



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101847978 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 04

(21) 申请号 201010148319. 0

(22) 申请日 2010. 03. 25

(30) 优先权数据

2009-073739 2009. 03. 25 JP

2010-002669 2010. 01. 08 JP

(73) 专利权人 精工爱普生株式会社

地址 日本东京都

(72) 发明人 古畑诚 山田明法 浜山裕史

(74) 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

公司 11127

代理人 丁香兰 张志楠

(51) Int. Cl.

H03H 9/21 (2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101847979 A, 2010. 09. 29, 权利要求 1, 5, 6, 9.

CN 1764067 A, 2006. 04. 26, 全文.

CN 1838533 A, 2006. 09. 27, 全文.

审查员 田晶

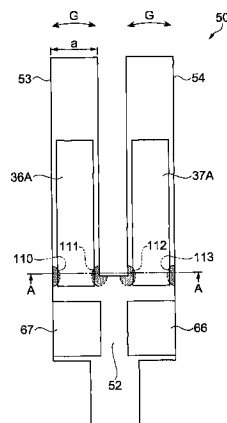
权利要求书1页 说明书12页 附图7页

(54) 发明名称

弯曲振动片及利用该弯曲振动片的振荡器

(57) 摘要

本发明提供抑制了Q值降低的小型弯曲振动片及利用该弯曲振动片的振荡器。在由基部(52)和从基部(52)一端侧延伸出的一对振动臂(53、54)构成的音叉型石英振动片(50)中,在包括各振动臂(53、54)的与基部(52)相连的根部附近区域形成激励电极(36A、37A)。振动臂(53、54)沿图中箭头(G)的方向弯曲振动时压缩或拉伸应力作用的第1区域(110、112)和第2区域(111、113)热连接。振动臂(53、54)各自的热传导路径的条数设为 m 、热传导路径的热阻率设为 ρ_{th} 、振动臂(53、54)热阻率设为 ρ_v 、与振动臂(53、54)的振动方向正交的方向的厚度设为 t_v 、热传导路径的振动臂(53、54)的振动方向正交的方向的厚度设为 t_{th} 时,满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系。



1. 一种弯曲振动片,该弯曲振动片具有弯曲振动体和热传导路径,

所述弯曲振动体具有第 1 区域和第 2 区域,并且所述弯曲振动体在第 1 面内弯曲振动,

所述第 1 区域是因振动而压缩应力或拉伸应力作用于其上的区域;所述第 2 区域是具有如下关系的区域:当压缩应力作用于所述第 1 区域时拉伸应力作用于所述第 2 区域,而当拉伸应力作用于所述第 1 区域时压缩应力作用于所述第 2 区域,

所述热传导路径在所述第 1 区域和所述第 2 区域之间,其由热传导率高于所述弯曲振动体的材料形成,并将所述第 1 区域和所述第 2 区域热连接,

所述弯曲振动片的特征在于,当将所述热传导路径的条数设为 m 、将所述热传导路径的热阻率设为 ρ_{th} 、将所述弯曲振动体的热阻率设为 ρ_v 、将与所述弯曲振动体的所述第 1 面正交的方向的厚度设为 t_v 、将所述热传导路径的厚度设为 t_{th} 时,满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系,

并且,所述热传导路径形成在弯曲振动片的外表面。

2. 如权利要求 1 所述的弯曲振动片,

其特征在于,当将未设置上述热传导路径的状态下的弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_0 、将所述弯曲振动体的机械振动频率设为 fr 、将所述弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_{20} 、将圆周率设为 π 、将用于所述弯曲振动体的材料的热传导率设为 k 、将用于所述弯曲振动体的材料的质量密度设为 ρ 、将用于所述弯曲振动体的材料的热容量设为 C_p 、将所述弯曲振动体的振动方向的宽度设为 a 、并且设 $f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2)$ 时,满足 $1 > fr / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ 的关系。

3. 如权利要求 1 所述的弯曲振动片,

当将未设置上述热传导路径的状态下的弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_0 、将所述弯曲振动体的机械振动频率设为 fr 、将圆周率设为 π 、将用于所述弯曲振动体的材料的热传导率设为 k 、将用于所述弯曲振动体的材料的质量密度设为 ρ 、将用于所述弯曲振动体的材料的热容量设为 C_p 、将所述弯曲振动体的振动方向的宽度设为 a 、并且设 $f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2)$ 时, $1 \geq fr / f_0$ 。

4. 如权利要求 1 所述的弯曲振动片,

其特征在于,所述热传导路径由形成在弯曲振动体上的激励电极的一部分构成。

5. 如权利要求 1 所述的弯曲振动片,

其特征在于,所述热传导路径由绝缘体材料形成。

6. 一种振荡器,其特征在于,该振荡器至少具备权利要求 1~5 任一项所述的弯曲振动片和驱动该弯曲振动片的振荡电路。

弯曲振动片及利用该弯曲振动片的振荡器

技术领域

[0001] 本发明涉及在弯曲振动模式下振动的弯曲振动片 (bending vibration piece) 及利用该弯曲振动片的振荡器 (oscillator)。

背景技术

[0002] 以往, 作为在弯曲振动模式下振动的弯曲振动片, 广泛使用音叉型弯曲振动片, 该音叉型弯曲振动片从由例如压电材料等弯曲振动体用基材构成的基部彼此平行延伸出 1 对振动臂并且使这些振动臂在水平方向上彼此接近或远离地振动。对该音叉型弯曲振动片的振动臂实施激励 (励振) 时, 若该振动能量发生损失, 则导致振动片的性能降低, 例如, CI (Crystal Impedance) 值增大、Q 值降低等。为此, 为了防止或减少这样的振动能量的损失, 以往采取了各种措施。

[0003] 例如, 已知在延伸出振动臂的基部的两侧部形成切入部 (notch) 或预定深度的切入槽 (notch groove) 的音叉型石英振动片 (例如, 参见专利文献 1、专利文献 2)。该音叉型石英振动片在振动臂的振动还包含垂直方向的成分的情况下, 利用切入部或切入槽抑制振动从基部泄漏 (leakage), 由此提高振动能量的封闭效果、控制 CI 值且防止了振动片之间的 CI 值离散 (irregularities)。

[0004] 除该机械振动能量的损失以外, 还因热传导发生振动能量损失。该热传导是由于弯曲运动的振动臂的压缩应力产生作用的压缩部和拉伸应力产生作用的拉伸部之间出现温度差而产生的, 该热传导起到减小该温度差的作用。因该热传导发生的 Q 值降低被称为热弹性损失效应 (thermoelastic loss effect (热弹性损失效果))。

[0005] 例如, 专利文献 3 中介绍了如下音叉型振动片: 为了防止或抑制因这样的热弹性损失效应引起的 Q 值降低, 在具有矩形剖面的振动臂 (振动梁) 的中心线上形成槽或孔。

[0006] 根据专利文献 3 所述, 基于一般由温度差产生的固体的内部摩擦的情况中的变形和应力的公知关系式, 对于热弹性损失而言, 在弯曲振动模式下的振动片中, 当振动频率发生变化时, 在弛豫振动 (relaxation oscillation) 频率 $f_m = 1/(2\pi\tau)$ (此处, τ 为弛豫时间 (relaxation time)) 的情况下, Q 值为极小值。该 Q 值和频率的关系一般表示为图 8 的曲线 F (例如, 参见非专利文献 1)。该图中, Q 值达到极小值 Q_0 时的频率为热弛豫频率 $f_0 (= 1/(2\pi\tau))$, 即, 热弛豫频率 f_0 与上述弛豫振动频率 f_m 相同。

[0007] 参照附图具体进行说明。图 7 中, 专利文献 3 的音叉型石英振动片 1 具备从基部 2 延伸出的 2 根彼此平行的振动臂 3、4, 在各振动臂 3、4 各自的中心线上设置了直线状的槽或孔 6、7。若对设置于该音叉型石英振动片 1 的各振动臂 3、4 的两主面 (与槽或孔 6、7 形成面相同的面) 的激励电极 (未图示) 施加预定的驱动电压, 则如图中假想线 (双点划线) 和箭头所示, 振动臂 3、4 彼此接近或远离地弯曲振动。

[0008] 由于该弯曲振动, 在各振动臂 3、4 的与基部 2 相连的根部 (基部 2 との付け根部) 的区域中发生机械变形。即, 在振动臂 3 的与基部 2 相连的根部, 存在第 1 区域 10 和第 2 区域 11, 第 1 区域 10 为因弯曲振动而压缩应力或拉伸应力作用于其上的区域; 第 2 区域 11 为

具有如下关系的区域：当压缩应力作用于该第 1 区域 10 时拉伸应力作用于该第 2 区域 11，而当拉伸应力作用于该第 1 区域 10 时压缩应力作用于该第 2 区域 11。在这些第 1 区域 10 和第 2 区域 11 中，当压缩应力产生作用时温度上升，而当拉伸应力产生作用时温度下降。

[0009] 与此相同，在振动臂 4 的与基部 2 相连的根部，存在第 1 区域 12 和第 2 区域 13，第 1 区域 12 为因弯曲振动而压缩应力或拉伸应力作用于其上的区域；第 2 区域 13 为具有如下关系的区域：当压缩应力作用于该第 1 区域 12 时拉伸应力作用于第 2 区域 13，而当拉伸应力作用于第 1 区域 12 时压缩应力作用于第 2 区域 13。在第 1 区域 12 和第 2 区域 13 中，压缩应力产生作用时温度上升，而当拉伸应力产生作用时温度下降。

[0010] 由于这样产生的温度梯度，在各振动臂 3、4 的与基部 2 相连的根部分的内部，热传导在第 1 区域 10、12 和第 2 区域 11、13 之间发生。温度梯度与各振动臂 3、4 的弯曲振动相对应地反方向产生，与此相应热传导也是反方向发生。由于该热传导，在振动中振动臂 3、4 的振动能量的一部分持续地以热弹性损失形式损失掉，其结果音叉型石英振动片 1 的 Q 值降低而振动特性变得不稳定，难以实现所希望的性能。

[0011] 专利文献 3 的音叉型石英振动片 1 中，通过在各振动臂 3、4 各自的中心线上设置的槽或孔 6、7 阻止从压缩侧至拉伸侧的热移动，由此能够防止或减轻因热弹性损失引起的 Q 值降低。具体地说，由于沿着设置于各振动臂 3、4 的槽或孔 6、7 在弯曲振动体内迂回，热传导路径变长，热弛豫时间 τ 延长。因此如图 8 中的曲线 F1 的弛豫频率 f_{10} 所示，与未设置槽或孔 6、7 的以往音叉型弯曲振动片的曲线 F 及其弛豫频率 f_0 相比，用 $1/(2\pi\tau)$ 求得的热弛豫频率 (thermal relaxation frequency) 在图中向左侧偏移。

[0012] 背景技术文献

[0013] 专利文献

[0014] 专利文献 1：日本特开 2002-261575 号公报

[0015] 专利文献 2：日本特开 2004-260718 号公报

[0016] 专利文献 3：日本实愿昭 63-110151 号说明书

[0017] 非专利文献

[0018] 非专利文献 1：C. Zener 及另外 2 人，“Internal Friction in Solids III. Experimental Demonstration of Thermoelastic Internal Friction”，PHYSICAL REVIEW，1938 年 1 月 1 日，Volume 53, p 100 ~ 101

发明内容

[0019] 但是，专利文献 3 所述的音叉型石英振动片 1 中，有如下问题：随着小型化发展而难以形成槽或孔。此外，槽或孔使热弛豫时间延长的效果降低而不能充分得到抑制 Q 值降低的效果。

[0020] 本发明是为了解决上述课题的至少一部分而提出的，并能够用以下方式或应用例实现。

[0021] [应用例 1] 本应用例涉及一种弯曲振动片，其具有弯曲振动体和热传导路径 (heat conduction path)，所述弯曲振动体具有第 1 区域和第 2 区域，所述第 1 区域为因振动而压缩应力或拉伸应力作用于其上的区域；第 2 区域为具有如下关系的区域：当压缩应力作用于所述第 1 区域时拉伸应力作用于所述第 2 区域，而当拉伸应力作用于所

述第 1 区域时压缩应力作用于所述第 2 区域;所述热传导路径在上述第 1 区域和上述第 2 区域之间,其由热传导率高于所述弯曲振动体的材料形成,并将所述第 1 区域和所述第 2 区域热连接 (thermally connect),所述弯曲振动片的特征在于,当将上述热传导路径 (heat conduction path) 的条数 (number) 设为 m 、将上述热传导路径的热阻率 (thermal resistivity) 设为 ρ_{th} 、将上述弯曲振动体的热阻率设为 ρ_v 、将与上述弯曲振动体的振动方向正交的方向的厚度设为 t_v 、将上述热传导路径的与上述弯曲振动体的振动方向正交的方向的厚度设为 t_{th} 时,满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系。

[0022] 另外,本发明的一种方式弯曲振动片具有弯曲振动体和热传导路径,所述弯曲振动体具有第 1 区域和第 2 区域,并且所述弯曲振动体在第 1 面内弯曲振动,所述第 1 区域为因振动而压缩应力或拉伸应力作用于其上的区域;第 2 区域为具有如下关系的区域:当压缩应力作用于所述第 1 区域时拉伸应力作用于所述第 2 区域,而当拉伸应力作用于所述第 1 区域时压缩应力作用于所述第 2 区域;所述热传导路径在上述第 1 区域和上述第 2 区域之间,其由热传导率高于所述弯曲振动体的材料形成,并将上述第 1 区域和上述第 2 区域热连接,所述弯曲振动片的特征在于,当将上述热传导路径的条数设为 m 、将上述热传导路径的热阻率设为 ρ_{th} 、将上述弯曲振动体的热阻率设为 ρ_v 、将与上述弯曲振动体的上述第 1 面正交的方向的厚度设为 t_v 、将上述热传导路径的厚度设为 t_{th} 时,满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系。

[0023] 另外,在本发明的一种方式之中,其特征在于,热传导路径形成在弯曲振动片的外表面 (outer surface)。

[0024] 本申请发明人发现,通过如上述结构 (configuration) 那样根据弯曲振动体和热传导路径的热传导系数 (heat conduction coefficient) 之比及第 1 区域至第 2 区域的热传导路径的条数,设定热传导路径的厚度,由此能够使热传导通过热传导路径在第 1 区域和第 2 区域之间有效地进行。从而,能够缩短第 1 区域和第 2 区域的温度达到平衡状态所需的热弛豫时间,可以抑制 Q 值降低。

[0025] 另外,不需要像上述现有技术那样在弯曲振动体中形成孔或槽,因此使弯曲振动片易适合小型化。

[0026] 因此,可以提供抑制 Q 值降低、振动特性稳定的小型弯曲振动片。

[0027] [应用例 2] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,当将上述弯曲振动体的机械振动频率设为 f_r 、将上述弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_{20} 、将未设置上述热传导路径的状态下的弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_0 时,满足 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ 的关系。另外,在本发明的一种方式中,当将弯曲振动体的机械振动频率设为 f_r 、将上述弯曲振动片的热弛豫频率设为 f_{20} 、将圆周率设为 π 、将用于上述弯曲振动体的材料的热传导率设为 k 、将用于上述弯曲振动体的材料的质量密度设为 ρ 、将用于上述弯曲振动体的材料的热容量设为 C_p 、将上述弯曲振动体的振动方向的宽度设为 a 、并且设 $f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2)$ 时,满足 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ 的关系。

[0028] 根据该结构,可以提供与以往构造的弯曲振动片相比高地确保 Q 值、具有稳定的振动特性的弯曲振动片。

[0029] [应用例 3] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,当将上述弯曲振动体的机械振动频率设为 f_r 、将圆周率设为 π 、将用于上述弯曲振动体的材料的热传导率设为 k 、将用于上述弯曲振动体的材料的质量密度设为 ρ 、将用于上述弯曲振动体的材料的热容量设为 C_p 、将上述弯曲振动体的振动方向的宽度设为 a 、并且设 $f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2)$ 时,满足 $1 > f_r / (f_0 + (f_{20} - f_0) / 3)$ 的关系。

热传导率设为 k 、将用于上述弯曲振动体的材料的质量密度设为 ρ 、将用于上述弯曲振动体的材料的热容量设为 C_p 、将上述弯曲振动体的振动方向的宽度设为 a 、并且设 $f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2)$ 时, $1 \geq f_r / f_0$ 。

[0030] 根据该结构,能够提供确保高 Q 值、具有稳定的振动特性的弯曲振动片。

[0031] [应用例 4] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,上述热传导路径由形成在弯曲振动体上的激励电极的一部分构成。

[0032] 根据该结构,将激励电极用作热传导路径,由此可以有效地制造弯曲振动片。

[0033] [应用例 5] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,上述热传导路径由绝缘体材料形成。

[0034] 根据该结构,不需要担心激励电极等电极的短路,也能够在这些电极上设置热传导路径,因此增加了设计自由度而有利于小型化,另外,制造也变得容易。

[0035] [应用例 6] 本应用例涉及一种振荡器,其特征在于,至少具备上述应用例任一项所述的弯曲振动片、驱动该弯曲振动片的振荡电路。

[0036] 根据该结构,由于具备上述应用例所示的抑制了 Q 值降低的弯曲振动片,因此可以提供具有稳定的振荡特性的小型振荡器。

附图说明

[0037] 图 1 是示意性说明第 1 实施方式的作为弯曲振动片的音叉型石英振动片的一主面侧的平面图。

[0038] 图 2 是示意性说明第 1 实施方式的音叉型石英振动片的图 1 的 A-A 线剖面图。

[0039] 图 3 是示出可适用于音叉型石英振动片的热传导路径的材料例子及其热阻率的说明图。

[0040] 图 4(a) 是示意性说明第 2 实施方式的音叉型石英振动片的平面图,(b) 是 (a) 的 B-B 线剖面图。

[0041] 图 5(a) 是示意性说明音叉型石英振动片的变形例的平面图,(b) 是 (a) 的 C-C 线剖面图。

[0042] 图 6 示出具有三个振动臂的弯曲振动片的概况,(a) ~ (c) 是示出电极形成过程的斜视图,(d) 是与 (a) 对应的剖面图,(e) 是与 (b) 对应的剖面图,(f) 是与 (c) 对应的剖面图。

[0043] 图 7 是示出以往音叉型石英振动片的典型例的平面图。

[0044] 图 8 是示出在弯曲振动模式下的弯曲振动片中的弛豫频率和 Q 值极小值的关系的曲线图。

[0045] 符号说明

[0046] 1、50、150、250... 作为弯曲振动片的音叉型石英振动片;2、52... 基部;3、4、53、54... 振动臂;6、7... 孔;10、12、110、112... 第 1 区域;11、13、111、113... 第 2 区域;36A、36B、37A、37B、136A、137A、236A、236B、237A... 激励电极;56A、56B、156A、156B、157A... 热传导路径;66、67... 外部连接电极。

具体实施方式

[0047] 下面,参照附图,对将本发明的弯曲振动片具体化为音叉型石英振动片的一实施方式进行说明。

[0048] (第1实施方式)

[0049] 图1和图2是示意性说明作为第1实施方式的弯曲振动片的音叉型石英振动片的图,图1是一主面侧的平面图,图2是图1的A-A线剖面图。

[0050] 图1中,本实施方式的音叉型石英振动片50形成为具有所谓音叉型外形,所谓音叉型外形具有基部52和一对振动臂53、54,所述基部52是通过加工弯曲振动体材料而形成的,所述一对振动臂53、54从该基部52的一端侧(图中为上端侧)分叉成两支并彼此平行地延伸。作为弯曲振动体材料,本实施方式中与以往音叉型石英振动片同样使用由石英单晶切割的材料。例如,所述材料由所谓Z切石英薄片形成,并且将石英结晶轴的Y轴定向(配向)为振动臂53、54的长度方向、将X轴定向为其宽度方向、将Z轴定向为振动片的表背主面(表裏主面(front and rear mainsurface))的垂直方向。例如可以通过对石英晶片等石英基板材料用氟化氢溶液等进行湿法刻蚀、或对其进行干法蚀刻来精密地形成音叉型石英振动片50的音叉型的外形。

[0051] 需要说明的是,作为弯曲振动体材料,还可以是使用除上述石英以外的压电基板的结构。例如,可以使用氮化铝(AlN)、铌酸锂(LiNbO₃)、钽酸锂(LiTaO₃)、锆钛酸铅(PZT)、四硼酸锂(Li₂B₄O₇)等氧化物基板、或在玻璃基板上层积氮化铝、五氧化钽(Ta₂O₅)等薄膜压电材料而构成的压电基板。另外,除压电基板以外,还可以例如利用硅半导体材料等形成弯曲振动片。

[0052] 但是,弯曲振动片的共振频率与将弯曲振动体材料的杨氏模量除以质量密度得到的值的平方根成正比,将杨氏模量除以质量密度得到的值越小的材料,越有利于弯曲振动片的小型化。因此,如本实施方式的音叉型石英振动片50那样,与硅半导体材料等相比,由石英构成的弯曲振动片能够减小将杨氏模量除以质量密度得到的值的平方根,从而有利于小型化,同时,频率温度特性优异,因此作为音叉型石英振动片50的材料而特别优选,该音叉型石英振动片50用作本实施方式的弯曲振动片。

[0053] 在各振动臂53、54的一主面形成了激励电极36A、37A。另外,与基部52的延伸出振动臂53、54的一端侧不同的另一端侧附近设置了供与外部连接的外部连接电极66、67。这些外部连接电极66、67分别与激励电极36A、37A相对应,各相互对应的电极之间由未图示的迂回配线(routing wire(引き回し配線))连接着,该迂回配线被迂回(route(引き回され))设置于音叉型石英振动片50的主面(main surface)或侧面(sidesurface)。

[0054] 同样,如图2所示,在各振动臂53、54的另一主面(the other mainsurface),在各振动臂53、54中分别设置了激励电极36B、37B,该激励电极36B、37B作为各激励电极36A、37A的反电极(counter electrode)。激励电极36B、37B通过未图示的迂回配线与分别对应的诸如激励电极36A、37A或外部连接电极66、67等电极连接着,该迂回配线被迂回设置在音叉型石英振动片50的主面或侧面。

[0055] 此处,振动臂53的激励电极36A、36B为同电位,振动臂54的激励电极37A、37B为同电位。另外,各振动臂53、54的激励电极36A、36B和激励电极37A、37B电位不同。

[0056] 此处,本实施方式的音叉型石英振动片50中,激励电极36A、36B、37A、37B用作热传导路径,该热传导路径将以下详述的第1区域110、112和第2区域111、113热连接,第1

区域 110、112 和第 2 区域 111、113 位于各振动臂 53、54 的与基部 52 相连的根部分附近,因此激励电极 36A、36B、37A、37B 形成至包括第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 的范围。

[0057] 需要说明的是,虽然为了便于易懂地说明本实施方式的音叉型石英振动片 50 的特征而省略了图示,但在各振动臂 53、54 的与形成有激励电极 36A、36B、37A、37B 的两主面正交的两侧面上形成有激励电极,所述形成在两侧面的激励电极的电位与振动臂 53、54 各自的激励电极 36A、36B 或激励电极 37A、37B 分别相同。

[0058] 上述电极或配线以往可以通过如下方式形成:蚀刻石英而形成音叉型石英振动片 50 的外形后,例如,将镍 (Ni) 或铬 (Cr) 作为底层,通过沉积或溅射在该底层上形成例如金 (Au) 的电极层膜,其后利用光刻形成图案。但是,本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,如上所述,形成为将激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分用作热传导路径的结构,因此如下面所详细叙述的那样,选择使用热阻率非常低并且作为热传导路径有效的金属材料。

[0059] 此处,本实施方式的音叉型石英振动片 50 的结构中,对特别是作为重要部分的热传导路径详细进行说明。

[0060] 图 2 是图 1 的音叉型石英振动片 50 的 A-A 线剖面,即,示出各振动臂 53、54 的与基部 52 相连的根部附近的剖面。本实施方式中,将该各振动臂 53、54 的与基部 (52) 相连的根部附近的激励电极 36A、36B、37A、37B 用作热传导路径,热传导路径用于抑制热弹性损失并防止 Q 值劣化,这将后述。此处,热传导路径是指第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 之间的热传导路径,第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 为在图 1 所示的音叉型石英振动片 50 中,位于箭头 G 所示的各振动臂 53、54 的弯曲振动方向的、与基部 52 相连的根部分附近的区域(用双点划线表示)。

[0061] 回到图 2,在振动臂 53 的与基部 (52) 相连的根部附近中,设置于振动臂 53 的一主面的激励电极 36A 具有厚度 t_1 。另外,设置于振动臂 53 的另一主面的激励电极 36B 具有厚度 t_2 。

[0062] 同样,设置于振动臂 54 的一主面的激励电极 37A 具有厚度 t_1 ,设置于另一主面的激励电极 37B 具有厚度 t_2 。此处,本实施方式的音叉型石英振动片 50 中 $t_1 = t_2$ 。

[0063] 作为本实施方式中用作热传导路径的激励电极 36A、36B、37A、37B 的材料,是热阻率至少低于作为弯曲振动体材料的石英的材料,并且使用热阻率尽量低的材料,除该热阻率以外,还考虑较容易获得且低成本、制造容易性等而选择。例如,图 3 中示出可适用于热传导路径(本实施方式中为激励电极的一部分)的材料例子。该图 3 的材料中优选使用热阻率更低的材料,因为这可以使热传导路径的厚度变薄。另外,本实施方式中,具有将激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分用作热传导路径的结构,因此当然需要使用可成为电极的导电体材料,图中的作为绝缘(non-conducting)物质的钻石不适用。但是,如后述其他实施例那样,在激励电极等电极之外独立(separately from(とは別に))形成热传导路径的情况下,热传导路径的材料不需要导电性,因此可以适宜使用图中的钻石等具有较低的热阻率的非导电性材料。

[0064] 本申请发明人发现,上述结构中,当将弯曲振动体的热传导路径的条数设为 m 、将热传导路径的热阻率设为 ρ_{th} 、将弯曲振动体的热阻率设为 ρ_v 、将与弯曲振动体的振动方向正交的方向的厚度设为 t_v 、将热传导路径的与弯曲振动体的振动方向正交的方向的厚度设为 t_{th} 时,满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系,由此发挥后述之 Q 值降低的抑制效

果。即,通过满足该条件,能够避免如下不优选的状态:与作为热传导路径的激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分相比弯曲振动体(本实施方式中为石英)容易传热。优选的是 $t_{th} > (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$, 由此能可靠地实现与弯曲振动体(本实施方式中为石英)相比热传导路径更易传热的状态,能可靠地达到因缩短热弛豫时间而产生的 Q 值提高。本实施方式中,上述厚度 t_{th} 为上述激励电极 36A、36B、37A、37B 的用作热传导路径的一部分的厚度 t_1 和厚度 t_2 。需要说明的是,热传导路径的条数 m 是指将具有上述第 1 区域和第 2 区域各弯曲振动体的第 1 区域和第 2 区域热连接的热传导路径的条数。

[0065] 例如,对于本实施方式中的热传导路径的条数 m 而言,由于振动臂 53、54 各自一主面的激励电极 36A、37A 的各自一部分与另一主面的激励电极 36B、37B 各自一部分用作热传导路径,因此热传导路径的条数 m 为 $m = 2$ 。

[0066] 另外,本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,当将 Z 切石英(热阻率 $\rho_v = 0.1613\text{mK/W}$) 用于弯曲振动体的石英基板且将与各振动臂 53、54 的振动方向正交的方向的厚度 t_v 设为 $100\mu\text{m}$ 、图 3 所示的材料之中使用金(Au,热阻率 $\rho_{th} = 0.0032\text{mK/W}$) 形成激励电极(热传导路径)时,各激励电极 36A、36B、37A、37B 的至少用作热传导路径的部分的厚度 t_1 和 t_2 只要满足上述式 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系即可,因此只要 t_1 或 t_2 分别设为 $1\mu\text{m}$ 以上即可。

[0067] 需要说明的是,本实施方式中对一种结构(configuration)进行了说明,即,如图 2 所示,将调整为厚度 t_1 、 t_2 的各激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分用作热传导路径的结构。但只要将各激励电极 36A、36B、37A、37B 之中至少用作热传导路径的部分的厚度调整为厚度 t_1 、 t_2 即可。例如,在激励电极形成工序中包括掩蔽(masking)与用作热传导路径的部分不同的部分而堆积激励电极用材料的工序,由此仅在用作热传导路径的部分较厚地堆积电极形成用材料,可以减少其他部分的电极形成用材料的使用量。

[0068] 图 1 中,在音叉型石英振动片 50 中,若从与外部连接的作为激励手段的振荡电路(未图示)对激励电极 36A、36B 和激励电极 37A、37B 施加驱动电压,则如图中箭头 G 所示,振动臂 53、54 在水平方向上彼此接近或远离地弯曲振动。本实施方式中,还可以说基部 52 和振动臂 53、54 形成在预定的第 1 面上并在第 1 面内弯曲振动。

[0069] 由于该弯曲振动,在基部 52 和各振动臂 53、54 之间的连接部中,在各振动臂 53、54 的振动方向的根部分的区域产生压缩应力和拉伸应力。即,振动臂 53 的图中的第 1 区域 110 和第 2 区域 111 中产生压缩应力和拉伸应力,与此相同,在振动臂 54 的与基部 52 相连的连接部分的区域也产生压缩应力和拉伸应力(详情后述)。将以图中的振动臂 53 侧进行详述。若振动臂 53 的自由端侧朝接近振动臂 54 的方向弯曲振动,则拉伸应力作用于振动臂 53 的第 1 区域 110 而使其温度下降、压缩应力作用于第 2 区域 111 而使其温度上升。相反,若振动臂 53 的自由端侧朝远离振动臂 54 的方向弯曲,则压缩应力作用于第 1 区域 110 而使其温度上升,拉伸应力作用于第 2 区域 111 而使其温度下降。

[0070] 同样,若振动臂 54 的自由端侧朝接近振动臂 53 的方向弯曲振动,则拉伸应力作用于振动臂 54 的第 1 区域 112 而使其温度下降;压缩应力作用于第 2 区域 113 而使其温度上升。相反,若振动臂 54 的自由端侧朝远离振动臂 53 的方向弯曲,则压缩应力作用于第 1 区域 112 而温度上升,拉伸应力作用于第 2 区域 113 而使其温度下降。

[0071] 这样,在振动臂 53、54 各自的与基部 52 相连的连接部的内部,压缩应力产生作用

的部分和拉伸应力产生作用的部分之间产生温度梯度,其梯度方向 (gradient) 与各振动臂 53、54 的振动方向相反。

[0072] 由于该温度梯度,热从压缩侧的部分被传递至拉伸侧的部分,即,从高温侧被传递至低温侧。本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,该压缩侧的部分至拉伸侧的部分的热传递是将各振动臂 53、54 的激励电极 36A、36B 和激励电极 37A、37B 的一部分作为热传导路径而进行的。

[0073] 将对图 1 所示的音叉型石英振动片 50 的一主面侧进行详细说明。分别设置于各振动臂 53、54 的激励电极 36A、37A 的一部分 (各振动臂 53、54 的与基部 52 相连的根部分附近) 以将各振动臂 53、54 的第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 热连接的方式配置。此处,激励电极 36A、37A 的电极形成用材料如上所述具有低于作为弯曲振动体的石英基板的热阻率,因此第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 之间的热传导是以将激励电极 36A、37A 的第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 热连接的区域作为热传导路径而进行的。

[0074] 这样,以上述部分为热传导路径的激励电极 36A、36B、37A、37B 至少由热阻率低于作为弯曲振动体的石英相的材料形成,且如上所述调整与各振动臂 53、54 的振动方向正交的方向的厚度 t_{th} (图 2 中为 t_1 或 t_2) 以满足 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 的关系。从而,与弯曲振动片为第 1 区域和第 2 区域的热传导路径的以往构造的情况相比,压缩侧至拉伸侧的热传导时间变快。即,与无热传导路径的以往构造的弛豫时间 τ_0 相比,振动臂 53、54 弯曲振动时的第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 之间直至温度达到平衡状态的弛豫时间 τ_1 变短。即,本实施方式的音叉型石英振动片 50 的热弛豫频率 $f_{20} = 1/(2\pi\tau_1)$ 中, $\tau_1 < \tau_0$, 因此与以往构造的音叉型石英振动片的热弛豫频率 $f_0 = 1/(2\pi\tau_0)$ 相比, f_{20} 变高。

[0075] 一般,已知热弛豫频率 f_0 是利用下式 (1) 求得的。

$$[0076] \quad f_0 = \pi k / (2 \rho C_p a^2) \dots (1)$$

[0077] 此处, π 为圆周率、 k 为振动臂 (弯曲振动体) 的弯曲振动方向的热传导率、 ρ 为振动臂 (弯曲振动体) 的质量密度、 C_p 为振动臂 (弯曲振动体) 的热容量、 a 为振动臂 (弯曲振动体) 的弯曲振动方向的宽度。当对式 (1) 的热传导率 k 、质量密度 ρ 、热容量 C_p 代入振动臂的材料其自身常数时,所求得的热弛豫频率 f_0 为未设置将第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 热连接的热传导路径的情况时的弯曲振动体的弛豫振动频率。

[0078] 从图 8 的振动臂的机械振动频率 (共振频率) 和 Q 值的关系来看,曲线 F 本身的形状不变化,因此随着热弛豫频率的上升,曲线 F 朝频率上升方向 (纸面上右方向) 移至曲线 F2 的位置。因此,将振动臂的机械振动频率 (共振频率) 设为 f_r 时,在 f_r 为热弛豫频率 f_0 以下的范围内,即满足 $1 \geq f_r/f_0$ 的范围内,曲线 F2 上的 Q 值一直高于以往构造的曲线 F。而且,在曲线 F2 上的低于曲线 F 和曲线 F2 的交点的频率的频带中,即满足 $1 > f_r/(f_0 + (f_{20} - f_0)/3)$ 的范围内,与以往构造的音叉型石英振动片的曲线 F 上的 Q 值相比, Q 值变高。这样,在本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,将各振动臂 53、54 各自的第 1 区域 110、112 和第 2 区域 111、113 热连接的热传导路径 (各激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分) 设置成具有低热阻率且控制厚度,由此可以使 Q 值得到改善而实现高性能化。

[0079] 另外,本实施方式中,采用将激励电极 36A、36B、37A、37B 的一部分用作热传导路径的结构。由此,制造工序被简化,另外,能够空间效率较好地实施 Q 值的稳定化措施,因此有利于音叉型石英振动片 50 的小型化和低成本化。

[0080] (第2实施方式)

[0081] 上述第1实施方式中,采用了将音叉型石英振动片50的激励电极36A、36B、37A、37B的一部分用作热传导路径的结构。但并不限于这些,还可以采用在弯曲振动体上在激励电极之外独立设置热传导路径的结构。

[0082] 图4是示意性说明在弯曲振动体上在激励电极之外独立设置热传导路径的音叉型石英振动片的图,(a)是一主面侧的平面图,(b)是(a)的B-B线剖面图。需要说明的是,本变形例的图4中,对与上述第1实施方式同样的结构附与同一符号,从而省略说明。

[0083] 图4(a)中,本变形例的音叉型石英振动片150具有由基部52和一对振动臂53、54构成的音叉型外形,所述基部52由弯曲振动体材料形成,所述一对振动臂53、54从该基部52的一端侧分叉成两支并彼此平行地延伸;在各振动臂53、54的一主面形成了激励电极136A、137A。另外,与基部52的延伸出振动臂53、54的一端侧不同的另一端侧附近设置了外部连接电极66、67。这些外部连接电极66、67分别与激励电极136A、137A相对应,各相互对应的电极之间由未图示的迂回配线连接,该迂回配线被迂回设置于音叉型石英振动片150的主面、侧面。

[0084] 需要说明的是,省略了图示,但在各振动臂53、54的与形成有激励电极136A、136B、137A、137B的两主面正交的两侧面上形成有激励电极,所述形成在两侧面的激励电极的电位与各个振动臂53、54的激励电极136A、136B以及激励电极137A、137B的电位分别相同。

[0085] 在振动臂53的形成有激励电极136A的一主面侧,在振动臂53的与基部52相连的根部附近,在上述第1实施方式中说明的将第1区域和第2区域(参见图1)热连接的位置设置有热传导路径56A,该热传导路径56A由热阻率低于作为弯曲振动体的石英基板材料(参见图3)构成。

[0086] 同样,还在振动臂54的形成有激励电极137A的一主面侧,在振动臂54的与基部52相连的根部附近,在将上述第1区域和上述第2区域热连接的位置设置了热传导路径57A。

[0087] 另外,如图4(b)所示,还在振动臂53的另一主面侧,在与上述热传导路径56A对向的位置设置了热传导路径56B。

[0088] 此处,设置于振动臂53的两主面的热传导路径56A、56B以如下方式形成:热传导路径56A、56B被调整为具有与上述第1实施方式说明的热传导路径的厚度 t_{th} 相同定义的厚度 t_{11} 、 t_{12} (第2实施方式中 $t_{11} = t_{12}$)。

[0089] 与此相同,还在振动臂54的另一主面侧,在与具有厚度 t_{11} 的上述热传导路径57A对向的位置设置了具有厚度 t_{12} 的热传导路径(未图示)。

[0090] 根据上述结构,不需要考虑作为激励电极136A、137A等电极材料的功能,用作热传导路径56A、56B、57A的材料的选择范围(选材肢)扩大,因此能够更有效地谋求音叉型石英振动片150的Q值的稳定化、制造效率的提高。例如,与激励电极136A、137A的厚度无关,仅通过调节热传导路径56A、56B、57A的厚度,即可形成热传导路径56A、56B、57A,并且该热传导路径56A、56B、57A是以较厚厚度形成的,因此能够抑制材料的浪费的同时,能够高精度地进行厚度的调节。

[0091] 另外,在激励电极136A、137A之外独立形成的热传导路径56A、56B、57A不需要导

电性,因此,例如,可以在图 3 所示的材料之中选择钻石等热阻率低的绝缘体材料以有效地抑制 Q 值降低。

[0092] 上述实施方式说明的作为弯曲振动片的音叉型石英振动片还可以作为以下变形例实施。

[0093] (变形例)

[0094] 在上述第 2 实施方式的音叉型石英振动片 150 中,采用热传导路径 56A、56B、57A 设置在不与激励电极 136A、137A 等电极重叠的位置的结构,但如果使用绝缘材料作为热传导路径的形成用材料,则也可将热传导路径与电极重叠而设置,发挥可实现小型化等的效果。

[0095] 图 5 是示意性说明变形例的音叉型石英振动片的图,图 5(a) 是一主面侧的平面图, (b) 是 (a) 的 C-C 线剖面图。

[0096] 图 5(a) 中,本变形例的音叉型石英振动片 250 具有由基部 52 和一对振动臂 53、54 构成的音叉型外形,所述基部 52 由弯曲振动体材料形成,所述一对振动臂 53、54 从该基部 52 的一端侧分叉成两支并彼此平行地延伸。另外,在各振动臂 53、54 的一主面形成有激励电极 236A、237A,激励电极 236A、237A 设置于包括各振动臂 53、54 的与基部 52 相连的根部分附近的区域。

[0097] 在振动臂 53 的形成有激励电极 236A 的一主面侧,在振动臂 53 的与基部 52 相连的根部附近的、上述第 1 实施方式说明的将第 1 区域和第 2 区域(参见图 1)热连接的位置设置了热传导路径 156A,该热传导路径 156A 由热阻率低于作为弯曲振动体的石英基板材料(例如,参见图 3)之中的绝缘体构成。热传导路径 156A 设置于包括激励电极 236A 上的区域,但因为是绝缘体因此能够避免短路等电缺陷。

[0098] 同样,还在振动臂 54 的形成有激励电极 237A 的一主面侧,在振动臂 54 的与基部 52 相连的根部附近,在将上述第 1 区域和上述第 2 区域热连接的位置设置了热传导路径 157A。

[0099] 另外,如图 5(b) 所示,还在振动臂 53 的另一主面侧,在与上述热传导路径 156A 对向的位置设置了热传导路径 156B。

[0100] 此处,设置于振动臂 53 的两主面的热传导路径 156A、156B 以如下方式形成:将热传导路径 156A、156B 调整为具有与上述第 1 实施方式说明的热传导路径的厚度 t_{th} 相同定义的厚度 t_{21} 、 t_{22} (在此 $t_{21} = t_{22}$)。

[0101] 与此相同,还在振动臂 54 的另一主面侧,在与具有厚度 t_{21} 的上述热传导路径 157A 对向的位置设置了具有厚度 t_{22} 的热传导路径(未图示)。

[0102] 需要说明的是,省略了图示,但在各振动臂 53、54 的与形成有激励电极 236A、236B、237A、237B 的两主面正交的两侧面上形成有激励电极,所述形成在两侧面的激励电极的电位与振动臂 53、54 各自的激励电极 236A、236B 或激励电极 237A、237B 分别相同。

[0103] 根据上述结构,不需要担心与激励电极 236A、236B、237A 等电极的短路,可以在这些电极上设置热传导路径 156A、156B、157A,因此设计自由度增加而有利于小型化。另外,可以放宽电极和热传导路径 156A、156B、157A 的形成位置精度,制造也变得容易。

[0104] [振荡器]

[0105] 上述第 1 实施方式和变形例中说明的作为弯曲振动片的音叉型石英振动片 50、

150、250 可以适用于压电元件、除压电元件以外的各种电子部件。特别是,如下结构的振荡器可以使 Q 值得到改善、实现高性能化的同时实现小型化,所述振荡器是通过如下方式构成的:至少将上述音叉型石英振动片 50、150、250 中任一弯曲振动片与使该弯曲振动片振荡的振荡电路元件一起组合入封装壳(package(パッケージ))内,由此构成振荡器。

[0106] 以上,对由发明人作出的本发明的实施方式进行了具体说明,但本发明并不限于上述实施方式,在不脱离其要点的范围内能够实施各种变形。

[0107] 例如,上述第 1 实施方式、第 2 实施方式及变形例的音叉型石英振动片 50、150、250 中,在各振动臂 53、54 的两主面设置了热传导路径 56、57、156、157。即,在规定上述第 1 实施方式说明的热传导路径 56、57 的厚度 $t_{th}(t_1, t_2)$ 的式 $t_{th} \geq (1/m) \times t_v \times (\rho_{th}/\rho_v)$ 中,设热传导路径的条数 $m = 2$,但并不限于这些。即使当热传导路径的条数在每个弯曲振动体(音叉型石英振动片的振动臂)中为 1 或 3 时,只要确保各热传导路径的厚度以满足上式关系即可。

[0108] 另外,上述第 1 实施方式和变形例中,对作为弯曲振动片的音叉型石英振动片 50、150、250 进行了说明。但并不限于这些,本发明的弯曲振动片可以是长条状的所谓梁型的弯曲振动片,另外,即使是具有三个以上的振动臂的弯曲振动片,也可以得到与上述第 1 实施方式和变形例同样效果。

[0109] 如下说明具有三个以上的振动臂的弯曲振动片的具体例。图 6 是具有三个振动臂的弯曲振动片的概况结构图,(a) ~ (c) 是示出电极形成过程的斜视图,(d) 是 (a) 的 A-A' 剖面图,(e) 是 (b) 的 B-B' 剖面图,(f) 是 (c) 的 C-C' 剖面图。

[0110] 如图 6 所示,压电体元件 10 具备由石英基板构成的基部 16 和从其一端延伸出的 3 根振动臂 18a、18b、18c,振动臂 18a、18b、18c 包括配置于主面 12 上的下部电极 20、配置于下部电极 20 上的压电膜 22 和配置于压电膜 22 上的上部电极 26,使振动臂 18a、18c 和振动臂 18b 交替地(alternatively)上下弯曲振动。换言之,也可以说在与形成有基部 16 和振动臂 18a、18b、18c 的面正交的方向上弯曲振动。需要说明的是,本例的振动臂的振动方向的宽度 a 为振动臂的厚度方向。

[0111] 本例中,如图 6(a)、(d) 所示,首先,以覆盖振动臂 18a、18b、18c 的外面的方式形成下部电极 20。接着,如图 6(b)、(e) 所示以覆盖下部电极 20 和基部 16 的一部分的方式形成压电膜 22,同时形成用于导通连接下部电极 20 和上部电极 26 的开口部 24。接着,如图 6(c)、(f) 所示在压电膜 22 上形成上部电极 26。此时,振动臂 18a、18c 的下部电极 20 和振动臂 18b 的上部电极 26 被连接,振动臂 18a、18c 的上部电极 26 和振动臂 18b 的下部电极 20 被连接。本实施例中,由具有高于石英基板的热传导率的电极材料形成下部电极 20。

[0112] 由于该弯曲振动,在基部 16 和振动臂 18a、18b、18c 的连接部,在振动臂 18a、18b、18c 的振动方向的根部分的表背面(front and rear surfaces)产生压缩应力和拉伸应力。将以图中的振动臂进行详述。若振动臂 18a、18c 在 +Z 轴方向上弯曲振动,则压缩应力作用于振动臂 18a、18c 的表面(front surface)的第 1 区域而使其温度上升,拉伸应力作用于背面(rear surface)的第 2 区域而使其温度下降。另一方面,振动臂 18b 在 -Z 轴方向上弯曲振动,拉伸应力作用于振动臂 18b 的表面的第 1 区域而使其温度下降,压缩应力作用于背面的第 2 区域而使其温度上升。这样,在振动臂 18a、18b、18c 各自的与基部 16 相连的连接部的内部,压缩应力产生作用的部分和拉伸应力产生作用的部分之间产生温度梯度,该温

度梯度的方向与振动臂 18a、18b、18c 的振动方向相反。由于该温度梯度,热从压缩侧的部分传递至拉伸侧的部分,即,从高温侧传递至低温侧。本实施方式的音叉型石英振动片中,该由压缩侧的部分至拉伸侧的部分的热传递使用形成在振动臂 18a、18b、18c 的表面的下部电极 20 的一部分作为热传导路径。

[0113] 需要说明的是,本实施例中仅在振动臂的表面形成压电膜或上部电极,但还可以与下部电极同样地在振动臂的整个外面形成压电膜或上部电极,而使用压电膜或上部电极作为热传导路径。

[0114] 另外,上述第 1 实施方式和变形例中,作为弯曲振动片的一例,对由石英构成的音叉型石英振动片 50、150、250 进行了说明,但还可以是由除石英以外的压电基板构成的弯曲振动片。

[0115] 另外,弯曲振动片的基材材料并不限于压电基板。除使用压电基板的压电驱动型弯曲振动片以外,在使用静电力的静电驱动型或使用磁力的磁力驱动型弯曲振动片中,也能使本发明的结构及其效果得到发挥。

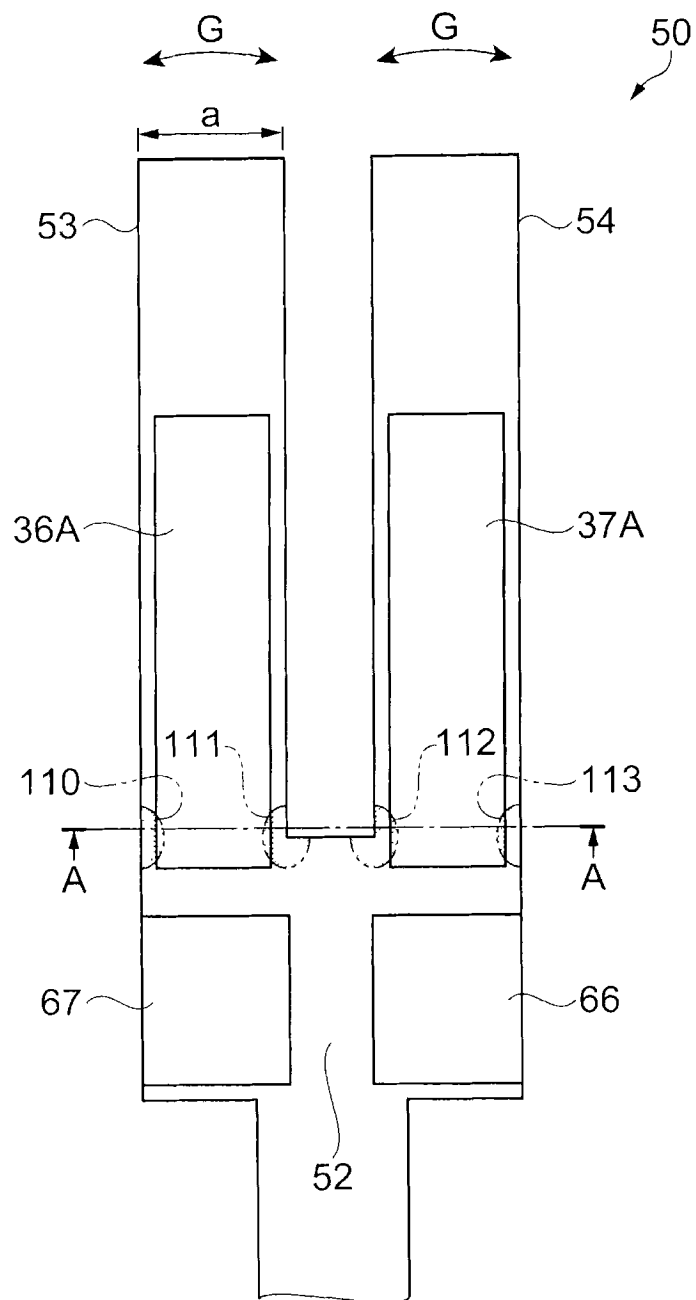


图 1

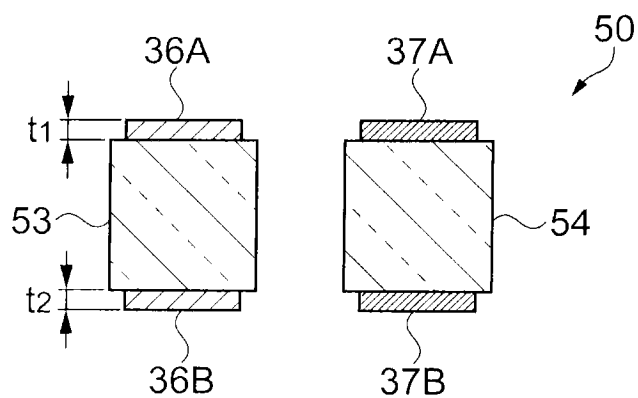


图 2

材料名	热阻率 ρ_{th} (mK/W)
银 (Ag)	0.0023
铜 (Cu)	0.0025
金 (Au)	0.0032
铝 (Al)	0.0042
钼 (Mo)	0.0072
铬 (Cr)	0.0111
钛 (Ti)	0.0143
铂 (Pt)	0.0500
钻石 (C)	0.0007
氮化铝 (AlN)	0.0035
硅 (Si)	0.0068
氧化锌 (ZnO)	0.0185

图 3

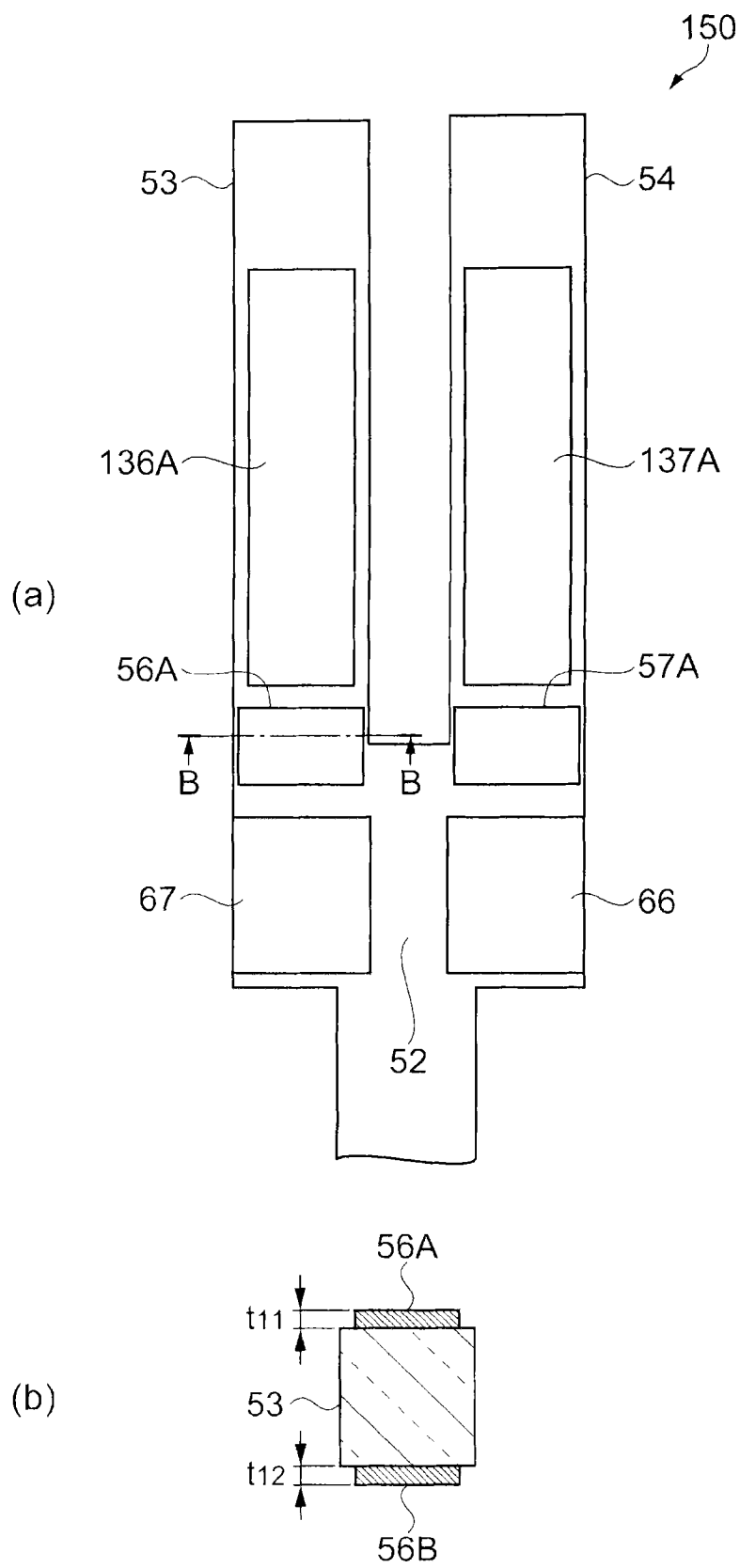


图 4

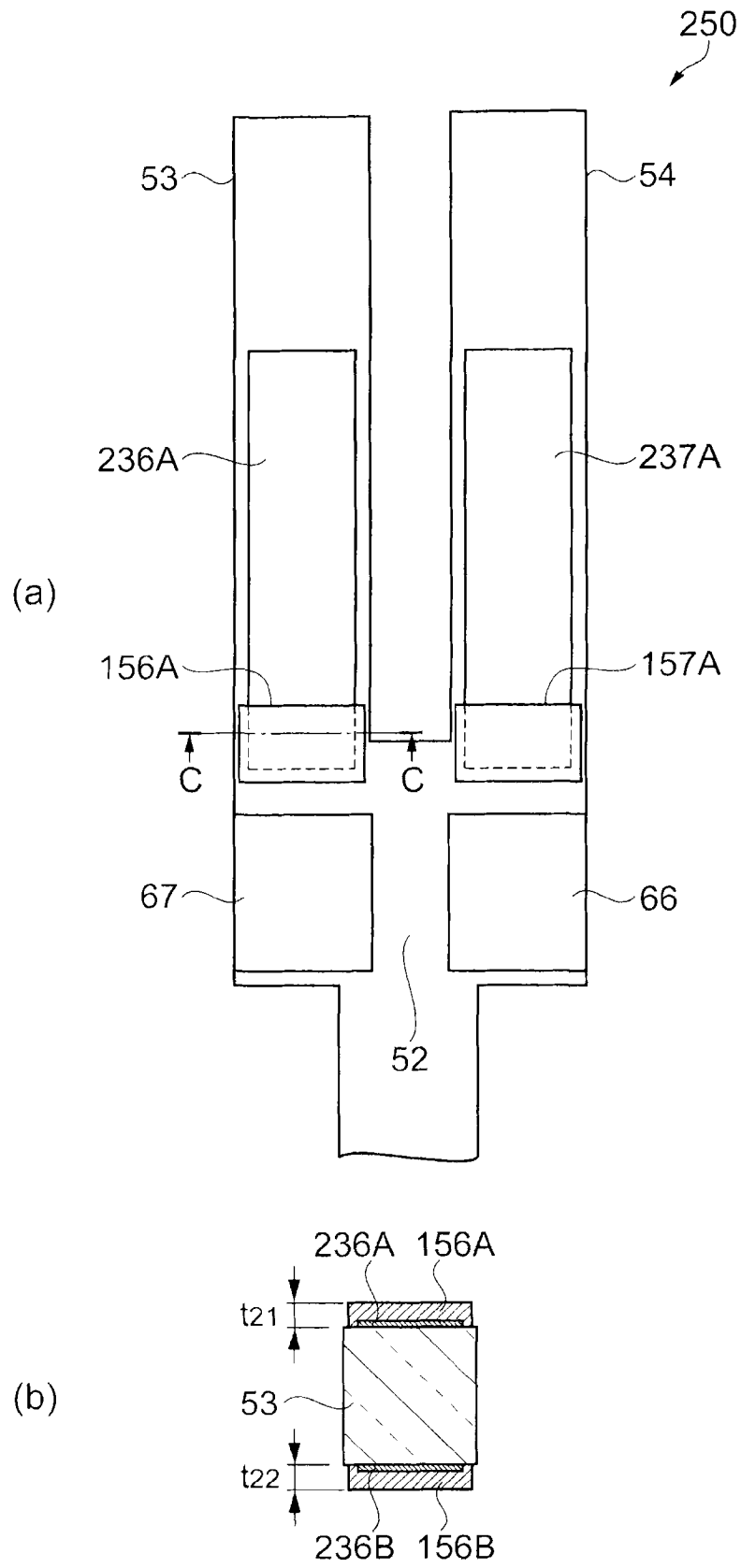


图 5

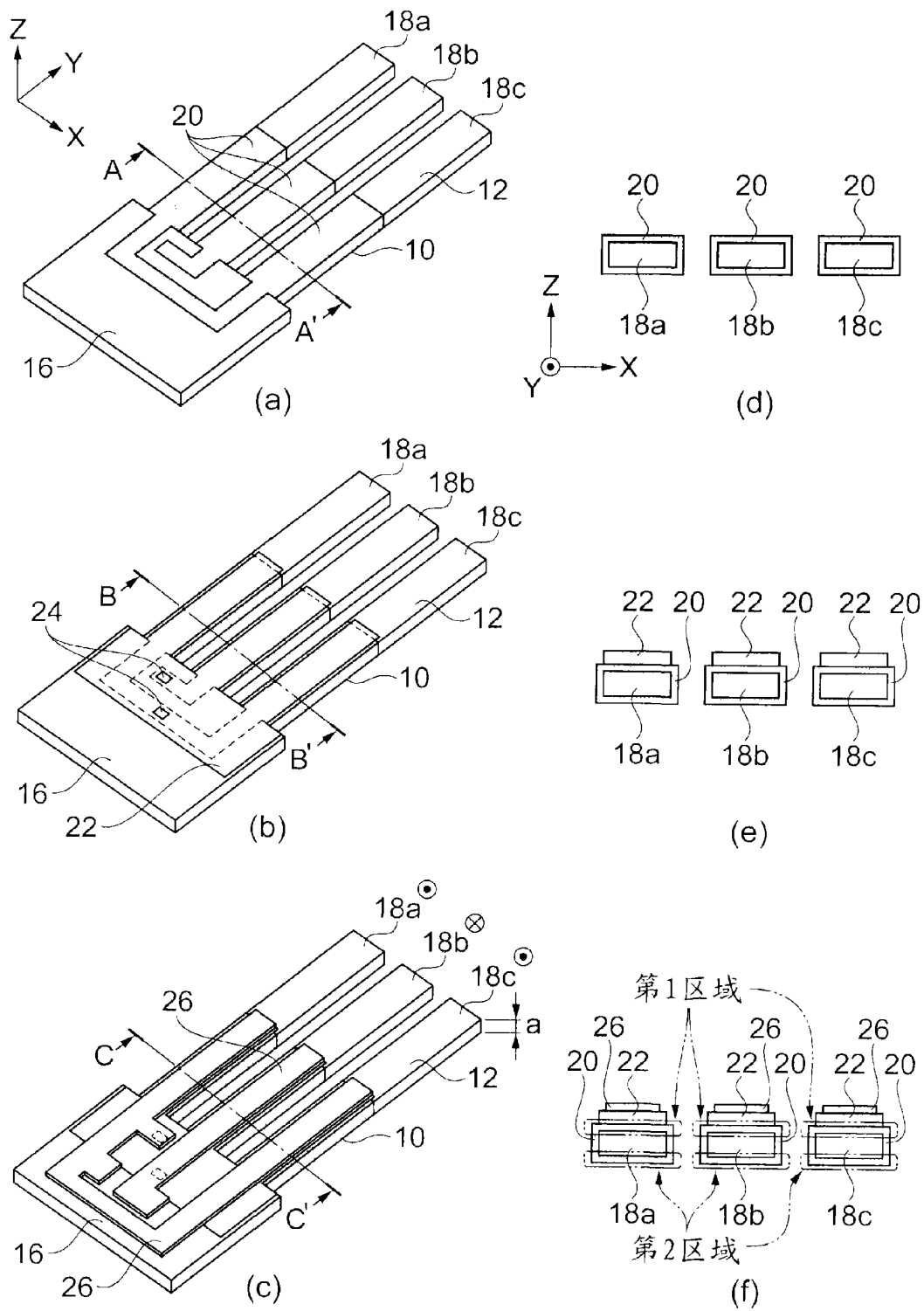


图 6

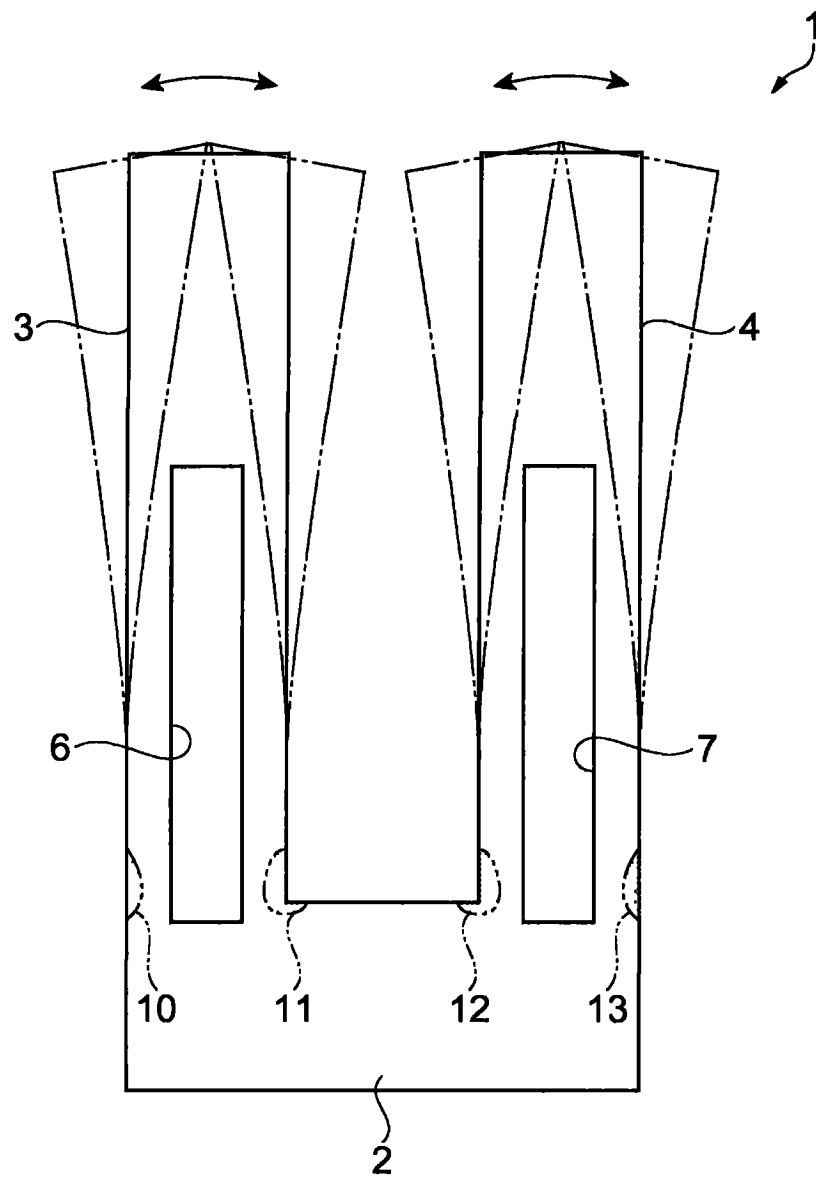


图 7

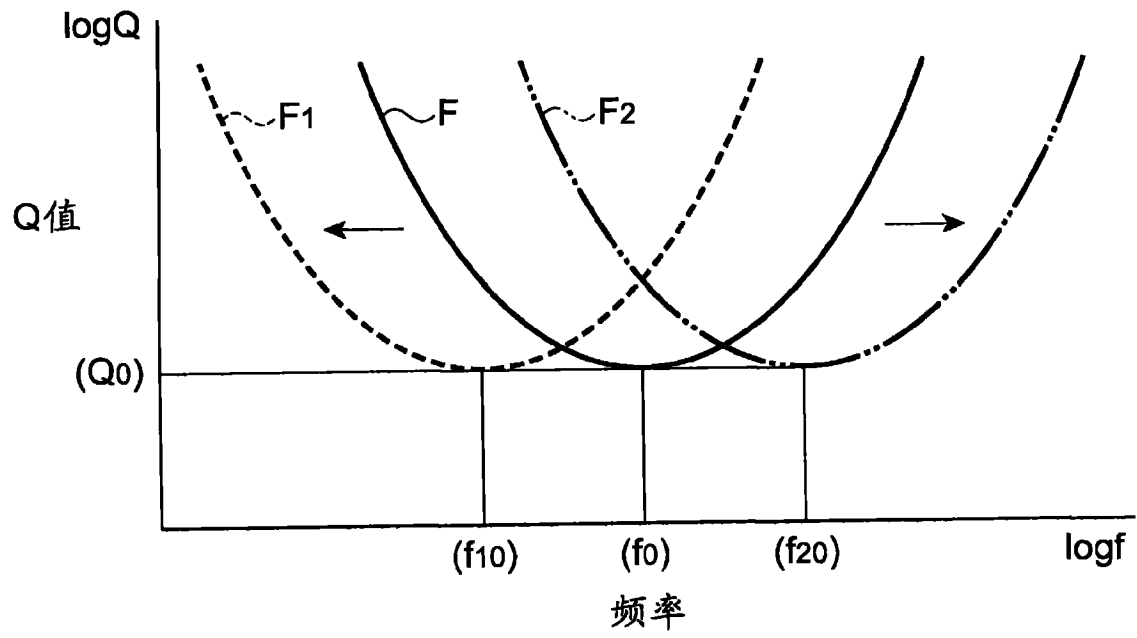


图 8