



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104260726 A

(43) 申请公布日 2015.01.07

(21) 申请号 201410432156.7

(22) 申请日 2008.04.13

(30) 优先权数据

60/907,691 2007.04.13 US

(62) 分案原申请数据

200880019808.7 2008.04.13

(71) 申请人 泰克尼恩研究和发展基金有限公司

地址 以色列海法

(72) 发明人 O·萨洛蒙 N·什瓦尔贝

M·肖哈姆

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司

72002

代理人 邵伟

(51) Int. Cl.

B60W 50/04 (2006.01)

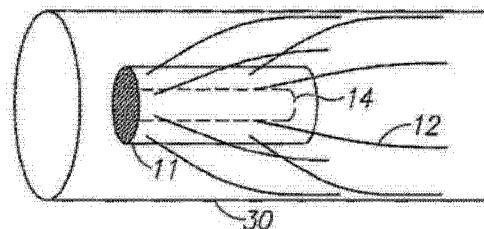
权利要求书1页 说明书12页 附图6页

(54) 发明名称

振动机器人蠕动器

(57) 摘要

一种自动振动驱动设备，其用于运动通过腔或者沿表面运动，所述设备利用附接到设备的主体的成组柔性纤维。纤维的外部表面具有对于表面的各向异性摩擦系数，设备沿所述表面移动，并且纤维从设备延伸使得纤维的至少其中一些沿其部分长度与壁接触。使用换能器使设备振动，使得设备在腔中向下移动。换能器可以为设备运载的或者在设备外部。还描述了一种旋转设备，其利用布置在转子的主体上的成组的纤维，所述纤维具有对于中心定子或者对于外部圆形壁的各向异性摩擦系数。还描述了用于在平坦表面上蠕动的平面运动设备。



1. 一种振动驱动设备,其包括:主体,其具有附接到所述主体上的多个柔性纤维,至少一些所述纤维的表面沿所述纤维的长度的至少主要部分具有和所述主体所放置其中的腔的内表面壁的各向异性表面摩擦,所述至少一些纤维从所述主体延伸使得所述至少一些纤维沿纤维长度的所述主要部分与所述腔的内表面壁相接触,所述至少一些纤维具有显著超过在所述主体和所述主体所放置其中的所述腔的内表面壁之间的距离的长度,

其中,所述设备和所述腔的内表面壁之间的相互振动运动使所述设备沿着所述腔移动。

2. 根据权利要求 1 所述的设备,其中所述相互振动运动由振动产生系统引起。

3. 根据上述权利要求中任一项所述的设备,其中,所述设备和所述腔的内表面壁之间的所述相互振动运动包括所述主体和至少一些所述纤维的至少其中之一的振动。

4. 根据权利要求 2 所述的设备,其中所述振动产生系统包括在布置在所述设备中的元件上作用的外部场。

5. 根据权利要求 4 所述的设备,其中所述外部场为交变磁场,并且,布置在所述设备中的所述元件包括磁性材料或者磁体。

6. 根据权利要求 2 所述的设备,其中所述振动产生系统为布置在所述设备上的换能器。

7. 根据上述权利要求中任一项所述的设备,其中所述纤维附接到所述主体,使得所述纤维均定位在相对于所述腔的轴线的一个方向中,从而使所述设备沿所述腔的轴线移动。

8. 根据上述权利要求中任一项所述的设备,其中所述纤维成组附接到所述主体,使得一组纤维定位在相对于所述腔的轴线的一个方向中,并且另一组纤维在相反方向中,所述设备进一步包括:用于展开和收起所述纤维组的其中一组或者另一组的机构,使得所述设备可以根据哪个纤维组被展开而沿所述腔的轴线在其中一个方向上移动。

9. 根据上述权利要求中任一项所述的设备,其中与所述腔的所述内表面壁的所述各向异性表面摩擦是由沿至少一些所述纤维的表面布置的尖状物引起。

10. 一种振动驱动设备,其包括:环形主体,其具有附接到所述环形主体上的多个柔性纤维,至少一些所述纤维的表面沿所述纤维的长度的至少主要部分具有和所述环形主体所放置其上的导丝的各向异性表面摩擦,所述至少一些纤维从所述主体延伸使得所述至少一些纤维沿纤维长度的所述主要部分与所述导丝的外表面壁相接触,所述至少一些纤维具有显著超过在所述环形主体的内表面和所述主体所放置其上的所述导丝的外表面壁之间的距离的长度,

其中,所述设备和所述导丝的所述外表面壁之间的相互振动运动使所述设备沿着所述导丝移动。

## 振动机器人蠕动器

[0001] 本发明是申请日为 2008 年 04 月 13 日、申请号为 200880019808.7 的中国发明专利“振动机器人蠕动器”的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本发明涉及用于在表面上蠕动的机器人 (robotic) 设备,无论是平面还是在腔中,尤其是利用设备的振动借助于具有外部表面的柔性纤维推动设备,所述外部表面具有相对于设备在其上蠕动的表面的各向异性摩擦。

### 背景技术

[0003] 用于提供沿腔向下的自动运动 (autonomous motion) 的当前技术大致包含具有多个移动部件的相对复杂的机构,由于当前技术的限制这约束了微型化。此外这些技术经常需要顺序控制致动,这使得其运行复杂化。

[0004] 此外一般使用的大多数方法不能在例如相对较小管道的有限空间中,或者只能在那些为设备预先确定的环境中工作。由于移动部件的复杂性、多样性,致动器和控制电路、传感器以及内部电源的可能性需求,具体地像在管道这样微型化必不可少的狭窄环境中,现有技术机构受到尺寸限制,且具有复杂的组件以及相对高的成本。更加具体地对于医学运用,对于具有最少数量的移动部件 (出于医学安全原因) 的不引起排斥的微型系统的要求,现有技术机构通常距离最优还有很大距离。

[0005] 因此,需要简单的、由最少数量的移动部件组成自动微型移动机构,并且所述机构在不同环境中性能良好。

[0006] 由环节动物尤其是蚯蚓的蠕动运动引起的移动,启发了对在震动 (oscillating) 微型结构和腔的壁或者被穿越的表面之间的摩擦的使用。所述设备提供简单的机器人自动蠕动设备。

[0007] 在 Autonomous Robots Journal Vol 21(2) 第 155–163 页中发表的题目为 “Development of a biomimetic miniature robotic crawler”的文章,描述了赋予被动的钩状摩擦性微型结构的分块的人工蠕动器的发展,所述微型结构使用形状记忆合金弹簧使其躯干在低频下交替地大幅收缩和伸展,由此引起移动。钩为设备的前进提供必要的各向异性摩擦。

[0008] 在 Advanced Motion Control, 2002, 第 599–603 页发表的题目为 “in pipe bristled micromachine”的文章中,微型机械移动原理是基于在倾斜震动的刚毛梢端和管壁之间的方向性摩擦力。在该设备躯干中使用小幅高频压电致动器。

[0009] 在所述两个系统中,摩擦构件限制了接触表面几何形状,即如果应用为在管道中移动的机器人设备,因为没有包含调节机构,机器人设备可以应用的直径范围就变窄。此外,通过利用例如形状记忆合金或者压电致动器的尺寸变化致动器来改变在两个或者多个锚固刚毛之间的距离以实现移动。

[0010] CP. Xenis 的美国专利文件 No. 2917762 “用于行进通过管道的器械”,描述了用于

在管道中行进的器械，其包括被安置为圆柱形的倾斜的刚性纤维，所述器械具有稍微超出管道内径的直径，并且由于振动前进。如同描述中所述，在纤维和器械纵轴线的法线之间大约 15 的倾斜角将使纤维与管道内部表面接触时产生各向异性摩擦。然而，纤维的刚性和仅在纤维的梢端引起的摩擦将管道直径范围限制到器械可以应用的范围。另外，该器械局限于在管道中使用。

[0011] J. W. Armstrong 的美国专利文件 No. 3885356 “振动输送装置和研磨机”描述了使用振动堆积材料的输送带系统，所述材料具有朝向进给方向倾斜的柔性纤维，并且所述系统在靠近纤维的方向中振动，以移动在其上的物体。该专利描述了仅振动纤维的梢端的特定使用，所述纤维用于支撑负载和用于提供在那里的运动。

[0012] A. J. Billington et al 的美国专利文件 No. 5575378 “传输方法和用于此方法的器械”，描述了另一种振动纤维输送装置系统，该系统不使用纤维而使用以很高密度堆积包装的大量非常细并且相对短的柔性纤维，为使在纤维上的负载移动提供缓冲元件。纤维还可以被置于物体上，以使物体相对于基部移动。这种纤维构造的使用避免了对由输送装置运输的易碎物体的损坏。

[0013] J. V. Mizzi 的美国专利文件 No. 5770913 “使用振动换能器驱动器的致动器、马达以及无轮的自动机器人设备”描述一种设备，其提供使用振动换能器驱动器的致动器、马达以及无轮子的自动机器人设备的其中一个。振动换能器驱动器连接到往复的元件，由振动驱动器往复地驱动。为将往复元件的往复运动转化为运动提供摩擦表面。被驱动的构件通过与摩擦表面的接触移动。该专利建议了一种由 3M 公司供应的“Tran 纤维 (Fibre-Tran)”材料作为在所述专利中使用的良好材料。这种材料依赖于所用倾斜纤维的梢端的各向异性摩擦。

[0014] 基于刚毛梢端震动的蠕动器可以被限制到特定的空间位置，例如具有预先确定的直径并且直径仅做微小变化的管道，而且所述蠕动器还被限制到特定顺序的或者被控制的震动。需要使用振动纤维原理的自动机器人设备，所述设备克服了以前的这种设备的部分缺点，该设备可以适应宽广和变化的直径范围，并且包括最少数量的移动部件，成本低廉易于制造。

[0015] 在这个部分中以及在说明书其它部分中的所提到每个出版物的公开整体结合在此引作参考。

## 发明内容

[0016] 本公开描述了一种自动机器人设备以及用于使用随机振动沿并置表面或者多个并置表面蠕动的方法。所述设备利用振动在沿附接到设备的纤维的长度的表面和周围的一或多个并置表面之间的各向异性摩擦性质的效果。周围的一或多个表面可以为腔的内壁、用于限定平面运动的两个界壁、设备布置在其上用于二维平面运动的平面，或者设备在上面蠕动的内导丝。还示出了旋转引擎 (rotational engine) 的例子，其基于附接到振动设备的纤维的浅表各向异性摩擦的相同原理。

[0017] 机器人大致包括中心躯干或者主体，以及像悬臂一样与中心躯干成角度地附接的柔性纤维。纤维如果不与周围表面接触应当被卸载。纤维应当足够的长，当设备被应用于其打算通过的管子的内表面壁时，或者应用于打算沿着爬行的表面时，纤维的远离躯干的

端部变得与所述表面平行,沿纤维的至少部分长度与所述表面接触。纤维可以具有变化的柔性,从基部到梢端增大,以使这样方式的弯曲促进这种效果。

[0018] 纤维的表面至少沿着远离躯干的部分长度应当具有各向异性摩擦系数,这样所述纤维在相关运动的一个方向中比在另一个方向中更加牢固地抓紧相对的表面。这可以通过为纤维提供从纤维表面延伸的尖状物来实现,通过尖状物提供与周围表面的接触。纤维是足够长的以在运动期间与周围表面保持接触。纤维的延伸的尖状物可与纤维倾斜成角度,进一步被称为尖状物角。在尖状物和配合摩擦表面之间的角,进一步被称为接触角,其确定了与周围表面的摩擦力。作为纤维弯曲的结果,接触角近似与尖状物角相等,允许在运动期间保持最佳的不变的摩擦力。

[0019] 纤维的尖状物在与尖状物的倾斜方向相反的方向提供对于周围表面的锚固点,由此阻止倒退运动,而允许在尖状物倾斜的方向滑动运动,从而导致各向异性摩擦系数。当在相反方向中的移动期间作用的摩擦力之间的差异最大时,移动是最佳的。所述差异既依赖于作用在相反方向中的摩擦系数之间的区别,又依赖于在与周围表面的接触区域上作用的分布法向力。这两个因素取决于纤维与其周围表面的接触区域的范围以及取决于接触角。由此推荐的具有变化的纤维横截面的结构使得两项参数最优化,保持了不变的接触角、较大的法向力以及纤维与周围壁的较长的平行接触部分。实现由于变化的柔性纤维的更高的法向力的尤其简单的方法是使用基部端部比梢端端部厚的纤维。于是基部端部提供提高的刚度,以及由此在接触端部处的提高的法向力,同时接触端部具有期望的提高的柔性以与相对表面的更长的区段接触。

[0020] 由于与周围表面接触的纤维的部分与周围表面平行,在整个运动期间接触角保持不变。纤维的长度可以是这样的,其显著超过在设备主体和周围表面之间的距离。如果纤维为刚性的,如同现有技术中依赖于刚毛梢端摩擦的振动刚毛设备,这将是不实际的,因为在这种设备中的纤维仅在纤维的梢端处具有一个接触点,并且,将纤维加长将导致在梢端处的更小的接触角,以及减小的摩擦系数。因此如果应用为在管道中的器械,在本申请中所描述的示范性设备中的纤维的柔性,可以使所述设备的单独其中一个能够应用在宽广的直径范围中。这个性质使得本发明在这些医学应用中是理想的,例如动脉、胃肠道以及其它沿长度在直径上有较大变化的内腔。以上考虑也应用到用于限定平面运动的两个界壁,以及希望用于微电子机械系统 (MEMS) 但是由于设计和制造的限制直到现在还受到限制的旋转移动。

[0021] 运动由在任何方向或者平面中施加到设备躯干的随机振动实现。根据本发明的这些方面构建的机器人由于纤维的弯曲行进。由此,任何导致纤维弯曲的振动将会产生行进的结果。对于这种设备的一个可能的致动实施例为使用板载磁体或者铁磁芯同时在所述板载磁体或者铁磁芯上引起时间变化磁场。这个例子允许不受限制的操作时间,因为用于产生振动的触发能量由外部提供并且不依赖于板载电池的使用,同时还保持了操作的简易性。由于不需要以任何方式控制振动,所以可以使用磁性感应致动。任何随机振动将使设备能够正确工作。作为导致主体振动的替代选择,例如通过使纤维被磁化或者为磁性材料并且施加外部交变磁场,或者通过任何其它适合的方法,可以在纤维中直接产生振动。

[0022] 另一种应用包括用于使机器人以二维平面方式移动的方法。在这种情况下,纤维向下延伸与机器人所应用的平面接触,引起平面运动。

[0023] 其它示范性应用包括用于使机器人在平面中移动同时被两个界壁限定的方法。在这种情况下,纤维向侧面延伸使得当其与两个相对的壁接触时能够平面运动。

[0024] 另外的应用包括旋转设备,由于所述设备的各项异性摩擦纤维以及当振动施加在设备上引起的旋转,所述设备在大致圆形外壳的壁中旋转。由于这种设备的简易性以及不需要用于产生旋转的轴线或者轴承,该设备很适合应用在 MEMS 技术中,尽管可能需要轴线以将旋转传输至其期望的负载。

[0025] 描述本发明的不同方面的、本公开所描述的所有的示范性仪器以及例子,基于在纤维的表面和相对的横过表面之间的摩擦系数,利用了在纤维和被横过表面之间产生的各向异性摩擦。为了详细地划定在这种特定类型的各向异性摩擦和产生于纤维梢端和相对表面之间的现有技术摩擦之间的界限,纤维的表面相对于其相对表面的摩擦性质在本申请中大致被称为浅表各向异性摩擦,并且在整个申请和权利要求中都这样来理解这个术语。

[0026] 由此根据本发明的不同例子提供一种示范性仪器,其包括一种振动驱动设备,其包括:主体,其具有附接到所述主体上的多个柔性纤维,至少一些纤维的表面沿所述纤维的至少部分长度具有对于至少一个并置表面的各向异性摩擦,纤维从主体延伸使得至少一些所述纤维沿其部分长度与至少一个并置表面相接触,其中在设备和并置表面之间的相互振动运动使设备相对于至少一个并置表面移动。

[0027] 在这样的设备中,相互振动运动可由振动产生系统引起。这样的振动产生系统包括在布置在设备中的元件上起作用的外部场。在这种情况下,外部场可为交变磁场,并且布置在所述设备中的元件可以或者为磁性材料或者为磁体。可替换地,振动产生系统可以仅为布置在所述设备上的换能器。在这些例子的任一个中,振动产生系统起作用以使至少一个并置表面振动。此外,在设备和并置表面之间的相互振动运动可以包括或者主体的振动或者至少一些纤维的振动。

[0028] 在以上所述的设备的任一个中,至少一个并置表面可以为腔的内壁。所述腔可以具有圆形或者直线形的形式。可替换地,至少一个并置表面可以为直壁导管的至少一个内壁。

[0029] 可替换地,在以上所述的设备的任一个的可选择仪器中,至少一个并置表面可以为平坦表面。

[0030] 可替换地,主体可以为具有中心孔的环形主体,并且至少一个并置表面可以布置在环形主体的中心孔的内部。在这种情况下,布置在环形主体的中心孔内部的至少一个并置表面为导丝或者腔的外壁,并且设备可以沿那里蠕动。

[0031] 另一个示范性仪器可以包括这样的设备,在所述设备中至少一个并置表面为环形壳体的内壁,设备安置在环形壳体中并且纤维附接到主体,使得纤维周缘接触环形壳体,从而使设备在环形壳体中旋转。

[0032] 可替换地,主体可以为具有中心孔的环形主体,并且纤维周缘附接到中心孔的内部,从而主体围绕安置在中心孔中的杆旋转。在这样的例子中,设备可以进一步包括接合到环形主体的外表面的线性从动件,这样设备在从动件中产生线性运动。

[0033] 在这些设备在腔中蠕动的例子中,纤维可以附接到主体使得所述纤维均定位在相对于腔的轴线的一个方向中,使得设备沿腔的轴线移动。可替换地,纤维可以成组附接到主体使得一组纤维定位在现对于腔的轴线的一个方向中,并且另一组纤维在相反方向中,设

备进一步包括：用于展开和收起纤维组的其中一组或者另一组的机构，从而设备可以根据哪个纤维组被展开而沿腔的轴线在其中一个方向上移动。

[0034] 在通过腔的运动这种情况下，纤维可替换地成组附接到主体，附接到主体的第一组纤维在通过主体的横截面的直径面的其中一侧上的至少一个区块上，至少一个区块定位成与垂直于直径面的线成第一角，一些纤维的至少部分与腔的内壁接触，并且附接到主体的第二组纤维在通过主体的横截面的直径面的相反侧上的至少另一个区块上，至少另一个区块定位成与垂直于直径面的线成第二角，第二角与第一角相反，从而当相互振动运动被致动时，设备执行旋转和线性运动通过腔。

[0035] 同样地，在沿至少一个并置表面蠕动的设备的情况下，纤维成组附接到环形主体的中心孔，附接到主体的第一组纤维在通过主体的横截面的直径面的其中一侧上的至少一个区块上，至少一个区块定位成与垂直于直径面的线成第一角，一些纤维的至少部分与至少一个并置表面接触，并且附接到主体的第二组纤维在通过主体的横截面的直径面的相反侧上的至少另一个区块上，至少另一个区块定位成与垂直于直径面的线成第二角，第二角与第一角相反，从而当相互振动运动被致动时，设备沿至少一个并置表面执行旋转和线性运动。

[0036] 在以上两个示范性设备的任一个中，区块的方位角可以互换，使得设备的线性运动方向被反向。

[0037] 在以上所述的示范性设备的任一个中，对于至少一个并置表面的各向异性摩擦系数可由沿至少一些纤维浅表地布置的尖状物引起，或者由至少一个并置表面的各向异性特征引起。

[0038] 此外，振动运动可具有随机性质。另外，振动产生系统可以为脉动腔。

[0039] 在本公开中描述的其它仪器可能涉及用于自动运动通过脉动腔的设备，所述设备包括：主体，其具有附接到所述主体上的多个柔性纤维，至少一些纤维的表面沿所述纤维的至少部分长度具有对于腔的内壁的各向异性摩擦，纤维从所述主体延伸使得至少一些所述纤维沿其部分长度与腔的内壁接触，从而腔的脉动导致设备沿腔移动。在这样的设备中，脉动腔为对象的血管或者对象的胃肠道的部分。

[0040] 在本公开中描述的另外的示范性仪器可以用于振动驱动设备，所述设备包括：主体，其具有附接到所述主体上的多个柔性纤维，所述纤维为沿主体的螺旋形，至少一些纤维的表面沿纤维的至少部分长度具有对于至少一个并置表面的各向异性摩擦，纤维从主体延伸使得至少一些所述纤维沿其部分长度与至少一个并置表面接触，其中在设备和并置表面之间的相互振动运动使设备相对于至少一个并置表面移动。

[0041] 在这样的设备中，至少一个并置表面可以为腔的内壁，这样当相互振动运动被致动时，设备执行旋转和线性运动通过腔。在这种情况下，纤维成组附接到主体，附接到主体的第一组在通过螺旋的横截面的直径面的其中一侧上的螺旋的至少一半区块上，并且附接到主体的第二组在螺旋横截面的相反直径侧上的螺旋的至少另一半区块上，其中第一和第二区块与垂直于直径面的线所成的方位角可以互换，使得设备的运动的方向被反向。

[0042] 根据振动驱动设备的另一个例子，所述设备包括：主体，其具有附接到所述主体上的多个柔性纤维，所述纤维为沿主体的螺旋形，如上所述，主体可以为具有中心孔的环形主体，至少一个并置表面可以为布置在环形主体的中心孔内的导丝或者腔，从而当相互振动

运动被致动时，设备沿导丝执行旋转和线性运动。

[0043] 在这样的设备中，至少一个并置表面可以为导丝或者腔的外壁，从而当相互振动运动被致动时，设备沿所述导丝执行旋转和线性运动。在这种情况下，纤维可以成组附接到主体，附接到主体的第一组在通过螺旋的横截面的直径面的其中一侧上的螺旋的至少一半区块上，并且附接到主体的第二组在螺旋横截面的相反直径侧上的螺旋的至少另一半区块上，其中第一和第二区块与垂直于直径面的线所成的方位角可以互换，使得设备的运动的方向被反向。

## 附图说明

[0044] 将结合附图从下列详细说明更全面地理解本发明，其中：

[0045] 图 1 示意性示出了根据本发明的第一优选实施例构造和运行的线性运动振动机器人蠕动器；

[0046] 图 2A 为在图 1 中所示的纤维的其中一个的放大视图，以说明一种示范性方式，通过该方式纤维相对于其所接触的表面具有各向异性摩擦系数；图 2B 示出了这样的纤维，例如由薄片金属加工或者从合适的基片材料蚀刻；

[0047] 图 3A 为被插入管子中的图 1 的蠕动设备的示意图，以示出设备如何起作用；图 3B 示意性示出了用于在具有大致平直的侧壁的平面导管中运行的振动蠕动设备；图 3C 示出了用于在平坦表面上运行的振动蠕动设备；

[0048] 图 4 示意性示出了蠕动设备，其基于图 3A 中所示的例子，但是可以在两个方向中的任一方向运动。

[0049] 图 5 示意性示出了可以无转轴旋转的振动各向异性摩擦运动设备；

[0050] 图 6A 示意性示出了与图 5 中所示相似的振动各向异性摩擦运动设备，除了柔性纤维向内附接到旋转的外部转子；图 6B 示出了使用图 6A 的设备以产生线性运动；图 6C 示出了使用图 6A 的设备实现更高的旋转或者线性速度，或者增加转矩；

[0051] 图 7 示意性示出了其它例子，其示出具有圆筒形式的振动运行的蠕动设备，其可以沿中心轴元件（例如导丝）蠕动。

[0052] 图 8A 至 8D 示意性示出了蠕动设备另外的例子，其将线性运动与圆形运动结合；并且

[0053] 图 9 示意性示出了另外的示范性设备，其与图 8A 至 8D 的设备相似，除了纤维的螺旋排列位于设备的内部环形壁上，这样设备可以沿导丝或者腔的外部表面蠕动同时还进行旋转。

## 具体实施方式

[0054] 参考图 1，其示意性示出了根据本发明的一个方面的线性运动振动机器人蠕动器 10 的例子。该设备的主体 11 可以附接具有与相对表面的浅表各向异性摩擦的多个柔性纤维 12，机器人蠕动器相对于所述相对表面移动。纤维被附接到主体上使得所述纤维大致被定位成与主体 11 的轴线成相同方向（same sense）的角度。在图 1 中，纤维均被显示为定位朝向图的右方，这意味着它们在朝向图的右方的方向中与轴线成锐角。尽管在图 1 中所示的所有纤维倾斜相同的附接角，但这并不是设备运行的主要条件，只要大部分纤维大致相

对于与主体轴线垂直的平面在一个方向上倾斜，设备就能运行。蠕动器的主体优选包括换能器（transducer）14，当所述换能器被触发时导致主体振动。对于设备的运行并不要求振动在任何特定的方向中，可以完全地随机化。然而，即使振动为有序性质，例如线性、震动、往复或者圆形，设备仍然运行。换能器可以为自供能量的，例如通过使用内部电池，然后可以借助于压电元件产生振动。可替换地，振动可以被外部触发，例如借助于在主体中的磁芯上产生作用的外部交流磁场 16，或者对在主体中的介电芯起作用的外部交流电场。

[0055] 参考图 2A，该图为图 1 中所示纤维 12 的其中一个的圆形部分 15 的放大视图，以示出一个例子，依靠该例子给出了纤维对于表面的各向异性摩擦系数。纤维的表面可以被设置为具有多个具有锯齿外形的尖状物 20，锯齿在纤维的定位方向上倾斜，在图 2A 中其朝向附图的右上方。当这种具有尖状物的纤维擦过具有粗糙水平的表面时，使得尖状物的点可以捕捉到表面的粗糙特征，从而产生各向异性摩擦效果。在图 2A 的实施例中，纤维可以容易地在朝向附图的左下的方向上在表面上移动，但是不能朝向右上方。可替换地，纤维可以大致是光滑的，仅具有一些残余的表面粗糙，由确保纤维擦过的表面具有例如图 2A 的尖状物的特征产生各向异性摩擦，这可以使在一个方向上（但不能在相反方向上）的滑移运动变得容易。应当理解这种“互换角色”特征不仅可以应用到图 2A 中所示的例子中，还可以应用到本申请的所有示范性振动设备中。

[0056] 尽管在图 2A 中所示的纤维为圆形构造，但是这并不意味着限制本发明，纤维可以具有任何优选地可用外形。例如，因为纤维的尺寸小，根据一个例子，如图 2B 中所示，可以通过例如使用精细聚焦的工业切割模式激光，或者通过从合适的基片材料蚀刻的方式从薄片 22 激光加工纤维。根据该例子，通过切割纤维外形具有一体尖状物 24 来产生尖状物。在这样的例子中，“纤维”的高度可以小至几百微米。还可以使用 MEMS 或者纳米工艺来制造纤维，这甚至可以导致更小的尺寸规格。

[0057] 参考图 3A，该图为被插入管子 30 内的图 1 的蠕动设备 10 的示意图，以示出设备怎样运行。纤维的放射状或径向分散位置确保了设备大致被支撑在管子 30 的中心轴线的附近。当振动换能器 14 被触发时，其促使设备振动，主体进行曲折的振动运动，由于在纤维的表面和管子内壁之间的浅表各向异性摩擦效应，这使得设备在与纤维的倾斜方向相反的方向上移动。在图 2A, 2B 和 3A 中所示的例子中，蠕动器向左移动。应该清楚振动的性质是随机的；所有的要求就是在某些时刻，振动导致一些纤维在其低摩擦方向中移动，直到这些纤维在新位置中被尖状物锁住，随后设备在相反侧相似运动。尖状物保持被锁住直到依靠另一个相同性质的振动漂移（vibrational excursion）更进一步在其低摩擦方向上移动。尽管管子在图 3A 中所示为圆形管子，应当理解本发明不限于这种形状，而且设备可以行进通过与设备的振动纤维正确互相作用的任何形状的管子。尤其是平面几何形状，例如在 MEMS 应用中的这类形状，可以使用在两个相反侧处附接到主体的纤维接触管道的平面壁穿越这类形状，这将在图 3B 的实施例中示出。

[0058] 作为这种运动机构的结果，应当清楚振动并不需在设备的主体中产生，相反可以由纤维自身的振动产生，例如可以使用带有交变磁场的铁磁纤维。

[0059] 纤维 12 的柔性使蠕动器能够装入直径变化范围较大的腔，腔壁与纤维 12 的平行部分互相作用，所述纤维可在其长度的主要部分上与壁接触。这使单一尺寸设备的应用能够适应的管子的直径范围比现有技术设备所能适应的管子的直径范围更宽，所述现有技术

设备使用刚毛梢端倚靠到管子壁上以提供各向异性摩擦。这使得设备尤其有利地在沿设备行进通过的区段上直径变化较大的血管、胃肠道以及其它内腔的医学应用中使用。此外,由于每个纤维与周围的壁相互作用的大范围区段,运动的效率可以得到改进。

[0060] 根据另一个例子,蠕动器设备可以根本不需要具有自己的振动产生机构,而是振动可以在管子的壁中产生。在实施例中管子纵向振动明显地产生纤维沿管子的壁的滑动以及纵向运动。然而,壁的振动可能甚至被定向在与管子的轴线垂直的径向中,使得管子的壁内外脉动,由此导致纤维升离 (lift off) 并且以随机的方式与壁重新接触,并且由此推动蠕动设备。这样的实施例具体地有益于在血管中蠕动的设备中应用,血管的脉动导致设备在血管中向下移动。

[0061] 参考图 3B,该图示意性示出了基于上述功能的振动蠕动设备 32 的另一个例子,其在具有大致平整的侧壁 33 的平面导管中运行。浅表各向异性摩擦纤维 34 与直线的侧壁 33 接触,并且当设备振动时推动主体 35。这样的平面导管设计在微型机械结构是常见的,该实施例作为 MEMS 仪器尤其有用。

[0062] 参考图 3C,该图示意性示出了基于上述功能的振动蠕动设备 36,其在平坦表面 38 上运行。浅表各向异性摩擦纤维 37 与平坦表面接触,并且作为设备的大致随机振动的结果,所述纤维升离并且与平坦表面重新接触,在某些实例中所述纤维依靠其尖状物进一步沿平坦表面的低摩擦方向着陆 (landing),并且由此在箭头方向中产生运动。

[0063] 参考图 4,该图示意性示出了基于图 3 中所示的例子但可以在两个方向中的任一方向中运动的蠕动设备。所述设备具有定位在相反方向中的两组纤维 40,42,以及分别用于展开或者收起每组纤维的机构或者多个机构 44。运动的方向依赖于哪组纤维被展开。在图 4 中所示的例子中,展开的纤维组 40 产生从由右到左的运动。还可以通过转换纤维的方向,或者具有不同共振频率的纤维以及使用用于改变设备运动方向的不同频率的振动来实现在两个方向中的任一方向中的运动。

[0064] 参考图 5,该图示意性示出了根据本发明的仪器的另一个例子,其示出了可以无转轴旋转的振动浅表各向异性摩擦运动设备。所述设备具备可具有板载振动换能器 51 的中心主体部分 50,以及多个纤维 52,所述纤维从中心主体发散并且除了从主体径向向外还以角度倾斜。纤维应该大致相对于从主体的发散方向以相同角度方向倾斜。设备安坐在外圆形壁 54 中,并且如上文解释过的,纤维的表面具有对于壁的各向异性摩擦系数。随着设备的振动,其在罩壁附近产生纤维的单向运动,由此引起圆形运动。对于图 5 中所示的例子,方向为顺时针方向。设备不需要轮轴以在其上运行,仅在罩壁中保持就位。这种无转轴运行在 MEMS 应用中使用是显著有利的,由于硅上硅 (硅上硅) 转轴的内部旋转摩擦水平,在 MEMS 应用中很难使用例如硅基片制造自由运行旋转设备。图 5 的示范性设备相对于现有技术圆形马达还具有显著的优势,所述马达例如在美国专利文件 No. 5770913 中所示,其要求用于运行的转轴以及引起往复运动的外部施加线性震动源。

[0065] 参考图 6A,该图示意性示出了根据本发明的仪器的另一个例子,其示出了与图 5 中所示相似的浅表各向异性摩擦运动设备,除了柔性纤维 60 在内部附接至外部转子 62,以及驱动表面的形式为安置在外部转子内在设备的中心附近或者在设备的中心处的更小直径的圆形静止元件 64。在运行中,外部转子或者内部摩擦表面,或者两者一起振动以产生圆形运动。与图 5 的实施例不同,本实施例使用“转轴”用于运行,但是不是通常意义的转子在

其上绕转的枢轴。在这种情况下，“转轴”为中心定子元件，并且只有纤维搭在定子上。因为在旋转方向中具有最小摩擦，所以本实施例容易地用硅来实现用于 MEMS 的使用是可行的。对于图 6A 中所示的实施例，方向为顺时针方向。

[0066] 参考图 6B，该图示意性示出了根据本发明的另一个示范性仪器，其示出了图 6A 的实施例的优选使用以产生线性运动。可以无限制线性移动的线性从动件 65，依靠齿条和小齿轮 66,67 接合到图 6B 的转子 62。对于这种仪器的可能应用为在需要大量线性移动但是这些移动又很难产生的 MEMS 领域中。对于在图 6B 中所示的例子，从动件 65 的线性运动的方向为从右到左。

[0067] 参考图 6C，该图示意性示出了设备的另一个例子，所述设备用于实现更高旋转速度或者从动件的更高线性速率，或者通过使用与在不同直径的空转转子上的齿轮 69 结合的图 6A 中所示的圆形运动增加转矩。转子 69 还可以附接到具有从动齿轮的线性从动件 68，所述从动齿轮调整到产生具有设定速率的线性运动。对于图 6C 中所示的实施例，转子 69 的旋转方向为逆时针方向并且线性从动件的线性运动为从左到右。

[0068] 参考图 7，该图示意性示出了根据本发明的仪器的另一个例子，其示出了振动运行的，浅表各向异性振动蠕动设备 70，其具有可以沿中心轴向安置的元件（例如导丝 72）蠕动的环形圆筒状形式。纤维 74 安置在环形圆筒的内部体积中，以沿纤维的长度与导丝接触，并且设备的振动使得设备沿导丝蠕动。该实施例对于医学应用是有用的，其中通常使用预备的导丝限定行进通过腔的路径。对于图 7 中所示的示范性设备，运动的方向为从右到左。

[0069] 参考图 8A，该图示意性示出了蠕动设备的另一个例子，该设备将线性运动与圆形运动结合，使得设备可以被用于，例如通过旋转运动清洁腔的内壁，并且同时沿腔前进。由此设备适合于沿设备可以穿越的整个长度进行的自力推进的腔的内部清洁。

[0070] 在这个例子中，纤维 81 安置为沿主体 84 的长度的大致螺旋形式。由此纤维以大致相对于主体轴线成一角度排列。因此主体的振动以及由此带来的纤维的振动在纤维和腔的壁之间产生运动的两个分量——一个分量由纤维与壁的周缘接触引起，在纤维和壁之间的摩擦力在切线方向上的分量导致主体旋转，以及由纤维与主体的轴线所成的角引起的第二分量，在纤维和壁之间的摩擦力在轴线方向上的分量，导致主体沿腔的长度移动。纤维的这种螺旋排列将因此产生沿腔向下的旋转和线性运动。

[0071] 然而，使线性运动的方向被反向是有用的，例如在医学应用中，设备可以被送入沿腔向下的一个方向中，然后通过在相反方向中的运动恢复。这可以通过使螺旋的螺距方向相反来实现，这会导致完全反向的运动。这种效应可以通过将螺旋看作沿其长度向下被切成两半，并且将被切开的螺旋的每个区块看作单独的纤维支承元件，使得设备的每一半上的区块可以被看作半圆片，可以借助于机械设备将所述半圆片与主体轴线所成的角反向。再次参考图 8A，设备的图的上面一半的区块被标记为 82，而下面一半被标记为 83。所述区块的形式可以为平面，或者作为螺杆结构的区段。在螺旋切开线的相对侧上的区块具有与主体的轴线所成的相对倾斜角。用这种方法，来自纤维在两组区块上的摩擦力的纵向分量作用在相同方向中。由此，参考图 8A 中所示的示范性构造，一个区块 82 相对于设备轴线成预先确定的角度倾斜，这样纤维的倾斜导致设备在振动情况下在图上从左到右移动。另一个区块 83 相对于设备轴线成对角倾斜，这样纤维的倾斜还导致第二区块 83 在振动的情况下在图上从左到右移动，纤维可以或者安装在主体上的单独区块位置，如图 8B 中设备的平

面图中所示,这还可以便利地轮换位置,或者如图 8C 中所示,纤维安装在设备上相同轴向位置处的平面的两个区段上。应当理解所述区块不必为物理结构,而是仅被用作说明纤维附接到设备主体的位置。

[0072] 由此在图 8A 至 8C 中的各种示范性仪器中所示的设备可以穿越腔并且同时经历旋转运动,这可以被用于清洁操作。为了将设备设置为可以在两个方向中的任一方向中移动,区块与设备的轴线所成的角可以相反,并且轴向运动将反向。这在图 8D 的平面图中示出,该图示出了图 8B 中所示例子的区块具有相反的方位,这使得使用图 8A 的参数和术语的设备现在将从左向右移动。为了执行这样的角度反向,将纤维安装在例如圆片区段的物理结构上是合适的,以便使纤维平面角可以容易地通过这些结构的角的运动改变。这种运动可以容易地例如借助于电动机械微型机构或者当需要时可以容易地由无线电致动的 MEMS,或者由任何其它本领域已知的机构实现。可以通过改变在区块和主体的轴线之间的角来调整旋转速度和轴向速度之间的比,这里更小的角意味着更低的旋转与轴向速度比并且更大的角意味着更高的旋转与轴向速度比。

[0073] 参考图 9,该图示意性示出了另一个示范性设备,其与图 8A 至 8D 的设备相似,除了纤维 91 的螺旋排列位于设备的内部环形壁上,这使得所述设备可以沿导丝或者腔 94 的外部表面蠕动,同时还进行旋转,例如用于清洁表面。在图 9 中示出了安置为螺旋形的纤维的两组区块,区块 92 位于与所示的螺旋直径面垂直的一个方向中,并且区块 93 位于相对的方向中。如图 8A 至图 8D 的实施例所解释的,借助于机械的或者其它的方法反向方位角导致设备的线性运动方向的反向。图 9 仅示出了在环形主体的内部孔附近的纤维的螺旋排列,设备的其它部件为如前面的例子中所示。

[0074] 在本申请中描述的振动蠕动机器人设备的各种例子可以自动地移动,并且尤其那些适合用于蠕动通过腔的例子,使这些设备具有可以执行多个任务(尤其是在医学领域中的)的能力,如果没有这些设备,执行这些任务是有困难、有扩散危害或者不可能的。在所描述的大多数应用中,机器人设备蠕动器的运动必须为可以控制的到达期望的靶向位置,或者可替换地,如果所述蠕动器的运动不可控制,例如在完全自动应用中,腔的脉动为设备的驱动力,那么机器人设备的前进必须被监测,并且在期望的目标点触发机器人设备的操作功能。控制这种应用的机器人设备的行进通过的一个尤其简单的方法是通过使用外部施加的交变磁场。机器人设备的期望功能的触发,可以通过用无线电执行,例如借助于电动机板载致动。下面是多个这种应用的描述,然而应当理解这仅是设备的可能应用的一些例子,并且本发明不由这些应用限定也不局限于这些应用。

[0075] (i) 目标药物输送,使用用于输送到具体区域的有效量的酶或者药物。相对于传统药物输送,药物目标输送在相关病理生理部位处产生高浓度的药理活性剂,导致药物毒性的显著减少,药物剂量的减少以及治疗效率的提高。药物目标输送的另一个方式是将生物活性剂(酶)代替实际药物输送到相关部位,这减少了需要运输到相关部位的体积量,并且可以使释放到血液中的药物的互相作用持续更长时间。这里描述的振动蠕动机器人设备的使用可以使药物或者酶到期望靶向的物理输送为安全和简单的方式。机器人设备蠕动器的运动必须为可以控制的到达期望的目标点,并且有效负载必须为可以控制地释放到期望目标点处。

[0076] (ii) 脉管阻塞,尤其是供给瘤的血管。为实现完全摧毁瘤所需的化学疗法的剂量

与不能接受的高毒性关联。瘤血管的选择性形成血栓被假设为借助于剥夺瘤的营养和氧以及导致瘤细胞死亡的崩落来对抗癌症的可选择方法。以瘤的血管的选择性阻塞 / 中断为目标的脉管靶向策略显示出具有重要的抗癌治疗潜力并且鼓励用于浅表瘤的治疗的抗体光敏剂共轭物的使用以及可能鼓励了其他血管再生相关病理。以上所述类型的振动蠕动机器人设备的使用使得这种阻塞或者流动中断可以以安全和简单的方式实现。

[0077] (iii) 冠状动脉内的压力以及流量传感。以上所述类型的振动蠕动机器人设备可以被用于当运输用于局部监测生理特征的传感器有效负载时到达具体靶向，所述生理特征例如压力、流量、葡萄糖水平或者其它易于测量的参数。机器人设备具有靶向并且不断监测的能力。所述设备还可以用在除了血管的其它环境中，例如尿管、胃肠道的部分以及其他体腔。

[0078] (iv) 肺部内的测量。以上所述类型的振动蠕动机器人设备可以从肺部导管的端部释放以到达导管不能到达的肺的区域，并且从那里恢复信息。使用通过相对较大直径的体腔的导管来插入机器人设备，所述体腔例如在肺中的支气管，所述机器人设备然后被释放以行进通过导管不能通过的更小的通道，例如细支气管。

[0079] (v) 颅内运动。这与前面的应用相似机器人设备在脑室中蠕动，例如为放置电极或者感应区域。

[0080] (vi) 分流器维护。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可用于清洁脑脊髓液 (CSF) 分流器，所述分流器用于治疗脑积水或者正常压力脑积水病人。微型机器人设备移动通过分流器用于清洁分流器并且防止分流器阻塞，而且不干扰脑脊髓液 (CSF) 排水。这种应用可以适当地用于打算长期使用的任何内部分流器，例如脑积水分流器、尿道导管、膀胱切开术、腹膜透析以及其他。

[0081] 参考 CSF 分流器的例子，可以通过在脑室和腹腔之间放置导液管（分流器）以消除高内压来成功治疗内部脑积水。可替换地，导液管可以通过颈部开口被引入颈内静脉。大致发生在分流器放置后的开始几个月中的常见并发症为由于在插入点处的脉络丛或者血块产生的分流器堵塞。上述所述类型的振动蠕动的微型机器人设备可以在管子中蠕动，并且理想的可以用于打开在这种分流器中的阻塞，经常预防对于分离器修改措施的需要。可替换地，设备可以被用作沿这些导管的外部表面蠕动，或许可以使用图 9 的内螺旋设备，并且被用作清洁在分离器或者相关管子中的排水孔的任何阻塞。

[0082] (vii) 前列腺治疗。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以被用于到达前列腺区域，其带有天线或者其它加热设备，以施加局部加热以移除流动的障碍物。

[0083] (viii) 胃肠监测。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以依靠穿越通过胃肠用于无线电监测并且记录胃肠运动，同时可以在期望区域暂停，然后来回移动同时在其中拍照以及收集活组织检查，由此替代传统结肠镜检查措施。

[0084] (ix) 关于肥胖或者抑郁症治疗的胃或者胃肠应激反应。由迷走神经运输的神经消息在摄取、消化和饱食感的控制中扮演重要的角色。迷走神经在脑中起始并且延伸到多个器官和消化系统的区域。每个迷走神经在脑和消化系统之间提供直接的双向通信，而没有对于其它大多数人体神经都很典型的额外的脉冲脊髓处理。迷走神经干直径大约为 3mm 至 4mm 并且在其从食道扩大范围到胃、胰、十二指肠以及胆囊之前沿食道的前部和后部行进。

[0085] 被称为用于肥胖控制的迷走神经封闭 (VBLOC) 的医学方法的使用成功地验证了

其可以减少接近 90% 容量的胰腺外分泌的胰液，并且抑制胃部收缩。由于减少卡路里摄取和吸收、提早饱食和延长饱食感产生了减少重量的结果。

[0086] 然而 VBLOC 为通过腹腔镜检法植入的有扩散危害的措施，其导致间歇性封闭迷走神经干。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以用于到达在迷走神经上的正确位置以执行迷走神经封闭。自动机器人设备可以以具体地无扩散损害利用方法被吞咽，并可能使用板载无线电致动换能器被无线电靶向到在预先确定位置中的迷走神经。机器人设备可以封装神经刺激器，一旦到达正确位置，该刺激器将对迷走神经产生根据预设程序治疗方法的电脉冲形式的电刺激。根据该应用的系统的一个示范性仪器，机器人设备可以为可吞咽药片形式，包括：

[0087] (a) 无线电刺激电极。

[0088] (b) 能够使机器人设备的自动靶向精确的可降解纤维组。

[0089] (c) 可降解锚固装置，牢固的抓紧胃壁，典型地可以持续上至一个月的有限时段。

[0090] (d) 用于控制机器人设备的自适应外部控制单元。

[0091] (x) ENT 应用。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以用于将电极插入耳朵的耳蜗内，这由传统装置很难无扩散危害的进入。

[0092] (xi) 支架置放。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以用于修复开放路径或者在身体导管中的腔，例如血管或者其它变窄或堵塞的体腔。在到达变窄区域之后，该机器人设备以支架的形式扩张以修复变窄或者堵塞的血管。

[0093] (xi i) 工业应用。以上所述类型的振动机器人设备蠕动器可以用于很多需要通过管道或者导管的工业应用，尤其是那些沿其长度具有不同直径的管道或者导管。由此水、气或者油泄漏扫描机器人设备可以在具有变化直径的管道中行进通过并且检查泄漏。

[0094] 本领域技术人员应当理解本发明不由以上的具体显示和描述所限制。本发明的范围包括以上描述的各种特征的组合和次要组合以及对其的变化和修改，本领域技术人员可以基于阅读以上描述作出这些修改，并且这不属于现有技术。

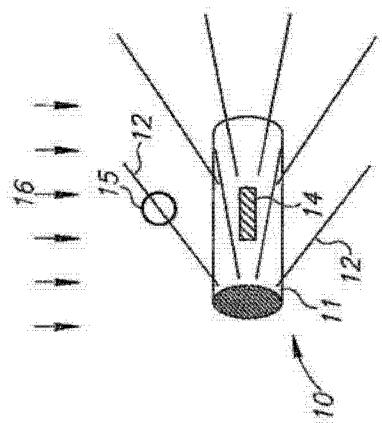


图 1

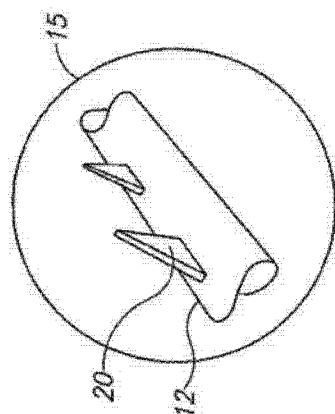


图 2A

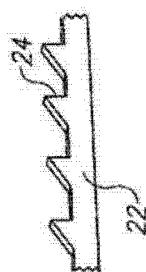


图 2B

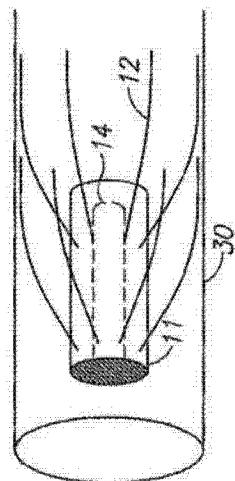


图 3A

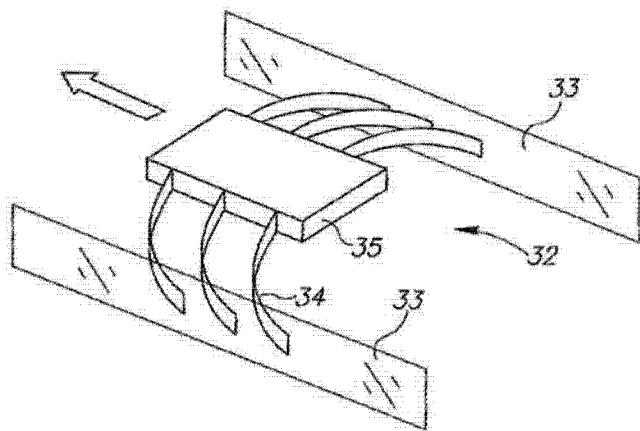


图 3B

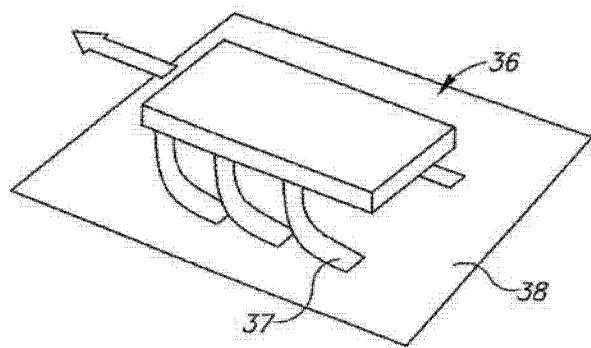


图 3C

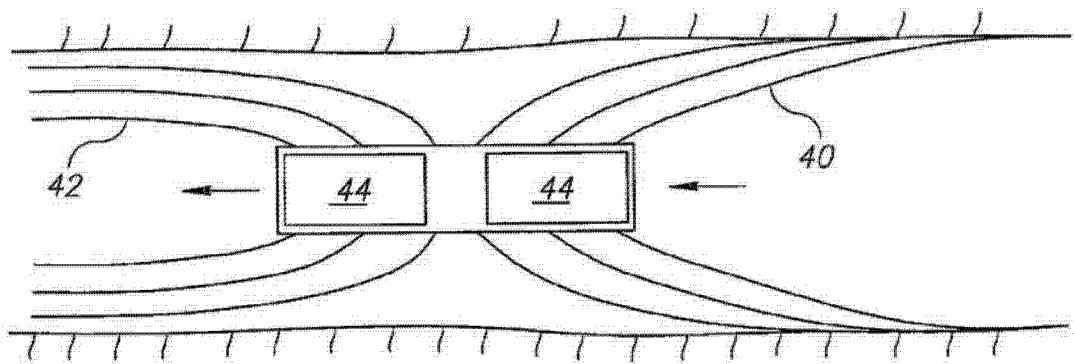


图 4

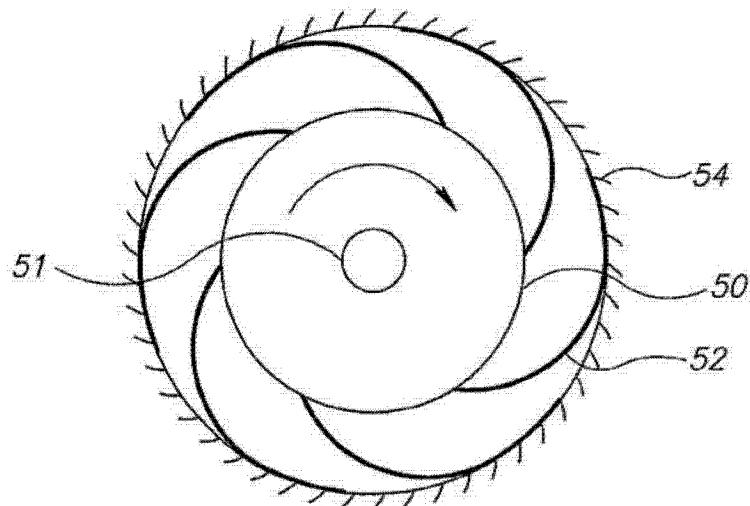


图 5

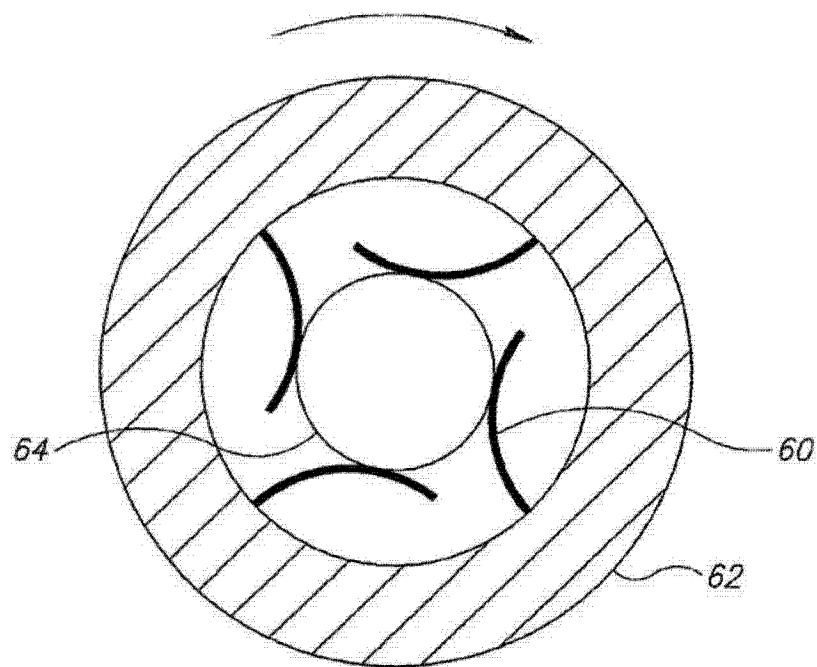


图 6A

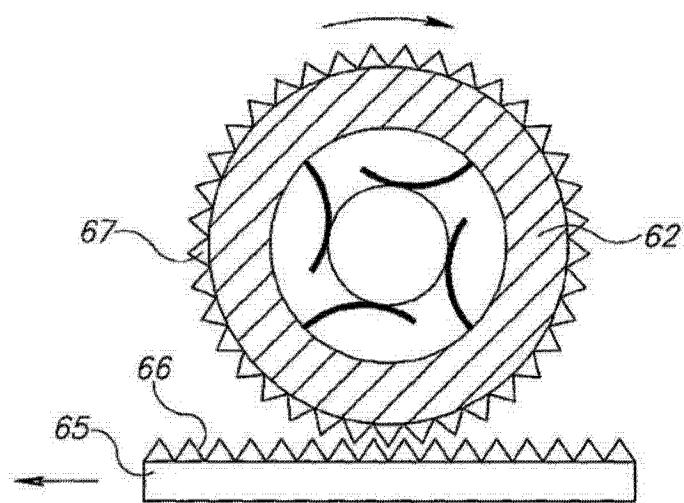


图 6B

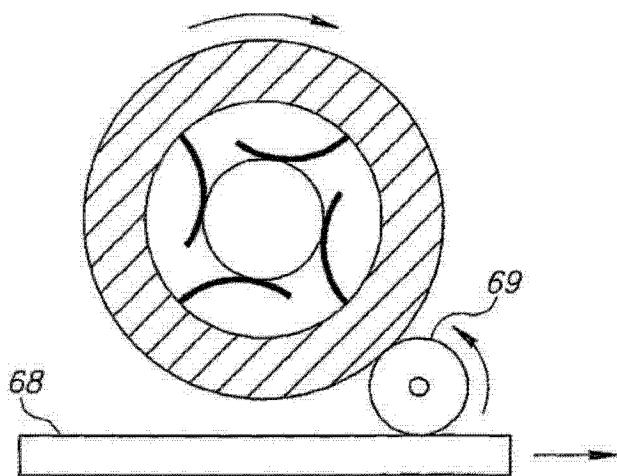


图 6C

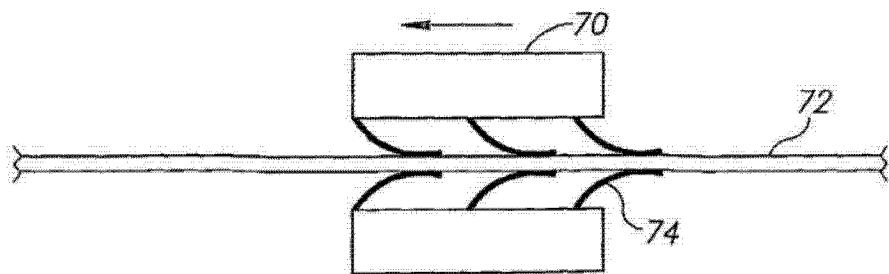


图 7

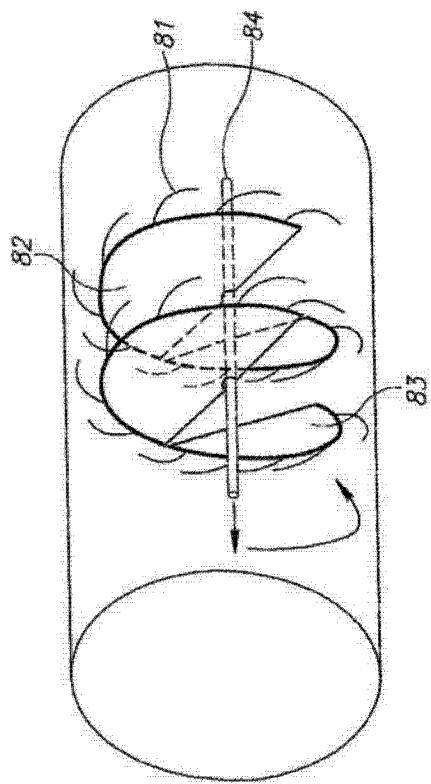


图 8A

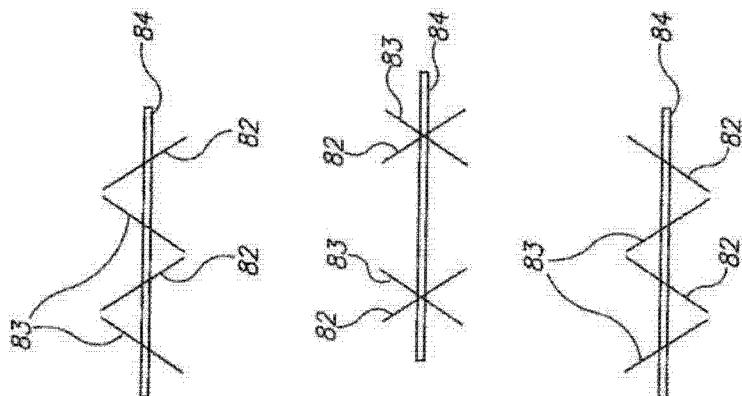


图 8B

图 8C

图 8D

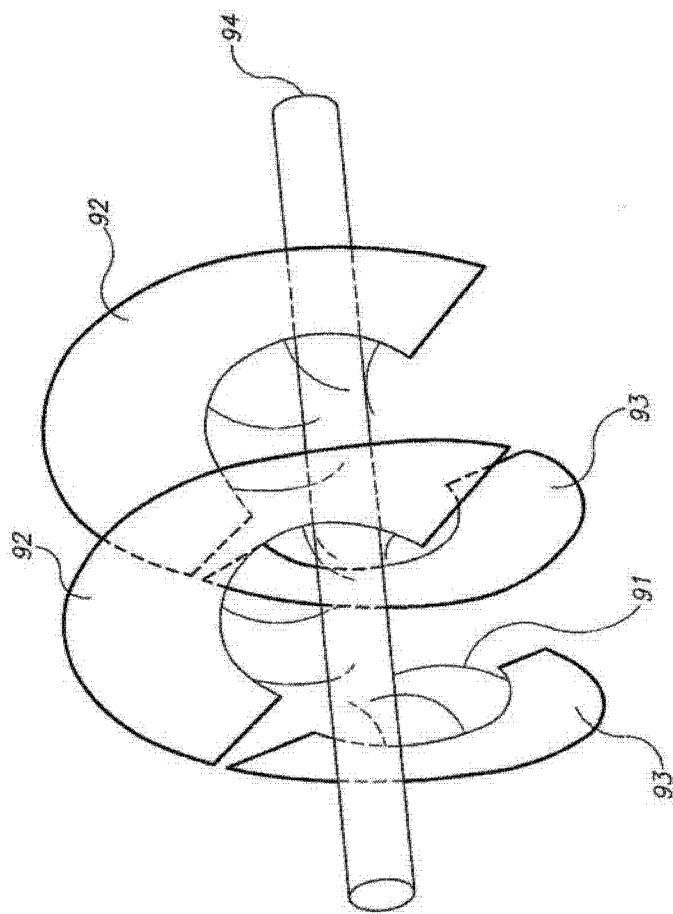


图 9