



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03804615.6

[43] 公开日 2005年7月13日

[11] 公开号 CN 1639532A

[22] 申请日 2003.2.26 [21] 申请号 03804615.6

[30] 优先权

[32] 2002.2.26 [33] US [31] 60/359,673

[86] 国际申请 PCT/US2003/005906 2003.2.26

[87] 国际公布 WO2003/073032 英 2003.9.4

[85] 进入国家阶段日期 2004.8.26

[71] 申请人 麦克罗斯制造公司

地址 美国新罕布什尔州

[72] 发明人 J·A·瓦伦祖埃拉

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 崔幼平 黄力行

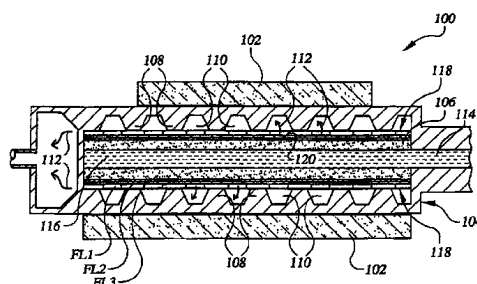
权利要求书4页 说明书14页 附图12页

[54] 发明名称 毛细蒸发器

[57] 摘要

毛细蒸发器(100)从热源(102)吸收热量,尤其是在高热流条件下从热源吸收热量。毛细蒸发器包括一个具有多个肋(108)的壳体(104),所述肋与现有的热源进行热交换。肋限定了多个蒸汽通道(110),该蒸汽通道接收蒸发器内由于工作流体(114)蒸发而产生的蒸汽(112)。毛细吸液芯(106)位于壳体内并与肋间隔。桥(118)介于毛细吸液芯与肋之间,将热从肋向吸液芯传送并将蒸汽从吸液芯向蒸汽通道传送。桥包括多个分数维层(FI),每一个分数维层都有孔(122)和腹板(128),这些孔和腹板在尺寸和数量上与直接相邻的分数维层成比例,并被布置得使相邻层之间的孔相互交叠。分数维层的这种布置使得具有最多且最小孔的分数维层直接与吸液芯相邻,而具有最少且最大孔的分数维层位于与肋最近的位置。这种结构使得桥既能均匀地把热从肋向吸液芯表面扩散也同时能够以高渗透

率使蒸汽从吸液芯向蒸汽通道流动。



1. 一种毛细蒸发器，包括：
 - a) 限定至少一个第一通道的至少一个第一肋；
 - 5 b) 面对所述至少一个第一肋并与所述至少一个第一肋分开的一个毛细吸液芯；和
 - c) 一个位于所述至少一个第一肋和所述毛细吸液芯之间的第一桥，其能在所述的毛细吸液芯和所述的至少一个第一通道之间提供流体连通，并能在所述的毛细吸液芯和所述的至少一个第一肋之间提供热传递，所述的第一桥具有尺寸
- 10 沿着从所述至少一个第一肋到所述的毛细吸液芯的方向减小的内部特征。
 2. 如权利要求1的毛细蒸发器，其中所述的至少一个第一通道是蒸汽侧通道。
 3. 如权利要求1的毛细蒸发器，其中所述的至少一个第一通道是液体侧通道。
 - 15 4. 如权利要求1的毛细蒸发器，其中所述的内部特征是多个通道。
 5. 如权利要求4的毛细蒸发器，其中所述的第一桥包括多个层，其中每一个层都有多个孔，并使每一个所述的多个层都有不同数量的所述多个孔来限定所述的多个通道，其中所述多个孔的所述不同数量随着所述多个层与所述至少一个肋的距离的增加而增加。
 - 20 6. 如权利要求5的毛细蒸发器，其中所述的第一桥包括多个与所述多个层相对应的多个板。
 7. 如权利要求6的毛细蒸发器，其中每一个所述的多个板是一个固体，该固体上形成有所述的多个孔。
 8. 如权利要求5的毛细蒸发器，其中每一个所述的多个孔都有着彼此相同的
 - 25 形状。
 9. 如权利要求8的毛细蒸发器，其中每一个所述的多个孔是多边形的。
 10. 如权利要求9的毛细蒸发器，其中每一个所述的多个孔是矩形的。
 11. 如权利要求8的毛细蒸发器，其中每一个所述的多个孔是圆形的。
 12. 如权利要求5的毛细蒸发器，其中所述多个层的每一层上的所述多个孔
 - 30 有一个间距，所述间距随着所述多个层中相应的层与所述至少一个第一肋的距离

的增加而减小。

13. 如权利要求5的毛细蒸发器, 其中所述多个层的每一层有一个厚度, 所述厚度随着所述多个层中相应的层与所述至少一个第一个肋的距离的增加而减小。

5 14. 如权利要求1的毛细蒸发器, 其中所述的毛细吸液芯有一个面对所述第一桥的第一面和一个与所述第一面分开的第二面, 毛细蒸发器还包括一个面对所述毛细吸液芯第二面的第二桥, 所述的第二桥具有尺寸沿着远离所述毛细吸液芯的方向增加的内部特征。

10 15. 如权利要求14的毛细蒸发器, 还包括至少一个第二肋, 该第二肋限定至少一个第二通道, 每一个面对所述第二桥的第二通道与所述毛细吸液芯相对。

16. 一种毛细蒸发器, 包括:

a) 限定至少一个通道的至少一个肋;

b) 一个面对所述至少一个肋, 并且与所述至少一个肋分开的毛细吸液芯; 和

15 c) 一个桥, 该桥具有与所述至少一个肋进行热传递的第一区域, 与所述第一区域分开并与所述毛细吸液芯热传递的第二区域, 还有多个内部通道, 每一个该内部通道都有一个横截面积, 其中所述的多个内部通道从所述的第一区域到所述的第二区域变得数量越来越多, 而所述的多个通道的所述横截面积从所述第一区域到所述第二区域变得越来越小。

20 17. 如权利要求16的毛细蒸发器, 其中所述的桥包括多个层, 其中每一层都有多个孔, 并使所述多个层的每一层都有不同数量的所述多个孔来限定所述多个通道, 其中所述多个孔的所述不同数量随着所述多个层与所述至少一个肋的距离的增加而增加。

25 18. 如权利要求17的毛细蒸发器, 其中所述的桥包括多个与所述多个层相对应的板。

19. 如权利要求18的毛细蒸发器, 其中每一个板是一个固体, 该固体上形成有所述的多个孔。

20. 一种毛细蒸发器, 包括:

a) 一个具有限定至少一个通道的至少一个肋的结构;

30 b) 与所述的至少一个肋分开的一个毛细吸液芯; 和

c) 一个桥, 该桥位于所述的毛细吸液芯和所述的至少一个肋之间, 并与上述两者进行热传递, 该桥在所述的毛细吸液芯和所述的至少一个通道之间进行流体连通, 所述的桥包括具有多个孔的多个层, 每个孔都有一个面积, 其中所述孔的数量随着所述多个层中相应的层与所述至少一个肋的距离的增加而增加, 而
5 所述多个层的每一层上所述孔的面积随着所述多个层中相应层与所述至少一个肋的距离的增加而减小。

21. 如权利要求20的毛细蒸发器, 其中所述的桥包括与所述多个层相对应的多个板。

22. 如权利要求21的毛细蒸发器, 其中所述的多个板彼此互相扩散粘结。

10 23. 如权利要求21的毛细蒸发器, 其中每一个板是一个固体, 该固体上形成有所述的多个孔。

24. 一种毛细蒸发器, 包括:

a) 具有一个第一面和与所述第一面分开的第二面的毛细吸液芯;

b) 面对所述毛细吸液芯的所述第一面的一个第一桥, 该第一桥具有多个
15 第一内部通道, 每一个内部通道都有一个第一横截面积, 其中所述的多个第一内部通道的数量在远离所述毛细吸液芯的方向上变得越来越少, 而所述的多个第一内部通道的所述第一横截面积沿着远离所述毛细吸液芯的方向上变得越来越大;
和

c) 面对所述毛细吸液芯的所述第二面的一个第二桥, 该第二桥具有多个
20 第二内部通道, 每一个第二内部通道都有一个第二横截面积, 其中所述的多个第二内部通道的数量在远离所述毛细吸液芯的方向上变得越来越少, 而所述的多个第二内部通道的所述第二横截面积沿着远离所述毛细吸液芯的方向上变得越来越大;

25. 如权利要求24的毛细蒸发器, 其中所述的毛细吸液芯有一个长度并且毛细吸液芯在所述的长度上可充分地弯曲。
25

26. 如权利要求24的毛细蒸发器, 其中至少一个所述的第一和第二桥包括多个层, 每一个层有多个孔, 并且所述多个层的每一层有不同数量的所述多个孔来限定各自的所述多个第一和第二通道, 其中所述多个孔的所述不同数量随着所述多个层中相应的层与所述毛细吸液芯的距离的增加而减小。

30 27. 一个系统, 包括:

- a) 一个毛细蒸发器, 包括:
- i) 限定至少一个通道的至少一个肋;
 - ii) 面对所述至少一个肋并与所述至少一个肋分开的一个毛细吸液芯; 和
 - iii) 位于所述至少一个肋和所述毛细吸液芯之间的一个桥, 这个桥在所述的
- 5 毛细吸液芯和所述的至少一个通道之间进行流体连通, 并且在所述的毛细吸液芯和所述的至少一个第一肋之间进行热传递, 所述桥具有尺寸从所述的至少一个肋到所述的毛细吸液芯的方向上减小的内部特征; 和
- b) 与所述至少一个肋进行热传递的热源。
28. 如权利要求27的系统, 其中所述的热源包括一个微处理器。
- 10 29. 如权利要求27的系统, 其中所述的热源包括至少激光器和激光二极管阵列中的一个。
30. 形成具有一个毛细吸液芯和至少一个肋的毛细蒸发器中桥的方法, 包括如下步骤:
- a) 提供多个板, 每一个板上具有不同数量和尺寸的孔, 并使具有最大尺寸
- 15 的所述不同尺寸孔的所述多个板中的一个板上所述不同数量孔的数量最少, 具有最小尺寸的所述不同尺寸孔的所述多个板中的一个板上所述不同数量孔的数量最多;
- b) 将所述多个板定位于毛细吸液芯和至少一个肋之间, 使得具有最小尺寸
- 20 所述孔的所述多个板中的一个板最接近吸液芯, 具有最大尺寸所述孔的所述多个板中的一个板最接近所述至少一个肋。
31. 如权利要求30的方法, 其中步骤a)包括在所述多个板中的每个板上形成所述孔。
32. 如权利要求31的方法, 其中形成所述孔的步骤包括蚀刻。
33. 如权利要求31的方法, 其中形成所述孔的步骤包括加工。
- 25 34. 如权利要求33的方法, 其中所述的加工包括激光加工。
35. 如权利要求33的方法, 其中所述的加工包括电子放电加工。
36. 如权利要求33的方法, 其中所述的加工包括机械加工。
37. 如权利要求30的方法, 还包括将所述多个板互相粘结的步骤。
38. 如权利要求30的方法, 还包括将桥和至少一个肋粘结的步骤。

毛细蒸发器

5 相关申请的参照

本申请请求享有2002年2月26日提交的名称为“分数维毛细蒸发器”的美国临时专利申请No.60/359,673的优先权。

技术领域

本发明大体上涉及热处理系统领域，尤其是涉及一种毛细蒸发器。

10 背景技术

毛细蒸发器用于各种两相热处理系统中。毛细蒸发器与流通式锅炉和锅状锅炉之间的主要差别在于核沸腾不是发生在蒸发器内而是发生在锅炉内。相反，蒸发作用发生在毛细蒸发器内的一个液-汽分界面上，该分界面通过一个毛细吸液芯结构而稳定的保持。供应给蒸发器的液体压力低于蒸汽压力，该液体通过吸液芯的毛细吸力作用进入蒸发器。

一个普通的毛细蒸发器结构就是热管所使用的结构。典型地，传统热管由一个管构成，这个管包含有一个与管的内表面接触的多孔毛细吸液芯层。热管的一部分，有代表性的指热管的一端，从热源吸收热量以起到蒸发器的作用。另一部分，有代表性的指热管的另一端，排放热量到一个吸热器以起到冷凝器的作用。通过吸液芯的毛细泵送作用，毛细吸液芯将液体从热管的冷凝器部分送回到蒸发器部分。吸液芯的内表面限定了一个中央通道，该通道将蒸汽从热管的蒸发器部分传送到冷凝器部分。毛细吸液芯可以是各种结构中的任意一种，如：加工槽、不连续的金属滤网、烧结金属粉末、或者等离子沉积多孔敷层。热管制造经济并且在适量的热通量和相对短的热输送距离的应用中能很好的工作。许多现代高性能的便携式计算机利用热管来将处理器的热量转移到机箱。

在热管内，液体不得不通过毛细吸液芯的作用从冷凝器部分向蒸发器部分流动很长的距离。这使得液体产生大的压降，从而极大地限制液体流动速度的最大值，因而限制了热管的热传输容量。如果为了提供更强的毛细吸力而减小吸液芯的孔径大小，则吸液芯的渗透率下降，压力降增大。吸液芯厚度的增大减小了压力降，但是增加了在热管蒸发器部分热量通过吸液芯必须传输的距离。吸液芯厚

度的增加转化为蒸发器内更高的热阻，并且或许更多地限制了管子内表面和吸液芯之间的界面上液体过热度的增大。最后，在吸液芯的基底处，过热度变得太大以至于沸腾发生在吸液芯内部，这导致吸液芯变干。当吸液芯变干时，吸液芯的性能急剧地下降。

- 5 许多应用中，包括宇宙飞船热处理系统，需要比传统的热管所能提供的在更长的传输距离上的更高的热传输容量。对于这些应用，可通过一个没有内部吸液芯的单独管将冷凝器部分的液体送回到蒸发器部分，而显著地提高基础热管的能力。由于这种回流不遭受流经吸液芯时的大的压力降，蒸发器和冷凝器之间的距离可显著地增加。同样的，通过肋在吸液芯和热获得界面之间附加限定蒸汽通道
- 10 ，而使得蒸发器内的毛细吸液芯远离热获得界面。这些改进导致两种类型的热传递系统的出现，即环路热管（LHP）和毛细泵送环路（CPL），CPLs和LHPs越来越多的应用于宇宙飞船的热处理系统中，并且在重力和微重力的情况下，它们的工作特性被广泛的研究。

图1A显示了一个适合用于LHP或CPL中的传统蒸发器的示例。蒸发器20包括

15 一个管状的壳体22和一个类似形状的位于壳体内部的毛细吸液芯24。毛细吸液芯24限定了一个用于沿着吸液芯的长度引导液体28的中央通道26。壳体22典型地由高传导性的金属制成，并且壳体还包括许多肋30。肋30起到两个作用：（1）限定多个引导蒸汽34的蒸汽通道或管路32，蒸汽34是由远离毛细吸液芯24的液体28蒸发所产生的；（2）引导热量从壳体22的外部传到毛细吸液芯，再传递热量到液体

20 ，从而使液体变成蒸汽。

传统CPLs和LHPs蒸发器，如蒸发器20与传统热管的蒸发器部分，它们之间的主要差别在于，在LHP/CPL型蒸发器中，液体的供给是完全与热源绝热的，举例来说，通过毛细吸液芯24，流经毛细吸液芯的液体是与热获得界面垂直的，因此，与热管的“壁式吸液芯”蒸发器相比，其流通面积更大而流动长度更短。这

25 些差别致使LHPs和CPLs比热管具有更高的热输送容量。然而，高热输送容量的LHP/CPL型蒸发器价格昂贵，也就是说，通过一般由金属制成的肋30，壳体22与吸液芯之间不连续的接触导致热源36和毛细吸液芯24之间相当大的热传递的下降

金属肋30的设计必须满足使壳体22和毛细吸液芯24之间的热阻最小化，而同时也要满足使蒸发器20内的蒸汽压力降最小化，这两个要求之间是相互矛盾的。

30

如图1B所示，肋30的出现使吸液芯内部出现了热区，这扰乱了毛细吸液芯24内的热传递和流体流动。在低热通量的情况下，毛细吸液芯24完全是湿的，蒸发作用只发生在与吸液芯接触的肋30边缘周围的区域33。热量输送的大小受与吸液芯接触的肋周边长度的限制。因而，毛细吸液芯24内蒸发区域33的总面积小，使得蒸发阻力大大增加。另外，液体28不是均匀地流经毛细吸液芯24而是必须聚集在沿着肋30很狭小的区域，这就极大地增加了吸液芯内的压力降。

图1C显示了在热通量很大的情况下，吸液芯内部存在的状态。在高热通量情况下，液-汽界面40后退到毛细吸液芯24内，这提供更大的蒸发面积。当液-汽界面40后退时，由于毛细吸液芯24相对低的热传导率，蒸发器20的热阻增加。当液-汽界面40后退时，也许更为重要的是由于蒸汽34在到达蒸汽通道32之前必须通过毛细吸液芯24的小孔流动一定的距离而使总压力降急剧的增大。最后，蒸汽34的压力降超过了毛细吸液芯24的毛细泵送能力，蒸汽突破到中央通道26，也就是蒸发器20的液体侧。这种“蒸汽泄漏”状态给蒸发器的性能造成了热通量上的限制。

为了减轻这些影响，传统的LHP型蒸发器一般采用金属毛细吸液芯代替陶瓷、玻璃、或者聚合物吸液芯，使吸液芯有相对高的热传导率。更高的热传导率会更有效的将热量传递至吸液芯，这将增加蒸发作用发生的范围，因而减小热阻。但是，更高热传导率的吸液芯增加了在吸液芯其它侧通过吸液芯传递到液体28的热量泄漏。这会导致中央通道26内液体28的沸腾，因而阻止液体28流动到蒸发器，并且限制了热通量的最大值。吸液芯厚度的增大多少会减轻这种热量泄漏，但是，这将减小吸液芯的渗透率，从而也将减小这种蒸发器的热通量最大值。

可以预见到，将来其他设备中的高功率激光检测设备、下一代或将来的微处理器芯片和其他电子器件的热处理将需要热通量大于 $100\text{W}/\text{cm}^2$ ，功率耗散在 $2-5\text{kW}$ 的范围内。加利福尼亚(California)、Santa Clara、英特尔公司(Intel Corporation)的ITANIUM®微处理器已经达到了局部热通量大约为 $300\text{W}/\text{cm}^2$ 。相反，大多数传统的蒸发器，例如上边讨论过得蒸发器20，有代表性地当热通量超过大约 $12\text{W}/\text{cm}^2$ 时就不会工作了，这是由于覆盖在毛细吸液芯内的蒸汽阻止了液体流入吸液芯。虽然一些近来蒸发器的设计例如双分散吸液芯的设计，当局部热通量为 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 时可以证明有很好的性能，但是将继续需要蒸发器能够在热通量平均值为 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 甚至更大时，常规地运行。

发明内容

第一方面，本发明涉及一种毛细蒸发器，其包括限定至少一个第一通道的至少一个第一肋。毛细吸液芯与至少一个第一肋相对，并与至少一个第一肋分开。一个位于至少一个第一肋和毛细吸液芯之间的第一桥，其在毛细吸液芯和至少一个第一通道之间提供流体连通，并在毛细吸液芯和至少一个肋之间提供热传递。第一桥具有尺寸沿着从至少一个第一肋到毛细吸液芯的方向减小的内部特征。

另外一方面，本发明涉及一种毛细蒸发器，其包括一个毛细吸液芯，该毛细吸液芯具有一个第一面和与第一面分开的第二面。第一桥与毛细吸液芯的第一面相对，该第一桥具有多个第一内部通道，每个第一内部通道都有一个第一横截面积。多个第一内部通道的数量沿着远离毛细吸液芯的方向减少，而多个第一内部通道的第一横截面积沿着远离毛细吸液芯的方向变大。第二桥与毛细吸液芯的第二面相对，该第二桥有多个第二内部通道，每个第二内部通道都有一个第二横截面积，其中，多个第二内部通道的数量沿着远离毛细吸液芯的方向减少，而多个第二内部通道的第二横截面积沿着远离毛细吸液芯的方向变大。

附图说明

为了举例说明本发明，附图展示了本发明目前优选的形式。然而，应该明白，本发明不仅仅局限在附图中展示的具体的配置和手段，其中：

图1A是一个传统毛细蒸发器的纵向剖视图；

图1B和1C是各自代表毛细蒸发器处于低和高热通量的情况下，图1A所示的传统毛细蒸发器的毛细吸液芯/壳体分界面的放大剖视图；

图2是一个本发明毛细蒸发器的剖视图；

图3是一个图2所示毛细蒸发器的蒸汽侧桥的一部分的透视分解图；

图4是图3所示蒸汽侧桥的放大局部平面图；

图5A-5D分别是图2所示毛细蒸发器的蒸汽侧桥的一个可替换实施例的透视分解图；

图6是本发明中一个可替换的具有蒸汽侧和液体侧桥的毛细蒸发器的一部分的局部透视分解图；

图7是四个测试蒸发器中的其中一个蒸发器的前视剖视图，测试蒸发器是用于进行按照本发明制作的各种毛细蒸发器运行性能的量化实验；

图8是一个装配在测试装置中的图7所示测试蒸发器的前视剖视图；

图9A和9B分别展示的是一个测试蒸发器的温度相对于时间的一个典型的轨迹，和相应的热阻相对于热通量的曲线；

图10A-10D分别是四个测试蒸发器中每个蒸发器的热阻相对于热通量的曲线图；

5 图11是四个测试蒸发器的热通量最大测量值相对于每单位面积孔周长的曲线图。

具体实施方式

参照图2所示，依照本发明，一个用数字100表示的毛细蒸发器。如在上面背景技术部分讨论的蒸发器20一样，毛细蒸发器100可装入一个两相热传输系统，如其中上边叙述过的环路热管（LHP）和毛细泵送环路（CPL）。毛细蒸发器100可以是适合与任意不同热源，例如希望被冷却的热源102连接的任意尺寸和/或形状。本领域的技术人员明白，按照本发明可制造出不同形状和/或尺寸的毛细蒸发器100，并且本发明应用中展示和描述的不同的毛细蒸发器仅仅用来诠释本发明的不同方面，而不是用来限制在此后附加的权利要求所限定的本发明的范围。

15 由于下面详细描述的独特结构，本发明的毛细蒸发器100具有处理大热通量的能力，如 100 W/cm^2 到 1000 W/cm^2 和更大，这明显高于传统的毛细吸液芯型蒸发器能够处理的最大热通量值。因此，在重力和微重力应用中，毛细蒸发器100对于具有高热通量热源102，例如激光器、微处理器和其他高功率电子设备的热处理系统是一个重要的元件。本领域的技术人员应该知道本发明毛细蒸发器100能够适用不同的应用。

20 与上述背景技术部分描述的蒸发器20类似，毛细管蒸发器100可由壳体104和位于壳体内部的毛细吸液芯106构成。壳体104可以由具有相对高的热传导率的材料制成，如金属，例如其中的铜或铝，或者其他高热传导率的材料，壳体从热源102向毛细吸液芯106传递热量。壳体104可以包括多个肋108，肋108限定一个或者多个用于传递来自于毛细吸液芯106的蒸汽112的通道或管路110，蒸汽112是通过从热源102吸收热量而使吸液芯内的工作流体114蒸发而产生的。

25 如这里用到的和在附加的权利要求书中提到的，复数词“肋”包括其中有一个单独的肋存在的情形，举例说，一个单独的螺旋肋或者一个单独的弯曲的肋，但是线性剖面图展示的这个单独肋是沿它的长度“切”在多个部位的，这就是存在许多肋的原因。术语“肋”也包括限定通道任意一个侧面的任意结构，无论怎

样，第二通道位于这个结构的另一侧。例如用于限定形成在块内部的底部通道的一个侧边的固体块材料，该材料的实心砌块的部分对于本发明来说可以被认为是肋。

毛细吸液芯106可以由任何适合材料制成，该材料具有用于传递工作流体114通过的毛细通道。例如，毛细吸液芯106可以由具有相对低的热传导率的材料，如其中的陶瓷、玻璃或者聚合体制成，或者由具有相对高的热传导率的材料，如其中的金属制成。这些材料可通过任何公知的手段制成毛细吸液芯106，例如其中的铸造、烧结、微加工和蚀刻法。除了传统的吸液芯结构外，毛细吸液芯106也可以由一个或者多个类似于下面描述的分层FL的微孔分层（没有显示）组成。本领域的技术人员懂得多种材料和结构都可以用在毛细吸液芯106上。毛细吸液芯106可限定一个中央通道116，用以引导液体114沿着吸液芯的长度将液体分布到吸液芯中去。能够使毛细蒸发器100在所设计的工况下以两相（液/汽）运行的任何合适的流体都可以作为工作流体114。适合作为工作流体114的液体，其中例如水、氨、醇类和如碳氟化合物R-134的制冷剂。

然而，和蒸发器20不同，本发明的毛细蒸发器100包括一个“热桥”，如位于肋108和毛细吸液芯106之间的蒸汽侧桥118。一般情况下，蒸汽侧桥118的作用是作为一个热散布器，它将从肋108获得的热量充分均匀地散布到毛细吸液芯106的整个外表面120，蒸汽侧桥也作为一个将在毛细吸液芯外表面形成的蒸汽112引导至蒸汽通道110的蒸汽收集管。

如图3和4，也如图2所示，蒸汽侧桥118可以包括一个或者多个“不规则碎片形”层FL，例如图中的分层FL1、FL2、FL3。在这里术语“不规则碎片形”是为了方便用来表明桥118的不同层FL都有一个大体上由孔122所限定的内部结构，孔122设定和布置得不仅能够使桥具有将从肋108获得的热量尽可能均匀地传递到毛细吸液芯106整个外表面120的能力，也能使桥具有对于蒸汽112来说的高渗透性。满足这些标准的一种类型的桥118由多个层FL组成，每一个层的孔122在尺寸和数量上都不同于其他层FL的孔的尺寸和数量，越接近肋108的层具有越大尺寸和越少数量的孔，而越接近毛细吸液芯106外表面120的层具有越小尺寸和越多数量的孔。

当所有层FL的孔122都彼此具有相同的形状，并且以相同模式布置，但孔的尺寸随层减小，而孔的数量随层增加时，实际上孔多少就有点“不规则碎片形”

，即它们的形状和模式在远离肋108的方向上从一个层到下一个层以越来越小的规模重复。然而，需要注意的是，如果使用的层超过两个，术语“不规则碎片形”的使用不是用来暗示从一个层FL到下一个层的形状和模式必须是一样的，在相邻层之间的比例因子中也没有任何形式数学关系。另外，应该注意到，尽管所展示和描述的桥118是包括多个以分开的板形式的层FL，这些层也可存在在一个整体的桥内。此外，在后者情形下，这些层FL也可以不必象它们在板-型实施例中限定的那样。这就是说，从最接近肋108的较大而且较少的孔122向最接近吸液芯106外表面120的较小而且较多的孔的过渡可能会比那些单个板所提供的不连续阶段更渐进。本领域的技术人员知道，尽管图2-4举例说明了蒸汽侧桥118具有三个分数维层FL1-3，但是根据特殊蒸发器100的设计，本发明中的桥可具有多于或者少于三个分数维层。

每一个分数维层FL1-3可以由金属板做成，例如铜或者铝或者其他具有相对高的热传导率的材料，每一个分数维层由延伸至整个板的多个通道或者孔122组成。随着每一个连续的层越靠近毛细吸液芯106，分数维层FL1-3上的孔122的数量增加，尺寸减小。这就是说，离毛细吸液芯106最远的分数维层FL1拥有相对少而大的孔122，反之，最靠近吸液芯的分数维层FL3拥有相对多而小的孔122。分数维层FL2于是将拥有中间数量和尺寸的孔122。

在这里，分数维层FL的构造和孔122的布置与现有技术中蒸发器的结构相比，具有几个重要的优点。当分数维层FL的特征尺寸减小时，在吸液芯106和桥118之间的周边接触超出图1A所示的肋30与吸液芯24之间的周边接触许多倍。因而，蒸发区域显著的增加，热流的级别可增加至能使在现有技术中的吸液芯里，也就是图1C阐明的吸液芯24里产生蒸汽渗透。此外，蒸汽侧桥118是一个有效的结构，该结构不仅可以满足桥必须满足的要求，即引导热量从壳体104到毛细吸液芯106传递，并且提供由不同分数维层FL1-3的孔122交叠形成的通道，以引导蒸汽112离开吸液芯。同样，由于热流被更有效地传递到吸液芯106的所有区域，而不是象传统的蒸发器那样集中在局部区域，例如图1A中的蒸发器20内的肋30直接与吸液芯24接触，所以毛细吸液芯106的材料可以是绝热的，而不是导热的，这样不会发生显著的性能恶化。在这种情形下，传递至与液体114相邻的毛细吸液芯106的相对侧的热量大幅下降，性能限度使液体内发生的气泡沸腾消除。

在特定的结构中，分数维层FL1可以有具有间距P1的正方形孔122，间距也就

是从一个孔的一个点到另一个直接相邻的孔的相同点之间的距离，其中分数维层FL1上的每一个孔都有一个第一面积A1。应该注意，在实施例中展示的间距P1是沿着蒸汽侧桥118两个垂直的轴124、126的间距。然而，本领域的技术人员应该知道，沿着每一个轴124、126（图4）的间距P1可能会互不相同。另外，为了在特定的设计情况下优化蒸汽侧桥118，任意方向上的间距P1也可以不同。如果愿意，间距P1可与肋108的间距相等，这样分数维层FL1的腹板128与肋对应使分数维层FL1与肋之间的接触面积最大，使肋与分数维层FL1之间的传导最大。

每一个连续的分数维层FL上的孔122的尺寸和间距小于分数维层FL1，也就是说，分别在本例子中，分数维层FL2和FL3以小于紧靠前面的分数维层的比例因子来调节。例如，当比例因子为0.5时，分数维层FL2上的孔122沿着垂直轴124、126的间距P2将等于间距P1的一半，正方形孔的边长将是分数维层FL1上孔边长的一半。因此，分数维层FL2上孔122的数量将是分数维层FL1上孔数量的四倍，孔的总周长是分数维层FL1孔的总周长的两倍，但是，孔的总面积是一样的。同样的，分数维层FL3相对于分数维层FL2以0.5的比例因子调节时，间距P3将会是间距P2的一半，分数维层FL3上孔122的数量是分数维层FL2的四倍，孔的总周长是分数维层FL2孔总周长的两倍，但孔的总面积相同。除了数量上的不同，间距P1-3和分数维层FL1-3中的一个层到另一个层上孔122的尺寸以及这些分数维层的厚度也可以调节，但这不是必须的。例如，当比例因子为0.5时，分数维层FL2的厚度可以是分数维层FL1厚度的一半，分数维层FL3的厚度可以是分数维层FL2厚度的一半。下表I表示了对于每两个相邻的层，当比例因子为0.5时，分数维层FL1-3不同方面之间的关系。

表I

分数维层	总面积 (cm ²)	孔的数量	每一个孔的面积(μm ²)	孔的总周长(μm)	间距(μm)	厚度(μm)
FL1	4	289	4.9×10 ⁵	8.092×10 ⁵	1,200	500
FL2	4	1,156	1.225×10 ⁵	16.184×10 ⁵	600	250
FL3	4	4,624	3.0625×10 ⁴	32.368×10 ⁵	300	125

因此，蒸汽侧桥118和分数维层FL1-3可以以任何符合毛细吸液芯106的外表面120形状的形状制做。例如，如果毛细吸液芯106是平面的，分数维层FL1-3也同样

是平面的，如果吸液芯是圆柱的，分数维层也同样是圆柱的。如果蒸汽侧桥118是除了平面以外的形状，例如是弯曲的或者是折叠的，分数维层FL1-3上孔122的间距P1-3需要与用于相应的平面桥106的间距不同，以解决曲率或者折叠带来的影响，并且分数维层距曲率或者折叠的中心的距离也不同。

- 5 为了提高通过蒸汽侧桥118的热传导作用，和/或制作一个用于桥的统一结构，分数维层FL1-3可以，但不是必须的，在相邻层之间的接触区域上，例如通过扩散粘结，被相互连接或者连续的附加。同样的，为了提高肋108和蒸汽侧桥118之间的和/或在桥和毛细吸液芯106之间的热传导，例如通过扩散粘结或者其他方式把桥同样地附加到一个或者两个肋和吸液芯之间。
- 10 每一个分数维层FL1-3可以利用一个或者多个现有技术中公知的适合制造孔122和这些层的其他特征的制造技术来制造。这些技术包括在微电子工业和微加工技术中常用的掩饰处理技术、图像重叠技术和化学蚀刻技术，其中例如广泛应用于各种工业中的机械加工、激光加工和电子放电加工（EDM）。因为这些制造分数维层FL1-3的技术都在本领域中是公知的，所以不需要在这里对它们进行详细地
- 15 介绍了。虽然图3和4所示的蒸汽侧桥118有正方形孔122，但是如图5A-D分别所示的可供选择的桥118'、118''、118'''、118''''一样，桥118的孔也可以是任何所希望的形状，其中如拉长的矩形（图5A）、圆形（图5B）、三角形（图5C）或者六边形（图5D）。

可以知道，蒸汽侧桥118的几何形状是非常丰富的，因而，可以容易地优化

20 桥使毛细蒸发器100有一系列特别的运行条件。由于蒸汽侧桥118有这么多的变化，以至于设计者可以优化一个特定的设计。这些变化包括其中的分数维层FL数量、每一个分数维层的厚度、孔122的尺寸、每一个孔的形状、孔的间距P、比例因子和孔的面积与总面积的比值。

图6图示了一个本发明中可供选择的毛细蒸发器200，该蒸发器有一个蒸汽侧

25 桥202和一个液体侧桥204。与上边结合图2-4描述的蒸汽侧桥118相似，蒸汽侧桥202提供了一个加强的结构，该结构能够在毛细吸液芯206和蒸汽侧肋208之间提供一个结构，蒸汽通道210具有强大的能力将热量从肋向吸液芯传递，但也具有允许蒸汽（未示出）从吸液芯向蒸汽通道流动的高渗透性。在所示的实施例中，蒸汽侧桥202有类似于上述图2-4中对应于桥118的分数维层FL1-3的三个分数维层FL'1-

30 3。当然，如上边讨论的一样，桥202也可以按期望的拥有任意数量的分数维层FL'

，和任意既符合高渗透性标准又具有高热扩散能力的适合结构。

液体侧桥204所具有的优点与蒸汽侧桥202相似。也就是说，液体侧桥204在提供一个高渗透性即允许流体（未示出）从液体通道212充分均匀地流过吸液芯的结构的同时，也能够提供一个能充分均匀地冷却毛细吸液芯206的结构。毛细吸液芯206经常希望被冷却以抑制对毛细蒸发器的制冷能力具有极大破坏性的毛细蒸发器200液体侧214上液体的沸腾。当液体侧桥204由具有高热传导性的材料，如其中的金属制成时，部分地，由于液体侧桥离毛细吸液芯206最远的区域能与相对冷的肋216接触，使得液体侧桥提供这种冷却能力，这些肋216通过流经液体通道212的例如来自于冷凝器（未示出）的冷流体的流动来冷却。液体侧桥204的这个区域也浸入在来自于液体通道212的相对冷的液体内。这样，当液体侧桥204热传导时，分数维层FL''1-3的固体部分218从肋216“扩散冷量”，并且液体通道212内的液体越过毛细吸液芯206的液体侧表面220。

与蒸汽侧桥202、118（图2-4）相同，液体侧桥204由于它的内部特征而具有这种扩散能力，这种内部特征例如是孔222，在远离肋216的方向上，当从一个层FL''到下一个层时，该孔222的数量增加，尺寸减小。就是这种结构使得液体侧桥204具有相对高的渗透性，并能使液体从液体通道212扩散越过毛细吸液芯206的液体侧表面220。类似于蒸汽侧桥202，当显示的液体侧桥由三个分数维层FL''1-3组成时，本领域的技术人员容易想到液体侧桥也可以有更多的或者更少的层，并且可以是任意能够提供高渗透性、高流体流散性和高“冷量流散性”的结构。

20 实验结果

为了说明本发明中桥对本发明毛细蒸发器性能上的影响，发明者构造了四个除了分数维层数量不同以外其他都彼此相同的蒸发器。其中一个蒸发器无论如何没有桥，其他三个蒸发器每一个都有一个蒸汽侧桥和一个液体侧桥，这两个桥每一个都有1、2或3个分数维层。这四个蒸发器被指定为分别表示蒸发器的每个蒸汽侧和液体侧桥内分数维层数量的分数维0、分数维1、分数维2和分数维3。

图7所示的是这四个蒸发器中的一个，该蒸发器在下边的讨论中被指定为蒸发器300，也就是它的每一个蒸汽侧和液体侧桥302、304都具有所有的三个分数维层FL''1-3的分数维3蒸发器。分数维2蒸发器（未示出）在它的每一个蒸汽侧和液体侧桥都仅包括分数维层FL''2和FL''1，而分数维1蒸发器（未示出）在它的每一个蒸汽侧和液体侧桥都仅包括分数维层FL''1。没有分数维层的分数维0蒸发器

(未示出) 仅有吸液芯320来分离蒸发器的液体侧和蒸汽侧。每一个分数维层 FL''''1-3都是光刻在一个铜板上, 在铜板上设有两个或更多个通过扩散粘结在一起的分层。表II和III显示了三个分数维层中的每个层上的名义和实际间距、厚度和孔面积。间距和厚度的比例因子为0.5, 但是由于蚀刻过程中的变化, 孔的尺寸不与比例相同。应该注意到, 没有试图优化分数维层FL''''1-3。虽然如此, 所获得的结果很好地说明了桥302、304由其自身坚固、独特的结构所带来的优点。

表II

名义尺寸

分数维层	孔径 (μm)	间距 (μm)	厚度 (μm)
FL''''1	700	1,200	500
FL''''2	350	600	250
FL''''3	175	300	125

表III

实际尺寸

分数维层	孔径 (μm)	间距 (μm)	厚度 (μm)
FL''''1	632	1,199	508
FL''''2	308	600	254
FL''''3	221	300	125

这里出现的每个桥302、304被扩散粘结在一个相对厚的铜块306、308上, 铜块306、308上有机加工在其内部的蒸汽歧管通道310或者是液体歧管通道312。蒸汽侧和液体侧铜块306、308也分别在其内部机械加工了两个热电偶端口314和一个热电偶端口316。蒸汽侧和液体侧装置每一个都有一个 1cm^2 的横向横截面积。液体侧块308被焊到套筒/配件装置318上以将工作流体提供给液体歧管通道312。一个 $275\mu\text{m}$ 厚玻璃纤维毛细吸液芯320通过环氧树脂322与套筒/配件装置318粘合, 该吸液芯320的毛细水压头为 1m 。

应该注意到玻璃纤维毛细吸液芯320是可弯曲的但是能很好的支撑在桥302、304的两个平面上。可以很容易的看出, 来自于桥302、304连续性的支撑随着分数维层FL''''数量的增加而变强, 这在有着两个桥的分数维层FL''''3的情形下就转化为最靠近毛细吸液芯320的分数维层上的较小的孔间距。

如图8所示, 每一个蒸汽侧块306被焊接到一个相应的大铜块324上, 该铜块

324包含有四个200W的筒形加热器326。液体侧装置然后被放置在蒸汽侧装置上，并且通过施加给液体侧块308一个垂直负荷P使得液体侧装置被紧紧地按住。在测试过程中，注意在蒸汽侧和液体侧桥302、304之间保持对齐。

三个热电偶328、330、332用来测量测试过程中蒸发器300的不同温度。热电偶328、330置于蒸汽侧，用来计算流入蒸发器300的热通量。通过从上部热电偶330的温度减去计算所得到的传导温降，可获得蒸汽歧管通道310底部下方1mm处的蒸汽侧铜块306的温度。蒸汽歧管通道310底部下方1mm处的温度和饱和蒸汽温度之间的差用来计算蒸发器300的热阻。

室温下，从一个0.5L的瓶（未示出）中向蒸发器液体侧供应脱气水334。在整个测试过程中，一个空气抽出器（未示出）对这个瓶保持一个常数为10cmH₂O的抽吸作用。瓶置于一个电子秤（未示出）上以使得测试过程中对它的重量进行实时的记录。水消耗的速度用来校验通过热电偶读数测得的热通量。所有仪表（未示出）的读数通过一个以计算机为基础的数据采集系统记录。

参见图9A和9B还有图7和图8，图9A和9B分别显示了热电偶328、330、332的典型温度轨迹500、502、504和在测试过程获得的相应的热阻对热通量曲线506。这些显示的结果适用于分数维2蒸发器，该蒸发器在它的每个蒸汽侧和液体侧桥302、304中都分别有两个分数维层（FL””1、FL””2）。因为蒸发器300的面积为1cm²，热通量也代表了实际流入蒸发器的热量。如图9A所示，在测试开始时所有热电偶328、330、332都处在室温。由于热量的施加，所显示的所有三个热电偶328、330、332的温度轨迹加热得非常快。蒸汽侧热电偶328、330，也就是说轨迹500、502显示了温度上的差别不大，但是由于热量不得不通过低热传导率的毛细吸液芯320传导而加热蒸发器300的液体侧，所以液体侧热电偶332即轨迹504落后。当蒸汽侧桥302顶部的温度达到饱和温度时，蒸发作用开始发生，蒸汽侧热电偶328、330的温度开始偏离，这表明在蒸发器300内热量已经通过液体334的蒸发作用被吸收。温度轨迹500、502显示了，在达到毛细吸液芯320的干涸点之前，当热通量逐渐增加时，蒸汽侧温度也持续地增加。温度轨迹504显示了液体侧温度在启动中达到了大约90℃的最大值，接着由于流入蒸发器300的室温液体的增加而使得该温度随着热通量的增加而减小。

图9B显示了，对于分数维2蒸发器300的相同测试中，所计算的蒸发器300的热阻曲线506是热通量的函数。曲线506是随着测试的进行而实时地产生的。在初

始启动瞬间之后,热阻下降到大约 $0.14\text{K}/(\text{W}/\text{cm}^2)$,接着保持相当稳定的值直到热通量大约为 $300\text{W}/\text{cm}^2$ 。这显示直到一个非常高的热通量值时,分数维2蒸发器300一直以全湿的毛细吸液芯320工作。当热通量接近 $350\text{W}/\text{cm}^2$ 时,热阻快速的增加,这表明毛细吸液芯320开始变干。随着变干,蒸发器300失去了将液体330传递至吸液芯的能力,通过液体蒸发而发生的吸热作用也不再出现,接着蒸发器内的温度急剧增加。

现在参见图10A-D,也参见图7和8,图10A-D分别是分数维0、分数维1、分数维2和分数维3蒸发器300的相对于热通量的热阻曲线600、602、604、606。这些结果显示本发明的毛细蒸发器有一个非常显著的最大热通量容量。例如,对于最后测试的分数维3蒸发器300,如图10D所示的曲线606,筒形加热器326以全功率工作,位于安装筒形加热器位置的铜结构324在它的矿物棉的绝缘作用下发出炽热的光。然而筒形加热器326没有足够的功率使得分数维3蒸发器300变干。当向毛细蒸发器供应水334的瓶中所有的水消耗完时,测试结束。即使有着单位面积最小孔周长的分数维1蒸发器300都能承受最大热通量超过 $100\text{W}/\text{cm}^2$ 。应该注意到这不仅仅是局部的热点,而是在蒸发器300的整个横截面积上有相当平均的热通量。

应该注意到分数维0蒸发器300,也就是说没有蒸汽侧和液体侧桥302、304的测试蒸发器的运行略好于只有一个桥的分数维1蒸发器。一般这是因为分数维1蒸发器300的分数维层 $\text{FL}''''1$ 的周长与面积的比值小于分数维0蒸发器蒸汽歧管通道310的周长与面积的比值。这种分数维层 $\text{FL}''''1$ 的周长与面积的比值小于蒸汽歧管通道310的周长与面积的比值并不是想要的。并且由于用于形成孔的化学蚀刻过程中相对大的公差,使得分数维层 $\text{FL}''''1$ 的孔比设计的小。本领域的技术人员应该知道,如果分数维层 $\text{FL}''''1$ 的周长与面积的比值大于蒸汽歧管通道310的周长与面积的比值,例如通过增加分数维层 $\text{FL}''''1$ 的孔的尺寸,那么分数维1蒸发器300将优于分数维0蒸发器。

图11分别显示了每一个分数维0、分数维1、分数维2、分数维3测试蒸发器300的所测量的最大热通量值700、702、704、706是孔的周长与面积比值的函数,也就是说,取决于蒸发器的最接近毛细吸液芯320的分数维层 $\text{FL}''''1$ 、 $\text{FL}''''2$ 或者 $\text{FL}''''3$ 的孔的总周长除以这个分数维层占的面积。对于分数维0、分数维1和分数维2蒸发器300,这些值700、702、704也对应于导致毛细吸液芯320内干燥的热通量。此外,注意到,没有优化运行的分数维层 $\text{FL}''''1$ 导致分数维0蒸发器300有一个比

分数维1蒸发器更高的最大热通量值。如果分数维层FL¹更优化地运行，分数维1蒸发器300将会优于分数维0蒸发器。对于分数维3蒸发器，使吸液芯变干的热通量将远大于所测量的706的值620 W/cm²，这是因为在测试的后期，热阻没有显示任何迹象表明毛细吸液芯320接近它的变干热通量。

- 5 从这些结果可观察到，这个变干热通量是随着单位面积内分数维孔的周长线性地变化的。这种观察结果符合上述背景技术部分中参照图1A-C的定性描述，在图1A-C中蒸发器20的大部分蒸发作用是发生在靠近肋30与毛细吸液芯24间的接触面积内的非常小的区域内。明显地，由于变干热通量不能无限地增加，在某点上这种近似将不再保持。然而所测量的用于分数维3蒸发器的毛细吸液芯320的渗透性和毛细压头表明在一个理想的蒸发器中用于毛细吸液芯320的吸液芯能承受
- 10 大约4,000 W/cm²的热通量。因此，将一个或者多个附加的分数维层附加到分数维3蒸发器300的分数维层FL¹⁻³，这将持续产成变干热通量的增加，从而导致这个对应的理想蒸发器的最大热通量几乎接近4,000W/cm²。

- 本发明的毛细蒸发器的热阻也可以非常地低。例如，分数维3蒸发器300的热阻仅为0.13°C/(W/cm²)。这个值低于传统热管的表面吸液芯蒸发器中的值的因数为
- 15 2，并且热阻的数量级低于或者更低于当前的LHP和CPL蒸发器。通常，蒸汽侧桥例如桥302的加入会引入额外的热传导阻力，然而，现有结果表明毛细吸液芯例如毛细吸液芯320的蒸发阻力减小，这是由于蒸汽侧桥的加入更多地补偿了由于桥的加入而引起的热传导阻力的增加。

- 20 已经结合优选实施例描述了本发明，应该能够理解本发明并不局限于此。相反，上述内容和随后附加的权利要求限定的本发明的范围和精神所能包括的所有替换物、改变和等价物都是本发明所想要保护的。

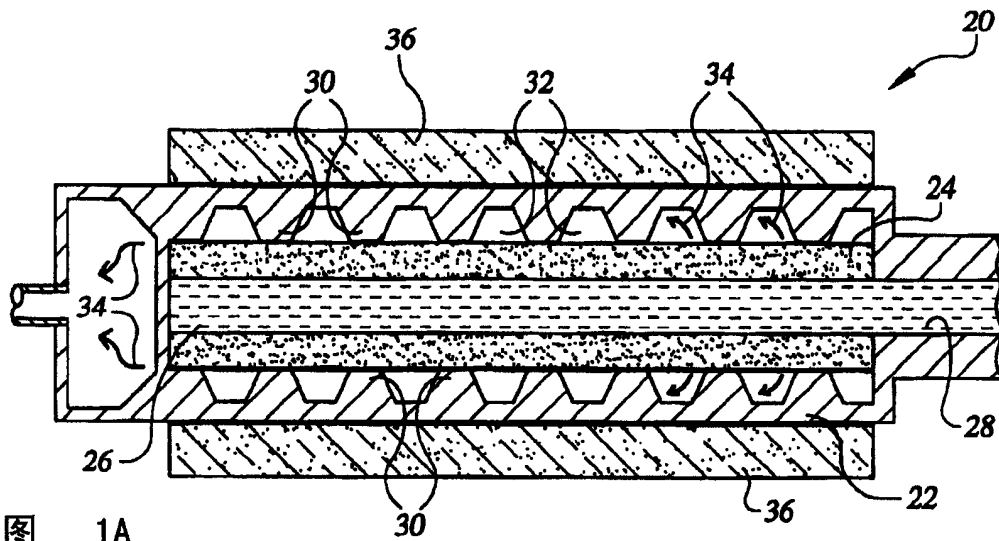


图 1A
现有技术

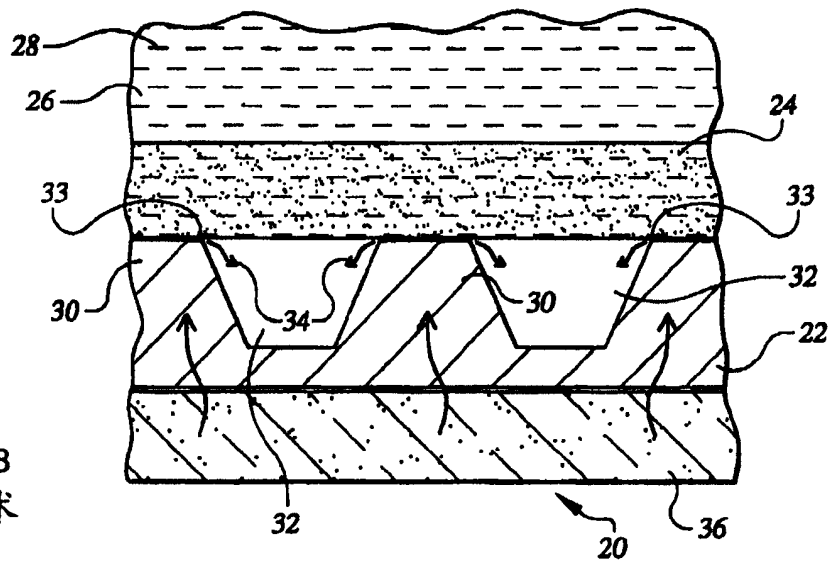


图 1B
现有技术

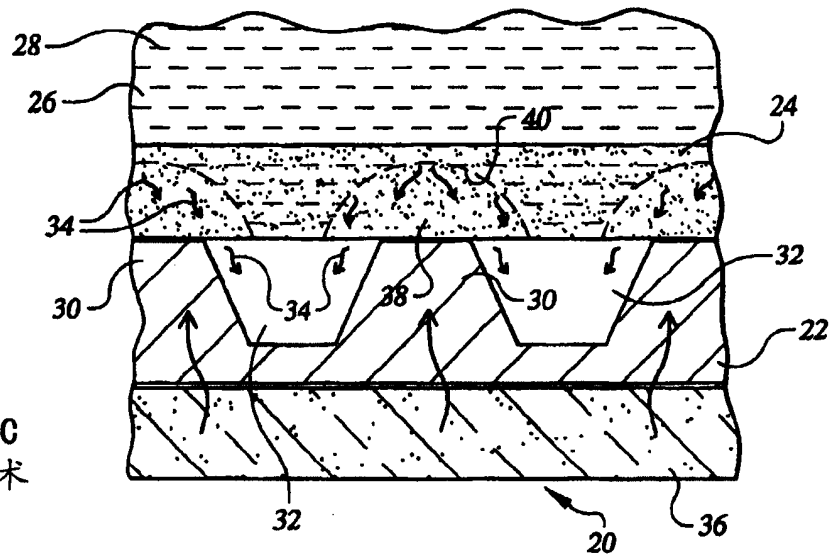


图 1C
现有技术

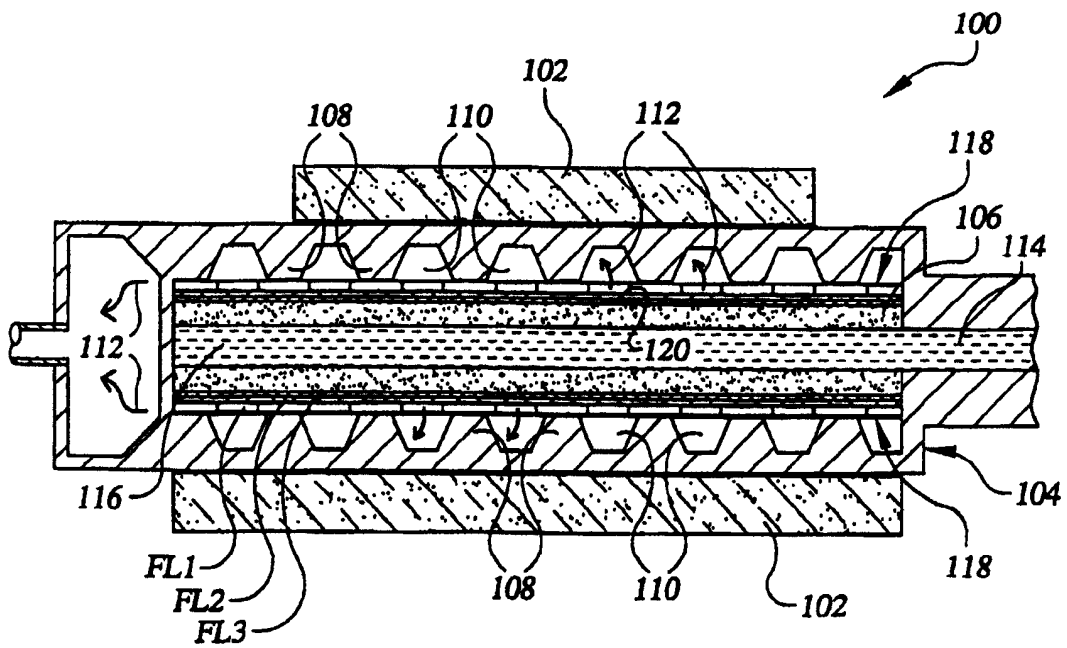


图 2

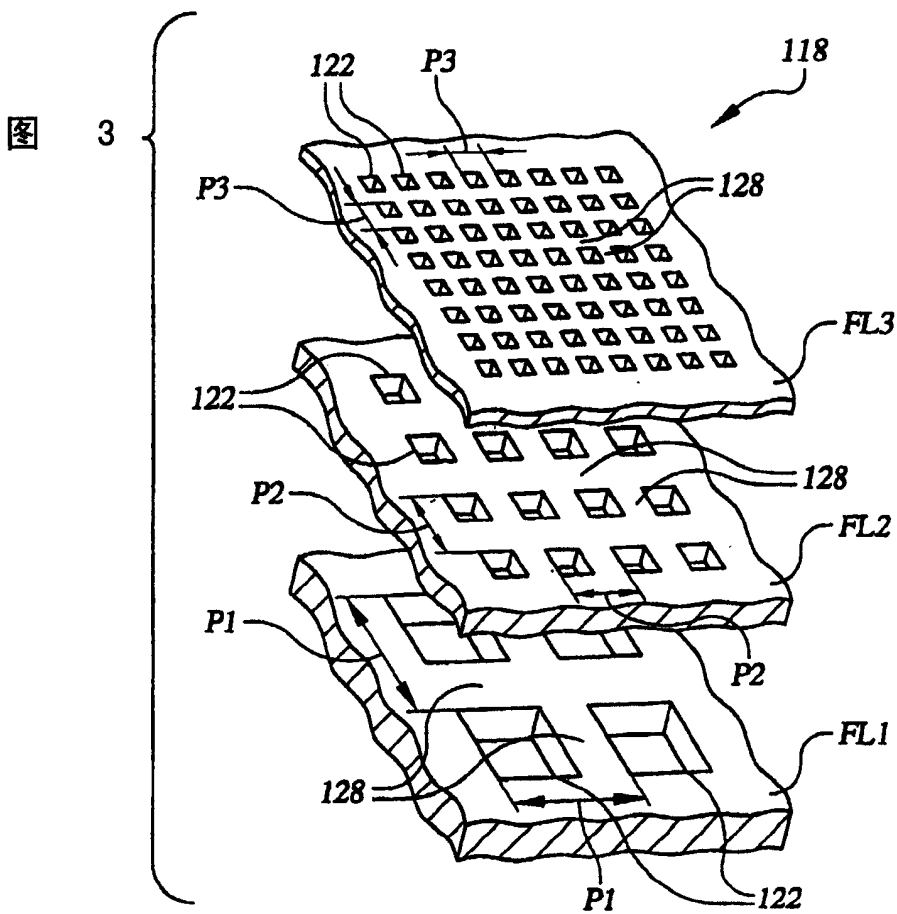


图 3

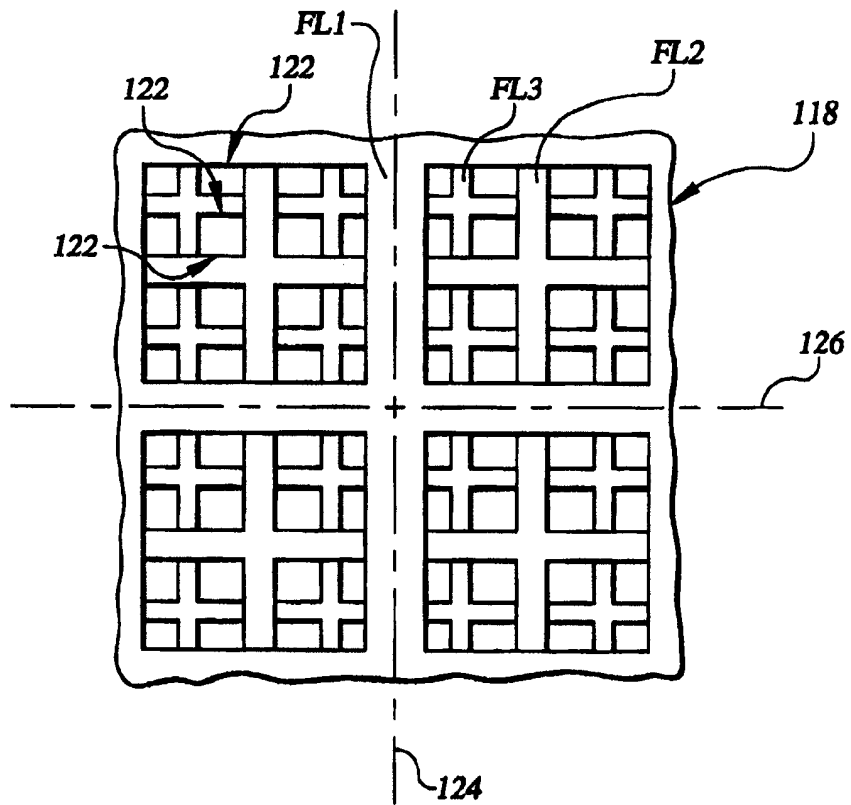
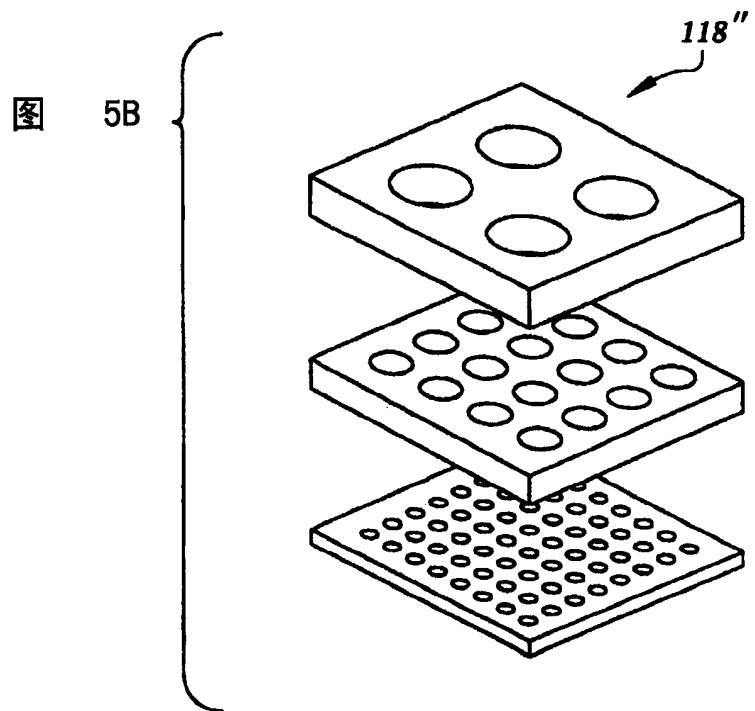
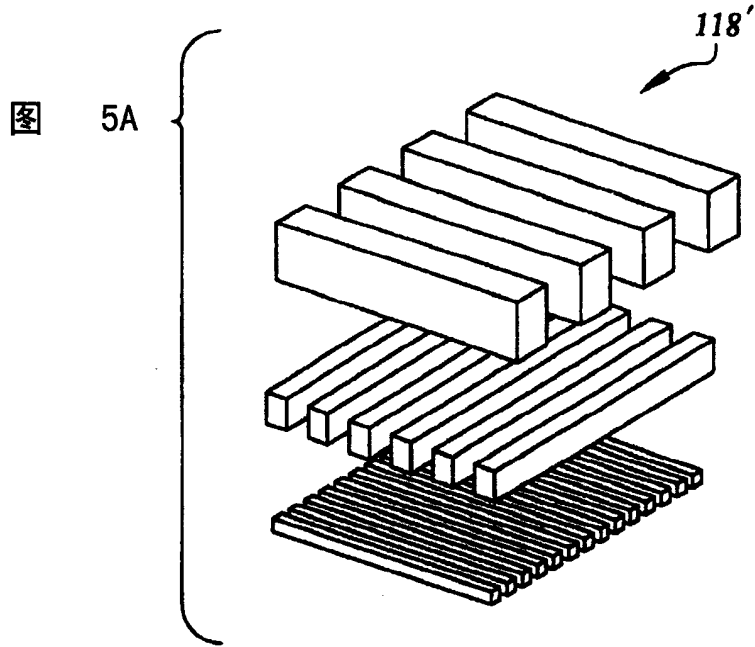
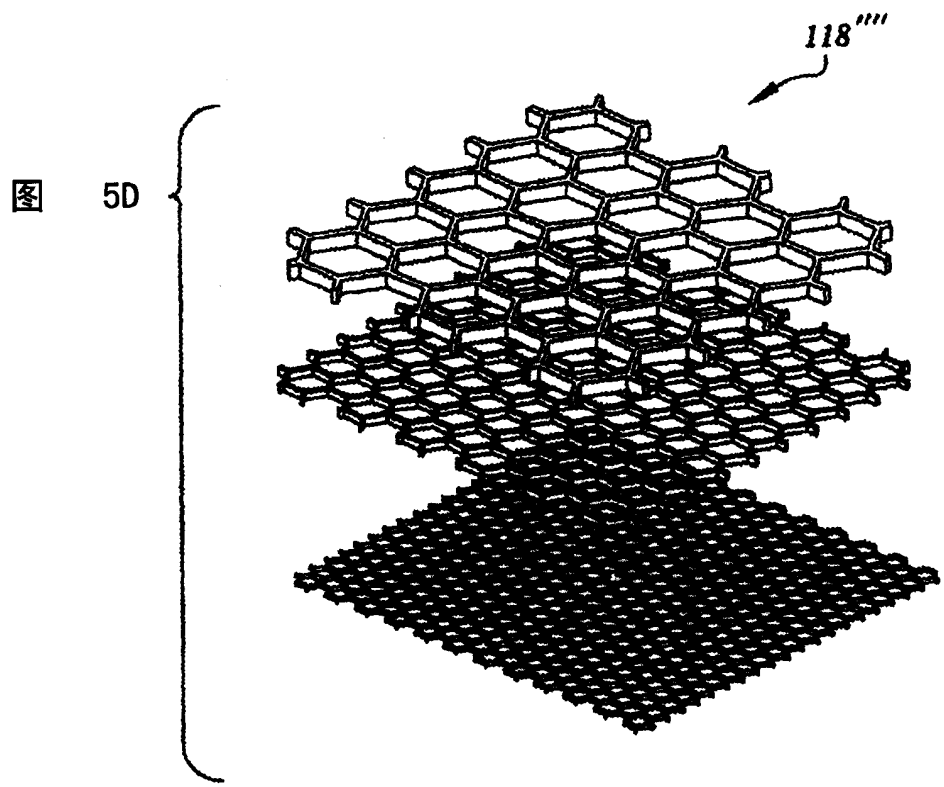
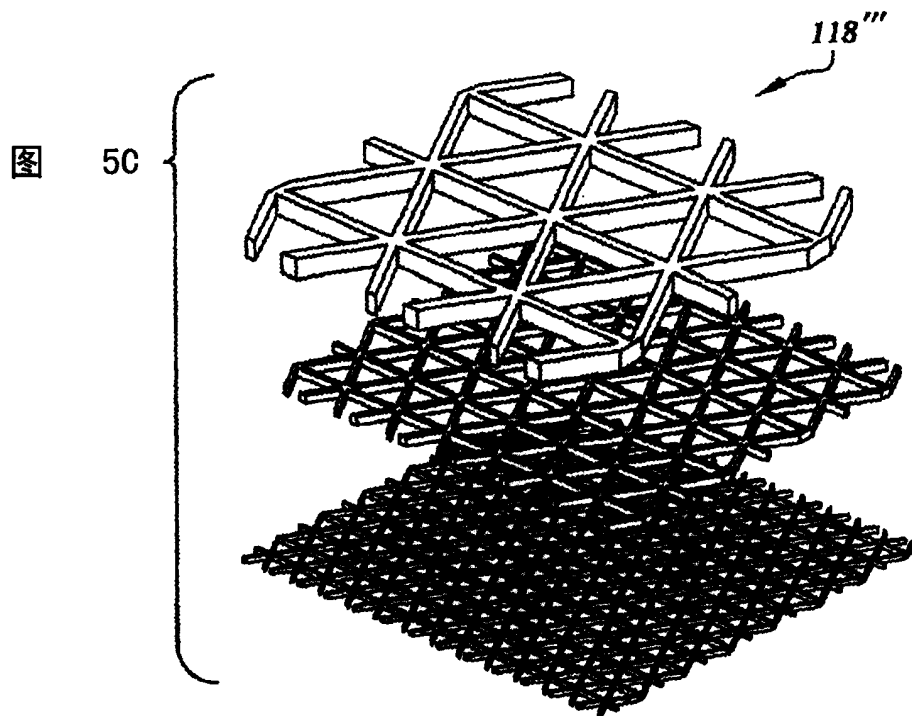
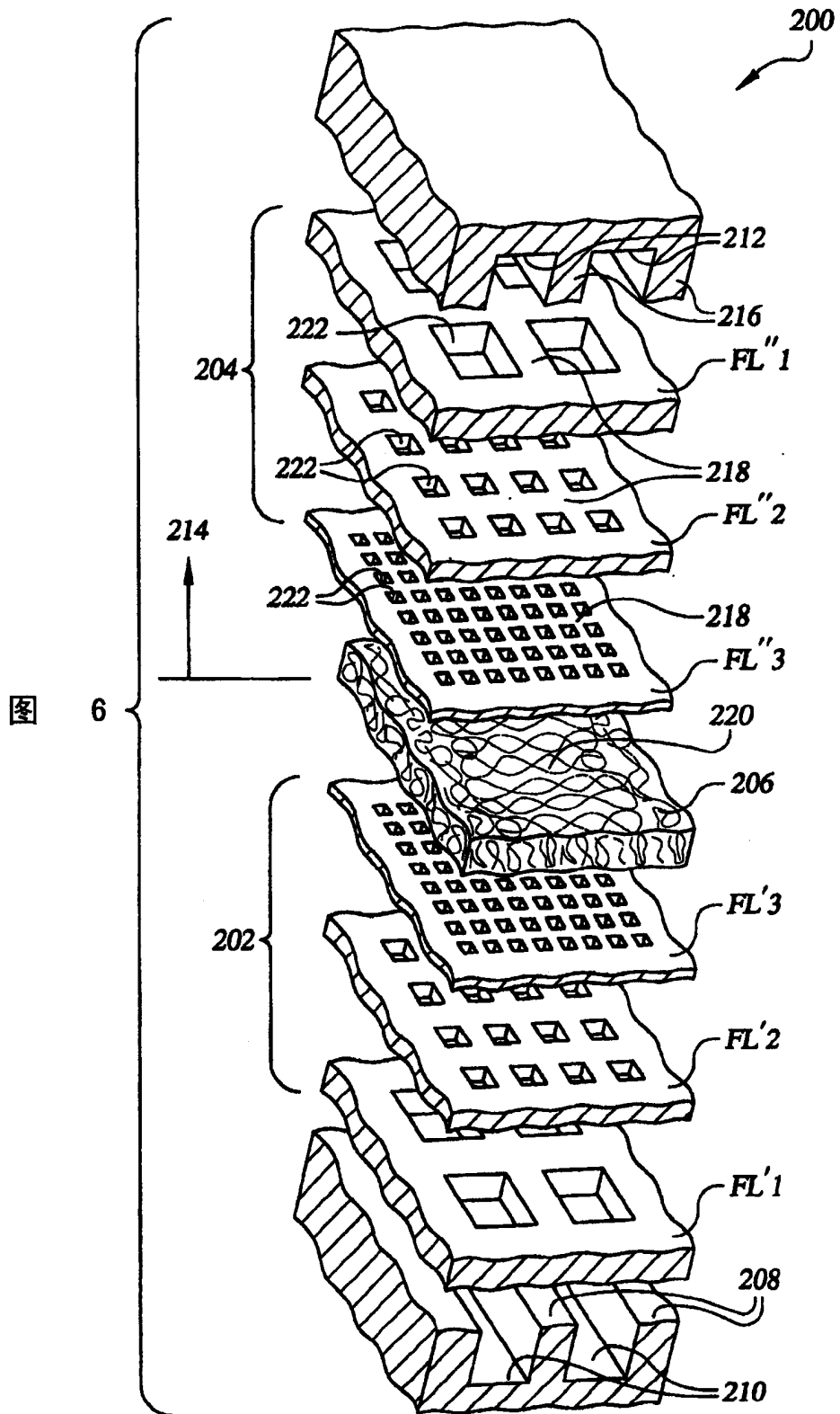


图 4







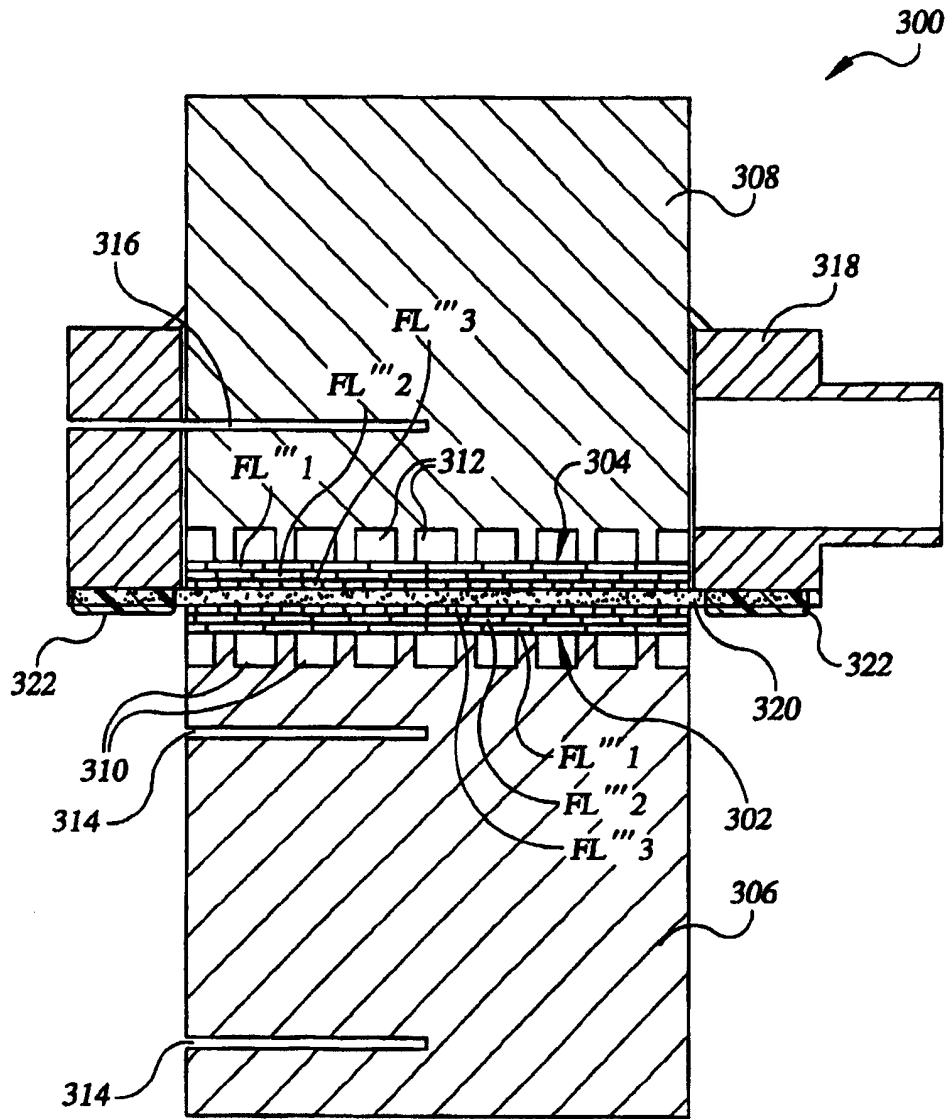


图 7

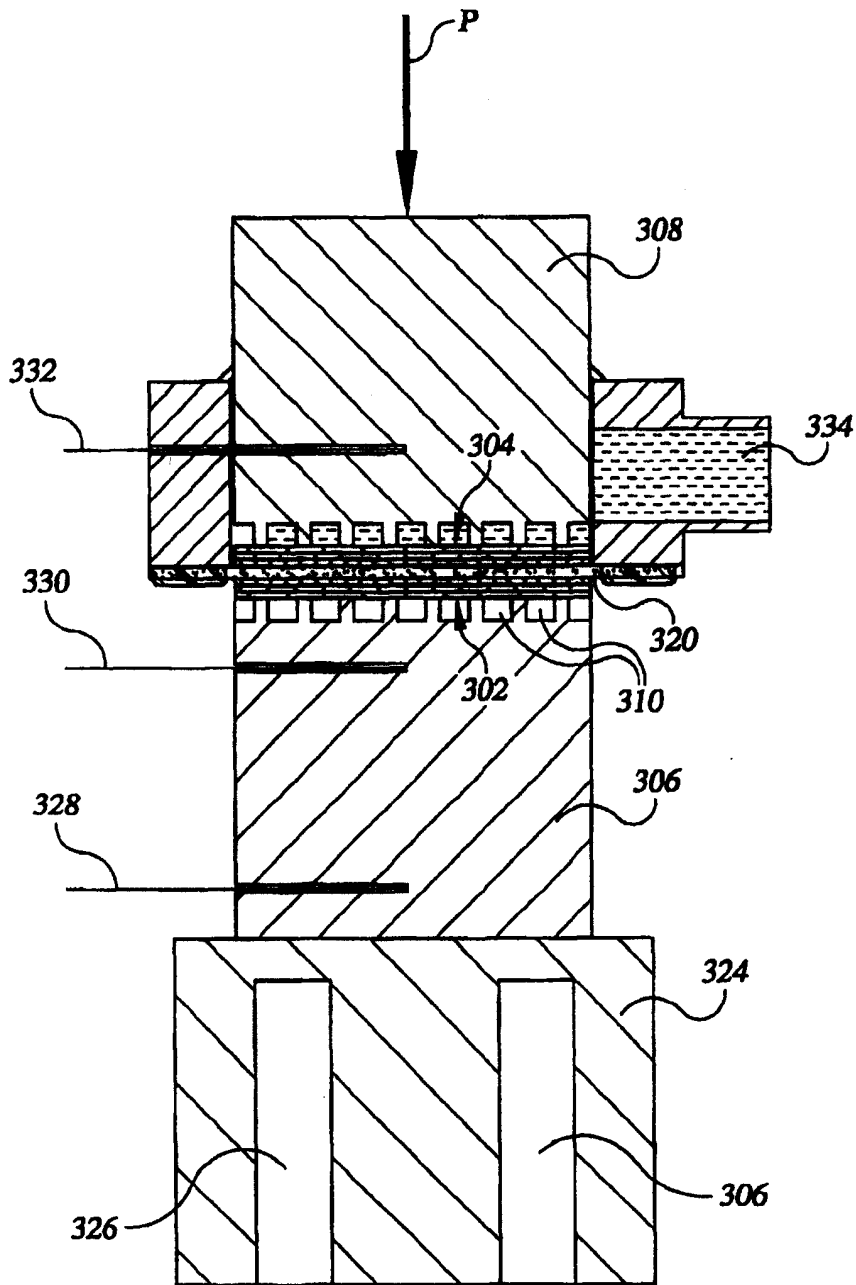


图 8

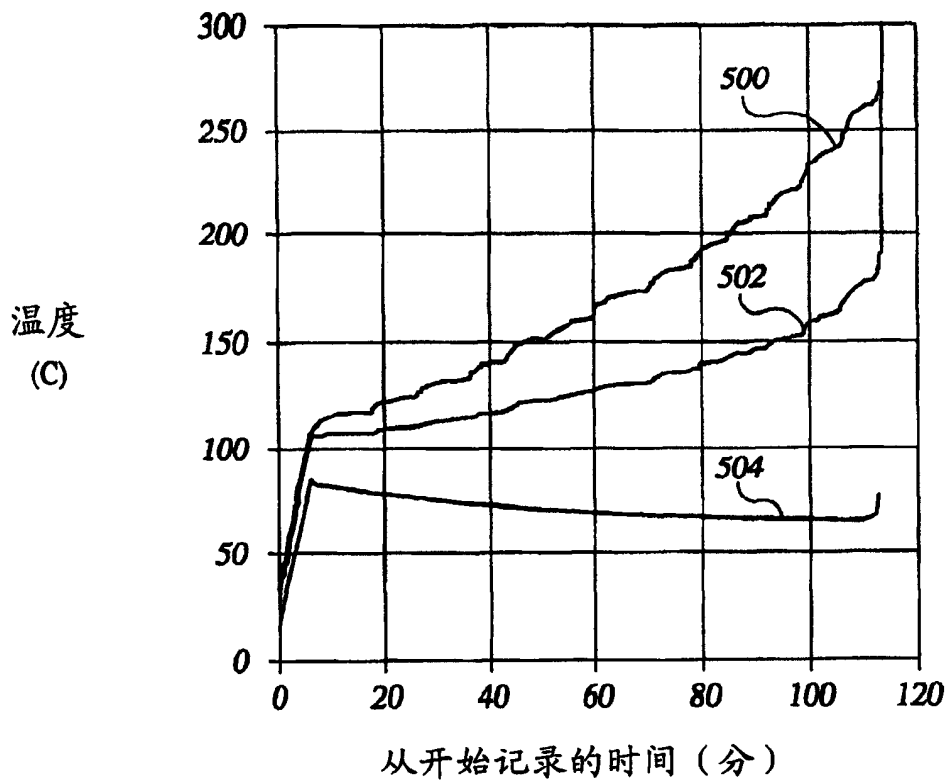


图 9A

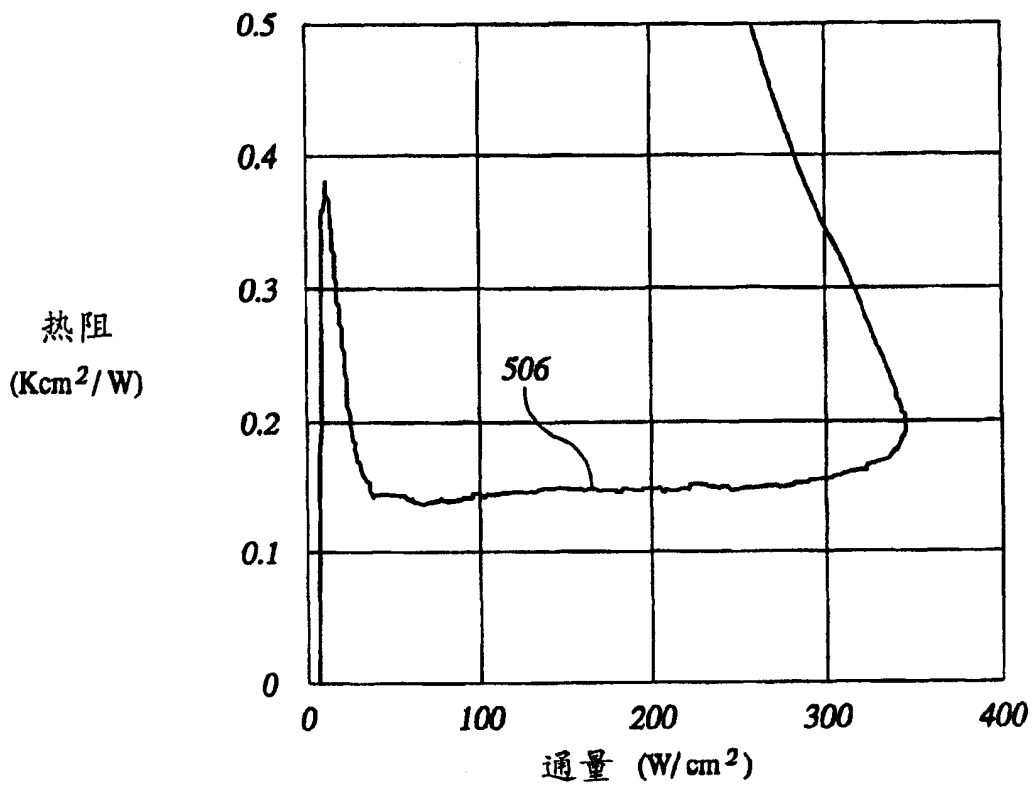


图 9B

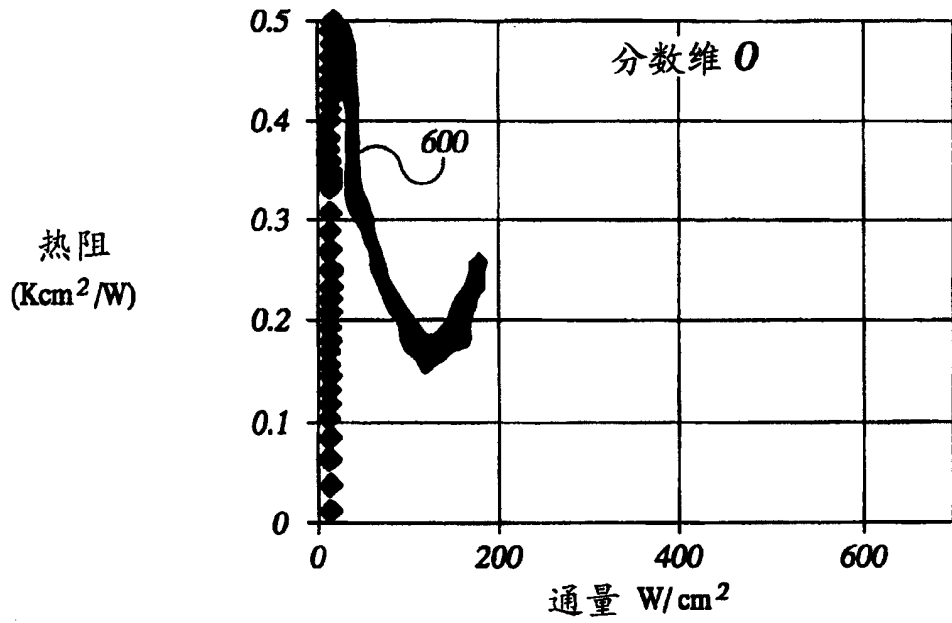


图 10A

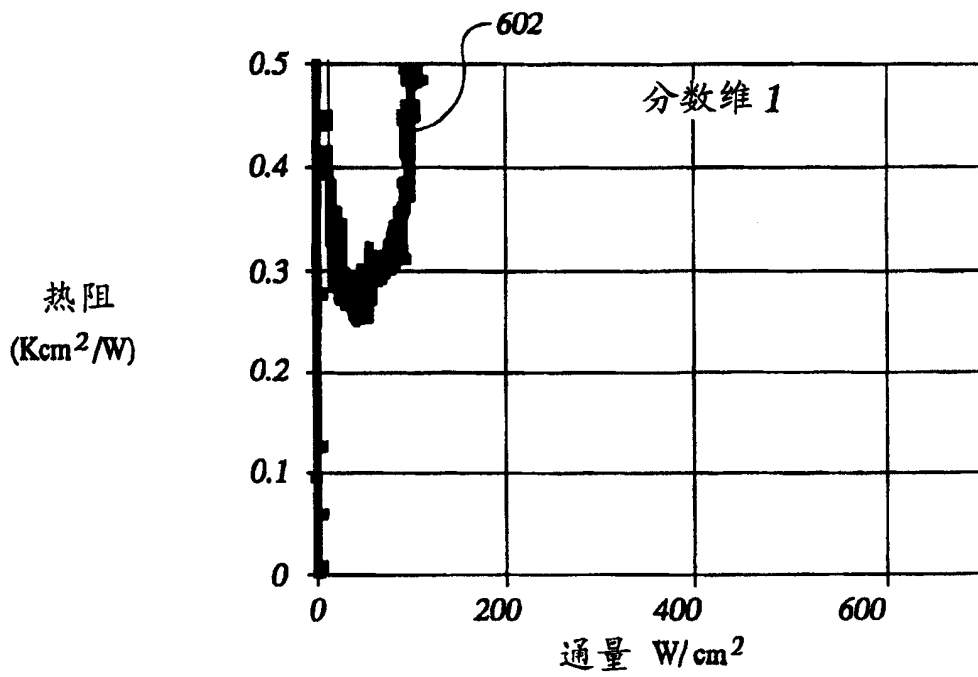


图 10B

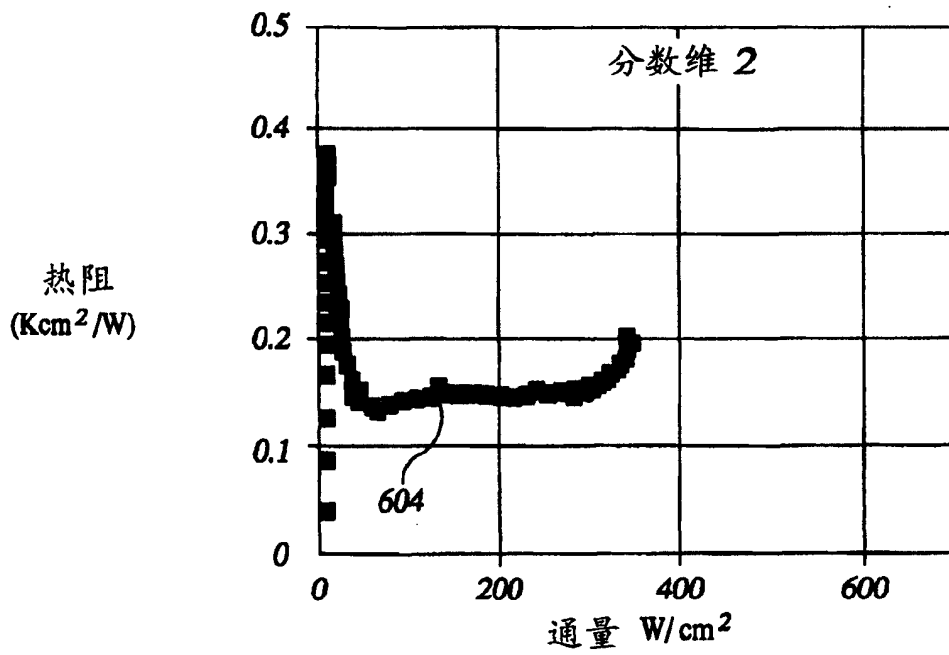


图 10C

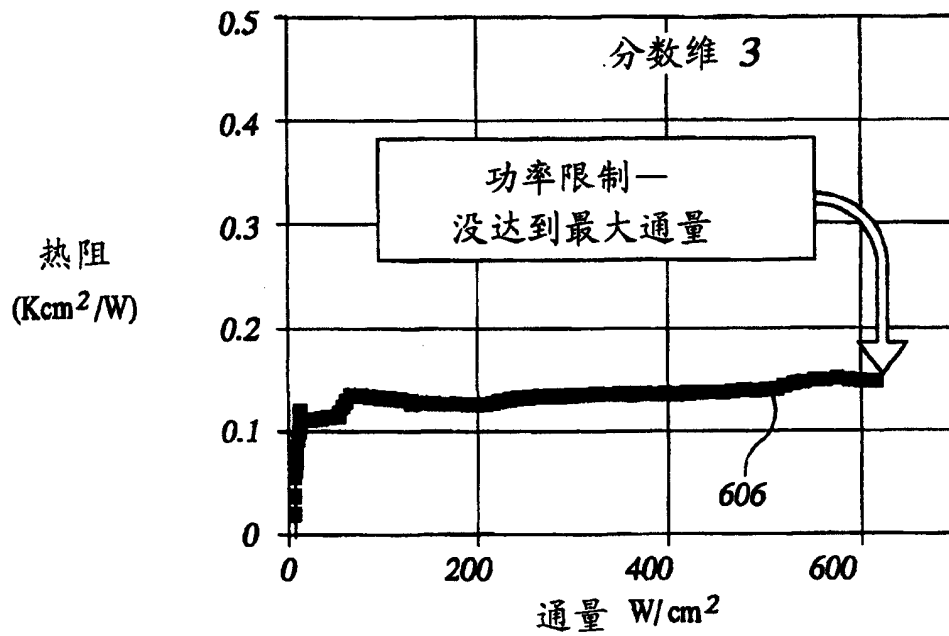


图 10D

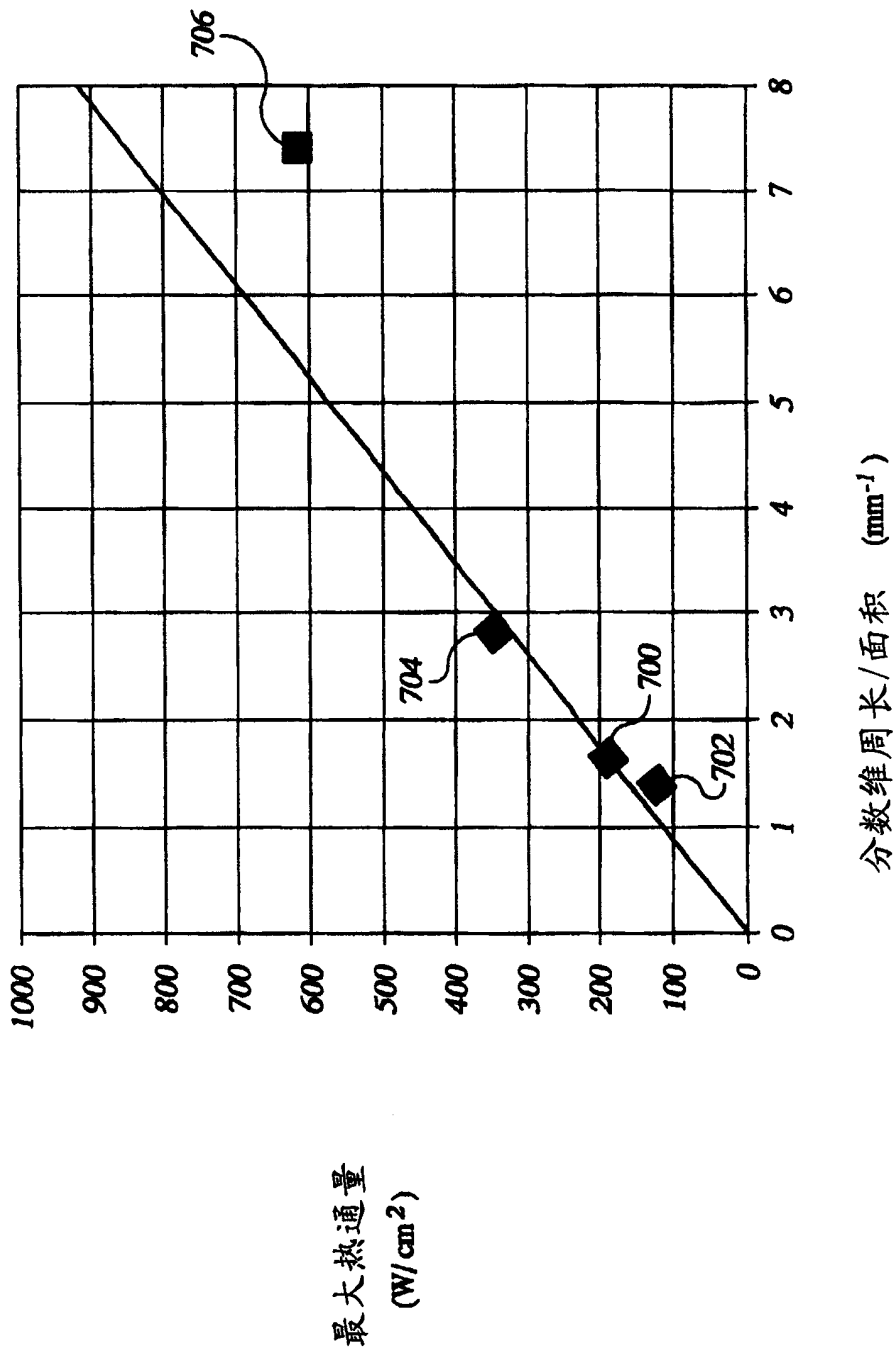


图 11