



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113551791 B

(45) 授权公告日 2023.05.02

(21) 申请号 202110750717.8

审查员 王蕾

(22) 申请日 2021.07.02

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113551791 A

(43) 申请公布日 2021.10.26

(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 赵阳

(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

专利代理师 焦海峰

(51) Int.Cl.

G01K 7/16 (2006.01)

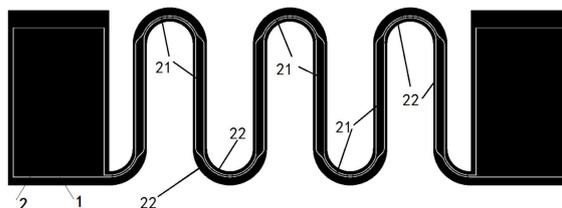
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种可快速制备的电阻式应变传感器及其制备方法

(57) 摘要

本发明提供了一种测量量程范围大,具有曲线形应变电阻,可以快速生产的电阻式应变传感器及其制备方法。包括:应变电阻、其他电阻和基底;基底由绝缘薄膜材料制成,为曲线结构,应变电阻与其他电阻分别固定在基底上;基底上,弯曲变形较大部分上的应变电阻段的中轴线,位于该段基底的中轴线的一侧;其中,电阻式应变传感器在发生变形过程中,应变电阻的实时电阻变化较大,其他电阻的实时电阻变化较小。生产过程中,先在基底上镀膜,接着使用激光器按照应变电阻和基底的预设图案分别进行刻蚀,经过两次刻蚀工艺,产品主体即可生产完成。



1. 一种可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,包括:应变电阻、其他电阻和基底;

所述基底由绝缘薄膜材料制成,为单条曲线结构,在绝缘薄膜上制备导电膜,构成复合膜层结构,所述应变电阻与所述其他电阻分别固定在所述基底上,且是根据所述应变电阻的预设图案,使用激光器按第一类矢量轨迹在所述导电膜上进行激光刻蚀划线,分割形成应变电阻和其他电阻;

所述基底是根据所述基底的预设图案,使用激光器按第二类矢量轨迹在所述复合膜层结构上进行激光刻蚀划线,穿透所述复合膜层结构,刻蚀出所述单条曲线结构的基底;

所述基底上,弯曲变形较大部分上的应变电阻段的中轴线,位于该段基底的中轴线的一侧;

其中,所述电阻式应变传感器在发生变形过程中,所述应变电阻的实时电阻变化较大,所述其他电阻的实时电阻变化较小;

所述应变电阻为一体结构,包括弧线段和直线段,电阻式应变传感器在拉伸变形过程中,弧线段产生弯曲变形量大于直线段部分产生弯曲变形量;

所述应变电阻和所述其他电阻能够作为两臂接入惠斯通电桥,实现整体电路的温度补偿功能。

2. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述第一类矢量轨迹,其相对于应变电阻图案轮廓的外扩宽度,为激光器光斑宽度的一半。

3. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述第二类矢量轨迹,其相对于基底图案轮廓的外扩宽度,为激光器光斑宽度的一半。

4. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述激光器的重复定位精度小于等于2微米。

5. 根据权利要求4所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述激光器为紫外皮秒激光器或者紫外飞秒激光器。

6. 根据权利要求4所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述激光刻蚀划线过程中,可以选择单条矢量轨迹刻蚀,也可以选择多条并列的矢量轨迹刻蚀,

其中,所述多条并列的矢量轨迹之间的间隙为所使用的激光器的激光光斑宽度的1/4倍-1倍。

7. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述基底的曲线结构为圆弧、椭圆弧、正弦曲线中的一种或几种的组合结构。

8. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述其他电阻不连接引线,作为残留项,留在所述电阻式应变传感器上。

9. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述导电膜的厚度小于等于50微米。

10. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述应变电阻的最小宽度小于等于20微米。

11. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,

所述基底的宽度为所述应变电阻最小宽度的3倍或3倍以上。

12. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,所述基底的绝缘薄膜材料为聚酰亚胺、聚酯、酚醛树脂、环氧树脂类绝缘聚合物薄膜中的一种。

13. 根据权利要求1所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,所述导电膜的材料为康铜、新康铜、金、铝、铜、镍铬合金、镍铬铝合金、铁铬铝合金、铂、铂钨合金类金属,或者半导体单晶硅、石墨烯类导电材料。

14. 根据权利要求8-13任一项所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,还包括封装薄膜,所述封装薄膜包覆在所述电阻式应变传感器上。

15. 根据权利要求14所述的可快速制备的电阻式应变传感器,其特征在于,所述封装薄膜的材料为聚二甲基硅氧烷或Ecoflex系列硅橡胶。

## 一种可快速制备的电阻式应变传感器及其制备方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于应变传感器设计技术领域,具体涉及一种加工效率高、成本低、有利于大批量生产,同时精度高,外形尺寸小,测量量程范围大,具有曲线形应变电阻的电阻式应变传感器及其制备方法。

### 背景技术

[0002] 应变传感器属于力学量传感器的一种,用于测量物体受力变形时所产生的应变。应变传感器的种类繁多,按原理分,有电阻式的、电容式的、压电式的、电感式的和光学式的,等等。其中电阻式应变传感器的应用最为广泛,例如基于半导体和金属箔的应变传感器已经应用到智能工业、航空航天、医疗健康等领域。

[0003] 应变传感器在测试时,将应变片用粘合剂牢固地粘贴在待测物的表面上,随着试件受力变形,应变片的敏感栅也获得同样的变形,从而使其电阻随之发生变化,而此,电阻变化是与试件应变成比例的。进而,通过一定测量线路将这种电阻变化转换为电压或电流变化,然后再用显示记录仪表将其显示记录下来,就能知道待测物应变量的大小。

[0004] 传统的基于半导体和金属箔的应变传感器的弹性量程通常小于2%,不能满足大量程的测量要求,因此人们发展了以碳黑、石墨烯、碳纳米管、氧化锌纳米线、金属纳米线等为传感材料的大变形应变传感器。在大变形应变传感器的发展历程中,北京纳米能源所、斯坦福大学、南开大学、苏州纳米所和清华大学都做了大量的设计和优化工作。尽管这些研究在设计方案上有了长足的进步,但是几乎所有的大变形应变传感器,在量程内都会发生微结构的永久破坏或蠕变,同时,其高伸展性都是基于硅胶类弹性体,因而,都不适用于长期精密测量。

[0005] 发明专利CN201810556672提供了一种具有曲线形电阻结构的电阻式应变传感器,可实现大应变测量,然而由于加工工艺流程较多,加工效率低,成本高,制约了其大规模商用。

[0006] 发明专利CN201910222833和CN201910223791提供了温度补偿的结构设计,然而前者需要双面应变电阻,其结构复杂、加工工艺流程多、加工效率低,后者需要双列结构,其结构复杂、加工工艺流程多、加工效率低且尺寸较大,都不利于大规模商用。

### 发明内容

[0007] 本发明的目的,一方面是提供一种加工效率高、成本低、有利于大批量生产,同时精度高,外形尺寸小,测量量程范围大,具有曲线形应变电阻的电阻式应变传感器。另一方面提供所述电阻式应变传感器的制备方法。

[0008] 为了达到上述目的,本发明的具体技术方案如下:

[0009] 本发明提供的上述一种可快速制备的电阻式应变传感器,包括:应变电阻、其他电阻和基底;

[0010] 基底由绝缘薄膜材料制成,为曲线结构,应变电阻与其他电阻分别固定在基底上;

基底上,弯曲变形较大部分上的应变电阻段的中轴线,位于该段基底的中轴线的一侧;

[0011] 其中,电阻式应变传感器在发生变形过程中,应变电阻的实时电阻变化较大,其他电阻的实时电阻变化较小。

[0012] 本发明提供的上述电阻式应变传感器的制备方法,包括以下步骤:

[0013] 准备用于制作基底的绝缘薄膜;

[0014] 在绝缘薄膜上制备导电膜,构成复合膜层结构;

[0015] 使用激光器,根据应变电阻的预设图案,按第一类矢量轨迹在导电膜上进行激光刻蚀划线,分割出应变电阻和其他电阻;

[0016] 使用激光器,根据基底的预设图案,按第二类矢量轨迹在复合膜层结构上进行激光刻蚀划线,穿透复合膜层结构,刻蚀出曲线结构的基底。

[0017] 进一步地,第一类矢量轨迹,其相对于应变电阻图案轮廓的外扩宽度,为激光器光斑宽度的一半。

[0018] 进一步地,第二类矢量轨迹,其相对于基底图案轮廓的外扩宽度,为激光器光斑宽度的一半。

[0019] 进一步地,激光器的重复定位精度小于等于2微米。

[0020] 进一步地,激光器为紫外皮秒激光器或者紫外飞秒激光器。

[0021] 进一步地,激光刻蚀划线过程中,可以选择单条矢量轨迹刻蚀,也可以选择多条并列的矢量轨迹刻蚀,

[0022] 其中,多条并列的矢量轨迹之间的间隙为所使用的激光器的激光光斑宽度的1/4倍-1倍。

[0023] 进一步地,基底的曲线结构为圆弧、椭圆弧、正弦曲线中的一种或几种的组合结构。

[0024] 进一步地,应变电阻和其他电阻作为两臂接入惠斯通电桥,实现温度补偿功能。

[0025] 进一步地,其他电阻不连接引线,作为残留项,留在电阻式应变传感器上。

[0026] 进一步地,导电膜的厚度小于等于50微米。

[0027] 进一步地,应变电阻的最小宽度小于等于20微米。

[0028] 进一步地,基底的宽度为应变电阻最小宽度的3倍或3倍以上。

[0029] 进一步地,基底的绝缘薄膜材料为聚酰亚胺、聚酯、酚醛树脂、环氧树脂类绝缘聚合物薄膜中的一种。

[0030] 进一步地,导电膜的材料为康铜、新康铜、金、铝、铜、镍铬合金、镍铬铝合金、铁铬铝合金、铂、铂钨合金类金属,

[0031] 或者半导体单晶硅、石墨烯类导电材料。

[0032] 进一步地,还包括封装薄膜,封装薄膜包覆在电阻式应变传感器上。

[0033] 进一步地,封装薄膜的材料为聚二甲基硅氧烷或Ecoflex系列硅橡胶。

[0034] 本发明提供的电阻式应变传感器,精度高,其量程设计范围可从百分之几到百分之几千。本发明采用激光刻蚀的方法,实现在较短时间内即可完成制作工艺,提高生产效率。生产过程中,先在基底上镀膜,接着使用激光器按照应变电阻和基底的预设图案分别进行刻蚀,经过两次刻蚀工艺,产品即可生产完成。相比现有的大量程电阻式应变传感器的制备,不仅加工工艺流程大幅减少,尤其是整套工艺完成只需要5分钟,生产工艺时间缩短,降

低了制作成本,有利于电阻式应变传感器的大批量快速生产和广泛应用。现有的大量程电阻式应变传感器的加工工艺复杂,在制作过程中,需要多次更换设备,重新调试,对准定位,整套工艺完成需要花费10小时以上。本发明提供的制备方法相对于现有技术,产品加工时间缩短了120倍。

[0035] 本发明提供的制备工艺,可以一次性、连贯性地完成整套工艺,也更大程度地提高了加工精度,目前,根据本发明提供的激光刻蚀的方法制备出的应变电阻的最小线宽可以达到5微米。

[0036] 本发明提供的电阻式应变传感器的相比于CN201910222833需要双面应变电阻或CN201910223791需要双列结构来实现温度补偿功能,本发明的结构为单条曲线结构就可实现温度补偿,结构简单、外形体积较小。

[0037] 本发明提供的电阻式应变传感器可以更广泛地应用于航空航天领域的柔性大变形结构中。

### 附图说明

[0038] 图1是本发明提供的一种电阻式应变传感器的结构示意图;

[0039] 图2是图1的局部放大图;

[0040] 图3是使用单条刻蚀矢量轨迹实现图1和图2中应变电阻和其他电阻分离的结构示意图;

[0041] 图4是使用三条刻蚀矢量轨迹实现图1和图2中应变电阻和其他电阻分离的结构示意图;

[0042] 其中,图1和图2中,填充黑色的区域表示导电薄膜和绝缘基底的复合膜层结构,白色阴影区域表示只有绝缘基底。

[0043] 1.基底,2.导电膜,21.应变电阻,22.其他电阻,3.第一类矢量轨迹,4.第二类矢量轨迹。

### 具体实施方式

[0044] 通过参考示范性实施例阐明本发明技术问题、技术方案和优点。然而,本发明并不受限于以下所公开的示范性实施例,可以通过不同形式来对其加以实现。

[0045] 以下内容中所说的量程即为应变电阻21达到其可正常使用的最大应变时应变传感器的拉伸率。

[0046] 本发明提供的电阻式应变传感器,精度高,其量程设计范围可从百分之几到百分之几千。

[0047] 如图1和图2所示,为本发明提供的一种可快速制备的电阻式应变传感器,包括:应变电阻21、其他电阻22和基底1。基底1由绝缘薄膜材料制成,为曲线结构,应变电阻21与其他电阻22分别固定在基底1上。基底1的曲线结构可以为圆弧、椭圆弧、正弦曲线中的一种或几种的组合结构。本发明图1中提供的基底1为圆弧结构。基底1上,弯曲变形较大部分上的应变电阻21段的中轴线,位于该段基底1的中轴线的一侧。由图1可以看出,一体结构的应变电阻21包括弧线段和直线段,电阻式应变传感器在拉伸变形过程中,弧线段部分为产生弯曲变形较大部分,而直线段部分为产生弯曲变形较小部分,而且二者之间的弯曲变形的差

量较大。

[0048] 本发明提供的电阻式应变传感器,在变形过程中,应变电阻21的实时电阻变化较大,其他电阻22的实时电阻变化较小。

[0049] 由于电阻式应变传感器的使用环境不定,由于受外界环境影响,需要进行温度补偿时,应变电阻21和其他电阻22可以作为两臂接入惠斯通电桥,实现整体电路的温度补偿功能。或者,其他电阻22也可以不连接引线,作为残留项,留在电阻式应变传感器上,对于电阻式应变传感器本身的测量不产生影响。

[0050] 本发明提供的电阻式应变传感器,其上的导电膜2的厚度小于等于50微米,比如可以为40微米,30微米,20微米,15微米,10微米,8微米,5微米。应变电阻21的最小宽度小于等于20微米,比如可以为15微米,10微米,8微米,5微米或3微米。基底1的宽度为上述应变电阻21最小宽度的3倍或3倍以上。

[0051] 本发明提供的电阻式应变传感器,其基底1的绝缘薄膜材料可以选用聚酰亚胺、聚酯、酚醛树脂、环氧树脂类绝缘聚合物薄膜中的一种。导电膜2的材料可以选用康铜、新康铜、金、铝、铜、镍铬合金、镍铬铝合金、铁铬铝合金、铂、铂钨合金类金属中的任一种,或者半导体单晶硅、石墨烯类导电材料。

[0052] 制备本发明提供的电阻式应变传感器:

[0053] 将应变电阻21的预设图案轮廓线设为第一矢量轨迹3,将曲线基底1的预设图案轮廓线设为第二矢量轨迹4。

[0054] 准备用于制作基底1的绝缘薄膜,在绝缘薄膜上制备导电膜2,构成复合膜层结构。使用激光器,根据应变电阻21的预设图案,按第一类矢量轨迹在导电膜2上进行激光刻蚀划线,分割出应变电阻21和其他电阻22。使用激光器,根据基底1的预设图案,按第二类矢量轨迹在复合膜层结构上进行激光刻蚀划线,穿透复合膜层结构,刻蚀出曲线结构的基底1,将激光刻蚀完成的曲线基底1取出,主体生产工艺完成。之后,根据具体的使用环境,还可以使用封装薄膜对其进行封装。封装时,将封装薄膜包覆在电阻式应变传感器上即可完成。封装薄膜的材料可以选用聚二甲基硅氧烷或Ecoflex系列硅橡胶。如果使用环境理想,也可以不用封装。

[0055] 本发明采用激光刻蚀的方法,不仅缩短了生产工艺,同时,平均每个电阻式应变传感器的制作成本可以降低至几块钱。而现有技术中采用的等离子刻蚀工艺,成本高,每个电阻式应变传感器成本需要几千块人民币,而腐蚀方法可以降低成本,其每个件的成本也要几十块人民币,同时,生产精度欠佳。

[0056] 本发明提供的电阻式应变传感器的制备方法,在进行激光刻蚀时,根据实验得到,第一类矢量轨迹,其每条边相对于应变电阻21图案轮廓的外扩宽度,至少需要为激光器光斑宽度的一半,依此才能够快速地在导电膜2上将应变电阻21和其他电阻22分割开。而第二类矢量轨迹,则需要每条边相对于基底1图案轮廓的外扩宽度,为激光器光斑宽度的一半,依此,才能够快速地将曲线基底1从基底1薄膜上分割开。

[0057] 如图3和图4所示,激光刻蚀划线过程中,第一矢量轨迹3和第二矢量轨迹4均可以选择单条矢量轨迹刻蚀,也均可以选择多条并列的矢量轨迹刻蚀,其中,如图3为单条矢量轨迹刻蚀的局部结构图,如图4为多条矢量轨迹刻蚀的局部结构图。其中,多条并列的矢量轨迹之间的间隙为所使用的激光器的激光光斑宽度的1/4倍-1倍。

[0058] 本发明提供的电阻式应变传感器的制备方法,其中使用的激光器的重复定位精度需要小于等于2微米。可以选用紫外皮秒激光器或者紫外飞秒激光器。

[0059] 本发明提供的电阻式应变传感器,精度高,量程大,能够实现在较短时间内即可完成制作工艺。整套工艺完成只需要5分钟,相对于现有技术,产品加工时间缩短了120倍。生产工艺时间缩短,降低了制作成本,有利于电阻式应变传感器的大批量快速生产和广泛应用。同时,可连续地一次性完成整套工艺,地提高了加工精度。

[0060] 本发明提供的电阻式应变传感器可以更广泛地应用于航空航天领域的柔性大变形结构中

[0061] 下面通过具体实施例说明本发明中电阻式应变传感器的特点。以下实施例中,基底11均采用PI薄膜,导电膜22为康铜箔。

[0062] 实施例1:为图1所示结构的电阻式应变传感器的实施例。

[0063] PI薄膜厚0.2mm,圆弧及直线段处PI薄膜宽度为0.23mm,平均半径0.5mm,直线段长1.75mm。导电膜2康铜箔厚度为5 $\mu$ m,圆弧段应变电阻21的康铜箔线宽为15 $\mu$ m,距离PI内侧边缘0.07mm。两边的用于粘贴被测物的矩形长为2.93mm,宽为1.68mm。

[0064] 制备方法:

[0065] 购买或旋涂制作聚合物薄膜作为绝缘基底1;

[0066] 在绝缘基底1上镀上金属膜,成为复合膜层;

[0067] 使用紫外皮秒激光器,按预设图案,通过三条并列的第一类矢量轨迹刻蚀出曲线形应变电阻21,将曲线形应变电阻21和其他电阻22分割,互不连通。三条并列的第一类矢量轨迹间距为5微米,其中中间的第一类矢量轨迹相比于应变电阻21预设图案轮廓外扩9微米。

[0068] 使用紫外皮秒激光器,按预设图案,穿透复合膜层,刻蚀出曲线形绝缘基底1,将刻蚀出的曲线结构的基底1与聚合物薄膜基底1分离取出,即可得到覆有曲线形应变电阻21的曲线结构基底1。两条并列的第二类矢量轨迹间距为5微米,其中外侧的第二类矢量轨迹相比于基底1预设图案轮廓外扩15微米。

[0069] 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。

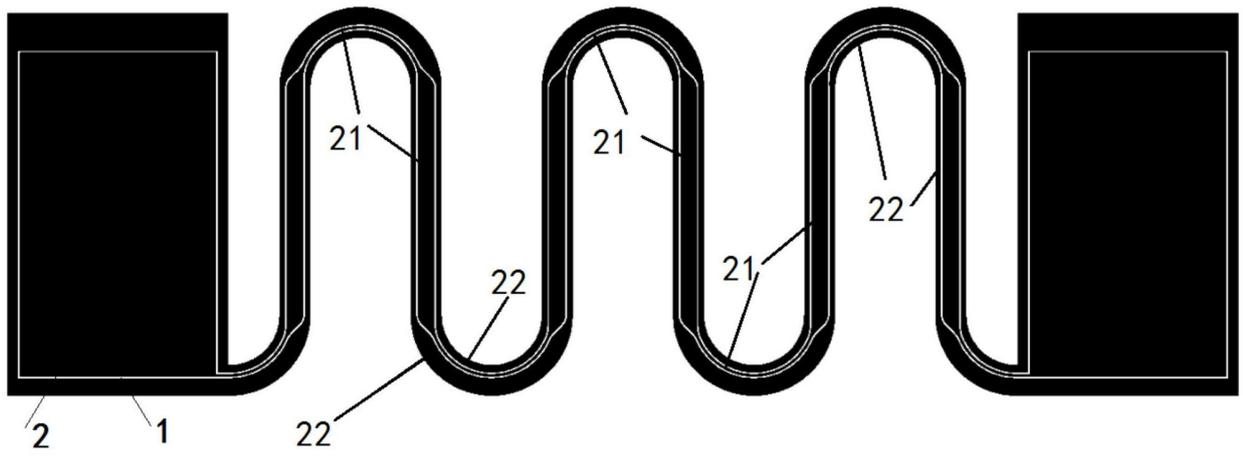


图1

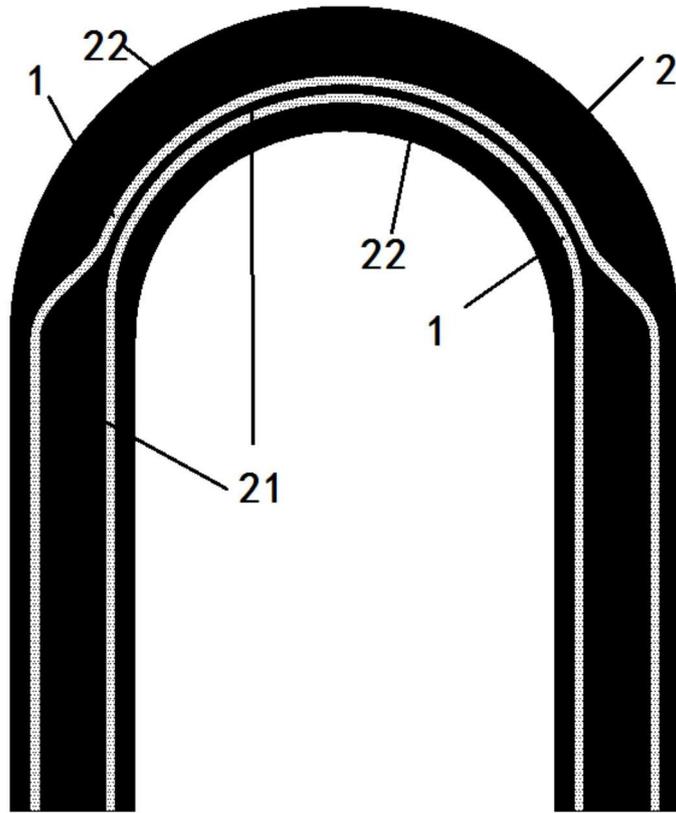


图2

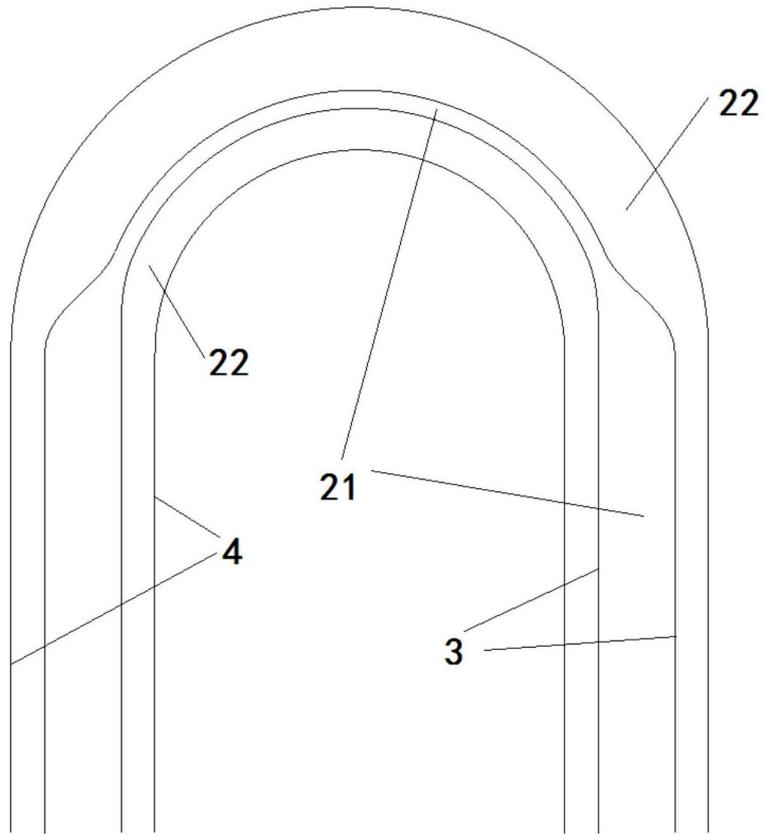


图3

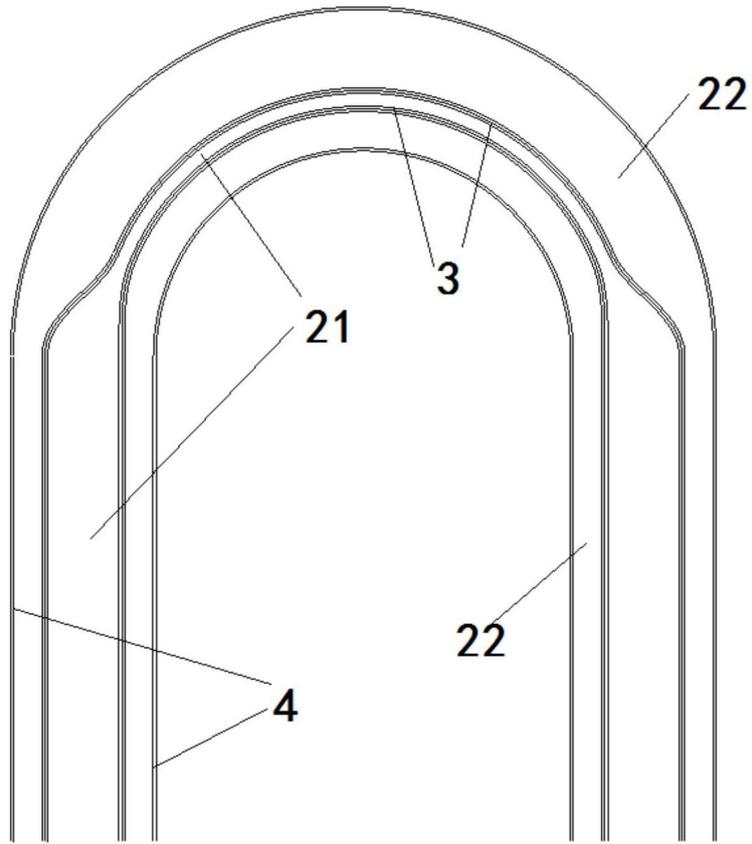


图4