



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105289385 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 03

(21) 申请号 201510695060. 4

(22) 申请日 2015. 10. 22

(71) 申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路 800 号

(72) 发明人 陈迪 谢耀 林树靖 鄧晓 韦黔

崔大祥

(74) 专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限

公司 31236

代理人 郭国中

(51) Int. Cl.

B01F 13/00(2006. 01)

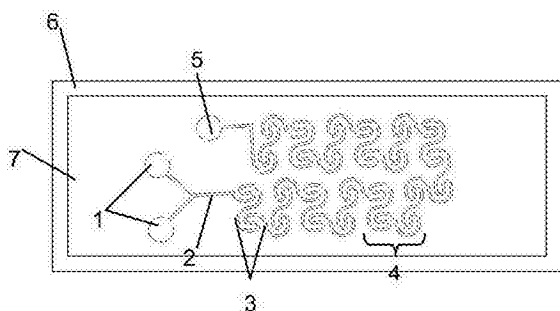
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

## (54) 发明名称

基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器

## (57) 摘要

本发明提供了一种基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,包括多个进口、混合管道、弧形弯道混合矩阵以及出口;其中,所述多个进口通过所述混合管道连通所述弧形弯道混合矩阵的一端;所述弧形弯道混合矩阵的另一端连通所述出口;所述弧形弯道混合矩阵包括多个依次连通的弧形弯道混合单元。本发明与较常用的S型混合管道相比,此混合器的混合速度随着混合长度增加呈非线性增长。



1. 一种基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,包括多个进口(1)、混合管道(2)、弧形弯道混合矩阵以及出口(5);

其中,所述多个进口(1)通过所述混合管道(2)连通所述弧形弯道混合矩阵(4)的一端;所述弧形弯道混合矩阵的另一端连通所述出口(5);

所述弧形弯道混合矩阵包括多个依次连通的弧形弯道混合单元(3)。

2. 根据权利要求1所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述弧形弯道混合单元(3)包括第一弧形通道、第二弧形通道、第三弧形通道和第四弧形通道;

其中,所述第一弧形通道、所述第二弧形通道、所述第三弧形通道和所述第四弧形通道依次相连;

多个所述弧形弯道混合单元(3)依次相连构成弧形弯道混合阵列(4),其中相邻的两个所述弧形弯道混合单元(3)中,两个中的一所述弧形弯道混合单元(3)连接两个中的另一弧形弯道混合单元(3)的第一弧形通道或第四弧形通道;

多个所述弧形弯道混合阵列(4)依次相连构成弧形弯道混合矩阵,其中相邻的两个弧形弯道混合阵列(4)中,两个中的一弧形弯道混合阵列(4)连接两个中的另一弧形弯道混合阵列(4)的一端或另一端。

3. 根据权利要求2所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,

所述第一弧形通道、所述第二弧形通道和所述第三弧形通道呈半圆弧形;所述第四弧形通道呈1/4圆弧形;

所述第一弧形通道和所述第四弧形通道的曲率半径为0.15mm至1mm;所述第二弧形通道和所述第三弧形通道的曲率半径为0.05mm至0.3mm。

4. 根据权利要求1所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述多个进口(1)、所述混合管道(2)、所述弧形弯道混合阵列(4)和所述出口(5)通过将聚二甲基硅氧烷浇铸体(7)键合在所述玻璃基底(6)制成。

5. 根据权利要求4所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述聚二甲基硅氧烷浇铸体(7)通过浇铸模板制成;

所述浇铸模板采用如下方法制成:

- 在硅片上面旋涂负性光刻胶进行烘干处理,通过光刻机透过带有图形的掩模板曝光、显影图形化后,在硅片上面形成具有流道的浇铸模板;

所述聚二甲基硅氧烷浇铸体(7)采用如下方法制成:

- 将二甲基硅氧烷预聚体和固化剂混匀后浇铸在所述浇铸模板上,保温处理若个小时后取出,揭下浇铸体,并切割成所述聚二甲基硅氧烷浇铸体(7)。

6. 根据权利要求1所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述弧形混合弯道单元(3)包括多个不同曲率半径的弧形弯道顺次相连而成。

7. 根据权利要求1所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述混合管道(2)为宽度 $20\mu\text{m}$ 至 $150\mu\text{m}$ ,高度为 $20\mu\text{m}$ 至 $50\mu\text{m}$ 的矩形管道。

8. 根据权利要求1所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在于,所述进口和所述出口为圆柱形空腔结构,所述圆柱形空腔结构直径为0.5mm至2mm。

9. 根据权利要求 1 所述的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,其特征在  
于,多个所述弧形混合弯道单元 (3) 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合  
阵列;

多个所述弧形弯道混合阵列 (4) 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混  
合矩阵。

## 基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及微型混合器芯片,具体地,涉及一种基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器。

### 背景技术

[0002] 微型混合器是用于混合流动在十分狭窄的通道内的小容量流体的设备。目的是用于生物化学分析、药物递送和核酸系列化或合成的许多微观流体系统中,微混合器是必须的。例如细胞活化、酶反应和蛋白质折叠等生物过程经常涉及要求以混合反应物开始的反应。在进行复杂化学合成的多种微观制造的化学系统中,混合也是必须的。参见“Passive Mixing in a Three-Dimensional Serpentine Microchannel,”R. H. Liu, M. A. Stremler, K. V. Sharp, *Journal of Microelectromechanical System*, Vol. 9, No. 1, June 2000。

[0003] 与在宏观世界内流动的流体相比,当流体在近似于人类头发大小的通道内流动时,称为层流的现象呈现出十分不同的性质。层流还与低雷诺数 (Reynolds number) 相关,该层流使得在稍微混合或没有混合的情况下在通道中流体的不同层或者相互相邻的颗粒发生运动(扩散除外)。

[0004] 如 Liu 等人利用分类法所解释的,在本文中采用该分类法,微观混合器可分成主动或被动混合器。被动搅拌方案包括简单的面内分层和混乱的平流搅拌(Liu 等人将其定义为材料界面的快速变形和伸长)。主动混合器具有移动的部件或外部施加的强制函数,例如压力、电场或超声波。被动混合器通常利用通道的几何形状,增加待混合流体之间的界面面积,或增强流体的混沌效应,从而改进扩散混合的可能性。这些混合器可分成两种小类:面内混合器和面外或分层混合器,面内混合器在限制在一个平面的流体网络内分开并混合物流,面外或分层混合器利用三维通道几何形状。上述引用的 Liu 等人的论文描述了三维曲折通道的面外被动混合器,该混合器依赖于混乱的平流,以及两个面内混合器:矩形波通道和直线通道。最简单的面内混合器将两个液体流合并到单个通道内,借助于分子扩散、取决于时间和高扩散系数来实现混合,从而混合流体或在流体之间移动溶质。对构成分子通常是复杂的低聚或聚合结构的生物试样来说,这是困难的。面外、分层混合器连续地分开液体流并将液体流堆积在三维流体网络中。分层混合器通常要求多层微观制造技术,这使得它们对目标为简单制造、平面设计和容易整合成微观流体系统的生物分析系统设计者来说,不具有吸引力。

[0005] 近来已经开发出多种微观流体混合设备,这些流体设备试图改进微尺度设备内流体混合。2000年10月24日颁布的、转让给 University of Washington 的美国专利 6,136,272 描述了在微观流体通道内快速连接和分开流体层的装置,这允许在两个方向(深度方向和宽度方向)上进行扩散混合。不幸的是,该专利中描述的装置涉及“混合模式”中使用的弯曲的桥连通道 (curved bridge channel),该装置没有描述在这些通道中的离心混合,实际上表现出致力于将分离的层流流动保持在桥连通道中。在这些装置中出现的唯一混合表现出存在于平行的直通道中,平行的直通道位于任何桥连通道的下游。

[0006] 增强二次流效应是一种提高混合效率比较有效的方法,当流体经过弧形弯道时,由于同横截面上的压力和流速不同,会产生横截面上的二次流,这种二次流可以有效增强液体混合程度。本发明就是基于二次流效应,设计尽可能多的弯道形成二次流而提高混合效率。

[0007] 尽管近年来的微型混合器有了长足的进展,但在多个领域中仍存在未满足的需要,不足以在微观流体装置中有效、可靠和可重复地混合一种或多种实际和试样。例如,生物化学分析、药物递送和核酸系列化或合成、例如细胞活化、酶反应和蛋白质折叠等生物过程通常涉及要求在微空间中混合反应物以开始的反应。在进行复杂化学合成(例如组合化学)的多种微观制造的化学系统中,混合也是必须的。除满足生化反应的要求外,如何利用尽可能简单的工艺制备出高效的微混合器也是扩展混合器应用范围的有效途径,现有的大部分微混合器并不能完全满足以上要求。

[0008] 随着微电子机械系统(Micro-Electro-Mechanical Systems, MEMS)技术与生命科学、分析科学等学科的迅猛发展,生物MEMS(Bio-MEMS)技术以及基于Bio-MEMS技术的微全分析系统(Micro Total Analysis System,  $\mu$ TAS)逐步成为人们的研究热点。本发明就是基于MEMS技术制备而成的。

## 发明内容

[0009] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器。

[0010] 根据本发明提供的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,包括多个进口、混合管道、弧形弯道混合矩阵以及出口;

[0011] 其中,所述多个进口通过所述混合管道连通所述弧形弯道混合矩阵的一端;所述弧形弯道混合矩阵的另一端连通所述出口;

[0012] 所述弧形弯道混合矩阵包括多个依次连通的弧形弯道混合单元。

[0013] 优选地,所述弧形弯道混合单元包括第一弧形通道、第二弧形通道、第三弧形通道和第四弧形通道;

[0014] 其中,所述第一弧形通道、所述第二弧形通道、所述第三弧形通道和所述第四弧形通道依次相连;

[0015] 多个所述弧形弯道混合单元依次相连构成弧形弯道混合阵列,其中相邻的两个所述弧形弯道混合单元中,两个中的一所述弧形弯道混合单元连接两个中的另一弧形弯道混合单元的第一弧形通道或第四弧形通道;

[0016] 多个所述弧形弯道混合阵列依次相连构成弧形弯道混合矩阵,其中相邻的两个弧形弯道混合阵列中,两个中的一弧形弯道混合阵列连接两个中的另一弧形弯道混合阵列的一端或另一端。

[0017] 优选地,所述第一弧形通道、所述第二弧形通道和所述第三弧形通道呈半圆弧形;所述第四弧形通道呈1/4圆弧形;

[0018] 所述第一弧形通道和所述第四弧形通道的曲率半径为0.15mm至1mm;所述第二弧形通道和所述第三弧形通道的曲率半径为0.05mm至0.3mm。

[0019] 优选地,所述多个进口、所述混合管道、所述弧形弯道混合阵列和所述出口通过将

聚二甲基硅氧烷浇铸体键合在所述玻璃基底制成。

[0020] 优选地,所述聚二甲基硅氧烷浇铸体通过浇铸模板制成;

[0021] 所述浇铸模板采用如下方法制成:

[0022] - 在硅片上面旋涂负性光刻胶进行烘干处理,通过光刻机透过带有图形的掩模板曝光、显影图形化后,在硅片上面形成具有流道的浇铸模板;

[0023] 所述聚二甲基硅氧烷浇铸体采用如下方法制成:

[0024] - 将二甲基硅氧烷预聚体和固化剂混匀后浇铸在所述浇铸模板上,保温处理若干个小时后取出,揭下浇铸体,并切割成所述聚二甲基硅氧烷浇铸体。

[0025] 优选地,所述弧形混合弯道单元包括多个不同曲率半径的弧形弯道顺次相连而成。

[0026] 优选地,所述混合管道为宽度 20  $\mu\text{m}$  至 150  $\mu\text{m}$ ,高度为 20  $\mu\text{m}$  至 50  $\mu\text{m}$  的矩形管道。

[0027] 优选地,所述进口和所述出口为圆柱形空腔结构,所述圆柱形空腔结构直径为 0.5 至 2mm。

[0028] 优选地,多个所述弧形混合弯道单元按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合阵列;

[0029] 多个所述弧形弯道混合阵列按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合矩阵。

[0030] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0031] 1、混合速度快,本发明与较常用的 S 型混合管道相比,此混合器的混合速度随着混合长度增加呈非线性增长;

[0032] 2、利用率高,一般混合器混合速率和芯片利用率无法兼具,要求混合速率则需要复杂的混合结构和较大的芯片面积,而芯片面积小则无法提高混合速率。本发明在提高混合速率的同时增大的芯片面积利用率,即聚二甲基硅氧烷浇铸体的面积利用率;

[0033] 3、通用性强,微型混合器由于受限于制备工艺和材料,大都无法满足各种性质的混合试剂,特别是生物大分子如蛋白质、核酸等,而此本发明仅用惰性的 PDMS 和玻璃作为通道构筑材料,光谱使用性较高;

[0034] 4、制备工艺简单,本发明与其他微流控芯片工艺兼容性强,在设计上综合考虑了 MEMS 制备工艺,做到了芯片制备工艺的兼容性,制作工艺简单,易于批量化生产。

## 附图说明

[0035] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0036] 图 1 为本发明的结构示意图;

[0037] 图 2 为本发明的横截面示意图;

[0038] 图 3 为本发明中弧形弯道混合单元的结构示意图;

[0039] 图中:

[0040] 1 为进口;

[0041] 2 为混合管道;

- [0042] 3 为弧形弯道混合单元；  
[0043] 4 为弧形弯道混合阵列；  
[0044] 5 为出口；  
[0045] 6 为玻璃基底；  
[0046] 7 为聚二甲基硅氧烷浇铸体。  
[0047] 8 为混合通道。

### 具体实施方式

[0048] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0049] 在本实施例中,本发明提供的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器,包括多个进口 1、混合管道 2、弧形弯道混合矩阵以及出口 5;其中,所述多个进口 1 通过所述混合管道 2 连通所述弧形弯道混合阵列 4 的一端;所述弧形弯道混合矩阵的另一端连通所述出口 5;所述弧形弯道混合矩阵包括多个依次连通的弧形弯道混合单元 3。在本实施例中,所述进口 1 的数量为 2 个。

[0050] 所述弧形混合弯道单元 3 包括多个不同曲率半径的弧形弯道顺次相连而成。具体为,如图 3 所示,其中  $R_1$  为内圈混合通道,  $R_1$  是曲率半径为 0.05 至 0.3mm 的半圆弧,  $R_2$  是曲率半径为 0.15 至 1mm 的半圆弧或 1/4 圆弧。多个所述弧形混合弯道单元 3 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合阵列;多个所述弧形弯道混合阵列 4 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合矩阵。

[0051] 在变形例中,所述弧形弯道混合单元 3 包括第一弧形通道、第二弧形通道、第三弧形通道和第四弧形通道;其中,所述第一弧形通道、所述第二弧形通道、所述第三弧形通道和所述第四弧形通道依次相连;多个所述弧形弯道混合单元 3 依次相连构成弧形弯道混合阵列 4,其中相邻的两个所述弧形弯道混合单元 3 中,两个中的一所述弧形弯道混合单元 3 连接两个中的另一弧形弯道混合单元 3 的第一弧形通道或第四弧形通道;多个所述弧形弯道混合阵列 4 依次相连构成弧形弯道混合矩阵,其中相邻的两个弧形弯道混合阵列 4 中,两个中的一弧形弯道混合阵列 4 连接两个中的另一弧形弯道混合阵列 4 的一端或另一端。所述第一弧形通道、所述第二弧形通道和所述第三弧形通道呈半圆弧形;所述第四弧形通道呈 1/4 圆弧形;所述第一弧形通道和所述第四弧形通道的曲率半径为 0.15mm 至 1mm;所述第二弧形通道和所述第三弧形通道的曲率半径为 0.05mm 至 0.3mm。所述第一弧形通道、第二弧形通道、第三弧形通道和第四弧形通道均为混合通道。所述多个进口 1、所述混合管道 2、所述弧形弯道混合阵列 4 和所述出口 5 通过将聚二甲基硅氧烷浇铸体 7 键合在所述玻璃基底 6 制成。玻璃基底 6 和聚二甲基硅氧烷浇铸体 7 利用氧等离子体键合技术进行两部分的封装。所述聚二甲基硅氧烷浇铸体 7 通过浇铸模板制成;所述浇铸模板利用微电子机械系统 (MEMS) 的工艺制备而成,具体采用如下方法制成:

[0052] - 在硅片上面旋涂负性光刻胶进行烘干处理,通过光刻机透过带有图形的掩模板曝光、显影图形化后,在硅片上面形成具有流道的浇铸模板;

[0053] 所述聚二甲基硅氧烷浇铸体 2 采用如下方法制成：

[0054] - 将二甲基硅氧烷预聚体和固化剂混匀后浇铸在所述浇铸模板上，保温处理若干个小时后取出，揭下浇铸体，并切割成所述聚二甲基硅氧烷浇铸体 7。

[0055] 在本实施例中，保温 60℃ 2 小时后取出，揭下聚二甲基硅氧烷浇铸体 7，并切割成一定尺寸。最后与玻璃基底 6 进行氧等离子体键合。

[0056] 所述弧形混合弯道单元 3 包括多个不同曲率半径的弧形弯道顺次相连而成。多个所述弧形混合弯道单元 3 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合阵列；多个所述弧形弯道混合阵列 4 按照先左扭曲再右扭曲的原则相连构成弧形弯道混合矩阵。所述混合管道 2 为宽度 20  $\mu\text{m}$  至 150  $\mu\text{m}$ ，高度为 20  $\mu\text{m}$  至 50  $\mu\text{m}$  的矩形管道。所述进口和所述出口为圆柱形空腔结构，所述圆柱形空腔结构直径为 0.5 至 2mm。

[0057] 本发明提供的基于增强弯道二次流效应的扭曲弧形微混合器的混合实施过程为：两种待混合液体分别从入口注入，在流经弧形弯道混合矩阵的混合弯道的过程中，由于流体在弯道中流动，流动方向随时发生改变，在方向发生急剧变化时产生沿着弯道横向的二次流，使得两种液体混匀。流经的弯道曲率半径变化越大，二次流越明显，混合效率也就越高，混合均匀后从出口 5 流出。

[0058] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。



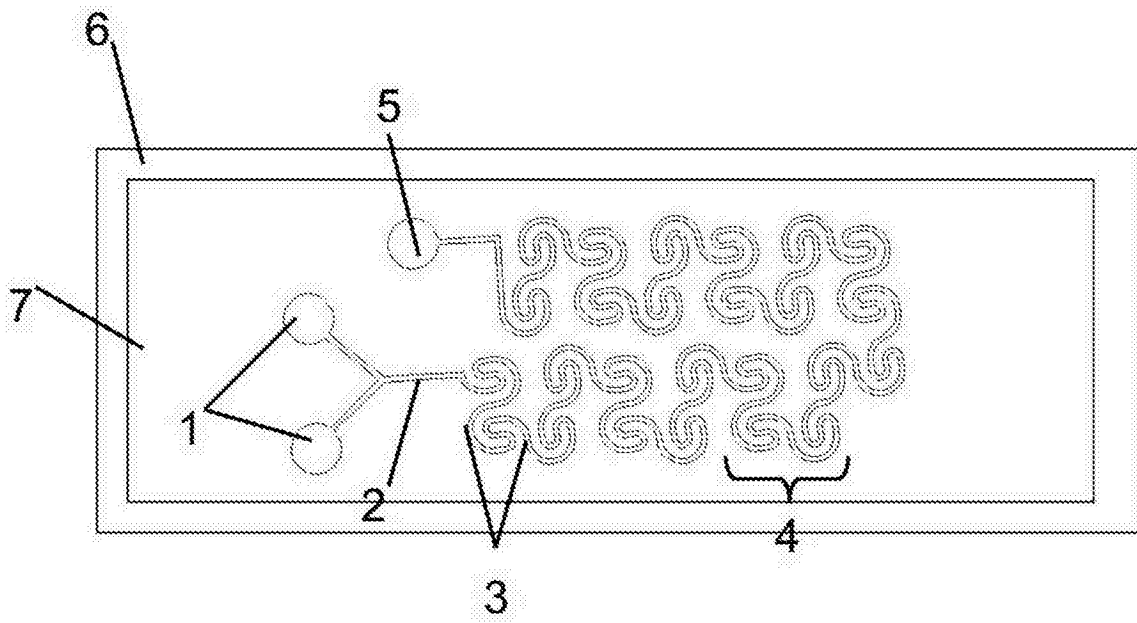


图 1

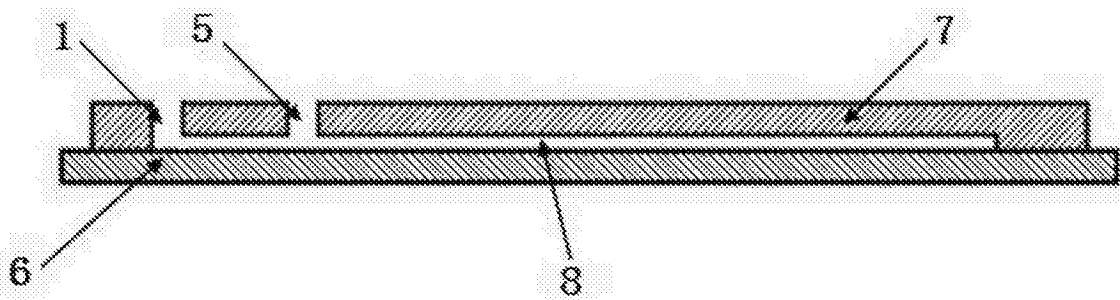


图 2

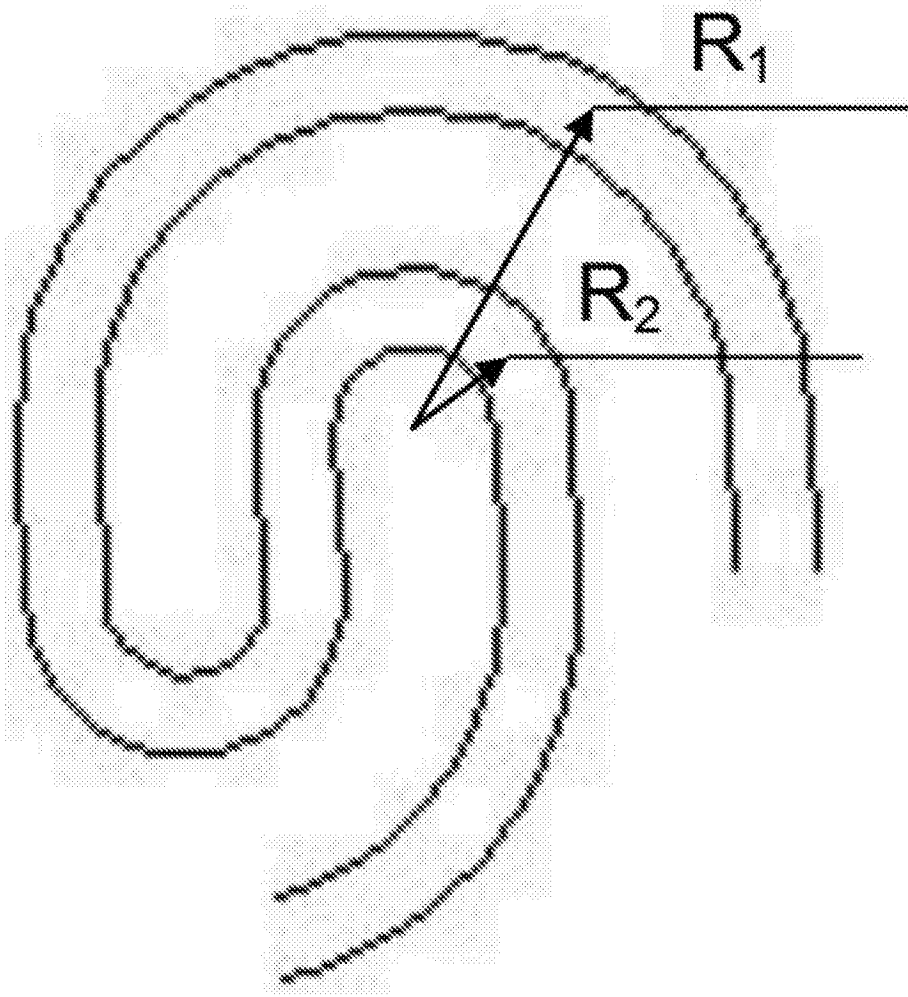


图 3