

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01M 8/02 (2006.01)

H01M 8/12 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03802064.5

[45] 授权公告日 2009 年 4 月 1 日

[11] 授权公告号 CN 100474672C

[22] 申请日 2003.1.9 [21] 申请号 03802064.5

[30] 优先权

[32] 2002.1.9 [33] EP [31] 02405007.2

[86] 国际申请 PCT/CH2003/000008 2003.1.9

[87] 国际公布 WO2003/058744 法 2003.7.17

[85] 进入国家阶段日期 2004.7.9

[73] 专利权人 高新技术赛莱梅斯股份有限公司

地址 瑞士洛桑

[72] 发明人 拉斐尔·伊瑞格尔

艾里克安德尔·克罗斯特

约瑟夫·斯菲尔

奥利维尔·F.·布齐利

[56] 参考文献

WO0201661A 2002.1.3

CN1314724 2001.9.26

审查员 张莉_3

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 王永刚

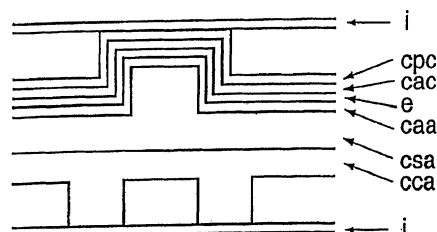
权利要求书 4 页 说明书 20 页 附图 5 页

[54] 发明名称

固体氧化物燃料电池的阴极 - 电解质 - 阳极
组件

[57] 摘要

公开了一种固体氧化物燃料电池(SOFC)正极 - 电解质 - 负极(PEN), 在其背面上包括用于在平面互连板和凸起结构之间建立接触的电极, 所述凸起结构按照与所述板形成气体循环通道的方式设置。所述 PEN 和互连板具有孔洞, 从而产生内部气体入口和出口管道。电解质/电极界面也可以被设置成提高展开面积对投影面积的比值的凸起结构。



1. 一种具有阴极、阳极和至少一个电解质层(e)的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件, 所述阴极包含多孔的阴极层(cpc)和活性阴极层(cac), 所述阳极包含活性阳极层(caa)和阳极支持层(csa, csa1, csa2), 所述阳极支持层构成阴极-电解质-阳极组件的机械支架, 并且所述电解质层被放置在所述活性阳极和阴极层之间, 其特征在于所述阳极包含覆盖阳极支持层背面的阳极集流器层(cca, cca1, cca2), 并且在于阳极集流器层在其设计成与互连板(i)接触的背面上存在凸起结构, 选择该凸起结构使之与所述互连板一起形成气体循环通道。

2. 权利要求1的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件, 其特征在于所述阴极在其设计成与互连板(i)接触的背面上也具有凸起结构, 选择该凸起结构使之与所述的互连板一起形成气体循环通道, 并且还在于阳极和阴极的凸起结构每个都包含多个彼此分开的突起块(6), 阳极块的顶表面与阴极块的顶表面共平面且平行, 后者同样彼此共平面。

3. 权利要求2的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件, 其特征在于它包含沿轴向穿过的至少一个第一孔洞(1)和至少一个第二孔洞(2), 在于阳极背面的凸起结构包含至少一个围绕着所述第一孔洞的第一凸缘(3), 并且在于阴极背面的凸起结构包含至少一个围绕着所述第二孔洞的第二凸缘, 所述第一孔洞没有被所述第二凸缘围绕并且所述第二孔洞也有被所述第一凸缘围绕。

4. 权利要求3的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件, 其特征在于所述阴极和阳极各自背面的凸起结构每个都包含围绕着每个背面的边缘(4), 每个边缘能够与互连板一起形成除了所述边缘的开口部分(5)外被密封的室。

5. 权利要求3的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件, 其特征在于它至少包含四个轴向孔洞, 并且在于所述阳极和阴极背面的凸起结构每一个都具有分别围绕着所述背面的边缘, 以及分别用于燃

料和氧化气体中的每一个的至少一个入口孔洞(7,9)和一个出口孔洞(8,10)。

6. 权利要求 1 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于在电解质一侧上的阳极前面也具有凸起结构。

7. 权利要求 6 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述阳极支持层(csa)在其前面具有凸起结构，并且在于所述活性阳极层(caa)、电解质(e)、活性阴极层(cac)和多孔阴极层(cpc)由覆盖所述前面的所述凸起结构的薄层组成，并且在于选择阳极支持层的所述前面的凸起结构，使阴极的背面可以和与之接触的互连板一起形成气体的循环通道。

8. 权利要求 7 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于阳极前面的所述凸起结构包含多个高度在 0.2 到 2 毫米之间的块，并且在于相邻块的侧面间距在 0.1 到 2 毫米之间。

9. 权利要求 6 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于阳极支持层(csa)在其前面具有前面的凸起结构，并且在于活性阳极层(caa)、电解质(e)和活性阴极层(cac)由薄层组成，并且在于多孔阴极层(cpc)在其设计成与互连板接触的背面上具有凸起结构，选择该凸起结构，使之与所述互连板形成气体的循环通道。

10. 权利要求 9 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述前面凸起结构的凸起部分的高度在 0.1 到 2 毫米之间，并且在于相邻部分间的距离在 50 微米到 2 毫米之间。

11. 权利要求 6 到 10 中任一项的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于阳极前面凸起结构部分的高度和厚度比在 1 到 4 之间。

12. 权利要求 6 到 10 中任一项的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于通过将阳极支持层的光滑背面结合到阳极集流器层的光滑前面上的方法来获得阳极。

13. 权利要求 1 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述阳极支持层和/或所述阳极集流器层的材料包含选自

陶瓷纤维和金属纤维的至少一种纤维。

14. 权利要求 13 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述纤维相对于总体积的比例为 20%到 40%体积。

15. 权利要求 1 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述多孔阴极层的材料包括选自陶瓷纤维的至少一种纤维。

16. 权利要求 15 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述多孔阴极层的材料包括选自铈掺杂的锰酸镧、钴酸镧或铁钴酸镧的至少一种材料。

17. 权利要求 13 到 16 任何一项的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述纤维的直径在 1 到 50 微米之间，并且长度/直径即 L/d 比在 2 到 30 之间。

18. 权利要求 1 到 10 任何一项的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于所述阳极支持层和/或所述阳极集流器层的材料包含选自沉积在陶瓷颗粒上的 Ni、沉积在陶瓷颗粒上的 NiCu、铬铁矿、 CeO_2 及其混合物的重整催化剂。

19. 权利要求 18 的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件，其特征在于催化剂的量在阳极材料的 5%到 15%体积之间。

20. 一种固体氧化物燃料电池组，按照交替的方式包含多个权利要求 3 到 17 任何一项的的阴极-电解质-阳极组件和互连板，其特征在于每个所述的互连板是光滑的并且是带有孔洞的平板，从叠置轴向来看这些孔洞与阴极-电解质-阳极组件的孔洞重合。

21. 一种用于制备根据权利要求 1 - 12 任何一项的固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件的方法，包括通过模塑得到阳极和阴极的前面和/或背面的凸起结构的步骤。

22. 权利要求 21 的方法，包括以下步骤：

通过模塑工艺制备在前面和/或背面上具有凸起结构的阳极支持层 (csa, csa1, csa2)；以及

通过沉积工艺来得到活性阳极层 (caa)、电解质 (e)、活性阴

极层 (cac) 和多孔阴极层 (cpc) 的各薄层。

23. 权利要求 21 或 22 的方法, 其中所述模塑是微模塑和胶凝。

24. 一种制备固体氧化物燃料电池阴极-电解质-阳极组件的方法, 其阳极支持层在其前面具有前面凸起结构, 该方法的特征在于通过模压或微模塑得到所述阳极支持层 (csa) 前面的前面凸起结构。

25. 权利要求 24 的方法, 其特征在于通过微模塑和胶凝得到所述前面的前面凸起结构。

固体氧化物燃料电池的阴极-电解质-阳极组件

技术领域

本发明涉及通常称作 SOFCs 的固体氧化物燃料电池领域。

背景技术

燃料电池具有阳极和阴极，它们由传输离子而不传导电子的电解质分隔。阴极-电解质-阳极组件通常称作 PEN(正极-电解质-负极)。电解质包括能够传输氧阴离子的固体非多孔形态的金属氧化物，例如氧化锆。阳极是多孔的，它是气态燃料，通常为氢气，或者甚至是通过重整可以从中提取氢气的有机燃料(甲醇、轻燃料、中性气体)经历氧化反应的场所。空气中的氧气在多孔的阴极经历还原反应。通过连续地供应燃料气体和氧化气体，反应是连续的，每个氢气分子产生两个电子并且提供大约 0.6 到 1.2 V 的电势，以及热能。为了获得更高的输出电压，需要串联连接几个 SOFCs。在平面 SOFC 概念中，形成“组”，每个单元包含一个或多个具有从几十毫米到几毫米厚度的陶瓷和/或金属板，整体构成 PEN 的电化学活性元件，还包含有时被称作双极板的互连板。

特别地，本发明涉及具有阴极、阳极和至少一个非孔电解质层的 SOFC PEN，所述阴极包含多孔的阴极层和活性阴极层，所述阳极包含活性阳极层和多孔的阳极支持层，所述阳极支持层构成 PEN 的机械支架，并且所述电解质层被放置在所述活性阳极和阴极层之间。

文献“Status of the Sulzer Hexis solid oxide fuel cell (SOFC) system development”, R. Diethelm et al., Third European Solid Oxide Fuel Cell Forum, P. Stevensed., Nantes, June 1998, p. 87-93 描述了由 Sulzer Hexis (CH)公司开发的 SOFC。通过由富铬金属合金盘(94% Cr, 5% Fe, 1% Y_2O_3)组成的互连板向电极中供应燃料气体和氧化气

体,互连板由中央孔穿入并且通过在其两面加工来结构化,后者可选地具有向外部和向中央孔的开口。在这种类型的电池组中,燃料在中央的管中循环,然后经由互连板结构的左边开口向每个电池的阳极面扩散。因为互连板覆盖了阴极整个内表面几毫米的宽度,所以燃料不会向阴极渗透。通过互连板中垂直排列的孔洞,从外面注入空气,这就能够引导空气通过对着电池组挤压的U型剖面。空气流过互连板的内部洞穴,这就能够通过电池放出的热量将之加热。然后,空气经过与阴极相对的互连板结构面的上方。在互连板的阴极面上,通过VPS(真空等离子喷涂)沉积一层薄的陶瓷层,从而阻止铬以 CrO_3 的形式蒸发。PEN互连板的外径大约为120毫米并且其内部孔洞为22毫米。电池组包含大约70个电池并且具有约50厘米的高度,所产生的电能在40V下为1kW。这种类型的电池组互连板生产复杂且昂贵。由该装置输送的功率和电压分别是表面积和电池数量的函数,因此是互连板表面积和数量的函数,其成本对于由这种装置产生电能的收益性形成了障碍。

文献JP 04 169071和JP 04 079163描述了一种可以在两个PENs间安置的互连装置,该装置不同于Sulzer电池,因为它由三部分组成:平面中央板在每一面承载由电极材料组成的层,其中制作通道用于气体的循环。尽管可以通过由导电材料组成的附加界面来降低,但是由该层与相对放置的电极自身间的接触而引起的附加电阻是高的。

文献JP 03 134964还描述了由三个陶瓷层组成的互连装置,其中一层担负着气体循环通道。此外,通过板衬底产生PEN,在PEN的对面具有其它气体循环通道。

专利US 5,256,499(Allied Signal Aerospace)描述了由一组陶瓷板组成的SOFC组,陶瓷板用几个孔穿过,这些孔被安排在板边缘的附近,彼此相对排列的孔为燃料和氧化气体的供应和排出形成了外侧的管道,PENs的活性元件被安排在中央部分。每个电池包含形成电解质的板,其一面至少围绕着一个分别形成阳极和阴极的板,还包含两个用孔穿过的板,它具有阳极和阴极的尺寸以及与这两个电极相同的

厚度,前者围绕着后者形成管状部分。该 PEN 被夹在两个平面互连板之间。每个电极本身由板载通道或块,或者平面板及波形板的组装体形成。该装置的互连板比上述 Sulzer 装置的板更简单且廉价,但是每个电池需要两个附加的元件围绕着电极,从而形成管道。这些几乎是完全中空的元件是易碎的,并且在电极和这些元件之间很难密封。形成通道的结构被烧结在电解质上,这表明不可能补偿电池的平面性缺陷。此外,在该装置中,构成电解质的板形成 PEN 的机械支架。因此,它必须较厚并因此具有较高的欧姆电阻。为了增加 SOFC 的效率,欧姆电阻必须通过使用小厚度的电解质来尽可能地降低,对于采用电解质形成支架的结构这几乎是不可能的。

为了降低 SOFC 的欧姆电阻,文献 WO 00/69008 建议使用较厚的多孔阳极作为 PEN 的支架并且沉积电解质薄层(10 到 40 微米),并且在该阳极支架外部还有较细的对电极。但是,为了形成电池组,这种 PEN 需要具有复杂结构的互连板,它包含供应和排出气体的管道,因此是十分厚的。因此,考虑到它的厚度以及互连板的成本,这种结构是有缺点的。

专利申请 WO 01/67534 号描述了由多个离散的陶瓷柱组成的阳极,气体可以在柱间循环,所述柱子位于电解质薄层和同样薄的金属互连板之间。在阴极面,通过由多个允许气体在其中通过的离散柱形成的结构,电解质同样与互连板分开。由柱子组成的结构通过下面的方法来生产:将每个柱子模压入原始的陶瓷带中并且将这些柱子固定到一张纸上,这样使它们能够被处理。在装配完后第一次使用电池组时,纸燃烧并消失。该装置可以使用平面的互连板,因此是便宜的。但是,柱结构的产生是复杂的,并且在装配期间处理电池元件是细致的。最后,对于气体的供应和排出它还需要附加的密封系统。

文献 JP 08 078040 也描述了一种离散柱系统,它们模压(stamp)在平面 PEN 的每一面上,从而提供了与互连板的电学连接并且允许气体通过。这种装置具有在上面的文献 WO 01167534 中所述的优点和缺点。

文献 JP 06 068885 也描述了一种柱系统，其安排与前面文献所述的相似。电解质板和构成该系统的支架，电极是印刷在电解质板每一面上的非常细的电极，因此电解质必须是厚的，从而增加了欧姆电阻。

专利申请 WO 01/41239 也描述了一种由多个允许气体从中通过的离散柱形成的通道系统。由柱子形成的结构可以使用印刷方法在平面互连板的两面上通过局部沉积 0.05 到 0.4 毫米厚的组成电极的材料来生产。从而柱形成电极。互连板和电解质板在其中央区域都至少具有一对孔，在互连板的每个面上每个孔通过封条交替围绕。对准互连板和电解质板的孔来供应气体，后者辐射状地流向柱间板的边缘。承载柱子的互连板生产便宜。但是，在堆叠期间电解质板(0.2 到 0.4 毫米厚)的处理是细致的。在该系统中，同 WO 01/67534 中所述的一样，电极的表面积是柱子的整个前表面积，也就是说只是板的一部分面积。因此，PEN 的欧姆电阻高于电极与电解质整个表面积接触的相同组成的 PEN。

文献 WO 01/41239 还建议通过在互连板或电极的表面上机械或化学生产来制造通道系统。如同上述 Sulzer 互连板的情况一样，这种变化实现起来是昂贵的。

发明内容

本发明的目的是提出一种没有现有技术装置缺点的可以制造电池组的 SOFC PEN。本发明特别旨在制造可以使用简单且便宜的薄金属板与 SOFCs 互连的电池组。本发明还旨在制造其欧姆电阻尽可能低的 SOFCs。还旨在限制 SOFC 的厚度尺寸。还旨在增加每单位面积的可获得电能。本发明最后旨在制造带有其互连系统的 PEN，它容易生产并且在构筑电池组期间容易处理。

这些目的通过在引言中定义类型的 PEN 来实现，其中阳极包含覆盖着阳极支持层背面即活性阳极层相反面的阳极集流器层，并且其中阳极集流器层在其设计用来与互连板接触的背面上具有凸起结构，选择这种结构使之与平板一起形成气体循环通道。

对于语言上的便利,在下文中术语PEN电极层的“前”面和“前部”结构将分别指其向着电解质的端面或结构,并且术语“背”面指它的相反面,即向着互连板的端面。

因此,根据本发明的PEN允许使用由阳极面是平面且光滑的简单板形成的互连板。此外,因为PEN的机械支持由阳极支持层形成,所以在两个电极之间装配电解质期间,可以将这种电解质降低至几个微米的薄层,从而具有低的欧姆电阻。

优选地,阴极在其设计成与互连板接触的背面上也具有凸起结构,选择这种结构使之与所述的互连板一起形成气体循环通道。特别地,阳极和阴极的凸起结构每个都包含多个彼此分开的突起块,阳极块的顶表面基本上与阴极块的顶表面共平面且平行,后者同样与另一个共平面。这种结构同样包含密封边,其厚度与电极背面周界上的块的高度相同。

因此,PEN的整个结构被包含在两个平行的板间。为了产生电池组,所需要的就是以交替的方式堆叠这种类型的PENs和平面金属板。

通过沿轴向,也就是说在电池组的轴上穿过PEN的至少一个第一孔洞和一个第二孔洞,可以有利地供应气体,阳极背面的凸起结构至少包含一个围绕着所述第一孔洞的第一凸缘(lip),阴极背面的凸起结构至少包含一个围绕着所述第二孔洞的第二凸缘,所述第一孔洞没有被所述第二凸缘围绕并且所述第二孔洞也有被所述第一凸缘围绕。

凸缘起着封条的作用并且用作准密封。在电池组中,彼此相对的孔洞形成平行于电池组轴向的管道,并且绕着每个孔洞存在或不存在的凸缘可以调节只有一种气体扩散到阴极的背面上,而另一种气体只能扩散到阳极的背面的。

根据一个实施方案,阴极和阳极各自背面的凸起结构每个都包含围绕着每个背面的边缘,每个边缘能够与互连板一起形成除了所述边缘的开口部分外是密封的室。在SOFC堆叠轴方向上可见的两个开口部分没有重叠区域。这些开口区域与侧面气体供应和排出管道通联。

根据另一个优选的实施方案,两个电极背面的凸起结构完全由密

封的边缘围绕着，并且形成电池组的板具有至少两个用于每种气体的循环孔洞，即一个入口孔洞和一个出口孔洞，也就是说总共至少有四个孔洞。后者在电池组内部形成一套管道，这意味着不再需要具有侧面的排出管道，因此降低了生产成本。

有利地，电解质一面上与电解质接触的阳极前面也具有凸起结构。这种前面具有大于在堆叠方向上突起的表面积的展开表面积。因此，反应的表面积被很大提高，而又没有显著增加整个器件的尺寸。

根据优选的实施方案，阳极支持层在其前部端面具有凸起结构。活性阳极层、电解质和阴极组件可以包含覆盖了所述阳极支持层前面凸起结构的薄层，并且选择这种凸起结构，使阴极的背面可以和与之接触的平面互连板一起形成气体的循环通道。

因此在该实施方案中，阳极前面的凸起结构具有双重功能：一方面，它增加了 PEN 的反应表面积；另一方面，该表面的凸起区域没有变薄或者仅略薄于覆盖阳极支持层的薄层，因而在阴极面上产生了气体的循环通道。在该实施方案中，阳极支持层前面的结构可以通过模塑工艺来得到，而电解质和阴极的薄层可以通过沉积工艺来得到。这种阳极前面的凸起结构可以特别地包含多个高度在 0.2 到 2 毫米之间的块，相邻块的侧面间距在 0.1 到 2 毫米之间。

根据 PEN 的另一个实施方案，其中阳极支持层在其前面具有前面的凸起结构，活性阳极层、电解质和活性阴极层由薄层组成。覆盖它们并且在活性阴极层后面完全或部分使凸起区域平整的多孔阴极层在其设计成与互连板接触的背面上具有第二凸起结构，选择该结构使之与所述互连板一起形成气体循环通道。在该实施方案中，阳极支持层前面的前部凸起结构和多孔阴极层背面的凸起结构被选择具有不同的构造，阴极层背面结构的凸起区足以形成气体循环通道，而阳极的前面可能仅表现出设计用来增加反应表面积的微结构。阳极支持层前面的前部凸起结构可以通过模压或者微模塑、特别是包含原材料胶凝或者“凝胶铸造”(gel casting)的微模塑工艺来得到。形成凸起结构的凸起部分的高度可以从 0.1 到 2 毫米。相邻部分间的距离可以在 50 微

米到2毫米之间。这些部分的高度和厚度间的比例可以在1到4之间。

为了获得一方面在其背面具有第一凸起结构,并且另一方面在其前面具有前部凸起结构的阳极,可以通过它们的光滑面来连接两层,每层具有一个光滑的表面和一个结构化的表面。连接可以在当两层还是原始状态时来实施。在预先通过烧结制备的阳极支持层上可以沉积形成气体分配通道的层和集电层。

因此可以将阳极支持层连接到阳极集流器层中。还可以连接两个半层,从而产生阳极支持层。

其两个面都被结构化的阳极支持层还可以通过直接模塑,例如通过注模来产生。

SOFC 电池材料需要的一个共有性质是它们分别在氧化或还原环境及电池的操作温度(700~1000℃)下不随时间改变的能力。

用来形成阴极特别是多孔阴极的材料通常包括钙钛矿结构,例如铈掺杂的锰酸镧(LSM)。例如钴酸镧或铁钴酸镧的复合物表现出比LSMs更高的活性,但是却不易于与氧化锆电解质反应。

在多孔阴极层和电解质之间,安排有薄的(2到5微米)且致密的(>80%)的活性层,举例来说它由 CeO_2 或氧化锆与LSM的混合物组成。选择这种材料使得在电解质上可以产生一种薄的材料层,它是离子和电子的复合导体。

电解质是具有高的离子传导率但却不具有或只具有非常低电子传导率的致密材料。最经常使用的材料是举例来说由8 mol% Y_2O_3 (8 YSZ)稳定的、或者举例来说由3 mol% Y_2O_3 (3 YSZ)部分稳定的氧化锆。

对于形成SOFC的阳极,通常称作“金属陶瓷”的镍和氧化锆的复合物是优选的材料。举例来说,可以使用具有35~45%重量镍金属相的Ni-8 YSZ“金属陶瓷”。

在与电解质接触的电化学(0.5到5微米)活性阳极层中,通过使用在电池的操作温度即大约800℃以及氢气气氛下不会还原成金属的电子传导的陶瓷来取代部分离子传导的陶瓷相即8 YSZ,可以寻求降低

金属相中的电流密度并且增加属于电渗滤网络 (electrically percolating network) 的金属相的颗粒数目, 从而增加电极的活性。这种导电陶瓷的实例可以用 U_2O_3 (1 到 10%) 或 Nb_2O_5 (1 到 10%)、或者用 10 到 40 mol% 的 Gd 或 Y 掺杂的 CeO_2 来制备, 或者用 Y_2O_3 (1 到 10%) 掺杂的 U_2O_3 来制备, 或者用 Nb 或 Ta (1 到 10%) 掺杂的 TiO_2 来制备。

阳极支持层是多孔的并且由电子传导材料组成。为了增加其稳定性, 与例如氧化锆的陶瓷相相比, 可以寻求降低电子传导相例如 Ni 的比例。为了保持足够的电子传导率, 然后需要组织电子传导相的空间分配。

- 电子传导相可以被分布在陶瓷相颗粒的周围, 陶瓷相颗粒的平均直径是比电子传导相形成的薄膜平均厚度大 3 到 10 倍。这种结构可以通过喷涂细分散的氧化锆颗粒, 例如 $0.1 < D_{50} < 0.3$ 微米, 在较大尺寸的颗粒中, 例如 $15 < D_{50} < 30$ 微米, 并且将这些颗粒与导电相的细颗粒例如 $0.1 < D_{50} < 0.3$ 微米混合的方法来得到。

- 在结构中形成的孔壁上还可以优选地设置电子传导相。为此, 举例来说在能够于 250 到 400°C 下热解的物质的较大颗粒例如 $5 < D_{50} < 30$ 微米的表面上, 使用无电沉积或盐沉淀的方法预先沉积电子传导相, 例如 Ni 或 NiO, 上述能够热解的物质例如是纤维素、碳或者淀粉的颗粒, 它们在热解后能够将孔洞保留在阳极支持层的结构中。

- 还可以在第一步制造粒径为 $2 < D_{50} < 50$ 微米并且密度小于或等于 2g/cm^3 的颗粒, 包括以氧化物或盐(例如草酸盐或碳酸盐)形态存在的镍或者任何其它的过渡金属(例如 Fe 和 Co), 而且可选地可以为氧化锆和有机相。举例来说, 它们可以通过喷涂上述材料的细颗粒分散体来获得。然后, 这些颗粒被以约 35% 体积比的量加入氧化锆颗粒中。该混合物用作生产阳极支持层的基础。在后者的烧结期间, 在包含镍的颗粒内部产生孔隙度。这种孔隙度使镍可以被再氧化而不会破坏阳极支持层的结构。

因此, 阳极在互连板的一面包含薄的(1 到 10 微米)或者结构化的

集流器层，它富含电子传导材料，例如镍。该层使之可以降低电流收集的欧姆损失。

同组成阴极的层一样，组成阳极的层，特别是组成阳极支持层、阳极集流器层和多孔阴极层的层可以包括纤维。使用包括纤维的复合材料具有许多优点。

-改善了从生产到使用，也就是说从原始形态到操作温度下的结构及至烧结的形态的尺寸稳定性；

-通过选择形成纤维的材料，改善了氧化还原的稳定性；

-调节不同层的热膨胀系数，特别是改善了阳极支持层与其它层热膨胀系数的兼容性。

有利地应选择直径在 1 到 50 微米之间并且长度/直径比 L/d 在 2 到 30 之间的纤维。优选地，直径在 2 到 30 微米之间并且 L/d 比在 5 到 25 之间。直径在 5 到 15 微米之间并且 L/d 比在 8 到 20 之间的纤维是特别优选的。

对于阴极，特别是多孔阴极层，可以使用具有或不具有电子导电性的陶瓷纤维。可以使用例如 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的 LSM 型或者 LSC 型，特别是 $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ 的材料纤维。

为了制造阳极，特别是集流器层，可以添加相对于总体积为 5% 到 60% 体积、优选地 20% 到 40% 体积并且特别优选地 25 到 35% 体积的陶瓷或多金属纤维。纤维的材料可以选自 ZrO_2 、 Al_2O_3 、 MgO 、 Ni ，或者选自在 $\text{H}_2/\text{H}_2\text{O}$ 下导电的陶瓷，例如 TiO_2 、 $\text{TiO}_2+5\% \text{NbO}_{2.5}$ 、 $\text{CeO}_2+1\% \text{NbO}_{2.5}$ 、 Nb_2TiO_7 、 Nb_2O_5 、 SrTiO_3 、 Fe_3O_4 。

最后，作为一种变化，可以将直径在 0.1 到 50 微米并且优选地在 0.3 到 30 微米之间的上述陶瓷材料的颗粒结合入阳极材料中，从而代替纤维或者与纤维一起。直径为 0.5 到 5 微米的颗粒是特别优选的。

根据本发明的一个优选实施方案，阳极的材料，也就是说阳极支持层和/或特别是阳极集流器层的材料可以结合一种或多种催化剂，其目的为重整碳基的燃料，使可以或者不可以被部分重整的碳基燃料气体例如 CH_4 直接氧化，和/或改善 SOFC 对燃料中包含的硫的耐用性。

因此，多孔结构的部分阳极会变成内部的重整部分，而不会增加电池组的高度。这对于结构化以产生循环通道并且由致密钢制成的互连板是不可能的。

可以使用在陶瓷载体，例如氧化锆、氧化铝、氧化镁或氧化铈上的 Ni 或 NiCu 合金作为催化剂。在镍催化剂的情况下，镍代表了颗粒重量的 1%到 25%，优选地 1 到 10%并且更优选地 1.2%到 5%。在 NiCu 催化剂的情况下，铜的含量是金属相的 5%到 50%，特别是 10%到 30%并且更特别地是 15%到 25%。在使用氧化镁作为载体的情况中，为了改善其催化能力以及阳极层的热膨胀系数和导电率，后者可以与另一种氧化物混合。

从使没有被重整或者已经被部分重整的碳基燃料例如 CH_4 产生直接氧化的角度来看，可以向混合物添加下面的催化剂：NiCu 和铬铁矿，铬铁矿的含量可以从该混合物的 0%到 100%变化。铬铁矿的最优组成是 $\text{La}_{1-x}(\text{Ca},\text{Cr})_x\text{Cr}_{1-y}\text{Ni}_y\text{O}_3$ ，其中 $x=0\sim0.15$ 并且 $y=0\sim0.5$ 。混合物还可以包含另一种导电的氧化物，例如具有约 300 S/cm 电导率的钛酸盐或铈酸盐。

为了改善对硫的耐受性，可以向催化剂中添加二氧化铈， CeO_2 ，其比例为相对于 Ni 基催化剂 5%到 100%重量，优选地 10%到 50%并且特别是从 15%到 25%重量。在阳极中存在 Cu 也能改善对硫的耐受性。

该催化剂或者催化性混合物典型地以 5%到 15%体积与组成阳极的材料混合，同时保持在渗透阈值之下，从而不会中断电流的收集。

对于 700 到 800℃之间的操作温度，插在两个 PENs 之间的互连板可以由铁素体合金（ferritic alloy）组成，对于 800 到 900℃之间的操作温度，由铬基合金组成，或者对于 900 到 1000℃之间的操作温度，由例如钒铬铁矿的陶瓷组成。

为了改善互连板和阴极/互连板界面的长期导电性，例如由 Fe26Cr 组成的互连板的表面区域可以根据下面的程序来处理：阳离子的水溶液（例如以硝酸盐的形式）被沉积到互连板上，从而在干燥后得

到几微米厚度的层。然后,后者在还原性或其它气氛下被置于高温中。举例来说,处理的持续时间在氩气和氢气气氛和 1000℃下可以是 48 小时。所用的阳离子选自下面的族: La、Ti、Sr、Ca、Mg、Ba、Nb、Mo、Mn、Cu、Ce、Pr。特别改善所需性质的阳离子对由镧和铈形成。

上述的层和层的组件可以使用上面分散在水和/或有机溶剂中的材料来生产,其中已经以液体、浆体和/或糊状物的形式添加粘合剂、湿润剂等。在糊状物或悬浮液凝结或不凝结的情况下,所用的技术可以是滚压、挤压、漏模造型(strip casting)、特别是共浇铸或模塑。通过印刷技术,例如通过使用滚轴在先前已经通过漏模造型得到的较厚层上沉积一薄层,可以在支持层特别是阳极支持层上形成一层或多层薄层。这些技术本身对于本领域技术人员是熟知的并且在下面文献中被更加具体地描述:例如 Raphaël Ihringer et al., "Solid Oxide Fuel Cells V", U. Stimming, S.C. Singhal, H. Tagawa and W. Lehnert, Editors, PV 97-40, p. 340-347, The Electrochemical Society Proceedings Series, Pennington, NJ (1997), 或者 Mark A. Janney et al., J. Am. Ceram. Soc., 81 (3) 581-91 (1998), 或者 2001 年在 the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne 中提交的 2307 号论文。它们也通过下面给出的实施例来阐述。

附图说明

参照附图,根据下面给出的实施方案和实施例的详细说明,本领域的技术人员将清楚本发明的其它细节。

图 1 是 PEN 第一个实施方案的纵向截面示意图。

图 2 是 PEN 第二个实施方案的纵向截面示意图。

图 3 是电极背面第一个实施方案的平面示意图。

图 4 是图 3 实施方案中沿 AA'的纵向截面示意图。

图 5 是 PEN 第三个实施方案的纵向截面示意图。

图 6 是 PEN 第四个实施方案的纵向截面示意图。

图 7 是 PEN 第五个实施方案的纵向截面示意图。

图 8 是根据本发明的阳极背面部分的显微照片。

图 9 是电极背面第二个实施方案的平面示意图。

在这些图中,具有相同或相似功能及特性的层用相同的参考数字和/或相同的缩写表示。层的厚度没有按比例表示。

具体实施方式

图 1 表示第一个实施方案。它从上到下表示:

-非结构化的、平面的金属互连板 i, 其厚度可以为约 0.1 到 2 毫米;

-多孔阴极层, cpc, 通过模塑来结构化, 在其背面以块的形式具有厚度为 0.2 到 1 毫米的凸起区域, 它的顶表面与互连板 i 接触, 块间的距离形成气体循环通道;

-薄的活性阴极层 cac, 其厚度约为 1 到 20 微米;

-电解质层 e, 其厚度约为 3 到 20 微米;

-活性阳极层 caa, 其厚度约为 1 到 20 微米;

-结构化的多孔阳极层 csa1, 通过微模塑得到, 其厚度可能约为 0.1 到 0.5 毫米, 在其背面以块的形式具有厚度为约 0.2 到 1 毫米的凸起区域;

-薄的阳极集流器层 cca1, 约 5 到 20 微米厚, 它沉积在阳极支持层上并且覆盖块状物。这些块的顶表面与第二个互连板 i 接触, 它与上面的板相同并且与后者一起形成气体循环通道。

图 2 表示在层 i、cpc、cac、e 和 caa 方面相似的结构。在这个第二实施方案中, 多孔阳极支持层 csa2 的背面是平面并且负载着模塑并且与层 csa2 结合的结构化阳极集流器层 cca2。阳极集流器层 cca2 在其背面具有由块组成的凸起结构, 其顶表面与互连板 i 接触, 从而与后者一起形成气体循环通道。集流器层 cca2 参与支撑功能。

图 3 表示阳极集流器层背面的示意图, 其结构或者相应于图 1 的层 cca1, 或者相应于图 2 的层 cca2。多个块 6 均匀地分布在阳极集流器层的整个表面上。后者由大量的孔洞穿过。位于图 3 右边的孔洞 1

由与块 6 相同高度的凸缘 3 围绕。位于图中左边的孔洞 2 没有以这种方式围绕。电池组的所有层具有相同的孔洞，这样的安排使它们在电池组内精确地彼此相对，如图 4 所示。当从图 3 左边的一个孔洞注入气体时，它在阳极集流器层的块间循环，扩散入该层中并且进入阳极支持层，而且通过位于阳极背面边缘 4 的开口部分逸出并被燃烧。由于围绕着所述孔洞的凸缘 3，通过位于图 3 右边的一个孔洞 1 注入的气体不会以任何显著的量到达阳极的背面。考虑到材料的多孔度，只有少量的气体逸出。另一方面，因为阴极背面的相应孔洞没有被凸缘围绕，所以气体可以循环到相应的阴极背面上。

图 9 表示不同于图 3 中所示实施方案的阳极集流器层的背面示意图，它在外边缘 4 上没有开口。通过图 9 左上面孔洞 7 注入的气体通过右下面的孔洞 8 逸出，或者相反。

在阴极面上气体的供应和排出以相似的方式通过分别位于图 9 左下面的孔洞 9 和右上面的孔洞 10 来进行。

该实施方案不需要侧面的管道，因此对于生产是特别便宜的。

图 8 是相应于图 9 示意性所示实施方案的阳极背面部分的显微照片。在右边可以看见一部分边端，左边是一部分凸缘，并且在两者之间是大量具有大约 $1 \times 1 \times 1$ 毫米尺寸的块状物，它们的顶表面是亮颜色的，所述的块与较暗颜色的气体循环通道分开。

在图 8 所示的实施方案中，凸缘和边缘都由与块状物相同的陶瓷材料组成，也就是说电极背面都由这种材料组成。因为这种材料是多孔的，所以该实施方案具有很简单的优点但是需要非常轻微的密封的缺陷。

为了完善凸缘的密封作用，可以使用不同形状的一片：

-可以单独使用“贝氏 (belleville)”型的垫圈，或者包埋在也组成凸缘的电极材料中。可以使用由耐热钢片，例如 Fe22Cr 组成的“贝氏”型垫圈，片的厚度约为 5 到 200 微米，特别是 20 到 75 微米。垫圈的内部或外部直径分别等于凸缘的内部和外部直径。为了生产相对厚的凸缘，可以在一个上面堆叠大量的“贝氏”型垫圈，或者沿着它们的较

小直径将两个“贝氏”型垫圈彼此焊接。

- 还可以单独使用云母垫圈，或者包埋在突起的电极材料中；

- 还可以以压缩成折叠式形状的管的形式单独使用由耐热钢片或铝或铝-镍组成的非常细的金属垫圈作为封条，或者包埋在突起的电极材料中；

- 还可以在相同条件下使用具有密闭孔隙的金属泡沫；

- 最后，可以制造由电极材料和玻璃粉混合物组成的凸缘，否则使用包埋在凸缘电极材料中的致密陶瓷或者玻璃陶瓷垫圈。

为了改善图 3 或 9 中所示的边缘 4 的密封作用，可以：

- 通过包埋或者不包埋在电极中的方式在电极板的凸缘上安排云母条；

- 从电极材料与玻璃粉的混合物来制造边端；

- 在边缘上安排包埋在电极材料中的致密陶瓷或者玻璃陶瓷。

在图 1 到 4 所示的实施方案中，电解质和电极间的界面是平面的。气体分配通道的相同安排可以在如图 5 到 7 所示的电解质和电极间的界面被结构化的实施方案中制造。

图 5 从下到上表示：平面互连板 i；具有平面的前部端面但是在其背面具有形成气体循环通道的块的结构化阳极集流器层 cca；具有平面的背面但是在其前面具有带有块形式凸起区域的凸起结构的阳极支持层 csa。在该阳极支持层上沉积一系列薄层，即活性阳极层、电解质层、至少一个活性阴极以及可选地第二多孔阴极层，每个薄层的厚度大约为几个微米。因为所沉积层的总厚度与位于阳极支持层前面的块尺寸、高度和厚度相比是小的，所以沉积材料不会填充块间的空间，并且当在 PEN 的上部放置第二个平面互连板时，这些空间形成了气体循环通道。

图 6 表示根据本发明的 PEN 的另一个实施方案。它不同于图 5 所示的实施方案，其中阳极支持层由两个半层形成，使用下面所述的工序，每个半层在一个面上被结构化并且通过它们的光滑端面结合。在由此生产的阳极支持层的背面上可以沉积薄的阳极集流器层。在 csa

的前面沉积与图 5 所示实施方案中相同的层。

图 7 表示阳极支持层在其前面具有前部凸起结构的实施方案，在该层上沉积活性阳极层、电解质层和活性阴极层，每层由厚度为几个微米的薄层形成。在该实施方案中，多孔阴极层更厚并且在其设计用来与互连板 i 接触的背面上具有凸起结构，它由与所述互连板一起形成气体循环通道的块组成。应当指出在该实施方案中，阳极支持层前面的前部凸起结构与形成气体循环通道的阳极和阴极背面的块形式的凸起结构无关。阳极支持层前面的前部凸起结构仅设计用来增加工作面积，即电解质/电极界面的表面积的。因此，几何形状与背面的结构不同，特别是在凸起部分的大小方面，它比形成气体通道的块要小得多。阳极支持层的前面在这种情况下可以通过模压来微结构化。

因此，通过微模塑工艺可以生产微结构。该工序使之可以制造例如“西洋棋盘”结构的电解质/电极界面，包括宽度 L 的“高”方块和“低”方块，偏移量为高度 H。展开表面与投影表面间的比例附着 H/L 的比例增加。对于 $H=L$ 时，比例为 3；对于 $H=2L$ 时，比例为 5；对于 $H=3L$ 时，比例为 7；并且对于 $H=4L$ 时，比例为 9。在电解质/电极界面具有与图 8 中所示相似几何形状的情况中，比例大约为 3。

图 1 到 7 中所示凸起结构的制造通过下面的实施例来表示。

实施例 1: 制造用于气体通道的模型

在第一步中，生产“母”模型，它表示正的气体分配通道。该母模型可以通过微加工金属部分，例如通过电腐蚀来生产。还可以通过立体光刻工艺或者通过 UV LIGA 工序来生产，这些工艺在现有技术中是公知的。

在第二步中，液态橡胶(RTV-ME 622, Wacker Silicone)被浇铸到母模型中。在橡胶聚合后，后者从母模型中除去。因而获得用于气体分配通道的柔性负模型。

实施例 2: 通过聚合制造结构化的阳极集流器层

使用直径在 0.2 到 1.5 微米之间的氧化锆(8 YSZ)和氧化镍颗粒(相对于氧化锆重量 60%到 100%)来形成层。

打算形成阳极支持层的陶瓷粉末在聚电解质分散剂(Duramax D3005, Rohm and Haas Company)的帮助下被分散在水中。以相对于陶瓷粉末 8%到 15%重量的比例,向该分散液中添加双官能团的丙烯酸单体(SR 610, Sartomer, USA)。就在将分散液放入模型中之前,加入聚合反应引发剂,例如过硫酸铵和四亚甲基二胺,相对于丙烯酸单体的重量,每种引发剂的量为 0.5%重量。分散液被放在橡胶模型中、脱气,并且对着通过漏模造型和烧结事先获得的平滑的阳极支持层压模,阳极支持层的另一面已经负载着电解质层。在单体聚合后,除去橡胶模型。收集电流的结构现在是固态并且结合到底层上,形成气体分配通道。

实施例 3: 制造气体分配结构(变体)

工序与实施例 2 中的相同。聚合引发剂是二乙基三胺,其用量为相对于单体 5%的重量。

实施例 4: 通过胶凝制造结构化的阳极支持层

向实施例 2 的陶瓷粉末中加入 20%体积,长度为 100 微米且直径为 10 微米的 ZrO_2 纤维,并且在聚电解质分散剂(Duramax D3005, Rohm and Haas Company)的辅助下被分散在水中。以相对于水的质量 5%到 15%重量的量,向分散液中加入明胶(Gelatin Gelia, Stoess AG, Germany),分散液被加热到 50°C 的温度。一旦明胶已经溶解,分散液被倒入橡胶模型中。分散液被脱气,然后将橡胶模型放在先前已经被模塑和烧结的层的光滑面上。一旦分散液已经冷却到室温并且保持静置 24 小时,所述分散体凝结并且除去橡胶模型。凸起结构现在是固态并且结合到底层上。

实施例 5: 制造具有催化性质的结构化阳极集流器层

包含 45%重量 Ni 的 Ni-8YSZ 型陶瓷粉末用 10%体积包含 5%催化性 Ni 的 CeO_2 颗粒掺杂。在聚电解质分散剂(Duramax D3005, Rohm and Haas)的辅助下将混合物分散于水中。向加热的分散液中加入琼脂糖(琼脂糖 LMP 分析级, Promega USA)(相对于水的质量 5%到 15%的重量)。一旦琼脂糖已经溶解, 分散液被倒入橡胶模型中。此时, 分散液被脱气, 然后将橡胶模型放在平面电池(PEN)的阳极支持层上。一旦分散液已经冷却到室温, 所述分散体凝结并且除去橡胶模型。气体分配通道和电流集流器通道现在是固态并且附属(结合)到电池(PEN)上。

实施例 6: 制造具有催化性质的结构化阳极集流器层(变体)

在聚电解质分散剂(Duramax D3005, Rohm and Haas)的辅助下将实施例 5 的陶瓷粉末分散在水中。向加热的分散液中加入 cryogel 型明胶(Cryogel 220/240, PB Gelatins, Belgium)(相对于水的质量 5%到 15%的重量)。一旦明胶已经溶解, 分散液被倒入橡胶模型中。此时, 分散液被脱气, 然后将橡胶模型放在电池上。一旦分散液已经冷却到室温并且保持静置 24 小时, 所述分散体凝结并且除去橡胶模型。包含气体分配通道和电流集流器部分的结构化层现在是固态并且附属(结合)到电池(PEN)上。

实施例 7: 通过聚合来制造多孔阴极层

使用的材料可以是粒径在 0.2 到 1.5 微米之间的 LSM ($\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$)或者 LSC。

以每克陶瓷粉末 0.3 到 1 克的量, 将陶瓷粉末与液体环氧单体(Araldite DY-T, Vantico, Switzerland)混合。匀化后, 以相对环氧单体重量 25%重量的量向糊状物中引入固化剂(Aradur 21, Vantico, Switzerland), 并且混合物被再次匀化。糊状物被放入橡胶模型中并且在使糊状物脱气后, 后者被放到平面的且光滑的硅酮橡胶衬底上。在环氧交联后, 将所得的凸起结构从橡胶模型和硅酮衬底上剥离。在装

配电池组时, 该凸起结构被插到阴极和金属互连板之间。

实施例 8: 在互连板上制造具有催化性质的凸起结构

除了对着由钢片组成的互连板挤压包含糊状物或分散液的橡胶模型外, 操作程序与实施例 5 中相同。在糊状物或分散液固化后, 通过互连板产生原始状态的凸起结构。然后, 使该结构包含平面预烧结阳极的 PEN 接触, 并且在装配电池组时将整个结构置于电池的操作温度下(700 到 800°C)。

实施例 9: 使用临时模型制造凸起结构

由聚合物材料网格组成的无底模型被放在事先已经烧结的光滑的 PEN 上。在该模型上沉积与实施例 1 到 4 中相同的类型的液体或糊状分散液。使分散液渗过模型并且使用滚轴对着底层挤压。一旦已经形成凸起结构, 不需要除去网格, 因为当电池组第一次在高温下使用时, 所述的网格会烧掉。

实施例 10: 使用临时模型制造凸起结构(变体)

按照实施例 9 的开始程序, 但是在糊状物凝结前在临时网格上沉积金属互连板。在凝结后, 互连板和 PEN 通过凝胶而彼此结合。它们形成了电池组的一部分。网格将在高温操作时被毁坏掉。

实施例 11: 制造结构化电解质

根据实施例 1 到 4 的程序之一来制造包含氧化镍粉末(40%重量)和氧化锆粉末(8 YSZ)的糊状物或分散液。橡胶模型用分散液填充到 0.5 毫米的高度。一旦分散液已经固化, 将之从模型除去并构成原始状态的阳极支持层。在后者结构化的一面上沉积糊状物层, 它由氧化锆粉末(8 YSZ, $0.05 < D_{50} < 1$ 微米)、水、分散剂(Duramax D3005)和聚合物(Natrosol HEC MR, Aqualon, France)。该结构上糊状物层的厚度为 50 到 100 微米。在干燥了该糊状物后, 剩下的 8 氧化锆 YSZ 层

成为阳极支持层并且具有 3 到 15 微米的厚度。它构成电解质。由这种氧化锆薄层覆盖的阳极支持层被放到烘箱中并且在 1400℃ 的温度下烧结 4 小时。然后, 由 LSM 粉末($\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$, $0.05 < D_{50} < 2$ 微米)、水、分散剂(Duramax D3005)和聚合物(Natrosol HEC MR)组成的糊状物层被沉积到烧结后的电解质上。在这种结构上面的糊状物层的厚度为 50 到 100 微米。在干燥了后者之后, LSM 层成为电解质的结构并且具有 3 到 15 微米的残余厚度。整个结构被再次在 1200℃ 下烧结 2 小时。

实施例 12: 制造两面结构化的阳极支持层

两个橡胶模型用糊状形态的分散液填充到 0.2 到 1 毫米的高度。一旦两个分散液都固化了, 在未固化的分散液薄层已经被沉积在两面之后, 在表现出光滑的固化分散体的面上将两个橡胶模型结合到一起。当所有的分散液已经转变成固态时, 从两个橡胶模型中除去以原始状态形成的阳极支持层。然后, 使用前面实施例的程序沉积薄的电解质和薄的阴极。

实施例 13: 制造电池组

从可以处理的组件来生产 PEN, 组件包括活性阴极层、电解质层、活性阳极层和阳极支持层, 所有这些层是平面且光滑的。整个结构是直径为 120 毫米的盘状形态, 供应和排出气体的孔洞穿过其中。根据实施例 4 的程序, 向阳极面上添加阳极集流器层。根据实施例 7 的程序, 向阴极面添加多孔阴极层。如此生产的 20 到 40 个 PENs 被以交替的方式与具有相同孔洞的互连板堆叠, 并且该电池组被整合在 SOFC 系统的一个室中。

实施例 14: 制造电池组

根据实施例 12 的程序生产两侧都结构化的阳极支持层, 其前面被微结构化并且负载着电解质层和活性阴极层。根据实施例 7 的程序,

在活性阴极层的上方添加多孔阴极层。使用喷枪在阳极支持层的背面沉积阳极集流器层并且干燥。然后，按照实施例 13 来制造电池组。

根据本发明的电极端面的凸起结构已经通过平行六面体矩形形式的块状物表示在实施例和图形中。本领域的技术人员将很容易理解可以使用其它的形状 - 圆柱形、六棱柱形、锥形等 - 来实现相同的功能，即循环燃料、氧化气体并且增加电解质/电极界面的反应性表面积。

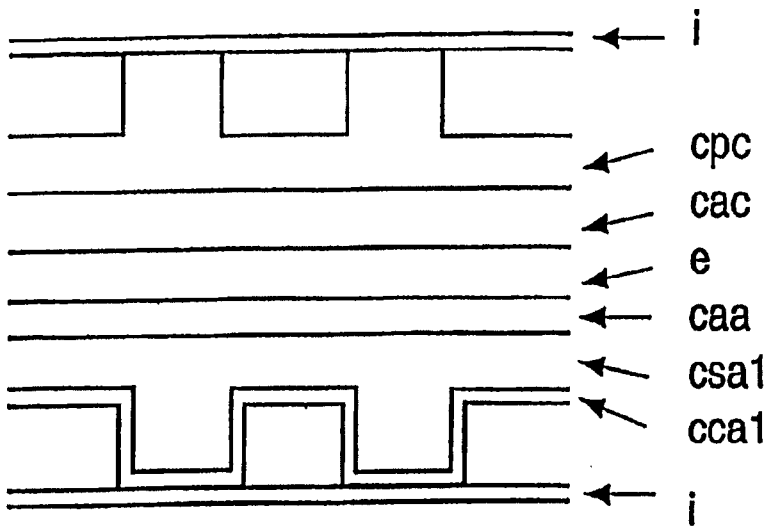


图 1

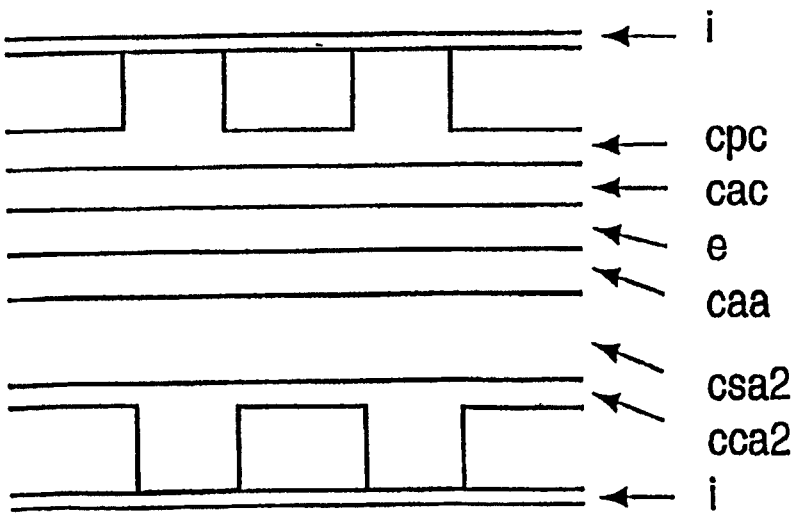


图 2

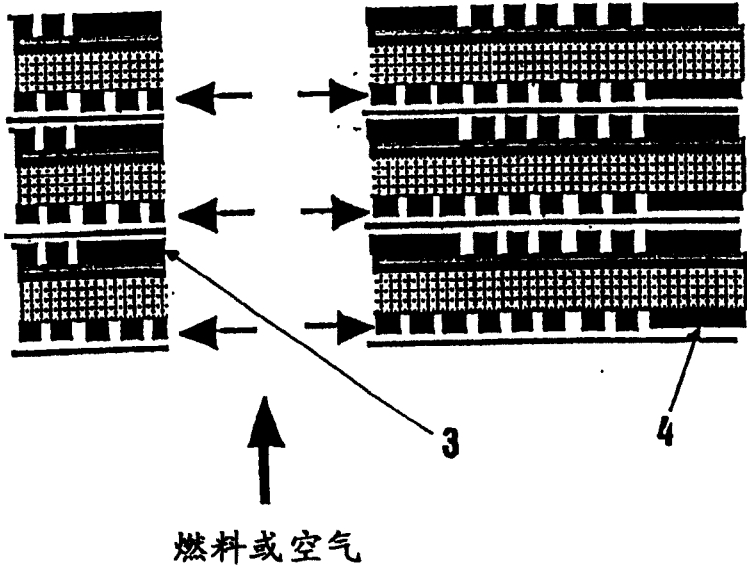
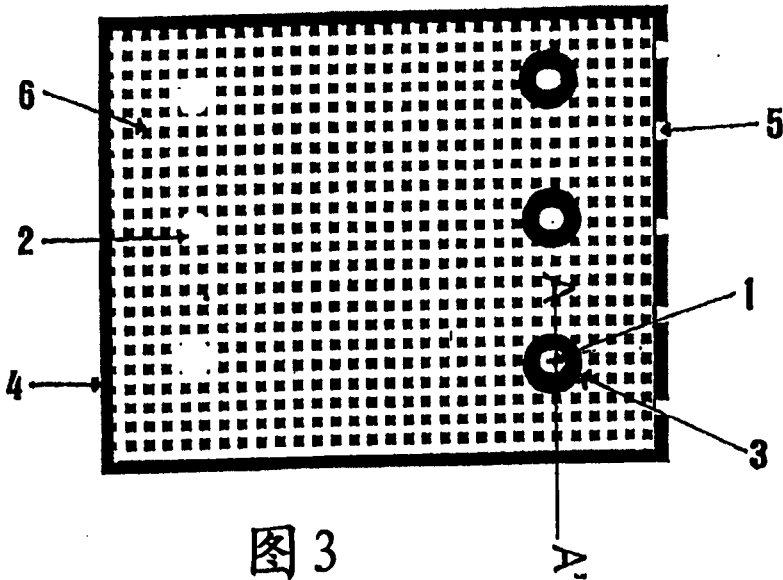


图 4

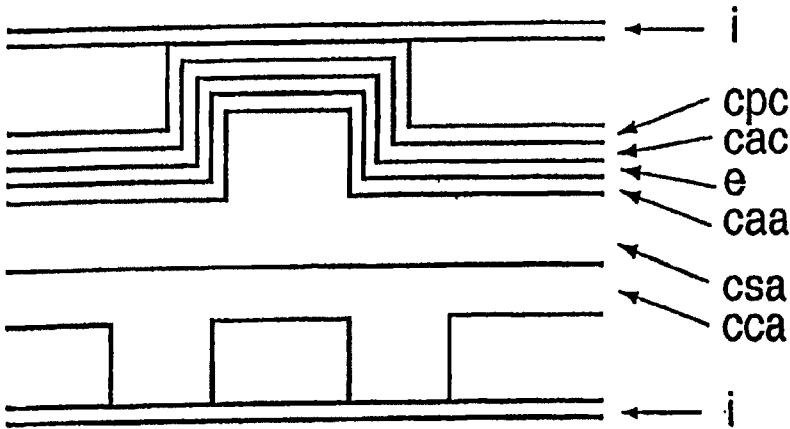


图5

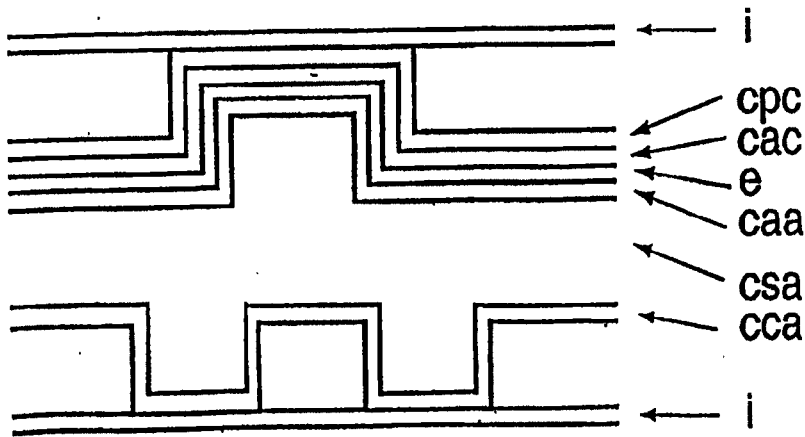


图6

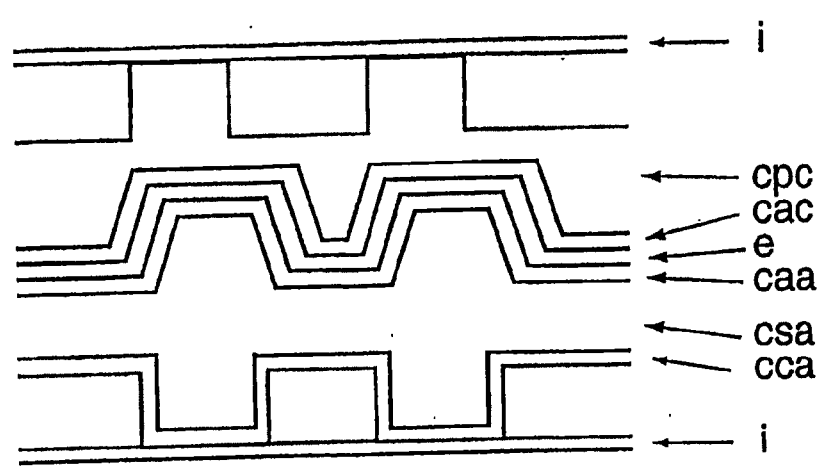


图 7

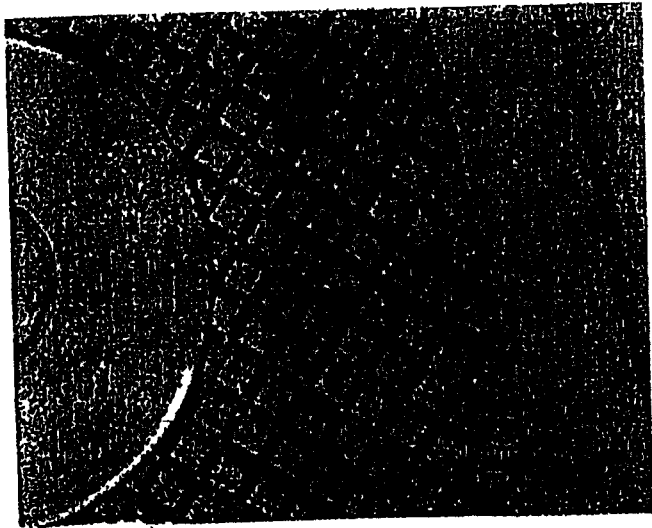


图 8

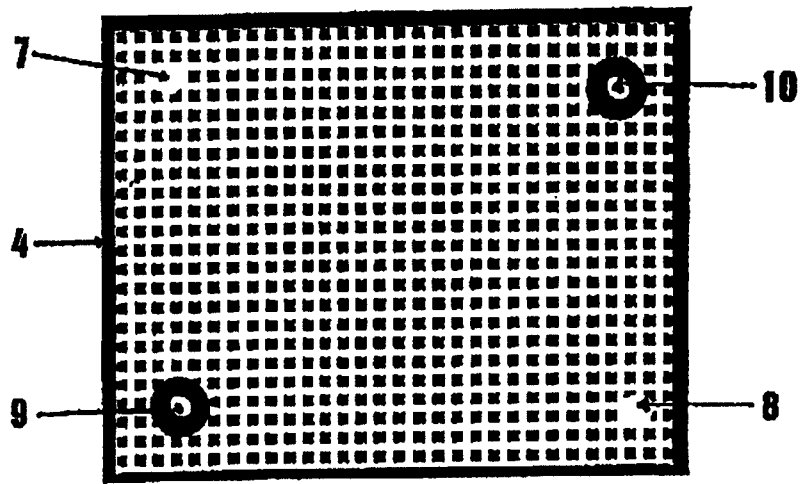


图 9