



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102683575 B

(45) 授权公告日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201210057521. 1

CN 1064940 C, 2001. 04. 25,

(22) 申请日 2012. 03. 07

US 5770916 A, 1998. 06. 23,

(30) 优先权数据

审查员 金政

2011-052510 2011. 03. 10 JP

(73) 专利权人 佳能株式会社

地址 日本东京

专利权人 太平洋水泥株式会社

日本陶瓷科技股份有限公司

(72) 发明人 丸山裕 岛田亮 稻田丰

松本匡史 伊藤优

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

代理人 杨小明

(51) Int. Cl.

H01L 41/09 (2006. 01)

H02N 2/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

JP 昭 63-156378 A, 1988. 06. 29,

JP 昭 63-156378 A, 1988. 06. 29,

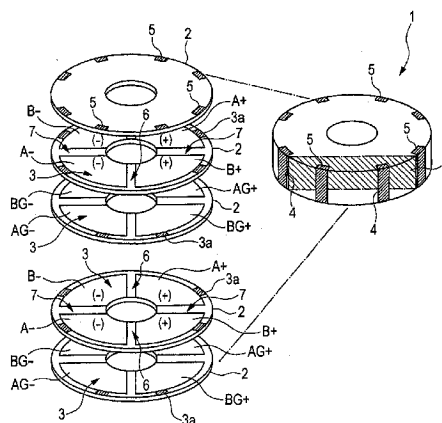
权利要求书1页 说明书11页 附图8页

(54) 发明名称

压电元件及包括压电元件的压电致动器和振动波马达

(57) 摘要

本发明涉及一种压电元件及包括压电元件的压电致动器和振动波马达。提供一种压电元件, 所述压电元件包括: 电极部分, 其包括层叠的压电层和电极层; 和非电极部分, 其与电极部分接触, 并且包括压电层, 而没有电极层, 其中, 非电极部分包括密度小于电极部分的压电层的密度的区域。



1. 一种压电元件,包括:

两个电极部分,所述两个电极部分中的每一个包括层叠的压电层和电极层;和
非电极部分,所述非电极部分设置在所述两个电极部分之间,并且包括压电层,而没有
电极层,

其中,所述非电极部分包括密度小于所述两个电极部分中的压电层中的每一个的密度的区域。

2. 根据权利要求1所述的压电元件,其中,所述压电层中的每一个包括低温烧结添加剂,并且所述电极层含有银元素。

3. 根据权利要求2所述的压电元件,其中,所述低温烧结添加剂含有铜元素。

4. 根据权利要求1所述的压电元件,其中,所述压电元件是通过在最高为940℃或更低的烘焙温度下进行烘焙而形成的。

5. 根据权利要求1所述的压电元件,其中,所述非电极部分的密度为所述电极部分的密度的94%或更大到97%或更小。

6. 根据权利要求1所述的压电元件,其中,两个相邻电极部分具有彼此不同的极性。

7. 一种压电致动器,包括根据权利要求1所述的压电元件。

8. 一种振动波马达,包括:

根据权利要求1所述的压电元件;和

振动体,

其中,所述压电元件驱动所述振动体。

压电元件及包括压电元件的压电致动器和振动波马达

技术领域

[0001] 本发明涉及一种具有机电能量转换功能的、在其中压电层和电极层被层叠的压电元件,更具体地,涉及一种适合于振动波马达和压电致动器的压电元件,并且涉及包括所述压电元件的压电致动器和振动波马达。

背景技术

[0002] 压电材料是具有用于将电能转换为机械能的机电能量转换功能的典型材料。

[0003] 由于其特性,由压电材料构成的压电元件用在诸如振动波马达的各种压电致动器中。

[0004] 特别是,近年,不仅使用单片压电元件,而且还使用层叠压电元件,诸如:在其中多个压电层和电极层交替地层叠成多层并且被整体地烘焙的元件、以及在其中被烘焙成单片的压电元件被层叠和接合的元件。

[0005] 这是因为,与单片压电元件相比,层叠结构能够以低电压获得更大的位移或更大的力。特别是,整体地烘焙的层叠压电元件适合于缩减尺寸和厚度。

[0006] 常规地,就作为振动波驱动设备的振动波马达而言,关于构成棒状振动波马达的振动体的一部分的层叠压电元件有许多提议。该层叠压电元件包括由压电材料构成的多个压电层和由电极材料构成并且设置在压电层的表面上的电极层(也被称为内部电极)。

[0007] 例如,美国专利 No. 5,770,916 公开了作为用于棒状振动波马达的振动体的层叠压电元件的图 9 中示出的层叠压电元件。

[0008] 多个电极层 43 设置在构成层叠压电元件 40 的除了最上层之外的多个压电层 42 的表面上。

[0009] 电极层 43 被分割为 4 个区域(在图 9 中,示出 A+、A-、B+、B-、AG+、AG-、BG+ 和 BG- 这 8 种类型)。

[0010] 此外,连接电极 43a(图 9 中用黑色填充的部分)被形成为与电极层 43 连接并且延伸到压电层 42 的外缘部分。

[0011] 连接电极 43a 与外部电极 44 连接,外部电极 44 设置在层叠压电元件 40 的外周部分上,用于层之间的电连接。

[0012] 多个表面电极 45 设置在构成层叠压电元件 40 的最上压电层 42 的表面上,并且各表面电极 45 与连接电极 43a 的位置对应地形成,以便与外部电极 44 连接。

[0013] 通过下述方式执行极化,即,通过表面电极 45 将 DC 电压施加于电极层 43 的 A+、A-、B+ 和 B-,以使得相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG-,A+ 和 B+ 变为正,A- 和 B- 变为负。如此,可获得用于驱动振动波马达的极性。

[0014] 此外,图 10 是示出下述示例的截面图,在所述示例中,图 9 的层叠压电元件 40 被并入在棒状振动波马达 50 的振动体 51 中。

[0015] 在图 10 中,层叠压电元件 40 与柔性电路板 52 一起被夹在(interpose)构成振动体 51 的中空金属构件 53 与 54 之间,并且用螺栓 55 紧固。

[0016] 在振动体 51 的轴向方向上的一侧,设置了旋转器 58,旋转器 58 被弹簧 56 和弹簧支承件 57 按压,以与金属构件 54 的远端部分接触,因此,可从旋转齿轮 59 获得旋转输出。

[0017] 作为驱动棒状振动波马达 50 的方法,时间相位相差大约 $\pi/2$ 的 AC 电压施加于合并并在振动体 51 中的层叠压电元件 40 的由 A+、A-、AG+ 和 AG- 构成的相 (phase)A 和由 B+、B-、BG+ 和 BG- 构成的相 B。

[0018] 结果,激励与轴向方向正交的两个弯曲振动,而不是旋转摆动运动。然后,通过使用构成振动体 51 的金属构件 54 的远端部分作为摩擦表面,与金属构件 54 按压接触的旋转器 58 通过摩擦接触而旋转。

[0019] 如以上在常规示例中所述的那样,执行下述极化,在所述极化中,DC 电压施加于 A+、A-、B+ 和 B-,以使得相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG-,A+ 和 B+ 变为正,而 A- 和 B- 变为负。在这种情况下,存在这样的已知问题,即,如图 9 所示的在施加具有相反极性 (正和负) 的 DC 电压的两个相邻电极部分之间的、由压电层构成的非电极部分 46 引起电势差,并且在所述极化中被极化。

[0020] 在本文中,压电层 42 和电极层 43 叠加的区域 (电极层形成在压电层上的区域) 被称为电极部分,而仅具有压电层 42、没有电极层的区域 (没有形成电极层的压电层区域) 被称为非电极部分。

[0021] 当非电极部分被极化时,作为非电极部分的机械属性 (property) 的杨氏模量被所述极化改变,并且极化的非电极部分 46 与未极化的非电极部分 47 之间出现杨氏模量的差异。结果,具有非电极部分 46 和非电极部分 47 的压电层具有局部不同的杨氏模量值。此外,非电极部分 46 和非电极部分 47 具有下述位置关系,即,它们相对于压电层通过中心轴并且彼此正交。例如,假设非电极部分 46 为 X 轴,则非电极部分 47 变为 Y 轴,并且 X 轴和 Y 轴彼此正交。这样,如果存在 X 轴方向和 Y 轴方向上具有不同杨氏模量值的区域,则非电极部分 46 与非电极部分 47 之间的杨氏模量差引起合并层叠压电元件 40 的振动体 51 中的机械属性 (抗挠刚度) 的各向异性 (不均匀刚度),导致不均匀的振动振幅或相位。

[0022] 该影响可引起可控性和旋转位置精度的劣化,并引起旋转不均匀性,并且进一步阻碍常规示例的棒状振动波马达中的均匀摩擦。

[0023] 因此,在日本专利申请公开 No. 2003-111450 中,设计增大非电极部分的宽度 (电极部分之间的距离)。

[0024] 存在另一问题,即,层叠的压电元件是昂贵的。在单片的情况下,通常在大约 1200℃ 的相对高的温度下烘焙压电材料。然后,在烘焙之后涂覆含有玻璃料的银浆料,并在 600℃ 到 850℃ 的温度下进行烘焙,以获得压电元件。这样,烘焙条件根据材料的特性在压电材料与电极材料之间不同。

[0025] 另一方面,在层叠压电元件中,压电材料和电极被一起烘焙,因此,有必要考虑电极的金属材料的烘焙条件。结果,有必要使用贵金属 (诸如银钯合金或稀有铂金 (rarely platinum)) 作为电极材料,所述贵金属具有高熔点,以免在烘焙温度下被熔化,并且不被烘焙氧化或者几乎不被烘焙氧化。

[0026] 常规地,考虑到压电材料的成分或者细粉粒的使用,例如在 1150℃ 的降低烘焙温度下使用含有 70wt% 的银和 30wt% 的钯的电极材料来烘焙层叠压电元件。

[0027] 作为贵金属的钯和铂特别昂贵,因此在电极材料的总成本中具有高成本率,这是

造成高成本的原因。

[0028] 因此,积极地进行了可在低温下烘焙的压电材料的研发,并且存在通过添加铜或其它元素来降低烘焙温度以使得可执行低温烘焙的许多提议(参见美国专利 No. 5, 798, 052)。

[0029] 如上所述,在将层叠压电元件用于振动体的振动波马达中,为了抑制旋转不均匀性等,需要尽可能地减小由于杨氏模量差而导致的机械属性的各向异性,所述杨氏模量差是由具有不同极性的两个电极部分之间的非电极部分的极化而产生的。

[0030] 因此,如日本专利申请公开 No. 2003-111450 中所述的非电极部分的宽度的增大不总是导致压电元件的满意输出。

[0031] 另外,存在如美国专利 No. 5, 798, 052 等中所述的使得能够实现层叠压电元件的低温烘焙的提议。然而,期望在保持压电特性的同时尽可能地降低烘焙温度,以便获得可在较低烘焙温度下制造并且可提供良好压电特性的层叠压电元件。

发明内容

[0032] 鉴于上述问题,本发明的目的是提供一种压电元件,并且还提供包括所述压电元件的压电致动器和振动波马达,所述压电元件可获得用于振动波马达的压电元件的非电极部分的更优选的机械属性,并可以较低成本制造。

[0033] 根据本发明的压电元件包括:电极部分,其包括层叠的压电层和电极层;以及非电极部分,其与电极部分接触,并且包括压电层,而没有电极层,其中,非电极部分包括密度比电极部分的压电层的密度低的区域。

[0034] 此外,根据本发明的压电致动器包括上述压电元件。

[0035] 此外,根据本发明的振动波马达包括:上述压电元件;和振动体,其中,所述压电元件驱动振动体。

[0036] 根据本发明,可获得下述压电元件,并且还可获得包括所述压电元件的压电致动器和振动波马达,所述压电元件可获得用于振动波马达的压电元件的非电极部分的更优选机械属性,并能够以较低成本制造。

[0037] 从以下参照附图对示例性实施的描述,本发明的进一步的特征将变得明白。

附图说明

[0038] 图 1 是根据本发明的示例 1 的层叠压电元件的结构分解透视图和透视图。

[0039] 图 2 是示出根据本发明的示例 1 的层叠压电元件的电极部分和非电极部分的示意图。

[0040] 图 3 是示出其中合并根据本发明的示例 1 的层叠压电元件的振动波马达的结构示意图。

[0041] 图 4A 和图 4B 是示出根据本发明的用于测量特性的测试件的示意图。

[0042] 图 5 是示出根据本发明的烘焙温度与密度之间的关系的曲线图。

[0043] 图 6 是示出根据本发明的烘焙温度与机电耦合系数之间的关系的曲线图。

[0044] 图 7A 和图 7B 分别是示出根据本发明的示例 2 的层叠压电元件的分解透视图和截面图。

[0045] 图 8A、图 8B 和图 8C 是示出根据本发明的示例 3 的单片压电陶瓷和压电元件的示意图。

[0046] 图 9 是根据常规示例的层叠压电元件的结构分解透视图和透视图。

[0047] 图 10 是示出其中合并常规示例的层叠压电元件的振动波马达的结构示意图。

具体实施方式

[0048] 根据本发明的压电元件包括：电极部分，其包括层叠的压电层和电极层；和非电极部分，其与电极部分接触，并且包括压电层，而没有电极层，其中，非电极部分包括密度比电极部分的压电层的密度小的区域。在本发明中，压电元件可以是单层型压电元件（一个压电层和两个电极层的组合）或者层叠型压电元件（在其中，多个压电层和多个电极层交替层叠）。

[0049] 在本发明中，非电极部分与电极部分的密度比优选为 94% 或更大到 97% 或更小，最佳地为 95% 或更大到 96% 或更小。

[0050] 如果非电极部分的密度变为电极部分的密度的 94% 或更小，则振动特性或机械强度降低。如果非电极部分的密度变为 97% 或更大，则本发明的效果降低。

[0051] 本发明是基于当压电层被极化时杨氏模量改变的发现、以及根据极化方法在压电层密度与杨氏模量改变之间存在相关性的发现。

[0052] 此外，通过积极地在压电层的特定区域中提供具有不同密度的区域，有效地抑制机械属性（抗挠刚度）的各向异性（不均匀刚度）。

[0053] 换言之讲，通过将非电极部分的杨氏模量调整为均匀，或者通过减小杨氏模量的差，有效地抑制机械属性（抗挠刚度）的各向异性（不均匀刚度）。

[0054] 另外，根据本发明，压电材料中含有具有作为烧结添加剂的作用的特定元素（典型地常为铜元素）。因此，当在本发明的烘焙条件下执行烘焙时，可获得具有局部不同密度的烧结体。换言之讲，能够控制压电材料的密度分布。

[0055] 这是基于本发明的发明人的下述发现，即，可通过将具有作为烧结添加剂的作用的特定元素（典型地为铜元素）包含在压电材料中来控制烘焙温度与密度之间的关系。于是，压电材料可易于在固定的烘焙条件下被形成为具有局部密度不同的区域。

[0056] 另外，在本发明中，为了将烧结添加剂或银元素包含在压电层的必要部分中，可以在形成压电层时包含所述元素，或者在形成压电层之后通过涂覆到压电层的表面或者通过离子注入来包含所述元素。

[0057] 另外，可以将银元素添加到电极层并且通过热处理等使银元素从电极层分散到压电层，以包含银元素。

[0058] 在本发明中，烧结是指下述现象，即，在熔点或更低的温度下烘焙和紧固压电材料的颗粒，以使其彼此连接。

[0059] 在本发明中，烘焙温度是指压电材料的热处理的温度，并且通过调整热处理温度来烧结压电材料。

[0060] 以下对本发明的示例进行描述，但是本发明不受这些示例限制。

[0061] （示例 1）

[0062] 参照图 1 对应用本发明的压电元件的结构示例进行描述。

[0063] 本发明与常规示例的不同之处在于稍后描述的压电材料的成分、其制造方法和烘焙温度。另外,电极材料的银和钯的混合比也不同。

[0064] 注意,在以下描述中,烘焙温度是指烘焙处理的最高烘焙温度。

[0065] 在图 1 中,多个电极层 3 设置在构成层叠压电元件 1 的多个压电层 2 的表面上。

[0066] 电极层 3 被设置为使得其外周在压电层 2 的外周的内部,并且在压电层 2 上被分割为 4 个区域(在图 1 中,示出 A+、A-、B+、B-、AG+、AG-、BG+ 和 BG- 这 8 种类型)。

[0067] 形成在同一层上的电极层 3 彼此不电连接。

[0068] 此外,在压电层 2 的表面上,形成连接电极 3a(图 1 中用黑色填充的部分),连接电极 3a 与电极层 3 连接,并延伸到压电层 2 的外缘部分。

[0069] 连接电极 3a 被形成为对于电极层 3 的 8 种类型而言每隔一层压电层 2 在层叠压电元件 1 的轴向方向和周向方向上具有相同的位置关系。同一位置处的连接电极 3a 通过外部电极 4 彼此连接,外部电极 4 是设置在层叠压电元件 1 的外周部分上的、用于层之间的电连接的电极(图 1 中与 A+、A-、B+、B-、AG+、AG-、BG+ 和 BG- 对应的 8 个外部电极 4)。

[0070] 多个表面电极 5 沿着圆周方向设置在构成层叠压电元件 1 的最上压电层的表面的外周部分处。表面电极 5 与连接电极 3a 的位置对应地设置,并与外部电极 4 连接。设置外部电极 4 以用于电极层之间的电连接。

[0071] 然后,相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG-,正和负 DC 电压通过表面电极 5 施加于电极层 3 的 A+、A-、B+ 和 B-。因此,执行极化,以便使得能够驱动稍后描述的振动波马达。

[0072] 在稍后描述的条件通过经由表面电极 5 将 DC 电压施加于电极层 3 的 A+、A-、B+ 和 B- 来执行极化,以使得相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG-,A+ 和 B+ 变为正,而 A- 和 B- 变为负。

[0073] 换句话讲,相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG-,A+ 变为极性(+),A- 变为极性(-),B+ 变为极性(+),B- 变为极性(-)。

[0074] 图 2 是示出图 1 中的阴影所指示的截面 C,并且示出电极部分 E 和非电极部分 D。

[0075] 图 2 示出电极部分 E(虚线包围的区域)、非电极部分 D1(虚线包围的区域)和非电极部分 D2(虚线包围的区域),在电极部分 E 中,压电层 2 和电极层 3 交替地层叠,非电极部分 D1 夹在在电极部分 E 之间,并且仅由压电层 2 构成,非电极部分 D2 设置在外周部分上,并且仅由压电层构成,而没有电极层。

[0076] 非电极部分 D1 对应于图 1 中的非电极部分 6 的截面。注意,在图 1 中,非电极部分 7 是未极化的非电极部分。

[0077] 此外,图 3 是示出具有下述结构的层叠型压电致动器的示例的截面图,在所述结构中,图 1 的层叠压电元件 1 合并于棒状振动波马达 10 的振动体 11 中。

[0078] 在图 3 中,在中间部分中具有通孔的层叠压电元件 1 设置在构成振动体 11 的中空金属构件 13 与 14 之间,以使得表面电极 5 与柔性电路板 12 接触。

[0079] 螺栓 15 从金属构件 13 侧插入,并被拧入到金属构件 14 中。因此,层叠压电元件 1 和柔性电路板 12 被夹在并被固定在金属构件 13 与金属构件 14 之间。

[0080] 在振动体 11 在轴向方向上的一侧,设置了旋转器 18,旋转器 18 被弹簧 16 和弹簧支承件 17 按压,以与金属构件 14 的远端部分接触。因此,可从齿轮 19 获得振动波马达 10 的旋转输出,齿轮 19 与旋转器 18 整体地旋转。

[0081] 柔性电路板 12 与表面电极 5 和驱动电路（未显示）连接，表面电极 5 与层叠压电元件 1 的外部电极 4 连接，并且用于驱动的 AC 电压施加于层叠压电元件 1。

[0082] 棒状振动波马达 10 的驱动原理如下。具有相差大约 $\pi/2$ 的时间相位并且具有接近振动体 11 的共振频率的频率的 AC 电压被施加于合并在振动体 11 中的层叠压电元件 1 的由 A+、A-、AG+ 和 AG- 构成的相 A 和由 B+、B-、BG+ 和 BG- 构成的相 B。

[0083] 因此，可激励与轴向方向正交的相 A 和相 B 的两个弯曲振动，而不是旋转摆动运动。

[0084] 结果，通过使用构成振动体 11 的金属构件 14 的远端部分作为摩擦表面，金属构件 14 执行摆动运动。然后，旋转器 18 通过摩擦接触而旋转，旋转器 18 是与金属构件 14 按压接触的接触构件。

[0085] 接下来，对制造根据该示例的层叠压电元件的方法进行描述。

[0086] 首先，如日本专利申请公开 No. 5-105511 中所述的那样，以 Pb : Sr : Zr : Ti : Nb = 0.95 : 0.08 : 0.51 : 0.49 : 0.03 的摩尔比作为成分比混合 Pb_3O_4 、 SrCO_3 、 ZrO_2 、 TiO_2 和 Nb_2O_5 的粉末原料作为压电材料。

[0087] 然后，在球磨机中将所述粉末原料与纯水一起混合 5 小时，并且在 110℃ 被干燥。然后，在空气中在 950℃ 下将得到的产物（resultant）煅烧 2 小时，从而制备出具有钙钛矿（perovskite）相晶体结构的原料粉末（煅烧粉末）。然后，以 0.015 的量（Zr+Ti = 1 成立的情况下的摩尔比）将 MnCO_3 添加到该原料粉末（煅烧粉末），其后类似地与纯水混合在一起并进行干燥。

[0088] 然后，在该示例中，以 0.5wt% 将氧化铜（CuO）作为低温烧结添加剂添加到压电材料。

[0089] 此外，通过使用一般的粉末混合研磨机，将压电材料与纯水混合在一起，以使压电材料均匀地分散，以具有大约 0.4 μm 至 0.5 μm 的小的平均颗粒直径，并且在 110℃ 被干燥。

[0090] 在这种情况下，如果氧化铜的添加量小，则效果小，而如果所述添加量大，则绝缘电阻变得如此小以至于极化变得困难。因此，优选的是，添加量为 0.2wt% 到 0.8wt%。

[0091] 注意，如美国专利 No. 5, 798, 052 中所述的那样，必要时可添加除了铜元素之外的元素（例如，钨或锌）作为低温烧结添加剂。

[0092] 在制造该示例的层叠压电元件 1 之前，制备测试件，并研究烘焙条件。

[0093] 制备以下两种类型的测试件。第一测试件 Ta 是设想为层叠电极部分的测试件，如图 4A 和图 4B 所示，该测试件具有外径为 15mm、厚度为大约 0.9mm 的盘形状。

[0094] 压电层 2Ta 具有各自厚 90 μm 的九个层的结构，并且形成电极层 3Ta，所述电极层 3Ta 各自具有约 2 μm 到 3 μm 的厚度并且具有 14.8mm 的外径以几乎占据压电层 2Ta 的整个表面。然后，电极层 3Ta 每隔一层经由连接电极与两个外部电极 4Ta 电连接。注意，测试件 Ta 的两侧的最上层和最下层是用作绝缘层的各自具有大约 45 μm 的厚度的压电层。

[0095] 另外，形成电极层 3Ta 的电极材料含有 95wt% 的银和 5wt% 的钯。在烘焙之后，通过涂覆具有玻璃料的银浆料并且在大约 750℃ 下烘焙得到的产物来形成外部电极 4Ta。

[0096] 第二测试件 Tb 是设想为非电极部分的测试件，该测试件具有通过在烘焙之后层叠十层厚度大约为 90 μm 的压电片材（没有电极层）而形成的盘形状。

[0097] 这两个测试件都包括由相同材料（材料和烧结添加剂）制成的压电层，不同之处

在于存在或不存在电极层以及层数。

[0098] 烘焙这些测试件,并且通过阿基米德法测量其密度。然后,通过在 120℃ 的温度的油中跨两个外部电极 4Ta(其中之一是地)施加 300V 电压 30 分钟来对测试件 Ta 执行极化。

[0099] 通过阻抗分析器测量共振频率和反共振频率,以便确定作为压电特性之一的盘的径向振动的机电耦合系数 k_r 。烘焙温度从 860℃ 变为 960℃,并且保持烘焙温度 2 小时。

[0100] 在图 5 中,水平轴表示烘焙温度,而垂直轴表示密度。随着烘焙温度上升,密度增大。密度更快速地增大,以促进设想为电极部分的测试件 Ta 中的致密化,密度变为 7.75g/cm³ 而在 900℃ 或更高的烘焙温度下基本上饱和。因此,认为致密化在该温度下完成。

[0101] 另一方面,在设想为非电极部分的测试件 Tb 中,密度缓慢增大,并且直到温度变为 960℃,密度值都没有饱和。因此,认为致密化在 940℃ 的温度下没有完成。另外,在 940℃ 下烘焙的设想为非电极部分的测试件 Tb 的密度为 7.5g/cm³。在 940℃ 或更低温度下烘焙的测试件 Tb 的密度对应于设想为电极部分的致密化的测试件 Ta 的密度,并且为密度 7.75g/cm³ 的 97% 或更低。注意,电极部分和非电极部分都被致密化,以使得烧结在 960℃ 或更高的烘焙温度下完成。因此,在其中具有该示例的测试件的结构电极部分和非电极部分这二者共存的压电元件的情况下,可通过在 940℃ 下进行烘焙来使非电极部分局部具有低密度。然而,上述 940℃ 的烘焙温度还根据压电材料的成分、温度上升时间、将添加的烧结添加剂的类型和量等等而改变。因此,优选的是,通过预备实验等预先掌握温度与烧结状态之间的关系,以便确定烘焙温度。

[0102] 另外,如图 6 所示,测量设想为电极部分的测试件 Ta 的机电耦合系数 k_r 。

[0103] 在图 6 中,水平轴表示烘焙温度,而垂直轴表示机电耦合系数 k_r 。当烘焙温度变为 900℃ 或更高时,电极部分的特性基本上达到原始压电特性的机电耦合系数 k_r 的 56.4%。

[0104] 这样,通过添加低温烧结添加剂,可使烘焙温度降低到低于常规烘焙温度。

[0105] 认为,因为添加低温烧结添加剂的效果,并且因为电极层中的银元素分散到压电层中以便促进烧结,所以电极部分的烧结快速地进行。

[0106] 与低温烧结添加剂类似地,银也作为液态相迁移到压电陶瓷的晶粒边界中,并作为烧结添加剂促进低温烧结。结果,在其中银元素被分散在电极层中的区域(对应于电极部分的区域)在低温下被烧结为具有高于在其中没有分散银元素的区域(对应于非电极部分)的密度。

[0107] 如下制造层叠压电元件 1。通过使用上述压电材料和有机结合剂,将成为压电层的生片(green sheet)通过刮片(doctor blade)法来制备。在该生片上的预定位置处,使用电极材料浆料通过丝网印刷来形成电极层 3 和连接电极 3a。电极材料被制备为含有 95wt% 的银和 5wt% 的钡。

[0108] 电极材料浆料通过下述方式制备,即,将压电材料粉末添加到电极材料粉末,并通过三辊碾压机使用有机结合剂和有机溶剂揉搓有机媒介物(vehicle)。

[0109] 然后,将预定数量的生片堆叠在平面中,并按压这些生片以将它们层叠。此后,通过同时烘焙整体地烘焙压电层和电极层,并执行极化。烘焙温度被设置为 900℃ 到 940℃,并根据大规模生产条件保持烘焙温度 2 小时。

[0110] 然后,在两侧执行抛光(lapping),并通过研磨(grinding)来对外径进行修整(finish)。

[0111] 该示例的层叠压电元件 1 具有大约 10nm 的外径、大约 2.8mm 的内径和 2.4mm 的厚度。压电层 2 具有大约 90 μm 的厚度,并且压电层 2 的数量为 24。

[0112] 电极层 3 具有大约 2 μm 到 3 μm 的厚度,并且电极层 3 的数量为 25。另外,电极层 3 的外径为 9mm。另外,称为保护层的非活动层设置在 24 个压电层的上侧和下侧中的每个上。

[0113] 注意,将电极层 3 分割为 4 个区域的非电极部分 D1 的宽度被设置为 0.5mm。外周处的非电极部分 D2 的宽度被设置为 0.5mm。

[0114] 在所述处理之后,通过下述方式形成外部电极 4 和表面电极 5,即,通过丝网印刷来印刷含有玻璃料的银电极浆料,其后在大约 750°C 下进行烘焙。

[0115] 如下相对于作为地的 AG+、AG-、BG+ 和 BG- 通过表面电极 5 对电极层 3 的 A+、A-、B+ 和 B- 执行极化。

[0116] 具体地讲,在 120°C 的油中施加作为 DC 电压的 +300V 和 -300V 持续 30 分钟,以执行极化,以便使得能够驱动振动波马达。

[0117] 在这种情况下,通过观察烘焙之后的层叠压电元件 1 的截面,发现电极部分 E 以及非电极部分 D1 和 D2 具有不同的色调,并且充分地致密化之后的电极部分 E 已变为黑色。

[0118] 相反,观察到,与电极部分 E 的黑色不同,两个电极部分 E 与外周部分处的非电极部分 D2 之间的非电极部分 D1 为褐色或深褐色,并且没有被充分地致密化。

[0119] 在本发明中,“充分地致密化”是指当在改变烘焙温度的同时测量烧结体的密度变化时,密度根本不改变,或者改变速率小,从而认为所述密度在烘焙温度上升时饱和了。

[0120] 另外,如果烘焙温度过度地上升超过合适温度,则可使密度降低。此外,同时,可使上述作为压电特性的机电耦合系数 k_r 降低。基于该关系,可以检查压电层的测试件(样品)的烘焙温度与密度之间的关系,并且,如果在烘焙温度上升的同时密度开始降低,则可以确定烘焙温度太高了。

[0121] 在本发明中,当烘焙温度上升时,如果密度变化为 0.2% 或更小,则确定出现了“充分地致密化”。另外,在本发明中,优选的是通过阿基米德法测量密度。

[0122] 在本发明中,重要的是:确定烘焙温度,以使得电极部分被充分地致密化,并且非电极部分的密度变为电极部分的密度的 94% 或更大到 97% 或更小。优选的是如上所述那样基于烘焙温度与密度变化之间的关系的结果来确定烘焙温度,预先使用压电层的电极部分的测试件和非电极部分的测试件来测量所述关系。

[0123] 另外,通过切片机从在 860°C 至 960°C 变化的烘焙温度下烘焙的层叠压电元件 1 切掉电极部分 E 的测试样品和夹在两个电极部分 E 之间的非电极部分 D 的测试样品,并测量其密度。然后,证实了密度基本上与图 5 中所示的密度相同。

[0124] 因为密度相同,所以预计机电耦合系数 k_r 相同。

[0125] 此外,因为非电极部分具有小密度并且没有被致密化,所以杨氏模量低,并且对电极部分中所产生的位移或应力的约束力(binding force)变小。

[0126] 此外,关于夹在具有不同极性的电极部分之间的非电极部分 D1 的压电特性,因为密度低并且没有获得致密化,所以极化之后的压电特性次于常规示例的非电极部分的压电特性,并且由于极化而导致的杨氏模量变化较小。换句话讲,对极化的灵敏度降低,结果,非电极部分的杨氏模量在极化之前和之后没有大的改变。

[0127] 例如,在图 5 中,测试件 Tb 在 940℃下的密度基本上与测试件 Ta 在 880℃下的密度相同。

[0128] 此外,在图 6 中,在测试件 Ta 在 940℃下的特性与测试件 Ta 在 880℃下的特性之间存在明显的差异,并且可估计测试件 Tb 在 940℃下的压电特性差。

[0129] 烘焙温度为 900℃到 940℃的该层叠压电元件 1 合并并在棒状振动波马达 10 中,并且测量马达的性能。

[0130] 结果,与在 1150℃的烘焙温度下使用含有 70wt%的银和 30wt%的钯的电极材料制造的常规层叠压电元件相比,获得类似的、不逊色的马达性能(旋转速度和扭矩)。

[0131] 此外,减小了对于振动波马达不必要的机械特性的各向异性的影响。作为旋转位置精度和旋转不均匀性的实际测量和估计的结果,振动波马达的旋转位置精度提高,并且其旋转不均匀性降低。此外,证实了磨损状态等得到改进。

[0132] 如上所述,通过在 900℃到 940℃的烘焙温度下(在该温度下,电极部分 E 被完全烘焙,并且如测试件 Ta 中那样被致密化)烘焙层叠压电元件,即使非电极部分 D 如测试件 Tb 中那样没有被充分地致密化,电极部分 E 也可发挥充分的压电特性。

[0133] 换句话讲,可以在比电极部分 E 和非电极部分 D 都被致密化的烘焙温度低大约 20℃到 60℃的温度下进行烘焙(烘焙温度的温度差为 20℃到 60℃)。

[0134] 在上述实验中,电极材料被制备为含有 95wt%的银和 5wt%的钯。当然,即使含有 5wt%或更多的钯,也没有问题。

[0135] 另外,在 900℃到 940℃的这个烘焙温度下,因为银的熔点大约为 960℃,所以即使含有 100wt%的银,也获得具有大约 56.4%的机电耦合系数 k_r 的良好压电元件。

[0136] 然而,如果含有 100wt%的银并且工作环境非常潮湿,则可发生所谓的迁移,在所述迁移中,银离子移动,并且形成短路。因此,认为添加一些钯是有益的。

[0137] 940℃或更低的烘焙温度下的银与钯之间的优选比率按照重量百分比为 100 : 0 到 95 : 5。

[0138] 注意,严格来讲,本发明的压电元件包括形成在层叠压电元件的上侧和下侧中的每个上的、厚度为大约 90 μm 的单个压电层 2,该部分也具有与非电极部分 D 相同的密度,并且没有被充分地致密化。

[0139] 然而,证实了:即使当压电元件实际上合并并在振动波马达中并且被驱动时,在上侧和下侧包括厚度大约为 90 μm 的压电层对于振动波马达没有影响。

[0140] 另外,在高温度和高湿度(80℃和 90%相对湿度)的环境测试之后,证实了性能不次于常规振动波马达。

[0141] 换句话讲,证实了:在层叠压电元件的上侧和下侧的、厚度大约为 90 μm 的压电层和外周部分处的非电极部分 D 充分地起到覆盖电极部分 E 的电绝缘层和长时间的机械保护层的作用,并且不次于常规层叠压电元件中的那些。

[0142] (示例 2)

[0143] 以下参照图 7A 和图 7B 对作为本发明的示例 2 的根据不同于示例 1 的另一种形式的层叠压电元件 1' 的结构示例进行描述。

[0144] 图 7A 是层叠压电元件 1' 的分解透视图,图 7B 是沿着图 7A 中的箭头线截取的截面图。

[0145] 压电材料的材料成分、其制造方法和烘焙温度与示例 1 中的那些相同。层叠压电元件 1' 与示例 1 的层叠压电元件 1 的不同之处有两点。

[0146] 一点是,形成在压电层 2' 上的电极层 3' 曝露到外周,并且在内周部分存在非电极部分。

[0147] 另一点是,使用被导电材料填充的 8 个通孔 5', 而不是使用层叠压电元件 1 的外部电极 4 来获得电极层 3' 之间的电连接。

[0148] 注意,通孔 5' 与电极层和压电层一起整体烘焙。通孔 5' 中所填充的导电材料也与电极层类似地含有银和钯。

[0149] 通孔 5' 从最上压电层 2' 的表面稍微突出,并与柔性电路板 12 接触,以使得与图 3 的层叠压电元件 1 类似地,当合并振动波马达的振动体中时,可在最上压电层 2' 与柔性电路板 12 之间获得电连接。

[0150] 在该示例中,也在 900℃到 940℃的烘焙温度下(在该温度下,电极部分 E 被完全烘焙并且被致密化)烘焙层叠压电元件 1' 。

[0151] 结果,与示例 1 类似地,即使非电极部分 D 没有被充分地致密化,电极部分 E 也作为振动波马达的层叠压电元件发挥充分的压电特性。

[0152] 以上所述的本发明的压电元件可适合用于例如如日本专利申请公开 No. 2001-267646 中所述的、与本发明类似地包括其中不形成电极层(内部电极)的非电极部分的层叠型压电致动器等。

[0153] 在本发明的压电致动器中,因为非电极部分具有比电极部分小的杨氏模量,所以约束力的产生小于电极部分,并且非电极部分具有与应力消除层相同的属性。因此,可以抑制压电元件中的裂缝。

[0154] 另外,根据本发明的结构,可以改进振动波马达的旋转位置精度和旋转不均匀性,以使得可预计诸如由均匀磨损而导致寿命长的效果。

[0155] 另外,可以在较低温度下进行烘焙,因此,可以减少所使用的钯量,钯是昂贵的贵金属。

[0156] 此外,在低温下进行烘焙降低了耗电量,并且便利了烘焙炉的管理。因此,可以通过降低制造成本来提供便宜的压电元件。

[0157] 此外,因为非电极部分没有被致密化,所以密度和杨氏模量变得小于电极部分的密度和杨氏模量,并且另外,因为即使在极化之后压电特性也差,所以可以降低非电极部分对于电极部分中所产生的位移和应力的影响。

[0158] 具体地讲,可以减小用于振动波马达的层叠压电元件中所分割的电极部分之间的非电极部分和外周部分或内周部分处的非电极部分对于电极部分的不必要的约束力。

[0159] 类似地,可以抑制电极部分与非电极部分之间的边界处的裂缝,该裂缝易于在常规层叠型压电致动器中出现。

[0160] (示例 3)

[0161] 如上所述,与作为层叠压电元件的测试件 Ta 不同,图 5 中所示的示例 1 的设想为非电极部分的测试件 Tb 直到温度变为 960℃为止没有被完全致密化。然而,即使在由所谓的单压电层构成的单片压电陶瓷(单层型压电陶瓷)(比如,测试件 Tb)中,优选的也是在较低温度下执行烘焙。因此,以下参照图 8A、图 8B 和图 8C 对作为本发明的示例 3 的、使得

能够在低温下烘焙单片压电陶瓷（比如，测试件 Tb）的方法进行描述。

[0162] 图 8A 示出烘焙之前的测试件 Tb'，其包括示例 1 的测试件 Tb 和电极 3Tb'，电极 3Tb' 是通过下述方式形成的电极层，即，将示例 1 中所使用的含有 95wt% 的银和 5wt% 的钯的电极材料浆料印刷涂覆到表面（上表面和下表面）上。

[0163] 当该测试件 Tb' 被烘焙时，电极 3Tb' 中的银元素分散到压电陶瓷中，因此，由于作为压电材料中包含的低温烧结添加剂的氧化铜的效果，可与示例 1 类似地促进压电陶瓷的烧结。

[0164] 这样，在单片压电陶瓷的烘焙中，也预先形成含有银元素的电极层，以使得银元素可被分散，因此促进银元素的分散，以使得可在较低温度下执行烘焙。

[0165] 然而，与图 5 中所示的示例 1 的测试件 Ta 不同，在保持 2 小时的 900℃ 的烘焙温度下，测试件 Tb' 没有被致密化，而是在 935℃ 到 945℃ 的烘焙温度下被致密化。

[0166] 这是因为测试件 Tb' 在电极 3Tb' 被印刷在表面上的状态下具有厚度为 1.0mm 的单片形状，并且与测试件 Ta（测试件 Ta 由各自厚 90 μm 的 9 个压电层 2Ta 和夹住压电层 2Ta 的厚度为约 2 μm 到 3 μm 的电极层 3Ta 构成）相比，在烘焙中银元素到压电层中的分散状态上不同。

[0167] 经过烘焙的测试件 Tb' 可以原样作为具有电极 3Tb' 的压电元件使用，但是在简单烘焙状态下通常发生压电陶瓷变形或者其表面不均匀。

[0168] 因此，如图 8B 所示，对烘焙之后的测试件 Tb' 的两侧执行抛光，并且印刷并涂覆到表面上的电极 3Tb' 及其附近的压电陶瓷被研磨以被平滑化，以使得厚度变为 0.9mm 到 0.5mm。此后，如图 8C 所示那样形成电极 4Tb'，如此获得压电元件。

[0169] 以与示例 1 的外部电极 4Ta 相同的方式形成电极 4Tb'，即，涂覆含有玻璃料的银浆料，并在大约 750℃ 的温度下执行烘焙。

[0170] 然后，将两个电极 4Tb' 之一与地连接，同时在 120℃ 的温度的油中将 1.5kV 的电压施加于另一个电极持续大约 30 分钟，以执行极化。

[0171] 结果，作为压电元件的测试件 Tb' 的机电耦合系数 k_r 变为 55.2%。当单片压电陶瓷的厚度、烘焙温度或烘焙温度的保持时间改变时，密度或机电耦合系数改变。

[0172] 此外，在单片压电陶瓷的烘焙中，当包括使得能够分散银元素的银电极的电极的外形（图案）改变时，可以在压电陶瓷片上形成具有任意外形的致密化区域。

[0173] 换句话讲，这意味着也可在单片压电陶瓷上形成如以示例 1 的层叠压电元件 1 的电极层 3 为例所说明的那样被分割为 4 个区域的电极层以及夹在电极层 3 之间的非电极部分 6 和 7，非电极部分 6 和 7 具有与电极层的密度不同的密度。

[0174] 如上所述，根据本发明，不仅所述压电元件，而且具有一个压电层和两个电极层的单层型单片压电陶瓷也可在较低温度下进行烘焙，并且密度小的区域也可设置在单片压电陶瓷上。

[0175] 尽管已参照示例性实施例对本发明进行了描述，但是应该理解本发明不限于所公开的示例性实施例。应该赋予权利要求的范围以最广泛的解释，以涵盖所有这样的修改以及等同结构和功能。

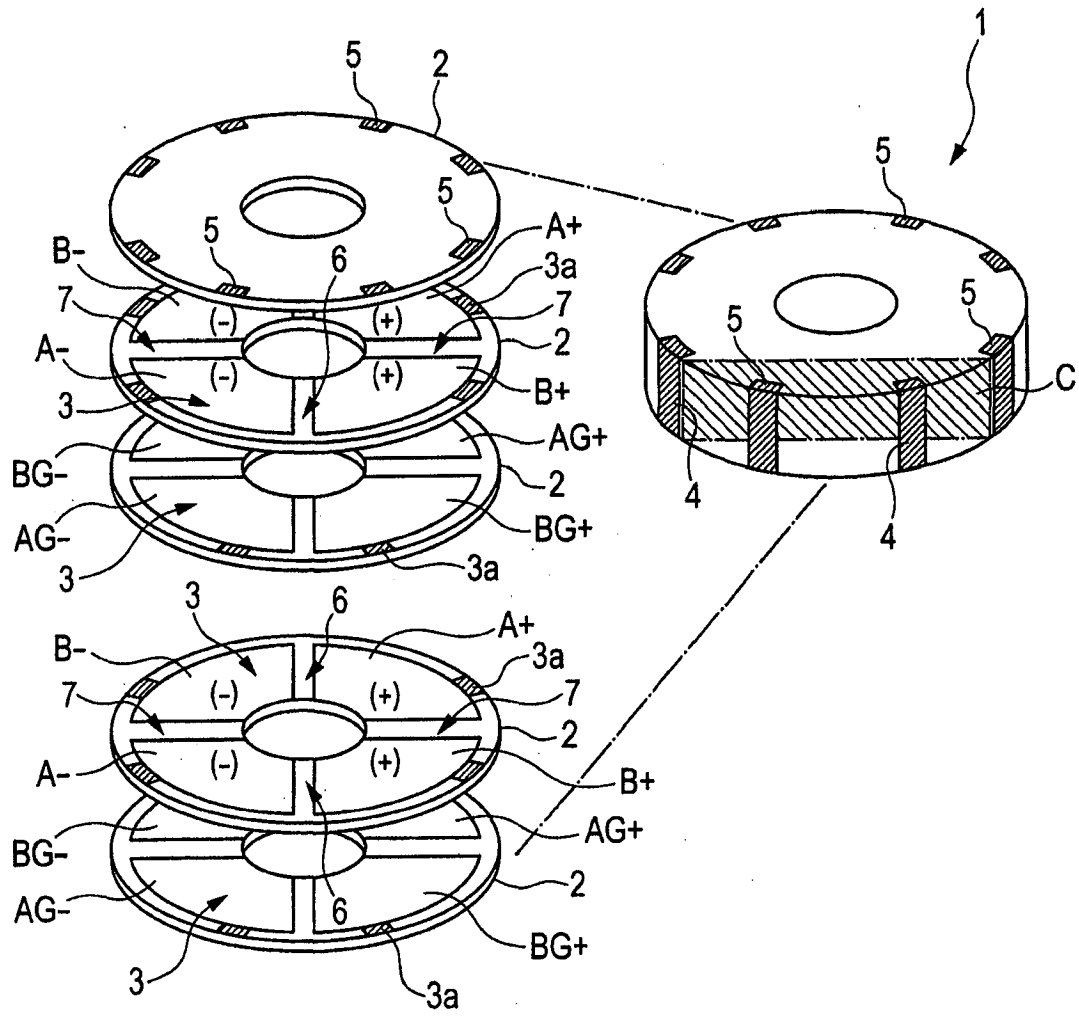


图 1

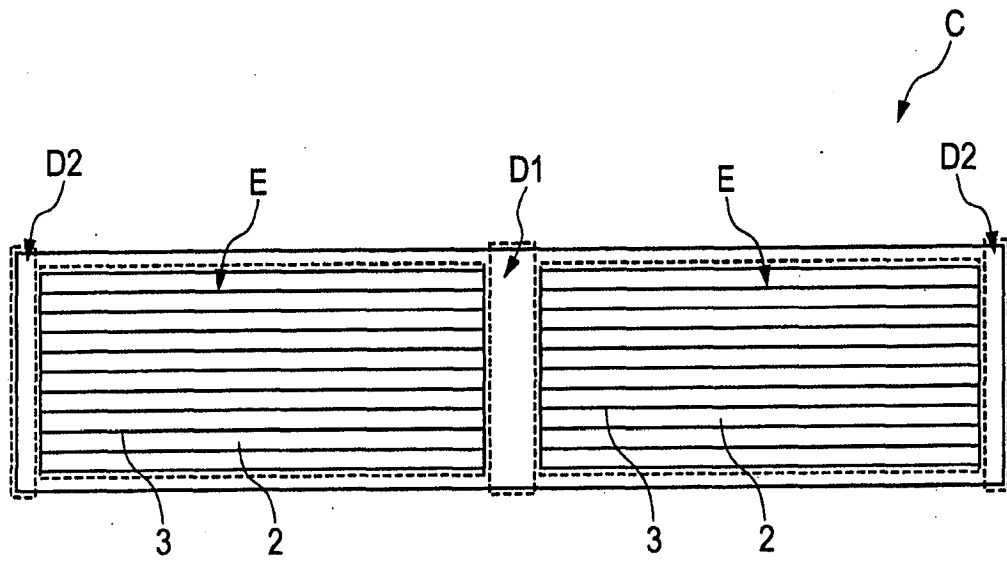


图 2

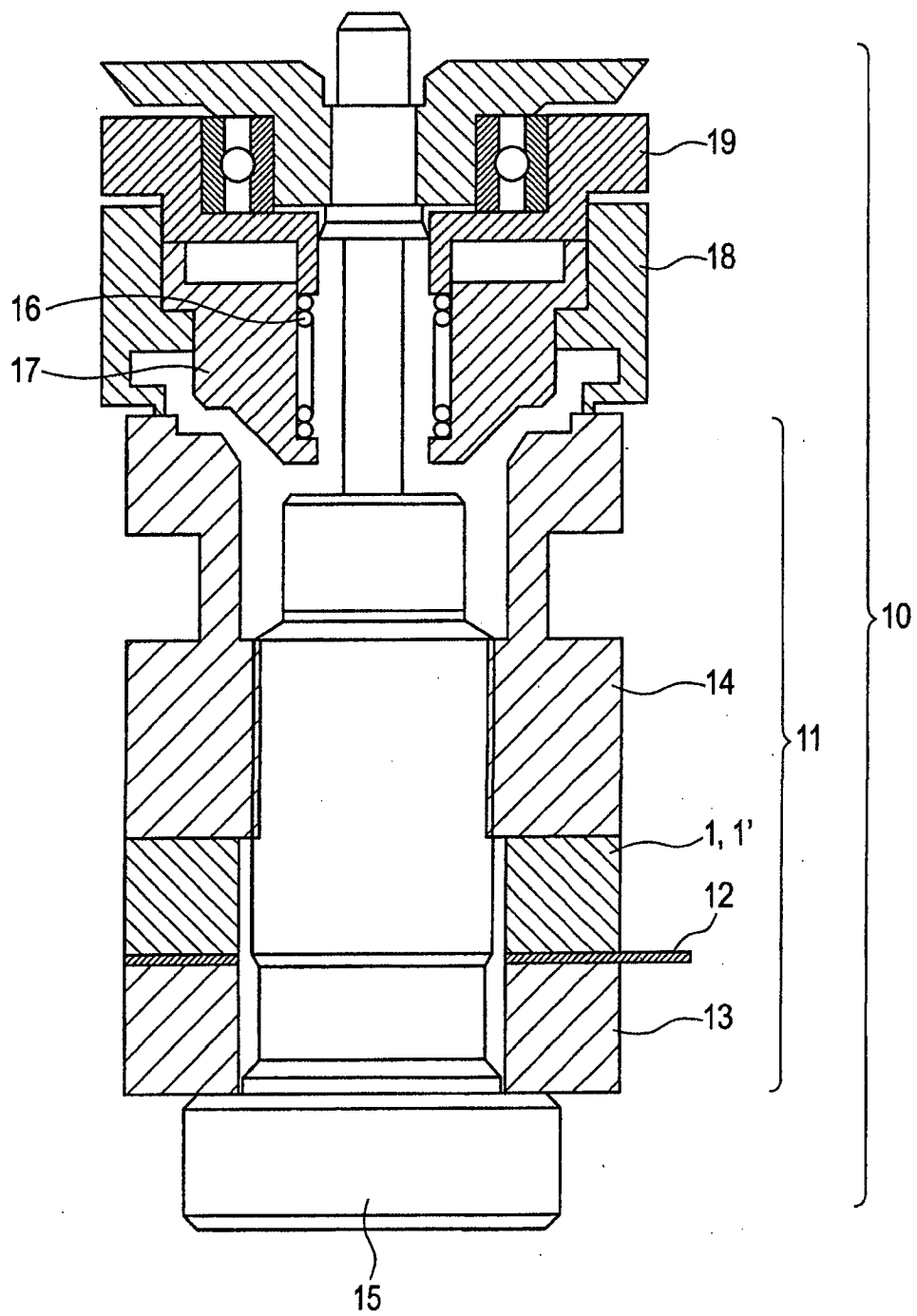


图 3

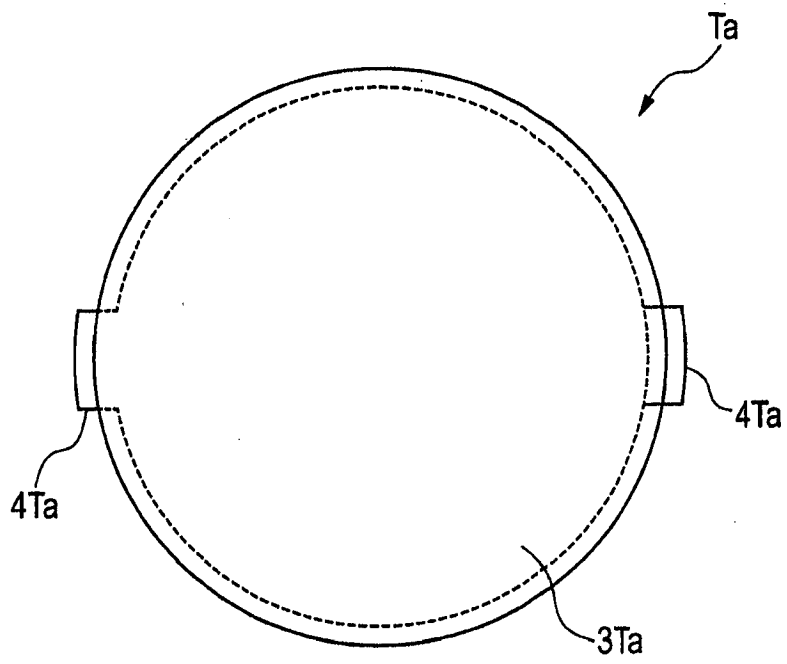


图 4A

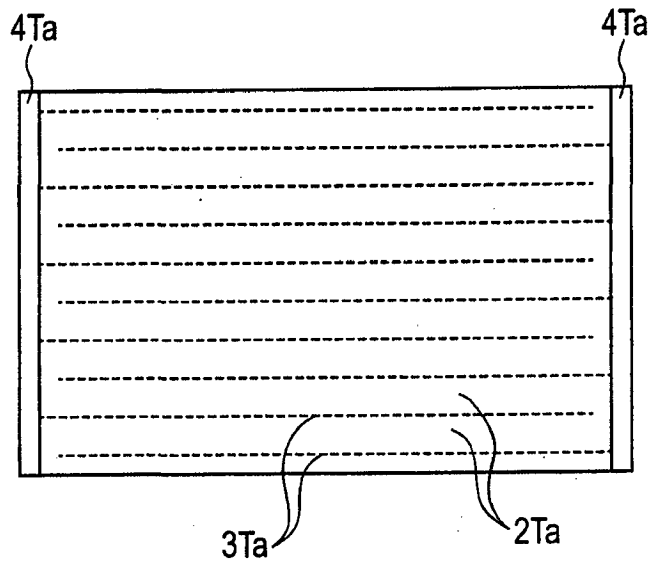


图 4B

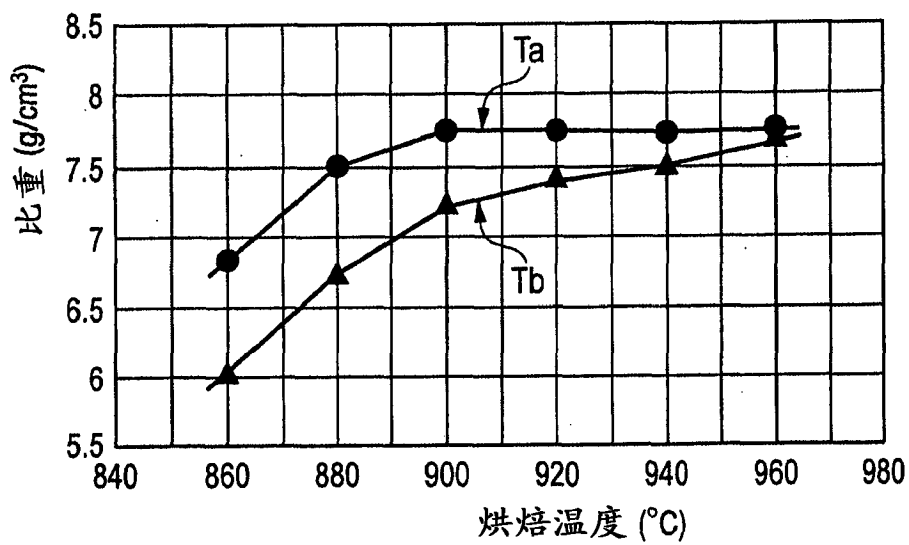


图 5

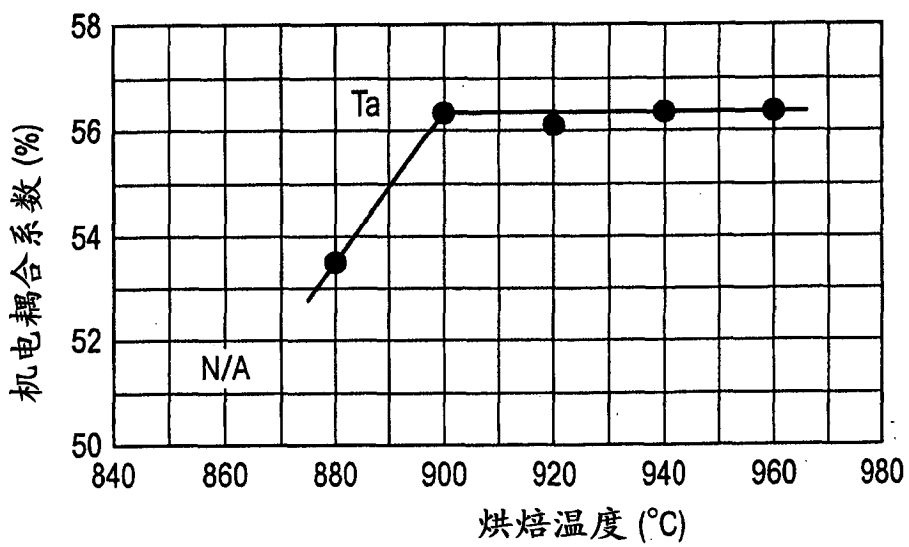


图 6

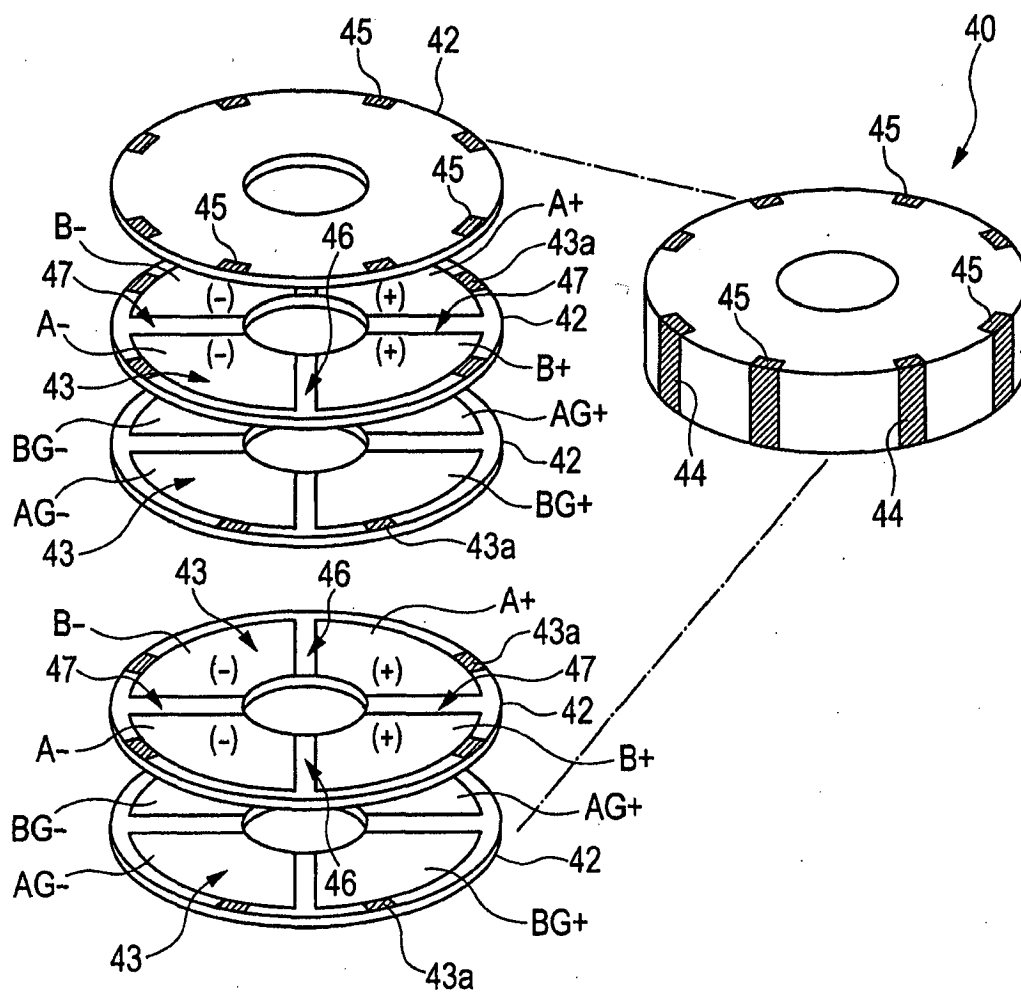


图 9

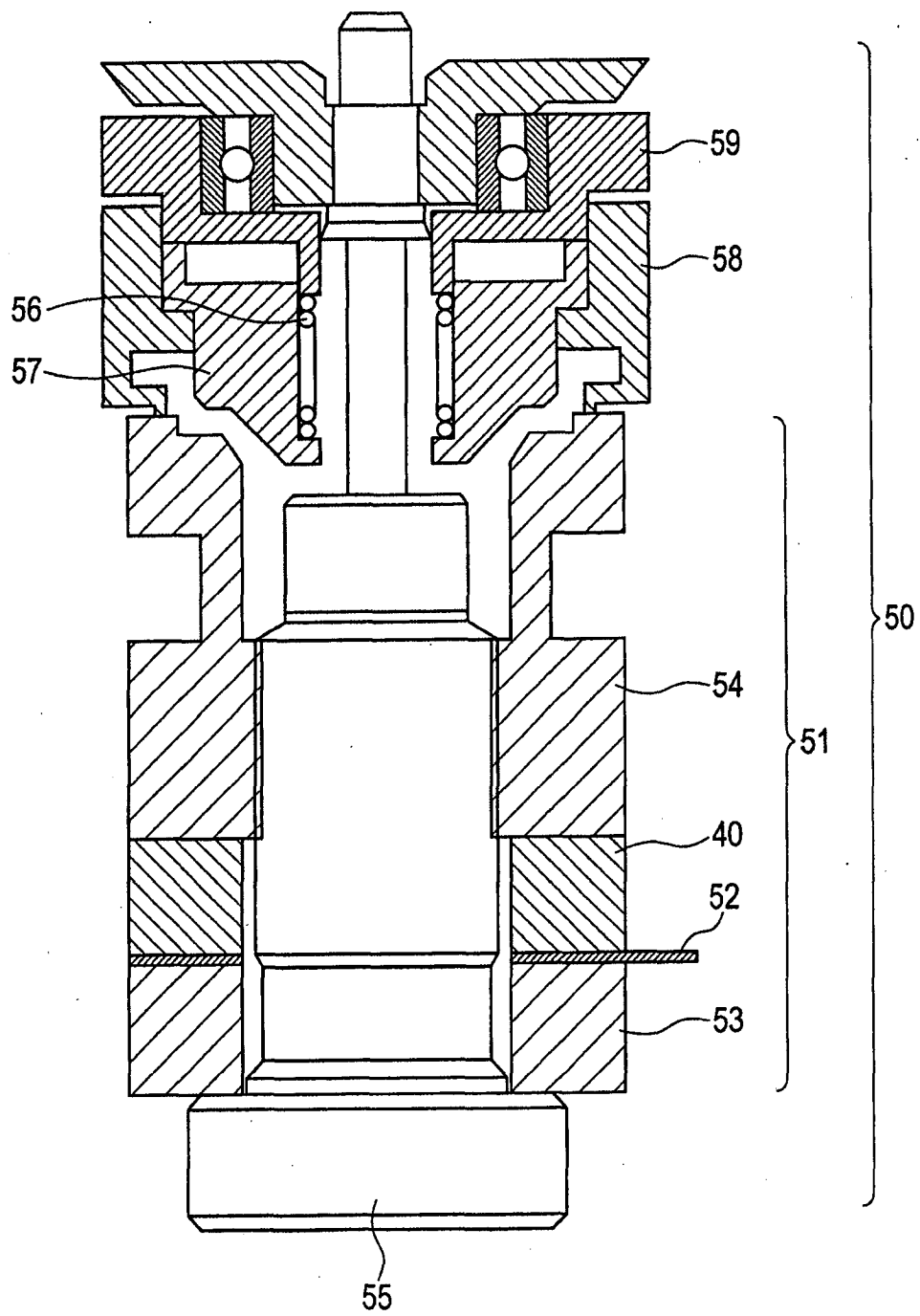


图 10