



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02823578.9

[43] 公开日 2005 年 3 月 16 日

[11] 公开号 CN 1596480A

[22] 申请日 2002.9.26 [21] 申请号 02823578.9

[30] 优先权

[32] 2001.9.27 [33] GB [31] 0123294.1

[86] 国际申请 PCT/GB2002/004370 2002.9.26

[87] 国际公布 WO2003/028122 英 2003.4.3

[85] 进入国家阶段日期 2004.5.27

[71] 申请人 1...有限公司

地址 英国剑桥

[72] 发明人 R·托普利斯 D·利文斯通

A·马特森 G·麦克维特

M·R·舍菲尔德 A·霍利

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

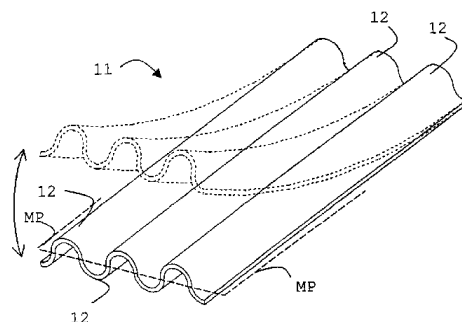
代理人 崔幼平

权利要求书 2 页 说明书 15 页 附图 8 页

[54] 发明名称 压电结构

[57] 摘要

一种在名义上的中间面的两侧空间隔离的相等物, 该中间面是双压电晶片所固有的(一个压电层在一侧, 另一个压电层在另一侧), 通过将简单的单压电层 11 进行结构成形的方法形成, 致使它有多个布置在中间面两侧的两个常规平面组中的压电部分, 因此任何发生在中间面的一侧的某部分的尺寸变化都会倾向于弯曲整个装置, 在中间面的另一侧的对应部分都会发生同样程度的反方向上的尺寸变化。该简单的单压电层就好像是一个双压电晶片一样起作用, 如果是长束带状的, 就沿着它的长度方向弯曲, 一端相对于另一端向上/下, 向后/前移动, 但没有任何有关内部电极的必要。



- 1、一种压电装置，该装置的主体是一单层压电材料。该材料成形为具有多个分隔的独特压电部分，这些部分以两个通常的平面组设置，这两个平面组在名义中间面的每一侧设置一组，并沿着此名义中间面延伸通过整个主体，该两个组因此被该中间面从空间上分开，并且横过此中间面彼此相对，结果是中间面的一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会趋于垂直于该中间面在与在该中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分的尺寸变化的相反方向上弯曲装置。
- 2、如权利要求1所述的装置，其特征在于，该装置的整体形状是长形体，该长形体沿横过其长度方向上成形，以形成所述分隔的不同的沿主体延伸的压电部分组。
- 3、如前述权利要求中任一项所述的装置，其特征在于，压电材料为陶瓷材料。
- 4、如前述权利要求中任一项所述的装置，其特征在于，单层的主体是波纹板材。
- 5、如权利要求4所述的装置，其特征在于，波纹板材通常为平面状。
- 6、如权利要求4或5所述的装置，其特征在于，波纹板材沿其整个长度方向形成均匀的波纹。
- 7、如权利要求4到6中任一项所述的装置，其特征在于，波纹的形状是正弦波形的或是半圆形的。
- 8、如权利要求4到7中任一项所述的装置，其特征在于，所述波纹沿主体的中部处发生倒转。
- 9、如权利要求1到8中任一项所述的装置，其特征在于，主体成形为（部分）圆环形或盘形，而且该形状被制成波纹以使波纹直线穿过主体，并因此是径向的，或者与理论半径成一定角度，而且该形状是直的或是略微弯曲成弧形。
- 10、一种压电装置，该装置是通常的平面单层弧形带状主体，该主体整体上具有开口的环形，该主体实际上沿其弧形长度方向上被成形，从而具有延伸横过带状件的波纹，这些波纹形成分隔的独特的压电部分组，这些组沿一名义上的中间面延伸通过整个主体并设

置在该中间面的每一侧，因此这些组被该中间面从空间上分隔，而且穿过中间面彼此相对，结果是中间面的一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会趋于垂直于中间面横过其长度在与在该中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分尺寸变化相反的方向上弯曲装置。

- 5 11、如前述权利要求中任一项所述的装置，其特征在于，所述波纹围绕垂直于中间面的中线均匀对称地设置。
- 12、如前述权利要求中任一项所述的装置，其特征在于，所述中间面与装置的中间轴平面共面。
- 10 13、如前述权利要求中任一项所述的装置，其特征在于，所述波纹不平行，波纹的节距与装置的最小平面内尺寸相比相对更小。
- 14、多个如前述权利要求中任一项所述的成形为一个堆叠体的装置。

压电结构

技术领域

- 5 本发明涉及新颖的展现“弯片式压电换能器(bender)”效应的压电结构，尤其涉及弯片式压电换能器的结构，该弯片式压电换能器是一种单活性层的，而不是通常的组合式压电晶片(或组合式压电晶片)或双压电晶片的双层型的。

10 背景技术

- 许多天然晶体材料例如石英展现出压电性能 - 即当这种材料的元件被挤压时，它将在其相关的相对面上产生明显的电性能。一个典型的例子是一些燃气打火机或香烟打火机中的火花发生器。其相对效应也是众所周知的；如果这种材料的元件被按一合适的方向放入一电场中，那么它将会产生非常略微的尺寸变化（按照电场方向膨胀或收缩，通常看到的是变长或缩短）。这种效应的一个典型例子是用于医学人体扫描装置中的超声波发生器。对于形状变化的压电装置，例如这种只用一件或一层压电材料的压电装置，其形状变化的范围通常非常小 - 可能不超过 0.01mm(10 微米)。

- 20 很多兴趣显现在用压电材料构造各种用于机械设备的致动器方面，其范围包括从扬声器致动器到相机棱镜聚焦系统，从电动牙刷到计算机光盘致动头定位器，以及从飞行器机翼除冰装置到气阀控制器。许多，甚至绝大部分，这种致动器都采取“弯片式压电换能器”装置的形式 - 或者是一压电材料的薄平面伸长层（象一块板条）和一个类似但惰性的层相面对面地结合在一起以形成一各带有激活电极的束带状装置（beam）（或组合式压电晶片或者单态变体），或者是两层这种类似地结合在一起的相同压电材料的组合（或双压电晶片或者双态变体），并且在每一个外侧面上和两个结合面之间都具有电极的压电材料层。

- 30 在生产过程中，这种装置被极化 - 即，该压电材料层被放入一个很高的电场中。然后，在使用中通过电极来给压电层施加电场，致使压电层膨胀/伸长（或收缩/缩短，取决于电场相对于极化方向的

极性)。当这样一个双压电晶片装置被激活时(通过使用电极给每一层施加一电场的方式,两个电场相对于激化方向呈现相反的极性),一层膨胀/伸长而另外一层则收缩/缩短。在每一种情况下,由于装置的接合层面(中间面)两侧的两个层面的空间分隔,致使组合物发生弯曲(在一长形束状装置中一个尾端相对于另一尾端向上或向下,或向前或向后移动)-这种弯曲可以提供移动或动力进而执行一些相关联的机构。这种双层形变弯片式压电换能器能提供较大幅度的运动,不过最好的弯曲也只能被限制在毫米左右的范围内。

10 弯片式压电换能器,尤其是双压电晶片弯片式压电换能器,在很多情形下都能很好地应用,但是由于其必需带有并连接中央电极的需要,使得它们并不能向想象的那样容易制作和使用。

US-3816774 中描述了已知的弯片式压电换能器和致动器的例子,其中还描述了多种常用的双压电晶片型结构。单层弯曲结构则在 US-4028556; US-4284921 和 US-5633554 和 WO-99/05778 中进行了描述。各种形状的复合压电传感器在 US-4056742 和 US-4284291 中进行了描述。

能够去掉双压电晶片弯片式压电换能器的中央电极将是一个很好的优势,并因此实际上能取得一相对简单的单层装置。不幸的是,迄今为止,还没有可能用单压电层装置来取得那种用双压电晶片甚至组合晶片能取得的比较大的形变运动量。

发明内容

25 本发明克服了上述限制,并提供了一种只具有单层压电材料的装置,该装置在激活时产生了类似弯片式压电换能器的运动,该弯曲运动与迄今为止只有通过双压电晶片或组合式压电晶片取得的运动相当。这是通过这样的实际构造来实现的,即通过成形-单压电层,以使其有效地具有可单独致动的部分,就象双压电晶片弯片式压电换能器。

30 更特别的是,本发明提出通过结构成形一个简单的单压电层的截面能获得一等效装置,该等效装置在一个名义上的中间面的两侧(一个压电层在一侧,而另一个压电层在另一侧)被从空间上分隔,该

中间面是双压电晶片所固有的，因此它有多个布置在中间面两侧的两个通常平面组中的压电部分，因此在中间面的一侧的一部分经历的尺寸变化都会倾向于在与在中间面的另一侧的一部分经历的同样程度的尺寸变化的相反方向上弯曲整个装置。因此，如果中间面的一侧的组中的每一个压电层部分都膨胀/伸长，那么整个装置将会随着外侧上的组变得凸起；如果中间面的另一侧的组中的每一个压电层部分都膨胀/伸长，那么整个装置将会随着外侧上的组变得凸起。而且，如果其中一个组中的每一个压电部分在一侧膨胀/伸长，而另一侧的组中的每一个压电部分收缩/缩短，那么弯曲就明显地得到加强。在每一种情况下，简单的单层都好象是一个双压电晶片一样起作用 - 如果是长条状的，就沿着它的长度方向弯曲，一端相对于另一端向上/下，向后/前移动 - 但不需要中间内部电极。

因此，一方面本发明提供了一种压电装置，该装置的主体是一简单的单层压电材料，该材料被机械成形使得其具有多个分隔的不同的压电部分，该部分设置在两个通常的平面组中，该组在一个名义上的中间面的一侧设置一个，并沿着该中间面延伸通过整个主体，该组因此被从空间上分隔，并且穿过中间面彼此相对，同时具有这种结果，即中间面的一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会倾向于垂直于该中间面在与在中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分尺寸变化的相反的方向上弯曲装置。

虽然，如后面将做的更详细的描述，该装置可以具有任何整体形状，但一个优选的这种形状是一个长条形，象一条束带。该带状件可以在近端固定，而在远端可以自由移动。但是，带状件能够用一弯曲的中间截面使其在两端都能得到支持。因此本发明提供了一种压电装置，该装置是一简单的单层长形体，该长形体实际在横过其长度成形，以形成分隔的，不同的压电区域组，这些组沿主体延伸，并且设置在名义上的中间面的两侧并贯穿整个主体，这些组因而被该中间面从空间上分开，并且穿过中间面彼此相对，同时具有这种结果，即中间面的一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会倾向于垂直于该中间面并沿与在中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分的尺寸变化的相反的方向上弯曲整个装置。

本发明提供了一个简单的单层压电装置 - 这一点意味着该装置

只有一层，而且这一层是用压电材料制作的。这和组合式压电晶片装置不同，在组合式压电晶片装置中，可能也只有一层压电材料，但其中还有一惰性层。如前所述，本发明包括这样的装置，该装置由多个分隔的成形为堆叠的简单的单层装置组成。其区别就象一块三明治和一盒卡片之间的区别一样，在该三明治中尽管有两层面包加一层填充物，但是该组合还是做成了一个概念上不能分割的整体，而在一盒卡片中则有很多独立的卡片，这些卡片一个接一个地堆叠，但是它们还是保持独立分开的。

所用的压电材料可以是任何合适的种类；因为在其“未制成的”状态下容易成形为所想要的结构而被优选，典型的一种是压电陶瓷材料，比如 PZT（铅、锆、钛，可得到其烧结粉末，该粉末能与黏合剂混合并形成浆糊，然后通过例如轧制，挤压的方法成形，然后烘干[以去除黏合剂]，然后再烧结[类似烧结黏土，用以增加密度和固定形状]，然后再进行极化[设置其压电性能]）。另一种可能的压电材料是聚合体例如 PVDF（聚偏氟乙烯）。

本发明的装置可以采取任何合适的形状，尽管前面已经提到一个优选的形状是长形体——也就是说，很象一卷带或界尺，其长度明显大于宽度（大多数双压电晶片也是这样）。就最主要的部分而言，主体是适当的卷带形状，虽然卷带可以自行弯曲成其它形状。但是，如在相关的附图中所看到的一样（后面会进一步讨论），该长形体不必象卷带一样是直的，而是可以弯曲；不必象卷带一样是侧壁平行的，而可以（例如）是三角形的；而且不必象卷带一样是长而薄的，而可以是盘状的（尽管盘形体，用于本发明目的，可以看作是肩并肩地在固定排列在一个圆内的大量三角形的“径向”部件）。

本发明的单层装置的主体是物理成形的——如果主体有一大于宽度的长度，那么这种形状不必在主体的长度方向上延伸穿过主体——用以形成分隔的，不同的压电部分，该压电部分设置于两个通常的平面组中，该两个组各设置在名义上的中间面的两侧，贯穿整个主体（“常规平面”的意思是，各个组中的独立部分可以不是平面或设置为共面，而是组作为一个整体在一个平面上延伸）。有许多种可能的“形状”能用来将主体分割成分隔的，不同的组部分（其中一些形状将会在后面结合附图一起讨论），可能最好理解的形状——

在后面的发明中最好理解的概念—是一简单的波纹板材（有时用于建筑物的预制造中）。

这种主体是一种长形体—其长度大于宽度—该长形体通常是平面的，但是已经在整个长度上统一地制成了贯穿整个宽度的波纹（也就是说，波纹线在主体的整个长度上伸展）—即，在一个方向上贯穿其长度。穿过其全长的主体横截面将反映出波纹的形状（在通常的波纹铁板中，这些波纹通常是正弦波形的或者是半圆形的，二者都可）。中心线沿着从板材的一侧向另一侧延伸，并因此形成了板材的中间面；波纹的一半在该中间面的一侧—顶部，另外一半在中间面的另一侧—底部。由顶峰表示的板材部分（在顶部侧）因此设置为通常的平面组，该组与由凹谷表示的类似的常规平面组部分（在底部侧）在空间上互相分开，互相不同，但是彼此相对。

如果，在这样一个波纹主体中，所有的顶峰部分（在顶部组中）都发生膨胀，上部侧的主体尺寸（尤其是其长度）会增加，主体将会从此上部侧以垂直于中间面的方向向下弯曲—它将会变得凸起，其上侧面构成外侧面。如果，反过来，所有的凹谷部分（在底部组中）发生膨胀，则下部的主体尺寸会增加，主体将会向上弯曲，垂直于中间面，离开下侧面—它将会变得凸起，其下侧面构成其外侧面。

如果，选择地，所有的顶峰部分（在顶部组中）都发生收缩，那么上部的主体尺寸（尤其是其长度）会减小，主体将会朝上侧弯曲—它将会变得凸起，其上侧面构成内侧面。如果，反过来，所有的凹谷部分（在底部组中）发生收缩，则下部的主体尺寸会减小，主体将会朝下侧面弯曲—它将会变得凸起，其下侧面构成其内侧面。

容易理解的是在顶峰部分（顶部组）膨胀，凹谷部分（底部组）收缩的情况下，主体将显现出一紧固性更强的更有力量的向下弯曲。

因此，主体是物理成形的，优选为贯穿整个长度（在横截面中），进而在贯穿整个主体的中间面的两侧的平面组中形成分隔的，不同的压电部分。最简单的形状可能是 V 形，其中间面从一臂的中线到另一臂的中线延伸穿过两臂，致使两个自由尖端/边缘端在一侧，而尖角部分在另一侧。在这种情况下，两自由端部位于其中一个组内，

而尖角部分则位于另一组内（而且可以看到，这两个组可以描述为两个平面，两者穿过中间面彼此相对）。下一个最简单的形状可能是U形—象一个膨胀的V形—“U”的双臂轻轻地向外扩展；中间面将其水平分切为两部分，顶部和底部，两只臂成了中间面一侧组中的部分，基底部分则成了中间面另一侧组中的部分。

在V形和U形形装置中都有三个不同的压电部分，两个在顶部组中，一个在底部组中。

在这些简单的形状之后，还有一个前面所讨论的平面波纹板材和一个在此平面波纹板材基础上的变型体，该平面波纹板材可看作是大量“U”肩并肩地排在一起，在该变型体中波纹是方形的而不是曲线形的。另外一种变型体是波纹在主体中段处整个反向形成，致使顶峰变成凹谷，而凹谷变成顶峰。如后面将要讨论的，这样一个激活态下的主体沿着其长度方向上弯曲成“S”形，在相同的激励条件下这两半会按相反的方式作出反应。

一个更重要的在前面提及过的形状是（部分）环形，类似卷带形状的主体绕着其自己的平面弯曲，使其两端彼此靠近，形成一个像开口垫圈的部件。如后面的详细描述中所述，这种形状能够用多种方法来成形波纹—波纹可以是直接横跨圆环，而且通常是径向的，也可以是成一定径向角度，还可以是直线的或者稍微弯曲成弧线的。

这种圆环形装置至今为止还无人知晓，而另一方面本发明本质上提供了这种装置。因此，本发明提供了一种压电装置，该装置是一通常的平面单层弧形条状主体，该主体整体上有一开口环形的形状，该主体在其弧形长度方向上物理成形，以形成延伸穿过带状件的波纹，这些波纹形成分隔的不同的压电部分组，这些组沿一名义上的中间面延伸通过整个主体并设置在该中间面的两侧，这些组被该中间面从空间上分隔，而且穿过中间面彼此相对，同时具有这种结果，即中间面一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会倾向于垂直于该中间面在与在中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分的尺寸变化的相反的方向上弯曲该带状件。

如前所述，这些波纹可以是直接横跨该带状件，而且通常是径向的，或者它们可以是例如与理论半径成一定角度—比如45度，还实

实际上可以是直线的或者稍微弯曲成弧线的。此外，弧形带状件可以是自身成凹陷状的 - 略微地弯曲通过整个长度。这种可能性的例子在附图 11 中得以示出；此处值得注意的是不同的形式在致动时会发生不同的变形。因此，在一个带状装置中，该装置中的波纹与概念上的径向方向成 45 度角，两端部沿带状件名义轴向方向彼此相对移动，由于带状件很容易沿着平行于波纹长度方向的线发生弯曲，其所生成的力是有限的。但是，如果波纹在带状件的平面内发生弯曲，或者带状件是凹陷的，那么它就不会那么容易发生弯曲了，因此也能在激活时产生一个更大的力。

10 在这种原因中，对于用于本发明的压电装置的波纹主体而言，波纹的具体形式并不会有什么特殊问题；计算的面积才是第二个关键的问题（在数学中，由主体某部分的任何小面积上所产生的力都是距离的平方在该部分的高度上的积分，该距离是该面积到中性轴的距离的；用于任何压电装置的中性轴平面都是这样一个平面，即当装置被操作时在该平面中没有感应应变）。无论波纹是弧形波，是正弦波还是方形波等都没有关系。但是，通过选择其中某一种形状的方式，装置的机械性能可以得到调整，因而“协调”出特殊的用途。

具有足够用的压电部分后，在每一个组中的压电部分的数量并不那么重要（这里所说的“多个”解释为至少三个，因此至少有两个部分在一组中，而有一个部分在另一组中，如前面所提到的 V 形和 U 形装置）。但是很显然，给定尺寸的部分越多，它们在中线的两侧就设置得越均匀，运行中装置所施加的力就会越大。在一带状波纹装置中，可以有七个部分，三个在一侧，四个在另一侧；在一盘形装置中可以有 24 个部分，每 12 个在一侧；在一弯曲带状装置中（附图中所描述的那种）可能有甚至超过 40 个（20 个一组，20 个一组）。通常优选为波纹相对于垂直中间面的中线均匀对称地设置，而不是优选为在一侧形成比另一侧更多更大的波纹。

30 在本发明的装置中，分别位于名义上的中间面两侧的两个压电部分组贯穿整个主体。此中间面可以是主体内的任何位置，当然，在确实有两个设置在其两侧的压电部分的情况下 - 多数情况下，它都与装置的中轴线平面共面。该中轴线平面是这样一个平面，即该装

置相对于该面既物理平衡又压电平衡，在本发明的例子中，压电部分和它们产生的力都是均匀设置在中间面的两侧的。

5 本发明装置的尺寸可以从几分之几毫米到数毫米。但是，相应的尺寸必须针对特殊的几何形状而设定。然而，对于那种波纹不平行的装置，其波纹的节距与装置的最小平面内尺寸相比，应该相对更小。确实，在一些这类装置中（卷带形的装置，如后面结合附图描述的部分所述）波纹的节距应该小于卷带宽度的几倍，进而确保波纹在装置的尺度上看起来是单向的。

10 在本发明装置的运行中，该装置有位于各组内的部分，该组被名义上的中间面空间分隔，弯曲是某一侧的组内的压电层部分的任何尺寸变化的结果。而且，中间面的一侧的组中的任何压电部分的尺寸变化都会倾向于垂直于该中间面在与中间面的另一侧的组中的同样程度的压电部分的尺寸变化的相反的方向上弯曲整个装置。

15 压电部分的尺寸变化是与在一压电极化层上施加一电场相关联的，正如可以预料得到的那样，尺寸变化的实际特征即是否是膨胀或收缩，取决于压电层部分的极化的方向。压电材料通过将其放入一个很强的电场中来进行极化，这导致材料内各个单独的区域都按照电场的方向排列。如果后序施加的激活电场与极化场的方向相同，材料就膨胀，但如果两者的方向相反，材料就收缩。因此可以理解的是本发明的装置内的每一个压电部分的“弯曲”的方向/特征-尺寸变化-既取决于该部分是如何极化的，又取决于激活电场的方向。因此可以意识到的是“弯曲”结果可以通过这样的方法来取得，即或者先将整个压电层按同一个方向完全极化，然后再将激活电场以相反的方向施加到顶部和底部部分，又或者是用另外一种方法，将压电层部分反向极化-顶部部分用一种方向，底部部分是另一种方向-再将同向的激活场施加到整个压电层上。

30 本发明的装置有一简单的单层压电材料，该材料物理成形为多个按两组分隔的不同的压电部分，这两个组通过整个主体在中间面的两侧各设置一个。这种形状可以用任何可能的方法获得。例如，可以通过挤压（经过一形状合适的孔）塑性压电材料（如PZT浆糊），或者压制（压入一模具中）出这种材料的板材。这对制作复杂的波纹形状是十分有效的，该形状最后被烧结而成。作为选择，压电材

料的主体，例如有足够厚度的板材可以被切割成所想要的波纹形状。

如前所述，在本发明的装置中，弯曲变形和/或由应用激活电压产生的力矩取决于横截面面积的第二力矩，对于规则波纹装置而言，该力矩取决于波纹的尺寸，而且还在较小程度上取决于压电板或层的厚度。这意味着所提出的本发明可使其设计成适用于一特殊电压的弯片式压电换能器，这取决于压电材料的特征和压电层的厚度，而且非常独立于所想要的运动或阻挡力—取决于所产生的力，尤其取决于装置的刚度和硬度（这些值越大，装置在被某物体挤压时将发生的弯曲和变形会更小）。这种装置目前还不存在。

具有波纹特征的压电装置已经在现有技术中有所描述。但是，它们都是双层装置，典型地为双压电晶片，而且与本发明的单层装置的波纹构造不同，所起的作用方式也不同。因此，现有技术中所公知的波纹双压电晶片装置，其中顶峰处用与凹谷处相反的方式激活，将发生变形并增加或减小波纹的波长，因此装置就会在波纹面内发生形状的改变—装置将产生膨胀或收缩。因此这种装置可以用作线形致动器。但是，在本发明中，一具有直波纹的单层压电板材将发生超出波纹面的弯曲，该弯曲是沿着波纹但不是穿过波纹进行的。

本发明的上述和其它特征将从后面的非限制性例子的详细描述中得以体现，这些详细例子的描述结合附图一起进行。

附图说明

在附图中：

图 1A, B 在透视图和端视图中示出了本发明的单层波纹压电装置；

图 2A, B 在端视图中示出了图 1 所示装置的电极布置（及可能的极化和致动电场方向）；

图 3A, B 在端视图中示出了本发明的 V 形截面和 U 形截面装置；
图 4 在端视图中示出了本发明的矩形波纹装置；

图 5A 和 B 示出了（在透视图）本发明的双“S”形弯曲形装置；
图 6A, B, C 和 D 示出了（在侧面透视图和剖视图中）本发明的

两种不同的圆盖形波纹装置；

图 7A-D 示出了（在平面图，透视图，侧边视图和端视图中）本发明的直线形带状波纹装置；

图 8 和 9 示出了（在平面图和透视图）本发明的两种不同的曲线形带状波纹装置；以及

图 10A-C 示出了（在平面图，透视图和截面图中）本发明的第三种曲线形带状波纹装置。

具体实施方式

10 图 1A 在透视图示出了本发明的单层波纹装置；它示出了一个直的弯片式压电换能器是如何能仅仅由一单层压电材料和合适的电极制得的。

15 此装置比压电材料的长板 11 稍短，该板已经被压缩（或褶皱）成一简单的波纹形状，该形状具有沿着板的长度方向伸展的半圆形波纹 12。该板有一名义上的中间面 MP，在图中用虚线表示，有七个清楚可见的压电部分，三个在一侧（如图所示的上半部），四个在另一侧（下半部）。上面的三个属于通常为平面的一组，下面四个属于另一组。这些组在图 2A, B 中显示在虚线框 U 和 L 中，下面将进行讨论。

20 该板在适当的制作阶段已被极化——也就是说，它的压电晶粒已经被一个施加的强电场迫使其沿着板的厚度方向排列了它们的顶点——并且在板 11 的顶部表面（如图所示）形成了一完整系列的分隔的电极 13（仅如图 1B 所示），而在底表面（如图所示）形成了一个连续电极 14。这些电极一起构成了多对有效电极，而且在每一对电极的情形中，一个使用该对电极所施加的小电场将促使波纹内的压电材料膨胀或收缩，该膨胀或收缩依赖于相对于极化方向的电场方向。

30 如图 1A 所示，顶部电极 13 是分隔的但底部电极 14 是一连续电极。这是如何运作的能通过以下方式来简单地理解，即设想该连续电极是电中性的，即（图中所示为接地），然后再设想电场穿过每一个交替的波纹的。施加的电压在相邻的电极对之间从正电压到负电压之间进行交替变换，该正负电压在图中以带圆圈的加减号表示。一个这种电场将是电中性到加号方向——如图所示为向上的——

而相邻的电场则是从减号到电中性的方向—如图所示为向下的。因此，即使只有一个电极组是连续的，也能建立交替反向的激活电场（向上，向下，向上，向下，...等等）。

如图所示，如果施加的激活电场在相邻电极对之间交替变换，每一电场都与其相邻的另一侧的电场方向相反，那么在板 11 的一侧的所有波纹（及在中间面 MP 的一侧）将受到同样的影响—膨胀或收缩，该影响依赖于电场的方向—而在板 11 的另一侧（和在中间面的另一侧）的所有波纹都会受到相反的影响。因此，如果所有的上部波纹（如图所示）都收缩，那么所有的下部波纹都会膨胀，而且因为上下波纹是横过中间面间隔开的，因此十分必要地出现了以下情况，即板作为一个整体在这些收缩或膨胀的指令下发生垂直于中间面的弯曲—即上弯，如图 1A 中的点划线所示。

如果电场以另外一种方式施加，板则会相反地向下弯曲。

在这种情况下，单压电材料板件会象组合式压电晶片或双压电晶片一样运作，而没有双层晶片的需要，而且也没有中央电极的伴随需要和由此而引起的问题。

图 2A, B 示出了极化方向（较轻的短箭头 25）和致动电场方向（较重的长箭头 26）的两种可能性。在图 2A 中，整个板已经被按照和方向 25 相同的方向极化，而电场方向 26 是交替变换的，而在图 2B 中，电场方向 26 相同而极化方向 25 则交替变换。但两者的效果是相同的。

图 2A, B 还示出了压电部分是如何布置在两个基本上为平面的组中的，该两个组被限制在虚线框 U 和 L 中，这两个虚线框设置为穿过中间面彼此相对，而且其中一组中的部分膨胀，而另一组中的部分收缩。

虽然图 1 和 2 所示的例子是适用于波纹横截面的，但是任何非线形的横截面都能运作，如果在横截面的中间轴之上和之下的区域发生相反的变形的话。图 3A 和 B 示出了本发明的一个 V 形截面装置和一个 U 形截面装置，图 4 示出了一矩形截面波纹装置。所有这些装置都以同样的方式运作。

因此，在图 3A 中，中间面沿水平方向伸展（如图所示）穿过“V”字，致使它的两个顶端部 21 形成一个通常的平面组，该组位于中间

面 MP 的一侧，而“V”字的底端部分 22 是在另一侧的组。图 3B 的 U 形装置很象图 3A 所示的 V 形装置的一种更“宽”的形式，其两个臂 31 在中间面 MP 的一侧上形成大致的平面组，其基地部分 32 则在另一侧上形成中间面的组。

5 图 4 是一矩形截面波纹装置。上部（如图所示）波纹 41 位于通常的平面组中，该组相对于其下部波纹 42 而言在中间面 MP 的相反侧，而且在如图所示的例子中，只有一单个底部电极（没有分别给出的，而是接地/地面），而顶部电极（也没有分别给出）是以带圆圈的加号或减号的符号交替变换。

10 图 5A 和 B 示出了（在透视图）本发明的双“S”形弯曲装置，也就是说，装置被设计、定型及加工弯曲成 S 形。这种变形的优点是它能使装置进行堆叠，一个在另一个的上面（很象一个钢琴手风琴的折叠部分），用以放大运动幅度。为此目的，压电材料必须在装置的各个半部发生不同的变形，即在一端的顶部发生膨胀而在另一端的顶部发生收缩。为达到此目的，在一种方法中，电极被沿着
15 线 53 分割成两部分，如图 5A 所示的情形，其中线 53 指示了分割的电极。在第一波纹 51, 52 中，电场的方向由各自的符号所指示。在另外一种方法中，波纹的方向沿中途发生改变，如图 5B 所示。

而且，如果另一端（近端）是固定的，一个隆起的中间部分进行
20 激活移动，双 S 型弯曲装置能以自由端（远端）部组合，形成两倍长度的带状件。

图 6A, B, C 和 D 示出了（在侧视图，透视图，剖视图中）本发明的两种不同的圆盖形波纹装置。

装置基本上是一压电材料的“平”盘。它可以以两种不同的方式
25 形成波纹—两幅附图 6B, C 和 D 示出了这两种波纹，一种是径向的（6B），另一种是周向的（6C, D）。图 6A 从侧面示出了每一装置是如何进行激活运动的，即从通常的平面状物体（实线部分所示）转换为圆盖形的形状（虚线所示）。每种波纹形式都能用于取得这种形状变化。

30 用 PZT4D 制作的如图 6B 所示这种类型的圆罩形装置的典型尺寸是外径为 15mm，厚度为 20 μ m，质量为 27mg。圆罩应该展现出 20 μ m 的波纹振幅，和大约为 0.5mm 的波纹节距。用一个+20V 的运行电压，

应该能取得 $\pm 0.1\text{mm}$ 的位移和 0.7mN 的阻挡力。

图 7A-D 示出了（在平面图，透视图，侧视和端视图中）本发明的一种直线形带状波纹装置。

装置是压电材料的线形带状件 71，该压电材料是沿带状件的横向形成波纹而非沿着带状件的长度方向形成波纹的。但是，波纹 72 是以一定角度（与带状件的纵轴 A-A 方向成 45 度）而不是直接横跨的；由于装置的弯曲行为只沿波纹 72 的长度方向产生，而不是垂直于它们，因此成角度的波纹 72 具有沿着轴 A-A 方向扭转带状件的效应。通常的扭曲方向如图 7B, D 所示（后者是在激活状态下沿着 A-A 轴向所观察到的；实际所发生的可能是完全不同的，取决于波纹的确切种类）。

图 7 所代表的几何形状能弯曲转变成一圆弧以产生一种变型体，该变型体向上或向下变形穿过弧平面。图 8-10 示出了（在至少一个平面图和一个透视图）本发明的三种不同的弧形带状波纹装置。

这种结构，注释了一种装置几何形状，该结构在其自己的权限内具有新颖性和创造性，该形状放大了压电材料的正常的相对较小的形变量，进而产生大的位移。

在这种方式中这种结构件很复杂，而且不容易理解。如下的内容可以提供帮助：

假定一个（平面）圆弧 81，在一端 87 处固定（如图 8 所示）。如果圆弧变形为一个同样半径的螺旋线，那么自由端就会移出圆弧面的平面。是这种变形致使结构在压电带材中形成波纹，该压电带材名义上形成圆弧的一部分。如果假定一个螺旋曲线的一端固定，则可以应用同样的原理。如果在圆弧中产生扭转力则能取得这种出离平面的变形。

如上所述，图 8-10 示出了三种不同的曲线带状波纹装置。图 8 示出了这样一种，在这种装置中波纹 82 不是直接横向穿过带状件，而是以和曲线切线方向成一个角度（大约 45 度）的方式横跨带状件。这些波纹本身是直的，而且带状件 81 是平的；但是，在图 9 中，波纹 92 本身就是弧形的（即使通常也是成 45 度），而在图 10 中波纹 102 是直的（成 45 度），但是带状件本身弯曲变形/凹陷成三维形状

的了，在固定端 107 处能看得最清。沿着装置的不规则横截面 108 示出了弧形带状件的叠合和由波纹引发的弯曲。

弯曲形成如图 9 和 10 所示的波纹的理由是增加装置的阻挡力。按垂直于波纹的方向弯曲直波纹（如图 8 所示的直波纹）是很容易做到的，而曲线形波纹抵制这种弯曲。图 10 的波纹的“移出平面”的曲线给出了最好的效果，而且似乎还增加了位移量。因此图 10 所示的几何形状给出了最好的执行致动器。

这种几何形状能产生一个大的执行装置，该装置从一单层压电材料被挤压成形。因此，用 PZT4D 作为压电材料，并将一弧形带状件构造为外径 15mm，内径 10mm，厚度 20 μ m，波纹振幅 0.25mm，波纹节距约为 1mm，质量 15mg，在 $\pm 20V$ 的运行电压下，应该可以取得 $\pm 0.25mm$ 的位移和 0.3mN 的阻挡力。这是一个很好的结果。

图 8-10 所示的装置中的波纹都是有规律的，都沿径向方向成同一个角度。一个有意思的特性是变形没有增加圆弧的线性，该特性是通过扭曲力的应用产生的从圆弧到螺旋线的变形而带来的。但是通过适当地改变波纹相对弧线的角度，可能会去掉这种非线性。这可能会有增加装置效率的效果。

本发明装置的实际构造，如上所述，可以多重形式生效。因此，所需的波纹形状能在烧结前被加工为压电材料柔性板材，所需的形状能通过用相同的压力工具被同时从板材中切割形成。装置然后能被弯曲并在合适的形状烧结箱中烧结以保持形状。烧结之后，电极可通过印刷或电铸的方法（或两者组合的方法）来添加。印刷技术允许电极添加在一定的位置上以描绘出装置不同的区域，该装置必须发生不同的变形。整个装置能以同样的方式极化，因此每个区域都需要单独激活。

另外，波纹能够切成（锯成）压电材料的平板，该平板已经被烧结（还可能已经被极化）。锯切过程形成了横截面中轴线之上或者之下的所需区域。所形成的几何形状具有类似于图 4 所示的方格形的波纹，但是自然会以和那些圆形波纹相同的方式运行。用这种方法制作一定的几何形状可能是容易的，因为烧结一个更厚的平面板材比烧结一个较薄的曲线形板材所遇到的问题会更少。在数量较少的情况下，这种方法还会降低生产成本，因为专门定制工具的成本

会降低。

- 与制作本发明的波纹结构装置最相关的一个问题是该装置需要制作大量不同电连接件。此问题的一个解决方法是在极化过程中临时性地将不同区域连接起来，因此装置所有的区域都能连接在一起，并在使用过程中以同样的电压激活。此工序可能需要两步电极印刷工序；第二步是在极化之后将所有区域连接起来。
- 5

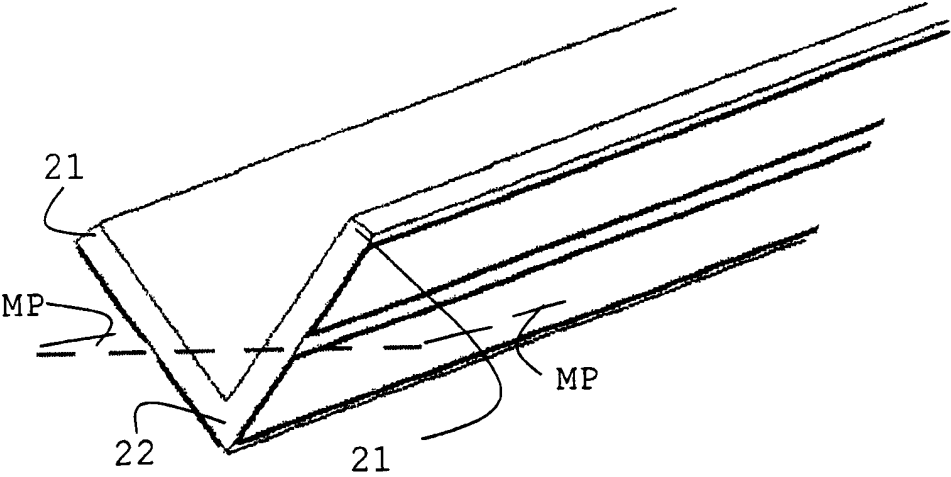


图 3A

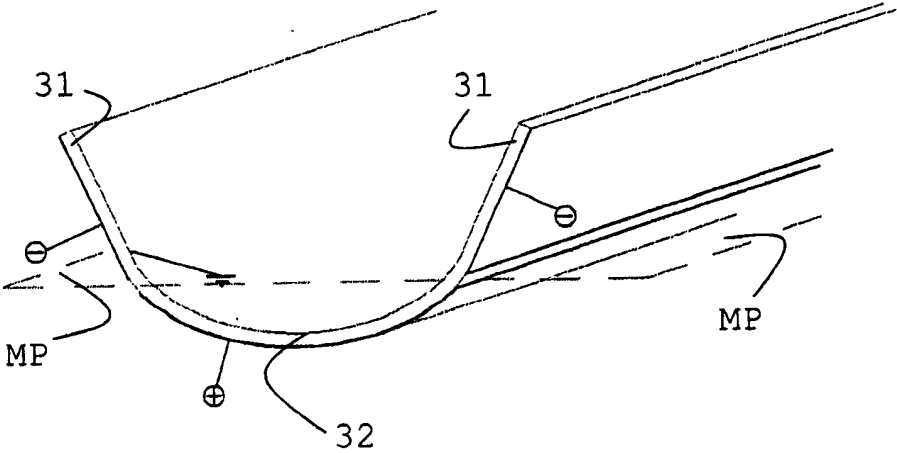


图 3B

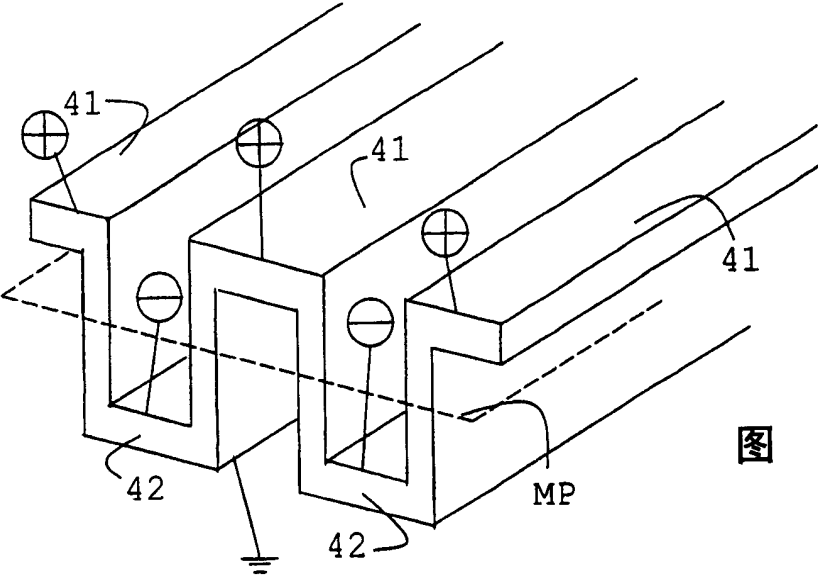


图 4

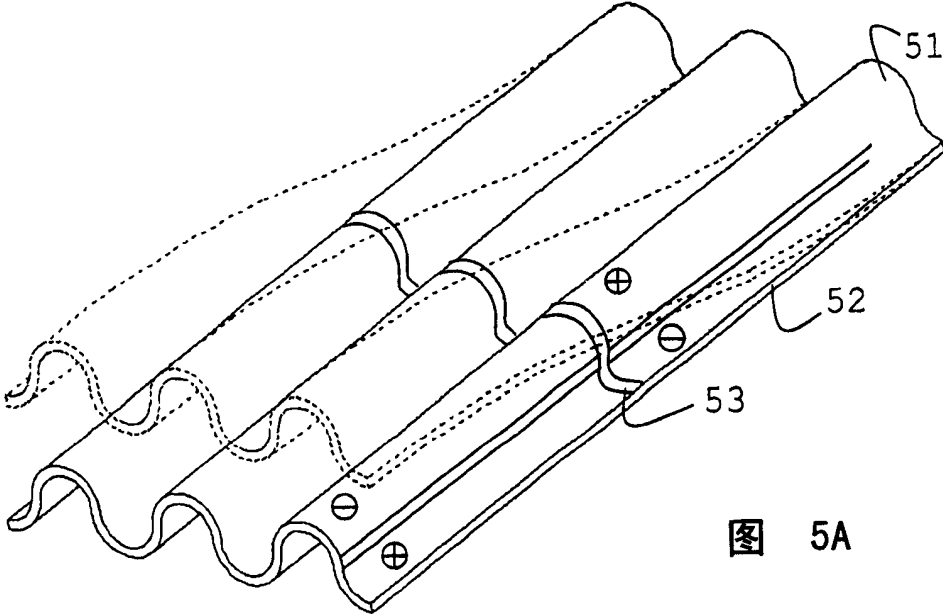


图 5A

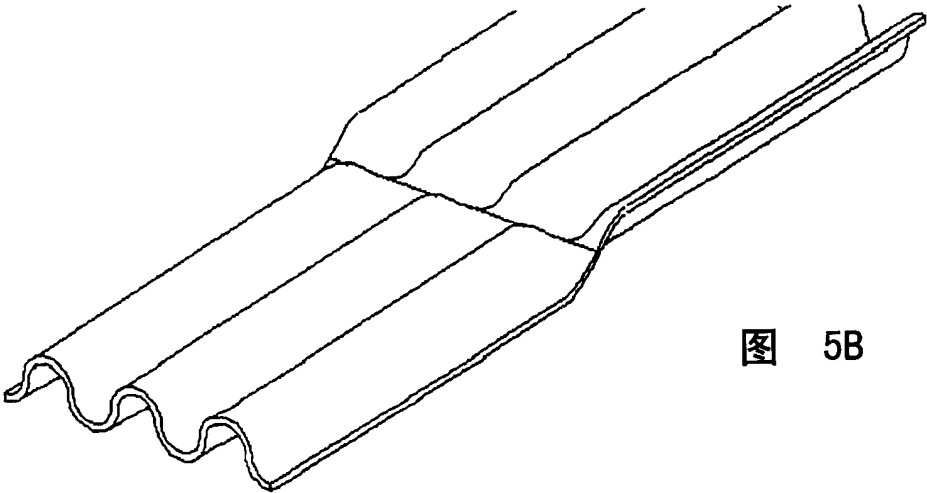


图 5B

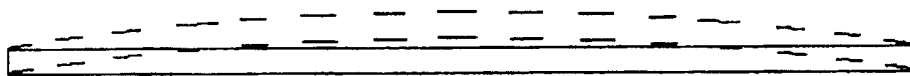


图 6A

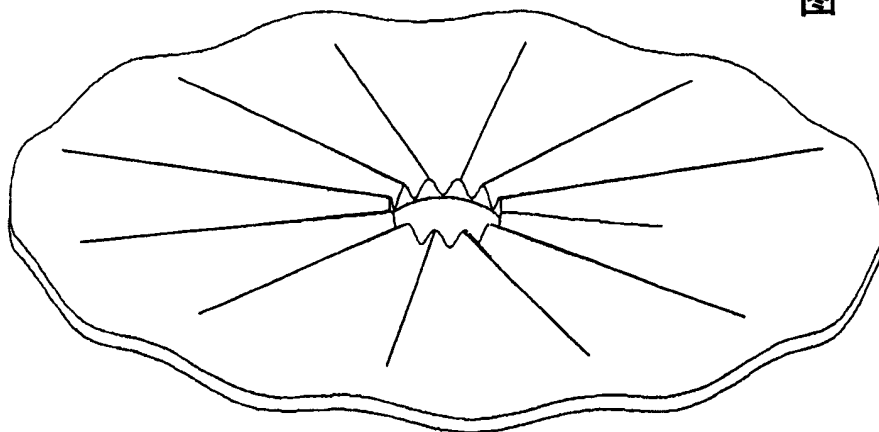


图 6B

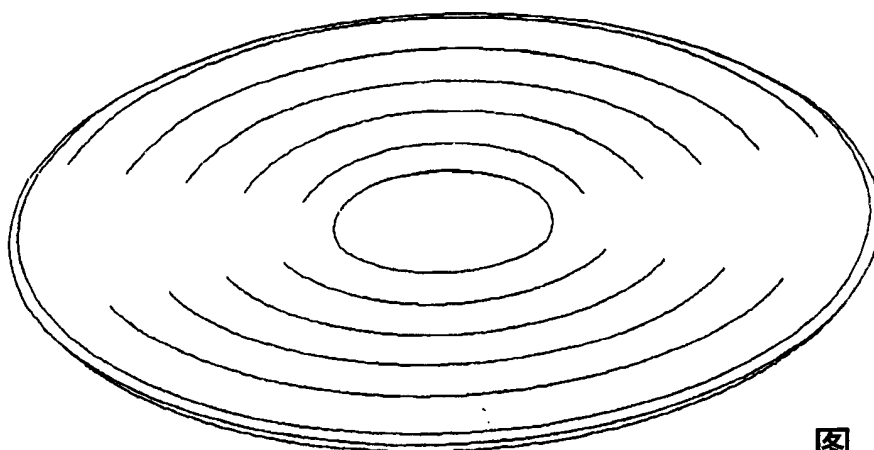


图 6C

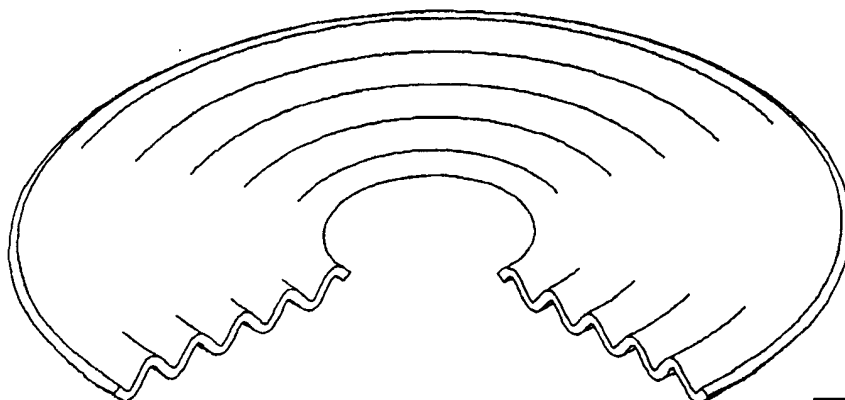


图 6D

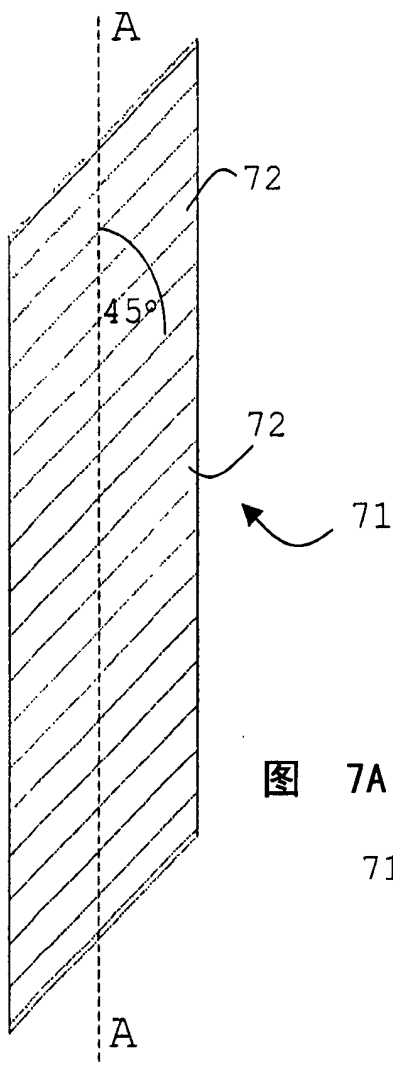


图 7A

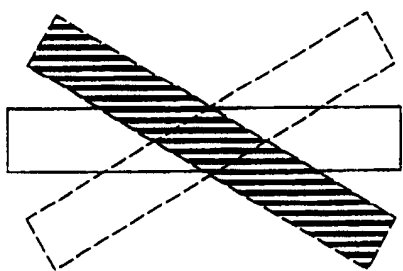


图 7D

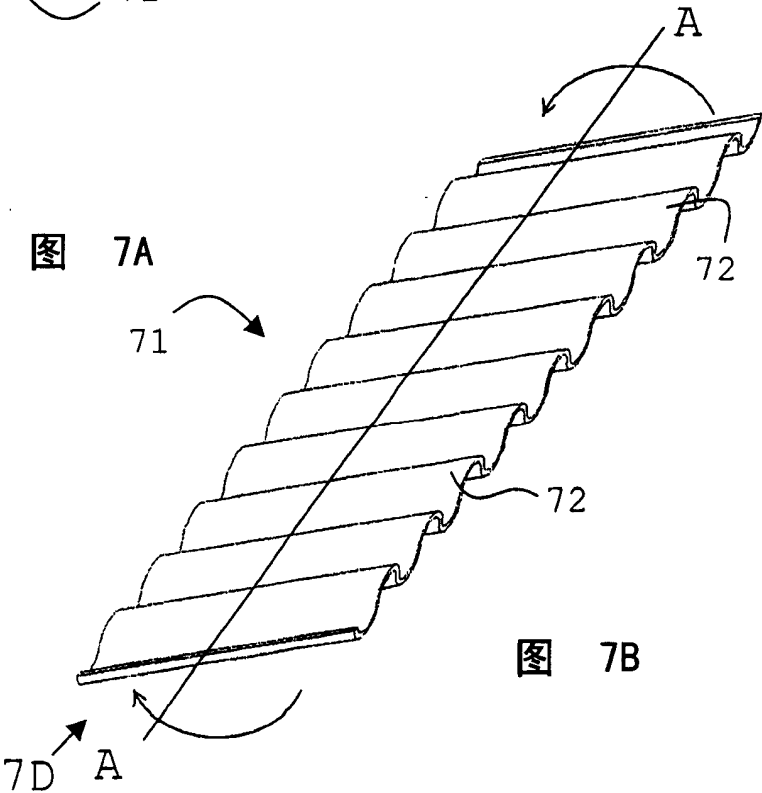


图 7B

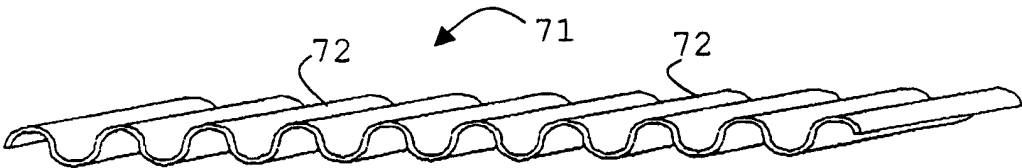


图 7C

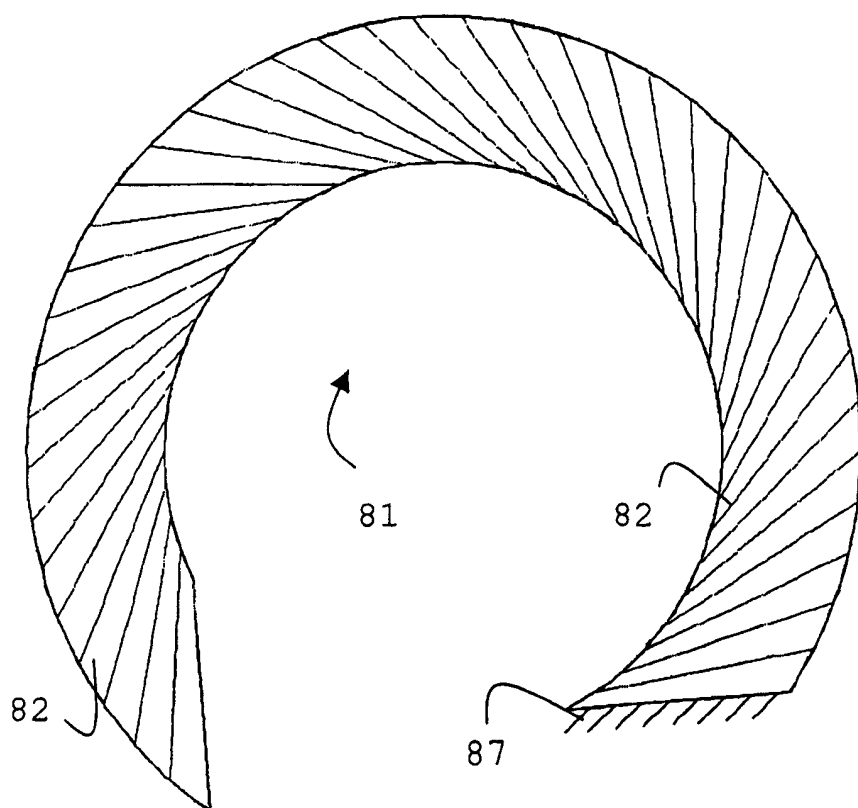


图 8A

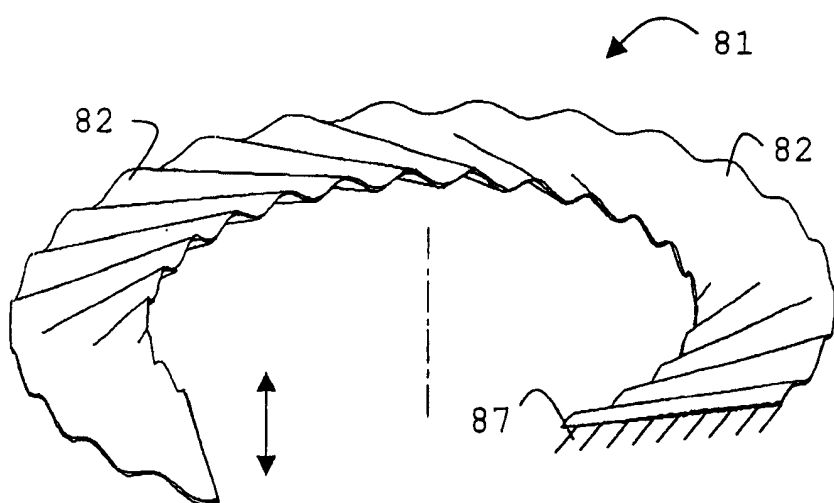


图 8B

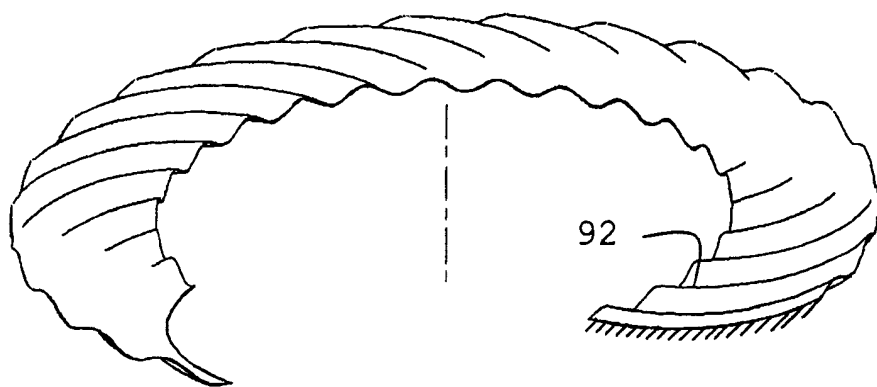


图 9

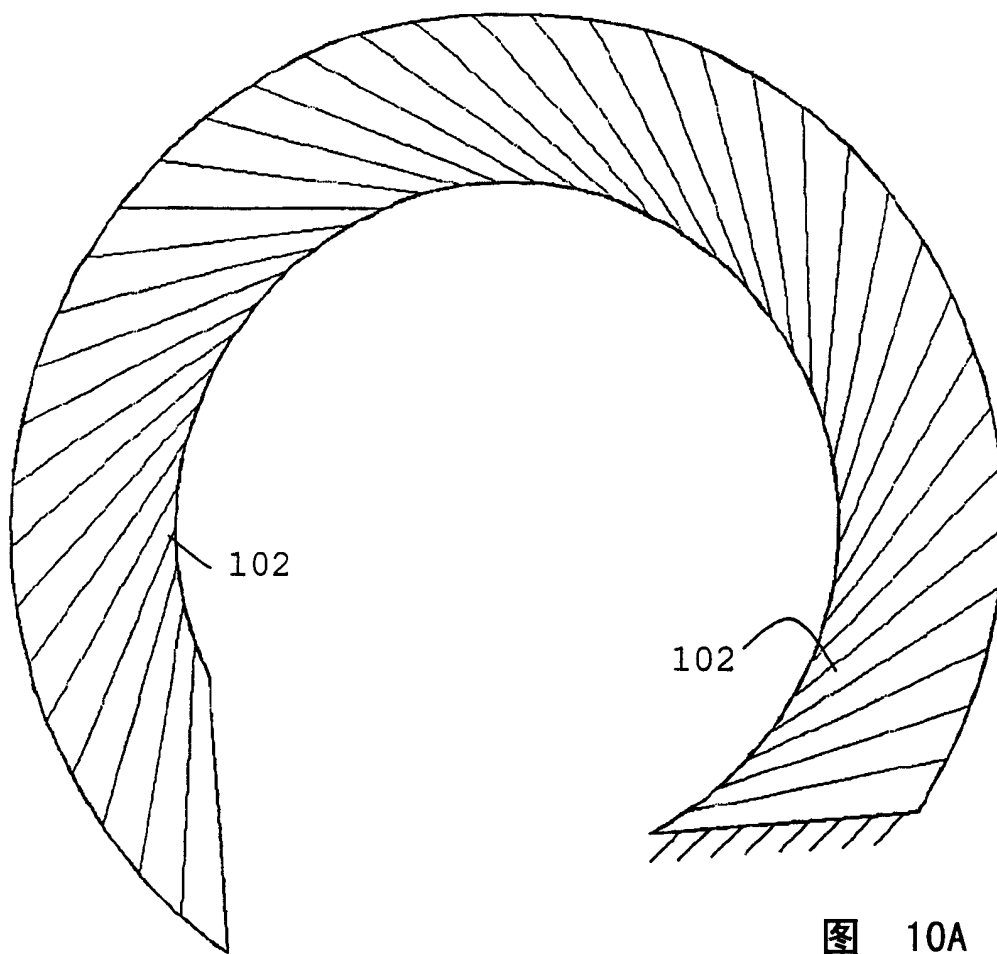


图 10A

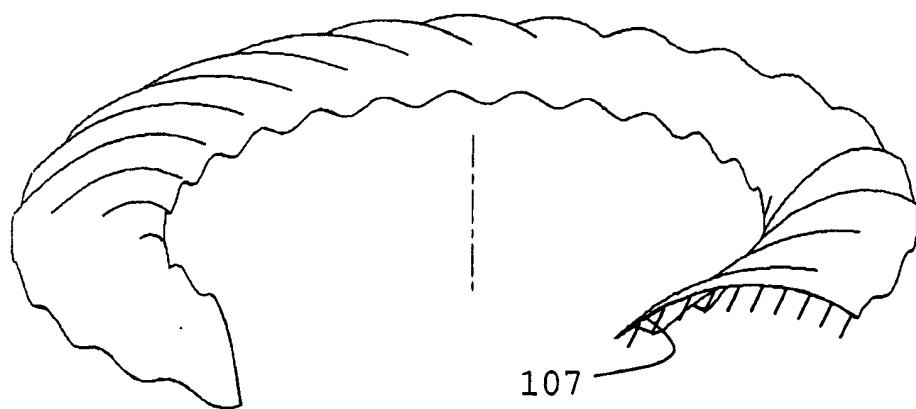


图 10B



图 10C