

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
F28D 15/00 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480043235.3

[43] 公开日 2007年5月9日

[11] 公开号 CN 1961191A

[22] 申请日 2004.10.1

[21] 申请号 200480043235.3

[30] 优先权

[32] 2004.4.21 [33] US [31] 10/829,104

[86] 国际申请 PCT/US2004/032156 2004.10.1

[87] 国际公布 WO2005/108897 英 2005.11.17

[85] 进入国家阶段日期 2006.12.4

[71] 申请人 热力公司

地址 美国特拉华州

[72] 发明人 约翰·H·罗森菲尔德

约翰·W·比尔斯基

詹姆斯·E·林德穆斯

唐纳德·M·恩斯特

[74] 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理有限公司

代理人 臧建明

权利要求书 7 页 说明书 16 页 附图 26 页

[54] 发明名称

传热设备及其制造方法

[57] 摘要

本发明涉及一种用于传热设备如热管的毛细结构(90)，包括多个颗粒，所述多个颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒(71)和具有第二直径的第二类颗粒(73)，所述第一类颗粒(71)和第二类颗粒(73)连接在一起组成具有均质层颗粒的毛细结构。

1、一种用于传热设备的毛细结构，包括：

多个颗粒，其包括第一类颗粒和第二类颗粒，所述多个颗粒通过一硬钎焊料连接在一起，以致所述硬钎焊料的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于均质层的所述毛细结构中。

2、根据权利要求1所述的用于传热设备的毛细结构，其中包括多个均质层。

3、根据权利要求1所述的用于传热设备的毛细结构，其中包括至少三个均质层。

4、根据权利要求1所述的用于传热设备的毛细结构，其中包括至少三类颗粒。

5、根据权利要求4所述的用于传热设备的毛细结构，其中包括至少三个均质层。

6、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述多个颗粒具有一第一熔化温度，所述硬钎焊料具有一低于所述第一熔化温度的第二熔化温度。

7、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述硬钎焊料包括重量约占65%的铜和35%的金颗粒，以致所述硬钎焊料的所述焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间产生一毛细通路网。

8、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述焊脚通过处于熔融状态时的所述硬钎焊料的毛细作用形成。

9、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述金属颗粒从由碳、钨、铜、铝、镁、镍、金、银、氧化铝和氧化铍构成的组中选取。

10、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述金属颗粒具有一从由球体、扁球体、扁长球体、椭圆体、多边形和丝状体构成的组中选取的形状。

11、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述金属颗粒包括熔点约

1083℃的铜球体和扁铜球体中至少其中之一。

12、根据权利要求6所述的毛细结构，其中所述的硬钎焊料包括重量占6%的一细碎铜/金硬钎焊料。

13、根据权利要求6所述的毛细结构，其中所述的硬钎焊料存在的范围为约2%至约10%。

14、根据权利要求6所述的毛细结构，其中所述金属颗粒包括铜粉，该铜粉包括尺寸范围从约20目到约200目的颗粒。

15、根据权利要求6所述的毛细结构，其中所述硬钎焊料颗粒包括约负325目。

16、根据权利要求1所述的毛细结构，其中作为所述硬钎焊料的组成部分的所述金属颗粒比所述金属颗粒的尺寸小。

17、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述的硬钎焊料从由镍基镍铬焊料合金、银/铜硬钎焊、锡/银、铅/锡和聚合物构成的组中选取。

18、根据权利要求1所述的毛细结构，其中所述的多个金属颗粒包括铝和镁，并且所述硬钎焊料包括一铝/镁金属间化合物合金。

19、一种用于热管的吸液芯，包括：

多个颗粒，其包括第一直径和第二直径，所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；其中所述第一直径的颗粒置于一第一大体均质的层中，所述第二直径的颗粒置于一第二大体均质的层中。

20、根据权利要求19所述的吸液芯，其中包括多个均质层。

21、一种热管，包括：

一具有内表面的密封壳体；

一置于所述壳体内的工作流体；以及

一置于所述内表面的吸液芯结构，所述吸液芯结构包括多个颗粒，其含有第一类颗粒和第二类颗粒，所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质

的层的所述吸液芯结构中。

22、一种用于传热设备的毛细结构，包括：

多个颗粒，其包括具有第一尺寸的第一类颗粒和具有第二尺寸的第二类颗粒，所述多个颗粒通过一硬钎焊料连接在一起，以致所述硬钎焊料的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层的所述毛细结构中，多个蒸汽出口被限定通过所述毛细结构。

23、根据权利要求 22 所述的毛细结构，其中所述蒸汽出口具有从由圆柱形、圆锥形、截头圆锥形、三角形、金字塔形、矩形、长菱形、五边形、六边形、八边形、多边形和曲边形构成的组中选取的截面轮廓。

24、一种用于传热设备的毛细结构，包括：

多个颗粒，其包括具有第一平均颗粒直径的第一类颗粒和具有第二平均颗粒直径的第二类颗粒，其中所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，而且其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层的所述毛细结构中；以及

多个盲孔被限定通过所述毛细结构，以致每个盲孔具有一包括一颗粒层的闭合端，所述颗粒层在至少一个维度上不大于所述第一类和所述第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径。

25、一种用于传热设备的毛细结构，包括：

多个颗粒，其包括具有第一颗粒直径的第一类颗粒和具有第二颗粒直径的第二类颗粒，其中所述多个颗粒在大体均质的层中连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，其中多个盲孔被限定通过颗粒的所述均质层，以致每个盲孔具有一包括一孔式吸液芯层的封闭端，该孔式吸液芯层在至少一个维度上不大于所述第一类和所述第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径。

26、一种热管，包括：

一密封并且部分抽空的壳体，该壳体具有内表面；

一吸液芯，置于至少一个所述内表面上，并且包括多个颗粒，所述多个颗粒包括具有第一尺寸的第一类颗粒和具有第二尺寸的第二类颗粒，所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层的吸液芯内；以及

一两相流体，其至少部分地置于一部分所述吸液芯内。

27、根据权利要求 26 的热管，其中包括分级大体均质的层。

28、根据权利要求 26 的热管，其中包括横向分级大体均质的层。

29、一种热管，包括：

一密封并且部分抽空的壳体，该壳体具有内表面；

一吸液芯，置于至少一个所述内表面上，并且包括多个颗粒，所述多个颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒，所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层的吸液芯内，而且其中多个盲孔被限定通过所述毛细结构，以致每个盲孔具有一包括一孔式吸液芯层的封闭端，所述孔式吸液芯层在至少一个维度上不大于所述第一类和所述第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径；以及

一两相流体，其至少部分地置于一部分所述吸液芯内。

30、根据权利要求 29 所述的热管，其中在每个所述盲孔的封闭端的所述孔式吸液芯层包括所述第一类颗粒。

31、根据权利要求 29 所述的热管，其中在每个所述盲孔的封闭端的所述孔式吸液芯层包括所述第二类颗粒。

32、根据权利要求 29 所述的热管，其中包括多个由所述第一类颗粒和所述第二类颗粒的那些部分形成的均质层，所述第一类颗粒和所述第二类颗粒的那些部分被置于围绕所述多个盲孔的每个的封闭端的所述孔式吸液芯层。

33、根据权利要求 29 所述的热管，其中包括由所述第一类颗粒和所述第

二类颗粒的那些部分形成的至少三个均质层，所述第一类颗粒和所述第二类颗粒的那些部分被置于围绕所述多个盲孔的每个的封闭端的孔式吸液芯层。

34、一种热管，包括：

一密封并且部分抽空的壳体，该壳体具有内表面；

一吸液芯，置于至少一个所述内表面上，并且包括多个颗粒，所述多个颗粒包括具有第一尺寸的第一类颗粒和具有第二尺寸的第二类颗粒，所述多个颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于分级大体均质的层的所述吸液芯内，而且其中至少一个蒸汽出口被限定通过所述吸液芯；以及

一两相流体，其至少部分地置于一部分所述吸液芯内。

35、一种热管，其中包括一密封的并且部分抽空的管状壳体，该管状壳体具有一被一硬钎焊吸液芯覆盖的内表面，所述硬钎焊吸液芯包括多个铜颗粒，所述多个铜颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒，并且通过包括约 65% 重量的铜和 35% 重量的金的硬钎焊料连接在一起，以致所述硬钎焊料的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层的所述吸液芯中；以及

一置于所述管状壳体中的工作流体。

36、根据权利要求 35 所述的热管，其中所述金属颗粒从由碳、钨、铜、铝、镁、镍、金、银、氧化铝和氧化铍构成的组中选取。

37、根据权利要求 36 所述的热管，其中所述金属颗粒具有一从由球体、扁球体、扁长球体、多边形和丝状体构成的组中选取的形状。

38、一种热管，其中包括一密封的并且部分抽空的管状壳体，该管状壳体具有被一硬钎焊吸液芯覆盖的一内表面，所述硬钎焊吸液芯包括多个铜颗粒，所述多个铜颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒，并且通过包括约占 65% 重量的铜和 35% 重量的金的硬钎焊料连接在

一起，以致所述硬钎焊料的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网，其中所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于多个大体均质的层的所述吸液芯中，并且包括被限定通过所述吸液芯的多个蒸汽出口；以及

一置于所述管状壳体中的工作流体。

39、一种热管，包括：

一密封的并且部分抽空的壳体，其具有一内表面；

一置于所述内表面上的吸液芯，其包括多个烧结颗粒，所述多个烧结颗粒包括第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒，其中所述第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒均置于大体均质的层的所述吸液芯内；以及

一置于所述壳体内的工作流体。

40、一种热管，包括：

一密封的并且部分抽空的壳体，其具有一内表面；

一置于所述内表面上的吸液芯，其包括多个烧结颗粒，所述多个烧结颗粒包括第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒，其中所述第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒均置于大体均质的层的所述吸液芯内，而且包括被限定通过部分所述吸液芯的至少一个蒸汽出口；以及

一置于所述壳体内的工作流体。

41、一种热管，包括：

一密封的并且部分抽空的管状壳体，该管状壳体密封于第一端部，且具有被一硬钎焊吸液芯覆盖的一内表面，该硬钎焊吸液芯包括多个颗粒，所述多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒，所述第一类和所述第二类颗粒通过硬钎焊料连接在一起，以致所述硬钎焊料的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；

一底部，密封固定于所述壳体的第二端部，以便在所述壳体内形成一内表面，其中所述吸液芯形成于包括所述第一类颗粒和所述第二类颗粒的所述

底部上，所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均置于大体均质的层内的所述吸液芯中；

一置于所述壳体内的工作流体；以及

至少一散热片，其从所述管状壳体外表面径向向外伸出。

42、一种热管，包括：

一密封的并且部分抽空的管状壳体，该管状壳体密封于第一端部，且具有被硬钎焊吸液芯覆盖的一内表面，该硬钎焊吸液芯包括多个颗粒，所述多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒，所述第一类和所述第二类颗粒连接在一起，从而在所述颗粒间形成一毛细通路网；

一底部，密封固定于所述壳体的第二端部，以便在所述壳体内形成一内表面，其中所述吸液芯形成于包括所述第一类颗粒和所述第二类颗粒的所述底部上，所述第一类颗粒和所述第二类颗粒均被置于大体均质的层内的吸液芯中，而且包括被限定通过一部分所述吸液芯的至少一个蒸汽出口；

一置于所述壳体内的工作流体；以及

至少一散热片，其从所述管状壳体外表面径向向外伸出。



## 传热设备及其制造方法

本申请是2003年6月26日提出的10/607,337号申请的部分继续申请。

### 技术领域

本发明主要涉及以毛细作用作为传递机制的传热设备，尤其是用于这样的设备的吸液芯材料。

### 背景技术

计算机被认为是一种发热机，从数据中提取熵，并将熵转换成热，再将热散发到环境中。将废热从半导体电路中取出并散发到环境中的现有热处理技术的能力，以适当的代价，限制了电子系统的密度和时钟速度。

用于电子系统的传热设备的典型特点是，大气是最终选择的散热器。空气冷却提供制造商获得最广阔的应用市场的机会。当前，用于电子仪器的传热设备的另一典型特点是半导体芯片与被动传热器或主动传热设备热接触，其将热量从芯片传输到几种散热片中的一种。这些散热片通过自然或被动对流将热传递到大气中。

由于半导体设备需要散发的能量随时间增加，一个问题产生了：随着时间的过去，可用材料的导热性变得太低，而不能以可接受地低的温降将半导体设备的热输送到散热片。半导体设备产生的热功率密度将非常高，以至于基于铜、银或甚至金的传热技术都不足以胜任。

一种已证实对散热效果有益的技术，就是热管技术。一热管包括一密封壳体和一工作流体，该密封壳体限定了一包括毛细吸液芯的内腔，工作流体在合乎需要的工作温度范围内具有液气二相。当一部分腔处于相对高温时，

它就作为蒸发器部分。工作流体在蒸发器部分蒸发引起轻微的压力增加，迫使蒸汽向腔的相对低温部分移动，该低温部分作为冷凝器部分。蒸汽在冷凝器部分中冷凝，并通过毛细泵作用经过毛细吸液芯回到蒸发器部分。由于热管是以相变原理而非传导或对流原理工作，理论上热管的传热速率应比传统的传热系统高得多。因此，热管被用于冷却不同类型的高产热装置，如电子设备（见美国专利号 3,613,778; 4,046,190; 4,058,299; 4,109,709; 4,116,266; 4,118,756; 4,186,796; 4,231,423; 4,274,479; 4,366,526; 4,503,483; 4,697,205; 4,777,561; 4,880,052; 4,912,548; 4,921,041; 4,931,905; 4,982,274; 5,219,020; 5,253,702; 5,268,812; 5,283,729; 5,331,510; 5,333,470; 5,349,237; 5,409,055; 5,880,524; 5,884,693; 5,890,371; 6,055,297; 6,076,595 和 6,148,906）。

由于热管内自然出现的压力差的相互作用而产生的压力梯度导致了系统中的蒸汽流动和液体的毛细流动。该压力梯度使系统液体不再需要外部泵作用。另外，在真空条件下，平衡的液体与蒸气的存在导致更高的热效率。为提高热管效率，现有技术已经开发了多种吸液芯结构，以促进冷凝器和蒸发器部分之间流体移动，以及加强吸液芯与其周围之间的传热性能。它们包括在内管表面纵向排列的平行凹槽和任意划痕。另外，现有技术也公开了固定于内管壁的吸液芯结构的使用。这些吸液芯的组成和几何结构包括均匀的细金属丝网和烧结的金属。烧结的金属吸液芯通常包括金属颗粒混合物，该金属颗粒混合物已经被加热到能够引起邻近颗粒在各自接触点熔融或焊接的温度。然后，烧结的金属粉末形成具有毛细特征的多孔结构。尽管现有技术中烧结的吸液芯已证实具有足够的传热特性，但颗粒间微小的金属-金属熔合点往往减小了通过吸液芯的热能传导，这限制了本领域中烧结吸液芯的有效性。

现有技术的设备，尽管能够实现它们预期的目的，但具有共同的缺陷，原因在于它们没有充分实现给定热管可利用的最佳固有传热潜力。到目前为

止，没有人能够设计出一种用于热管的吸液芯结构，该结构能足够简单地制造，并提供利用其的热管最佳的传热特性。

## 发明内容

本发明提供一种用于传热设备的毛细结构，包括：含有第一类颗粒和第二类颗粒的多个颗粒，所述多个颗粒通过一硬钎焊（brazing）料连接在一起，以致所述钎焊混合物的焊脚形成于所述多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均置于均质层的毛细结构内。

在一个可选实施例中，提供了一种用于热管的吸液芯，该吸液芯包括：含有第一直径和第二直径的多个颗粒。多个颗粒通过，例如烧结或硬钎焊，被连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一直径的颗粒设在第一均质层中，第二直径的颗粒设在第二均质层中，从而提高了吸液芯的传热特性。

在另一个可选实施例中，提供了一种热管，该热管包括：一具有内表面的密封壳体和一置于所述壳体内的工作流体。吸液芯结构置于内表面，该吸液芯结构包括多个颗粒，该多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒。多个颗粒通过硬钎焊料连接在一起，以致硬钎焊料的焊脚形成于多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均设在均质层的吸液芯结构中。

在又一个实施例中，提供了一种用于传热设备的毛细结构，该毛细结构包括：含有第一类颗粒和第二类颗粒的多个颗粒。多个颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均设在均质层的毛细结构中，并且多个蒸汽出口被限定通过该毛细结构。

在再一个实施例中，提供了一种用于传热设备的毛细结构，该毛细结构包括：含有具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒的多个

颗粒。多个颗粒通过硬钎焊料连接在一起，以致硬钎焊料的焊脚形成于多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成毛细通路网。多个盲孔被限定通过所述毛细结构，以致每个盲孔具有被颗粒层限定的闭合端，该颗粒层在至少一个维度上不大于第一类和第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径。

在另一个实施例中，提供了一种用于传热设备的毛细结构，该毛细结构包括：含有具有第一颗粒直径的第一类颗粒和具有第二颗粒直径的第二类颗粒的多个颗粒。该多个颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。多个盲孔被限定通过毛细结构，以致每个盲孔具有包括颗粒层的封闭端，该颗粒层在至少一个维度上不大于所述第一类和第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径。

在又一个实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一具有内表面的密封并且部分抽空的壳体中。吸液芯置于至少一个内表面上，并且包括多个颗粒，该多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒。多个颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均置于均质层的吸液芯内。一两相流体至少部分地置于一部分吸液芯内。

在再一个实施例中，提供了一种热管，该热管通过一具有内表面的密封并且部分抽空的壳体形成。吸液芯置于至少一个内表面上，并且包括多个颗粒，该多个颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒。多个颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均置于均质层的吸液芯内，并且多个盲孔被限定通过该毛细结构，以致每个盲孔具有包括颗粒层的封闭端，该颗粒层在至少一个维度上不大于所述第一类和第二类颗粒中至少其中之一的约 6 个平均颗粒直径。一两相流体至少部分地置于一部分吸液芯内。

在一个可选实施例中，提供了一种热管，该热管通过一具有内表面的密封的并且部分抽空的壳体形成。吸液芯置于至少一个内表面上，并且包括多

个颗粒，该多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒。多个颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均设在均质层的吸液芯内，并且至少一个蒸汽出口被限定通过该吸液芯。一两相流体至少部分地置于一部分吸液芯内。

在另一个可选实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一密封并且部分抽空的管状壳体中，该管状壳体具有一被硬钎焊（brazed）吸液芯覆盖的内表面。硬钎焊吸液芯包括多个铜颗粒，该多个铜颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒。颗粒通过重量约占 65% 的铜和 35% 的金硬钎焊料连接在一起，以致硬钎焊料的焊脚形成于多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均设在均质层的吸液芯中。工作流体置于管状壳体内以实现热管的功能。

在又一个实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一密封并且部分抽空的管状壳体中，该管状壳体具有一被硬钎焊吸液芯覆盖的内表面。硬钎焊吸液芯包括多个铜颗粒，该多个铜颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒。颗粒通过重量约占 65% 的铜和 35% 的金硬钎焊料连接在一起，以致硬钎焊料的焊脚形成于多个颗粒的相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成一毛细通路网。第一类颗粒和第二类颗粒均设在均质层的吸液芯中，多个蒸汽出口被限定通过该吸液芯。工作流体置于管状壳体内以实现热管的功能。

在另一个实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一具有一内表面的密封并且部分抽空的壳体中。吸液芯置于包括多个颗粒的内表面上，多个颗粒包括第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒。第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒均置于均质层的吸液芯内，并且工作流体置于管状壳体内以实现热管的功能。

在再一个可选实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一具有一内表面的密封且部分抽空的壳体中。吸液芯置于包括多个颗粒的内表面上，该多

个颗粒包括第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒。第一类颗粒、第二类颗粒和第三类颗粒均置于均质层的吸液芯内。至少一个蒸汽出口被限定通过吸液芯的一部分，并且工作流体置于管状壳体内以实现热管的功能。

在一个附加的实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一密封并且部分抽空的管状壳体中，该管状壳体具有被硬钎焊吸液芯覆盖的内表面。硬钎焊吸液芯包括多个颗粒，该多个颗粒包括具有第一直径的第一类颗粒和具有第二直径的第二类颗粒。第一类颗粒和第二类颗粒通过硬钎焊料连接在一起，以致硬钎焊料的焊脚形成于相邻颗粒之间，从而在颗粒间形成一毛细通路网。壳体在第一端部封闭，一底部密封固定于壳体的第二端部，以便在壳体内形成内表面。吸液芯形成于底部，使得吸液芯包括设置在均质层的吸液芯内的第一类颗粒和第二类颗粒。工作流体置于壳体内，并且至少一散热片从管状壳体外表面径向向外伸出。

在另一个实施例中，提供了一种热管，该热管形成于一密封并且部分抽空的管状壳体中，该管状壳体具有被吸液芯覆盖的内表面。吸液芯包括多个颗粒，该多个颗粒包括第一类颗粒和第二类颗粒。第一类颗粒和第二类颗粒连接在一起，从而在颗粒间形成一毛细通路网。壳体在第一端部封闭，一底部密封固定于壳体的第二端部，以便在壳体内形成内表面。吸液芯形成于底部，并且该吸液芯包括设置在均质层的吸液芯内的第一类颗粒和第二类颗粒，至少一个蒸汽出口被限定通过该吸液芯的一部分。工作液体置于壳体内，并且至少一散热片从管状壳体外表面径向向外伸出。

## 附图说明

本发明的这些和其它特征和优点将通过以下对本发明优选实施例的详细描述连同附图，更充分地公开或明显呈现，附图中同一标号指的是同一部件，此外其中：

图1是与本发明有关的使用类型的典型热管壳体的分解透视图；

图 2 是图 1 所示热管壳体的透视图；

图 3 是图 2 所示热管的剖视图；

图 4 是根据本发明一实施例形成的一部分硬钎焊吸液芯的放大的剖视图；

图 5 是被高度放大以清楚显示构成本发明一实施例的金属颗粒和焊脚的断开的透视图；

图 6 与图 5 类似，是根据本发明形成的硬钎焊吸液芯的一可选实施例的高度放大图；

图 7 是具有本发明硬钎焊吸液芯可选实施例的热管壳体的分解透视图；

图 8 是图 7 中沿 8-8 线的剖视图；

图 9 是本发明形成的热管壳体的另一可选实施例；

图 10 是图 9 所示管式热管壳体沿图 9 中 10-10 线的剖视图；

图 11 是置于图 10 所示热管壁的部分硬钎焊吸液芯的高度放大图；

图 12 是具有根据本发明形成的硬钎焊吸液芯的塔式热管的透视剖视图；

图 13 是覆盖图 12 所示塔式热管前表面的硬钎焊吸液芯的高度放大表面图；

图 14 是具有根据本发明形成的槽式底部吸液芯的塔式热管的一可选实施例；

图 15 是根据本发明形成的硬钎焊吸液芯的高度放大表面图；

图 16 是图 7、8 和 14 所示槽式吸液芯的断开剖视图；

图 17 是图 7、8、14 和 16 所示槽式钎焊吸液芯部分的高度放大剖视图；

图 18 是用于制造本发明槽式硬钎焊吸液芯的心轴的端视图；

图 19 是具有根据本发明在吸液芯结构中形成的蒸汽出口的塔式热管的另一可选实施例；

图 20-30 包括一组具有根据本发明形成的蒸汽出口的多种可能的吸液芯结构的顶部正面图和截面透视图；

图 31 是包括具有根据本发明形成的蒸汽出口的吸液芯结构的热管换热器

的分解透视图；

图 32 是图 31 所示热管换热器装配后透视图；

图 33 - 35 是可用于根据本发明形成的吸液芯结构的其他不同样式蒸汽出口的顶部正视图；

图 36 是具有根据本发明形成的分级硬钎焊吸液芯的吸液芯结构的一可选实施例的断开剖视图；

图 37 是类似于图 36 的显示分级烧结吸液芯结构的断开剖视图；

图 38 是一种可选分级吸液芯结构的断开剖视图；

图 39 是包括多个柱状颗粒的吸液芯结构的断开剖视图；

图 40 是包括横向分级吸液芯结构的吸液芯结构另一可选实施例的断开剖视图；

图 41 是分级移液芯结构另一可选实施例的断开截面透视图；

图 42 - 43 是具有多层分级吸液芯结构的热管换热器的一部分的断开剖视图；

图 44 - 51 是一组具有根据本发明形成的蒸汽出口的各种可能的吸液芯结构的顶部正视图和透视剖视图。

## 具体实施方式

优选实施方式的说明应配合附图理解，附图也被认为是本发明整个书面的说明书的一部分。附图并不必要成比例，而且本发明中的某些特征可能在比例上或有些示意形式上出于清楚和简要的目的而有些夸大。在本说明书中，相关词汇如“水平的”、“垂直的”、“向上的”、“向下的”、“顶部”和“底部”及其派生词汇（如：“水平地”、“向下地”、“向上地”等等）在讨论中应参照随后的说明或附图所示的方向而解释。这些相关词汇是为了方便说明，并且通常不规定要求精确的方向。包括“内部地”对应“外部地”，“纵向的”对应“横向的”，以及类似的表达，被适当地解释为相对于彼此，



或相对于一延长轴，或旋转中心或旋转轴。有关附设、接合和类似关系的词汇，诸如“连接”和“互相连接”，除非用其它方式表达，否则所指为一种关系，该关系中的结构是彼此之间直接或通过中间结构间接紧固或附设的，以及两个可移动或刚性的附设或关系。词汇“有效地连接”是如此一种附设、接合或连接，允许相关结构依靠这种关系而如所预期的那样运转。在权利要求书中，装置+功能条款规定为涵盖书面说明书或附图所描述、暗示或使显而易见的结构以实施书面所陈述的功能，不仅包括结构等同物，还包括等同结构。

参见图 1-6，本发明包括一用于热管或传热器 2 的吸液芯结构，热管或传热器 2 在下文简称为热管。这种热管 2 常是一定尺寸和形状的用于传递和/或散发由至少一热源如半导体设备（未示出）产生的热能，也就是在一部分热管和散热器（未示出）之间热接合。热管 2 通常包括密封的壳体，例如平直中空板状结构（图 2）或管式结构（图 9、12、14 和 19）。不考虑外部轮廓，每一个壳体结构限定了一蒸发器部分 5，一冷凝器部分 7，和一内部空隙空间或蒸汽空间 10（图 3）。例如在一平面矩形热管 2 中，蒸汽空间 10 被限定在底壁 12 和顶壁 14 之间。在一管式或塔式热管 2 中，蒸汽空间 10 从管的一端向另一端纵向延伸（图 9、12、14 和 19）。

在一个线性壳体的优选实例中，底壁 12 和顶壁 14 包括基本均匀厚度的热传导材料片，如铜，钢，铝，或它们各自的合金之一，并且间隔隔开约 2.0（mm）到约 4.0（mm）以在热管 2 内形成蒸汽空间 10。热管 2 的顶壁 14 通常大体是平的，并且形状与底壁 12 是互补的。底壁 12 优选包括一基本平坦的内表面 18 和一外围边缘壁 20。外围边缘壁 20 从内表面 18 的外围边缘向外突出以围绕内表面 18。通过底壁 12 和顶壁 14 的连接，沿随后在它们的接合面 24 密封的共同边缘，在热管 2 内创建蒸发室 10。可蒸发流体（如水、氨水或氟里昂，未示出）置于蒸汽空间 10 中，作为热管 2 的工作流体。例如，热管 2 可以由铜或铜碳化硅（copper silicon carbide）制成，并且通常选

择水、氨水或氟里昂作为工作流体。在最后密封注入工作流体的填充管之前，注入工作流体之后，通过在蒸汽腔内抽出一部分真空，热管 2 就完成了。

参见图 3-6，为了使热管操作在热管 2 的壳体内开始，必须在蒸汽空间 10 中设置一毛细结构，它将冷凝器部分 7 的冷凝流体抽回到蒸发器部分，基本不借助于重力作用。本发明的一具体实施例中，硬钎焊吸液芯 25 位于限定蒸汽空间 10 边界的内表面 18 上。硬钎焊吸液芯 25 包括与填料金属或金属混合物结合的多个金属颗粒 27，该填料金属或金属混合物通常称为“硬钎焊 (brazing)”或硬钎焊料 30。可以理解的是，“硬钎焊”是指用热和填充金属如硬钎焊料 30 连接金属。硬钎焊料 30 极通常包含一熔化温度，该熔化温度高于  $450^{\circ}\text{C}$ - $1000^{\circ}\text{C}$  但低于将被连接以形成硬钎焊吸液芯 25 的金属颗粒 27 的熔点。

通常，要形成本发明的硬钎焊吸液芯 25，需要多个金属颗粒 27 和硬钎焊料 30 一起加热到硬钎焊温度使硬钎焊料 30 熔融，但多个金属颗粒 27 并不熔融。值得注意的是，在硬钎焊过程中，金属颗粒 27 不会像烧结时一样熔合在一起，而是通过再固化硬钎焊料焊脚 (图 5 和 6 中附图标记 33 所示) 的建立在硬钎焊料 30 和相邻金属颗粒 27 表面间形成冶金接合而连接在一起。有利的是，硬钎焊料 30 被吸引穿过金属颗粒 27 的多孔混合物形成焊脚 33 的原理是“毛细作用”，即多孔材料空间内的流体运动是由流体表面分子互相的固有引力引起的。因此，当硬钎焊料 30 熔融，熔融的硬钎焊金属分子互相吸引，同时熔融硬钎焊和单个金属颗粒 27 表面间的表面张力易于将熔融硬钎焊引到每个相邻金属颗粒 27 互相接触的位置。当熔融硬钎焊金属再凝固，焊脚 33 在每一这种位置处形成。

本发明中，相对于如烧结或熔融技术，硬钎焊料 30 和焊脚 33 产生了更高导热性的吸液芯。这种更高导热性的吸液芯直接改善其所形成于的传热设备如热管、环形热管等的导热能力。依据蒸发器 5 所遵从的热流原理，会发现硬钎焊吸液芯 25 的导率的增加处于与吸液芯材料的热导率成正比和其平

方根之间。重要的是，硬钎焊料 30 的具体成份必须是经过选择的，以免引起构成热管 2 的材料体系化学不相容。

金属颗粒 27 可选择任何高导热性金属，其适合于被制成硬钎焊多孔结构，如碳、钨、铜、铝、镁、镍、金、银、氧化铝、氧化铍或类似物，也可以包括任一基本球状、扁圆或扁长的球状体、椭圆体或更不适宜的任意的或规则的多边形或不同截面形状的丝状粒子。例如，当金属颗粒 27 由熔点约 1083℃ 的铜球体（图 5）或扁球体（图 6）形成，热管 2 的整体吸液芯硬钎焊温度约为 1000℃。通过改变金属颗粒 27 混合物中硬钎焊料 30 的百分比，或硬钎焊料 30 使用更“惰性的”合金，就可以在金属颗粒 27 和焊脚 33 之间提供宽范围的导热特性。

例如，在铜/水热管中，任意比率的铜/金硬钎焊都可使用，尽管具有更多金的硬钎焊更昂贵。作为硬钎焊料 30 令人满意的组合被发现是重量约占 6% 的细碎的（-325 目）65%/35% 的铜/金硬钎焊料，与铜粉（金属颗粒 27）充分混合。多一些或少一些硬钎焊是可能的，尽管硬钎焊过少会对硬钎焊吸液芯 25 的导热性有小的影响，过多硬钎焊又会开始用固化的硬钎焊金属填充吸液芯孔。所发现的最佳范围是约 2% 和约 10% 之间的硬钎焊料，取决于使用的硬钎焊配方。当采用铜粉作为金属颗粒 27 时，优选的颗粒形状为球状或类球状。金属颗粒 27 通常应该比约 200 目粗，但比约 20 目细。细吸液芯粉状颗粒经常需要用更细的硬钎焊粉状颗粒。硬钎焊料 30 的硬钎焊粉在尺寸上应是金属颗粒 27 的几分之一，以便制成具有均一特性的均一硬钎焊吸液芯 25。

其它硬钎焊也可以用于硬钎焊铜吸液芯，包括镍基镍铬焊料合金（nickel-based Microbrazes）、银/铜硬钎焊、锡/银、铅/锡，甚至聚合物。本发明也不仅限于铜/水热管。例如，通过使用铝/镁金属间化合物合金作为硬钎焊来制造铝和镁多孔硬钎焊吸液芯。

硬钎焊料 30 通常应该充分地分布于每个金属颗粒表面。硬钎焊料 30 的这种分布可通过将硬钎焊料 30 与有机液体粘合剂如乙基纤维素混合来实现，这在每一金属颗粒 27 表面（即每一金属球体或椭圆体表面）产生了用于硬钎焊料 30 粘着的粘性。本发明一具体实施例中，1/10 和 2/10 克重的铜粉（金属颗粒 27）与从滴管滴下的两滴有机液体粘合剂如甲基丙烯酸异丁酯漆

（ISOBUTYL METHACRYLATE LACQUER）混合，以便在金属颗粒 27 表面（即每一金属球体或椭圆体表面）产生粘性来使硬钎焊料 30 粘着。细碎的（如 - 325 目）硬钎焊料 30 混合进覆盖铜粉颗粒的液体粘合剂，并彻底风干。约 0.072 克，重量约占 6% 的铜/金比率为 65%/35% 的铜/金硬钎焊料，已发现能达到足够的效果。前述金属颗粒 27 和硬钎焊料 30 的混合物涂于热管 2 的内表面，例如底壁 12 的内表面 18，并被均匀加热以便通过加热金属颗粒 27 使硬钎焊料 30 熔融。由于毛细作用被吸引的熔融硬钎焊料 30 当在金属颗粒 27 混合物内固化时形成焊脚 33。例如，在约 1020°C 真空焊接或氢焊 2 至 8 分钟，优选约 5 分钟，已发现能在硬钎焊吸液芯内提供有足够的焊脚构成。至少为  $10^{-5}$  托或更低的真空度是足够的，并且如果用氢熔炉则必须采用湿氢。在一实施例中，该装配在 1020°C，真空度约  $5 \times 10^{-5}$  托或更低情况下，真空点燃 5 分钟。

参见图 7、8、14 和 16-17，槽式硬钎焊吸液芯结构 38 也能由与硬钎焊料 30 结合的金属颗粒 27 方便地形成。特别是，将心轴 40（图 18）用于制造槽式吸液芯结构 38，该心轴包括多个由平行的凹槽 47 间隔分开的平行槽脊 45。心轴 40 的槽脊 45 形成成品硬钎焊槽式吸液芯结构 38 的凹槽 50，并且心轴 40 的凹槽 47 形成完成的硬钎焊槽式吸液芯结构 38 的槽脊 52。每一槽脊 52 都是一有斜侧壁 54a, 54b 的倒置的大体“V”形或金字塔形突出，并与相邻的槽脊间隔隔开。凹槽 50 将槽脊 52 分开，并且成基本平行的纵向（或横向）排列，至少通过蒸发器部分 5 延伸。凹槽 50 末端部分，邻近如外围边缘壁 20，可以不被另外的多孔结构限制。在一实施例中，相对薄的硬钎焊金属颗粒层沉积在底壁 12 的内表面 18 上，以便在每一凹槽 50 的底部以及间隔

隔开的槽脊 52 之间形成槽式吸液芯 55。例如，硬钎焊铜粉颗粒 27 沉积在槽脊 52 之间，当沉积遍及底壁 12 的内表面 18 和槽脊 52 的倾斜侧壁 54a、54b 之间时，槽式吸液芯 55 包括约为一个到六个平均铜颗粒直径的平均厚度（约 0.005mm 至 0.5mm，优选范围从约 0.05mm 至约 0.25mm）。有利地，在槽式吸液芯 55 中的金属颗粒 27 通过多个焊脚 33（图 17）以热和机械的方式互相连接。当形成槽式硬钎焊吸液芯结构 38 时，底壁 12 的内表面 18（通常为铜表面）被轻轻涂上一层有机粘合剂甲基丙烯酸异丁酯漆，并在表面“喷洒涂覆”铜/金比率为 65%/35% 的硬钎焊料，并将多余部分抖落。在 1.250 和 1.300 克之间（通常约 1.272 克）的硬钎焊覆盖的铜粉 27 置于硬钎焊覆盖的铜表面，心轴 40 预先放在顶部以形成槽式硬钎焊吸液芯结构 38。

值得注意的是，形成足够薄的槽式吸液芯 55，以致导热率  $\Delta T$  足够小以防止在底壁 12 的内表面 18 和形成吸液芯的硬钎焊粉末间开始沸腾。焊脚 33 的形成更进一步增强了槽式吸液芯 55 的导热性。槽式吸液芯 55 是非常薄的吸液芯结构，通过隔开的槽脊 52 注入液体，该隔开的槽脊 52 提供必需的横截面积以维持有效的工作流体流动。当槽式吸液芯 55 在槽脊 52 之间构成可能（被毛细作用的局限性限制）的最大平面区域时，其在横截面上构成了一最优设计。该区域应具有，举例来说，仅 1 至 6 个铜粉颗粒的厚度。更薄的槽式吸液芯 55 在实际生产限制下有着更好的性能，只要内表面 18 的表面区域上有至少一层通过多个焊脚 33 经热力和机械力连接在一起的铜颗粒。该薄吸液芯区域利用槽式吸液芯层增强的蒸发表面区域，通过限制槽式吸液芯 55 的厚度不大于少许粉状颗粒，同时具有了由连接金属颗粒 27 的焊脚 33 带来的显著增强的导热性。已发现该结构避开了现有技术相关的导热性局限。

在本发明的另一具体实例中，槽式吸液芯 55 可以被一吸液芯结构代替，该结构限定多个蒸汽出口 60，该蒸汽出口 60 可以解释为穿过蒸发吸液芯结构的盲孔（图 19-38）。蒸汽出口 60 被限定穿过吸液芯结构 62，该结构包括具有通过硬钎焊料连接在一起的多个颗粒的均一的硬钎焊吸液芯，以致硬

钎焊料的焊脚形成于多个颗粒的相邻颗粒间。可选地，多个烧结的颗粒也可以用于形成吸液芯结构 62。在一实施例中，蒸汽出口 60 延伸穿过吸液芯结构 62 以便暴露一部分下面的底部结构，如在底壁 12 的内表面 18，在该底部结构上面吸液芯被硬钎焊或烧结。吸液芯结构 62 可以用于塔式热管的圆形或椭圆形部分（图 19），或矩形或多边形传热器结构（图 39）。当然实际形状通常由热源和蒸发器的形状决定。

蒸汽出口 60 的截面轮廓，及其在吸液芯结构 62 中的位置和组合，可能设备跟设备之间或同一设备中都有很大变化（图 20 - 38）。蒸汽出口 60 的截面轮廓可以包括圆柱形的、圆锥形的、截头圆锥体的、三角形的、锥体的、矩形的、长菱形的、五边形的、六边形的、八边形的和其它不常用的多边形的及曲边的形状。每一蒸汽出口 60 都限定了一在吸液芯结构 62 上表面的开口 65 和一向下延伸，如向着底壁 12 的内表面 18 或塔式热管中的等同结构延伸，的盲孔 67。开口 65 和盲孔 67 的尺寸、形状和位置相对于热管 2 的蒸发器部分，由局部热通量、吸液芯厚度、吸液芯孔半径和吸液芯渗透性决定，从而使蒸汽从蒸发器部分离开所需的压力降最小化，因此  $\Delta T$  就有可能最小化。

除蒸汽出口 60 的形状、尺寸和位置不同以外，形成吸液芯结构 62 的粉状材料也可以是不同的尺寸和形状。例如，吸液芯结构 62 可以由球体的、类球体的、多边形的或者甚至细金属丝碎片的粉状金属颗粒 27 形成。另外，吸液芯结构 62 可由包括颗粒混合物的粉状金属颗粒 27 形成，该颗粒混合物包含两类或更多不同类的颗粒，例如具有第一直径的第一类颗粒 71，具有第二直径的第二类颗粒 73，或者甚至具有与颗粒 71 和 73 不同直径的第三种颗粒 76。颗粒的其他固有特性也可被用于定义不同类型的颗粒，如长度、宽度、化学成分、多边形的边数等。例如，不同长度的多种金属丝直径 80 可以形成多种类型的颗粒。每类颗粒在均质层被相互隔离。例如相对较大直径的颗粒可位于吸液芯结构 62 的较低热通量区域，而较小直径颗粒可位于吸液芯结构

62 的较高热通量区域（图 35、38、40 和 41）。这样，在每一不同的吸液芯结构 62 中可以产生多种孔尺寸。典型地，颗粒或金属丝直径的变化范围可以从几微米至几毫米。在颗粒的直径决定了类别的区别特性的情况下，适当地调整颗粒尺寸并由此调整孔尺寸，可让蒸汽从较大孔穿过，而液体保留在较小孔，由此提高临界热流极限。

除具有两种或更多粉状颗粒尺寸的混合物以外，分级吸液芯结构 90 也可以应用在本发明中（图 36、37、42 和 43）。在本发明一实施例中，分级吸液芯 90 由分层颗粒 71 形成，以便粗（即相对大的）颗粒位于接近吸液芯结构 90 表面的均质第一层 92 中，细颗粒 73（即相对小的）位于沉积在第一层 92 下面的第二均质层 94 中。可以理解的是，不同种颗粒的多均质层也可用于本发明，以至于分级根据需要的层的数量来完成，吸液芯结构 62 上的颗粒和孔的尺寸变化可达两个数量级。

参见图 38、40 和 41，粉状颗粒 27 也可以横向分级排列，以致一种颗粒紧挨另一种颗粒横向排列。可选地，吸液芯结构 62 可以有楼梯式的等级，其中粉状颗粒 27 按不同厚度排列。

如上文提到的，依照这里公开的方法以及本发明，形成吸液芯结构 62 或 90 的粉状颗粒 27 可以相互间和与蒸发器板之间硬钎焊或烧结。对每一不同金属粉末烧结温度是变化的，并且是吸液芯结构 62 内的粉状颗粒 27 的尺寸和分布的函数。另外，在烧结时，为得到足够的结果，应该使用一适合的保护气体如氢气、合成气体、真空或一惰性气体如氦气、氮气或氩气。

可选择地是，一相对薄层的硬钎焊的或烧结的金属颗粒 27 可以沉积在底壁 12 的内表面 18 上，以便在每一蒸汽出口 60（图 44-51）的底部形成一孔式吸液芯 80。例如，硬钎焊或烧结的铜粉颗粒 27 沉积在每一个蒸汽出口 60 的闭合端的内表面 18（在图 44-51 未示出，但在图 20-27 有标示）上，以便当沉积遍及底壁 12 的内表面 18 时，孔式吸液芯 80 具有范围从约 1 至 6 个平均铜颗粒直径（约 0.005mm 至约 0.5mm，优选范围从约 0.05mm 到约

---

0.25mm)的平均厚度。通常,孔式吸液芯80具有一范围从约1至3个平均铜粉状颗粒直径的平均厚度。

应当理解,本发明不仅仅限于在此揭示和在附图中所示的具体构造,而且还包括在权利要求的范围内的任何改变和等同物。



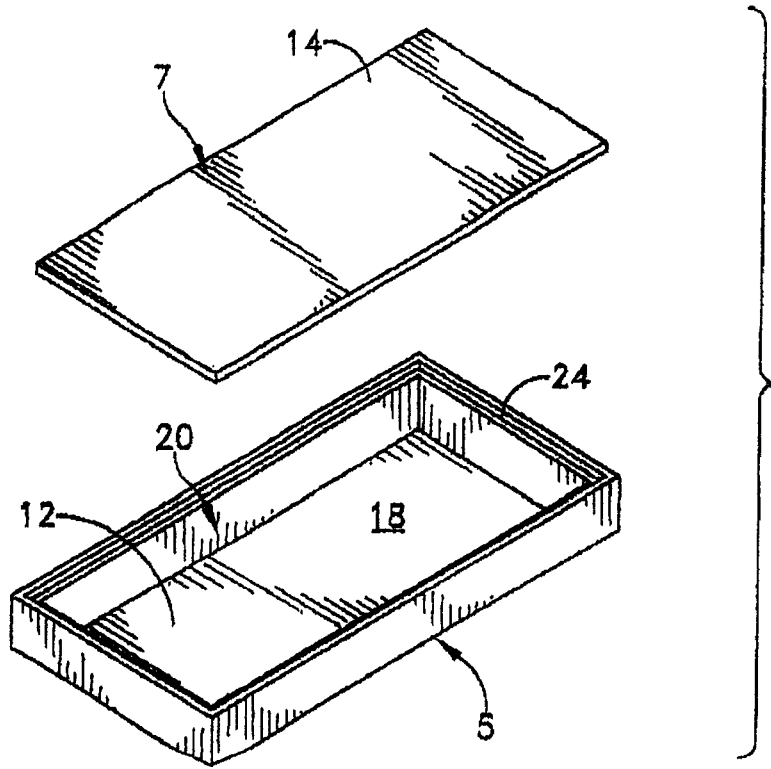


图 1

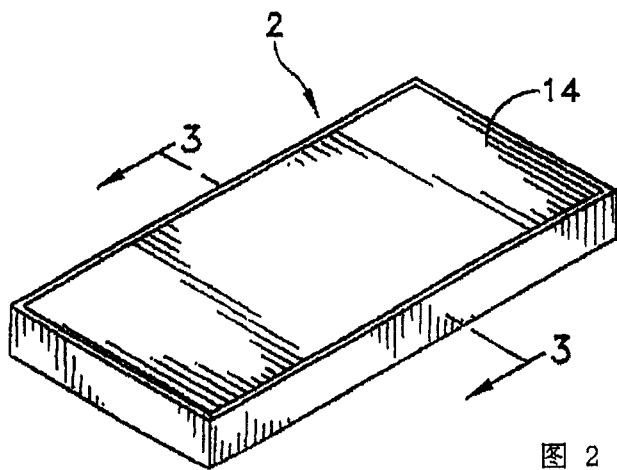


图 2

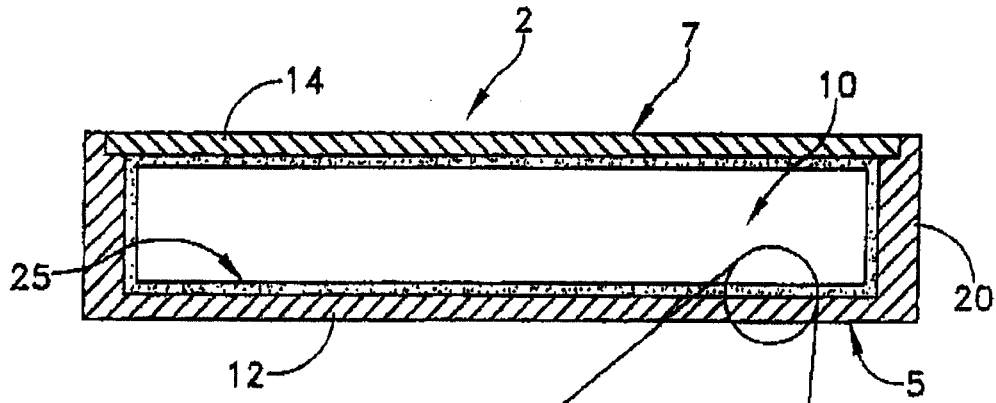


图 3

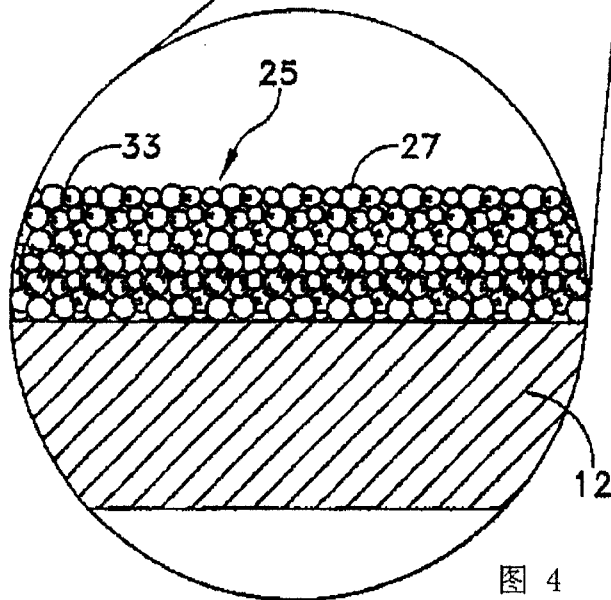


图 4

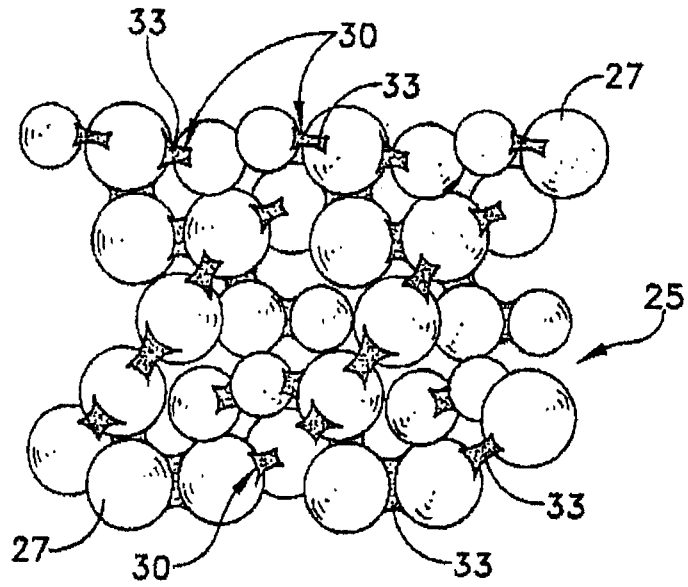


图 5

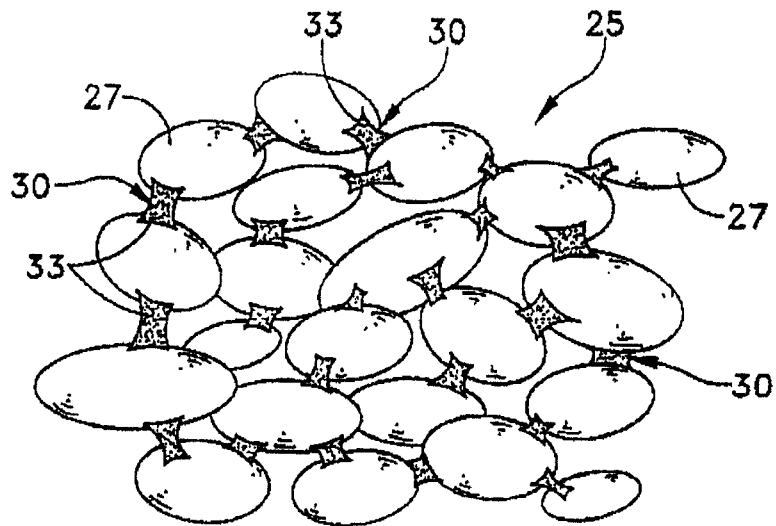


图 6

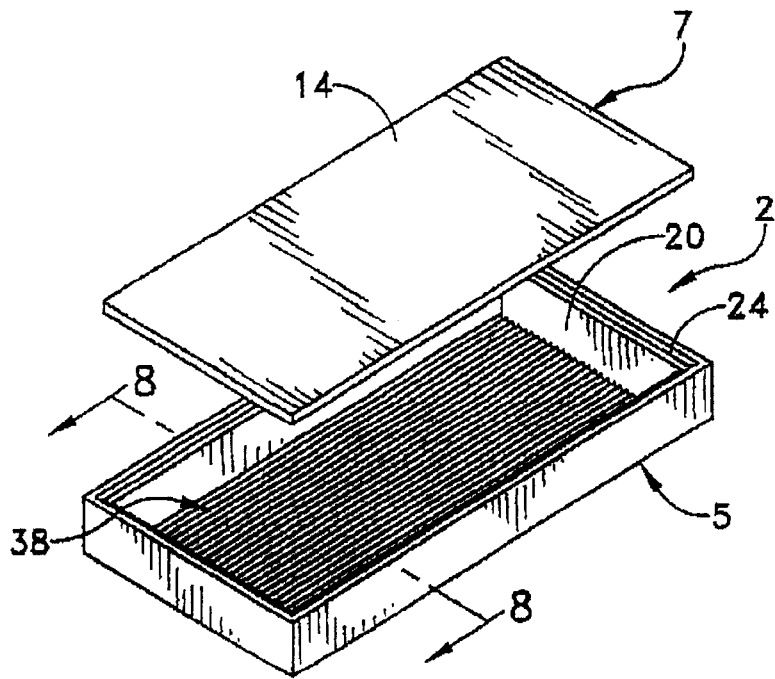


图 7

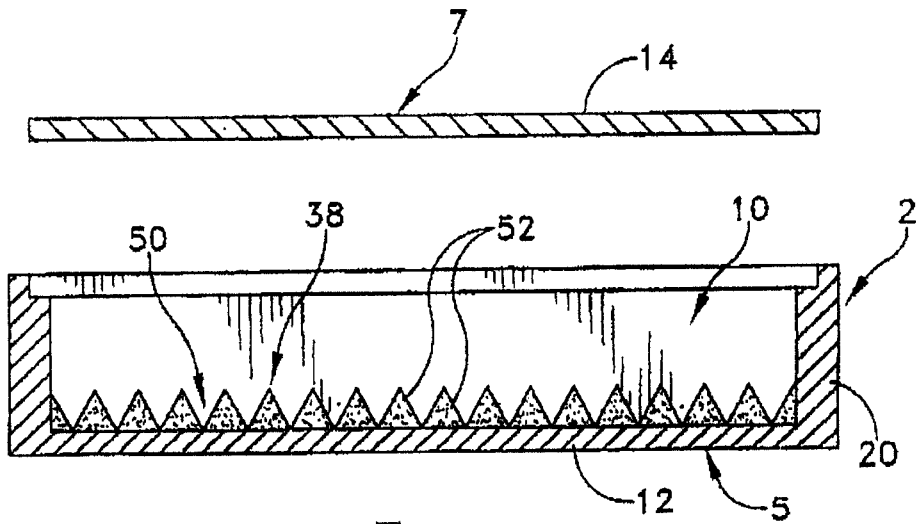


图 8

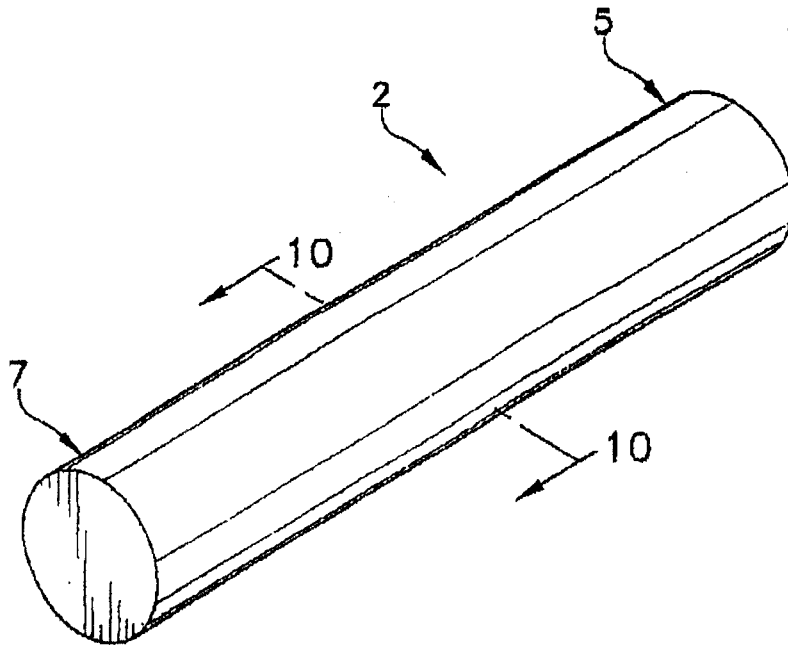


图 9

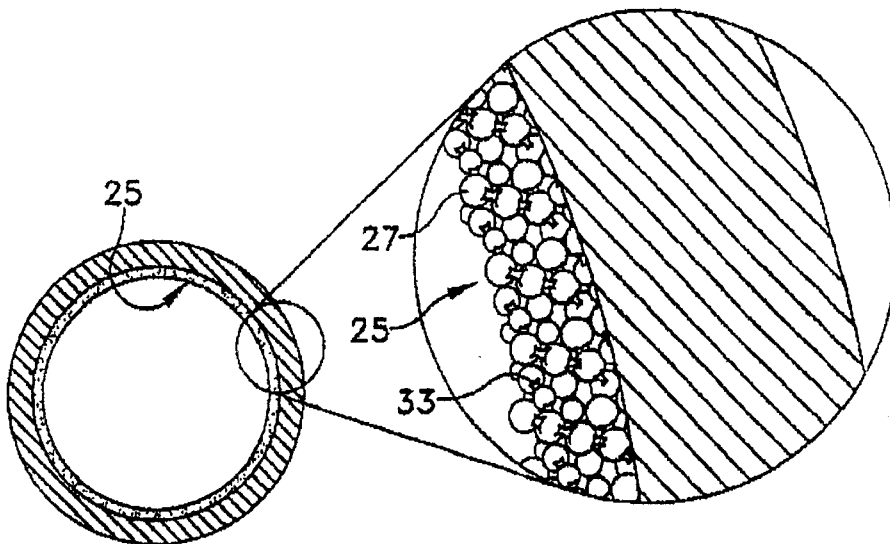


图 10

图 11

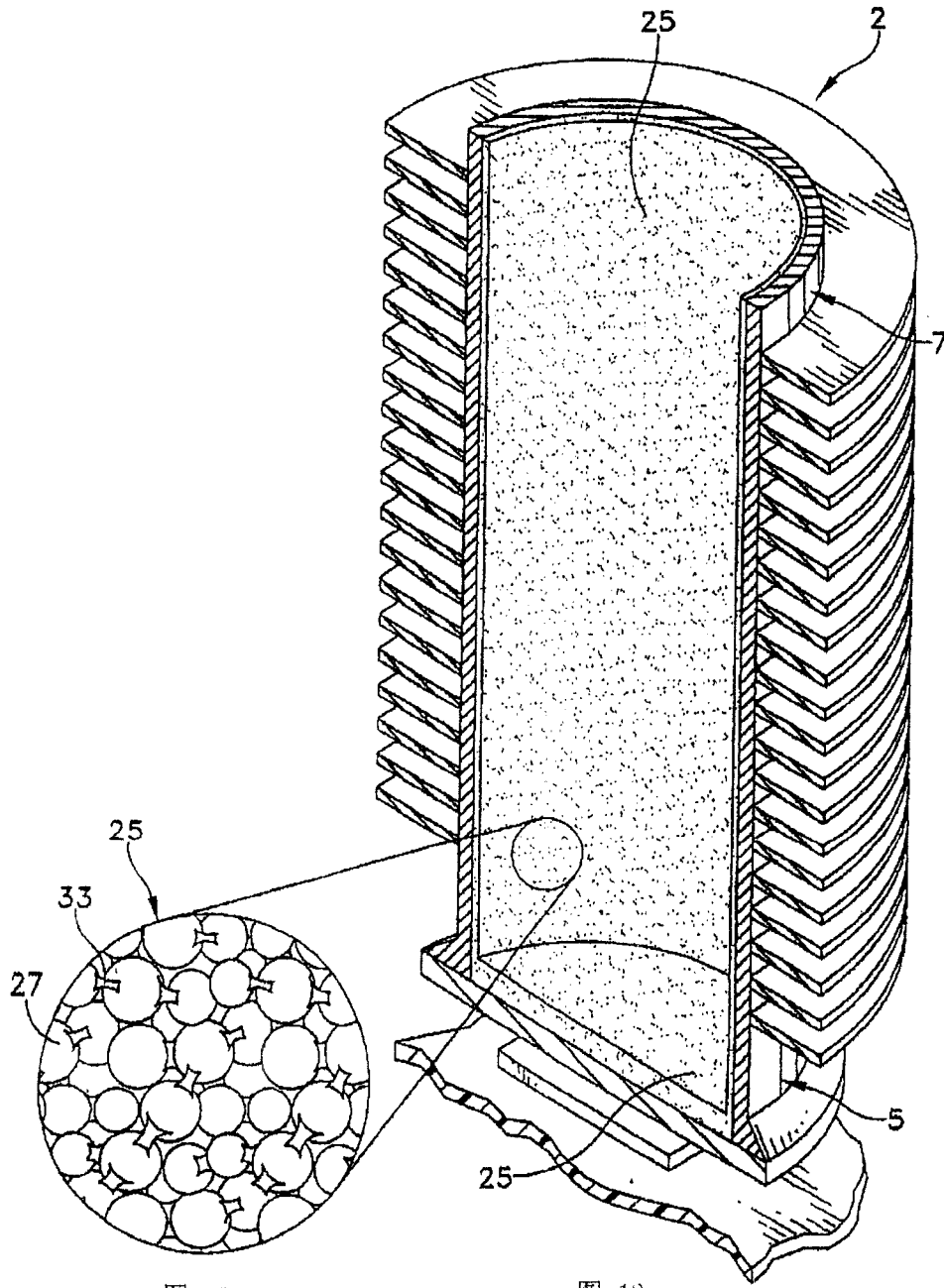


图 13

图 12

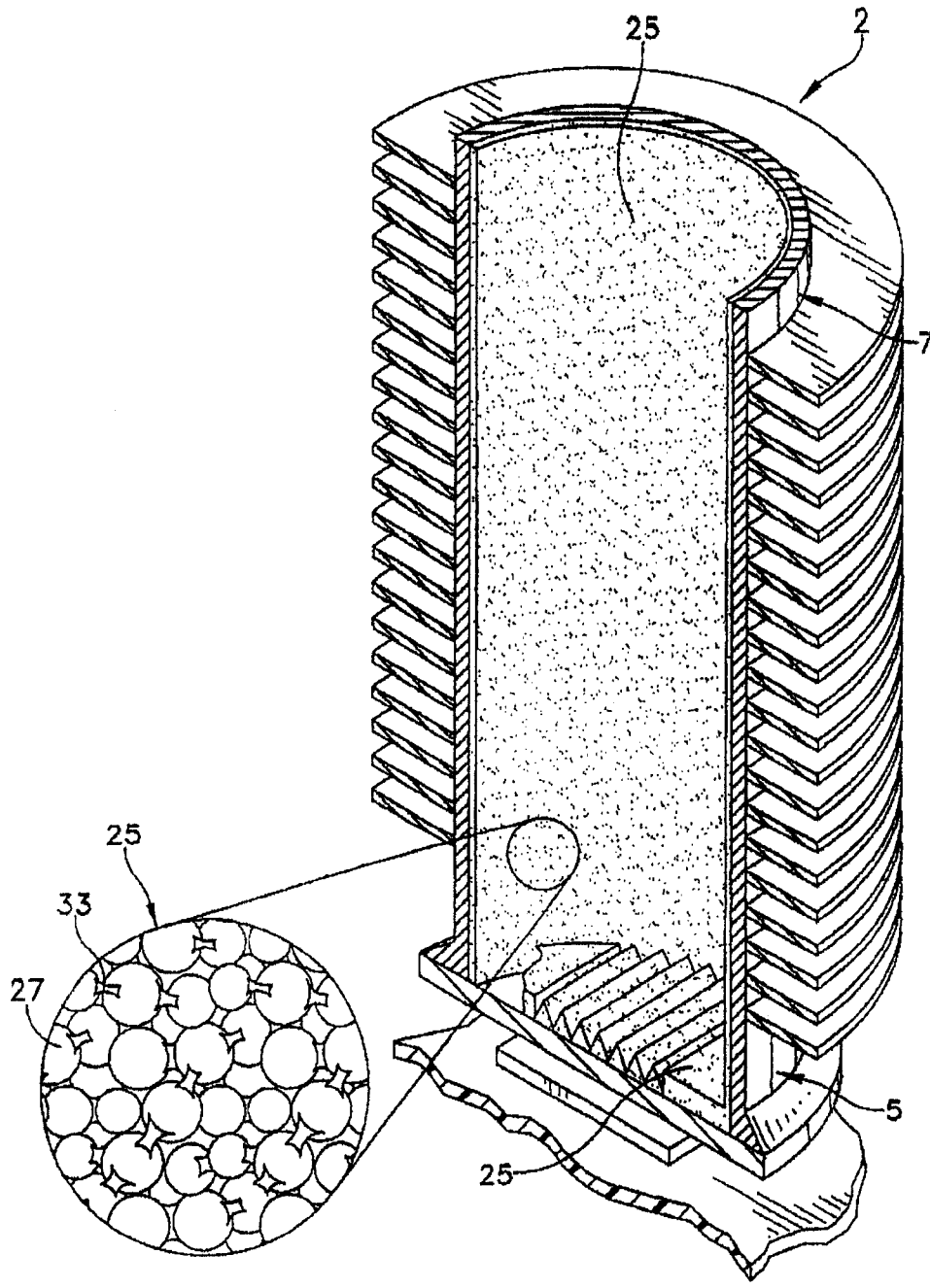


图 15

图 14

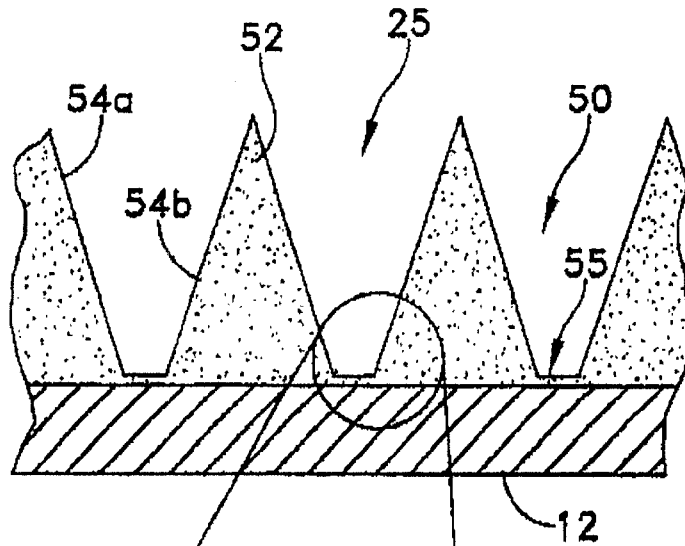


图 16

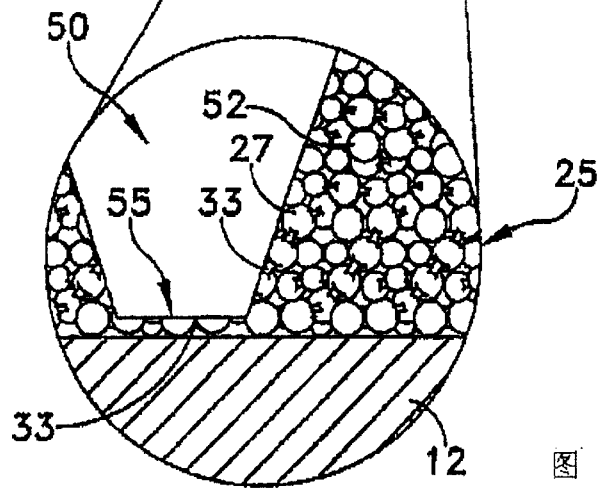


图 17



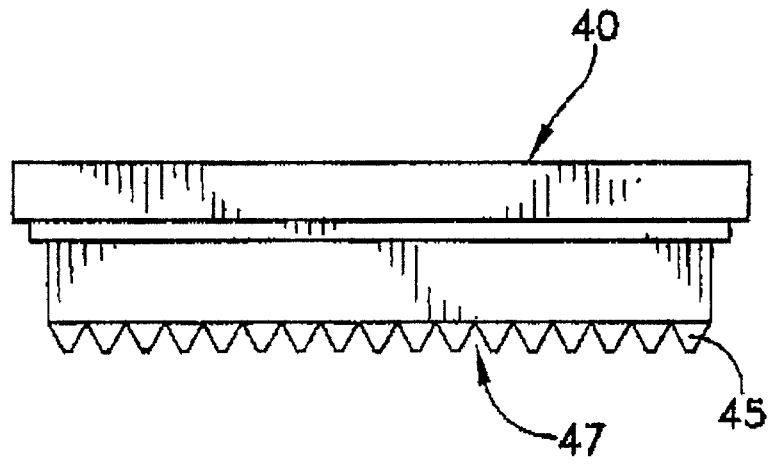


图 18

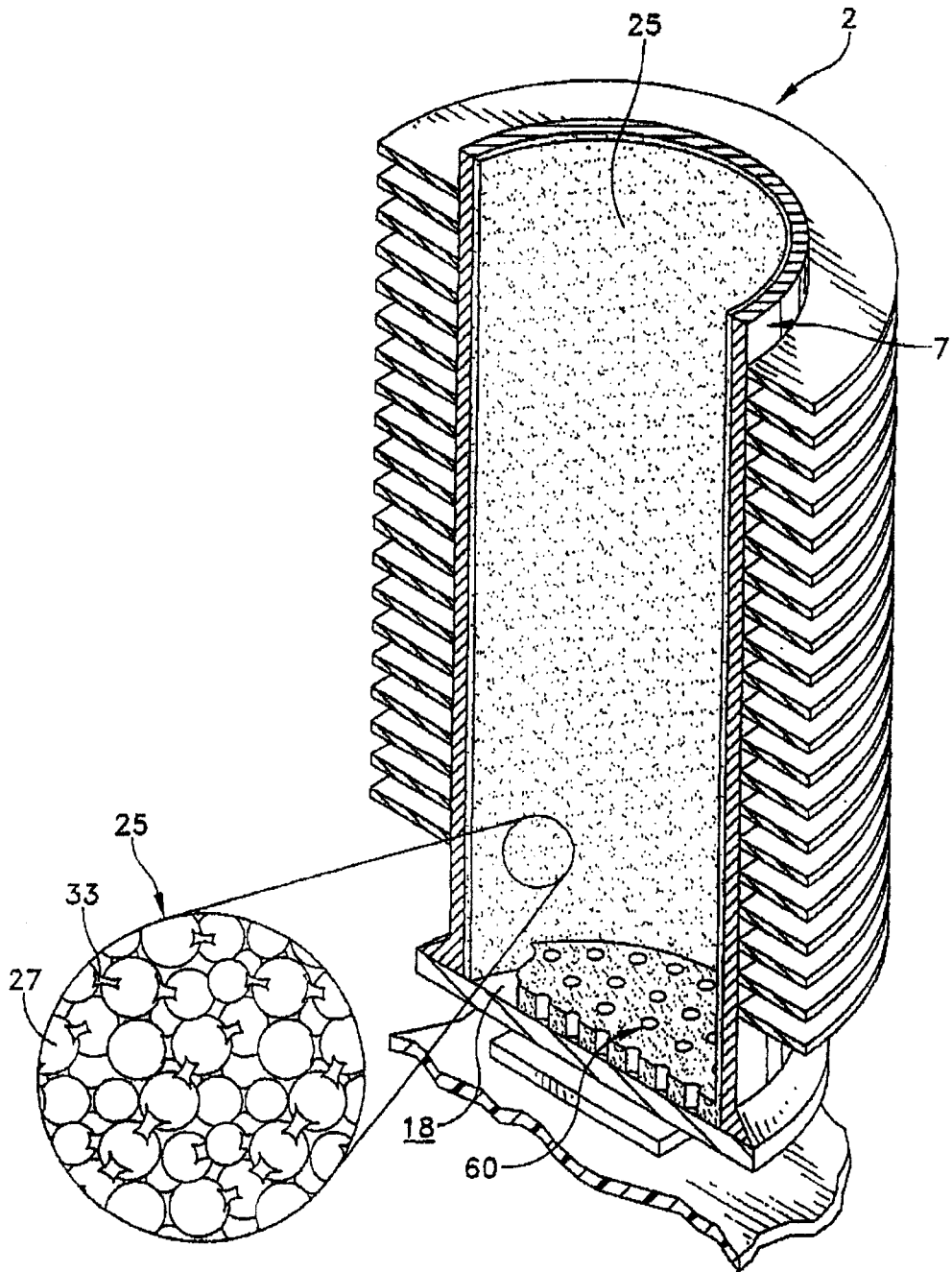


图 19

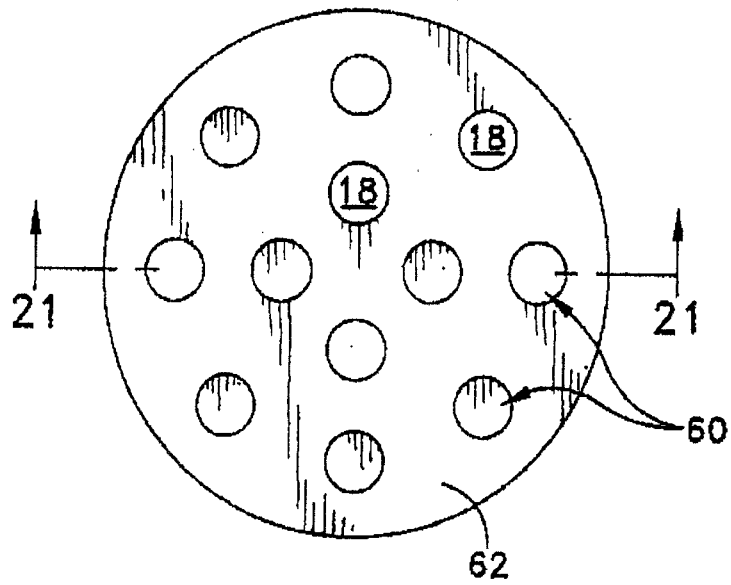


图 20

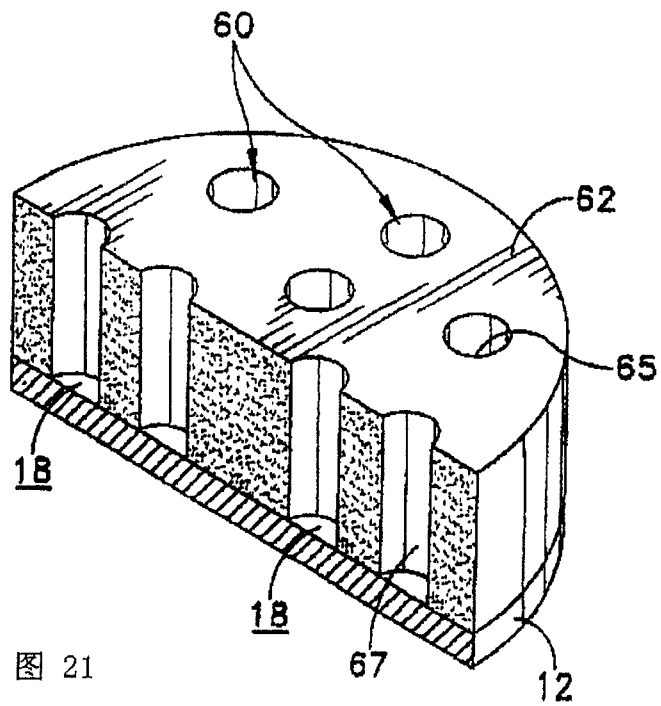


图 21

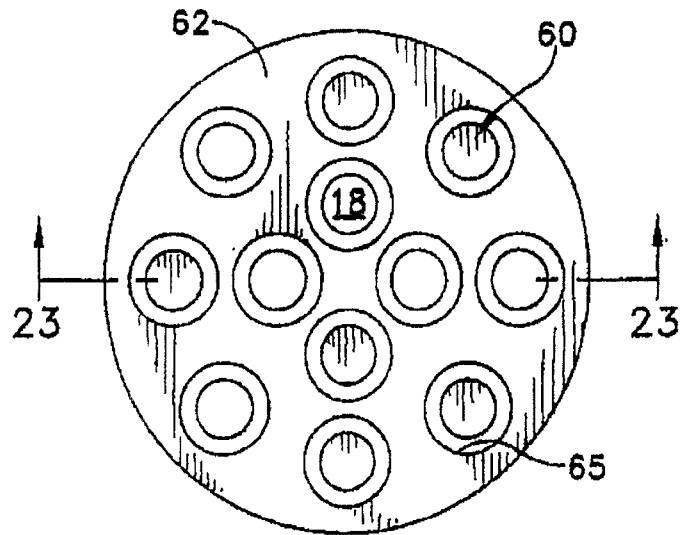


图 22

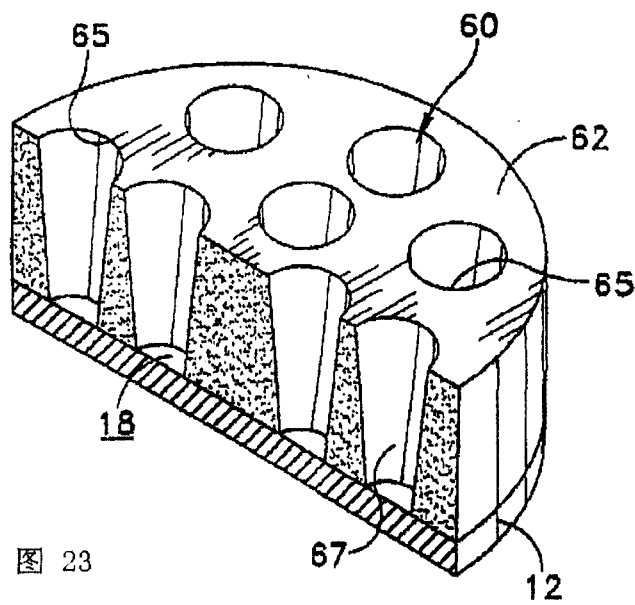


图 23

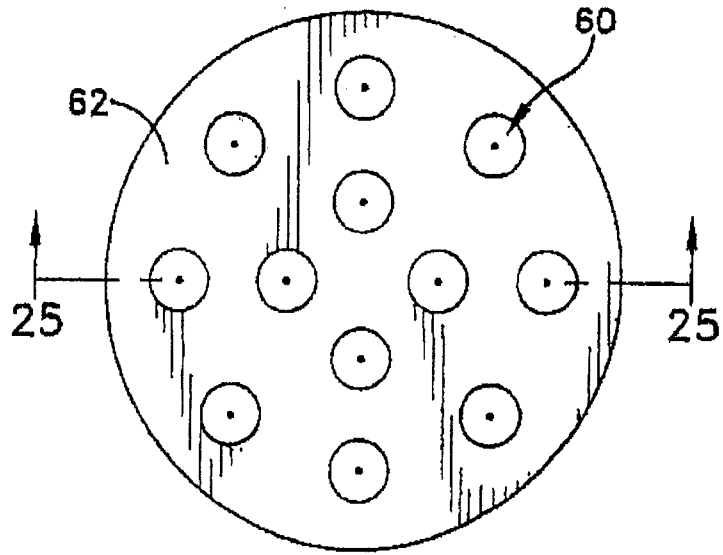


图 24

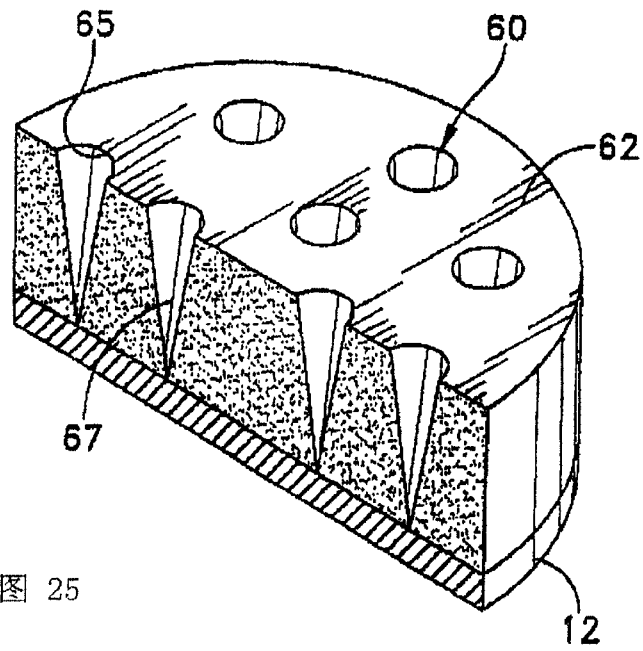


图 25

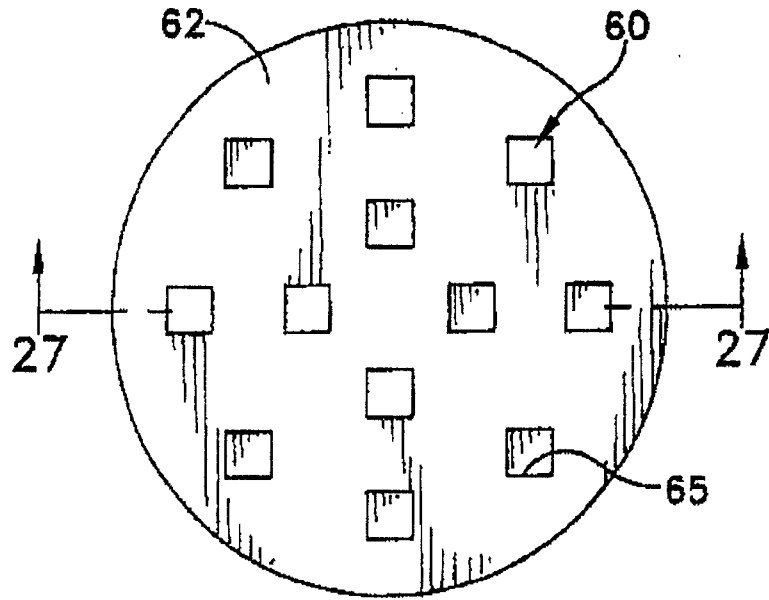


图 26

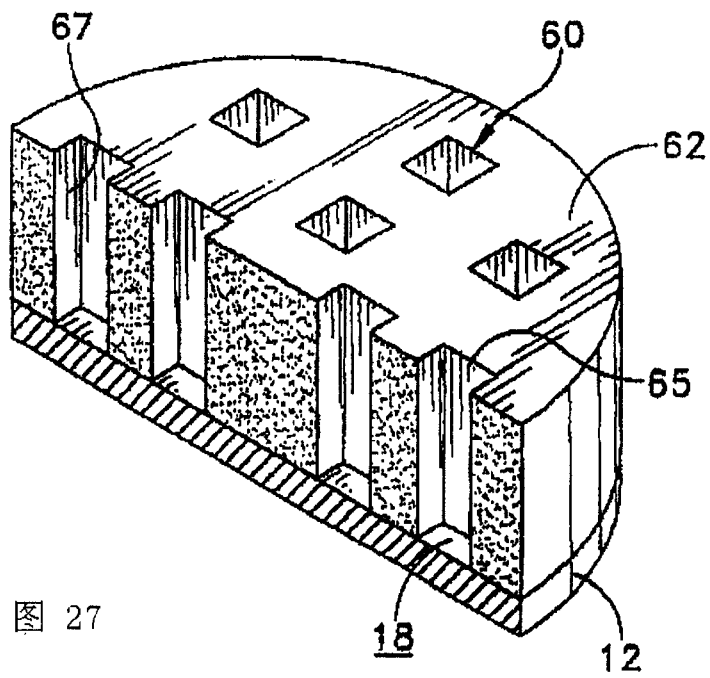


图 27

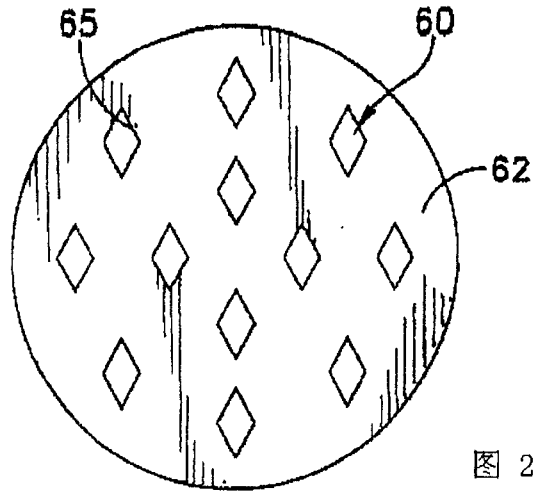


图 28

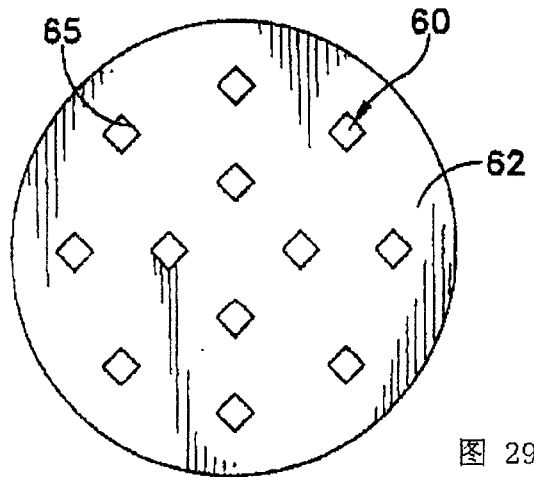


图 29

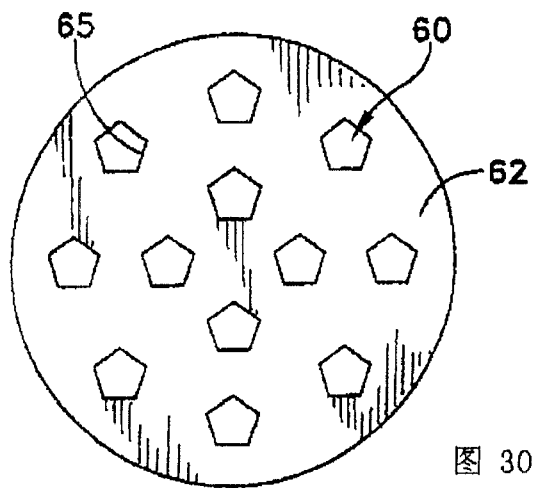


图 30

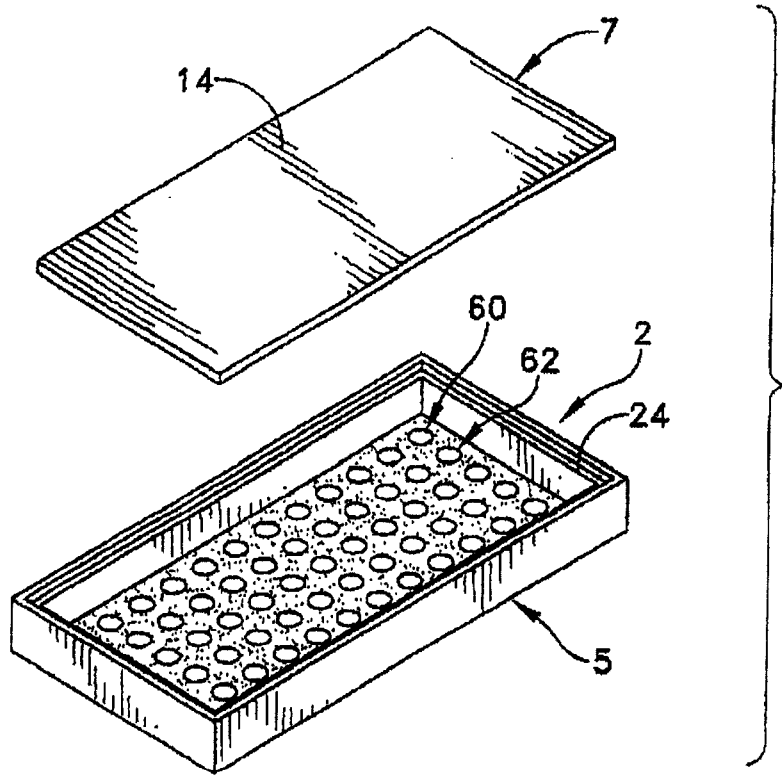


图 31

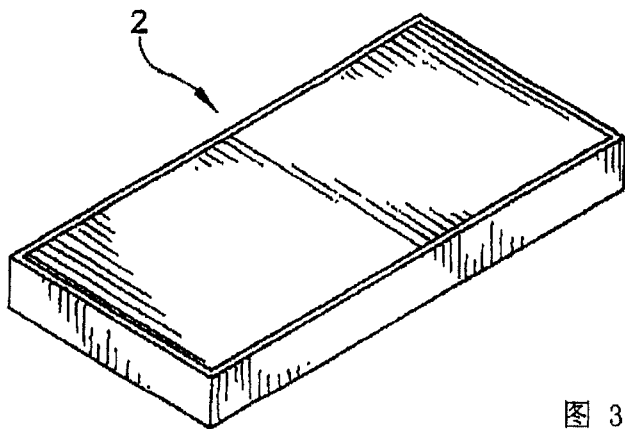


图 32



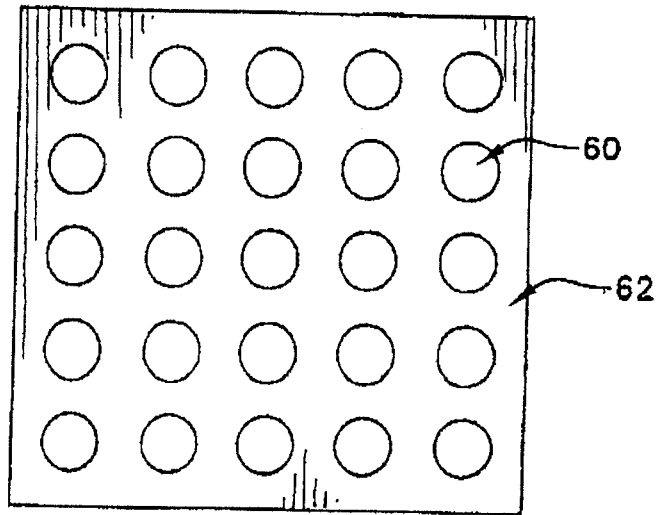


图 33

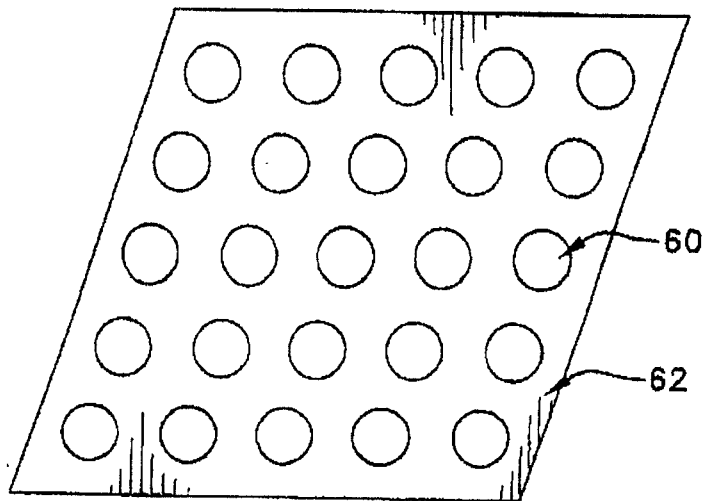


图 34

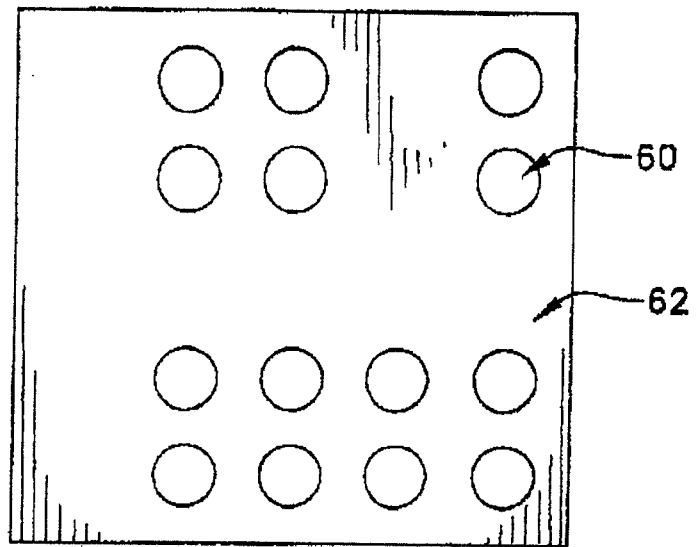


图 35

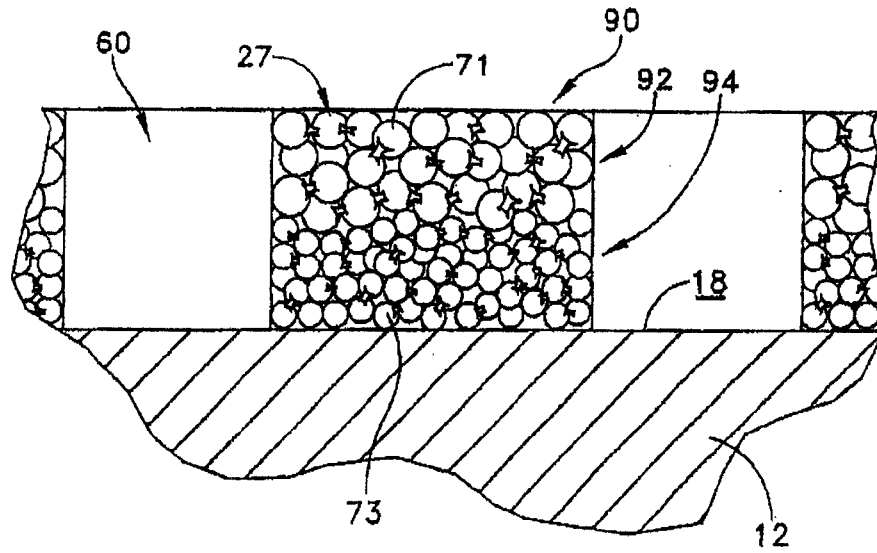


图 36

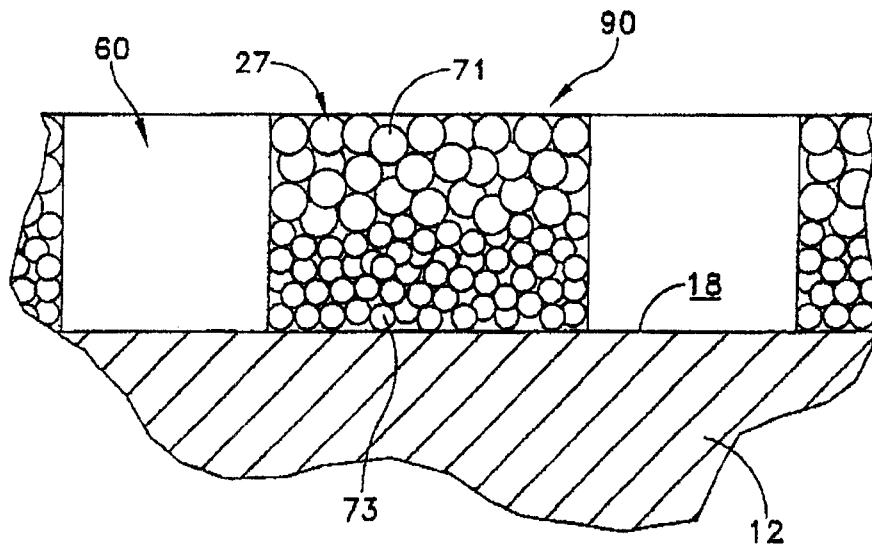


图 37

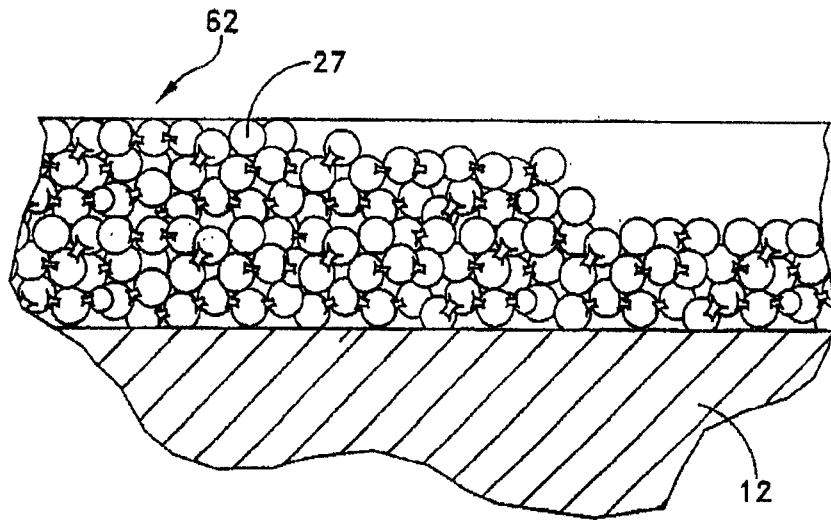


图 38

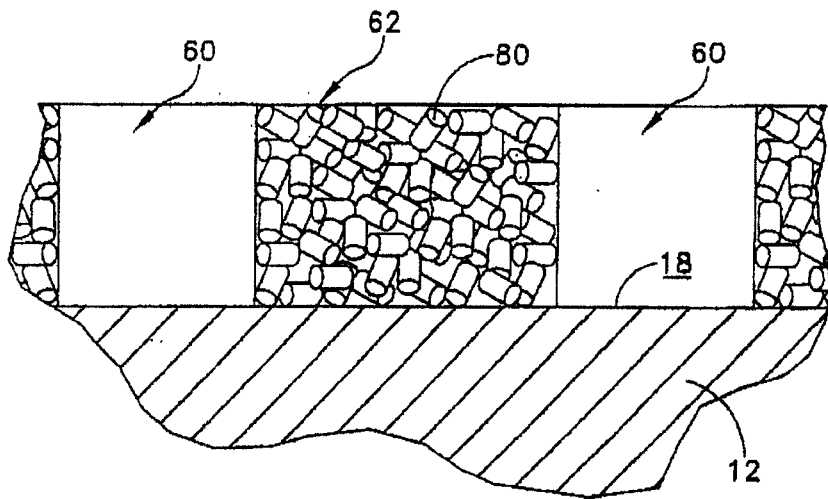


图 39

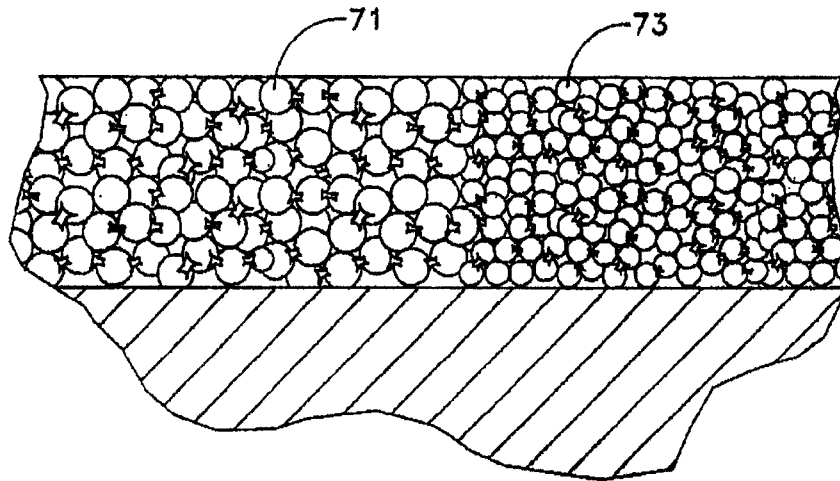


图 40

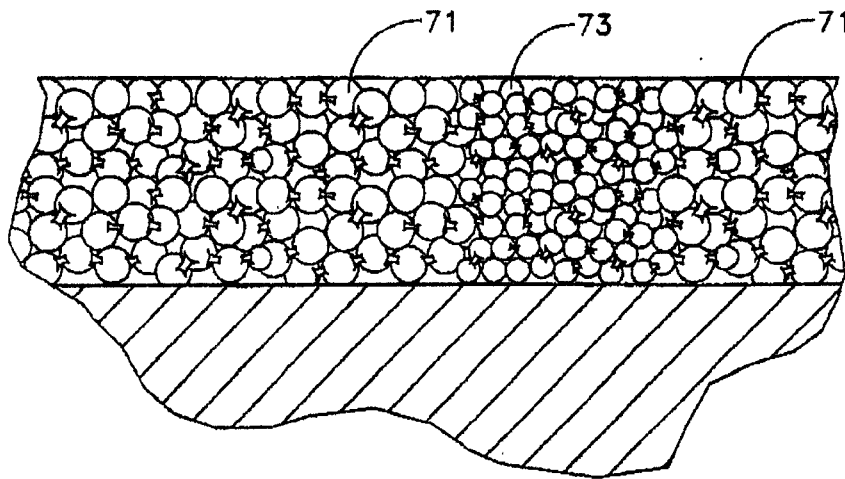


图 41

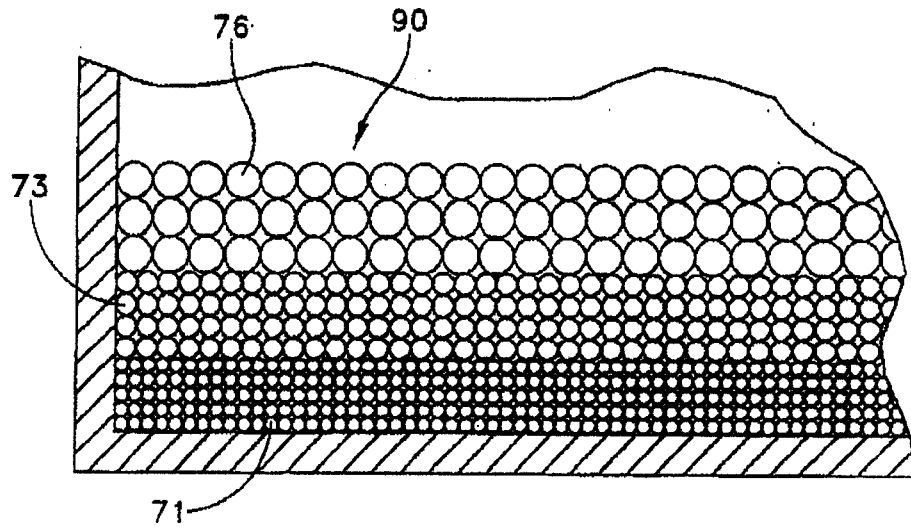


图 42

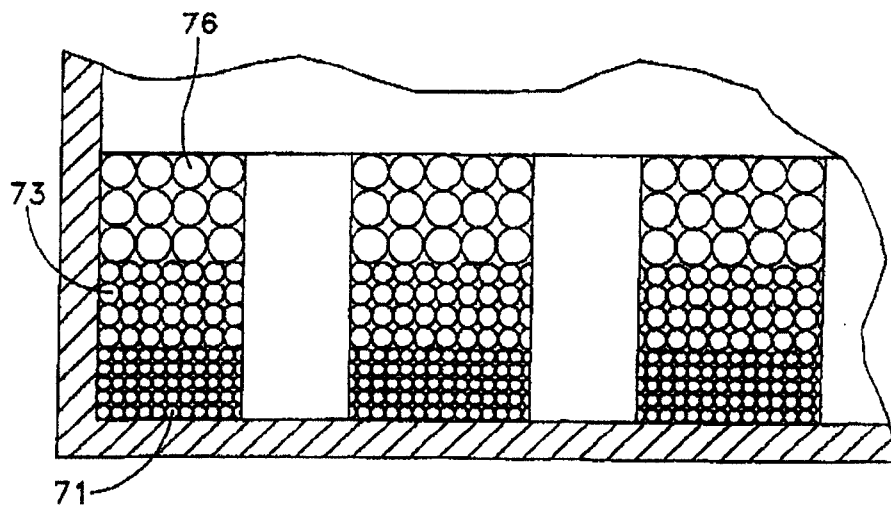


图 43

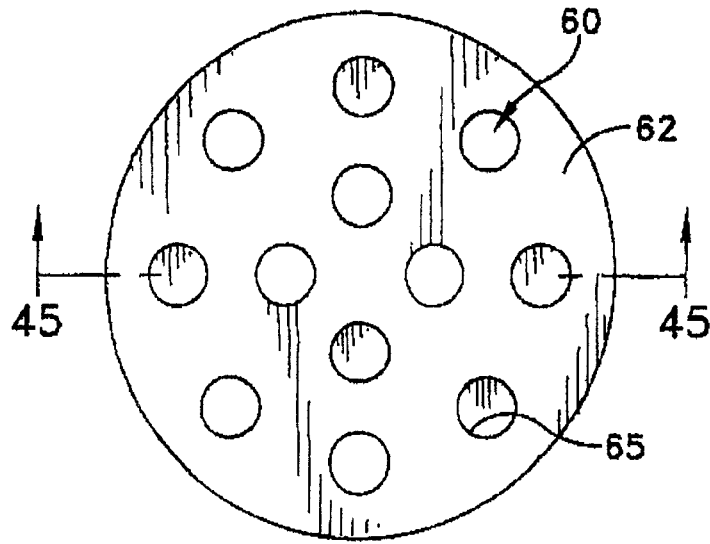


图 44

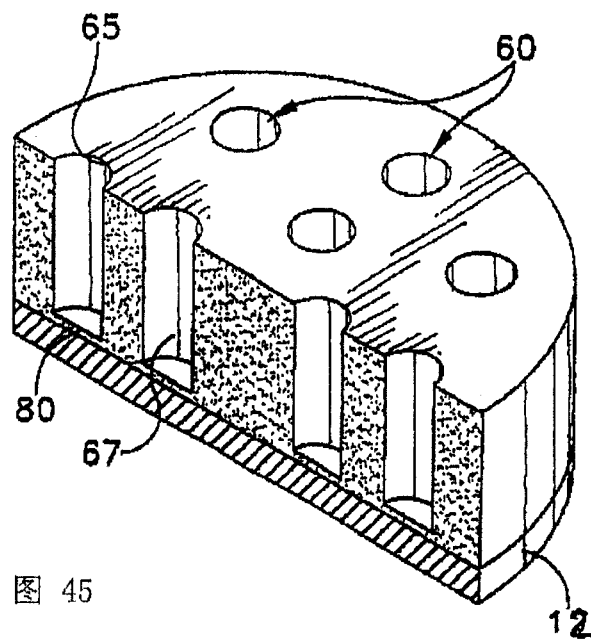


图 45

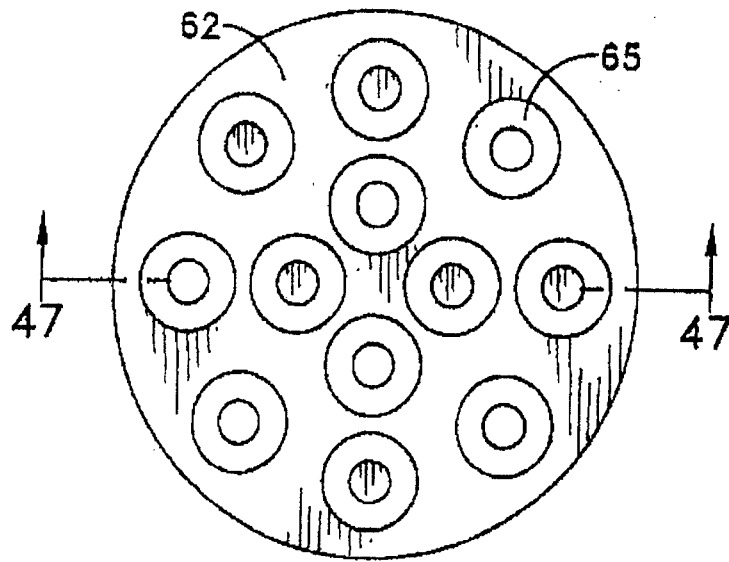


图 46

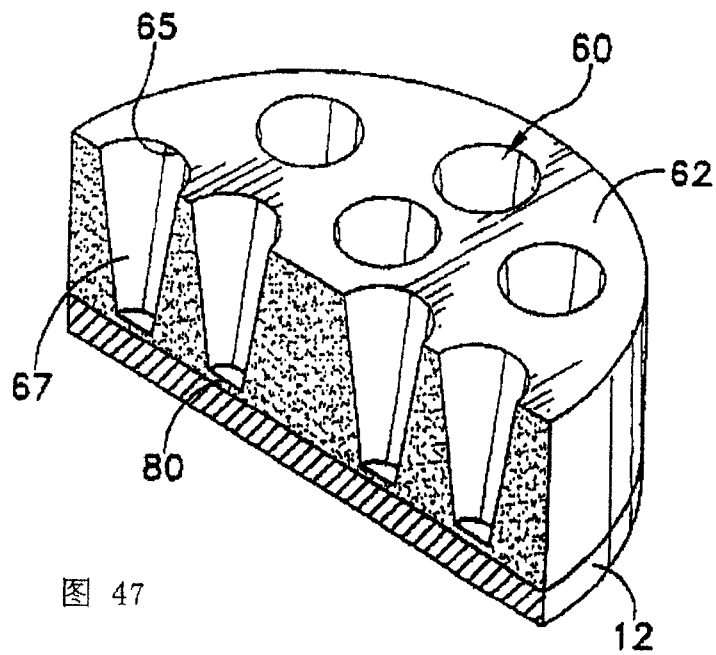


图 47



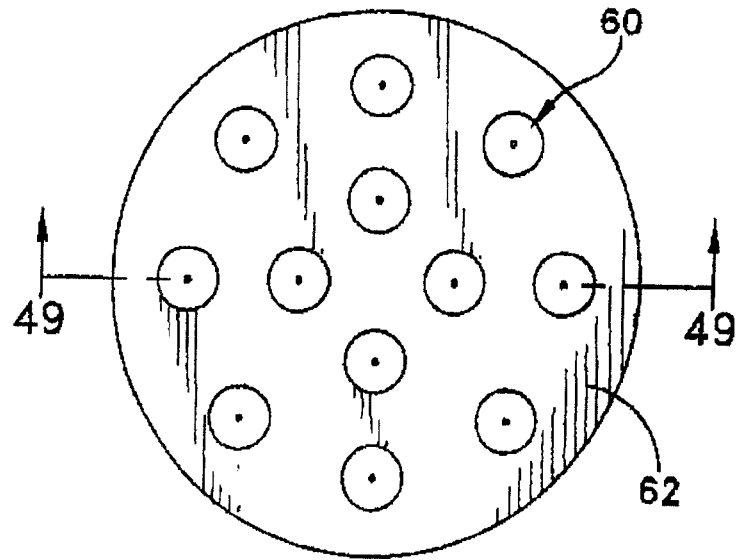


图 48

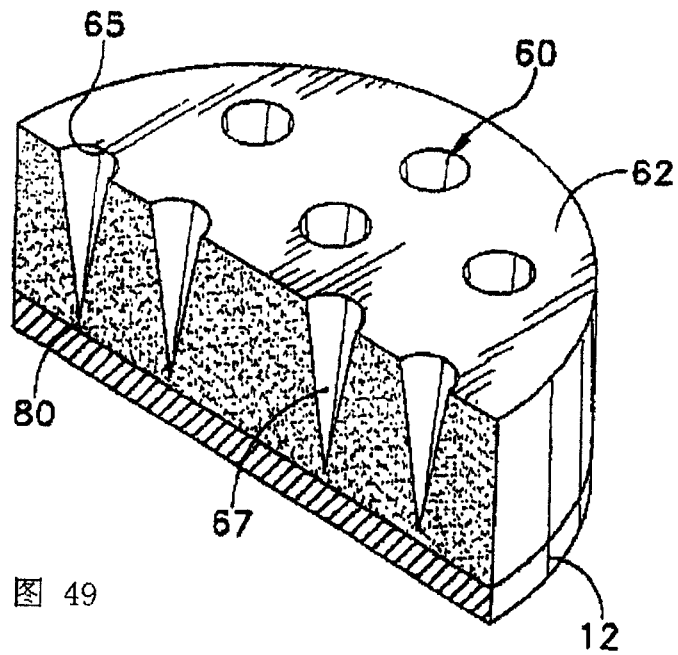


图 49

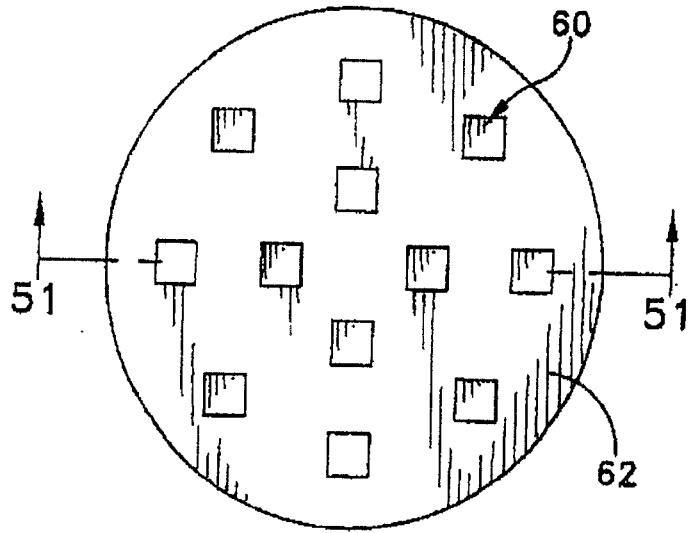


图 50

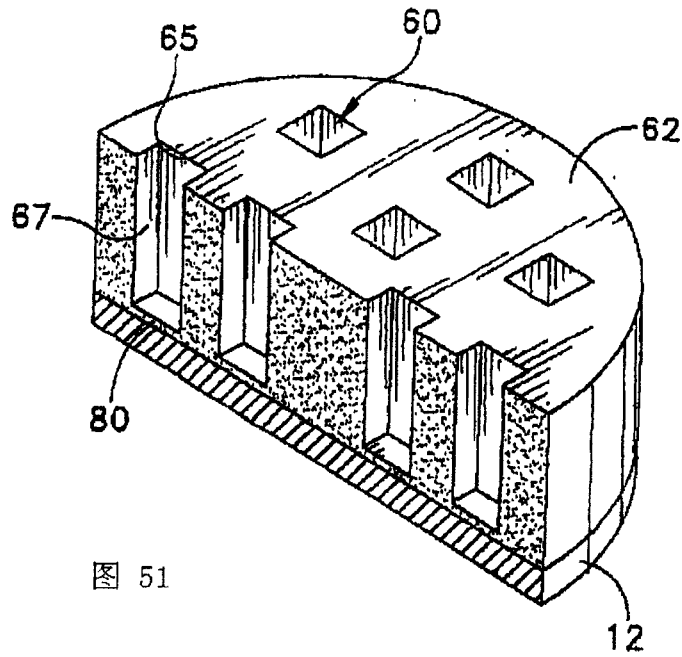


图 51