



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103238227 B

(45) 授权公告日 2016. 05. 04

(21) 申请号 201180058155. 5

H01L 35/32(2006. 01)

(22) 申请日 2011. 09. 29

(56) 对比文件

(30) 优先权数据

10186366. 0 2010. 10. 04 EP

10190614. 7 2010. 11. 10 EP

WO 2009/138412 A1, 2009. 11. 19,

US 2005/0217714 A1, 2005. 10. 06,

CN 101517764 A, 2009. 08. 26,

WO 2010/076098 A1, 2010. 07. 08,

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2013. 06. 03

审查员 王朝政

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2011/054295 2011. 09. 29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02012/046170 EN 2012. 04. 12

(73) 专利权人 巴斯夫欧洲公司

地址 德国路德维希港

(72) 发明人 P·伦茨 J·穆尔斯 G·德根

K·瓦塞尔曼

(74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所

11247

代理人 贺月娇 杨晓光

(51) Int. Cl.

H01L 35/00(2006. 01)

H01L 35/30(2006. 01)

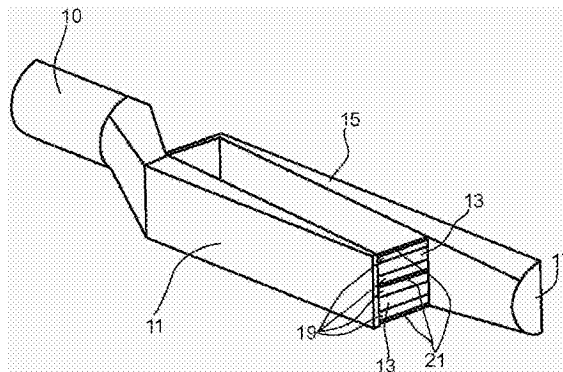
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

用于排气系统的热电模块

(57) 摘要

在一种由通过导电接触件而交替地相互连接的 p 导电型和 n 导电型热电材料块组成的整合热电模块中, 热电模块(19) 以导热方式被连接到微热交换器(13), 所述微热交换器(13) 包括多个直径至多为 1mm 的连续通道, 流体热交换介质能够流过所述通道。



1. 一种热电模块,其由通过导电接触件交替地相互连接的 p 导电型和 n 导电型热电材料块组成,其中所述热电模块 (19) 以导热方式被连接到微热换热器 (13),所述微热换热器 (13) 包括多个直径至多为 1mm 的连续通道,内燃机的废气能够流过所述通道,并且其中,通过所述微热交换器的用于废气流动的所述连续通道所产生的压力损失为至多 100mbar,其中所述微热交换器的热交换表面被直接安装在内燃机的排气系统或尾部排气管中。

2. 根据权利要求 1 的热电模块,其中,所述热电模块 (19) 为扁平状,并且,在相互连接的所述热电材料块上,所述热电模块 (19) 具有在热侧上的载板,所述载板以导热方式被连接到所述微热换热器 (13)。

3. 根据权利要求 1 的热电模块,其中,所述微热换热器 (13) 与所述热电模块 (19) 整体地形成。

4. 根据权利要求 1 的热电模块,其中,在所述热电模块 (19) 与所述微热换热器 (13) 之间设置保护层,所述保护层用于保护免受过量的温度。

5. 根据权利要求 4 的热电模块,其中,所述保护层由熔点处于 250℃至 1700℃的范围内的无机金属盐或金属合金制成。

6. 根据权利要求 1 的热电模块,其中,所述微热交换器的所述通道被涂覆有机动车废气催化剂的洗涂层。

7. 根据权利要求 6 的热电模块,其中,所述催化剂催化以下转化中的至少一者:从 NO_x 到氮,从碳氢化合物到 CO_2 和 H_2O ,以及从 CO 到 CO_2 。

8. 根据权利要求 1 至 7 中任一项的热电模块,其中,通过所述微热交换器的用于所述废气流动的所述连续通道所产生的压力损失为至多 50mbar。

9. 根据权利要求 1 至 7 中任一项的热电模块,其中,所述微热换热器由这样的导热材料块制成:所述连续通道被引入该导热材料块中。

10. 根据权利要求 1 至 7 中任一项的热电模块,其中,所述微热交换器的相对于体积的比传热面积为 0.1 至 $5\text{m}^2/\text{l}$ 。

11. 根据权利要求 1 至 7 中任一项的热电模块的用途,用于内燃机的排气系统中。

12. 根据权利要求 11 的用途,用于机动车中的所述排气系统中。

13. 根据权利要求 11 的用途,用于从废气的热发电。

14. 根据权利要求 6 的热电模块的用途,用于在内燃机的冷起动期间,预热废气催化剂。

15. 根据权利要求 14 的用途,用于在机动车的冷起动期间,预热所述废气催化剂。

16. 一种内燃机排气系统,包括被整合到所述排气系统中的一个或多个根据权利要求 1 至 7 中任一项的热电模块。

17. 根据权利要求 16 的内燃机排气系统,其中,所述内燃机排气系统为机动车的内燃机排气系统。

用于排气系统的热电模块

技术领域

[0001] 本发明涉及适合于安装在内燃机的排气系统中的热电模块。

背景技术

[0002] 热电发电机和帕尔贴装置本身长久以来众所周知。一侧被加热而另一侧被冷却的 p 和 n 掺杂的半导体通过外部电路传输电荷,从而可以对电路中的负载执行电功。这样实现的热能到电能转换效率受卡诺效率的热动力限制。由此,在热侧上 1000K 和“冷”侧上 400K 的温度下, $(1000 - 400) \div 1000 = 60\%$ 的效率将是可能的。但至今为止,只能实现最高 6% 的效率。

[0003] 另一方面,如果对这种装置施加直流电流,热量便会从一侧传输到另一侧。这种帕尔贴装置作为热泵工作,因此适合于对设备部件、车辆或建筑物进行冷却。通过帕尔贴原理进行的加热比传统加热方式更有利,这是因为,与对应于所提供的能当量相比,总能传输更多热量。

[0004] 目前,热电发电机被用于空间探测器,用来产生直流电流,用来对管道执行阴极腐蚀保护,用于为灯浮标和无线电浮标提供能量,以及用来操作收音机和电视机。热电发电机的优点在于其卓越的可靠性。它们的工作不受诸如相对湿度的大气条件影响;不会发生易受干扰的材料传输,而是只有电荷传输。

[0005] 热电模块由电串联、热并联的 p 型和 n 型块(piece)组成。图 2 示出此类模块。

[0006] 传统结构由两个陶瓷板组成,这两个陶瓷板之间交替地安装单独块。在每种情况下,两个块通过端面而导电式接触。

[0007] 除了导电式接触之外,一般还可以在实际材料上设置各种另外的层,这些另外的层充当保护层或焊料层。然而,最终,通过金属桥建立两个块之间的电接触。

[0008] 热电组件的基本要素是接触。通过接触,建立组件“核心”中材料(负责所需的组件热电效应)与“外界”之间的物理连接。在图 1 中示意性地表示出这种接触的结构。

[0009] 组件内部的热电材料 1 提供组件的实际效应。它是一个热电块。电流和热流流过材料 1,以使其实现它在整个结构中的功能。

[0010] 材料 1 在至少两侧通过接触件 4 和 5 而被分别连接到引线(lead)6 和 7。在这种情况下,层 2 和 3 旨在表示材料与接触件 4 和 5 之间的一个或多个可选地需要的中间层(阻挡层、焊料层、接合剂等)。分别彼此成对关联的段 2/3、4/5、6/7 可以相同,但它们并非必须相同。这最终将同样取决于具体结构和应用,以及通过此结构的电流或热流的流向。

[0011] 现在接触件 4 和 5 具有重要作用。它们确保材料与引线之间紧密连接。如果接触很差,则此处会发生高损耗并且会极大地限制组件性能。为此,所述块和接触通常被压到材料上来使用。因此,接触暴露于强机械负荷。每当涉及升高(或降低)的温度和/或热循环时,该机械负荷进一步增加。被构造到组件中的材料的热膨胀不可避免地导致机械应力,所述应力在极端情况下通过接触件的断裂而导致组件失效。

[0012] 为了避免此情况,所用的接触件必须具有特定的柔性(flexibility)和弹性特性,

以便能够补偿这种热应力。

[0013] 为了使整个结构具有稳定性并确保每一个块上所需的最大均匀热耦合,需要载板(carrier plate)。为此,传统上使用陶瓷,例如由诸如 Al_2O_3 、 SiO_2 或 AlN 的氧化物或氮化物制成的陶瓷。

[0014] 传统结构经常在应用方面受到限制,因为在每种情况下,仅仅可以使平面表面与热电模块接触。模块表面与热源 / 散热器之间的紧密连接是必不可少的,以确保充分的热流。

[0015] 非平面表面(例如,圆形废热管)不适于与传统模块直接接触,或者说,它们需要相应的直的热交换器结构,以便提供从非平面表面到平面模块的过渡。

[0016] 目前,正在尝试在机动车(例如汽车和卡车)中、在排气系统或排气再循环中设置热电模块,以从部分废气热中获得电能。在这种情况下,热电元件的热侧被连接到排气或尾部排气管(tailpipe)上,同时冷侧被连接到冷却器上。可产生的电量取决于废气温度和从废气到热电材料的热流。为了使热流最大化,设备通常被构造在尾部排气管中。但是这样做会受到限制,例如因为热交换器的安装经常导致废气的压力损失,进而导致内燃机的增加的消耗量不可容忍。

[0017] 常规地,热电发电机被安装以在排气系统中的废气催化转化器后面使用。结合废气催化转化器的压力损失,这通常导致过量的压力损失,从而无法在排气系统中提供导热设备;相反地,热电模块压在尾部排气管的外侧上。为此,尾部排气管通常必须被配置为具有多边形横截面,以便平面外表面可以与热电材料紧密接触。

[0018] 热传递或发生的压力损失迄今都不令人满意。

发明内容

[0019] 本发明的一个目的是提供安装在内燃机的排气系统中的热电模块,其避免了已知的模块的缺点,并确保以低压力损失更好地热传递。

[0020] 根据本发明通过这样的热电模块来实现此目的:该热电模块由通过导电接触件交替地相互连接的 p 导电型和 n 导电型热电材料块组成,其中所述热电模块以导热方式被连接到微热交换器(micro heat exchanger),所述微热交换器包括多个直径至多为 1mm 的连续通道,流体热交换介质能够流过所述通道。

[0021] 特别有利地,所述微热交换器的所述通道被涂覆有内燃机废气催化剂(特别地,机动车废气催化剂)的洗涤层(washcoat)。通过这种方式,可以排除单独的废气催化转化器,并使排气系统中的压力损失最小化。这种整合设计简化了整体结构并便于排气系统中的安装。

[0022] 通过使用微热交换器,可以确保从废气到热电模块的改善的热流,同时确保足够低的压力损失。根据本发明,废气流过微热交换器的微通道。这些通道在这种情况下优选地被涂覆有废气催化剂,该催化剂特别地催化以下转化中的一种或多种:从 NO_x 到氮,从碳氢化合物到 CO_2 和 H_2O ,以及从 CO 到 CO_2 。特别优选地,所有这些转化都被催化。

[0023] 诸如 Pt、Ru、Ce、Pd 的合适的催化地活性的材料是公知的,并且例如在 Stone, R. 等人的 Automotive Engineering Fundamentals, Society of Automotive Engineers 2004 中进行了描述。这些催化地活性的材料以合适的方式被施加到微热交换器的通道上。优

选地,可以构想以洗涂层形式施加。在这种情况下,催化剂以悬浮物的形式作为薄层被施加到微热交换器的内壁上,或被施加到其通道上。于是催化剂可以由具有相同或不同成分的单个层或多个层组成。然后,当在机动车中使用时,所施加的催化剂可以全部或部分地取代内燃机的通常使用的废气催化转化器,这取决于微热交换器及其涂层的尺寸确定(dimensioning)。

[0024] 根据本发明,术语“微热交换器”旨在表示具有多个直径至多为 1mm(特别优选地至多为 0.8mm)的连续通道的热交换器。最小直径仅根据技术可行性来设定,优选地为 50 μm 的量级,特别优选地为 100 μm 。

[0025] 所述通道可具有任何合适的横截面,例如圆形、椭圆形、诸如正方形、三角形或星形的多边形等。此处,通道的对边或对点之间的最短距离被视为直径。所述通道还可以被形成为扁平状,在这种情况下,直径被定义为边界表面(bounding surface)之间的距离。特别地,对于从板或层构建的热交换器而言就属于这种情况。在工作期间,热交换器介质流过连续通道,同时将热传递给热交换器。热交换器另一方面热连接到热电模块,从而实现从热交换器到热电模块的良好热传递。

[0026] 微热交换器可以以任何合适的方式,从任何合适的材料构建。例如,微热交换器可以由这样的导热材料块构建:连续的通道被引入该导热材料中。

[0027] 作为所述材料,可使用任何合适的材料,例如,诸如聚碳酸酯的塑料、诸如来自 Dupont 的 **Zenith**[®] 的液晶聚合物、聚醚醚铜(PEEK)等。也可以使用金属,例如铁、铜、铝或诸如铬铁、Fecralloy 的合适合金。此外,还可以使用陶瓷或无机氧化物材料,例如氧化铝或氧化锆或堇青石。其还可以是由多种上述材料制成的复合材料。微热交换器优选地由耐高温合金(1000–1200°C)、Fecralloy、含 Al 的铁合金、不锈钢、堇青石制成。微通道可以以任何合适的方式(例如通过激光法、蚀刻、钻孔等)被引入导热材料块中。

[0028] 作为备选,微热交换器还可从不同的板、层或管构建,这些板、层或管随后被彼此连接(例如,通过粘合剂接合或焊接)。所述板、层或管在这种情况下可以被预先设置有微通道,然后被组装。

[0029] 特别优选地通过烧结法,从粉末制造微热交换器。金属粉末和陶瓷粉末都可用作所述粉末。也可以使用由金属和陶瓷组成的混合物,由不同的金属组成的混合物或由不同的陶瓷组成的混合物。合适的金属粉末例如包括由铁素体钢、Fecralloy 或不锈钢组成的粉末。通过烧结法制造微热交换器允许制造任何所需的结构。

[0030] 使用金属作为微热交换器材料可提供良好导热性的优点。与之对照,陶瓷具有良好的储热能力,因此它们可被特别用于补偿温度波动。

[0031] 如果使用塑料作为微热交换器材料,则有必要施加这样的涂层,该涂层保护塑料免受流过微热交换器的废气的温度的影响。此类涂层也称为“热障涂层”。由于废气的高温,因此有必要涂覆由塑性材料组成的微热交换器的所有表面。

[0032] 根据本发明使用的微热交换器的外部尺寸优选地为从 60×60×20 至 40×40×8mm³。

[0033] 相对于微热交换器的体积的微热交换器的比传热面积(specific heattransfer area)优选地从 0.1 至 5m²/l,特别优选地从 0.3 至 3m²/l,特别地为从 0.5 至 2m²/l。

[0034] 合适的微热交换器在商业上可得,例如从 Institut für Mikrotechnik Mainz

GmbH 购得。IMM 提供各种几何形状的微结构热交换器,特别地,最大工作温度为 900℃ 的微结构高温热交换器。这些高温热交换器的尺寸为约 $80 \times 50 \times 70 \text{ mm}^3$ 并根据逆流原理而起作用(对于其它应用)。它们具有小于 50mbar 的压力损失以及约 $1 \text{ m}^2/\text{l}$ 的比传热面积。

[0035] VDI/VDE-Technologiezentrum Informationstechnik GmbH(www.nanowelten.de) 展示了其它微热交换器。此外,微热交换器还由 Ehrfeld Mikrotechnik BTS GmbH、Wendelsheim and SWEP Market Services, Dover Market Services GmbH 的分公司、Fürth 提供。

[0036] 微热交换器被配置为使得其能够以具有最佳热传导的方式连接到热电模块。根据结构和材料组成,其可以以导热方式直接被连接到热电模块。热电模块还可以是扁平状,并且,在热电材料块上在热侧具有载板,该载板以导热方式连接到微热交换器。在背景技术中提到了合适的载板材料。

[0037] 优选地,与热电模块整体地形成微热交换器。出于该目的,例如可以将微热交换器直接烧结到热电模块上。这样做的优点是,与热电模块的表面形式无关地获得高度导热的连接。

[0038] 通过气体流经的热交换器的连续通道而产生的压力损失优选地至多为 100mbar,特别地,至多为 50mbar。这样的压力损失不会导致内燃机的燃料消耗增加。特别地,如果微热交换器被排列为使得废气流经的通道平行延伸(run parallel)并且在一侧被连接到入口且在另一侧被连接到出口,则可以实现这样的压力损失。废气流经的通道的长度在这种情况下至多为 60mm,特别地至多为 40mm。如果使用多于一个的微热交换器,则微热交换器同样被并行连接且被连接到与共用的入口和共用的出口,以便各个热交换器的通道同样平行延伸。

[0039] 微热交换器的热交换表面可以直接安装在内燃机(特别地,机动车的内燃机)的排气系统或尾部排气管中。在这种情况下,其可被安装为固定的或以可拆卸的方式安装。热交换表面也可以被热电模块坚固地封装。

[0040] 如果微热交换器被设置有催化材料的洗涂层,则其可被安装在排气系统中的原始废气催化转化器的位置处。通过这种方式,可将高废气温度提供给微热交换器。通过在微热交换器的废气催化剂处的化学转化,该温度可以进一步提高,从而发生比已知系统中更高效的热传递。

[0041] 通过改善的热流,还实现了热电模块的提高了的效率。

[0042] 此外,可以在热电模块与微热交换器之间设置用于保护免受过量(excessive)温度的保护层。该层(也称为相变层)优选地由熔点处于 250℃ 至 1700℃ 的范围内的无机金属盐或金属合金制成。合适的金属盐例如锂、钠、钾、铷、铯、镁、钙、锶和钡的氟化物、氯化物、溴化物、碘化物、硫酸盐、硝酸盐、碳酸盐、铬酸盐、钼酸盐、钒酸盐和钨酸盐。优选地使用此类合适的盐的混合物(其形成双重共晶体(double eutectic)或三重共晶体)。它们也可形成四重共晶体或五重共晶体。

[0043] 备选地,可以从诸如锌、镁、铝、铜、钙、硅、磷和锑的金属开始,使用金属合金作为相变材料以及它们的组合,这些组合形成双重、三重、四重或五重共晶体。金属合金的熔点在这种情况下应处于 200℃ 至 1800℃ 的范围内。

[0044] 特别地,当使用诸如镍、钴、钛、银和铁的金属时,或者当使用基于镍、铬、铁、钴和 /

或钛的合金时,热电模块可被保护层包封。

[0045] 例如接连地(in succession)连接的一个或多个热电模块可被整合到内燃机的排气系统中。在这种情况下,也可以组合包含不同的热电材料的热电模块。一般而言,可以使用所有适合于内燃机废气温度范围的合适热电材料。合适热电材料的实例包括方钴矿,例如 CoSb_3 、 RuPdSb_6 、 TX_6 (其中 $\text{T}=\text{Co}$ 、 Rh 、 Ir 且 $\text{X}=\text{P}$ 、 As 、 Sb) ; $\text{X}_2\text{Y}_8\text{Z}_{24}$ (其中 X = 镧系元素、铜系元素、碱土金属、碱金属、 Th 、IV 族元素) ; 诸如 TiNiSn 、 HfPdSn 和金属间化合物合金(intermetallic alloy)的半 Heusler 化合物 ; 诸如 Zn_4Sb_3 、 $\text{Sr}_8\text{Ga}_{16}\text{Ge}_{30}$ 、 $\text{Cs}_8\text{Sn}_{44}$ 、 Co_4TeSb_4 的包合物(clathrate) ; 诸如 Na_xCoO_2 、 CaCo_4O_9 、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y\text{Sr}_2\text{TiO}_4$ 、 $\text{Sr}_3\text{Ti}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Sr}_4\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ 、 $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{CoO}_3$ (其中 R = 稀土金属且 M = 碱土金属) 的氧化物 ; $\text{Sr}_{n+1}\text{Ti}_n\text{O}_{3n+1}$, 其中 n 为整数 ; $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$; 诸如 FeSi_2 、 Mg_2Si 、 $\text{Mn}_{15}\text{Si}_{26}$ 的硅化物 ; 诸如 B_4C 、 CaB_6 的硼化物 ; Bi_2Ce_3 及其衍生物 ; PbCe 及其衍生物 ; 诸如铋化锌的铋化物 ; 诸如 $\text{Yb}_{14}\text{MnSb}_4$ 的 Zintl 相。

[0046] 本发明还涉及如上所述的热电模块的用途,用于内燃机的排气系统中,优选地用于诸如汽车或卡车的机动车中。在这种情况下,所述热电模块特别地用于从废气的热发电。

[0047] 然而,当微热交换器上具有洗涂层时,热电模块也可以被反向使用,用于在内燃机的冷起动期间(优选地在机动车的内燃机的冷起动期间)预热废气催化剂。在这种情况下,热电模块用作帕尔贴元件。当对模块施加电压差时,该模块将热从冷侧传输到热侧。由此引起的对废气催化剂的预热缩短了催化剂的冷起动时间。

[0048] 此外,本发明还涉及内燃机排气系统,优选地为机动车的内燃机排气系统,其包括被整合到排气系统中的上述一个或多个热电模块。

[0049] 在这种情况下,所述排气系统旨在表示这样的系统 : 该系统被连接到内燃机的出口,并且,在该系统中废气被处理。

[0050] 根据本发明的热电模块具有许多优点。内燃机排气系统中的压力损失很低,尤其是当微热交换器被废气催化剂的洗涂层涂覆时。通过这一整合部件(integrated component),可以显著地简化排气系统的结构。由于该整合部件可以被整合为更靠近排气系统中的内燃机,因此可将更高的废气温度提供给热电模块。通过反向使用热电模块作为帕尔贴元件,可以在发动机的冷起动期间加热废气催化剂。

附图说明

[0051] 本发明的示例性实施例在附图中被示例,并且在下面的说明中更详细地描述。

[0052] 在附图中 :

[0053] 图 3 示出热电发电机的构造的三维图示 ; 以及

[0054] 图 4 示出热电发电机的层构造的三维图示。

具体实施方式

[0055] 图 3 例如示例出诸如可被插入机动车排气系统中的热电发电机的构造。

[0056] 排气管 10 通向歧管 11, 废气通过排气管 10 而被引导离开内燃机。歧管 11 具有沿废气的流动方向逐渐减小的横截面积。歧管 11 邻接微热交换器 13。微热交换器 13 以使废气流过微热交换器 13 中的通道的方式被连接到歧管 11。微热交换器中的通道通向集管(collector)15, 已流经微热交换器中的通道的废气经由该集管被导入另外的排气管 17, 该

排气管 17 的末端通常为内燃机的排气装置(exhaust)。

[0057] 每个微热交换器 13 的一侧被连接到热电模块 19。热电模块 19 的与微热交换器相对的一侧被冷却。为此,优选地使用在热电模块 19 上流过的冷却液,例如冷却水。在这种情况下,首先可能的是引导冷却液通过热交换器(例如,微热交换器)中的通道。但是,优选地,在热电模块 19 的要被冷却的一侧设置冷却通道 21,冷却液流经该冷却通道 21,其中冷却通道 21 的壁由热电模块 19 形成。

[0058] 在一个优选实施例中,微热交换器 13、热电模块 19 和冷却通道 21 被层叠,其中位于内部的微热交换器 13 在每种情况下在其相反两侧被连接到热电模块 19,相应地,位于内部的冷却通道 21 在每种情况下同样在其相反两侧被连接到热电模块 19。对应的层构造通过图 4 的实例例出。这里,层构造在每种情况下在顶侧和下侧以冷却通道为界。冷却通道 21 与热电模块 19 邻接,热电模块 19 在相对侧被连接到微热交换器 13。微热交换器 13 之后是另外的热电模块 19 和另外的冷却通道 21。

[0059] 这种层构造使得可以尽可能好地使用废气的热并在小空间内使用大量热电模块 19。

[0060] 除了图 3 和 4 中所示例的具有其中各层平行于排气管 10 的主流轴延伸的层构造之外,还可以将层构造设计为使得各层垂直于排气管 10 的主流轴延伸。但是,与各层的取向无关地,微热交换器 13 中的通道优选地总是从歧管 11 到集管 15 相对于排气管 17 的主流轴横向(transversely)延伸。

[0061] 在图 3 和 4 中所示例的层的取向的情况下,各层在每种情况下可以包括一个微热交换器 13 和一个热电模块 19,或者替代地,可以包括相应地彼此并排设置的多个微热交换器 13 和 / 或多个热电模块 19。如果使用多个微热交换器 13 和多个热电模块 19,则它们的接触面积可以具有相同的尺寸或不同的尺寸。优选地,接触面积具有相同尺寸,以便一个微热交换器 13 在每种情况下被连接到一个热电模块 19。在该实施例中,然后可以形成多个叠层,这些叠层随后被彼此串联连接,其中各个叠层优选地被取向为使得相应的冷却通道 21 通过其入口和出口而彼此邻接,从而形成在一连串叠层内连续的冷却通道。在这种情况下,所选的冷却通道的取向被选择为使得冷却液和废气相对于彼此交叉流动。替代地,当然还可以使冷却通道沿所需的任何其它方向取向。由此,冷却通道例如还可以与微热交换器中的通道平行地延伸。

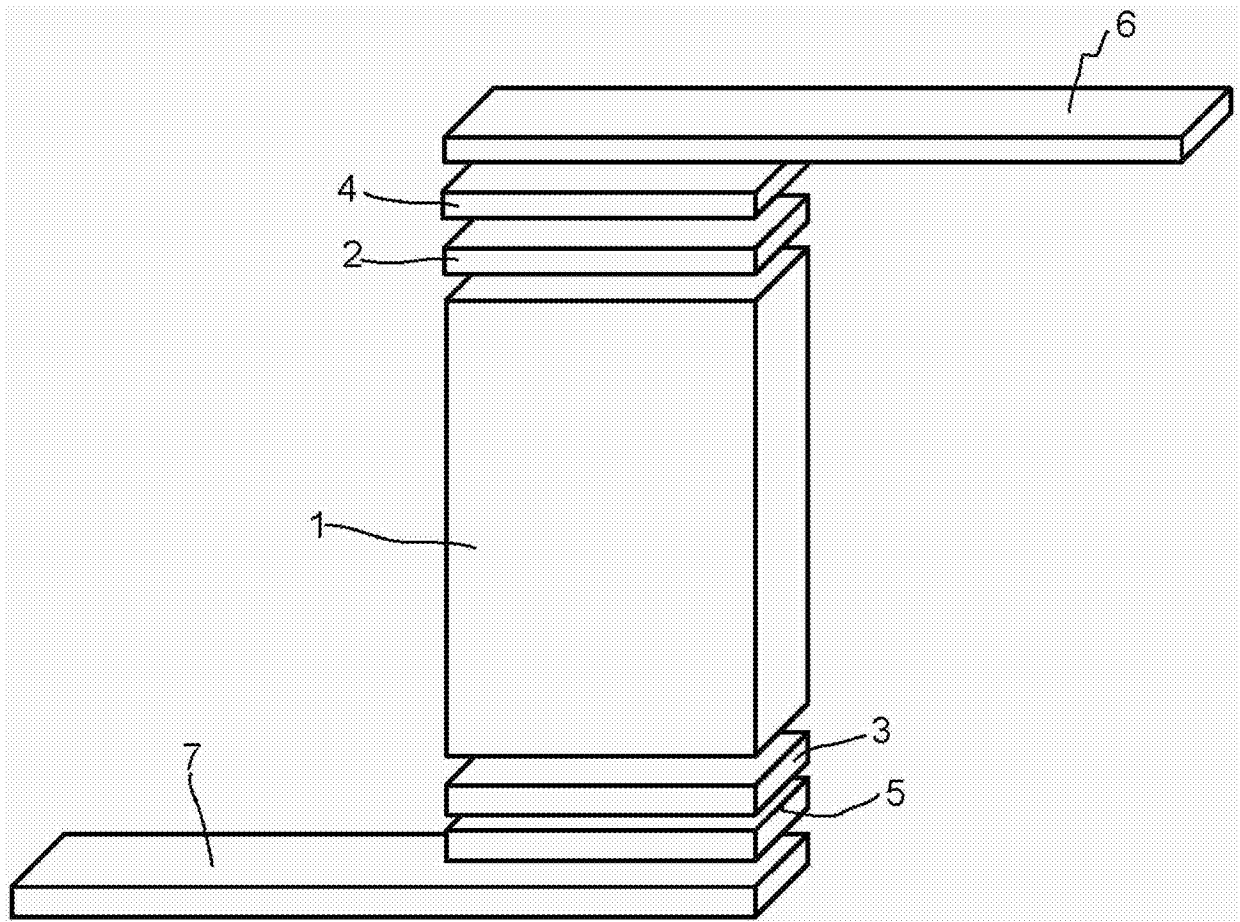


图 1

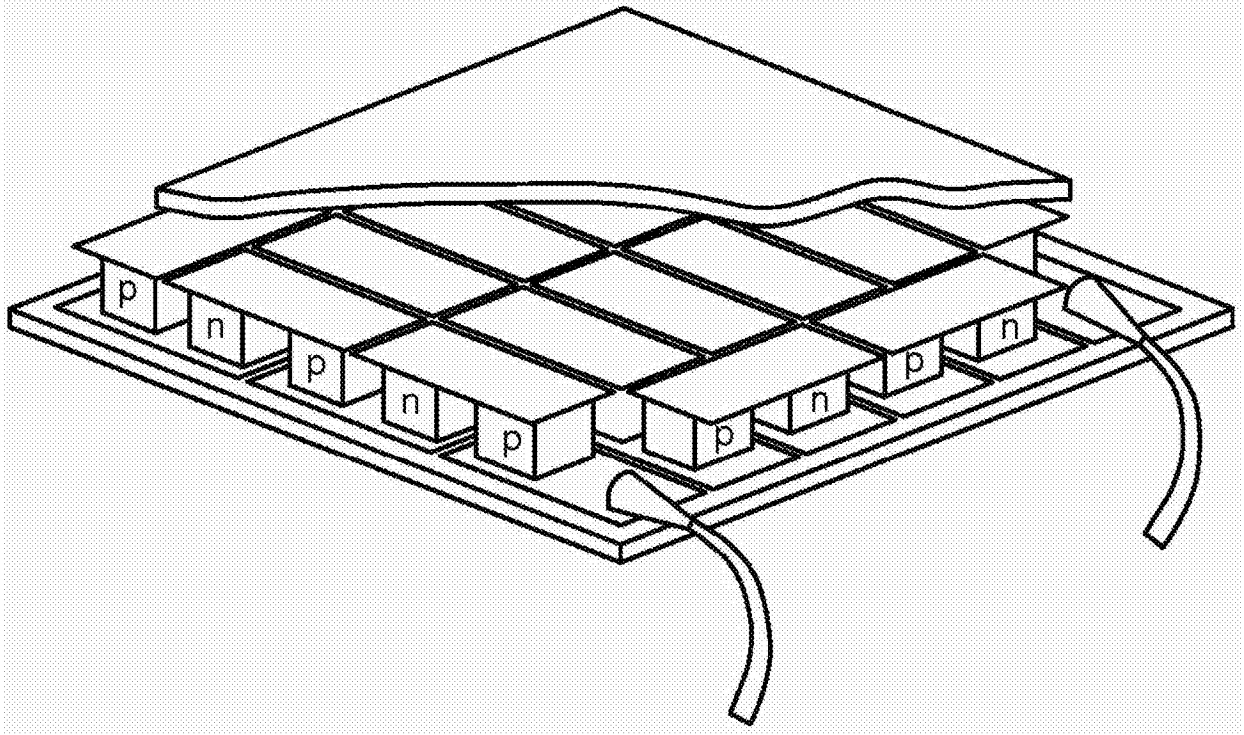


图 2

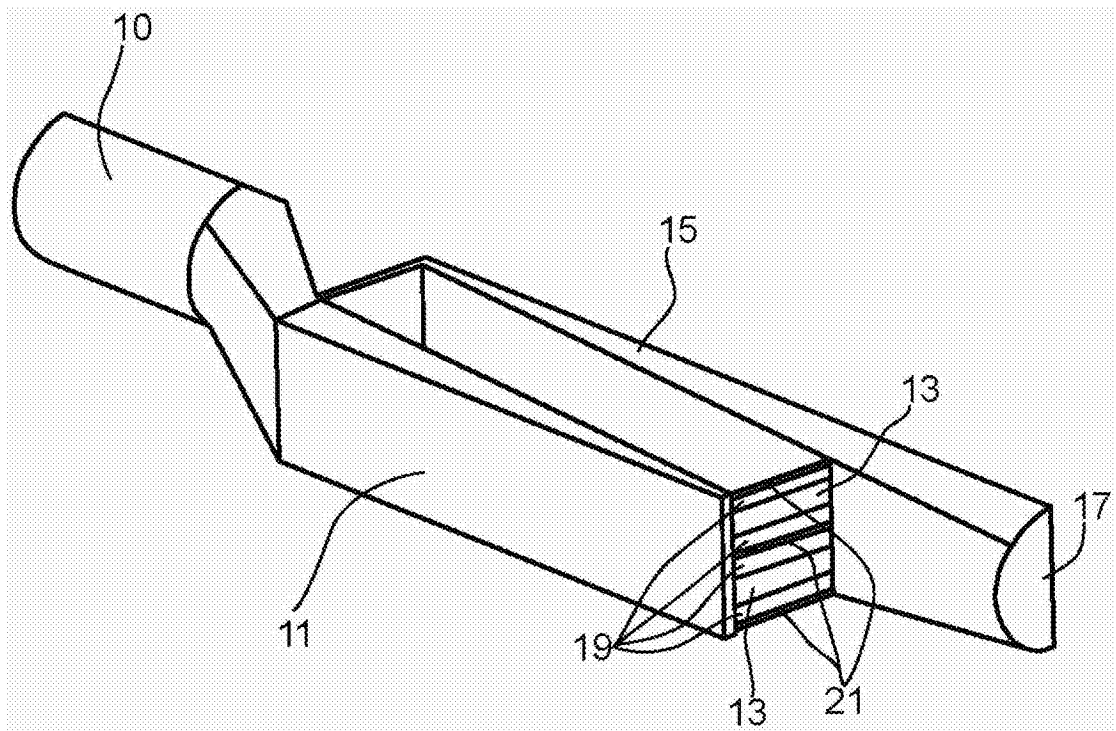


图 3

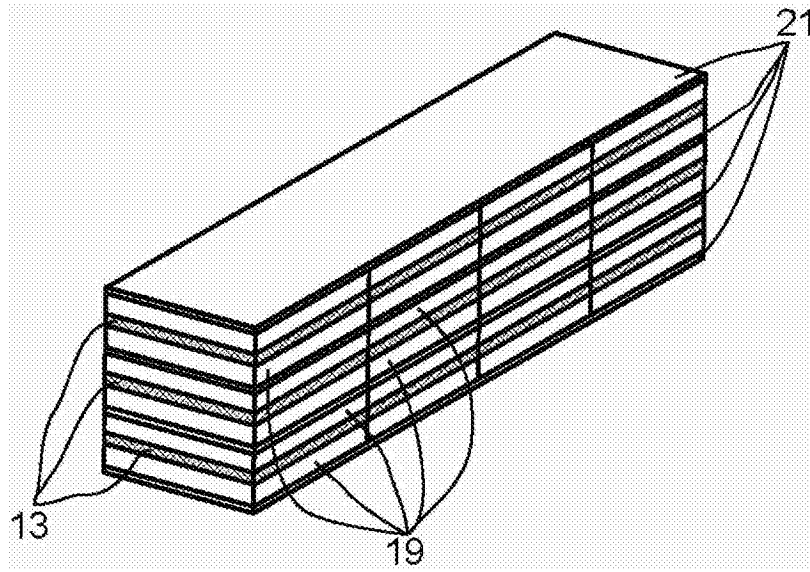


图 4