



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107978578 B

(45)授权公告日 2020.02.21

(21)申请号 201711178140.8

(22)申请日 2017.11.23

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107978578 A

(43)申请公布日 2018.05.01

(73)专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72)发明人 苏业旺 李爽 刘浩

(74)专利代理机构 北京和信华成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11390
代理人 胡剑辉

(51)Int.Cl.
H01L 23/49(2006.01)
H01L 21/48(2006.01)

(56)对比文件

US 2008036063 A1,2008.02.14,
US 2014012242 A1,2014.01.09,
CN 1118099 C,2003.08.13,
CN 105706536 A,2016.06.22,
CN 106463490 A,2017.02.22,
Yung-Yu Hsu.《polyimide-enhanced stretchable interconnects:design, fabrication,and characterization》.《IEEE》.2011,第58卷(第8期),全文.

审查员 薛源

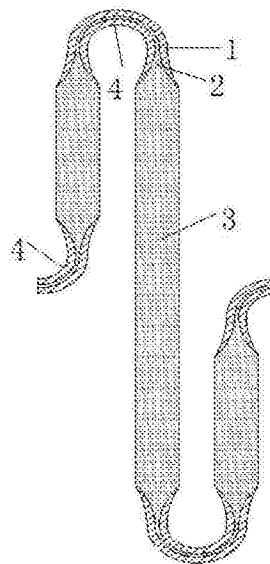
权利要求书2页 说明书6页 附图6页

(54)发明名称

一种变线宽的柔性可拉伸导线及其制备方法

(57)摘要

本发明公开了一种变线宽的柔性可拉伸导线及其制备方法,可以在保持可拉伸性的同时减小导线自身的电阻从而提高导线在力学性能、电学性能和热学性能三者间平衡调节的可行性。包括:导电膜和绝缘衬底,导电膜与绝缘衬底层叠设置,导电膜位于上层;导线弯曲变形较小导线段的导电膜的宽度大于弯曲变形较大导线段的导电膜的宽度;导线弯曲变形较小导线段的绝缘衬底的宽度等于或大于该段导电膜的宽度;弯曲变形较大导线段的绝缘衬底的宽度等于或大于该段导电膜的宽度,同时小于或等于弯曲变形较小导线段的绝缘衬底的宽度;导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接;导线轮廓为蛇形蜿蜒的曲线形。



1. 一种变线宽的柔性可拉伸导线,其特征在于,所述导线轮廓为蛇形蜿蜒的曲线形,包括:导电膜和绝缘衬底,所述导电膜与所述绝缘衬底层叠设置,所述导电膜位于上层;

所述可拉伸导线包括弯曲变形较小导线段和弯曲变形较大导线段,所述可拉伸导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的宽度大于弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度;所述导线弯曲变形较小导线段的所述绝缘衬底的宽度等于或大于该段所述导电膜的宽度;

弯曲变形较大导线段的所述绝缘衬底的宽度等于或大于该段所述导电膜的宽度,同时小于或等于弯曲变形较小导线段的所述绝缘衬底的宽度;

所述导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接。

2. 根据权利要求1所述的一种变线宽的柔性可拉伸导线,其特征在于,还包括封装所述导电膜和绝缘衬底的弹性封装薄膜。

3. 根据权利要求1或2所述的一种变线宽的柔性可拉伸导线,其特征在于,所述导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的最大宽度,大于或等于所述导线弯曲变形较大导线段的所述导电膜的最小宽度,且所述最大宽度为所述最小宽度的1-20倍。

4. 根据权利要求1或2所述的一种变线宽的柔性可拉伸导线,其特征在于,所述变线宽的柔性可拉伸导线为“U”形,所述过渡曲线的曲率半径大于所述导电膜最小宽度部分的曲率半径,小于所述导电膜最大宽度部分的曲率半径。

5. 制备权利要求1所述的一种变线宽的柔性可拉伸导线的方法,其特征在于,包括以下步骤:

a. 有限元计算满足可拉伸性要求的、均匀线宽的柔性可拉伸导线受拉后的变形状态;
b. 根据柔性可拉伸导线受拉变形后的变形状态,对所述柔性可拉伸导线的所述导电膜形状进行变线宽模拟设计,对弯曲变形较小导线段的所述导电膜进行加宽,或者,对弯曲变形较小导线段的所述导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度;模拟设计的所述导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接;

c. 对所述变线宽的柔性可拉伸导线再进行有限元模拟,找到所述变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏之前的最大临界拉伸率,所述变线宽的柔性可拉伸导线在该最大临界拉伸率范围内被拉伸不会被破坏;

d. 当所述变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏前的所述最大临界拉伸率小于该导线未变线宽之前被拉伸破坏前的最大临界拉伸率,且其差值大于预设值,则重复步骤b和c,重新设计所述变线宽的柔性可拉伸导线,再进行所述有限元模拟;

e. 模拟成功后,通过激光切割或等离子刻蚀实际制作出所述变线宽的柔性可拉伸导线。

6. 根据权利要求5所述的制备所述变线宽的柔性可拉伸导线的方法,其特征在于,步骤b中,所述对弯曲变形较小导线段的所述导电膜进行加宽,所述导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的最大宽度,大于或等于所述导线弯曲变形较大导线段的所述导电膜的最小宽度,且所述最大宽度为所述最小宽度的1-20倍。

7. 根据权利要求5所述的制备所述变线宽的柔性可拉伸导线的方法,其特征在于,步骤b中,所述对弯曲变形较小导线段的所述导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度中,减小的宽度小于弯曲变形较大导线段的所述导电膜原始宽度的0.5倍。

8. 根据权利要求5所述的制备所述变线宽的柔性可拉伸导线的方法,其特征在于,步骤

b中,所述变线宽的柔性可拉伸导线为“U”形,所述过渡曲线的曲率半径大于所述导电膜最小宽度部分的曲率半径,小于所述导电膜最大宽度部分的曲率半径。

9.根据权利要求5所述的制备所述变线宽的柔性可拉伸导线的方法,其特征在于,步骤e中,制成所述变线宽的柔性可拉伸导线之后还包括,将其通过弹性封装薄膜进行封装。

一种变线宽的柔性可拉伸导线及其制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于柔性电子器件的结构设计技术领域,具体涉及一种变线宽的柔性可拉伸导线及其制备方法。

背景技术

[0002] 目前柔性电子器件正在逐步产业化,在柔性显示、运动监测以及医疗、能源等领域都有重要应用。柔性电子与传统IC技术一样,制造工艺和装备也是柔性电子技术发展的主要驱动力。

[0003] 柔性可拉伸性导线可以提高电子器件在不可展曲面上的贴合性。同时,柔性可拉伸导线已发展了岛桥结构和分形结构这两种常见的电路结构,在给定的导线空间内,这些电路结构可以实现柔性可拉伸导线足够的可拉伸性能。

[0004] 然而,当在电子器件或者电路结构中,使用的柔性可拉伸导线本身很细时,其电阻过大,会产生发烫的现象,甚至导致器件不能正常工作。而对于本身很细的柔性可拉伸导线在电子器件或者电路结构中使用,其力学性能、电学性能和热学性能间的平衡调节比较难实现,甚至无法调节,尤其对于高能量的器件,此为目前柔性可拉伸导线在实际应用中存在的一个难题。而且,目前本领域还未找到一种合适的可拉伸导线,具有较好的拉伸性能的同时电阻不会过大。

[0005] 中国专利(CN105038249A)公开了一种可拉伸的导电复合材料及其制备方法与应用,该可拉伸的导电复合材料是通过棉花负载银纳米线后,用PDMS包裹起来形成的能够拉伸的导电复合材料。但是由于纳米银受本身的塑性和延展性的限制,该可拉伸的导电复合材料的延展性依然不能满足对拉伸性能要求较高的一些特殊领域。

发明内容

[0006] 本发明的一个目的在于提供一种变线宽的柔性可拉伸导线,该变线宽的柔性可拉伸导线可以在保持可拉伸性的同时减小导线自身的电阻,从而提升整个电子器件或者电路结构的电学性能和热学性能,提高柔性可拉伸导线在力学性能、电学性能和热学性能三者间平衡调节时的可行性。

[0007] 本发明的另一个目的在于提供制备所述变线宽的柔性可拉伸导线的方法。

[0008] 为了达到上述目的,本发明的具体技术方案如下:

[0009] 一种变线宽的柔性可拉伸导线,所述导线轮廓为蛇形蜿蜒的曲线形,包括:导电膜和绝缘衬底,所述导电膜与所述绝缘衬底叠加设置;

[0010] 所述可拉伸导线包括弯曲变形较小导线段和弯曲变形较大导线段,所述可拉伸导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的宽度大于弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度;所述导线弯曲变形较小导线段的所述绝缘衬底的宽度等于或大于该段所述导电膜的宽度;

[0011] 弯曲变形较大导线段的所述绝缘衬底的宽度等于或大于该段所述导电膜的宽度,

同时小于或等于弯曲变形较小导线段的所述绝缘衬底的宽度；

[0012] 所述导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接。

[0013] 进一步地,还包括封装所述导电膜和绝缘衬底的弹性封装薄膜,所述弹性封装薄膜为Ecoflex薄膜或Silbione薄膜。

[0014] 进一步地,所述导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的最大宽度,大于或等于所述导线弯曲变形较大导线段的所述导电膜的最小宽度的倍数,所述倍数范围为1-20。

[0015] 进一步地,所述变线宽的柔性可拉伸导线为“U”形,所述过渡曲线的曲率半径大于所述导电膜最小宽度部分的曲率半径,小于所述导电膜最大宽度部分的曲率半径。

[0016] 本发明提供的制备一种变线宽的柔性可拉伸导线的方法,包括以下步骤:

[0017] a.有限元计算满足可拉伸性要求的、均匀线宽的柔性可拉伸导线受拉后的变形状态;

[0018] b.根据柔性可拉伸导线受拉变形后的变形状态,对所述柔性可拉伸导线的所述导电膜形状进行变线宽模拟设计,对弯曲变形较小导线段的所述导电膜进行加宽,或者,对弯曲变形较小导线段的所述导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度;模拟设计的所述导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接;

[0019] c.对所述变线宽的柔性可拉伸导线再进行有限元模拟,找到所述变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏之前的最大临界拉伸率,所述变线宽的柔性可拉伸导线在该最大临界拉伸率范围内被拉伸不会被破坏;

[0020] d.当所述变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏前的所述最大临界拉伸率小于该导线未变线宽之前被拉伸破坏前的最大临界拉伸率,且其差值大于预设值,则重复步骤b和c,重新设计所述变线宽的柔性可拉伸导线,再进行所述有限元模拟;

[0021] e.模拟成功后,通过激光切割或等离子刻蚀实际制作出所述变线宽的柔性可拉伸导线。

[0022] 进一步地,步骤b中,所述对弯曲变形较小导线段的所述导电膜进行加宽,所述导线弯曲变形较小导线段的所述导电膜的最大宽度,大于或等于所述导线弯曲变形较大导线段的所述导电膜的最小宽度的倍数,所述倍数范围为1-20。

[0023] 进一步地,步骤b中,所述对弯曲变形较小导线段的所述导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段的所述导电膜的宽度中,减小的宽度小于弯曲变形较大导线段的所述导电膜原始宽度的0.5倍。

[0024] 进一步地,步骤b中,所述变线宽的柔性可拉伸导线为“U”形,所述过渡曲线的曲率半径大于所述导电膜最小宽度部分的曲率半径,小于所述导电膜最大宽度部分的曲率半径。

[0025] 进一步地,步骤e中,将制成的所述导电膜和所述绝缘基层层叠设置之后还包括,将其通过弹性封装薄膜进行封装。

[0026] 进一步地,所述弹性封装薄膜为Ecoflex薄膜或Silbione薄膜。

[0027] 针对现有柔性可拉伸导线结构的力学性能、电学性能与热学性能间难以调和的缺点,以及高厚宽比非屈曲结构加工时间长且没有充分利用平面面积的缺点,本发明提供了一种变线宽的柔性可拉伸导线及其制备方法,设计一种变线宽的柔性可拉伸导线,相比现

有的低厚宽比的柔性可拉伸导线结构,它可以在基本维持导线可拉伸性的前提下,大幅度减小导线的电阻,从而提升整个电路的电学性能和热学性能,保证功能器件的正常工作。

[0028] 相比于高厚宽比的非屈曲柔性可拉伸导线结构,本发明充分利用平面面积,在基本维持导线可拉伸性的前提下,同时可以使导线电阻更小且加工时间较短。对于激光切割工艺来说,本发明相比于同样力学和电学性能的分形结构可拉伸导线,可具有更小的轮廓线长,所以所需加工时间更少。

附图说明

[0029] 图1a是PI膜与导电Cu膜共形的均匀线宽的“U”形柔性可拉伸导线;

[0030] 图1b是未加宽曲线段PI膜比导电Cu膜宽的均匀线宽的“U”形柔性可拉伸导线;

[0031] 图2a是图1a受拉伸后的导电Cu膜的形状;

[0032] 图2b是图1b受拉伸后的导电Cu膜的形状;

[0033] 图3a是图1a中导电Cu膜的直线段变3倍线宽的“U”形柔性可拉伸导线;

[0034] 图3b是图1a中导电Cu膜的直线段变3倍线宽,未加宽的曲线段的PI膜宽度与加宽段的直线段宽度相等的“U”形柔性可拉伸导线;

[0035] 图4a是图1a中导电Cu膜的直线段变10倍线宽的“U”形柔性可拉伸导线;

[0036] 图4b是图1a中导电Cu膜的直线段变10倍线宽,未加宽的曲线段的PI膜宽度小于加宽段的直线段宽度大于曲线段导电Cu膜宽度的“U”形柔性可拉伸导线;

[0037] 图4c是在图4b基础上经过端部优化的“U”形柔性可拉伸导线;

[0038] 1.PI膜,2.导电Cu膜,3.弯曲变形较小导线段,4.弯曲变形较大导线段。

具体实施方式

[0039] 下面结合附图对本发明的实施方式进行说明。

[0040] 一种变线宽的柔性可拉伸导线,包括导电膜和绝缘衬底,导电膜与绝缘衬底层叠设置,导电膜位于上层。

[0041] 导线弯曲变形较小导线段3的导电膜的宽度大于弯曲变形较大导线段4的导电膜的宽度;导线弯曲变形较小导线段3的绝缘衬底的宽度等于或大于该段导电膜的宽度;弯曲变形较大导线段4的绝缘衬底的宽度等于或大于该段导电膜的宽度,同时小于或等于弯曲变形较小导线段3的绝缘衬底的宽度;导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接;所述导线轮廓为蛇形蜿蜒的曲线形。

[0042] 还可以对制成的变线宽的柔性可拉伸导线通过弹性封装薄膜进行封装,弹性封装薄膜可以为Ecoflex薄膜或Silbione薄膜。当然如果使用的导电膜金属为抗氧化性能良好的材料制成,可以不用封装。或者该变线宽的可拉伸导线在一个相对封闭的环境中使用,无人触碰的情况下,也可以选择不封装。

[0043] 导线弯曲变形较小导线段3的导电膜的最大宽度大于或等于导线弯曲变形较大导线段4的导电膜的最小宽度的倍数,最大倍数为20倍。通常加宽的倍数会小于20,当大于20倍时,继续加宽对导线本身的电阻并没有明显的改变,所以通常最大加宽不超过20倍,通常试验会选择10倍或者10倍以下进行加宽,此时从材料成本到结构性能的优化均为最优选择。

[0044] 制备上述变线宽的柔性可拉伸导线的方法：

[0045] a. 有限元计算满足可拉伸性要求的、均匀线宽的柔性可拉伸导线受拉后的变形状态；

[0046] b. 根据柔性可拉伸导线受拉后的变形状态，对柔性可拉伸导线的导电膜形状进行变线宽模拟设计，对弯曲变形较小导线段3的导电膜进行加宽，或者，对弯曲变形较小导线段3的导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段4的导电膜的宽度；模拟设计的导电膜的最大宽度部分与最小宽度部分之间通过平滑的过渡曲线连接；

[0047] 当变线宽的柔性可拉伸导线为“U”形时，为了保护最小宽度部分的导电膜，优选设置过渡曲线的曲率半径大于导电膜最小宽度部分的曲率半径，小于导电膜最大宽度部分的曲率半径。

[0048] 对弯曲变形较小导线段3的导电膜进行加宽，导线弯曲变形较小导线段3的导电膜的最大宽度，大于或等于导线弯曲变形较大导线段4的导电膜的最小宽度的倍数，最大倍数为20倍，根据选择的材料性能的不同以及使用环境需求的不同，导电膜弯曲变形较小部位所需要被加宽的倍数也不同。

[0049] 对弯曲变形较小导线段3的导电膜加宽的同时减小弯曲变形较大导线段4的导电膜的宽度中，减小的宽度小于弯曲变形较大导线段4的导电膜原始宽度的0.5倍。

[0050] c. 对变线宽的柔性可拉伸导线再进行有限元模拟，找到变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏之前的最大临界拉伸率，变线宽的柔性可拉伸导线在该最大临界拉伸率范围内被拉伸不会被破坏。

[0051] 其中的最大临界拉伸率指的是制成的变线宽的柔性可拉伸导线弯曲变形较大导线段4的导电膜的塑性变形部分的宽度小于该部分未产生塑性变形前宽度的一半，在该界限范围内时，该变线宽的柔性可拉伸导线不会由于被拉伸而破坏。

[0052] d. 当变线宽的柔性可拉伸导线被拉伸破坏前的最大临界拉伸率小于该导线未变线宽之前被拉伸破坏前的最大临界拉伸率，且其差值大于预设值，则重复步骤b和c，重新设计变线宽的柔性可拉伸导线，再进行有限元模拟。

[0053] e. 模拟成功后，通过激光切割或等离子刻蚀实际制作出变线宽的柔性可拉伸导线。

[0054] 对制成的变线宽的柔性可拉伸导线还可以通过弹性封装薄膜进行封装，可以选择Ecoflex薄膜或Silbione薄膜进行封装。

[0055] 实施例：

[0056] 以最简单的“U”形柔性可拉伸导线为例，对其进行变线宽设计，由于“U”形可拉伸导线应变较小的位置为直线段，所以，可以对“U”形柔性可拉伸导线弯曲变形较小的直线段加宽，或者在对弯曲变形较小的直线段加宽的同时减小弯曲变形较大的曲线段的宽度。

[0057] 聚酰亚胺薄膜(PolyimideFilm)是世界上性能最好的薄膜类绝缘材料，由均苯四甲酸二酐(PMDA)和二胺基二苯醚(DDE)在强极性溶剂中经缩聚并流延成膜再经亚胺化而成。

[0058] 本实施例中选用的绝缘基底即为上述PI膜1，其中的导电膜为导电Cu膜2。本实施例中使用的导线原始参数如下：

[0059] 导电Cu膜2厚度为20微米，PI膜1厚度为10微米。导电Cu膜2最细处的宽度为20 μ m，

桥长1.2mm。

[0060] 本实施例以图1a和图1b所示的均匀线宽的“U”形柔性可拉伸导线为基础进行变线宽设计,其中,该“U”形导线的直线段总长为6mm,曲线段0.6 π mm。图1a中,PI膜1的宽度和导电Cu膜2的宽度相等,图1b中,PI膜1的宽度大于导电Cu膜2的宽度。

[0061] 在对“U”形柔性可拉伸导线进行拉伸模拟时,只进行横向拉伸,而且要找到导电Cu膜2不会被破坏的最大临界拉伸率。

[0062] 首先用商业软件abaqus对图1a和图1b中的柔性可拉伸导线进行有限元模拟,得到均匀线宽的“U”形柔性可拉伸导线受拉变形后的状态,如图2a、图2b所示,发现其直线段弯曲变形很小,曲线段受拉弯曲变形较大,所以断定直线段为其受拉弯曲变形较小部分,对该部分的导电Cu膜2进行加宽。

[0063] 本方案中选择对需要加宽的导电Cu膜2的直线段分别进行3倍加宽和10倍加宽模拟。

[0064] 当选择加宽3倍线宽时,最终成形的变线宽的柔性可拉伸导线有如图3a和图3b两种状态,图3a中,变线宽后的导电Cu膜2的每个部分的宽度均与PI膜1宽度相等,也就是二者完全以1:1的外形尺寸配合设置。图3b中,导电Cu膜2的加宽部分的宽度与PI膜1的宽度相等,未加宽的曲线段的PI膜1宽度保持与加宽部分的宽度相等,选择圆弧过渡曲线实现加宽段与未加宽段的平滑过渡连接,该圆弧过渡曲线的曲率半径为导电Cu膜2的最小宽度部分的半径的两倍。

[0065] 为了进一步减少电阻,当选择对上述导电Cu膜2的直线段部分加宽10倍线宽时,如图4a、图4b所示,图4a中,变线宽后的导电Cu膜2的每个部分的宽度均与PI膜1宽度相等,也就是二者完全以1:1的外形尺寸配合设置。图4b中,导电Cu膜2的加宽部分的宽度与PI膜1的宽度相等,未加宽的曲线段的PI膜1宽度小于加宽的直线段部分的宽度,同时大于未加宽段的导电Cu膜2的宽度,选择圆弧过渡曲线实现加宽段与未加宽段的平滑过渡连接,该圆弧过渡曲线的曲率半径为导电Cu膜2的最小宽度部分的半径的两倍。

[0066] 图4c是在图4b设计基础上经过端部优化的曲线段PI膜1比导电Cu膜2宽的变10倍线宽的“U”形柔性可拉伸导线。

[0067] 再使用商业软件abaqus分别对3倍线宽和10倍线宽的柔性可拉伸导线进模拟,观察变线宽的“U”形柔性可拉伸导线受拉状态,验证加宽后的柔性可拉伸导线在相近拉伸程度下仍不会破坏。

[0068] 本实施例的参数是优化过的合适的参数。若设计参数不当导致导电Cu膜2破坏,则可加大过渡曲线的半径,再做计算。

[0069] 在附图中,填充点的区域表示导电Cu膜2及下面的PI膜1,填充斜线的区域表示只有PI膜1,即PI膜1比导电Cu膜2宽出的区域。

[0070] 本实施例的实验结果如下:

[0071] 图1a 拉伸性:约121% 电阻:约0.35欧姆;

[0072] 图1b 拉伸性:约163% 电阻:约0.35欧姆;

[0073] 图3a 拉伸性:约111% 电阻:约0.16欧姆;

[0074] 图3b 拉伸性:约150% 电阻:约0.16欧姆;

[0075] 图4a 拉伸性:约104% 电阻:约0.15欧姆;

[0076] 图4b 拉伸性:约150% 电阻:约0.15欧姆;

[0077] 图4c 拉伸性:约150% 电阻:略小于0.15欧姆。

[0078] 其中图1b是均匀线宽的优化后的结构,图4c是变线宽的优化后的结构。

[0079] 由以上数据可以看出,通过本发明提供的变线宽的柔性可拉伸导线及方法制作的变线宽的柔性可拉伸导线,经过参数优化后可在其拉伸性能只降低不到8%的同时使其电阻减小将近60%。

[0080] 实验结论:

[0081] 在可拉伸性能几乎不变的前提下,电阻值最多可降低为原来的几分之一。也可以在提高可拉伸性能的同时降低电阻值。

[0082] 以上,虽然说明了本发明的几个实施方式,但是这些实施方式只是作为例子提出的,并非用于限定本发明的范围。对于这些新的实施方式,能够以其他各种方式进行实施,在不脱离本发明的要旨的范围内,能够进行各种省略、置换、及变更。这些实施方式和其变形,包含于本发明的范围和要旨中的同时,也包含于权利要求书中记载的发明及其均等范围内。

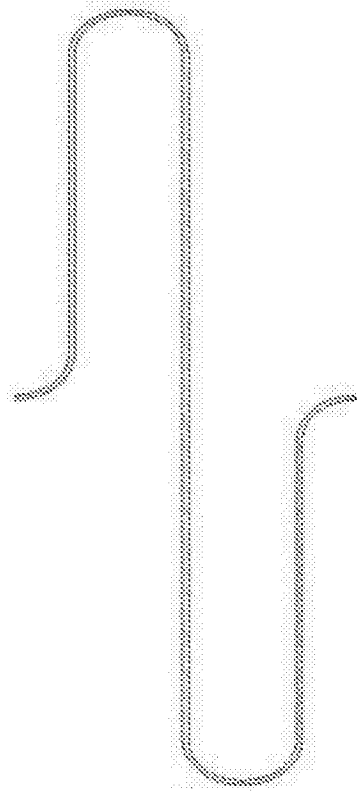


图1a

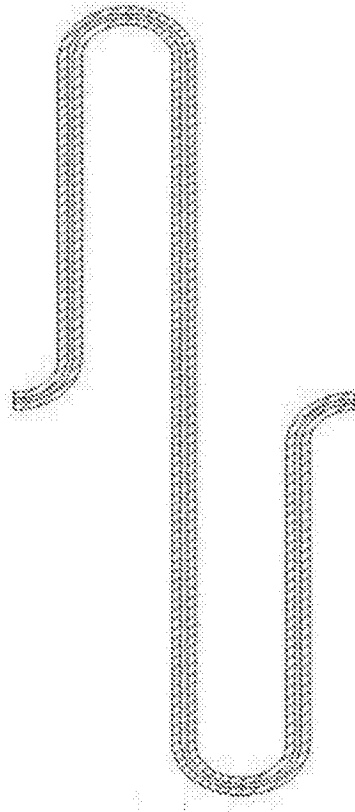


图1b

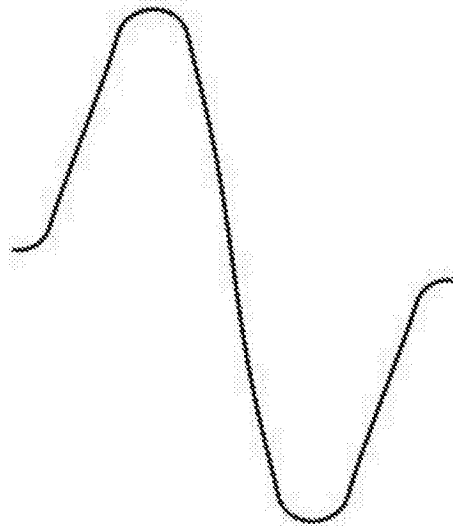


图2a

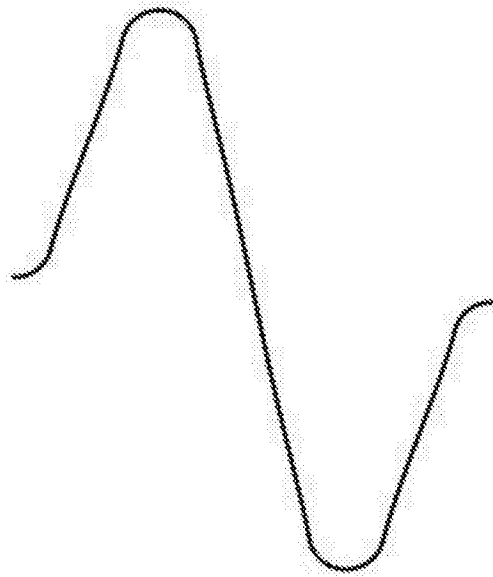


图2b

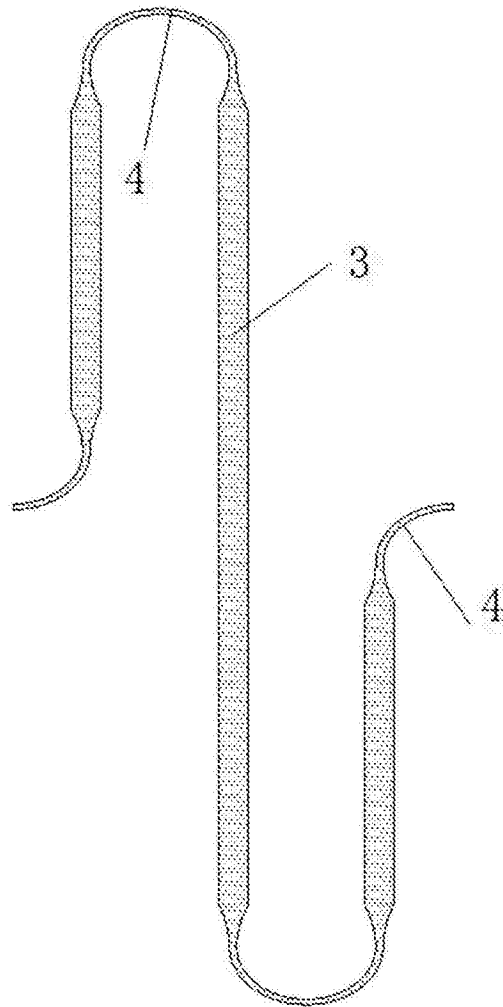


图3a

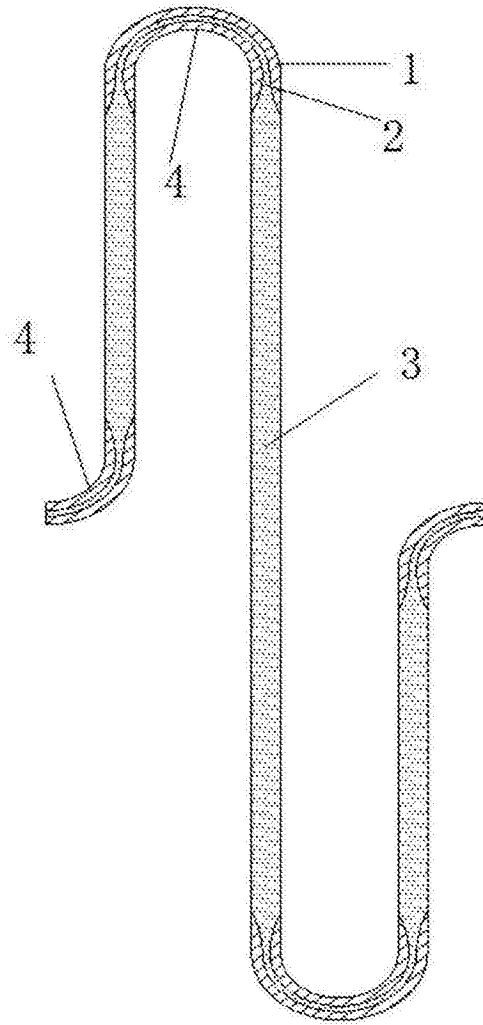


图3b

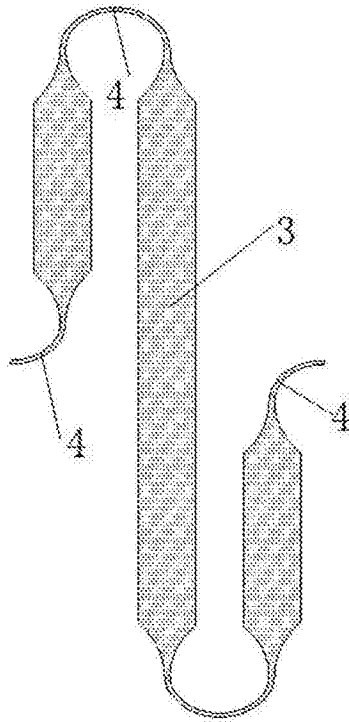


图4a

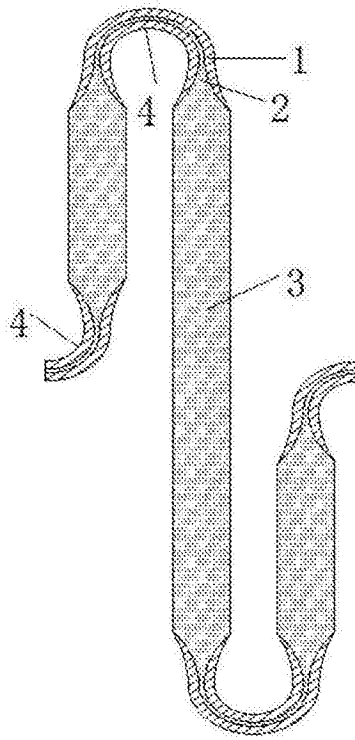


图4b

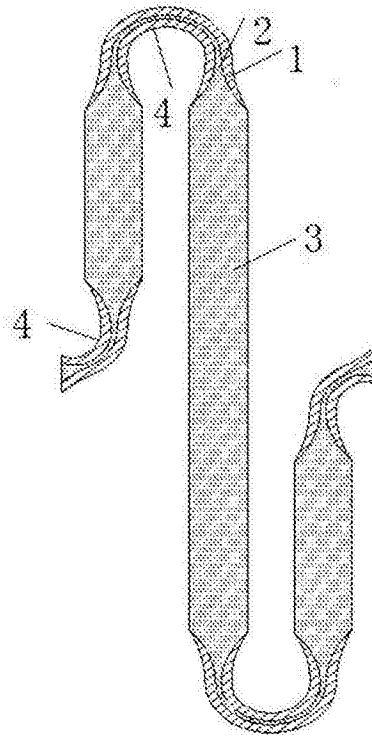


图4c