



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 108610043 A

(43)申请公布日 2018.10.02

(21)申请号 201810497740.9 *C04B 35/622*(2006.01)

(22)申请日 2015.01.29 *H01L 41/09*(2006.01)

(30)优先权数据 *H01L 41/187*(2006.01)
2014-014470 2014.01.29 JP *H01L 41/257*(2013.01)
H01L 41/43(2013.01)

(62)分案原申请数据 *B06B 1/06*(2006.01)
201510044767.9 2015.01.29 *H02N 2/04*(2006.01)
B05B 17/06(2006.01)

(71)申请人 佳能株式会社
地址 日本东京

(72)发明人 林润平 渡边隆之 上林彰
武田宪一

(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 宋岩

(51)Int.Cl.
C04B 35/468(2006.01)

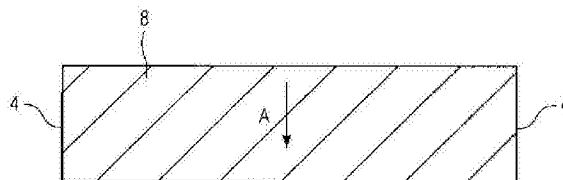
权利要求书2页 说明书26页 附图10页

(54)发明名称

压电陶瓷、制造压电陶瓷的方法、压电元件和电子装置

(57)摘要

本申请涉及压电陶瓷、制造压电陶瓷的方法、压电元件和电子装置。压电陶瓷包括含有钛酸钡的钙钛矿型金属氧化物和Mn。当压电陶瓷的沿着剩余极化的方向的表面在室温中受到X射线衍射分析时,(002)面的衍射强度与(200)面的衍射强度的比值为1.0或更大,(002)面的衍射峰具有 1.2° 或更小的半宽度,并且压电陶瓷的c轴的晶格常数c及其a轴的晶格常数a满足关系: $1.004 \leq c/a \leq 1.010$ 。



1. 一种振动器件,其特征在于,包括:

压电元件,所述压电元件包括:

隔膜,在所述隔膜上设置有所述压电元件;

第一电极,

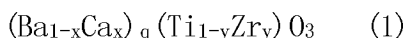
第二电极,

由具有剩余极化的压电陶瓷制成的压电材料部,包括钙钛矿型金属氧化物和Mn,

其中,当所述压电陶瓷的沿着剩余极化的方向的表面为在室温中受到X射线衍射分析的测量表面时,测量表面的(002)面的衍射强度与测量表面的(200)面的衍射强度的比值为1.0或更大,(002)面的衍射峰具有 1.2° 或更小的半宽度,并且压电陶瓷的c轴的晶格常数c及其a轴的晶格常数a满足关系 $1.004 \leq c/a \leq 1.010$,

其中,第一电极和第二电极与剩余极化的方向相交,并且

其中,钙钛矿型金属氧化物被表示为:



其中,x表示满足 $0.125 \leq x \leq 0.300$ 的数字,y表示满足 $0.041 \leq y \leq 0.074$ 的数字,并且q表示满足 $0.986 \leq q \leq 1.020$ 的数字,

其中,当压电材料部的压电陶瓷的更接近隔膜的表面是其底表面,并且压电陶瓷的与底表面相对的表面是其前表面时,在室温中底表面附近的测量表面的(002)/(200)衍射强度比值A与前表面附近的测量表面的(002)/(200)衍射强度比值B满足关系 $A > B$ 。

2. 根据权利要求1所述的振动器件,其中,相对于钙钛矿型金属氧化物的100份重量,按金属换算的Mn含量在0.04份重量到0.50份重量的范围内。

3. 根据权利要求1所述的振动器件,还包括Bi。

4. 根据权利要求3所述的振动器件,其中,相对于钙钛矿型金属氧化物的100份重量,按金属换算的Bi含量在0.04份重量到0.80份重量的范围内。

5. 根据权利要求1所述的振动器件,其中,压电陶瓷具有0.200或更大的机电耦合系数。

6. 根据权利要求1所述的振动器件,其中,压电陶瓷具有400或更大的机械品质因数。

7. 根据权利要求1所述的振动器件,其中,压电陶瓷在室温中具有2500或更小的相对介电常数。

8. 一种制造如权利要求1中所述的振动器件的方法,其特征在于,所述方法包括:

形成原料粉末坯体;

烧结坯体以产生压电陶瓷;

在压电陶瓷上形成第一电极和第二电极;以及

使压电陶瓷极化,

其中,形成第一电极和第二电极包括在高达 700°C 至 900°C 的最高温度的温度中加热压电陶瓷以及第一电极和第二电极,以及以 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ 或更高的速率冷却压电陶瓷以及第一电极和第二电极。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中,压电陶瓷的极化包括加热压电陶瓷、向压电陶瓷施加直流电压并且然后在保持施加电压的同时以 $100^\circ\text{C}/\text{h}$ 或更高的速率冷却压电陶瓷。

10. 根据权利要求1所述的振动器件,其中,压电材料部的压电陶瓷与隔膜满足关系 $\alpha_1 < \alpha_2$,其中, α_1 表示压电陶瓷在室温中的热膨胀系数,并且 α_2 表示隔膜在室温中的热膨胀系数。

11. 一种喷液头,其特征在于,包括:
液体室,包括设有如权利要求1中所述的振动器件的振动部;以及
限定与液体室连通的喷口的部分。
12. 一种超声电机,其特征在于,包括:
如权利要求1中所述的振动器件;以及
与振动器件接触的移动器件。
13. 一种光学装置,其特征在于,包括:
驱动部,设有如权利要求12中所述的超声电机。
14. 一种振动单元,其特征在于,包括如权利要求1中所述的振动器件。
15. 一种除尘单元,其特征在于,包括:
振动部,所述振动部包括如权利要求14中所述的振动单元。
16. 一种图像感测装置,其特征在于,包括:
如权利要求15中所述的除尘单元;以及
图像感测元件单元,具有光接收面,
其中,除尘单元设置在光接收面处。
17. 一种电子装置,其特征在于,包括如权利要求1中所述的振动器件。
18. 一种压电声学部件,其特征在于,包括如权利要求1中所述的振动器件。

压电陶瓷、制造压电陶瓷的方法、压电元件和电子装置

[0001] 本申请是申请日为2015年01月29日、申请号为201510044767.9、题为“压电陶瓷、制造压电陶瓷的方法、压电元件和电子装置”的中国发明专利申请的分案申请。

技术领域

[0002] 本申请涉及无铅且无碱金属的压电陶瓷以及制造压电陶瓷的方法。本申请还涉及压电元件、振动器件、喷液头、喷液装置、超声电机、光学装置、振动单元、除尘单元、图像感测装置和电子装置，每项都使用了压电陶瓷。

背景技术

[0003] 压电陶瓷典型地是具有钙钛矿结构的金属氧化物，诸如锆钛酸铅（后文称为PZT）。但是PZT含有影响环境的铅。这是个问题。所以，期望无铅压电陶瓷。

[0004] 已经公知钛酸钡为无铅压电陶瓷。另外，为了改进无铅压电陶瓷的特性，一直在研发钛酸钡基材料。

[0005] 日本专利公开No.2009-215111公开了一种钛酸钡基的压电陶瓷，其中Ca置换了钛酸钡A位的一部分并且Zr置换了钛酸钡B位的一部分以增强钛酸钡的压电性质。这种材料就压电常数而言优于钛酸钡，但是其机械品质因数低。

[0006] Japanese Journal of Applied Physics 2010年第49卷09MD03-1至09MD03-4公开了含有置换了钛酸钡A位的一部分的Ca并且还含有Mn和Fe或Cu的钛酸钡基材料。这种材料就机械品质因数而言优于钛酸钡，但是其机电耦合系数 k_{31} 低至0.119。

[0007] 公知现有技术中的压电陶瓷不同时满足对机械品质因数和机电耦合系数的要求，并且使用这种压电陶瓷的压电元件不期望地消耗大功率。

发明内容

[0008] 本申请提供了具有高机械品质因数并且展现出低功耗的无铅且无碱金属的压电陶瓷，以及制造所述压电陶瓷的方法。本申请还提供了压电元件、振动器件、喷液头、喷液装置、超声电机、光学装置、振动单元、除尘单元、图像感测器件和电子装置，每项都使用了所述压电陶瓷。

[0009] 根据本申请的实施例的压电陶瓷具有剩余极化 (remanent polarization)。所述压电陶瓷包含含有钛酸钡的钙钛矿型金属氧化物和Mn。当压电陶瓷的表面沿着剩余极化的方向在室温中受到X射线衍射分析时，(002)面的衍射强度与(200)面的衍射强度的比值为1.0或更大，并且(002)面的衍射峰具有 1.2° 或更小的半宽度。另外，压电陶瓷的c轴的晶格常数c及a轴的晶格常数a满足关系： $1.004 \leq c/a \leq 1.010$ 。

[0010] 根据本申请的实施例的制造压电陶瓷的方法意在生产上述压电陶瓷。该方法包括形成原料粉末坯体的步骤；以及烧结坯体以产生压电陶瓷的步骤，所述烧结步骤包括以高达 1100°C 至 1400°C 的最高温度的温度加热坯体，以及以 $50^\circ\text{C}/\text{h}$ 或更大的冷却速率冷却坯体。

[0011] 根据本申请的实施例的压电元件包括第一电极、压电陶瓷制成的压电材料部以及第二电极。第一和第二电极与压电陶瓷的剩余极化的方向相交。

[0012] 根据本申请的实施例的制造压电元件的方法意在制造上述压电元件。该方法包括形成原料粉末坯体的步骤；烧结坯体以产生压电陶瓷的步骤；在压电陶瓷上形成第一和第二电极的步骤；以及使压电陶瓷极化的步骤。形成第一和第二电极的步骤包括以高达700°C至900°C的最高温度的温度加热压电陶瓷以及第一和第二电极，以及以100°C/h或更大的冷却速率冷却压电陶瓷以及第一和第二电极。

[0013] 根据本申请的实施例的振动器件包括压电元件以及其上设置压电元件的隔膜。当压电材料部的压电陶瓷的更接近隔膜的表面是其底表面，并且压电陶瓷的与底表面相对的表面是其前表面时，底表面附近的测量表面的(002)/(200)衍射强度比值A与前表面附近的测量表面的(002)/(200)衍射强度比值B在室温中满足关系 $A > B$ 。

[0014] 根据本申请的实施例的喷液头包括液体室和限定与液体室连通的喷口的部分，所述液体室包括设有上述压电元件的振动部。

[0015] 根据本申请的实施例的喷液头包括液体室和限定与液体室连通的喷口的部分，所述液体室包括设有上述振动器件的振动部。

[0016] 根据本申请的实施例的喷液装置包括其上放置有转印介质的部分以及喷液头。

[0017] 根据本申请的实施例的超声电机包括上述振动器件，以及与振动器件接触的移动器件。

[0018] 根据实施例的光学装置包括设有超声电机的驱动部。

[0019] 根据本申请的实施例的振动单元包括振动器件，所述振动器件包括上述压电元件和其上设置压电元件的隔膜。

[0020] 根据本申请的实施例的除尘单元包括设有振动单元的振动部。

[0021] 根据本申请的实施例的图像感测装置包括除尘单元，以及具有光接收面的图像感测元件单元。除尘单元设置在图像感测单元的光接收面处。

[0022] 根据本申请的实施例的电子装置包括压电声学部件，所述压电声学部件包括上述压电元件。

[0023] 本申请提供了具有高机械品质因数并且展现出低功耗的无铅和碱金属的压电陶瓷，以及制造所述压电陶瓷的方法。

[0024] 本申请还提供了压电元件、振动器件、喷液头、喷液装置、超声电机、光学装置、振动单元、除尘单元、图像感测装置和电子装置，每项都使用了所述压电陶瓷。

[0025] 参照附图阅读示例性实施例的以下描述，本发明的其他特征将变得明白。

附图说明

[0026] 图1是根据本申请的实施例的压电陶瓷的截面图；

[0027] 图2是例示了如何确定实施例的压电陶瓷的剩余极化的方向的示意图；

[0028] 图3是例示了实施例的压电陶瓷中的晶粒的a畴(a domain)和c畴(c domain)的概念图；

[0029] 图4是例示了实施例的压电陶瓷的X射线衍射分析的示意图；

[0030] 图5是根据本申请的实施例的压电元件的截面图；

- [0031] 图6是根据本申请的实施例的振动器件的示意图；
- [0032] 图7A和图7B是根据本申请的实施例的喷液头的示意图；
- [0033] 图8是根据本申请的实施例的喷液装置的示意图；
- [0034] 图9是根据本申请的实施例的喷液装置的示意图；
- [0035] 图10是根据本申请的实施例的超声电机的示意图；
- [0036] 图11A和11B是根据本申请的实施例的光学装置的示意图；
- [0037] 图12是根据本申请的实施例的光学装置的示意图；
- [0038] 图13A和图13B是根据本申请的实施例的用作除尘单元的振动单元；
- [0039] 图14A至14C是用在除尘单元中的压电元件的示意图；
- [0040] 图15A和图15B是例示了除尘单元的振动原理的示意图；
- [0041] 图16是根据本申请的实施例的图像感测装置的示意图；
- [0042] 图17是根据本申请的实施例的图像感测装置的示意图；
- [0043] 图18是根据本申请的实施例的电子装置的示意图。

具体实施方式

[0044] 现在将描述本申请的一些实施例。

[0045] 根据实施例的压电陶瓷具有剩余极化并包含含有钛酸钡和Mn的钙钛矿型金属氧化物。当压电陶瓷的沿着剩余极化方向的表面在室温中受到X射线衍射分析时，(002)面的衍射强度与(200)面的衍射强度的比值(后文称为(002)/(200)衍射强度比值)为1.0或更大，(002)面的衍射峰具有 1.2° 或更小的半宽度，并且其c轴的晶格常数c及其a轴的晶格常数a满足关系： $1.004 \leq c/a \leq 1.010$ 。

[0046] 在本实施例中，通过控制钛酸钡基陶瓷的晶体结构提供了具有高机械品质因数并且展现出低功耗的无铅和碱金属的压电陶瓷。

[0047] 本实施例的压电陶瓷包含含有钛酸钡和Mn的钙钛矿型金属氧化物。

[0048] 在本实施例中使用的钙钛矿型金属氧化物的钙钛矿结构是指理想地具有如在岩波理化学词典第五版(Iwanami Dictionary of Physics and Chemistry, 5th edition)(日文, 岩波书店出版社, 1998)中的描述的立方晶系结构的钙钛矿结构。具有钙钛矿结构的金属氧化物一般用式 ABO_3 表示。钙钛矿结构中的元素A和B分别在A位和B位以离子的形式存在。例如, 在立方晶系的单位晶格的情况中, 元素A位于立方体的顶点, 而元素B位于立方体的中心。元素O以负氧离子的形式位于立方体的面的中心。包含钛酸钡的钙钛矿型金属氧化物由化学式 $BaTiO_3$ 表示。通过例如X-射线衍射或电子衍射的晶体结构分析, 可以确认压电陶瓷具有钙钛矿结构。如果元素A和B以及氧元素按照坐标各自从单位晶格的相应位置被替换, 则钙钛矿结构的单位晶格就被扭曲为例如四方相、菱方相或斜方相的晶体。从获得具有良好机电耦合系数的压电陶瓷的角度来看, 钙钛矿型金属氧化物在室温中具有四方相的晶体结构是有利的。

[0049] 本实施例的压电陶瓷包含Mn。这增加了在室温中的机械品质因数 Q_m 。术语压电陶瓷的机械品质因数 Q_m 是指当压电陶瓷作为压电振荡器评估时, 表示通过振动的弹性损失的系数。机械品质因数 Q_m 的量值由阻抗测量中的谐振曲线的锐度定义。因此, 机械品质因数是表示压电振荡器的谐振锐度的常数。当使用压电陶瓷的压电元件在谐振频率周围工作时,

该元件与机械品质因数 Q_m 的量值成比例地位移。

[0050] 相对于钙钛矿型金属氧化物的100份重量,按金属换算的Mn含量可以在0.04份重量到0.50份重量的范围内。在本说明书中,按金属换算的诸如Mn之类的副成分的含量是根据通过X射线荧光分析(XRF)、ICP发射光谱法、原子吸收光谱法等测量的构成金属氧化物的元素的总重量转换的、副成分的重量与作为压电陶瓷的主要构成的金属氧化物的100份重量的比例。

[0051] 当Mn含量在上述范围内时,压电陶瓷能够提供满意的位移。如果Mn含量小于0.04份重量,在室温中的机械品质因数 Q_m 可能下降到小于400。在室温中具有小于400的机械品质因数 Q_m 的压电陶瓷即使在谐振频率周围也不能提供足够的位移,从而需要更大的输入电压来驱动压电陶瓷。因此压电陶瓷的功耗(驱动电力)可能增大。另一方面,如果Mn含量高于0.50份重量,则压电陶瓷的机电耦合系数 k_{31} 降低,从而增大驱动压电陶瓷所需的输入电压。这可能不期望地增加功耗。期望地,机械品质因数 Q_m 为800或更大。当它为800或更大时,功耗不增加。更期望地,机械品质因数 Q_m 为1200或更大。

[0052] 本文使用的功耗是指由压电陶瓷消耗的功率,并且由驱动压电陶瓷所消耗的功率和与压电陶瓷的电容成比例地消耗的功率之和表示。驱动压电陶瓷所消耗的功率后文称为驱动电功率,并且与压电陶瓷的电容成比例地消耗的功率被称为电容电功率。当压电陶瓷具有高机电耦合系数 k_{31} 或高机械品质因数 Q_m 时,压电陶瓷的驱动电功率趋于减小。另一方面,当压电陶瓷具有低相对介电常数 ϵ_r 和高机电耦合系数 k_{31} 时,电容电功率趋于减小。

[0053] 本实施例的压电陶瓷功耗可以使用附接到其上的电极以功率表测量。电容电功率(CW)与压电陶瓷的电容(C)、驱动频率(f)和所施加的电压(V)乘以 2π 的乘积成比例。驱动电功率可以通过把功率表上的读数减去电容电功率来确定。

[0054] 压电陶瓷的相对介电常数 ϵ_r 可以使用以阻抗分析仪或LCR表测量的电容来计算。

[0055] 压电陶瓷的机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m 可以通过根据日本电子和信息技术工业协会的标准(JEITA EM-4501)的使用以阻抗分析仪测量的谐振频率和反谐振频率的测量结果的计算来确定。这种方法被称为谐振-反谐振法。

[0056] 本实施例的压电陶瓷具有剩余极化。

[0057] 术语剩余极化是指当未对压电陶瓷施加外部电场时压电陶瓷中残留的极化。通过对压电陶瓷进行极化,压电陶瓷的自发极化朝向某方向,从而产生剩余极化。可以通过向压电陶瓷施加电压并测量所施加的电场E与极化量P之间的关系(P-E磁滞曲线)来获知压电陶瓷是否具有剩余极化。

[0058] 当本实施例的压电陶瓷的沿着剩余极化方向的表面(后文称为测量表面)在室温中受到X射线衍射分析时,(002)面的衍射强度与(200)面的衍射强度的比值为1.0或更大。有利地,其为1.06或更大。

[0059] 图1是根据实施例的压电陶瓷的截面图,示出了矩形的压电陶瓷8。在图中,箭头A指示剩余极化方向,而压电陶瓷8的沿着剩余极化方向的表面4是受到X射线衍射分析的测量表面。压电陶瓷8的形状不限于矩形的平行六面体,并且可以是圆形或多面的形状。

[0060] 剩余极化方向可以由以下方法确定。图2例示了该方法,其中箭头A指定剩余极化方向。首先,极化的压电陶瓷以角 β (10的倍数,满足 $0^\circ \leq \beta < 360^\circ$)切断。在切面5上设有电极,并且使用电极来测量压电常数。针对不同的 β 值重复该测量,以检查压电常数的 β 依赖性。剩

余极化方向平行于 90° 与压电常数达到最大时的角度 β 之和的角度($\beta+90^\circ$)。考虑到切割尺寸误差和测量误差,压电常数达到最大时的 β 可能包含 $\pm 10^\circ$ 的误差。使用d33测量仪便利了压电常数的测量。

[0061] 在本实施例的压电陶瓷中,当测量表面受到X射线衍射分析时,(002)面的衍射强度与(200)面的衍射强度的比值(后文称为(002)/(200)衍射强度比值)为1.0或更大。在该测量中,(002)和(200)面的衍射强度分别是由 $2\theta-\theta$ 方法测量的与准立方体标记法中的(002)和(200)面对应的衍射峰的最大强度。(002)和(200)面的衍射峰的位置可以通过把压电陶瓷的X射线衍射频谱和钛酸钡的已知数据(例如,ICDD(The International Centre for Diffraction Data),PDF-2No.05-0626)进行比较来确定。通过在图1中所示的压电陶瓷的与极化方向相交的表面上向压电陶瓷提供电极来制备矩形压电元件的测量表面的X射线衍射分析,在所述矩形压电元件的测量表面的X射线衍射分析中,(002)/(200)衍射强度比值为1.0或更大的事实暗示了当从测量表面观察时测量表面处的压电陶瓷包含的 c 畴多于 a 畴。在这种状态中,本实施例的压电陶瓷在与电场施加方向垂直的方向上具有满意的机械品质因数 Q_m 。所以,通过在与电场施加方向垂直的方向上驱动使用了本申请实施例的压电陶瓷的压电元件能够降低该元件的驱动电功率。另一方面,如果当测量表面在室温中受到X射线衍射分析时(002)/(200)衍射强度比值小于1.0,也就是说,如果当从测量表面观察时测量表面处的压电陶瓷包含的 a 畴多于 c 畴,则在与电场施加方向垂直的方向上的机械品质因数 Q_m 减小。术语“畴”是指自发极化的方向对齐的区域。室温一般为 25°C 。但是在本说明书中,室温是指 20°C 至 30°C 范围内的温度,在此范围内压电陶瓷具有与在 25°C 基本上相同的性质和效果。

[0062] 图3是例示了本实施例的压电陶瓷中的晶粒的 a 畴和 c 畴的示意图。图3示出了四方相的压电陶瓷的 a 畴和 c 畴的概念,其中箭头B和C指定自发极化方向。 a 畴是指四方晶系中的其中自发极化朝向 $[h00]$ 或 $[0k0]$ 方向以及其相反方向的区域。 c 畴是指其中自发极化朝向 $[001]$ 方向以及其相反方向的区域。四方相的钛酸钡中的自发极化朝向 c 轴。当从电极表面观察 c 畴多于 a 畴时,本实施例的压电陶瓷总体上具有令人满意的机电耦合系数 k_{31} 。因此,对于本实施例的压电陶瓷,当与剩余极化方向相交的表面在室温中受到X射线衍射分析时,(002)/(200)衍射强度比值为1.0或更大是有利的。

[0063] 期望地,与剩余极化方向相交的表面的晶体结构由不受加工应变(work strain)影响的方法估算。这是因为本实施例的压电陶瓷主要是由包含具有比PZT更高的杨氏模量的钛酸钡的钙钛矿型金属氧化物制成,从而有可能通过例如磨光、磨削、刨削或切除来经受待加工表面周围的加工应变(可以称为位错)。所以,通过使用硅胶抛光来执行最后的修整是有利的。这种抛光可以导致表面粗糙度为 200nm 或更小的平滑表面。在该操作中,被加工的表面期望地在 $10\mu\text{m}$ 或更大的深度处去除。表面粗糙度可以根据JIS B 0651-2001用针式表面粗糙度测试仪来测量。在此提到的表面粗糙度是指中心线平均表面粗糙度 R_a 。

[0064] X射线衍射分析的条件不受特别限制,并且可以通过使用平行射束的 $2\theta-\theta$ 方法或者任何其他传统方法执行。X射线衍射分析典型地如下执行。

[0065] $\text{Cu-K}\alpha$ 管被用作辐射源。通过把散射角 2θ 设置在 20° 至 50° 的范围内,可以得到(002)/(200)面的信息。入射光束的期望的点直径取决于测量表面的面积,但是期望地使得可以用入射光束照射测量表面的整个区域。另外,从确保满意强度的角度来看,扫描速度可

以设置在0.10度/分钟到1.00度/分钟的范围内,并且从获得测量结果的高重复度的角度来看,采样间隔设置在0.001度到0.020度的范围内。图4是例示了本实施例的压电陶瓷的X射线衍射分析的示意图,示出了 θ 与 2θ 之间的关系。如果使用多轴衍射计,则测量表面4与入射光束的法线之间的角度 ψ 被设置为 0° 。

[0066] 在室温中本实施例的压电陶瓷的c轴的晶格常数c与其a轴的晶格常数a的比值满足关系 $1.004 \leq c/a \leq 1.010$ ($c > a$)。当c/a比值在此范围内时,压电陶瓷具有令人满意的机电耦合系数 k_{31} 。所以,能够降低使用了本实施例的压电陶瓷的压电元件的驱动电功率。另一方面,如果c/a比值小于1.004,则压电元件的晶体结构接近于立方晶系,使得在室温中机电耦合系数 k_{31} 减小。因此,驱动压电元件所需的输入电压增大;因此驱动电功率不期望地增大。另外,如果c/a比值大于1.010,则极化所需的电压也不期望地增大。

[0067] 可以使用根据由 2θ - θ 方法观察到的衍射峰得到的面间隔,来确定压电陶瓷的晶格常数a和c。(200)面的间隔 $d_{(200)}$ 、(002)面的间隔 $d_{(002)}$ 由下面的方程式表示,同样晶格常数a和c也由下面的方程式表示,其中 θ_{200} 和 θ_{002} 分别表示(200)面和(002)面的衍射峰为最大值时的角度。这些晶体面通过准立方体标记法表示。

$$[0068] \quad d_{(200)} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_{200}}$$

$$[0069] \quad d_{(002)} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta_{002}}$$

$$[0070] \quad a = 2 \cdot d_{(200)}$$

$$[0071] \quad c = 2 \cdot d_{(002)}$$

[0072] 从获得令人满意的机电耦合系数 k_{31} 的角度来看,在室温中压电陶瓷具有四方晶体结构是有利的。

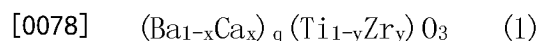
[0073] 在本实施例中,在室温中压电陶瓷的测量表面的(002)面的衍射峰可以具有 1.2° 或更小的半宽度。有利地其为 0.5° 或更小。术语“半宽度”是指在衍射峰曲线上峰强度为最大峰强度P的一半($P/2$)时的角度 θ_1 与 θ_2 ($\theta_2 > \theta_1$)之间的差。半宽度可以被称为在最大值一半处的全宽度。为了计算最大强度的量值,必须减去基于背景的衍射强度。

[0074] 如果在室温中(002)面的衍射峰具有 1.2° 或更小的半宽度,则压电陶瓷具有令人满意的机械品质因数 Q_m 。另一方面,如果(002)面的衍射峰的半宽度大于 1.2° ,则陶瓷不能具有足以展示良好机械品质因数 Q_m 的结晶度。

[0075] 本实施例的压电陶瓷还可以包含Bi。压电陶瓷中Bi的存在提高了陶瓷的相对密度。Bi含量可以在相对于钙钛矿型金属氧化物的100份重量的0.04份重量到0.80份重量的范围内。

[0076] 如果Bi含量小于0.04份重量,则与不包含Bi的陶瓷相比,压电陶瓷的相对密度不可能增大。另一方面,如果Bi含量高于0.80份重量,则机电耦合系数 k_{31} 减小,从而增大驱动压电元件所需的输入电压。这会不期望地增大驱动电功率。

[0077] 本实施例的压电陶瓷的钙钛矿型金属氧化物可以由以下通式(1)表示:



[0079] 在通式(1)中,x表示满足 $0.125 \leq x \leq 0.300$ 的数字,y表示满足 $0.041 \leq y \leq 0.074$ 的

数字,并且 q 表示满足 $0.986 \leq q \leq 1.020$ 的数字。

[0080] 当 x 、 y 和 q 在上述范围内时,在室温中压电陶瓷展示了较高的机械品质因数 Q_m 和令人满意的机电耦合系数 k_{31} 。

[0081] 钙钛矿型金属氧化物的通式(1)表示Ba和Ca出现在A位,而Ti和Zr出现在B位。但是,部分Ba或Ca也可以出现在B位。类似地,部分Ti或Zr也可以出现在A位。在通式(1)中,B位的元素与氧(O)元素的摩尔比值是1比3。即使这个比值稍微变化,只要金属氧化物的主相具有钙钛矿结构,该金属氧化物就在本申请的范围之内。

[0082] 在本实施例中,压电陶瓷的A位的Ca的摩尔份数 x 期望地满足 $0.125 \leq x \leq 0.300$ 。如果 x 小于0.125,则室温中的相对介电常数 ϵ_r 可能增大,从而增大电容电功率。相反,如果 x 大于0.300,则机械品质因数 Q_m 减小,从而增大驱动压电陶瓷所需的输入电压。这会不期望地增大驱动电功率。更期望地, x 满足 $0.125 \leq x \leq 0.190$ 。

[0083] 在本实施例中,压电陶瓷B位的Zr的摩尔份数 y 可以满足 $0.041 \leq y \leq 0.074$ 。如果 y 大于0.074,则室温中的相对介电常数 ϵ_r 增大。这会不期望地增大电容电功率。相反,如果 y 小于0.041,则机电耦合系数 k_{31} 减小,从而增大驱动压电陶瓷所需的输入电压。这会不期望地增大驱动电功率。更期望地, y 满足 $0.050 \leq y \leq 0.074$ 。

[0084] 在本实施例的压电陶瓷中,A位的Ba和Ca的摩尔数与B位的Ti和Zr的摩尔数的比值 q 期望地满足 $0.986 \leq q \leq 1.020$ 。如果 q 小于0.986,则压电陶瓷的晶体颗粒可能异常地生长,并且导致机械强度降低。相反,如果 q 大于1.020,则使晶体颗粒生长所需的温度过度升高。这可能使得难以在普通熔炉中烧结陶瓷。“难以烧结”意味着产生的陶瓷中具有气孔或瑕疵,或者不具有足够的密度。期望地, q 满足 $0.998 \leq q \leq 1.016$ 。Ba和Ca的总摩尔数 A_1 与Ti、Zr和Mn的总摩尔数 B_1 的比值可以满足 $0.993 \leq A_1/B_1 \leq 0.998$ 。当比值 A_1/B_1 在这个范围内时,本实施例的压电陶瓷展现出令人满意的机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数。这意味可以用低功耗来驱动压电元件。

[0085] 期望地,压电陶瓷的机电耦合系数 k_{31} 在室温中为0.200或更大。

[0086] 当机电耦合系数 k_{31} 在室温中为0.200或更大时,驱动压电元件所需的输入功率可以降低,从而降低驱动电功率。相反,如果机电耦合系数 k_{31} 小于0.200,则驱动压电陶瓷所需的输入电压可能增大。这增大了驱动电功率。

[0087] 期望地,压电陶瓷的相对介电常数 ϵ_r 在室温中为2500或更小。如果相对介电常数超过了2500,则压电元件的电容电功率可能增大。

[0088] 在本实施例中,压电陶瓷的晶粒可以具有 $0.5\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 范围内的平均等效圆直径。术语“平均等效圆直径”是指多个晶粒的等效圆直径的平均值。当晶粒的平均等效圆直径在该范围内时,压电陶瓷可以展现出令人满意的机械品质因数和机械强度。如果平均等效圆直径小于 $0.5\mu\text{m}$,则压电陶瓷的压电性质会不好。相反,如果它大于 $10\mu\text{m}$,则机械强度会不期望地降低。有利地,平均等效圆直径在 $1.9\mu\text{m}$ 至 $9.0\mu\text{m}$ 的范围内。

[0089] 本文使用的术语“等效圆直径”是指“投影面积等效的圆直径”,它是当通过显微镜测量时具有与颗粒的投影面积等效的面积之圆的直径。在本实施例中,等效圆直径可以由任何方法测量,没有特别的限制。例如为了测量,可以通过极化显微镜或电子显微镜对压电陶瓷的表面进行拍照,并且对照片的图像进行处理。可以根据晶粒尺寸来选择地使用光学显微镜和电子显微镜。

[0090] 在本实施例中,压电陶瓷的相对密度可以在93%至100%的范围内。相对密度是压电陶瓷的测出密度与使用压电陶瓷的晶格常数和陶瓷中的元素的原子重量计算出的理论密度的比值。晶格常数可以通过例如X射线衍射分析来估计。密度可以通过例如阿基米德法来测量。

[0091] 小于93%的相对密度会导致机电耦合系数 k_{31} 或机械品质因数 Q_m 令人不满意,或者机械强度降低。期望地,压电陶瓷的相对密度在95%至100%的范围内,更期望地,在97%至100%的范围内。

[0092] 现在将描述制造压电陶瓷的方法,但是制造压电陶瓷的方法不限于所公开的方法。制造压电陶瓷的方法包括用原料形成坯体以及烧结坯体的步骤。

[0093] 用原料形成坯体的步骤没有特别限制。例如,可以使用包含构成元素的氧化物、碳酸盐、硝酸盐、草酸盐等的固态粉末来形成坯体。然后通过常规方法在常压下烧结坯体。原料包括诸如Ba化合物、Ca化合物、Ti化合物、Zr化合物、Mn化合物和Bi化合物之类的金属化合物。

[0094] 用作原料的Ba化合物包括氧化钡、碳酸钡、草酸钡、醋酸钡、硝酸钡、钛酸钡、锆酸钡以及锆钛酸钡。

[0095] 用作原料的Ca化合物包括氧化钙、碳酸钙、草酸钙、醋酸钙、钛酸钙和锆酸钙。

[0096] 用作原料的Ti化合物包括氧化钛、钛酸钡、锆钛酸钡和钛酸钙。

[0097] 用作原料的Zr化合物包括氧化锆、锆酸钡、锆钛酸钡和锆酸钙。

[0098] 用作原料的Mn化合物包括碳酸锰、二氧化锰、醋酸锰和四氧化三锰。

[0099] 示例性的Bi化合物可以是氧化铋。

[0100] 为控制A位中的Ba和Ca的摩尔数与B位中的Ti和Zr的摩尔数的比值 q 而添加的材料不受特别限制。Ba化合物、Ca化合物、Ti化合物和Zr化合物中的任何化合物都能够产生同样的效果。

[0101] 坯体是通过压缩固态粉末所形成的固态材料。为压缩粉末,可以运用单轴压制、冷等静压制、热等静压制、铸造或挤压。为了形成坯体,有利地使用了颗粒状粉末。当烧结颗粒状粉末的坯体时,烧结的坯体趋于具有均匀的晶粒尺寸。

[0102] 尽管原料粉末的颗粒化不受特别限制,但是喷射干燥工艺有利地用于形成具有均匀微粒尺寸的颗粒状粉末。

[0103] 诸如聚乙烯醇(PVA)、聚乙烯醇缩丁醛(PVB)或丙烯酸树脂之类的粘合剂可用于颗粒化。粘合剂可以以相对于100份重量的原料粉末的1份重量到10份重量的比例添加。从提高坯体密度的角度来看,粘合剂的比例可以在2份重量到5份重量的范围内。

[0104] 坯体可以以任何工艺烧结,而没有特殊限制。例如,坯体可以在电炉或燃气炉中烧结,或者通过使用微波或毫米波、热等静压制(HIP)或者任何其他技术供给能量来加热。在电炉或燃气炉中进行的烧结可以在连续式或分次式炉中进行。

[0105] 烧结期望地在但不限于其中化合物反应以充分生长晶体的温度进行。例如,从把晶粒尺寸控制在 $1.5\mu\text{m}$ 到 $10\mu\text{m}$ 范围内的角度来看,烧结温度可以在 1100°C 至 1400°C 的范围内,诸如 1100°C 至 1350°C 。为了在高重复性的情况下使烧结后压电材料的性质稳定,烧结在以上的范围内的恒温下进行2至48小时。另外,当坯体从最高温度冷却下来时快速冷却是有利的。快速冷却有助于在压电陶瓷中保持内部应力。因此,在压电陶瓷的测量表面观察到更

大量的 c 畴。因此,机械品质因数增大。冷却速率可以为 $50^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 或更高。

[0106] 压电元件

[0107] 根据实施例的压电元件包括第一电极1、压电材料部2和第二电极3。压电材料部2由本申请实施例的压电陶瓷制成。第一和第二电极与压电陶瓷的剩余极化方向相交。图5是本实施例的压电元件的截面图,示出了压电元件的结构,所述压电元件包括设有第一矩形电极1和第二矩形电极3的矩形压电材料部2。箭头A指示剩余极化方向。第一电极1和第二电极3设置在压电材料部2的相对表面上。压电材料部2的形状不限于矩形平行六面体,并且可以是圆形或多面体形状。第一电极1和第二电极3的形状和布置也不限于所公开的结构形状和布置。例如,第一和第二电极可以以期望的样式形成,只要它们设置在相对的表面上。

[0108] 当第一电极1和第二电极3与压电陶瓷的剩余极化方向相交时,压电元件在与电压施加的方向垂直的方向上具有令人满意的机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m 。第一电极1和第二电极3各自自由厚度为大约 5nm 至 20nm 的导电层限定。可以使用用于已知压电元件的电极的任何材料,没有特别限制。示例性的电极材料包括诸如Ti、Pt、Ta、Ir、Sr、In、Sn、Au、Al、Fe、Cr、Ni、Pd、Ag、Cu之类的金属及其化合物。第一电极1和第二电极3可以由这些金属中的一种制成,或者可以由这些金属中的两种或更多种制成的多层复合材料。第一电极1和第二电极3可以由相互不同的材料制成。从大规模生产和成本效率的角度来看,电极由Ag制成是有利的。Ag电极可以具有 $1\mu\text{m}$ 到 $10\mu\text{m}$ 的厚度。

[0109] 形成第一电极1和第二电极3的方法不受特别限制。例如,第一电极1和第二电极3可以通过金属糊料的涂布和烘焙或者通过溅射或气相沉积形成。为了形成Ag电极,Ag糊料的涂布和烘焙是有利的。更有利地,在压电材料部2的压电陶瓷表面上涂布Ag糊料,并且在高达 700°C 至 900°C 的最高温度的温度中一次性加热大约5分钟来烘焙压电陶瓷和Ag糊料。更为有利地,在烘焙后,电极和压电陶瓷的复合材料以 $100^{\circ}\text{C}/\text{小时}$ 或更高的速率冷却。通过在这种条件下烘焙Ag糊料,Ag电极展现出令人满意且稳定的导电性。另外,这种烘焙对压电材料部2的压电陶瓷施加热处理以释放残余应力。因此,与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值可以容易地控制为1.0或更高。但是,不期望在 1000°C 或更高的温度对压电陶瓷热处理。这种热处理可能改变压电陶瓷的组成。

[0110] 压电陶瓷的极化可以通过任何技术进行,没有特别限制。例如,极化可以在空气中或硅油中进行。从大规模生产的角度来看,在空气中极化是有利的。有利地,通过高达 90°C 至 150°C 的最高温度的温度中施加 $5\text{kV}/\text{cm}$ 至 $14\text{kV}/\text{cm}$ 的电场大约10分钟到30分钟来进行极化。另外,在陶瓷从最高温度冷却的同时,保持施加电场是有利的。通过保持施加电场,与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值可以容易地控制为1.0或更高。期望地,从降低为极化所施加的电场的角度来看,压电陶瓷已在 700°C 至 900°C 的温度中进行了热处理。受到这种热处理的压电陶瓷即使在 $8\text{kV}/\text{cm}$ 或更低的电场下也可以容易地被极化。从提高机械品质因数 Q_m 的角度来看,冷却可以以 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 或更高的速率进行。

[0111] 振动器件

[0112] 图6是根据本申请的实施例的振动器件的示意图。

[0113] 振动器件包括压电元件和其上设置压电元件的隔膜9。当压电材料部2的更接近隔膜9的表面是其底表面,并且压电材料部2的与底表面相对的表面是前表面时,在室温中,底

表面(位置10)处的测量表面4的(002)/(200)衍射强度比值A与前表面(位置11)处的测量表面4的(002)/(200)衍射强度比值B满足关系 $A > B$ 。

[0114] 隔膜9由弹性材料制成。弹性材料可以是但不限于诸如SUS或因瓦合金(invar)之类的不锈钢、硅、陶瓷、玻璃或者石英。在压电材料部2的底表面处的测量表面的位置10是位于测量表面4的从压电材料部2(压电陶瓷)的底表面10a到测量表面4的中点12的区域中的任意点。压电材料部2的前表面处测量表面的位置11是位于测量表面4的从压电材料部2(压电陶瓷)的前表面11a到测量表面4的中点12的区域中的任意点。测量表面4的位置10期望地在距离底表面10a的长度为相对于从底表面10a到 midpoint 12 的长度的50%的区域中,更期望地在距离底表面的长度为20%的区域中。类似地,测量表面4的位置11期望地在距离前表面11a的长度为相对于从前表面11a到 midpoint 12 的长度的50%区域中,更期望地在距离前表面11a的长度为20%的区域中。

[0115] 当上述衍射强度比值A大于衍射强度比值B时,振动器件展现出令人满意的机械品质因数 Q_m 。这可能是由于被结合到隔膜的压电陶瓷接收了来自隔膜的张应力。为了测量压电材料部2的底表面处的位置10的(002)/(200)衍射强度比值A,入射光束的点直径被设为使得不用X射线辐射照射从 midpoint 到前表面的测量表面。为了测量压电材料部2的前表面处的位置11的(002)/(200)衍射强度比值B,入射光束的点直径被设为使得不用X射线辐射照射从 midpoint 到底表面的测量表面。在本实施例中,点直径期望地为 $100\mu\text{m}$ 或更小。由于衍射强度的测量需要高准确度,所以同一区域被测量至少10次,并且测量结果的平均值用于计算衍射强度比值。

[0116] 期望地,压电材料部2的压电陶瓷在室温中的热膨胀系数 α_1 与隔膜9在室温中的热膨胀系数 α_2 满足关系 $\alpha_1 < \alpha_2$ 。当该关系有效时,压电陶瓷接收来自隔膜的张应力,使得当从测量表面观察时c畴的数量趋于增加。因此,振动器件的机械品质因数 Q_m 进一步增大。振动器件的机械品质因数 Q_m 的增大使包括该振动器件的设备的效率提高。所述效率是指输出功率与输入功率的比值。因此,当输入功率为恒定时,功耗的量值为效率的指标。在之后将描述的超声电机中,效率是指转矩和旋转速度的乘积与输入功率的比值。

[0117] 本实施例中所使用的压电陶瓷的热膨胀系数在室温中期望地为 $7 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 至 $8 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 。期望隔膜9的热膨胀系数期望地为高于 $8 \times 10^{-6}\text{K}^{-1}$ 。所以,对于不锈钢隔膜,有利地使用SUS(特别是SUS 420)作为材料。

[0118] 振动器件可以通过任何工艺生产,没有特别限制。可以使经极化的压电元件结合到隔膜,也可以使先前被结合到隔膜的压电元件极化。鉴于生产率,使经极化的压电元件结合到隔膜是有利的。可以减少步骤的数量。

[0119] 由于本实施例的压电陶瓷主要包含钛酸钡,所以在 130°C 或更高的温度中加热时可能会失去其压电性质。所以,能够在 100°C 或更低粘附的粘合剂期望地用于使压电元件结合。

[0120] 喷液头

[0121] 现在将描述根据实施例的喷液头。

[0122] 根据本申请实施例的喷液头包括液体室和限定与液体室连通的喷口的部分,所述液体室包括设有上述压电元件的振动部。根据另一个实施例的喷液头包括液体室和限定与液体室连通的喷口的部分,所述液体室包括设有上述振动器件的振动部。

[0123] 图7A和图7B是根据实施例的喷液头的示意图。如图7A和图7B中所示,喷液头包括压电元件101。每个压电元件101包括第一电极1011、由压电陶瓷制成的压电陶瓷部1012以及第二电极1013。如图7B所示,压电陶瓷部1012按照需要的样式形成。

[0124] 图7B示意性地示出了喷液头。喷液头具有喷口105、分离的液体室102、在分离的液体室102与对应的喷口105之间连通的连通孔106、液体室隔壁104、公共液体室107、隔膜103以及压电元件101。尽管图7B中所示的压电元件101的形状是矩形,但是压电元件101可以具有任何形状,诸如椭圆形、圆形或平行四边形。一般来说,压电陶瓷部位1012具有与分离的液体室102的形状相对应的形状。

[0125] 现在将参照图7A描述喷液头的压电元件101及其附近。图7A是图7B所示的压电元件的取自宽度方向的截面图。尽管图7A中所示的压电元件101具有矩形截面,但是该截面可以是梯形或倒梯形。

[0126] 在图7A中,第一电极1011是下电极,第二电极1013是上电极。但是,第一电极1011和第二电极1013的布置不限于图中所示的布置。例如,第一电极1011可以用作下电极或者上电极。类似地,第二电极1013可以用作上电极或者下电极。缓冲层108可以设在隔膜103与下电极之间。这些部件是根据该器件的制造过程命名的。压电元件产生与部件的名称无关的相同的效果。

[0127] 通过压电陶瓷部位1012的膨胀和收缩,隔膜103垂直地位移,由此向对应的分离的液体室102中的液体施加压力。因此,液体通过喷口105喷出。本实施例的喷液头可以用在打印机中,或者用于制造电子器件。

[0128] 隔膜103的厚度在 $1.0\mu\text{m}$ 到 $15\mu\text{m}$ 的范围内,诸如在 $1.5\mu\text{m}$ 到 $8\mu\text{m}$ 的范围内。隔膜103可以由任何材料制成,并且从可加工性的角度来看,可以由Si制成。隔膜103的Si可以用硼或磷掺杂。隔膜103上的缓冲层或电极可以充当隔膜103的一部分。缓冲层108的厚度在 5nm 到 300nm 的范围内,诸如在 10nm 到 200nm 的范围内。喷口105的等效圆直径在 $5\mu\text{m}$ 到 $40\mu\text{m}$ 的范围内。喷口105的形状可以是圆形、星形或三角形。

[0129] 喷液装置

[0130] 现在将描述根据实施例的喷液装置。根据本申请实施例的喷液装置包括其上放置转印介质的部分,以及上述喷液头。

[0131] 喷液装置可以是如图8和图9中所示的喷墨记录装置。图9示出了图8中所示的处于外部构件882至885和887从中去除的状态的喷液装置(喷墨记录装置)881。喷墨记录装置881包括自动馈送部分897,所述自动馈送部分897把记录纸(转印介质)送进喷墨记录装置881的机体896中。喷墨记录装置881还包括把从自动馈送部分897馈送的记录纸引导到预定记录位置并且然后从记录位置引导到排出端口898的三个部分。更具体地说,喷墨记录装置具有以下三个部分:传送部分899,其上放置转印介质;记录部分891,对被传送到记录位置的记录纸执行记录;以及恢复部分890,恢复记录部分891。记录部分891包含本申请实施例的喷液头,并且其中设有在轨道上来回移动的滑架892。

[0132] 在该喷墨记录装置中,滑架892根据从计算机传送的电信号在轨道上移动,并且通过向其中间设置有压电陶瓷部的电极施加驱动电压来使压电陶瓷部位移。压电陶瓷部的位移经由图7B中所示的隔膜103向分离的液体室102施加压力,由此通过喷口105喷出墨水进行打印。

[0133] 本实施例的喷液装置可以以高速均匀地喷液并且可以缩小尺寸。

[0134] 尽管本实施例例示了打印机,但是喷液装置可以用作传真或多功能机、复印机或任何其他喷墨记录装置,或者工业喷液装置。

[0135] 另外,用户可以选择适合使用的转印介质。喷液装置可以具有其中喷液头相对于平台上的转印介质移动的结构。

[0136] 超声电机

[0137] 现在将描述本申请实施例的超声电机。根据实施例的超声电机包括振动器件和与振动器件接触的移动器件。期望地,振动器件是本申请的实施例的振动器件。

[0138] 图10是根据本申请的实施例的超声电机的示意图。超声电机包括压电元件,所述压电元件包括由压电陶瓷制成的单层压电材料部。超声电机包括振荡器201、在由压力弹簧(未示出)施加压力的情况下与振荡器201的滑动表面接触的转子202以及与转子202集成的输出轴203。振荡器201包括金属弹性环2011、根据本申请实施例的压电元件2012以及使压电元件2012与弹性环2011结合的有机粘合剂2013(例如,环氧或氰基丙烯酸盐粘合剂)。压电元件2012包括第一和第二电极(未示出)以及在第一和第二电极之间的由压电陶瓷制成的压电材料部。在图10中,振荡器201充当振动器件,并且转子202充当移动器件。

[0139] 把具有相位差为 $\pi/2$ 的奇数倍的两相交流电压施加到压电元件时,振荡器201产生弯曲行波,并且振荡器201的滑动表面上的每个点都椭圆形地移动。如果转子202在施加有压力的情况下与振荡器201的滑动表面接触,转子202通过接收来自振荡器201的摩擦力在与弯曲行波方向相反的方向上旋转。连接输出轴203的被驱动机体(未示出)通过转子202的旋转而被驱动。

[0140] 当向压电材料部的压电陶瓷施加电压时,压电陶瓷根据压电效应进行膨胀和收缩。如果压电材料部与金属或任何其他弹性材料接触,则弹性材料由压电陶瓷的膨胀和收缩弯曲。本实施例的超声电机基于这个原理。

[0141] 本实施例的包括上述振动器件的超声电机,可以更高效地工作。

[0142] 光学装置

[0143] 现在将描述根据实施例的光学装置。光学装置包括设有上述超声电机的驱动部。

[0144] 图11A和图11B示出了作为示例性的光学装置的单镜头反光照相机的可互换透镜镜筒的主要部分的截面图。图12示出了作为示例性光学装置的单镜头反光照相机的可互换透镜镜筒的分解透视图。固定镜筒712、直线导向镜筒713和前组透镜镜筒714被固定到底座711,在所述底座711处透镜镜筒被附接到照相机或从照相机上移除。这些是可互换透镜镜筒的固定构件。

[0145] 直线导向镜筒713具有用于在光轴方向上直线地引导聚焦透镜702的直线导向槽713a。放射状地向外凸出的凸轮辊717a和717b用轴螺丝钉718固定到保持聚焦透镜702的后组透镜镜筒716。凸轮辊717a被安装在直线导向槽713a中。

[0146] 凸轮环715可旋转地安装在直线导向镜筒713的内周上。通过把固定到凸轮环715的辊719安装到直线导向镜筒713的外围槽713b中来限制直线导向镜筒713与凸轮环715在光轴方向上的相对运动。凸轮环715中设有用于聚焦透镜702的凸轮槽715a。凸轮辊717b也被安装在凸轮槽715a中。

[0147] 旋转传动环720被设置在固定镜筒712的外周。旋转传动环720以滚珠座圈727保

持,以相对于固定镜筒712在固定位置旋转。旋转传动环720可旋转地把辊722保持在从旋转传动环720放射状地延伸的轴720f上。每个辊722的具有较大直径的部分722a与手动聚焦环724的在底座方向上的末端724b接触(这个末端724b后文称为底座侧末端)。辊722的具有较小直径的部分722b与接合构件729接触。六个辊722各自以如上所述的相同方式以规则间隔布置在旋转传动环720的外周上。

[0148] 低摩擦片(垫圈构件)733被设置在手动聚焦环724的内径部分上。低摩擦片被夹在固定镜筒712的底座侧末端712a和手动聚焦环724的前端724a之间。低摩擦片733的外径表面是环形并被安装在限定手动聚焦环724的内径的内表面724c上。另外,手动聚焦环724的内表面724c被安装在固定镜筒712的外径部分712b上。低摩擦片733用于减小旋转环机构的摩擦,以使手动聚焦环724相对于固定镜筒712在光轴上旋转。

[0149] 在由波形垫圈726在透镜的向前方向上挤压超声电机725的力施加压力的情况下,辊722的较大直径部分722a与手动聚焦环724的底座侧末端712a彼此接触。类似地,在由波形垫圈726在透镜的向前方向上挤压超声电机725的力施加适当压力的情况下,辊722的较小直径部分722b与接合构件729彼此接触。由以销钉耦接到固定镜筒712的垫圈732来限制波形垫圈726朝向底座的运动。由波形垫圈726产生的弹力(推力)被传送到超声电机725并且进一步到辊722,并且把手动聚焦环724压在固定镜筒712的底座侧末端712a上。因此,手动聚焦环724在它和固定镜筒712的底座侧末端712a之间有低摩擦片733的情况下以它被压在固定镜筒712的底座侧末端712a上的状态被包含。

[0150] 当超声电机725由控制器(未示出)驱动以相对于固定镜筒712旋转时,因为接合构件729与辊722的较小直径部分722b之间的摩擦接触,辊722在轴720f上旋转。辊722在轴720f上的旋转使旋转传动环720在光轴上旋转(自动聚焦操作)。

[0151] 如果从手动操作输入部分(未示出)向手动聚焦环724施加用于在光轴上旋转的力,则出现以下操作。由于手动聚焦环724的底座侧末端712B与辊722的较大直径部位722a压力接触,所以通过摩擦使辊722在轴720f上旋转。辊722的较大直径部分722a在轴720f上的旋转使旋转传动环720在光轴上旋转。在此时,转子725c和定子725b的摩擦保持力防止超声电机725旋转(手动聚焦操作)。

[0152] 两个聚焦键728彼此相对地附接到旋转传动环720,并且被安装在凸轮环715末端中形成的槽口715b中。因此在旋转传动环720和凸轮环715之间有聚焦键728的情况下,通过自动聚焦操作或手动聚焦操作,旋转传动环720在光轴上的旋转被传送到凸轮环715。当凸轮环715在光轴上旋转时,由凸轮辊717a和直线导向槽713a限制旋转的后组透镜镜筒716通过凸轮辊717b沿着凸轮环715中的凸轮槽715a来回移动。从而驱动聚焦透镜702进行聚焦。

[0153] 尽管本实施例已经例示了单镜头反光照相机的可互换透镜镜筒作为光学装置,但是光学装置可以是小型照相机、电子静物照相机以及包括在驱动部分中的超声电机的任何其他照相机。

[0154] 振动单元和除尘单元

[0155] 用于传递和去除微粒、粉末或液体的振动单元广泛用在电子装置中。包括根据本申请实施例的压电元件的除尘单元现在将被描述为示例性的振动单元。

[0156] 根据本申请实施例的振动单元包括振动器件,所述振动器件包括上述压电元件和其上设置压电元件的隔膜,并且用于去除隔膜的表面上的尘埃。期望地,振动器件是根据本

申请实施例的振动器件。根据本申请实施例的除尘单元包括设有上述振动单元的振动部。

[0157] 图13A和图13B是根据本申请实施例的除尘单元的示意图。除尘单元310包括板状的压电元件330和隔膜320。隔膜320可以由任何材料制成,没有特别限制。例如,如果除尘单元310用于光学器件,则在隔膜320中使用透光材料或者反光材料,并且尘埃被从透光材料或者反光材料的部分除去。

[0158] 图14A至图14C是图13A和图13B中所示的压电元件330的示意图。图14A和图14C示出了压电元件330的前面和后面,并且图14B示出了压电元件330的侧面。如图13A和图13B中所示,压电元件330包括由压电陶瓷制成的压电材料部331、第一电极332和第二电极333。第一电极332和第二电极333与压电材料部331的板面相对。在图14C中看到的压电元件330的设有第一电极332的表面被称为第一电极表面336。在图14A中看到的压电元件330的设有第二电极333的表面被称为第二电极面337。

[0159] 电极表面各自是压电元件的设有电极的表面。例如,如图14A至图14C中所示,第一电极332可以转向并延伸到第二电极面。

[0160] 压电元件330以使得压电元件330的第一电极面336被结合到隔膜320的板面的方式固定到隔膜320,如图13A和图13B所示。当压电元件330操作时,在压电元件330与隔膜320之间出现应力,并且隔膜320产生面外振动。在本实施例的除尘单元310中,通过隔膜320的面外振动来去除隔膜320的表面上的尘埃。术语“面外振动”是指使隔膜在光轴方向上也就是在隔膜的厚度方向上位移的弹性振动。

[0161] 图15A和图15B是例示了除尘单元310的振动原理的示意图。图15A示出了通过向在边对边的方向上相对的一对压电元件330施加同相交流电场来在隔膜320中产生面外振动的状态。每个压电元件330的压电陶瓷都在与压电元件330的厚度方向相同的方向上极化,并且除尘单元310以第七阶振动模式操作。图15B示出了通过对这对压电元件330施加具有 180° 相位差的反相的交流电场来在隔膜320中产生面外振动的状态。在本实例中,除尘单元310以第六阶振动模式操作。通过按照情况以至少两种振动模式操作除尘单元310,隔膜的表面上的尘埃可以被有效地除去。

[0162] 图像感测装置

[0163] 现在将描述根据实施例的图像感测装置。图像感测装置包括具有光接收面的图像感测元件单元,以及在图像感测元件单元的光接收面上的上述除尘单元。图16和图17示出了作为根据本申请实施例的示例性的图像感测装置的数码单镜头反光照相机。

[0164] 图16是从物体观看的照相机机体601的前方透视图,示出了去除拍摄镜头单元的状态。图17是照相机的一般结构的分解透视图,用于例示除尘单元和图像感测装置400周围的结构。

[0165] 图16中所示的照相机机体601中设有镜盒605,已穿过拍摄镜头的拍摄光束被引导至所述镜盒605。镜盒605包含主镜(快速返回镜)606。主镜606可以采取关于拍摄光轴保持 45° 角的位置,以便把拍摄光束导向五棱镜(penta roof mirror)(未示出),以及从拍摄光束缩回的位置,以便把光束导向图像感测元件(未示出)。

[0166] 在图17所示的实施例中,照相机机体包括充当照相机机体的框架的机架300,并且机架从物体到机架300的方向依次设有镜盒605和快门单元200。另外,图像感测单元400被设置在机架300的拍摄者侧。图像感测单元400包括除尘单元的隔膜和图像感测元件单元。

除尘单元的隔膜与图像感测元件单元的光接收面同轴地对齐。图像感测单元400要被设在安装部602(图16)的安装面上,关于所述安装部602的安装面,拍摄镜头单元被安装并调整为使得图像感测元件单元的图像感测面在与拍摄镜头之间具有预定距离的情况下变为与拍摄镜头单元平行。

[0167] 数码单镜头反光照相机已被描述为本申请实施例的图像感测装置,图像感测装置可以是诸如不包括镜盒605的无镜数码单镜头反光照相机之类的拍摄镜头可互换的照相机。本实施例的图像感测装置可以被应用到诸如拍摄镜头单元可互换的摄像机、复印机、传真机和扫描仪之类的图像感测装置以及包括这种图像感测装置并需要从光学部件的表面除尘的电子装置。

[0168] 电子装置

[0169] 现在将描述根据实施例的电子装置。本实施例的电子装置包括压电声学部件,所述压电声学部件包括上述压电元件。压电声学部件的实例包括扬声器、传呼机、话筒和表面声波(SAW)元件。

[0170] 图18示出了作为示例性的电子装置的数码照相机的从机体931的前方观看的透视图。机体931在其前面设有光学器件901、话筒914、电子闪光发射部分909以及辅助光学部分916。话筒914嵌入在机体中,由虚线表示。话筒914在其前方具有用于从外界拾取声音的孔。

[0171] 机体931在其顶面上还设有电源按钮933、扬声器912、变焦操作杆932和用于聚焦操作的释放按钮908。扬声器912嵌入在机体931中,由虚线表示。在扬声器912的前方形成孔,声音通过所述孔传送到外部。

[0172] 在话筒914、扬声器912或表面声波元件至少其中之一中使用了实施例的压电声学部件。

[0173] 尽管已经描述了数码照相机作为本申请的电子装置的示例性实施例,但是电子装置可以是包括压电声学部件的任何电子装置,比如声音再现装置、录音机、蜂窝电话或信息终端。

[0174] 如上所述,根据本申请实施例的压电元件适合用于喷液头、喷液装置、超声电机、光学装置、振动单元、除尘单元、图像感测装置以及电子装置。

[0175] 使用根据本申请实施例的压电元件和振动器件可以提供喷液头,所述喷液头可以展现出低于或等于包括含铅压电元件的喷液头的功耗的功耗,以及各自高于或等于包括含铅压电元件的喷液头的效率、喷嘴密度和喷出速度的效率、喷嘴密度和喷出速度。

[0176] 另外使用根据本申请实施例的喷液头可以提供喷液装置,所述喷液装置可以展现出低于或等于包括含铅压电元件的喷液装置的功耗的功耗,以及各自高于或等于包括含铅压电元件的喷液装置的效率、喷嘴密度和喷出速度的效率、喷嘴密度和喷出速度。

[0177] 使用根据本申请实施例的压电元件和振动器件可以提供超声电机,所述超声电机可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率、驱动力和耐用性的效率、驱动力和耐用性。

[0178] 另外,使用根据本申请实施例的超声电机可以提供光学装置,所述光学元件装置可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率、耐用性和操作准确度的效率、耐用性和操作准确度。

[0179] 使用根据本申请实施例的压电元件和振动器件可以提供超声电机,所述超声电机

可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率、振动能力和耐用性的效率、振动能力和耐用性。

[0180] 使用根据本申请实施例的振动单元提供了除尘单元,所述除尘单元可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率、除尘能力和耐用性的效率、除尘能力和耐用性。

[0181] 使用根据本申请实施例的除尘单元提供了图像感测装置,所述图像感测装置可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率和除尘能力的效率和除尘能力。

[0182] 另外,使用包括本申请实施例的压电元件的压电声学部件可以提供电子装置,所述电子装置可以展现出低于或等于使用含铅压电元件情况下的功耗的功耗,以及各自高于或等于使用含铅压电元件情况下的效率和声音生成的效率和声音生成。

[0183] 本申请实施例的压电元件和振动器件可以用在上述器件中,以及另外在诸如超声振荡器之类的压电传动机构中。

[0184] 实例

[0185] 参考以下实例将进一步描述所公开实施例的压电陶瓷。但是,本发明不限于这些实例。

[0186] 压电陶瓷的制备和评估

[0187] 实例1

[0188] $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)_q(\text{Ti}_{1-y}\text{Zr}_y)\text{O}_3$ (1)

[0189] 在分子式中,x表示满足 $0.125 \leq x \leq 0.300$ 的数字,y表示满足 $0.041 \leq y \leq 0.074$ 的数字,并且q表示满足 $0.986 \leq q \leq 1.020$ 的数字。

[0190] 组成 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.006}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 是通式(1) $(\text{Ba}_{1-x}\text{Ca}_x)_q(\text{Ti}_{1-y}\text{Zr}_y)\text{O}_3$ 中 $x=0.16$, $y=0.06$ 且 $q=1.006$ 的组成,其原料粉末称重如下。

[0191] 为了满足以上化学式的摩尔份数,对包含钛酸钡的钙钛矿型金属氧化物粉末以及钛酸钙粉末、锆酸钙粉末和碳酸钡粉末进行称重,所述钛酸钡具有由固相工艺产生的300nm的微粒尺寸。

[0192] 相对于由 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.006}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 表示的金属氧化物的100份重量,四氧化三锰的比例为按Mn计的0.24份重量。称出的全部粉末在球磨机中以干燥方式混合24小时。使用喷雾干燥器,对于粉末的混合物的总重量比例为3份重量的PVA粘合剂被涂布到粉末的表面以进行颗粒化。

[0193] 颗粒化的粉末在200MPa压力下用压制形成机器压缩为盘状坯体。

[0194] 该坯体在大气中被放置在电炉中。炉子首先被加热到600℃并保持在这个温度3小时。然后,坯体被进一步加热至1340℃的最高温度并保持5小时,随后以100℃/h的速率从1340℃冷却到300℃,由此产生压电陶瓷。

[0195] 所产生的陶瓷受到了针对晶粒的平均等效圆直径和陶瓷的相对密度的测量。平均等效圆直径是5.7 μm ,并且相对密度是96.2%。为了观察晶粒,使用了极化显微镜。对通过极化显微镜取得的拍摄图像进行处理,以计算平均等效圆直径。为了估计相对密度,使用了阿基米德法。

[0196] 随后,通过X射线荧光分析和ICP发射光谱法来估计陶瓷的组成。从而发现,相对于

主要包含由化学式 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.006}(\text{Ti}_{0.94}\text{Zr}_{0.06})\text{O}_3$ 表示的钛酸钡的金属氧化物的100份重量,该陶瓷包含0.24份重量的Mn。这暗示烧结陶瓷的组成与所称量的组分比例相对应。除了Ba、Ca、Ti、Zr和Mn以外的元素的含量少于0.001份重量,低于检测限度。

[0197] 电极形成

[0198] 所产生的陶瓷被磨光到0.5mm的厚度,并然后向陶瓷的两侧都涂布Ag糊料并烘焙以形成3 μm 厚的电极。为了烘焙,Ag糊料以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率被加热到800 $^{\circ}\text{C}$ 并保持在800 $^{\circ}\text{C}$ 5分钟。然后,温度以350 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的冷却速率降低到40 $^{\circ}\text{C}$,并且从电炉中取出带有电极的陶瓷。

[0199] 极化

[0200] 所产生的带有电极的陶瓷被切割成尺寸为10mm \times 2.5mm \times 0.5mm的条。带有电极的陶瓷条被放置在加热至140 $^{\circ}\text{C}$ 的热板上,并且在陶瓷两侧的电极之间施加0.6kV/mm的电场30分钟。然后,以200 $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的速率冷却该热板。在热板冷却到40 $^{\circ}\text{C}$ 后,停止施加电压。从而完成了包括压电陶瓷部的压电元件。

[0201] 剩余极化方向的估计

[0202] 为了估计所产生的压电陶瓷的剩余极化,经极化的压电元件的条以图2中所示的角度 β ($0^{\circ} \leq \beta < 360^{\circ}$) 被切断。通过溅射在经极化的陶瓷上形成第一和第二Au电极,并且用d33仪表测量压电常数。当 $\beta = 180^{\circ}$ 时,压电常数为最高。该结果表明压电元件的压电陶瓷的剩余极化方向垂直于Ag电极的表面。

[0203] 晶体结构估计

[0204] 随后,估计条状压电元件的压电陶瓷的晶体结构。为了估计,用X射线辐射来照射压电元件的沿着剩余极化方向的测量表面(尺寸为2.5mm \times 0.5mm)。通过 2θ - θ 方法用XRD(由Bruker AXS制造的D8ADVANCE)测量所述表面。更具体地,Cu-K α 管用作辐射源,并且 2θ 设置在20 $^{\circ}$ 到50 $^{\circ}$ 的范围内。扫描速度设置为0.50 $^{\circ}/\text{min}$,并且采样以0.02 $^{\circ}$ 的间隔执行。入射光束的点直径是50 μm 。测量表面的(002)/(200)衍射强度比值是1.46;c/a是1.007;测量表面的(002)衍射峰的半宽度是0.36 $^{\circ}$ 。此时室温是25 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0205] 此外,估计压电陶瓷的与剩余极化方向相交的表面(尺寸为10mm \times 2.5mm)的晶体结构。首先,用粒度号为#2000的研磨剂对Ag电极进行磨光以除去Ag电极。经磨光的表面用硅胶进行抛光。在与测量表面的晶体结构相同的条件下,估计经磨光的陶瓷的与剩余极化方向相交的表面的晶体结构。与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值是1.21。此时室温是25 $^{\circ}\text{C}$ 。

[0206] 电气性质

[0207] 用阻抗分析仪对条状压电元件的相对介电常数 ϵ_r 、机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m 进行了测量。此时室温是25 $^{\circ}\text{C}$ 。阻抗分析器被设为0.05V $_{pp}$ 的施加电压。相对介电常数 ϵ_r 是1780;机电耦合系数 k_{31} 是0.219;并且机械品质因数 Q_m 是1700。为了测量机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m ,应用了谐振-反谐振法。

[0208] 测量了条状压电元件的功耗。当通过改变向压电元件施加的交流电压的量值和频率来调整该电压使得压电元件的位移可以为1.0 μm 时,用功率表测量功耗。位移用激光多普勒振动计测量。功耗是16mW。

[0209] 实例2到10

[0210] 以与实例1相同的方式来制备实例2至10的陶瓷,只不过氧化铋用作原料粉末。所

称量的组分的比例如表1所示。在表1中, A1/B1表示Ba和Ca的摩尔数之和(A1)与Ti、Zr和Mn的摩尔数之和(B1)的比值。然后, 以与实例1相同的方式来估计平均等效圆直径和相对密度。结果在表2中示出。作为以与实例1相同的方式进行组成分析的结果, 在任何样本中经烧结的陶瓷的组成与所称量的组分的比例相对应。

[0211] 随后, 以与实例1相同的方式来制备压电元件, 并且测量了压电元件的压电陶瓷的剩余极化方向、晶体结构、相对介电常数 ϵ_r 、机电耦合系数 k_{31} 、机械品质因数 Q_m 和功耗。此时室温是25°C。结果在表3和表4中示出。

[0212] 压电陶瓷的制备和评估

[0213] 比较例1

[0214] 组成 $(Ba_{0.90}Ca_{0.10})_{1.000}TiO_3$ 是通式(1) $(Ba_{1-x}Ca_x)_q(Ti_{1-y}Zr_y)_3O_3$ 中 $x=0.10, y=0$ 且 $q=1.000$ 的组成, 其原料粉末称重如下。

[0215] 为了满足以上化学式的摩尔份数, 对各自具有99.9%纯度的碳酸钙粉末、碳酸钡粉末、氧化钛粉末和碳酸锰粉末进行称重。

[0216] 相对于由 $(Ba_{0.90}Ca_{0.10})_{1.00}TiO_3$ 表示的金属氧化物的100份重量, 碳酸锰的比例按Mn计为0.24份重量。所称量的全部粉末在球磨机中以湿式混合16小时。所产生的混合物在1000°C煅烧2小时。在经煅烧的粉末以湿法研磨8小时后, 使用喷雾干燥器, 涂布相对于经煅烧的粉末的3份重量的PVA粘合剂以使粘合剂附着到粉末的表面, 以进行颗粒化。

[0217] 经颗粒化的粉末以200MPa压力用压制形成机器压缩为盘状坯体。

[0218] 该坯体在电炉中在大气中烧结超过总计48小时的时段, 包括在高达1300°C的最高温度的温度中保持10小时, 从而产生比较例1的陶瓷。为了冷却坯体, 电炉从最高温度冷却。

[0219] 所产生的陶瓷受到了针对晶粒的平均等效圆直径和陶瓷的相对密度的测量。平均等效圆直径是12.5 μ m, 并且相对密度是92.0%。为了观察晶粒, 使用了极化显微镜。对通过极化显微镜取得的拍摄图像进行处理, 以计算平均等效圆直径。为了估计相对密度, 使用了阿基米德法。

[0220] 随后, 通过X射线荧光分析和ICP发射光谱法来估计陶瓷组成。从而发现相对于由化学式 $(Ba_{0.90}Ca_{0.10})_{1.000}TiO_3$ 表示的金属氧化物的100份重量, 该陶瓷包含0.24份重量的Mn。这暗示所烧结的陶瓷的组成与所称量的组分的比例相对应。除了Ba、Ca、Ti和Mn以外的元素的含量少于0.001份重量, 低于检测限度。

[0221] 电极形成

[0222] 所产生的陶瓷被磨光到0.5mm的厚度, 然后对陶瓷两侧都涂布Ag糊料并烘焙以形成3 μ m厚的电极。为了烘焙, Ag糊料以5°C/min的速率被加热到600°C并保持在600°C 2分钟。然后停止加热。然后, 温度以50°C/h的冷却速率降低到40°C, 并且从电炉中取出陶瓷。

[0223] 极化

[0224] 所产生的带有电极的陶瓷被切割成尺寸为10mm \times 2.5mm \times 0.5mm的条。带有电极的条状陶瓷被放置在加热至70°C的硅油缸中, 并且在陶瓷两侧的电极之间施加1.0kV/mm的电场30分钟。然后, 在以50°C/h的速率冷却陶瓷后, 停止施加电压。从而完成了比较例1的包括压电陶瓷部的压电元件。

[0225] 剩余极化方向的估计

[0226] 为了估计所产生的压电陶瓷的剩余极化, 经极化的条状压电元件以图2中所示的

角度 β ($0^\circ \leq \beta < 360^\circ$) 被切断。通过溅射在经极化的陶瓷上形成第一和第二Au电极,并且用d33仪表测量压电常数。当 $\beta = 180^\circ$ 时,压电常数为最高。该结果表明压电元件的压电陶瓷的剩余极化方向垂直于Ag电极的表面。

[0227] 晶体结构的估计

[0228] 随后,估计条状压电元件的压电陶瓷的晶体结构。为了估计,用X射线辐射来照射压电元件的沿着剩余极化方向的测量表面(尺寸为 $2.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$)。通过 2θ - θ 方法用XRD(由Bruker AXS制造的D8ADVANCE)来测量表面。更具体地,Cu-K α 管用作辐射源,并且 2θ 设置在 20° 到 50° 的范围内。扫描速度设置为 $0.5^\circ/\text{min}$,并且以 0.02° 的间隔来执行采样。入射光束的点直径是 $50\mu\text{m}$ 。测量表面的(002)/(200)衍射强度比值是0.91;c/a是1.009;测量表面的(002)衍射峰的半宽度是 0.38° 。此时室温是 25°C 。

[0229] 另外,估计压电陶瓷的与剩余极化方向相交的表面(尺寸为 $10\text{mm} \times 2.5\text{mm}$ 的)的晶体结构。首先,用粒度号为#2000的研磨剂来对Ag电极进行磨光以除去Ag电极。经磨光的表面用硅胶进行抛光。在与测量表面的晶体结构相同的条件下,估计与剩余极化方向相交的经磨光的陶瓷的表面的晶体结构。此时室温是 25°C 。与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值是0.91。

[0230] 电气性质

[0231] 由阻抗分析仪对条状压电元件的相对介电常数 ϵ_r 、机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m 进行测量。此时室温是 25°C 。阻抗分析器被设为 0.05V_{pp} 的施加电压。相对介电常数 ϵ_r 是880;机电耦合系数 k_{31} 是0.119;并且机械品质因数 Q_m 是1700。为了测量机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m ,应用了谐振-反谐振法。

[0232] 测量了条状压电元件的功耗。当通过改变向压电元件施加的交流电压的幅度和频率来调整该电压使得压电元件的位移可以为 $1.0\mu\text{m}$ 时,用功率表测量功耗。位移用激光多普勒振动计测量。功耗是 35mW 。

[0233] 压电陶瓷的制备和评估

[0234] 比较例2

[0235] 对于通过热液合成产生的包含钛酸钡的微粒尺寸为 100nm 的钙钛矿型的金属氧化物粉末,使用喷雾干燥器涂布3份重量的PVA粘合剂以使粘合剂附着到钛酸钡粉末的表面,以进行颗粒化。

[0236] 经颗粒化的粉末以 200MPa 压力用压制形成机器压缩为盘状坯体。

[0237] 该坯体在电炉中烧结以产生陶瓷,使用的工序简述为首先以 $15^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率加热到 1390°C ,保持在 1390°C 1分钟,以 $30^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率冷却到 1190°C ,保持在 1190°C 4小时,并且以 $60^\circ\text{C}/\text{h}$ 的速率进一步冷却到室温。

[0238] 所产生的陶瓷受到了针对晶粒的平均等效圆直径和陶瓷的相对密度的测量。平均等效圆直径是 $8.1\mu\text{m}$,并且相对密度是94.9%。为了观察晶体颗粒,使用了极化显微镜。对通过极化显微镜取得的拍摄图像进行处理,以计算平均等效圆直径。为了估计相对密度,使用了阿基米德法。

[0239] 随后,通过X射线荧光分析和ICP发射光谱法来估计陶瓷组成。结果,发现陶瓷由化学式 $\text{Ba}_{1.000}\text{TiO}_3$ 表示。这暗示烧结陶瓷的组成与所称量的组分比例相对应。除了Ba和Ti以外的元素的含量少于0.001份重量,低于检测限度。

[0240] 电极形成

[0241] 所产生的陶瓷被磨光到0.5mm的厚度,然后通过DC溅射在陶瓷片两侧都形成400nm厚的金电极。在本实例中,在电极与陶瓷之间形成了30nm厚的由钛制成的粘合层。粘合层在不加热的情况下形成。另外,所产生的金电极在形成后不进行热处理。

[0242] 极化

[0243] 所产生的带有电极的陶瓷被切割成尺寸为10mm×2.5mm×0.5mm的条。带有电极的陶瓷条被放置在加热至100℃的热板上,并且在陶瓷两侧的电极之间施加1.0kV/mm的电场30分钟。然后,在以50℃/h的速率冷却陶瓷后,停止施加电压。从而完成了比较例2的包括压电陶瓷部的压电元件。

[0244] 剩余极化方向的估计

[0245] 以与比较例1中相同的方式来估计所产生的压电陶瓷的剩余极化方向。当 $\beta=180^\circ$ 时,压电常数为最高。该结果表明压电元件的压电陶瓷的剩余极化方向垂直于Au电极的表面。

[0246] 晶体结构的估计

[0247] 随后,以与比较例1中相同的方式来估计比较例2的条状压电元件的压电陶瓷的晶体结构。此时室温是25℃。测量表面的(002)/(200)衍射强度比值是0.97;c/a是1.009;测量表面的(002)衍射峰的半宽度是0.13°。与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值是0.96。

[0248] 电气性质

[0249] 随后,以与比较例1中相同的方式来测量相对介电常数 ϵ_r 、机电耦合系数 k_{31} 、机械品质因数 Q_m 和功耗。此时室温是25℃。相对介电常数 ϵ_r 是3650;机电耦合系数 k_{31} 是0.188;机械品质因数 Q_m 是280;而功耗是72mW。

[0250] 比较例3

[0251] 以与实例1至实例10中相同的方式来形成用于产生陶瓷的坯体。所称量的组分比例如表1中所示。

[0252] 该坯体在电炉中在大气中烧结超过总计24小时的时段,包括在高达1440℃的最高温度的温度中保持5小时,从而产生陶瓷。为了冷却坯体,电炉从最高温度冷却。

[0253] 以与比较例2中相同的方式,所产生的陶瓷受到了针对平均等效圆直径和相对密度的测量。结果显示在表2中。

[0254] 随后,通过X射线荧光分析和ICP发射光谱法来估计陶瓷的组成。从而发现相对于由化学式 $(\text{Ba}_{0.84}\text{Ca}_{0.16})_{1.014}(\text{Ti}_{0.90}\text{Zr}_{0.10})\text{O}_3$ 表示的金属氧化物的100份重量,该陶瓷包含0.40份重量的Mn。这暗示所烧结的陶瓷的组成与所称量的组分比例相对应。除了Ba、Ca、Ti、Zr和Mn以外的元素的含量少于0.001份重量,低于检测限度。

[0255] 电极形成

[0256] 所产生的陶瓷被磨光到0.5mm的厚度,然后通过DC溅射在陶瓷片两侧都形成400nm厚的金电极。在本实例中,在电极与陶瓷之间形成了30nm厚的由钛制成的粘合层。粘合层在不加热的情况下形成。另外,所产生的金电极在形成后也不进行热处理。

[0257] 极化

[0258] 所产生的带有电极的陶瓷被切割成尺寸为10mm×2.5mm×0.5mm的条。带有电极的

陶瓷的条被放置在加热至100℃的热板上,并且在陶瓷两侧的电极之间施加1.0kV/mm的电场30分钟。然后,在以50℃/h的速率冷却陶瓷后,停止施加电压。从而完成了比较例3的包括压电陶瓷部的压电元件。

[0259] 剩余极化方向的估计

[0260] 以与比较例1中相同的方式来估计所产生的压电陶瓷的剩余极化方向。当 $\beta=180^\circ$ 时,压电常数为最高。该结果表明压电元件的压电陶瓷的剩余极化方向垂直于Au电极的表面。

[0261] 晶体结构的估计

[0262] 随后,以与比较例1中相同的方式来估计比较例3的条状压电元件的压电陶瓷的晶体结构。此时室温是25℃。测量表面的(002)/(200)衍射强度比值是1.19;c/a是1.001;测量表面的(002)衍射峰的半宽度是0.45°。与剩余极化方向相交的表面的(002)/(200)衍射强度比值是1.09。

[0263] 电气性质

[0264] 随后,以与比较例1中相同的方式来测量相对介电常数 ϵ_r 、机电耦合系数 k_{31} 、机械品质因数 Q_m 和功耗。此时室温是25℃。相对介电常数 ϵ_r 是2520;机电耦合系数 k_{31} 是0.188;机械品质因数 Q_m 是1810;并且功耗是31mW。

[0265] 表1

	x	y	q	Mn (份重量)	Bi (份重量)	A1/B1
实例 1	0.160	0.060	1.006	0.24	0.00	0.997
实例 2	0.140	0.070	1.002	0.16	0.03	0.996
实例 3	0.125	0.060	0.998	0.04	0.28	0.996
实例 4	0.140	0.074	1.012	0.36	0.44	0.997
实例 5	0.300	0.045	1.002	0.12	0.00	0.998
[0266] 实例 6	0.180	0.041	1.004	0.14	0.60	0.998
实例 7	0.160	0.060	1.016	0.50	0.15	0.996
实例 8	0.160	0.060	1.003	0.12	0.80	0.998
实例 9	0.000	0.000	1.002	0.10	0.00	0.998
实例 10	0.100	0.000	1.000	0.24	0.00	0.990
比较例 1	0.100	0.000	1.000	0.24	0.00	0.990
比较例 2	0.000	0.000	1.000	0.00	0.00	1.000
比较例 3	0.160	0.100	1.016	0.40	0.00	1.000

[0267] 表2

	相对密度 (%)	平均晶粒尺寸 (μm)
实例 1	96.2	5.7
实例 2	95.8	6.4
实例 3	93.1	1.9
实例 4	94.8	2.7
实例 5	93.5	4.1
实例 6	93.2	8.2
实例 7	96.1	2.9
实例 8	94.8	3.7
实例 9	95.9	8.7
实例 10	92.0	12.1
比较例 1	92.0	12.5
比较例 2	94.9	8.1
比较例 3	92.1	7.3

[0268] 表3

[0270]

	测量表面的 (002) / (200) 衍射强度比值	测量表面的 c/a	测量表面的 (002) 半宽度 ($^{\circ}$)	与剩余极化方向的 (002) 的 (002) / (200) 衍射强度比值	剩余极化方向	25 $^{\circ}$ C 的 k_{31}	25 $^{\circ}$ C 的 ϵ_r	25 $^{\circ}$ C 的 Q_m
实例 1	1.46	1.007	0.36	1.21	垂直于电极	0.219	1780	1700
实例 2	1.52	1.004	0.47	1.31	垂直于电极	0.248	2080	1520
实例 3	1.43	1.006	0.33	1.24	垂直于电极	0.229	1850	490
实例 4	1.42	1.005	0.31	1.26	垂直于电极	0.245	2060	1810
实例 5	1.37	1.008	0.33	1.16	垂直于电极	0.214	1380	830
实例 6	1.31	1.009	0.28	1.14	垂直于电极	0.211	1460	860
实例 7	1.24	1.007	0.26	1.03	垂直于电极	0.202	1600	2170
实例 8	1.42	1.007	0.25	1.25	垂直于电极	0.244	1750	1320
实例 9	1.18	1.010	0.33	1.08	垂直于电极	0.201	2400	1620
实例 10	1.06	1.009	0.34	1.04	垂直于电极	0.131	920	2480
比较例 1	0.91	1.009	0.38	0.91	垂直于电极	0.119	880	1700
比较例 2	0.93	1.009	0.13	0.96	垂直于电极	0.188	3650	280
比较例 3	1.19	1.001	0.45	1.09	垂直于电极	0.188	2520	1810

[0271] 表4

[0272]

	功耗 (mW)
实例1	16

实例2	12
实例3	21
实例4	12
实例5	21
实例6	22
实例7	16
实例8	14
实例9	25
实例10	25
比较例1	35
比较例2	72
比较例3	31

[0273] 现在将讨论表1至4中所示的结果。在实例1至9与比较例1至3之间的机电耦合系数 k_{31} 的对比中,所述实例的机电耦合系数 k_{31} 是0.201或更大。所以,这些实例展现出25mW或更小的功耗,低于比较例。

[0274] 在实例1至9之间的对比中,实例1、2、4、7、8和9的功耗低至25mW或更小,这也许是因为这些实例的机械品质因数 Q_m 为1320或更高并且高于其他实例。

[0275] 在实例10与比较例1之间的对比中,实例10的功耗低于比较例1的功耗。尽管实例10和比较例1的压电陶瓷具有相同的组成,但是测量表面的(002)/(200)衍射强度比值相互不同,并且比较例1的测量表面的(002)/(200)衍射强度比值小于1.0。所以,机电耦合系数 k_{31} 和机械品质因数 Q_m 也不同。在比较例1中,由于机电耦合系数 k_{31} 低于实例10的机电耦合系数 k_{31} ,所以1.0 μ m的位移所需要的电压增大。所以,电容电功率增大,从而增大了功耗。

[0276] 同样在比较例2中,测量表面的(002)/(200)衍射强度比值小于1.0,所以机电耦合系数 k_{31} 小于0.200。比较例2也展现出72mW的功耗,大于比较例1。这也许是因为在比较例2中,机械品质因数比比较例1的机械品质因数低得多,所以,驱动电功率增大,从而增大了功耗。

[0277] 比较例3展现出小于1.004的 c/a 。比较例3也展现出31mW的功耗,大于实例1至10。这也许是因为比较例3的相对介电常数高,增加了其电容电功率。

[0278] 振动器件的制备和评估

[0279] 实例11

[0280] 以与实例1中相同的方式,通过在实例1的压电陶瓷(热膨胀系数: $8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)上形成电极并极化该陶瓷,来制备压电元件。尺寸为10mm \times 2.5mm \times 2.5mm的因瓦合金隔膜(热膨胀系数: $1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)在室温中用可硬化的粘合剂结合到所产生的尺寸为10mm \times 2.5mm \times 0.5mm的条形的压电元件。从而制备了图6中所示的振动器件。

[0281] 随后,估计所产生的振动器件的压电陶瓷的晶体结构。为了估计,在前表面和底表面的两个点处测量压电元件的测量表面(尺寸为2.5mm \times 0.5mm)。通过 2θ - θ 方法用XRD(由Bruker AXS制造的D8ADVANCE)来测量所述表面。更具体地,Cu-K α 管用作辐射源,并且 2θ 设在 20° 到 50° 的范围内。扫描速度设为 $0.5^\circ/\text{min}$,并且以 0.02° 的间隔执行采样。入射光束的点直径是50 μ m。测量重复10次,并且对测出的(002)/(200)衍射强度比值进行平均以进行估

计。前表面的(002)/(200)衍射强度比值B是1.37,并且底表面的(002)/(200)衍射强度比值A是1.41。此时室温是25℃。

[0282] 通过谐振-反谐振法测出的振动器件的机械品质因数 Q_m 是2200。此外,通过施加频率在谐振频率附近的交流电压,来测量振动速度可以为0.5m/s时的电压。结果,使用14Vpp的电压才达到0.5m/s。

[0283] 实例12

[0284] 以与实例1中相同的方式,通过在实例1的压电陶瓷(热膨胀系数: $8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)上形成电极并极化该陶瓷,来制备压电元件。尺寸为10mm×2.5mm×2.5mm的SUS 420隔膜(热膨胀系数: $9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)在室温中用可硬化的粘合剂结合到所产生的尺寸为10mm×2.5mm×0.5mm的条形的压电元件以产生图6中所示的振动器件。

[0285] 随后,以与实例11中相同的方式,来估计所产生的振动器件的压电陶瓷的晶体结构。前表面的(002)/(200)衍射强度比值B是1.37,并且底表面的(002)/(200)衍射强度比值A是1.43。此时室温是25℃。

[0286] 通过谐振-反谐振法测出的振动器件的机械品质因数 Q_m 是2300。

[0287] 此外,通过向振动器件施加频率在谐振频率附近的交流电压,来测量振动速度可以为0.5m/s时的电压。结果,使用12.5Vpp的电压才达到0.5m/s。

[0288] 比较例4

[0289] 以与实例1中相同的方式,通过在比较例2的压电陶瓷(热膨胀系数: $7.8 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)上形成电极并极化该陶瓷,来制备压电元件。尺寸为10mm×2.5mm×2.5mm的SUS 420隔膜(热膨胀系数: $9 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$)在室温中用可硬化的粘合剂结合到所产生的尺寸为10mm×2.5mm×0.5mm的条形的压电元件以产生图6中所示的振动器件。

[0290] 此外,通过向振动器件施加频率在谐振频率附近的交流电压,来测量振动速度可以为0.5m/s时的电压。尽管施加了高达20Vpp的电压,振动速度也未达到0.5m/s。

[0291] 在实例11与12之间的对比中,使用SUS 420隔膜的振动器件的振动速度在更低电压达到0.5m/s。也许这是因为振动器件之间的机械品质因数 Q_m 的差异。这意味着当隔膜的热膨胀系数高于压电陶瓷时,振动器件展现出驱动高效率。

[0292] 喷液头的制备和评估

[0293] 实例13

[0294] 使用实例1的压电陶瓷,来制备具有图7B中所示结构的喷液头。喷液头根据电信号输入来喷出墨水。

[0295] 比较例5

[0296] 使用比较例3的压电陶瓷,来制备具有图7B中所示结构的喷液头。喷液头根据电信号输入来喷出墨水。此时的功耗是实例13的功耗的两倍。

[0297] 喷液装置的制备和评估

[0298] 实例14

[0299] 使用实例13的喷液头,来制备具有图8中所示结构的喷液装置。喷液装置根据电信号输入来把墨水喷在记录介质上。

[0300] 比较例6

[0301] 使用比较例5的喷液头,来制备具有图8中所示结构的喷液装置。喷液装置根据电

信号输入来把墨水喷在记录介质上。此时的功耗是实例14的功耗的两倍。

[0302] 超声电机的制备和评估

[0303] 实例15

[0304] 使用材料与实例11相同的振动器件,来制备具有图10中所示结构的超声电机。通过施加150g·cm的负载来控制输入电压,使得转速可以达到100rpm,并且测量此时的效率。结果,效率是11.1%。

[0305] 实例16

[0306] 使用材料与实例12相同的振动器件,来制备具有图10中所示结构的超声电机。通过施加150g·cm的负载来控制输入电压,使得转速可以达到100rpm,并且测量此时的效率。结果,效率是12.7%。

[0307] 比较例7

[0308] 使用材料与比较例4相同的振动器件,来制备具有图10中所示结构的超声电机。为了把转速设为100rpm,通过施加150g·cm的负载来控制输入电压。但是转速未达到100rpm。

[0309] 在实例15与16之间的对比中,使用SUS 420振动器件的超声电机展现出更高效率。也许这是因为振动器件之间的机械品质因数 Q_m 的差异。这意味着当隔膜的热膨胀系数高于压电陶瓷时,超声电机展现出高驱动效率。

[0310] 光学装置的制备和评估

[0311] 实例17

[0312] 使用实例16的超声电机,来制备具有图11中所示结构的光学装置。光学装置根据所施加的交流电压来展现自动聚焦操作。

[0313] 比较例8

[0314] 使用比较例7的超声电机,来制备具有图11中所示结构的光学装置。光学装置根据所施加的交流电压来展现自动聚焦操作。此时的功耗是实例17的功耗的2.5倍。

[0315] 除尘单元的制备和评估

[0316] 实例18

[0317] 使用实例1的压电陶瓷,来制备具有图13中所示结构的除尘单元。散落了些塑料珠并且施加交流电压。除尘单元展现出良好的除尘。

[0318] 比较例9

[0319] 使用比较例3的压电陶瓷,来制备具有图13中所示结构的除尘单元。散落了些塑料珠并且施加交流电压以除尘。此时的功耗是实例18的功耗的两倍。

[0320] 图像感测装置的制备和评估

[0321] 实例19

[0322] 使用实例18的除尘单元,来制备具有图16中所示结构的图像感测装置。当图像感测装置操作时,图像感测单元的表面上的尘埃被令人满意地去除并且形成了没有因尘埃造成的瑕疵的图像。

[0323] 比较例10

[0324] 使用比较例9的除尘单元,来制备具有图16中所示结构的图像感测装置。当图像感测装置操作时,图像感测单元的表面上的尘埃被令人满意地去除并且形成了没有因尘埃造成的瑕疵的图像。但是此时的功耗是实例19的功耗的两倍。

[0325] 电子装置的制备和评估

[0326] 实例20

[0327] 使用实例1的压电陶瓷,来制备具有图18中所示结构的电子装置。电子装置根据所施加的交流电压来执行扬声操作。

[0328] 比较例11

[0329] 使用比较例3的压电陶瓷,来制备具有图18中所示结构的电子装置。电子装置根据所施加的交流电压来执行扬声操作。此时的功耗是实例20的功耗的两倍。

[0330] 本申请的实施例的压电陶瓷具有高机械品质因数,所以使用此压电陶瓷的压电元件能够低功耗且高效率地操作。此外,压电陶瓷不含铅和碱金属,环境负荷低。因此本申请的实施例的压电陶瓷可以高效地用于包括压电元件的各种装置或器件,诸如喷液头、超声电机和除尘单元。

[0331] 虽然已经参考示例性实施例描述了本发明,但是应当理解,本发明不限于所公开的示例性实施例。所附权利要求书的范围应被赋予最宽泛的解释以覆盖所有这种修改以及等效的结构和功能。

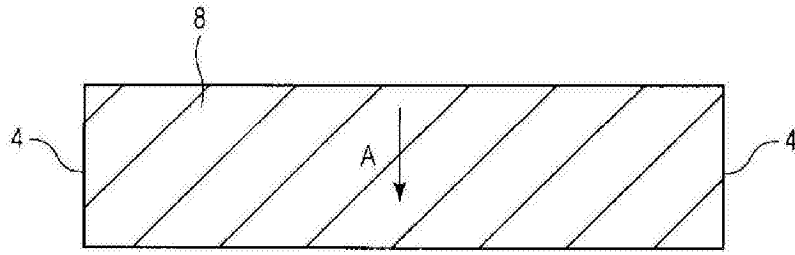


图1

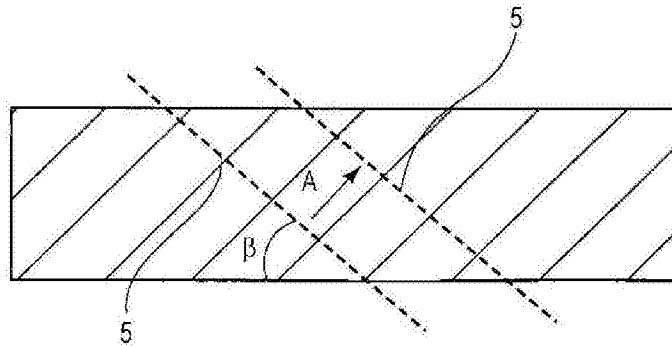


图2

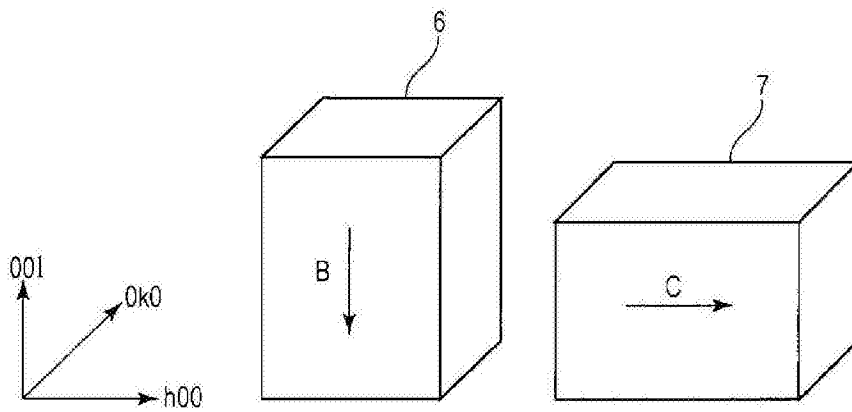


图3

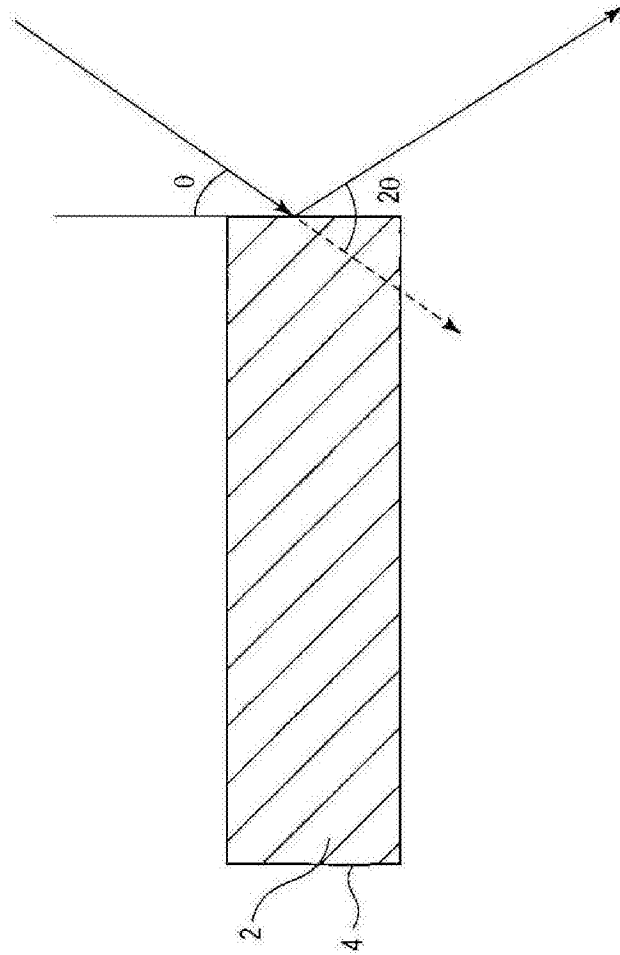


图4

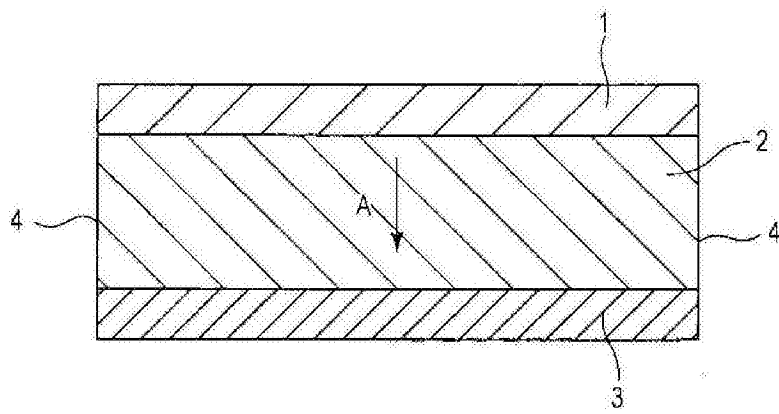


图5

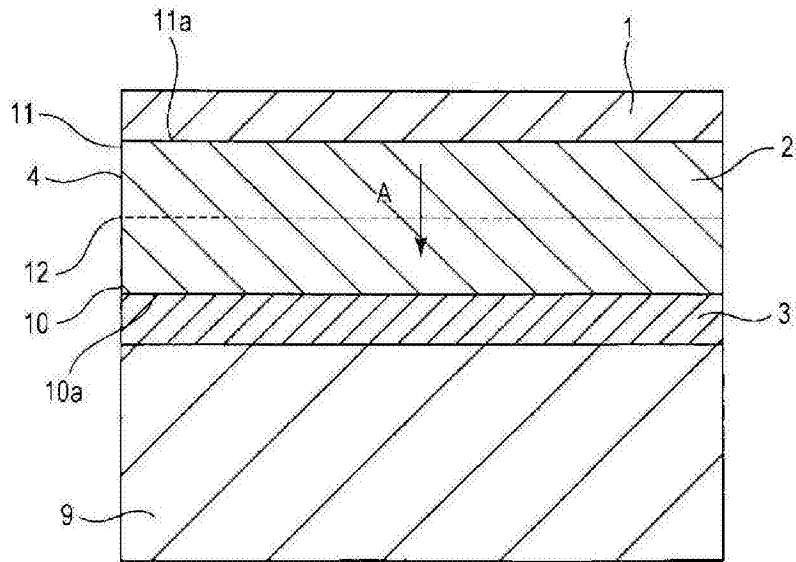


图6

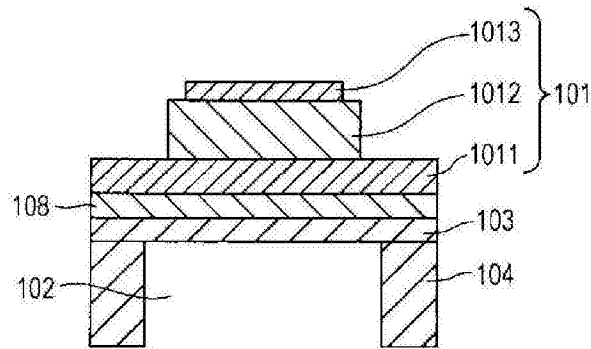


图7A

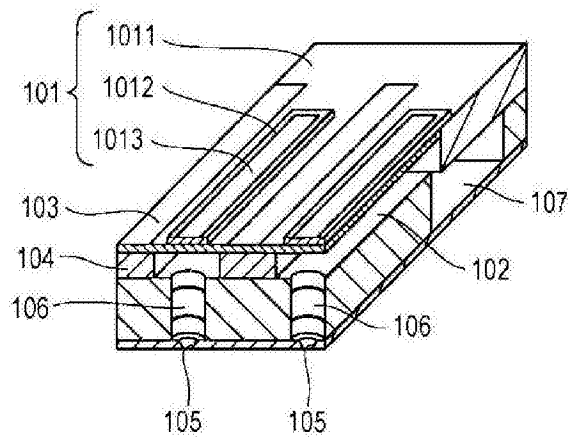


图7B

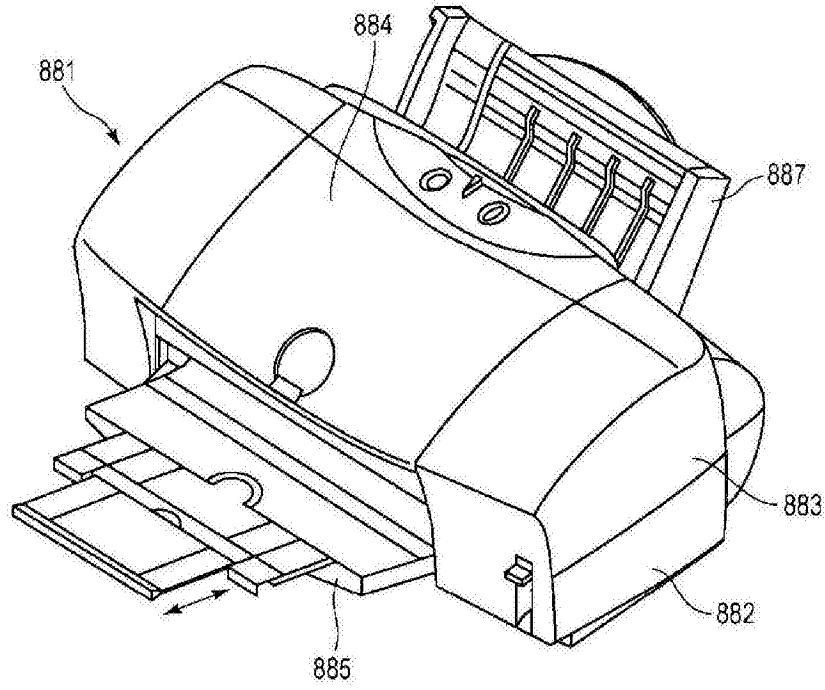


图8

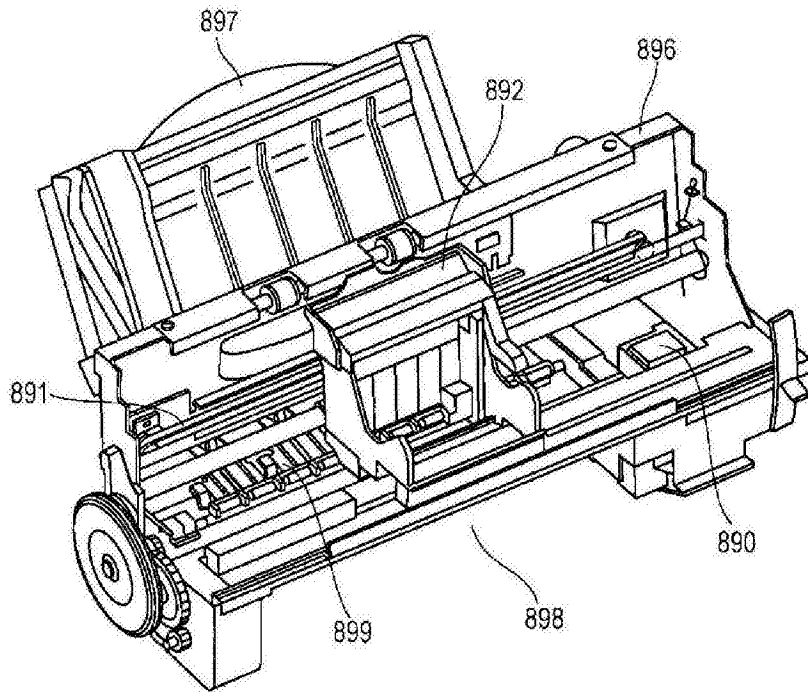


图9

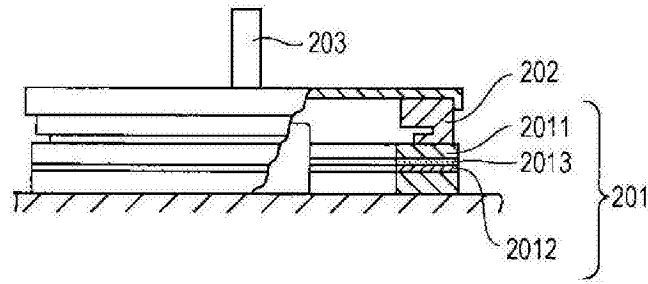


图10

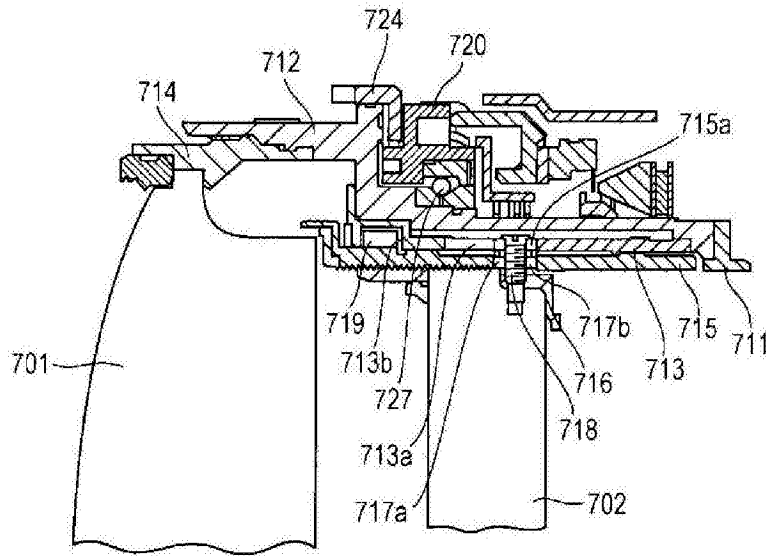


图11A

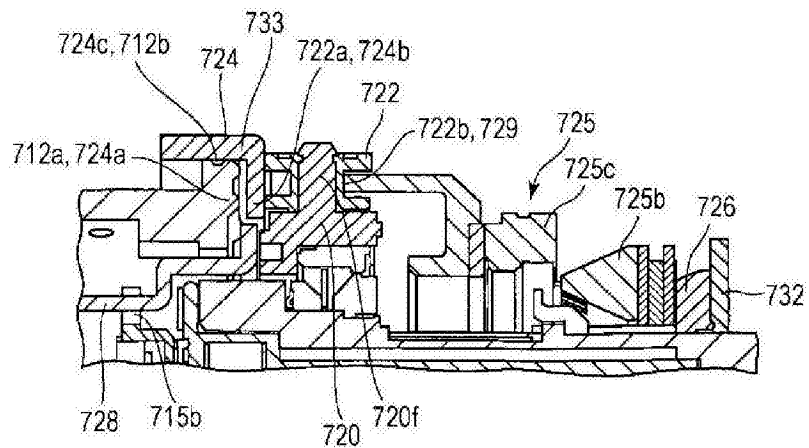


图11B

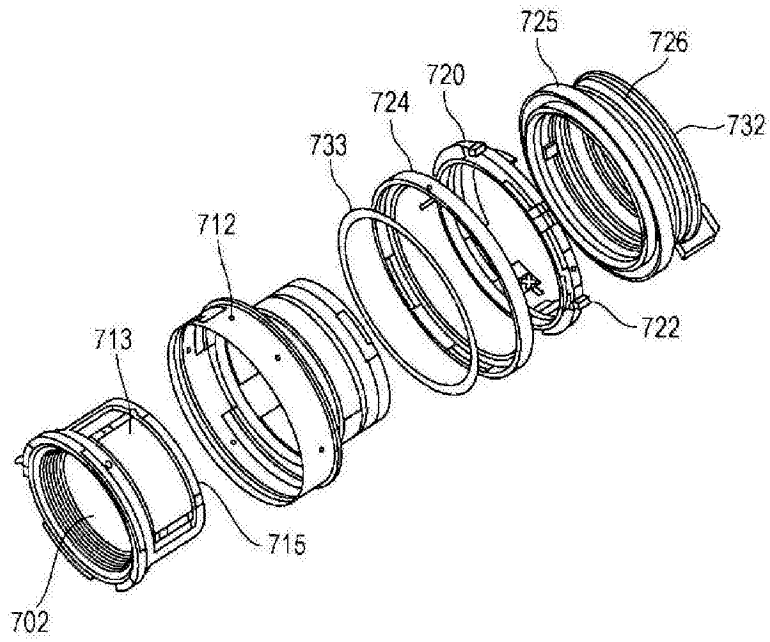


图12

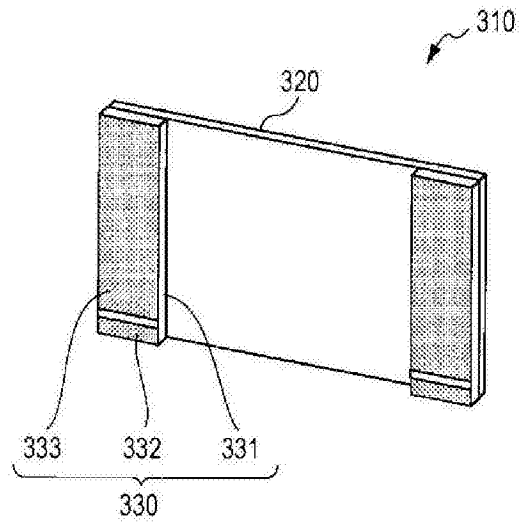


图13A

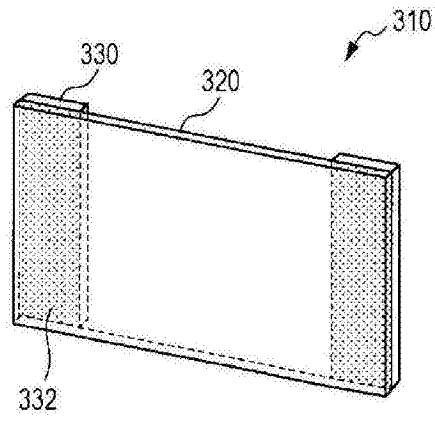


图13B

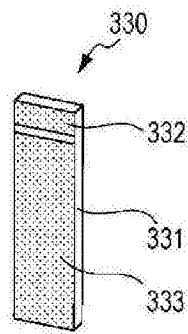


图14A

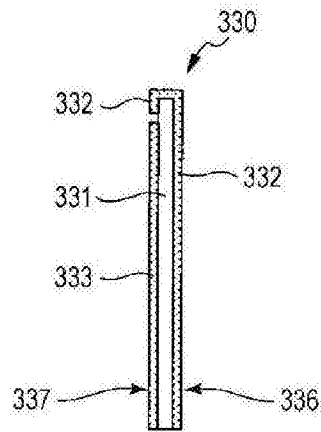


图14B

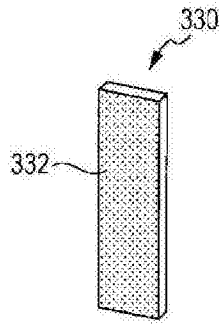


图14C

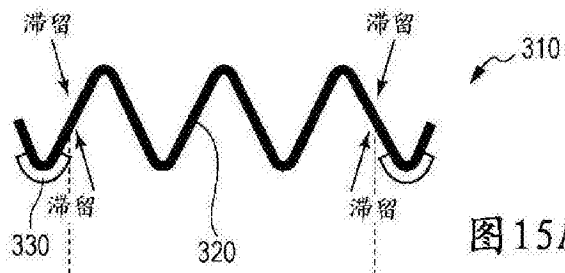


图 15A

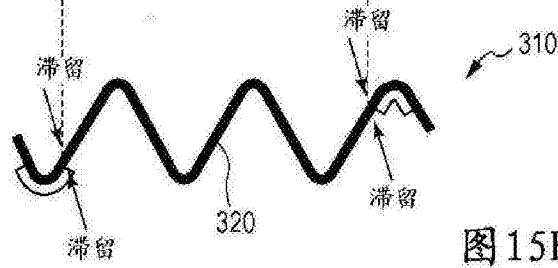


图 15B

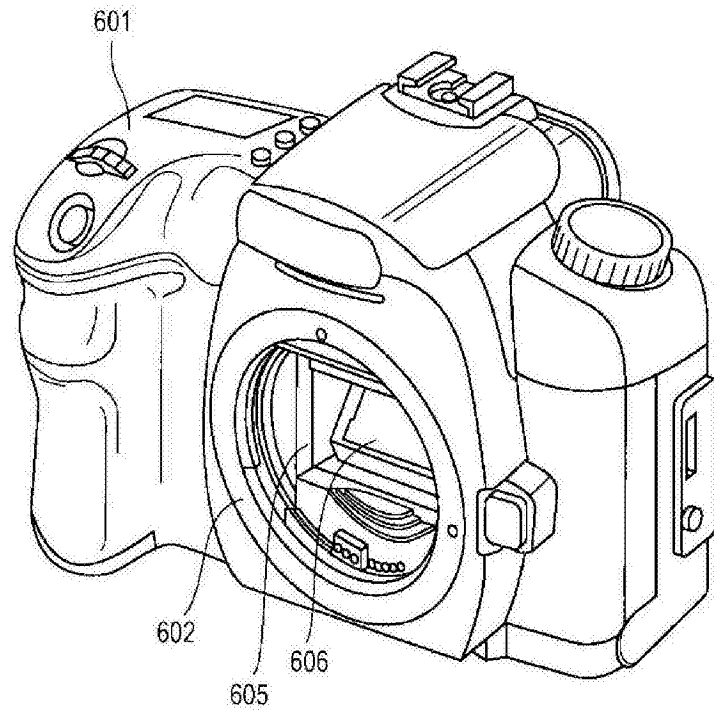


图16

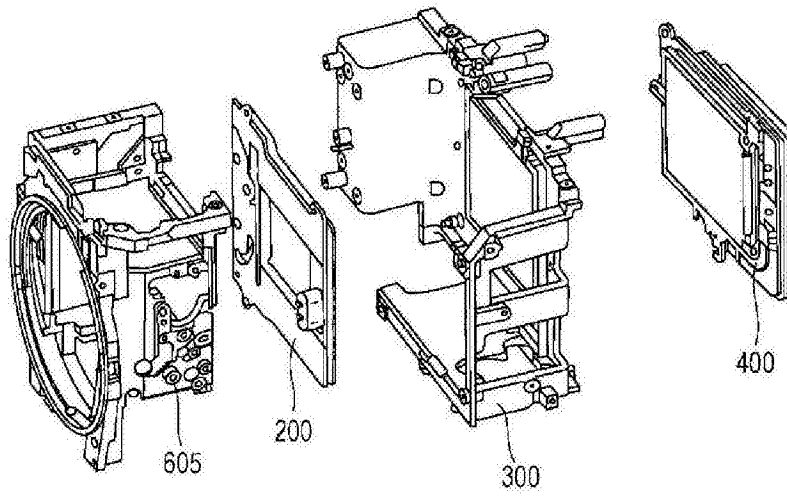


图17

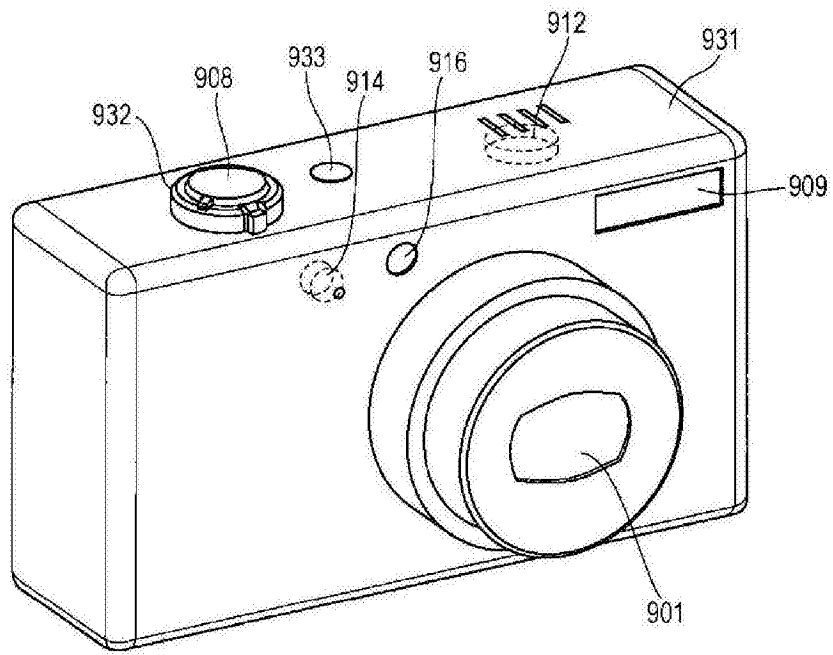


图18