



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101847979 B

(45) 授权公告日 2013. 02. 06

(21) 申请号 201010148347. 2

(22) 申请日 2010. 03. 25

(30) 优先权数据

2009-073740 2009. 03. 25 JP

2010-002670 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 山崎隆 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 101286729 A, 2008. 10. 15, 全文.

CN 1753304 A, 2006. 03. 29, 全文.

JP 2006217603 A, 2006. 08. 17, 全文.

审查员 邢鹏

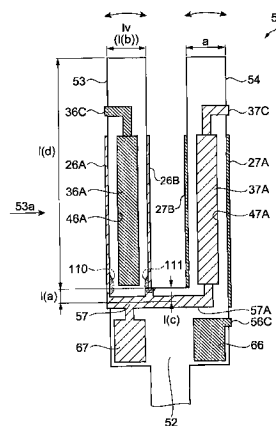
权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 11 页

(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

本发明提供一种抑制了 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。该音叉型石英振动片 (50) 由基部 (52) 和从该基部 (52) 的一端侧分叉出两支并彼此平行地延伸的一对振动臂 (53、54) 构成。在各振动臂 (53、54) 形成有激励电极 (36A、37A)，在基部 (52) 设置了分别与激励电极 (36A、37A) 相对应的外部连接电极 (66、67)。另外，在振动臂 (53) 的与基部 (52) 相连的根部附近的基部 (52) 上设置有由热传导率高的材料形成的热传导路径 (57)，该热传导路径 (57) 被连接于侧面电极 (26A、26B)，该侧面电极 (26A、26B) 分别设置在与振动臂 (53) 的形成有激励电极 (36A) 的主面正交的两侧面。从而，图中箭头所示的振动臂 (53) 的弯曲振动方向的成为与基部 (52) 相连的根部的第 1 区域 (110) 和第 2 区域 (111) 通过热传导路径 (57) 被热连接。



1. 一种弯曲振动片,该弯曲振动片具备弯曲振动体和热传导路径:

所述弯曲振动体具有第 1 区域、第 2 区域以及连接所述第 1 区域和所述第 2 区域的第 1 主面,并且所述弯曲振动体在所述第 1 主面内弯曲振动,

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,所述第 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 区域的附近,其由热传导率高于所述弯曲振动体的材料构成,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传导率设为 α_{th} 、将所述弯曲振动体的热传导率设为 α_v 、将与所述弯曲振动体的所述第 1 主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 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th})$ 的关系。

2. 如权利要求 1 所述的弯曲振动片,

其特征在于,所述弯曲振动体从基部的一端延伸出而形成,所述热传导路径经由所述弯曲振动体的与所述基部相连的根部附近的基部上而形成。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,在所述第 1 区域的至少一部分形成第 1 电极,在所述第 2 区域的至少一部分形成第 2 电极,所述热传导路径被连接于所述第 1 电极和所述第 2 电极。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,当将所述热传导路径的长度设为 l_{th} 、将所述弯曲振动体的所述第 1 区域与所述第 2 区域之间的间隔设为 l_v 时,满足 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th}) \times (l_{th}/l_v)$ 的关系。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,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 ,当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。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,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 ,当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, $1 \geq fr / f_0$ 。

7. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,当将所述第 1 区域和所述第 2 区域之间的温度达到平衡状态所需的热弛豫时间,在未设置所述热传导路径的情况下设为 τ_0 、在设置所述热传导路径的情况下设为 τ_1 时,满足 $\tau_1 < \tau_0$ 的关系。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的弯曲振动片,

其特征在于,所述热传导路径的一部分或全部是通过在从所述弯曲振动体的所述第 1 区域贯通至所述第 2 区域的贯通孔中或在贯通所述第 1 区域和所述第 2 区域的附近的贯通孔中埋设热传导率高于所述弯曲振动体的材料而形成的。

9. 一种振荡器,其特征在于,该振荡器至少具备权利要求 1~8 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] 本发明涉及一种在弯曲振动模式下振动的弯曲振动片及利用该弯曲振动片的振荡器。

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压电材料等构成的基材的基部平行延伸出 1 对振动臂且使它们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)值的增大、Q 值降低等。为此,为了防止或减少这样的振动能量损失,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成分的情况下,利用切入部或切入槽减小振动从基部泄漏,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] 除这样的机械振动能量损失以外,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。因该热传导产生的 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,在弛豫振动频率 $f_m = 1/(2\pi\tau)$ (此处, τ 为弛豫时间)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 11 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 10 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。若对该音叉型石英振动片 1 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 是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 是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 时压缩应力作用于第 2 区域 11。在第 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,而拉伸产生应力产生作用时温度下降。

[0009] 同样,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 是因弯曲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 13 是具有如下关系的区域:当压缩应力作用于该第 1 区域 12 时拉伸应力作用于该第 2 区域 13,而当拉伸应力作用于该第 1 区域 12 时压缩应力作用于该第 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] c 由于这样产生的温度梯度,在基部 2 和各振动臂 3、4 的根部分的内部,热传导分别在第 1 区域 10 和第 2 区域 11 之间以及第 1 区域 12 和第 2 区域 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 值降低而难以实现所希望的高性能。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。

[0011] 背景技术文献

[0012] 专利文献

[0013] 专利文献 1:日本特开 2002-261575 号公报

[0014] 专利文献 2:日本特开 2004-260718 号公报

[0015] 专利文献 3:日本实愿昭 63-110151 说明书

[0016] 非专利文献

[0017] 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

[0018] 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:随着小型化的发展难以形成能够防止或减轻因热弹性损失引起的 Q 值降低的形状的槽或孔,另外,有可能不能充分得到抑制 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,该弯曲振动片包含弯曲振动体(bending vibrator)并设置有热传导路径(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,所述第 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;所述热传导路径设置在所述第 1 区域和所述第 2 区域的附近,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 connects),所述该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传导率设为 α_{th} 、将所述弯曲振动体的热传导率设为 α_v 、将与所述弯曲振动体的振动方向正交的方向的厚度设为 t_v 、将所述热传导路径的与所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 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th})$ 的关系。

[0022] 本发明人发现,根据该结构,由于具有热传导率高于弯曲振动体的热传导路径,因而能够缩短第 1 区域和第 2 区域中产生的温度差达到平衡状态所需的热弛豫时间,由此能够抑制 Q 值降低。

[0023] 另外,还可以设置上述热传导路径,而不需要如上述现有技术那样在弯曲振动体上形成孔或槽,因此有利于应对弯曲振动片的小型化的需要。

[0024] 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。

[0025] [应用例 2] 如上述应用例所述的弯曲振动片,该弯曲振动片具备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 (first plane) 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,所述第 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,所述热传导路径在所述第 1 区域和所述第 2 区域的附近,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传导率设为 α_{th} 、将所述弯曲振动体的热传导率设为 α_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 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th})$ 的关系。

[0026] 本发明人发现,根据该结构,由于具有热传导率高于弯曲振动体的热传导路径,因而能够缩短第 1 区域和第 2 区域中产生的温度差达到平衡状态所需的热弛豫时间,由此能够抑制 Q 值降低。

[0027] [应用例 3] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征不在于,上述弯曲振动体从基部的一端延伸出而形成,上述热传导路径经由上述弯曲振动体的与上述基部相连的根部附近的基部上而形成。另外,其特征不在于,在上述第 1 区域的至少一部分形成第 1 电极,在上述第 2 区域的至少一部分形成第 2 电极,上述热传导路径与上述第 1 电极和上述第 2 电极连接。

[0028] 本发明人发现,根据该结构 (configuration),与在振动臂设置热传导路径的情况相比可以容易形成热传导路径。

[0029] [应用例 4] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征不在于,当将上述热传导路径的长度设为 l_{th} 、将上述弯曲振动体的上述第 1 区域与上述第 2 区域之间的间隔设为 l_v 时,满足 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th}) \times (l_{th}/l_v)$ 的关系。

[0030] 本发明人发现,通过规定热传导路径的长度或厚度以满足上式关系,能更可靠地得到抑制热传导损失的效果。

[0031] [应用例 5] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征不在于,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 时,满足 $1 > f_r/f_0 + (f_{20}-f_0)/3$ 的关系。另外,其特征不在于,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。

[0032] 本申请发明人发现,根据该结构,可以提供与以往构造的弯曲振动片相比较高地确保 Q 值、具有稳定的振动特性的弯曲振动片。

[0033] [应用例 6] 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, $1 \geq f_r / f_0$ 。

[0034] 根据该结构,能够提供确保高的 Q 值、具有稳定的振动特性的弯曲振动片。

[0035] [应用例 7] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,在未设置上述热传导路径的情况下,将上述第 1 区域和上述第 2 区域之间的温度达到平衡状态所需的热弛豫时间设为 τ_0 ,而在设置上述热传导路径的情况下将上述第 1 区域和上述第 2 区域之间的温度达到平衡状态所需的热弛豫时间设为 τ_1 时,满足 $\tau_1 < \tau_0$ 的关系;当将用 $1 / (2 \pi \tau_0)$ 求得的上述弯曲振动体的热弛豫频率设为 f_0 、将上述弯曲振动体的机械共振频率设为 f_r 时,满足 $1 \geq f_r / f_0$ 的关系。

[0036] 根据该结构,由于与机械共振频率 f_r 相比热弛豫频率 f_{20} 增大,能够避免 Q 值达到极小值时的 $1 = f_r / f_0$ 的关系,可以提供可实现 Q 值提高的弯曲振动片。

[0037] [应用例 8] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,上述热传导路径的一部分或全部是通过在从上述弯曲振动体的上述第 1 区域贯通至上述弯曲振动体的上述第 2 区域的贯通孔中或在上述第 1 区域和上述第 2 区域附近贯通的贯通孔中埋设与上述弯曲振动体相比热传导率高的材料而形成的。

[0038] 根据该结构,能够进一步缩短将第 1 区域和第 2 区域热连接的热传导路径,因此可以使 Q 值更稳定。

[0039] [应用例 9] 如上述应用例所述的弯曲振动片,其特征在于,上述弯曲振动体由基部、从该基部的一端部延伸出的振动臂构成,上述热传导路径迂回设置于上述基部。

[0040] 根据该结构,与在振动臂中设置热传导路径的情况相比可以容易地形成热传导路径。例如,在上述应用例的由贯通孔和在该贯通孔内埋设的热传导率高的材料形成的热传导路径的情况下,具有大面积的基部易于穿孔加工。

[0041] [应用例 10] 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和驱动该弯曲振动片的振荡电路。

[0042] 根据该结构,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

[0043] 图 1 是示意性说明作为弯曲振动片的音叉型石英振动片的一实施方式的一主面侧的平面图。

[0044] 图 2 是示意性说明音叉型石英振动片的一实施方式的另一主面侧的平面图。

[0045] 图 3 是从图 1 的箭头方向观察音叉型石英振动片得到的侧面图。

[0046] 图 4 是示出可适用于音叉型石英振动片的热传导路径的材料及其热传导率的说明图。

[0047] 图 5 是示意性说明变形例 1 的音叉型石英振动片的平面图。

[0048] 图 6 是示意性说明变形例 1 的音叉型石英振动片的图 5 的 A-A 线剖面图。

[0049] 图 7 是示意性说明变形例 2 的音叉型石英振动片的平面图。

[0050] 图 8 是示意性说明变形例 2 的音叉型石英振动片的图 7 的 B-B 线剖面图。

[0051] 图 9 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 (a) 的基部和振动臂的连接部周围的表面放大图, (e) 是 (a) 的基部和振动臂的连接部周围的背面 (裏面 (rear surface)) 放大图 (从上至下观察的透视图), (f) 是 (c) 的 A-A' 剖面图。

[0052] 图 10 是示出以往音叉型石英振动片的典型例的平面图。

[0053] 图 11 是示出在弯曲振动模式下的弯曲振动片的弛豫频率和 Q 值极小值的关系的曲线图。

[0054] 符号说明

[0055] 1、50、150、250... 作为弯曲振动片的音叉型石英振动片; 2、52、152... 基部; 3、4、53、54、153、154... 振动臂; 6、7... 孔; 10、12、110、112... 第 1 区域; 11、13、111、113... 第 2 区域; 26A、26B、27A、27B... 侧面电极; 36A、36B、37A、37B、136A、136B、137A... 激励电极; 36C、37C、56A、56C、57A、157... 迂回配线 (引き回し配線); 46A、46B、47A、47B、146A、146B、147A... 槽; 56、57、116、117、216、217... 热传导路径; 66、67、166、167... 外部连接电极; 126A、126B、127A... 中继电极。

具体实施方式

[0056] 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。

[0057] 图 1 ~ 图 3 是示意性说明本实施方式的音叉型石英振动片的图, 图 1 是一主面侧的平面图, 图 2 是另一主面侧的平面图, 图 3 是从图 1 的箭头 53a 方向观察到的侧面图。需要说明的是, 图 1、图 2 中, 在激励电极等电极部分涂画有斜线影线, 但这只是便于清楚地说明各部的结构而涂画的, 而不表示金属剖面。

[0058] 图 1 中, 本实施方式的音叉型石英振动片 50 形成为具有由基部 52 和一对振动臂 53、54 构成的所谓音叉型外形, 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) 分叉出两支并彼此平行地延伸。作为弯曲振动体材料, 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 切石英薄板形成, 并且将石英结晶轴的 Y 轴定向为振动臂 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 (表裏) 主面的垂直方向。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 的音叉型外形。

[0059] 在各振动臂 53、54 的一主面, 为了抑制 CI 值, 分别沿长度方向形成了一条直线状的有底槽 46A、47A。在各槽 46A、47A 的包括底面的表面 (surfaces) 形成了激励电极 36A、37A。另外, 在基部 52 的与延伸出振动臂 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。本实施方式中, 激励电极 37A 通过包括热传导路径 57 (以后详述) 的迂回配线 (routing

wire(引き回し配線))57A 与外部连接电极 67 连接。激励电极 36A 通过迂回配线 36C 引出后进一步通过迂回配线 56C 连接于另一外部连接电极 66,该迂回配线 56C 连接于形成在另一主面上的后述的迂回配线 (56A)。

[0060] 另外,由振动臂 53 的激励电极 36A 的与基部 52 相反侧的一端部引出了迂回配线 36C,该迂回配线 36C 用于连接后述的激励电极 36B(参见图 2、图 3)和激励电极 36A,该激励电极 36B 设置在形成有激励电极 36A 的面的相反侧的主面(另一主面)。

[0061] 另外,由振动臂 54 的激励电极 37A 的与基部 52 相反侧的一端部引出了迂回配线 37C,该迂回配线 37C 用于连接后述的激励电极 37B(参见图 2)和激励电极 37A,该激励电极 37B 设置在形成有激励电极 37A 的面的相反侧的主面(上述另一主面(the other main surface))。

[0062] 同样,如图 2 所示,在各振动臂 53、54 的另一主面也分别沿长度方向形成直线状的有底槽 46B、47B,在各槽(groove)46B、47B 的包括底面的表面设置了激励电极 36B、37B。

[0063] 振动臂 53 的激励电极 36B 通过由振动臂 53 的与基部 52 相反侧的一端部引出的迂回配线 36C,经由振动臂 53 的侧面侧,连接于激励电极 36A(参见图 1、图 3),该激励电极 36A 设置在形成有激励电极 36B 的面的相反侧的主面(上述一主面)。另外,激励电极 36B 还经由迂回配线 56A 和设置于基部 52 的侧面的迂回配线 56C,连接于外部连接电极 66(参见图 1)。该迂回配线 56A 由激励电极 36B 的基部 52 侧的一端部引出并包括后述热传导路径 56。该外部连接电极 66 形成在音叉型石英振动片 50 的形成有激励电极 36B 的面的相反侧的主面(上述一主面)侧的基部 52 上。

[0064] 另外,振动臂 54 的激励电极 37B 通过由振动臂 54 的激励电极 37B 的与基部 52 相反方向的一端部引出的迂回配线 37C,经由振动臂 54 的侧面侧(未图示),连接于激励电极 37A(参见图 1),该激励电极 37A 设置在形成有激励电极 37B 的面的相反侧的主面上。

[0065] 上述电极或配线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)用作底层,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。但如后所述,有时以如下方式形成:按照形成热传导路径 56、57 的金属材料,选择其他电极或配线的金属材料。

[0066] 此处,本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,对本发明的结构中特别是作为重要部分的热传导路径 56、57 详细进行说明。

[0067] 图 1 和图 3 中,热传导路径 57 形成在振动臂 53 的与基部 52 相连的根部附近的基部 52 上并连接于侧面电极 26A、26B,该侧面电极 26A、26B 分别设置在振动臂 53 的与形成有激励电极 36A 的主面正交的两侧面。该侧面电极 26A、26B 形成在分别包括第 1 区域 110 和第 2 区域 111 的区域,第 1 区域 110 和第 2 区域 111 为如图中箭头所示的振动臂 53 的弯曲振动方向的与基部 52 相连的根部。由此,热传导路径 57 将第 1 区域 110 和第 2 区域 111 热连接的同时,在本实施方式中,热传导路径 57 成为将振动臂 54 的激励电极 37A 和外部连接电极 67 与迂回配线 57A 一同连接的端子间(电极间)配线的中继配线部分。

[0068] 同样,如图 2 所示,本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,热传导路径 56 形成在振动臂 54 的与基部 52 相连的根部附近的基部 52 上并连接于侧面电极 27A、27B,该侧面电极 27A、27B 分别设置在振动臂 54 的与形成有激励电极 37B 的主面正交的两侧面。侧面电极 27A 和侧面电极 27B 形成在分别包括第 1 区域 112 和第 2 区域 113 的区域,第 1 区域 112

和第 2 区域 113 为如图中箭头所示的振动臂 54 的弯曲振动方向的与基部 52 相连的根部。热传导路径 56 将第 1 区域 112 和第 2 区域 113 热连接的同时,热传导路径 56 作为中继配线 (relay wiring) 部分,其将由振动臂 53 的激励电极 36B 引出的迂回配线 56A、图 1 所示的外部连接电极 66 和由外部连接电极 66 引出的迂回配线 56C 连接。

[0069] 需要说明的是,上述侧面电极 26A、26B、27A、27B 通常多用作将音叉型石英振动片 50 的两主面相对应的各种电极相互连接的中继电极 (relay electrode) 的一部分,但本实施方式中省略了图示和说明。

[0070] 热传导路径 56、57 使用具有高热传导率的材料,除该热传导率以外,材料的选择还考虑较容易获得且低成本、在弯曲振动体上形成热传导路径 56、57 时的制造容易性等,例如,优选使用图 4 所示的材料。需要说明的是,为了提高基部 52 和振动臂 53、54 的至少一个部位与热传导路径 56、57 之间的膜密合性,还可以设置由镍 (Ni) 或铬 (Cr) 等构成的底层膜作为热传导路径 56、57 的底层。

[0071] 另外,本实施方式中,由于热传导路径 56、57 兼作电极间配线的中继配线部分,因此热传导路径 56、57 必须是导电体,图中的钻石除外。但是,在迂回配线之外独立 (separately from) 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高热传导率的非导电性材料。

[0072] 图 1 中,若在音叉型石英振动片 50 上,从连接于外部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,则图中如箭头所示,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 被形成在预定的第 1 面上并在第 1 面内弯曲振动。

[0073] 由于该弯曲振动,在基部 52 和各振动臂 53、54 的连接部中,各振动臂 53、54 的振动方向的根部分的区域中发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 中发生压缩应力和拉伸应力,与此相同,振动臂 54 的与基部 52 相连的连接部分的区域也发生压缩应力和拉伸应力 (详情后述)。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 而温度下降,压缩应力作用于第 2 区域 111 而温度上升。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 而温度上升,拉伸应力作用于第 2 区域 111 而温度下降。

[0074] 同样,图 2 中,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 而温度下降,压缩应力作用于第 2 区域 113 而温度上升。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 而温度下降。

[0075] 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,该温度梯度的方向与各振动臂 53、54 的振动方向相反。

[0076] 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,从高温侧的部分被传递至低温侧的部分。

[0077] 本实施方式的音叉型石英振动片 50 中,该从压缩侧部分至拉伸侧部分的热传导路径在振动臂 53 中由热传导路径 57 (参见图 1、图 3) 确保,在振动臂 54 中由热传导路径

56(参见图2)确保。这些热传导路径56、57至少由热传导率高于作为弯曲振动体的石英的材料形成,因此与无热传导路径56、57的以往构造的情况相比,从压缩侧至拉伸侧的热传导时间变快。即,与无热传导路径56、57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,本实施方式的弛豫频率 f_{20} 的热弛豫频率变高。

[0078] 一般,已知热弛豫频率 f_0 是利用下式(1)求得的。

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

[0080] 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 代入振动臂材料的其自身常数时,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。

[0081] 从图11的振动臂的机械振动频率(共振频率)和 Q 值的关系来看,由于曲线 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 的情况下,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音叉型石英振动片的曲线 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 值也变高。这样,在本实施方式的音叉型石英振动片50中,通过设置各振动臂53、54各自的将第1区域110、112和第2区域111、113热连接的热传导路径56、57,由此可以使 Q 值得到改善而实现高性能化。

[0082] 此时,热传导路径56、57形成在基部52的第1区域110、112和第2区域111、113的附近,从而伴随各振动臂53、54的弯曲振动产生温度上升或下降的第1区域110、112和第2区域111、113之间的热弛豫在短时间内进行。

[0083] 需要说明的是,本发明者发现,上述本实施方式的音叉型石英振动片50的结构中,当将具有第1区域和第2区域的各振动臂53、54各自的热传导路径的条数设为 m 、将用于热传导路径56、57的材料的热传导率设为 α_{th} 、将弯曲振动体(本实施方式中为石英)的热传导率设为 α_v 、将与各振动臂53、54的弯曲振动方向正交的方向的厚度设为 t_v 、将与各振动臂53、54的弯曲振动方向正交的方向的热传导路径56、57的厚度设为 t_{th} 时,只要满足 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th})$ 的关系,则发挥由因热传导路径产生的抑制 Q 值降低的效果。即,由于满足该条件,能够回避如下不优选的状态:与热传导路径56、57相比,弯曲振动体(本实施方式中为石英)容易传递热。优选的是 $t_{th} > (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th})$,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56、57更容易传递热的状态,从而能可靠地实现因缩短热弛豫时间而产生的 Q 值提高。

[0084] 例如,上述实施方式的音叉型石英振动片50中,当利用所谓 Z 切石英时弯曲振动体的热传导率 $\alpha_v = 6.2\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、当热传导路径56、57使用金时热传导率 $\alpha_{th} = 315\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、当仅设于一主面侧时各振动臂53、54各自的热传导路径的条数 m 为1、将与振动臂53、54的

弯曲振动方向正交的方向的厚度设为 $t_v = 100 \mu\text{m}$, 在这样的情况下, 若将热传导路径 56、57 的厚度确保为 $2 \mu\text{m}$ 以上, 则与无热传导路径 56、57 的情况相比, 可以抑制 Q 值降低。

[0085] 需要说明的是, 本实施方式中采用如下结构: 在各振动臂 53、54 各自的任一主面侧设置 $m = 1$ 的热传导路径 56、57。但并不限于这些, 还可以在各振动臂的两主面设置热传导路径而 $m = 2$; 另外, 也可以在各振动臂的两主面设置热传导路径的同时还设置利用后述贯通孔的热传导路径而 $m = 3$ 。热传导路径的条数 m 越多, 热量越容易通过热传导路径而减少经由弯曲振动体的比率, 因此可以有效地缩短热弛豫时间 τ , 这是不言而喻的。例如, 在弯曲振动体的热传导率 $\alpha_v = 6.2 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、热传导路径的热传导率 $\alpha_{th} = 315 \text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 、与各振动臂的振动方向正交的方向的厚度 $t_v = 100 \mu\text{m}$ 、当在各振动臂的两主面各设置 1 根热传导路径时热传导路径的条数 m 为 2, 与振动臂的振动方向正交的方向的厚度 $t_v = 100 \mu\text{m}$, 在这样的情况下, 确保热传导路径的厚度为 $1 \mu\text{m}$ 以上即可。

[0086] 另外, 本发明人发现, 将热传导路径的长度设为 l_{th} 、将第 1 区域和第 2 区域之间的热传导路径长度设为 l_v 时, 通过满足 $t_{th} \geq (t_v/m) \times (\alpha_v/\alpha_{th}) \times (l_{th}/l_v)$ 的关系, 由此进一步可靠地发挥因热传导路径产生的抑制 Q 值降低的效果。即, 本发明人发现, 在热传导路径的长度 l_{th} 较长的情况下, 与此相应, 需要加厚热传导路径 56、57 的厚度 t_{th} 来缩短热弛豫时间。

[0087] 例如, 图 1 中, 如图中的尺寸线和符号所示, 本实施方式的振动臂 53 中的从第 1 区域 110 至第 2 区域 111 的热传导路径 57 的路径长度 l_{th} 为 $l_{th} = l(a) + l(b) + l(c)$ 。另一方面, 以往, 将振动臂的侧面部分用作配线路径的形成区域, 在振动臂的侧面部分形成热传导路径的情况下, 若利用图中的尺寸线和符号表示热传导路径的路径长度 l_{th0} , 则 $l_{th0} = l_v + 2 \times l(d)$ (此处, l_v 是与振动臂 53 的振动方向平行方向的宽度, $l(d)$ 是从振动臂 53 的与基部 52 相连的根部至自由端侧的顶端的长度)。

[0088] 此处, 具体地说, 若 $l(a) = 50 \mu\text{m}$ 、 $l(b) = 50 \mu\text{m}$ 、 $l(c) = 50 \mu\text{m}$, 另外, 将振动臂 53 的尺寸设为 $l_v = 50 \mu\text{m} (= l(b))$ 、 $l(d) = 1500 \mu\text{m}$, 则利用振动臂 53 的侧面设置热传导路径情况时的路径长度为 $3050 \mu\text{m}$, 与此相对, 本实施方式的热传导路径 57 的路径长度为 $150 \mu\text{m}$ 。与以往的热传导路径长度相比较可知, 本实施方式的热传导路径 56、57 可以非常短。

[0089] 另外, 本实施方式中采用如下结构: 使用将激励电极 36A、36B、37A、37B 与所相对应的外部连接电极 66、67 之间连接的迂回配线的一部分作为热传导路径 56、57。由此, 可以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。

[0090] 上述实施方式中说明的作为弯曲振动片的音叉型石英振动片, 还可以用以下变形例实施。

[0091] (变形例 1)

[0092] 上述实施方式中, 在弯曲振动体的基部 52 的主面上设置热传导路径 56、57。但并不限于这些, 还可以采用如下结构: 将热传导路径埋设在设置于弯曲振动体内的贯通孔中。

[0093] 图 5、图 6 是示意性说明在弯曲振动体的内部设置热传导路径的音叉型石英振动片的变形例的图, 图 5 是一主面侧的平面图, 图 6 是图 5 的 A-A 线剖面图。需要说明的是, 与图 1 同样, 图 5 是主面侧的平面图。另外, 本变形例的图 5、图 6 中, 对与上述实施方式同样的结构附与同一符号而省略说明。

[0094] 图 5 中,本变形例的音叉型石英振动片 150 由从基部 52 的一端侧分叉出两支并彼此平行地延伸一对振动臂 53、54 构成,该基部 52 由弯曲振动体材料形成。在各振动臂 53、54 的两主面形成了底槽 46A、47A,在各槽 46A、47A 的包括底面 (bottom surface) 的表面形成了激励电极 36A、37A。另外,在基部 52 的与延伸出振动臂 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 36A、37A 相对应,激励电极 37A 通过迂回配线 157 与外部连接电极 67 连接,激励电极 36A 由迂回配线 36C 引出后,进一步与上述实施方式同样地,经形成在另一主面上的迂回配线而连接于外部连接电极 66。

[0095] 另外,在各振动臂 53、54 的相反侧的主面 (另一主面),与上述实施方式同样也分别设置作为激励电极 36A、37A 的反电极 (counter electrode) 的激励电极,形成在这些各振动臂 53、54 的两主面的激励电极利用迂回配线 36C、37C 相互连接。

[0096] 在振动臂 53 的与形成有激励电极 36A 的主面正交的两侧面分别设置了侧面电极 26A、26B。另外,在振动臂 53 的与基部 52 相连的根部分附近设置了热传导路径 116,该热传导路径 116 是通过在与振动臂 53 的弯曲振动方向相同方向贯通的贯通孔中例如埋设如图 4 所示的热传导率高的材料而形成的。如图 6 所示,振动臂 53 的两侧面电极 26A、26B 通过热传导路径 116 被热连接。

[0097] 同样,在另一振动臂 54 的与形成有激励电极 37A 的主面正交的两侧面分别设置了侧面电极 27A、27B。另外,在振动臂 54 的与基部 52 相连的根部分附近设置热传导路径 117,该热传导路径 117 是通过在与振动臂 54 的弯曲振动方向相同方向贯通的贯通孔中埋设热传导率高的材料而形成的,从而两侧面电极 27A、27B 被热连接。

[0098] 根据该结构,伴随振动臂 53 和振动臂 54 的弯曲振动产生温度上升或下降的区域 (第 1 区域或第 2 区域) 之间的热弛豫时间 (τ_1) 变短,因此发挥出使音叉型石英振动片 150 的 Q 值稳定化的效果。

[0099] 需要说明的是,上述变形例 1 的音叉型石英振动片 150 中,需要将振动臂 53 的两侧面电极 26A 与 26B 之间电连接和将振动臂 54 的两侧面电极 27A 与 27B 之间电连接的情况下,作为埋设在热传导路径 116、117 的贯通孔中的材料,例如,如图 4 所示的热传导率高的材料之中,使用具有导电性的金属材料即可。

[0100] 另外,在不需要将各振动臂 53、54 的两侧面电极 26A 与 26B 之间和将 27A 与 27B 之间电连接 (electrically connect) 的情况下,埋设在热传导路径 116、117 的贯通孔中的材料还可以不具有导电性,另外,还可以采用未设置侧面电极 26A、26B、27A、27B 的结构。

[0101] (变形例 2)

[0102] 上述变形例 1 的音叉型石英振动片 150 中,在与振动臂 53、54 的弯曲振动方向相同方向上,即,在与平行设置两个振动臂 53、54 的方向相同方向上贯通的贯通孔内埋设热传导率较高的材料而形成热传导路径 116、117。但并不限于这些,在与上述实施方式和变形例 1 的音叉型石英振动片 50、150 的振动臂 53、54 的弯曲振动方向正交的方向上弯曲振动的振动片的情况下,还可以采用下述结构:利用形成于与上述变形例 1 的热传导路径 116、117 的贯通孔正交的方向的贯通孔来设置热传导路径。图 7、图 8 是示意性说明变形例 2 的音叉型石英振动片的图,图 7 是一主面侧的平面图,图 8 是图 7 的 B-B 线剖面图。

[0103] 图 7 中,本变形例的音叉型石英振动片 250 由一对振动臂 153、154 构成,该一对振

动臂 153、154 从由弯曲振动体材料形成的基部 152 的一端侧分叉出两支并彼此平行地延伸。在各振动臂 153、154 的两主面形成了底槽 146A、147A,在各槽 146A、147A 的包括底面的表面形成了激励电极 136A、137A。另外,基部 152 的与延伸出振动臂 153、154 的一端侧不同的另一端侧附近设置了外部连接电极 166、167。这些外部连接电极 166、167 分别与激励电极 136A、137A 相对应,激励电极 136A 通过设置在基部 152 上的中继电极 126A 与外部连接电极 166 连接,激励电极 137A 通过设置在基部 152 上的中继电极 127A 与外部连接电极 167 连接。

[0104] 另外,如图 8 所示,在振动臂 153 的相反侧的主面(另一主面)也形成了底槽 146B,在该槽 146B 的包括底面的表面形成有激励电极 136B,另外,在基部 152 的与中继电极 126A 相对应的位置形成了中继电极 126B。同样,虽然未图示,但在另一振动臂 154 的相反侧的主面也形成了底槽,以及在该槽的包括底面的表面也形成有激励电极,在基部 152 的与上述中继电极 127A 相对应的位置形成了中继电极。

[0105] 图 8 中,若对音叉型石英振动片 250 的激励电极 136A、136B 施加驱动电压,则振动臂 153 在图中箭头所示的方向弯曲振动。该弯曲振动方向为与上述实施方式和变形例 1 的音叉型石英振动片 50、150 的振动臂 53、54 的弯曲振动方向正交的方向。

[0106] 同样,虽然未图示,但若对激励电极 137A 和作为其反电极的激励电极施加驱动电压,则振动臂 154 也与振动臂 153 相同方向弯曲振动。

[0107] 即,本变形例的音叉型石英振动片 250 中,上述中继电极 126A、126B 和中继电极 127A 设置于伴随各振动臂 153、154 的弯曲振动出现温度上升或下降的区域(第 1 区域和第 2 区域)的附近。并且,在振动臂 153 的与基部 152 相连的根部分附近设置热传导路径 216,热传导路径 216 是通过在与振动臂 153 的弯曲振动方向相同方向贯通的贯通孔中埋设例如如图 4 所示的热传导率高的材料而形成的。如图 8 所示,振动臂 153 的两主面的中继电极 126A、126B 通过热传导路径 216 被热连接。

[0108] 同样,在另一振动臂 154 的与基部 152 相连的根部分附近设置热传导路径 217,热传导路径 217 是通过在与振动臂 154 的弯曲方向相同方向贯通的贯通孔中埋设热传导率高的材料而形成的,从而中继电极 127A 和与 127A 对应的中继电极被热连接。

[0109] 根据该结构,伴随振动臂 153 和振动臂 154 的弯曲振动出现温度上升或下降的区域(第 1 区域或第 2 区域)之间的热弛豫时间(τ_1)变短,因此发挥出使音叉型石英振动片 250 的 Q 值稳定化的效果。

[0110] 另外,本变形例中,采用在与各振动臂 153、154 相比具有大面积的基部 152 设置热传导路径 216、217 的结构。从而,热传导路径 216、217 的贯通孔的穿孔加工变得容易。

[0111] 需要说明的是,本变形例中,采用将热传导路径 216、217 设置于基部 152 的结构以易于进行贯通孔的穿孔加工,但还可以采用在各振动臂 153、154 的与基部 152 相连的根部附近设置热传导路径的结构。在这种情况下,进一步缩短将伴随各振动臂 153、154 的弯曲振动出现温度上升或下降的区域(第 1 区域和第 2 区域)热连接的热传导路径,从而能够更加稳定 Q 值。

[0112] [振荡器]

[0113] 上述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谋求小型化,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。

[0114] 以上,对由本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。

[0115] 例如,上述实施方式的音叉型石英振动片 50 中,采用在各振动臂 53、54 各自的任一个主面侧设置热传导路径 56、57 的结构,但并不受限于这些。例如,通过在各振动臂各自的两主面设置热传导路径,可以更有效地进行从各振动臂 53、54 的第 1 区域 110、112 至第 2 区域 111、113 的热传导,从而可以使抑制 Q 值降低的效果进一步提高。在这种情况下,将在电气上与迂回配线独立的热传导路径设置于各振动臂的两主面,从而将第 1 区域和第 2 区域利用两个热传导路径相互连接既可,而不是采用如上述实施方式那样将迂回配线 56A、57A 的一部分用作热传导路径 56、57 的结构。

[0116] 另外,上述变形例 1 和变形例 2 的音叉型石英振动片 150、250 中,对贯通孔和在贯通孔中埋设热传导率高的材料而成的热传导路径 116、117 或热传导路径 216、217 进行了说明。还可以采用如下结构:这些热传导路径 116、117 或热传导路径 216、217 的贯通孔的贯通方向为与各振动臂 53、54 或振动臂 153、154 的振动方向正交的方向。例如,还可以将热传导路径兼用作层内配线,层内配线将各振动臂 53、54 或振动臂 153、154 的两主面的对应电极相互连接。

[0117] 另外,上述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。但本发明的弯曲振动片并不限于这些,可以是长条状的所谓梁型 (beam type) 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,也可以得到与上述实施方式和变形例同样的效果。

[0118] 下面说明具有三个以上的振动臂的弯曲振动片的具体例。图 9 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图,(d) 是 (a) 的基部和振动臂的连接部周围的表面放大图,(e) 是 (a) 的基部和振动臂的连接部周围的背面放大图(从上至下观察的透视图),(f) 是示出 (c) 的 A-A' 剖面图的图。

[0119] 如图 9 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,还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。

[0120] 本例中,如图 9(a) 所示,首先,在振动臂 18a、18b、18c 的表面形成下部电极 20。如图 9(b) 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,如图 9(c) 所示在压电膜 22 上形成上部电极 26。图 9(f) 是示出 (c) 的 A-A' 剖面图的图。在石英基板上层积下部电极、压电膜、上部电极而形成电极。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。

[0121] 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 rearsurfaces(表裏面))产生压缩应力和拉伸应力。将以图中的振动臂详述。若振动臂 18a、18c 在 +Z 轴方向弯曲振动,则压缩应力作用于振动臂 18a、18c 的表面的第 1 区域而使其温度上升,拉伸应力作用于背面的第 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。

[0122] 本例的音叉型石英振动片中,如图 9(d) 所示,在各振动臂 18a、18b、18c 和基部 16 的连接部周围,从各下部电极 20 的两侧延伸出热传导路径 30,如图 9(e) 所示在背面以与第 2 区域重叠(overlap)的方式形成热传导路径 30,从而与无热传导路径 30 的构造的情况相比,加快从压缩侧至拉伸侧的热传导。需要说明的是,本例中使用下部电极作为热传导路径,但还可以使用压电膜或上部电极作为热传导路径。

[0123] 另外,上述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。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,除压电材料以外,可以使用硅半导体等作为弯曲振动片的材料。

[0124] 另外,弯曲振动片的基材并不限于压电基板。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的弯曲振动片中,也可以使本发明的结构及其效果得到发挥。

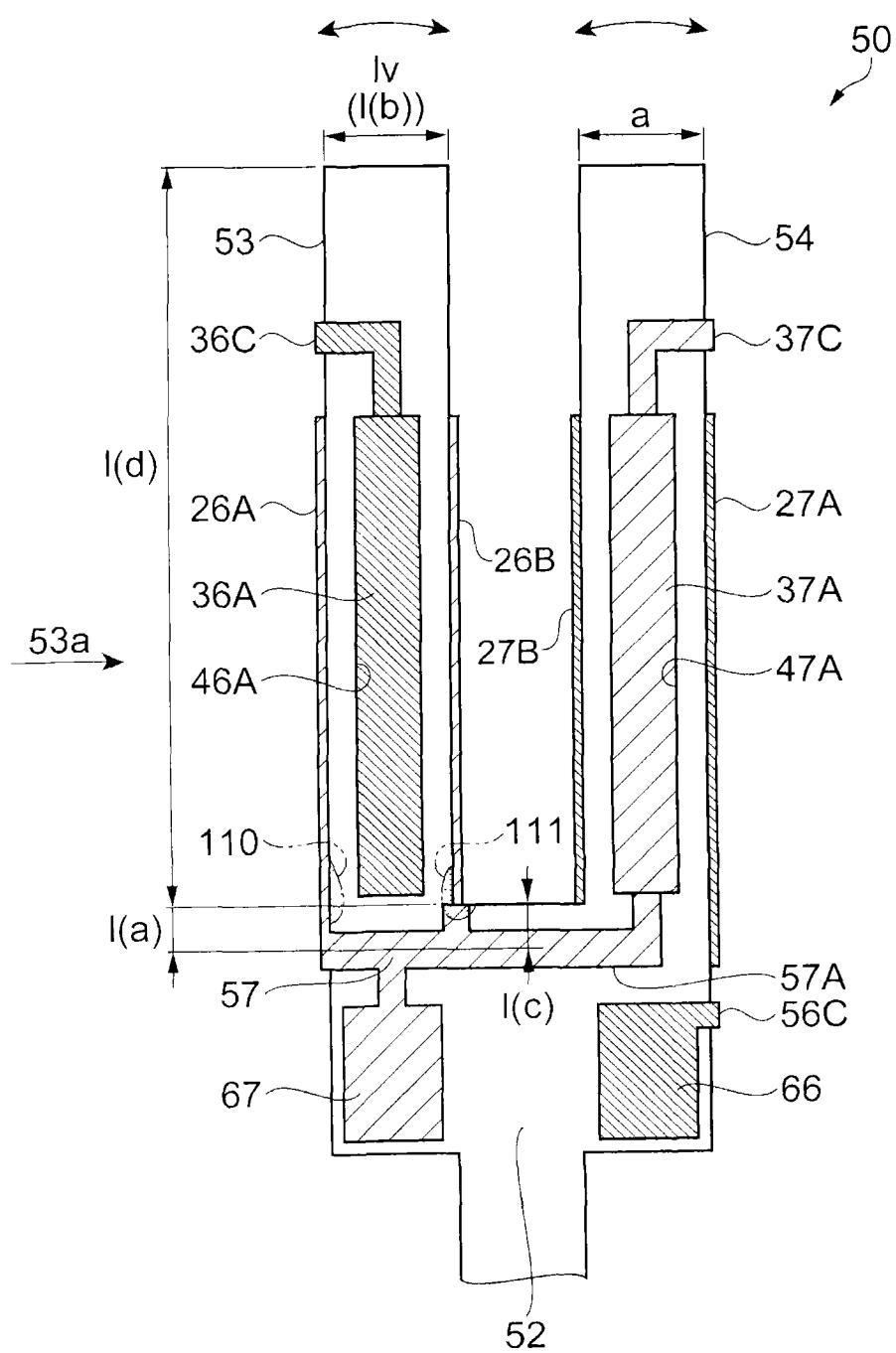


图 1

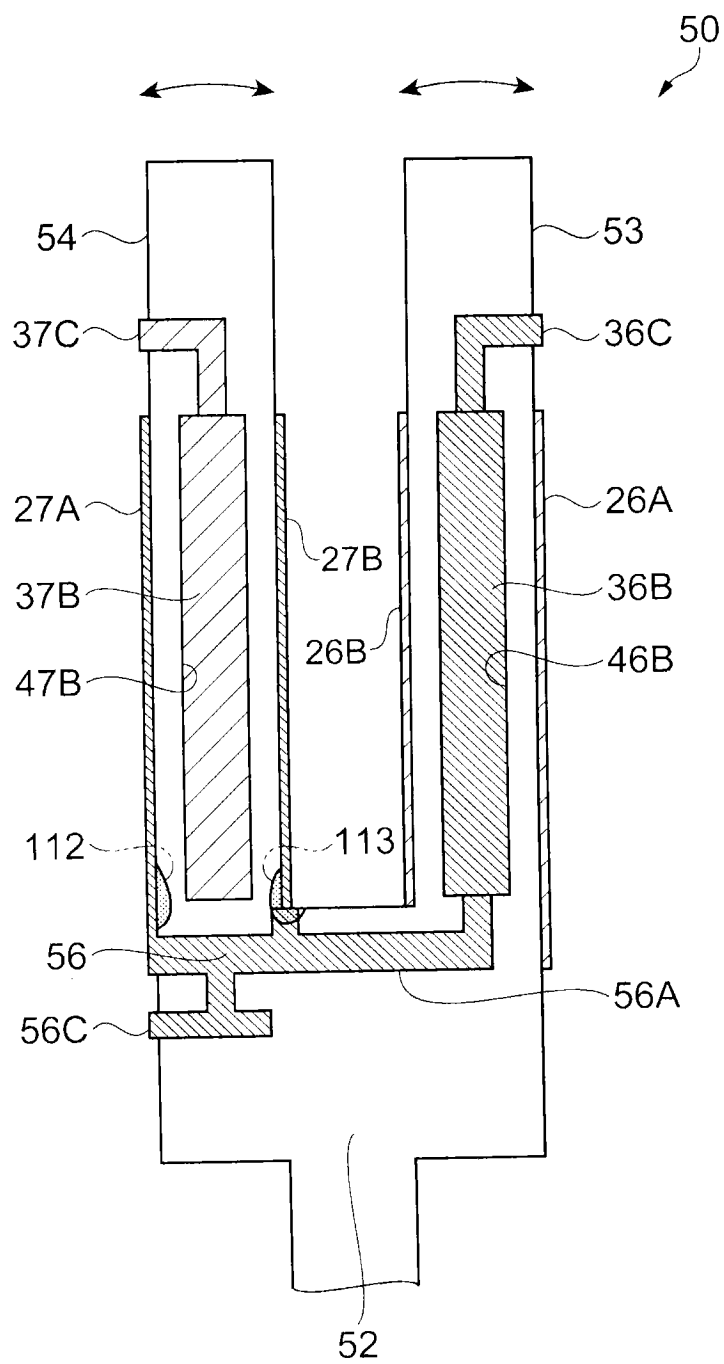


图 2

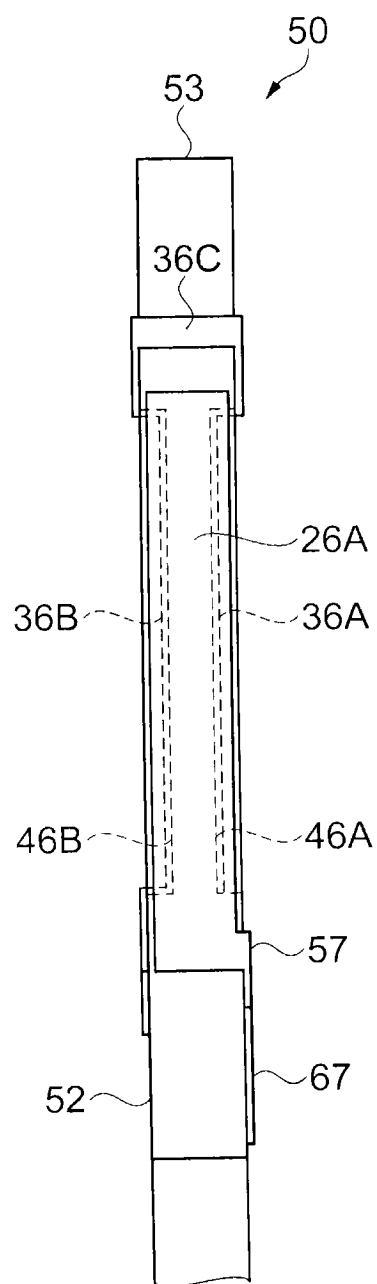


图 3

材料名	热传导率 ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$)
金 (Au)	315
银 (Ag)	427
铝 (Al)	237
铜 (Cu)	398
氮化铝 (AlN)	285
钻石 (C)	1350

图 4

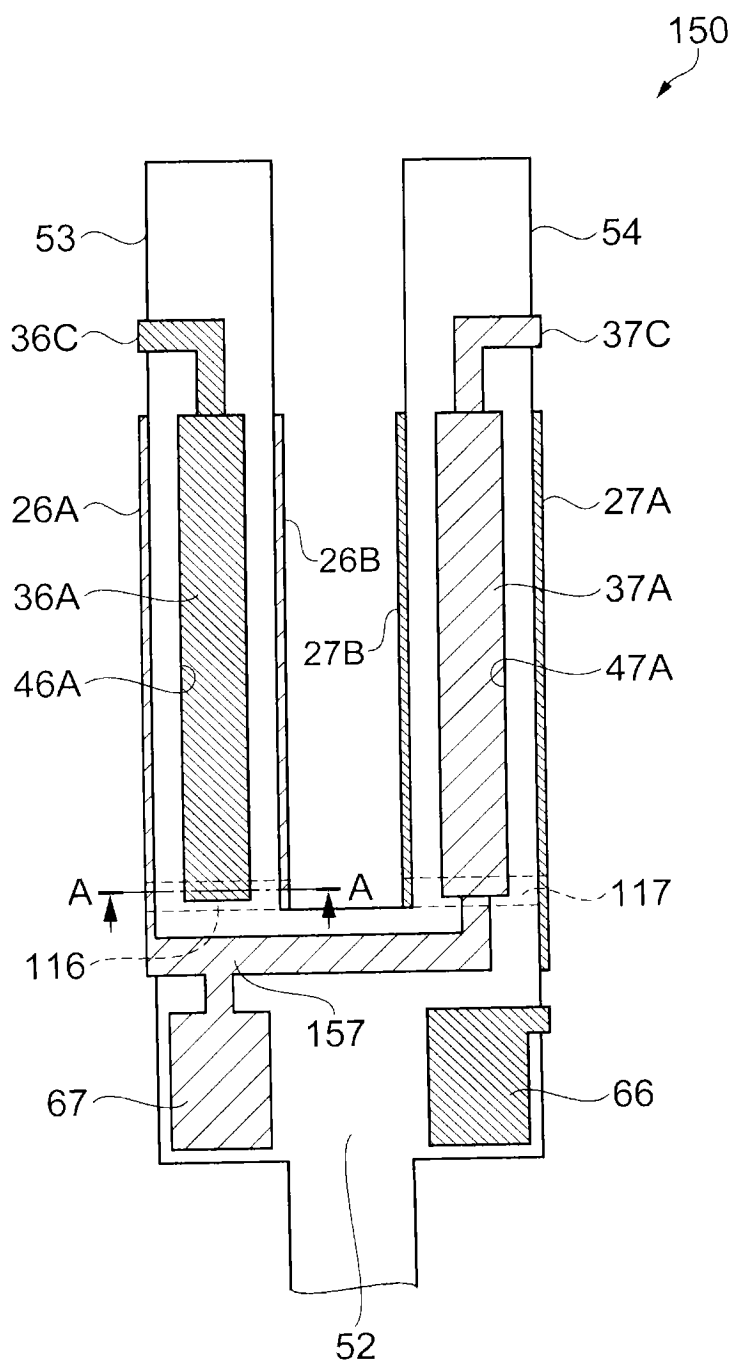


图 5

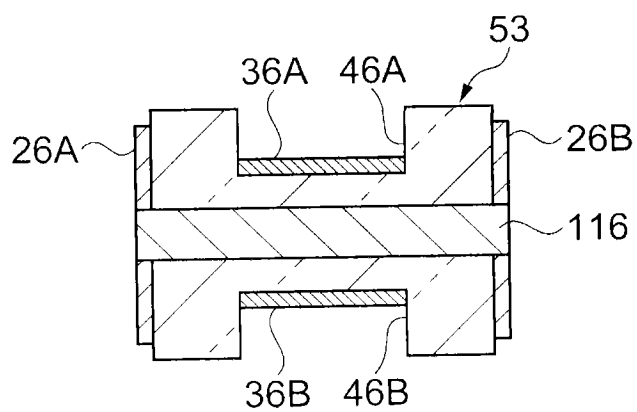


图 6

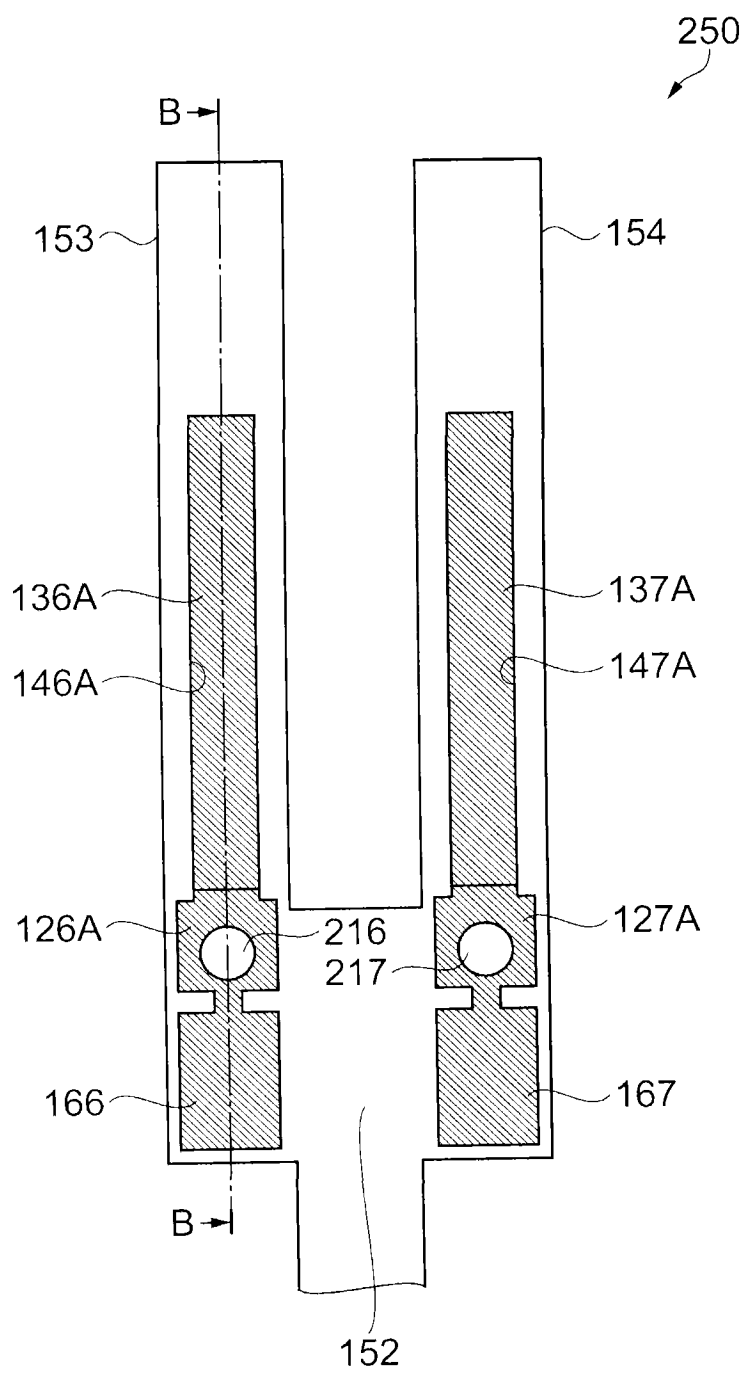


图 7

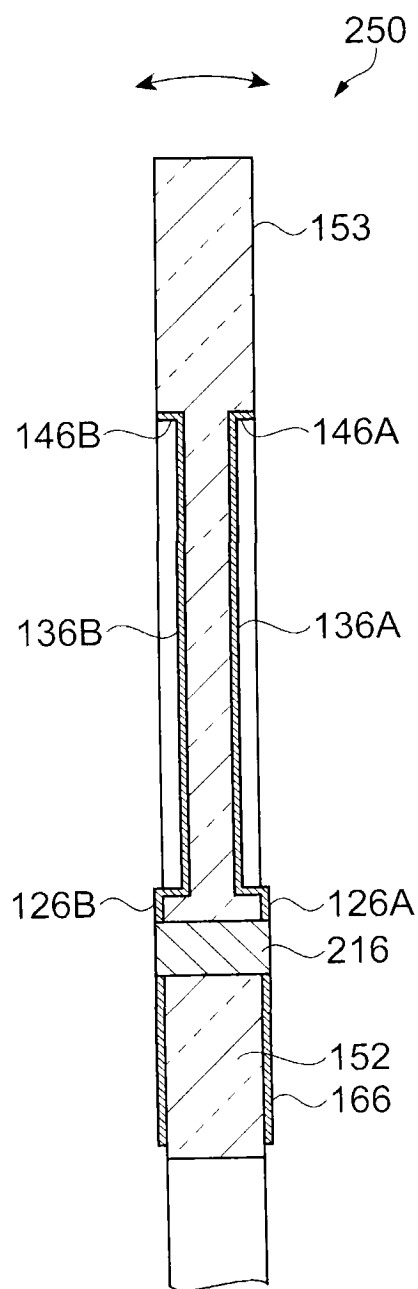


图 8

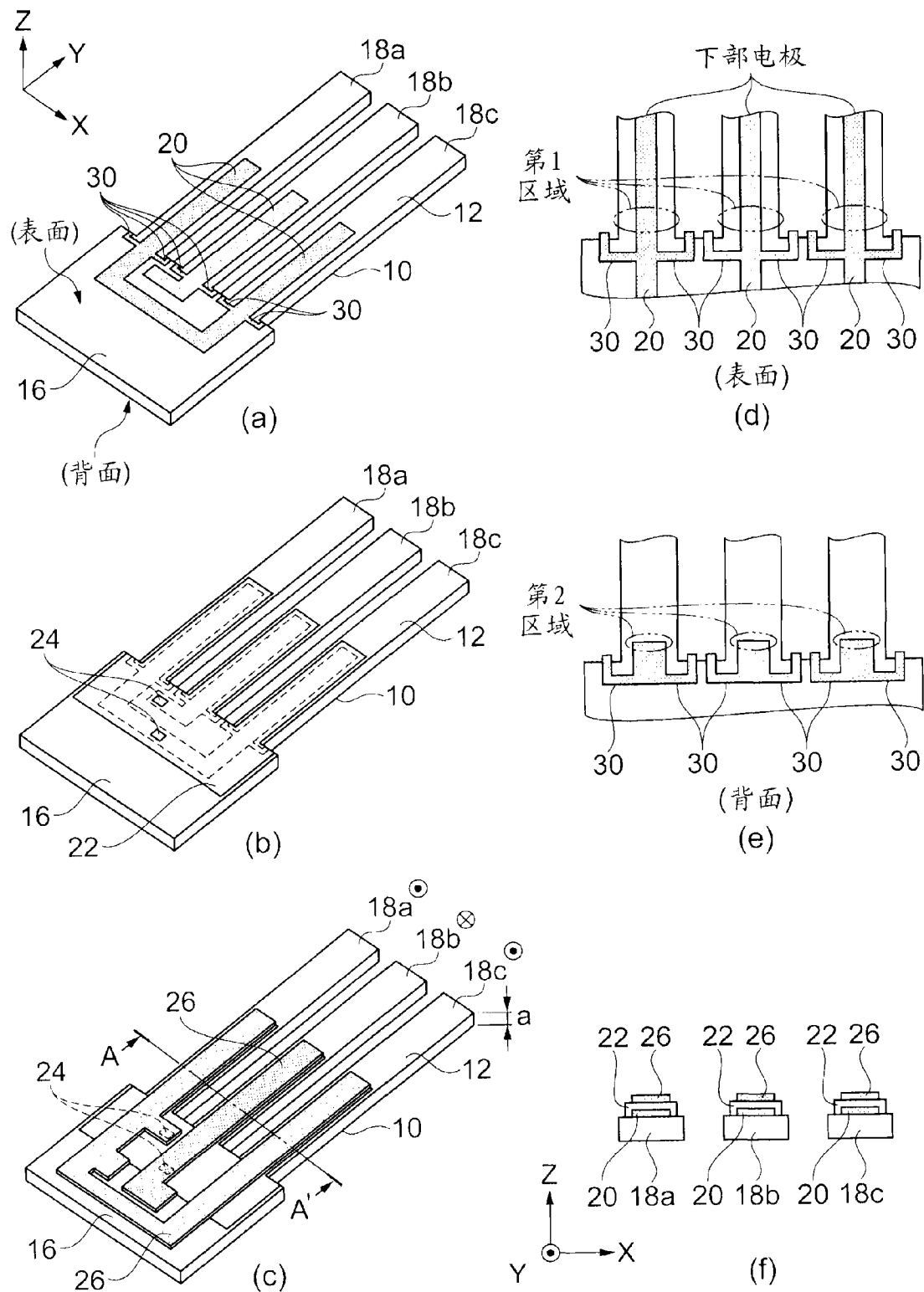


图 9

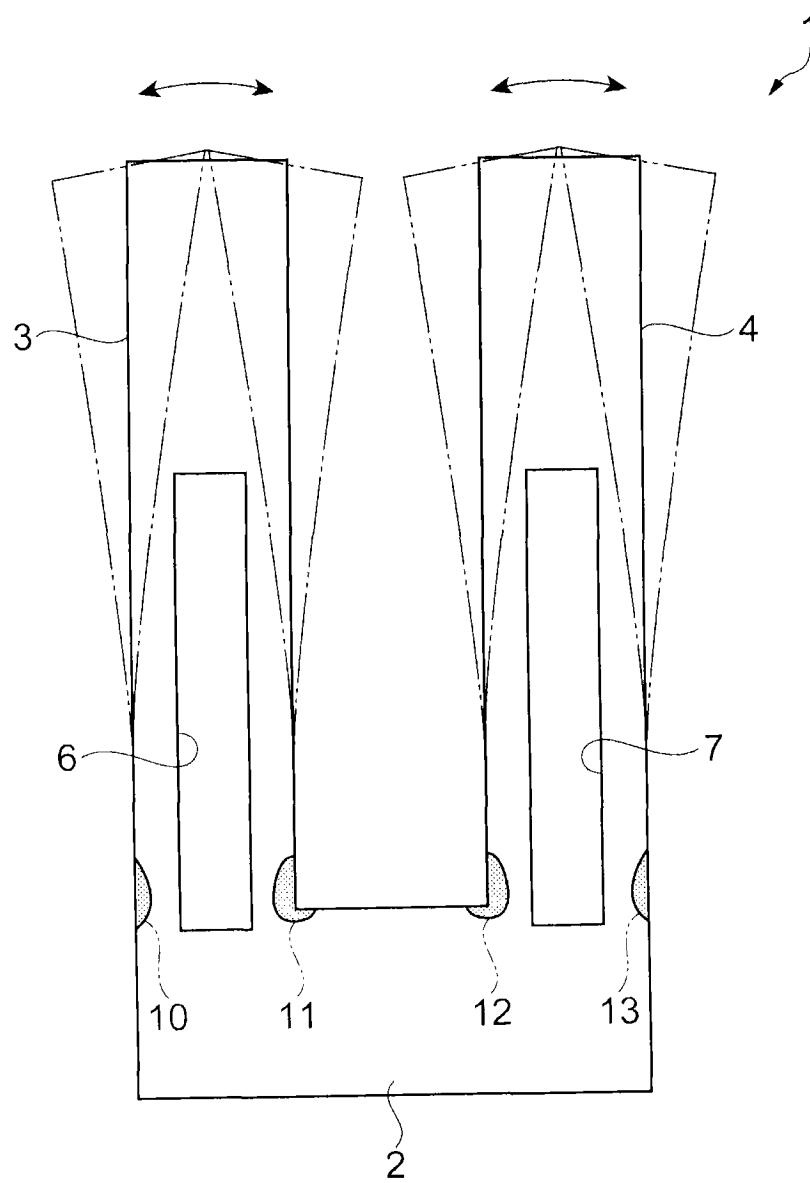


图 10

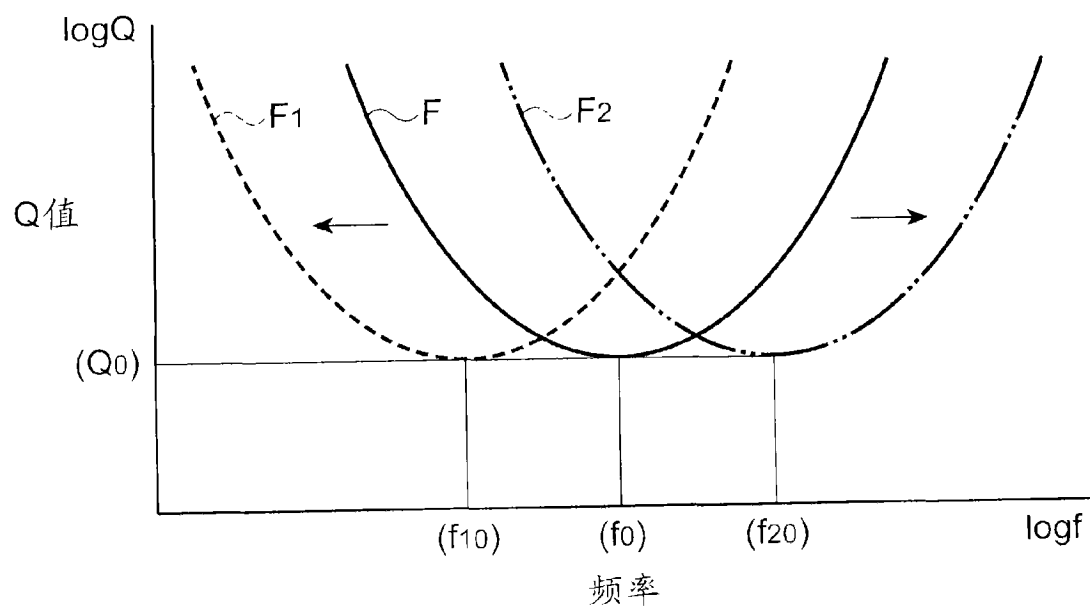


图 11