



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102725951 B

(45) 授权公告日 2015. 08. 19

(21) 申请号 201180007460. 1

代理人 王成坤 胡建新

(22) 申请日 2011. 01. 26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

H02N 2/00(2006. 01)

2010-015216 2010. 01. 27 JP

(56) 对比文件

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

CN 1538612 A, 2004. 10. 20, 全文.

2012. 07. 27

JP 特開 2009-284759 A, 2009. 12. 03, 全文.

(86) PCT国际申请的申请数据

JP 特開 2008-54407 A, 2008. 03. 06, 说明书

PCT/JP2011/051417 2011. 01. 26

第 4 页第 4 页第 0013-0014 段、说明书第 8 页第 0027 段第 3-4 行及说明书附图 1-16.

(87) PCT国际申请的公布数据

JP 特開 2010-4625 A, 2010. 01. 07, 说明书

W02011/093306 JA 2011. 08. 04

第 4 页第 0017 段及说明书附图 1-11.

(73) 专利权人 石川县

审查员 张江园

地址 日本石川县

专利权人 日硬株式会社

国立大学法人东京工业大学

(72) 发明人 高野昌宏 广崎宪一 吉田勇太

长田卓也 榎野翔 市村悟

吉田崇 石田真之 河合博司

泷本干夫 中村健太郎

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

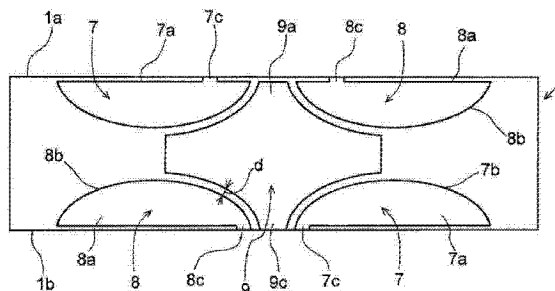
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

超声波电动机用振子

(57) 摘要

在矩形板状的压电振动元件(1)的固有振动模式的畸变较大的区域中配置外形形状包含曲线部的电极(7、8、9)。特别地,将激励屈曲振动的电极(7、8)配置在屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中,并且,使电极(7、8)的外形曲线部为沿着畸变的等高线(3、4)的形状,将激励伸缩振动的电极(9)配置在伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中,由此,提供减小振子损失(增大振动效率)、并且实现了振子的耐久性和可靠性的提高的超声波电动机用振子。



1. 一种超声波电动机用振子,其特征在于,

在矩形板状的压电振动元件的固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中配置外形形状包含曲线部的电极,

为了分别独立激励屈曲振动和伸缩振动,单独设置激励屈曲振动的电极和激励伸缩振动的电极,

激励所述屈曲振动的电极的面积为所述压电振动元件的全面积的 15%以上且 40%以下,

在屈曲振动用的电极面积相对于振子的全面积为 40%时,屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是利用 1 对畸变的最大值进行归一化而所述畸变的值为 0.23 以上的区域,在屈曲振动用的电极面积相对于所述振子的全面积为 15%时,所述屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是所述畸变的值为 0.47 以上的区域。

2. 一种超声波电动机用振子,其特征在于,

在矩形板状的压电振动元件的固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中配置外形形状包含曲线部的电极,

为了分别独立激励屈曲振动和伸缩振动,单独设置激励屈曲振动的电极和激励伸缩振动的电极,

激励所述伸缩振动的电极的面积为所述压电振动元件的全面积的 15%以上且 45%以下,

在伸缩振动用的电极面积相对于振子的全面积为 45%时,伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是利用 1 对畸变的最大值进行归一化而所述畸变的值为 0.75 以上的区域,在所述伸缩振动用的电极面积相对于所述振子的全面积为 15%时,所述伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是所述畸变的值为 0.95 以上的区域。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的超声波电动机用振子,其中,

设所述屈曲振动为屈曲 2 次振动,设所述伸缩振动为伸缩 1 次振动。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的超声波电动机用振子,其中,

激励所述屈曲振动的电极以所述电极的外形曲线部大致沿着所述畸变的等高线上的方式,配置在屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的超声波电动机用振子,其中,

激励所述伸缩振动的电极以所述电极的外形曲线部大致沿着畸变的等高线上的方式,配置在伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中。

6. 如权利要求 1 或 2 所述的超声波电动机用振子,其中,

在所述屈曲振动用电极与所述伸缩振动用电极发生干扰的情况下,在该干扰的部位中,所述屈曲振动用电极或所述伸缩振动用电极中的任意一个电极,以其外形曲线部大致沿着畸变的等高线上的方式配置,另一个电极以在与所述一个电极的外形部分之间形成间隙的方式配置,两个电极之间被绝缘。

超声波电动机用振子

技术领域

[0001] 本发明涉及超声波电动机用振子,特别涉及在屈曲振动和伸缩振动的极化区域中分别独立配置压电振动元件上的电极的方式的超声波电动机用振子。

背景技术

[0002] 伴随电子、信息技术的飞速发展,要求精密部件的进一步微细化、高集成化,需要与纳米级(10^{-9}m)的检查或超微细加工对应的超精密定位装置。并且,在医疗或生物研究中,基于蛋白质或细胞的控制的应用技术开发进步,针对能够进行更加微细的区域中的定位的显微镜用工作台的需求提高。进而,近年来,结合针对高精度化的要求,伴随检查、加工、测定等的对象物的小型化,定位装置及其驱动源也要求小形化、轻量化。

[0003] 作为应对这种纳米级的微细区域的驱动装置,代替现有的电磁电动机,开发出专利文献 1 ~ 3 所记载的使用压电振动元件的超声波电动机。

[0004] 该超声波电动机是基于与电磁电动机完全不同的驱动原理的驱动装置,具有低速、高转矩、无声、停止时的保持性等的优良特长。并且,振子构造简单,所以有利于小形化,期待作为小型致动器。

[0005] 一般地,超声波电动机由振子和移动体构成,在将该振子的摩擦接触部按压到所述移动体上并进行加压的状态下发挥功能。在该状态下,通过使所述振子的摩擦接触部产生椭圆运动,摩擦接触部间歇地与移动体压接并向一个方向送出所述移动体。通过改变椭圆运动的振幅大小来控制所述移动体的动作速度。

[0006] 现有技术文献

[0007] 专利文献

[0008] 专利文献 1 : 日本特开 2008-54407 号公开公报

[0009] 专利文献 2 : 日本专利第 3311446 号专利公报

[0010] 专利文献 3 : 日本特开 2004-297951 号公开公报

发明内容

[0011] 发明要解决的课题

[0012] 如上所述,通过改变振子前端的摩擦接触部的椭圆运动的振幅大小,控制由振子驱动的移动体的速度。但是,在通常的超声波电动机中,无法任意改变该椭圆运动的轨迹形状,所以,在低速驱动的情况下,椭圆运动的振幅全体减小,控制摩擦力的振子的加压方向的振动分量也减小,产生动作不稳定或停止的情况。

[0013] 该情况下的速度的输入输出特性具有非线性性,并且存在不灵敏区。在这种输入输出特性中,难以进行低速域中的稳定的速度控制,所以,作为电动机的精度、分解能的性能低下。

[0014] 为了解决以上这种问题,例如在上述专利文献 1 中,在层叠的所有压电元件上配置激励屈曲振动的电极区域和激励伸缩振动的电极区域,能够独立控制各振动。由此,能够

单独自由地调整生成椭圆运动的屈曲振动和伸缩振动的大小及其相位差,在低速域中也能够得到充分的加压方向的振动,所以,能够消除速度的非线性性、不灵敏区。

[0015] 但是,为了有效地激励规定振动模式,优选在该振动模式的节即畸变分布较大的区域中配置电极。但是,专利文献 1 所示的超声波电动机用振子为矩形板状,并且其电极形状也为矩形或十字形,在专利文献 2、3 中,压电元件和电极均为矩形状。因此,无法在畸变分布较大的部位适当配置电极,振子的振动效率的损失增大。该振动效率的损失导致振子发热、温度上升,所以,对稳定性、可靠性造成不良影响。进而,在这些现有的矩形状的电极形状中存在如下问题:在施加电压时,在其角部引起应力集中,由于振动而产生的反复应力成为疲劳龟裂或破损的原因,导致振子的可靠性、耐久性低下。

[0016] 本发明的课题在于,解决这种问题,特别地,提供减小振子损失(增大振动效率)、并且实现了振子的耐久性和可靠性的提高的超声波电动机用振子。

[0017] 用于解决课题的手段

[0018] 根据本发明,(1)提供一种超声波电动机用振子,其特征在于,在矩形板状的压电振动元件的固有振动模式的畸变较大的区域中配置外形形状包含曲线部的电极。

[0019] 并且,根据本发明,(2)提供所述(1)所记载的超声波电动机用振子,其中,为了分别独立激励屈曲振动和伸缩振动,单独设置激励屈曲振动的电极和激励伸缩振动的电极。

[0020] 并且,根据本发明,(3)提供所述(2)所记载的超声波电动机用振子,其中,设所述屈曲振动为屈曲 2 次振动,设所述伸缩振动为伸缩 1 次振动。

[0021] 并且,根据本发明,(4)提供所述(2)或(3)所记载的超声波电动机用振子,其中,激励所述屈曲振动的电极以所述电极的外形曲线部大致沿着所述畸变的等高线上的方式配置在屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中。

[0022] 并且,根据本发明,(5)提供所述(2)~(4)中的任意一项所记载的超声波电动机用振子,其中,激励所述屈曲振动的电极的面积为所述压电振动元件的全面积的 15% 以上且 40% 以下。

[0023] 并且,根据本发明,(6)提供所述(2)所记载的超声波电动机用振子,其中,激励所述伸缩振动的电极以所述电极的外形曲线部大致沿着畸变的等高线上的方式配置在伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域中。

[0024] 并且,根据本发明,(7)提供所述(2)、(3)或(6)所记载的超声波电动机用振子,其中,激励所述伸缩振动的电极的面积为所述压电振动元件的全面积的 15% 以上且 45% 以下。

[0025] 并且,根据本发明,(8)提供所述(4)~(7)中的任意一项所记载的超声波电动机用振子,其中,在所述屈曲振动用电极与所述伸缩振动用电极发生干扰的情况下,在该干扰的部位中,所述屈曲振动用电极或所述伸缩振动用电极中的任意一个电极以其外形曲线部大致沿着畸变的等高线上的方式配置,另一个电极以在与所述一个电极的外形部分之间形成间隙的方式配置,两个电极之间被绝缘。

[0026] 并且,根据本发明,(9)提供所述(4)或(5)所记载的超声波电动机用振子,其中,在屈曲振动用的电极面积相对于振子的全面积为 40% 时,所述屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是利用 1 对畸变的最大值进行归一化而所述畸变的值为 0.23 以上的区域,在屈曲振动用的电极面积相对于所述振子的全面积为 15% 时,所述屈曲固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是所述畸变的值为 0.47 以上的区域。

[0027] 并且,根据本发明,(10)提供所述(6)或(7)所记载的超声波电动机用振子,其中,在伸缩振动用的电极面积相对于振子的全面积为 40% 时,所述伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是利用 1 对畸变的最大值进行归一化而所述畸变的值为 0.75 以上的区域,在所述伸缩振动用的电极面积相对于所述振子的全面积为 15% 时,所述伸缩固有振动模式的畸变为规定值以上的区域是所述畸变的值为 0.95 以上的区域。

[0028] 发明效果

[0029] 根据本发明,在超声波电动机用振子中,能够减小作为振子温度上升、发热的原因的振子损失。并且,使电极的外形的一部分为包含大致沿着畸变的等高线的曲线部的形状,所以,在施加电压时产生的振子的应力减少,消除了由于应力集中而导致的疲劳龟裂和破损,提高振子的耐久性、可靠性。

附图说明

[0030] 图 1 是本发明的实施例的超声波电动机用振子的平面图。

[0031] 图 2 (a)是利用条纹状图案示意地示出振子的施加电压时的屈曲 2 次固有振动模式的畸变分布的立体图,(b)是同样示意地示出振子的施加电压时的伸缩 1 次固有振动模式中的伸缩畸变分布的立体图。

[0032] 图 3 是示出改变电极面积 / 振子面积(横轴)时的相对于振子损失的输出比的图,标号 a 是针对在大致沿着固有振动模式的畸变的等高线上配置的电极的畸变基准下形成屈曲 2 次振动用电极 7、8 的本发明的振子 1 (图 C) 的输出比,e 和 f 分别是在设置现有的矩形状电极 10 的振子 1 (图 D) 中改变电极长度 s 和电极宽度 t 时的输出比。

[0033] 图 4 示出超声波电动机用振子中的摩擦接触部的等效负载电阻与最佳电极面积的关系,(a)是伸缩 1 次振动用电极的情况,(b)是屈曲 2 次振动用电极的情况。

[0034] 图 5 示出本发明的超声波电动机用振子中的畸变与电极面积的关系,(a)示出屈曲 2 次振动时的相对于畸变 ε 的值的电极面积,(b)示出伸缩 1 次振动时的相对于畸变 ε 的值的电极面积。

[0035] 图 6 是在压电元件的一个单面上形成接地电极的本发明的实施例的平面图,图 6 (a)是在元件的一个面上设置矩形状的接地电极的情况,图 6 (b)是设置局部沿着屈曲振动用电极的弯曲面的外形形的接地电极的情况。

具体实施方式

[0036] 在本发明的实施方式中,采用能够分别独立激励压电振动元件的屈曲固有振动模式和伸缩固有振动模式的电极构造。而且,为了高效地产生屈曲振动和伸缩振动,在各固有振动模式中的畸变较大的区域中,以大致沿着畸变的等高线、优选准确地沿着畸变的等高线的方式,配置外形的一部分具有沿着所述畸变的等高线的曲线形状的电极。

[0037] 实施例

[0038] 接着,参照附图对本发明的各种实施例进行说明。

[0039] 图 1 是本发明的实施例的超声波电动机用振子的平面图,图 2 (a) 是利用条纹状图案示意地示出振子的施加电压时的屈曲 2 次固有振动模式的畸变分布的立体图,图 2(b) 是同样示意地示出伸缩 1 次固有振动模式中的伸缩畸变分布的立体图。如图 2 (a) 所示,

在屈曲 2 次振动中,其振幅分布是矩形板状压电元件 1 的全长大致相当于 1 波长的横振动(在元件面内具有振幅的振动),在振幅最大的部位,畸变最大,该部位位于从振动自由端即长度方向左右端部起大致 1/4 的位置。在该位置,畸变从矩形板状压电元件 1 的长边侧部 2 朝向元件的宽度方向中央侧而以凸弯曲状扩展。标号 3、4 表示连接长度方向的畸变的值相等的位置的畸变分布的等高线。

[0040] 在伸缩 1 次振动中,如图 2 (b)所示,是矩形板状压电元件 1 的全长相当于 1/2 波长的纵振动(在元件的长度方向具有振幅的振动),与屈曲振动相反,在振动变位最小的部位,畸变最大。具体而言,在矩形板状压电元件 1 的中央附近,畸变最大,畸变从该位置朝向自由端侧而以大致同心圆状弯曲分布。5、6 是伸缩 1 次振动中的等高线。

[0041] 如上所述,引起屈曲振动的电极 7、8 配置在畸变最大的部位,并且,如果在矩形板状压电元件 1 的单面进行观察,则在横宽方向上对置地各配置一对,在与该面对置的另一个面(图的背面)也以同样关系各配置一对。即,屈曲振动用电极 7、8 的配置形式为元件 1 的表背各面各 2 对。

[0042] 在伸缩 1 次振动的情况下,电极 9 在矩形板状压电元件 1 的长度方向中央位置的对置的表背两面各配置在 1 个部位。

[0043] 如上所述,畸变分布的等高线在屈曲振动和伸缩振动中均为弯曲线状,所以,作为电极 7、8 和 9,配置其外形(的一部分)大致沿着该等高线的曲线的形状的电极。

[0044] 这里,关于屈曲 2 次振动的电极 7、8,对本实施例的具有曲线状外形的电极和现有的矩形板状电极 10 进行比较,来说明相对于振子损失的输出性能。图 3 是示出改变电极面积 / 振子面积(横轴)时的相对于振子损失的输出比(图的纵轴)的图,该输出比越大,振子损失越小。在图 3 中,标号 a 是针对在大致沿着固有振动模式的畸变的等高线上配置的电极的畸变基准下形成屈曲 2 次振动用电极 7、8 的本发明的振子 1 (图 C) 的输出比,伸缩用电极省略图示。e 是在设置现有的矩形板状电极 10 的振子 1 (图 D) (伸缩用电极省略图示)中改变电极长度 s 时的输出比,f 是改变矩形板状电极 10 的电极宽度 t 时的输出比。根据该图可知,在所有的电极面积 / 振子面积方面,在畸变为规定值以上的区域(由畸变等高线包围的区域)中配置的本发明的电极形状的电极高于现有的矩形板状的电极 10,本发明的以畸变大小为基准而形成的电极形状优良。并且,根据图 3 的结果可知,存在表示输出比极大的电极面积。

[0045] 表示该极大的电极面积根据摩擦接触部(振子前端)的等效负载电阻的值而变化,但是,在屈曲 2 次振动中最大为振子全面积的 40% 以下,在伸缩 1 次振动中为振子全面积的 45% 以下、优选为 40% 以下。图 4 示出摩擦接触部的等效负载电阻 $[N/(m/s)]$ 与最佳电极面积 / 振子面积(%)的关系。(a)是伸缩 1 次振动用电极的情况,(b)是屈曲 2 次振动用电极的情况。这样,最佳的电极面积 / 振子面积(%)根据摩擦接触部的负载电阻而稍微变化,但是,当考虑实用性时,在本发明的情况下,振子的电极面积为振子的全面积的 15% ~ 40% 是妥当的。另外,图 3 的曲线图是等效负载电阻大约为 300N/(m/s)时的结果。假设实用上的等效负载电阻根据电动机的结构而稍微变化,但是,在伸缩 1 次振动中大约为 50N/(m/s),在屈曲 2 次振动中大约为 300N/(m/s)。在电极面积小于 15% 的情况下,从电能转换为机械能的电气机械转换效率低下,振子的介电损耗之比增大,相反,如果电极面积超过 40%,则由于振子的 Q 值的低下等,振动所导致的损失、机械损耗之比增大。

[0046] 屈曲振动用电极和伸缩振动用电极配置在畸变为规定值以上的区域中。该情况下的规定值根据所配置的电极的面积而变化。例如,在屈曲 2 次振动的情况下,如果利用 1 对畸变的最大值进行归一化,则电极面积为元件全面积的 15% 时,所述规定值为 0.47 以上,电极面积为 40% 时,规定值为 0.23 以上。因此,在将电极面积设定为 40% ~ 15% 的振动中,在畸变的值为 0.23 ~ 0.47 以上的区域中配置电极。

[0047] 在伸缩 1 次振动的情况下,电极面积为 15% 时,在畸变的值为 0.95 以上的区域中配置电极,电极面积为 45% 时,在畸变的值为 0.75 以上(均为利用 1 对畸变的最大值进行归一化时)的区域中配置电极。

[0048] 图 5 是示出畸变与电极面积的关系的图,(a) 示出屈曲 2 次振动时的相对于畸变 ϵ 的值的电极面积,(b) 示出伸缩 1 次振动时的相对于畸变 ϵ 的值的电极面积(畸变利用 1 对最大值进行归一化。)

[0049] 对图 1 所示的实施例的超声波电动机用振子的电极配置构造进行具体说明。

[0050] 屈曲 2 次振动用电极 7、8 的外侧缘 7a、8a 与矩形板状压电元件 1 的长边侧部 1a 平行相邻,内侧缘 7b、8b 形成为沿着所述规定值的畸变的等高线的曲线形状,以各面 2 对的形式(与表面、背面对置分别为 2 对)配置电极 7、8,并且,在压电元件 1 的表面,在图 1 的长边侧部 1a 的位置形成与外部电极(未图示)连接的连接部 7c、8c。压电元件 1 的背面的电极与外部电极(未图示)连接,该外部电极与和所述表面侧连接的所述外部电极不同。通过以相反相位驱动在各面成对的电极 7、8,激励屈曲 2 次振动。在该例中,屈曲 2 次振动用的电极面积为振子全面积的 34%,因此,迎合电极曲线部分的元件表面的畸变的等高线选定大致 0.25 以上的畸变的部位(参照图 5 (a))。

[0051] 在伸缩 1 次振动用电极 9 中,该矩形板状压电元件 1 在表面和背面中均配置在相同的中央位置,在表面侧,使其电极外侧部 9a 与元件 1 的长边侧部 1a 相邻,并且,在元件 1 的另一个长边侧部 1b 形成与外部电极连接的连接部 9c。在元件 1 的背面(未图示),使电极外侧部在元件 1 的长边侧部 1a 形成与不同的外部电极连接的连接部,并且,使背面侧电极与元件 1 的所述另一个长边侧部 1b 相邻。

[0052] 伸缩 1 次振动用电极基本上也大致沿着规定值以上的伸缩畸变的等高线配置,但是,当在位置上与屈曲 2 次振动用电极发生干扰的情况下,在没有干扰的部分中,选定伸缩振动的畸变尽可能高的区域进行配置。在图 1 的例子中,伸缩 1 次振动用电极 9 在与屈曲 2 次振动用电极 7、8 之间隔开间隔 d,以充分确保绝缘性,形成为沿着屈曲振动用电极 7、8 的曲线形状部分的曲线状进行配置。在该例中,伸缩振动用电极 9 的面积为振子的全面积的大约 20%。该情况下,屈曲振动用和伸缩振动用的电极间隔 d 为 0.2 ~ 0.5mm 的间隙,以确保绝缘性。

[0053] 在图 1 的实施例中,为了避免屈曲振动用电极 7、8 与伸缩振动用电极 9 之间的干扰,优先使屈曲振动用电极 7、8 沿着畸变的等高线,但是,与此相反,也可以使伸缩振动用电极 9 的长度方向两端大致沿着伸缩畸变的等高线而优先配置伸缩振动用电极 9,使屈曲振动用电极 7、8 以具有能够确保充分绝缘性的间隙的方式与伸缩振动用电极 9 相邻。

[0054] 在上述各实施例中,在矩形板状压电元件的表面和背面均设置屈曲振动用电极和伸缩振动用电极,但是,作为其他例,如图 6 所示,也可以不在任意一个面、例如矩形板状压电元件 1 的背面设置屈曲振动用和伸缩振动用的电极,取而代之,针对表面的两个电极形

成共同的接地电极 11, 将其与外部的地线电极(未图示)连接。该情况下, 接地电极 11 采用能够覆盖元件相反侧的面的屈曲振动用和伸缩振动用的电极位置的形状和大小。图 6 (a) 是在元件的一个面上设置矩形状的接地电极的情况, 图 6 (b) 是设置局部沿着屈曲振动用电极的弯曲面的外形的接地电极的情况。标号 12 是在接地电极 11 中设置的与外部地线电极连接的连接部。

[0055] 本发明的振子用电极为屈曲振动用和伸缩振动用, 电极的一部分均为曲线状, 所以, 与现有的矩形状或十字形状的电极不同, 抑制了角部的伴随振动的应力集中, 防止了由于反复应力而导致的龟裂和破坏。特别地, 在屈曲振动用电极与伸缩振动用电极之间产生较高的应力, 所以, 如本发明的振子那样, 如果两个电极之间为平滑的曲线状, 则难以产生应力集中, 成为耐久性和可靠性优良的超声波电动机用振子。使电极成为沿着畸变的等高线的曲线状, 所以, 能够在畸变分布较大的部位进行最佳配置, 具有能够使振子损失极小等的多个优点。

[0056] 以上, 对独立激励屈曲 2 次振动用电极和伸缩 1 次振动用电极的形式的实施例进行了说明, 但是, 只要是振子的电极形状为在固有振动模式的畸变较大的区域中配置包含沿着畸变的等高线的曲线的形状的电极的矩形板状的压电振子, 则也可以是其他振动模式。当然, 在高次模式中, 振幅的绝对值一般较小, 难以独立激励伸缩振动和屈曲振动, 而且电极配置也复杂, 所以, 优选应用于组合了伸缩 1 次振动和屈曲 2 次振动的振子。

[0057] 标号说明

[0058] 1: 矩形板状压电元件; 2: 元件的长边侧部; 3、4: 屈曲振动畸变的等高线; 5、6: 伸缩振动畸变的等高线; 7、8: 屈曲 2 次振动用电极; 9: 伸缩 1 次振动用电极; 11: 接地电极; 12: 接地电极的地线连接部。

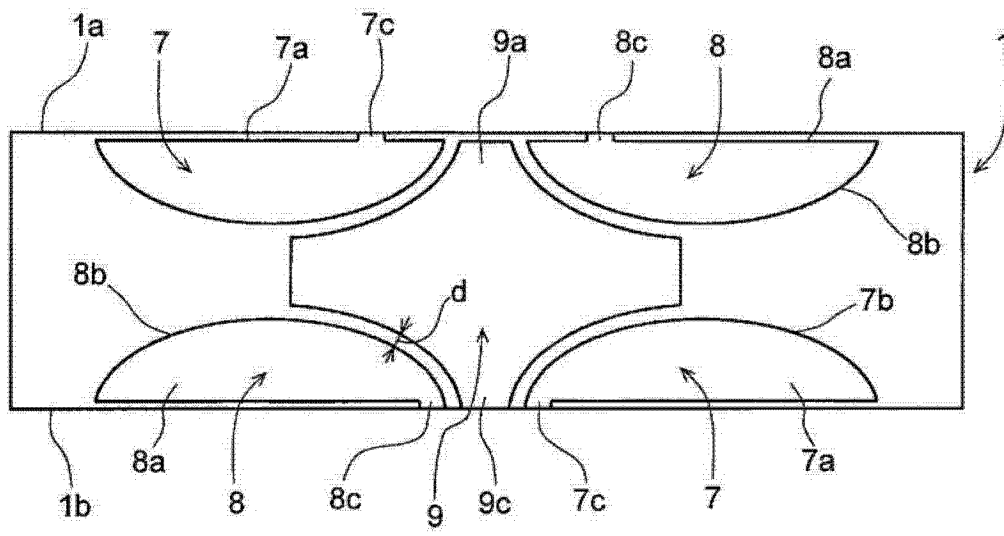


图 1

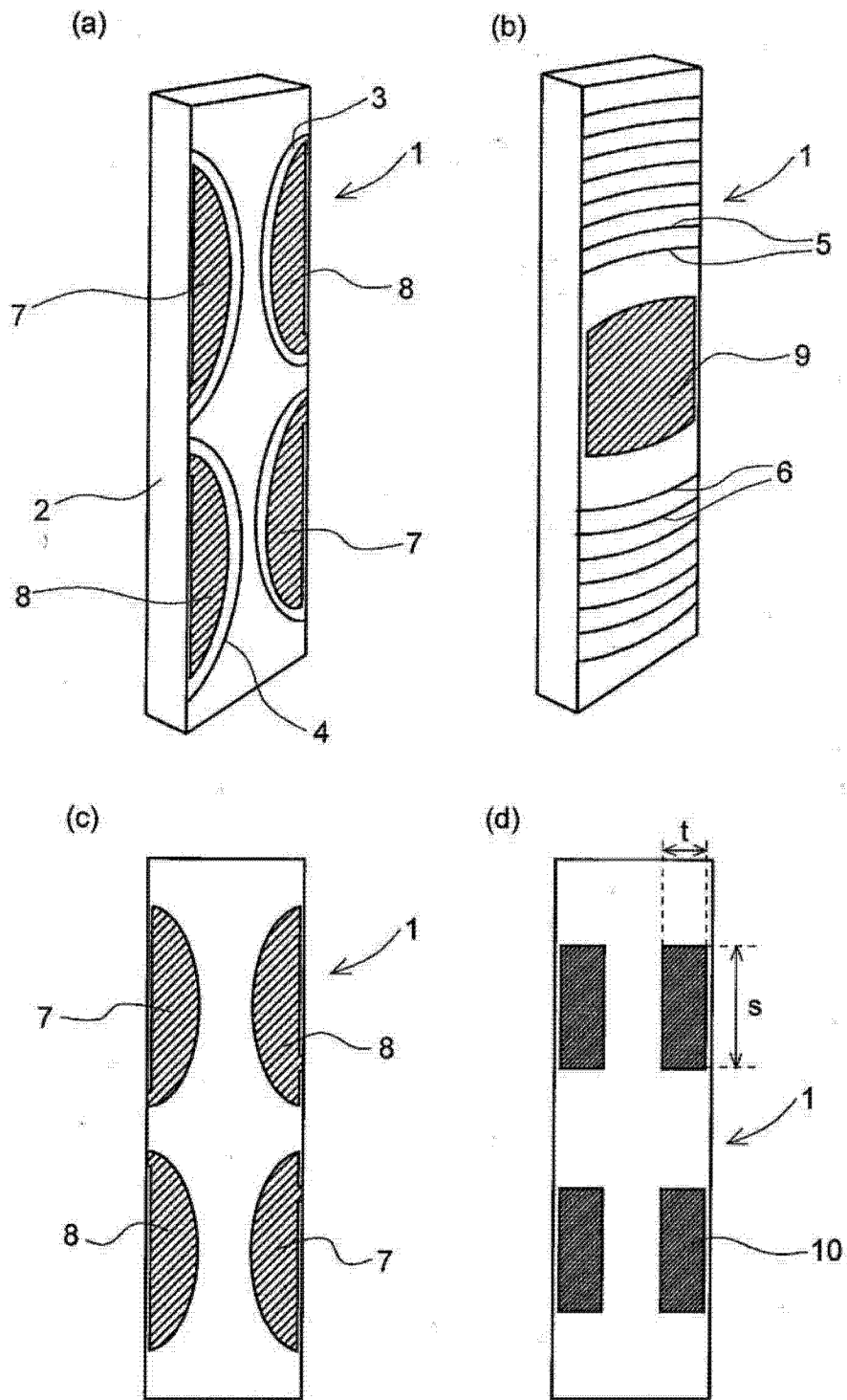


图 2

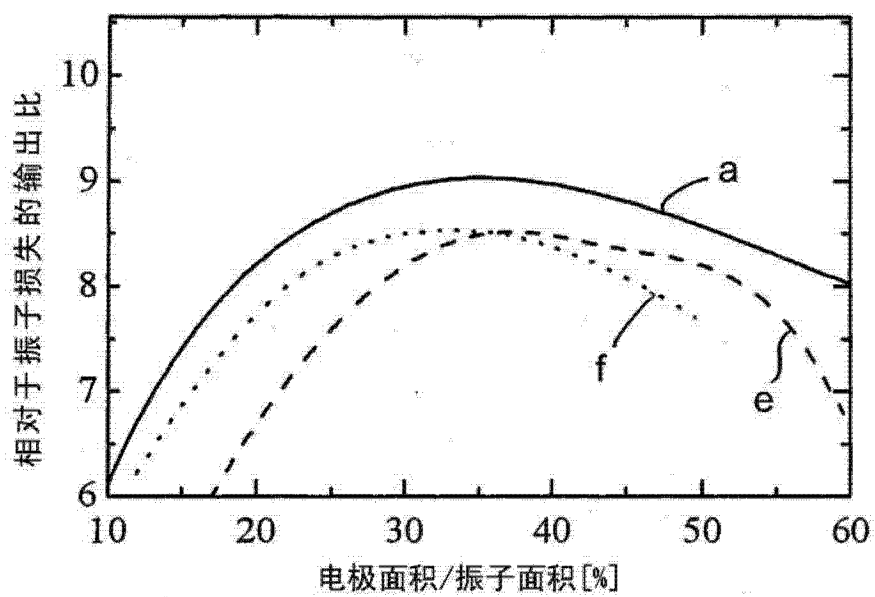
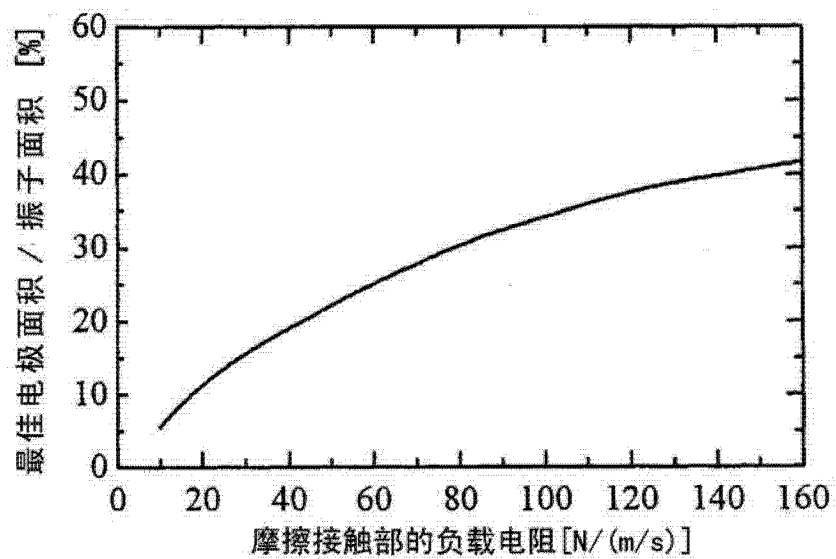


图 3

(a)



(b)

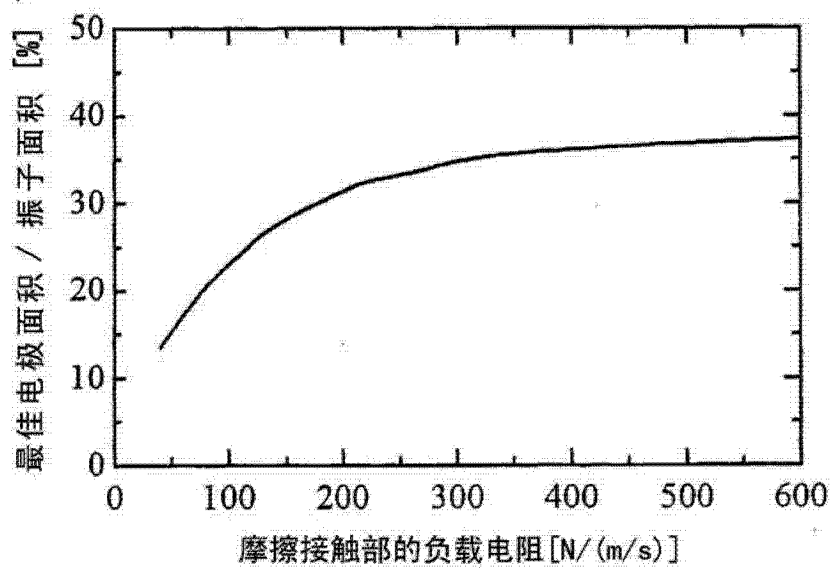


图 4

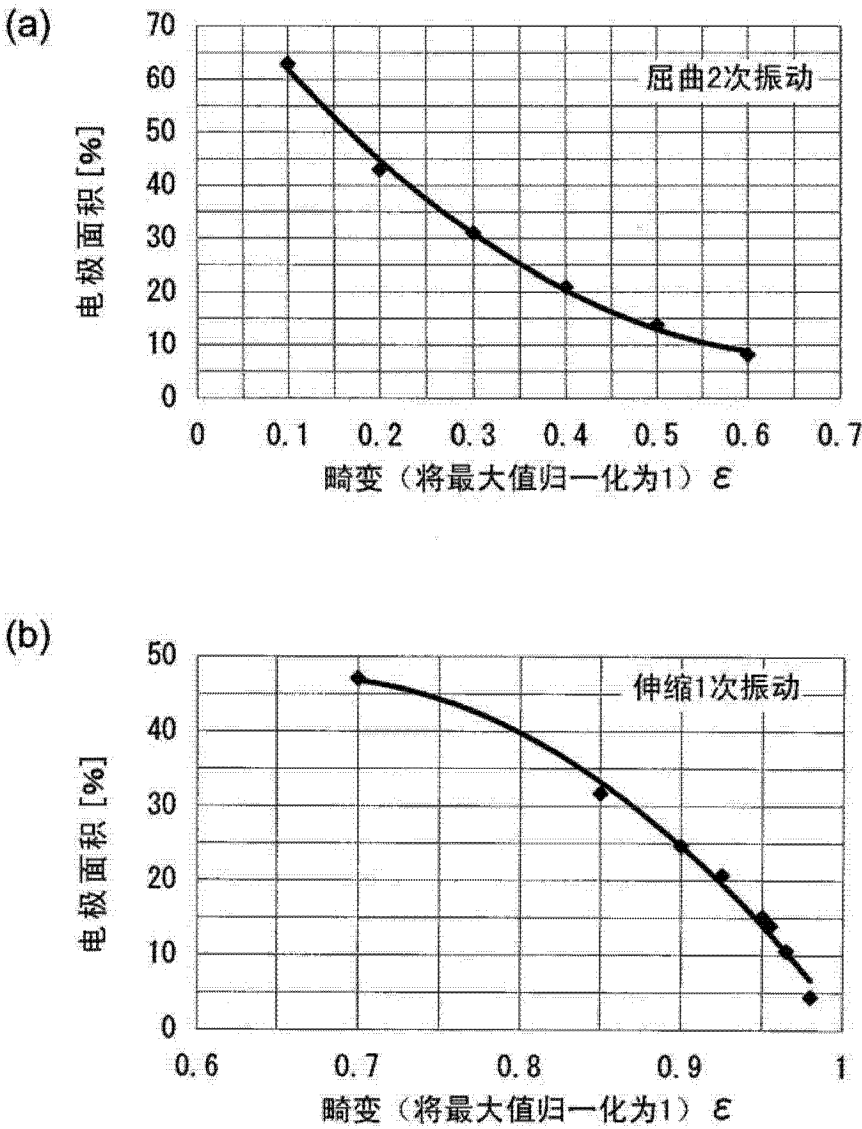


图 5

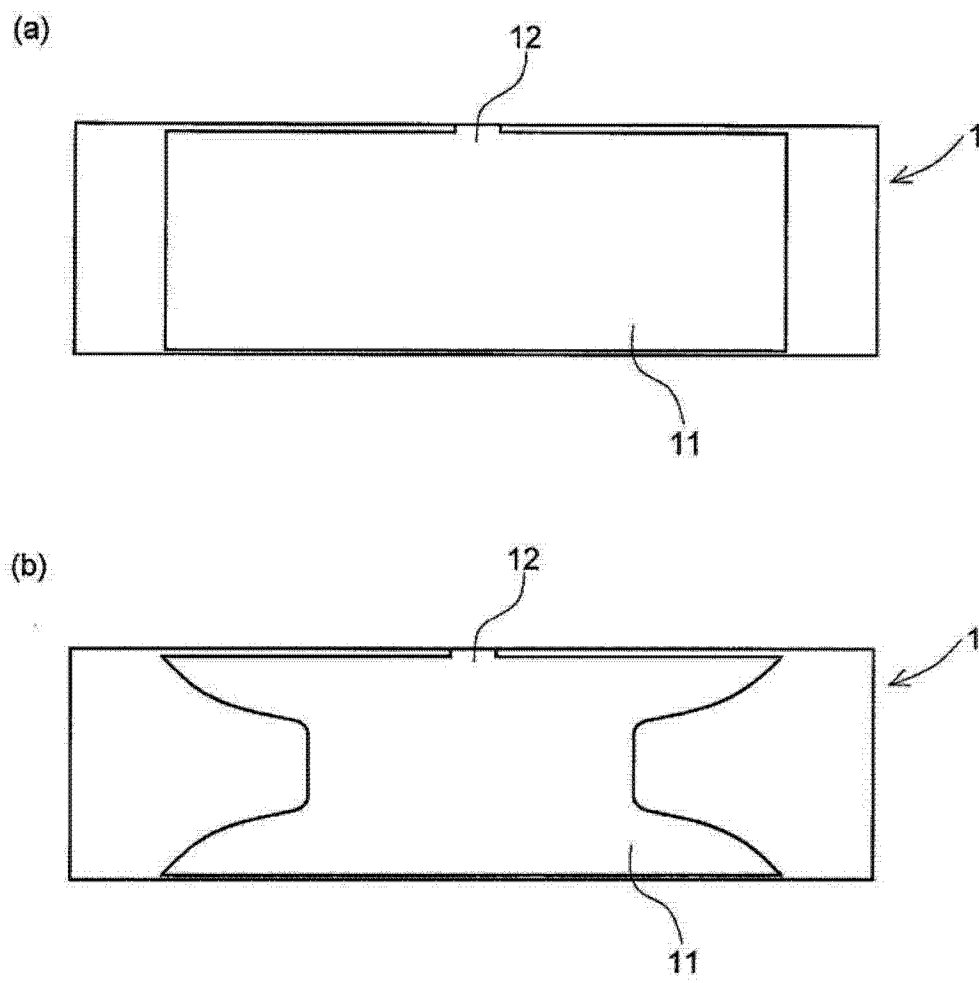


图 6