

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第6287208号
(P6287208)

(45) 発行日 平成30年3月7日 (2018.3.7)

(24) 登録日 平成30年2月16日 (2018.2.16)

(51) Int.Cl.	F I
H O 3 H 9/19 (2006.01)	H O 3 H 9/19 J
H O 3 H 9/215 (2006.01)	H O 3 H 9/215
H O 3 H 9/02 (2006.01)	H O 3 H 9/02 K
H O 1 L 41/113 (2006.01)	H O 1 L 41/113
H O 1 L 41/053 (2006.01)	H O 1 L 41/053
請求項の数 18 (全 41 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2013-273627 (P2013-273627)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成25年12月27日 (2013.12.27)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2015-128269 (P2015-128269A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成27年7月9日 (2015.7.9)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成28年12月19日 (2016.12.19)		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
		審査官	▲高▼須 甲斐
		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 振動子、発振器、電子機器、物理量センサーおよび移動体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

振動素子と、
前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
を含み、
前記振動素子は、
基部と、
平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結している連結部と、
を含み、
前記振動腕は、
錘部と、
平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
を含み、
前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
前記部材のヤング率をE (GPa) としたとき、

【数 1】

$$-1.3 \leq \log E < -0.7$$

なる関係のときに、

【数 2】

$$0.1 \leq \frac{W2}{W1} \leq 0.7$$

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項 2】

振動素子と、
前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
を含み、
前記振動素子は、
基部と、
平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
いる連結部と、

10

20

を含み、
前記振動腕は、
錘部と、
平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
を含み、
前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅を W 1、
前記連結部の前記交差する方向に沿った幅を W 2、
前記部材のヤング率を E (G P a) としたとき、

【数 3】

$$-0.7 \leq \log E \leq 0.7$$

30

なる関係のときに、

【数 4】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.995 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.891 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 \\ - 4.561 \times 10^{-2} \times (\log E) + 5.038 \times 10^{-1}$$

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項 3】

振動素子と、
前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
を含み、
前記振動素子は、
基部と、
平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
いる連結部と、

40

を含み、

50

前記振動腕は、
 錘部と、
 平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
 を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
 前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数5】

$$-1.3 \leq \log E < -1.0$$

10

なる関係のときに、

【数6】

$$1.167 \times (\log E)^2 + 2.168 \times (\log E) + 1.101 \leq \frac{W2}{W1} \leq 0.7$$

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項4】

20

振動素子と、
 前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
 前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
 を含み、

前記振動素子は、
 基部と、

平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、

平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

30

を含み、

前記振動腕は、
 錘部と、

平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、

を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
 前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数7】

$$-1.0 \leq \log E \leq 0.7$$

40

なる関係のときに、

【数8】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.100 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.433 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 \\ - 8.338 \times 10^{-2} \times (\log E) + 4.246 \times 10^{-1}$$

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項5】

振動素子と、

50

前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
 前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
 を含み、
 前記振動素子は、
 基部と、
 平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
 平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

を含み、 10

前記振動腕は、
 錘部と、
 平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
 を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
 前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数9】

$$-1.3 \leq \log E < -0.82$$

20

なる関係のときに、

【数10】

$$-9.877 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.610 \times (\log E) - 1.370$$

$$\leq \frac{W2}{W1} \leq$$

$$-1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5 - 3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4$$

$$+1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E) + 2.285 \times 10^{-1}$$

30

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項6】

振動素子と、
 前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
 前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
 を含み、
 前記振動素子は、
 基部と、
 平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
 平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

を含み、

前記振動腕は、
 錘部と、
 平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
 を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、

40

50

前記部材のヤング率を E (G P a) としたとき、

【数 1 1】

$$-0.82 \leq \log E \leq 0.7$$

なる関係のときに、

【数 1 2】

$$\begin{aligned} 0.100 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq & -1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5 - 3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4 \\ & + 1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E) \\ & + 2.285 \times 10^{-1} \end{aligned} \quad 10$$

なる関係を満足することを特徴とする振動子。

【請求項 7】

前記接続部は、平面視で、前記部材と重なっている部分を有する請求項 1 ないし 6 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 8】

前記振動腕の前記延出方向に沿った長さを L 、

前記錘部の前記延出方向に沿った長さを H としたとき、

20

【数 1 3】

$$0.184 \leq \frac{H}{L} \leq 0.597$$

なる関係を満足する請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 9】

前記振動腕の前記延出方向に沿った長さを L 、

前記錘部の前記延出方向に沿った長さを H としたとき、

【数 1 4】

$$0.012 < \frac{H}{L} < 0.30$$

30

なる関係を満足する請求項 1 ないし 7 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 10】

前記振動腕は、互いに表裏の関係にある 1 対の主面と、前記 1 対の主面にそれぞれ設けられている 1 対の溝と、を有し、

前記延出方向と交差する方向に沿って前記溝を挟んで並んでいる前記主面の各部位の幅を W_3 としたとき、

$$7 (\mu m) \leq W_3 \leq 15 (\mu m)$$

なる関係を満足している請求項 1 ないし 9 のいずれか 1 項に記載の振動子。

40

【請求項 11】

前記振動腕は、互いに表裏の関係にある 1 対の主面と、前記 1 対の主面にそれぞれ設けられている 1 対の溝と、を有し、

前記振動腕の厚さを T 、

前記溝の深さを t としたとき、

【数 1 5】

$$0.4 \leq 2 \times \frac{t}{T} < 1$$

なる関係を満足している請求項 1 ないし 10 のいずれか 1 項に記載の振動子。

50

【請求項 1 2】

前記錘部は、前記腕部よりも前記延出方向と交差する方向に沿った幅が広い請求項 1 ないし 1 1 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 1 3】

前記基部は、前記他端側に位置し、平面視で前記延出方向と交差する方向の長さが、前記一对の振動腕の間の中心線に沿って、前記一端から離れるに従って連続的または段階的に減少している第 1 縮幅部を含んでいる請求項 1 ないし 1 2 のいずれか 1 項に記載の振動子。

【請求項 1 4】

前記基部は、前記一端側であって前記一对の振動腕の間に位置し、平面視で前記延出方向と交差する方向の長さが、前記一对の振動腕の間の中心線に沿って、前記他端から離れるに従って連続的または段階的に減少している第 2 縮幅部を含んでいる請求項 1 ないし 1 3 のいずれか 1 項に記載の振動子。

10

【請求項 1 5】

請求項 1 ないし 1 4 のいずれか 1 項に記載の振動子と、
回路と、
を備えていることを特徴とする発振器。

【請求項 1 6】

請求項 1 ないし 1 4 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。

20

【請求項 1 7】

請求項 1 ないし 1 4 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物理量センサー。

【請求項 1 8】

請求項 1 ないし 1 4 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、電子機器、物理量センサーおよび移動体に関するものである。

30

【背景技術】

【0002】

従来から、水晶を用いた振動素子が知られている。このような振動素子は、周波数温度特性が優れていることから、種々の電子機器の基準周波数源や発信源などとして広く用いられている。

特許文献 1 に記載の振動素子は、音叉型をなしており、基部と、基部の一端側から延びている一对の振動腕と、基部の他端側に位置する接続部と、基部と接続部との間に位置し、これらを連結する連結部（切り欠きに挟まれた狭幅な部分）と、を含んでいる振動片を有し、連結部を形成することで振動漏れを低減できることが記載されている。また、特許文献 1 には、連結部の幅 W_2 が基部の幅 W_1 の 50% 以下であってもよいことが記載されている。

40

【0003】

しかしながら、特許文献 1 に記載の振動素子では、各振動腕の先端部に錘部（ハンマーヘッド）が設けられていない。振動腕に錘部を設けた場合には、駆動時の振動腕に擦れが発生し易くなり、その分、振動漏れが大きくなる傾向にある。また、同一長さの振動腕において、振動素子の高性能化を図るために錘部を形成した場合には、屈曲振動により基部に与える振動の影響は必然と大きくなり、それと共に振動漏れも大きくなる傾向にある。したがって、振動腕に錘部を設けた場合、幅 W_2 を幅 W_1 の 50% 以下にするだけで、振動漏れを十分に低減することができるかどうかは不明である。

50

【 0 0 0 4 】

また、振動素子の振動漏れには、振動素子をパッケージに固定する固定部材（一般的には、金属バンプや導電性の接着材）の硬さが大きく影響する。すなわち、幅 W_2 を幅 W_1 の 50% 以下にしたとしても、固定部材の硬さによっては、振動漏れを十分に低減することができない。特許文献 1 では、固定部材の硬さについて何ら記載されておらず、固定部材の硬さと幅 W_2 (W_2 / W_1) の関係とが不明である。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 9 - 1 3 0 4 5 6 号 公 報

10

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、振動漏れを低減することのできる振動子、並びに、この振動子を備える信頼性の高い発振器、電子機器、物理量センサー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 】

【 0 0 0 7 】

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。

[適用例 1]

20

本適用例の振動子は、振動素子と、
前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
を含み、
前記振動素子は、
基部と、
平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結している連結部と、

30

を含み、
前記振動腕は、
錘部と、
平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
を含み、
前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅を W_1 、
前記連結部の前記交差する方向に沿った幅を W_2 、
前記部材のヤング率を E (G P a) としたとき、

【 数 1 】

$$-1.3 \leq \log E < -0.7$$

40

なる関係のときに、

【 数 2 】

$$0.1 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq 0.7$$

なる関係を満足することを特徴とする。

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【 0 0 0 8 】

[適用例 2]

50

本適用例の振動子は、振動素子と、
 前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
 前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
 を含み、
 前記振動素子は、
 基部と、
 平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
 平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

10

を含み、
 前記振動腕は、
 錘部と、
 平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
 を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
 前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数3】

$$-0.7 \leq \log E \leq 0.7$$

20

なる関係のときに、

【数4】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.995 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.891 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 \\ - 4.561 \times 10^{-2} \times (\log E) + 5.038 \times 10^{-1}$$

なる関係を満足することを特徴とする。

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子を得られる。

【0009】

30

[適用例3]

本適用例の振動子は、振動素子と、
 前記振動素子を取り付けられているパッケージと、
 前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、
 を含み、
 前記振動素子は、
 基部と、
 平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
 平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

40

を含み、
 前記振動腕は、
 錘部と、
 平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、
 を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW1、
 前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW2、
 前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数 5】

$$-1.3 \leq \log E < -1.0$$

なる関係のときに、

【数 6】

$$1.167 \times (\log E)^2 + 2.168 \times (\log E) + 1.101 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq 0.7$$

なる関係を満足することを特徴とする。

10

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【0 0 1 0】

〔適用例 4〕

本適用例の振動子は、振動素子と、

前記振動素子を取り付けられているパッケージと、

前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、

を含み、

前記振動素子は、

基部と、

平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、

20

平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、

平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結している連結部と、

を含み、

前記振動腕は、

錘部と、

平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、

を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅を W_1 、前記連結部の前記交差する方向に沿った幅を W_2 、

30

前記部材のヤング率を E (GPa) としたとき、

【数 7】

$$-1.0 \leq \log E \leq 0.7$$

なる関係のときに、

【数 8】

$$0.100 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq -1.100 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.433 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 8.338 \times 10^{-2} \times (\log E) + 4.246 \times 10^{-1}$$

40

なる関係を満足することを特徴とする。

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【0 0 1 1】

〔適用例 5〕

本適用例の振動子は、振動素子と、

前記振動素子を取り付けられているパッケージと、

前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、

を含み、

前記振動素子は、

基部と、

50

平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、
 平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、
 平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

を含み、

前記振動腕は、

錘部と、

平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、

を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW 1、

前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW 2、

前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数 9】

$$-1.3 \leq \log E < -0.82$$

なる関係のときに、

【数 10】

$$-9.877 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.610 \times (\log E) - 1.370$$

$$\leq \frac{W2}{W1} \leq$$

$$-1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5 - 3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4$$

$$+1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E) + 2.285 \times 10^{-1}$$

なる関係を満足することを特徴とする。

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【0012】

[適用例6]

本適用例の振動子は、振動素子と、

前記振動素子を取り付けられているパッケージと、

前記パッケージに前記振動素子を取り付ける部材と、

を含み、

前記振動素子は、

基部と、

平面視で前記基部の一端側から延出されている一対の振動腕と、

平面視で前記基部の他端側に配置されている接続部と、

平面視で前記基部と前記接続部との間に配置され、前記基部と前記接続部とを連結して
 いる連結部と、

を含み、

前記振動腕は、

錘部と、

平面視で前記基部と前記錘部との間に配置されている腕部と、

を含み、

前記基部の前記延出方向と交差する方向に沿った幅をW 1、

前記連結部の前記交差する方向に沿った幅をW 2、

前記部材のヤング率をE (G P a) としたとき、

【数 1 1】

$$-0.82 \leq \log E \leq 0.7$$

なる関係のときに、

【数 1 2】

$$\begin{aligned} 0.100 \leq \frac{W_2}{W_1} \leq & -1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5 - 3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4 \\ & + 1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E) \\ & + 2.285 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

10

なる関係を満足することを特徴とする。

これにより、振動漏れを低減することのできる振動子が得られる。

【0 0 1 3】

〔適用例 7〕

本適用例の振動子では、前記接続部は、平面視で、前記部材と重なっている部分を有することが好ましい。

〔適用例 8〕

本適用例の振動子では、前記振動腕の前記延出方向に沿った長さを L、
前記錘部の前記延出方向に沿った長さを H としたとき、

20

【数 1 3】

$$0.184 \leq \frac{H}{L} \leq 0.597$$

なる関係を満足することが好ましい。

これにより、振動素子の Q 値を向上させることができる。

【0 0 1 4】

〔適用例 9〕

本適用例の振動子では、前記振動腕の前記延出方向に沿った長さを L、
前記錘部の前記延出方向に沿った長さを H としたとき、

30

【数 1 4】

$$0.012 < \frac{H}{L} < 0.30$$

なる関係を満足することが好ましい。

これにより、振動素子の C I 値を低減することができる。

【0 0 1 5】

〔適用例 10〕

本適用例の振動子では、前記振動腕は、互いに表裏の関係にある 1 対の主面と、前記 1 対の主面にそれぞれ設けられている 1 対の溝と、を有し、

40

前記延出方向と交差する方向に沿って前記溝を挟んで並んでいる前記主面の各部位の幅を W3 としたとき、

$$7 (\mu m) \leq W3 \leq 15 (\mu m)$$

なる関係を満足していることが好ましい。

これにより、熱弾性損失を低減することができ、より優れた振動特性を発揮することができる。

【0 0 1 6】

〔適用例 11〕

本適用例の振動子では、前記振動腕は、互いに表裏の関係にある 1 対の主面と、前記 1

50

対の主面にそれぞれ設けられている１対の溝と、を有し、
 前記振動腕の厚さをＴ、
 前記溝の深さをｔとしたとき、
 【数１５】

$$0.4 \leq 2 \times \frac{t}{T} < 1$$

なる関係を満足していることが好ましい。

これにより、熱弾性損失を低減することができ、より優れた振動特性を発揮することができる。

10

【００１７】

[適用例１２]

本適用例の振動子では、前記錘部は、前記腕部よりも前記延出方向と交差する方向に沿った幅が広いことが好ましい。

これにより、錘部の効果をより発揮することができる。

[適用例１３]

本適用例の振動子では、前記基部は、前記他端側に位置し、平面視で前記延出方向と交差する方向の長さが、前記一対の振動腕の間の中心線に沿って、前記一端から離れるに従って連続的または段階的に減少している第１縮幅部を含んでいることが好ましい。

これにより、第１縮幅部によって振動腕の振動が相殺（緩和・吸収）され、振動漏れを低減することができる。そのため、優れた振動特性を有する振動片が得られる。また、基部の一端と他端の離間距離が広がり、これらの間での熱移動を低減でき、熱弾性損失を低減することができる。

20

【００１８】

[適用例１４]

本適用例の振動子では、前記基部は、前記一端側であって前記一対の振動腕の間に位置し、平面視で前記延出方向と交差する方向の長さが、前記一対の振動腕の間の中心線に沿って、前記他端から離れるに従って連続的または段階的に減少している第２縮幅部を含んでいることが好ましい。

これにより、第２縮幅部によって振動腕の振動が相殺（緩和・吸収）され、振動漏れを低減することができる。そのため、優れた振動特性を有する振動片が得られる。また、基部の一端と他端の離間距離が広がり、これらの間での熱移動を低減でき、熱弾性損失を低減することができる。

30

【００１９】

[適用例１５]

本適用例の発振器は、上記適用例の振動子と、
 回路と、
 を備えていることを特徴とする。

これにより、信頼性の高い発振器が得られる。

【００２０】

[適用例１６]

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。

40

[適用例１７]

本適用例の物理量センサーは、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、信頼性の高い物理量センサーが得られる。

[適用例１８]

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 that 得られる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 1 】

【図 1】本発明の第 1 実施形態にかかる振動子の平面図である。

【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】ウェットエッチングにより形成された振動腕を示す断面図である。

【図 5】屈曲振動時の熱伝導について説明する振動腕の断面図である。

【図 6】Q 値と f / f_m の関係を示すグラフである。

【図 7】図 1 に示す振動子が備える振動素子の部分拡大平面図である。

【図 8】シミュレーションに用いた水晶振動片の寸法を示す平面図および断面図である。

【図 9】シミュレーションの用いた水晶振動片をベースに取り付けた状態を示す側面図である。 10

【図 10】振動漏れに関するシミュレーション結果を示す表である。

【図 11】振動漏れに関するシミュレーション結果を示す表である。

【図 12】 W_2 / W_1 と Q 値との関係を示すグラフである。

【図 13】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 14】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 15】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 16】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 17】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 18】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。 20

【図 19】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 20】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 21】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 22】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 23】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 24】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 25】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 26】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 27】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 28】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。 30

【図 29】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 30】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。

【図 31】 W_2 / W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示す表である。

【図 32】導電性接着材のヤング率と W_2 / W_1 との関係を示すグラフである。

【図 33】導電性接着材のヤング率と W_2 / W_1 との関係を示すグラフである。

【図 34】導電性接着材のヤング率と W_2 / W_1 との関係を示すグラフである。

【図 35】本発明の第 2 実施形態にかかる振動子が備える振動素子の平面図である。

【図 36】本発明の発振器の好適な実施形態を示す断面図である。

【図 37】本発明の物理量センサーの好適な実施形態を示す断面図である。

【図 38】本発明の電子機器を適用したモバイル型（またはノート型）のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。 40

【図 39】本発明の電子機器を適用した携帯電話機（PHS も含む）の構成を示す斜視図である。

【図 40】本発明の電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。

【図 41】本発明の移動体を適用した自動車を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 2 】

以下、本発明の振動子、発振器、電子機器、物理量センサー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。 50

１．振動子

まず、本発明の振動子について説明する。

< 第１実施形態 >

図１は、本発明の第１実施形態にかかる振動子の平面図である。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、ウエットエッチングにより形成された振動腕を示す断面図である。図５は、屈曲振動時の熱伝導について説明する振動腕の断面図である。図６は、Ｑ値と f/f_m の関係を示すグラフである。図７は、図１に示す振動子が備える振動素子の部分拡大平面図である。図８は、シミュレーションに用いた水晶振動片の寸法を示す平面図および断面図である。図９は、シミュレーションの用いた水晶振動片をベースに取り付けた状態を示す側面図である。図１０および図１１は、それぞれ、振動漏れに関するシミュレーション結果を示す表である。図１２は、 W_2/W_1 とＱ値との関係を示すグラフである。図１３ないし図３０は、それぞれ、 W_2/W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示すグラフである。図３１は、 W_2/W_1 と振動漏れし難さ指数との関係を示す表である。図３２は、導電性接着材のヤング率と W_2/W_1 との関係を示すグラフである。

【００２３】

なお、以下では、説明の便宜上、図２中の上側を「上」とし、下側を「下」とする。また、図１中の上側を「先端」とし、下側を「基端」とする。

図１に示すように、振動子１は、振動素子２と、振動素子２を収納するパッケージ９とを有している。

パッケージ

図１および図２に示すように、パッケージ９は、上面に開口する凹部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に接合されている板状のリッド９２とを有している。パッケージ９は、凹部９１１がリッド９２で塞がれることで形成された收容空間Ｓを有し、この收容空間Ｓに振動素子２を気密的に收容している。收容空間Ｓ内の雰囲気としては、特に限定されないが、減圧状態（真空状態）となっていることが好ましい。これにより、振動素子２の駆動に対する空気抵抗が低減されるため、優れた振動特性を発揮することができる。なお、收容空間Ｓ内の真空度としては、特に限定されないが、１００Pa以下程度であることが好ましく、１０Pa以下程度であることがより好ましい。また、收容空間Ｓ内には、窒素、ヘリウム、アルゴン等の不活性ガスが封入されていてもよい。

【００２４】

ベース９１の構成材料としては、特に限定されないが、酸化アルミニウム等の各種セラミックスを用いることができる。また、リッド９２の構成材料としては、特に限定されないが、ベース９１の構成材料と線膨張係数が近似する部材であると良い。例えば、ベース９１の構成材料を前述のようなセラミックスとした場合には、コパール等の合金とするのが好ましい。なお、ベース９１とリッド９２の接合は、特に限定されず、例えば、メタライズ層を介して接合することができる。

【００２５】

また、ベース９１の凹部９１１の底面には、接続端子９５１、９６１が形成されている。また、接続端子９５１上には導電性接着材（固定部材）１１が設けられ、接続端子９６１上には導電性接着材（固定部材）１２が設けられている。これら導電性接着材１１、１２によって振動素子２がベース９１に取り付けられているとともに、接続端子９５１が後述する第１駆動用電極８４と電気的に接続され、接続端子９６１が後述する第２駆動用電極８５と電気的に接続されている。

【００２６】

なお、導電性接着材１１、１２としては、それぞれ、導電性および接着性を有していれば特に限定されず、例えば、エポキシ系、アクリル系、シリコン系、ポリイミド系、ビスマレイミド系、ポリエステル系、ポリウレタン系の接着材（樹脂）に銀粒子等の導電性フィラーを混合した導電性接着材を用いることができる。

【 0 0 2 7 】

導電性接着材 1 1、1 2（上記接着材）のヤング率 E [G P a] は、下記式（ 1 ）の関係を満足している。下記式（ 1 ）の関係を満足することで、導電性接着材 1 1、1 3 を柔らかくすることができる。そのため、例えば、ベース 9 1 と振動素子 2 の熱膨張係数の違いから発生する熱応力を導電性接着材 1 1、1 3 で吸収・緩和することができ、振動素子 2 の振動特性の低下や変化を低減することができる。

【 0 0 2 8 】

【数 1 6】

$$-1.3 \leq \log E \leq 0.7 \dots\dots (1)$$

10

【 0 0 2 9 】

なお、仮に、導電性接着材 1 1、1 2 のヤング率 E が下記式（ 1 ）の下限値未満であると、導電性接着材 1 1、1 2 が柔らかくなり過ぎてしまう。そのため、落下等の衝撃が加わったときに、振動素子 2 がパッケージ 9 に対して大きく変位し、例えば、振動腕がパッケージ 9 と接触して破損するおそれが高くなる。

反対に、導電性接着材 1 1、1 2 のヤング率が下記式（ 1 ）の上限値を超えると、導電性接着材 1 1、1 2 が硬くなり過ぎてしまう。そのため、落下等の衝撃が加わったときに、例えば、振動素子 2 の導電性接着材 1 1、1 2 との接合部に応力が集中し、この応力集中箇所から振動素子 2 が破損するおそれが高くなる。また、振動素子 2 の駆動モードである X 逆相モードの共振周波数に対して、不要振動モードである X 同相モードの共振周波数が近づきやすくなり、振動漏れが増大するおそれが高くなる。

20

ここで、ヤング率 $E = 1.0 \text{ GPa}$ のとき、 $\log E = 0 \text{ GPa}$ であるため、上記式（ 1 ）は、下記式（ 2 ）で表すこともできる。

【 0 0 3 0 】

【数 1 7】

$$0.05(\text{GPa}) \leq E \leq 5.00(\text{GPa}) \dots\dots (2)$$

【 0 0 3 1 】

また、導電性接着材 1 1、1 2 のポアソン比としては、特に限定されないが、0.20 以上、0.40 以下程度であることが好ましい。また、導電性接着材 1 1、1 2 の厚さ T 1 としては、特に限定されないが、5 μm 以上、50 μm 以下程度であることが好ましく、15 μm 以上、25 μm 以下程度であることがより好ましい。また、導電性接着材 1 1、1 2 の質量密度としては、特に限定されないが、500 kg/m^3 以上、1000 kg/m^3 以下程度であることが好ましく、3000 kg/m^3 以上、6000 kg/m^3 以下程度であることがより好ましい。

30

【 0 0 3 2 】

また、図 2 に示すように、接続端子 9 5 1 は、ベース 9 1 の底部を貫通する貫通電極 9 5 2 を介してベース 9 1 の下面に設けられた外部端子 9 5 3 に電氣的に接続され、同様に、接続端子 9 6 1 は、ベース 9 1 の底部を貫通する貫通電極 9 6 2 を介してベース 9 1 の下面に設けられた外部端子 9 6 3 に電氣的に接続されている。接続端子 9 5 1、9 6 1、貫通電極 9 5 2、9 6 3 および外部端子 9 5 3、9 6 3 の構成としては、それぞれ、導電性を有していれば、特に限定されず、例えば、Cr（クロム）、Ni（ニッケル）、W（タングステン）、モリブデン（Mo）などの下地層に、Au（金）、Ag（銀）、Cu（銅）などのめっき層を形成した構成することができる。

40

【 0 0 3 3 】

振動素子

図 1 ないし図 3 に示すように、振動素子 2 は、水晶振動片（振動片）3 と、水晶振動片 3 上に形成された第 1 駆動用電極 8 4 および第 2 駆動用電極 8 5 と、を有している。なお、図 1 および図 2 では、説明の便宜上、第 1、第 2 駆動用電極 8 4、8 5 の図示を省略している。

50

【0034】

水晶振動片3は、Zカット水晶板で構成されている。Zカット水晶板とは、Z軸をほぼ厚さ方向とする水晶基板である。なお、水晶振動片3は、その厚さ方向とZ軸とが一致していてもよいが、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Z軸が若干傾いている。すなわち、傾ける角度を θ 度($-5^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$)とした場合、前記水晶の電気軸としてのX軸、機械軸としてのY軸、光学軸としてのZ軸からなる直交座標系の前記X軸を回転軸として、前記Z軸を前記Y軸の-Y方向へ+Z側が回転するように θ 度傾けた軸をZ'軸、前記Y軸を前記Z軸の+Z方向へ+Y側が回転するように θ 度傾けた軸をY'軸としたとき、Z'軸に沿った方向を厚さとし、X軸とY'軸を含む面を主面とする水晶振動片3となる。各図では、これらX軸、Y軸およびZ軸を図示している。

10

【0035】

水晶振動片3は、Y軸方向を長さ方向に持ち、X軸方向を幅方向に持ち、Z軸方向を厚さ方向に持っている。また、水晶振動片3は、そのほぼ全域(後述する溝323、324、333、334が形成されている領域を除く)にわたって、ほぼ同じ厚さを有している。水晶振動片3の厚さTとしては、特に限定されないが、 $100\mu\text{m}$ 以上、 $140\mu\text{m}$ 以下程度であるのが好ましい。これにより、後述するように、振動腕32、33の側面に配置される第1、第2駆動用電極84、85の面積を十分に広くすることができるので、CI値を十分に低減することができる。また、後述する熱の伝達経路(図6参照)を十分に長く確保することができるので、熱弾性損失を十分に低減することができる。なお、上記

20

下限値未満であると、機械的強度が不足し、水晶振動片3が破損するおそれがあり、上記上限値を超えると、ウェットエッチングによって微細形状が作成し難くなり、振動素子2の過度な大型化に繋がってしまう。

【0036】

このような水晶振動片3は、基部31と、基部31の+Y軸側の端(一端)から+Y軸方向に延びている一対の振動腕32、33と、基部31の-Y軸側に配置されている接続部34と、基部31と接続部34との間に位置し、基部31と接続部34とを連結している連結部35と、を有している。これら基部31、振動腕32、33、接続部34および連結部35は、水晶基板から一体に形成されている。

【0037】

基部31は、XY平面に広がりを持ち、Z軸方向に厚さを有する板状をなしている。このような基部31の-Y軸側(他端側)の端からは、連結部35が-Y軸方向に延出している。連結部35の-Y軸側の端には、接続部34が接続されており、接続部34は、連結部35からX軸方向両側に延びている。

30

そして、このような振動素子2は、接続部34が導電性接着材11、12によりベース91に取り付けられている。このように、2つの導電性接着材11、12を用いることで、振動素子2を安定した状態でベース91に取り付けることができる。

【0038】

ここで、連結部35は、基部31よりも幅が小さい。言い換えれば、連結部35は、基部31に対して縮幅している。また、連結部35は、基部31の振動腕32、33側(+Y軸側)の端部から十分離れた位置において、両側縁に、基部31の幅方向の寸法を部分的に縮幅して形成した切り込み部31a、31bを形成することによって形成されているとも言える。このような連結部35を設けることで、例えば振動腕32、33が互いに離間するように屈曲振動する際には、切り込み部31a、31bとの境界近傍における基部31は、振動腕32、33から連結部35に向かって圧縮されながら、互いにその振動を相殺するように作用し合う。切り込み部31a、31bに縮幅した形状がない場合には、振動の相殺はX軸方向に略限定されてしまうが、切り込み部31a、31bに縮幅した形状が設けられている場合には、X軸方向に加えてY軸方向に於ける相殺も効果的に成されるため、屈曲振動の際に発生する振動漏れが接続部34に伝搬することを低減し、振動素子2のCI値を低く抑えることができる。すなわち、連結部35を設けることによって

40

50

、優れた振動特性を有する振動素子 2 となる。

【 0 0 3 9 】

特に、本実施形態では、基部 3 1 の - Y 軸側の端部には、第 1 縮幅部 3 1 1 が設けられている。この第 1 縮幅部 3 1 1 は、その幅 (X 軸方向の長さ) が、振動腕 3 2、3 3 の間の中心線 L L (Y 軸) に沿って、- Y 軸側に向けて (基部 3 1 の + Y 軸側の端から離れるに従って) 連続的に減少している。また、第 1 縮幅部 3 1 1 は、中心線 L L に対して対称的に設けられている。このような第 1 縮幅部 3 1 1 を設けることで、振動腕 3 2、3 3 の屈曲振動に伴う基部 3 1 の Y 軸方向の変位 (振動) を低減することができる。その結果、振動漏れの小さい振動素子 2 を得ることができる。さらに、第 1 縮幅部 3 1 1 を設けることで、第 1 縮幅部 3 1 1 を設けない場合と比較して、基部 3 1 の + Y 軸側の端と - Y 軸側の端の離間距離を長くすることができる。振動腕 3 2、3 3 が互いに離間するように屈曲振動する際には、切り込み部 3 1 a、3 1 b との境界近傍における基部 3 1 は、振動腕 3 2、3 3 から連結部 3 5 に向かって圧縮されるのに伴って温度が上昇し、振動腕 3 2、3 3 の基端部 (- Y 軸方向端部) に挟まれた基部 3 1 の一端側 (+ Y 軸方向端部) 周辺は伸ばされるのに伴って温度が低下し、振動腕 3 2、3 3 が互いに接近するように屈曲振動する際には、切り込み部 3 1 a、3 1 b との境界近傍における基部 3 1 は、振動腕 3 2、3 3 から連結部 3 5 に向かって伸ばされるのに伴って温度が低下し、振動腕 3 2、3 3 の基端部 (- Y 軸方向端部) に挟まれた基部 3 1 の一端側 (+ Y 軸方向端部) 周辺は圧縮されるのに伴って温度が上昇するが、第 1 縮幅部 3 1 1 を設けることで、これらの間で発生する熱移動に要する経路が長くなるので、後述する断熱的領域においては、熱弾性損失を低減することができる。

10

20

【 0 0 4 0 】

なお、ここでは第 1 縮幅部 3 1 1 の輪郭がアーチ状をしているが、上述のような作用を呈するものであればこれに限るものではない。例えば、輪郭が複数の直線によって、段差状に形成されている、すなわち、その幅 (X 軸方向の長さ) が中心線 L L に沿って、- Y 軸側に向けて段階的に減少していてもよいし、複数の直線によってアーチ状を模して設けられていてもよいし、切り込み部 3 1 a、3 1 b に面した第 1 縮幅部 3 1 1 が夫々単一の直線によって設けられていてもよい。

【 0 0 4 1 】

振動腕 3 2、3 3 は、X 軸方向に並び、かつ、互いに平行となるように基部 3 1 の + Y 軸側の端から + Y 軸方向に延出している。これら振動腕 3 2、3 3 は、それぞれ、長手形状をなし、その基端 (- Y 軸側の端) が固定端となり、先端 (+ Y 軸側の端) が自由端となる。また、振動腕 3 2、3 3 は、それぞれ、基部 3 1 から延びている腕部 3 2 1、3 3 1 と、腕部 3 2 1、3 3 1 の先端側に位置し、腕部 3 2 1、3 3 1 よりも幅が広い錘部としてのハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2 と、を有している。このように、振動腕 3 2、3 3 の先端部にハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2 を設けることで、振動腕 3 2、3 3 を短くすることができるが、振動素子 2 の小型化を図ることができる。また、振動腕 3 2、3 3 を短くすることができる分、同じ周波数で振動腕 3 2、3 3 を振動させたときの振動腕 3 2、3 3 の振動速度を従来よりも低くすることができるため、振動腕 3 2、3 3 が振動する際の空気抵抗を低減することができ、その分、Q 値が高まり、振動特性を向上させることができる。

30

40

【 0 0 4 2 】

ここで、ハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2 の離間距離 W 7 としては、特に限定されないが、例えば、振動腕 3 2、3 3 の厚さ T (μm) に対して、 $0.033T(\mu\text{m}) \leq W7 \leq 0.33T(\mu\text{m})$ の関係を満足することが好ましい。これにより、フォトリソグラフィ技術およびウエットエッチング技術を用いて、水晶振動片 3 を形成する際に、ハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2 同士の離間距離 W 7 と、振動腕 3 2、3 3 (ハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2) の厚さ T との関係が最適化され、その結果、超小型が実現された水晶振動片 3 が形成されることとなる。

【 0 0 4 3 】

50

なお、錘部としてのハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2 は、腕部よりも幅が広いものを実施例として記載しているが、これに限定されるものではなく、腕部 3 2 1、3 3 1 よりも、単位長さ当たりの質量密度が高いものであればよい。たとえば、腕部よりも厚い部分を有するもの、Au などの金属が厚く設けられているもの、質量密度の高い物質（腕部とは別の材料、腕部と同じ材料に対してドーピングがなされたもの）から成るものなどがある。また、これらの組み合わせによるものであってもよい。

【0044】

以下、上記関係式の算出方法について説明する。ウエットエッチングにより、板さ T (μm) の Z カット水晶板を貫通するのに要する時間を m_1 (分)、この Z カット水晶板を実際に加工する時間を m_2 (分)、所定の係数を k として、時間 m_2 の間に Z カット水晶板が $\pm X$ 軸方向にエッチングされる量（サイドエッチング量）の和を X (μm) とすると、 X は、 $X = m_2 / m_1 \times T \times k$ で表すことができる。この式において、 $m_1 = m_2$ とした場合には、 $X = T \times k \dots$ (式 A) となる。

【0045】

そこで、実際に厚さ $T = 100$ (μm) の Z カット水晶板が貫通するまで表裏の主面からウエットエッチングし、貫通した時点でウエットエッチングを終了する。その際の X を測定したところ、 X は 1.63 (μm) であった。この実測値を (式 A) に代入することにより、 $k = 0.0163$ と計算される。これは一方の主面からウエットエッチングした場合に換算すると、 $k = 0.0326$ と計算される。

【0046】

また、振動素子 2 を作成する場合には、振動腕 3 2、3 3 (ハンマーヘッド 3 2 2、3 3 2) の断面形状が高い対称性をもつことによって振動漏れを抑圧するために、 $2 \times m_2 / m_1 \times 30 \dots$ (式 B) とするのが好ましい。この (式 B) および (式 A) に基づいて、表裏の主面からウエットエッチングした場合には、 $0.033T$ (μm) $W7 \quad 0.489T$ (μm)、一方の主面からウエットエッチングした場合には $0.065T$ (μm) $W7 \quad 0.978T$ (μm) が得られる。

【0047】

また、振動素子 2 を小型化する観点から、互いに表裏の関係にある第 1 の主面および第 2 の主面からウエットエッチングすることによって X を小さくすることが好ましいため、上記関係式 $0.033T$ (μm) $W7 \quad 0.489T$ (μm) が導き出されるが、本実施形態では、上記関係式 $0.033T$ (μm) $W7 \quad 0.33T$ (μm) のように、その上限値をより小さい値に設定している。これにより、水晶振動片 3 の超小型が実現される。

【0048】

以下、振動腕 3 2、3 3 について詳述するが、振動腕 3 2、3 3 は、互いに同様の構成であるため、以下では、振動腕 3 2 について代表して説明し、振動腕 3 3 については、その説明を省略する。

図 3 に示すように、腕部 3 2 1 は、XY 平面で構成され、互いに表裏の関係にある一対の主面 3 2 a、3 2 b と、YZ 平面で構成され、一対の主面 3 2 a、3 2 b を接続する 1 対の側面 3 2 c、3 2 d と、を有している。また、腕部 3 2 1 には、主面 3 2 a に開口する有底の溝 3 2 3 と、主面 3 2 b に開口する有底の溝 3 2 4 とを有している。このように、振動腕 3 2 に溝 3 2 3、3 2 4 を形成することによって、熱弾性損失の低減を図ることができ、優れた振動特性を発揮することができる。溝 3 2 3、3 2 4 の長さは、特に限定されず、先端がハンマーヘッド 3 2 2 まで延びていてもよいし、基端が基部 3 1 まで延びていてもよい。このような構成とすることで、腕部 3 2 1 とハンマーヘッド 3 2 2 の境界部および腕部 3 2 1 と基部 3 1 の境界部への応力集中が緩和され、衝撃が加わった際に発生する折れや欠けの虞が減少する。なお、溝は、主面 3 2 a、3 2 b のいずれか一方にだけ設けられていてもよいし、省略してもよい。

【0049】

溝 3 2 3、3 2 4 の深さ t は、振動腕 3 2 の厚さ T との関係において、下記式 (3) を

10

20

30

40

50

満足することが好ましい。下記式(3)の関係を満足することで、後述するように、熱移動経路が長くなるから、後述する断熱的領域において、効果的に、熱弾性損失の低減を図ることができる。そのため、Q値の向上とそれに伴うCI値の低減、さらには、屈曲変形する領域に電界をかけるための電極面積をより広げることができることによるCI値の低減が実現される。

【0050】

【数18】

$$0.4 \leq 2 \times \frac{t}{T} < 1 \dots \dots (3)$$

10

【0051】

なお、水晶基板をウエットエッチングによるパターニングで水晶振動片3を製造する場合は、腕部321の断面形状は、図4に示すように、水晶の結晶面が露出したような形状となる。具体的には、-X軸方向のエッチングレートが+X軸方向のエッチングレートよりも低いため、-X軸方向の側面が比較的なだらかな傾斜となり、+X軸方向の側面が垂直に近い傾斜となる。この場合の溝323、324の深さtは、図4に示すように、最も深い位置における深さを言う。ここで、図4に示すように、溝323、324は、XY平面で構成される底面323a、324aを有していることが好ましい。これにより、熱移動経路をより長くすることができ、断熱的領域において、効果的に熱弾性損失の低減を図ることができる。

20

【0052】

溝323、324は、振動腕32の断面重心が振動腕32の断面形状の中心と一致するように、振動腕32に対してX軸方向の位置を調整して形成されているのが好ましい。こうすることで、振動腕32の不要な振動(具体的には、面外方向成分を有する振動)を低減するので、振動漏れを低減することができる。また、この場合、余計な振動をも駆動してしまうことを低減することになるので、相対的に駆動領域が増大してCI値を小さくすることができる。

【0053】

また、腕部321の主面32aの溝323のX軸方向両側に位置する土手部32a'の幅(X軸方向の長さ)W3としては、特に限定されないが、 $7\mu\text{m} \leq W3 \leq 15\mu\text{m}$ なる関係を満足することが好ましい。これにより、後述する側面32cと側面32dの間の熱移動を低減することができ、熱弾性損失を低減させて、その分、Q値を向上させることができ、優れた振動特性を発揮することができる。

30

【0054】

このような腕部321の幅(X軸方向の長さ)W4としては、特に限定されないが、 $13\mu\text{m}$ 以上 $300\mu\text{m}$ 以下程度であるのが好ましく、 $30\mu\text{m}$ 以上、 $150\mu\text{m}$ 以下程度であるのがより好ましい。幅W4が上記下限値未満であると、製造技術によっては腕部321に溝323、324を形成することが困難となること、また、振動周波数が $32.768\text{kHz} \pm 1\text{kHz}$ の範囲においては、振動腕32を断熱的領域とすることができなくなる場合があり、溝323や溝324の形成によって寧ろ熱弾性損失が増大してしまう虞がある。一方、幅W4が上記上限値を超えると、水晶振動片3の厚さTによっては、腕部321の剛性が高くなり過ぎてしまい、低消費電力化による励振パワーの減少に伴って、腕部321の屈曲振動をスムーズに行うことができない場合がある。また、振動腕32が重くなることによって、導電性接着剤11、12による固定強度が不足して、衝撃が加わった際に振動素子2がベース91から脱落してしまう虞がある。なお、ここで言う幅W4は、腕部321の中央部に位置し、ほぼ一定の幅で延在している部分の幅を言い、両端部に位置しているテーパ部の幅ではない。

40

【0055】

また、振動腕32の全長(Y軸方向の長さ)をLとし、ハンマーヘッド322の全長(Y軸方向の長さ)をHとしたとき、LおよびHが、下記式(4)の関係を満足することが

50

好ましい。これにより、熱弾性損失を低減させて、その分、Q値を向上させることができる。そのため、優れた振動特性を有する振動素子2となる。なお、ハンマーヘッド322の全長Hとは、ハンマーヘッド322の基端部（腕部321との境界部）に位置するテーパ部を含まず、テーパ部の先端側にあつて幅が一定な部分の長さを意味している。また、振動腕32の基端を、振動腕32の基端部に設けられているテーパ部の終端Peに設定している。

【0056】

【数19】

$$0.184 \leq \frac{H}{L} \leq 0.597 \dots (4)$$

10

【0057】

また、振動腕32の全長（Y軸方向の長さ）をLとし、ハンマーヘッド322の全長（Y軸方向の長さ）をHとしたとき、下記式（5）の関係を満足することも好ましい。これにより、CI値が低く抑えられ、振動損失が少なく、優れた振動特性を有する振動素子2となる。

【0058】

【数20】

$$0.012 < \frac{H}{L} < 0.30 \dots (5)$$

20

【0059】

また、ハンマーヘッド322の幅（X軸方向の長さ）W5としては、特に限定されないが、腕部321の幅W4の1.5倍以上、10倍以下程度であることが好ましい。すなわち、 $1.5 \times W4 \leq W5 \leq 10 \times W4$ なる関係を満足することが好ましい。これにより、ハンマーヘッド322の幅を十分に広く確保することができる。そのため、ハンマーヘッド322の長さHが比較的短くても、ハンマーヘッド322による質量効果を十分に発揮することができる。したがって、振動腕32の全長Lが抑えられ、振動素子2の小型化を図ることができる。また、屈曲振動は純粋な面内振動ではないため、W5が広すぎることで、振動腕32が屈曲振動する際にハンマーヘッド322が大きく擦れて振動漏れが増大する虞があるが、これを低減することができる。

30

以上、水晶振動片3の形状について説明した。

【0060】

図3に示すように、このような水晶振動片3が有する振動腕32には、一对の第1駆動用電極84と一对の第2駆動用電極85とが形成されている。第1駆動用電極84の一方は、溝323の内面に形成されており、他方は、溝324の内面に形成されている。また、第2駆動用電極85の一方は、側面32cに形成されており、他方は、側面32dに形成されている。同様に、振動腕33にも、一对の第1駆動用電極84と一对の第2駆動用電極85とが形成されている。第1駆動用電極84の一方は、側面33cに形成されており、他方は、側面33dに形成されている。また、第2駆動用電極85の一方は、溝333の内面に形成されており、他方は、溝334の内面に形成されている。

40

【0061】

各第1駆動用電極84は、図示しない配線により接続部34の下面に設けられている接続電極86まで引き出され、接続電極86にて、導電性接着材11を介して接続端子951と電気的に接続されている。同様に、各第2駆動用電極85は、図示しない配線により接続部34の下面に設けられている接続電極87まで引き出され、接続電極87にて、導電性接着材12を介して接続端子961と電気的に接続されている。そして、これら第1、第2駆動用電極84、85間に交番電圧を印加すると、振動腕32、33が互いに接近、離間を繰り返すようにX逆相モードで振動する。

【0062】

50

第 1、第 2 駆動用電極 84、85 の構成材料としては、導電性を有していれば、特に限定されず、例えば、Cr (クロム)、Ni (ニッケル)、W (タングステン)、モリブデン (Mo) などの下地層に、Au (金)、Ag (銀)、Cu (銅) などの被覆層を形成した構成することができる。

また、第 1、第 2 駆動用電極 84、85 の具体的な構成としては、例えば、700 以下の Cr 層上に 700 以下の Au 層を形成した構成とすることができる。特に、Cr や Au は、熱弾性損失が大きいので、Cr 層、Au 層は、好ましくは 200 以下とされる。また、絶縁破壊耐性を高くする場合には、Cr 層、Au 層は、好ましくは 1000 以上とされる。さらに、Ni は、水晶の熱膨張係数に近いので、Cr 層に替えて Ni 層を下地にすることで、電極に起因する熱応力を減少させ、長期信頼性 (エージング特性) の良い振動素子を得ることができる。

10

以上、振動素子 2 の構成を説明した。上述したように、振動素子 2 の各振動腕 32、33 に溝 323、324、333、334 を形成することによって、熱弾性損失の低減を図ることができ、優れた振動特性を発揮することができる。以下、このことについて、振動腕 32 を例にして具体的に説明する。

【0063】

振動腕 32 は、前述したように、第 1、第 2 駆動用電極 84、85 間に交番電圧を印加することにより面内方向に屈曲振動する。図 5 に示すように、この屈曲振動の際、腕部 321 の側面 32c が収縮すると側面 32d が伸張し、反対に、側面 32c が伸張すると側面 32d が収縮する。振動腕 32 が Gough-Joule 効果を発生しない (エネルギー弾性がエントロピー弾性に対して支配的な) 場合、側面 32c、32d のうち、収縮する面側の温度は上昇し、伸張する面側の温度は下降する。そのため、側面 32c と側面 32d との間、つまり腕部 321 の内部に温度差が発生する。この温度差から生じる熱伝導によって振動エネルギーの損失が発生し、これにより振動素子 2 の Q 値が低下する。このような Q 値の低下に伴うエネルギーの損失を熱弾性損失とも言う。

20

【0064】

振動素子 2 のような構成の屈曲振動モードで振動する振動素子において、振動腕 32 の屈曲振動周波数 (機械的屈曲振動周波数) f が変化したとき、振動腕 32 の屈曲振動周波数が熱緩和周波数 f_m と一致するときに Q 値が最小となる。この熱緩和周波数 f_m は、下記式 (6) で求めることができる。ただし、ただし、式 (6) 中、 ω は円周率であり、 e をネイピア数とすれば、 τ は温度差が熱伝導により e^{-1} 倍になるのに要する緩和時間である)。

30

【0065】

【数 21】

$$f_m = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \dots (6)$$

【0066】

また、平板構造 (断面形状が矩形の構造) の熱緩和周波数を f_{m0} とすれば、 f_{m0} は下記式 (7) で求めることができる。なお、式 (7) 中、 ω は円周率、 k は振動腕 32 の振動方向の熱伝導率、 ρ は振動腕 32 の質量密度、 C_p は振動腕 32 の熱容量、 a は振動腕 32 の振動方向の幅である。式 (7) の熱伝導率 k 、質量密度 ρ 、熱容量 C_p に振動腕 32 の材料そのもの (すなわち水晶) の定数を入力した場合、求まる熱緩和周波数 f_{m0} は、振動腕 32 に溝 323、324 を設けていない場合の値となる。

40

【0067】

【数 22】

$$f_{m0} = \frac{\pi k}{2\rho C_p a^2} \quad \dots (7)$$

【0068】

50

振動腕 3 2 では、側面 3 2 c、3 2 d の間に位置するように溝 3 2 3、3 2 4 が形成されている。そのため、振動腕 3 2 の屈曲振動時に生じる側面 3 2 c、3 2 d の温度差を熱伝導により温度平衡させるための熱移動経路が溝 3 2 3、3 2 4 を迂回するように形成され、熱移動経路が側面 3 2 c、3 2 d 間の直線距離（最短距離）よりも長くなる。そのため、振動腕 3 2 に溝 3 2 3、3 2 4 を設けていない場合と比較して緩和時間が長くなり、熱緩和周波数 f_m が低くなる。

【 0 0 6 9 】

図 6 は、屈曲振動モードの振動素子の Q 値の f / f_m 依存性を表すグラフである。同図において、点線で示されている曲線 F 1 は、振動素子 2 のように振動腕に溝が形成されている場合を示し、実線で示されている曲線 F 2 は、振動腕に溝が形成されていない場合を示している。同図に示すように、曲線 F 1、F 2 の形状は変わらないが、前述のような熱緩和周波数 f_m の低下に伴って、曲線 F 1 が曲線 F 2 に対して周波数低下方向へシフトする。したがって、振動素子 2 のように振動腕に溝が形成されている場合の熱緩和周波数を f_{m1} とすれば、下記式 (8) を満たすことにより、常に、振動腕に溝が形成されている振動素子の Q 値が振動腕に溝が形成されていない振動素子の Q 値に対して高くなる。

【 0 0 7 0 】

【数 2 3】

$$f > \sqrt{f_{m0} f_{m1}} \quad \dots (8)$$

【 0 0 7 1 】

更に、下記式 (9) の関係に限定すれば、より高い Q 値を得ることができる。

【 0 0 7 2 】

【数 2 4】

$$\frac{f}{f_{m0}} > 1 \quad \dots (9)$$

【 0 0 7 3 】

なお、図 6 において、 $f / f_m < 1$ の領域を等温的領域とも言い、この等温的領域では f / f_m が小さくなるにつれて Q 値が高くなる。これは、振動腕の機械的周波数が低くなる（振動腕の振動が遅くなる）につれて前述のような振動腕内の温度差が生じ難くなるためである。したがって、 f / f_m を 0 に限りなく近づけた際の極限では、等温準静操作となつて、熱弾性損失は限りなく 0 に接近する。一方、 $f / f_m > 1$ の領域を断熱的領域とも言い、この断熱的領域では f / f_m が大きくなるにつれて Q 値が高くなる。これは、振動腕の機械的周波数が高くなるにつれて、各側面の温度上昇・温度低下の切り替わりが高速となり、前述のような熱伝導が生じる時間がなくなるためである。したがって、 f / f_m を限りなく大きくした際の極限では、断熱操作となつて、熱弾性損失は限りなく 0 に接近する。このことから、 $f / f_m > 1$ の関係を満たすとは、 f / f_m が断熱的領域にあるとも言い換えることができる。

以上、熱弾性損失について説明した。

【 0 0 7 4 】

このような振動素子 2 において、導電性接着材 1 1、1 2 のヤング率 E (G P a) と、基部 3 1 の幅 (X 軸方向の長さ) W_1 と、連結部 3 5 の幅 (X 軸方向の長さ) W_2 との関係を、以下のパターン 1 とすることが好ましく、下記のパターン 2 とすることがより好ましく、下記のパターン 3 とすることがさらに好ましい。これらパターン 1 ~ 3 のいずれかを満足することで、振動漏れが低減された振動子 1 とすることができる。

なお、図 7 に示すように、基部 3 1 の幅 W_1 は、その幅が最も広くなっている部分における幅を言い、連結部 3 5 の幅 W_2 は、その幅が最も狭くなっている部分における幅を言う。また、基部 3 1 の幅 W_1 、連結部 3 5 の幅 W_2 は、共に、表裏主面の輪郭部で規定されるものとする。

【 0 0 7 5 】

パターン 1

パターン 1 では、下記式 (1 0)、(1 1) を共に満足するか、または、下記式 (1 2)、(1 3) を共に満足している。

【 0 0 7 6 】

【 数 2 5 】

$$-1.3 \leq \log E < -0.7 \dots (10)$$

【 0 0 7 7 】

【 数 2 6 】

$$0.1 \leq \frac{W2}{W1} \leq 0.7 \dots (11)$$

【 0 0 7 8 】

【 数 2 7 】

$$-0.7 \leq \log E \leq 0.7 \dots (12)$$

【 0 0 7 9 】

【 数 2 8 】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.995 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.891 \times 10^{-1} \times (\log E)^2$$

$$-4.561 \times 10^{-2} \times (\log E) + 5.038 \times 10^{-1} \dots (13)$$

【 0 0 8 0 】

パターン 2

パターン 2 では、下記式 (1 4)、(1 5) を共に満足するか、または、下記式 (1 6)、(1 7) を共に満足している。

【 0 0 8 1 】

【 数 2 9 】

$$-1.3 \leq \log E < -1.0 \dots (14)$$

【 0 0 8 2 】

【 数 3 0 】

$$1.167 \times (\log E)^2 + 2.168 \times (\log E) + 1.101 \leq \frac{W2}{W1} \leq 0.7 \dots (15)$$

【 0 0 8 3 】

【 数 3 1 】

$$-1.0 \leq \log E \leq 0.7 \dots (16)$$

【 0 0 8 4 】

【 数 3 2 】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.100 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 1.433 \times 10^{-1} \times (\log E)^2$$

$$-8.338 \times 10^{-2} \times (\log E) + 4.246 \times 10^{-1} \dots (17)$$

【 0 0 8 5 】

パターン 3

パターン 3 では、下記式 (1 8)、(1 9) を共に満足するか、または、下記式 (2 0)、(2 1) を共に満足している。

【 0 0 8 6 】

【 数 3 3 】

$$-1.3 \leq \log E < -0.82 \dots (18)$$

【 0 0 8 7 】

【 数 3 4 】

$$-9.877 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.610 \times (\log E) - 1.370 \leq \frac{W2}{W1}$$

10

$$\leq -1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5 - 3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4$$

$$+1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3 + 4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E)$$

$$+2.285 \times 10^{-1} \dots (19)$$

【 0 0 8 8 】

【 数 3 5 】

$$-0.82 \leq \log E \leq 0.7 \dots (20)$$

20

【 0 0 8 9 】

【 数 3 6 】

$$0.100 \leq \frac{W2}{W1} \leq -1.219 \times 10^{-2} \times (\log E)^6 - 2.289 \times 10^{-1} \times (\log E)^5$$

$$-3.460 \times 10^{-1} \times (\log E)^4 + 1.566 \times 10^{-1} \times (\log E)^3$$

$$+4.112 \times 10^{-1} \times (\log E)^2 - 2.472 \times 10^{-1} \times (\log E) + 2.285 \times 10^{-1} \dots (21)$$

30

【 0 0 9 0 】

以下、発明者が行ったシミュレーション結果に基づいて、パターン 1、2、3 のいずれかを満たすことによって、振動漏れが低減される振動子 1 が得られることを証明する。なお、本シミュレーションに用いた水晶振動片 3 は、Z カット水晶板をウェットエッチングによりパターンングしてなり、図 8 (a)、(b) に示す寸法を有している。図 8 中の数値の単位は、全て (μm) である。なお、本シミュレーションでは、ウェットエッチングによりパターンングされた水晶振動片 3 を用いているため、振動腕 3 2、3 3 に形成されている溝 3 2 3、3 2 4、3 3 3、3 3 4 は、図 8 (b) に示すような水晶の結晶面が現れた形状となっている。また、本シミュレーションに用いた水晶振動片 3 には第 1、第 2 駆動用電極 8 4、8 5、その他配線を形成していない。また、発見者によって、各部の寸法が異なっても本シミュレーション結果とほとんど差がないこと (同様の傾向を有すること) が確認されている。

40

【 0 0 9 1 】

本シミュレーションは、連結部 3 5 の幅 W 2 が $50 \mu\text{m} \sim 350 \mu\text{m}$ (W 2 = $50 \mu\text{m}$ 、 $67 \mu\text{m}$ 、 $83 \mu\text{m}$ 、 $100 \mu\text{m}$ 、 $116 \mu\text{m}$ 、 $133 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$ 、 $175 \mu\text{m}$ 、 $200 \mu\text{m}$ 、 $225 \mu\text{m}$ 、 $250 \mu\text{m}$ 、 $275 \mu\text{m}$ 、 $300 \mu\text{m}$ 、 $325 \mu\text{m}$ 、 $350 \mu\text{m}$) のいずれかである振動子 1 を、ヤング率 E が $0.050 \text{ GPa} \sim 5.000 \text{ GPa}$ (E = 0.0050 GPa 、 0.075 GPa 、 0.100 GPa 、 0.125 GPa 、 0.150 GPa 、 0.175 GPa 、 0.200 GPa 、 0.300 GPa 、 0.500 GPa 、 1.000 GPa 、 1.500 GPa 、 2.000 GPa 、 2.500 GPa)

50

、 3.000 GPa 、 3.500 GPa 、 4.000 GPa 、 4.500 GPa 、 5.000 GPa)のいずれかである導電性接着材 11、12を用いて、図9に示すように、接続部34の2箇所(X軸方向の両端部)でベース91に取り付けた状態を想定して行った。また、導電性接着材 11、12のヤング率E以外のパラメータとしては、厚さ($T1$) = $20\text{ }\mu\text{m}$ 、ポアソン比 = 0.33 、質量密度 = 4070 kg/m^3 とした。また、ベース91としては、ヤング率 = 320 GPa 、ポアソン比 = 0.23 、質量密度 = 3800 kg/m^3 のセラミックベースを想定した。

【0092】

シミュレーション

本シミュレーションは、振動素子2の駆動周波数である 32.768 kHz で振動腕32、33をX逆相モードで駆動振動させたときの振動漏れを計算することで行った。なお、振動漏れは、導電性接着材 11、12の裏面に到達したエネルギーがベース91に漏洩するとして計算した。なお、発見者によって、駆動周波数が異なっても(例えば、 $32.768\text{ kHz} \pm 1\text{ kHz}$ の周波数であっても)、シミュレーション結果にほとんど差がないこと(同様の傾向を有すること)が確認されている。

【0093】

本シミュレーション結果を図10ないし図12に示す。図10および図11は、シミュレーション結果を示す表1、2であり、図12は、図10および図12の表をグラフ化したものである。図12の縦軸は、振動漏れのみを考慮したQ値「 Q_{Leak} 」であり、横軸は、 $W2/W1$ である。図12では、 Q_{Leak} の値が高い程、振動漏れが小さいことを示している。

【0094】

次に、各 Q_{Leak} の対数を取り、導電性接着材 11、12のヤング率E毎に、その最大値を「1」として規格した「振動漏れし難さ指数(M)」をプロットしたグラフを図13～図30に示す。なお、図13～図30の縦軸は、漏洩し難さ指数であり、横軸は、 $W2/W1$ である。図13～図30では、漏洩し難さ指数が1.0に近づく程、振動漏れを低減することができることを表している。

【0095】

シミュレーション結果の検討

次に、導電性接着材 11、12のヤング率E毎に、振動漏れし難さ指数(M) 0.94を満足するための $W2/W1$ の下限値および上限値を求める。その結果を図31の表3と、図32のグラフに示す。なお、 $W2/W1$ の全範囲でM 0.94を満たす場合には、 $W2/W1$ の下限値は0.1であり、上限値は0.7となる。図31および図32から、上記式(10)および式(11)を共に満足か、または、上記式(12)および式(13)を共に満足するかで、すなわち、パターン1の条件を満足することで、振動漏れし難さ指数(M)が0.94以上となり、効果的に振動漏れを低減することができる振動子1となることが分かる。なお、図32中に記載の式中のyは、 $W2/W1$ であり、xは、 $\log E$ である。

【0096】

また、導電性接着材 11、12のヤング率E毎に、振動漏れし難さ指数(M) 0.96を満足するための $W2/W1$ の下限値および上限値を求める。その結果を図31の表3と、図33のグラフに示す。なお、 $W2/W1$ の全範囲でM 0.96を満たす場合には、 $W2/W1$ の下限値は0.1であり、上限値は0.7となる。図31および図33から、上記式(14)および式(15)を共に満足か、または、上記式(16)および式(17)を共に満足するかで、すなわち、パターン2の条件を満足することで、振動漏れし難さ指数(M)が0.96以上となり、より効果的に振動漏れを低減することができる振動子1となることが分かる。なお、図33中に記載の式中のyは、 $W2/W1$ であり、xは、 $\log E$ である。

【0097】

また、導電性接着材 11、12のヤング率E毎に、振動漏れし難さ指数(M) 0.9

10

20

30

40

50

8を満足するための $W2/W1$ の下限値および上限値を求める。その結果を図31の表3と、図34のグラフに示す。なお、 $W2/W1$ の全範囲で $M=0.98$ を満たす場合には、 $W2/W1$ の下限値は0.1であり、上限値は0.7となる。図31および図34から、上記式(18)および式(19)を共に満足か、または、上記式(20)および式(21)を共に満足するかで、すなわち、パターン3の条件を満足することで、振動漏れし難さ指数(M)が0.98以上となり、より効果的に振動漏れを低減することができる振動子1となることが分かる。なお、図34中に記載の式中の y は、 $W2/W1$ であり、 x は、 $\log E$ である。

以上より、上記パターン1、2、3のいずれかを満足することによって、振動漏れが十分に低減された振動子1となる。

10

【0098】

<第2実施形態>

次に、本発明の振動子の第2実施形態について説明する。

図35は、本発明の第2実施形態にかかる振動子が備える振動素子の平面図である。なお、図35では、説明の便宜上、第1、第2駆動用電極等の図示を省略している。

以下、第2実施形態の振動子について、前記第1実施形態の振動子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。

本実施形態の振動子は、振動素子の形状が異なること以外は、図1に示す振動子と同様である。

【0099】

図35に示すように、本実施形態の振動素子2は、基部31の+Y軸側の端部であって、振動腕32、33の間に配置されている第2縮幅部312を有している。この第2縮幅部312は、その幅(X軸方向の長さ)が、中心線LLに沿って、+Y軸側に向けて(基部31の第1縮幅部311から離れるに従って)連続的に減少している。また、第2縮幅部312は、中心線LLに対して対称的に設けられている。このような第2縮幅部312を設けることで、第1縮幅部311と同様に、振動腕32、33の屈曲振動に伴う基部31のY軸方向の変位(振動)を低減することができる。その結果、振動漏れのより小さい振動素子2を得ることができる。さらに、第2縮幅部312を設けることで、第1実施形態と比較して、基部31の+Y軸側の端と-Y軸側の端の離間距離を長くすることができる。そのため、これらの間での熱移動が低減され、それに伴って、熱弾性損失を低減することができる。

20

30

【0100】

なお、ここでは第2縮幅部312の輪郭がアーチ状をしているが、上述のような作用を呈するものであればこれに限るものではない。例えば、輪郭が複数の直線によって、段差状に形成されている、すなわち、その幅(X軸方向の長さ)が中心線LLに沿って、+Y軸側に向けて段階的に減少していてもよいし、複数の直線によってアーチ状を模して設けられていてもよいし、2本の直線によって設けられていてもよい。

このような第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。

【0101】

2. 発振器

次に、本発明の振動子を備えた発振器について説明する。

図36は、本発明の発振器の好適な実施形態を示す断面図である。

図36に示す発振器100は、振動子1と、振動素子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。

【0102】

図36に示すように、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。ICチップ110は、凹部911の底面に形成された複数の内部端子120と電氣的に接続されている。複数の内部端子120には、接続端子951、961

40

50

と接続されているものと、外部端子 953、963 と接続されているものがある。IC チップ 110 は、振動素子 2 の駆動を制御するための発振回路（回路）を有している。IC チップ 110 によって振動素子 2 を駆動すると、所定の周波数の信号を取り出すことができる。

【0103】

3. 物理量センサー

次に、本発明の振動子を備えた物理量センサーについて説明する。

図 37 は、本発明の物理量センサーの好適な実施形態を示す断面図である。

図 37 に示す物理量センサー 200 は、Y 軸まわりの角速度を検出することのできる角速度センサー（ジャイロセンサー）であり、振動子 1 と、振動素子 2 を駆動するための IC チップ 110 とを有している。以下、物理量センサー 200 について、前述した振動子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。

【0104】

図 37 に示すように、物理量センサー 200 では、ベース 91 の凹部 911 に IC チップ 210 が固定されている。IC チップ 210 は、凹部 911 の底面に形成された複数の内部端子 220 と電気的に接続されている。複数の内部端子 220 には、接続端子 951、961 と接続されているものと、外部端子 953、963 と接続されているものがある。IC チップ 210 は、振動素子 2 の駆動を制御するための発振回路（回路）と、角速度を検出するための検出回路とを有している。

【0105】

このような物理量センサーでは、振動腕 32、33 を X 逆相モードである駆動振動モードで励振振動させているときに、Y 軸まわりの角速度が加わると、振動腕 32、33 に Z 軸逆相モードである検出振動モードが発生する。この検出振動モードによって電極電圧（第 1、第 2 駆動用電極 84、85 間の電圧）が変化し、この変化に基づいて角速度を検出することができる。

なお、物理量センサーとしては、角速度センサーに限定されず、加速度センサーや圧力センサーにも用いることができる。

【0106】

4. 電子機器

次に、本発明の振動子を備えた電子機器について説明する。

図 38 は、本発明の電子機器を適用したモバイル型（またはノート型）のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。この図において、パーソナルコンピュータ 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 1100 にはフィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動子 1 が内蔵されている。

【0107】

図 39 は、本発明の電子機器を適用した携帯電話機（PHS も含む）の構成を示す斜視図である。この図において、携帯電話機 1200 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 にはフィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動子 1 が内蔵されている。

【0108】

図 40 は、本発明の電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。なお、この図には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。ここで、通常のカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルスチルカメラ 1300 は、被写体の光像を CCD（Charge Coupled Device）などの撮像素子により光電変換して撮像信号（画像信号）を生成する。

【0109】

デジタルスチルカメラ 1300 におけるケース（ボディー）1302 の背面には、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おり、表示部は、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。

【0110】

撮影者が表示部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。また、このデジタルスチルカメラ 1300 においては、ケース 1302 の側面に、ビデオ信号出力端子 1312 と、データ通信用の入出力端子 1314 とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子 1312 にはテレビモニター 1430 が、データ通信用の入出力端子 1314 にはパーソナルコンピューター 1440 が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー 1308 に格納された撮像信号が、テレビモニター 1430 や、パーソナルコンピューター 1440 に出力される構成になっている。このようなデジタルスチルカメラ 1300 には、フィルター、共振器、基準クロック等として機能する振動子 1 が内蔵されている。

【0111】

なお、本発明の振動子を備える電子機器は、図 38 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）、図 39 の携帯電話機、図 40 のデジタルスチルカメラの他にも、例えば、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、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。

【0112】

5. 移動体

次に、本発明の振動子を備えた移動体について説明する。

図 41 は、本発明の移動体を適用した自動車を示す斜視図である。自動車 1500 には、振動子 1（振動素子 2）が搭載されている。振動子 1 は、例えば、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。

【0113】

以上、本発明の振動子、発振器、電子機器、物理量センサー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、各実施形態を適宜組み合わせてもよい。

また、前述した実施形態では、各振動腕の各主面には 1 つの溝が設けられているが、溝の数としては、特に限定されず、2 本以上であってもよい。例えば、各主面に、X 軸方向に並ぶ 2 つの溝が設けられていてもよい。

【0114】

なお、上記のように本実施形態について詳細に説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるであろう。従って、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれる。例えば、上記実施

形態および変形例では、振動片としての形成材料として水晶を用いた例を説明したが、水晶以外の圧電体材料を用いることができる。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 ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$)、ランガサイト ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) 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。

【0115】

また、圧電体材料以外の材料を用いて振動片を形成することができる。例えば、シリコン半導体材料などを用いて振動片を形成することもできる。また、振動片の振動（駆動）方式は圧電駆動に限らない。圧電基板を用いた圧電駆動型のもの以外に、静電気力を用いた静電駆動型や、磁力を利用したローレンツ駆動型などの振動片においても、本発明の構成およびその効果を発揮させることができる。また、明細書または図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語とともに記載された用語は、明細書または図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えられることができる。

【符号の説明】

【0116】

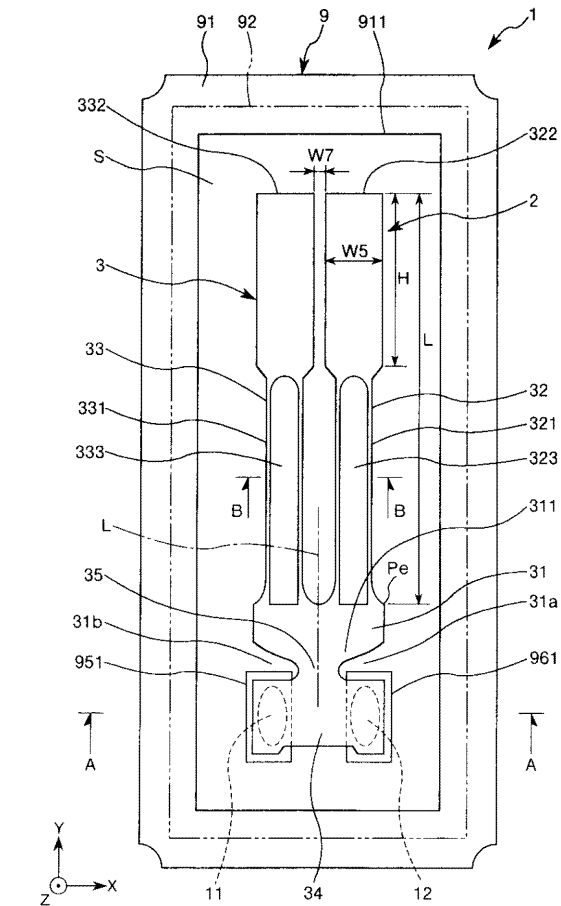
1 振動子 11、12 導電性接着材 2 振動素子 3 水晶振動片 31 基部 31a、31b 切り込み部 311 第1縮幅部 312 第2縮幅部 32、33 振動腕 32a、32b 主面 32a' 土手部 32c、32d、33c、33d 側面 321 腕部 322、332 ハンマーヘッド 323、324、333、334 溝 323a 底面 324a 底面 34 接続部 35 連結部 84 第1駆動用電極 85 第2駆動用電極 86、87 接続電極 9 パッケージ 91 ベース 911 凹部 92 リッド 951、961 接続端子 952、962 貫通電極 953、963 外部端子 100 発振器 110 ICチップ 120 内部端子 200 物理量センサー 210 ICチップ 220 内部端子 1100 パーソナルコンピュータ 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 1312 ビデオ信号出力端子 1314 入出力端子 1430 テレビモニター 1440 パーソナルコンピュータ 1500 自動車 F1 曲線 F2 曲線 L 全長 LL 中心線 S 収容空間 T、T1 厚さ W1、W2、W3、W4、W5 幅 W7 離間距離 fm 熱緩和周波数 fm0 熱緩和周波数

10

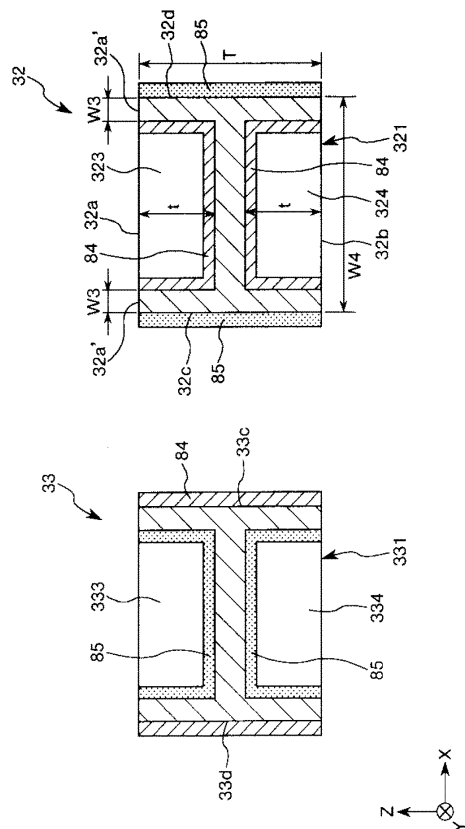
20

30

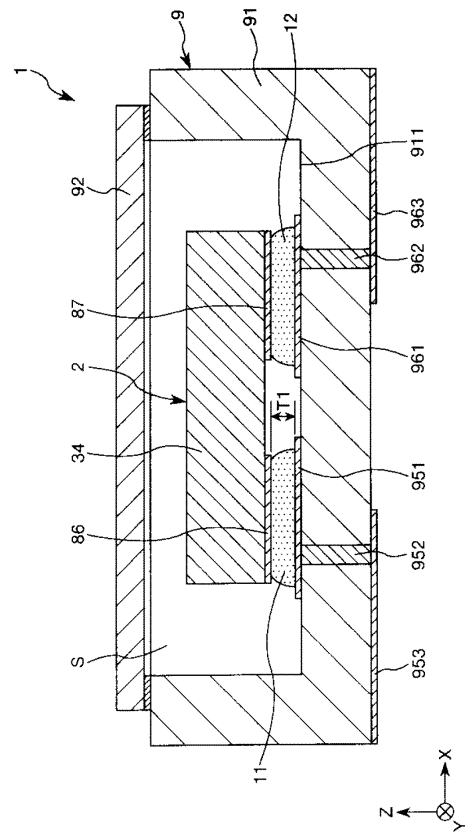
【図 1】



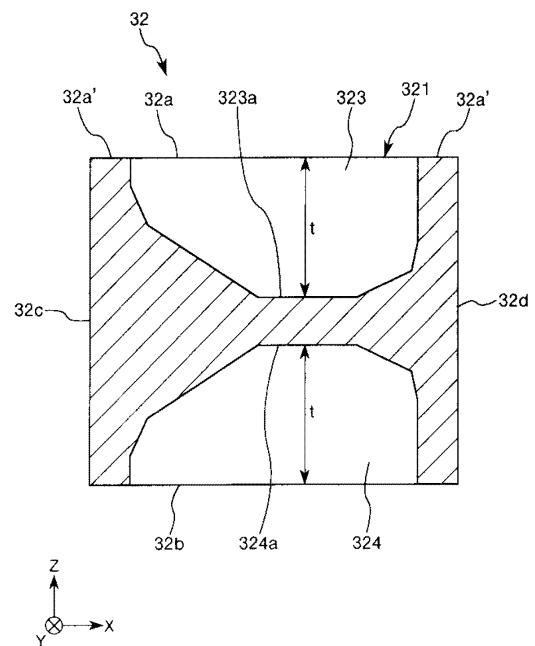
【図 3】



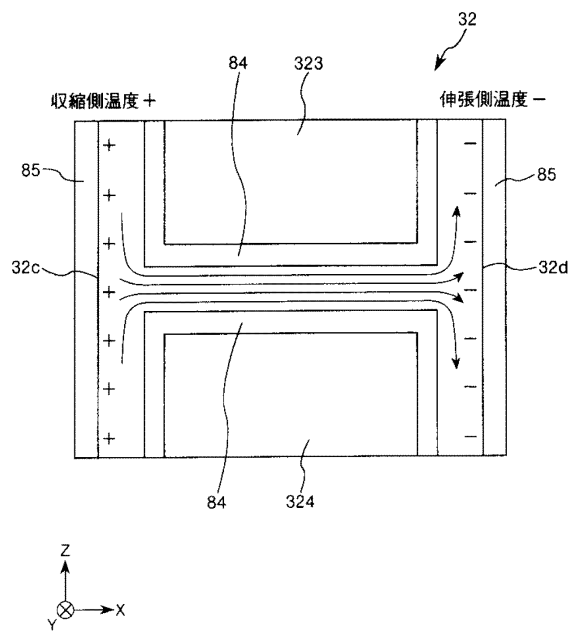
【図 2】



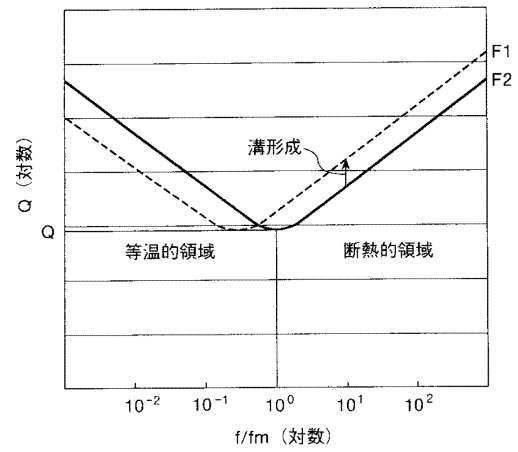
【図 4】



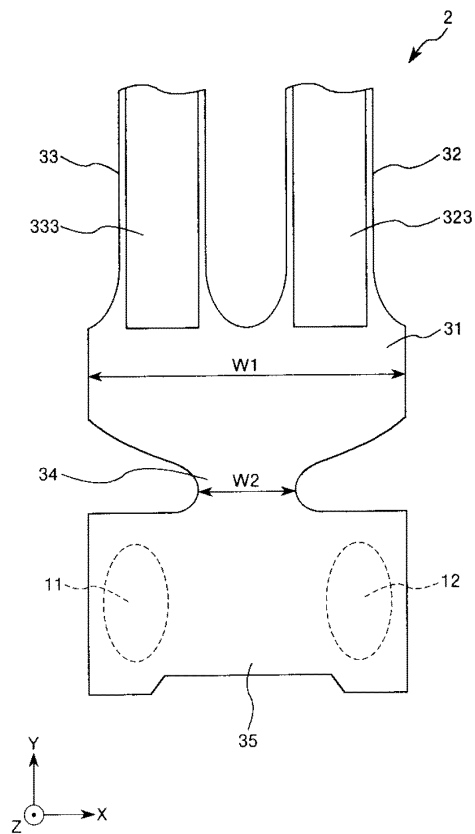
【図 5】



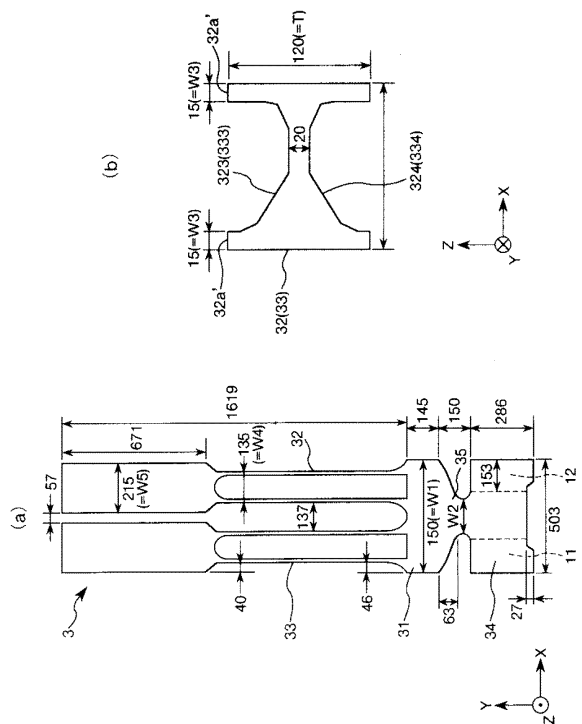
【図 6】



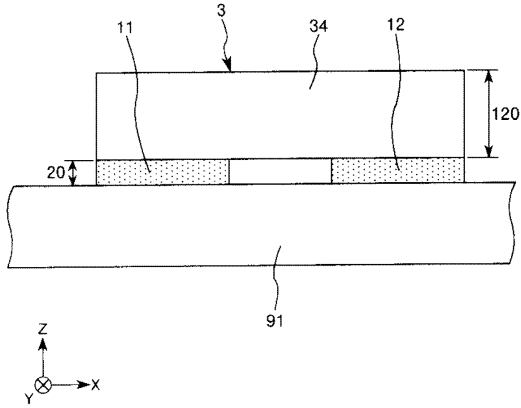
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【図 10】

W2 [μm]	W2/W1	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2	0.3	0.5
50	0.100	1.510E-06	1.445E-06	1.378E-06	1.308E-06	1.288E-06	1.268E-06	1.189E-06	1.189E-06	1.111E-06
67	0.134	1.559E-06	1.453E-06	1.361E-06	1.293E-06	1.242E-06	1.203E-06	1.173E-06	1.096E-06	1.028E-06
83	0.166	1.622E-06	1.493E-06	1.377E-06	1.293E-06	1.231E-06	1.184E-06	1.147E-06	1.054E-06	9.729E-05
100	0.200	1.712E-06	1.530E-06	1.385E-06	1.281E-06	1.205E-06	1.147E-06	1.101E-06	9.888E-05	8.908E-05
116	0.232	1.843E-06	1.627E-06	1.456E-06	1.331E-06	1.240E-06	1.170E-06	1.116E-06	9.799E-05	8.633E-05
133	0.266	2.047E-06	1.802E-06	1.600E-06	1.451E-06	1.340E-06	1.254E-06	1.187E-06	1.020E-06	8.777E-05
150	0.300	2.269E-06	1.985E-06	1.745E-06	1.566E-06	1.431E-06	1.328E-06	1.247E-06	1.048E-06	8.894E-05
175	0.350	2.601E-06	2.217E-06	1.895E-06	1.656E-06	1.480E-06	1.346E-06	1.244E-06	1.000E-06	8.134E-05
200	0.400	2.957E-06	2.418E-06	1.994E-06	1.693E-06	1.478E-06	1.320E-06	1.202E-06	9.334E-05	7.436E-05
225	0.450	3.374E-06	2.630E-06	2.086E-06	1.719E-06	1.487E-06	1.289E-06	1.153E-06	7.259E-05	5.835E-05
250	0.500	3.959E-06	2.988E-06	1.946E-06	1.548E-06	1.289E-06	1.092E-06	9.333E-05	5.976E-05	4.622E-05
275	0.550	3.611E-06	2.388E-06	1.716E-06	1.331E-06	1.092E-06	9.333E-05	8.224E-05	5.976E-05	4.622E-05
300	0.600	3.493E-06	2.143E-06	1.491E-06	1.138E-06	9.258E-05	7.871E-05	6.914E-05	5.001E-05	3.888E-05
325	0.650	3.419E-06	2.000E-06	1.371E-06	1.042E-06	8.475E-05	7.216E-05	6.351E-05	4.625E-05	3.603E-05
350	0.700	3.293E-06	1.863E-06	1.268E-06	9.650E-05	7.872E-05	6.728E-05	5.943E-05	4.376E-05	3.444E-05

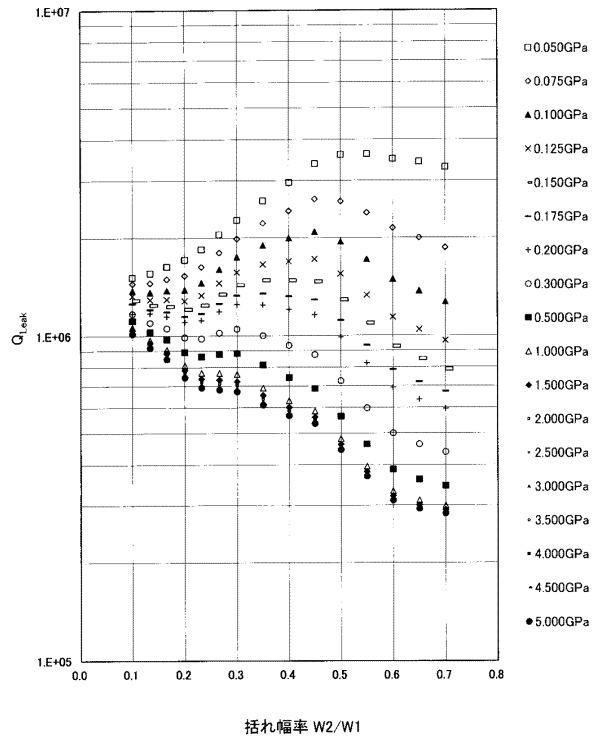
【表 1】

【図 11】

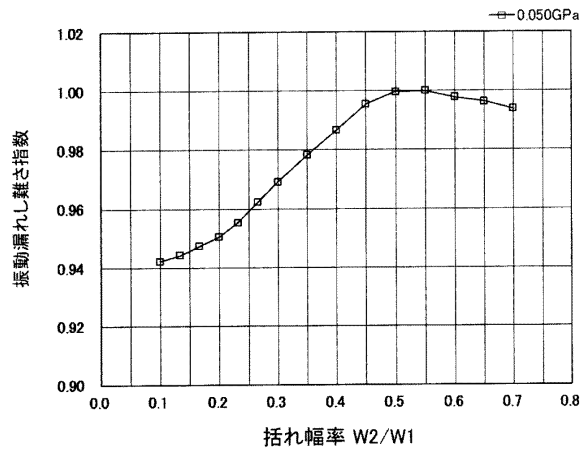
W2 [μm]	W2/W1	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
50	0.100	1.080E-06	1.041E-06	1.032E-06	1.026E-06	1.022E-06	1.019E-06	1.017E-06	1.015E-06	1.013E-06
67	0.134	9.898E-05	9.488E-05	9.381E-05	9.316E-05	9.272E-05	9.240E-05	9.215E-05	9.196E-05	9.181E-05
83	0.166	9.055E-05	8.817E-05	8.696E-05	8.622E-05	8.572E-05	8.536E-05	8.509E-05	8.488E-05	8.470E-05
100	0.200	8.108E-05	7.831E-05	7.691E-05	7.606E-05	7.549E-05	7.508E-05	7.477E-05	7.452E-05	7.433E-05
116	0.232	7.688E-05	7.389E-05	7.209E-05	7.112E-05	7.048E-05	7.002E-05	6.967E-05	6.940E-05	6.918E-05
133	0.266	7.677E-05	7.314E-05	7.027E-05	6.958E-05	6.905E-05	6.862E-05	6.838E-05	6.814E-05	6.792E-05
150	0.300	7.612E-05	7.229E-05	7.043E-05	6.934E-05	6.863E-05	6.812E-05	6.775E-05	6.746E-05	6.722E-05
175	0.350	6.903E-05	6.548E-05	6.380E-05	6.286E-05	6.223E-05	6.182E-05	6.151E-05	6.128E-05	6.109E-05
200	0.400	6.302E-05	6.003E-05	5.870E-05	5.796E-05	5.750E-05	5.718E-05	5.696E-05	5.679E-05	5.665E-05
225	0.450	5.849E-05	5.603E-05	5.501E-05	5.446E-05	5.412E-05	5.390E-05	5.374E-05	5.363E-05	5.354E-05
250	0.500	4.805E-05	4.618E-05	4.544E-05	4.505E-05	4.482E-05	4.467E-05	4.457E-05	4.449E-05	4.444E-05
275	0.550	3.994E-05	3.810E-05	3.755E-05	3.727E-05	3.710E-05	3.700E-05	3.692E-05	3.687E-05	3.683E-05
300	0.600	3.318E-05	3.202E-05	3.159E-05	3.137E-05	3.124E-05	3.116E-05	3.111E-05	3.107E-05	3.104E-05
325	0.650	3.110E-05	3.008E-05	2.971E-05	2.952E-05	2.941E-05	2.935E-05	2.930E-05	2.927E-05	2.924E-05
350	0.700	2.993E-05	2.901E-05	2.867E-05	2.851E-05	2.842E-05	2.836E-05	2.832E-05	2.829E-05	2.827E-05

【表 2】

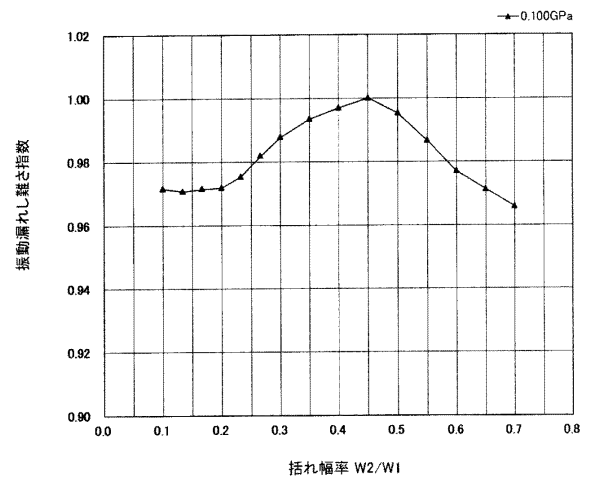
【図 12】



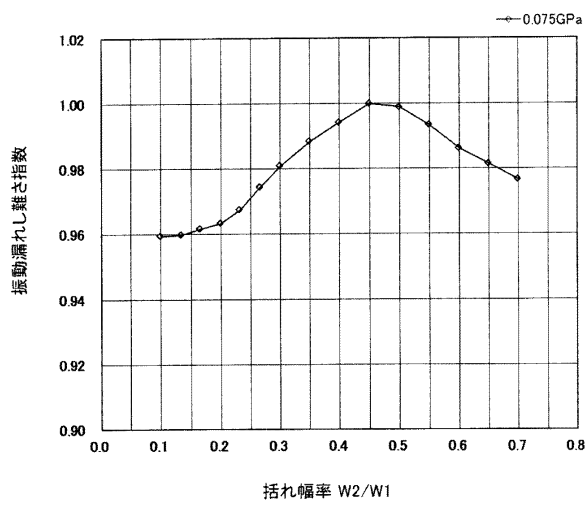
【図 13】



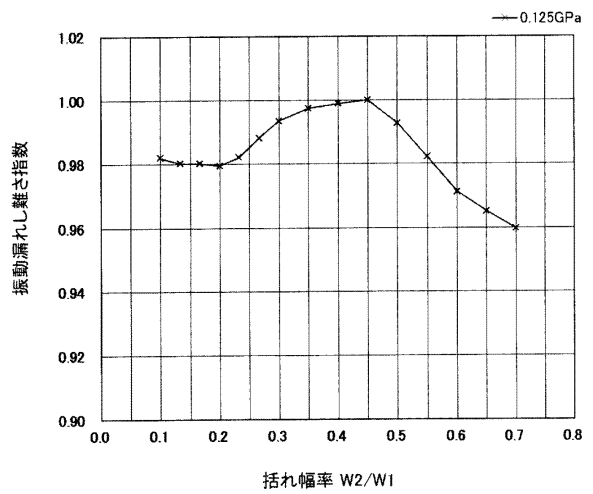
【図 14】



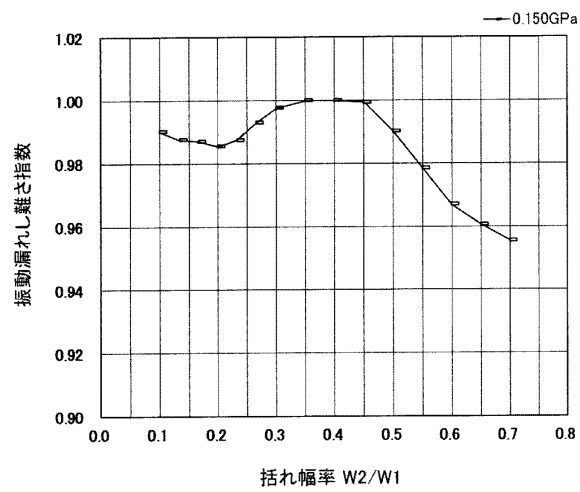
【図 15】



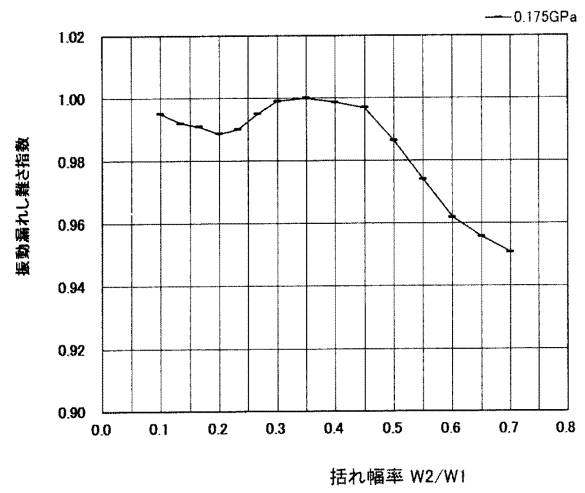
【図 16】



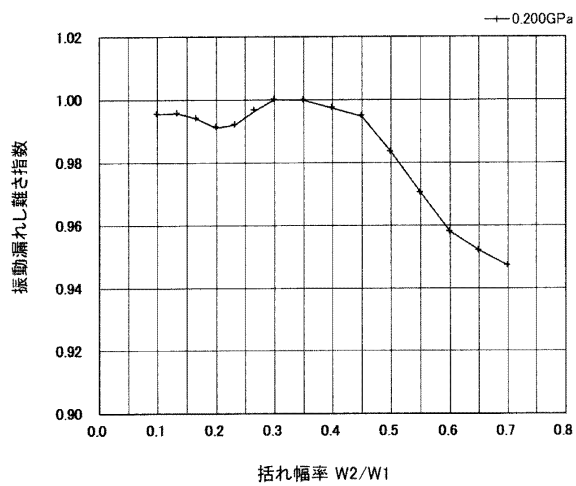
【図 17】



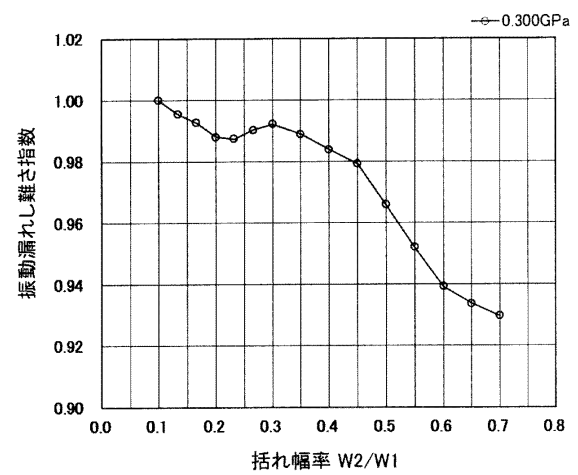
【図 18】



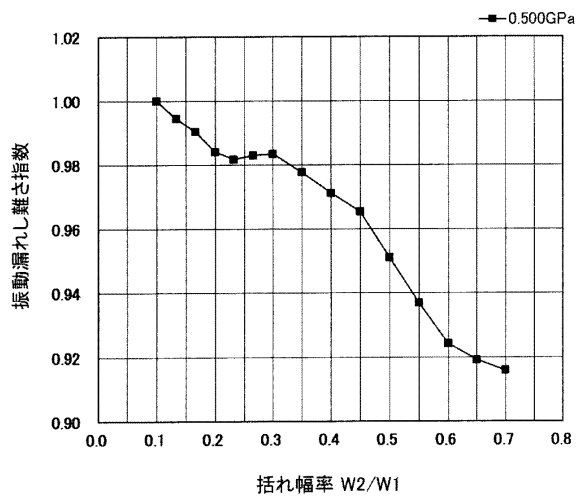
【図 19】



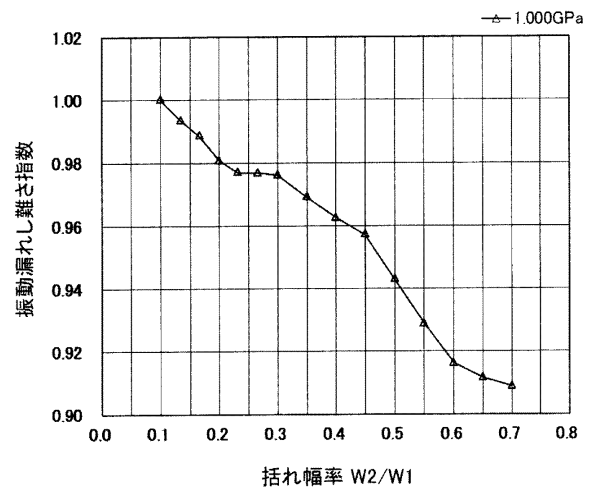
【図 20】



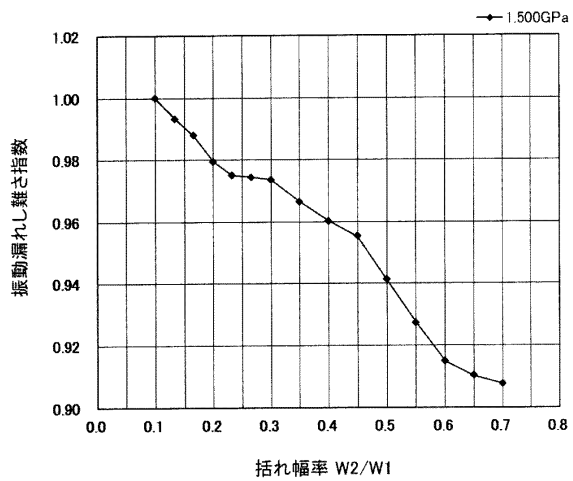
【図 2 1】



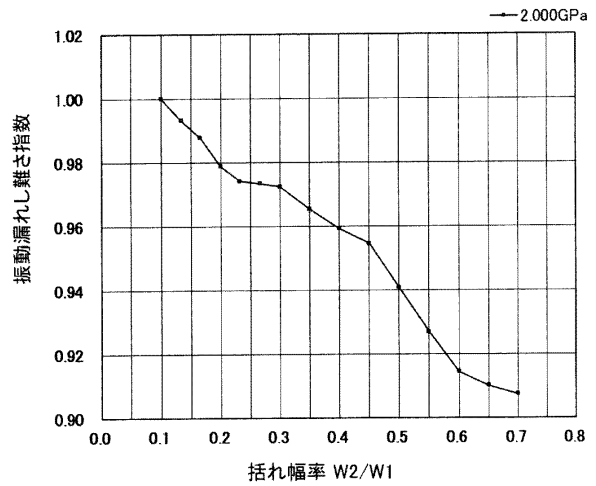
【図 2 2】



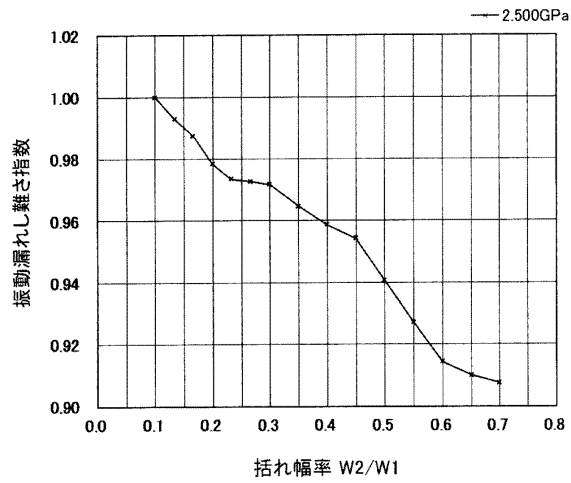
【図 2 3】



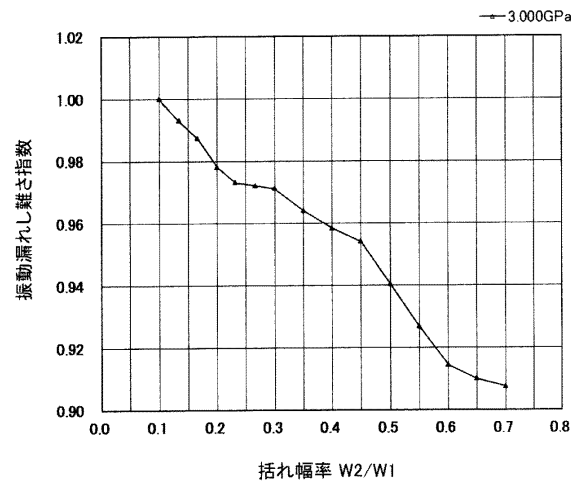
【図 2 4】



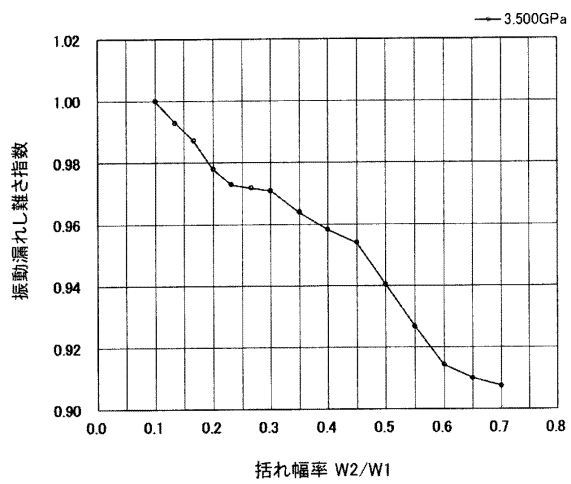
【図 25】



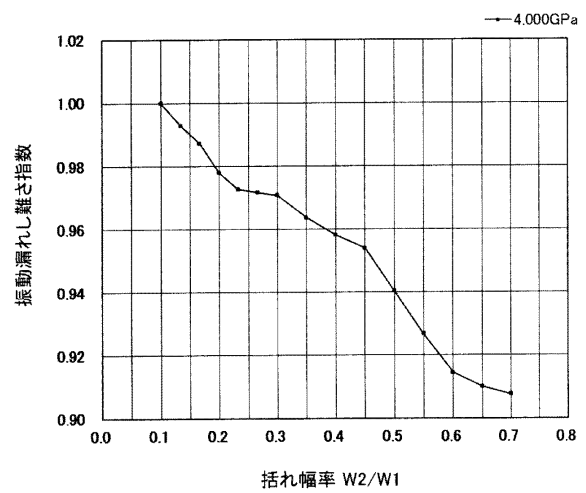
【図 26】



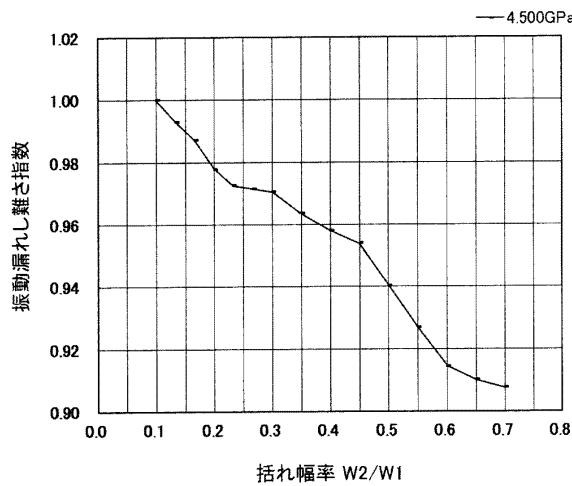
【図 27】



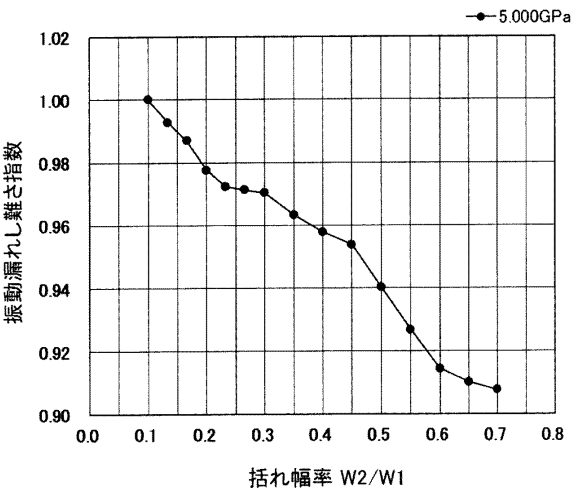
【図 28】



【図 2 9】



【図 3 0】

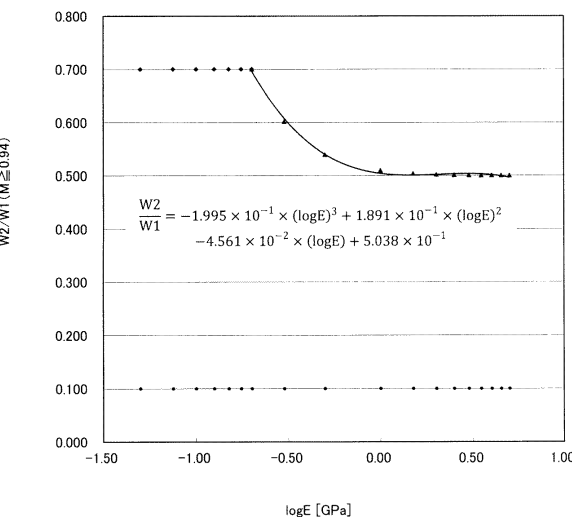


【図 3 1】

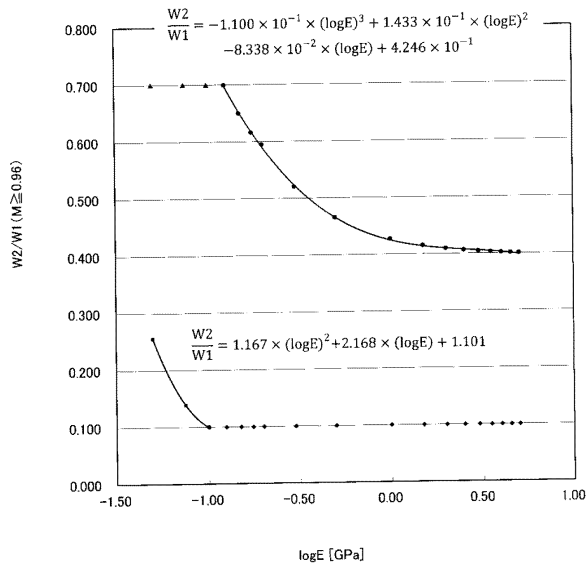
【表 3】

ヤング率E [GPa]	logE [GPa]	M≧0.94		M≧0.96		M≧0.98	
		W2/W1 下限	W2/W1 上限	W2/W1 下限	W2/W1 上限	W2/W1 下限	W2/W1 上限
0.05	-1.30	0.100	0.700	0.256	0.700	0.357	0.700
0.075	-1.12	0.100	0.700	0.139	0.700	0.300	0.656
0.1	-1.00	0.100	0.700	0.100	0.700	0.260	0.588
0.125	-0.90	0.100	0.700	0.100	0.699	0.192	0.562
0.15	-0.82	0.100	0.700	0.100	0.650	0.100	0.545
0.175	-0.76	0.100	0.700	0.100	0.616	0.100	0.526
0.2	-0.70	0.100	0.700	0.100	0.594	0.100	0.512
0.3	-0.52	0.100	0.602	0.100	0.520	0.100	0.438
0.5	-0.30	0.100	0.539	0.100	0.465	0.100	0.331
1.0	0.00	0.100	0.509	0.100	0.427	0.100	0.215
1.5	0.18	0.100	0.504	0.100	0.415	0.100	0.204
2.0	0.30	0.100	0.502	0.100	0.409	0.100	0.200
2.5	0.40	0.100	0.501	0.100	0.406	0.100	0.197
3.0	0.48	0.100	0.500	0.100	0.404	0.100	0.196
3.5	0.54	0.100	0.500	0.100	0.403	0.100	0.195
4.0	0.60	0.100	0.500	0.100	0.402	0.100	0.194
4.5	0.65	0.100	0.500	0.100	0.401	0.100	0.193
5.0	0.70	0.100	0.500	0.100	0.400	0.100	0.193

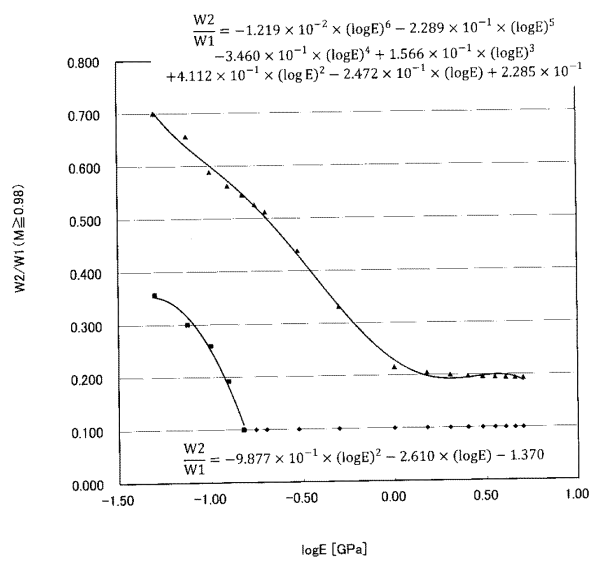
【図 3 2】



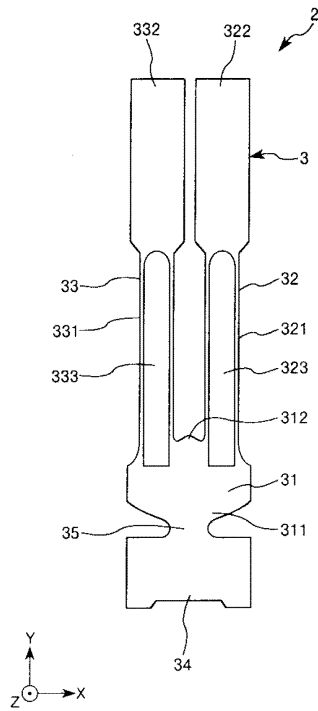
【図 3 3】



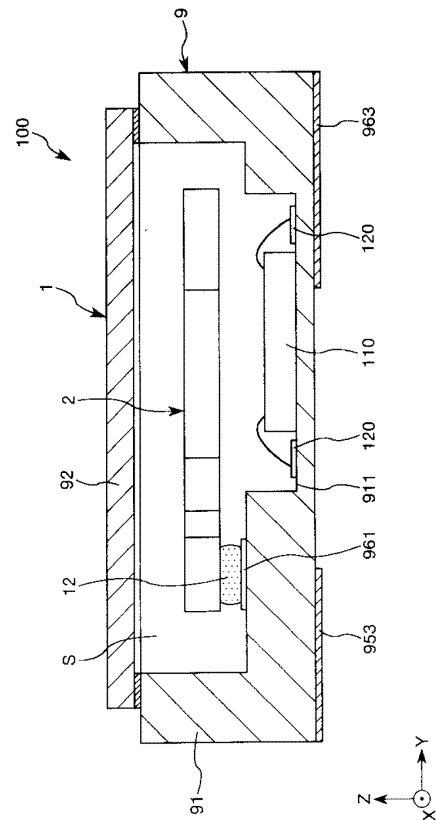
【図 3 4】



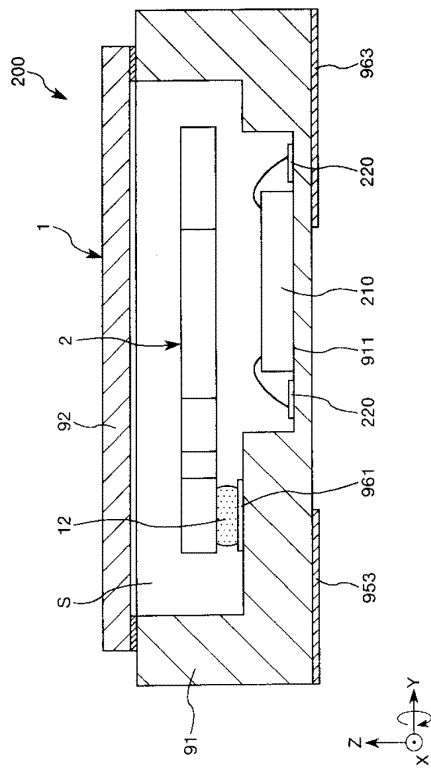
【図 3 5】



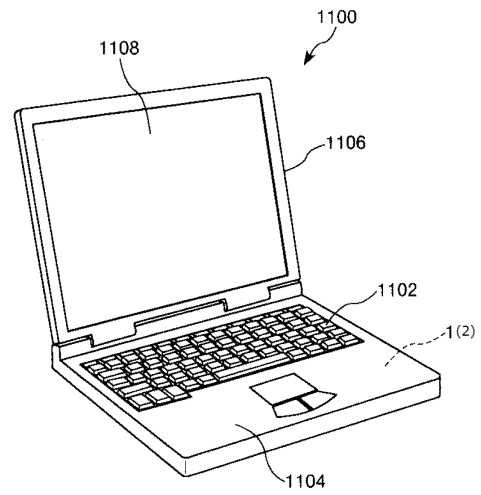
【図 3 6】



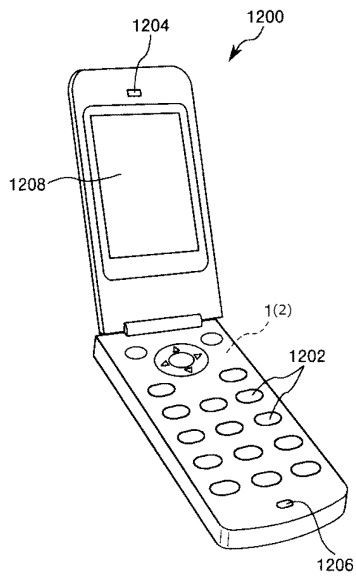
【図 37】



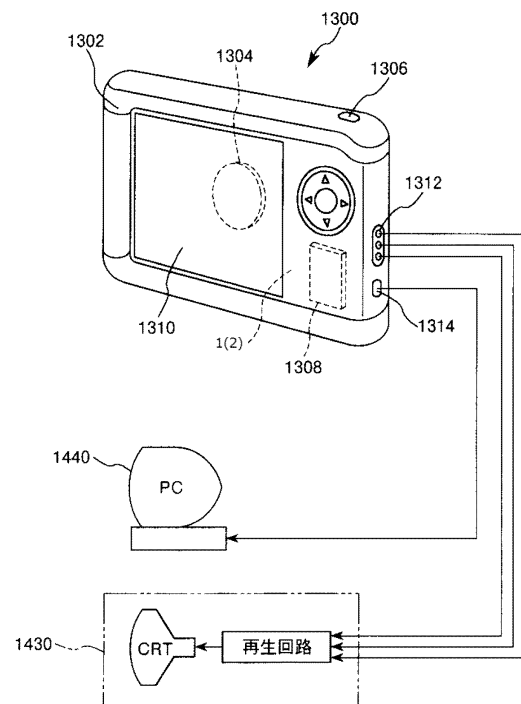
【図 38】



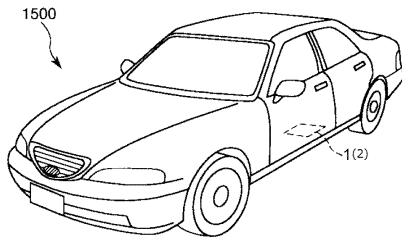
【図 39】



【図 40】



【図 4 1】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I
H 0 1 L 41/187	(2006.01)	H 0 1 L 41/187
H 0 1 L 41/083	(2006.01)	H 0 1 L 41/083

(56)参考文献 特開2009-130456(JP, A)
特開2005-150992(JP, A)
特開2009-253622(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 3 H	9 / 1 9
H 0 1 L	4 1 / 0 5 3
H 0 1 L	4 1 / 0 8 3
H 0 1 L	4 1 / 1 1 3
H 0 1 L	4 1 / 1 8 7
H 0 3 H	9 / 0 2
H 0 3 H	9 / 2 1 5