



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109075358 A

(43)申请公布日 2018.12.21

(21)申请号 201780018272.6

(22)申请日 2017.03.21

(30)优先权数据

62/311,901 2016.03.22 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2018.09.18

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/CA2017/050358 2017.03.21

(87)PCT国际申请的公布数据

WO2017/161449 EN 2017.09.28

(71)申请人 环能源公司

地址 加拿大不列颠哥伦比亚省

(72)发明人 马太·保罗·保内

肖恩·迈克尔·麦金农

拉乌尔·雅各布·金马

希拉·梅丽莎·加拉蒂

格雷格·约翰·蒙铁

(74)专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 康艳青 姚开丽

(51)Int.Cl.

H01M 8/0265(2006.01)

H01M 8/2465(2006.01)

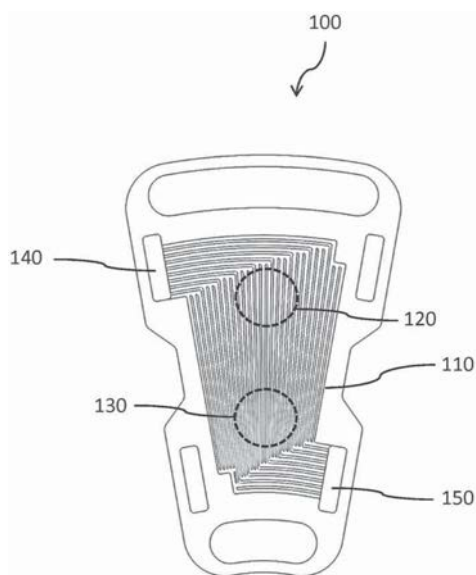
权利要求书3页 说明书12页 附图14页

(54)发明名称

用于热管理的燃料电池流场设计

(57)摘要

提供了包括至少一个热补偿冷却剂通道的燃料电池组件。热补偿冷却剂通道的截面面积沿着所述通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上减小。在一些实施例中,这种热补偿冷却剂通道可以用于在以基本上均匀的电流密度操作的燃料电池中提供基本上均匀的热通量和基本上等温的条件。



1. 一种燃料电池组件,包括:
 - (a) 第一燃料电池,包括:
 - (i) 第一阳极;
 - (ii) 第一阴极;
 - (iii) 第一质子交换膜电解质,置于所述第一阳极与所述第一阴极之间;
 - (iv) 第一阳极流场板,与所述第一阳极相邻,所述第一阳极流场板包括用于将燃料引导到所述第一阳极的第一阳极流道;以及
 - (v) 第一阴极流场板,与所述第一阴极相邻,所述第一阴极流场板包括用于将氧化剂引导到所述第一阴极的第一阴极流道;
 - (b) 第二燃料电池,包括:
 - (i) 第二阳极;
 - (ii) 第二阴极;
 - (iii) 第二质子交换膜电解质,置于所述第二阳极与所述第二阴极之间;
 - (iv) 第二阳极流场板,与所述第二阳极相邻,所述第二阳极流场板包括用于将所述燃料引导到所述第二阳极的第二阳极流道;以及
 - (v) 第二阴极流场板,与所述第二阴极相邻,所述第二阴极流场板包括用于将所述氧化剂引导到所述第二阴极的第二阴极流道;以及
 - (c) 热补偿冷却剂通道,置于所述第一阴极流场板与所述第二阳极流场板之间,用于与所述第一阴极流场板和所述第二阳极流场板中的至少一者呈热传递关系地引导冷却剂,所述热补偿冷却剂通道的截面面积沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上减小。
2. 如权利要求1所述的燃料电池组件,其中,所述热补偿冷却剂通道的所述截面面积沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分在所述冷却剂流动方向上以非线性方式减小。
3. 如权利要求1或2中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述热补偿冷却剂通道具有基本上矩形的截面,并且所述热补偿冷却剂通道的宽度沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分在所述冷却剂流动方向上以非线性方式减小。
4. 如权利要求1至3中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述第一阴极流道的截面面积沿着所述第一阴极流道的长度的至少一部分在氧化剂流动方向上减小。
5. 如权利要求4所述的燃料电池组件,其中,所述第一阴极流道具有基本上矩形的截面,并且所述第一阴极流道的宽度沿着所述第一阴极流道的长度的所述至少一部分按照指数函数减小。
6. 如权利要求1至5中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述第二阳极流道的截面面积沿着所述第二阳极流道的长度的至少一部分在燃料流动方向上减小。
7. 如权利要求6所述的燃料电池组件,其中,所述第二阳极流道具有基本上矩形的截面,并且所述第二阳极流道的宽度沿着所述第二阳极流道的长度的所述至少一部分按照指数函数减小。
8. 如权利要求1至7中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述热补偿冷却剂通道形成在置于所述第一阴极流场板与所述第二阳极流场板之间的冷却剂流场板中。

9. 如权利要求1至7中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述热补偿冷却剂通道形成在所述第一阴极流场板中与所述第一阴极流道相反的表面。

10. 如权利要求1至7中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述热补偿冷却剂通道形成在所述第二阳极流场板中与所述第二阳极流道相反的表面。

11. 如权利要求1至7中任一项所述的燃料电池组件,其中,所述第一阴极流场板被冲压以在其一侧上形成多个所述第一阴极流道,并且所述第二阳极流场板被冲压以在其一侧上形成多个所述第二阳极流道,并且其中,多个所述热补偿冷却剂通道通过所述第一阳极流场板和所述第二阴极流场板的合作表面形成在所述第一燃料电池与所述第二燃料电池之间。

12. 如权利要求11所述的燃料电池组件,其中,所述第一阳极流场板和所述第二阴极流场板是嵌套的。

13. 一种操作包括多个堆叠的燃料电池的燃料电池组件的方法,其中,每个燃料电池包括:

(i) 阳极;

(ii) 阴极;

(iii) 质子交换膜电解质,置于所述阳极与所述阴极之间;

(iv) 阳极流场板,与所述阳极相邻,所述阳极流场板包括用于将燃料引导到所述阳极的阳极流道;以及

(v) 阴极流场板,与所述阴极相邻,所述阴极流场板包括用于将氧化剂引导到所述阴极的阴极流道;

所述方法包括:

(a) 向所述多个燃料电池供应燃料和氧化剂以便从所述燃料电池生成电力;以及

(b) 将冷却剂引导通过置于所述燃料电池之一的所述阴极流场板与相邻燃料电池的所述阳极流场板之间的热补偿冷却剂通道,其中,流过所述热补偿冷却剂通道的所述冷却剂的速度沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分增大,以便基本上补偿所述冷却剂沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分的温度升高。

14. 如权利要求13所述的方法,其中,向所述多个燃料电池供应燃料和氧化剂以便从所述燃料电池生成电力包括跨所述燃料电池中的每一个以基本上均匀的电流密度从所述燃料电池生成电力。

15. 如权利要求13或14中任一项所述的方法,其中,流过所述热补偿冷却剂通道的所述冷却剂的速度沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分增大,以便基本上补偿所述冷却剂沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分的温度升高,使得所述燃料电池中的每一个基本上等温地操作。

16. 如权利要求13至15中任一项所述的方法,其中,所述热补偿冷却剂通道被配置用于向流过所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分的冷却剂提供基本上均匀的热通量。

17. 如权利要求13至16中任一项所述的方法,其中,所述热补偿冷却剂通道的截面面积沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分变化。

18. 如权利要求13至17中任一项所述的方法,其中,所述热补偿冷却剂通道的截面面积

沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。

19. 如权利要求13至18中任一项所述的方法,其中,所述热补偿冷却剂通道具有基本上矩形的截面,并且所述热补偿冷却剂通道的宽度沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的所述至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。

20. 如权利要求13至19中任一项所述的方法,其中,所述阳极流道具有基本上矩形的截面,并且所述第二阳极流道的宽度沿着所述阳极流道的长度的所述至少一部分按照指数函数减小。

21. 如权利要求13至20中的任一项所述的方法,其中,所述阴极流道具有基本上矩形的截面,并且所述阴极流道的宽度沿着所述阴极流道的长度的所述至少一部分按照指数函数减小。

用于热管理的燃料电池流场设计

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请涉及并要求于2016年3月22日提交的美国临时专利申请序列号62/311,901的优先权权益,所述美国临时申请通过引用以其全文结合在此。

技术领域

[0003] 本申请总体上涉及电化学燃料电池、并且更具体地涉及一种其中冷却剂流场板的设计提供了改进的热管理的电化学燃料电池。

背景技术

[0004] 温度控制以及被设计用于提供加热和冷却的设备是许多消费者和工业产品的核心。这些产品包括微处理器、汽车、燃料电池、熔炉、热水加热器、蜂窝设备、和工业装备。这些设备利用某种类型的热交换器来将热量从一个地方传递到另一个地方。

[0005] 热交换器是通过热传递表面将热量从一种介质传递到另一种介质的设备。跨热传递表面的热传递分布取决于表面与流体之间的温度差、交换器表面积、交换器质量流、交换器流配置、材料性质、和热传递模式等。

[0006] 热管理的一种常用模式是通过强制对流热传递。在此,在热传递表面上泵送比热传递表面更热或更冷的工作流体(取决于应用是用于加热还是冷却)。当所述工作流体在热传递表面上流动时,工作流体温度改变,从而减小了工作流体与热传递表面之间的温度差。如果热传递表面维持在恒定温度,则热量在热传递表面上非均匀地传递到工作流体。

[0007] 对某些应用而言期望的是,热传递表面维持在恒定温度并且热传递基本上是均匀的。实现这一点的一种方法是使用具有高热质量的工作流体。具有较高密度和较高热容量的工作流体通常具有较高的热质量。例如,水具有比空气高的热质量。使用具有高热质量的工作流体可以减小工作流体与热传递表面之间的温度差在热传递表面上的变化,但是不能完全消除它。此外,具有较高密度或较高热质量的流体可以与较高寄生负载相关联;例如,以用于泵送或以其他方式使流体移动跨过热传递表面。

[0008] 使热传递表面维持在恒定温度的另一种方法是使用经历相变(例如,通过加热液体使其蒸发)的工作流体。使用经历相变的工作流体的缺点在于热交换器的操作条件可能被限制在依赖于工作流体的物理性质的温度范围内,并且可能受工作流体的相能量容量的限制。

[0009] 固体聚合物燃料电池是由诸如氢和氧等燃料产生电力和水的电化学设备。单个固体聚合物燃料电池包括将阳极与阴极分隔开的离子交换膜。阳极-膜-阴极管件、或者“膜电极组件”被置于一对导电反应物流场板之间,所述一对导电反应物流场板收集电流、促进燃料和氧化剂分别进入到阳极表面和阴极表面、并且提供去除在燃料电池的操作期间形成的水。多个燃料电池组件通常被安排用于形成燃料电池堆。

[0010] 燃料电池反应是放热的,并且传统的固体聚合物燃料电池的操作温度经常通过冷却剂流体循环系统来调节。为了维持适当的电池温度,冷却剂通道通常被置于燃料电池堆

中的相邻燃料电池对的反应物流场板之间。通道可以在反应物流场板中或在单独的冷却剂板中形成。冷却剂流体(一般为水或空气)被引导通过冷却剂通道以便吸收由燃料电池内的放热化学反应所释放的热能。由于反应地点与冷却剂之间的热梯度,热量被传递到冷却剂。

[0011] 在传统的燃料电池中,电力不是跨燃料电池有效区域均匀地产生的。换言之,燃料电池通常不能以均匀的电流密度进行操作。燃料电池冷却系统通常被设计用于试图减小跨工作燃料电池出现的温度分布的不均匀性。因此,传统的燃料电池冷却系统有意地不均匀,其中,热通量跨热传递区域而变化以便补偿非均匀的热量产生。换言之,冷却系统被配置成使得在燃料电池中生成最多热量的区域中存在用于冷却的更大容量。

[0012] 最近,已经开发了能够以基本上均匀的电流密度进行操作的燃料电池。对这种燃料电池的热管理可能是具有挑战性的。使用传统的燃料电池冷却系统将倾向于跨燃料电池的有效区域产生不期望的热梯度,因为具有这种传统冷却系统的热通量是不均匀的。这可能导致特别是在高电流密度下包括产品水管理方面的问题。

发明内容

[0013] 一种燃料电池组件包括多个堆叠的燃料电池,并且每一个燃料电池包括:阳极;阴极;质子交换膜电解质,置于所述阳极与所述阴极之间;阳极流场板,与所述阳极相邻,所述阳极流场板包括用于将燃料引导到所述阳极的阳极流道;以及阴极流场板,与所述阴极相邻,所述阴极流场板包括用于将氧化剂引导到所述阴极的阴极流道。燃料电池组件进一步包括置于燃料电池之一的阴极流场板与相邻燃料电池的阳极流场板之间的热补偿冷却剂通道,所述热补偿冷却剂通道用于与流场板中的至少一个接触(或与其呈热传递关系)地引导冷却剂。热补偿冷却剂通道的截面面积沿着所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上减小。在一些实施例中,燃料电池组件包括多个阳极流道和/或多个阴极流道。在一些实施例中,燃料电池组件包括置于燃料电池之一的阴极流场板与相邻燃料电池的阳极流场板之间的多个热补偿冷却剂通道,所述热补偿冷却剂通道用于与流场板中的至少一个接触(或与其呈热传递关系)地引导冷却剂。

[0014] 在一些实施例中,所述热补偿冷却剂通道的所述截面面积沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。

[0015] 在一些实施例中,所述热补偿冷却剂通道具有基本上矩形的截面,并且所述热补偿冷却剂通道的宽度沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。

[0016] 在一些实施例中,阴极流道和/或阳极流道的截面面积沿对应通道的长度的至少一部分在反应物流动方向上减小。在一些这种实施例中,阴极和/或阳极流道具有基本上矩形的截面,并且阴极和/或阳极通道的宽度沿对应通道的长度的至少一部分按照指数函数减小。

[0017] 在本文所描述的燃料电池组件以及用于操作燃料电池组件的方法的一些实施例中,热补偿冷却剂通道可以形成在置于燃料电池组件中的燃料电池之一的阴极流场板与燃料电池组件中的相邻燃料电池的阳极流场板之间的冷却剂流场板中。在本文所描述的燃料电池组件以及用于操作燃料电池组件的方法的其他实施例中,热补偿冷却剂通道可以形成

在阴极或阳极流场板中与至少一个反应物流道相反的表面，或可以部分地在阴极流场板和阳极流场板中的每一个中形成，使得热补偿冷却剂通道由相邻阴极流场板和阳极流场板的合作表面形成。

[0018] 在本文所描述的燃料电池组件以及用于操作燃料电池组件的方法的一些实施例中，阴极流场板被冲压以在其一侧上形成多个阴极流道，和/或阳极流场板被冲压以在其一侧上形成多个阳极流道。多个热补偿冷却剂通道可以通过这些阳极流场板和阴极流场板的合作表面形成在组件中的相邻燃料电池对之间。在一些实施方式中，阳极流场板和阴极流场板的合作表面是嵌套的。

[0019] 提供了一种操作包括多个燃料电池的燃料电池组件的方法。每一个燃料电池可以包括：阳极；阴极；质子交换膜电解质，置于所述阳极与所述阴极之间；阳极流场板，与所述阳极相邻，所述阳极流场板包括用于将燃料引导到所述阳极的阳极流道；以及阴极流场板，与所述阴极相邻，所述阴极流场板包括用于将氧化剂引导到所述阴极的阴极流道。操作所述燃料电池组件的方法包括：

[0020] 向所述多个燃料电池供应燃料和氧化剂以从所述燃料电池生成电力；以及

[0021] 将冷却剂引导通过置于所述燃料电池之一的所述阴极流场板与相邻燃料电池的所述阳极流场板之间的热补偿冷却剂通道，其中，流过所述热补偿冷却剂通道的所述冷却剂的速度沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分增大，以便至少部分地补偿所述冷却剂沿所述热补偿冷却剂通道的长度的那个部分的温度升高。在一些实施例中，流过所述热补偿冷却剂通道的所述冷却剂的速度沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分增大，以便基本上补偿所述冷却剂沿所述热补偿冷却剂通道的长度的那个部分的温度升高。

[0022] 在所述方法的一些实施例中，所述燃料电池被操作用于跨燃料电池中每一个以基本上均匀的电流密度生成电力。所述至少一个热补偿冷却剂通道可以被配置用于向流过热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分、并且在一些实施例中沿热补偿冷却剂通道的整个长度的冷却剂提供基本上均匀的热通量。在一些实施例中，基本上等温地操作燃料电池。

[0023] 在一些实施例中，热补偿冷却剂通道的截面面积沿其长度的至少一部分变化。例如，所述热补偿冷却剂通道的所述截面面积可以沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。在一些实施例中，所述热补偿冷却剂通道具有基本上矩形的截面，并且所述通道的宽度沿所述热补偿冷却剂通道的长度的至少一部分在冷却剂流动方向上以非线性方式减小。在所述方法的一些实施例中，阴极流道和/或阳极流道的截面面积沿对应通道的长度的至少一部分在反应物流动方向上减小。在一些这种实施例中，阴极和/或阳极流道具有基本上矩形的截面，并且通道的宽度沿对应通道的长度的至少一部分按照指数函数减小。

[0024] 在以上描述的燃料电池组件和操作燃料电池组件的方法的一些实施例中，热补偿冷却剂通道的特性根据沿所述通道的距离而连续地或平滑地变化。在其他实施例中，热补偿冷却剂通道的特性根据沿所述通道的距离以阶梯式的、离散的或不连续的方式变化，例如，以便大致补偿工作流体沿所述通道的长度的温度升高。

附图说明

[0025] 图1是包括多个热补偿通道的燃料电池冷却剂流场板的实施例的示意图。

- [0026] 图2是包括多个热补偿通道的燃料电池冷却剂流场板的另一实施例的示意图。
- [0027] 图3是热补偿通道的示意图。
- [0028] 图4和图5是展示了用于配置热补偿通道的方法的流程图。
- [0029] 图6是曲线图,展示了沿根据图4和图5的方法配置的热补偿矩形通道的通道宽度和工作流体速度。
- [0030] 图7是曲线图,展示了沿根据图4和图5的方法配置的热补偿矩形通道的热通量和工作流体的温度。
- [0031] 图8是曲线图,展示了工作流体沿传统通道和热补偿通道的通道长度的温度。
- [0032] 图9是曲线图,示出了热通量沿热补偿通道的长度从入口到出口基本上是恒定的。
- [0033] 图10是针对传统通道和热补偿通道,作为沿通道从入口到出口的归一化距离的函数的通道宽度的曲线图。
- [0034] 图11是针对传统通道和热补偿通道,作为沿通道从入口到出口的归一化距离的函数的工作流体速度的曲线图。
- [0035] 图12是用于验证图4和图5的用于配置热补偿通道的方法的装置的示意图。
- [0036] 图13是基于热模型的传统蛇形通道的测试结果和预期温度曲线的曲线图。
- [0037] 图14是基于热模型的热补偿通道的测试结果和预期温度曲线的曲线图。
- [0038] 图15A至图15C展示了一对波纹状、梯形反应物流场板的示例性实施例,所述反应物流场板被堆叠,使得具有沿冷却剂通道的长度变化的截面面积的冷却剂通道形成在堆叠板的合作波纹表面之间。
- [0039] 图16A至图16C展示了一对波纹状、梯形的反应物流场板的示例性实施例,所述反应物流场板是嵌套的,使得具有沿冷却剂通道的长度变化的截面面积的冷却剂通道形成在嵌套板的合作波纹表面之间。
- [0040] 图17A至图17C展示了一对波纹状、梯形的反应物流场板的另一示例性实施例,所述反应物流场板是嵌套的,使得具有沿冷却剂通道的长度变化的截面面积的冷却剂通道形成在嵌套板的合作波纹表面之间。

具体实施方式

- [0041] 在本文所描述的技术的实施例中,在热传递表面上的工作流体的速度被调整用于控制在热传递表面上的热通量(每单位面积的热传递)的变化。工作流体的速度可以被调整用于减小或消除在热传递表面上的热通量变化。如果热通量是基本上均匀的并且热量由热量源基本上均匀地产生,则热传递表面所产生的温度也将是基本上均匀的。
- [0042] 实现热传递表面的均匀温度以及基本上均匀的热通量的优点是其可以增大热交换器的热传递容量。因此,具有较低热质量的工作流体可以用于移除等量的热量,从而减小与以较高流速泵送冷却剂相关联的寄生电力损耗以适应具有较差热传递特性的流体或设计。本文所描述的技术的某些实施例的另一优点是相变不需要实现基本上均匀的热通量,并且因此可以使用各种工作流体和较宽范围的操作温度。
- [0043] 图1是包括多个热补偿通道110的燃料电池冷却剂流场板100的实施例的示意图。冷却剂流场板100进一步包括入口140和出口150。热补偿通道110被配置成使得更接近入口140(例如,在区域120中)的通道宽度大于更接近出口150(例如,在区域130中)的通道宽度。

[0044] 图2是包括多个热补偿通道210的燃料电池冷却剂流场板200的另一实施例的示意图。冷却剂流场板200进一步包括入口240和出口250。热补偿通道210被配置成使得更接近入口240(例如,在区域220中)的通道宽度大于更接近出口250(例如,在区域230中)的通道宽度。

[0045] 在一些实施例中,热补偿通道(诸如图1的110或图2的210)可以具有矩形截面,或其可以具有基本上矩形的截面,例如,具有圆角和轻微张开的侧壁。在其他实施例中,热补偿通道可以具有其他截面形状,包括但不限于梯形截面、三角形截面、半圆形截面。

[0046] 图3是诸如在冷却剂流场板上的单个通道等热补偿通道300的示意图。热补偿通道300具有矩形截面,并且包括热传递表面310。通过箭头320展示了来自燃料电池(在图3中未示出)、跨热传递表面310上的热量流。通过箭头335展示了在入口330处进入热补偿通道300的工作流体的流动。通过箭头345展示了在出口340处离开热补偿通道300的工作流体的流动。

[0047] 图4和图5是流程图,展示了用于配置热补偿通道的方法400。方法400包括估计在沿通道长度从入口到出口的多个等距位置处的热通量的数值方法。

[0048] 图4是展示了方法400的第一部分的流程图。方法400的第一部分包括步骤410至步骤480。

[0049] 在步骤410处,通道被配置有初始参数集,初始参数集包括入口处的深度 D_0 和宽度 W_0 、通道的长度 L 、工作流体的质量流 m 、在入口处的工作流体温度 T_0 、以及壁温度 T_w 。

[0050] 在步骤420处,选择所述多个等距位置中的每一个之间的增量距离 Δx 。增量距离被选择用于为所产生的通道宽度曲线提供所期望的精度水平。

[0051] 在步骤430处,方法400使用等式(1)估计入口处的工作流体速度,被称为初始工作流体速度 v_0 ,其中, m 是质量流速,并且 ρ_0 是在入口处的工作流体密度:

$$[0052] \quad v_0 = \frac{\dot{m}}{\rho_0 W_0 D_0} \quad (1)$$

[0053] 在步骤440处,方法400使用等式(2)估计通道在入口处的水力直径 d_{h0} :

$$[0054] \quad d_{h0} = \frac{4W_0 D_0}{2(W_0 + D_0)} \quad (2)$$

[0055] 在步骤450处,方法400估计入口温度 T_0 下工作流体的物理性质。物理性质包括密度 ρ 、动力粘度 μ 、比热 C_p 、以及热导率 k_{th} 。

[0056] 在步骤460处,方法400使用如下等式(3)至等式(6)来估计入口温度下的对流热传递系数 h_0 :

$$[0057] \quad h_0 = \frac{k_{th0} Nu_0}{d_{h0}} \quad (3)$$

$$[0058] \quad Nu_0 = 1.86 \left(Pr Re \frac{d_{h0}}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_0}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (4)$$

$$[0059] \quad Pr_0 = \frac{C_{p0}\mu_0}{k_{th0}} \quad (5)$$

$$[0060] \quad Re_0 = \frac{\rho_0 v_0 d_{h0}}{\mu_0} \quad (6)$$

[0061] 其中, Nu是努塞尔数, Re是雷诺数, 并且Pr是普朗特数。

[0062] 在步骤470处, 方法400使用等式(7)来估计局部热通量q:

$$[0063] \quad q(0) = h_0(T_w - T_0) \quad (7)$$

[0064] 在步骤480处, 方法使用等式(8)来估计跨初始热传递区域的热传递Q:

$$[0065] \quad Q = q(0) W_0 \Delta x \quad (8)$$

[0066] 方法400前进到图5的步骤510。

[0067] 图5是展示了方法400的第二部分的流程图。方法400的第二部分包括步骤510至步骤550。

[0068] 在步骤510处, 方法400通过将增量距离 Δx 添加到先前位置来增加沿通道的当前位置。

[0069] 在步骤520处, 如果沿通道的当前位置超过通道长度L, 则方法400前进到步骤530。在步骤530处, 宽度曲线W(x) 输出到适合用作到燃料电池流板中的热补偿通道的配置的输入的存储设备或显示设备。方法400前进到步骤540并结束。

[0070] 在步骤520处, 如果沿通道的当前位置未超过通道长度L, 则方法400前进到步骤550。在步骤550处, 方法400使用等式(9)来估计沿通道的当前位置 x_i 处的工作流体温度 T_i :

$$[0071] \quad T_i = \frac{Q_{i-1}}{\dot{m}C_{pi-1}} + T_{i-1} \quad (9)$$

[0072] 其中, Q_{i-1} 是沿通道的先前位置 x_{i-1} 处跨热传递区域的热传递, m是质量流速, C_{pi-1} 是位置 x_{i-1} 处的比热, 并且 T_{i-1} 是在位置 x_{i-1} 处的工作流体温度。

[0073] 在步骤560处, 方法400通过调整通道宽度W(x)来求解基本上恒定的热通量。换言之, 方法400找到了 $q(x_i)$ 与 $q(x_{i-1})$ 之间的热通量的绝对差低于预定阈值的通道宽度W(x)。可替代地, 方法400可以用于定制比热通量梯度或曲线(例如使得可以控制跨燃料电池的温度差)。求解器使用等式(10)至等式(16):

$$[0074] \quad h_i = \frac{k_{thi}Nu_i}{d_{hi}} \quad (10)$$

$$[0075] \quad Nu_i = 1.86 \left(Pr Re \frac{d_{hi}}{L} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_i}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (11)$$

$$[0076] \quad Pr_i = \frac{C_{pi}\mu_i}{k_{thi}} \quad (12)$$

$$[0077] \quad Re_i = \frac{\rho_i v_i d_{hi}}{\mu_i} \quad (13)$$

$$[0078] \quad d_{hi} = \frac{4W_i D_0}{2(W_i + D_0)} \quad (14)$$

$$[0079] \quad v_i = \frac{\dot{m}}{\rho_i W_i D_0} \quad (15)$$

$$[0080] \quad q(x_i) = h_i (T_w - T_i) \quad (16)$$

[0081] 可以使用适当的数值求解器,诸如用于求解非线性问题的广义约化梯度算法。

[0082] 当数值求解器已经收敛到通道宽度 $W(x_i)$ 的解时,方法400前进至步骤570。在步骤570处,通道宽度 $W(x_i)$ 被存储在通道宽度曲线记录中。

[0083] 在步骤580处,方法400使用等式(17)来估计跨当前热传递区域 $W(x_i) \Delta x$ 的热传递:

$$[0084] \quad Q_i = q(x_i) W_i \Delta x \quad (17)$$

[0085] 方法400然后返回到步骤510。

[0086] 方法400描述了用于为具有矩形截面、以及沿通道的长度变化的宽度和基本上恒定的深度的通道配置热补偿通道的方法。在其他实施例中,热补偿通道可以具有矩形截面、以及变化或恒定的宽度和变化的深度。在一些实施例中,热补偿通道可以具有不是矩形或基本上矩形的截面,但具有某种其他的截面通道形状。热补偿通道可以通过经过适当改变通道的截面面积来适当的调整通道中的工作流体速度进行配置。

[0087] 图6是曲线图,展示了沿根据图4和图5的方法400配置的具有矩形截面的热补偿通道的通道宽度和工作流体速度。

[0088] 通道宽度从入口处的2.5mm减小到出口处的大约1.1mm。减小的通道宽度与工作流体沿通道长度的相应速度增大相关联。速度从入口处的大约0.185m/s增大到出口处的0.418m/s。

[0089] 图7是曲线图,展示了沿根据图4和图5的方法400配置的热补偿矩形通道的热通量和工作流体温度。

[0090] 热通量保持基本恒定。在示出的示例中,热通量为大约12.7W/cm²。工作流体的温度沿通道从入口处的25°C升高到出口处的大约41.3°C。

[0091] 图8是曲线图,展示了沿传统通道和热补偿通道的通道长度的工作流体温度。线810示出了工作流体沿传统通道的长度的温度变化。在本示例中,传统通道具有矩形截面以及沿其长度的恒定宽度、深度和截面面积。线820示出了工作流体沿诸如图6和图7中所展示的热补偿通道等热补偿通道的长度的温度变化。

[0092] 图8示出了更多热量通过包括热补偿通道的配置从燃料电池移除,由于出口处的工作流体温度高于传统通道的工作流体温度,即使每个入口处的入口温度相同。

[0093] 图9是曲线图,展示了沿传统通道和热补偿通道的通道长度的热通量。线910示出了沿传统通道的长度的热通量。在本示例中,传统通道具有矩形截面以及沿其长度的恒定宽度、深度和截面面积。线920示出了沿诸如图6和图7中所展示的热补偿通道等热补偿通道的长度的热通量。

[0094] 图9示出了热通量可以沿热补偿通道的长度从入口到出口基本上是恒定的。由于热补偿通道被配置成保持热通量沿通道的长度基本恒定,因此热量被更均匀地移除并且等

温操作是可能的。

[0095] 图10是针对传统通道和热补偿通道,作为沿通道从入口到出口的归一化距离的函数的通道宽度的曲线图。线1010示出了具有基本恒定通道宽度的传统通道的通道宽度。线1020示出了诸如图6和图7中所展示的热补偿通道等热补偿通道的通道宽度。

[0096] 图11是针对传统通道和热补偿通道,作为沿通道从入口到出口的归一化距离的函数的工作流体速度的曲线图。线1110示出了沿传统通道的长度的工作流体速度,所述传统通道具有沿其长度的基本上恒定的通道宽度、深度和截面面积。线1120示出了沿诸如图6和图7中所展示的热补偿通道等热补偿通道的长度的工作流体速度。

[0097] 以上所描述的方法是一种用于配置热补偿通道的方法。用于调整通道的尺寸、工作流体的速度和/或局部热传递区域的其他合适的方法也可以用于配置通道以基本上补偿工作流体沿通道的长度的温度升高,或者换言之,补偿工作流体与热传递表面之间沿通道的长度的温度差的减小。

[0098] 进行实验以便验证以上所描述的用于配置热补偿通道的方法。实验将传统通道的行为与热补偿通道的行为进行比较。

[0099] 图12是用于验证图4和图5的用于配置热补偿通道的方法的装置1200的示意图。装置1200包括模拟反应物流场板1210、冷却剂流场板1220、夹紧板1230A和1230B、用于热流体的入口端口1240A和出口端口1240B、用于冷流体的入口端口1250A和出口端口1250B、以及一个或多个热电偶1260A至1260D。

[0100] 模拟反应物流场板1210维持在基本恒定温度,以便模拟以均匀的电流密度操作的燃料电池。冷却剂流场板1220包括通道安排。在第一实施例中,通道是被安排成蛇形图案的传统通道。在第二实施例中,通道是热补偿通道并且被配置用于跨热传递区域产生均匀的热通量。热电偶1260A至1260D用于测量流动跨过冷却剂流场板1220的流体温度。

[0101] 模拟反应物流场板1210位于热交换器的热侧上。在流场板1210中的流体的质量流速为 \dot{m}_h ,并且在入口端口1240A和出口端口1240B处的流体温度分别为 T_{hi} 和 T_{ho} 。

[0102] 冷却剂流场板1220位于热交换器的冷侧上。在受控流场板1220中的流体的质量流速为 \dot{m}_c ,并且在入口端口1250A和出口端口1250B处的流体温度分别为 T_{ci} 和 T_{co} 。

[0103] 模拟反应物流场板1210和冷却剂流场板1220覆盖相等的有效区域。工作流体是去离子水。为避免在热交换器的热侧上的温度梯度,去离子水在相对于冷侧的热侧上以显著更高的流速泵送跨过板1210。

[0104] 第一测试是使用冷却剂流场板1220(蛇形通道)的第一实施例来进行的。表1列出了用于第一测试的参数。

[0105] 表1

参数	蛇形通道
T_{ci} [°C]	23
T_{co} [°C]	60
T_{hi} [°C]	68
T_{ho} [°C]	64
通道长度[m]	2.1
W_o [m]	0.0016
D_o [m]	0.00400
\dot{m}_c [kg/s]	0.00067
\dot{m}_h [kg/s]	0.033

[0107] 图13是显示了蛇形通道的测试结果和预期温度曲线的曲线图。图13示出了在预期温度曲线1310(使用模型计算的)与分别通过图12的热电偶1260A至1260D测量的数据点1320A至1320D之间存在良好的一致性。均方根误差小于2°C。

[0108] 第二测试是使用冷却剂流场板1220(热补偿通道)的第二实施例来进行的。表2列出了用于第二测试的参数。

[0109] 存在可以用于至少部分地补偿工作流体沿通道的长度的温度升高的各种合适的通道几何形状配置。出于第二测试的目的,通道被配置成具有基本上矩形的截面、恒定的深度、以及被配置用于遵循关于沿通道长度的位置的指数函数、并且y截距为0.0025且底数为0.00278的通道宽度。

[0110] 表2

参数	热补偿通道
T_{ci} [°C]	24
T_{co} [°C]	45
T_{hi} [°C]	68
T_{ho} [°C]	60
通道长度[m]	.1505
W_o [m]	0.0025
D_o [m]	0.00300
\dot{m}_c [kg/s]	0.0050
\dot{m}_h [kg/s]	0.033

[0112] 图14是热补偿通道的测试结果和预期温度曲线的曲线图。图14示出了在预期温度曲线1410(使用模型计算的)与分别通过图12的热电偶1260A至1260D测量的数据点1420A至1420D之间存在良好的一致性。均方根误差小于2°C。

[0113] 在一些实施例中,燃料电池流场板包括具有从入口到出口减小的截面面积或宽度的至少一个冷却通道。在一些实施例中,冷却通道的截面面积或宽度从入口到出口连续地减小。

[0114] 在一些实施例中,燃料电池流场板包括用于对流冷却的至少一个通道,所述通道包括第一区域和第二区域,在所述第一区域中通道具有基本上恒定的截面面积或宽度并且

在所述第二区域中通道具有逐渐缩小的截面面积或宽度。第一区域可以促进工作流体从入口端口到燃料电池流场板的分布。第二区域可以促进工作流体跨燃料电池流场板从第一区域到出口端口的分布。

[0115] 在一些实施例中,燃料电池流场板包括用于对流冷却的至少一个通道,所述通道包括:第一区域、在第一区域之后的第二区域、以及在第二区域之后的第三区域,在所述第一区域中通道具有基本上恒定的截面面积或宽度,在所述第二区域中通道具有逐渐缩小的截面面积或宽度,并且在第三区域中通道具有基本上恒定的截面面积或宽度。

[0116] 以上所描述的装置和方法的实施例可以用于配置燃料电池的热补偿冷却剂通道,所述燃料电池具有诸如阴极流场设计和阳极流场设计等传统的阴极流场设计和阳极流场设计并且以非均匀的电流密度进行操作。

[0117] 以上所描述的装置和方法的实施例可以用于配置特别适合用在燃料电池中的热补偿冷却剂通道,所述燃料电池以基本上均匀的电流密度进行操作;例如,在阳极和/或阴极上具有非传统反应物流场通道。

[0118] 在通过引用以其全文接合在此的申请人的美国专利号7,838,169以及也通过引用以其全文接合在此的申请人的美国专利申请公开号US2015/0180052中描述了具有沿通道长度以各种方式变化的截面面积的燃料电池阴极流道和阳极流道。在某些操作条件下,如在这些文档中所描述的具有反应物通道轮廓的燃料电池可以以基本上均匀的电流密度来操作,并且还可以以热管理可能具有挑战性的极高电流密度来操作。在这些情况下,可能特别期望的是,将燃料电池冷却剂通道配置为当合适的冷却剂被引导通过所述冷却剂通道时,能够跨燃料电池的有效区域提供基本上均匀的热通量。例如,这种方法可以用于动力应用中以在约 $1\text{A}/\text{cm}^2$ 到约 $2\text{A}/\text{cm}^2$ 、或约 $1\text{A}/\text{cm}^2$ 到约 $3\text{A}/\text{cm}^2$ 的范围内的高电流密度操作、并且在一些情况下以超过 $3\text{A}/\text{cm}^2$ 的电流密度操作的燃料电池。

[0119] 因此,本文所描述的装置和方法的各方面涉及包括与具有特定轮廓的氧化剂和/或燃料反应物通道组合的热补偿冷却剂通道的燃料电池组件(诸如,在美国专利号7,838,169和美国专利申请公开号US2015/0180052中所描述的),以及用于操作这种燃料电池组件例如以便跨燃料电池有效区域在燃料电池与冷却剂之间提供基本上均匀的电量密度和基本上均匀的热通量的方法。这可以允许在燃料电池的操作期间跨燃料电池有效区域维持基本上均匀的板温度或基本上等温的条件。这进而可以有助于维持电流密度的持续均匀性。

[0120] 在一些实施例中,燃料电池包括:

[0121] 阳极;

[0122] 阴极;

[0123] 质子交换膜电解质,置于所述阳极与所述阴极之间;

[0124] 阳极流场板,与所述阳极相邻,所述阳极流场板包括用于将燃料引导到所述阳极的至少一个阳极流道;

[0125] 阴极流场板,与所述阴极相邻,所述阴极流场板包括用于将氧化剂引导到所述阴极的至少一个阴极流道;以及

[0126] 至少一个热补偿冷却剂通道,所述至少一个热补偿冷却剂通道在所述阴极流场板与所述阳极流场板之间,用于与所述流场板中的至少一个接触地引导冷却剂。

[0127] 热补偿冷却剂通道的截面面积沿着所述通道的长度的至少一部分在冷却剂流动

方向上减小。在一些实施例中,所述通道的截面基本上矩形,并且所述通道的宽度非线性地减小,而深度保持基本上恒定。

[0128] 在一些实施例中,所述至少一个阴极流道的截面面积沿通道长度的至少一部分在氧化剂流动方向上减小和/或所述至少一个阳极流道的截面面积沿通道长度的至少一个部分在燃料流动方向上减小。在一些实施例中,所述至少一个阴极流道和/或所述至少一个阳极流道的截面面积按照指数函数减小。在阳极流道或阴极流道的截面面积沿对应通道的长度的至少一部分在反应物流动方向上减小的这种实施例中,这些反应物流道的特性可以根据沿通道的距离而连续地且平滑地变化,或可以以阶梯式的、离散的或不连续的方式变化,如例如在共同拥有的美国专利申请公开号US2015/0180052中所描述的。

[0129] 类似地,在热补偿冷却剂通道的一些实施例中,冷却剂通道的特性(诸如,截面面积或宽度)或工作流体的速度例如根据沿通道的距离而连续地或平滑地变化。在其他实施例中,热补偿冷却剂通道的特性根据沿所述通道的距离而以阶梯式的、离散或不连续的方式变化,例如,以便大致补偿工作流体沿所述通道的长度的温度升高。例如,可以通过使用结合离散变化的热补偿冷却剂通道来获得性能益处,所述离散变化如例如截面面积沿着通道的至少一部分的阶梯式减小、或沿着通道长度的至少一部分按照分段线性函数减小的截面面积。在一些实施例中,热补偿冷却剂通道可以包含减小有效截面面积并且阻碍冷却剂流动的离散特征,其中,这些特征的密度和/或大小在冷却剂流动方向上增大,以便沿通道在流动方向上减小截面面积和/或增大平均流速。这些特征的示例是肋条、逐渐减小的肋条或支柱。

[0130] 燃料电池反应物流场板和冷却剂流场板可以由包括石墨、碳、复合材料以及各种金属的合适的导电材料制成。根据板材料,通道可以通过例如铣削、模制、冲压、浮雕、或波纹成形来形成。冷却剂通道可以形成在单独的冷却剂流场板中或者可以形成在阳极和/或阴极反应物流场板中与反应物通道相反的表面。

[0131] 在燃料电池组件的一些实施例中,反应物流场板被冲压、浮雕、或波纹成形,使得通道在两侧上形成。这种板可以被堆叠或嵌套,使得冷却剂通道形成在阳极流场板和阴极流场板的合作表面之间。如果阳极流场通道和阴极流场通道具有沿通道长度变化的截面面积,则在每一个板的相反面上的相应通道也将具有沿通道长度变化的截面面积。

[0132] 例如,图15A至图15C示出了彼此上下地堆叠的一对波纹状、梯形的反应物流场板151和153。图15A示出了在阴极板153之上的阳极板151的截面视图。图15B示出了图15A的一部分的放大视图,其中,燃料流道152在阳极板151的上表面上,并且氧化剂流道154在阴极板153的下表面上。冷却剂通道155形成在一对堆叠板151和153的合作波纹状表面之间。图15C是波纹状、梯形反应物流场板151和153的等距视图,所述反应物流场板被堆叠用于限定在其合作表面之间的冷却剂通道155。燃料通道152、氧化剂通道154、和冷却剂通道155的截面面积分别沿其长度而变化。

[0133] 图16A至图16C示出了嵌套在一起的一对波纹状、梯形的反应物流场板161和163。图16A示出了在阴极板163之上的阳极板161的截面视图。图16B示出了图16A的一部分的放大视图,其中,燃料流道162在阳极板161的上表面上,并且氧化剂流道164在阴极板163的下表面上。冷却剂通道165形成在一对嵌套板161和163的合作波纹状表面之间。图16C是波纹状、梯形的反应物流场板161和163的等距视图,所述反应物流场板被嵌套用于限定在其合

作表面之间的冷却剂通道165。燃料通道162、氧化剂通道164、和冷却剂通道165的截面面积分别沿其长度而变化。

[0134] 图17A至图17C示出了也嵌套在一起的一对波纹状、梯形的反应物流场板171和173。图17A示出了在阴极板173之上的阳极板171的截面视图。图17B示出了图17A的一部分的放大视图,其中,燃料流道172在阳极板171的上表面上,并且氧化剂流道174在阴极板173的下表面上。一对冷却剂通道175A和175B由嵌套板171和173的每个通道的合作波纹状表面形成。图17C是波纹状、梯形的反应物流场板171和173的等距视图,所述反应物流场板被嵌套用于限定在其合作表面之间的一对冷却剂通道175A和175B。燃料通道172、氧化剂通道174、和冷却剂通道175A和175B的截面面积分别沿其长度而变化。

[0135] 虽然已经示出和描述了本发明的特定元件、实施例和应用,但是应该理解,本发明不限于此,因为本领域技术人员可以在不脱离本公开的范围的情况下、特别是鉴于前述教导而做出修改。

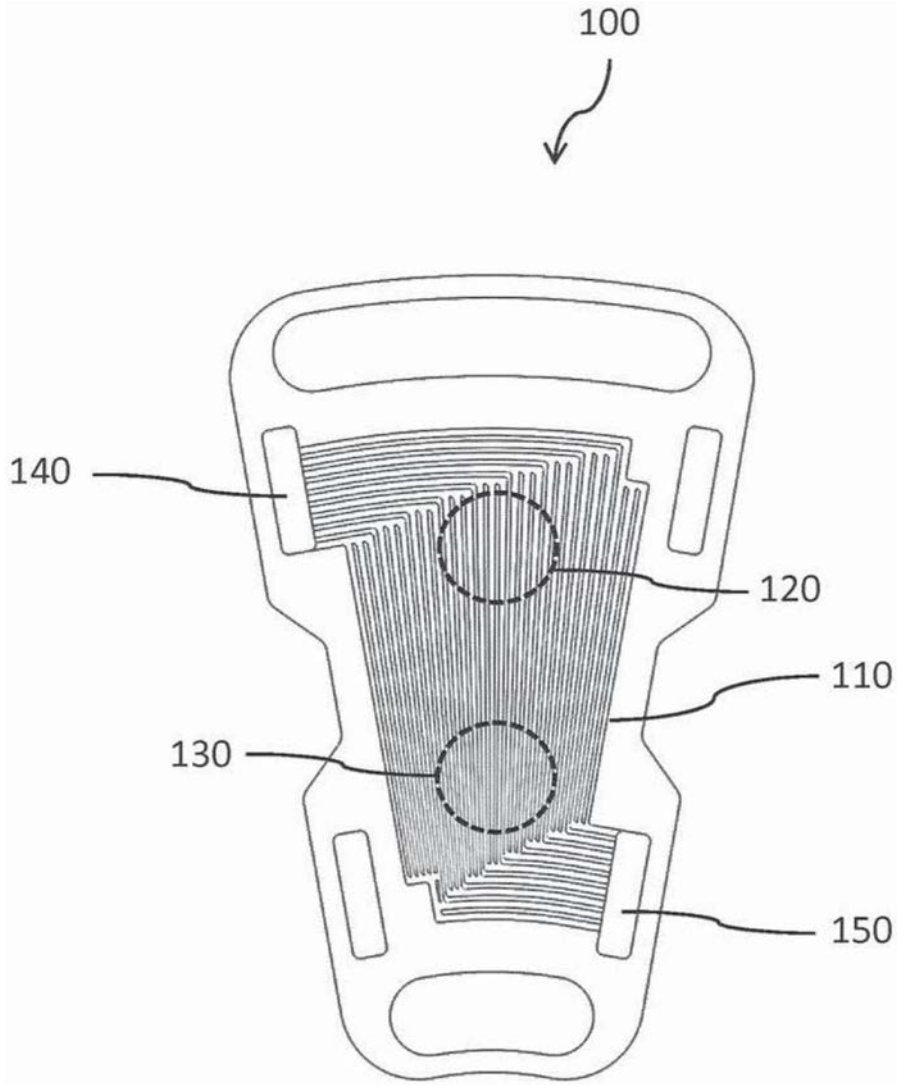


图1

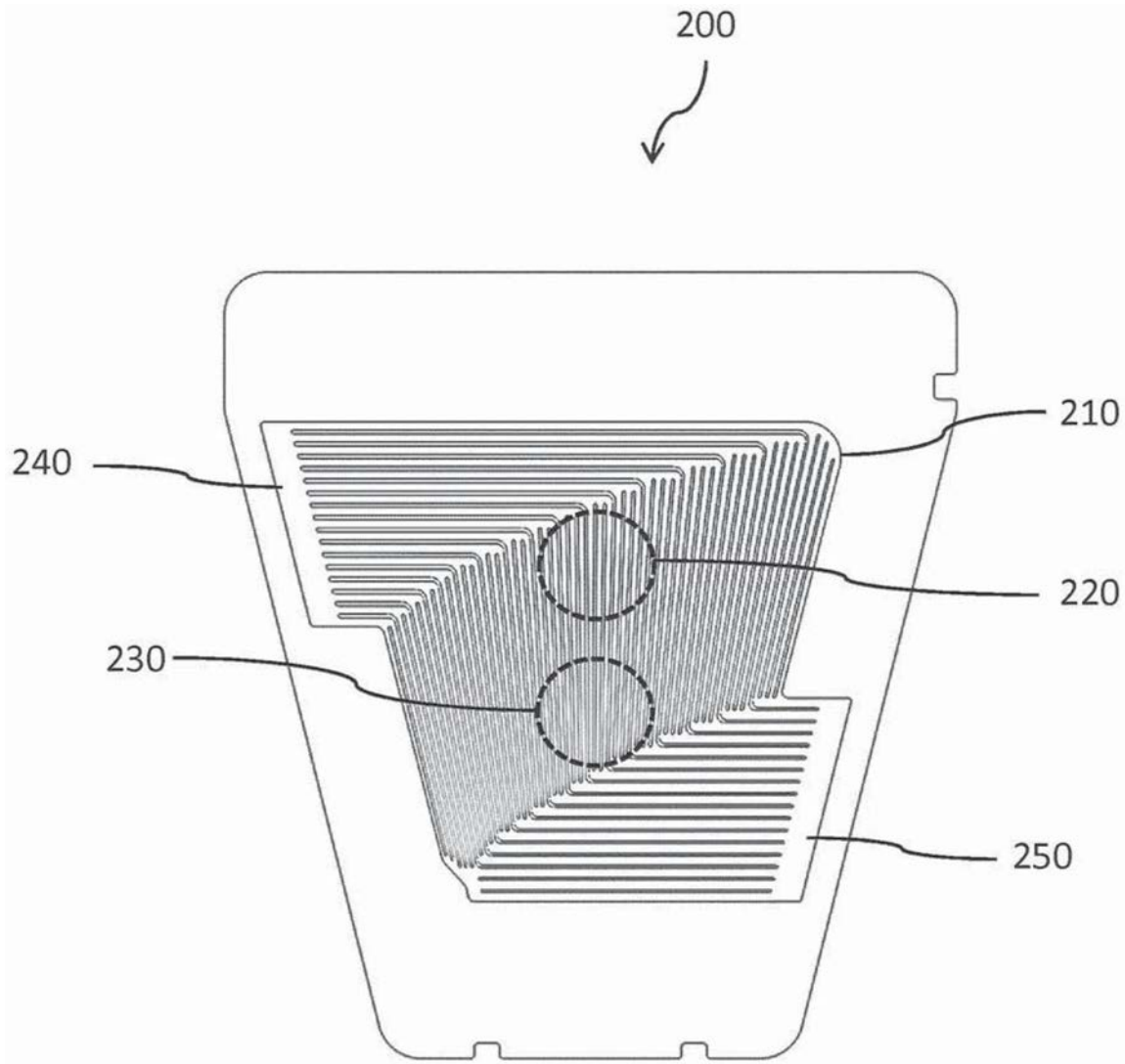


图2

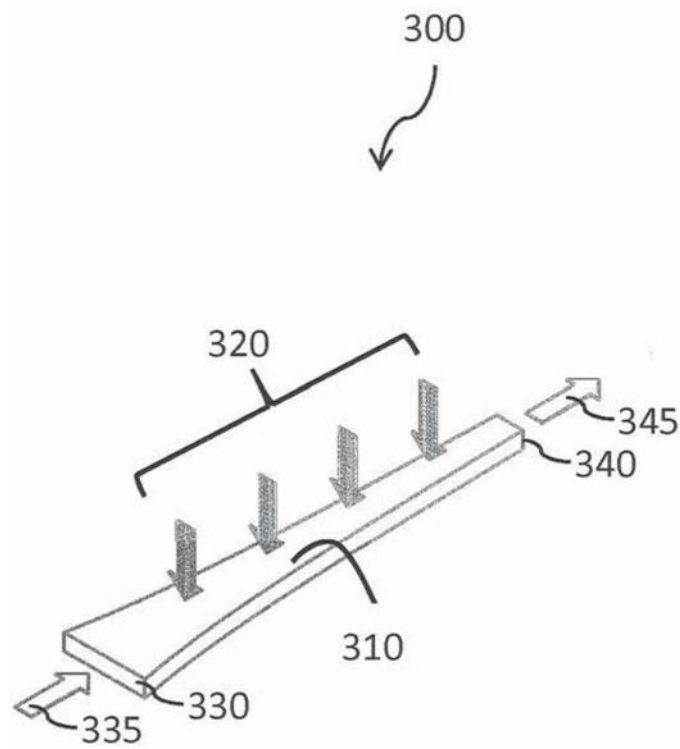


图3

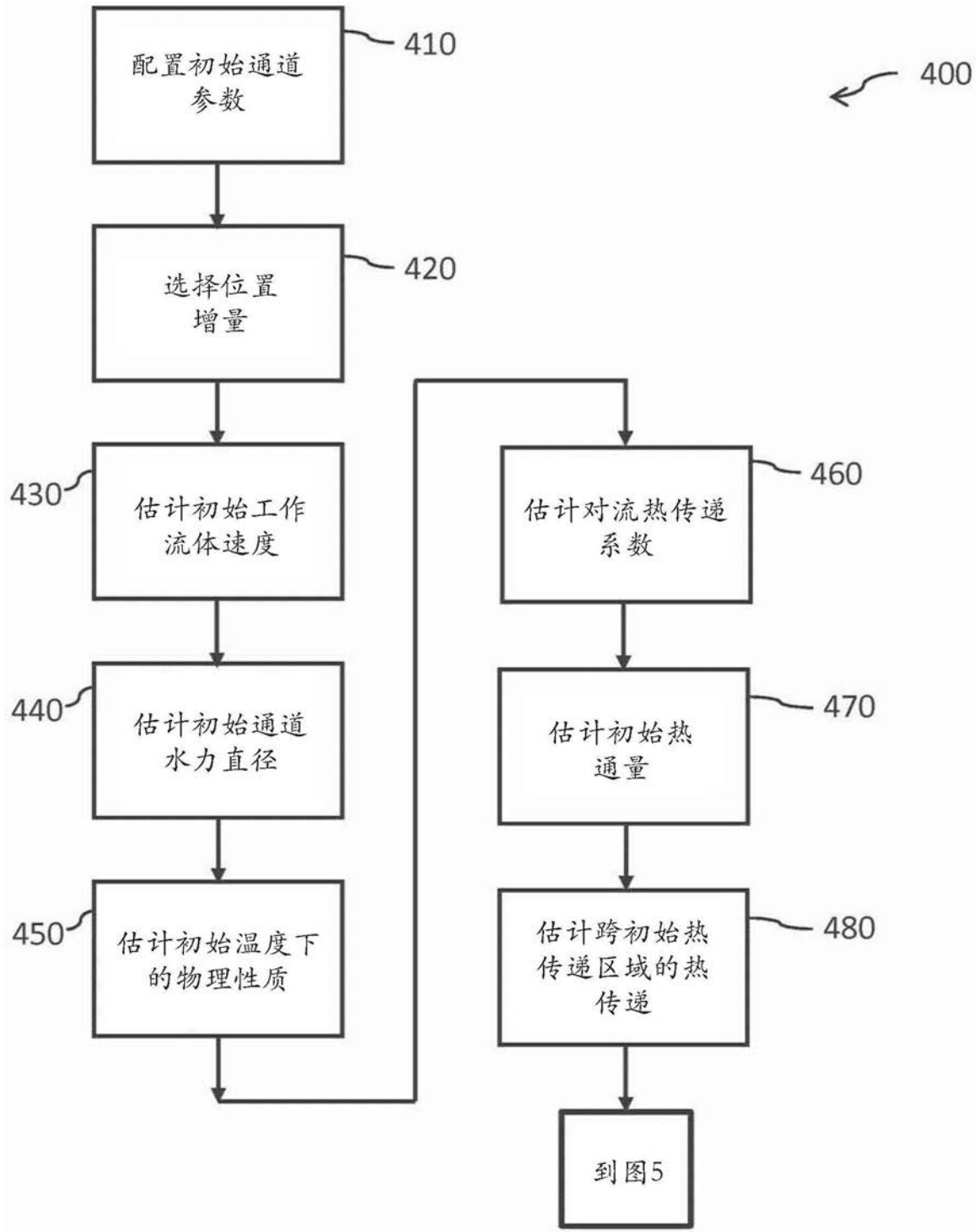


图4

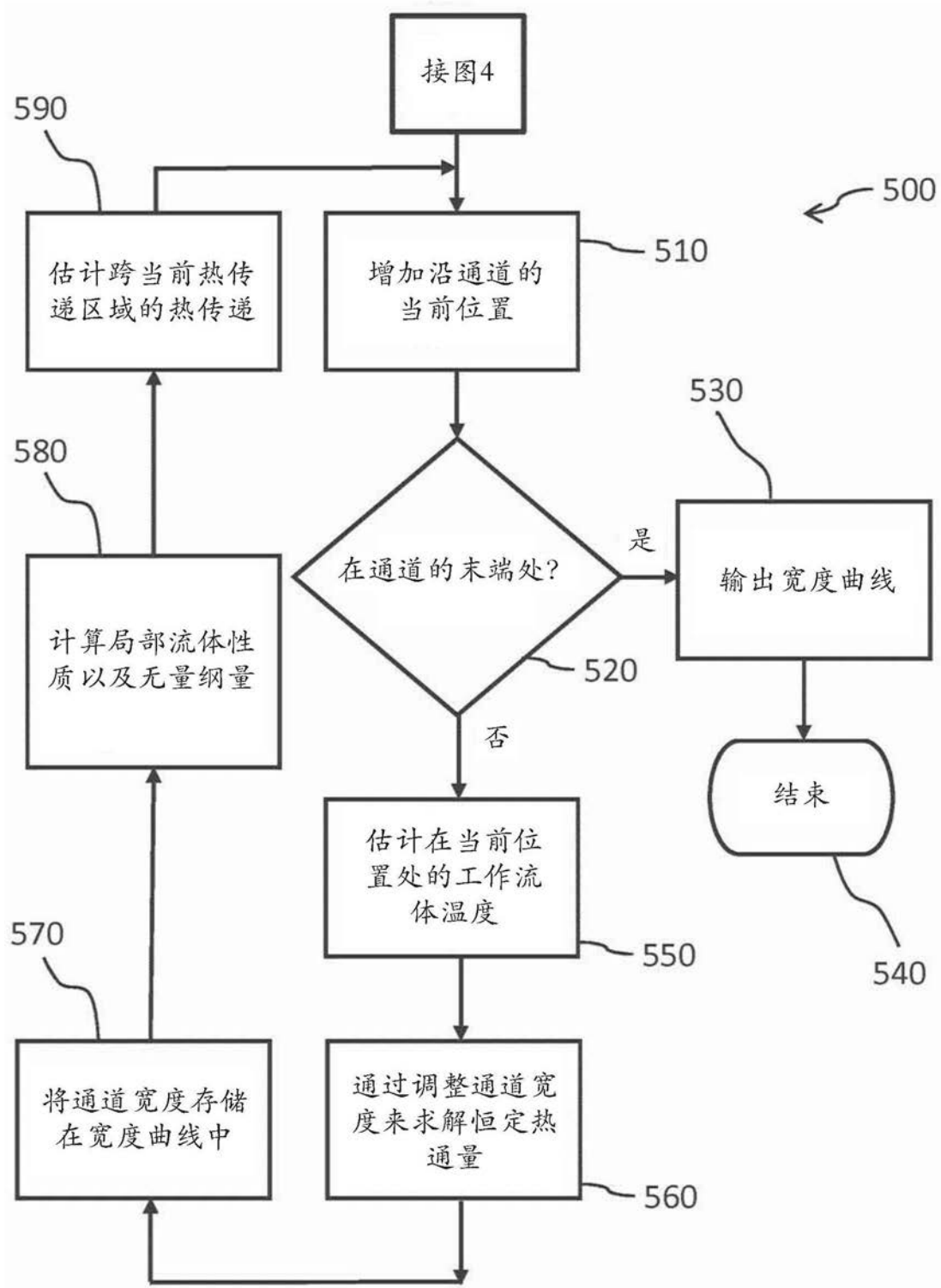


图5

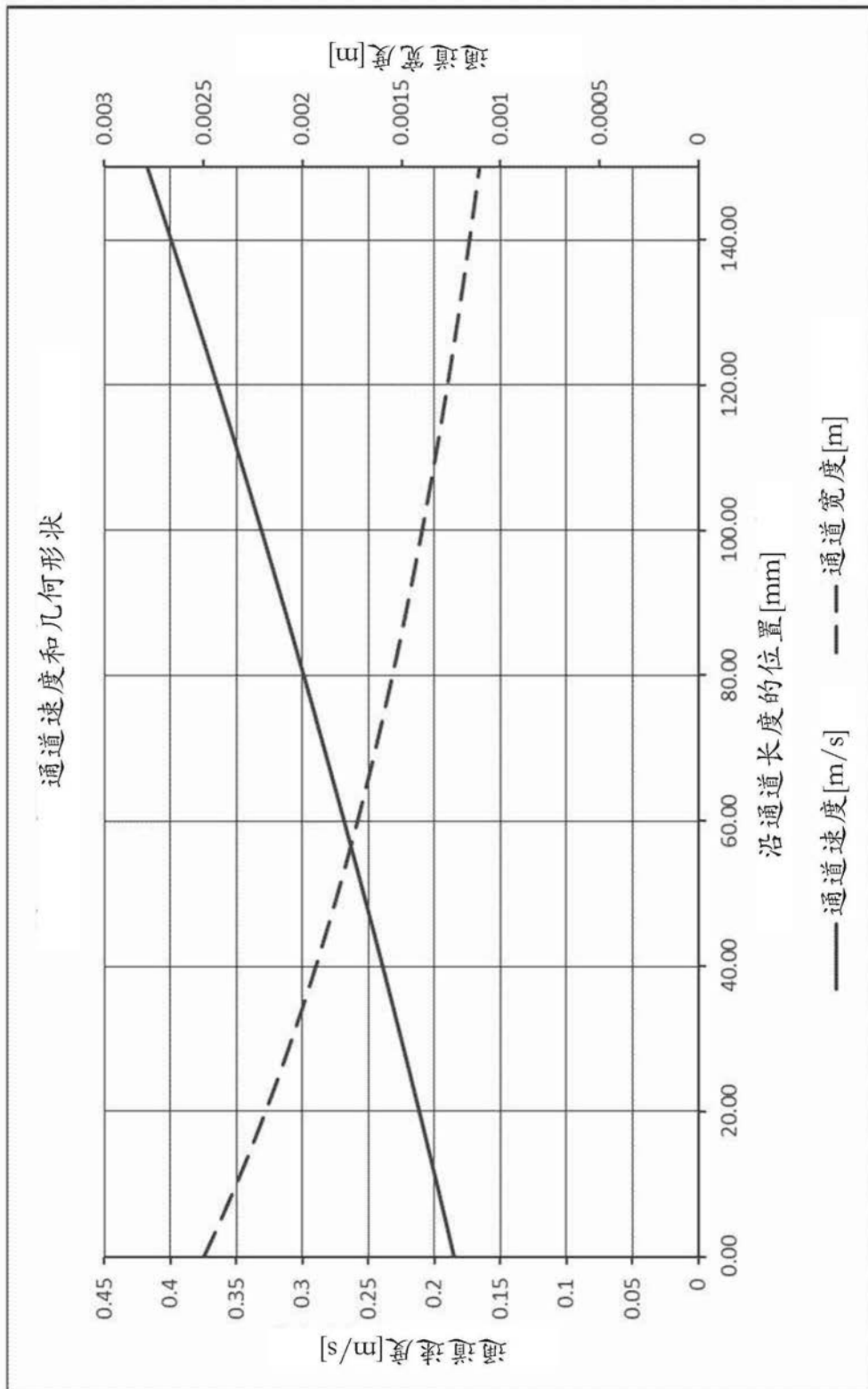


图6

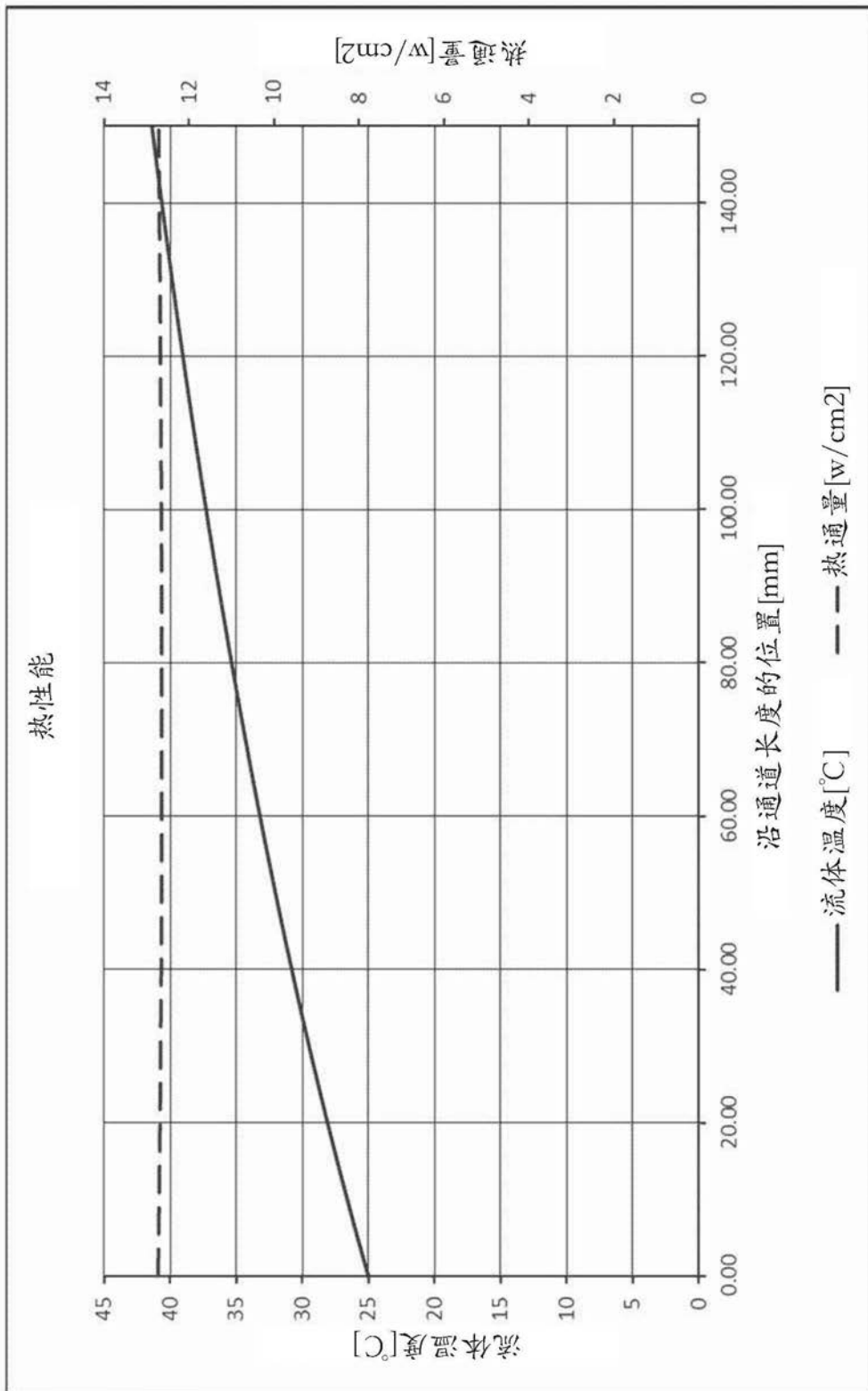


图7

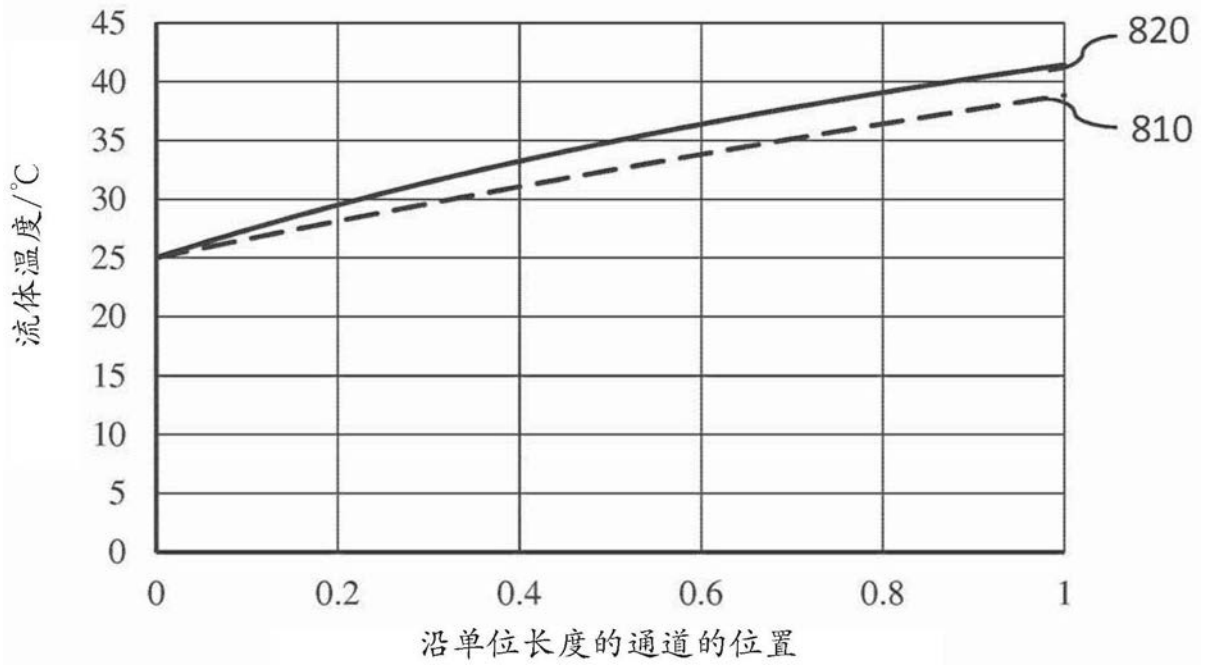


图8

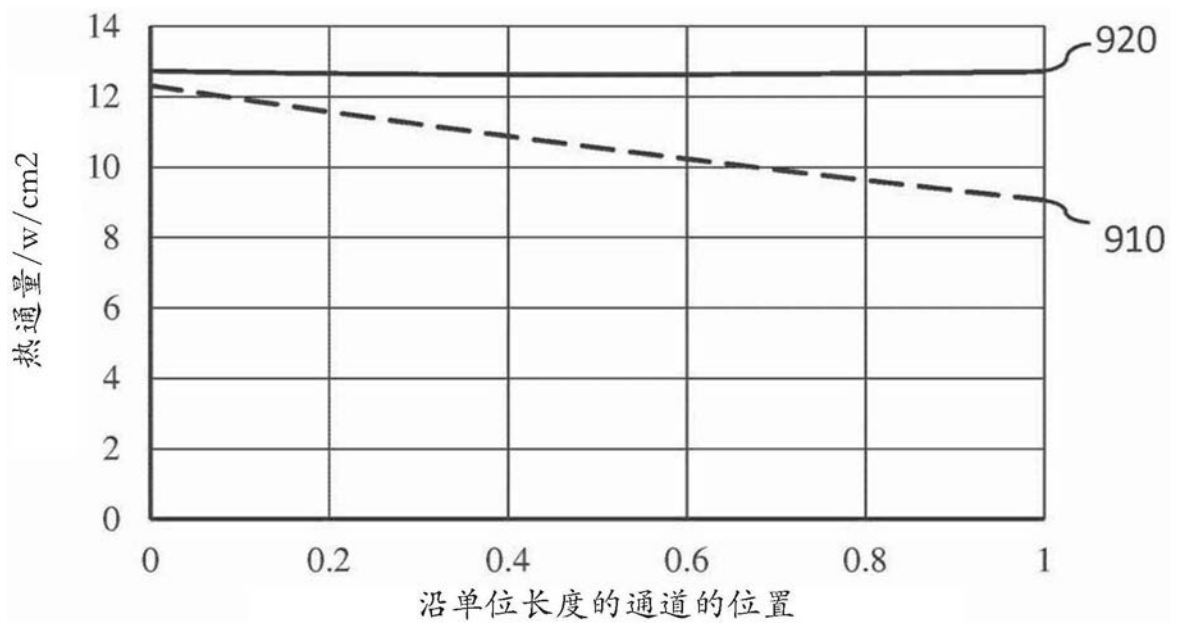


图9

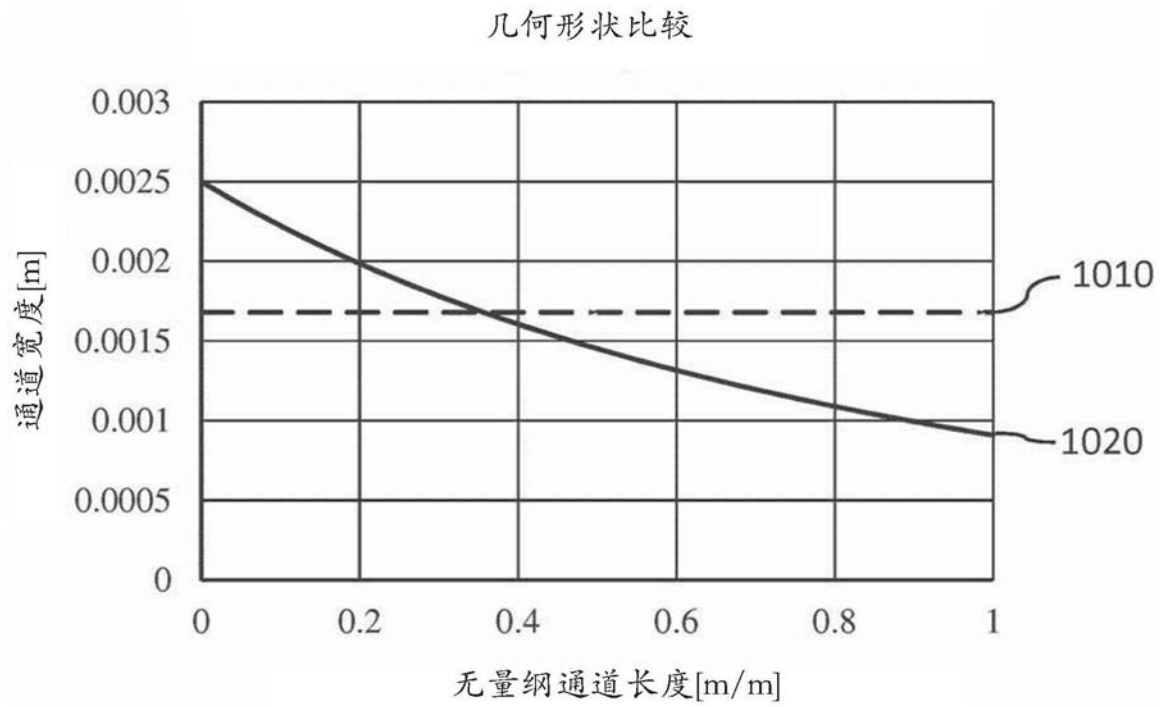


图10

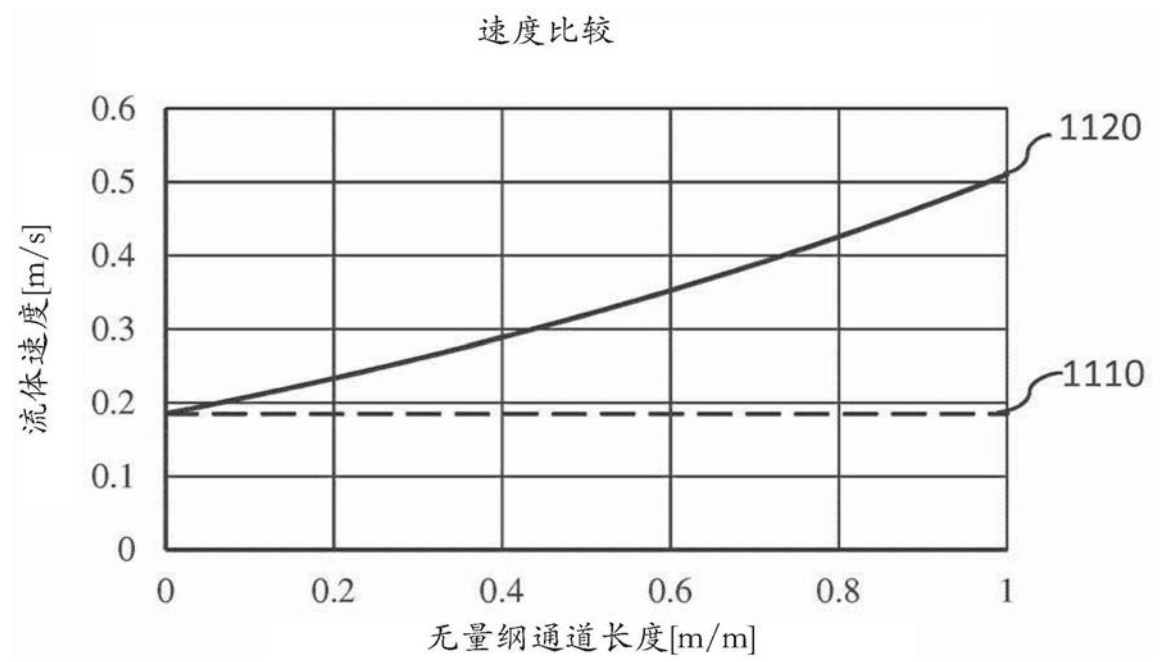


图11

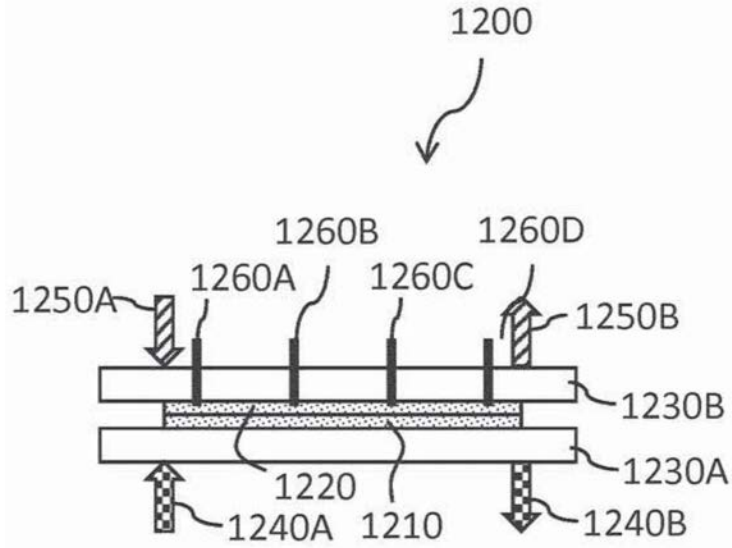


图12

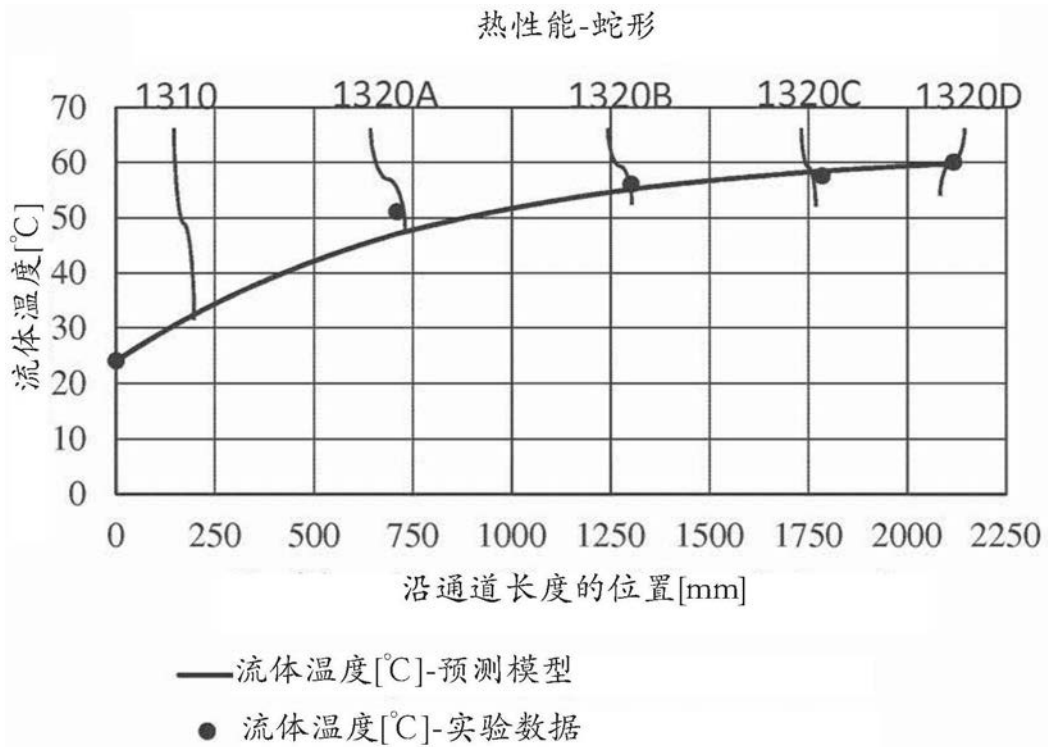


图13

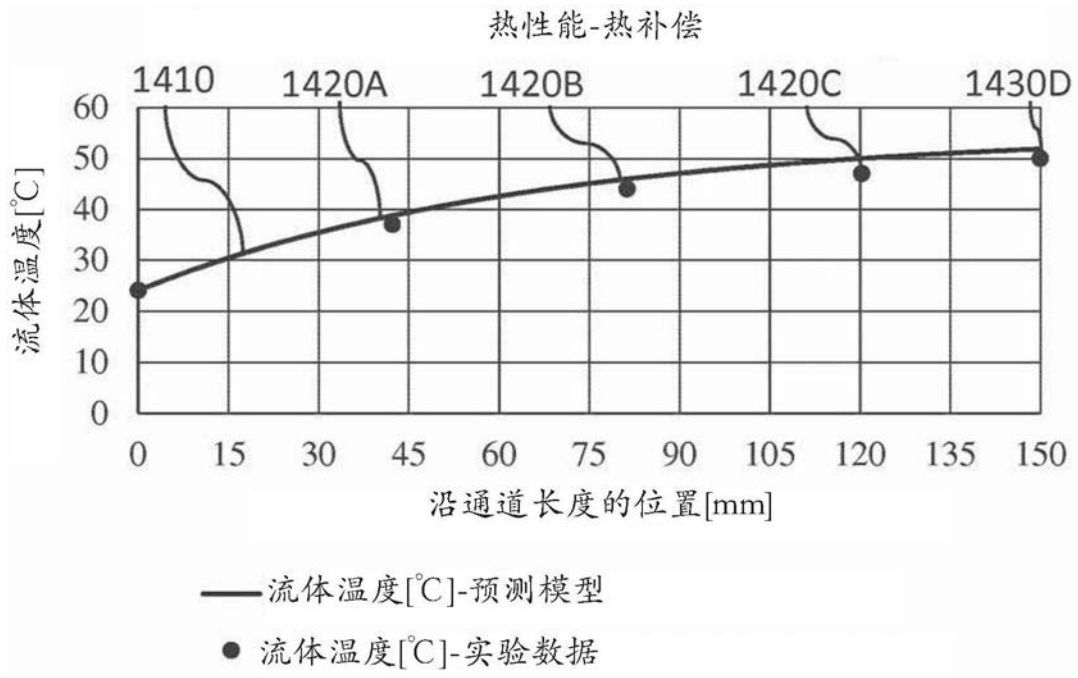


图14

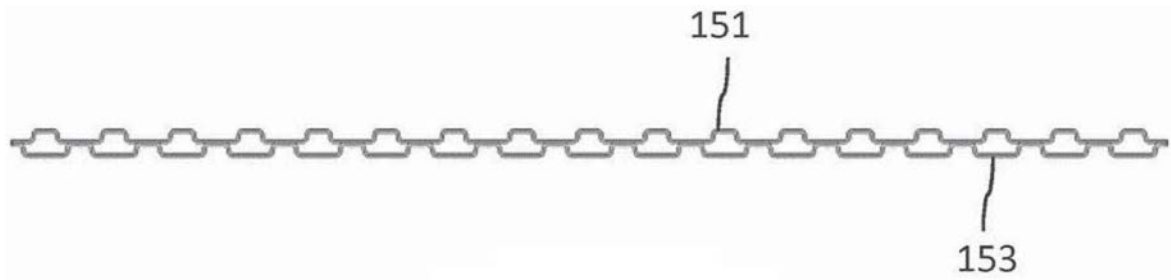


图15A

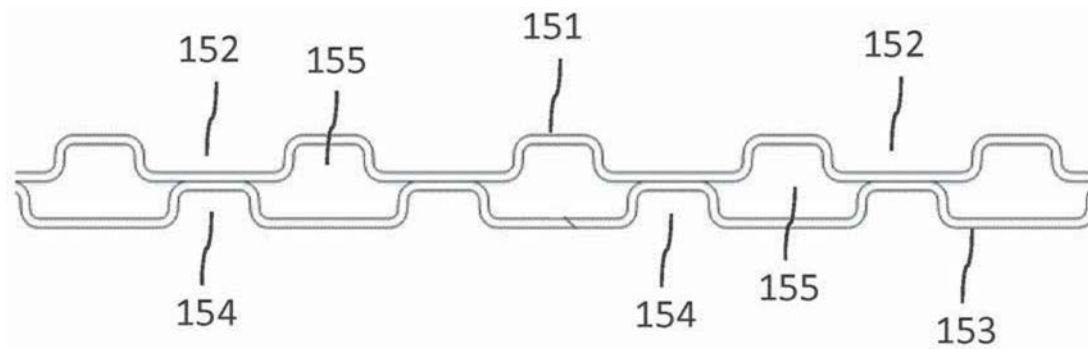


图15B

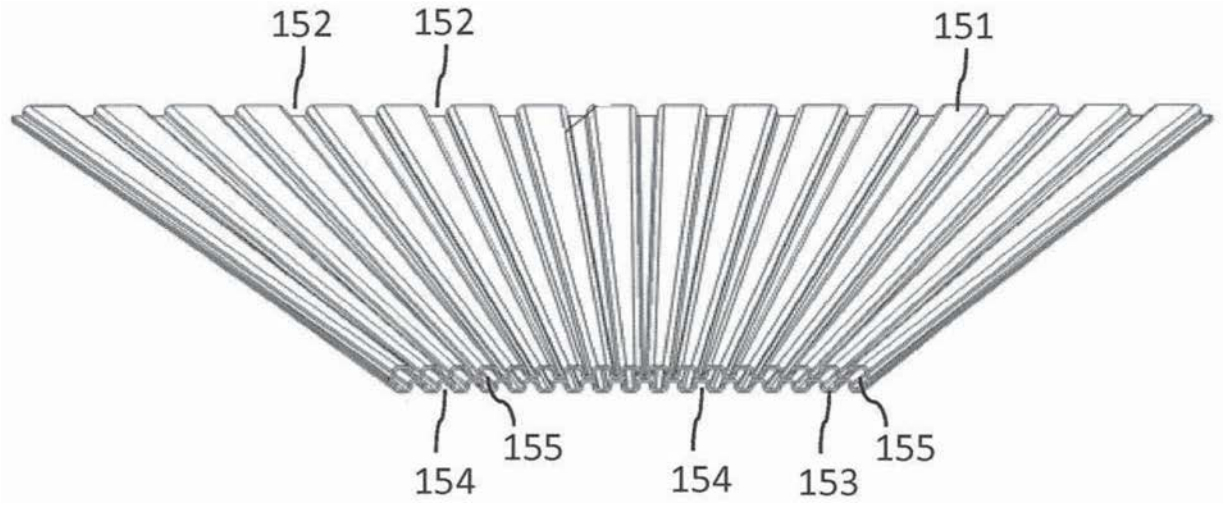


图15C

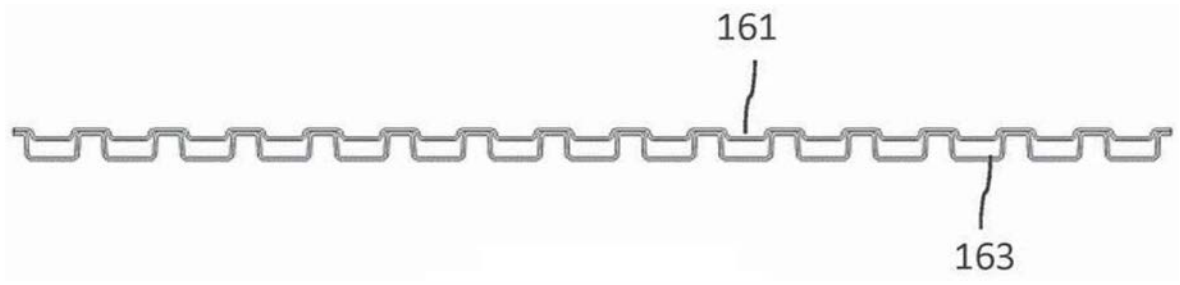


图16A

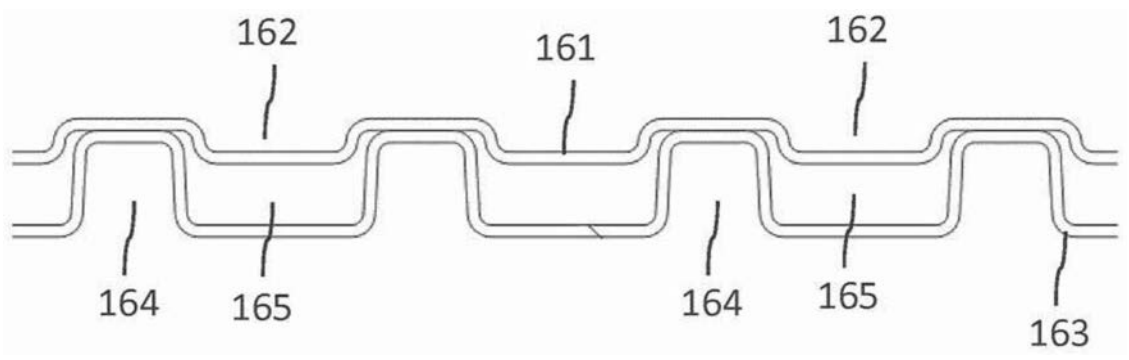


图16B

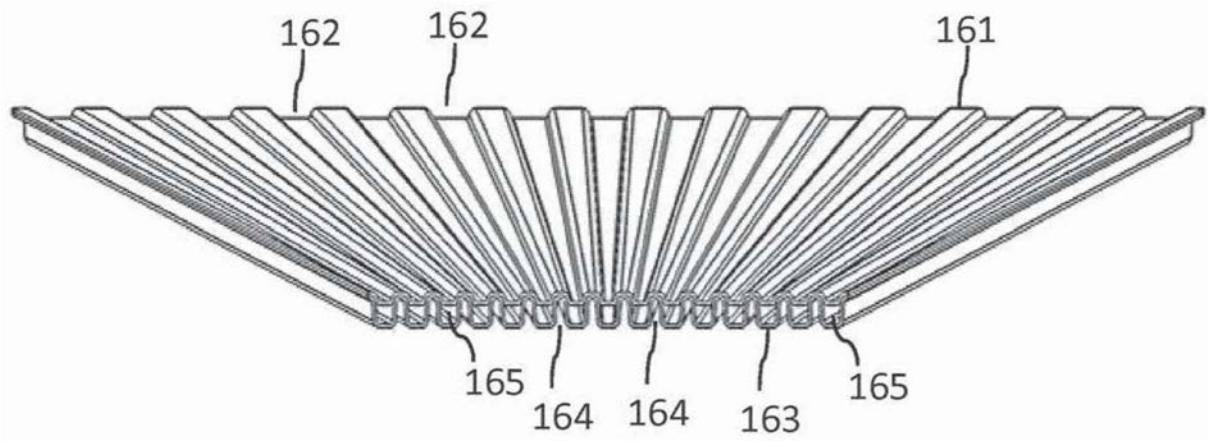


图16C

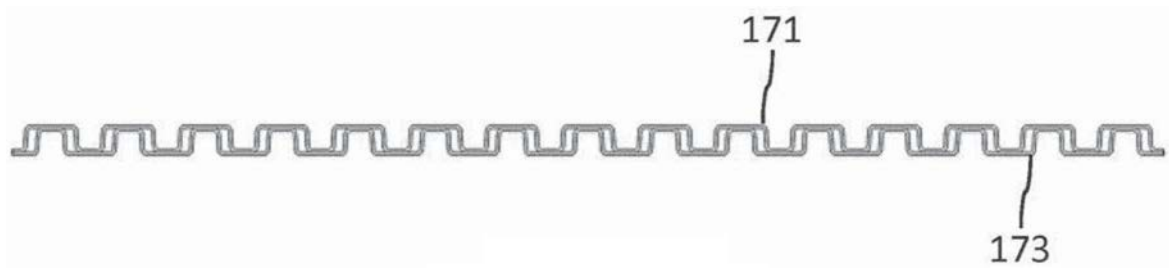


图17A

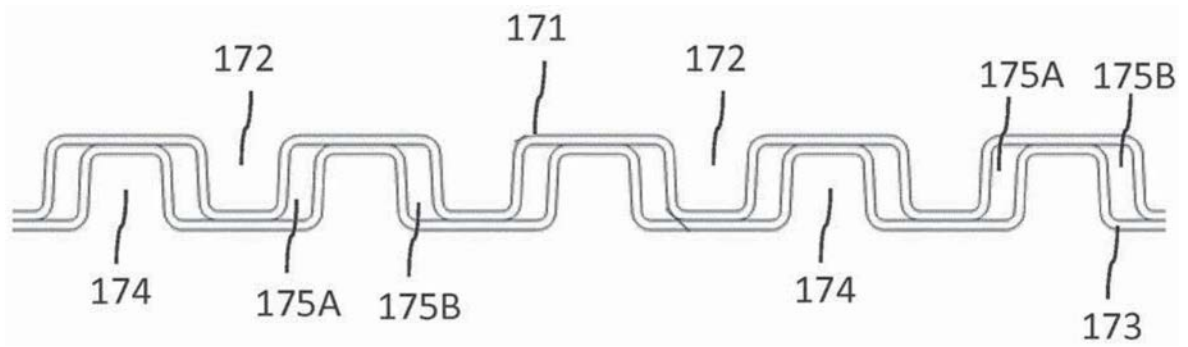


图17B

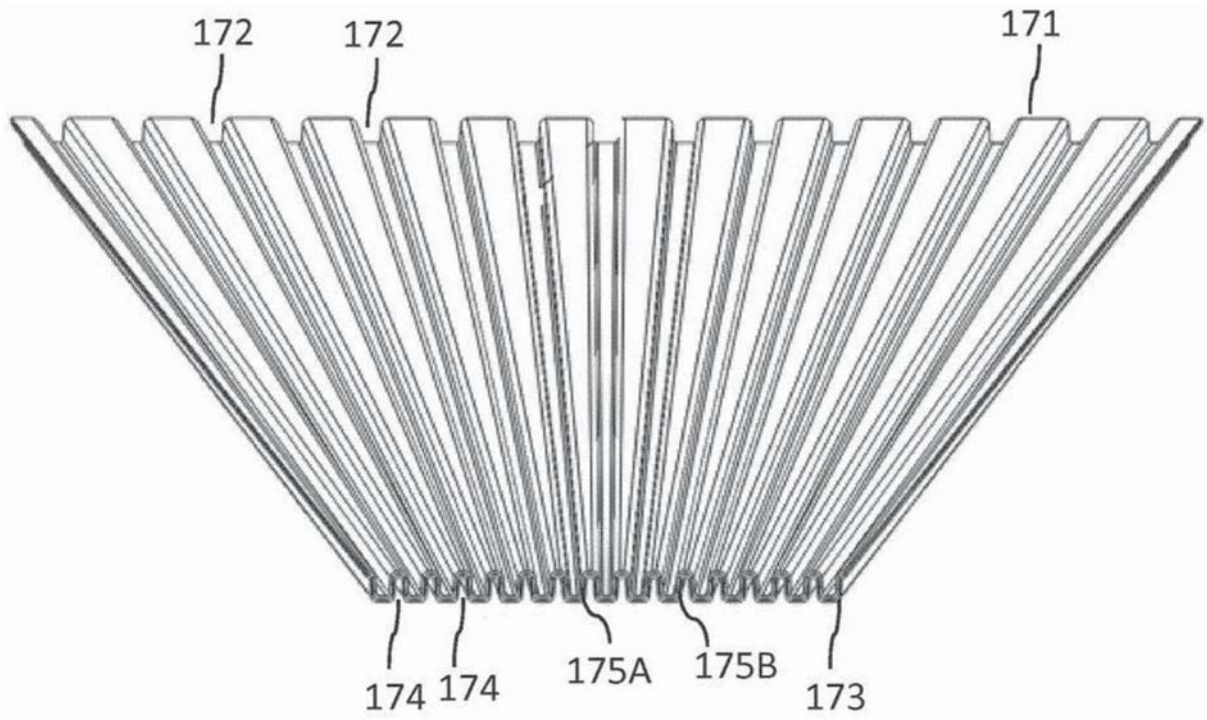


图17C