば金)4 1 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 4 1 の上にレジスト 4 2 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 4 1 とレジスト 4 2 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 4 3 , 4 4 と音叉基部 4 5 とを具えた音叉形状が形成される。なお、図 1 9 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

【 0 0 5 7 】

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 4 3 および音叉腕 4 4 に溝 4 6 , 4 7 , 4 8 , 4 9 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。

【 0 0 5 8 】

即ち、音叉腕 4 3 の側面に配置された電極 5 0 , 5 3 と音叉腕 4 4 の溝 4 8 , 4 9 に配置された電極 5 5 , 5 6 は同極となるように接続形成される。同様に、音叉腕 4 3 の溝 4 6 , 4 7 に配置された電極 5 1 , 5 2 と音叉腕 4 4 の側面に配置された電極 5 4 , 5 7 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。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

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 6 0 の音叉基部 4 5 が S - 7 で示されるように、ケース 5 8 の固定部 5 9 に導電性接着剤 6 1 又は半田にて固定される。次に、S - 8 では水晶振動子 6 0 の周波数がレーザ 6 2 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 5 8 と蓋 6 3 とが低融点ガラス 6 4 又は半田などの金属を介して接合される。この場合にはケース 5 8 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。

【 0 0 6 1 】

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ても良い。

【0062】

10

本実施例では、1個の音叉型屈曲水晶振動子を含む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）の振動子を含む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っても良い。

【0063】

20

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。と同時に、上記水晶ユニットを備えた水晶発振器とそれを搭載した携帯機器が高品質で実現できる。

【0064】

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、前記音叉基部に設けられた溝と溝との間に更に溝が設けられて、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記第1実施例の水晶ユニットにおける音叉型屈曲水晶振動子と同様に電極が配置されている。

30

【0065】

更に、本発明の第3実施例～第6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。

【0066】

又、上記第1実施例～第2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。

40

【0067】

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

50

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。

【0068】

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。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。

【0069】

以上述べたように、本発明の水晶振動子と水晶ユニットとそれらの製造方法によれば、さらに次の如き著しい効果が得られる。

(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とそれを収納した水晶ユニットが得られる。

(2) 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。

(3) 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ので、超小型の水晶ユニットが高品質で得られる。

【産業上の利用可能性】

【0070】

本発明の水晶振動子と水晶ユニットと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、超小型で、高い周波数安定性を必要とする携帯機器や民生機器等の電子機器に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0071】

【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。

【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。

【図11】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上面図である。

【図18】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上面図である。

【図19】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20】(a)および(b)は従来水晶ユニットの、蓋を省略した状態での正面図お

10

20

30

40

50

よび、蓋付きの状態での側面図である。

【符号の説明】

【 0 0 7 2 】

4, 5, 22, 23, 43, 44 音叉腕

6, 24, 45, 90, 104, 116, 148, 156 音叉基部

7, 59, 106 固定部

W_2 溝幅, W 音叉腕の全幅

W_1, W_3 音叉腕の部分幅

l_1 溝の長さ

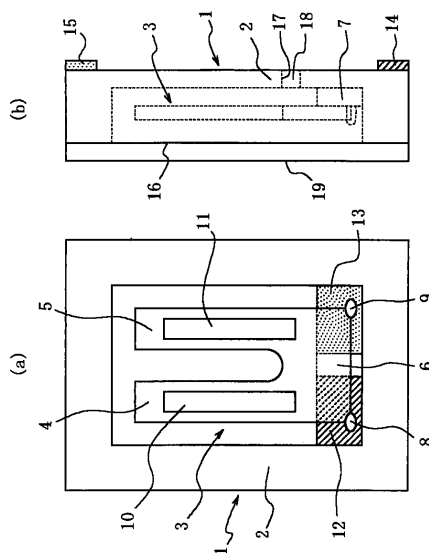
l_2 音叉基部の長さ

t 振動子の厚み,

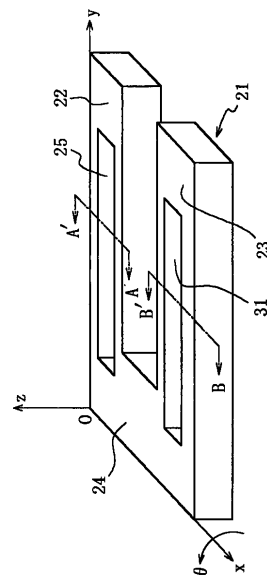
t_1 溝の厚み

10

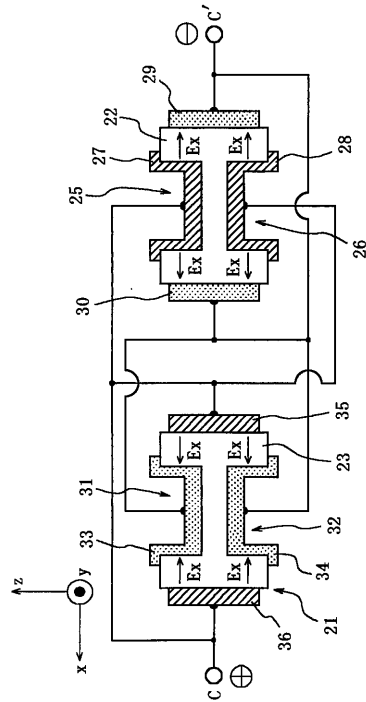
【 図 1 】



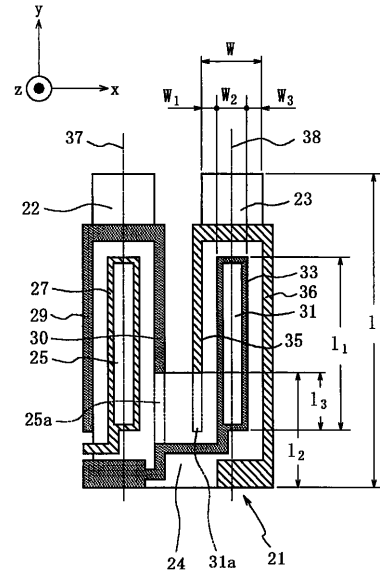
【 図 2 】



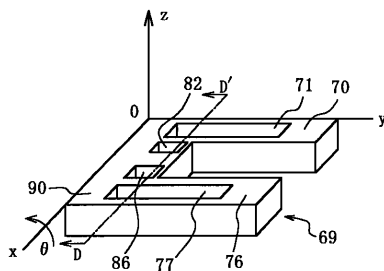
【図 3】



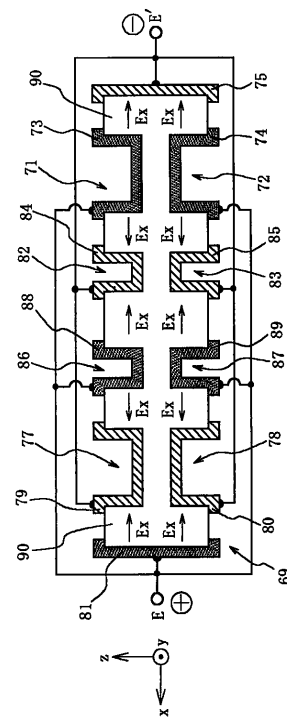
【図 4】



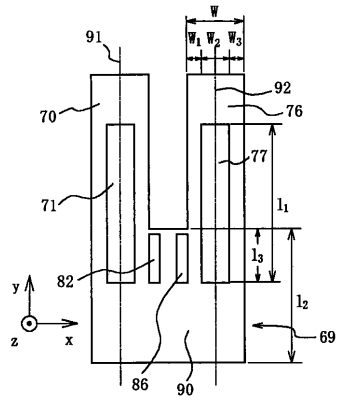
【図 5】



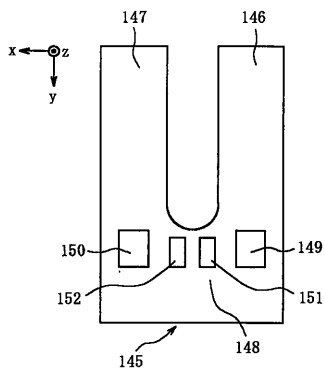
【図 6】



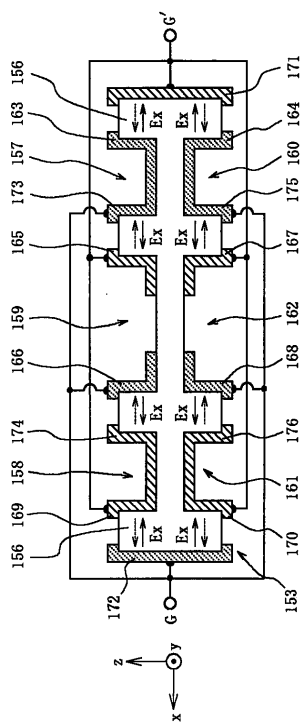
【図 7】



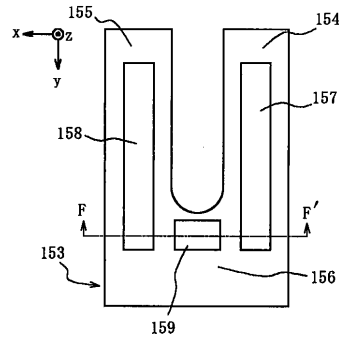
【図 8】



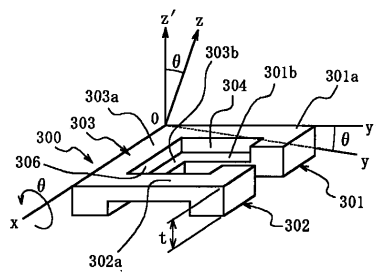
【図 10】



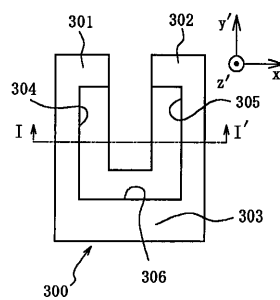
【図 9】



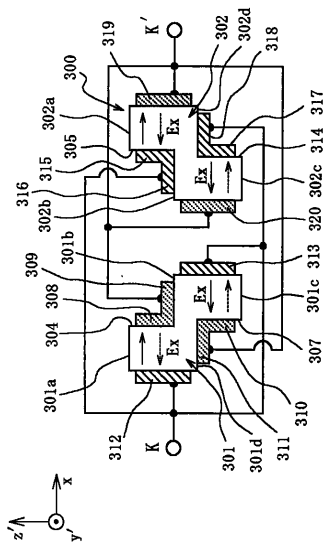
【図 11】



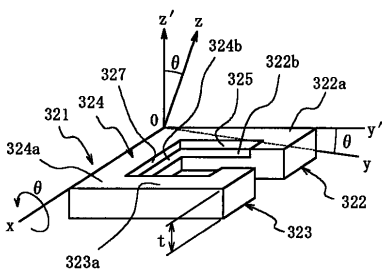
【図 12】



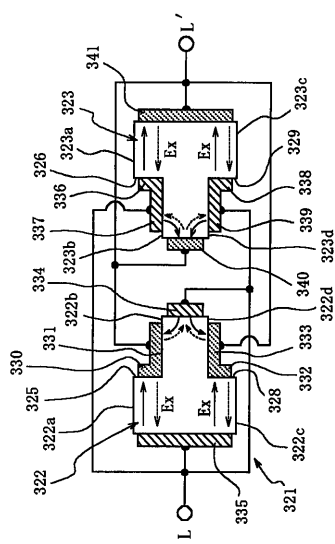
【図 13】



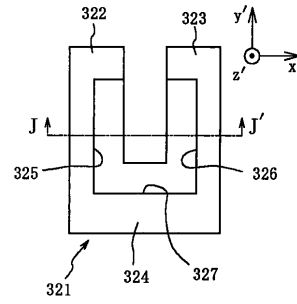
【図 14】



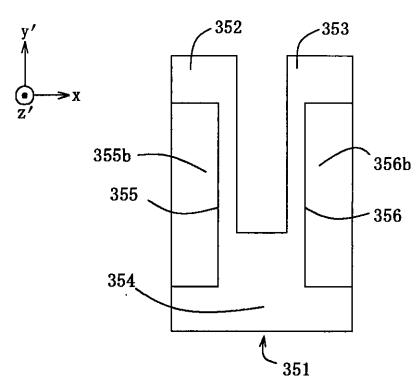
【図 16】



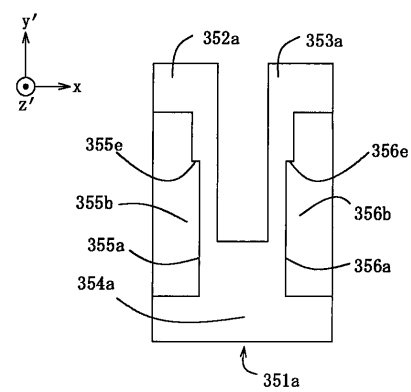
【図 15】



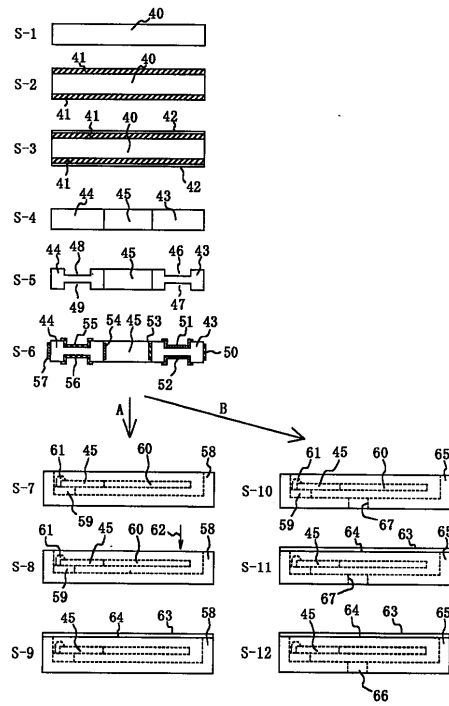
【図 17】



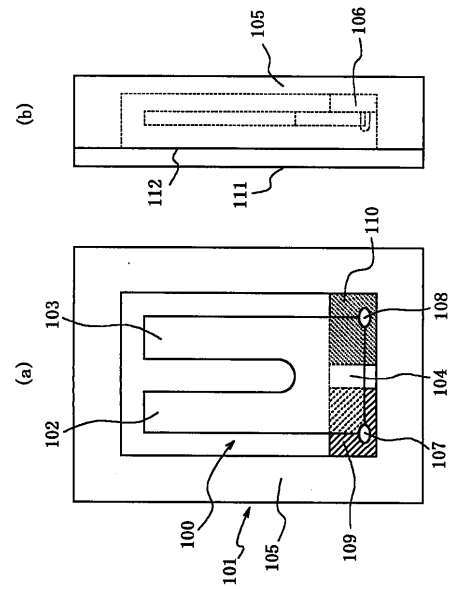
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2001-85963(JP,A)
特開昭56-65517(JP,A)
特開昭53-20845(JP,A)
特開昭53-35462(JP,A)
特開平10-256868(JP,A)
国際公開第00/44092(WO,A1)
特開昭57-7613(JP,A)
特開昭54-16996(JP,A)
国際公開第00/5812(WO,A1)
特開平10-294631(JP,A)
特開2000-4138(JP,A)
特開2001-156584(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H03H3/02