



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116550245 A

(43) 申请公布日 2023. 08. 08

(21) 申请号 202310435883.8

(22) 申请日 2023.04.12

(71) 申请人 宁波玄流智造有限公司

地址 315800 浙江省宁波市北仑区新碶街
道明州西路479号1幢2号28-2室

(72) 发明人 黄迪辉 邹益波 马文超 张达

(74) 专利代理机构 杭州杭诚专利事务所有限公
司 33109

专利代理师 俞润体

(51) Int. Cl.

B01J 19/00 (2006.01)

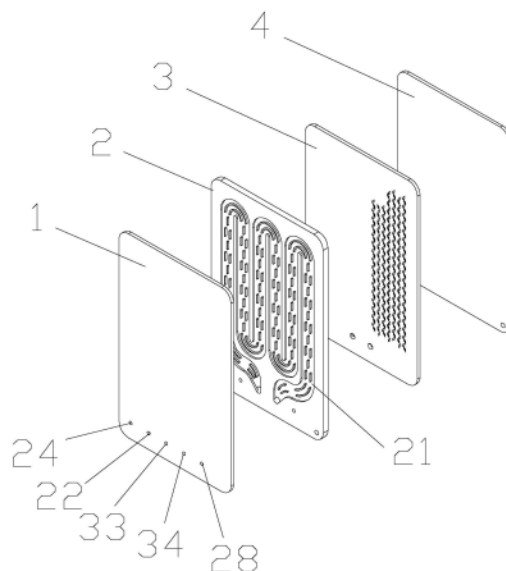
权利要求书2页 说明书7页 附图10页

(54) 发明名称

含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板、
微通道反应器

(57) 摘要

本发明涉及微反应器领域,公开了一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板、微通道反应器。该双层复合微反应通道板包括上下叠合的上通道板和下通道板;上通道板的顶面设有换热通道A,底面设有第一流体入口;第一流体预换热通道;第二流体入口;第二流体预换热通道;混流通道和混合流体出口。混流通道的底部沿流向交错排列有若干阶梯凹腔A。下通道板的底面设有换热通道B,顶面设有与阶梯凹腔A位置和尺寸逐一对应的阶梯凹腔B。本发明的双层复合微反应通道板设有特殊结构的立体阶梯通道,混合流体在经过该结构时会产生起伏运动,在不增加流体阻力的前提下,可大幅增强对流体的扰动性,使平流变成湍流,显著增强混合效果。



1. 一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:包括上下叠合的上通道板和下通道板;

上通道板的顶面设有换热通道A,底面设有:

第一流体入口;

与第一流体入口连通的第一流体预换热通道;

第二流体入口;

与第二流体入口连通的第二流体预换热通道;

与第一、第二流体预换热通道的末端在同一处汇流连通的混流通道,混流通道的底部沿流向交错排列有若干阶梯凹腔A;

与混流通道的末端连通的混合流体出口;

下通道板的底面设有换热通道B,顶面设有若干与阶梯凹腔A位置和尺寸逐一对应的阶梯凹腔B;混流通道、阶梯凹腔A和阶梯凹腔B上下叠合后构成立体阶梯通道。

2. 如权利要求1所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述阶梯凹腔A沿流向呈单列交错排列,前后相邻的两个阶梯凹腔A与混流通道的不同侧壁衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 40° - 50° ;

所述阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转 180° 后重合。

3. 如权利要求2所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述混流通道的深度为 0.4 - 1.2 mm;

所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 0.2 - 0.6 mm。

4. 如权利要求3所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述混流通道的深度为 0.6 - 0.8 mm;

所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 0.3 - 0.4 mm。

5. 如权利要求1所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述阶梯凹腔A分为浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A,且沿流向呈双列交错排列,包括相互平行的左单列和右单列;左单列和右单列中的阶梯凹腔A分别与混流通道的左、右侧壁衔接,由两个单列构成的平行双列中所有阶梯凹腔A沿流向以“左单列的浅阶梯凹腔A→右单列的深阶梯凹腔A→右单列的浅阶梯凹腔A→左单列的深阶梯凹腔A”作为最小重复单元排列,且左单列与右单列中相对应的两个阶梯凹腔A的端部衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 40° - 50° ;

所述阶梯凹腔B分为浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B,所述浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转 180° 得到。

6. 如权利要求5所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述混流通道的深度为 0.4 - 1.2 mm;

所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 0.1 - 0.3 mm;

所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 0.2 - 0.6 mm。

7. 如权利要求6所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:

所述混流通道的深度为 0.5 - 0.6 mm;

所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.15-0.2mm;

所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.25-0.3mm。

8. 如权利要求1-7之一所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:所述第一流体预换热通道、第二流体预换热通道和混流通道沿流向呈曲折迂回状。

9. 如权利要求1-7之一所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,其特征是:所述换热通道A和换热通道B呈曲折迂回状,上通道板和下通道板中还设有贯通的换热液进口和换热液出口,所述换热通道A和换热通道B的底部沿流向分布有若干导流条;换热通道A和换热通道B的两端分别与换热液进口和换热液出口连通。

10. 一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板的微通道反应器,其特征在于包括由上至下依次叠合的:

上盖板;

如权利要求1-9任一项所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板中的上通道板;

如权利要求1-9任一项所述的含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板中的下通道板;

下盖板。

含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板、微通道反应器

技术领域

[0001] 本发明涉及微反应器领域,尤其涉及一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板、微通道反应器。

背景技术

[0002] 微通道反应器是一种利用固体基质上的微加工技术制作的三维元件,可以在其中进行化学反应。微通道反应器的特点是通道尺寸小,通道形式多,流体在通道内流动并发生所需的反应。由于微通道反应器具有很大的比表面积,所以与传统的反应釜等反应器相比,具有更好的传热和传质性能。

[0003] 在微通道反应器中,流体一般处于层流状态,因为微尺度下的雷诺数很低。这意味着两种或多种流体沿着平行方向移动时,只能通过分子扩散来混合。这样的混合方式效率很低,需要很长的时间和距离才能实现均匀混合。在实际项目开发中,为了提高混合效率,可以使用被动式或主动式的微混合器来增强流体间的对流或扰动。一种是被动式微混合器,通过改变内部通道的几何结构或表面特性来增加接触面积或产生二次流。例如,在通道中设计各种结构单元,包括但不限于分隔、折叠、蛇形、鱼骨等,使流体产生局部的速度差来破坏层流状态,形成涡流、湍流等各种形态,提高混合效率。另一种是主动式微混合器,通过施加外部力场是方式,如电场、磁场、声波等,来激发气泡或液滴产生运动或振荡。例如,将可以产生超声波引起液滴振荡的压电陶瓷传感器集成在微反应器上。

[0004] 但无论是被动式还是主动式的微混合器,通常都会导致体系的压降增大。根据连续性方程和伯努利方程,当通道截面变化时,速度和压力也会随之变化。因此,在具有复杂几何形状或表面特征的通道中,由于截面的大小或方向在频繁变化,促使速度和压力也会发生较大幅度的波动,并且总体上呈现出沿程递减趋势。这就导致了整个系统需要更高的进口压力来维持所需的质量流量。因此,在设计微通道混合结构时需要考虑到压降与换热效率之间的权衡关系,并根据具体应用选择最优化方案。

[0005] 现有技术中,在设计微通道反应器的单元结构时,比如专利CN 110652949A中,为了提高混合效果,反应腔室设计为八卦鱼形,通过不停地喷射和分割流体,达到高效混合的目的。但是,随着反应腔室的堆叠,该结构会极大地增加体系的压降。当反应时间达到分钟级时,往往需要较长的反应通道。

[0006] 综上,目前对于微通道反应器来说,既需要达到持续且高效的混合效果,又要保证体系的低压降运行。

发明内容

[0007] 为了解决上述技术问题,本发明提供了一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板、微通道反应器。本发明的双层复合微反应通道板设有特殊结构的立体阶梯通道,混合流体在经过该结构时会产生起伏运动,在不增加流体阻力的前提下,可大幅增强对流体的扰动性,使平流变成湍流,显著增强混合效果。

[0008] 本发明的具体技术方案为：

第一方面，本发明提供了一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板，包括上下叠合的上通道板和下通道板。

[0009] 上通道板的顶面设有换热通道A，底面设有：第一流体入口；与第一流体入口连通的第一流体预换热通道；第二流体入口；与第二流体入口连通的第二流体预换热通道；与第一、第二流体预换热通道的末端在同一处汇流连通的混流通道，混流通道的底部沿流向交错排列有若干阶梯凹腔A；与混流通道的末端连通的混合流体出口。

[0010] 下通道板的底面设有换热通道B，顶面设有若干与阶梯凹腔A位置和尺寸逐一对应的阶梯凹腔B；混流通道、阶梯凹腔A和阶梯凹腔B上下叠合后构成立体阶梯通道。

[0011] 本发明含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板的工作原理为：上、下通道板中的混流通道和阶梯凹腔A/B上下叠合后构成了封闭的立体阶梯通道。两股流体在进入上通道板后，先各自经过一段预换热通道进行预热/冷，使两股流体在混合前达到反应温度；当两股流体到达预换热通道的末端后实现汇合并立即进入混流通道（立体阶梯通道），本发明的立体阶梯通道具有特殊的立体阶梯结构，流体在经过该结构时会产生起伏运动，在不增加流体阻力的前提下，可显著增强对流体的扰动性，使平流变成湍流，增强混合效果。

[0012] 与常规设计中在流道同一水平面上设计扰流块使流体实现湍流相比，本发明形成的双层阶梯结构具有以下优势：①双层阶梯结构可以更有效地改变流体的流向和速度分布，使流体与通道壁面接触面积更大，之间的相对运动更强，大大提高了传热和传质效率。②阶梯结构的设计，可以减少常规扰流块对通道截面的遮挡，当设计成双层阶梯时，可以满足更大的通量下的低压力损失和低能量消耗。③双层阶梯结构可以利用流体多方向运动产生的离心力和惯性力，在阶梯交界处形成多个局部旋涡和二次流，进一步增强了湍流程度和紊动强度。综上，相较于常规扰流块等结构，双层阶梯结构通过流体至阶梯凹腔的分流运动，不仅能有效降低压降，还极大地提高流体在通道中的传质传热效果。

[0013] 作为优选方案①，所述阶梯凹腔A沿流向呈单列交错排列，前后相邻的两个阶梯凹腔A与混流通道的不同侧壁衔接，单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 40° - 50° 。所述阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转 180° 后重合。

[0014] 减小单个阶梯凹腔的长度方向与其连接的侧壁之间的夹角，可以减小压力损失，提高流体的混合效率。单个阶梯凹腔的长度方向与其所连接的侧壁之间的夹角影响着微通道中流体的微混合效果，选择 40° 至 50° 的角度可平衡阶梯腔内流体的混合性能和压降。

[0015] 作为优选，所述混流通道的深度为0.4-1.2mm；所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.2-0.6mm。进一步优选，所述混流通道的深度为0.6-0.8mm；所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.3-0.4mm。

[0016] 根据不同的反应条件和工艺，往往会设计不同通量尺度的微通道反应器，具体体现在通道的深度和宽度的大小和比例。在宽度一定的情况下，越小的通道深度，流体表现出越小的雷诺数，流动也越趋于层流状态；当深度越大时，有利于提高反应通量，但是过大的通道深度也会增加流体停留时间分布，需要借助于结构设计来增加传质能力。因此，微通道反应器的通道设计，需要通过理论分析、数值模拟，综合考虑流体流场、传质传热、化学反应特性等因素，并在后续经模型验证、实验测试等方法来优化改进。

[0017] 在方案①中,阶梯凹腔深度/混流通道的深度的比值设定是一个重要的参数。若比值过大,则流体进入阶梯凹腔后扰动能力反而变弱,RTD值(停留时间分布)会变大;若比值过小,则扰动力不足,达不到效果。设计合理的比值范围,最大化地利用起伏运动产生的惯性力和离心力,在阶梯交界处形成局部旋涡和二次流,进一步增强了湍流程度和紊动强度。

[0018] 作为优选方案②,所述阶梯凹腔A分为浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A,且沿流向呈双列交错排列,包括相互平行的左单列和右单列;左单列和右单列中的阶梯凹腔A分别与混流通道的左、右侧壁衔接,由两个单列构成的平行双列中所有阶梯凹腔A沿流向以“左单列的浅阶梯凹腔A→右单列的深阶梯凹腔A→右单列的浅阶梯凹腔A→左单列的深阶梯凹腔A”作为最小重复单元排列,且左单列与右单列中相对应的两个阶梯凹腔A的端部衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为40-50°。所述阶梯凹腔B分为浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B,所述浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转180°得到。

[0019] 方案②与方案①相比,缺点是结构设计得更复杂,增大了通道的加工难度,但优点也十分明显,适合更大的通量,且扰动能力更强。相比方案①中的双层一阶阶梯,方案②中设计了双层二阶阶梯,呈上下交错分布,流体在向前流动时,一部分会流入阶梯一,再同时分两边流动,一边向上扰动进入主通道且进入相对面的阶梯二,另一边向下进入阶梯二,增加了横向流动的惯性力和纵向流动的紊动力;同时另一部分主通道中的流体直接进入阶梯二,与之前的那部分扰动、混合。高低二个阶梯结构设计,可以使流体在不同层次的平台之间发生起伏运动,从而改变流体的方向、速度、压力和湍流程度。与一个阶梯结构相比,高低二个阶梯结构有以下优势:①可以增加流体的混合效率,提高传质性能。②增加了反应器的比表面积,提高了传热性能。③可以调整流体的分布和方向,实现多相流或非均匀流的控制。此外,根据流体力学理论,高低二个阶梯结构可以通过以下机制来影响流体运动:(1)阶梯间隙处产生局部加速效应,使得上下两层平台之间形成压差驱动。(2)阶梯边缘处产生剪切效应,使得靠近壁面的粘性层与远离壁面的无粘层之间形成速度差异。(3)阶梯后方处产生涡旋效应,使得涡核内部的低压区域与涡外部的高压区域之间形成循环交换。

[0020] 作为优选,所述混流通道的深度为0.4-1.2mm;所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.1-0.3mm;所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.2-0.6mm。进一步优选,所述混流通道的深度为0.5-0.6mm;所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.15-0.2mm;所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.25-0.3mm。

[0021] 方案②中的双层高低二个阶梯结构可以使流体在通过相对应的上下阶梯时产生更多的剪切和扩散,从而更好地提高流体的扰动性和混合效率。高低二个阶梯结构的深度设计需要考虑流体的雷诺数、压降损失等因素,一般采用数值模拟或实验测试等方法进行优化。本发明利用纳维-斯托克斯方程和连续性方程来描述流体在高低二个阶梯结构中的运动状态,并求解得到速度场、压力场和温度场等参数。

[0022] 作为优选,所述混流通道的宽度为0.5-3mm,进一步为1-2mm。

[0023] 作为优选,所述第一流体预换热通道、第二流体预换热通道和混流通道之间汇流处的流道宽度呈缩径状。

[0024] 作为优选,所述第一流体预换热通道和第二流体预换热通道的夹角为55-65°,混

流通道与第一流体预换热通道和第二流体预换热通道的夹角相等。

[0025] 本发明中第一、第二流体预换热通道和混流通道的汇流处呈Y字形。技术效果在于：普通对撞或Y型进口混合效率不够，而采用缩径模式，缩径对撞又会导致压降过大，而本发明将缩径和Y型进行结合，既提高流速增强混合效果，又能够控制压降过大。

[0026] 作为优选，所述第一流体预换热通道、第二流体预换热通道和混流通道沿流向呈曲折迂回状。

[0027] 作为优选，所述换热通道A和换热通道B呈曲折迂回状，上通道板和下通道板中还设有贯通的换热液进口和换热液出口，所述换热通道A和换热通道B的底部沿流向分布有若干导流条；换热通道A和换热通道B的两端分别与换热液进口和换热液出口连通。

[0028] 第二方面，本发明提供了一种微通道反应器，包括由上至下依次叠合的上盖板；上通道板；下通道板；下盖板。

[0029] 作为优选，所述上盖板上设有第一流体入口，第二流体入口，混合流体出口，换热液进口和换热液出口。

[0030] 与现有技术对比，本发明的有益效果是：本发明的双层复合微反应通道板设有特殊结构的立体阶梯通道，混合流体在经过该结构时会产生起伏运动，在不增加流体阻力的前提下，可大幅增强对流体的扰动性，使平流变成湍流，显著增强混合效果。

附图说明

- [0031] 图1为本发明实施例1微通道反应器正面视角的一种拆分示意图；
图2为本发明实施例1微通道反应器底面视角的一种拆分示意图；
图3为本发明实施例1双层复合微反应通道板的一种侧面剖视图；
图4为本发明实施例1上通道板底面的一种示意图；
图5为本发明实施例1上通道板中混流通道的一种局部示意图；
图6为本发明实施例1下通道板正面(左)和底面(右)的一种示意图；
图7为本发明实施例2微通道反应器正面视角的一种拆分示意图；
图8为本发明实施例2微通道反应器底面视角的一种拆分示意图；
图9为本发明实施例2双层复合微反应通道板中混流通道的一种侧面剖视图；
图10为图9的俯视图(透视图)；
图11为本发明实施例2上通道板底面的一种示意图；
图12为本发明实施例2上通道板中混流通道的一种局部示意图；
图13为本发明实施例2下通道板正面的一种示意图；
图14为本发明实施例1微通道反应器的仿真测试结果图；
图15为本发明实施例1微通道反应器中两股流体在通道中的速度场分布模拟图；
图16为本发明实施例2微通道反应器的仿真测试结果图；
图17为本发明实施例2微通道反应器中两股流体在通道中的速度场分布模拟图。
- [0032] 附图标记为：上盖板1，上通道板2，下通道板3，下盖板4，换热通道A 21，第一流体入口22，第一流体预换热通道23，第二流体入口24，第二流体预换热通道25，混流通道26，阶梯凹腔A 27，混合流体出口28，浅阶梯凹腔A 271，深阶梯凹腔A 272，左单列273，右单列274，换热通道B 31，阶梯凹腔B 32，换热液进口33，换热液出口34，导流条35，浅阶梯凹腔B

321,深阶梯凹腔B 322。

具体实施方式

[0033] 下面结合实施例对本发明作进一步的描述。

[0034] 总实施例

一种含立体阶梯通道的双层复合微反应通道板,如图1-13所示,包括上下叠合的上通道板2和下通道板3。其中:

如图1和图7上通道板的顶面设有曲折迂回状换热通道A 21,如图2、图4-5、图8-12所述,底面设有:

第一流体入口22;

与第一流体入口连通的曲折迂回状第一流体预换热通道23;第二流体入口24;

与第二流体入口连通的曲折迂回状第二流体预换热通道25;

与第一、第二流体预换热通道的末端在同一处汇流连通的混流通道26,混流通道的底部沿流向交错排列有若干阶梯凹腔A 27;第一、第二流体预换热通道和混流通道之间汇流处的流道宽度呈缩径状,第一、第二流体预换热通道的夹角为 $55-65^{\circ}$,混流通道与第一、第二流体预换热通道的夹角相等;

与混流通道的末端连通的混合流体出口28。

[0035] 如图6(右)所示,下通道板的底面设有换热通道B 31,如图6(左)和图13所示,顶面设有若干与阶梯凹腔A位置和尺寸逐一对应的阶梯凹腔B 32;混流通道、阶梯凹腔A和阶梯凹腔B上下叠合后构成立体阶梯通道。

[0036] 上通道板和下通道板中还设有贯通的换热液进口33和换热液出口34,换热通道A和换热通道B的底部沿流向分布有若干导流条35;换热通道A和换热通道B的两端分别与换热液进口和换热液出口连通。

[0037] 作为优选,混流通道的宽度为0.5-3mm,进一步为1-2mm。

[0038] 作为优选方案之一,如图4-5所示,阶梯凹腔A沿流向呈单列交错排列,前后相邻的两个阶梯凹腔A与混流通道的不同侧壁衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 $40-50^{\circ}$ 。如图6(左)所示,阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转 180° 后重合。作为优选,所述混流通道的深度为0.4-1.2mm;所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.2-0.6mm。进一步优选,所述混流通道的深度为0.6-0.7mm;所述阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.3-0.4mm。

[0039] 作为优选方案之二,如图11-12所示,阶梯凹腔A分为浅阶梯凹腔A 271和深阶梯凹腔A 272,且沿流向呈双列交错排列,包括相互平行的左单列273和右单列274;左单列和右单列中的阶梯凹腔A分别与混流通道的左、右侧壁衔接,由两个单列构成的平行双列中所有阶梯凹腔A沿流向以“左单列的浅阶梯凹腔A→右单列的深阶梯凹腔A→右单列的浅阶梯凹腔A→左单列的深阶梯凹腔A”作为最小重复单元排列,且左单列与右单列中相对应的两个阶梯凹腔A的端部衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 $40-50^{\circ}$ 。如图13所示,所述阶梯凹腔B分为浅阶梯凹腔B 321和深阶梯凹腔B 322,,所述浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A的排列方式

沿混流通道的中心线旋转 180° 得到。所述混流通道的深度为 $0.4-1.2\text{mm}$ ；所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 $0.1-0.3\text{mm}$ ；所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 $0.2-0.6\text{mm}$ 。进一步优选，所述混流通道的深度为 $0.5-0.6\text{mm}$ ；所述浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 $0.15-0.2\text{mm}$ ；所述深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 $0.25-0.3\text{mm}$ 。

[0040] 一种微通道反应器，包括由上至下依次叠合的上盖板1；上通道板2；下通道板3；下盖板4。其中，上盖板上设有第一流体入口22，第二流体入口24，混合流体出口28，换热液进口33和换热液出口34。

[0041] 实施例1(阶梯凹腔呈单列交错排列)

一种微通道反应器，如图1和2所示，包括由上至下依次叠合的上盖板1；上通道板2；下通道板3；下盖板4。其中，上盖板上设有第一流体入口22，第二流体入口24，混合流体出口28，换热液进口33和换热液出口34。

[0042] 如图1所示，上通道板的顶面设有曲折迂回状换热通道A 21(共5个 180° U型弯)，如图4所示，底面设有：

第一流体入口22；

与第一流体入口连通的曲折迂回状第一流体预换热通道23(依次设有4个 180° U型弯和2个直角弯，总长 0.8m)；第二流体入口24；

与第二流体入口连通的曲折迂回状第二流体预换热通道25(依次设有4个 180° U型弯和1个 135° 弯，总长 0.8m)；

与第一、第二流体预换热通道的末端在同一处汇流连通的曲折迂回状混流通道26(依次设有6个 180° U型弯，总长 1m)；如图5所示，混流通道的底部沿流向呈单列交错排列的平行四边形状阶梯凹腔A 27；前后相邻的两个阶梯凹腔A与混流通道的不同侧壁衔接(前后相邻的两个阶梯凹腔A(一左一右)在流向上的中心点间距为 3.8mm ，单个阶梯凹腔A在流向上的长度为 2mm ，阶梯凹腔A的自由端与流道侧壁的间距为 2mm)，单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为 45° ；第一、第二流体预换热通道和混流通道之间汇流处的流道宽度呈缩径状，第一、第二流体预换热通道的夹角为 60° ，混流通道与第一、第二流体预换热通道的夹角相等；

与混流通道的末端连通的混合流体出口28。

[0043] 下通道板的底面设有换热通道B 31(形状、尺寸同换热通道A)，顶面设有若干与阶梯凹腔A位置和尺寸逐一对应的阶梯凹腔B 32；混流通道、阶梯凹腔A和阶梯凹腔B上下叠合后构成立体阶梯通道(图3)。如图6(左)所示，阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转 180° 后重合。

[0044] 上通道板和下通道板中还设有贯通的换热液进口33和换热液出口34，换热通道A和换热通道B的底部沿流向分布有若干导流条35；换热通道A和换热通道B的两端分别与换热液进口和换热液出口连通。

[0045] 在尺寸方面，混流通道的宽度为 2mm ，深度为 0.7mm ；阶梯凹腔A和阶梯凹腔B相对混流通道的深度为 0.35mm 。

[0046] 本实施例微通道反应器的工作原理为：两股流体分别进入上通道板后先各自经过一段预换热热通道进行预热/冷，使流体在混合前达到反应温度；当两股流体分别到达预换

热通道末端后实现汇合并立即进入混流通道,与此同时,换热液在换热通道A、B中循环流动并与流体进行热量交换,因此,流体在混流通道中充分混合并发生反应。

[0047] 仿真测试:以水作为流体介质模型,采用实施例1的微通道反应器进行仿真模拟测试,以浓度标准方差作为流体混合效果评价,如图14所示,在0.1mm/s、1mm/s的流速下混合效果分别可达到99.99%、100%;如图15所示为两股流体在通道中的速度场分布模拟。

[0048] 实施例2(阶梯凹腔呈双列交错排列)

实施例2与实施例1的区别在于:

如图7-8、图11-12所示,上通道板中,阶梯凹腔A分为浅阶梯凹腔A 271和深阶梯凹腔A 272,且沿流向呈双列交错排列,包括相互平行的左单列273和右单列274;左单列和右单列中的阶梯凹腔A分别与混流通道的左、右侧壁衔接(所有阶梯凹腔呈平行四边形形状,尺寸相同),由两个单列构成的平行双列中所有阶梯凹腔A沿流向以“左单列的浅阶梯凹腔A→右单列的深阶梯凹腔A→右单列的浅阶梯凹腔A→左单列的深阶梯凹腔A”作为最小重复单元排列,且左单列与右单列中相对应的两个阶梯凹腔A的端部衔接,单个阶梯凹腔A的长度方向与其所衔接的混流通道侧壁的夹角为45°。

[0049] 如图9-10和图13所示,下通道板中,阶梯凹腔B分为浅阶梯凹腔B 321和深阶梯凹腔B 322,浅阶梯凹腔B和深阶梯凹腔B的排列方式在俯视角下与浅阶梯凹腔A和深阶梯凹腔A的排列方式沿混流通道的中心线旋转180°得到。

[0050] 在尺寸方面,混流通道的宽度为2mm,深度为0.552mm;浅阶梯凹腔A和浅阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.17mm;深阶梯凹腔A和深阶梯凹腔B相对混流通道的深度为0.27mm。左单列中流向上前后两邻两个阶梯凹腔的中心间距为2.8mm,相互衔接的左右两个阶梯凹腔的在流向上的中心间距为1mm。

[0051] 仿真测试:以水作为流体介质模型,采用实施例2的微通道反应器进行仿真模拟测试,如图16所示,在0.1mm/s的流速下混合效果就可达到99.99%;如图17所示为两股流体在通道中的速度场分布模拟。

[0052] 本发明中所用原料、设备,若无特别说明,均为本领域的常用原料、设备;本发明中所用方法,若无特别说明,均为本领域的常规方法。

[0053] 以上所述,仅是本发明的较佳实施例,并非对本发明作任何限制,凡是根据本发明技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、变更以及等效变换,均仍属于本发明技术方案的保护范围。

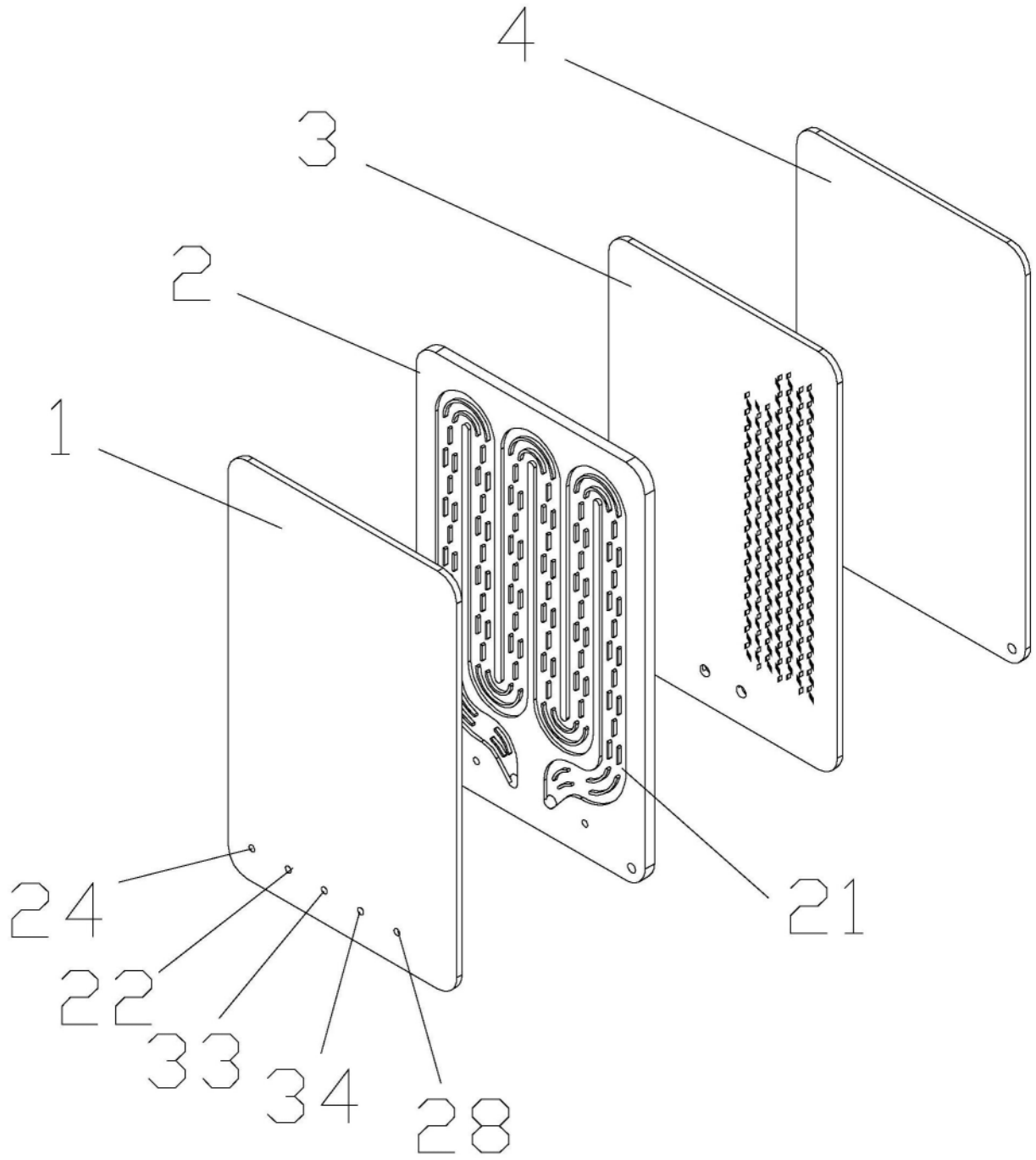


图1

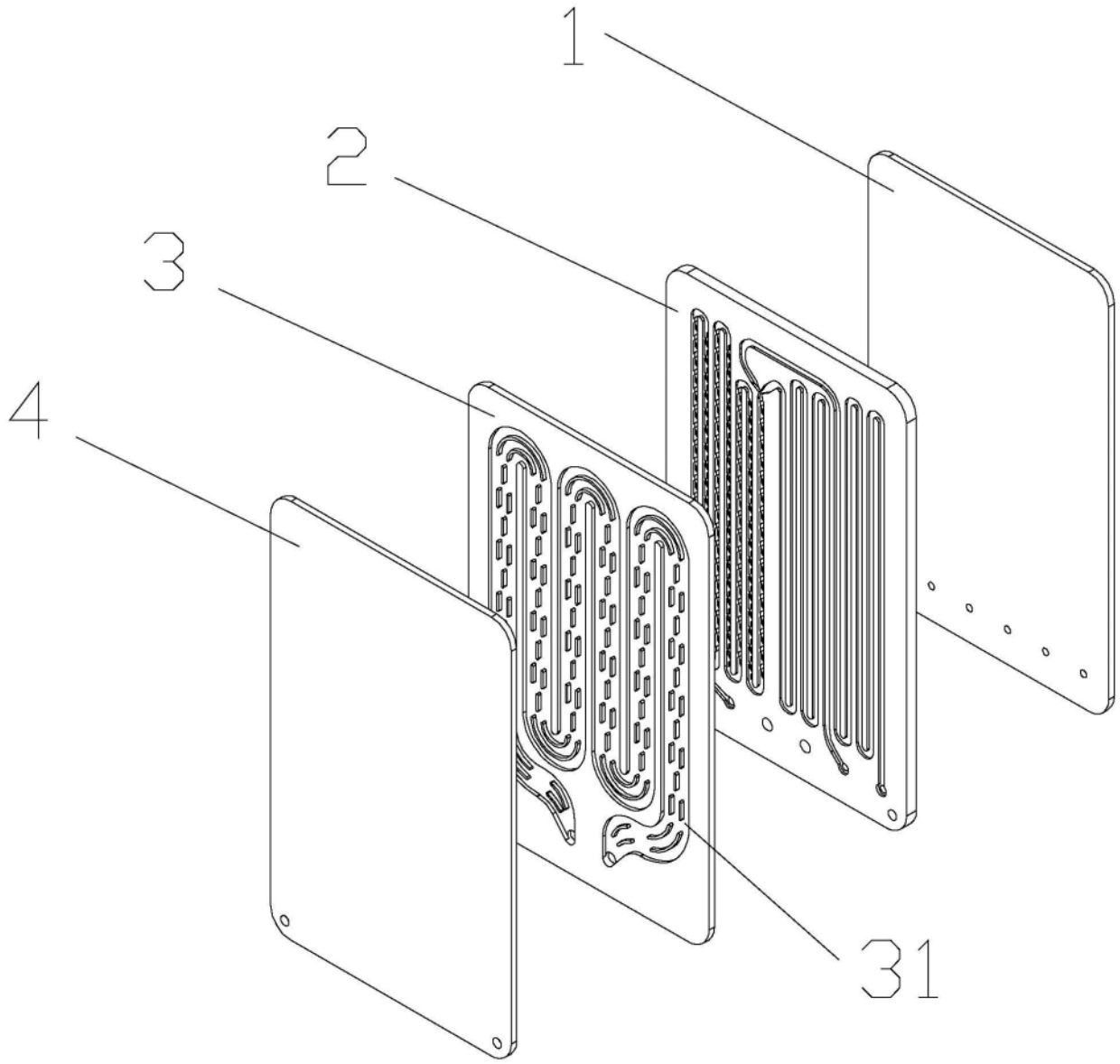


图2

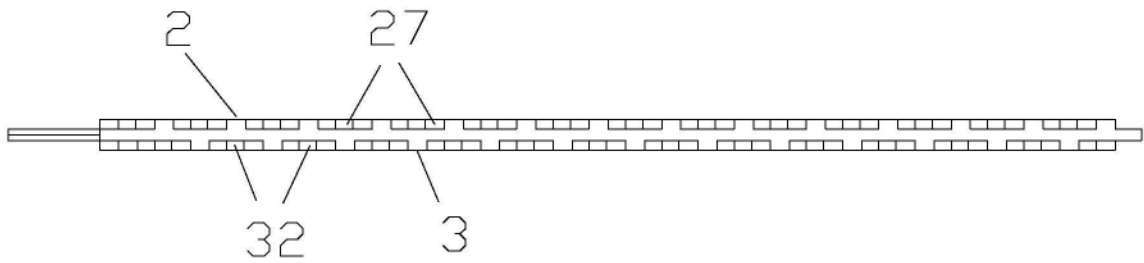


图3

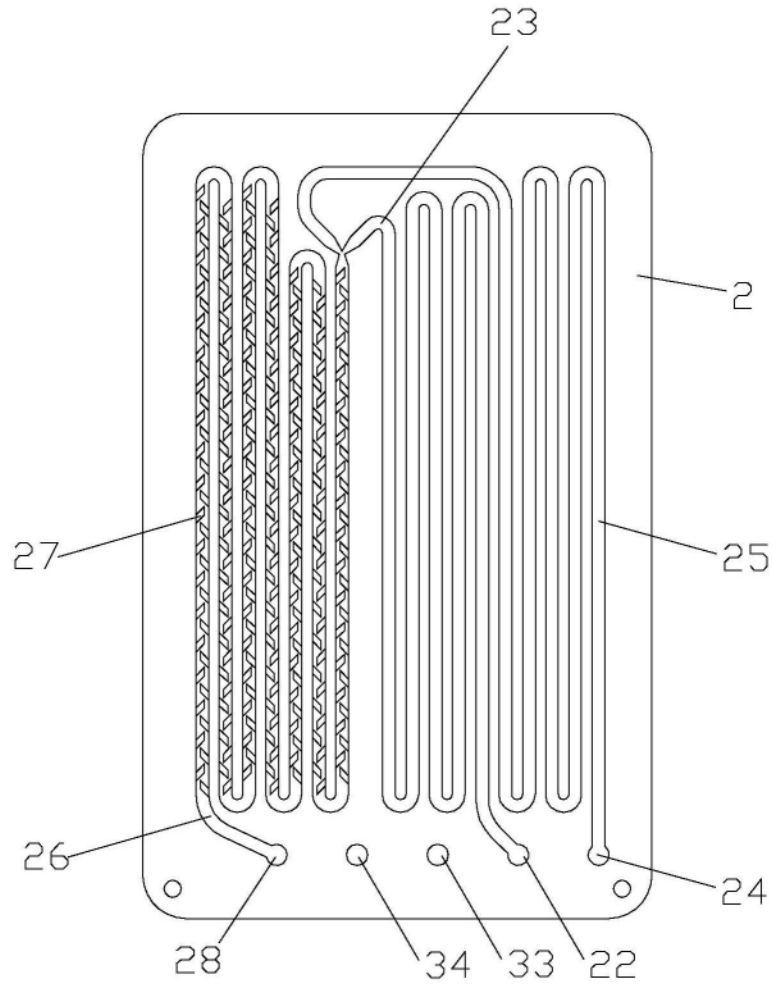


图4

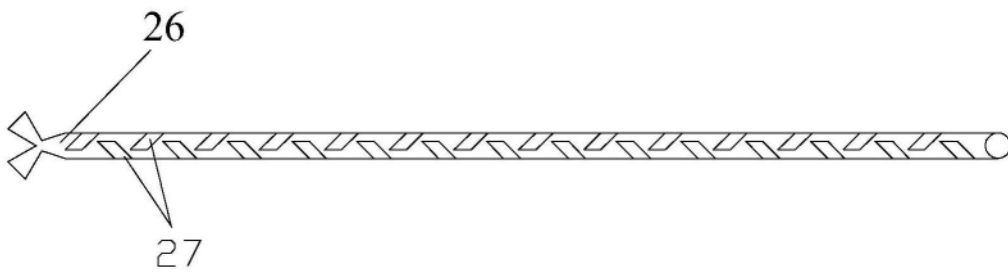


图5

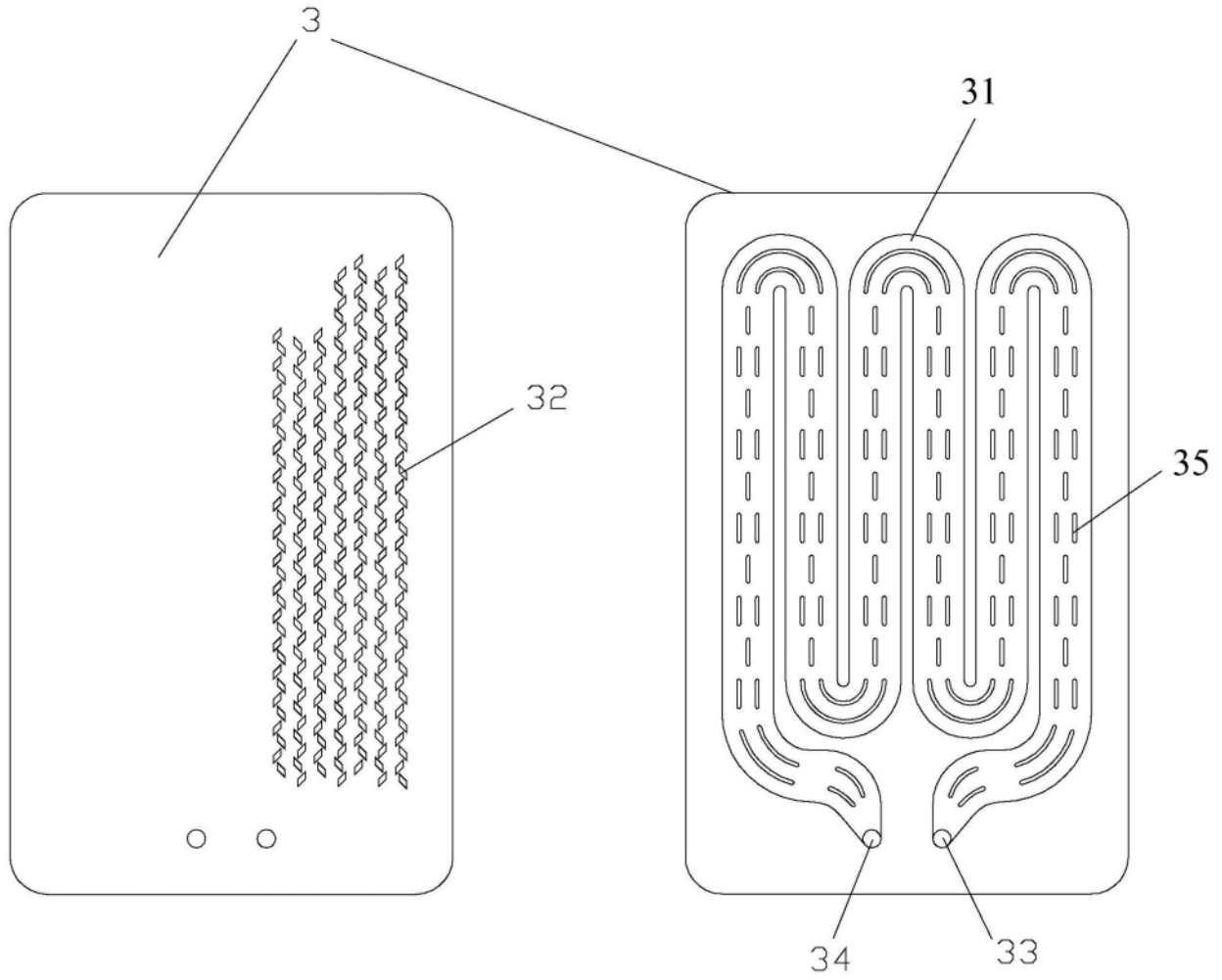


图6

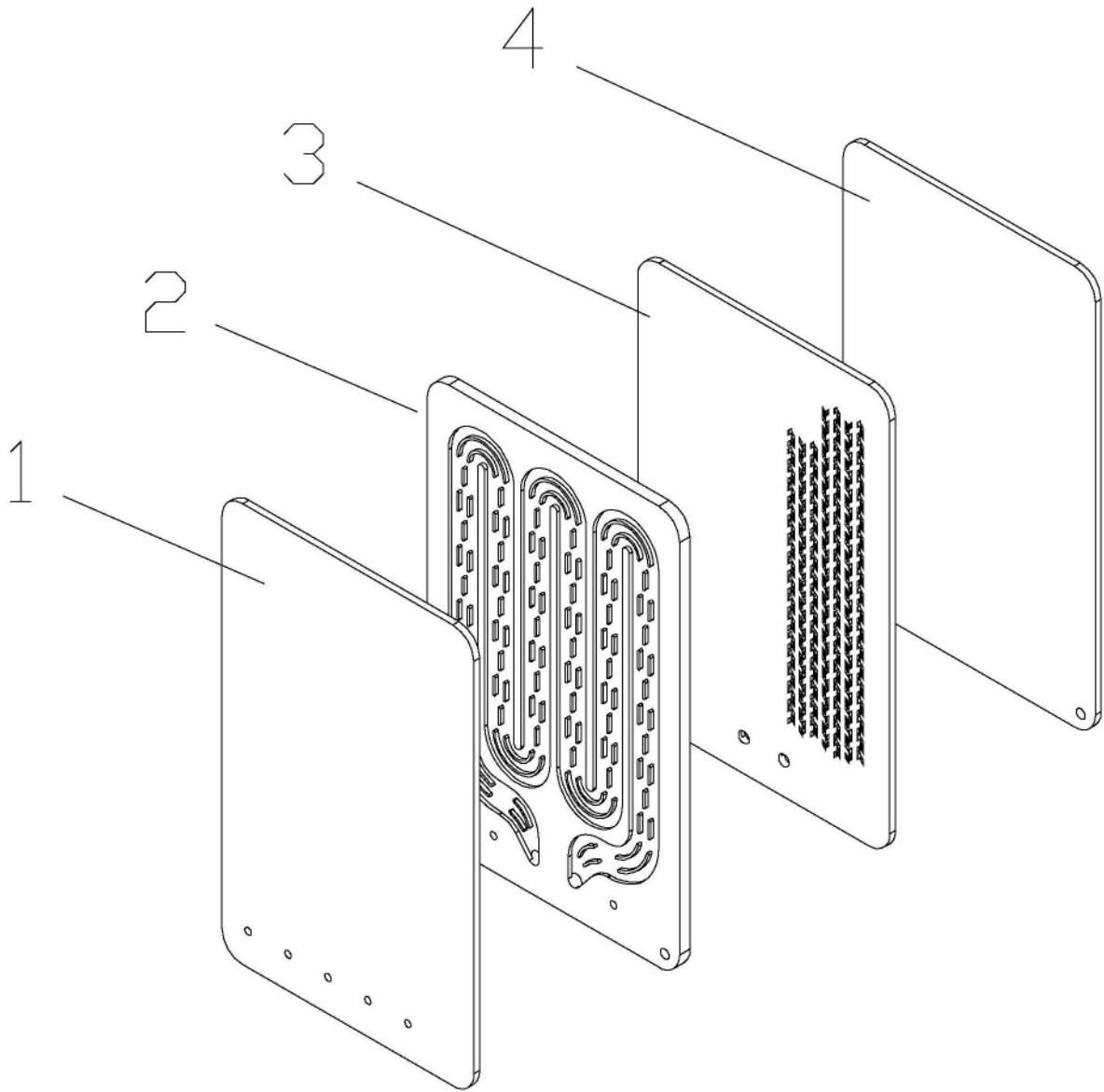


图7

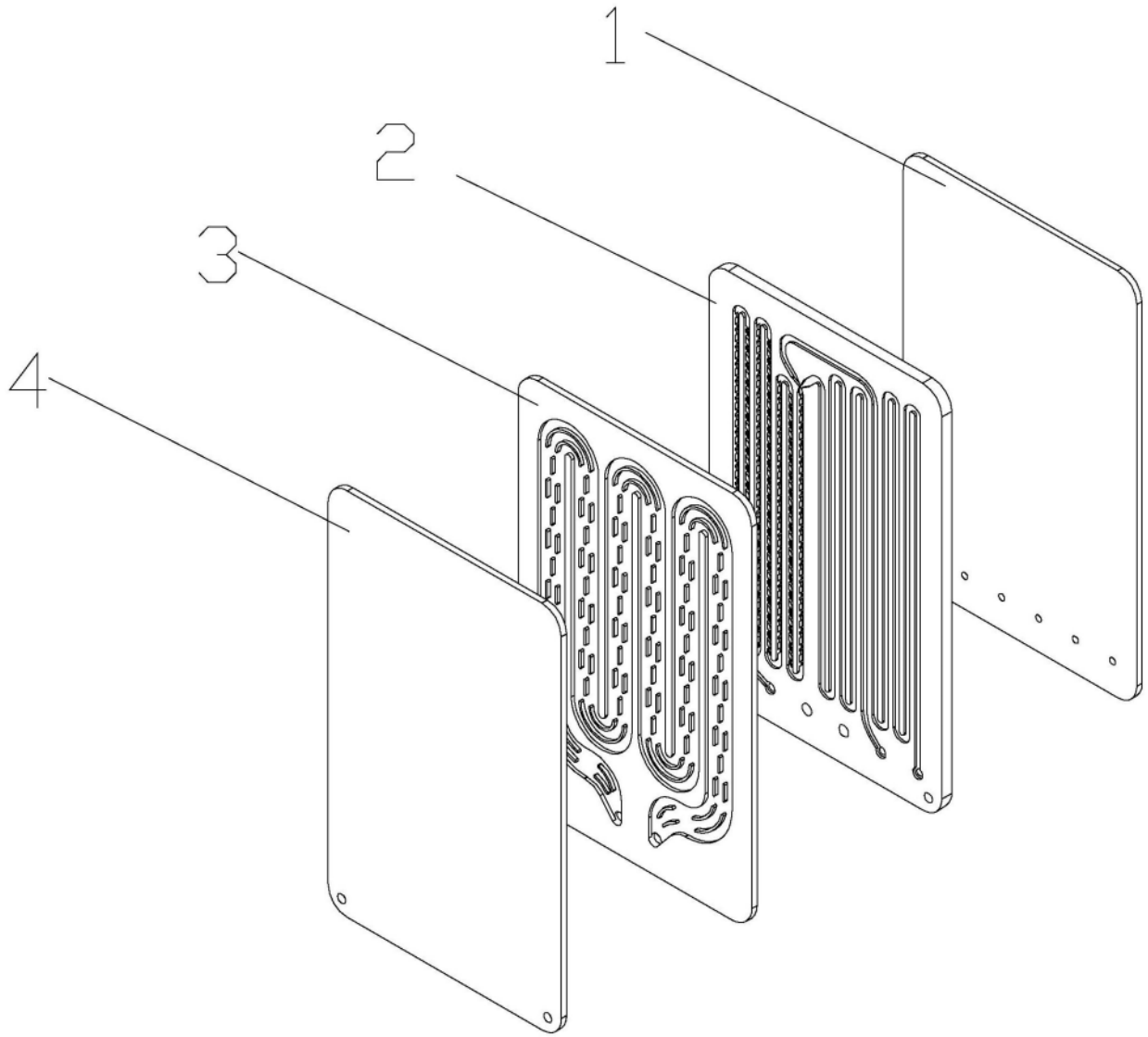


图8

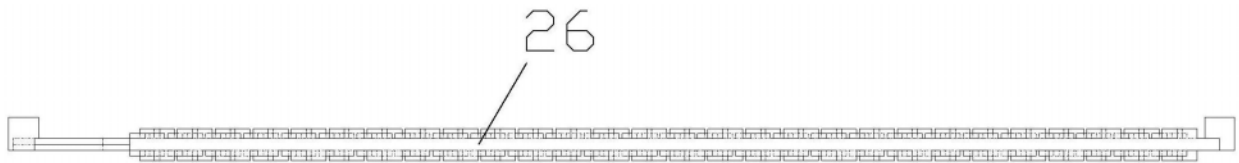


图9

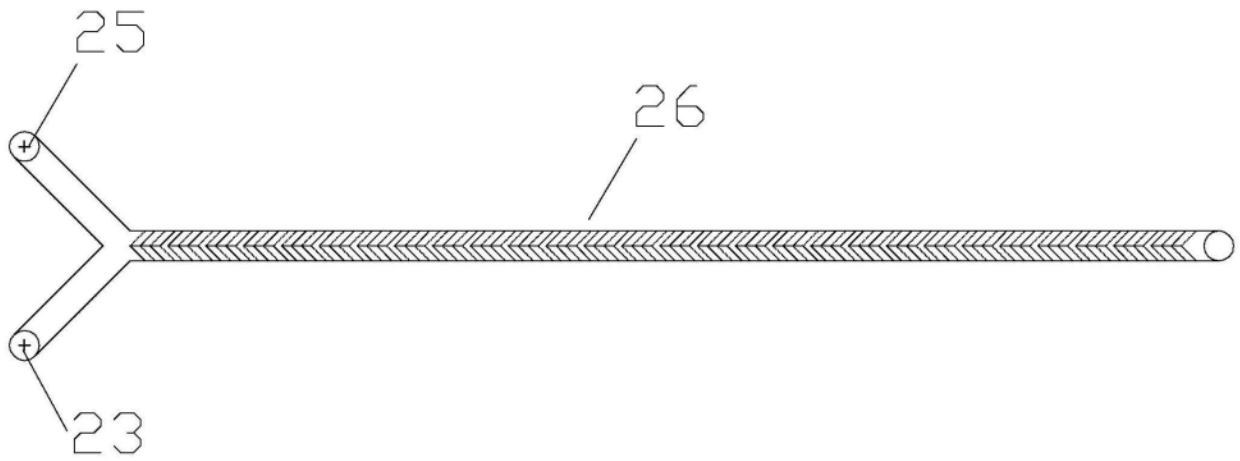


图10

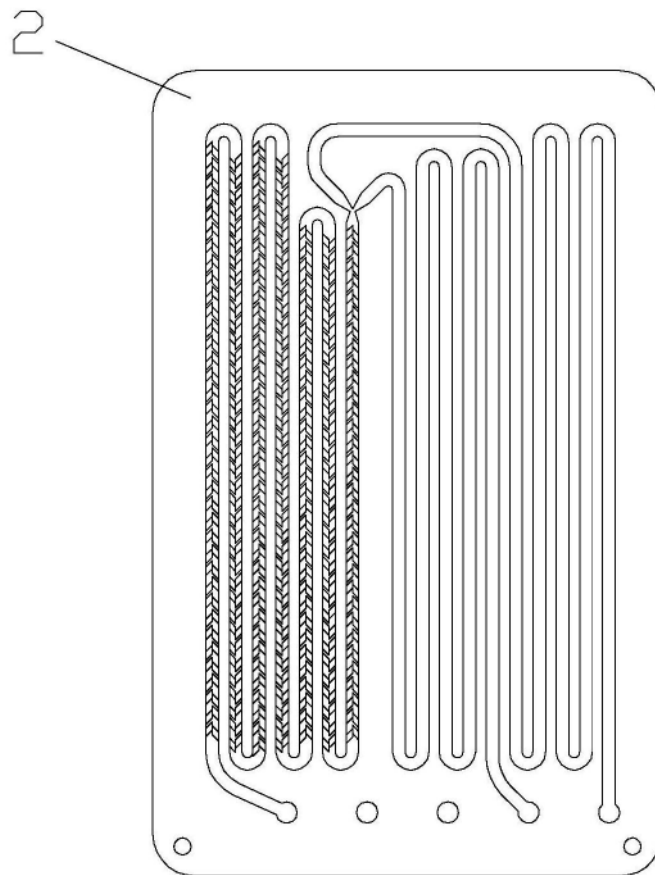


图11

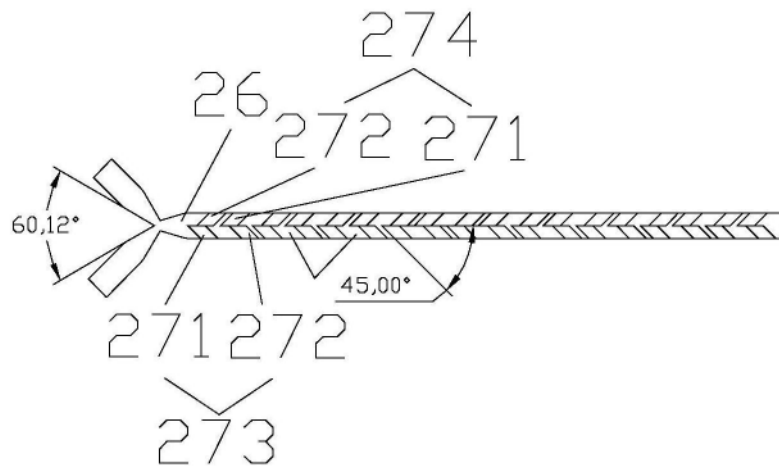


图12

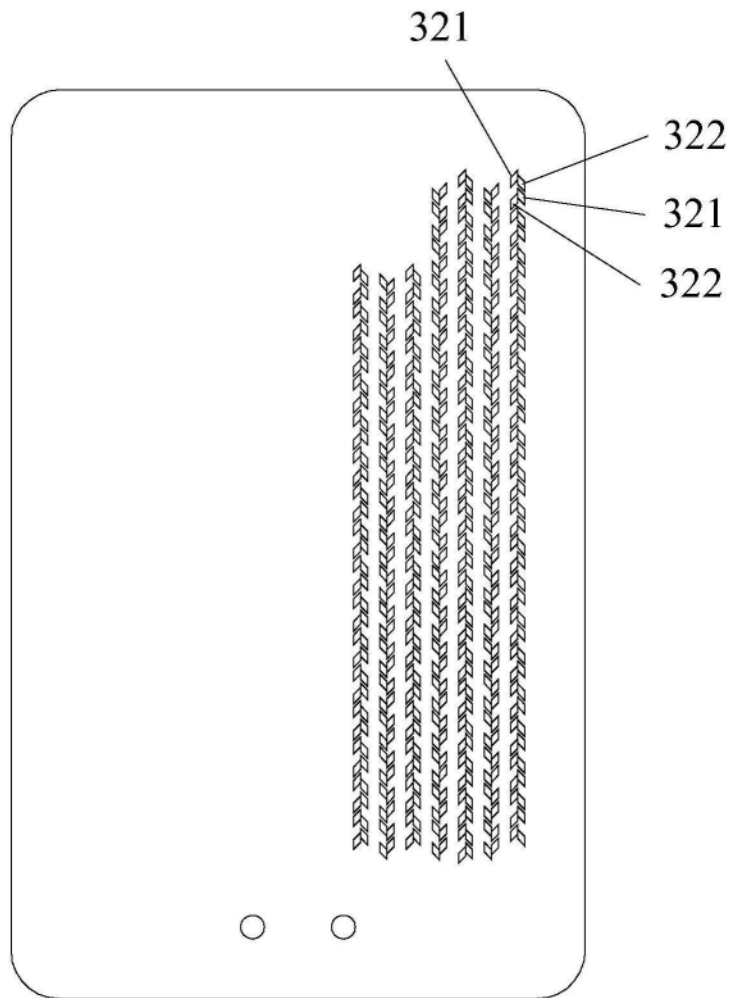


图13

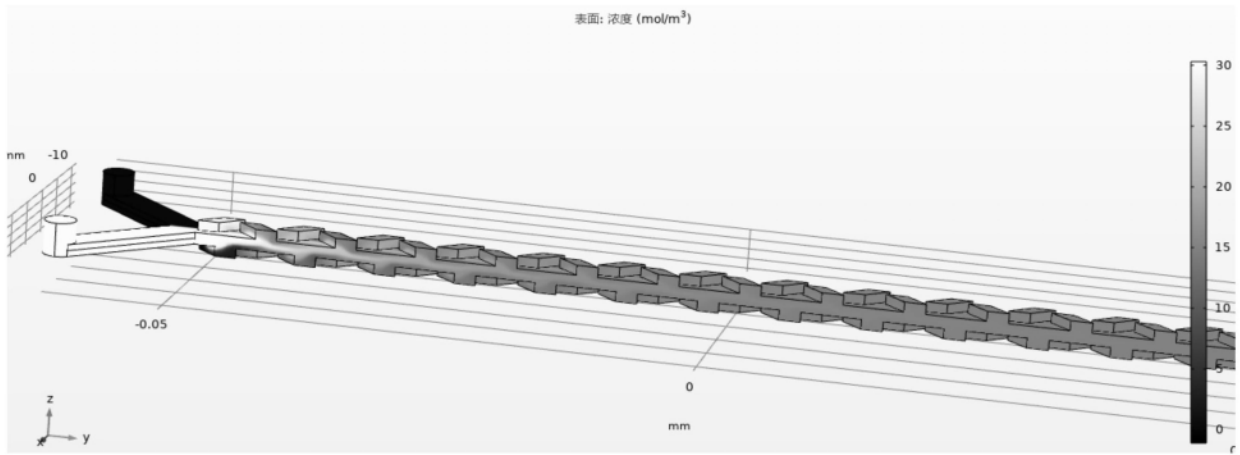


图14

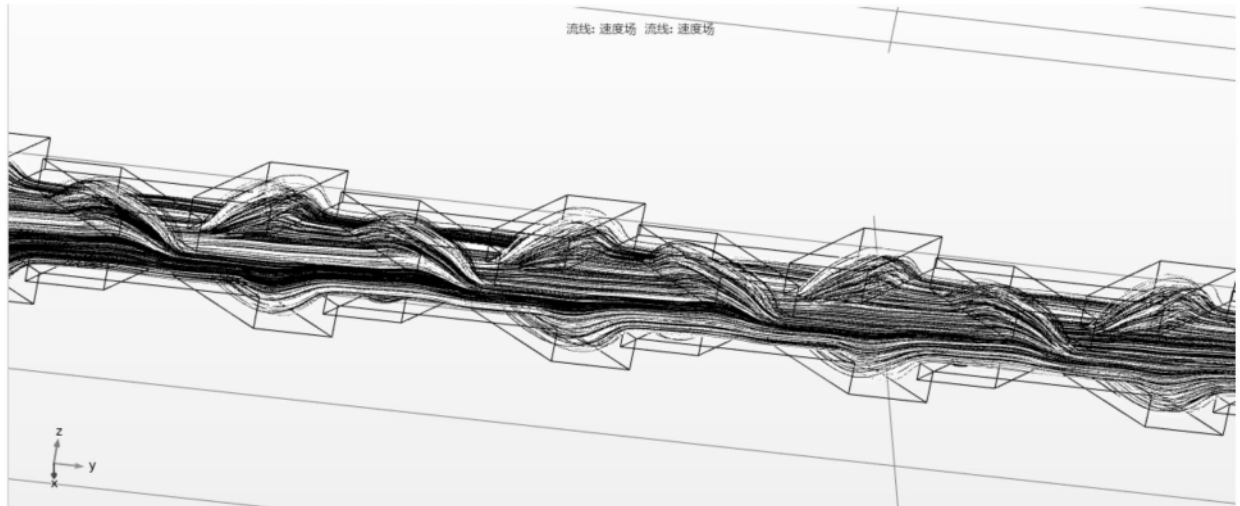


图15

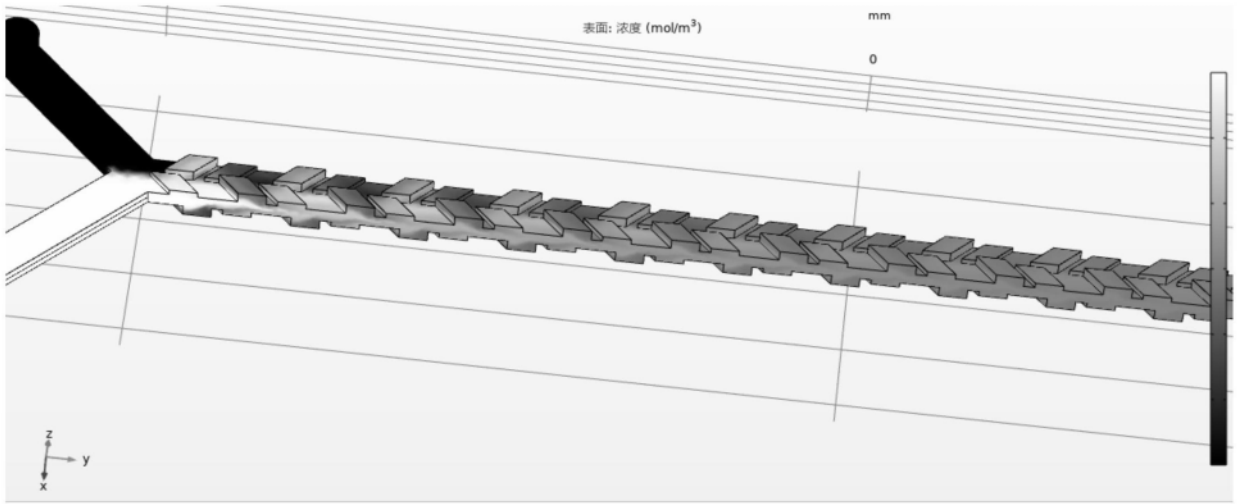


图16

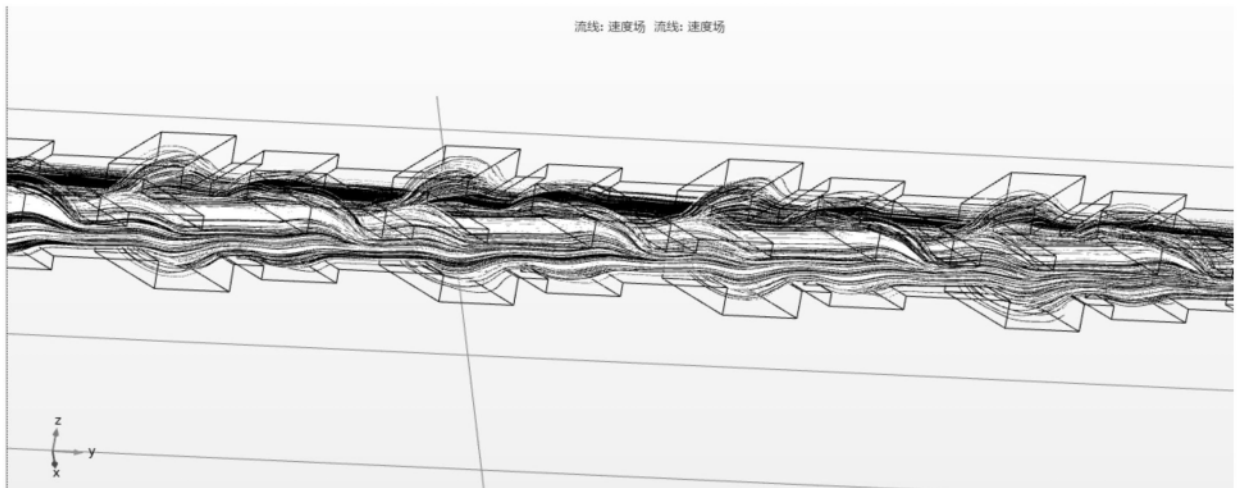


图17