

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

G11B 21/10

G11B 21/21



# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01111940.3

[45] 授权公告日 2004 年 11 月 3 日

[11] 授权公告号 CN 1174416C

[22] 申请日 2001.2.16 [21] 申请号 01111940.3

[30] 优先权

[32] 2000. 2. 16 [33] JP [31] 37801/2000

[32] 2001. 2. 2 [33] JP [31] 26991/2001

[71] 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 入江庸介 横山和夫

审查员 杜红波

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

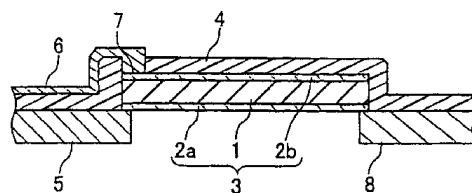
代理人 蔡民军 章社杲

权利要求书 2 页 说明书 47 页 附图 25 页

[54] 发明名称 致动器

[57] 摘要

本发明的致动器包括形状保持片，整体地设在形状保持片上的压电薄膜，和一对电极，做成用来夹持压电元件，其中形状保持片由合成树脂形成。由于压电部件薄，通过合成树脂制成的形状保持片使刚性增加，这样可以调整谐振频率。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

- 1.一种致动器,包括:  
形状保持片;
- 5 压电部件,整体地设在所述形状保持片上,所述压电部件具有一个表面和多个侧面;和  
一对电极,做成用来夹持所述压电部件,  
其中所述形状保持片由合成树脂形成,和所述树脂覆盖所述压电部件的该表面和所述压电部件的该多个侧面中的至少一个的至少一部分。
- 10 2.根据权利要求1的致动器,其中所述压电部件由厚度范围在1.0到5.0 $\mu\text{m}$ 之间的薄膜层形成,并且利用所述压电部件在厚度方向上的弯曲驱动所述致动器。
- 3.根据权利要求1的致动器,其中所述合成树脂是厚度范围在1.0到10.0 $\mu\text{m}$ 之间的感光树脂。
- 15 4.根据权利要求1的致动器,其中所述合成树脂是从正感光树脂中选择的至少一种树脂,正感光树脂包括聚酰亚胺树脂和聚苯并噁唑树脂。
- 5.根据权利要求1的致动器,其中所述合成树脂用作电绝缘层。
- 6.根据权利要求1的致动器,其中所述合成树脂是用于驱动一导线或信号线的电绝缘层,驱动导线用于驱动所述致动器,信号线用于传输信号。
- 20 7.根据权利要求1的致动器,其中所述致动器的一驱动导线被导出,并至少有一个部分相对于一其上有所述致动器形成的平面弯曲
- 8.根据权利要求7的致动器,其中至少一部分其上有所述驱动导线形成的衬底,通过蚀刻去除。
- 9.根据权利要求7的致动器,其中所述驱动导线至少由一电绝缘层的合成树脂、铜和一覆盖层的合成树脂形成。
- 25 10.根据权利要求7的致动器,其中所述驱动导线包括铜作为主要部件,并且它的表面覆盖有合成树脂,作为电绝缘层。
- 11.根据权利要求10的致动器,其中所述包括铜作为主要部件的驱动导线通过电镀形成。
- 30 12.根据权利要求1的致动器,在合成树脂下进一步包括一衬底,其中所述

合成树脂用作形状保持片及一用于保护所述压电部件的保护层。

13.根据权利要求 1 的致动器,进一步包括一增强物,加到所述合成树脂中用于增加机械强度。

14.根据权利要求 1 的致动器,其中通过在所述压电元件的表面施加树脂,  
5 来形成所述形状保持片,并将其烘干,使所述形状保持片和所述压电部件整体形成。

## 致动器

### 技术领域

本发明通常涉及各种电子部件中使用的致动器及其生产方法，并且涉及包括致动器的信息记录/重现设备。

### 背景技术

具有压电元件（压电微致动器）的设备包括微型泵和普通封闭类型的微型阀，如在 IEICE（The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 即电子、信息和通讯工程师学会）学报（C类, J71-C卷, 第12号）（1988），第1705-1711页）上，由 Shoji 等人的文献《用于集成化工分析系统的微泵原型》（“Prototype of Micropump for Integrated Chemical Analysis System”）所教导的。纵向效果的压电致动器的具体例子包括：精密车床中金刚石顶尖的定位；和扫描隧道显微镜中探针的驱动。已经讨论了通过进一步减小尺寸并提高性能，可以在微型机械、微型传感器等等中使用压电元件。在这样的压电元件尚不可能被考虑使用的各个领域，还是希望通过使用它们来实现精细的和精密的控制。

另一方面，相对于 HDD（hard disk drives, 即硬盘驱动器）中使用的致动器，由于随着密度增加而轨迹宽度减小，使相对于介质轨迹定位磁头趋于困难。

在传统的磁盘装置中，通过使用声圈电机（VCM）或旋转 VCM，来执行磁头的搜索驱动。

根据这样的背景，如最近在光盘相关设备（如 CD, MO, DVD 等等）中使用的二级致动器，用于在 HDD 中来增加定位精度。

通常地，二级致动器的系统包括静电系统、压电系统、磁致伸缩系统等等。

如图 24 所示，这样的二级致动器的例子已在 JP9（1997）-265738A 中揭示。在 JP9（1997）-265738A 中，如图所示这样描述，磁头滑块（在图中未画出）固定在磁头支持机构（悬架 25）上，在磁盘装置中，磁头支持机构相对于较粗糙的致动器振动。在 JP9（1997）-265738A 中，关注了磁盘装置中轨迹密度的增加。在图 24 中，组合了一对平面压电元件 23，共同定位在磁头安装块（安装部分 22）的旋转中心两侧，作为固定部分，在那里，磁头支持机构（悬架 25）固定到较粗糙的致动器上，其中磁头滑块附着到磁头支持机构（悬架 25）上。

这对平面压电元件差动操作，来允许磁头机构（悬架 25）精细地振动。这样，固定到磁头支持机构末端的磁头滑块和磁头元件可以精细地移动。平面压电元件 23 不能产生大位移。然而，悬架 25 允许相对于铰链精细地旋转，这样，平面压电元件 23 的位移在磁头元件的位置上增加八倍。在 JP9 (1997) -265738A 中这样描述，较粗糙的致动器的定位，与通过磁头支持机构的移动，而产生的磁头滑块与磁头元件的精细的定位，彼此相互联系地操作，这样，在轨迹宽度的方向上，磁头元件的定位精度增加，这允许轨迹密度增加。从图 24 中可以简单地假设，悬架 25、安装部分 22 和平面压电元件 23 各自形成，然后组装而完成定位机构。

10 如上所描述，传统技术中的压电元件具有这样的问题，即通常地，由此产生的位移及其尺寸小，并且位移根据结构而被限制，这促使位移和电压（即效率）减小。而且，粘合剂等等的精细制备和使用，在生产过程中是困难的，在生产过程中，要求对具有压电薄膜等等的元件进行精细制备。

**发明内容** 为了解决前述现有技术的问题，本发明将提供一种致动器和信息记录/重现设备，使元件效率和制备精度提高，其中合成树脂用作形状保持片的材料，并且提供生产致动器的方法。

20 为了实现上述目的，本发明的致动器包括：形状保持片；压电部件，整体提供在形状保持片上，所述压电部件具有一个表面和多个侧面；和一对电极，形成而夹持压电部件。所述形状保持片由合成树脂形成，和所述树脂覆盖所述压电部件的该表面和所述压电部件的该多个侧面中至少一个的至少一部分。

具有本发明的致动器的信息记录/重现设备包括：滑块，其上安装有磁头；磁头支持机构，用于通过滑块支持磁头；和跟踪部件，通过磁头支持机构来允许跟踪磁头。致动器包括：形状保持片；压电部件，整体提供在形状保持片上；和一对电极，形成而夹持压电部件。所述形状保持片由合成树脂形成。磁头支持机构包括致动器，并且致动器被驱动而精细地移动磁头。

30 根据本发明生产致动器的第一方法，是这样生产致动器的方法，致动器包括：形状保持片；压电部件，整体提供在形状保持片上；和一对电极，形成而夹持压电部件，并且形状保持片由合成树脂形成。第一方法包括：通过在衬底上制备薄膜而形成下电极，其中衬底制备成致动器的形状；形成压电薄膜；形成上电极；并且形成用合成树脂制成的形状保持片。

根据本发明生产致动器的第二方法，是这样生产致动器的方法，致动器包

括：形状保持片；压电部件，整体提供在形状保持片上；和一对电极，形成而夹持压电部件，并且形状保持片由合成树脂形成。第二方法包括：通过在衬底上制备薄膜而形成下电极；形成压电薄膜；形成上电极；然后将衬底、下电极、压电薄膜和致动器制备成致动器的形状；并且形状保持片由合成树脂制成。

5 根据本发明生产致动器的第三方法，是这样生产致动器的方法，致动器包括：形状保持片；压电部件，整体提供在形状保持片上；和一对电极，形成而夹持压电部件，并且形状保持片由合成树脂形成。第三方法包括：在衬底上形成下电极、压电薄膜和上电极；使用光刻技术，将它们制备成致动器的形状；并且下电极、压电薄膜和上电极，转移到合成树脂形成的图样上。

10 根据本发明，压电元件可以不使用粘合剂而形成，进一步，可以得到精细的元件，并且可以不受限制地设计元件。而且，与传统的压电元件相比，可以得到相当大的位移。特别地，当本发明的致动器用于磁头等等时，可以得到能够以高精度控制的致动器，和信息记录/重现设备。当谐振频率低并且难于高速控制时，需要减小尺寸。即使尺寸减小，位移和电压（即效率）也可以有效地

15 获得。更进一步，膜厚度的减小还允许功率消耗减小。

**附图说明** 图 1A 到 1G 是说明性的剖视图，显示了根据本发明实施例 1 的致动器机构的基本结构。

图 2A 到 2C 是说明性的剖视图，说明了根据本发明实施例 1 的致动器的移动。

20 图 3A 到 3F 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用金属掩模形成压电元件的方法，并且图 3G 到 3L 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，使用金属掩模形成压电元件的方法。

图 4A 到 4F 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用金属掩模生产致动器的方法，并且图 4G 到 4I 是说明性的剖视图，显示了根据本

25 发明的实施例 2，使用金属掩模生产致动器的方法。

图 5A 到 5F 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用金属掩模生产致动器的方法，并且图 5G 到 5I 是说明性的剖视图，显示了根据本

30 发明的实施例 2，使用金属掩模生产致动器的方法，并且图 6E 到 6G 是说明性的剖视图，显示了根据

本发明的实施例 2，使用金属掩模生产致动器的方法。

图 7A 到 7D 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用金属掩模生产致动器的方法，并且图 7E 到 7G 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，使用金属掩模生产致动器的方法。

- 5 图 8A 到 8F 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用金属掩模生产致动器的方法，并且图 8G 到 8J 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，使用金属掩模生产致动器的方法。

图 9A 到 9E 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用制备的衬底生产致动器的方法。

- 10 图 10A 到 10D 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用制备的衬底生产致动器的方法。

图 11A 到 11E 是说明性的剖视图，显示了根据本发明的实施例 2，不使用制备的衬底生产致动器的方法。

图 12 是组装图示，显示了根据本发明实施例 3 的致动器机构的基本结构。

- 15 图 13A 是剖视图，显示了根据本发明例 3 的致动器部分的驱动元件，与磁盘表面之间的位置关系，图 13B 显示了致动器部分的驱动元件，与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的角度，而图 13C 显示了根据本发明例 1 的致动器位移的测量数据。

图 14A 和 14B 显示了根据本发明实施例 3 的致动器的移动。

- 20 图 15A 是结构图，其中根据本发明实施例 3 的致动器施加到硬盘中，而图 15B 是部分放大视图，显示了图 15A 中圈出的部分。

图 16A 是结构图，其中根据本发明实施例 3 的致动器施加到硬盘中，而图 16B 是部分放大视图，显示了图 16A 中圈出的部分。

- 25 图 17A 是结构图，其中根据本发明实施例 3 的致动器施加到硬盘中，而图 17B 是部分放大视图，显示了图 17A 中圈出的部分。

图 18 是说明性的视图，显示了这样的情况，即限制释放部件结合到根据本发明实施例 3 的致动器中。

图 19 是说明性的视图，显示了这样的情况，即支持点提供在根据本发明实施例 3 的致动器中。

- 30 图 20 是透视图，显示了根据本发明实施例 4 的致动器的结构。

图 21A 到 21D 是说明性的视图，显示了根据本发明实施例 4 的致动器的移动。

图 22A1、22B1、22C1 和 22D1 是透视图，显示了根据本发明实施例 5 的压电致动器中的接线结构，而图 22A2、22B2、22C2 和 22D2 是其剖视图。

5 图 23A1、23B1、23C1 和 23D1 是透视图，显示了在根据本发明例 20 的压电致动器中的接线结构，而图 23A2、23B2、23C2 和 23D2 是其剖视图。

**具体实施方式** 图 24 是说明性的视图，显示了传统的致动器。

根据本发明，通过采用如下所述的具有压电薄膜的致动器、致动器机构和信息记录/重现设备的致动器来解决前述问题。致动器机构的基本结构包括这  
10 些：压电薄膜，一对电极，形成而夹持压电薄膜中；形状保持片，用于支持薄膜；和固定材料，为致动器机构所需而用作设备。

特别地，合成树脂的塑性材料用作形状保持片。当采用这个结构时，用于支持压电薄膜的形状保持片，可以形成具有柔性。这样，还能够增加真实位移。当设备的机械强度低时，在形状保持片的外侧（即在不形成有压电薄膜的形状  
15 保持片表面上），或在不形成有形状保持片的电极上，薄金属膜或薄氧化物膜插入电极与形状保持片之间，作为增强物，其中电极形成而夹持压电薄膜。形成形状保持片的合成树脂的厚度可以增加，或者可以形成致动器机构，使压电元件从两侧覆盖有合成树脂。

当仍然不能得到足够的机械强度时，可以对形成压电元件的驱动部分提供  
20 另一个部件，来增强强度不足的部分。以这种方式，作为致动器操作的部分，和用于增强机械强度的部分分别形成，然后结合在一起。

电极及其接线从形成在合成树脂内的通孔中导出，其中合成树脂形成形状保持片。这样的结构允许压电薄膜在其厚度方向上具有可弯性，可用作驱动装置。

25 使用光刻技术生产这样的致动器机构，这样可以得到精细的结构，并且由于合成树脂的施加，可以作为单一设备单独制备。这样，可以产生复杂的结构。例如，单一元件，如双晶压电结构、多层结构、驱动复合结构等等的简单结合，允许得到具有各种二维或三维结构的压电元件。当压电元件固定到固定部件上时，它用作致动器。

30 具有上述结构的压电元件，是当产生最简单结构的压电元件，然后结合而



得到各种结构时使用的装置。当使用光刻技术产生元件部分，并结合至少两个元件部分时，其中施加了合成树脂，也能够整体形成压电元件，其中上述结构或各自单一元件的结合用于驱动。

5 当致动器机构施加到硬盘驱动器等等的致动器中时，后面的描述针对解决致动器机构中的前述问题。

为了解决这样的问题，其中需要提高定位精度，采用了这样的结构，其中支持磁头元件的滑块通过位移减小机构旋转和驱动，位移减小机构使用能够得到大移动的致动器，作为驱动力。上面，“能够得到大移动的致动器”，是指具有包括合成树脂结构的上述致动器。

10 特别地，致动器的至少两个驱动元件，定位在相应于悬架与磁头支持机构的滑块之间中点的位置上，相对于垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面，使驱动元件平面对称。

当磁盘旋转时，由于旋转产生的气压，滑块飘浮在空气中几十纳米。在这种情况下，当磁盘更快旋转时，大约几毫牛顿的空气粘度摩擦力（由滑块在磁  
15 盘旋转方向上被拉动的现象产生的摩擦力）在滑块与磁盘之间产生。当滑块被粘性摩擦力在磁盘旋转方向上被拉动，并且具有精细辅助驱动装置的驱动元件具有低的刚性时，悬架也在磁盘旋转方向上被拉动。结果，滑块的飞行高度变得不稳定，并且变得不能控制精细辅助驱动装置。这样，考虑到悬架的刚性和精细辅助驱动装置的可控性，定位各自的驱动元件，来确定相对于垂直于磁盘  
20 表面并沿悬架纵向中心线的平面，至少为 15 度角。相位彼此相反的电压各自加到驱动元件上，来操作驱动元件，由此磁头支持机构旋转，其中滑块附着到磁头支持机构上。这样，滑块允许在平行于磁盘表面的方向上旋转，并且可以实现高精度定位，其中磁头元件形成在滑块上。在这样的结构中，由于驱动元件的形状保持片由柔性材料形成，在压电元件的弯曲方向上和垂直于磁盘表面  
25 方向上，机械强度降低。

如上所述，当压电元件部分具有低的机械强度时，在形状保持片的外侧（即在不形成有压电薄膜的形状保持片表面上），或在不形成有形状保持片的电极上，薄金属膜、薄氧化物膜等等可以插入电极与形状保持片之间，作为增强物，其中电极形成而夹持压电薄膜。形成形状保持片的合成树脂的厚度可以增加，  
30 或者可以形成压电元件部分，使压电元件从两侧覆盖有合成树脂。

当仍然不能得到足够的机械强度时，可以对压电元件形成的驱动部分提供另一个部件，来增强强度不足的部分。以这种方式，作为致动器操作的部分，和用于增强机械结构的部分分别形成，然后结合在一起。这允许增加驱动位移，而不减小机械强度。

- 5 在具有另一个结构的致动器机构中，包括在致动器中的至少两个驱动元件（压电元件），定位在相应于悬架与磁头支持机构的滑块之间中点的位置上，而平行于磁盘表面。致动器机构是具有中心推动器类型的梁的结构，并提供开口，使固定部分、移动部分和连接它们的至少两个梁整体形成。在至少一个梁的一个部分上，提供电极层（图中未画出）而形成位移产生部分，在固定部分
- 10 与移动部分（沿厚度方向弯曲）之间伸长的方向上，来允许伸长和缩短。构成致动器机构，使移动部分相对于固定部分的位移是片状体平面上的弧位移或旋转位移，其中移动部分相对于固定部分的位移，由位移产生部分（沿厚度方向弯曲）中的伸长和缩短产生。特别地，用于压电元件的形状保持片，至少使用合成树脂制作，其中压电元件在驱动部分中，合成树脂提供有高柔性，这样可以得到大位移。特别地，在相应于悬架与磁头支持机构的滑块之间中点的位置
- 15 上，压电元件定位，并且一个固定部分固定到悬架上，而另一个固定到滑块上。

在这种结构中，特别在垂直于磁盘表面的方向（在重力方向）上，压电元件具有低的机械强度，而且滑块由致动器支持。由此，在这个方向上需要相当高的机械强度。如上所述，当压电元件部分具有低的机械强度时，在形状保持片的外侧（即在不形成有压电薄膜的形状保持片表面上），或在不形成有形状保持片的电极上，薄金属膜、薄氧化物膜等等插入电极与形状保持片之间，作为增强物，其中电极形成而夹持压电薄膜。形成形状保持片的合成树脂的厚度可以增加，或者可以形成压电元件部分，使压电元件从两侧覆盖有合成树脂。

- 25 当仍然不能得到足够的机械强度时，可以对压电元件形成的驱动部分提供另一个部件，来增强强度不足的部分。以这种方式，作为致动器操作的部分，和用于增强机械强度的部分分别形成，然后结合在一起。

在这样情况下，即在驱动操作过程中不能得到足够的扭矩，具有这样结构的致动器可以结合在一起，而产生多层结构、驱动复合结构等等。这样可以得到具有压电薄膜的致动器，它采用各种二维或三维结构。

- 30 而且，可以不用过多考虑机械强度与位移之间的相互关系，而设计致动器

机构的结构。

后面的描述针对解决这样的问题，即位移根据结构而被限制，并且位移和电压（即效率）减小。

当构成致动器机构，使致动器部分中的驱动元件被驱动的方向，实质平行于滑块位移的方向，其中在滑块上形成有磁头元件，驱动元件产生的位移可以有效地传输到滑块上，其中滑块提供有磁头元件。通常地，驱动位移与刚性（机械强度）彼此成反比。当将要增加驱动位移时，刚性必须减小，而另一方面，刚性的增加促使驱动位移的减小。其主要原因是，用于支持滑块抵抗重力的部件，抵抗磁盘旋转时产生的粘性摩擦力的刚性部件，和抵抗当主驱动部分从驱动状态变为停止时的惯性力的刚性部件，与产生位移的驱动部分的部件一起形成，作为一个部件。由此，当形成压电元件部分作为可以独自制备的设备时，它可以与其它刚性部件结合在一起。结果，即使具有高刚性，也可以得到提供大驱动位移的致动器。

特别地，当压电元件部分中的形状保持片，至少使用合成树脂形成时，压电元件部分具有高柔性。由此，驱动操作的限制产生的损失，由这个部分吸收。这样，可能使位移的减小最小化。

低谐振频率的问题和高速控制中的困难，可以通过使用上述结构解决。由于即使驱动元件小于图 24 中传统例子的那些驱动元件时，也可以得到足够的位移和电压，可以设置高谐振频率，并且高精度度的高速控制是可能的。

更进一步，当除了形状保持片部分以外的其它部分，也覆盖有合成树脂时，可以抑制谐振。

相对于高驱动电压影响功率和磁头元件的问题，当使用上述结构，并且压电材料用于形成薄膜时，可以得到足够的位移和电压（各自大约为  $1\mu\text{m}$  和  $\pm 3$  到  $5\text{V}$ ），由此可以降低功率消耗，并且与传统例子中的那些相比，磁头元件上的影响可以减小。

而且，由于使用薄膜，可以采用薄膜制备和光刻技术，并且这个过程允许电极和接线同时形成。

在使用光刻技术，制备元件部分的压电薄膜的同时，用于驱动压电元件的接线形成。在将压电薄膜制备成预定形状后，合成树脂施加其中，然后形成图样，来用作元件中使用的形状保持片、保护层或绝缘层。合成树脂被烘干而固

化, 然后施加电镀抗蚀剂并形成图样。通过使用图样, 执行导体的电镀, 这样形成接线。在去除电镀抗蚀剂后, 施加合成树脂而形成覆盖层, 形成图样, 然后固化。当使用这样的结构时, 其中接线介入合成树脂层之间, 并且合成树脂用于压电薄膜的保护层或衬底, 由于合成树脂取代用于压电薄膜(压电元件)的形状保持片、保护部件或衬底, 即使形成有压电元件的衬底从压电元件上去除, 也能保持压电元件的形状。更进一步, 由于在制备压电薄膜的同时也形成接线, 驱动元件可以作为单一设备而制备, 并且可以独自操作。而且, 当使用粘合剂等等, 附着到另一个部件等等上时, 也可以使用驱动元件。

当形成接线部分具有这样的结构使它至少包括合成树脂/导体(接线材料)/合成树脂时, 可以得到柔性接线结构。这个结构允许接线, 不仅从这样的平面导出, 即与形成压电元件的平面相同的平面, 而且可以从其它平面导出。

而且, 当衬底由金属那样的柔性材料, 例如不锈钢制成时, 其中衬底上形成有压电元件, 或者附着到压电元件等等上的部件具有柔性时, 甚至也能够三维结构中导出接线, 其中三维结构通过将压电元件与衬底一起弯曲而得到。

后面的描述针对生产方法。由于生产过程根据衬底的制备状态而不同, 其中衬底用于生产压电元件, 使用不同衬底的生产方法分别描述。

#### 制备的衬底

当衬底制备成致动器形状时, 压电薄膜通过溅射等等方法, 直接形成在衬底上。膜结构包括下电极、压电薄膜和上电极(此后, 这个结构被称为“压电元件”)。在这种情况下, 压电薄膜和这样形成的下、上电极, 可以使用金属掩模等等, 在它们的形成过程中形成图样, 或者它们在形成后, 可以通过使用光刻技术的干蚀刻或湿蚀刻来制备。

在制备元件后, 形成接线。当衬底由导电材料制成时, 由于下电极与衬底接触, 它从衬底中导出。另一方面, 对于上电极, 合成树脂用作基底而形成绝缘层, 并形成允许接线导出的图样, 然后被固化。作为定位于上电极上的基底, 其合成树脂的部分中形成通孔, 来实现压电元件上电极的导电性。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu, 溅射到合成树脂层上, 作为绝缘层的基底, 然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样, 通过电镀形成铜电镀层, 具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后, 施加合成树脂而形成覆盖层, 形成图样, 然后固化。

当衬底不由导电材料制成时，制备压电元件和上电极，使它们定位在下电极上的部分被去除，这样，下电极通过上电极和压电薄膜去除的部分而导出。然后，合成树脂施加到元件上，形成图样，然后固化。在这个步骤中，也形成通孔，用于导出下和上电极。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu，溅射到作为绝缘层  
5 基底的合成树脂上，然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样，通过电镀形成铜电镀层，具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后，施加合成树脂形成覆盖层，形成图样，然后固化。

然后，衬底被制备。制备衬底的方法被分成部分制备和整体制备，在部分制备中，形成压电元件部分中的形状保持片部分；在整体制备中，整个衬底被  
10 制备。在部分制备中，通过离心方法（使用离心覆涂机）、辊压方法、浸泡方法、喷雾方法、喷墨方法等等，将用于制备衬底的合成树脂施加到两侧，而不包括被制备一侧的形状保持片部分附近。最好根据不同的情况采用合适的施加方法，例如当不需要精确控制膜厚度时，可以使用浸泡或辊压方法，而当应该控制薄膜厚度时，应该采用离心或喷雾方法。当需要有效地施加或部分地施加  
15 填充材料时，最好使用喷墨方法。

作为部分去除合成树脂，使用于制备衬底的合成树脂形成图样的方法，例如，当具有感光性时，可以使用光刻技术形成图样技术，如暴露在光下，生长等等，来部分去除合成树脂，或通过激光制备而部分去除合成树脂。只要被制备的衬底部分上的合成树脂可以被去除，可以使用任何方法。

20 此后，不覆盖有合成树脂的衬底部分通过湿蚀刻制备。

制备方法包括半蚀刻方法和去除整个衬底的方法，在半蚀刻方法中，制备而部分去除衬底，来具有适当的厚度。根据需要的刚性和位移，可以采用它们中的任何一种方法。

后面的描述不针对部分蚀刻，而针对通过蚀刻去除整个衬底的方法。开始，  
25 压电元件形成在衬底表面上，然后合成树脂施加其上。直到这一阶段的步骤，与前述部分制备中相同。然后，整个衬底通过蚀刻去除。当整个衬底被去除时，下电极的 Pt 层作为蚀刻终止层，而防止蚀刻剂的进一步蚀刻。这样，压电元件从衬底上转移到合成树脂层上，其中合成树脂层由合成树脂形成。合成树脂具有相对高的粘合性，由此，使用这样的制备方法，允许压电元件不使用粘合剂  
30 而轻易地转移。当上述接线也在这个步骤中形成时，接线可以轻易地导出，并

且压电元件可以作为单一元件制备。而且，还可能从压电薄膜形成一侧以外导出接线，并可能形成三维结构等等。

上面，简要描述了生产方法，但重要的方面是，包括压电元件侧面的压电元件部分，覆盖有合成树脂，当衬底被蚀刻时使之不被损坏。通常地，压电薄膜形成其上的衬底比压电薄膜厚，由此通常使用湿蚀刻。由于使用强酸或强碱蚀刻剂作为蚀刻剂，并且压电薄膜也被这样的蚀刻剂蚀刻，压电元件需要覆盖有合成树脂。用于驱动压电元件的电极和接线，在衬底蚀刻以前，使用光刻技术形成图样，并形成电极和接线。在这种情况下，合成树脂也用作绝缘层，这允许驱动接线整体形成。上面，使用制备的衬底的生产方法被简要地描述。在这样的情况下，形成图样的形状，有必要由制备的衬底的形状而确定。

对于接线的形成，合成树脂施加到压电元件中，并且当合成树脂形成图样时，通孔形成在下和上电极的部分中。电极使用通孔导出，这样形成接线部分。作为形成电极的方法，膜可以由电极材料，如 Pt、Au 等等，通过溅射、真空沉积等等形成，然后可以被制备具有接线图样的形状，或者它们可以通过电镀等等方法形成。

当元件部分不具有足够的刚性时，当压电元件形成时，金膜、氧化物膜等等形成具有几微米的厚度，作为增强物，或者也可以通过电镀形成。可选地，合成树脂的厚度可以增加。

#### 非制备的衬底

后面的描述针对使用衬底的生产方法，其中衬底不被预制备成致动器的形状。

当使用非制备的衬底时，采用的生产方法包括后面的两种方法。一种生产方法包括形成压电元件、制备压电元件、将衬底制备成致动器形状、然后允许保留整个或部分衬底。另一种生产方法包括形成压电元件、制备压电元件、将衬底制备成致动器形状、然后去除整个衬底。

首先，描述整个衬底被去除的情况。形成并制备压电元件部分（具有包括下电极/压电薄膜/上电极的结构）。在制备元件后，形成接线。当衬底由导电材料制成时，由于下电极接触衬底，它从衬底中导出。另一方面，对于上电极，合成树脂用作衬底而形成绝缘层，并形成允许接线导出形状的图样，然后固化。作为定位于上电极上的基底，其合成树脂的部分中形成通孔，来实现压电元件

上电极的导电性。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu，溅射到作为绝缘层基底的合成树脂上，然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样，铜电镀层通过电镀，形成具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后，施加合成树脂形成覆盖层，形成图样，然后固化。

- 5 当衬底不由导电材料制成时，压电薄膜和上电极被制备，使它们定位在下电极上的部分被去除，这样通过上电极和压电薄膜被去除的部分，下电极被导出。然后，合成树脂施加到元件上，形成图样，然后固化。在这个步骤中，也形成通孔，用于导出下和上电极。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu，溅射到作为绝缘层基底的合成树脂上，然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样，铜电镀层通过电镀，形成具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后，施加合成树脂形成覆盖层，形成图样，然后固化。

然后，衬底被制备。当去除整个衬底时，在压电元件形成在衬底上之后，用于制备衬底的合成树脂，通过离心方法（使用离心覆涂机）、辊压方法、浸泡方法、喷雾方法、喷墨方法等等而施加其上。作为部分去除合成树脂，使用于制备衬底的合成树脂形成图样的方法，例如，当具有感光性时，可以使用光刻图样技术，如暴露在光下、生长等等，来部分去除合成树脂，或者可以通过激光制备而部分去除合成树脂。只要被制备的衬底部分上的合成树脂可以被去除，可以使用任何方法。在这种情况下，当使用光刻技术的生产方法被使用时，压电元件在制备时可以不受限制地定位，并且当合成树脂形成图样时，致动器的形状可以不受限制地形成。由此，能够产生复杂的形状和各种结构。当上面描述的接线在这个步骤中形成时，接线可以轻易地导出，并且压电元件可以作为单一设备制备。而且，还可能从压电薄膜形成一侧以外导出接线，并且可能形成三维结构等等。

25 然后，不覆盖有合成树脂的衬底部分，通过湿蚀刻等等制备，即整个衬底被去除。当去除整个衬底时，下电极的 Pt 层作为蚀刻终止层，而防止蚀刻剂的蚀刻。这样，压电元件从衬底上转移到合成树脂层上，其中合成树脂层由合成树脂形成。合成树脂具有相对高的粘合性，由此，使用这样的制备方法，允许压电元件不使用粘合剂而轻易地转移。特别地，当包含聚合物的树脂被烘干时，可以得到相对于膜的高粘合性。

30 上面，简要描述了生产方法，但重要的方面是，包括压电元件侧面的压电

元件部分，覆盖有合成树脂，当衬底被蚀刻时使之不被损坏。通常地，压电薄膜形成其上的衬底比压电薄膜厚，由此通常使用湿蚀刻。由于使用强酸或强碱蚀刻剂作为蚀刻剂，并且压电薄膜也可以被这样的蚀刻剂蚀刻，压电元件需要覆盖有合成树脂。用于驱动压电元件的电极和接线，在衬底被蚀刻前，使用光刻技术形成图样，并形成电极和接线。在这种情况下，合成树脂也可以用作绝缘层，这允许驱动接线整体形成。

下面，描述衬底被允许保留的生产方法。

有两种方法允许衬底保留。一种方法是保留整个衬底被形成图样的形状，另一种方法是保留的衬底厚度改变。

10 在允许保留整个衬底形成图样形状的方法中，形成并制备压电元件部分（具有包括下电极/压电薄膜/上电极的结构）。在制备元件后，形成接线。当衬底由导电材料制成时，由于下电极接触衬底，它从衬底中导出。另一方面，对于上电极，合成树脂用作衬底而形成绝缘层，并形成允许接线导出形状的图样，然后固化。作为定位于上电极上的基底，其合成树脂的部分中形成通孔，来实现  
15 压电元件上电极的导电性。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu，溅射到作为绝缘层基底的合成树脂上，然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样，铜电镀层通过电镀，形成具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后，施加合成树脂而形成覆盖层，形成图样，然后固化。

当衬底不由导电材料制成时，制备压电薄膜和上电极，使它们在下电极上的部分被去除，这样通过上电极和压电薄膜被去除的部分，下电极被导出。然后，合成树脂施加到元件上，形成图样，然后固化。在这个步骤中，也形成通孔，用于导出下和上电极。用于电镀铜的晶粒层 Cr/Cu，溅射到作为绝缘层基底的合成树脂上，然后用于电镀铜的图样使用抗蚀剂形成。使用这个图样，铜电镀层通过电镀，形成具有大约 2 到 10  $\mu\text{m}$  的厚度。在去除电镀抗蚀剂后，  
25 施加合成树脂形成覆盖层，形成图样，然后固化。

然后，衬底被制备。在压电元件形成在衬底上之后，用于制备衬底的合成树脂，通过离心方法（使用离心覆涂机）、辊压方法、浸泡方法、喷雾方法、喷墨方法等等而施加其上。作为部分去除合成树脂，使用于制备衬底的合成树脂形成图样的方法，例如，当具有感光性时，可以使用光刻图样技术，如暴露在光下、生长等等，来部分去除合成树脂，或者可以通过激光制备而部分去除  
30



合成树脂。只要被制备的衬底部分上的合成树脂可以被去除，可以使用任何方法。然后，不覆盖有合成树脂的衬底部分，通过湿蚀刻制备。在这种情况下，由于合成树脂只施加到一个表面上，没有合成树脂施加其上的另一个表面，通过提供有保护带或膜附着其上，而防止直接接触蚀刻剂等等。当衬底将要以高速和高精度被蚀刻时，合成树脂也施加到与形成压电元件相反的一侧上，使用5 两侧曝光设备等等，使图样形成在两个表面上，并且蚀刻两个表面。

在作为另一种方法的改变衬底厚度的方法中，生产压电元件、形成接线、施加合成树脂和蚀刻衬底的方法，与上面相同。然后，在压电元件不形成一侧上的合成树脂被去除，并且衬底通过湿蚀刻等等而被再次蚀刻，直到得到具有10 所需厚度的衬底。当厚度想要被部分地改变时，图样上新形成有合成树脂，然后衬底可以使用图样被蚀刻。

上面，简要描述了生产方法，但重要的方面是，包括压电元件侧面的压电元件部分，覆盖有合成树脂，当衬底被蚀刻时使之不被损坏。通常地，压电薄膜形成其上的衬底比压电薄膜厚，由此通常使用湿蚀刻。由于使用强酸或强碱15 蚀刻剂作为蚀刻剂，并且压电薄膜也可以被这样的蚀刻剂蚀刻，压电元件上需要覆盖有合成树脂。用于驱动压电元件的电极和接线，在衬底被蚀刻前，使用光刻技术形成图样，并形成电极和接线。在这种情况下，合成树脂也可以用作绝缘层，这允许驱动接线整体形成。而且，还可以从压电薄膜形成一侧以外导出接线，并形成三维结构等等。

## 20 合成树脂

有机合成树脂被进一步分为塑料（包括热塑树脂、热固树脂和塑料副产品（膜、片、各种泡沫、粘合剂和涂料）、合成纤维（尼龙、聚酯、聚丙烯纤维等）、合成橡胶（二烯基的和非二烯基的合成橡胶、热塑弹性体等）和其它（高25 吸水性树脂、合成纸、人造革、离子交换树脂、离子交换膜、生物可降解的聚合物等）。

在它们当中，特别需要的合成树脂是那些分类为塑料的合成树脂。例如，分类为塑料的合成树脂，包括那些热塑树脂、热固树脂和塑料副产品形式的合成树脂。作为抗蚀剂，特别的例子包括光抗蚀剂（重氮基萘醌-酚醛树脂、聚甲基甲基丙烯酸酯、含有甲基甲基丙烯酸酯的共聚物、聚甲基30 isopolopenillicetone、环聚异戊二烯-叠氮化物复合抗蚀剂、酚树脂-叠氮化物复

合抗蚀剂、主链断裂类型的电子束正抗蚀剂、溶解抑制电子束抗蚀剂、交叉连接类型的电子束负抗蚀剂、环氧负电子束抗蚀剂、聚乙烯负电子束抗蚀剂、碱性水溶液生长负电子束抗蚀剂、化学放大抗蚀剂等), 或用于印刷电路板的抗蚀剂、干膜抗蚀剂、电镀抗蚀剂、ED 抗蚀剂、LDI 抗蚀剂、聚酰亚胺和聚苯并噁唑树脂。特别地, 在它们当中, 需要具有低吸水性的那些抗蚀剂。从包含聚酰亚胺树脂和聚苯唑并噁唑树脂的正感光树脂中选择的至少一种树脂是优选的。特别地, 包含聚酰亚胺树脂的正感光树脂, 最好是 Somitomo Bakelite 有限公司生产的“CRC-8000”系列之一。通过在 120°C/4 分钟预烘干, 250mJ/cm<sup>2</sup> (在“CRC-8200”的情况下) 到 400mJ/cm<sup>2</sup> (在“CRC-8300”的情况下) 曝光, 和 150°C/30 分钟到 320°C/30 分钟最终固化的条件下加热, 这种树脂可以结合到膜中。

上面描述的材料是例子, 并且只要它们是合成树脂, 可以使用任何材料。

本发明的实施例将参考后面的图 1A 到 8J 描述。

#### 实施例 1

图 1A 到 1D 显示了本发明压电致动器的简化剖视图。压电元件 3 由带状压电薄膜 1 形成, 并且下电极 2a 和上电极 2b 叠合, 而将压电薄膜 1 夹持其间。压电元件 3 提供有用作形状保持片的合成树脂 4。放置合成树脂 4, 来缠绕压电元件 3。压电元件 3 的一端通过下电极 2a 固定到固定部分 5 上。当固定部分 5 是导体时, 下电极 2a 通过固定部分 5 导出。当固定部分 5 是绝缘体时, 接线 6 形成在固定部分 5 上, 而导出下电极 2a。上电极 2b 通过通孔 7 与合成树脂 4 连接到上电极接线 6 上, 其中合成树脂 4 作为形状保持片, 用作绝缘层。被移动的目标 8 附着到压电元件 3 的另一端, 在固定部分 5 被固定的相反一侧上。

图 1A 显示了这样的结构, 其中衬底用于压电元件 3 的部分通过蚀刻等等去除, 并且合成树脂 4 用作形状保持片。

图 1B 显示了这样的结构, 其中衬底用于压电元件 3 的部分通过蚀刻等等去除, 并且合成树脂 4 用作形状保持片, 而且合成树脂 4 施加到衬底用于压电元件 3 的蚀刻部分上, 作为保护层。

图 1C 显示了这样的结构, 其中衬底用于压电元件 3 的部分通过蚀刻等等, 被部分地制备得更薄, 并且合成树脂 4 和其余的衬底用作形状保持片。

图 1D 显示结构的例子用于这样的情况, 即电压的直接施加将要避免区别

固定部分 5 是绝缘体还是导体。当固定部分 5 是绝缘体时，接线 6 可以直接形成在固定部分 5 上，而合成树脂 4 不形成在固定部分 5 上。当固定部分 5 是导体时，如图 1D 所示，合成树脂 4 形成在固定部分 5 上，并且接线 6 形成其上。图 1D 显示的结构，使用于压电元件 3 的整个衬底被去除，并且形成合成树脂 4 作为保护层。然而，甚至在图 1A 显示的结构中没有合成树脂 4 形成，或在图 1C 显示的结构中，用于压电元件 3 的衬底被部分去除，也能够如图 1D 所示导出下电极 2a。

当独自作为形状保持片的合成树脂 4 不提供足够的刚性时，如图 1E 到 1G 所示，加入增强物 30。图 1E 显示了这样的情况，即增强物 30 加到上电极 2b 与合成树脂 4 之间。图 1F 显示了这样的情况，即增强物 30 加到作为形状保持片的合成树脂 4 中。图 1G 显示了这样的情况，即增强物 30 加到下电极 2a 下。增强物的例子包括金属膜、氧化物膜等等。溅射方法、气相沉积方法、电镀方法等等，可以用作形成这样的膜的方法。这样的膜最好具有大约 1 到 5  $\mu\text{m}$  的厚度。

如图 1D 所示，可以形成压电元件，使两个表面覆盖有合成树脂 4，或使作为形状保持片的合成树脂 4 具有增加的厚度。施加合成树脂 4 的方法最好包括离心方法（使用离心覆涂机）、辊压方法、浸泡方法、喷雾方法、喷墨方法等等。

压电元件的移动将参考图 2A 到 2C 描述。图 2A 显示了当电压不施加时的状态。图 2B 显示了当正电压和负电压各自加在上电极和下电极上的状态。图 2C 显示了当负电压和正电压各自加在上电极和下电极上的状态。在图 2B 显示的情况下，电压的施加产生位移  $\Delta x$  和  $\Delta y$ 。在图 2C 显示的情况下，电压的施加产生位移  $\Delta x$  和位移  $\Delta y$ ，其方向与图 2B 显示情况中的方向相反。 $\Delta x$  和  $\Delta y$  位移长度各自最好在 1 到 5  $\mu\text{m}$  和 10 到 30  $\mu\text{m}$  的范围内。当使用的两个致动器作为三角形的两边定位时，它们最好在 1 到 2  $\mu\text{m}$  范围内在跟踪方向上移动。

由于，使用压电元件主要在其厚度方向上的弯曲，通过上面的移动得到位移，因而可以得到相对大的位移。驱动频率的增加允许高速和高精度控制。

上面，描述了本发明压电致动器的简化结构和移动。

## 30 实施例 2

图 3A 到 3L 显示了生产实施例 1 中描述的压电致动器的方法。开始，图 3A 到 3L 显示了生产方法，其中膜直接形成在制备成致动器形状的衬底上，并且整个衬底被去除。在这种情况下，图 3A 到 3F 和 3G 到 3L，显示了将衬底本身预制备成致动器形状，然后形成压电薄膜，并进一步执行部分制备的步骤。

5 这样，在这个实施例中使用的衬底 40，有必要满足后面的条件。首先，甚至在 500°C 或更高时，衬底 40 也需要能够保持它的形状，在这个温度下执行膜的形成。第二，衬底 40 需要被轻易地制备成致动器。金属衬底需要作为使用的衬底 40，特别地，包含不锈钢、铝、铜、钛等等作为主要部件的衬底，最好考虑到膜的成型温度、可制备性等等。而且，最好是包括氧化镁 (MgO)、晶化玻

10 璃等等作为主要部件的衬底。

衬底 40 通过蚀刻、焊接或挤压方法，制备成致动器形状。考虑到成本，焊接或挤压方法是有利的，但是蚀刻方法在制备精度上是有利的。采用的制备方法，可以考虑被制备目标所需的成本和制备精度来选择。

下面，后面的描述针对膜的形成。在膜的形成中，可以形成压电薄膜，然后制备成元件的形状，或者使用金属掩模等等而形成压电薄膜，来防止膜形成在除了衬底所需的部分以外。在这样的膜的形成中，差异是膜是通过放置金属掩模而形成的，还是膜在整个制备的衬底上形成。参考图 3A 到 3L，描述使用或不使用金属掩模形成膜。

15

图 3A 到 3F 显示了不使用金属掩模形成膜的方法。制备的衬底放置在衬底支架上，它放置在溅射设备的工作室内。然后，工作室抽成真空状态。在确定衬底温度至少大约为 500°C 后，作为粘合层 9 的钛 (Ti) 膜形成具有大约 50nm 的厚度，并且也作为下电极 2a 的铂 (Pt) 层，形成具有大约 50 到 200nm 的厚度。钛 (Ti) 膜 9 用于增加衬底 40 与铂 (Pt) 层之间的粘合强度。由此，当衬底 40 与 Pt 层之间的粘合强度高时，Pt 层可以直接形成在衬底上，而不形成钛

25 膜。下面，作为内涂层的 PbLiTi 膜 (PLT 膜) 10 形成具有 10 到 50nm 的厚度，这促使钛酸铅基  $\text{PbZrTiO}_3$  的晶粒定位，其中  $\text{PbZrTiO}_3$  作为压电薄膜 1。此后，作为压电薄膜 1 的  $\text{PbZrTiO}_3$  膜形成具有 1 到 6  $\mu\text{m}$  的厚度。 $\text{PbZrTiO}_3$  膜的厚度，根据与膜一起完成的致动器所需的扭矩而改变。当压电薄膜具有常数面积时，扭矩与压电薄膜的厚度成正比增加。在形成  $\text{PbZrTiO}_3$  膜后，作为上电极 2b 的

30 Pt 或 Au (金) 膜形成具有 100 到 200nm 的厚度。

图 3G 到 3L 显示了使用金属掩模形成膜的方法。制备的衬底放置在衬底支架上，然后金属掩模 11 使用定位销等等放置，用于精确定位。在衬底通过螺丝等等，固定到衬底支架上后，它放置在喷雾设备的工作室内。然后，工作室抽成真空状态。在确定衬底温度至少大约为 500°C 后，作为粘合层 9 的钛 (Ti) 膜形成具有大约 50nm 的厚度，并且作为下电极 2a 的铂 (Pt) 层，形成具有大约 50 到 200nm 的厚度。钛 (Ti) 膜 9 用于增加衬底 40 与铂 (Pt) 层之间的粘合强度。由此，当衬底 40 与 Pt 层之间的粘合强度高时，Pt 层可以直接形成在衬底上，而不形成钛膜。下面，作为内涂层的 PbLiTi 膜 10 形成具有 10 到 50nm 的厚度，这促使钛酸铅基  $\text{PbZrTiO}_3$  的晶粒定位，其中  $\text{PbZrTiO}_3$  作为压电薄膜 1。此后，作为压电薄膜 1 的  $\text{PbZrTiO}_3$  膜形成具有 1 到 6  $\mu\text{m}$  的厚度。 $\text{PbZrTiO}_3$  膜的厚度，根据与膜一起完成的致动器所需的扭矩而改变。当压电薄膜具有常数面积时，扭矩与压电薄膜的厚度成正比而增加。

在形成  $\text{PbZrTiO}_3$  膜后，作为上电极 2b 的 Pt 或 Au (金) 膜形成具有 100 到 200nm 的厚度。当形成的各自的膜将要具有不同的图样时，用于不同图样所需的金属掩模的数量，制备为金属掩模 11，并被取代。当形成的所有膜可以具有相同的图样时，金属掩模 11 不需要被取代。

下面，参考图 4A 到 4I，后面的描述针对衬底的制备，使压电元件 3 (包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b) 使用光刻技术等等制备，并且形状保持片被合成树脂取代。

图 4A 到 4F 显示了不使用金属掩模的制备方法。开始，合成树脂 12 施加到上电极 2b 表面。在这种情况下，当合成树脂在抗蚀剂或感光聚酰亚胺的情况下，可以形成图样时，提供通孔或不覆盖有合成树脂 12 的部分，使上电极 2b 导出。接线通过电镀等等形成。当使用不能形成图样的合成树脂时，在衬底上执行接线图样，来制备导出电极的部分，然后施加合成树脂 12，或者通过激光制备等等部分去除合成树脂 12。合成树脂 12 使用离心、辊压或浸泡方法施加。在这种情况下，制备的衬底 40 背面 (压电薄膜 1 形成的相反表面)，粘接到平板玻璃基底等等上，而其间不提供有间隙。由于这个固定，在上电极 2b 形成的压电元件 3 的表面，和压电薄膜 1 的剖面，覆盖有这样施加的合成树脂，但是合成树脂几乎不施加到制备的衬底 40 的背面。

如图所示，施加合成树脂 12，来无误地覆盖压电薄膜 1 的剖面。这对防止

压电薄膜 1 在后面的步骤中被蚀刻是必要的, 在后面的步骤中蚀刻压电元件 3 和衬底部分。这样施加的合成树脂 12 使用高温炉, 在增加的温度上固化, 来进一步增加强度。这样的固化不仅增加蚀刻抵抗效果, 而且增加电抗蚀效果, 这样, 合成树脂也可以用作接线的绝缘层。合成树脂最好包括前述正感光树脂, 5 正感光树脂包括聚酰亚胺树脂, 例如 Somitomo Bakelite 有限公司生产的“CRC-8000”系列。

在需要被覆盖的部分被合成树脂 12 覆盖后, 上电极 2b 被蚀刻。对于上电极 2b, 通常使用金 (Au) 或铂 (Pt), 并且蚀刻方法包括干蚀刻、湿蚀刻等等。当采用干蚀刻时, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。另一方面, 当采用湿蚀刻时, 例如, 10 包括碘化钾 (KI)、碘 ( $I_2$ ) 和水 ( $H_2O$ ) 的液体混合物, 用于金 (Au) 的蚀刻中。

下面, 蚀刻压电薄膜 1 和内涂层 10 的 PLT 膜。当膜薄时, 采用干蚀刻, 而当膜厚时, 采用湿蚀刻。在干蚀刻中, 如在蚀刻金 (Au) 或铂 (Pt) 的情况下, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。在湿蚀刻中, 氟化氨溶液和氢氟酸及氟化氢硝酸盐用于蚀刻中。 15

此后, 下电极 2a 被蚀刻。对于下电极 2a, 通常使用铂 (Pt)。当采用干蚀刻时, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。另一方面, 当采用湿蚀刻时, 氰化钾、过硫酸铵和水的液体混合物用作蚀刻剂。

在蚀刻后, 用作蚀刻掩模的合成树脂 12 可以被去除, 或者可以保留而用作 20 形状保持片。当合成树脂 12 被去除时, 使用与上面相同的方法, 新施加合成树脂 12。

下面, 描述针对蚀刻衬底 40 的步骤。当衬底 40 由金属制成时, 如不锈钢、铝、铜等等, 使用氯化铁溶液、硝酸铜溶液等等, 部分或整体蚀刻。蚀刻方法包括各种方法, 如喷雾方法、浸泡方法等等。当采用喷雾方法时, 可以通过调整被喷雾的蚀刻剂液滴尺寸、喷雾压力、蚀刻剂温度等等, 来控制蚀刻速度和一致性。在这种情况下, 当不覆盖有合成树脂 12 时, 压电薄膜 1 将与衬底 40 一起被蚀刻。然而, 在前面的步骤中, 压电薄膜 1 覆盖有合成树脂 12, 由此不产生这样的问题。换句话说, 在压电元件 1 上覆盖有合成树脂 12 是重要的。合成树脂 12 特别对酸性蚀刻剂具有抗蚀性, 由此适于这样的制备。当衬底 40 25 作为整体被蚀刻时, 在衬底 40 被蚀刻后, 作为下电极 2a 抵抗酸性蚀刻剂的 Pt 30

层，用作对蚀刻剂的终止层。在衬底 40 被这样蚀刻后，作为蚀刻图样的合成树脂 12，用作形状保持片。通常地，当压电薄膜 1 转移到除了衬底 40 以外的形状保持片上时，通常使用导电粘合剂等等，粘合压电元件 3 与形状保持片上。然而考虑到精度，当元件很小时是不需要的。由此，使用这样的方法允许精  
5 制备，并允许压电薄膜不使用任何粘合剂等等，而转移到除了衬底以外的形状保持片上。

图 4G 到 4I 显示了使用金属掩模的制备方法。在形成压电元件 3 的过程中，只在需要形成的衬底部分上，金属掩模用于允许压电元件 3 形成。由此，在不使用金属掩模的制备方法中描述的蚀刻压电元件 3 的步骤被省略，这个制备方  
10 法在图 4A 到 4F 中显示。这样，在膜形成后，施加合成树脂 12 来覆盖压电元件 3，使压电元件 3 不接触蚀刻剂，其中蚀刻剂用于蚀刻衬底。衬底 40 如上面一样被蚀刻。

图 5A 到 5I 显示了生产方法，其中，膜直接形成在制备成致动器形状的衬底 40 上，并且通过蚀刻、抛光、磨光或 CMP（化学机械磨光，即化学机械复  
15 合磨光）方法，整个衬底制备得更薄。

形成压电元件 3、施加并固化合成树脂 12，和形成接线的方法与图 4A 到 4I 显示的情况相同，由此它们的描述不再重复。显著的差异是用于使衬底制备得更薄的步骤中采用的方法。这个方法如后面具体描述。当采用蚀刻这个方法，并且衬底 40 是金属时，如不锈钢、铝、铜、钛等等，使用氯化铁溶液、硝酸  
20 铜溶液等等执行蚀刻。在蚀刻过程中，当不覆盖有合成树脂 12 时，压电薄膜 1 将与衬底 40 一起被蚀刻。然而，在前面的步骤中压电薄膜 1 覆盖有合成树脂 12，由此不产生这样的问题。换句话说，在压电元件 1 上覆盖有合成树脂 12 是重要的。合成树脂 12 特别对酸性蚀刻剂具有抗蚀性，由此适于这样的制备。衬底 40 被蚀刻的程度，根据获得致动器所需的机械强度和位移量级来确定。程  
25 度可以通过调整采用的蚀刻剂浓度、蚀刻时间、蚀刻剂的温度和蚀刻方法来控制，尽管这些条件根据使用的蚀刻剂而不同。通常地，蚀刻方法包括喷雾方法和浸泡方法。特别地，在喷雾方法中，可以通过调整被喷雾的蚀刻剂液滴尺寸、喷雾压力、蚀刻剂温度等等，来控制蚀刻速度和一致性。

在抛光方法和磨光方法中，固定的衬底 40 被附着到夹具上，然后放置在抛  
30 光盘上。当金刚石膏等等喷到衬底 40 上时，抛光盘以恒定速度旋转，这样衬

底 40 被抛光。

CMP 方法与抛光或磨光方法相似。然而，在 CMP 方法中，当喷雾酸性溶液而不是金刚石膏等等时，以化学方式执行蚀刻。衬底使用这样的方法被制备得更薄。

5 图 6A 到 6G 显示了生产方法，其中，膜直接形成在加工成致动器形状的衬底上，并且衬底部分被完全去除。图 6A 到 6D 显示了不使用掩模形成压电元件 3，并且使用光刻技术使元件 3 成型的步骤，其中压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。当不使用掩模时，用于制备压电元件的步骤与图 4A 到 4C 或图 5A 到 5C 显示的步骤相同，由此不在图中显示。

10 另一方面，图 6E 到 6G 显示了使用金属掩模制备压电元件 3 的步骤，压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。形成压电元件 3、施加并固化合成树脂 12 和形成接线的方法，与图 3A 到 3L 中显示的情况相同。由此，它们的描述不再重复。显著的差异是将合成树脂 12 也施加到制备的衬底 40 背面（压电薄膜 1 形成的相反表面），和部分去除合成树脂 12 形成图样的步骤。

15 在图 6A 到 6D 中，压电薄膜 1 形成在衬底 40 上，然后，其上施加合成树脂 12 并固化。此后，合成树脂 12 施加到制备的衬底 40 背面（压电薄膜 1 形成的相反表面）。它被固定到玻璃等等的光滑基底上，使制备的衬底 40 背面向上。在这种状态下，通过离心、辊压或浸泡方法施加合成树脂。在这种情况下，当合成树脂是感光性的、紫外固化类型的等等时，使用掩模等等暴露在光下而形成图样。当合成树脂不是感光性的、紫外固化类型的等等时，在施加后使用激光等等形成图样。图样特别适于去除压电元件 3 下的衬底 40。换句话说，只有压电元件 3 下的衬底防止覆盖有合成树脂 12。在形成这个图样后，这样施加的合成树脂 12 使用高温炉，在增加的温度下固化，用于进一步增强抗酸性和机械强度。此后，衬底 40 通过蚀刻去除。为了通过蚀刻去除衬底 40，这样得到的衬底被固定到玻璃基底等等上，使形成图样的背面向上。然后，通过喷雾方法、浸泡方法等等，不覆盖有合成树脂 12 的基底 40 部分被去除。当衬底 40 是金属时，如不锈钢、铝、铜、钛等等，使用氯化铁溶液、硝酸铜溶液等等执行蚀刻。

25 当衬底 40 的部分被完全蚀刻时，作为下电极 2a 的铂 (Pt) 层用作终止层，这样完成蚀刻。在这个过程中，衬底 40 的部分被去除，并且被作为形状保持



片的合成树脂 12 取代。在这种情况下，可以不使用粘合剂等等而转移压电元件 3。

图 6E 到 6G 显示了使用金属掩模的制备方法。在形成压电元件 3 的过程中，使用金属掩模，来允许压电元件 3 只直接形成在需要形成的衬底部分上。由此，  
5 蚀刻压电元件 3 的步骤被省略，这在图 6A 到 6D 显示的不使用金属掩模的制备方法中描述。这样，在形成膜后，施加合成树脂 12，来覆盖压电元件 3，使压电元件 3 不接触蚀刻剂，其中蚀刻剂用于蚀刻衬底。衬底 40 如上面一样被蚀刻。

图 7A 到 7G 显示了生产方法，其中膜直接形成在制备成致动器形状的衬底  
10 上，并且衬底被制备得更薄。图 7A 到 7D 显示了不使用金属掩模形成压电元件 3，并且使用光刻技术等等使元件成型的步骤，其中压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。另一方面，图 7E 到 7G 显示了使用金属掩模制备压电元件 3 的步骤，其中压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。形成压电元件 3、施加并固化合成树脂 12 和形成接线的步骤，与  
15 图 3A 到 3L 中显示的情况相同。由此，它们的描述不再重复。显著的差异是当控制蚀刻速度和一致性时蚀刻衬底 40。衬底 40 被蚀刻的程度，根据获得的致动器所需的机械强度和位移量级来确定。程度可以通过调整采用的蚀刻剂浓度、蚀刻时间、蚀刻剂的温度和蚀刻方法来控制，尽管这些条件根据使用蚀刻剂而不同。通常地，蚀刻方法包括喷雾方法和浸泡方法。特别地，在喷雾方法  
20 中，可以通过调整被喷雾的蚀刻剂液滴尺寸、喷雾压力、蚀刻剂温度等等，来控制蚀刻速度和一致性。

上述条件的控制允许生产具有这样的致动器，其衬底的全部或部分被制备得更薄。

图 8A 到 8J 显示了生产致动器的方法，其中使用了不制备成致动器形状的  
25 衬底 40，并且整个衬底被去除。

图 8A 到 8F 显示了不使用金属掩模形成压电元件 3，并且使用光刻技术等等使元件成型的步骤，其中压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。另一方面，图 8G 到 8J 显示了使用金属掩模制备压电元件 3 的步骤，其中压电元件 3 至少包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。使用的衬底 40  
30 需要满足后面的条件。首先，甚至在大约 500 或更高的温度下，衬底也应该能

够保持其形状，在这个温度下执行膜的形成。第二，应该可以通过蚀刻等等，轻易地去除衬底。通常地，需要金属衬底作为使用的衬底。特别地，考虑到膜的形成温度、可制备性等等，需要作为主要部件的衬底，包括不锈钢、铝、铜、钛等等。而且，也需要作为主要部件的衬底包括氧化镁 (MgO)。

- 5 相对于膜的形成，可以采用这样的方法，其中压电薄膜形成，然后制备成元件形状；也可以采用这样的方法，其中使用金属掩模等等，压电薄膜只形成在需要形成的衬底部分上。当需要膜形成的精度时，使用光刻技术的制备好于使用金属掩模的方法。

10 在金属掩模方法中，用于形成各自膜的图样被预先确定，然后，在膜形成的过程中，金属掩模简单地根据图样而改变。由于与图 3A 到 3L 显示的情况相同，不使用金属掩模与使用金属掩模步骤的描述不再重复。

参考图 8A 到 8J，后面的描述针对衬底的制备，使压电元件 3（包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b）使用光刻技术等等制备，并且形状保持片被合成树脂取代。

- 15 图 8A 到 8F 显示了不使用金属掩模的制备方法。开始，合成树脂 12 施加到上电极 2b 表面，在这种情况下，当在抗蚀剂或感光聚酰亚胺的情况下，合成树脂 12 可以形成图样时，提供通孔或不覆盖有合成树脂 12 的部分，使上电极 2b 从中导出。接线通过电镀等等形成。当使用不能形成图样的合成树脂时，在衬底上形成接线图样，来制备电极从中导出的部分，然后施加合成树脂 12，
- 20 或者通过激光制备等等部分去除合成树脂 12。合成树脂 12 通过离心方法、辊压方法、浸泡方法、喷雾方法、喷墨方法等等而施加，其中衬底 40 背面（压电薄膜 1 形成的相反表面）粘合到平板玻璃基底等等上，使其间不提供有间隙。由于这个过程，这样施加的合成树脂覆盖上电极 2b 的表面，和压电元件 3 中压电薄膜 1 的剖面，但是合成树脂几乎不施加到衬底 40 的背面。

- 25 如图所示施加合成树脂 12，来无误地覆盖压电薄膜 1 的剖面部分。这对防止压电薄膜 1 在后面蚀刻压电元件 3，和衬底部分的步骤中被蚀刻是必要的。这样施加的合成树脂 12 使用高温炉，在增加的温度下固化，来进一步增加强度。这个固化不仅增加蚀刻抵抗效果，而且增加电抗蚀效果，这样合成树脂也可以用作接线的绝缘层。

- 30 在覆盖的部分覆盖有合成树脂 12 后，上电极 2b 被蚀刻。对于上电极 2b，

通常使用金 (Au)、铂 (Pt) 等等, 并且蚀刻方法包括干蚀刻、湿蚀刻等等。当采用干蚀刻时, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。另一方面, 当采用湿蚀刻时, 碘化钾 (KI)、碘 ( $I_2$ ) 和水 ( $H_2O$ ) 的液体混合物, 用于蚀刻金 (Au)。

在上电极 2b 被蚀刻后, 抗蚀剂被去除。然后, 用于制备压电薄膜 1 的抗蚀剂被新加入, 然后形成图样。在这种情况下, 当用于上电极 2b 的抗蚀剂, 具有与用于蚀刻压电薄膜的抗蚀剂相同的图样, 并且具有优异的湿蚀刻抵抗性时, 用于制备上电极 2b 的抗蚀剂, 也可以用作制备压电薄膜 1 使用的抗蚀剂。

下面, 蚀刻压电薄膜 1 和作为下电极 2a 的 PLT 膜。当膜薄时, 采用干蚀刻, 而当膜厚时, 采用湿蚀刻。在干蚀刻中, 在蚀刻金 (Au) 或铂 (Pt) 的情况下, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。在湿蚀刻中, 氟化铵溶液和氢氟酸用于蚀刻中。蚀刻通过这样的方法执行, 包括将烧杯中缓冲的氢氟酸加热到大约  $60^{\circ}C$ , 并将膜与衬底 40 一起浸泡其中。缓冲的氢氟酸被连续搅拌, 而具有相同的浓度。在膜被蚀刻后, 这样得到的结构用纯水清洗, 然后干燥。此后, 抗蚀剂被去除, 并新施加其它抗蚀剂, 暴露在光下, 并生长而具有用于蚀刻下电极 2a 的图样。在这种情况下, 需要形成用于下电极 2a 的图样, 具有比压电薄膜 1 大一倍的形状。这允许压电薄膜 1 被下电极 2a、合成树脂 12 的抗蚀剂等等覆盖。这样, 当衬底 40 被去除时, 不用担心压电薄膜 1 暴露在使用的蚀刻剂中。

此后, 下电极 2a 被蚀刻。对于下电极 2a, 通常使用铂 (Pt)。当采用干蚀刻时, 氩气 (Ar) 用于蚀刻中。另一方面, 当采用湿蚀刻时, 使用氰化钾、过硫酸铵和水的液体混合物, 作为蚀刻剂。

在蚀刻后, 用作蚀刻掩模的合成树脂 12 可以被去除, 或者可以保留而用作形状保持片。当合成树脂 12 被去除时, 新施加合成树脂 12。根据生产的致动器的特点, 用于蚀刻下电极 2a 的抗蚀剂可以不被去除, 并且可以允许保留, 而用作形状保持片或致动器图样, 或者其它树脂薄片 12 可以进一步施加到这个抗蚀剂上, 而形成形状保持片或致动器图样。在这个步骤中, 当在抗蚀剂或感光聚酰亚胺的情况下, 合成树脂 12 可以形成图样时, 提供通孔或不覆盖有合成树脂 12 的部分, 使上电极 2b 从中导出。接线通过电镀等等形成。当不能形成图样的合成树脂用作合成树脂 12 时, 接线图样形成在衬底上, 来制备电极从中导出的部分, 然后施加合成树脂 12, 或者合成树脂 12 通过激光制备等等被部分地去除。

在完成用合成树脂 12 形成形状保持片或致动器图样后，合成树脂 12 使用高温炉，在增加的温度下固化，来进一步增加强度。这个固化不仅增加蚀刻抵抗效果，而且增加电抗蚀性，这样合成树脂也可以用作接线的绝缘层。

后面的描述针对在固化后去除整个衬底 40 的步骤。在固化合成树脂 12 后，  
5 这样得到的结构固定到平板上，如玻璃平板，使其合成树脂 12 侧与之接触。然后，不覆盖有合成树脂 12 的衬底 40 部分，通过喷雾方法、浸泡方法等等去除。当衬底 40 由金属制成时，如不锈钢、铝、铜、钛等等，使用氯化铁溶液、硝酸铜溶液等等。

当衬底 40 被完全蚀刻时，作为下电极 2a 的铂 (Pt) 层用作终止层，这样  
10 完成蚀刻。在这个过程中，衬底 40 被去除，并且被作为形状保持片的合成树脂 12 取代。在这种情况下，压电元件 3 可以不使用粘合剂等等而转移。更进一步，由于除了形状保持片以外的部分也预先形成图样，那么能够不受限制地形成致动器形状和接线。

下电极 2a 从中导出的部分，在去除衬底后，可以通过电镀从绝缘层形成，  
15 这在图中未画出。可选地，在制备压电薄膜的过程中，下电极从中导出的通孔，可以提供在作为绝缘层的合成树脂中，这样下电极可以从通孔导出到图中的上侧。

图 8G 到 8J 显示了使用金属掩模的制备方法。使用金属掩模，压电元件 3  
的膜只形成在压电元件 3 需要形成的衬底部分上。由此，在图 8G 到 8J 中，不  
20 使用金属掩模的制备方法中描述的蚀刻压电元件 3 的步骤被省略。这样，在形成膜后，施加合成树脂 12 来覆盖压电元件 3，使压电元件 3 不接触蚀刻剂，其中蚀刻剂用于蚀刻衬底。衬底 40 如上面一样被蚀刻。在去除衬底后，下电极 2a 从中导出的部分，可以通过电镀等等从绝缘层形成，其中下电极 2a 从中导出的部分在图中未画出。可选地，在制备压电薄膜的过程中，下电极从中导出的  
25 通孔可以提供在作为绝缘层的合成树脂中，并且下电极可以从通孔导出到图中的上侧。

图 9A 到 9E 显示了使用不制备成致动器形状的衬底 40，来生产致动器的方法。其中衬底 40 制备成致动器的部分，并且衬底 40 的部分被去除。

图 9A 到 9E 显示了不使用金属掩模形成压电元件 3 的膜，然后使用光刻技  
30 术等等使元件成型的步骤，其中压电元件 3 包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电

极 2b。由于已经参考图 8A 到 8F 具体描述，相对于使用金属掩模制备元件步骤的描述不再重复。

形成压电元件 3 的膜、施加并固化合成树脂 12 和形成接线的方法，与图 8A 到 8J 显示的情况相同，由此它们的描述不再重复。显著的区别是，合成树脂 12 也施加到衬底 40 的背面（压电薄膜形成的相反表面），并且通过部分去除合成树脂 12 形成图样的步骤。在图 9A 到 9E 中，压电薄膜形成在衬底 40 上，然后合成树脂 12 施加其上，并固化。此后，合成树脂 12 被施加到衬底 40 的背面（压电薄膜形成的相反表面）。它固定在玻璃的光滑衬底等等上，使衬底 40 背面向上。在这种情况下，合成树脂 12 通过离心、辊压或浸泡方法施加。在这种情况下，当是感光性的、紫外固化类型的等等时，合成树脂 12 使用掩模等等暴露在光下，而形成图样。当不是感光性的、此外固化类型的等等时，施加合成树脂 12，然后使用激光等等形成图样。图样特别适于去除压电元件 3 下的衬底 40。换句话说，只有压电元件 3 下的衬底防止覆盖有合成树脂 12。在形成这个图样后，这样施加的合成树脂 12 使用高温炉，在增加的温度下固化，用于进一步增强它的抗酸性和机械强度。此后，衬底 40 通过蚀刻去除。为了通过蚀刻去除衬底 40，这样得到的衬底被固定到玻璃基底等等上，使它形成图样的背面向上。然后，通过喷雾方法、浸泡方法等等，不覆盖有合成树脂 12 的衬底 40 部分被去除。当衬底 40 是金属时，如不锈钢、铝、铜、钛等等，使用氯化铁溶液、硝酸铜溶液等等。

当衬底 40 的部分被完全蚀刻时，作为下电极 2a 的铂 (Pt) 层用作终止层，这样蚀刻完成。在这个过程中，衬底 40 的部分被去除，并且被用作形状保持片的合成树脂 12 取代。在这种情况下，压电元件 3 可以不使用粘合剂等等而被转移。

当衬底导电时，下电极 2a 从衬底导出，这在图中未画出。当衬底不导电时，或者尽管衬底导电，但当从衬底导出产生一些问题时，允许下电极 2a 导出的部分在去除衬底后，通过电镀等等从绝缘层形成，或者在制备薄膜过程中，用于导出下电极 2a 的通孔，可以提供在作为绝缘层的合成树脂中，并且下电极可以从通孔导出到图中的上侧。

后面的描述针对使用金属掩模的制备方法。当形成压电元件的膜时，压电元件 3 使用金属掩模，只形成在需要形成的衬底部分上。由此，在图 8A 到 8F

中，不使用金属掩模的制备方法中描述的蚀刻压电元件 3 的步骤被省略。在形成膜后，施加合成树脂 12 来覆盖压电元件 3，使压电元件 3 不接触蚀刻剂，其中蚀刻剂用于蚀刻衬底。如不使用金属掩模的情况一样，执行衬底 40 的蚀刻。

图 10A 到 10D 显示了使用不被制备成致动器形状的衬底，生产致动器的方法，其中衬底制备成致动器的部分，并且整个衬底通过蚀刻、抛光、磨光或 CMP 方法制备得更薄。

图 10A 到 10D 显示了不使用金属掩模形成压电元件 3，然后使用光刻技术等等使元件成型的步骤，其中压电元件 3 包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。由于已经参考图 8G 到 8J 具体描述，相对于使用金属掩模制备元件步骤的描述不再重复。

形成压电元件 3 的膜、施加并固化合成树脂 12 和形成接线的方法，与图 8A 到 8J 显示的情况相同，由此它们的描述不再重复。显著的区别是将衬底制备得更薄的方法。方法如后面具体描述。当采用蚀刻方法，并且衬底 40 是金属时，如不锈钢、铝、铜、钛等等，使用氯化铁溶液、硝酸铜溶液等等执行蚀刻。在蚀刻过程中，当不覆盖有合成树脂 12 时，压电薄膜将与衬底 40 一起蚀刻。然而在前面的步骤中，压电薄膜 1 已经被覆盖有合成树脂 12，由此不产生这样的问题。换句话说，压电薄膜 1 上覆盖有合成树脂 12 是重要的。合成树脂 12 特别对酸性蚀刻剂具有抵抗性，由此适于这样的制备。衬底 40 被蚀刻的程度，根据获得的致动器所需的机械强度和位移量级确定。通过调整采用的蚀刻剂浓度、蚀刻时间、蚀刻剂的温度和蚀刻方法，可以控制程度，尽管这些条件根据使用蚀刻剂而不同。通常地，蚀刻方法包括喷雾方法和浸泡方法。特别地，在喷雾方法中，通过调整喷雾的蚀刻剂液滴尺寸、喷雾压力、蚀刻剂温度等等，可以控制蚀刻速度和一致性。

在抛光方法和磨光方法中，固定的衬底 40 被附着到夹具上，然后放置在抛光盘上。当金刚石膏等等喷到衬底 40 上时，抛光盘以恒定速度旋转，这样衬底 40 被抛光。

CMP 方法与抛光或磨光方法相似。然而，在 CMP 方法中，当酸性溶液而不是金刚石膏等等喷到衬底 40 上时，以化学方式执行蚀刻。衬底使用这样的方法被制备得更薄。

在这样的过程中，衬底被去除，并被作为形状保持片的合成树脂取代。在

这种情况下，压电元件可以不使用粘合剂等等而转移。更进一步，当除了形状保持片以外的部分也预先形成图样时，能够不受限制地形成致动器形状和接线。

当衬底导电时，下电极 2a 从衬底导出，这没有在图中显示。当衬底不导电，或者即使衬底导电，但当从衬底导出产生一些问题时，在制备压电薄膜的过程中，用于导出下电极 2a 通孔可以预形成在作为绝缘层的合成树脂中，并且下电极可以从通孔导出到图中的上侧。

图 11A 到 11E 显示了使用不制备成致动器形状的衬底，生产致动器的方法，其中衬底制备成致动器的部分，并且衬底的部分被制备得更薄。

图 11A 到 11E 显示了不使用金属掩模形成压电元件 3，然后使用光刻技术等等使元件成型的步骤，其中压电元件 3 包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b。由于已经参考图 8G 到 8J 具体描述，相对于使用金属掩模制备元件步骤的描述不再重复。

形成压电元件 3 的膜、施加并固化合成树脂 12 和形成接线的方法，与图 8A 到 8J 显示的情况相同，由此它们的描述不再重复。显著的区别是当控制蚀刻速度和一致性时，蚀刻衬底 40。衬底 40 被蚀刻的程度，根据获得的致动器所需的机械强度和位移量级来确定。可以通过调整采用的蚀刻剂浓度、蚀刻时间、蚀刻剂的温度和蚀刻方法，来控制程度，尽管这些条件根据使用蚀刻剂而不同。通常地，蚀刻方法包括喷雾方法和浸泡方法。特别地，在喷雾方法中，可以通过调整喷雾的蚀刻剂液滴尺寸、喷雾压力、蚀刻剂温度等等，来控制蚀刻速度和一致性。

通过控制上述条件，可以生产致动器，使衬底制备成具有更薄的部分。当衬底导电时，下电极 2a 从衬底导出，这没有在图中显示。当衬底不导电，或者尽管衬底导电，但当从衬底导出会产生一些问题时，在制备压电薄膜的过程中，用于导出下电极 2a 的通孔，可以预形成在作为绝缘层的合成树脂中，并且下电极可以从通孔导出到图中的上侧。

### 实施例 3

图 12 显示了根据本发明的二级致动器的基本结构。

磁头支持结构包括：滑块 14；悬架 15，用于支持滑块 14；基底盘 16，用于固定悬架 15，承重梁（图中未画出），用于将负载加在滑块 14 上；和信号系

统（图中未画出），部分地或作为整体形成。安装有磁头元件 13 的滑块 14，在旋转的或运行的记录介质上飞行或滑动。信号系统电连接磁头元件 13 与信息记录/重现设备的记录/重现电路。信号系统的接线和悬架通过印刷电路方式，直接或间接地提供有接线。

- 5 当与悬架 15 结合在一起时，精细驱动的致动器，放置在滑块 14 与基底盘 16 之间，其中滑块 14 包括磁头元件 13。

如图 13A 所示，致动器由大约 10 到 30  $\mu\text{m}$  厚的不锈钢形成，作为各自精细驱动元件 18 的基底材料与压电薄膜。精细驱动元件 18 弯曲，而与磁盘表面 19 垂直。

- 10 更进一步，如图 13B 所示，各自的精细驱动元件 18 定位，来确定相对于垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面的至少  $15^\circ$  角。

相位反向相差 90 度的驱动电压，加到各自的精细驱动元件 18 上，使它们重复地伸长或缩短。通过伸长和缩短，悬架 15 和滑块 14 及固定到悬架 15 上的磁头元件 13，如图 14A 所示旋转。更进一步，当驱动电压在相位上相反时，

15 悬架 15 和滑块 14 及固定到悬架 15 上的磁头元件 13，如图 14B 所示在相反方向上旋转。

各自的精细驱动元件 18 定位，来确定相对于平面 21 的至少大约  $15^\circ$  角，其中平面 21 垂直于磁盘表面。由于当角度小时（大约  $0^\circ$  到小于  $15^\circ$ ），滑块 14 趋于受到影响，这将要通过旋转磁盘减小滑块 14 上的影响（空气粘性摩擦

20 力）。上述结构允许相对于轨迹的高度精确定位。

上面，不锈钢用作致动器的基底材料。然而，只要具有弹簧性能和抗热性能，任何材料可以用作基底材料，并且甚至在很薄时也可以确保相当水平的刚性。

图 15A 和 15B、图 16A 和 16B 与图 17A 和 17B，显示了根据本发明的二

25 级致动器的结构，其中合成树脂 12 施加到精细驱动元件 18 上。

当精细驱动元件 18 具有高刚性时，由于驱部元件导致的旋转，滑块 14 和固定到悬架 15 上的磁头元件 13 的移动距离（位移），大约是为精细驱动元件 18 独自移动（悬臂梁形）时得到位移的四分之一。

这由于每对精细驱动元件 18 两端的固定和限制，导致的损失而产生。由此，

30 当合成树脂 12 用于精细驱动元件 18 时，各自的驱动元件 18 产生的力，可以



有效地传输到悬架 15 和滑块 14 及固定到悬架 15 上的磁头元件 13 上，这样可以得到大量的位移。

作为使用合成树脂 12 的方法，所有的致动器部分、形状保持片等等，如图 15A 和 15B 所示，可以使用柔性和弹性材料而取代，如合成树脂 12，使精细驱动元件 18 的位移尽可能大地增加，或者如图 16A 和 16B 所示，只有精细驱动元件 18 可以被这样的材料取代。可选地，如图 17A 和 17B 所示，所有的致动器部分、形状保持片等等，可以由蚀刻等等制备得更薄，或者只有精细驱动元件 18 可以由蚀刻等等制备得更薄。

使用这样的方法减小刚性，这样可以增加精细驱动元件 18 的位移。而且，一对精细驱动元件 18 彼此限制时的状态，可以通过精细驱动元件 18 的柔性结构释放，这导致位移的增加，其中上述状态减小效率。

如图 18 所示，限制释放部件 20 可以使用合成树脂 12，在各自精细驱动元件 18 的两端形成。

生产方法参考图 3A 到 11E 具体描述，由此，其描述不再重复。

如图 15A 和 15B 所示，由于使用柔性和弹性材料，如合成树脂 12，来取代所有的致动器部分、形状保持片等等，除了驱动部分以外的部分刚性减小，这样当机械特点中的一些问题产生时，这样的问题通过例如，增加支持点 17 来解决，如图 19 所示，其中支持点 17 由合成树脂 12 形成。

#### 实施例 4

图 20 显示了根据本发明的二级致动器的另一个基本结构。压电元件 3 的每个包括下电极 2a、压电薄膜 1 和上电极 2b，压电元件 3 转移到合成树脂 12 上，使整个衬底（图中未画出）被去除。合成树脂 12 形成致动器形状，并且压电元件 3 放置在梁结构上。

生产致动器的方法参考图 3A 到 11E 具体描述，由此，其描述不再重复。

图 21A、21B、21C 和 21D 显示了致动器的移动。图 21A 显示了当电压加在图中右侧的压电元件 3 上时的移动。当图中的上部被固定，并且电压加在图中右侧的梁部分上时，压电元件 3 弯曲，并且在它与固定端相反一侧的自由端移动到右边。另一方面，如图 21B 和 21D 所示，当电压加在图中左侧的梁部分上时，定位在图中左侧的压电元件 3 弯曲，并且在它与固定端相反一侧的自由端移动到左边。

### 实施例 5

图 22A1、22A2、22B1、22B2、22C1、22C2、22D1 和 22D2，显示了根据本发明的压电致动器的接线结构。

图 22A1 是透视图，显示了接线形成，并与衬底一起弯曲，而形成三维结构的状态。图 22A2 是剖视图，显示了接线形成，并通过挤压制备成弯曲的状态。

导电的不锈钢材料等等用于衬底 40，并且下电极 2a 从衬底 40 导出。另一方面，为了导出上电极 2b，制备衬底 40 上的压电元件，合成树脂 4 形成图样，作为上电极 2b 上的绝缘层，并且通孔 7 形成在作为绝缘层的合成树脂 4 中，来允许上电极 2b 从中导出。在合成树脂 4 在氮气气氛中热制备而固化后，铜接线通过电镀形成。形成铜接线后，施加合成树脂 4 来形成覆盖层，形成图样，并且在氮气气氛中热制备而固化。此后，这样得到的结构与衬底一起使用挤压而被弯曲。结果，形成三维结构。

这样使用合成树脂 4 形成接线，允许电极导出，而不损失弯曲接线部分的导电性。

图 22B1 是透视图，显示了接线形成，并与衬底一起弯曲，而形成三维结构的状态，其中相应于接线弯曲部分的衬底部分被去除，使导电性损失不由于接线的断裂等等而产生。

图 22B2 是剖视图，显示了接线形成，并通过挤压制备成弯曲的状态。

形成接线的方法与图 22A1 和 22A2 显示的情况相同，由此其描述不再重复。在形成接线结构后，相应于弯曲部分的衬底部分，通过湿蚀刻等等被蚀刻而去除。例如，当衬底是金属时，如不锈钢，可以使用氯化铁溶液。具有这样的结构，当接线与表面一起弯曲，而形成三维结构时，导电性损失不由于接线发生断裂等等而产生。以这种方式，当接线使用合成树脂 4 形成，并且相应于弯曲部分的衬底部分被去除时，由于在通过挤压的弯曲制备中，加到接线弯曲部分上的力被分散，所以能够导出电极，而不产生接线弯曲部分的导电性损失。

图 22C1 是透视图，显示了接线形成，并与衬底一起弯曲，而形成三维结构时的状态，其中弯曲方向与图 22A1 显示的情况相反。图 22C2 是剖视图，显示了接线形成，并通过挤压制备成弯曲的状态。形成接线和通过挤压形成三维弯曲结构的方法，与图 22A1 显示的情况相同，由此其描述不再重复。在这

种情况下，由于接线结构定位在衬底 40 外，接线本身通过衬底 40 拉出，由此促使导电性损失的可能性很大。由此，与接线形成在衬底 40 内的情况相比，通过电镀形成的铜接线被做得更厚。而且，当用作绝缘层的合成树脂 4 也形成得有些厚时，能够在三维结构上形成接线。

- 5 图 22D1 是透视图，显示了接线形成，并与衬底一起弯曲，而形成三维结构的状态，其中相应于接线弯曲部分的衬底部分被去除，使导电性损失不由于接线的断裂等等而产生。

图 22D2 是剖视图，显示了接线形成，并通过挤压制备成弯曲的状态。

- 10 为了进一步提高图 22C1 显示的三维接线结构的可靠性，相应于接线弯曲部分的衬底 40 部分被去除。以这种方式，当接线使用合成树脂 4 形成，并且相应于弯曲部分的衬底部分被去除时，由于在通过挤压的弯曲制备中，加到接线弯曲部分上的力被分散，所以能够导出电极，而不促使接线弯曲部分的导电性损失。

本发明的致动器，可以施加到例如后面的用途（设备）中。

- 15 与光学相关的那些设备

(1) 那些具有用于反射光的设备，包括例如打印机、投影显示器、条形码读取机、扫描仪等等。

(2) 薄膜驱动的反光镜阵列。

(3) 光学微元件：光开关元件、调焦设备、聚焦调整镜等等。

- 20 (4) 光学调整设备：光学仪器如照相机、摄像机、内窥镜等等。

(5) 各种反射镜。

泵

(6) 喷墨打印机。

(7) 离子发生器：空气清新器、加湿器、吸尘器。

- 25 电动机

(8) 压电直线电动机、光拾取器、超声电动机

压电谐振器

(9) 振荡元件

(10) 甄别器

- 30 (11) 滤波器

## 传感器

- (12) 压力传感器
- (13) 加速度传感器
- (14) 冲击传感器
- 5 (15) AE (发声) 传感器
- (16) 超声传感器
- (17) 角速度传感器
- (18) 重力传感器

## 机械施加

- 10 (19) 微动继电器
- (20) 超薄薄膜键盘
- (21) 流体控制阀
- (22) 用于硬盘驱动器 (HDD) 的致动器

## 例子

- 15 本发明将使用后面的特定例子来进一步具体描述。

### 例 1

- 作为第一个实验，当致动器部分的一对精细驱动元件，与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度改变时，测量提供有磁头元件的滑块的位移。作为致动器的基底材料的不锈钢的厚度，设置为  $20\ \mu\text{m}$ 。驱动电压
- 20 设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。结果显示在图 13C 中。在这种情况下，磁盘以  $1000\text{rpm}$  的转速旋转。

- 当磁盘静止时，位移几乎不依靠角度而决定，但当磁盘旋转时，在角度小于  $15$  度的情况下，由于空气粘性摩擦力，位移减小。考虑到上面的结果，当考虑位移和粘性时，驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之
- 25 间的适当角度，至少为大约  $15$  度。

### 例 2

在致动器部分中，使用了不锈钢衬底，通过蚀刻制备成致动器形状。

- 制备的衬底放置在衬底支架上，支架放置在溅射设备的工作室内。然后，工作是抽成真空状态 ( $2.0 \times 10^{-4}$  帕的真空度)。在确定衬底温度增加到至少大
- 30 约  $500^\circ\text{C}$  时，钛 (Ti) 膜形成具有  $50\text{nm}$  的厚度，作为粘合层 9，并且具有大约

50 到 200nm 厚度的铂 (Pt) 层作为下电极层。钛膜用于增加衬底与铂膜之间的  
的粘合强度。由此, 当它们之间的粘合强度高时, 铂膜可以直接形成在衬底上,  
而不形成钛膜。然后, 作为内涂层的 PbLiTi 膜, 促使压电薄膜的钛酸铅基  
PbZrTiO<sub>3</sub> 的晶粒定位, PbLiTi 膜形成具有 10 到 50nm 的厚度。此后, 作为压  
5 电薄膜的 PbZrTiO<sub>3</sub> 膜形成具有 2.5 μm 的厚度。在确定衬底温度减小到大约 100  
°C 或更低时, 作为上电极的金 (Au) 膜形成具有 100 到 200nm 的厚度。

下面, 具有这样形成的膜的衬底, 从真空工作室中取出, 并且使用光刻技  
术形成压电元件。

开始, 用于制备上电极的抗蚀剂被施加。用于制备的抗蚀剂树脂是 Shipley  
10 公司生产的“S-1800”。具有膜的不锈钢衬底固定到玻璃基底上, 然后抗蚀剂  
施加其上。在这种情况下采用的施加方法是离心方法。此后, 衬底在炉中以 90  
°C 预烘干 15 分钟, 然后取出并暴露在光下。曝光使用光掩模来执行。在曝光  
后, 衬底浸入生长溶液中进行生长。在生长后, 衬底在炉中以 120°C 再烘干 30  
分钟, 这样增加抗蚀剂的蚀刻抵抗性。在上面的过程中, 抗蚀剂形成图样, 然  
15 后上电极通过湿蚀刻制备。包括碘化钾 (KI)、碘 (I<sub>2</sub>) 和水 (H<sub>2</sub>O) 的液体混  
合物, 用作蚀刻剂。在蚀刻后, 衬底被纯水清洗, 然后干燥。抗蚀剂树脂具有  
大约 1.0 μm 的厚度。上电极的制备状态通过光学显微镜检查。当没有发现任  
何问题时, 执行压电薄膜的后续制备。

压电薄膜使用缓冲的氢氟酸制备。缓冲的氢氟酸放入烧杯中, 然后加热到  
20 大约 60°C, 其中浸入具有玻璃基底的衬底, 玻璃基底用于将其固定。连续地搅  
拌缓冲的氢氟酸, 而具有相同的浓度。在蚀刻后, 衬底被纯水清洗, 然后干燥。  
作为下一步, 下电极被制备。用于制备上电极和压电薄膜的抗蚀剂被去除, 并  
且新施加用于制备下电极的抗蚀剂。在使用抗蚀剂后, 使用光掩模暴露在光下。  
与用于形成上电极和压电薄膜的图样, 和下电极接线的图样相比, 光掩模中形  
25 成的图样具有大一倍的形状。在暴露到光下并生长后, 下电极通过干蚀刻制备。  
在干蚀刻后, 抗蚀剂被去除并且衬底被清洗。在清洗后, 新施加抗蚀剂。这里  
使用的抗蚀剂树脂是 Sumitomo Bakelite 有限公司生产的“CRC-8300”, 是包括  
聚酰亚胺树脂的正感光树脂。抗蚀剂使用离心机施加。衬底固定到具有光滑表  
面的基底上, 如玻璃衬底, 如在蚀刻衬底的情况中一样。当离心机允许以 3000rpm  
30 的转速旋转时, 包括聚酰亚胺的抗蚀剂树脂一致地施加到衬底上。在这种情况

下, 衬底背面(其上不形成压电元件)紧密接触固定的衬底, 由此, 包括聚酰亚胺的抗蚀剂树脂不施加到背面。在施加后, 抗蚀剂树脂暴露在光下, 并生长而形成图样。光掩模的图样具有与制备的衬底实质相同的形状, 但是比制备的衬底大一倍。然后, 具有形成图样的抗蚀剂的衬底, 在氮气气氛中烘干, 来固  
5 化抗蚀剂树脂。烘干使用内部被氮气取代的加热炉, 在 150 到 320°C 的温度下加热 30 分钟。聚酰亚胺树脂具有 2.0  $\mu\text{m}$  的厚度。

衬底从炉中取出, 并且制备的衬底被去除。氯化铁溶液喷到被去除的衬底上, 这样, 制备的衬底被去除。

这样, 压电元件不使用粘合剂等等, 从不锈钢衬底上转移到合成树脂的聚  
10 酰亚胺树脂上。

然后, 为了得到弯曲的结构, 形成致动器形状的聚酰亚胺树脂, 配合到挤压的模具中。

此后, 用于接线和精细驱动元件的柔性衬底, 通过焊接导线而电连接。然后, 滑块和基底盘与其连接, 这样形成磁头支持机构。

### 15 例 3

在致动器部分中, 使用了通过蚀刻制备成致动器形状的不锈钢衬底。

下电极、压电薄膜和上电极由金属掩模形成, 金属掩模由放置在衬底上, 厚度大约为 0.1mm 的不锈钢形成。制备的衬底和金属掩模放置在衬底支架上, 然后放置在溅射设备的工作室内。然后, 工作室抽成真空状态。在确定衬底温  
20 度增加到至少大约 500°C 后, 钛 (Ti) 膜形成具有大约 50nm 的厚度, 作为粘合层 9, 并且铂 (Pt) 层形成具有大约 50 到 200nm 的厚度, 作为下电极层。钛膜用于增加衬底与铂层之间的粘合强度。由此, 当它们之间的粘合强度高时, 铂层可以直接形成在衬底上, 而不形成钛膜。然后, 作为内涂层的 PbLiTi 膜, 促使压电薄膜的钛酸铅基  $\text{PbZrTiO}_3$  的晶粒定位, PbLiTi 膜形成具有 10 到 50nm  
25 的厚度。此后, 作为压电薄膜的  $\text{PbZrTiO}_3$  膜形成具有 2.5  $\mu\text{m}$  的厚度。在确定衬底温度减小到大约 100°C 或更低时, 作为上电极的金 (Au) 膜形成具有 100 到 200nm 的厚度。

使用金属掩模形成这个膜的方法, 能够省略使用光刻技术制备压电元件的步骤。在确定衬底温度减小到常温后, 衬底从真空工作室中取出。然后, 在例  
30 2 中使用的包括聚酰亚胺的正感光树脂, 使用离心机施加。衬底固定到具有水

平表面的基底上，如玻璃基底，如在衬底被蚀刻情况下一样。当离心机允许以 3000rpm 的转速旋转时，聚酰亚胺树脂一致地施加到衬底上。在这种情况下，衬底背面（其上不形成压电薄膜）紧密接触固定的衬底，由此聚酰亚胺树脂不施加到背面。在施加后，聚酰亚胺树脂暴露在光下，并生长而形成图样。光掩模的图样具有与制备的衬底实质相同的形状，但比制备的衬底大一倍。然后，具有形成图样的树脂的衬底，在氮气气氛中烘干，来固化聚酰亚胺树脂。使用内部空气被氮气取代的加热炉，在 150 到 320℃ 烘干 30 分钟。

具有形成图样的树脂的衬底从炉中取出，并且去除制备的衬底。氯化铁溶液喷到被去除的衬底上，这样，制备的衬底被去除。聚酰亚胺树脂具有 2.0 μm 的厚度。

这样，压电元件不使用粘合剂等等，从不锈钢衬底上转移到合成树脂的聚酰亚胺树脂上。

然后，为了得到弯曲的结构，形成致动器形状的聚酰亚胺树脂，配合到被挤压的模具中。此后，用于接线和精细驱动元件的柔性结构，通过焊接导线而电连接。

然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。

在这个例子中，不锈钢用于衬底。然而，即使使用其它金属、MgO（氧化镁）、Si（硅）等等的单晶衬底，磁头支持机构也可以以相同的方式形成。

#### 例 4

在致动器部分中，使用了通过蚀刻制备成致动器形状的不锈钢衬底。在这个例子中，采用了这样的生产方法，其中制备的衬底被制备得更薄。形成压电元件、施加聚酰亚胺树脂和形成致动器形状的方法，与例 2 中的相同，由此它们的描述不再重复。

例 2 与本例子之间的差异是，整个不锈钢衬底被去除，还是制备得更薄。

在形成致动器形状的聚酰亚胺树脂被固化后，氯化铁溶液喷到其上。被去除的不锈钢的厚度，通过控制喷雾时间来控制。在大约 10 μm 的不锈钢被去除后，衬底被清洗，然后干燥。下面，为了得到弯曲的结构，形成致动器形状的聚酰亚胺树脂，在大约 60 到 80℃ 的增加的温度下，配合到挤压的模具中。然后，冷却并取出。这样形成沿模具的弯曲结构。

此后，用于接线和精细驱动元件的柔性结构，通过焊接导线而电连接。

然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。

在这个例子中，不锈钢用于衬底。然而，即使使用其它金属、MgO（氧化镁）、Si（硅）等等的单晶衬底，磁头支持机构也可以以相同的方式形成。

### 例 5

- 5 在致动器部分中，使用了通过蚀刻制备成致动器形状的不锈钢衬底。在这个例子中，采用了这样的生产方法，其中制备的衬底部分被去除。形成压电元件、施加聚酰亚胺树脂和形成致动器形状的方法，与例 2 中的相同，由此它们的描述不再重复。

- 10 在形成致动器形状的聚酰亚胺树脂被固化后，这时，聚酰亚胺树脂施加到衬底背面，然后形成图样。

- 在加热并固化聚酰亚胺树脂后，衬底固定到水平基底上，如玻璃基底上，衬底背面向上。然后，聚酰亚胺树脂通过离心机施加到背面。在施加后，在炉中预烘干，然后使用光掩模暴露到光下，并生长来去除不必要的材料。在生长后，相应于压电元件形成的部分，除了与压电元件形成一侧相反的衬底部分，  
15 聚酰亚胺树脂当施加时形成图样。在形成图样后，聚酰亚胺树脂在氮气气氛的炉中，在 150 到 320°C 的增加了的温度下固化 30 分钟。

然后，不覆盖有聚酰亚胺树脂的不锈钢部分，通过喷蚀刻的氯化铁溶液而去除。这个方法能够得到这样的结构，其中不覆盖有聚酰亚胺树脂的整个不锈钢部分被去除。

- 20 不覆盖有聚酰亚胺树脂，而被去除的不锈钢部分的厚度，通过调整蚀刻剂的浓度、喷雾压力、喷雾的蚀刻剂的量或喷雾时间来控制。由此，也能够不去除整个不锈钢，而保留适当厚度的不锈钢。

为了得到弯曲的结构，形成致动器形状的聚酰亚胺树脂，配合到被挤压的模具中。此后，用于接线和精细驱动元件的柔性衬底，通过焊接导线而电连接。

- 25 然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。

在这个例子中，不锈钢用于衬底。然而，即使使用其它金属、MgO（氧化镁）、Si（硅）等等的单晶衬底，磁头支持机构也可以以相同的方式形成。

### 例 6

- 30 对于膜的形成，使用了 MgO 单晶衬底。衬底放置在衬底支架上，然后放置在溅射设备的工作室中。然后，工作室抽成真空状态。在确定衬底温度增加到



至少大约 500°C 后，铂 (Pt) 层形成具有大约 50 到 200nm 的厚度，用作下电极层。然后，作为内涂层的 PbLiTi 膜，促使压电薄膜的钛酸铅基  $\text{PbZrTiO}_3$  的晶粒定位，PbLiTi 膜形成具有 10 到 50nm 的厚度。此后，作为压电薄膜的  $\text{PbZrTiO}_3$  膜形成具有 2.5  $\mu\text{m}$  的厚度。在确定衬底温度减小到大约 100°C 或更低时，作为上电极的金 (Au) 膜形成具有 100 到 200nm 的厚度。

然后，具有这样形成的膜的衬底，从真空工作室中取出，并且使用光刻技术形成压电元件。

开始，施加例 2 中使用的抗蚀剂树脂，用于制备上电极。然后，抗蚀剂使用离心机，施加到具有膜的衬底上。此后，在炉中以 90°C 预烘干 15 分钟，取出，然后暴露在光下。曝光使用光掩模执行。在曝光后，浸入生长溶液用于生长。在生长后，在炉中以大约 120°C 再烘干 30 分钟，这样，增强抗蚀剂的蚀刻抵抗性。在上面的过程中，抗蚀剂形成图样，然后上电极通过湿蚀刻制备。包括碘化钾 (KI)、碘 ( $\text{I}_2$ ) 和水 ( $\text{H}_2\text{O}$ ) 的液体混合物用作蚀刻剂。在蚀刻后，衬底使用纯水清洗，然后干燥。制备的上电极的状态，使用光学显微镜检查。当没有发现问题时，执行压电薄膜的后续制备过程。

压电薄膜使用缓冲的氢氟酸制备。缓冲的氢氟酸放入烧杯中，然后加热到大约 60°C，其中浸入具有玻璃基底的衬底，其中玻璃基底用于将其固定。缓冲的氢氟酸被连续搅拌，来具有恒定的浓度。在蚀刻后，衬底用纯水清洗，然后干燥。作为下一个步骤，下电极被制备。用于制备上电极和压电薄膜抗蚀剂被去除，并且新施加用于制备下电极的抗蚀剂。在施加抗蚀剂后，使用光掩模暴露在光下。与用于形成上电极和压电薄膜的图样，和下电极接线的图样相比，光掩模中形成的图样具有大一倍的形状。在曝光和生长后，下电极通过干蚀刻制备。在干蚀刻后，抗蚀剂被去除并且衬底被清洗。在清洗后，施加聚酰亚胺树脂。特别地，当离心机允许以 3000rpm 的转速旋转时，聚酰亚胺树脂使用离心机，一致地施加在衬底上。在施加后，聚酰亚胺树脂暴露在光下，并生长而形成图样。光掩模的图样具有与制备的衬底实质相同的形状，但比制备的衬底大一倍。然后，具有形成图样的聚酰亚胺树脂的衬底，在氮气气氛中烘干，来固化聚酰亚胺树脂。使用内部空气被氮气取代的加热炉，在 150 到 320°C 烘干 30 分钟。

在衬底从炉中取出后，通过将磷酸溶液喷到其上而去除整个衬底。

这样，压电元件不使用粘合剂等等，从衬底上转移到合成树脂的聚酰亚胺树脂上。

然后，为了得到弯曲的结构，形成致动器形状的聚酰亚胺树脂，配合到被挤压的模具中。此后，用于接线和精细驱动元件的柔性结构，通过焊接导线而电连接。

然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。

#### 例 7

对于膜的形成，使用了 MgO 单晶衬底。在这个例子中，采用了这样的生产方法，其中衬底被制备得更薄。形成压电元件、施加聚酰亚胺树脂和形成致动器形状的方法，与例 6 中的相同，由此它们的描述不再重复。例 6 与本例子的差异是，MgO 衬底是作为整体去除，还是被制备得更薄。

在形成致动器形状的聚酰亚胺树脂被固化后，磷酸喷到其上。被去除的 MgO 衬底厚度通过控制喷雾时间而控制。在 MgO 衬底被去除，而保留大约 10 μm 的衬底后，衬底被清洗，然后干燥。下面，为了得到弯曲的结构，在大约 60 到 80°C 增加的温度下，形成致动器形状聚酰亚胺树脂，配合到被挤压的模具中。然后，冷却并从模具中取出。这样，形成沿模具的结构弯曲。

此后，用于接线和精细驱动元件的柔性衬底，通过焊接导线而电连接。然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。在这个例子中，MgO 用于衬底。然而，即使使用其它金属、Si（硅）等等的单晶衬底，磁头支持机构也可以以相同的方式形成。

#### 例 8

对于膜的形成，使用了 MgO 单晶衬底。在这个例子中，采用了这样的生产方法，其中衬底部分被去除。形成压电元件、施加聚酰亚胺树脂和形成致动器形状的方法，与例 6 中的相同，由此它们的描述不再重复。

在形成致动器形状的聚酰亚胺树脂被固化后，这时将聚酰亚胺树脂施加到衬底背面，然后形成图样。

在固化聚酰亚胺树脂后，衬底固定到水平基底上，如玻璃基底，使衬底背面向上。然后，聚酰亚胺树脂通过离心机施加到背面。在施加后，在炉中预烘干，然后使用光掩模暴露在光下，并生长而去除不必要的材料。在生长后的图样中，除了形成压电薄膜相反一侧的表面，相应于形成压电元件的部分，提供

聚酰亚胺树脂。在形成图样后，聚酰亚胺树脂在氮气气氛的炉中，在 150 到 320 °C 增加的温度下固化 30 分钟。

5 然后，不覆盖有聚酰亚胺树脂的 MgO 衬底部分，通过喷蚀刻的磷酸溶液而去除。这种方法能够得到这样的结构，其中不覆盖有聚酰亚胺树脂的整个 MgO 衬底部分被去除。

去除的 MgO 衬底部分上不覆盖有聚酰亚胺树脂，它的厚度可以通过调整蚀刻剂的浓度、喷雾压力、喷雾量或喷雾时间来控制。由此，也能够不去除整个衬底，而保留适当的厚度。

10 为了得到弯曲的结构，形成致动器形状的聚酰亚胺树脂，配合到被挤压的模具中。此后，用于接线和精细驱动元件的柔性衬底，通过焊接导线而电连接。

然后，滑块和基底盘与其结合在一起，这样形成磁头支持机构。

在这个例子中，MgO 用于衬底。然而，即使使用其它金属、Si（硅）等等的单晶衬底，磁头支持机构也可以以相同的方式形成。

#### 例 9

15 不锈钢片制备成悬臂梁的形状，并且具有大约  $2.5 \mu\text{m}$  厚度的压电薄膜和电极形成其上。当不锈钢片的厚度通过蚀刻改变时，测量悬臂梁的位移。具有  $0 \mu\text{m}$  厚度的不锈钢片意味着只有聚酰亚胺树脂出现。位移通过激光多普勒方法测量。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。

结果如表 1 所示。

20 表 1

不锈钢厚度 ( $\mu\text{m}$ )	20	15	10	6	3	0
位移 ( $\mu\text{m}$ )	3.24	5.64	7.85	10.5	17.2	28.6

可以从上面的结果中看出，随着作为致动器基底材料的不锈钢片变得更薄，刚性趋于减小，这样，位移由此增加。

随着衬底厚度的减小，明显刚性降低，这样不论使用衬底的种类，可以由此得到更大的位移。

#### 25 例 10

使用根据例 1 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为 60 度（图 13B），在这个例子中使用的不锈钢具有  $20 \mu\text{m}$  的厚度，压电薄膜具

有  $2.5\ \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $10\ \mu\text{m}$  的厚度。

致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 15A 和 15B 显示的致动器部分中，其中所有的部分被合成树脂取代。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约 4.4 倍。

从这个实验中，确定可以通过合成树脂取代不锈钢，而显著增加位移。

#### 例 11

使用根据例 3 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为  $60^\circ$ ，在这个例子中使用的不锈钢具有  $20\ \mu\text{m}$  的厚度，压电薄膜具有  $2.5\ \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $10\ \mu\text{m}$  的厚度。

致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 16A 和 16B 显示的致动器部分中，其中，部分驱动部分（压电元件的形状保持片）被合成树脂取代。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约 4.5 倍。

从这个实验中，确定可以通过合成树脂取代不锈钢，而显著增加位移。

#### 例 12

使用根据例 4 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为  $60^\circ$ ，在这个例子中使用的不锈钢具有  $20\ \mu\text{m}$  的厚度，压电薄膜具有  $2.5\ \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $5\ \mu\text{m}$  的厚度。

致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 17A 和 17B 显示的致动器部分中，其中，不锈钢衬底部分地覆盖有合成树脂，并且作为整体被蚀刻得更薄。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，

具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约 3.1 倍。

从这个实验中，确定当不锈钢衬底部分地覆盖有合成树脂，并且制备得更薄时，可以显著地增加位移。

### 例 13

使用根据例 4 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为 60 度，在这个例子中使用的不锈钢具有  $20\ \mu\text{m}$  的厚度，压电薄膜具有  $2.5\ \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $5\ \mu\text{m}$  的厚度。

致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 17A 和 17B 显示的致动器部分中，其中，部分不锈钢衬底部分（压电元件上的形状保持片），覆盖有合成树脂，并且被蚀刻得更薄。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约三倍。

从这个实验中，确定当不锈钢衬底的部分（压电元件上的形状保持片）覆盖有合成树脂，并且制备得更薄时，可以显著地增加位移。

### 例 14

使用根据例 5 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为 60 度，使用了  $\text{MgO}$  单晶衬底，压电薄膜具有  $2.5\ \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $10\ \mu\text{m}$  的厚度。

致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 15A 和 15B 显示的致动器部分中，其中部分被合成树脂取代。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约 8.1 倍。位移的增加，归因于由于不

锈钢被合成树脂取代，使位移增加大约四倍的放大效果，和压电薄膜的压电常数  $d_{31}$  特点的两倍改进的放大效果，它在单晶衬底上外延地生长。

从这个实验中，确定通过整个被合成树脂取代，可以显著地增加位移。

#### 例 15

- 5 使用根据例 5 的方法生产的致动器来测量位移。在致动器的基本结构中，精细驱动元件与垂直于磁盘表面并沿悬架纵向中心线的平面之间的每个角度为 60 度，使用了 MgO 单晶衬底，压电薄膜具有  $2.5 \mu\text{m}$  的厚度，而合成树脂具有  $10 \mu\text{m}$  的厚度。

- 致动器包括一对精细驱动元件，精细驱动元件放置在图 16A 和 16B 显示的  
10 致动器部分中，其中，部分致动器部分被合成树脂覆盖并取代。驱动电压设置为恒定  $\pm 3\text{V}$ ，并且频率为  $1\text{kHz}$ 。位移通过激光多普勒方法测量。在这种情况下，磁盘允许以  $12000\text{rpm}$  的转速旋转。为了比较，具有相同形状的不锈钢基底的致动器，也不使用合成树脂生产，并且测量不锈钢基底的致动器的位移。在使用合成树脂形成的致动器中，位移是不锈钢基底的致动器的大约 7.8 倍。  
15 位移的增加，归因于由于不锈钢被合成树脂取代，使位移增加大约四倍的放大效果，和压电薄膜的压电常数  $d_{31}$  特点的两倍改进的放大效果，它在单晶衬底上外延地生长。

从这个实验中，确定通过 MgO 被合成树脂取代，可以显著地增加位移。

#### 例 16

- 20 产生图 22A1 和 22A2 所示的接线结构，并且研究在通过挤压的弯曲制备前后，压电元件的电学特点如何改变。压电元件的结构是 Ti/Pt/PLT/PLT/Pt。压电元件的膜形成在不锈钢上。对于膜的形成，使用了金属掩模，由此不需要制备压电元件。下电极从不锈钢导出，而对于上电极，使用聚酰亚胺树脂作为基底绝缘层，通过电镀形成铜接线，然后作为覆盖层的聚酰亚胺树脂形成图样。  
25 用 LCR（电阻、电容和电感）测定计，在  $1\text{kHz}$  的频率测量电感  $L$ 、电容  $C$  和电抗  $Z$ 。结果如表 2 所示。

表 2

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.627 M ohm	0.628 M ohm
电感 L	-99.8H	-99.9H
电容 C	0.2543nF	0.2535nF

从上面的结果可以看出，确定当弯曲制备前后具有相同的电学特点时，可以得到三维接线结构。

## 例 17

- 5 产生图 22B1 和 22B2 所示的接线结构，并且研究在通过挤压的弯曲制备前后，压电元件的电学特点如何改变。压电元件的结构是 Ti/Pt/PLT/PLT/Pt。压电元件的膜形成在不锈钢上。对于膜的形成，使用了金属掩模，由此不需要制备压电元件。下电极从不锈钢导出，而对于上电极，使用聚酰亚胺树脂作为基底绝缘层，通过电镀形成铜接线，然后作为覆盖层的聚酰亚胺树脂形成图样。
- 10 最后，弯曲的不锈钢部分，通过使用氯化铁溶液的蚀刻而去除。使用 LCR（电阻、电容和电感）测定计，在 1kHz 的频率测量电感 L、电容 C 和电抗 Z。结果如表 3 所示。

表 3

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.611 M ohm	0.620 M ohm
电感 L	-98.8H	-97.9H
电容 C	0.2533nF	0.2545nF

- 15 从上面的结果可以看出，确定当弯曲制备前后具有相同的电学特点时，可以得到三维接线结构。而且，当弯曲后的结果在这样两种情况中比较时，即作为衬底的弯曲不锈钢部分被去除与不去除两种情况，在部分被去除的情况下可以得到稍好的结果。

## 例 18

- 20 产生图 22C1 和 22C2 所示的接线结构，并且研究在通过挤压的弯曲制备前后，压电元件的电学特点如何改变。压电元件的结构是 Ti/Pt/PLT/PLT/Pt。压电元件的膜形成在不锈钢上。对于膜的形成，使用了金属掩模，由此不需要制备压电元件。下电极从不锈钢中导出，而对于上电极，使用聚酰亚胺树脂作为基

底绝缘层，通过电镀形成铜接线，然后作为覆盖层的聚酰亚胺树脂形成图样。使用 LCR（电阻、电容和电感）测定计，在 1kHz 的频率测量电感 L、电容 C 和电抗 Z。结果如表 4 所示。

表 4

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.612 M ohm	0.635 M ohm
电感 L	-97.8H	-97.9H
电容 C	0.2543nF	0.2575nF

- 5 从上面的结果可以看出，确定当弯曲制备前后具有相同的电学特点时，可以得到三维接线结构。

#### 例 19

- 产生图 22D1 和 22D2 所示的接线结构，并且研究在通过挤压的弯曲制备前后，压电元件的电学特点如何改变。压电元件的结构是 Ti/Pt/PLT/PLT/Pt。压电元件的膜形成在不锈钢上。对于膜的形成，使用了金属掩模，由此不需要制备压电元件。下电极从不锈钢导出，而对于上电极，使用聚酰亚胺树脂作为基底绝缘层，通过电镀形成铜接线，然后作为覆盖层的聚酰亚胺树脂形成图样。最后，弯曲的不锈钢部分，通过使用氯化铁溶液的蚀刻而去除。使用 LCR（电阻、电容和电感）测定计，在 1kHz 的频率测量电感 L、电容 C 和电抗 Z。结果如表 5 所示。

表 5

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.632 M ohm	0.655 M ohm
电感 L	-99.9H	-98.9H
电容 C	0.2553nF	0.2585nF

- 15 从上面的结果可以看出，确定当弯曲制备前后具有相同的电学特点时，可以得到三维接线结构。而且，当弯曲后的结果在这样两种情况中比较时，即作为衬底的弯曲不锈钢部分被去除与不去除两种情况，在部分被去除的情况下可以得到稍好的结果。

#### 例 20

产生图 23A1、23B1、23C1 和 23D1 所示的接线结构，并且研究在通过挤



5 压的弯曲制备前后，压电元件的电学特点如何改变。每个压电元件的结构是 Ti/Pt/PLT/PLT/Pt。压电元件的膜形成在不锈钢上。对于膜的形成，使用了金属掩模，由此不需要制备压电元件。在不锈钢上，形成聚酰亚胺层作为绝缘层，并且对于上和下电极，使用作为聚酰亚胺树脂基底绝缘层，通过电镀形成铜接线，然后作为覆盖层的聚酰亚胺树脂形成图样。这样，各自的电极导出到上电极一侧。产生两种接线结构，一种结构是在挤压的弯曲制备中，弯曲的不锈钢部分，被氯化铁溶液的蚀刻去除，和另一种结构是这部分不被去除。使用 LCR（电阻、电容和电感）测定计，在 1kHz 的频率测量电感 L、电容 C 和电抗 Z。结果如表 6 到 9 所示。

10 表 6

图 23A1

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.732 M ohm	0.745 M ohm
电感 L	-100.9H	-100.9H
电容 C	0.2543nF	0.2575nF

表 7

图 23B1

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.722 M ohm	0.715 M ohm
电感 L	-99.9H	-99.9H
电容 C	0.2523nF	0.2515nF

表 8

15 图 23C1

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.752 M ohm	0.733 M ohm
电感 L	-99.5H	-98.9H
电容 C	0.2574nF	0.2565nF

表 9

图 23D1

	弯曲制备前	弯曲制备后,
电抗 Z	0.745 M ohm	0.744 M ohm
电感 L	-100.9H	-99.9H
电容 C	0.2573nF	0.2575nF

从上面的结果可以看出，在图 23A1 到 23D1 所示的结构中，可以得到优异的结果，其中，在通过挤压的弯曲制备前后，电学特点几乎不改变。由此，使用聚合树脂的接线结构，能够得到三维接线结构。

根据本发明，压电元件可以不使用粘合剂形成，更进一步，元件的尺寸可以减小得很精细，并且可以不受限制地设计压电元件。而且，与传统的压电元件相比，可以得到相当大的位移。特别地，当本发明的压电元件用于磁头等等时，可以得到致动器和信息记录/重现设备，它们以高精度控制。当谐振频率低并且难于以高精度控制时，需要减小尺寸。在本发明的致动器中，即使减小尺寸，也可以有效地获得位移和电压（效率）。更进一步，膜厚度的减小也可以使功率消耗减小。

本发明可以以其它形式实施，而不必从其必要特点或思路中分离出来。本施加中揭示的实施例，在任何方面都是作为说明性的，并且不受限制。本发明的范围由所附权利要求书，而不是前面的描述来指示，并且在权利要求书等效意义和范围内的任何改变，被认为包含其中。

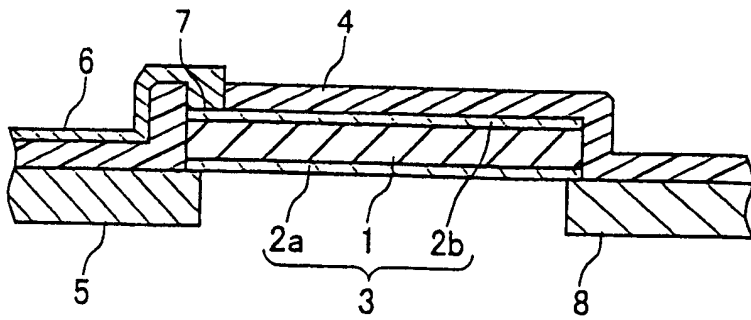


图 1A

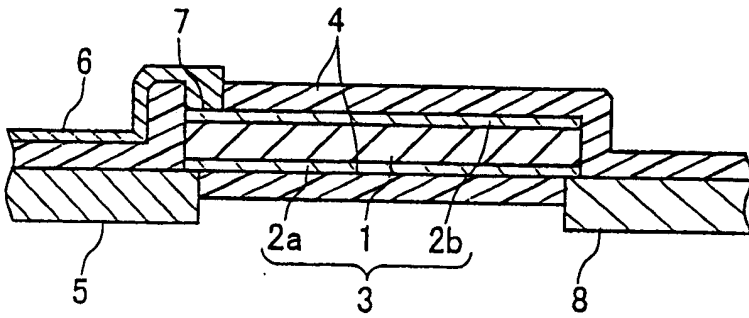


图 1B

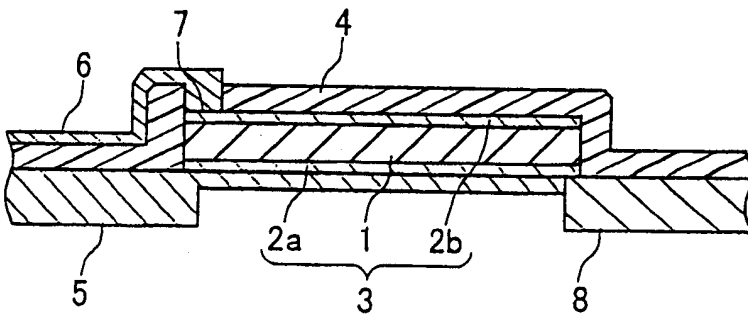


图 1C

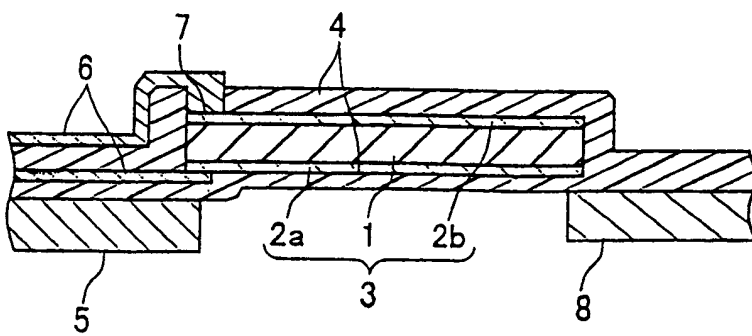


图 1D

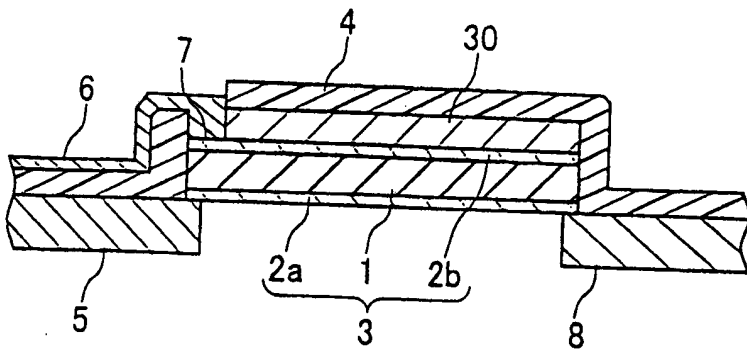


图 1E

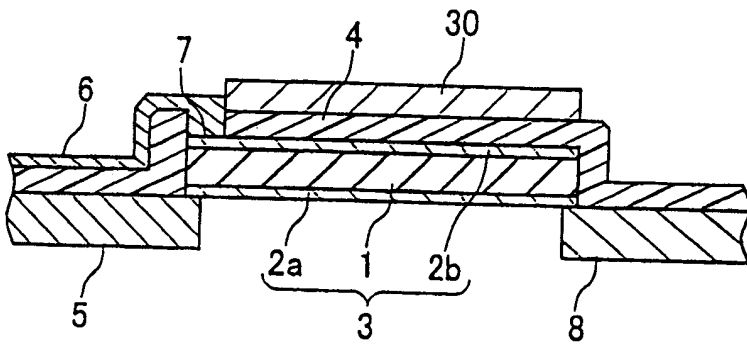


图 1F

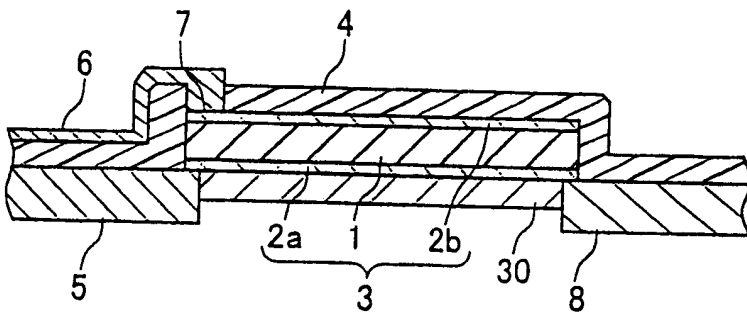


图 1G

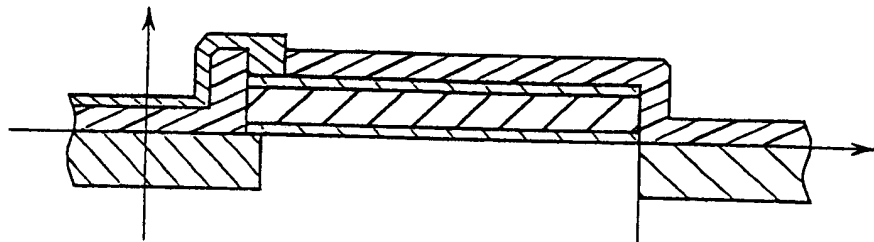


图 2A

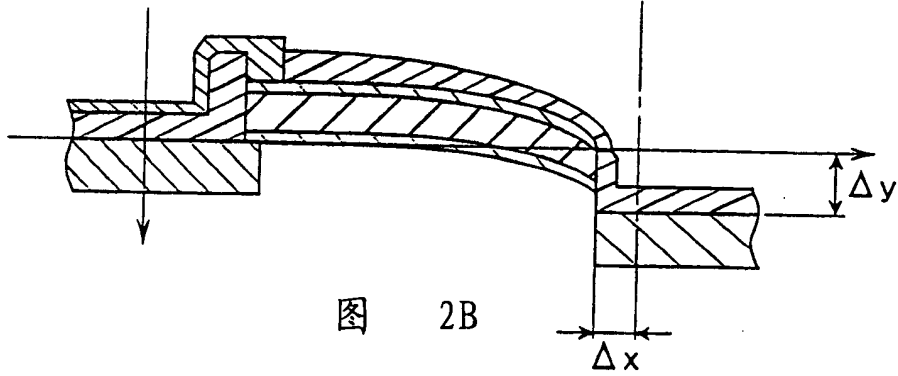


图 2B

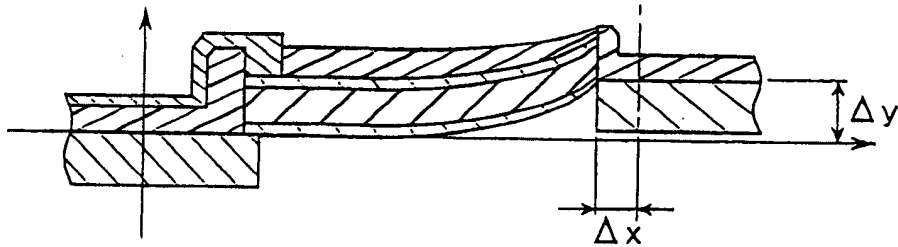


图 2C

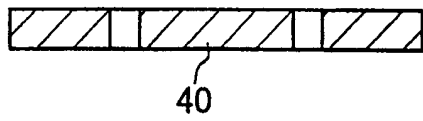


图 3A

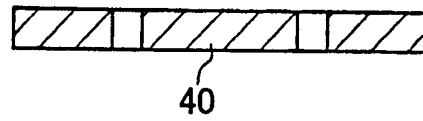


图 3G

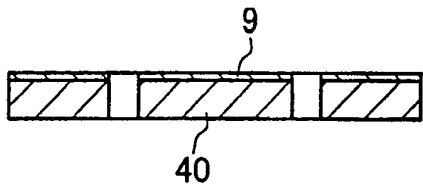


图 3B

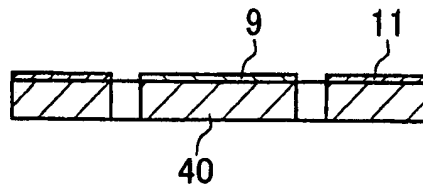


图 3H

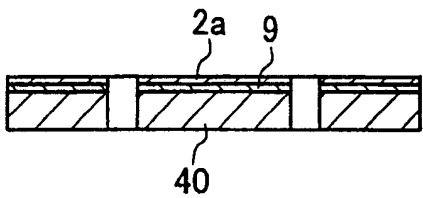


图 3C

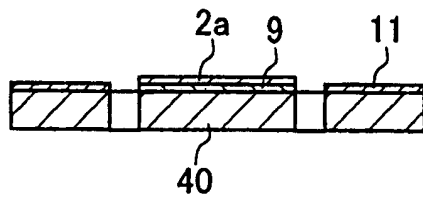


图 3I

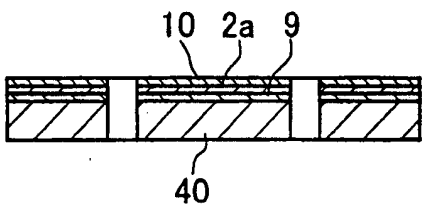


图 3D

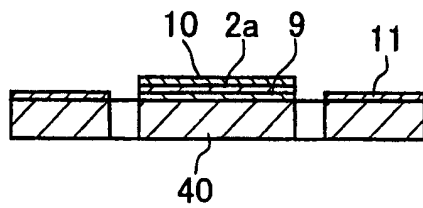


图 3J

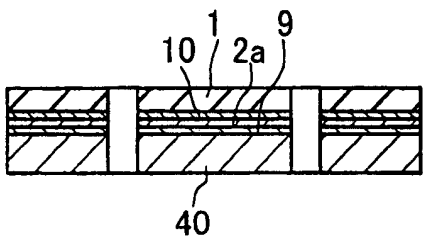


图 3E

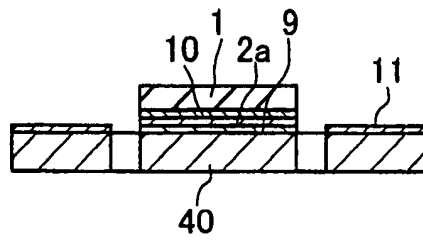


图 3K

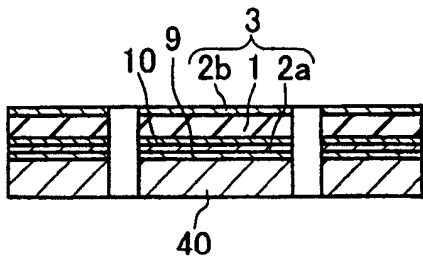


图 3F

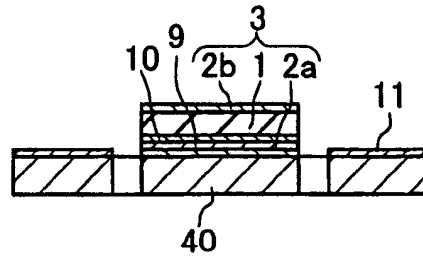


图 3L

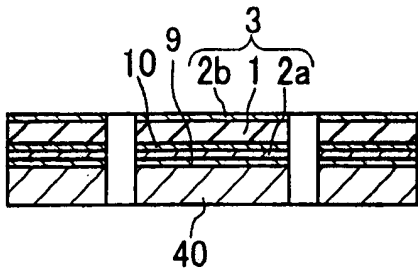


图 4A

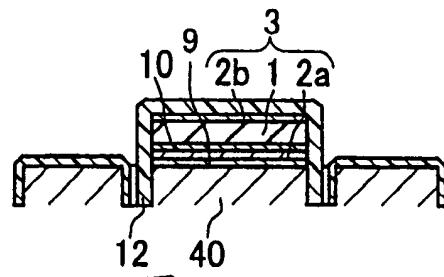


图 4F

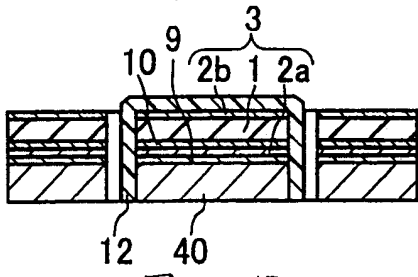


图 4B

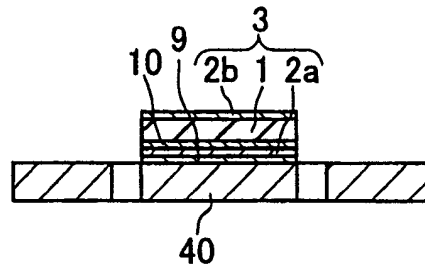


图 4G

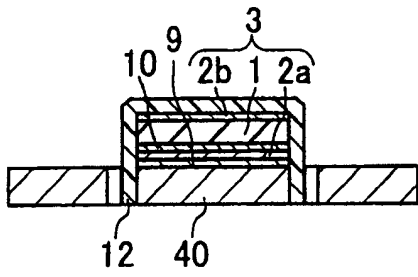


图 4C

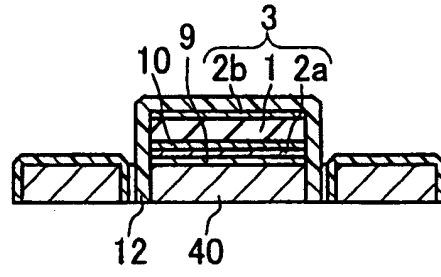


图 4H

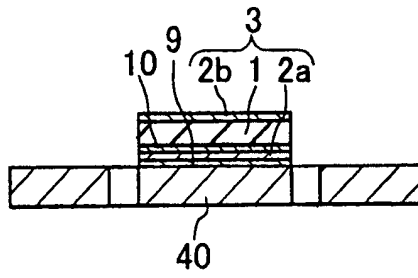


图 4D

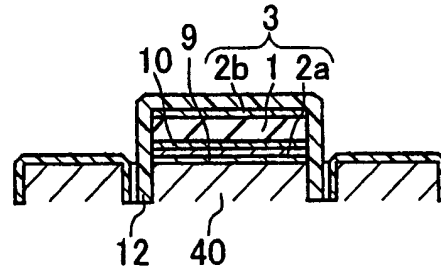


图 4I

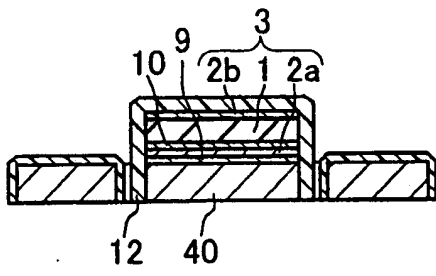


图 4E

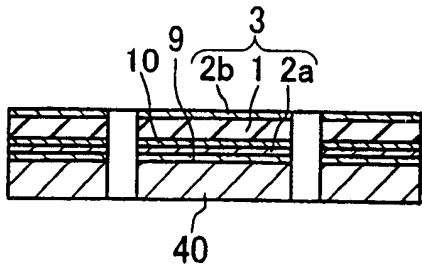


图 5A

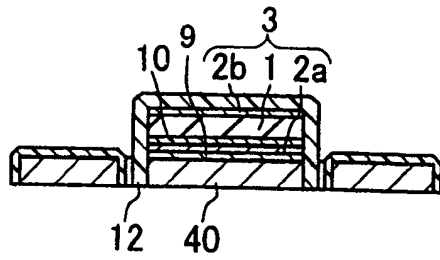


图 5F

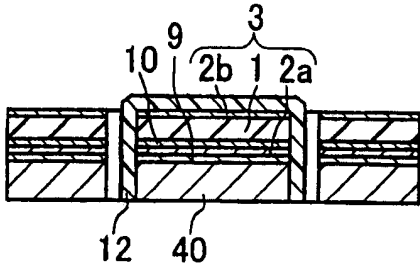


图 5B

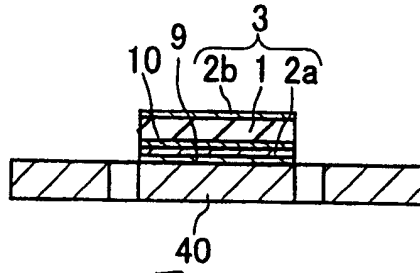


图 5G

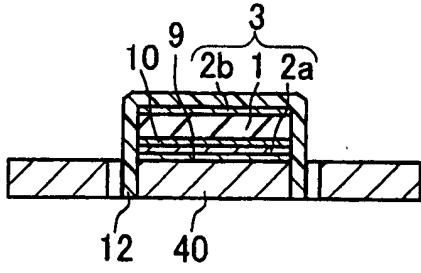


图 5C

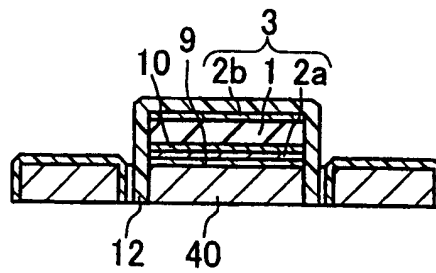


图 5H

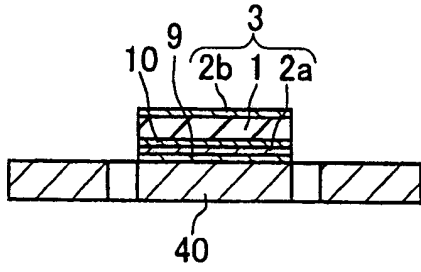


图 5D

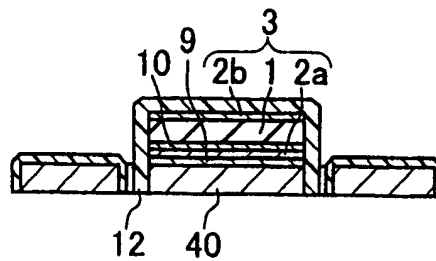


图 5I

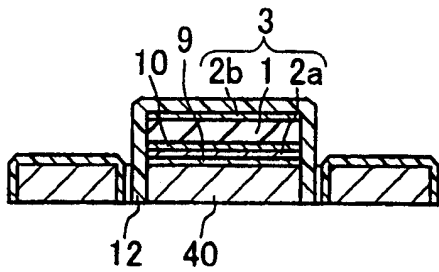


图 5E



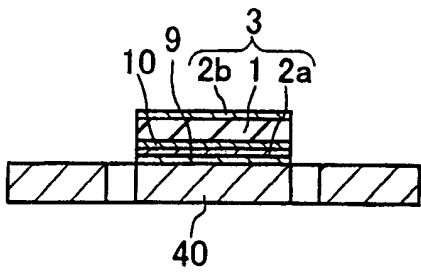


图 6A

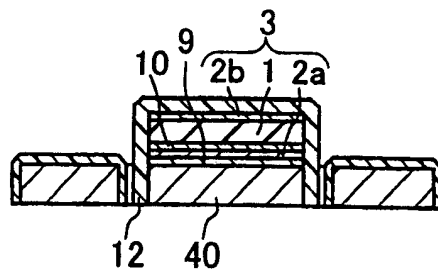


图 6F

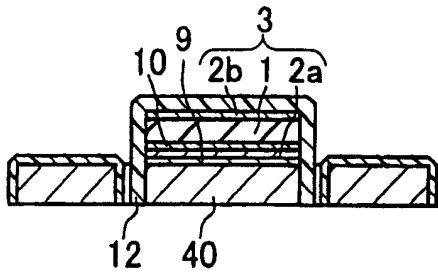


图 6B

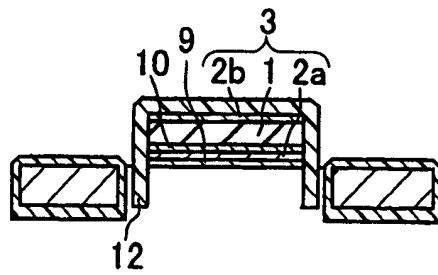


图 6G

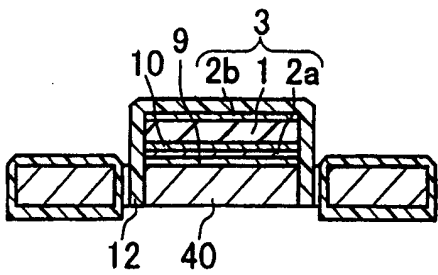


图 6C

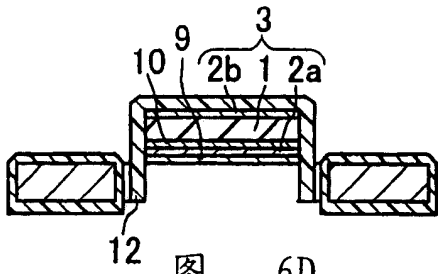


图 6D

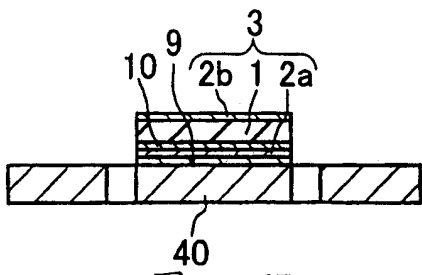


图 6E

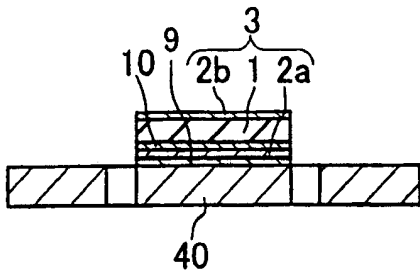


图 7A

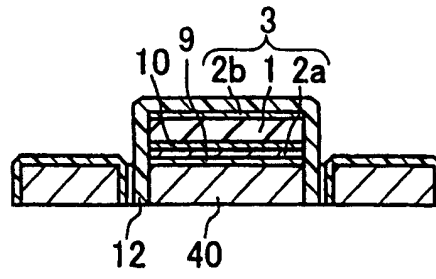


图 7F

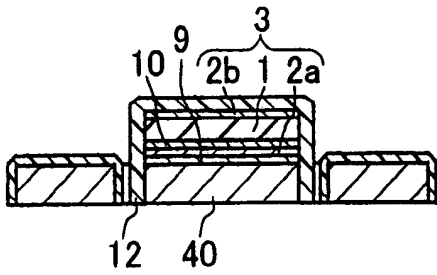


图 7B

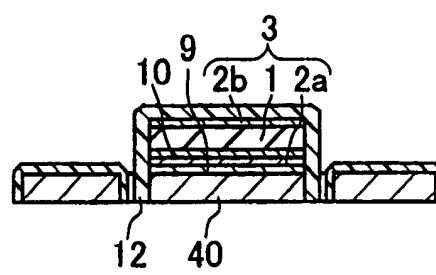


图 7G

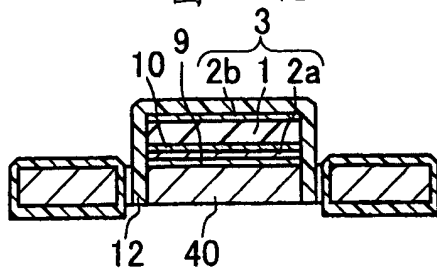


图 7C

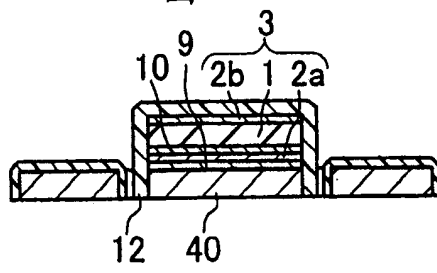


图 7D

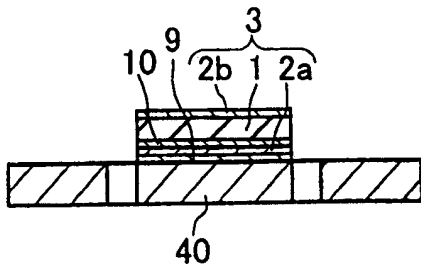


图 7E

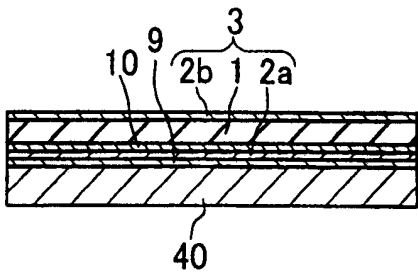


图 8A

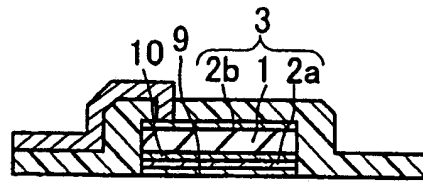


图 8F

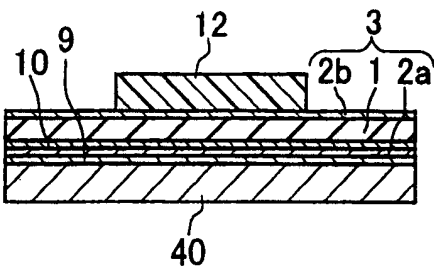


图 8B

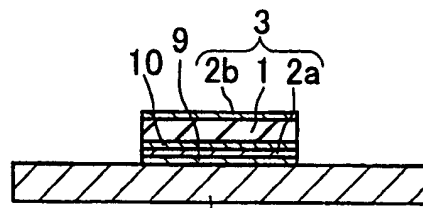


图 8G

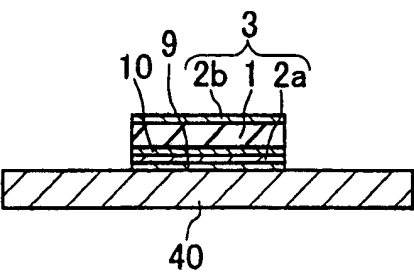


图 8C

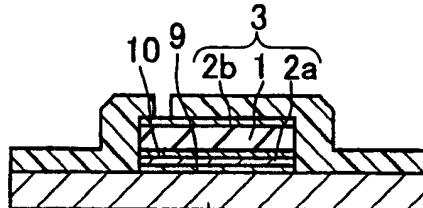


图 8H

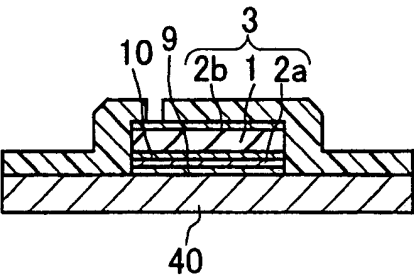


图 8D

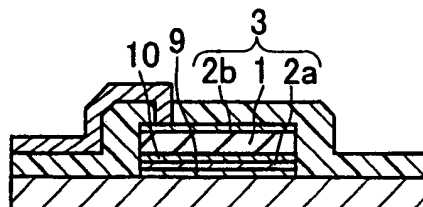


图 8I

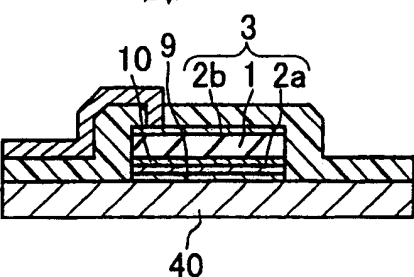


图 8E

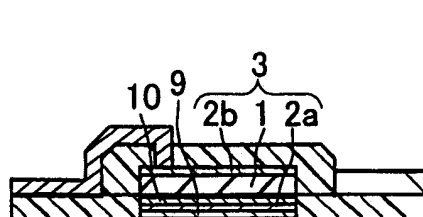


图 8J

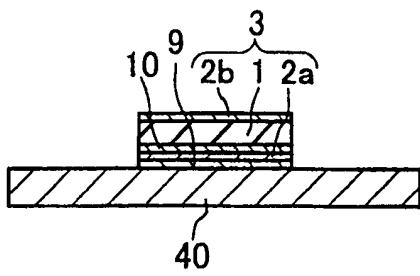


图 9A

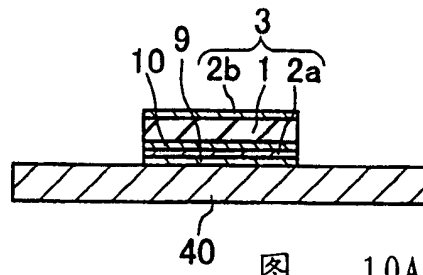


图 10A

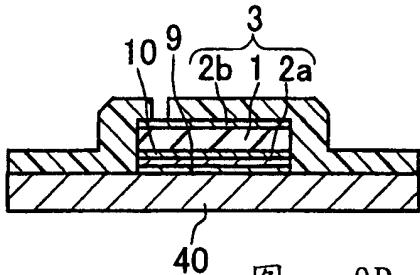


图 9B

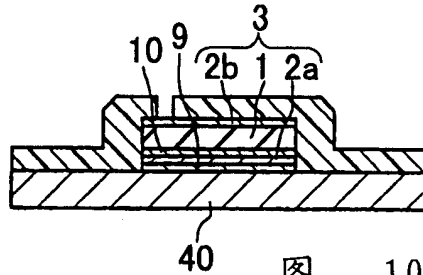


图 10B

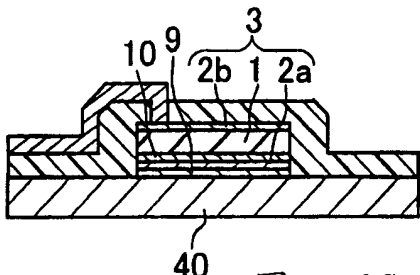


图 9C

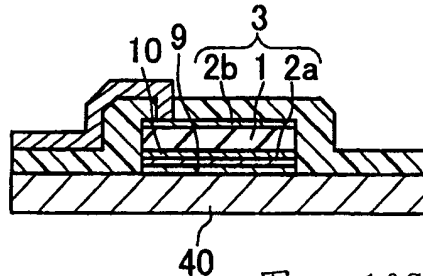


图 10C

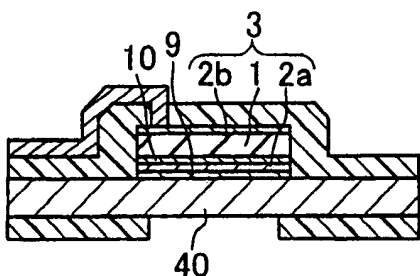


图 9D

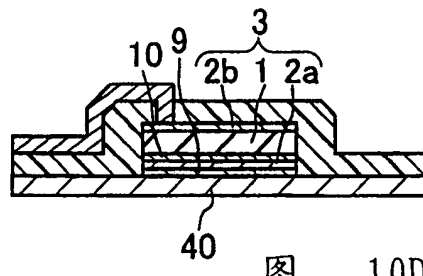


图 10D

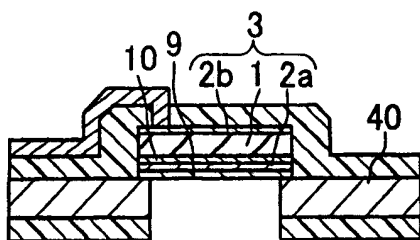


图 9E

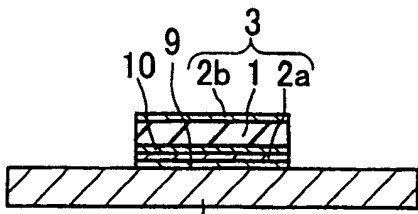


图 11A

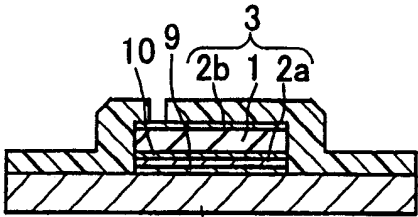


图 11B

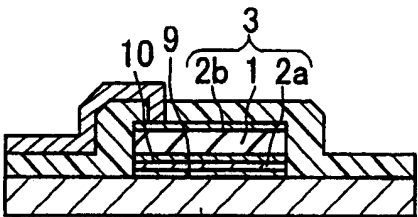


图 11C

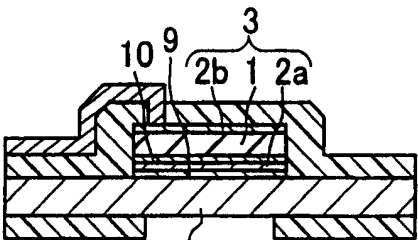


图 11D

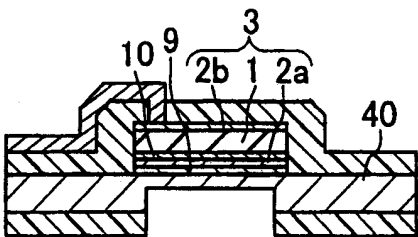


图 11E

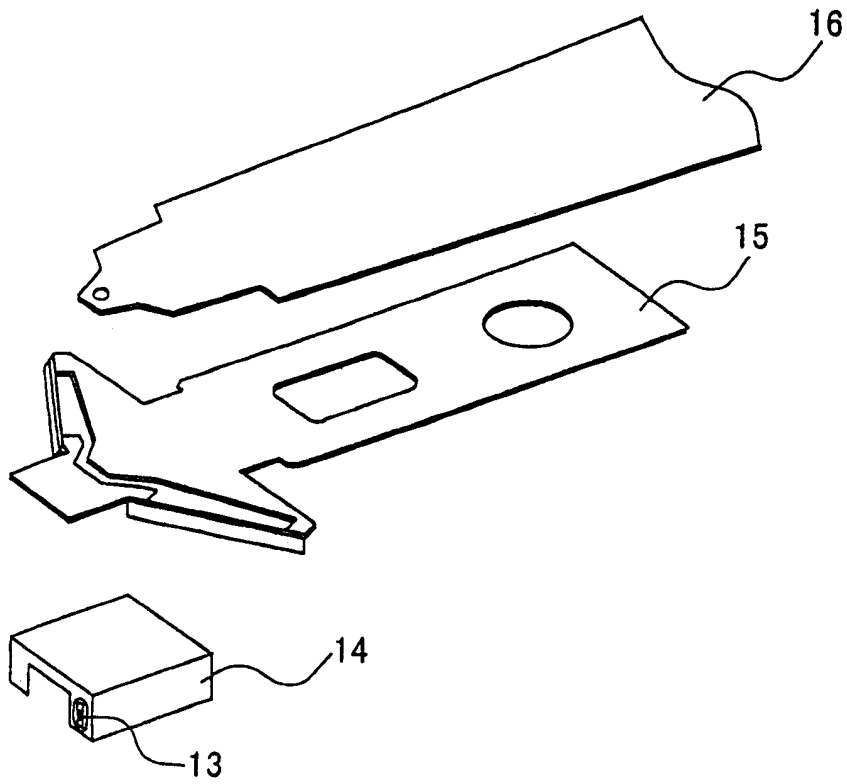


图 12

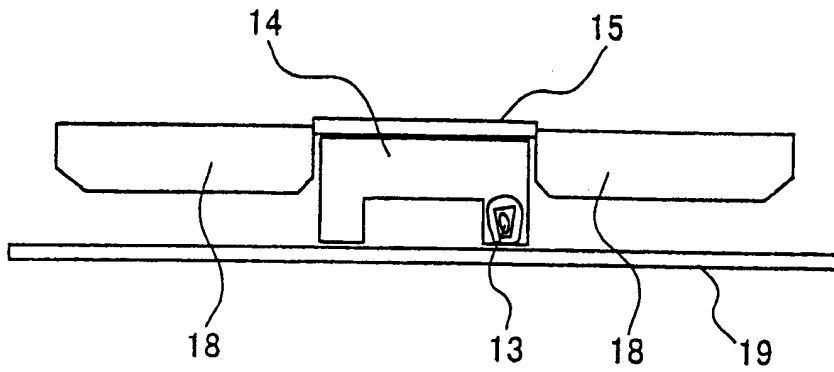


图 13A

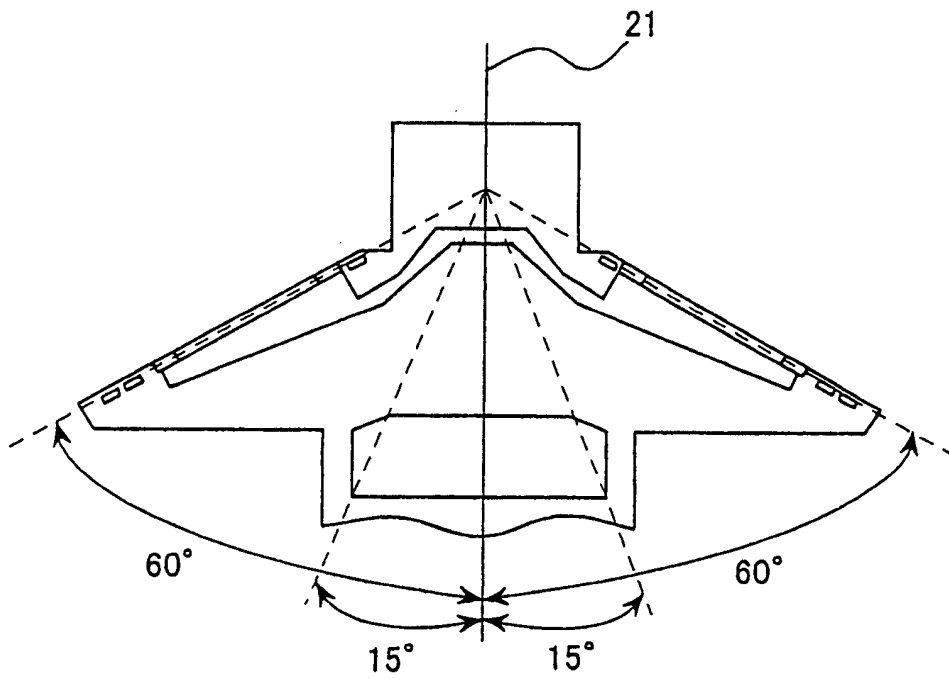


图 13B

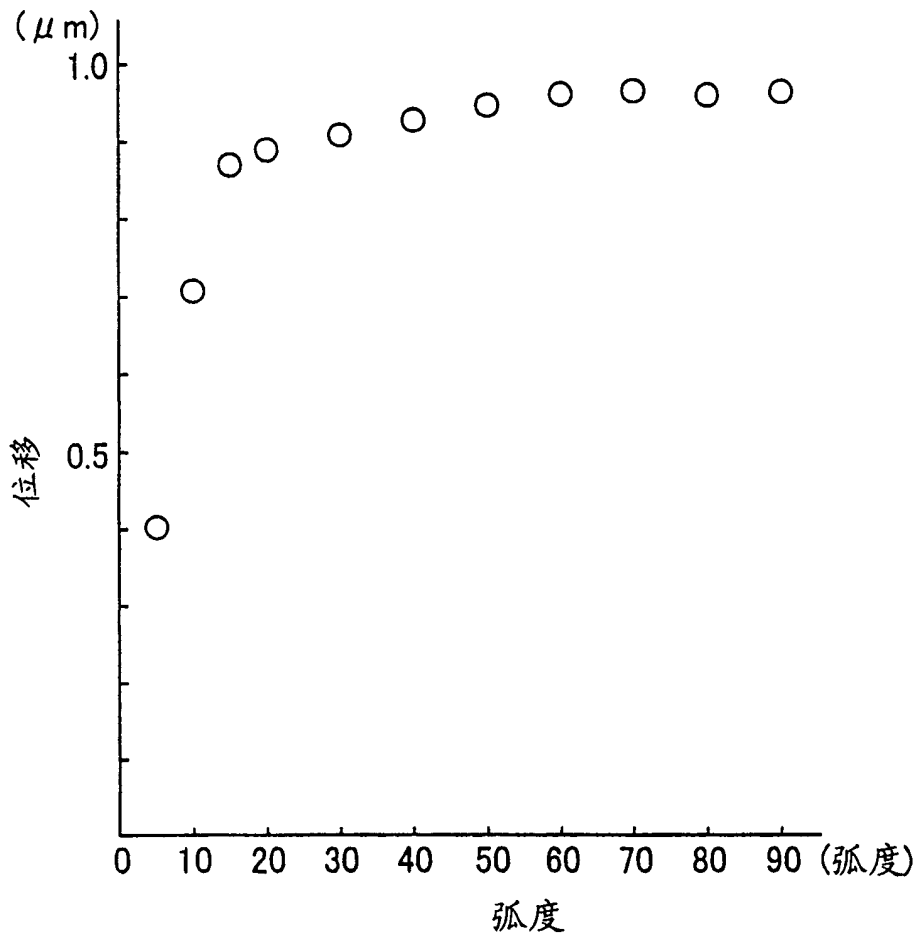


图 13C



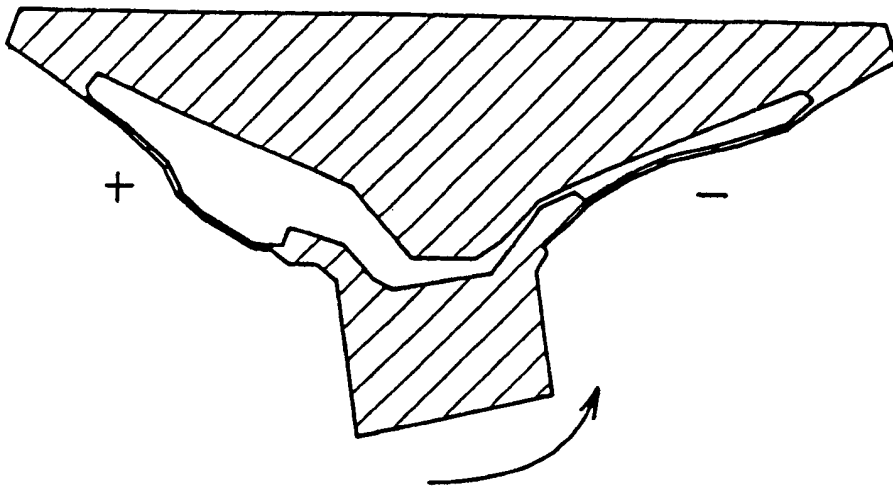


图 14A

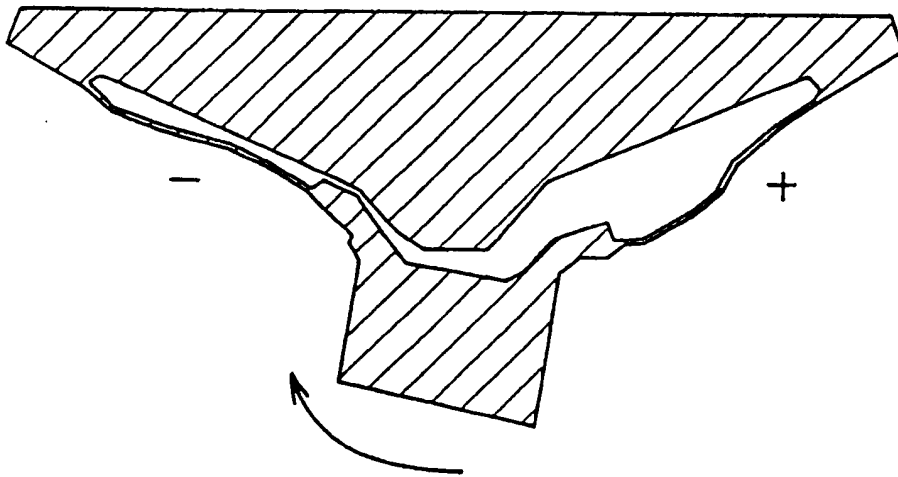
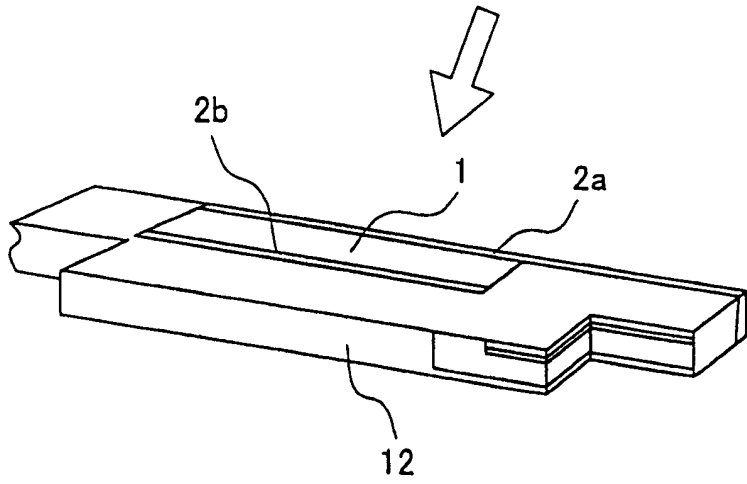
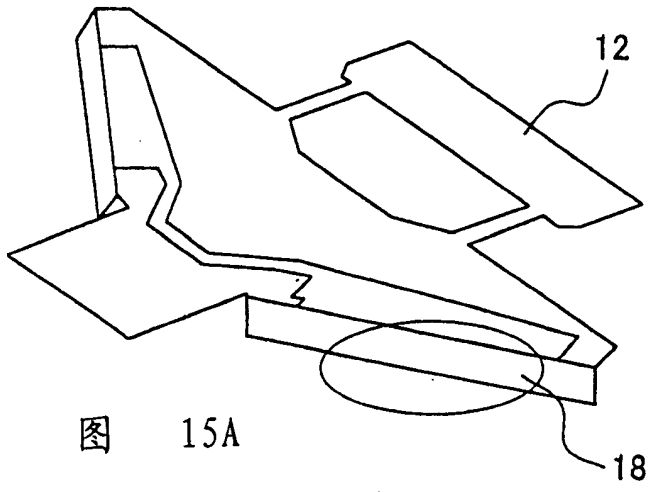
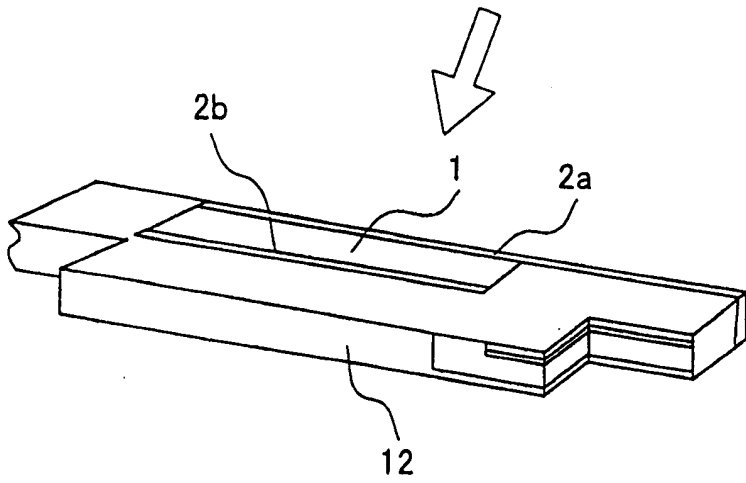
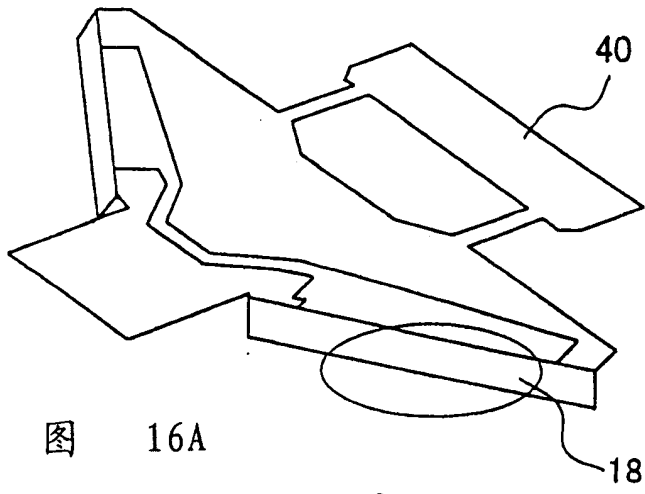


图 14B





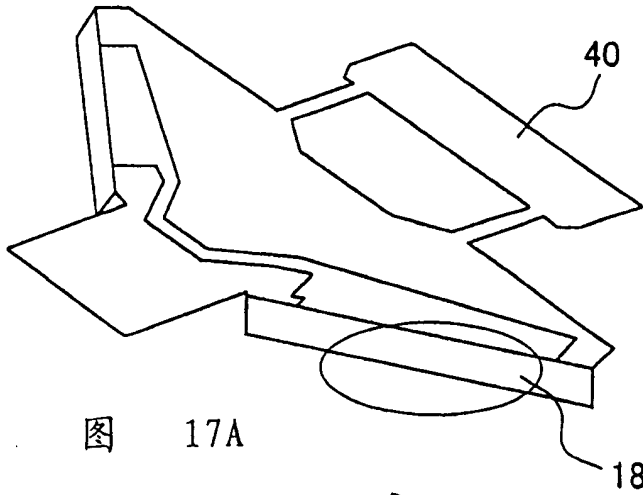


图 17A

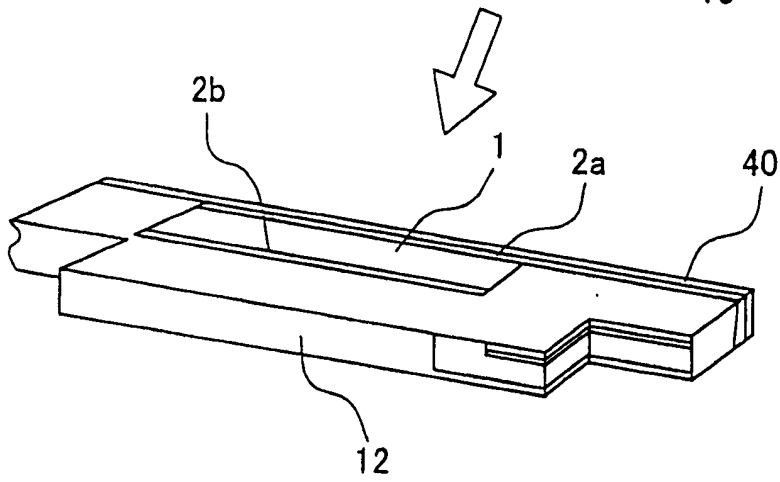


图 17B

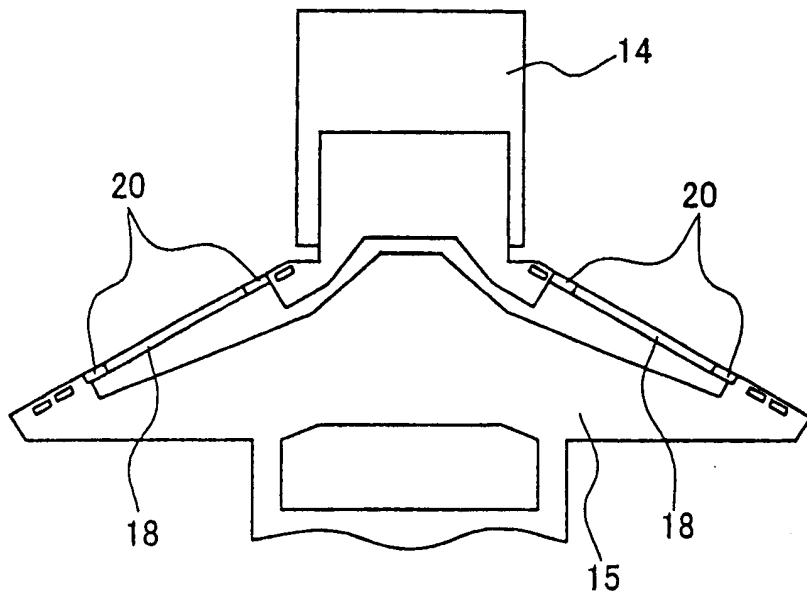


图 18

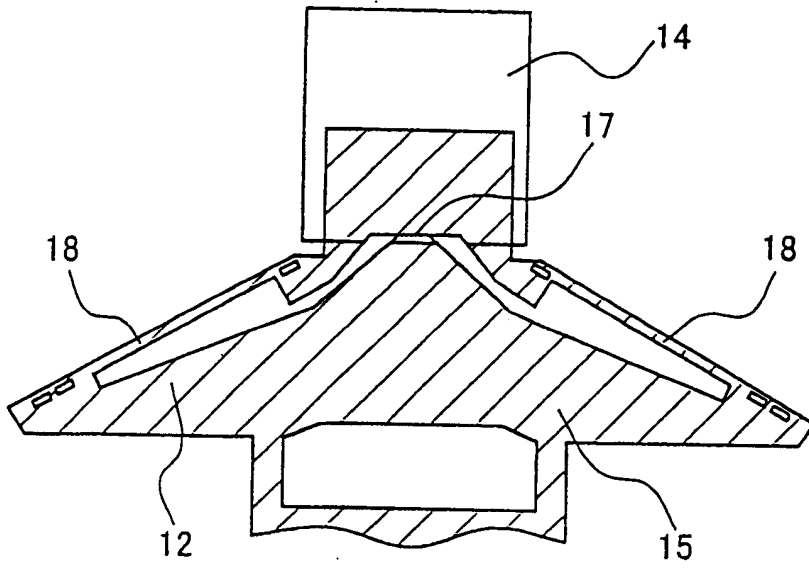


图 19

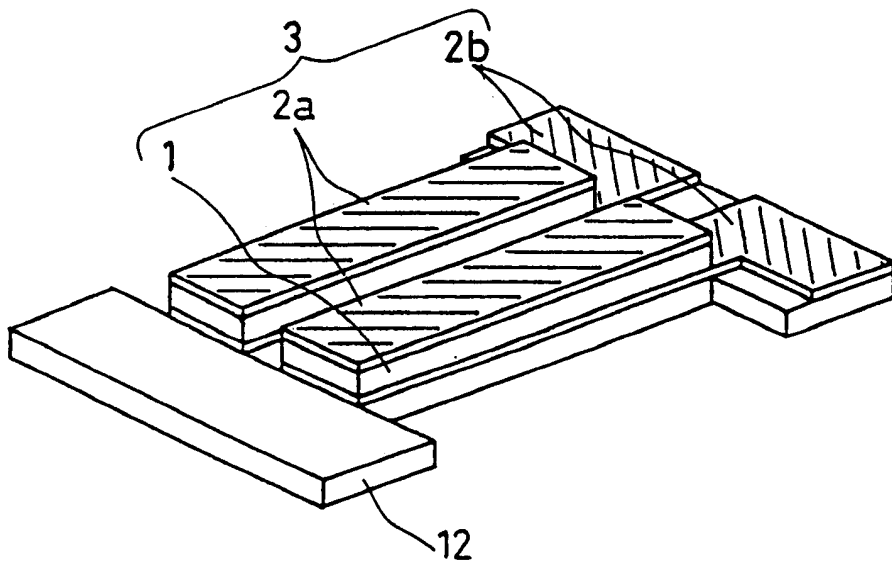


图 20

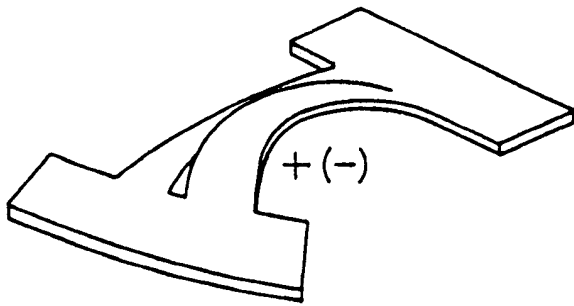


图 21A

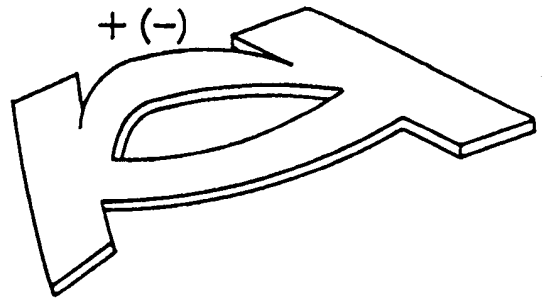


图 21B

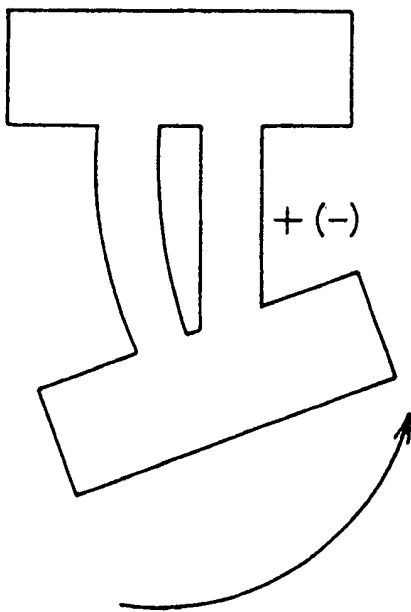


图 21C

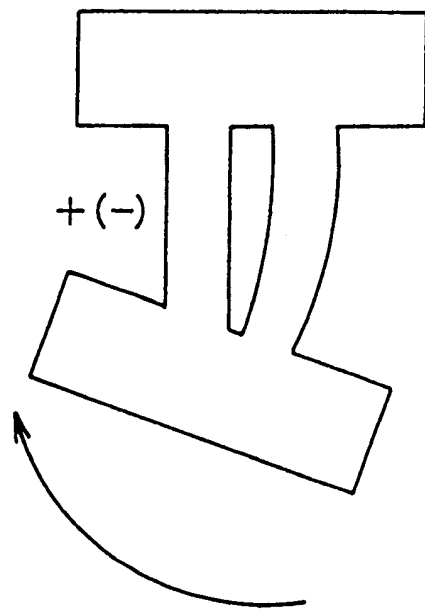


图 21D



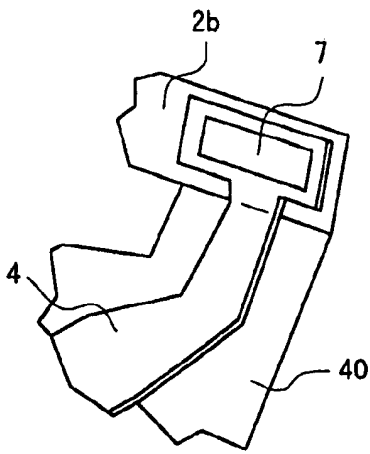


图 22A1

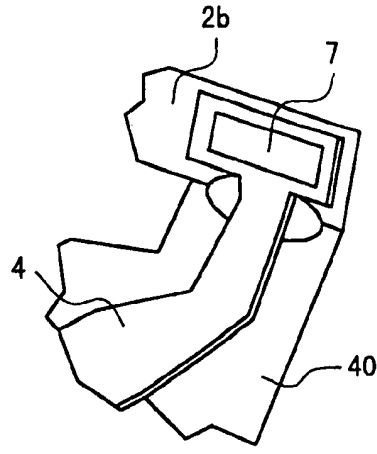


图 22B1

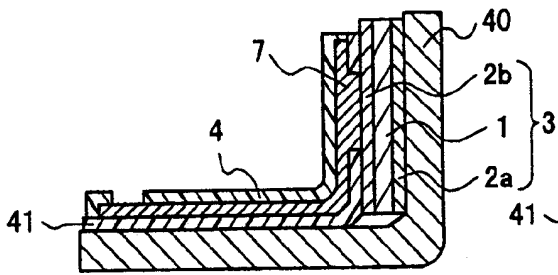


图 22A2

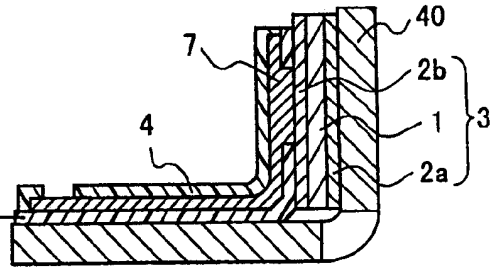


图 22B2

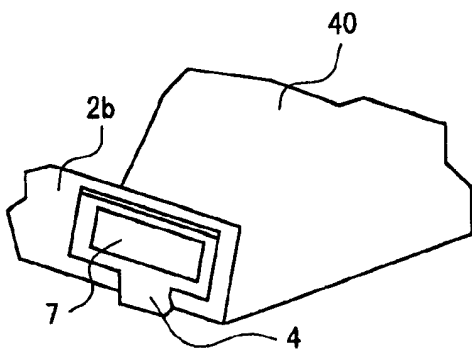


图 22C1

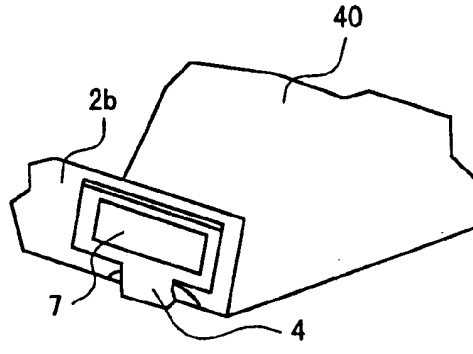


图 22D1

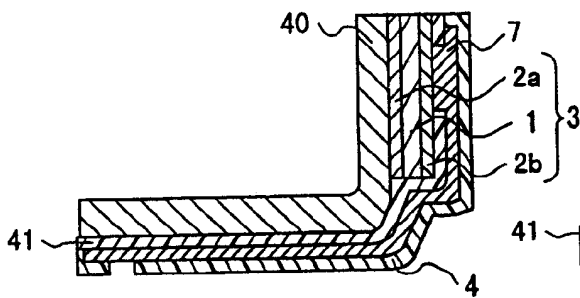


图 22C2

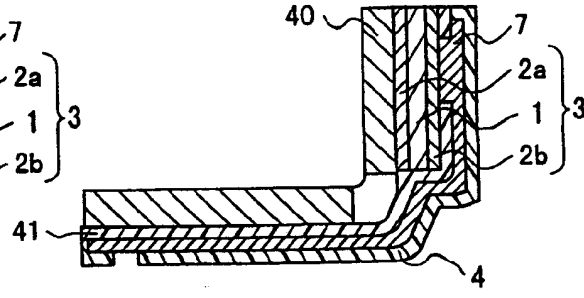


图 22D2

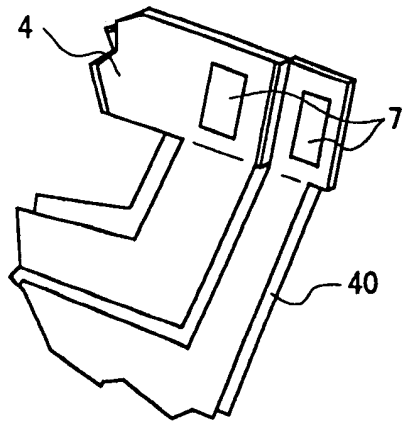


图 23A1

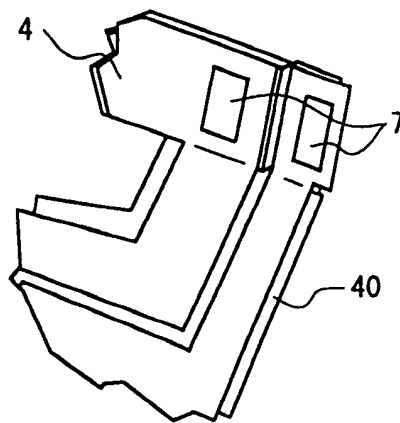


图 23B1

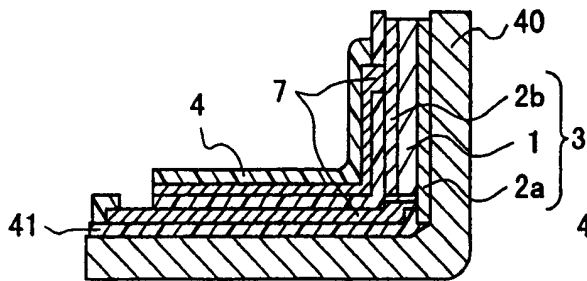


图 23A2

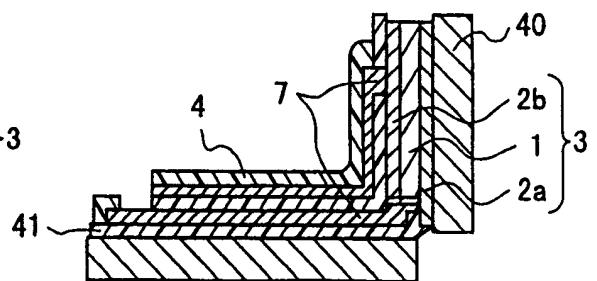


图 23B2

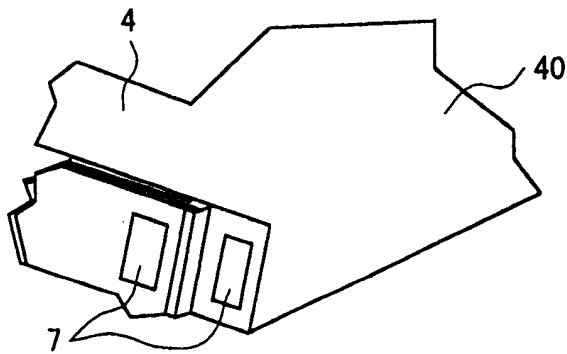


图 23C1

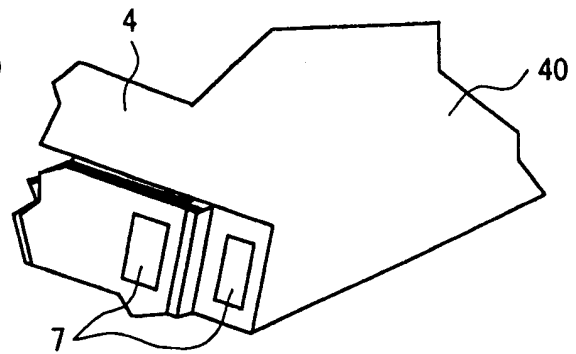


图 23D1

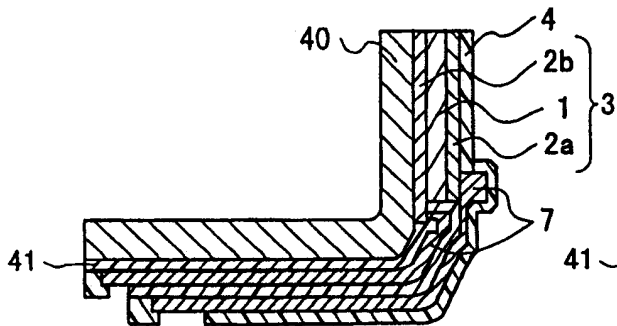


图 23C2

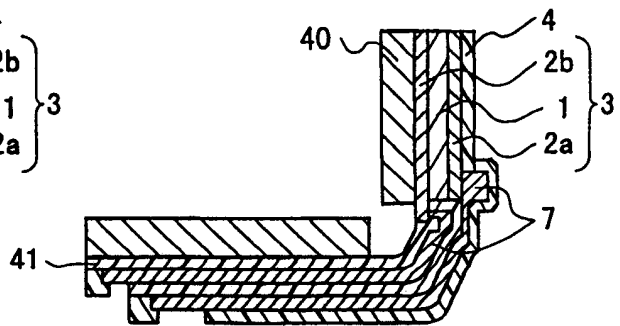


图 23D2

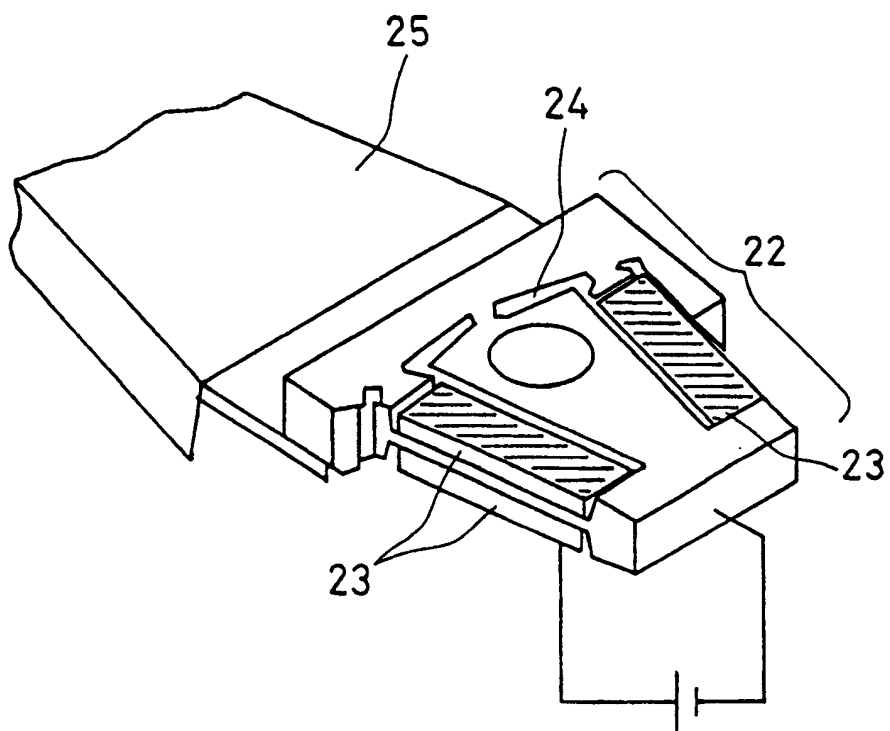


图 24 (现有技术)