

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01L 41/08 (2006.01)

B81B 7/00 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410063868.2

[45] 授权公告日 2008 年 12 月 31 日

[11] 授权公告号 CN 100448046C

[22] 申请日 2004. 7. 13

[21] 申请号 200410063868.2

[30] 优先权

[32] 2003. 7. 15 [33] US [31] 10/619,923

[73] 专利权人 新加坡科技研究局

地址 新加坡新加坡城

[72] 发明人 姚 奎 何旭江 张 健

桑迪拉让 - 山内格拉斐

[56] 参考文献

US 5962081 A 1999. 10. 5

US 6265750 B1 2001. 7. 24

US 6093579 A 2000. 7. 25

审查员 黄军容

[74] 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

代理人 蔡胜利

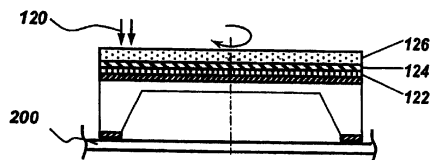
权利要求书 3 页 说明书 11 页 附图 7 页

[54] 发明名称

用于制造微加工装置压电薄膜的方法

[57] 摘要

一种用于制造 MEMS 装置的方法，包括提供一个基片，该基片具有一个背侧、一个与背侧相反的前侧和一个外周部分。预期的微结构形成在基片背侧。然后，基片被支承着旋转。一种前体溶液在旋转过程中被沉积在基片前侧，以形成薄膜层，在形成薄膜层的过程中，基片被支承并旋转，形成在背侧的微结构被保护着。



1. 一种用于制造微加工装置压电薄膜结构的方法，包括：  
提供基片；  
在基片的背侧形成微结构；  
在微结构形成之后，向基片的前侧沉积前体溶液并同时旋转基片，以便在该前侧上形成薄膜层；  
在旋转基片的过程中，前体溶液不接触微结构；  
通过退火使上述薄膜层结晶形成压电薄膜。
2. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：将基片的外周部分支靠在一个底板的上方，以便在所述微结构与底板之间形成间隙。
3. 如权利要求 2 所述的方法，其特征在于，通过将基片的外周部分支靠在一个从底板突出的脊上而形成所述位于微结构与底板之间的间隙。
4. 如权利要求 3 所述的方法，其特征在于，还包括：利用所述脊将基片的外周部分密封在底板上，以将所述微结构与前体溶液隔离。
5. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：围绕着基片的外周部分形成具有高于所述基片其它区域压力的高压力区，以防止前体溶液接触微结构。

6. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：在形成薄膜层之前，在基片上沉积一个中间层和一个第一电极层。

7. 如权利要求 6 所述的方法，其特征在于，还包括：在压电薄膜层的顶部沉积一个第二电极层。

8. 如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，还包括：蚀穿基片、中间层、第一电极层、压电薄膜层和第二电极层，以形成悬臂结构的微加工装置。

9. 如权利要求 7 所述的方法，其特征在于，还包括：蚀穿基片、中间层、第一电极层、压电薄膜层和第二电极层，以形成桥结构的微加工装置。

10. 如权利要求 1 所述的方法，其特征在于，

所述提供基片的步骤还包括：提供一个第一基片和一个第二基片，它们分别具有背侧、前侧和外周部分；

所述在基片的背侧形成微结构的步骤还包括：在所述第一和第二基片的背侧形成微结构；

所述方法还包括：将所述第一和第二基片相互结合，使它们的背侧彼此面对；

所述旋转基片的步骤还包括：支承所述相互结合的第一和第二基片，使它们旋转；

所述沉积前体溶液并旋转基片的步骤还包括：在第一基片的前侧沉积第一前体溶液；旋转相互结合的基片，以便在第一基片

的前侧形成第一薄膜；在第二基片的前侧沉积第二前体溶液；旋转所述相互结合的基片，以便在第二基片的前侧形成第二薄膜。

11. 如权利要求 10 所述的方法，其特征在于，支承所述相互结合的第一和第二基片的步骤还包括：将第一基片的外周部分支靠在一个底板的上方，以便在第一基片与底板之间形成间隙，并且暴露出第二基片的前侧以便将前体溶液沉积在其上。

12. 如权利要求 11 所述的方法，其特征在于，还包括：在薄膜形成于第二基片的前侧上后，将第二基片的外周部分支靠在底板的上方，以便在第二基片与底板之间形成间隙，并且暴露出第一基片的前侧以便将前体溶液沉积在其上。

13. 一种微加工装置，包括基片、形成在基片的第一侧上的微结构、形成在基片第二侧上的薄膜层，其中，所述微加工装置由如权利要求 1 所述的方法形成。

## 用于制造微加工装置压电薄膜的方法

### 技术领域

本发明涉及微加工装置的制造方法和设备。特别地讲，本发明涉及微机电系统装置中的压电型微结构的制造方法和设备。

### 背景技术

压电材料在各种微机电系统（MEMS）例如微传感器、微致动器、微泵、压喷墨打印头等中具有极大的应用潜力。在很多这样的 MEMS 装置中，压电材料例如压电薄膜形成在基片的一侧，而且包括多个凹坑的微结构形成在基片的相反侧。

在现有技术中，有一些方法用于形成压电薄膜，其中，溶液旋涂被广泛用于利用复合氧化物组分和压电聚合物来制备无机压电薄膜。同其它已被报告的薄膜相比，包含复合氧化物组分的无机压电薄膜具有最佳的压电性能。溶液旋涂工艺包括多重溶液旋涂，以及随后的多重热处理，例如溶胶—凝胶处理和金属有机物分解（MOD）；溶液旋涂工艺在获取高性能压电复合氧化物薄膜时具有精确组分控制和低成本等极大的优点。

在利用溶液旋涂工艺的压电 MEMS 装置传统制造方法中，压电薄膜首先沉积在基片的一侧，然后利用蚀刻工艺例如湿式蚀刻工艺在基片的相反侧形成预期的微结构。在蚀刻处理之前，形成在基片上的压电薄膜需要被临时保护，以防止高腐蚀性溶液接触和损坏压电薄膜。

现有技术中通常有两种方法用于在制造 MEMS 装置的过程中

在蚀刻处理时保护压电薄膜。一种方法是在蚀刻处理之前向压电薄膜上沉积一个厚的保护材料涂层，例如感光聚酰亚胺、蜡或类似物。另一种方法是在蚀刻处理之前利用保护夹具覆盖压电薄膜，以实现机械式保护。

这两种方法都具有缺点。在第一种方法中，如果涂层不是牢固地密封在压电薄膜上，则蚀刻剂可能会泄漏到涂层中并因此而损坏和 / 或污染压电薄膜。此外，由于涂层的形成时为了临时保护，在蚀刻处理之后，涂层需要被去除，因此，需要耗费时间、材料和人工，因而制造成本较高。此外，去除涂层时可能会导致压电薄膜的污染和损坏。在第二种方法中，保护夹具也会遇到潜在的泄漏问题，这可能是因保护夹具的任何不完美密封而导致的。此外，由于保护夹具需要机械式连接在压电薄膜或基片上，因此机械连接引起的应力可能会损坏基片。另外，这种工艺的生产率非常低。

因此，需要提供一种用于制造 MEMS 装置的压电薄膜结构的方法和设备，其中在制造过程中形成在基片上的压电薄膜被良好地保护，以防止被损坏和 / 或污染。与此同时，还需要提高微加工压电装置的产量和生产率。

## 发明内容

根据本发明的第一方面，提供了一种用于制造微加工装置薄膜结构的方法，该方法包括：提供一个基片，该基片具有一个背侧、一个与背侧相反的前侧和一个外周部分。预期的微结构被形成在基片的背侧。一种前体溶液被沉积在基片前侧上，基片被旋转，以便利用前体溶液形成薄膜层。在旋转基片的过程中，前体溶液不接触微结构；通过退火使上述薄膜层结晶形成压电薄膜。

优选地，将基片的外周部分支靠在一个底板上，在所述微结构与底板之间形成间隙，以使微结构不与底板接触。

优选地，该方法还包括将基片的外周部分支靠在一个从底板突出的脊上，以将微结构从底板上抬升。

在一个实施例中，该方法还包括利用所述脊将基片的外周部分密封在底板上，以将所述微结构与前体溶液隔离。

优选地，在基片的旋转过程中，围绕着基片的外周部分形成一个具有高于所述基片其它区域压力的高压力区，以进一步防止前体溶液接触微结构。

在一个实施例中，该方法还包括在两个基片的背侧分别形成微结构。两个基片被结合在一起，使它们的背侧彼此面对。然后，结合着的两个基片被支承并旋转，以首先将一个基片的前侧暴露出来，以便沉积一种前体溶液，从而可以形成一个薄膜层。接下来，另一个基片的前侧暴露出来，以便沉积一种前体溶液，从而可以形成一个薄膜层。这样，就形成了一种双侧微加工装置，其具有结合的基片，结合基片的内侧形成有微结构，两个薄膜层形成在外侧。

根据本发明的第二方面，提供了一种基片支承装置，其用于在溶液旋转沉积的过程中保护基片上的微结构。所述基片支承装置包括：一个可旋转的底板，其具有顶表面；一个支座，其连接着底板，用于接收基片以形成接触界面。接触界面将微结构与底板分开。基片支承装置还具有限位件，其连接着底板，以将基片紧固在底板上，从而可以利用底板旋转基片。在被支靠在底板上时，基片的微结构在薄膜形成过程中通过一个支座而相对于底板抬高。基片和底板形成接触界面，以便在薄膜形成过程中密封住微结构。

在一个实施例中，基片和底板形成一个围绕着接触界面的气隙，以便在底板的旋转过程中产生一个具有高于所述基片其它区域压力的高压力区。所述高压力区用于进一步防止基片背侧的微结构被溶液接触。

优选地，底板还包括一个锥形侧壁，其从气隙向外并向下延伸，以提供出从所述高压力区开始的空气动力学过渡结构。

在一个实施例中，支座包括一个台肩，其从底板的外周部分突出，用以接触基片，或者，支座包括一个垫片，其布置在基片与底板的外周部分之间，用以接触基片。

根据本发明，成功地消除了用于在 MEMS 装置制造过程中临时保护薄膜层的步骤，因此生产率和产量可以极大地提高，人工、材料等制造成本可以极大地降低。为了满足新工艺的要求，一种支承装置被研制出来，其可以用于有效地保护形成在基片上的微结构，从而可以获得高性能的 MEMS 装置。

## 附图说明

下面参照附图详细描述本发明的上述和其它方面以及各种优点。

图 1A 至 1H 是示出了根据本发明一个实施例的 MEMS 装置制造方法的局部剖视图；

图 2A 是示出了由根据本发明一个实施例的保持器保持着以形成压电薄膜的基片的俯视图；

图 2B 是图 2A 的 A-A 剖视图；

图 2C 是图 2B 的局部放大图；

图 3A 和 3B 是根据本发明形成的 MEMS 装置的例子剖视图



和透视图；

图 4A 是根据本发明另一实施例的用于形成压电薄膜的保持器的俯视图；

图 4B 是图 4A 的 A-A 剖视图；

图 4C 是图 4B 的局部放大图；

图 5A 是根据本发明另一实施例的用于形成压电薄膜的保持器的俯视图；

图 5B 是图 5A 的 A-A 剖视图；

图 6A 至 6D 是示出了根据本发明另一个实施例的 MEMS 装置制造方法的局部剖视图；

图 7 是用于形成图 6A 至 6D 中的根据本发明实施例的 MEMS 装置的支承结构的剖视图。

## 具体实施方式

如图 1A 至 1H 所示,根据本发明一个实施例的 MEMS 装置制造方法包括:首先,提供一个基片 110,其可以由任何适于其上形成预期 MEMS 装置的材料构成,例如半导体硅晶片。基片 110 具有一个背侧 110a,其上用于形成一个微结构,以及一个与背侧 110b 相反的前侧 110b,其上用于形成一个薄膜结构,例如压电薄膜。基片 110 被热氧化,即被加热到大约 1000℃至 1200℃的温度,从而在基片 110 的前侧 110b 和背侧 110a 分别形成大约 1.2 微米( $\mu\text{m}$ )厚度的氧化硅层,如图 1B 所示。

在下一步骤中,具有预定图案的光阻膜(未示出)通过光刻工艺形成在基片 110 的前侧 110b 和背侧 110a。利用氢氟酸和氟化铵水溶液处理氧化硅层,在氧化硅层中形成一个开口 114。

随后，光阻膜（未示出）被去除，基片 110 被浸没在可溶解基片的溶液（未示出）例如氢氧化钾水溶液中，以使基片 110 中的被开口 114 暴露出来的部分 110c 被蚀刻掉。在一个例子中，蚀刻速度为在 60℃ 下每小时大约 10  $\mu\text{m}$ 。通过控制蚀刻时间，基片 110 剩下的厚度 110d 被形成为大约 2  $\mu\text{m}$  至 60  $\mu\text{m}$ 。通过完成这一步骤，在基片 110 的背侧 110e 形成了多个凹坑 110e（图中仅示出了一个用于解释）。凹坑 110a 形成了预期的微结构，如图 1D 所示。

如图 1E 和 1F 所示，一个中间层 122 和一个第一电极层 124 通过溅镀而沉积在基片 110 的前侧 110b 上。在一个实施例中，中间层 122 由 Ti 构成，厚度为大约 50 nm，第一电极层 124 由 Pt 构成，厚度为大约 0.5  $\mu\text{m}$ 。

为了在基片 110 的前侧 110b 形成一个压电薄膜层，设有一个基片保持器 200，用于在随后通过旋涂工艺形成压电薄膜时支承基片 110。如图 2A、2B 和 2C 更详细所示，基片保持器 200 包括一个底板 210。底板 210 具有一个连接器 212，其形成在背侧，用以连接在一个旋转机器（未示出）上。在底板 210 的前侧，形成有一个支座 214，其从底板 210 的周边部分向上突出。支座 214 的尺寸 214a 与基片 110 的外周部分 110f 相对应，以将基片 110 接收在支座中。

在支靠在底板 210 上后，通过基片 110 的外周部分 110f 与支座 214 之间的接触，具有多个凹坑 110e 的微结构被保持在与底板 210 相隔。通过这种结构，在强度和刚度上同外周部分 110f 相比向对较弱的微结构 110e 在随后的压电薄膜形成步骤中不与底板 210 接触。

限位件例如与底板 210 相连的三个销钉 216a、216b 和 216c 被设置成围绕着基片 110，如图 2A 和 2B 所示。其中两个销钉 216a、

216b 沿着基片 110 的外周边缘布置，第三个销钉 216c 被安置成与基片 110 的周边切除部接合。在被销钉 216a、216b 和 216c 限定后，可以防止基片 110 和底板 210 之间的相对横向和旋转运动，此后，底板 210 的旋转可以传递到基片 110 上，以使基片 110 随着底板 210 的旋转而旋转。

在下面的步骤中，如图 1G 所示，一种压电薄膜前体溶液 120 被施加在基片 110 的前侧 110b 上，基片 110 被底板 210 带动着旋转，从而可以在第一电极层 124 的顶部形成压电薄膜。前体溶液中含有用于形成压电薄膜的组成成分，其中主要成分优选为锆钛酸铅（Pb-Zr-Ti 或 PZT）。在一个实施例中，压电薄膜的厚度为大约 0.5 至 20  $\mu\text{m}$ ，并且具有变晶相边界（MPB）周围的组分，例如  $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ ，其具有大约 10—20 原子量%的过量 PbO。下面介绍制备压电薄膜的细节。

可以理解，在图 1G 所示的步骤中，可以采用这样的顺序，即基片 110 首先旋转，然后向基片上施加前体溶液 120，以便在旋转过程中在基片上形成压电薄膜。

由三水合乙酸铅（ $\text{Pb}[\text{CH}_3\text{COO}]_2$ ）、丙醇锆（ $\text{Zr}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$ ）和异丙醇钛（ $\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$ ）制备出原子量比 Pb: Zr: Ti=1: 0.52: 0.48 的压电薄膜前体。乙二醇甲醚（ $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ）被用作溶剂溶液的浓度为 0.4 M。30%重量的聚乙二醇被添加到溶液中。

在本实施例中，压电薄膜前体溶液 120 施加在第一电极层 124 的顶部，基片 110 以大约 4500 rpm 的速度旋转 30 秒钟。前体溶液在基片上形成一个湿膜，并且在 110°C 的温度干燥 2 分钟，然后在 410°C 的温度进行 10 分钟的热解处理。前体溶液的上述施加、干燥和热解处理重复进行三次，如此形成的薄膜以 560°C 的温度加热

20 分钟。此外，前体溶液的上述施加、干燥、热解处理和薄膜加热处理可以重复进行两次，最终的薄膜以 700℃ 的温度进行 5 分钟的退火处理，以获得厚度为大约 1.5  $\mu\text{m}$  的结晶压电薄膜 126。

在图 1H 所示的下一步骤中，一个第二电极层例如厚度为大约 0.2 至 0.3  $\mu\text{m}$  的金层 128 通过溅镀而沉积在压电薄膜 126 的顶部。金层 128 通过光刻而形成两个双侧对准部的图案，以确保对准形成在基片背侧的微结构；然后，利用碘的水溶液和碘化钾水溶液进行蚀刻处理。压电薄膜 126 利用例如  $\text{HNO}_3$  和 HF 酸溶液而蚀刻出图案。

为了评估根据上述方法形成的 MEMS 装置的性能，向压电薄膜施加一个 180 kV/cm 的电场。实验表明，压电薄膜被有效地极化并呈现出压电特性。一种尺寸为 4.2 mm $\times$ 1.35 mm $\times$ 0.06 mm 的变型样品 MEMS 装置被激光振动计。在施加了 5 V、2 kHz 电信号的情况下，PZT 薄膜的振动幅值为大约 24 nm。

在利用前述本发明的方法形成的典型 MEMS 装置的基础上，可以通过添加附加制造步骤而获得各种特殊类型的 MEMS 装置。在图 3A 所示的一个例子中，一种压电悬臂结构装置 350 可以通过下述薄膜结构蚀穿处理而形成。蚀穿处理包括以下步骤：利用碘和碘化钾溶液蚀刻顶部电极金层 358，利用  $\text{HNO}_3$  和 HF 酸溶液蚀刻压电薄膜 356，以及利用氩离子研磨工艺蚀刻底部电极 354 及其中间层。采用  $\text{CF}_4$  和  $\text{HBr}/\text{Cl}_2$  的反应离子蚀刻工艺被用于分别蚀穿  $\text{SiO}_2$  层和薄硅基片。所有上述蚀刻处理均沿薄膜结构的三侧 351（只有一侧被示出），在这些蚀刻处理完成之后，可以获得悬臂结构装置 350。

如图 3B 中所示，另一种类型的 MEMS 装置即压电桥结构装置 360 可以如此形成，即通过前述薄膜结构蚀穿处理分别蚀穿顶

部电极层 368、压电薄膜层 366、底部电极层 364 及其中间层、SiO<sub>2</sub> 层和薄硅基片。除了沿三侧蚀穿薄膜结构以外，所有上述蚀穿步骤均沿薄膜结构的两侧 361 进行。在这些蚀刻处理之后，可以获得桥结构装置 360。

图 4A、4B 和 4C 示出了根据本发明另一实施例的保持器 400，其用于支承基片，以形成压电薄膜。保持器 400 包括一个底板 410 和一个连接器 412，该连接器形成在底板 410 的背侧，用以连接在一个机器或驱动装置（未示出）上以便旋转。一个脊 414 被成形为从底板 410 的前侧向外突出。或者，所述脊可以采用布置在基片与底板之间的垫片的形式，以实现相同的目的。

在使用时，一个形成有微结构的基片 110 支靠在脊或垫片 414 上，其中所述微结构面对着基板 410。由于被脊或垫片 414 抬高，微结构被安置在与底板 410 相隔的位置。通过这种构造，微结构在随后的压电薄膜形成步骤中被保护起来。微结构在薄膜形成过程中被损坏和 / 或污染的危险得以减小或避免。三个保持销 416a、416b 和 416c 被设置成与基片 110 的外周边缘相接合，以防止基片 110 与底板 410 相对于对方旋转。

一个气隙 420 形成在基片 110 的外周部分与底板 410 的前侧之间。底板 410 的顶表面毗邻基片 110 的外周部分设有一个光滑的空气动力学过渡部分 411 和一个延伸的锥形壁 430。在底板 410 和基片 110 旋转时，比周围区域高的气压形成在间隙 420 中。这样，可以进一步防止压电薄膜形成时所使用的液体溶液接触、损坏和 / 或污染微结构。

图 5A 和 5B 示出了根据本发明另一实施例的保持器 500，其用于支承基片，以形成压电薄膜。保持器 500 具有一个底板 510，该底板的前侧结构类似于图 2A、2B 或 4A、4B 中所示的结构，用

以接收和支承一个基片。底板 510 具有一个平坦背侧 512。一个传统的真空旋转卡盘 50 可以通过所述平坦背侧 512 而附着在底板 510 上。真空旋转卡盘 50 携带着保持器 500 和基片旋转，以形成压电薄膜层。

图 6A-6D 示出了根据本发明另一实施例的 MEMS 装置制造方法 600。首先，提供两个基片 610 和 620，每个基片分别具有相应的背侧 612、622 和相应的前侧 614、624。微结构 612a 和 622a 分别形成在相应基片的背侧 612 和 622 上（图 6A）。所有氧化硅层可以利用 HF 酸脱除，基片通过化学机械抛光（CMP）工艺而被抛光，以提高表面精细度（图 6B）。

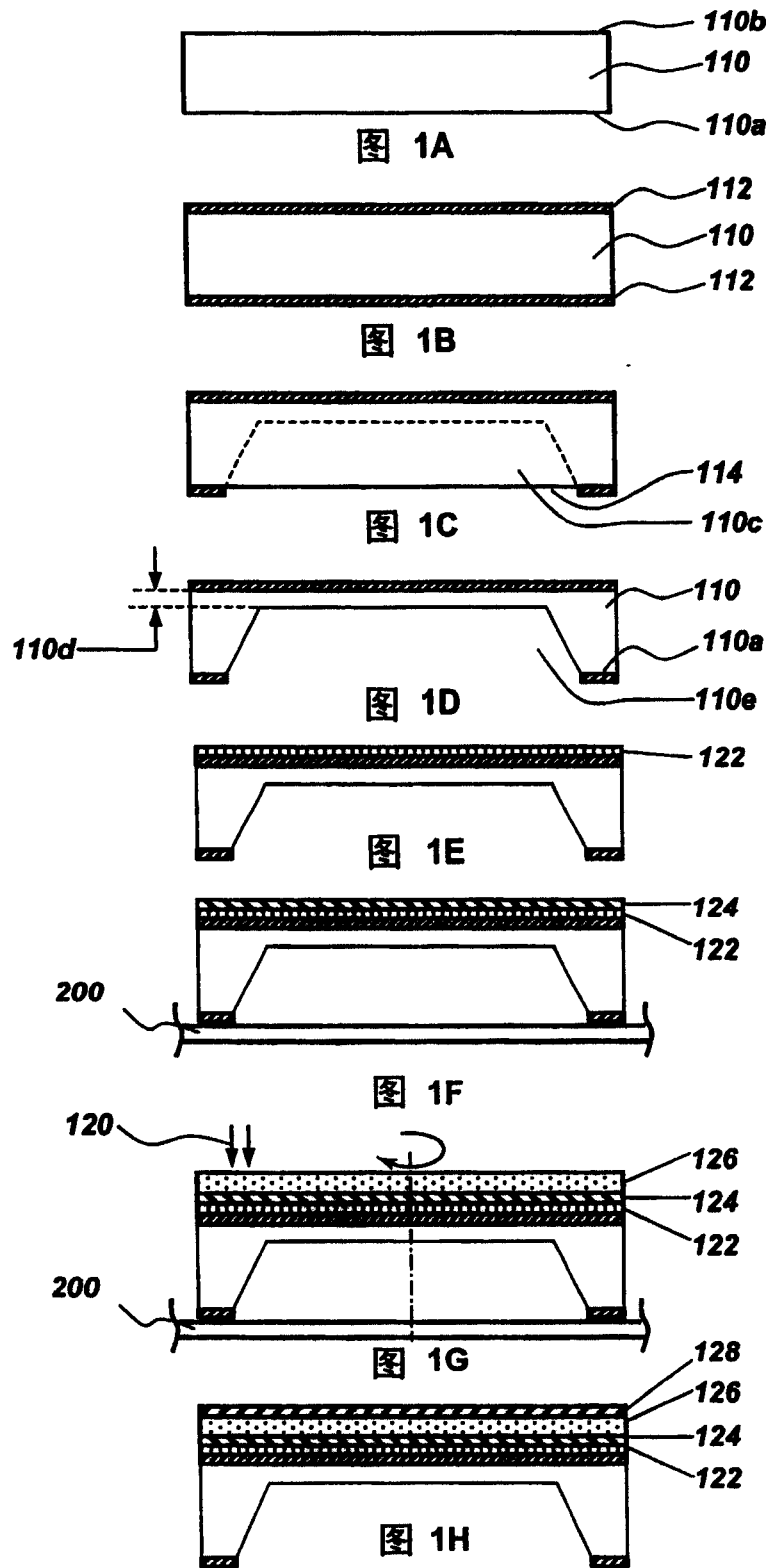
接下来，两个基片 610 和 620 被结合在一起，使它们的背侧 612 和 622 彼此面对（图 6C）。可以利用硅-硅熔结工艺来将两个基片结合在一起，该工艺需要在大约 1050℃ 的温度下进行 4 个小时。这样，可以获得一个结合基片结构。在本实施例中，两个基片被结合在一起，它们可以承受比随后薄膜形成工艺中所用温度更高的温度。

然后，相应的 SiO<sub>2</sub> 层 615、625、中间层 616、626 和第一电极层 617、627 形成在第一基片 610 和第二基片 620 的相应前侧 614 和 624 上。所述 SiO<sub>2</sub> 层是通过等离子体加强的化学蒸镀（PECVD）工艺沉积的，中间层和第一电极层是通过溅镀沉积的（图 6D）。结合的第一和第二基片随后被支承并旋转，从而在第一电极层 617、627 的顶部形成相应的压电薄膜。前面参照图 1A-1H 所描述的干燥、退火等类似处理可以被进行。由此可以获得结晶的压电薄膜 618 和 628。同样，第二电极 619 和 629 形成在相应压电薄膜 618 和 628 的顶部，从而获得双侧压电微加工装置。在完成后，双侧装置包括结合的基片，空腔形成在基片中。形成在每侧的压

电薄膜可以彼此独立地控制。

为了形成相应的压电薄膜 618 和 628，前面参照图 2A、2B、4A、4B、5A 和 5B 描述的保持器可以被用来支承和旋转基片。在图 7 所示的一个实施例中，第一基片 610 可以首先被支承，使其前侧 614 面对着保持器 690，从而将第二基片 620 的前侧暴露出来，以便在旋转过程中利用前体溶液 680 沉积压电薄膜 628。然后，第二基片 620 被支承，使其前侧 624 面对着保持器，从而将第一基片 610 的前侧暴露出来，以便在旋转过程中利用前体溶液 680 沉积压电薄膜 618。

尽管前面结合附图和详细说明而描述了本发明的优选实施例，但可以理解，本发明并不局限于这里公开的实施例，在不脱离权利要求书中提出和限定的本发明精神的前提下，可以作出各种重新布置、改型、替代和置换。





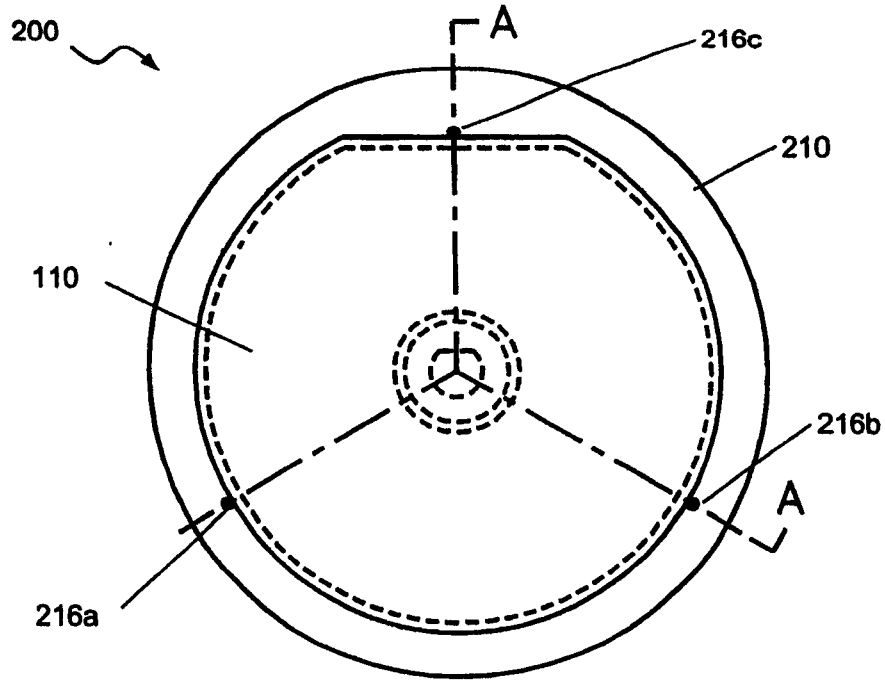
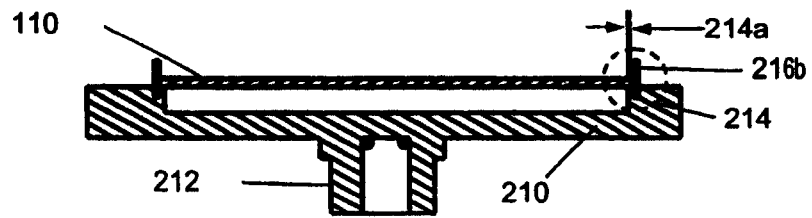


图 2A



A - A

图 2B

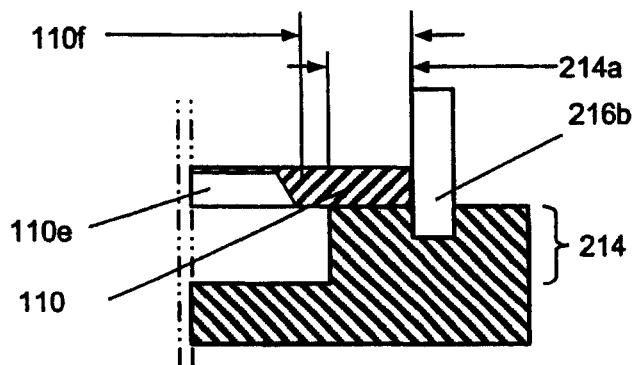


图 2C

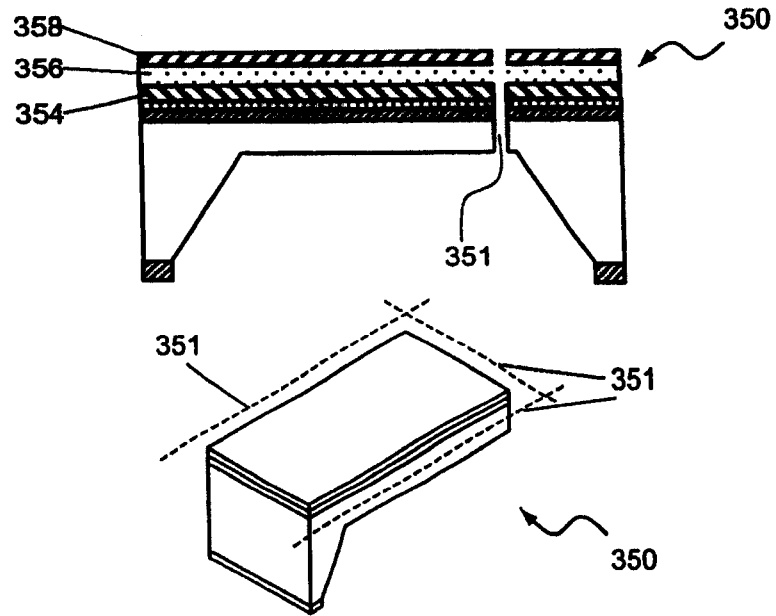


图 3A

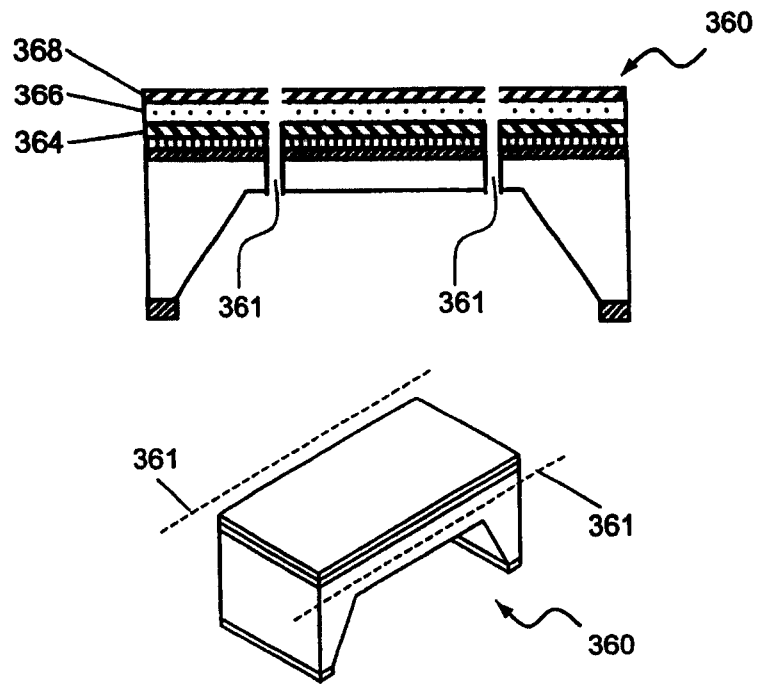
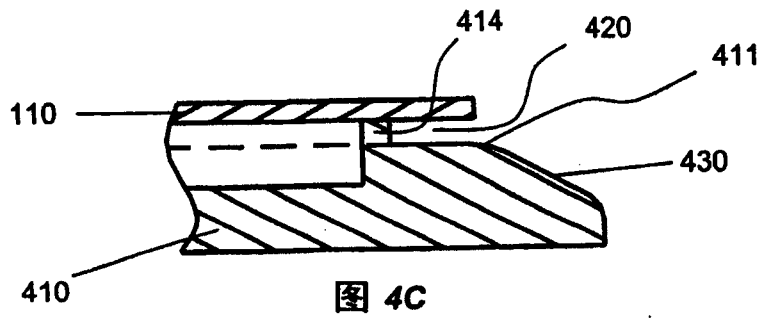
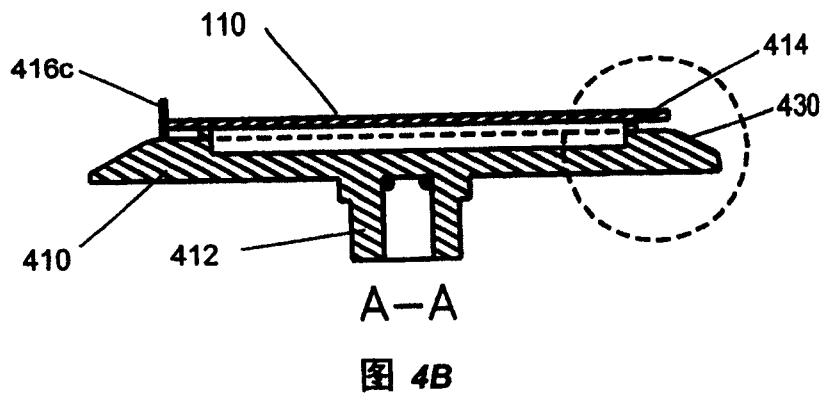
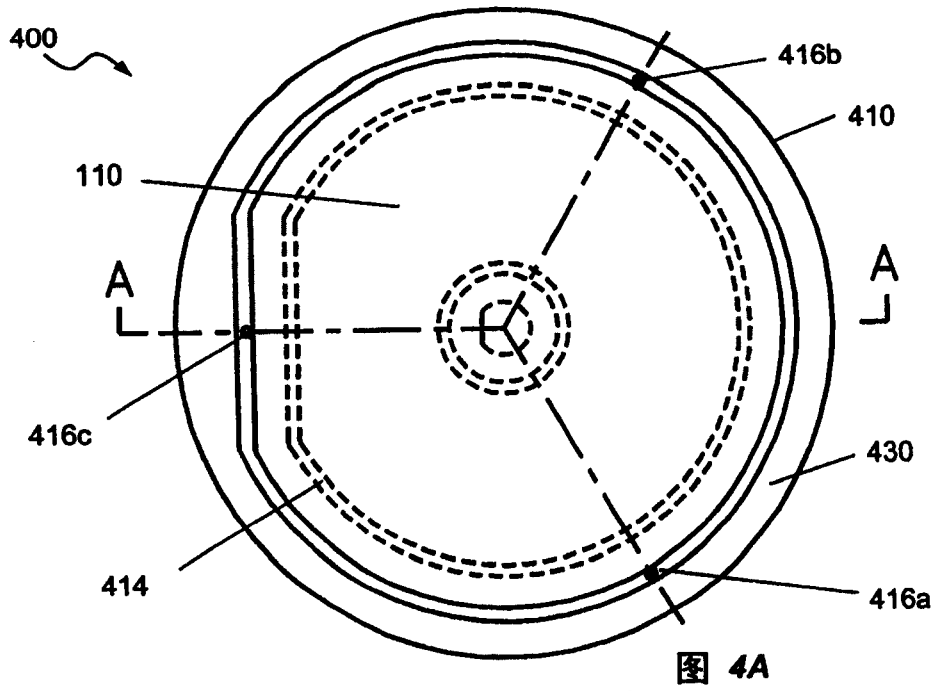


图 3B



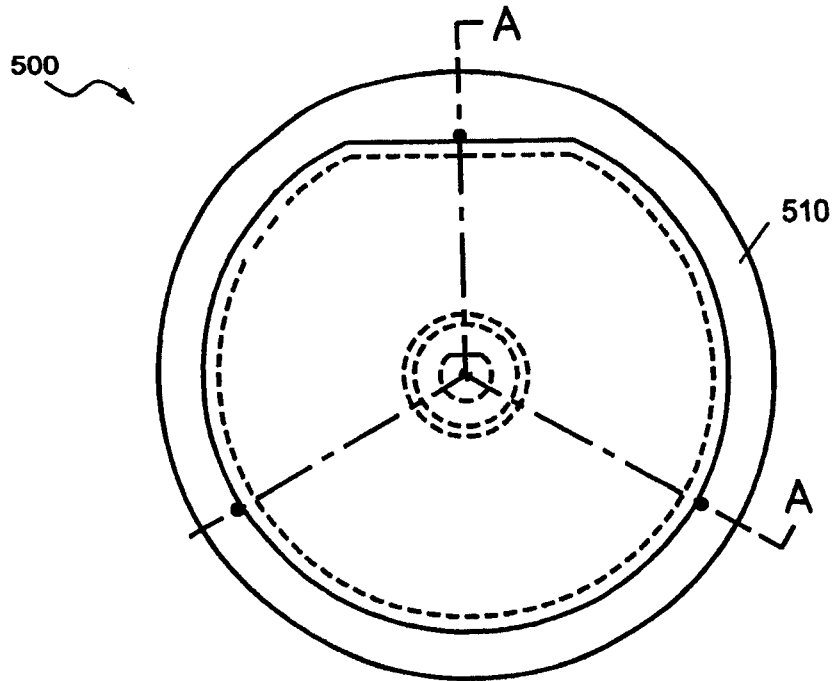
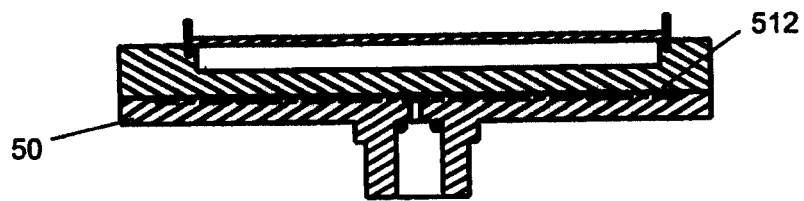
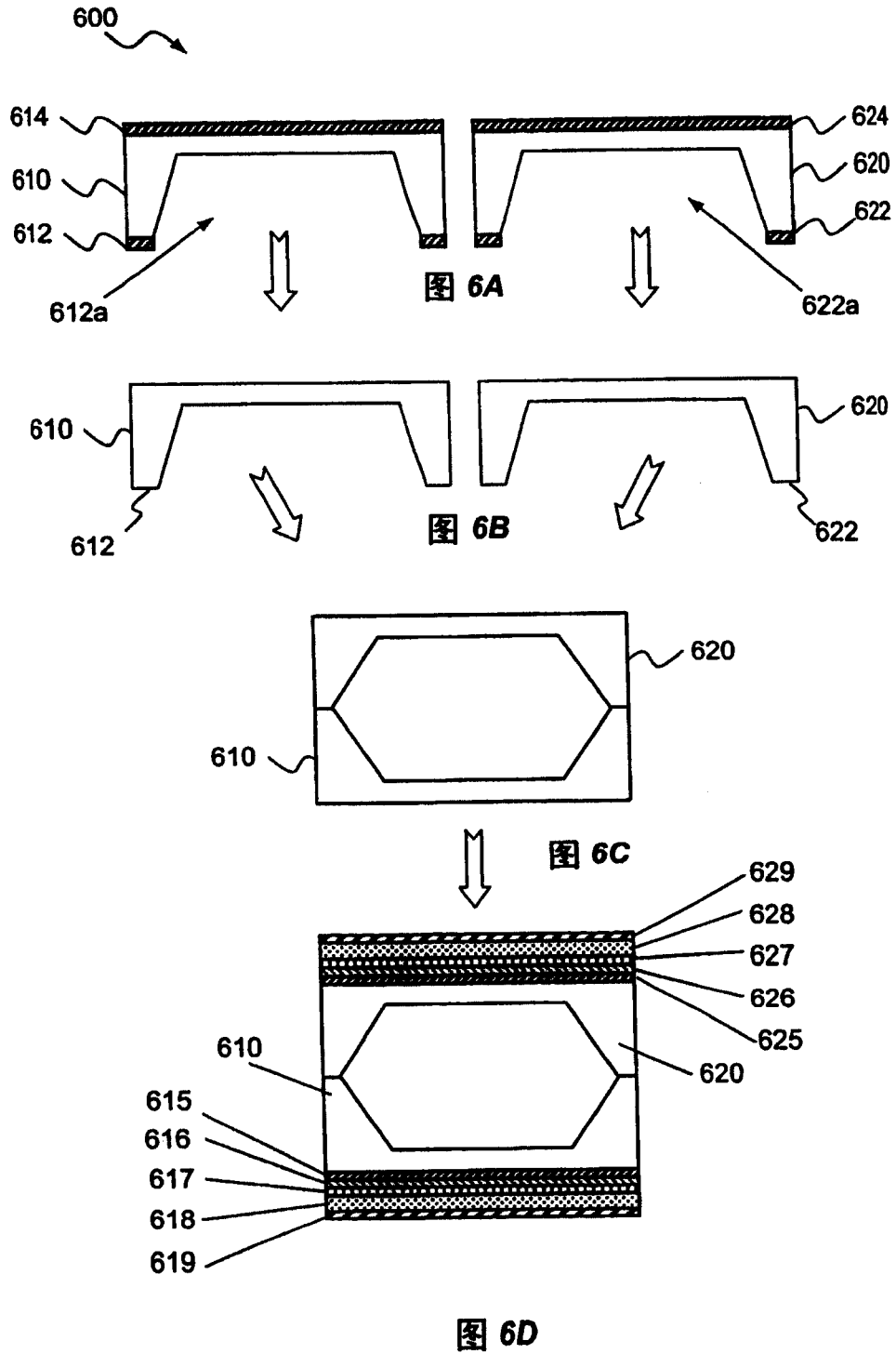


图 5A



A-A

图 5B



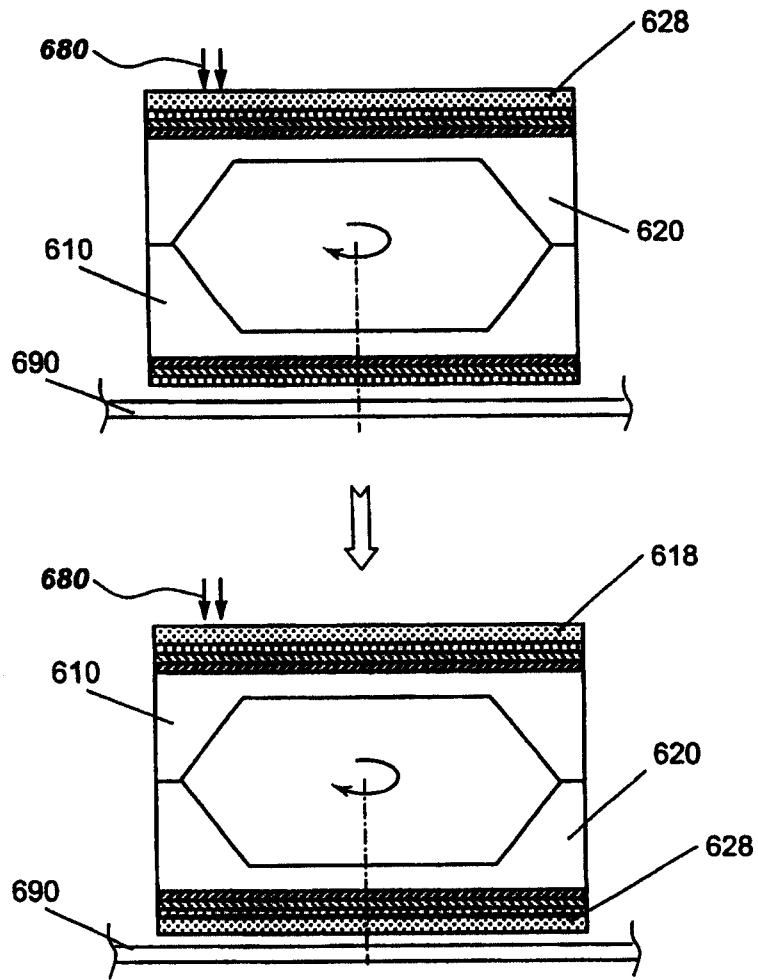


图 7