(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第6884981号
(P6884981)
(45)発行日　令和3年6月9日(2021.6.9)　(24)登録日　令和3年5月17日(2021.5.17)

(51)Int.Cl.　F I
H03H 9/19 (2006.01)　H03H 9/19 J
H03H 9/215 (2006.01)　H03H 9/215

請求項の数 22　(全 37 頁)

(21)出願番号　特願2015-233769(P2015-233769)
(22)出願日　平成27年11月30日(2015.11.30)
(65)公開番号　特開2016-213807(P2016-213807A)
(43)公開日　平成28年12月15日(2016.12.15)
審査請求日　平成30年11月30日(2018.11.30)
(31)優先権主張番号　特願2015-91592(P2015-91592)
(32)優先日　平成27年4月28日(2015.4.28)
(33)優先権主張国・地域又は機関
日本国(JP)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目１番６号
(74)代理人　100091292
弁理士　増田　達哉
(74)代理人　100091627
弁理士　朝比　一夫
(72)発明者　山田　明法
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
(72)発明者　吉田　周平
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】振動子、発振器、リアルタイムクロック、電子機器および移動体

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
基部および前記基部と連結している一対の振動腕を含む振動片と、
前記振動片が取り付けられているベースと、
を含み、
ｎを３以上の自然数のうちの１つ、
ｊを１以上であって前記ｎ以下の自然数としたとき、
前記振動片は、互いに異なる共振周波数を有する前記ｎ個の固有振動モードを有し、
前記ｎ個の固有振動モードのそれぞれに対応する共振周波数ωｊと任意の整数ｋｊとの関係において、
前記ｎ個の固有振動モードのうち前記振動片の主振動の共振周波数をω１としたとき、

$$\Delta\omega \equiv \left(\frac{\sum_{j=2}^{n} k_j \omega_j}{-k_1} - \omega_1 \right) / \omega_1$$

および、

$$|\Delta\omega| \geq 0.1$$

（但し、Δω＝（ω２－ω１）／ω１となる場合を除く）

の関係を満たし、
前記任意の整数ｋｊは、

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 10$$

および、

$$n \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j|$$

の関係を満たし、
前記固有振動モードは、
前記一対の振動腕が前記一対の振動腕が並ぶ第１方向に沿って互いに逆相で屈曲振動する第１方向逆相モード、
前記一対の振動腕が前記第１方向に沿って互いに同相で屈曲振動する第１方向同相モード、
前記一対の振動腕が前記基部と前記振動腕とが並ぶ第２方向および前記第１方向と直交する第３方向に沿って互いに逆相で屈曲振動する第３方向逆相モード、
前記一対の振動腕が前記第３方向に沿って互いに同相で屈曲振動する第３方向同相モード、
前記一対の振動腕がそれぞれの振動腕の前記第１方向および前記第３方向に沿った断面の中心を通り、前記第１方向に沿った仮想中心線を回転軸として互いに逆相で捩じれる捩り逆相モード、
前記一対の振動腕が前記仮想中心線を回転軸として互いに同相で捩じれる捩り同相モード、
のうちの少なくとも２つと、
前記第１方向逆相モードの２次モード、前記第１方向同相モードの２次モード、前記第３方向逆相モードの２次モード、前記第３方向同相モードの２次モード、前記捩り逆相モードの２次モードおよび前記捩り同相モードの２次モード、
のうちの少なくとも１つとを含んでいることを特徴とする振動子。
【請求項２】
請求項１において、

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 6$$

の関係を満たすことを特徴とする振動子。
【請求項３】
請求項２において、

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 4$$

の関係を満たすことを特徴とする振動子。
【請求項４】
請求項１ないし３のいずれか１項において、
前記主振動が前記第１方向逆相モードであることを特徴とする振動子。

【請求項５】
請求項１ないし４のいずれか１項において、
前記振動腕は、平面視で、
錘部と、
前記錘部と前記基部の間に配置されている腕部と、
を含み、
前記振動腕の延在方向に沿う長さをＬとしたとき、
Ｌ≦０．９［ｍｍ］
の関係を満足し、
前記腕部の厚さをＴとしたとき、
５０［μｍ］≦Ｔ≦１５０［μｍ］
の関係を満足し、
前記腕部の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿う幅をＷとしたとき、
Ｗ≦６０［μｍ］
の関係を満足し、
前記錘部の前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向に沿う長さをＬ’としたとき、
Ｌ’／Ｌ≦０．５
の関係を満足し、
前記錘部の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿う幅をＷ”としたとき、
Ｌ’＜Ｗ”
の関係を満足していることを特徴とする振動子。
【請求項６】
請求項１ないし４のいずれか１項において、
前記振動腕は、平面視で、
錘部と、
前記錘部と前記基部の間に配置されている腕部と、
を含み、
前記腕部は、前記一対の振動腕が並ぶ方向および前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向を含む平面に沿った互いに表裏の関係にある第１の主面および第２の主面の少なくとも一つの主面側に溝部が設けられ、
前記腕部の厚さをＴとし、
前記溝部の深さをＴ’としたとき、
０．８Ｔ≦Ｔ’≦０．９８Ｔ
の関係を満足していることを特徴とする振動子。
【請求項７】
請求項５において、
前記腕部は、前記一対の振動腕が並ぶ方向および前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向を含む平面に沿った互いに表裏の関係にある第１の主面および第２の主面の少なくとも一つの主面側に溝部が設けられ、
前記溝部の深さをＴ’としたとき、
０．８Ｔ≦Ｔ’≦０．９８Ｔ
の関係を満足していることを特徴とする振動子。
【請求項８】
請求項６または７において、
前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向を第２方向としたとき、
平面視で、前記腕部の前記一つの主面の前記第２方向に沿った外縁と前記溝部との間の部分の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿った幅をＷ’としたとき、
Ｗ’≦６［μｍ］
の関係を満足していることを特徴とする振動子。
【請求項９】

請求項１において、
前記主振動の振動周波数をｆ［Ｈｚ］としたとき、１×１０^{3}［Ｈｚ］≦ｆ＜１×１０^{6}［Ｈｚ］の関係を満たし、
かつ、
前記振動子のＱが、

$$Q \geq \frac{\rho C_p}{c\alpha^2\Theta} \times \frac{1+\left(\frac{f}{f0_{max}}\right)^2}{\frac{f}{f0_{max}}}$$

の関係を満たすことを特徴とする振動子。
ただし、

$$f0_{max} = \frac{\pi k}{2\rho C_p {W_{emin}}^2}$$

$$W_{emin} = C(AL + B)$$

Ａ＝７．３６９０×１０$^{-2}$
Ｂ＝１．２５４４×１０$^{-5}$
Ｃ＝１．１～１．３
Ｌ［ｍ］は、前記振動腕の延在方向に関する長さ
ρ［ｋｇ／ｍ^{3}］は、前記振動腕の質量密度
Ｃｐ［Ｊ／（ｋｇ・Ｋ）］は、前記振動腕の熱容量
ｃ［Ｎ／ｍ^{2}］は、前記振動腕の延在方向に関する弾性定数
α［１／Ｋ］は、前記振動腕の延びる方向に関する熱膨張係数
Θ［Ｋ］は、環境温度
ｋ［Ｗ／（ｍ・ｋ）］は、前記振動腕の幅方向に関する熱伝導率
πは、円周率である。
【請求項１０】
請求項９において、

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 6$$

の関係を満たすことを特徴とする振動子。
【請求項１１】
請求項１０において、

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 4$$

の関係を満たすことを特徴とする振動子。
【請求項１２】
請求項９ないし１１のいずれか１項において、

前記主振動が前記第１方向逆相モードであることを特徴とする振動子。
【請求項１３】
請求項９ないし１２のいずれか１項において、
前記Ｌは、１８００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることを特徴とする振動子。
【請求項１４】
請求項９ないし１２のいずれか１項において、
前記Ｌは、１４００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることを特徴とする振動子。
【請求項１５】
請求項９ないし１２のいずれか１項において、
前記Ｌは、１０００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることを特徴とする振動子。
【請求項１６】
請求項９ないし１２のいずれか１項において、
前記Ｌは、８００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることを特徴とする振動子。
【請求項１７】
請求項９ないし１６のいずれか１項において、
前記ｆは、３１．７６８ｋＨｚ以上３３．７６８ｋＨｚ以下の２倍、４倍、８倍および１６倍のいずれかであることを特徴とする振動子。
【請求項１８】
請求項１ないし１７のいずれか１項において、
前記ｎは、３または４であることを特徴とする振動子。
【請求項１９】
請求項１ないし１８のいずれか１項に記載の振動子と、
発振回路と、
を含むことを特徴とする発振器。
【請求項２０】
請求項１ないし１８のいずれか１項に記載の振動子を備えていることを特徴とするリアルタイムクロック。
【請求項２１】
請求項１ないし１８のいずれか１項に記載の振動子を備えていることを特徴とする電子機器。
【請求項２２】
請求項１ないし１８のいずれか１項に記載の振動子を備えていることを特徴とする移動体。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、振動子、発振器、リアルタイムクロック、電子機器および移動体に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来から、水晶を用いた音叉型の振動素子が知られている。この振動素子は、基部と一対の振動腕とを有し、一対の振動腕が平面視で互いに接近と離間とを交互に繰り返す屈曲逆相モード（以下、Ｘ軸逆相モードと称す）を主振動として屈曲振動するように構成されている。また、このような振動素子の分野では、前記主振動の振動漏れ（弾性エネルギーが振動素子外部に漏洩する損失）を低減するための構成が種々開示されている。例えば、特許文献１では、基部の両側に切り欠きを形成することで主振動の振動漏れを低減している。また、特許文献２では、基部を枠状にして主振動の伝達経路を長くし、かつ、基部に主振動をキャンセルする振動相殺部を設けることで主振動の振動漏れを低減している。また、特許文献３では、基部から延出する支持部を設け、この支持部で振動素子を支持することで主振動の伝達経路を長くし、主振動の振動漏れを低減している。また、特許文献４

では、主振動の共振周波数と、主振動以外の固有モード（不要振動モード）の共振周波数が１：１に近接した場合にモード間の結合が強くなるので、この結合を弱くして主振動の振動漏れを低減している。

【０００３】

以上のように、振動漏れを低減する発明が種々開示されているが、これらはいずれも純粋なＸ軸逆相モードの屈曲振動（主振動そのもの）の振動漏れを低減する発明、あるいは不要振動モードが１つに限定された上で、主振動と不要振動の共振周波数が１：１近傍となる結合に関する発明であり、主振動以外の固有モード（不要振動モード）との内部共振、特に、複数の不要振動モードに起因した主振動の振動漏れ、また、単数の不要振動モードとの共振周波数比が１となる条件近傍以外の内部共振に起因した主振動の振動漏れについては記載されていない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】特開２００２－２６１５７５号公報

【特許文献２】特開２００５－２３６５６３号公報

【特許文献３】特開２００２－１４１７７０号公報

【特許文献４】特開２０１５－１４９５９２号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

本発明の目的は、不要振動モードが主振動と内部共振し、主振動のエネルギーが不要振動モードを介して漏洩することを低減するこのできる振動子、発振器、リアルタイムクロック、電子機器および移動体を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の適用例として実現することが可能である。

【０００７】

本適用例の振動子は、基部および前記基部と連結している一対の振動腕を含む振動片と、

前記振動片が取り付けられているベースと、

を含み、

ｎを２以上の自然数のうちの１つ、

ｊを１以上であって前記ｎ以下の自然数としたとき、

前記振動片は、互いに異なる共振周波数を有する前記ｎ個の固有振動モードを有し、

前記ｎ個の固有振動モードのそれぞれに対応する共振周波数ω_jと任意の整数k_jとの関係において、

前記ｎ個の固有振動モードのうち前記振動片の主振動の共振周波数をω_1としたとき、

【数１】

$$\Delta\omega \equiv \left(\frac{\sum_{j=2}^{n} k_j \omega_j}{-k_1} - \omega_1 \right) / \omega_1$$

および、

【数２】

$$|\Delta\omega| \geq 0.1$$

の関係を満たし、

前記任意の整数k_jは、

【数３】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 10$$

および、

【数４】

$$n \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j|$$

の関係を満たすことを特徴とする。

これにより、主振動以外の固有モードとの内部共振に起因した主振動の振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【０００８】

本適用例の振動子では、

前記主振動の振動周波数をｆ［Ｈｚ］としたとき、１×１０^{3}［Ｈｚ］≦ｆ＜１×１０^{6}［Ｈｚ］の関係を満たし、

かつ、

前記振動子のＱが、

【数５】

$$Q \geq \frac{\rho C_p}{c\alpha^2\Theta} \times \frac{1+\left(\frac{f}{f0_{max}}\right)^2}{\frac{f}{f0_{max}}}$$

の関係を満たすことが好ましい。

ただし、

【数６】

$$f0_{max} = \frac{\pi k}{2\rho C_p {W_{emin}}^2}$$

【数７】

$$W_{emin} = C(AL + B)$$

Ａ＝７．３６９０×１０$^{-2}$

Ｂ＝１．２５４４×１０$^{-5}$

Ｃ＝１．１～１．３

Ｌ［ｍ］は、前記振動腕の延在方向に関する長さ

ρ［ｋｇ／ｍ^{3}］は、前記振動腕の質量密度

Ｃｐ［Ｊ／（ｋｇ・Ｋ）］は、前記振動腕の熱容量

ｃ［Ｎ／ｍ^{2}］は、前記振動腕の延在方向に関する弾性定数

α［１／Ｋ］は、前記振動腕の延びる方向に関する熱膨張係数

Θ［Ｋ］は、環境温度

ｋ［Ｗ／（ｍ・ｋ）］は、前記振動腕の幅方向に関する熱伝導率

πは、円周率である。
これにより、小型で、Q値の高い振動片となる。
【０００９】
本適用例の振動子では、
【数８】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 6$$

の関係を満たすことが好ましい。
これにより、低次の非線形性が顕著に現れる振動片においても主振動と他の固有モードとの結合が生じ難く、振動漏れを小さくできる。
【００１０】
本適用例の振動子では、
【数９】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 4$$

の関係を満たすことが好ましい。
これにより、低次の非線形性が顕著に現れる振動片においても主振動と他の固有モードとの結合が生じ難く、振動漏れを小さくできる。
【００１１】
本適用例の振動子では、前記固有モードは、
前記一対の振動腕が前記一対の振動腕が並ぶ第１方向に沿って互いに逆相で屈曲振動する第１方向逆相モード、
前記一対の振動腕が前記第１方向に沿って互いに同相で屈曲振動する第１方向同相モード、
前記一対の振動腕が前記基部と前記振動腕とが並ぶ第２方向および前記第１方向と直交する第３方向に沿って互いに逆相で屈曲振動する第３方向逆相モード、
前記一対の振動腕が前記第３方向に沿って互いに同相で屈曲振動する第３方向同相モード、
前記一対の振動腕がそれぞれの振動腕の前記第１方向および前記第３方向に沿った断面の中心を通り、前記第１方向に沿った仮想中心線を回転軸として互いに逆相で捩じれる捩り逆相モード、
前記一対の振動腕が前記仮想中心線を回転軸として互いに同相で捩じれる捩り同相モード、
前記第２方向逆相モードの高次モード、前記第２方向同相モードの高次モード、前記第３方向逆相モードの高次モード、前記第３方向同相モードの高次モード、前記捩り逆相モードの高次モードおよび前記捩り同相モードの高次モード、
のうちの少なくとも２つを含んでいることが好ましい。
これにより、振動腕以外の部位の振動が低減されるため、振動漏れの小さい振動子となる。
【００１２】
本適用例の振動子では、前記捩り同相モード、前記第１方向逆相モード、前記第１方向同相モード、前記第３方向逆相モード、前記第３方向同相モード、前記捩り逆相モードおよび前記捩り同相モードの各々の高次モードの次数は、２次であることが好ましい。
高次モードは、次数が小さい程、主振動への影響が大きいため、本発明による効果がよ

り大きくなる。

【００１３】

本適用例の振動子では、前記主振動が前記第１方向逆相モードであることが好ましい。

これにより、高いＱ値を実現でき、ＣＩ値の小さな振動子となる。

【００１４】

本適用例の振動子では、前記高次モードは、前記第１方向逆相モード、前記第１方向同相モード、前記第３方向逆相モード、前記第３方向同相モードの２次モードのうち少なくとも１つを含むことが好ましい。

このような固有モードは、高次モードの中でも共振周波数が低く、特に、主振動（第１方向逆相モード）に結合し易い振動である。そのため、本発明による効果がより大きくなる。

【００１５】

本適用例の振動子では、前記振動腕は、平面視で、

錘部と、

前記錘部と前記基部の間に配置されている腕部と、

を含み、

前記腕部の前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向に沿う長さをＬとしたとき、

Ｌ≦０．９ｍｍ

の関係を満足し、

前記腕部の厚さをＴとしたとき、

５０μｍ≦Ｔ≦１５０μｍ

の関係を満足し、

前記腕部の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿う幅をＷとしたとき、

Ｗ≦６０μｍ

の関係を満足し、

前記錘部の前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向に沿う長さをＬ’としたとき、

Ｌ’／Ｌ≦０．５

の関係を満足し、

前記錘部の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿う幅をＷ”としたとき、

Ｌ’＜Ｗ”

の関係を満足していることが好ましい。

これにより、比較的小型の振動片となり、振動片の形状から対称性が失われて非線形性が増大し易くなる。

【００１６】

本適用例の振動子では、前記振動腕は、前記一対の振動腕が並ぶ方向および前記基部と前記振動腕とが並ぶ方向を含む平面に沿った互いに表裏の関係にある第１の主面および第２の主面の少なくとも一つの主面側に溝部が設けられ、

前記溝部の深さをＴ’としたとき、

０．８Ｔ≦Ｔ’≦０．９８Ｔ

の関係を満足していることが好ましい。

これにより、熱弾性損失を低減でき、Ｑ値を向上させることができる。

【００１７】

本適用例の振動子では、平面視で、前記振動腕の前記一つの主面の前記第２方向に沿った外縁と前記溝部との間の部分の前記一対の振動腕が並ぶ方向に沿った幅をＷ’としたとき、

Ｗ’≦６μｍ

の関係を満足していることが好ましい。

これにより、振動腕を対称的に形成することが難しくなる。

【００１８】

本適用例の振動子では、前記Ｌは、１８００×１０^{-6}［ｍ］以下であることが好まし

い。
これにより、振動子の小型化を図ることができる。
【００１９】
本適用例の振動子では、前記Ｌは、１４００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることが好ましい。
これにより、振動子の小型化を図ることができる。
【００２０】
本適用例の振動子では、前記Ｌは、１０００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることが好ましい。
これにより、振動子の小型化を図ることができる。
【００２１】
本適用例の振動子では、前記Ｌは、８００×１０$^{-6}$［ｍ］以下であることが好ましい。
これにより、振動子の小型化を図ることができる。
【００２２】
本適用例の振動子では、前記ｆは、３２．７６８±１ｋＨｚの２倍、４倍、８倍および１６倍のいずれかであることが好ましい。
これにより、分周することで３２．７６８ｋＨｚの信号を比較的容易に得ることができる。
【００２３】
本適用例の振動子では、前記ｎは、２、３、４のいずれかであることが好ましい。
ｎが小さい程、非線形性が大きく発現していない場合においても、主振動と主振動以外の固有モードとが結合し易いため、本発明の効果がより顕著になる。
【００２４】
本適用例の発振器は、上記適用例の振動子と、
発振回路と、
を含むことを特徴とする。
これにより、信頼性の高い発振器が得られる。
【００２５】
本適用例のリアルタイムクロックは、上記適用例の振動子を備えていることを特徴とする。
これにより、信頼性の高いリアルタイムクロックが得られる。
【００２６】
本適用例の電子機器は、上記適用例の振動子を備えていることを特徴とする。
これにより、信頼性の高い電子機器が得られる。
【００２７】
本適用例の移動体は、上記適用例の振動子を備えていることを特徴とする。
これにより、信頼性の高い移動体が得られる。
【図面の簡単な説明】
【００２８】
【図１】本発明の第１実施形態に係る振動子を示す平面図である。
【図２】図１中のＡ－Ａ線断面図である。
【図３】図１中のＢ－Ｂ線断面図である。
【図４】振動片の固有振動モードを示す平面図である。
【図５】ΔωとＱ値の関係を示すグラフである。
【図６】本発明の第２実施形態に係る振動子が有する振動片の平面図である。
【図７】図６中のＣ－Ｃ線断面図である。
【図８】本発明の第３実施形態に係る振動子が有する振動片の平面図である。
【図９】図８に示す振動片の作動を説明する図である。
【図１０】本発明の第４実施形態に係る振動子の平面図である。

【図１１】Δωと温度の関係を示すグラフである。
【図１２】ＣＩ上昇率と温度の関係を示すグラフである。
【図１３】ＣＩと温度の関係を示すグラフである。
【図１４】振動腕の長さと振動腕の幅の関係を示すグラフである。
【図１５】本発明の第５実施形態に係る発振器を示す断面図である。
【図１６】本発明の第６実施形態に係るリアルタイムクロックの機能ブロック図である。
【図１７】電子機器としてのパーソナルコンピューターを示す斜視図である。
【図１８】電子機器としての携帯電話機を示す斜視図である。
【図１９】電子機器としてのデジタルスチールカメラを示す斜視図である。
【図２０】移動体としての自動車を示す斜視図である。
【発明を実施するための形態】
【００２９】
以下、本発明の振動子、発振器、リアルタイムクロック、電子機器および移動体を図面に示す好適な実施形態に基づいて詳細に説明する。
【００３０】
＜第１実施形態＞
まず、本発明の第１実施形態に係る振動子について説明する。
【００３１】
図１は、本発明の第１実施形態に係る振動子を示す平面図である。図２は、図１中のＡ－Ａ線断面図である。図３は、図１中のＢ－Ｂ線断面図である。図４は、振動片の固有振動モードを示す平面図である。図５は、ΔωとＱ値の関係を示すグラフである。
【００３２】
図１および図２に示す振動子１は、パッケージ９と、パッケージ９に収容されている振動片２と、を有している。
【００３３】
以下、パッケージ９および振動片２について順次説明する。
（パッケージ９）
パッケージ９は、図１および図２に示すように、上面に開放する凹部９１１を有する箱状のベース９１と、凹部９１１の開口を塞いでベース９１に接合された板状のリッド９２と、を有している。このようなパッケージ９は、凹部９１１がリッド９２で塞がれることにより形成された気密的な収容空間Ｓを有しており、この収容空間Ｓに振動片２が収容されている。なお、収容空間Ｓ内は、減圧（好ましくは真空）状態となっているのが好ましい。これにより、振動片２の粘性抵抗を低減することができ、振動片２の振動特性が向上する。
【００３４】
また、ベース９１の凹部９１１の底面には、内部端子９５１、９５２が形成されている。また、ベース９１の底面には、外部端子９６１、９６２が形成されている。そして、内部端子９５１と外部端子９６１、および、内部端子９５２と外部端子９６２は、それぞれ、ベース９１に配置された図示しない内部配線を介して電気的に接続されている。また、内部端子９５１、９５２には、導電性接着材（固定部材）９７１、９７２が設けられており、この導電性接着材９７１、９７２を介して振動片２がベース９１に固定されていると共に、内部端子９５１、９５２と電気的に接続されている。
【００３５】
（振動片２）
図１、図２および図３に示すように、振動片２は、振動基板３と、振動基板３上に形成された電極と、を有している。なお、説明の便宜上、図１では、電極の図示を省略している。
【００３６】
振動基板３は、Ｚカット水晶板をパターニングして形成されている。Ｚカット水晶板とは、水晶の結晶軸であるＺ軸（光学軸）を厚さ方向とする水晶基板である。なお、Ｚ軸は

、振動基板３の厚さ方向と一致しているのが好ましいが、常温近傍における周波数温度変化を小さくする観点から、厚さ方向に対して若干（例えば、±１５°未満程度）傾いていてもよい。また、以下では、各図に示すように、水晶の電気軸をＸ軸とし、水晶の機械軸をＹ軸とする。

【００３７】

図１に示すように、振動基板３は、基部３１と、基部３１に長手方向の一端が連結し、長手方向がＹ軸方向（第２方向）に沿って配置され、Ｘ軸方向（第１方向）に沿って並んでいる一対の振動腕３２、３３と、基部３１に連結している支持部３４と、を有している。基部３１は、ＸＹ平面に広がりを有し、Ｚ軸方向に厚さを有する板状をなしている。また、振動腕３２、３３は、Ｘ軸方向（第１方向）に並び、かつ、互いに平行となるように基部３１の＋Ｙ軸側の端部から＋Ｙ軸方向に延出している。

【００３８】

また、図１に示すように、振動腕３２は、基部３１から延出する腕部３２Ａと、腕部３２Ａの先端側に設けられ、腕部３２Ａよりも幅広の錘部３２Ｂと、を有している。同様に、振動腕３３は、基部３１から延出する腕部３３Ａと、腕部３３Ａの先端側に設けられ、腕部３３Ａよりも幅広の錘部３３Ｂと、を有している。

【００３９】

また、振動腕３２は、上面（＋Ｚ軸側の主面）に開放する有底の溝部３２１と、下面（－Ｚ軸側の主面）に開放する有底の溝部３２２と、を有している。同様に、振動腕３３は、上面に開放する有底の溝部３３１と、下面に開放する有底の溝部３３２と、を有している。このように、振動腕３２、３３に溝部を設けることで、断熱的領域において、熱弾性損失を低減することができ、Ｑ値を向上させることができる。なお、溝部３２１、３２２（溝部３３１、３３２）の深さの合計Ｔ’は、特に限定されないが、０．８Ｔ≦Ｔ’≦０．９８Ｔの関係を満足することが好ましい。これにより、上記の効果がより顕著なものとなる。

【００４０】

また、支持部３４は、基部３１の－Ｙ軸側の端部から－Ｙ軸側へ延出するように設けられており、さらには、折り返して＋Ｙ軸側へ延在している一対の支持腕３４１、３４２を有している。そして、これら一対の支持腕３４１、３４２の間に基部３１および振動腕３２、３３の基端側が位置している。

【００４１】

また、電極は、第１駆動電極４１１および第１駆動端子４１２と、第２駆動電極４２１および第２駆動端子４２２と、を有している。第１駆動電極４１１は、振動腕３２の上下面（溝部３２１、３２２の内面）と振動腕３３の両側面に配置されており、第２駆動電極４２１は、振動腕３２の両側面と振動腕３３の上下面（溝部３３１、３３２の内面）に配置されている。

【００４２】

また、第１駆動端子４１２は、支持腕３４１に配置されており、第１駆動電極４１１と電気的に接続されている。同様に、第２駆動端子４２２は、支持腕３４２に配置されており、第２駆動電極４２１と電気的に接続されている。また、第１駆動端子４１２は、導電性接着材９７１と接触しており、第２駆動端子４２２は、導電性接着材９７２と接触している。これにより、外部端子９６１と第１駆動電極４１１とが電気的に接続され、外部端子９６２と第２駆動電極４２１とが電気的に接続された状態となる。

【００４３】

このような振動片２では、外部端子９６１、９６２を介して、第１、第２駆動電極４１１、４２１間に交番電圧を印加すると、図４（ａ）に示すように、振動腕３２、３３がＸ軸方向に逆相で（互いに接近、離間を繰り返すように）屈曲振動する。なお、この振動モードは「Ｘ軸逆相モード（第１方向逆相モード）」とも言い、振動片２の主振動となる振動モード（固有振動モード）である。

【００４４】

なお、振動片２の形状としては、これに限定されず、例えば、支持部３４を省略してもよい。この場合には、第１駆動端子４１２および第２駆動端子４２２は、それぞれ、基部３１に設ければよい。また、振動腕３２、３３は、錘部３２Ｂ、３３Ｂを有していなくてもよいし、錘部３２Ｂ、３３Ｂは、腕部３２Ａ、３３Ａよりも幅広になっていなくてもよい。

【００４５】

以上、振動片２について簡単にその構成を説明した。次に、本発明の特徴でもある、上述した主振動のＸ軸逆相モードと、それ以外の不要振動モードとの関係について説明する。

【００４６】

まず、不要振動モードについて説明する。振動片２は、上述した主振動（Ｘ軸逆相モード）の他にも、温度に対して不安定であって振動漏れが小さくなるように設計されていない（あるいは小さくすることが困難な）固有振動モード（不要振動モード）を有している。この不要振動モードの共振周波数が主振動の共振周波数と後述する関係を有していると、不要振動モードが主振動と内部共振し、主振動のエネルギーが不要振動モードを介して外部に漏洩してしまう。そのため、主振動のＱ値が劣化、それに伴う主振動のＣＩ値の上昇、さらに主振動の共振周波数が安定しない等、振動特性が悪化する。

【００４７】

このような不要振動モードとしては、主振動以外の固有振動モードであれば、特に限定されないが、例えば、少なくとも、Ｘ軸同相モード（第１方向同相モード）、Ｚ軸逆相モード（第３方向逆相モード）、Ｚ軸同相モード（第３方向同相モード）、捩り逆相モード、捩り同相モードおよびこれら各モードの高次モードのうちの１つを含んでいる。なお、各モードの次数としては、特に限定されないが、２次であることが好ましい。高次モードは、次数が小さい程、主振動に結合し易い傾向にあるため、不要振動として２次モードを有することで、以下に述べる本発明の効果がより顕著なものとなる。また、不要振動として、高次モードの中でも、Ｘ軸逆相モード、Ｘ軸同相モード、Ｚ軸逆相モード、Ｚ軸同相モードのそれぞれの２次モードのうち少なくとも１つを含んでいることが好ましい。これらのモードは、２次モードの中でも共振周波数が低く、さらに主振動に結合し易い傾向にあるため、不要振動としてこれら２次モードを有することで、以下に述べる本発明の効果がより顕著なものとなる。

【００４８】

なお、Ｘ軸同相モードとは、図４（ｂ）に示すように、振動腕３２、３３がＸ軸方向に同相で（互いに同じ方向に）屈曲振動する固有モードであり、Ｚ軸逆相モードとは、図４（ｃ）に示すように、振動腕３２、３３がＺ軸方向に逆相で屈曲振動する固有モードであり、Ｚ軸同相モードとは、図４（ｄ）に示すように、振動腕３２、３３がＺ軸方向（第３方向）に同相で屈曲振動する固有モードであり、捩り逆相モードとは、図４（ｅ）に示すように、振動腕３２、３３がその軸（振動腕３２、３３のＸ軸方向およびＺ軸方向に沿った断面の中心を通り、Ｙ軸方向に沿った仮想中心線）まわりに逆相で捩じれる固有モードであり、捩り同相モードとは、図４（ｆ）に示すように、振動腕３２、３３がその軸まわりに同相で捩じれる固有モードである。なお、図中の矢印や「○」中に「・」および「○」中に「×」は、振動腕の変位方向を示し（「○」中に「・」は紙面手前方向、「○」中に「×」は紙面奥方向）、実線と破線、あるいは括弧の有無により、交互に繰り返されることを示している。

【００４９】

次に、主振動（Ｘ軸逆相モード）の共振周波数と上記の不要振動モードの共振周波数との関係について説明する。

【００５０】

振動片２がｎ個（ただし、ｎは２以上の自然数）の固有振動モード、すなわち、主振動であるＸ軸逆相モードと少なくとも１つの不要振動モードとを有し、それぞれの固有振動モードの共振周波数をω_jとし、任意の整数をk_j（ただし、k_jの２つ以上は０でなく

（≠０）、かつ、$k_1 \neq 0$）とし、共振周波数ω_jのうちでも主振動の共振周波数をω_1（すなわち、ｊ＝１）としたとき、下記式（１）および下記式（２）を満足する。

【００５１】

【数１０】

$$\Delta\omega \equiv \left(\frac{\sum_{j=2}^{n} k_j \omega_j}{-k_1} - \omega_1 \right) / \omega_1 \cdots\cdots(1)$$

【００５２】

【数１１】

$$|\Delta\omega| \geq 0.1 \cdots\cdots(2)$$

【００５３】

さらに、整数k_jと自然数ｎは、下記式（３）および式（４）を満足する。

【００５４】

【数１２】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 10 \cdots\cdots(3)$$

【００５５】

【数１３】

$$n \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \cdots\cdots(4)$$

【００５６】

上記式（２）を満足することで、不要振動モードが主振動と内部共振し、主振動のエネルギーが不要振動モードを介して漏洩してしまうことを低減することができる。したがって、振動漏れが少なく、優れた振動特性を発揮することのできる振動片２（振動子１）となる。以下、この理由について説明する。

【００５７】

まず、内部共振が発生する条件について説明する。内部共振が発生するには、振動片２が複数の固有振動モード、すなわち、主振動であるＸ軸逆相モードと少なくとも１つの不要振動モードとを有していることが必要である（条件Ａ１）。さらには、下記式（５）を満足する必要もある（条件Ａ２）。ここで、下記式（５）の「　」の表現は、下記式（５）の左辺が厳密に零でなくても多少の内部共振が発生してしまう許容量が存在することを意味している。なお、それぞれの固有振動モードの共振周波数をω_nとしたとき、少なくとも、$\omega_i > 0$の関係を満足している。また、ｎは２以上の自然数である。ただし、式（５）中のk_1、k_2、…、k_i、…、k_nは、整数であり、これらのうちの少なくとも２つは、０でない（≠０）。また、ｉは、１以上、ｎ以下の自然数である。

【００５８】

【数１４】

$$k_1\omega_1 + k_2\omega_2 + \cdots\cdots + k_i\omega_i + \cdots\cdots + k_n\omega_n \fallingdotseq 0 \quad \cdots\cdots(5)$$

【００５９】

また、主振動を励振する電気信号の周波数Ω（＞０）が、主振動の共振周波数ω_1とほぼ等しいことが必要である。すなわち、Ω　ω_1の関係を満足することが必要である（条件Ａ３）。ここで「ほぼ等しい」としたのは、例えば圧電性を有する構造体が、電気的に開放された状態で振動する際の共振周波数は、電気的に励振された共振周波数と若干の差があるためであるが、以下では「ほぼ等しい」ではなく「等しい」と表現して同一視する。また、外部から機械的に加振されて振動する際の主振動モードや不要振動モードの共振周波数に関しても、本発明ではそれぞれの固有振動モードの共振周波数と同一視する。これは、式（２）や式（１２）と比較しても、差が十分に小さい為である。なお、主振動モードや不要振動モードの共振周波数は、パッケージ９からリッド９２が取り除かれた状態で、ヘテロダイン干渉法などによって測定することができる。この際、各振動モードの振動変位が過大とならないようにすれば、パッケージ９の内部を大気状態にしたまま測定を行っても、減圧した状態での測定とは誤差が十分に小さいことが発明者らによって確認されている。

【００６０】

以上の条件Ａ１、Ａ２、Ａ３の全てを満足することで内部共振が発生する。そのため、内部共振を低減するには、条件Ａ１、Ａ２、Ａ３のうちの少なくとも１つを満足しなければよい。そして、振動片２は、条件Ａ２を満足しないように構成されている。すなわち、振動片２は、上記式（５）の替りに、下記式（６）を満足している。

【００６１】

【数１５】

$$k_1\omega_1 + k_2\omega_2 + \cdots\cdots + k_i\omega_i + \cdots\cdots + k_n\omega_n \neq 0 \quad \cdots\cdots(6)$$

【００６２】

次に、上記式（５）の「　」の表現に含有しておいた許容量を規定する。主振動近傍の仮想的な共振周波数をω_1’とすると、ω_1’は、下記式（７）で定義することができる。

【００６３】

【数１６】

$$\omega_1' \equiv \frac{k_2\omega_2 + k_3\omega_3 + \cdots\cdots + k_n\omega_n}{-k_1} \quad \cdots\cdots(7)$$

【００６４】

これは、主振動以外の固有振動の共振周波数から算出され、ω_1’とω_1が等しい時に最も強い内部共振が発生する、仮想的な共振周波数である。

【００６５】

そして、主振動近傍の仮想的な共振周波数ω_1’と主振動の共振周波数ω_1との差を主振動の共振周波数ω_1で規格化した値をΔωとすると、これは上述した許容量であって、Δωは、下記式（８）で表すことができる。

【００６６】

【数１７】

$$\Delta\omega = \frac{\omega_1' - \omega_1}{\omega_1} \quad \cdots\cdots(8)$$

【００６７】

そして、上記式（８）に式（７）を代入すると、下記式（９）となる。

【００６８】

【数１８】

$$\Delta\omega \equiv \left(\frac{k_2\omega_2 + k_3\omega_3 + \cdots\cdots + k_n\omega_n}{-k_1} - \omega_1 \right) / \omega_1 \quad \cdots\cdots(9)$$

【００６９】

そして、上記式（９）を整理すれば上記式（１）が得られる。したがって、上記式（１）を満足することで、内部共振が低減された振動片２となる。ここで、前述したように、式（５）中のk_1、k_2、…、k_i、…、k_nは、整数であり、これらのうちの少なくとも２つは、０でない。そして、この０でないｋ（k_mとする）を係数とする共振周波数ω_mは、主振動の振動方向であるＸ軸と直交するＺ軸方向を変位方向する不要振動モード、すなわち、Ｚ軸同相モードまたはＺ軸逆相モードの共振周波数とほぼ等しいことが好ましい。言い換えると、振動片２は、Ｚ軸同相モードまたはＺ軸逆相モードを不要振動モードとして有していることが好ましい。また、これらの高次モードを含むことが好ましいが、特に最低次モード、あるいは、２次モードを含むことが好ましい。このような不要振動モードは、他の不要振動モードの中でも、特に、主振動に結合し易い振動である。そのため、式（１）を満たすことによる効果がより大きくなる。

【００７０】

また、振動片２は、主振動の共振周波数の１０倍以下の共振周波数を有する不要振動モードを有していることが好ましく、３倍以下の共振周波数を有する不要振動モードを有していることがより好ましい。このような周波数の不要振動モードは、他の不要振動モードよりも、主振動と強く結合するおそれがある。そのため、式（１）を満たすことによる効果がより大きくなる。

【００７１】

また、振動子１は、主振動の共振周波数の３倍以下の共振周波数を有する不要モードすべてに対して上記式（２）を満足していることが好ましく、１０倍以下の共振周波数を有する不要モードすべてに対して上記式（２）を満足していることがより好ましい。こうすることによって、主振動と強く結合し易い不要モードとの内部共振が発生するおそれを劇的に低減することができる。

【００７２】

また、主振動モードの共振周波数よりも低周波の共振周波数を有する不要振動モードを有していることが好ましい。即ち、主振動モードの共振周波数ω_1に対して$\omega_1 > \omega_2$の関係を満足する共振周波数ω_2を有する不要振動モードを有していることが好ましい。これは、不要振動モードの中でも特に、主振動モードよりも低周波の共振周波数を有する不要振動モードが主振動と内部共振し易いためである。

【００７３】

なお、前述したように、振動片２では、さらに、上記式（３）を満足している。式（３）は、内部共振次数の限定を行っているものである。この内部共振次数は、非線形次数と関係があり、非線形次数が小さい条件程、非線形性が小さくても内部共振の影響が大きくなる。そのため、式（３）と式（２）とを満足することで、特に、内部共振の影響が大きい条件において、内部共振が発生するおそれを効果的に小さくすることができる。

【００７４】

なお、振動子１は、式（３）を満足していれば、特に限定されないが、下記式（１０）を満足するのがより好ましく、下記式（１１）を満足するのがさらに好ましい。これにより、低次の非線形性が顕著に現れる振動片２においても主振動と不要振動モードとの結合が生じ難く、不要振動モードを介した主振動の振動漏れを小さくすることができる。

【００７５】

【数１９】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 6 \quad \cdots\cdots(10)$$

【００７６】

【数２０】

$$3 \leq \sum_{j=1}^{n} |k_j| \leq 4 \quad \cdots\cdots(11)$$

【００７７】

また、ｎは、３以下であるのが好ましく、２であるのがより好ましい。ｎの値が小さい程、内部共振し易い傾向があり、本発明による効果が大きいためである。

【００７８】

また、振動子１では、前述したように、式（２）を満足している。｜Δω｜が０に近過ぎると、主振動との内部共振によって不要振動モードが発生し易くなるため、式（２）を満足することで、不要振動モードの発生を低減することができる。以下、このことについて簡単に説明する。また、以下では、説明の便宜上、不要振動モードがＸ軸同相モードである場合について代表して説明するが、Ｘ軸同相モード以外の不要振動モードであっても同様の関係を満足することが確認されている。

【００７９】

図５は、｜Δω｜とＱ値の関係を示すグラフである。ここでは、主振動モードがＸ軸逆相モードの共振周波数ω_1と、Ｘ軸同相モードの共振周波数ω_2とが１：１で近接する場合のΔω、すなわちΔω＝（$\omega_2-\omega_1$）／ω_1であって（$k_1=-1$、$k_2=1$）従来から知られている結合の実測値であるが、１：１以外の結合においても同様な効果を得ることを確認している。なお、図５では、Ｑ値をその最大値で規格化した指数を縦軸として示している（すなわち、指数の最大値は１となる）。また、図５は、振動腕３２、３３の長さＬが９３０μｍ、振動腕３２、３３の幅Ｗが６０μｍ、振動片２の全長が１１６０μｍ、全福が５２０μｍのサイズを有する振動片２を用いた実測値である。

【００８０】

このような図５から分かるように、式（２）を満足すれば、規格化した指数の最大値の６０％以上を発揮することができ、不要振動モードを十分に低減することができる。なお、振動子１は、式（２）を満足していれば、特に限定されないが、下記式（１２）を満足することがより好ましい。これにより、不要振動モードが主振動との内部共振によって発生することをさらに効果的に低減することができる。そのため、より効果的に主振動のエネルギーが不要振動モードを介して漏洩することを低減することができる。

【００８１】

なお、式（２）や下記式（１２）は、常温において満足していれば常温における主振動のエネルギー漏洩を低減することができ、また、常温以外を含めた動作温度範囲、例えば－４０℃から８５℃、あるいは－４０℃から１５０℃の範囲すべてにおいて式（２）や下記式（１２）を満足していれば、その温度範囲内において、主振動のエネルギー漏洩を低減することができる。

【００８２】
【数２１】

$$|\Delta\omega| \geq 0.2 \cdots\cdots(12)$$

【００８３】
以上、振動子１について説明した。
次に、固有振動モードの数（ｎ）が２、３、４である場合について、いくつかの具体例を挙げる。なお、以下では、下記式（１３）の関係を満足するものとする。また、主振動の共振周波数をω$_1$とし、不要振動モードの周波数をω$_2$とする。
【００８４】
【数２２】

$$m=\sum_{j=1}^{n}|k_j| \cdots\cdots(13)$$

【００８５】
［具体例１：ｍ＝３、ｎ＝２］
この場合には、上記式（７）から下記式（１４）を導くことができる。
【００８６】
【数２３】

$$\omega_1' = -\frac{k_2}{k_1}\omega_2 \cdots\cdots(14)$$

【００８７】
そして、例えば、ｋ$_1$＝１、ｋ$_2$＝－２の場合には、ω$_1$’＝２ω$_2$となり、式（８）から下記式（１５）を導くことができ、ｋ$_1$＝２、ｋ$_2$＝－１の場合には、ω$_1$’＝ω$_2$／２となり、式（８）から下記式（１６）を導くことができる。
【００８８】
【数２４】

$$\Delta\omega = \frac{2\omega_2-\omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(15)$$

【００８９】
【数２５】

$$\Delta\omega = \frac{\frac{\omega_2}{2}-\omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(16)$$

【００９０】
また、本発明では式（３）（あるいは式（１０）、式（１１））を満足する必要があるため、ｎ＝２の場合には３≦｜ｋ$_1$｜＋｜ｋ$_2$｜でなければならない。即ち、ｋ$_1$＝１、ｋ$_2$＝－１の条件は本発明には含まれない。このような条件は、上記式（１４）からω$_1$’＝ω$_2$、さらに上記式（８）からΔω＝（ω$_2$－ω$_1$）／ω$_1$が導かれ、｜Δω｜　０となる条件は結局ω$_2$　ω$_1$となる。これは主振動モードの共振周波数ω$_1$と不要振動モードの共振周波数ω$_2$とが近接して結合する従来から知られていた結合を表現している。本発明ではこのような従来から知られていた主振動モードの共振周波数と不要振動モード

の共振周波数が近接することで発生する結合からは全く知り得ない結合状態を開示したものである。

【００９１】

また、本発明では、主振動を励振する電気信号は、主振動の共振周波数と等しい周波数Ωを有する正弦波信号のみ、あるいはそれに近い状態の電気信号が入力されることを前提としている。例えば、矩形波が電気信号として入力された場合には、周波数Ωの正弦波に加えて、Ωの奇数倍（３Ω、５Ω、…）の周波数成分を有する正弦波が入力されることになり、前記Ωの奇数倍の周波数のうちの一つ（特に数字が小さい３Ωは振幅が大きい為に影響も大きい）と不要振動モードの内の一つの共振周波数が近接した場合に、前記不要振動モードが励振されてしまうが、本発明ではこれを含まない。また、デューティー比が５０％以外の場合には前記Ωの偶数倍（２Ω、４Ω、…）の周波数成分を有する正弦波が入力されることになるが、これも本発明では含まない。

【００９２】

［具体例２：m＝３、n＝３］

この場合には、上記式（７）から下記式（１７）を導くことができる。

【００９３】

【数２６】

$$\omega_1' = \frac{k_2\omega_2 + k_3\omega_3}{-k_1} \quad \cdots\cdots(17)$$

【００９４】

そして、例えば、$k_1 = -1$、$k_2 = k_3 = 1$の場合には、$\omega_1' = \omega_2 + \omega_3$となり、式（８）から下記式（１８）を導くことができ、$k_1 = k_3 = -1$、$k_2 = 1$の場合には、$\omega_1' = \omega_2 - \omega_3$となり、式（８）から下記式（１９）を導くことができる。

【００９５】

【数２７】

$$\Delta\omega = \frac{\omega_2 + \omega_3 - \omega_1}{\omega_1} \quad \cdots\cdots(18)$$

【００９６】

【数２８】

$$\Delta\omega = \frac{\omega_2 - \omega_3 - \omega_1}{\omega_1} \quad \cdots\cdots(19)$$

【００９７】

［具体例３：m＝４、n＝２］

例えば、$k_1 = -1$、$k_2 = 3$の場合には、$\omega_1' = 3\omega_2$となり、式（８）から下記式（２０）を導くことができ、$k_1 - 3$、$k_2 = 2$の場合には、$\omega_1' = \omega_2 / 3$となり、式（８）から下記式（２１）を導くことができる。

【００９８】

【数２９】

$$\Delta\omega = \frac{3\omega_2 - \omega_1}{\omega_1} \quad \cdots\cdots(20)$$

【００９９】

【数３０】

$$\Delta\omega = \frac{\frac{\omega_2}{3} - \omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(21)$$

【０１００】

［具体例４：ｍ＝４、ｎ＝３］

例えば、$k_1 = -2$、$k_2 = k_3 = 1$の場合には、$\omega_1' = (\omega_2 + \omega_3)/2$となり、式（８）から下記式（２２）を導くことができ、$k_1 = -2$、$k_2 = 1$、$k_3 = -1$の場合には、$\omega_1' = (\omega_2 - \omega_3)/2$となり、式（８）から下記式（２３）を導くことができ、$k_1 = -1$、$k_2 = 2$、$k_3 = 1$の場合には、$\omega_1' = 2\omega_2 + \omega_3$となり、式（８）から下記式（２４）を導くことができ、$k_1 = -1$、$k_2 = 2$、$k_3 = -1$の場合には、$\omega_1' = 2\omega_2 - \omega_3$となり、式（８）から下記式（２５）を導くことができる。

【０１０１】

【数３１】

$$\Delta\omega = \frac{\frac{\omega_2 + \omega_3}{2} - \omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(22)$$

【０１０２】

【数３２】

$$\Delta\omega = \frac{\frac{\omega_2 - \omega_3}{2} - \omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(23)$$

【０１０３】

【数３３】

$$\Delta\omega = \frac{2\omega_2 + \omega_3 - \omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(24)$$

【０１０４】

【数３４】

$$\Delta\omega = \frac{2\omega_2 - \omega_3 - \omega_1}{\omega_1} \cdots\cdots(25)$$

【０１０５】

［具体例４：ｍ＝４、ｎ＝４］

この場合には、上記式（７）から下記式（２６）を導くことができる。

【０１０６】

【数３５】

$$\omega_1' = \frac{k_2\omega_2 + k_3\omega_3 + k_4\omega_4}{-k_1} \cdots\cdots(26)$$

【０１０７】

そして、例えば、$k_1=-1$、$k_2=k_3=k_4=1$の場合には、$\omega_1'=\omega_2+\omega_3+\omega_4$となり、式（８）から下記式（２７）を導くことができ、$k_1=k_3=-1$、$k_2=k_4=1$の場合には、$\omega_1'=\omega_2-\omega_3+\omega_4$となり、式（８）から下記式（２８）を導くことができ、$k_1=k4=-1$、$k_2=k_3=1$の場合には、$\omega_1'=\omega_2+\omega_3-\omega_4$となり、式（８）から下記式（２９）を導くことができ、$k_1=k_3=k_4=-1$、$k_2=1$の場合には、$\omega_1'=\omega_2-\omega_3-\omega_4$となり、式（８）から下記式（３０）を導くことができる。

【０１０８】

【数３６】

$$\Delta\omega=\frac{\omega_2+\omega_3+\omega_4-\omega_1}{\omega_1}\quad\cdots\cdots(27)$$

【０１０９】

【数３７】

$$\Delta\omega=\frac{\omega_2-\omega_3+\omega_4-\omega_1}{\omega_1}\quad\cdots\cdots(28)$$

【０１１０】

【数３８】

$$\Delta\omega=\frac{\omega_2+\omega_3-\omega_4-\omega_1}{\omega_1}\quad\cdots\cdots(29)$$

【０１１１】

【数３９】

$$\Delta\omega=\frac{\omega_2-\omega_3-\omega_4-\omega_1}{\omega_1}\quad\cdots\cdots(30)$$

【０１１２】

次に、固有振動モードを特定した場合について、いくつかの具体例を挙げる。

［具体例１］

例えば、振動片２が主振動（共振周波数$\omega_1=32.768$kHz）を有し、不要振動モードとして、Ｚ軸同相モード（共振周波数$\omega_2=20.49$kHz）を有している場合には、最も強く内部共振が起きる条件として、$k_1\omega_1+k_2\omega_2=0$を満たす必要がある。しかしながら、$m\leqq10$（式（３）参照）の範囲内で上記式を満足する{$k_1$、$k_2$}の組み合わせは存在しない。したがって、この場合は、上記式（６）を満足し、また、$|\Delta\omega|$が最も小さくなる条件である$m=3$を例にとれば、上記式（１５）から$|\Delta\omega|=25.06\%$となり、不要振動モードが主振動に結合し難いことが分かる。

【０１１３】

［具体例２］

例えば、振動片２が主振動（共振周波数$\omega_1=32.768$kHz）を有し、不要振動モードとして、Ｚ軸逆相モード（共振周波数$\omega_2=82.05$kHz）を有している場合には、最も強く内部共振が起きる条件として、$k_1\omega_1+k_2\omega_2=0$を満たす必要がある。しかしながら、$m\leqq10$（式（３）参照）の範囲内で上記式を満足する{$k_1$、$k_2$}の組み合わせは存在しない。したがって、この場合は、上記式（６）を満足し、また、$|\Delta\omega|$が最も小さくなる条件である$m=3$を例にとれば、上記式（１６）から$|\Delta\omega|=25.20\%$となり、不要振動モードが主振動に結合し難いことが分かる。

以上、具体例を挙げて説明した。

【０１１４】

なお、振動片２のサイズとしては、特に限定されないが、振動腕３２、３３の長さＬは、Ｌ≦０．９ｍｍの関係を満足することが好ましく、Ｌ≦０．７ｍｍの関係を満足することがより好ましく、Ｌ≦０．５ｍｍの関係を満足することが最も好ましい。また、振動腕３２、３３の厚さＴは、５０μｍ≦Ｔ≦１５０μｍの関係を満足することが好ましく、８０μｍ≦Ｔ≦１４０μｍの関係を満足することがより好ましく、１２０μｍ≦Ｔ≦１３０μｍの関係を満足することが最も好ましい。また、振動腕３２、３３の腕部３２Ａ、３３Ａの幅Ｗは、Ｗ≦６０μｍであることが好ましく、Ｗ≦４５μｍであることがより好ましく、Ｗ≦３０μｍであることが最も好ましい。また、腕部３２Ａ（３３Ａ）の溝部３２１、３２２（３３１、３３２）の両脇に残る主面の幅Ｗ’は、Ｗ’≦６μｍの関係を満足することが好ましく、Ｗ’≦４．５μｍの関係を満足することがより好ましく、Ｗ’≦３μｍの関係を満足することが最も好ましい。また、腕部３２Ａ（３３Ａ）の錘部３２Ｂの長さＬ’は、Ｌ’／Ｌ≦０．５の関係を満足することが好ましく、Ｌ’／Ｌ≦０．３５の関係を満足することがより好ましく、Ｌ’／Ｌ≦０．２５の関係を満足することが最も好ましい。また、錘部３２Ｂ（３３Ｂ）の幅Ｗ”および長さＬ’は、Ｌ’＜Ｗ”の関係を満足することが好ましい。

【０１１５】

振動片２を上記のようなサイズとすることで、比較的小型な振動片２となる。そのため、水晶ウエハをウエットエッチングでパターニングすることにより振動基板３を得る場合には特に、水晶基板のエッチング異方性に起因して、形状の対称性が損なわれて非線形性が増大して主振動と不要振動が内部共振を発生し易く、よって振動漏れが小さくなるように設計されていない（あるいは小さくすることが困難な）不要振動を介して主振動のエネルギーが外部に漏洩してしまう。特に、幅Ｗ’が比較的狭く設定されていること、錘部３２Ｂ，３３Ｂを有していること、さらに、Ｌ’＜Ｗ”の関係を満足することにより、振動腕３２、３３の横断面形状の非対称性が発生し易く、上記の問題がさらに顕著となる。したがって、このような不要振動が発生し易いサイズの振動片において、上述した構成とすることによって、上述した効果をより顕著に発揮することができる。

【０１１６】

また、不要振動モードとしてリッドやパッケージの構造物が振動するモード、支持腕が形成されている場合には支持腕が単独あるいは振動腕などの支持腕以外の振動片の構造物と連動して振動する振動モードを含めることで、主振動からの微細なエネルギー漏洩をも低減することができる。さらに、音叉型の振動素子のように、同一方向に延びる一対の振動腕のみを振動腕として含む場合には、基部を基準に前述の延びる方向とは反対方向に対する形状の対称性はとれないので、本発明はより効果的に作用する。

【０１１７】

また、水晶では結晶面が複雑に形成されるので、水晶を基材としてウエットエッチングすることで振動素子を形成した場合には、本発明はさらに効果的に作用する。

【０１１８】

＜第２実施形態＞

次に、本発明の第２実施形態に係る振動子について説明する。

【０１１９】

図６は、本発明の第２実施形態に係る振動子が有する振動片の平面図である。図７は、図６中のＣ－Ｃ線断面図である。なお、図６および図７では、説明の便宜上、電極の図示を省略している。

【０１２０】

以下、第２実施形態の振動子について、前述した第１実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【０１２１】

本発明の第２実施形態にかかる振動子は、振動片の構成が異なる以外は、前述した第１

実施形態と同様である。なお、前述した第１実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

【０１２２】

本実施形態の振動片２は、図６に示すように、支持部３４が基部３１の＋Ｙ軸側の端部から、振動腕３２、３３の間に延出して設けられている。また、振動腕３２の上面には溝部３２１がＸ軸方向に並んで一対設けられており、下面には溝部３２２がＸ軸方向に並んで一対設けられている。同様に、振動腕３３の上面には溝部３３１がＸ軸方向に並んで一対設けられており、下面には溝部３３２がＸ軸方向に並んで一対設けられている。このような腕形状によっても、熱弾性損失を十分に低減することができる。なお、各溝部３２１、３２２、３３１、３３２は、前述した第１実施形態のように１つしか設けられていなくてもよい。

【０１２３】

以上のような第２実施形態によっても、前述した第１実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【０１２４】

＜第３実施形態＞

次に、本発明の第３実施形態に係る振動子について説明する。

【０１２５】

図８は、本発明の第３実施形態に係る振動子が有する振動片の平面図である。図９は、図８に示す振動片の作動を説明する図である。

【０１２６】

以下、第３実施形態の振動子について、前述した第１実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【０１２７】

本発明の第３実施形態にかかる振動子は、振動片の構成が異なる以外は、前述した第１実施形態と同様である。なお、前述した第１実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

【０１２８】

本実施形態の振動片５は、角速度を検出することのできる角速度検出素子である。振動片５は、図８に示すように、振動基板６と、振動基板６に設けられた電極（図示せず）と、を有している。

【０１２９】

振動基板６は、基部６１と、基部６１からＹ軸方向両側に延出した検出腕６２１、６２２と、基部６１からＸ軸方向両側に延出した連結腕６３１、６３２と、連結腕６３１からＹ軸方向両側に延出した駆動腕６４１、６４２と、連結腕６３２からＹ軸方向両側に延出した駆動腕６４３、６４４と、支持部６５１、６５２と、支持部６５１、６５２と基部６１とを連結する梁部６６１、６６２、６６３、６６４と、を有している。そして、図示しないが、支持部６５１、６５２でベース９１に固定されている。

【０１３０】

駆動腕６４１～６４４には図示しない駆動信号電極および駆動接地電極が配置されている。そのため、これら電極間に駆動信号を印加すると、駆動腕６４１～６４４が図９（ａ）の矢印Ａで示す方向（Ｘ軸方向）に屈曲振動する（この固有振動モードが主振動である）。一方、検出腕６２１、６２２には検出信号電極および検出接地電極が配置されている。図９（ａ）に示すように、駆動腕６４１～６４４を振動させている状態でＺ軸まわりの角速度が加わると、図９（ｂ）に示すように、駆動腕６４１～６４４にコリオリの力が作用して矢印Ｂに示す方向の振動が励振され、この振動に呼応するように、検出腕６２１、６２２が矢印Ｃに示す方向に屈曲振動する。このような振動によって検出腕６２１、６２２に発生した電荷は、検出信号電極および検出接地電極の間から検出信号として取り出され、この検出信号に基づいて角速度が求められる。

【０１３１】

以上のような第３実施形態によっても、前述した第１実施形態と同様の効果を発揮することができる。

【０１３２】

＜第４実施形態＞

次に、本発明の第４実施形態に係る振動子について説明する。

【０１３３】

図１０は、本発明の第４実施形態に係る振動子の平面図である。図１１は、Δωと温度の関係を示すグラフである。図１２は、ＣＩ上昇率と温度の関係を示すグラフである。図１３は、ＣＩと温度の関係を示すグラフである。図１４は、振動腕の長さと振動腕の幅の関係を示すグラフである。

【０１３４】

以下、第４実施形態の振動子について、前述した第１実施形態との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【０１３５】

本発明の第４実施形態にかかる振動子は、振動片の構成が異なる以外は、前述した第１実施形態と同様である。なお、前述した第１実施形態と同様の構成には、同一符号を付してある。

【０１３６】

図１０に示すように、本実施形態の振動子１が有する振動片２は、前述した第１実施形態の構成から支持腕３４１、３４２を省略した構成となっている。また、溝部３２１、３２２、３３１、３３２は、それぞれ、その先端部が丸みを帯びた形状となっている。このような構成の振動片２も、Ｘ軸逆相モードを主振動とするものである。

【０１３７】

このような振動子１も、前述した第１実施形態と同様に、上記式（１）および（２）を満足する。以下、式（２）を満たすことによる効果（前述した第１実施形態では述べていない効果）について実測値を用いて説明する。なお、計測に用いた振動片２のサイズは、振動基板３の厚さが１２０μｍ、振動腕３２、３３の長さＬが１６１８μｍ、錘部３２Ｂ、３３Ｂの長さＬ’が７２３μｍ、腕部３２Ａ、３３Ａの幅Ｗが１３４μｍ、錘部３２Ｂ、３３Ｂの幅Ｗ”が１８５μｍ、振動腕３２、３３よりも基端側の部分の長さＡ１が５８１μｍ、基部３１の幅Ａ２が４９９μｍ、基部３１と支持部３４との間にある接続部（くびれ部）の幅Ａ３が１４６μｍである。また、振動片２をベース９１に固定する導電性接着材９７１、９７２として、ビスマレイミド系、ヤング率＝３．４ＧＰａ、ポアソン比＝０．３３、質量密度＝４０７０ｋｇ／ｍ^{3}の接着材を用いた。また、共振周波数ω_1、ω_2の計測は、リッド９２を封止しない状態で、テヘロダイン干渉法を用いて行った。

【０１３８】

図１１は、正常サンプルＳ１および２つの異常サンプルＳ２、Ｓ３に関するΔωと環境温度の関係を示すグラフである。ここでのΔωは、上記式（１６）に相当し、主振動モードであるＸ軸逆相モードの共振周波数をω_1（＝３２．７６８ｋＨｚ）とし、主振動と内部共振していると考えられる不要振動モードであるＺ軸同相モードの共振周波数をω_2とする。すなわち、ここでのΔωは、ω_2が６５．５３６ｋＨｚ（ω_1の２倍の周波数）からどれだけずれているかを示す値とも言える。

【０１３９】

一方、図１２は、正常サンプルＳ１および２つの異常サンプルＳ２、Ｓ３に関するＣＩ上昇率と環境温度の関係を示すグラフであり、図１３は、正常サンプルＳ１および２つの異常サンプルＳ２、Ｓ３に関するＣＩと環境温度の関係を示すグラフである。これら図１２および図１３は、－５０°におけるＣＩ値を基準（０）として、この基準からどれだけＣＩ上昇率（ＣＩ値）が変化しているかを示すグラフである。図１２および図１３に示すように、正常サンプルＳ１ではＣＩ上昇率（ＣＩ値）が穏やかに上昇しているのに対して、異常サンプルＳ２では３５℃付近でＣＩ上昇率（ＣＩ値）が異常に上昇しており、異常サンプルＳ３では１１０℃付近でＣＩ上昇率（ＣＩ値）が異常に上昇している。そして、

異常サンプルＳ２、Ｓ３について、ＣＩ上昇率（ＣＩ値）が異常に上昇している温度は、図１１に示すΔωが０％となる温度とほぼ一致している。そのため、上記式（２）の関係を満足することで（すなわち、Δω＝０％付近を除くことで）、このようなＣＩ上昇率（ＣＩ値）の異常な上昇を低減することができることがわかる。なお、振動片２は、動作温度範囲（－４０℃から８５℃、－４０℃から１５０℃等）のいずれかの温度域において式（２）を満足していれば、その温度域を用いることで上述したＣＩ値の異常な上昇が発生するおそれを低減することができる。好ましくは、前記動作温度範囲のすべての温度において式（２）を満足していれば、動作温度範囲すべてにおいて上述したＣＩ値の異常な上昇が発生するおそれを低減することができる。

【０１４０】

なお、式（２）の関係を満たす場合よりも若干劣るもの、｜Δω｜≧０．０５の関係を満たす場合も同様の効果を発揮することができる。

【０１４１】

また、本実施形態の振動子１では、振動子１のＱが下記式（３１）の関係を満足し、式（３１）中のｆ０ｍａｘは、下記式（３２）の関係を満足し、式（３２）中のＷｅｍｉｎは、下記式（３３）の関係を満足する。

【０１４２】

【数４０】

$$Q \geq \frac{\rho C_p}{c\alpha^2\Theta} \times \frac{1+\left(\frac{f}{f0_{max}}\right)^2}{\frac{f}{f0_{max}}} \cdots\cdots (31)$$

【０１４３】

【数４１】

$$f0_{max} = \frac{\pi k}{2\rho C_p W_{emin}^{\ 2}} \cdots\cdots (32)$$

【０１４４】

【数４２】

$$W_{emin} = C(AL + B) \cdots\cdots (33)$$

【０１４５】

ただし、式（３１）、（３２）、（３３）中の、Ａ＝７．３６９０×１０$^{-2}$、Ｂ＝１．２５４４×１０$^{-5}$、Ｃ＝１．１～１．３、ｆ０ｍａｘ［Ｈｚ］は振動腕３２、３３（腕部３２Ａ、３３Ａ）の断面形状を熱弾性損失が等しくなるように矩形に置き換えた際の振動腕３２、３３の等価腕幅Ｗｅが、後述する最小値Ｗｅｍｉｎのときに熱弾性損失が最大となる共振周波数（熱緩和周波数）、Ｌ［ｍ］は振動腕３２、３３の延在方向に関する長さ、ρ［ｋｇ／ｍ^3］は振動腕３２、３３の質量密度、Ｃｐ［Ｊ／（ｋｇ・Ｋ）］は振動腕３２、３３の熱容量、ｃ［Ｎ／ｍ^2］は振動腕３２、３３の延在方向に関する弾性定数、α［１／Ｋ］は振動腕３２、３３の延びる方向に関する熱膨張係数、Θ［Ｋ］は環境温度、ｋ［Ｗ／（ｍ・ｋ）］は振動腕３２、３３の幅方向に関する熱伝導率、πは円周率である。

【０１４６】

以下、式（３１）の導出方法について説明する。まず、下記の表１に、小型化を図るために有効と考えられる振動腕３２、３３の長さＬと、その長さのときに求められるＱ値の最小値Ｑｍｉｎとの関係を示す。このような関係を満足することは、小型で、かつ、より高いＱ値を有する振動片２が得られるということである。このような振動片２を得ることは、高いＱ値の振動片２であることによって、これを用いた発振回路の消費電力を低減することができ、また、小型化によって製造時に発生するCO_2の排出を低くすることができるから、環境負荷の小さい振動子を得ることができる。

【０１４７】

【表１】

表１

L[m]	Qmin
1.8×10^{-3}	50000
1.4×10^{-3}	35000
8.0×10^{-4}	12000

【０１４８】

ｆ＝３２．７６８ｋＨｚ、ＱｍｉｎをQ_{TED}（熱弾性損失のみを考慮したＱ値）として下記の式（３４）、（３５）に代入し、ｆ＞ｆ０の関係を満足する幅Ｗを算出することで、長さＬに対する最小値Ｗｅｍｉｎを算出する。この最小値Ｗｅｍｉｎの算出結果を下記の表３に示す。なお、式（３４）、（３５）中の各数値は、下記の表２に示す通りである。また、ｆ０は、熱緩和周波数であり、ｆ＞ｆ０は、振動片２が断熱的領域にあることを意味している。

【０１４９】

【表２】

表２

材料	k [N/(K･s)]	Cp [J/(kg･K)]	ρ [kg/m³]	α [K⁻¹]	c [N/m²]
水晶	6.65	735.3718	2649	1.37×10^{-5}	8.67×10^{10}

【０１５０】

【数４３】

$$Q_{TED}=\frac{\rho C_p}{c\alpha^2\Theta}\times\frac{1+\left(\frac{f}{f0}\right)^2}{\frac{f}{f0}}\cdots\cdots(34)$$

【０１５１】

【数４４】

$$f0=\frac{\pi k}{2\rho C_p W^2}\cdots\cdots(35)$$

【０１５２】

【表３】

表３

L[m]	Qmin	Wemin[m]
1.8×10^{-3}	50000	1.429×10^{-4}
1.4×10^{-3}	35000	1.195×10^{-4}
8.0×10^{-4}	12000	6.996×10^{-5}

【０１５３】

長さＬに対する最小値Ｗｅｍｉｎは、図１４に示すグラフのようになり、その近似式は、Ｗｅｍｉｎ＝７．３６９０×１０$^{-2}$Ｌ＋１．２５４４×１０$^{-5}$となる。さらに、この式の右辺に係数Ｃ（ただし、Ｃは１．１～１．３）をかけることで上記の式（３３）が得られる。この式（３３）により、振動腕３２、３３の長さＬに対する振動腕３２、３３の幅Ｗの最小値Ｗｅｍｉｎを算出することができる。さらに、得られた最小値Ｗｅｍｉｎを式（３５）に代入することで、ｆ０を算出することができる。なお、ｆ０は、振動腕３２、３３の幅Ｗが最小値Ｗｅｍｉｎのときに熱弾性損失が最大となる共振周波数である（＝ｆ０ｍａｘ）。前述したように、本実施形態では、断熱的領域（ｆ＞ｆ０）に限定しているため、ｆ０により、Ｑ値の下限値であるＱｍｉｎ（Q_{TED}）を決定することができる。すなわち、式（３４）にｆ０を代入することで、Ｑｍｉｎを算出することができる。そして、Ｑ≧Ｑｍｉｎの関係を満足すれば、十分に高いＱ値が得られることから、式（３１）が導き出される。

【０１５４】

なお、参考として、以下の表４に、振動腕３２、３３の長さＬ＝１．８×１０$^{-3}$［ｍ］、１．４×１０$^{-3}$［ｍ］、１．０×１０$^{-3}$［ｍ］、８．０×１０$^{-4}$［ｍ］におけるＱｍｉｎ、Ｗｅｍｉｎを示す。このように、振動腕３２、３３の長さを１．８×１０$^{-3}$［ｍ］以下とすることで、振動片２を十分に小型化することができる。

【０１５５】

【表４】

表４

f [kHz]	L [m]	Wemin [m]	Θ [K]	F0max [Hz]	Qmin
32.768	1.8×10^{-3}	1.597×10^{-4}	298.15	210.2	62461
32.768	1.4×10^{-3}	1.273×10^{-4}	298.15	331.0	39676
32.768	1.0×10^{-3}	9.486×10^{-5}	298.15	596.0	22042
32.768	8.0×10^{-4}	7.865×10^{-5}	298.15	867.0	15157
35.000	8.0×10^{-4}	7.865×10^{-5}	298.15	867.0	16188

【０１５６】

以上、本実施形態の振動子１について説明したが、振動片２の主振動の共振周波数としては、３２．７６８ｋＨｚ（３２．７６８±１ｋＨｚ）に限定されず、例えば、３２．７６８±１ｋＨｚの２倍、４倍、８倍および１６倍のいずれかであってもよい。このような周波数によれば、分周することで比較的簡単に３２．７６８ｋＨｚの信号を得ることができる。

【０１５７】

＜第５実施形態＞

次に、本発明の第５実施形態に係る発振器について説明する。

【０１５８】

図１５は、本発明の第５実施形態に係る発振器を示す断面図である。

図１５に示す発振器１００は、振動子１と、振動片２を駆動するためのＩＣチップ１１０と、を有している。以下、発振器１００について、前述した振動子１との相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【０１５９】

発振器１００では、ベース９１の凹部９１１にＩＣチップ１１０が固定されている。また、図示しないが、ＩＣチップ１１０は、内部端子および外部端子と電気的に接続されている。また、ＩＣチップ１１０は、発振回路１１１を有している。そのため、ＩＣチップ１１０からの駆動信号によって振動片２を駆動すると、外部端子を介して、所定の周波数の信号を取り出すことができる。このような発振器１００は、振動子１が内蔵されているため、高い信頼性が得られる。

【０１６０】

＜第６実施形態＞

次に、本発明の第６実施形態に係るリアルタイムクロックについて説明する。

【０１６１】

図１６は、本発明の第６実施形態に係るリアルタイムクロックの機能ブロック図である。

【０１６２】

リアルタイムクロック２００は、図１６に示すように、発振器１００と、計時回路２１０と、イベント検出回路２２０と、メモリー２３０と、制御回路２４０と、を備えている。発振器１００は、前述したように、振動片２と、振動片２と電気的に接続されている発振回路１１１と、を有しており、振動片２は、発振回路１１１を介して駆動信号が入力されることにより所定の周波数で振動する。そして、発振回路１１１は、振動片２から出力された信号を増幅して出力する。

【０１６３】

計時回路２１０には、発振器１００が接続されており、発振器１００から出力された信号を分周して１［Ｈｚ］の周波数を得ると、この１［Ｈｚ］の信号を利用して年、月、日、時、分および秒の計時を各計時レジスタ（図示せず）で行っている。すなわち、計時回路２１０は、発振器１００の発振回路１１１から出力される信号に基づいて、日時データを生成する。このような計時回路２１０を持つことにより、時刻データを得ることができ、イベントが生じた際（イベント検出周期毎）の日時等をメモリー２３０に記録することが可能となる。なお計時回路２１０は設定により、上記年、月、日、時、分および秒の他に、曜日についてのデータも記憶させるようにすることができる。

【０１６４】

イベント検出回路２２０は、リアルタイムクロック２００の外部端子であるイベント入力端子２０１に接続されている。イベント検出回路２２０は、イベント入力端子２０１に対してイベントが発生した旨の電気信号が入力されると、イベント発生フラグを立てるように構成されている。このように、イベントの発生をフラグにより示すことで、当該フラグに基づいてイベントの有無を判断することができる。

【０１６５】

メモリー２３０は、上述した時刻データやイベント発生に関するデータを記録する記憶手段である。

【０１６６】

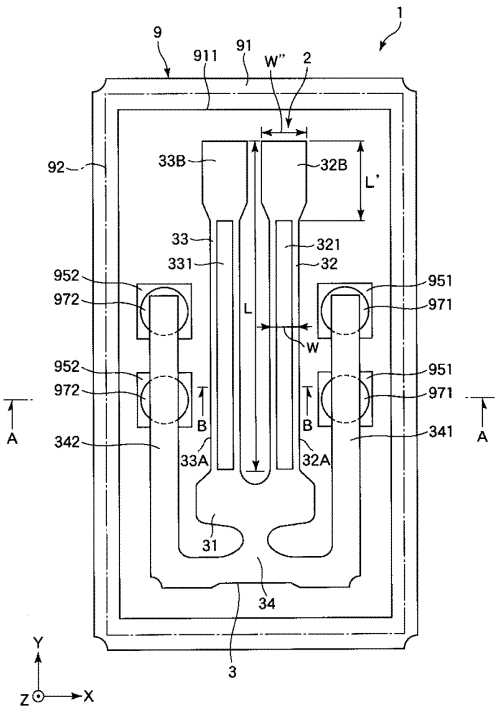
制御回路２４０には、上述した計時回路２１０、イベント検出回路２２０、メモリー２３０、および外部端子としての割り込み出力端子２０２が接続されている。制御回路２４０は、イベント検出回路２２０から入力されたフラグ情報に基づいて、フラグが立てられている事を検出した時刻データを計時回路２１０から読み出すことが可能に構成されている。

【０１６７】
なお、割り込み出力端子２０２は、任意のイベント入力の発生時に、時刻データやイベント発生に関するデータの記録と同時に、ＣＰＵに対して信号を割り込み出力させる役割を担う。
【０１６８】
このようなリアルタイムクロック２００は、振動子１が内蔵されているため、高い信頼性が得られる。
【０１６９】
＜第７実施形態＞
次に、本発明の第７実施形態に係る電子機器について説明する。
【０１７０】
図１７は、電子機器としてのパーソナルコンピューターを示す斜視図である。
図１７に示すように、電子機器としてのパーソナルコンピューター（モバイル型パーソナルコンピューター）１１００は、キーボード１１０２を備えた本体部１１０４と、表示部１１０８を備えた表示ユニット１１０６とにより構成され、表示ユニット１１０６は、本体部１１０４に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピューター１１００には、例えば、発振器として用いられる振動子１が内蔵されている。したがって、信頼性の高いパーソナルコンピューター１１００が得られる。
【０１７１】
図１８は、電子機器としての携帯電話機を示す斜視図である。
図１８に示すように、電子機器としての携帯電話機１２００（スマートフォン、ＰＨＳ等を含む。）は、複数の操作ボタン１２０２、受話口１２０４および送話口１２０６を備え、操作ボタン１２０２と受話口１２０４との間には、表示部１２０８が配置されている。このような携帯電話機１２００には、例えば、発振器として用いられる振動子１が内蔵されている。したがって、信頼性の高い携帯電話機１２００が得られる。
【０１７２】
図１９は、電子機器としてのデジタルスチールカメラを示す斜視図である。
図１９に示すように、電子機器としてのデジタルスチールカメラ１３００では、ケース（ボディー）１３０２の背面に表示部１３１０が設けられ、ＣＣＤによる撮像信号に基づいて表示を行う構成になっている。表示部１３１０は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース１３０２の正面側（図中裏面側）には光学レンズ（撮像光学系）やＣＣＤなどを含む受光ユニット１３０４が設けられている。撮影者が表示部１３１０に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン１３０６を押下すると、その時点におけるＣＣＤの撮像信号が、メモリー１３０８に転送・格納される。このようなデジタルスチールカメラ１３００には、例えば、発振器として用いられる振動子１が内蔵されている。したがって、信頼性の高いデジタルスチールカメラ１３００が得られる。
【０１７３】
なお、本発明の電子機器は、図１７のパーソナルコンピューター、図１８の携帯電話機、図１９のデジタルスチールカメラの他にも、例えば、スマートフォン、タブレット端末、時計、インクジェット式吐出装置（例えばインクジェットプリンター）、ラップトップ型パーソナルコンピューター、テレビ、ビデオカメラ、ビデオテープレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャ、電子手帳（通信機能付も含む）、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサー、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、ＰＯＳ端末、医療機器（例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡）、魚群探知機、各種測定機器、計器類（例えば、車両、航空機、船舶の計器類）、フライトシミュレーター等に適用することができる。
【０１７４】
＜第８実施形態＞
次に、本発明の第８実施形態に係る移動体について説明する。

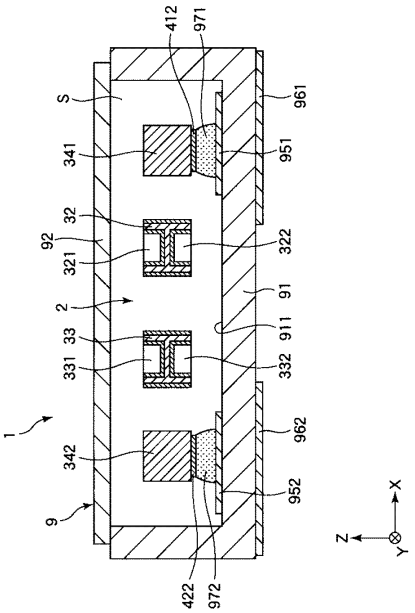
【０１７５】
図２０は、移動体としての自動車を示す斜視図である。
図２０に示すように、移動体としての自動車１５００には、振動子１が搭載されている。振動子１は、キーレスエントリー、イモビライザー、カーナビゲーションシステム、カーエアコン、アンチロックブレーキシステム（ＡＢＳ）、エアバック、タイヤ・プレッシャー・モニタリング・システム(ＴＰＭＳ：Tire Pressure Monitoring System)、エンジンコントロール、ハイブリッド自動車や電気自動車の電池モニター、車体姿勢制御システム、等の電子制御ユニット（ＥＣＵ：electronic control unit）に広く適用できる。このように、自動車１５００に振動子１を内蔵することで、信頼性の高い自動車１５００が得られる。
【０１７６】
以上、本発明の振動子、発振器、リアルタイムクロック、電子機器および移動体について、図示の実施形態に基づいて説明したが、本発明は、これに限定されるものではなく、各部の構成は、同様の機能を有する任意の構成のものに置換することができる。また、本発明に、他の任意の構成物が付加されていてもよい。また、前述した各実施形態を適宜組み合わせてもよい。
【０１７７】
また、前述した実施形態では、振動基板３を水晶で構成しているが、振動基板３の構成材料としては、水晶に限定されず、例えば、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）や、ニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）、タンタル酸リチウム（$LiTaO_3$）、チタン酸ジルコン酸鉛（ＰＺＴ）、四ホウ酸リチウム（$Li_2B_4O_7$）、ランガサイト（$La_3Ga_5SiO_{14}$）、ニオブ酸カリウム（$KNbO_3$）、リン酸ガリウム（$GaPO_4$）、ガリウム砒素（ＧａＡｓ）、窒化アルミニウム（ＡｌＮ）、酸化亜鉛（ＺｎＯ、Zn_2O_3）、チタン酸バリウム（$BaTiO_3$）、チタン酸鉛（$PbPO_3$）、ニオブ酸ナトリウムカリウム（$(K, Na)NbO_3$）、ビスマスフェライト（$BiFeO_3$）、ニオブ酸ナトリウム（$NaNbO_3$）、チタン酸ビスマス（$Bi_4Ti_3O_{12}$）、チタン酸ビスマスナトリウム（$Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$）などの酸化物基板や、ガラス基板上に窒化アルミニウムや五酸化タンタル（Ta_2O_5）などの圧電体材料を積層させて構成された積層圧電基板、あるいは圧電セラミックスなどを用いることができる。
【０１７８】
また、前述した実施形態では、水晶からなる振動基板に電極を配置することで振動片を構成しているが、振動片としては、これに限定されず、例えば、シリコン基板（シリコン単結晶（Ｓｉ）、多結晶シリコン（ポリシリコン）、非晶質シリコン（アモルファスシリコン）のような非圧電体材からなる基板に、圧電素子（ピエゾ素子）を配置し、この圧電素子を伸縮させることによって、振動基板を振動させるような構成であってもよい。また、この他、静電気力を用いた静電駆動型や、磁力を用いたローレンツ駆動型などの振動片としてもよい。
【符号の説明】
【０１７９】
１……振動子、２……振動片、３……振動基板、３１……基部、３２、３３……振動腕、３２Ａ、３３Ａ……腕部、３２Ｂ、３３Ｂ……錘部、３２１、３２２、３３１、３３２……溝部、３４……支持部、３４１、３４２……支持腕、４１１……第１駆動電極、４１２……第１駆動端子、４２１……第２駆動電極、４２２……第２駆動端子、５……振動片、６……振動基板、６１……基部、６２１、６２２……検出腕、６３１、６３２……連結腕、６４１、６４２、６４３、６４４……駆動腕、６５１、６５２……支持部、６６１、６６２、６６３、６６４……梁部、９……パッケージ、９１……ベース、９１１……凹部、９２……リッド、９５１、９５２……内部端子、９６１、９６２……外部端子、９７１、９７２……導電性接着材、１００……発振器、１１０……ＩＣチップ、１１１……発振回路、２００……リアルタイムクロック、２０１……イベント入力端子、２０２……割り込み出力端子、２１０……計時回路、２２０……イベント検出回路、２３０……メモリー

、２４０……制御回路、１１００……パーソナルコンピューター、１１０２……キーボード、１１０４……本体部、１１０６……表示ユニット、１１０８……表示部、１２００……携帯電話機、１２０２……操作ボタン、１２０４……受話口、１２０６……送話口、１２０８……表示部、１３００……デジタルスチールカメラ、１３０２……ケース、１３０４……受光ユニット、１３０６……シャッターボタン、１３０８……メモリー、１３１０……表示部、１５００……自動車、Ｓ……収容空間、Ｌ、Ｌ’……長さ、Ｔ……厚さ、Ｔ’……深さ、Ｗ、Ｗ’、Ｗ”……幅

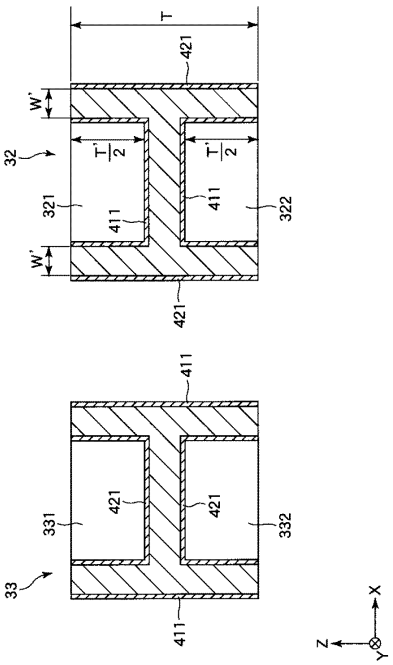
【図１】



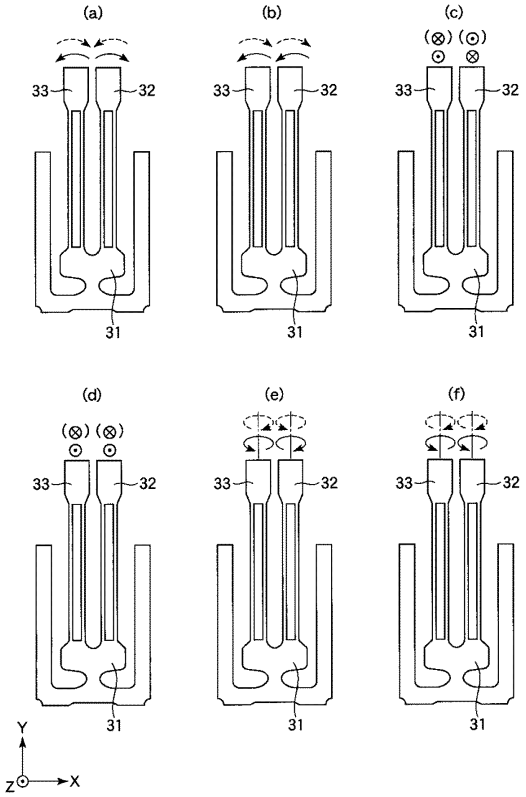
【図２】



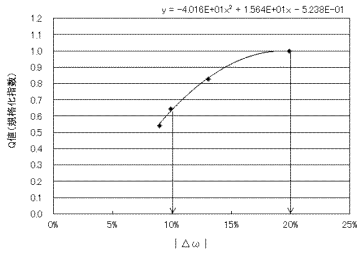
【図３】


T
421
W'
32
T'/2
T'/2
321
411
411
322
W'
421
411
331
421
421
332
33
411
X
Z
Y

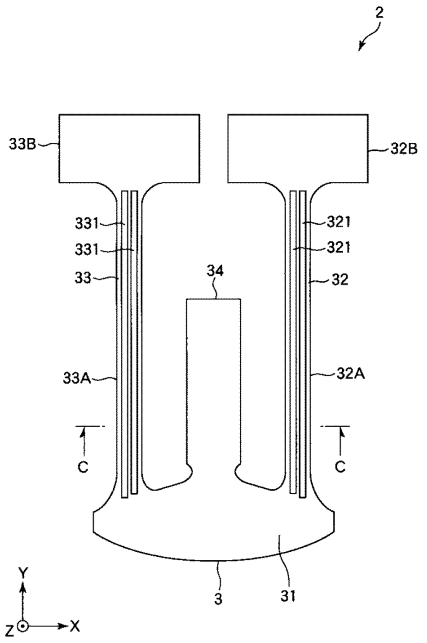
【図４】


(a)
(b)
(c)
33
32
31
(d)
(e)
(f)
Y
Z
X

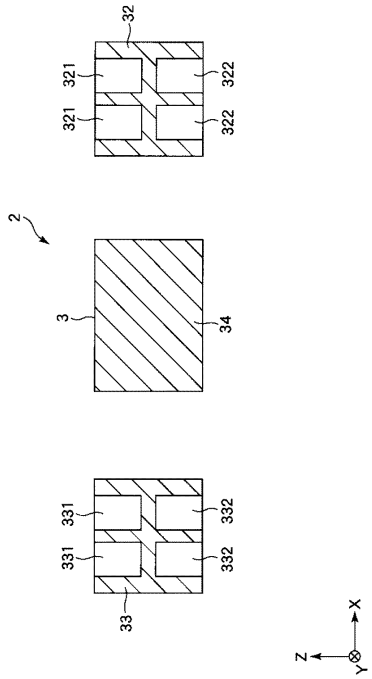
【図５】


y = -4.016E+01x² + 1.564E+01x - 5.238E-01
Q値(損失係数)
| Δω |
0%
5%
10%
15%
20%
25%

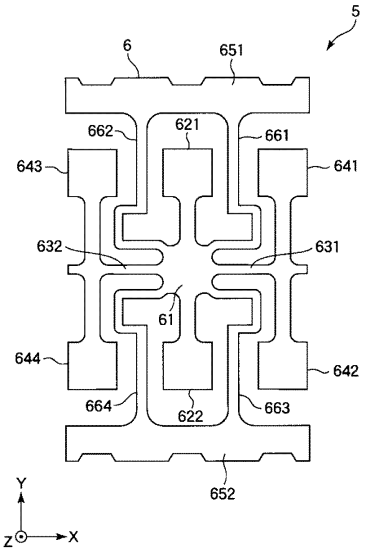
【図６】


2
33B
32B
331
331
321
321
33
34
32
33A
32A
C
C
3
31
Y
Z
X

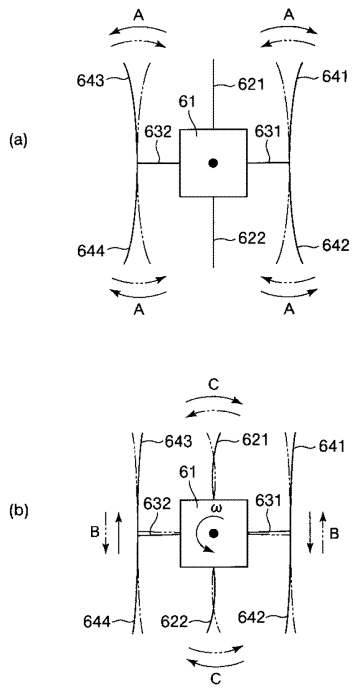
【図７】


32
321
322
321
322
2
3
34
331
332
331
332
33
X
Z
Y

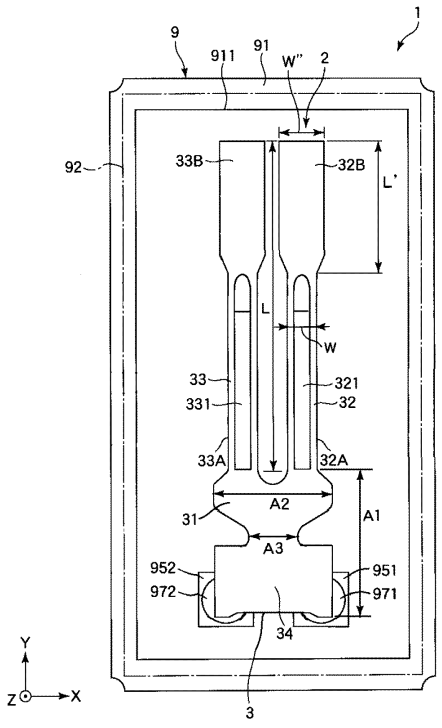
【図８】


5
6
651
662
621
661
643
641
632
631
61
644
642
664
622
663
652
Y
Z
X

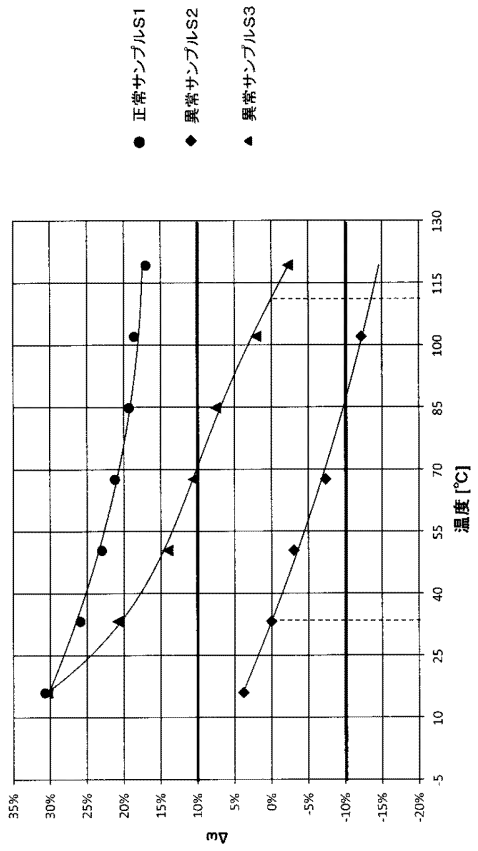
【図９】


(a)
A
A
643
621
641
61
632
631
644
622
642
A
A
(b)
C
643
621
641
61
632
631
B
B
644
622
642
C

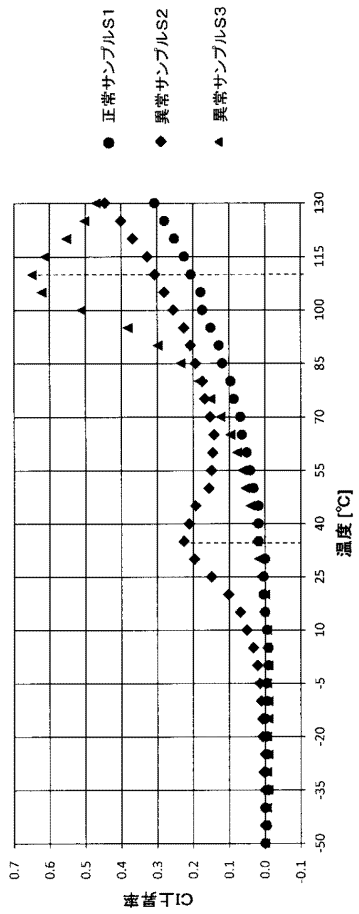
【図１０】


1
9
911
91
W"
2
92
33B
32B
L'
L
W
33
321
331
32
33A
32A
A2
A1
31
A3
952
951
972
971
34
3
Y
Z
X

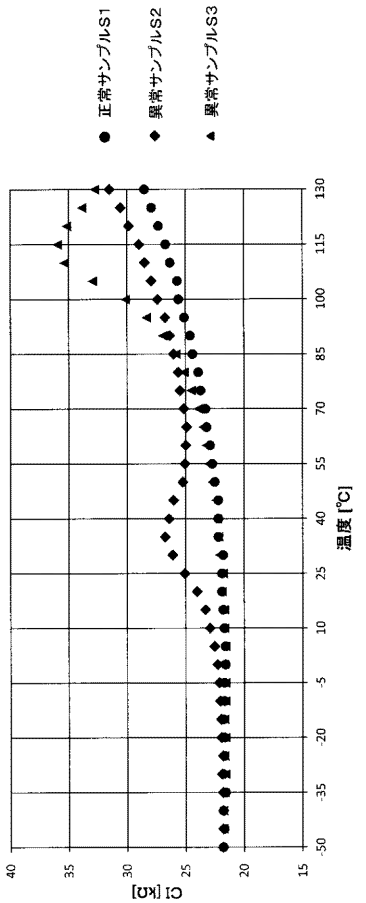
【図１１】



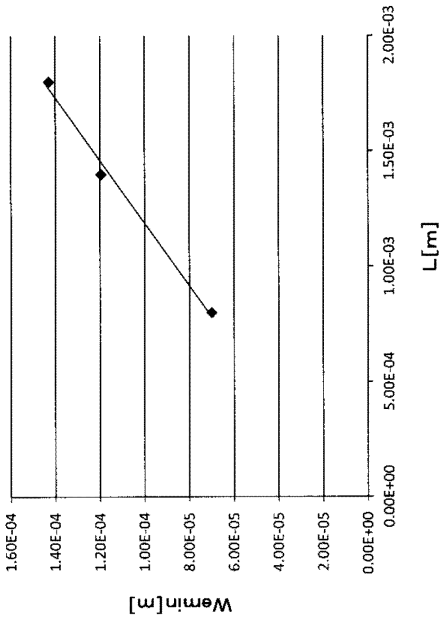
【図１２】



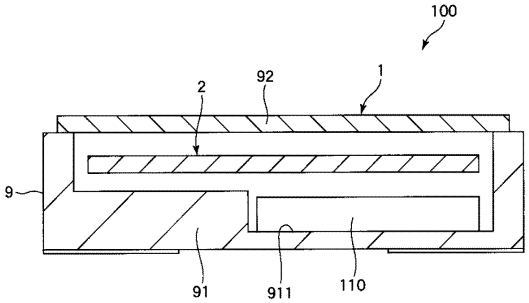
【図１３】



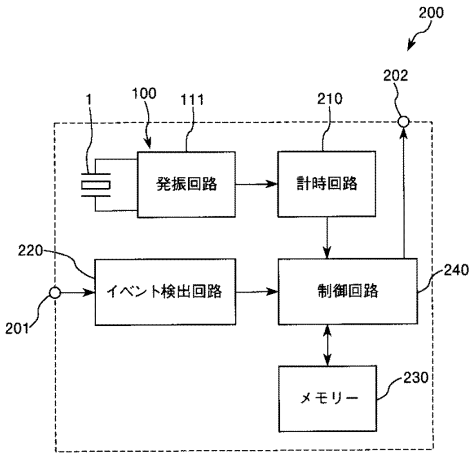
【図１４】



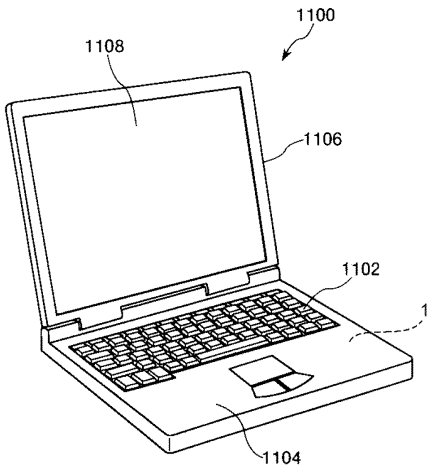
【図１５】



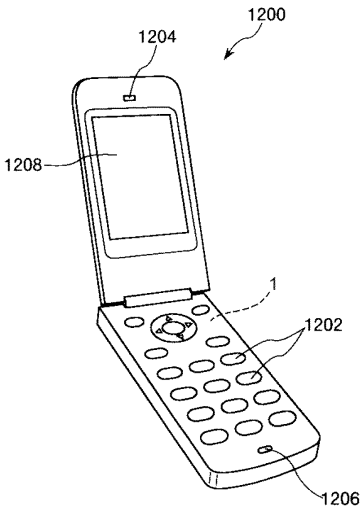
【図１６】



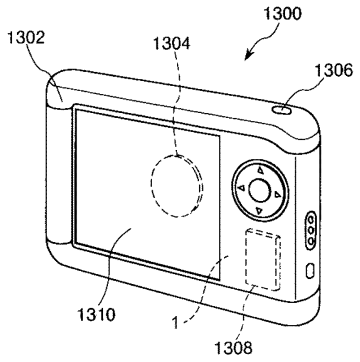
【図１７】



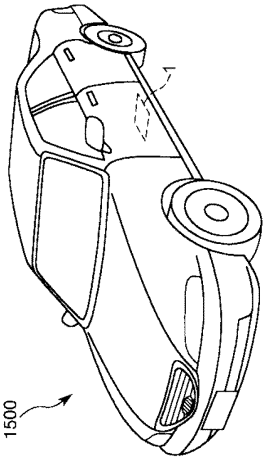
【図１８】



【図１９】



【図２０】



フロントページの続き

(72)発明者　菊池　尊行
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内

審査官　▲高▼橋　徳浩

(56)参考文献　特開２０１４－２００５０（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－２００５１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１４－２００４８（ＪＰ，Ａ）

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