



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1661827 B

(45) 授权公告日 2010. 04. 28

(21) 申请号 200510002980. X

US 20030168624 A1, 2003. 09. 11, 全文.

(22) 申请日 2005. 01. 27

US 20030234835 A1, 2003. 12. 25, 全文.

(30) 优先权数据

审查员 刘婧

2004-018017 2004. 01. 27 JP

(73) 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 鸟井秀雄 藤井映志 镰田健

(74) 专利代理机构 北京尚诚知识产权代理有限公司 11322

代理人 龙淳

(51) Int. Cl.

H01L 41/09 (2006. 01)

B41J 2/045 (2006. 01)

(56) 对比文件

US 6121647 A, 2000. 09. 19, 全文.

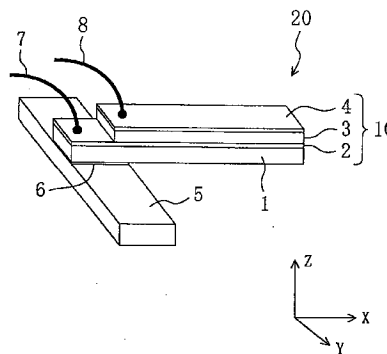
权利要求书 3 页 说明书 22 页 附图 8 页

(54) 发明名称

压电元件及其制造方法、以及喷墨头和喷墨式记录装置

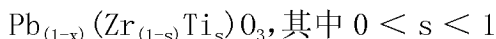
(57) 摘要

本发明提供压电元件及其制造方法、以及使用该压电元件的喷墨头及喷墨式记录装置。其中,压电元件(20)的压电体薄膜(3)中包含的铅量比化学计量成分少。即,由用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ ($0 < s < 1$) 表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用 $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)O_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$) 表示的锆钛酸铅类氧化物构成压电体薄膜(3),表示 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

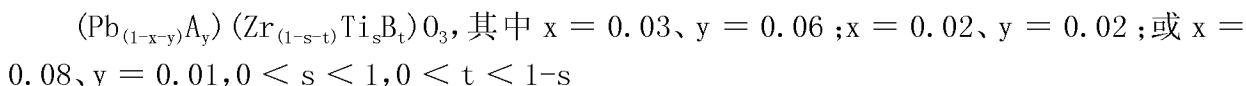


1. 一种压电元件,具有按照第一电极膜、压电体薄膜、第二电极膜这样的顺序层叠构成的层叠体,其特征在于:

所述压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物、化学组成式用



表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用



表示的锆钛酸铅类氧化物形成,

在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

2. 根据权利要求 1 所述的压电元件,其特征在于:锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中的 A 是从镧、铈、铋及钙的组中选择的至少一种金属离子,

所述化学组成式中的 B 是从铌、镁、镍、锰及铁的组中选择的至少一种金属离子。

3. 根据权利要求 1 所述的压电元件,其特征在于:压电体薄膜的厚度大于等于 2 微米而小于等于 6 微米。

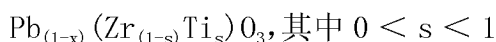
4. 根据权利要求 1 所述的压电元件,其特征在于:压电体薄膜沿 (001) 面取向。

5. 根据权利要求 1 所述的压电元件,其特征在于:振动片配置在层叠体的层叠方向的一方侧的面上。

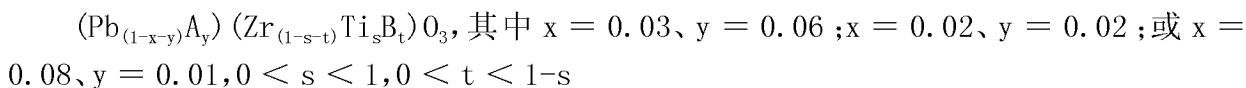
6. 根据权利要求 5 所述的压电元件,其特征在于:振动片由从硅、玻璃、陶瓷材料及金属材料的组中选择的至少一种制成。

7. 一种压电元件的制造方法,该方法包括:在基板上形成第一电极膜的工序;在该第一电极膜上,用溅射法形成压电体薄膜的工序;以及在该压电体薄膜上形成第二电极膜的工序,该压电元件的制造方法的特征在于:

所述压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物、化学组成式用



表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用



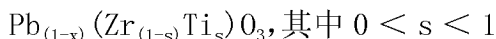
表示的锆钛酸铅类氧化物形成,

在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15,

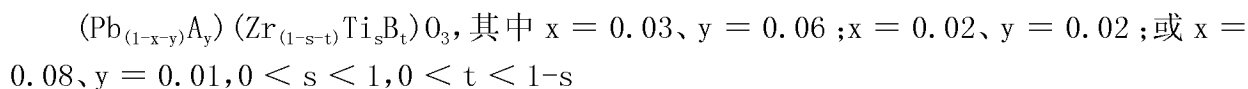
形成所述压电体薄膜的工序是这样一种工序:在使形成有所述第一电极膜的基板从接地电位呈电气浮置的电位状态、而且使溅射气体压力大于等于 0.05Pa 而小于等于 0.15Pa 的溅射条件下,形成压电体薄膜。

8. 一种压电元件的制造方法,该方法包括:在基板上形成第一电极膜的工序;在该第一电极膜上,用溅射法形成压电体薄膜的工序;以及在该压电体薄膜上形成第二电极膜的工序,该压电元件的制造方法的特征在于:

所述压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物、化学组成式用



表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用



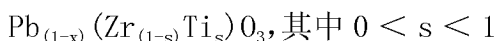
表示的锆钛酸铅类氧化物形成,

在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15,

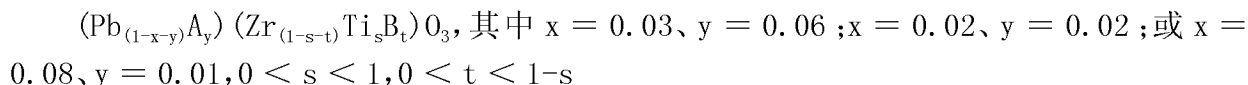
形成所述压电体薄膜的工序是这样一种工序:在对形成了所述第一电极膜的基板施加偏压,以便该基板呈与接地电位相同或比接地电压低的负电位状态的溅射条件下,形成压电体薄膜。

9. 一种喷墨头,该喷墨头具有:有着按照第一电极膜、压电体薄膜及第二电极膜这样的顺序层叠的层叠体、以及设置在该层叠体的层叠方向的一方侧的面上的振动片的压电元件;收容墨水的压力室;以及与该压力室连通的喷嘴,利用所述压电元件的压电体薄膜的压电效应,使所述振动片沿厚度方向位移,使所述压力室内的墨水从所述喷嘴排出,

所述压电元件的压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用



表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用



表示的锆钛酸铅类氧化物构成,

在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

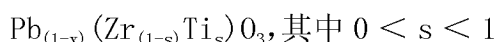
10. 一种喷墨式记录装置,该装置具有:

喷墨头,该喷墨头设置有:有着按照第一电极膜、压电体薄膜及第二电极膜这样的顺序层叠的层叠体、以及设置在该层叠体的层叠方向的一方侧的面上的振动片的压电元件;收容墨水的压力室;以及与该压力室连通的喷嘴;和

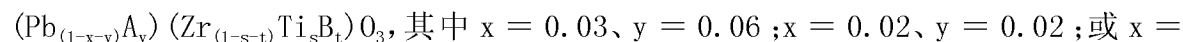
使所述喷墨头和记录媒体相对移动的相对移动单元,

所述喷墨头相对记录媒体进行相对移动时,利用该喷墨头中的压电元件的压电体薄膜的压电效应,使所述振动片沿厚度方向位移,使所述压力室内的墨水从所述喷嘴排出到所述记录媒体上进行记录,

所述喷墨头中的压电元件的压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用



表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用



0.08、 $y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$

表示的铅钛酸铅类氧化物形成，

在所述铅钛酸铅及铅钛酸铅类氧化物的化学组成式中，表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

11. 根据权利要求 10 所述的喷墨式记录装置，其特征在于：

相对移动单元由使喷墨头沿规定方向往复移动的头移送单元、以及沿着与所述规定方向大致垂直的方向移送所述记录媒体的记录媒体移送单元构成，

利用所述相对移动单元的头移送单元使所述喷墨头沿所述规定方向移动时，从该喷墨头的喷嘴将压力室内的墨水排出到记录媒体上进行记录。

12. 根据权利要求 10 所述的喷墨式记录装置，其特征在于：

多个喷墨头在沿着规定方向排列的状态下互相连结，

相对移动单元使记录媒体沿着与所述规定方向大致垂直的方向移动，从而使所述喷墨头和记录媒体相对移动。

压电元件及其制造方法、以及喷墨头和喷墨式记录装置

技术领域

[0001] 本发明涉及具有电气机械变换功能的压电元件及其制造方法、以及使用该压电元件的喷墨头及喷墨式记录装置。

背景技术

[0002] 一般说来,压电元件具有以两个电极沿着压电体的厚度方向将压电体夹在中间构成的层叠体。这里,压电体的材料是一种将机械能变换成电能、或者将电能变换成机械能的材料。作为具有代表性的压电材料,有:作为钙钛矿型晶体结构的氧化物的锆钛酸铅($\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$) (PZT)、在该 PZT 中添加了镁、锰、镍、铌等的物质等。

[0003] 特别是在钙钛矿型正方晶类晶体结构的 PZT 的情况下,沿 $\langle 001 \rangle$ 轴方向(c 轴方向)能获得最大的压电位移。可是,许多压电材料是由晶粒的集合体构成的多晶体,各晶粒的晶轴的取向呈零乱方向。因此,自发极化 P_s 也零乱地排列,但在压电元件的情况下,它们的矢量的总和与电场呈平行方向。而且,在作为该压电元件的一种形态的压电促动器中(将振动片设置在上述层叠体上),如果将电压加在两个电极之间,则能获得与该电压的大小成比例的位移。

[0004] 可是,如果在长时间地暴露在湿度大的气氛中的状态下,将高电压加在上述压电元件上,则压电体的电绝缘性低,而引起绝缘破坏,这样的现象可作为压电元件的可靠性的一大问题。

[0005] 因此,以防止发生这样的现象为目的,迄今采取了各种各样的方法。尤其是为了防止发生与绝缘破坏关系最大的电极材料的迁移,考虑了在电极材料中选择不引起迁移的金或铂。

[0006] 可是,已知即使将金或铂用于电极材料以防止电极材料的迁移,但压电体的绝缘电阻下降。即,该绝缘电阻下降的原因是由于水分直接袭击压电材料引起的,作为防止其下降的方法,如果将压电元件整体收容在内部装入了干燥剂的金属性密闭容器中,将该容器完全密闭,则能证实压电体不会发生绝缘劣化(例如,参照特开平 4-349675 号公报)。

[0007] 可是,近年来伴随电子装置的小型化,对压电元件也强烈地要求小型化。而且,为了满足该要求,压电元件开始采用其体积比以往大多使用的烧结体显著地小的薄膜形态,压电元件的薄膜化的研究开发盛行起来。例如作为形成 PZT 膜的方法,有溅射法、CVD 法、(溶胶-凝胶(SOL-GEL)法等,分别在氧浓度的调节和热处理条件上下工夫,能获得特性好的压电体薄膜。

[0008] 而且,为了小型化,压电元件希望不像上述那样装入金属制的密闭容器中,而采用裸露的状态,为此,想办法即使不装入密闭容器中,在湿度大的环境中使用也不会劣化。例如,设计了这样一种方法:在构成压电元件的压电层附近设置发热膜,用该发热膜主动地加热压电层,防止湿气被压电层吸收(例如,参照特开 2000-43259 号公报)。

[0009] 这里,用高温合成包含 PZT 等铅化合物的压电体。它即使呈薄膜形态也一样,由于高温时铅的蒸气压高,所以例如在 PZT 薄膜的情况下,与化学计量组成的 PZT(化学组成式

为 $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ ($0 < x < 1$), 化学组成比为 $\text{Pb} : \text{Zr}+\text{Ti} : \text{O} = 1 : 1 : 3$) 相比, 通常呈铅过剩的组成 (例如, 参照特开平 10-290033 号公报)。

[0010] 本发明者们, 在采用上述铅过剩的压电体薄膜的压电元件中, 研究了在湿气大的环境中施加了高电压时引起绝缘破坏的原因, 结果发现了以下的机理。即, 压电体薄膜多由例如从用溅射法制作的压电体薄膜的厚度方向的一侧朝向另一侧的多个柱状晶粒构成的集合体构成, 这些柱状晶粒之间的边界部分作为晶界存在。另外, 即使在未表示柱状结晶的集合体的形态的情况下, 也有许多晶界。而且, 查明了在该压电体的晶界上, 过剩的铅以氧化物的形态存在, 该晶界上存在的铅氧化物与作为湿气被吸收的水分起电化学反应而变质, 在现有的压电元件中, 发生绝缘破坏的原因可以认为由于水分通过电极膜上的针孔而进入压电体薄膜的晶界, 存在于该晶界上的氧化铅由于该水分经过氢氧化铅而变成有导电性的二氧化铅。

[0011] 根据这样的认识, 如果能避免水分对包含 PZT 等铅化合物的压电材料的直接侵袭即可, 作为其方法, 可以考虑制造压电元件时, 制作了压电体、第一电极和第二电极的层叠体后, 将第一电极和第二电极中的任意一个电极暴露在烷氧基锆、乙酰丙酮锆、羧基锆等化学物质中, 由电极将该化学物质吸收到压电体薄膜中, 用电化学稳定的氧化锆覆盖存在于该压电体薄膜的晶界上的氧化铅或氢氧化铅, 从而能防止泄漏电流通过晶界流动。由于这样用由氧化锆构成的绝缘膜覆盖晶界, 所以晶界的电化学性质由存在于晶界上的氧化锆决定。因此, 由于能使晶界呈电化学稳定状态, 所以能防止泄漏电流通过晶界流动。因此, 即使在高湿度中也能防止发生绝缘破坏。

[0012] 可是, 用上述的方法时, 制作了层叠体后有必要进行氧化锆处理等, 因此, 存在制造工序变得复杂的问题。

发明内容

[0013] 本发明就是鉴于这样的情况而完成的, 其目的在于能容易地获得即使在高湿度环境中用高电压驱动, 也不发生绝缘性的降低、且有很高的可靠性的压电元件。

[0014] 为了达到上述目的, 在本发明中, 使压电体薄膜中含有的铅量比化学计量组成少。

[0015] 具体地说, 发明的第一方面, 将具有按照第一电极膜、压电体薄膜、第二电极膜这样的顺序层叠构成的层叠体的压电元件作为对象。

[0016] 而且, 上述压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物、化学组成式用

[0017] $\text{Pb}_{(1-x)}(\text{Zr}_{(1-s)}\text{Ti}_s)\text{O}_3$ ($0 < s < 1$)

[0018] 表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子, 将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子, 用

[0019] $(\text{Pb}_{(1-x-y)}\text{A}_y)(\text{Zr}_{(1-s-t)}\text{Ti}_s\text{B}_t)\text{O}_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$)

[0020] 表示的锆钛酸铅类氧化物构成,

[0021] 在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中, 表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

[0022] 根据上述的结构, 构成压电元件的压电体薄膜中含有的铅组成的量比化学计量组成少, 在压电体薄膜的晶界上不存在由大气中的水分引起化学反应的铅氧化物, 其结果, 即

使在高湿度环境中通过施加电压进行驱动,也不会发生由于绝缘性下降而引起的劣化。而且,只适当地设定溅射条件,就能容易地获得这样的低铅组成的压电体薄膜(参照后面所述的发明的第七及第八方面),不需要进行氧化锆处理等。因此,能容易地获得具有高可靠性的压电元件。

[0023] 发明的第二方面,是在发明的第一方面中,锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中的A是从镧(La)、锶(Sr)、铋(Bi)及钙(Ca)的组中选择的至少一种金属离子,所述化学组成式中的B是从铌(Nb)、镁(Mg)、镍(Ni)、锰(Mn)及铁(Fe)的组中选择的至少一种金属离子。

[0024] 因此,能获得有各种性质的压电体薄膜,能够实现具有特征性的压电特性的压电元件。

[0025] 发明的第三方面,是在发明的第一方面中,压电体薄膜的厚度大于等于2微米而小于等于6微米。

[0026] 在这种情况下,通常使用时,容易获得有稳定的位移和可靠性的压电体薄膜。

[0027] 发明的第四方面,是在发明的第一方面中,压电体薄膜优先沿(001)面取向。

[0028] 这样做,能使压电体薄膜的晶粒的极化方向沿一个方向对齐,所以对应于电压的施加,呈现稳定的位移。

[0029] 发明的第五方面,是在发明的第一方面中,振动片配置在层叠体的层叠方向的一方侧的面上。

[0030] 发明的第六方面,是在发明的第五方面中,振动片由从硅、玻璃、陶瓷材料及金属材料的组中选择的至少一种构成。

[0031] 利用这些发明的第五及第六方面,通过对第一及第二电极膜之间施加电压,容易获得沿层叠体的层叠方向位移的可靠性高的压电元件(压电促动器)。

[0032] 发明的第七方面,是一种压电元件的制造方法,该方法包括:在基板上形成第一电极膜的工序;在该第一电极膜上,用溅射法形成压电体薄膜的工序;以及在该压电体薄膜上形成第二电极膜的工序。

[0033] 而且,在本发明中,上述压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ ($0 < s < 1$)表示的锆钛酸铅、或将A作为进入钙钛矿型晶体结构的A位置的添加金属离子,将B作为进入钙钛矿型晶体结构的B位置的添加金属离子,用 $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)O_3$ ($x = 0.03$ 、 $y = 0.06$; $x = 0.02$ 、 $y = 0.02$;或 $x = 0.08$ 、 $y = 0.01$, $0 < s < 1$, $0 < t < 1-s$)表示的锆钛酸铅类氧化物构成,在上述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的Pb组成的缺损量的x的值大于0而小于等于0.15,形成上述压电体薄膜的工序是这样一种工序:在使形成了上述第一电极膜的基板从接地电位呈电气浮置的电位状态、而且使溅射气体压力大于等于0.05Pa而小于等于0.15Pa的溅射条件下,形成压电体薄膜。

[0034] 即,在压电体薄膜的形成工序中,为了形成铅成分少的压电体薄膜,溅射成膜时,使利用溅射气体从靶上弹出后射到基板上的组成结构元素粒子中蒸气压高的铅元素粒子的着膜率下降即可,为此,本发明者们发现了在基板上增加将溅射粒子打掉的离子撞击是有效的。作为其具体的方法有:在基板从接地电位呈电气浮置的电位状态(就是说基板不接地而且在电气上不进行其他连接的状态)的情况下,提高溅射成膜时的真空度(降低溅射气体压力),减少溅射粒子与基板和靶之间的空间中存在的气体分子碰撞的概率,增加

离子撞击基板的方法;或者,通过使基板的电位呈与接地电位相同或比接地电位低的负电位状态,电气性地将溅射粒子带领到基板上,对基板施加离子撞击的方法。在该第七发明中,将溅射气体压力设定为 0.15Pa 以下的低压,能对基板施加离子撞击,因此,能容易地形成铅成分少的压电体薄膜。因此,能容易地批量生产发明的第一方面的可靠性高的压电元件。另外,之所以使溅射气体压力大于等于 0.05Pa,是因为如果小于 0.05Pa,则在溅射装置中成膜时难以生成等离子体。

[0035] 发明的第八方面,以压电元件的制造方法为对象,该方法包括:在基板上形成第一电极膜的工序;在该第一电极膜上,用溅射法形成压电体薄膜的工序;以及在该压电体薄膜上形成第二电极膜的工序。

[0036] 而且,上述压电体薄膜是呈由钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)_2O_3$ ($0 < s < 1$) 表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用 $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)_2O_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$) 表示的锆钛酸铅类氧化物构成,在上述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15,形成上述压电体薄膜的工序是这样一种工序:在对形成了上述第一电极膜的基板施加偏压,以便该基板呈与接地电位相同或比接地电压低的负电位状态的溅射条件下,形成压电体薄膜。

[0037] 因此,电气性地将溅射粒子带领到基板上,能对基板施加离子撞击,如上所述,能形成铅成分少的压电体薄膜。特别是如果使基板呈比接地电压低的负电位状态,则能电气性更强地将溅射粒子带领到基板上,其结果,能对基板施加相当大的离子撞击,能更可靠而且容易地形成铅成分少的压电体薄膜。因此,与发明的第七方面相同,能容易地批量生产可靠性高的压电元件。

[0038] 发明的第九方面是喷墨头的发明,该喷墨头具有:有按照第一电极膜、压电体薄膜及第二电极膜这样的顺序层叠的层叠体、以及设置在该层叠体的层叠方向的一方侧的面上的振动片的压电元件;收容墨水的压力室;以及与该压力室连通的喷嘴,利用上述压电元件的压电体薄膜的压电效应,使上述振动片沿厚度方向位移,使上述压力室内的墨水从上述喷嘴排出。

[0039] 而且,在本发明中,上述压电元件的压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)_2O_3$ ($0 < s < 1$) 表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用 $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)_2O_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$) 表示的锆钛酸铅类氧化物构成,在上述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

[0040] 采用本发明,能容易地获得可靠性及耐久性极好的喷墨头。

[0041] 发明的第十方面是喷墨式记录装置的发明,该装置具有:

[0042] 喷墨头,该喷墨头设置有:有着按照第一电极膜、压电体薄膜及第二电极膜这样的顺序层叠的层叠体、以及设置在该层叠体的层叠方向的一方侧的面上的振动片的压电元

件 ;收容墨水的压力室 ;以及与该压力室连通的喷嘴 ;和

[0043] 使所述喷墨头和记录媒体相对移动的相对移动单元,

[0044] 所述喷墨头相对记录媒体进行相对移动时,利用该喷墨头中的压电元件的压电体薄膜的压电效应,使所述振动片沿厚度方向位移,使所述压力室内的墨水从所述喷嘴排出到所述媒体上进行记录。

[0045] 而且,在本发明中,所述喷墨头中的压电元件的压电体薄膜是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用

[0046] $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3(0 < s < 1)$

[0047] 表示的锆钛酸铅、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用

[0048] $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)O_3(x = 0.03、y = 0.06 ; x = 0.02、y = 0.02 ; 或 x = 0.08、y = 0.01,0 < s < 1,0 < t < 1-s)$

[0049] 表示的锆钛酸铅类氧化物构成,

[0050] 在所述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。

[0051] 采用本发明,能容易地获得排出性能的离散少而且可靠性高的喷墨式记录装置。

[0052] 发明的第十一方面是在发明的第十方面中,相对移动单元由使喷墨头沿规定方向往复移动的头移送单元、以及沿着与所述规定方向大致垂直的方向移送所述记录媒体的记录媒体移送单元构成,

[0053] 利用所述相对移动单元的头移送单元使所述喷墨头沿所述规定方向移动时,从该喷墨头的喷嘴将压力室内的墨水排出到记录媒体上进行记录。

[0054] 在此情况下,能容易地获得喷墨头往复移动型的喷墨式记录装置。

[0055] 发明的第十二方面是在发明的第十方面中,多个喷墨头在沿着规定方向排列的状态下互相连结,相对移动单元使记录媒体沿着与所述规定方向大致垂直的方向移动,使所述喷墨头和记录媒体相对移动。

[0056] 因此,能容易地获得线状头型的喷墨式记录装置。

附图说明

[0057] 图 1 是表示本发明的实施方式的压电元件的立体图。

[0058] 图 2A ~ 图 2E 是表示图 1 中的压电元件的制造方法的工序图。

[0059] 图 3 是表示在实施例 1 的压电元件中在第一电极膜和第二电极膜之间施加了三角波电压时压电元件前端的位移量的特性曲线图。

[0060] 图 4 是表示本发明的实施方式的喷墨头的概略图。

[0061] 图 5 是表示图 4 中的喷墨头的喷墨元件的局部切断了的分解立体图。

[0062] 图 6 是图 5 中的 VI-VI 线剖面图。

[0063] 图 7A ~ 图 7I 是表示图 4 中的喷墨头的制造方法的工序图。

[0064] 图 8 是表示本发明的实施方式的喷墨式记录装置的概略立体图。

[0065] 图 9 是表示本发明的实施方式的另一种喷墨式记录装置的概略立体图。

具体实施方式

[0066] 以下,根据附图说明本发明的实施方式。

[0067] 实施方式 1

[0068] 图 1 是表示本发明的实施方式的压电元件的立体图。如图 1 所示,本实施方式的压电元件 20 具有长 11.0mm、宽 3.0mm、厚 0.30mm 的矩形平板状的由硅 (Si) 构成的基板 1; 以及配置在该基板 1 上的层叠体 10。该压电元件 20 从其一端至 3.0mm 的部分,利用环氧类粘合剂 6,被固定在沿着与压电元件 20 垂直的方向 (图 1 所示的坐标轴 Y 的方向) 延伸的长 10.0mm、宽 3.0mm、厚 1.0mm 的不锈钢支撑基板 5 上,压电元件 20 由该不锈钢支撑基板 5 支撑,呈单臂梁状。

[0069] 上述层叠体 10 按照第一电极膜 2、压电体薄膜 3 和第二电极膜 4 这样的顺序层叠而成,是利用溅射法在基板 1 上依次形成第一电极膜 2、压电体薄膜 3 和第二电极膜 4 而层叠起来的。另外,第一及第二电极膜 2、4 的成膜法可以为任意的的方法,例如可以是 CVD 法或溶胶·凝胶法等。

[0070] 上述基板 1 有配置在层叠体 10 的层叠方向一侧 (第一电极膜 2 一侧) 面上的振动片的作用。即,利用层叠体 10 的压电体薄膜 3 的压电效应,该压电体薄膜 3 沿着与其厚度方向垂直的方向伸缩,但作为振动片的基板 1 阻止该伸缩,所以压电元件 20 的前端侧 (自由端侧) 沿其厚度方向 (层叠体 10 的层叠方向) 位移。另外,基板 1 不限于硅,也可以由玻璃、陶瓷材料、金属材料等构成。

[0071] 上述第一电极膜 2 的厚度为 0.10 微米,被做成含有钴 (Co) 为 6 摩尔%的铱 (Ir) 合金薄膜,设置在上述基板 1 的厚度方向的一个侧面的整个面上。另外,第一电极膜 2 也可以不用这样的含有 Co 的铱合金构成,而用任意的金属构成,但如后面所述,在该第一电极膜 2 上形成上述压电体薄膜时为了能良好地控制该压电体薄膜 3 的结晶取向,优选由添加了从钛 (Ti)、铝 (Al)、铁 (Fe)、钴 (Co)、镍 (Ni)、锰 (Mn)、铜 (Cu)、镁 (Mg)、钙 (Ca)、锶 (Sr)、钡 (Ba) 及它们的氧化物组中选择的至少一种添加物的贵金属构成。

[0072] 在上述第一电极膜 2 上,在除了从粘接在上述不锈钢支撑基板 5 一侧 (基端侧) 的一端至 3.0mm 的部分以外的整个面 (就是说宽 3.0mm、长 8.0mm 的部分) 上设置上述压电体薄膜 3,由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物构成。具体地说,由化学组成式用

[0073] $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ ($0 < s < 1$)

[0074] 表示的锆钛酸铅 (PZT)、或将 A 作为进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,将 B 作为进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子,用

[0075] $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)O_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$)

[0076] 表示的锆钛酸铅类氧化物 (PZT 类氧化物) 构成。而且,在上述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15。在此情况下,压电体薄膜 3 中含有的铅成分比化学计量成分少。因此,在压电体薄膜 3 的晶界上不存在由大气中的水分引起化学反应的铅氧化物。其结果,即使在高湿度环境中进行施加电压进行的驱动,也不会发生由绝缘性下降引起的劣化。压电体薄膜 3 中含有的铅成分越少 (x 的值越大) 越能可靠地获得这样的效果,但如果 x 的值比 0.15 大,则压电体薄膜 3 本身难以成膜,即使能成膜,压电特性也不充分,所以为小于等于 0.15。另

外, x 的值更优选为大于等于 0.03、小于等于 0.15。

[0077] 上述锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中的 A, 优选是从镧 (La)、锶 (Sr)、铋 (Bi) 及钙 (Ca) 的组中选择的至少一种金属离子, 上述化学组成式中的 B 优选是从铌 (Nb)、镁 (Mg)、镍 (Ni)、锰 (Mn) 及铁 (Fe) 组中选择的至少一种金属离子。

[0078] 另外, 上述压电体薄膜 3 优选在 (001) 面优先取向, 该压电体薄膜 3 的厚度优选大于等于 2 微米、小于等于 6 微米。

[0079] 上述第二电极膜 4 被做成厚度为 0.25 微米的铂 (Pt) 薄膜, 设置在上述压电体薄膜 3 整体上, 各引线 7、8 连接在上述第一电极膜 2 及第二电极膜 4 上。另外, 第二电极膜 4 不必需要用铂构成, 可以用任意的金属构成。

[0080] 而且, 如果通过上述引线 7、8, 将电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间, 则压电体薄膜 3 沿图 1 所示的坐标轴 X 方向 (压电体薄膜 3 的长度方向) 伸长。这时, 假设施加电压为 E (V), 压电体薄膜 3 的厚度为 t (m), 压电体薄膜 3 的长度为 L (m), 压电体薄膜 3 的压电常数为 d_{31} (pm/V), 则压电体薄膜 3 的伸长变化量 ΔL (m) 为

$$[0081] \quad \Delta L = d_{31} \times L \times E / t$$

[0082] 这里, 在压电体薄膜 3 中, 与厚度薄的第二电极膜 4 接合的上侧部分沿 X 轴方向伸长, 而通过第一电极膜 2 与基板 1 接合的下侧部分利用厚的基板 1 抑制其伸长位移。其结果, 位于与固定在不锈钢支撑基板 5 上的基端侧 (连接在引线 7、8 上的端子侧) 相反一侧的压电元件 20 的前端侧沿图 1 所示的坐标轴 Z 方向的负侧 (图 1 中的下侧) 位移。因此, 如果以一定的频率交替地重复电压的施加和撤除, 则压电元件 20 的前端便以规定的位移幅度上下运动。然后, 通过测定上述施加电压和压电元件 20 的前端的位移幅度的关系, 能评价压电元件 20 的位移特性。

[0083] 其次, 参照图 2A ~ 图 2E 所示的工序图, 说明上述压电元件 20 的制造方法。

[0084] 首先, 如图 2A 所示, 准备表面被研磨成了镜面的 20mm 见方、厚 0.30mm 的基板 1, 用具有宽 5.0mm、长 18.0mm 的长方形开口部的厚 0.2mm 的不锈钢制的掩模 (图中未示出), 采用 RF 溅射法, 在该基板 1 上形成第一电极膜 2。

[0085] 接着, 用具有宽 5.0mm、长 8.0mm 的长方形开口部的不锈钢制的掩模 (厚 0.2mm), 采用 RF 磁控管溅射法, 在上述第一电极膜 2 的表面上准确地形成由上述 PZT 或 PZT 类氧化物构成的压电体薄膜 3。这时, 用 PZT 或 PZT 类氧化物的烧结体靶。然后, 在使形成了第一电极膜 2 的基板 1 从接地电位呈电气浮置的电位状态 (就是说基板呈不接地而且不进行其他电气连结的状态)、而且使溅射气体压力大于等于 0.05Pa 而小于等于 0.15Pa 的溅射条件下, 形成压电体薄膜 3。或者, 在形成了第一电极膜 2 的基板 1 上, 在施加了偏压的溅射条件下, 形成压电体薄膜 3, 以便该基板 1 呈与接地电位相同或比接地电位低的负电位状态。

[0086] 在这样的溅射条件下形成压电体薄膜 3, 能对基板 1 施加离子冲击。即, 在基板从接地电位呈电气浮置的电位状态的情况下, 为了提高溅射成膜时的真空度, 使溅射气体压力下降到 0.15Pa 以下 (但为了生成等离子体, 应在 0.05Pa 以上), 减少溅射粒子与基板 1 和靶之间的空间中存在的气体分子碰撞的概率, 或者, 使基板 1 的电位呈与接地电位相同或比接地电位低的负电位状态, 将溅射粒子电气性地带领到基板 1 上, 能对基板 1 施加离子冲击。因此, 溅射成膜时, 能使利用溅射气体从靶上弹出后射到基板上的组成结构元素粒子中蒸气压高的铅元素粒子的着膜率下降, 其结果, 能容易地形成用上述化学组成式表示的

铅成分少的压电体薄膜 3。

[0087] 另外,如上所述,用添加了钛等添加物的贵金属(在本实施方式中,添加了钴的铌)构成第一电极膜 2,容易使压电体薄膜 3 优先在(001)面上取向。即,在第一电极膜 2 的表面部上,添加物呈岛状零散地分布,作为该添加物的钛等容易氧化,即使不含有氧化物的形态,但在形成压电体薄膜 3 时等情况下,如果存在氧,则在其表面部上零散分布的添加物变成氧化物。然后,压电体薄膜 3 以该呈岛状零散地分布的添加物(氧化物)为核,在其上侧进行晶体生长,因此,在添加物上容易在(001)面上取向。另一方面,第一电极膜 2 在采用硅等基板的情况下,通常,呈(111)面取向,因此,在压电体薄膜 3 中,在第一电极膜 2 的表面部上不存在添加物的部分的上侧区域中,呈(001)面以外的面取向(例如(111)面取向),或呈非晶体。可是,不呈这样的(001)面取向的区域只存在于压电体薄膜 3 的第一电极膜 2 一侧表面附近部分(从该表面算起最多不过至 20nm 左右的范围内)。就是说,由于上述添加物上的(001)面取向的区域与该晶体生长连在一起扩展,所以与厚度方向垂直的截面上的该区域的面积从第一电极膜 2 一侧向其相反一侧(第二电极膜 4 一侧)增大,因此,不呈(001)面取向的区域减少,在压电体薄膜 3 的厚度达到 20nm 左右的阶段,大致整体变成(001)面取向的区域。

[0088] 其次,用与形成上述压电体薄膜 3 时相同形状的不锈钢制的掩模,采用 RF 溅射法,在压电体薄膜 3 的表面上形成第二电极膜 4。因此,在图 2B 所示的基板 1 上能获得设置了包括压电体薄膜 3 的层叠体 10 的结构体 21。

[0089] 其次,如图 2C 所示,在宽 3.0mm、长 11.0mm 的长方形、而且其一端的宽度为 3.0mm、长度为 3.0mm 的正方形部分中,为了使第一电极膜 2 的一部分露出,用切割锯将上述结构体 21 切断。由此,能获得在第二电极膜 4 剩余的宽宽 3.0mm、长 8.0mm 的上面部分中露出的压电元件结构体部件 22。

[0090] 接着,如图 2D 所示,用环氧类粘合剂 6,将上述压电元件结构体部件 22 的基板 1 的一端部粘接在不锈钢支撑基板 5 上。

[0091] 其次,如图 2E 所示,用导电性粘合剂(银膏),将 0.1mm 的金的导线 7 连接在上述压电元件结构体部件 22 中露出的第一电极膜 2 上,用丝焊将同样的引线 8 连接在同一端侧的第二电极膜 4 上,制成了压电元件 20。

[0092] 因此,在本实施方式中,由于使压电体薄膜 3 中含有的铅成分比化学计量成分少,所以,在压电体薄膜 3 的晶界上不存在由大气中的水分引起化学反应的铅氧化物。其结果,即使在高湿度环境中进行施加电压的驱动,也不会发生由绝缘性下降引起的劣化。而且,如上所述只要适当地设定溅射条件,就能容易地获得这样的铅成分低的压电体薄膜 3。因此,能容易地获得可靠性高的压电元件 20。

[0093] 这里,具体地说明实施的实施例。

[0094] 实施例 1

[0095] 将基板 1 做成与上述实施方式形状相同的硅基板,将第一电极膜 2 做成了与上述实施方式相同、厚度为 0.10 微米的含有 6 摩尔%钴的铌合金薄膜。该铌合金薄膜这样形成:在 RF 磁控管溅射装置中,将硅基板预先加热并保持 400℃ 的温度,作为溅射气体使用氩和氧混合气体(气体体积比为 Ar : O₂ = 15 : 1),气体总压力保持为 0.25Pa,作为溅射装置使用含有 6 摩尔%钴的铌板,施加 200W 的高频功率,通过 16 分钟溅射形成了膜。形成膜

时,在溅射装置中,使硅基板保持从接地电位呈电气浮置的电位状态。

[0096] 另外,将压电体薄膜 3 做成在 (001) 面上优先取向的 PZT 薄膜。用 RF 磁控管溅射装置形成了该 PZT 薄膜。具体地说,作为靶使用化学计量成分 PZT 的直径为 6 英寸的烧结体靶 (组成摩尔比 $Pb : Zr : Ti = 1.00 : 0.53 : 0.47$)。然后,在安装了该 PZT 靶的成膜室中,将形成了上述铋合金薄膜的硅基板预先加热并保持 580°C 的温度,溅射气体使用氩和氧混合气体,使其混合比为氩:氧 = 79 : 1,流量为每分钟 40ml,该溅射气体压力为 0.15Pa,等离子体发生功率为 3kW,50 分钟形成了 PZT 薄膜。形成膜时,在溅射装置中,使硅基板保持从接地电位呈电气浮置的电位状态。

[0097] 另外,采用 RF 溅射法形成了第二电极膜 4,将其做成与上述实施方式相同的厚度为 0.25 微米的铂薄膜。

[0098] 另外,为了准确地求得上述 PZT 薄膜的厚度和晶体结构,形成了 PZT 薄膜后,还同时制作了不形成第二电极膜 4 而使成膜工序中断的层叠膜试样。用 X 射线衍射及 X 射线微量分析仪对该试样进行了成分分析后,将其破坏,用扫描型电子显微镜观察其破断面,还准确地测定了厚度。

[0099] 用 X 射线衍射法分析了上述试样,结果,PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 96%) 的呈钙钛矿型晶体结构的膜 (<001> 轴向着垂直于膜表面的方向的结构) 的薄膜)。这里,(001) 面结晶取向率是 (001) 面的峰值强度相对于薄膜的 X 射线衍射图形的 (001) 面、(100) 面、(010) 面、(110) 面、(011) 面、(101) 面及 (111) 面的峰值强度的合计值的比率 (百分率)。

[0100] 另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,PZT 薄膜的成分为 $Pb : Zr : Ti = 0.99 : 0.53 : 0.47$ 。就是说,如果用化学组成式表示,则用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-x)}Ti_x)O_3$ 表示,变成 $x = 0.01$ (即, $Pb_{0.99}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$),与靶的成分相比,Zr 及 Ti 的成分不变,可知变成 Pb 成分比 1.00 低的状态。

[0101] 另外,用扫描型电子显微镜对上述试样的破断面进行了观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.5 微米。

[0102] 进行了如上制作的压电元件 20 的评价。即,通过引线 7、8 将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,用激光多普勒振动位移测定装置,测定了压电元件 20 的前端沿 Z 轴方向上下运动的位移量。

[0103] 图 3 中示出了施加了频率为 2kHz 的三角波电压时的压电元件 20 的前端沿 Z 轴方向上下运动的位移量。如该图所示,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则该压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -7.2 微米。

[0104] 另外,将上述制作的压电元件 20 装入保持着温度 35°C 、相对湿度 80% 的气氛的恒温高湿容器中,将 35V 的直流电压加在第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,进行了 200 小时的耐久试验。然后,测定了从施加电压开始的经过时间和这时的泄漏电流值。

[0105] 该耐久试验的结果表明,泄漏电流值在测定开始时为 0.3nA,1 小时后为 0.8nA,100 小时后为 3nA,200 小时后为 3nA,未发现超过 3nA 的泄漏电流,可见可靠性极好。

[0106] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0107] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压

进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0108] 实施例 2

[0109] 在本实施例中,将压电体薄膜 3(PZT 薄膜)形成时溅射的成膜条件的溅射气体压力变更为 0.12Pa,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0110] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件 20 的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 96%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.03$ (即, $Pb_{0.97}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.5 微米。

[0111] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -7.2 微米。

[0112] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、3nA、以及 3nA,可知具有与实施例 1 的压电元件 20 同等的可靠性。

[0113] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0114] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0115] 实施例 3

[0116] 在本实施例中,将压电体薄膜 3(PZT 薄膜)形成时的溅射成膜条件的溅射气体压力变更为 0.09Pa,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0117] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体薄膜 3 的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 96%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.04$ (即, $Pb_{0.96}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.7 微米。

[0118] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -7.0 微米。

[0119] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.4nA、0.8nA、3nA、以及 3nA,可知具有与实施例 1 的压电元件 20 同等的可靠性。

[0120] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0121] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0122] 实施例 4

[0123] 在本实施例中,将压电体薄膜 3(PZT 薄膜)形成时的溅射成膜条件的溅射气体压力变更为所使用的 RF 磁控管溅射装置中作为接近稳定的等离子体发生的极限的值的 0.07Pa,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0124] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体元件 20 的 PZT 薄膜是沿(001)面优先取向((001)面结晶取向率为 96%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.04$ (即, $Pb_{0.96}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.8 微米。

[0125] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -6.9 微米。

[0126] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80%的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、3nA、以及 3nA,可知具有与实施例 1 的压电元件 20 同等的可靠性。

[0127] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0128] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0129] 实施例 5

[0130] 在本实施例中,将压电体薄膜 3(PZT 薄膜)的溅射成膜时的溅射时间变更为 30 分钟,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0131] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体元件 20 的 PZT 薄膜是沿(001)面优先取向((001)面结晶取向率为 95%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.01$ (即, $Pb_{0.99}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 2.0 微米。

[0132] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -15V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -15V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -4.0 微米。

[0133] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80%的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.5nA、2.2nA、5nA、以及 5nA,可知可靠性良好。

[0134] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表

面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0135] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0136] 实施例 6

[0137] 在本实施例中,将压电体薄膜 3(PZT 薄膜)的溅射成膜时的溅射时间变更为 85 分钟,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0138] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体元件 20 的 PZT 薄膜是沿(001)面优先取向((001)面结晶取向率为 96%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.01$ (即, $Pb_{0.99}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 6.0 微米。

[0139] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -40V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -40V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -11.6 微米。

[0140] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80%的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、1.0nA、3nA、以及 3nA,可知可靠性极其良好。

[0141] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0142] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0143] 实施例 7

[0144] 在本实施例中,采用如下所示的压电体薄膜 3(PZT 薄膜)的溅射时的成膜方法,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0145] 即,在本实施例中,用 RF 磁控管溅射装置形成 PZT 薄膜时,作为靶使用了由直径为 6 英寸、与化学计量成分相比 Pb 过剩的 PZT 构成的烧结体靶(组成摩尔比 Pb : Zr : Ti = 1.20 : 0.53 : 0.47)。然后,将在安装了该 PZT 靶的成膜室中形成了第一电极膜 2(铱合金薄膜)的硅基板安装在金属制的基板支架上,将地线安装在该基板支架上而呈接地电位。由此,使形成 PZT 薄膜的硅基板呈与接地电位同一电位状态。接着,预先将硅基板加热并保持 560°C 的温度,溅射气体使用氩和氧的混合气体,使其混合比为氩 : 氧 = 79 : 1,流量为每分钟 40ml,该溅射气体压力为 0.30Pa,等离子体发生功率为 3kW,50 分钟形成了 PZT 薄膜。

[0146] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样制作的压电元件 20 的 PZT 薄膜是沿(001)面优先取向((001)面结晶取向率为 90%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.08$ (即, $Pb_{0.92}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,用扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.2 微米。

[0147] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第

一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -6.5 微米。

[0148] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35℃、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.9nA、2nA、以及 2nA,可知可靠性极其良好。

[0149] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0150] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0151] 实施例 8

[0152] 在本实施例中,将基板 1 变更为硼硅酸盐玻璃基板 (Corning#7059),除此以外与上述实施例 7 相同,制作了压电元件 20。

[0153] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体元件 20 的压电体薄膜 3 (PZT 薄膜) 是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 92%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.08$ (即, $Pb_{0.92}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.3 微米。

[0154] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -9.3 微米。

[0155] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35℃、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、2nA、以及 2nA,可知可靠性极其良好。

[0156] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0157] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0158] 实施例 9

[0159] 在本实施例中,将基板 1 变更为进行了镜面研磨的作为陶瓷的氧化铝烧结体基板,除此以外与上述实施例 7 相同,制作了压电元件 20。

[0160] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电体元件 20 的压电体薄膜 3 (PZT 薄膜) 是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 92%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.08$ (即, $Pb_{0.92}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.2 微米。

[0161] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -5.0 微米。

[0162] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、2nA、以及 2nA,可知可靠性极其良好。

[0163] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0164] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0165] 实施例 10

[0166] 在本实施例中,将压电体薄膜 3 做成在 PZT 中添加了 La、Sr、Mg 及 Nb 的 PZT 类氧化物,该压电体薄膜 3(PZT 类氧化物)形成时的溅射靶,使用在其中添加了 La、Sr、Mg 及 Nb 的化学计量成分的 PZT 类氧化物的烧结体靶(直径为 6 英寸),除此以外与上述实施例 2 相同,制作了压电元件 20。上述靶的化学成分为 $(\text{Pb}_{0.94}\text{La}_{0.01}\text{Sr}_{0.05})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Mg}_{0.02}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$ 。

[0167] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件 20 的 PZT 类氧化物薄膜是沿 (001) 面优先取向((001) 面结晶取向率为 89%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $(\text{Pb}_{(1-x-y)}\text{A}_y)(\text{Zr}_{(1-s-t)}\text{Ti}_s\text{B}_t)\text{O}_3$ 表示(A 是进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子,B 是进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子)时, $x = 0.03$ (即, $(\text{Pb}_{0.91}\text{La}_{0.01}\text{Sr}_{0.05})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Mg}_{0.02}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 类氧化物薄膜的厚度为 3.4 微米。

[0168] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -8.5 微米。

[0169] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.4nA、1.2nA、5nA、以及 5nA,可知可靠性良好。

[0170] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0171] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0172] 实施例 11

[0173] 在本实施例中,将压电体薄膜 3 做成在 PZT 中添加了 Ca、Ni、Mn 及 Nb 的 PZT 类氧化物,该压电体薄膜 3(PZT 类氧化物)形成时的溅射靶,使用在其中添加了 Ca、Ni、Mn 及 Nb 的化学计量成分的 PZT 类氧化物的烧结体靶(直径为 6 英寸),除此以外与上述实施例 2 相

同,制作了压电元件 20。上述靶的化学成分为 $(\text{Pb}_{0.98}\text{Ca}_{0.02})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Ni}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$ 。

[0174] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件 20 的 PZT 类氧化物薄膜是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 85%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $(\text{Pb}_{(1-x-y)}\text{A}_y)(\text{Zr}_{(1-s-t)}\text{Ti}_s\text{B}_t)\text{O}_3$ 表示 (A 是进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子, B 是进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子) 时, $x = 0.02$ (即, $(\text{Pb}_{0.96}\text{Ca}_{0.02})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Ni}_{0.01}\text{Mn}_{0.01}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果, PZT 类氧化物薄膜的厚度为 3.3 微米。

[0175] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -8.2 微米。

[0176] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.4nA、1.2nA、5nA、以及 5nA,可知可靠性良好。

[0177] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0178] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0179] 实施例 12

[0180] 在本实施例中,将压电体薄膜 3 做成在 PZT 中添加了 Bi、Fe 及 Nb 的 PZT 类氧化物,该压电体薄膜 3 (PZT 类氧化物) 形成时的溅射靶,使用在其中添加了 Bi、Fe 及 Nb 的化学计量成分的 PZT 类氧化物的烧结体靶 (直径为 6 英寸),除此以外与上述实施例 7 相同,制作了压电元件 20。上述靶的化学成分为 $(\text{Pb}_{0.99}\text{Bi}_{0.01})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Fe}_{0.02}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$ 。

[0181] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件 20 的 PZT 类氧化物薄膜是沿 (001) 面优先取向 ((001) 面结晶取向率为 93%) 的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $(\text{Pb}_{(1-x-y)}\text{A}_y)(\text{Zr}_{(1-s-t)}\text{Ti}_s\text{B}_t)\text{O}_3$ 表示 (A 是进入钙钛矿型晶体结构的 A 位置的添加金属离子, B 是进入钙钛矿型晶体结构的 B 位置的添加金属离子) 时, $x = 0.08$ (即, $(\text{Pb}_{0.91}\text{Bi}_{0.01})(\text{Zr}_{0.50}\text{Ti}_{0.46}\text{Fe}_{0.02}\text{Nb}_{0.02})\text{O}_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果, PZT 类氧化物薄膜的厚度为 3.4 微米。

[0182] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -8.4 微米。

[0183] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 1.0nA、3.2nA、6nA、以及 6nA,可知可靠性良好。

[0184] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0185] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0186] 实施例 13

[0187] 在本实施例中,采用如下所示的压电体薄膜 3(PZT 薄膜)的溅射成膜时的成膜方法,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件 20。

[0188] 即,在本实施例中,用 RF 磁控管溅射装置形成 PZT 薄膜时,作为靶使用了与化学计量成分相比 Pb 过剩的 PZT 构成的直径为 6 英寸的烧结体靶(组成摩尔比 Pb : Zr : Ti = 1.20 : 0.53 : 0.47)。然后,将在安装了该 PZT 靶的成膜室中形成了第一电极膜 2(钛合金薄膜)的硅基板安装在金属制的基板支架上,将引线的一端部安装在该基板支架上,将该引线的另一端部连接在直流电源上,利用该直流电源,将相对于接地电位为 -200V 的负偏压加在基板支架(即硅基板)上。由此,使形成 PZT 薄膜的硅基板相对于接地电位保持 -200V 的电位状态。接着,预先将硅基板加热并保持 560℃ 的温度,溅射气体使用氩和氧的混合气体,使其混合比为氩 : 氧 = 79 : 1,流量为每分钟 40ml,该溅射气体压力为 0.30Pa,等离子体发生功率为 3kW,50 分钟形成了 PZT 薄膜。

[0189] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样制作的压电元件 20 的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向((001) 面结晶取向率为 96%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.13$ (即, $Pb_{0.87}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.1 微米。

[0190] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -6.2 微米。

[0191] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35℃、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、2nA、以及 2nA,可知可靠性极其良好。

[0192] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0193] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0194] 实施例 14

[0195] 在本实施例中,将在上述实施例 13 中压电体薄膜 3(PZT 薄膜)的溅射成膜时加在基板上的负偏压变为 -300V,除此以外与实施例 13 相同,制作了压电元件 20。

[0196] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样制作的压电元件 20 的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向((001) 面结晶取向率为 97%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.15$ (即, $Pb_{0.85}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 2.9 微米。

[0197] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件 20 的第

一电极膜 2 和第二电极膜 4 之间,测定压电元件 20 的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件 20 的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -6.4 微米。

[0198] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件 20 进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时、1 小时后、100 小时后、以及 200 小时后的泄漏电流,分别为 0.3nA、0.8nA、2nA、以及 2nA,可知可靠性极其良好。

[0199] 另外,用光学显微镜观察了上述的 200 小时耐久试验后的压电元件 20 的电极膜表面的外观时,未发现裂纹或着色等变化。

[0200] 另外,对 200 小时耐久试验后的压电元件 20 施加与耐久试验前相同的三角波电压进行驱动,确认了施加电压和位移量的关系时,能获得与耐久试验前相同的特性,能确认未劣化。

[0201] 比较例 1

[0202] 这里,为了比较,制作了具有由 Pb 成分比化学计量成分过剩的 PZT 构成的压电体薄膜的压电元件。即,压电体薄膜(PZT 薄膜)形成时的溅射靶,使用 Pb : Zr : Ti = 1.20 : 0.53 : 0.47 的摩尔比成分(Pb 过剩组成)的 PZT 烧结体靶,溅射时间为 50 分钟,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件。

[0203] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向((001) 面结晶取向率为 99%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = -0.10$ (即, $Pb_{1.1}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.8 微米。

[0204] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件的第一电极膜和第二电极膜之间,测定压电元件的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -8.7 微米。

[0205] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件进行了在温度为 35°C、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时的泄漏电流值为 0.5nA,1 小时后测定时,泄漏电流值为 10000nA (= 10mA),100 小时后呈现 100mA 以上,绝缘性被破坏。

[0206] 另外,用光学显微镜观察了上述的 100 小时耐久试验后的压电元件的电极膜表面的外观时,表面上到处附着有黑色,在该黑色着色部分上能观察到无数的凹部。另外,该 100 小时耐久试验后的压电元件,如上所述由于泄漏电流极大,所以不能进行驱动试验。

[0207] 比较例 2

[0208] 在该比较例 2 中,将压电体薄膜(PZT 薄膜)形成时的溅射的成膜条件的溅射气体压力变更为 0.2Pa,除此以外与上述实施例 1 相同,制作了压电元件。

[0209] 用 X 射线衍射法进行的分析结果,这样获得的压电元件的 PZT 薄膜是沿 (001) 面优先取向((001) 面结晶取向率为 97%)的呈钙钛矿型的晶体结构膜。另外,用 X 射线微量分析仪进行的成分分析的结果,用 $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ 表示时, $x = 0.00$ (即, $Pb_{1.00}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$)。另外,扫描型电子显微镜观察的结果,PZT 薄膜的厚度为 3.5 微米。

[0210] 然后,将最大电压为 0V 及最小电压为 -25V 的三角波电压加在压电元件的第一电极膜和第二电极膜之间,测定压电元件的前端上下运动的位移量时,如果施加电压从 0V 变化到 -25V,则压电元件的前端与施加电压成比例地、线性地从 0 微米位移到 -7.6 微米。

[0211] 另外,与上述实施例 1 相同,对上述压电元件进行了在温度为 35℃、相对湿度为 80% 的恒温高湿容器中的耐久试验,结果表明:测定开始时的泄漏电流值为 0.5nA,1 小时后测定时,泄漏电流值为 10000nA (= 10mA),100 小时后呈现 100mA 以上,绝缘性被破坏。

[0212] 另外,用光学显微镜观察了上述的 100 小时耐久试验后的压电元件的电极膜表面的外观时,表面上到处附着有黑色,在该黑色附着部分上能观察到无数的凹部。另外,该 100 小时耐久试验后的压电元件,如上所述由于泄漏电流极大,所以不能进行驱动试验。

[0213] 因此,如上述实施例 1 ~ 14 所示,由于使压电体薄膜 3 中的铅量比化学计量成分少 ($0 < x \leq 0.15$),所以不会发生绝缘破坏,可知具有很高的可靠性。

[0214] 另外,在本实施方式及实施例中,基板 1 虽然兼作成膜用基板和振动片用,但也可以单独地制作成膜用基板和振动片。在此情况下,在基板 1 上形成第一电极膜 2,在该第一电极膜 2 上形成压电体薄膜 3,在该压电体薄膜 3 上形成第二电极膜 4(在基板 1 上形成层叠体 10),在该第二电极膜 4 上形成振动片,这些膜全部形成后,将上述基板 1 除去。于是,振动片便被配置在层叠体 10 的第二电极膜 4 一侧的面上。

[0215] 实施方式 2

[0216] 其次,说明使用本发明的压电元件的层叠膜结构的喷墨头。

[0217] 图 4 是表示本发明的实施方式的喷墨头 201 的概略结构图。如图 4 所示,本实施方式的喷墨头 201 由多个(在图 10 中为 10 个)呈列状排列配置的形状相同的喷墨元件 202、以及驱动这些喷墨元件 202 的 IC 芯片等驱动电源元件 203 构成。

[0218] 图 5 是表示上述各喷墨元件 202 的结构的部分切断了分解立体图。在该图 5 中,A 是玻璃制的压力室部件,在该压力室部件 A 上形成压力室用开口部 31。B 是覆盖着压力室用开口部 31 的上端开口面(大小:短轴为 200 微米、长轴为 400 微米的椭圆形)配置的促动部,C 是覆盖着压力室用开口部 31 的下端开口面配置的墨水流路部件。即,压力室部件 A 上的压力室用开口部 31 利用位于其上下的促动部 B 和墨水流路部件 C 进行区分,由此形成压力室 32(深 0.2mm)。

[0219] 上述促动部 B 有位于上述压力室 32 的大致正上方的第一电极膜 33(个别电极)。另外,在墨水流路部件 C 上形成:沿墨水供给方向排列的多个喷墨元件 202 的各压力室 32 之间公用的公用液室 35;使该公用液室 35 连通到压力室 32,将公用液室 35 中的墨水供给压力室 32 用的供给口 36;以及将压力室 32 内的墨水排出用的墨水流路 37。另外,D 是喷嘴板,在该喷嘴板 D 上设有通过墨水流路 37 连通到压力室 32 的喷嘴 38(直径为 30 微米的喷嘴孔)。而且,上述压力室部件 A、促动部 B、墨水流路部件 C 及喷嘴板 D 利用粘合剂互相粘接,构成喷墨元件 202。

[0220] 在该实施方式中,上述压力室部件 A、促动部 B(将第一电极膜 33 及压电体薄膜 41(参照图 6)除外)、墨水流路部件 C 及喷嘴板 D 遍及喷墨元件 202 全部呈一体形成,将包括一个压力室 32、对应于该压力室 32 设置的喷嘴 38、第一电极膜 33 及压电体薄膜 41 的部分作为喷墨元件 202。另外,也可以另外形成各喷墨元件 202,再将它们排列并接合起来。另外,喷墨头 201 也可以不用多个喷墨元件 202 构成,而用一个喷墨元件 202 构成。

[0221] 上述驱动电源元件 203 通过接合导线分别连接在多个喷墨元件 202 的促动部 B 的各第一电极膜 33 上,将电压从该驱动电源元件 203 供给至各第一电极膜 33。

[0222] 其次,参照图 6 说明上述促动部 B 的结构。图 6 是图 5 所示的喷墨元件 202 的促动

部 B 的 VI-VI 线剖面图。如图 6 所示,该促动部 B 有:如上所述分别位于各压力室 32 的大致正上方的第一电极膜 33;设置在该各第一电极膜 33 上(该图中下侧)的压电体薄膜 41;设置在该压电体薄膜 41 上(该图中下侧),成为全部压电体薄膜 41(全部喷墨元件 202)公用的第二电极膜 42(公用电极);以及整体设置在该第二电极膜 42 上(该图中下侧),利用上述压电体薄膜 41 的压电效应,沿厚度方向位移振动的振动片 43(在该实施方式中,为振动膜)。该振动片 43 也与第二电极膜 42 相同,在各喷墨元件 202 各自的压力室 32 之间公用(遍及全部喷墨元件 202 呈一体形成)。

[0223] 上述第一电极膜 33、压电体薄膜 41 及第二电极膜 42 依次构成层叠的层叠体,该层叠体和设置在该层叠体的层叠方向的一方侧(第二电极膜 42)的面上的振动片 43 构成压电元件(压电促动器)。

[0224] 上述第一电极膜 33,与上述实施方式 1 相同,其厚度为 0.10 微米,被做成含有 6 摩尔%钴(Co)的铍合金薄膜。另外,在本实施方式中,第一电极膜 33 虽然也可以用任意的金属构成,但如后面所述,在该第一电极膜 33 上形成上述压电体薄膜 41 时,为了能良好地控制该压电体薄膜 41 的结晶取向,优选由从钛(Ti)、铝(Al)、铁(Fe)、钴(Co)、镍(Ni)、锰(Mn)、铜(Cu)、镁(Mg)、钙(Ca)、锶(St)、钡(Ba)及它们的氧化物的组中选择的至少一种添加物的贵金属构成。

[0225] 在本实施方式中,上述压电体薄膜 41 被做成用 $Pb_{0.97}(Zr_{0.53}Ti_{0.47})O_3$ 表示的 PZT 薄膜。另外,如在上述实施方式 1 中所述,压电体薄膜 41 是由呈钙钛矿型晶体结构的氧化物,化学组成式用

[0226] $Pb_{(1-x)}(Zr_{(1-s)}Ti_s)O_3$ ($0 < s < 1$)

[0227] 表示的锆钛酸铅、或用

[0228] $(Pb_{(1-x-y)}A_y)(Zr_{(1-s-t)}Ti_sB_t)O_3$ ($x = 0.03, y = 0.06; x = 0.02, y = 0.02$; 或 $x = 0.08, y = 0.01, 0 < s < 1, 0 < t < 1-s$)

[0229] 表示的锆钛酸铅类氧化物构成即可,在上述锆钛酸铅及锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中,表示化学计量组成中的 Pb 组成的缺损量的 x 的值大于 0 而小于等于 0.15(优选大于等于 0.03 而小于等于 0.15)即可。

[0230] 另外,上述锆钛酸铅类氧化物的化学组成式中的 A 优选是从镧(La)、锶(Sr)、铋(Bi)及钙(Ca)的组中选择的至少一种金属离子,上述化学组成式中的 B 优选是从铌(Nb)、镁(Mg)、镍(Ni)、锰(Mn)及铁(Fe)的组中选择的至少一种金属离子。

[0231] 另外,上述压电体薄膜 41 优选沿(001)面优先取向(在本实施方式中,(001)面结晶取向率为 96%),该压电体薄膜 41 的厚度优选为 2 微米以上 6 微米以下(在本实施方式中为 5 微米)。

[0232] 上述第二电极膜 42 被做成厚度为 0.15 微米的铂薄膜。另外,在本实施方式中,第二电极膜 42 也可以用任意的金属构成。

[0233] 在本实施方式中,上述振动片 43 由厚度为 3.5 微米的铬(Cr)构成。上述振动片 43 的材料不限于 Cr,也可以是镍等金属材料或硅,还可以是玻璃或陶瓷材料。

[0234] 在上述第二电极膜 42 上的第一电极膜 33 及压电体薄膜 41 的周围,设置由聚酰亚胺树脂构成的电绝缘有机膜 44,使其上表面与第一电极膜 33 的高度大致相同,在该电绝缘有机膜 44 的上表面上形成从第一电极膜 33 延伸的呈引线形状的金属膜(厚度为 0.1 微

米)的引出电极膜 45。

[0235] 其次,用图 7A ~图 7I 说明上述喷墨头 201 的制造方法。

[0236] 即,首先,如图 7A 所示,用长 20mm、宽 20mm、厚 0.3mm 的硅基板 51,与上述实施方式 1 的实施例 3 相同,在硅基板 51 上依次层叠第一电极膜 33、压电体薄膜 41、以及第二电极膜 42,获得结构体 54。

[0237] 接着,如图 7B 所示,在上述结构体 54 的第二电极膜 42 上,用 RF 溅射法,在室温下形成由铬膜构成的振动片 43。

[0238] 其次,如图 7C 所示,用粘合剂(丙烯酸树脂)55 将形成了上述振动片 43 的结构体 54 粘接在压力室部件 A 上。即,将预先形成了压力室用开口部 31 的压力室部件 A 粘接在上述振动片 43 的与第二电极膜 42 相反一侧的面上。

[0239] 此后,如图 7D 所示,用等离子体反应刻蚀装置,通过使用 SF6 气体的干式刻蚀,将上述硅基板 51 除去。

[0240] 其次,如图 7E 所示,为了将第一电极膜 33 及压电体薄膜 41 构图成椭圆状图形(大小:短轴 180 微米,长轴 380 微米的椭圆状),将光敏抗蚀剂树脂膜 57 涂敷在第一电极膜 33 上的非刻蚀部分上。

[0241] 而后,如图 7F 所示,用 Ar 气干式刻蚀和弱氟酸湿式刻蚀,进行刻蚀处理,使第一电极膜 33 和压电体薄膜 41 图形化、个别化,此后如图 7G 所示,用抗蚀剂剥离液进行处理,将光敏抗蚀剂树脂膜 57 除去。

[0242] 接着,如图 7H 所示,在通过上述的图形化露出的第二电极膜 42 上,用印刷法形成由聚酰亚胺树脂构成的电绝缘有机膜 44,另外,如图 7I 所示,在该电绝缘有机膜 44 的上表面上,用 DC 溅射法形成由金属膜构成的呈引线形状的引出电极膜 45,由此,完成促动部 B。

[0243] 另一方面,虽然图中未示出,但用粘合剂将预先形成了公用液室 35、供给口 36 及墨水流路 37 的墨水流路部件 C 和预先形成了喷嘴孔 38 的喷嘴板 D 粘接起来。然后,进行与上述完成的传动部 B 粘接的压力室部件 A 和与粘接了喷嘴板 D 的墨水流路部件 C 的对准调整,利用粘合剂粘接两者。这样完成喷墨头 201。

[0244] 在如上构成的喷墨头 201 中,从驱动电源元件 203 通过接合导线将电压供给至多个喷墨元件 202 的各第一电极膜 33,利用压电体薄膜 41 的压电效应,与作为公用电极的第二电极膜 42 接合的振动片 43 沿厚度方向进行位移振动,从而压力室 32 的容积增减,压力室 32 的容积减少时,该压力室 32 内的墨水经由墨水流路 37,从喷嘴 38 喷出,另一方面,压力室 32 的容积增大时,公用液室 35 内的墨水通过供给口 36 供给压力室 32。在此情况下,在喷墨头 201 中,构成喷墨元件 202 的传动部 B 的压电体薄膜 41,由于铅比化学计量成分少,所以即使在高湿度环境中施加电压,也不会引起电绝缘性的劣化。其结果,即使施加高电压进行驱动,也不容易引起由电绝缘性的劣化引起的故障,因此,压电位移降低少、可靠性高的稳定的驱动成为可能。而且,由于压电位移量直接影响墨液的喷出能力,所以通过调整电源电压,能容易地进行控制,以便多个喷墨元件 202 的各自的墨液的喷出偏差小。

[0245] 这里,按照上述的制造方法,实际上制作具有 30 个形状相同的喷墨元件 202 的喷墨头 201,在 35℃ 80%高湿度环境中,将最大电压为 0V、最小电压为 -25V 的正弦波形电压(200Hz)加在将压电体薄膜 41 夹在中间的两个电极膜 33、42 上,使振动片 43 振动了 10 亿次时,在全部喷墨元件 202 中未发现不良现象的发生。

[0246] 另外,在本实施方式中,虽然只将基板 51 作为成膜用基板使用,成膜后将其除去,但也可以将压力室部件 A 兼作成膜用基板使用。在此情况下,在不形成压力室用开口部 31 的压力室部件 A 上,依次形成振动片 43、第一电极膜 33(相当于公用电极)、压电体薄膜 41 及第二电极膜 42(相当于个别电极),成膜后在压力室部件 A 上形成压力室用开口部 31 即可。于是,振动片 43 便被配置在层叠体的第一电极膜 33 一侧的面上。

[0247] 实施方式 3

[0248] 图 8 表示本发明的实施方式的喷墨式记录装置 81,该喷墨式记录装置 81 具有在上述实施方式 2 中说明的喷墨头 201。在该喷墨头 201 中从连通着压力室 32 设置的喷嘴 38 将该压力室 32 内的墨水排出到记录媒体 82(记录纸等)上,进行记录。

[0249] 上述喷墨头 201 安装在托架 84 上,该托架可滑动地设置在沿主扫描方向(图 8 所示的 X 方向)延伸的输送轴 83 上,随着该托架 84 沿输送轴 83 往复移动而沿主扫描方向 X 往复移动。在此情况下,托架 84 构成使喷墨头 201 和记录媒体 82 相对移动的相对移动单元,同时构成使喷墨头 201 沿规定方向(主扫描方向 X)往复移动的头移送单元。

[0250] 另外,该喷墨式记录装置 81 具有使上述记录媒体 82 沿着与喷墨头 201 的主扫描方向 X 大致垂直的方向的副扫描方向(图 8 所示的 Y 方向)移动的多个滚轴 85。在此情况下,多个滚轴 85 构成使喷墨头 201 和记录媒体 82 相对移动的相对移动单元,同时构成沿着与上述规定方向大致垂直的方向(副扫描方向 Y)移送记录媒体 82 的记录媒体移送单元。另外,图 8 中,Z 表示上下方向。

[0251] 而且,喷墨头 201 通过托架 84 沿主扫描方向 X 移动时,从喷墨头 201 的喷嘴 38 将墨水排出到记录媒体 82 上,这一次扫描记录一旦结束,便由上述滚轴 85 将记录媒体 82 移动规定量,进行下一次扫描记录。

[0252] 如上所述,由于用能容易地控制多个喷墨元件 202 之间的墨水的排出偏差的上述实施方式 2 的耐环境可靠性高的喷墨头 201 构成喷墨式记录装置 81,所以能使对纸等记录媒体 82 的记录偏差小,同时能实现可靠性的提高。

[0253] 实施方式 4

[0254] 图 9 表示本发明的实施方式的另一种喷墨式记录装置 91。该喷墨式记录装置 91 具有多个(在该实施方式中为 13 个)上述实施方式 2 中说明的喷墨头 201。这些喷墨头 201 沿规定方向(图 9 中的 X 方向)以并联状态互相连结,构成由喷墨头组构成的行式头 86。该行式头 86 利用沿上述规定方向延伸的支撑部件 87 支撑,沿记录媒体 82 的大致整个宽度方向设置,能同时沿记录媒体 82 的大致整个宽度方向排出墨水。

[0255] 另外,该喷墨式记录装置 91 具有使记录媒体 82 沿着与上述规定方向大致垂直的方向(图 9 所示的 Y 方向)移动的多个滚轴 85。在此情况下,多个滚轴 85 沿着与上述规定方向大致垂直的方向移送记录媒体 82,构成使喷墨头 201 和记录媒体 82 相对移动的相对移动单元。另外,图 9 中,Z 表示上下方向。

[0256] 而且,该喷墨式记录装置 91 中记录媒体 82 利用滚轴 85 移动时,从各喷墨头 201 的喷嘴 38 将墨水排出到记录媒体 82 上进行记录。

[0257] 因此,在本实施方式中,也与上述实施方式 3 相同,由于使用上述实施方式 2 的耐环境可靠性高的喷墨头 201,所以容易控制行式头 86 的各喷墨头 201 中的多个喷墨元件 202 之间的墨水的排出偏差,因此,能使对纸等记录媒体 82 的记录偏差小,同时能实现可靠

性的提高。

[0258] 另外,本发明的压电元件除了能用于上述喷墨头(喷墨式记录装置)以外,也能用于以旋转元件、以及光开关零件为代表的 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 器件等。

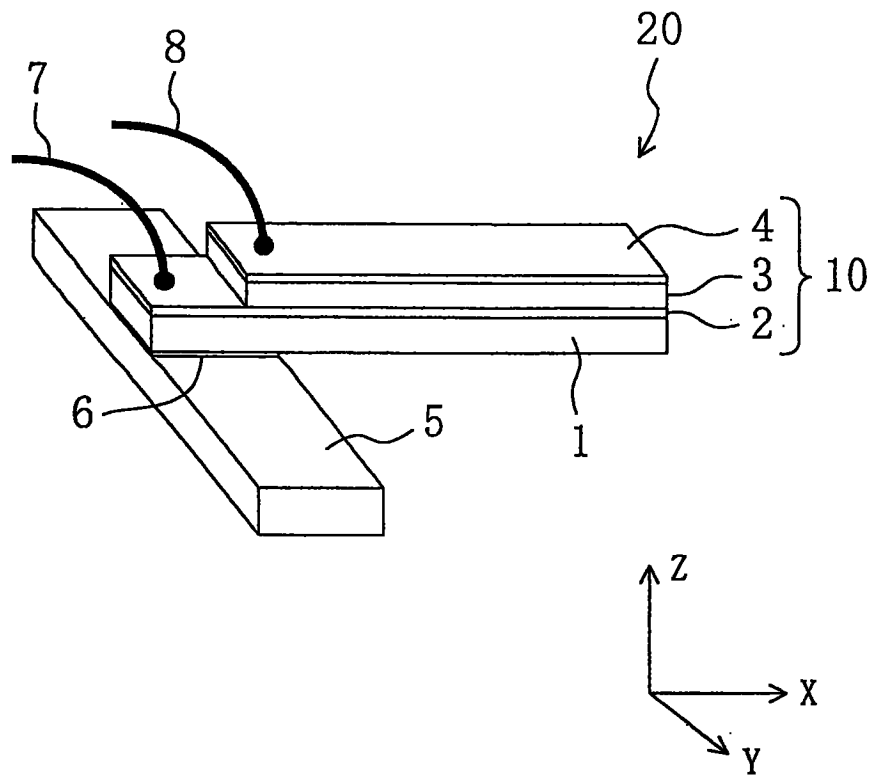


图 1

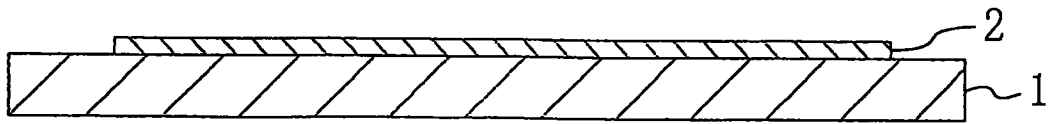


图 2A

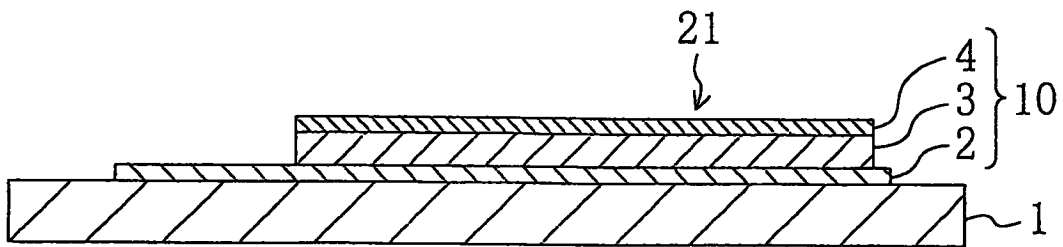


图 2B

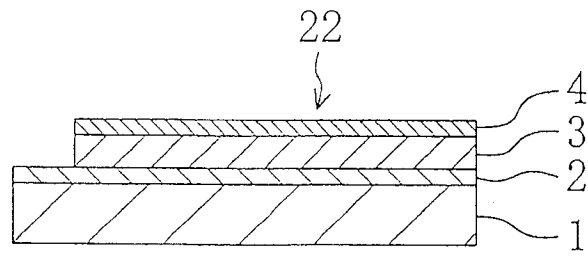


图 2C

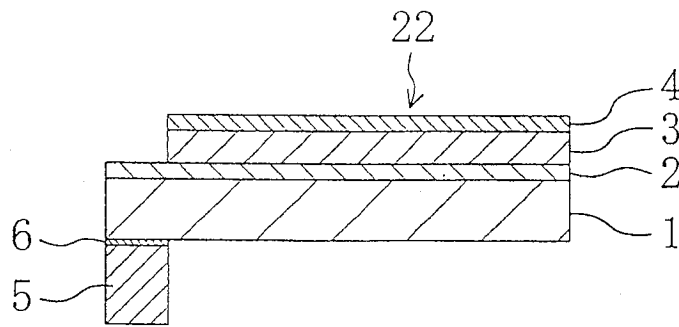


图 2D

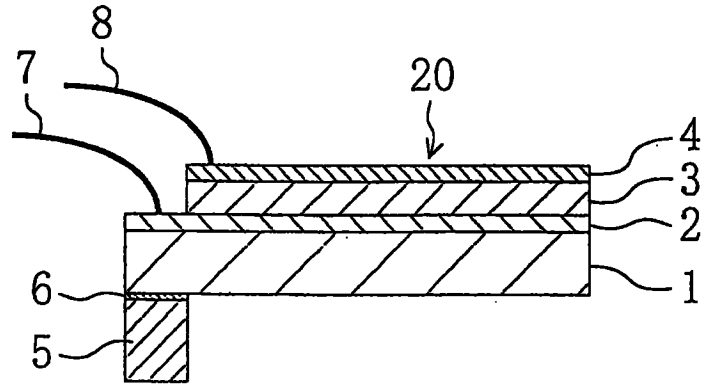


图 2E

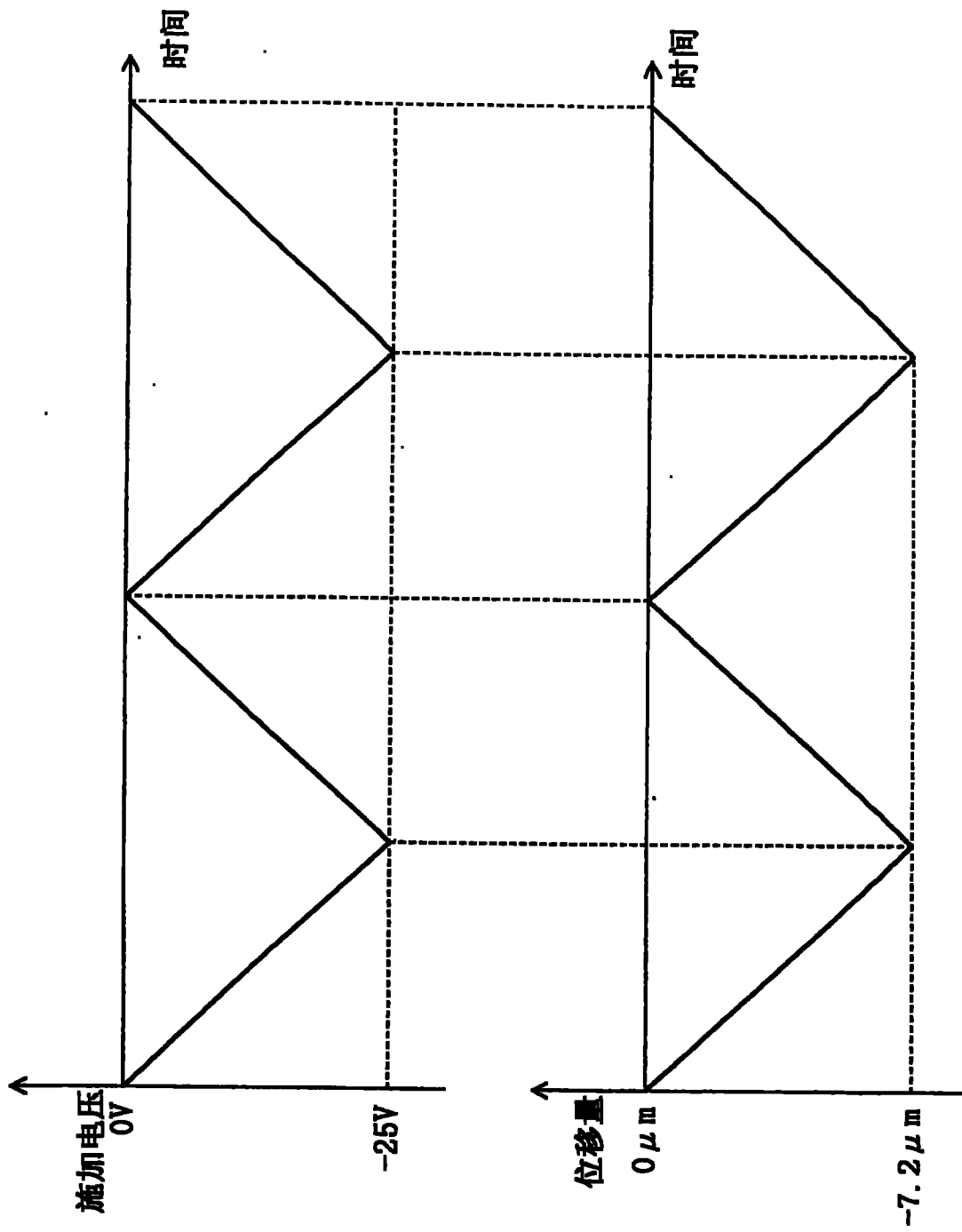


图 3

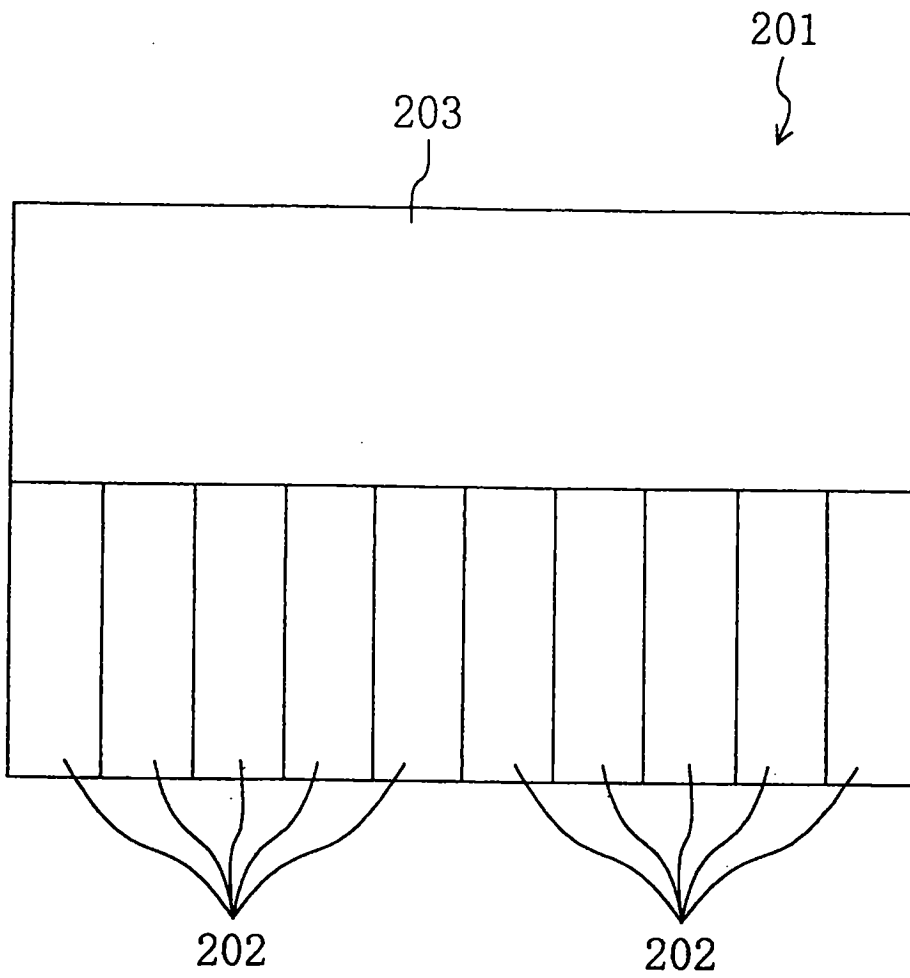


图 4

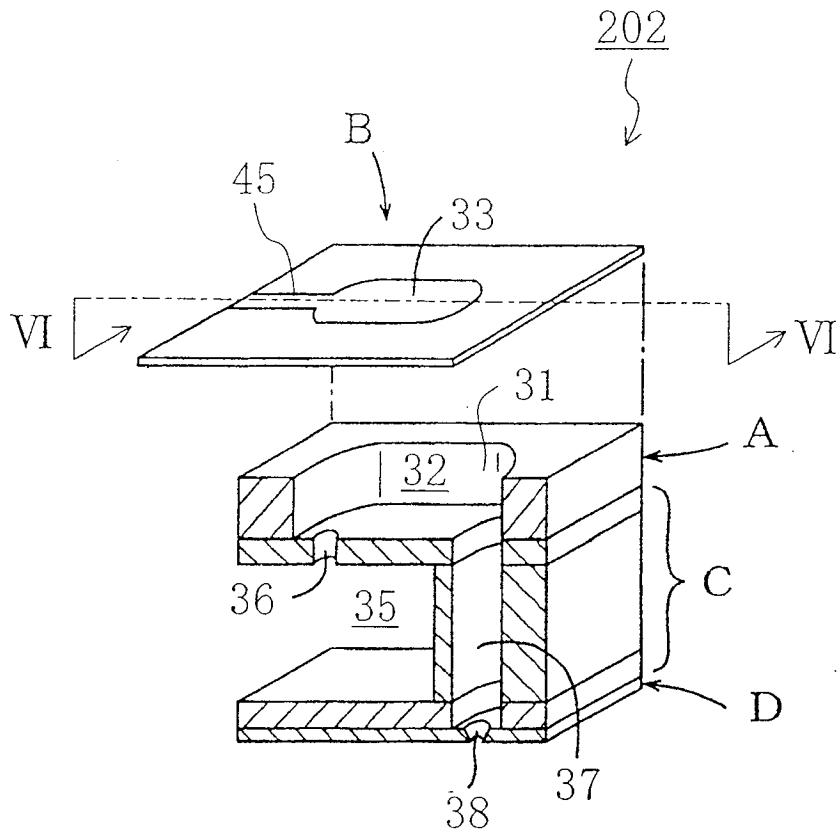


图 5

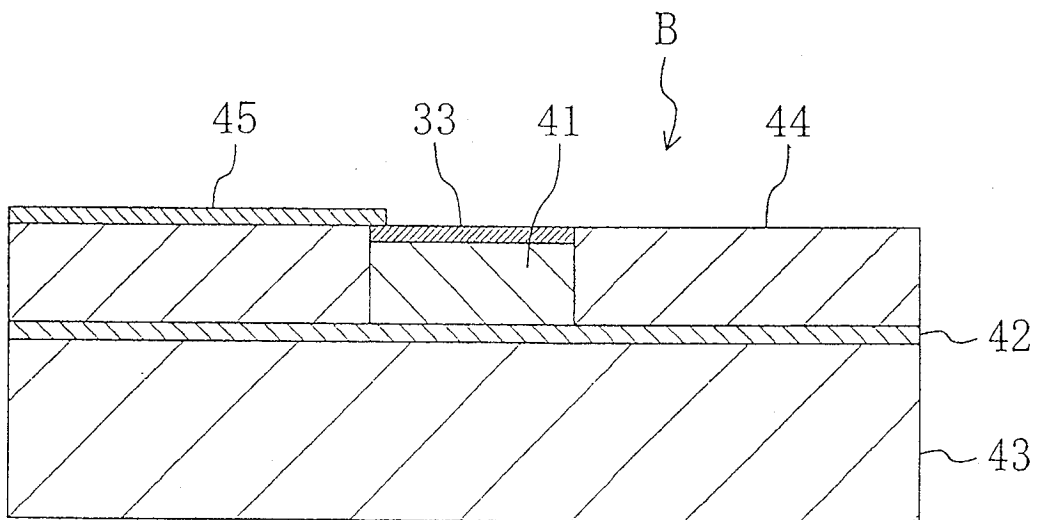


图 6

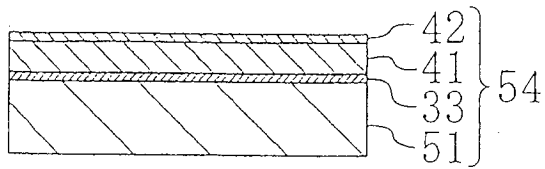


图 7A

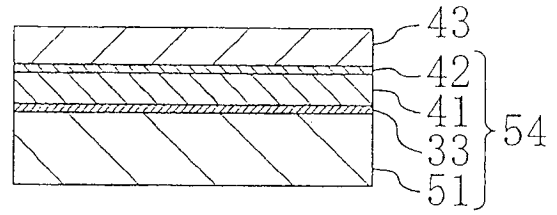


图 7B

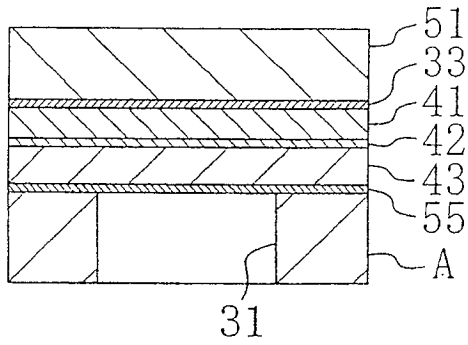


图 7C

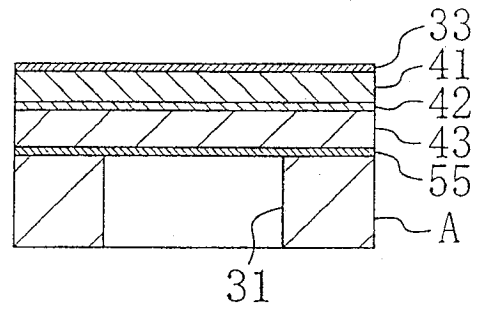


图 7D

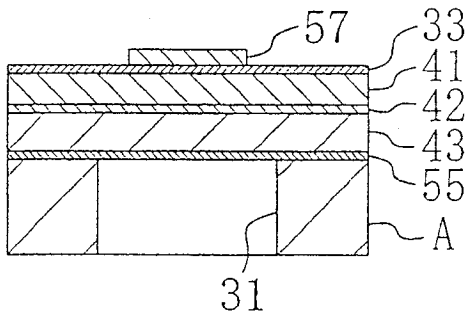


图 7E

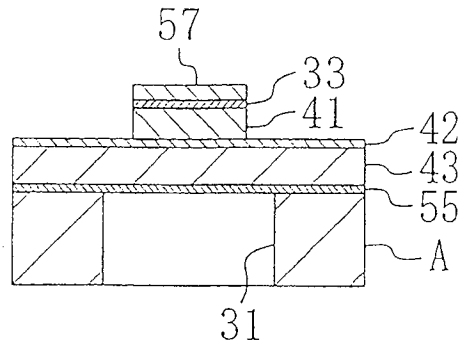


图 7F

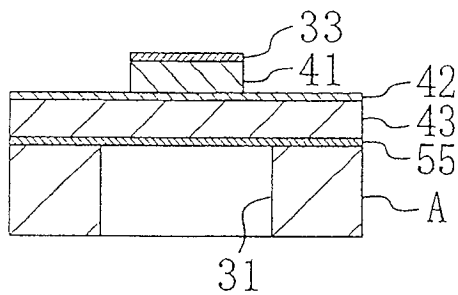


图 7G

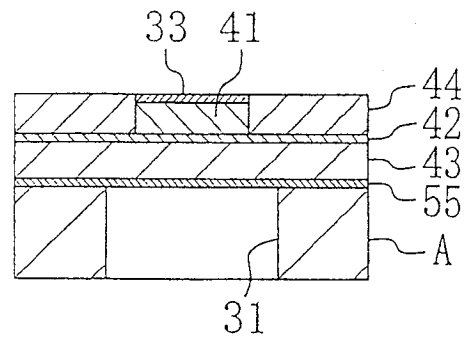


图 7H

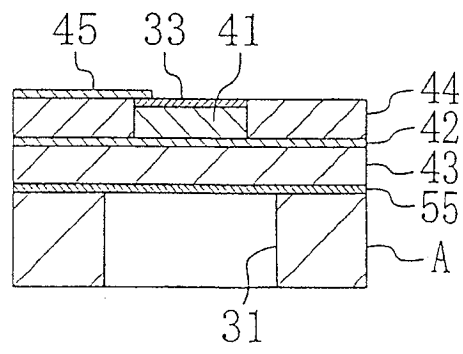


图 71

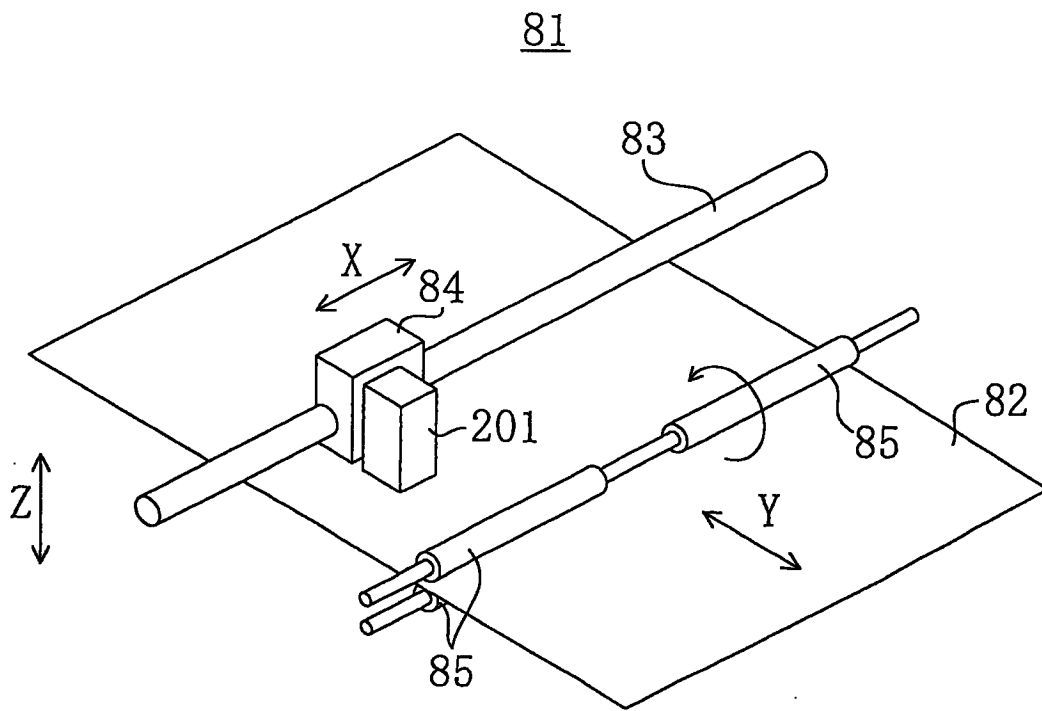


图 8

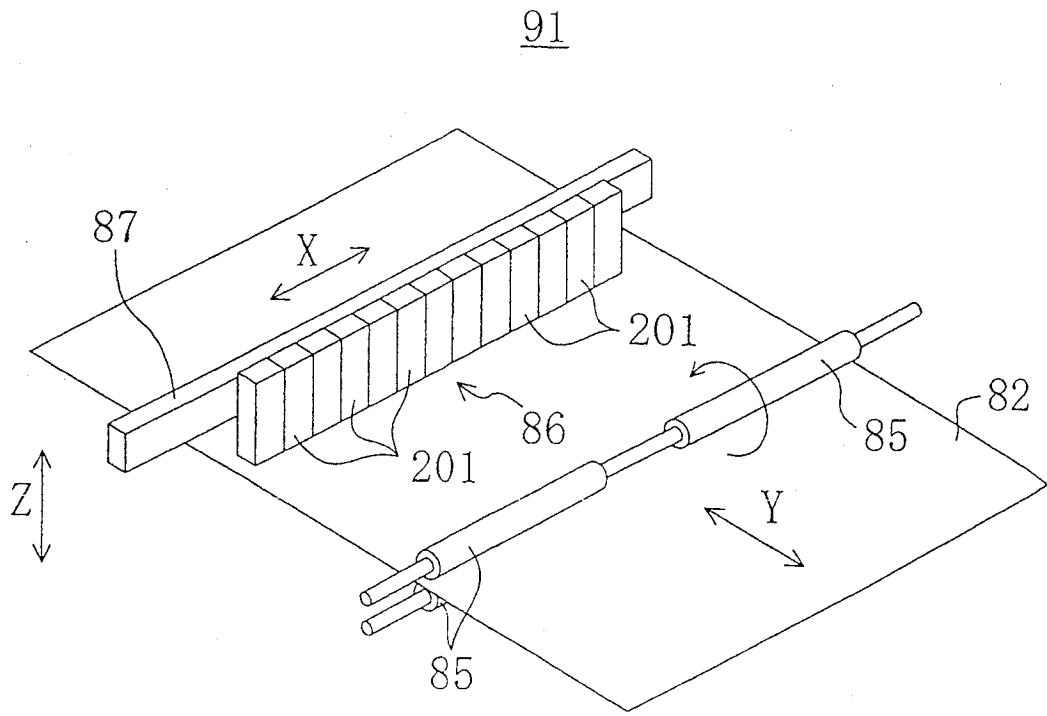


图9