

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F25B 17/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02818878.0

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 21 日

[11] 授权公告号 CN 1306230C

[22] 申请日 2002.9.16 [21] 申请号 02818878.0

[30] 优先权

[32] 2001. 9. 28 [33] US [31] 60/326,151

[32] 2002. 1. 19 [33] US [31] 10/053,859

[86] 国际申请 PCT/US2002/029405 2002. 9. 16

[87] 国际公布 WO2003/029731 英 2003. 4. 10

[85] 进入国家阶段日期 2004. 3. 26

[73] 专利权人 莱兰德斯斯坦福初级大学理事会

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 肯尼斯·E·古德森

戴维·E·休伯 姜立男

托马斯·W·肯尼 具宰模

詹姆斯·C·米克尔森

胡安·G·圣地亚哥 王 宁

曾树林 张 联 陈传华

丹尼尔·J·莱瑟

[56] 参考文献

US6129826A 2000. 10. 10

CN2286429Y 1998. 7. 22

US5901037A 1999. 5. 4

US4862708A 1989. 9. 5

GB1201578A 1970. 8. 12

审查员 张利红

[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 董 敏

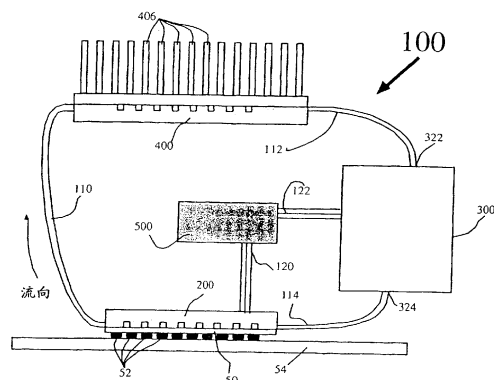
权利要求书 9 页 说明书 53 页 附图 30 页

[54] 发明名称

电渗微通道冷却系统

[57] 摘要

本发明所涉及的设备和最好使用电渗泵，所述电渗泵能够在不移动机械部分、不连带产生不能接受的电噪声和声噪声以及不连带降低可靠性的情况下产生高压和高流速。这些电渗泵最好用与目前可用微型泵相比在性能、效率以及降低重量和制造成本方面有所改进的材料和结构制造。这些电渗泵最好可用于逸出气体或沉积物的收复，这可用于长期的闭环操作。本发明所涉及的设备和方法还可通过对流过泵的流体进行电控制而允许对装置的温度进行主动调节并且可使用多个冷却环以允许装置温度分布曲线的专门和瞬时特性的独立调节。还描述了新型微通道结构。



1. 一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：

衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中；

连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流，并允许从热交换器传递热能；

连接到微通道流体入口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵被连接以提供开环流体流。

2. 如权利要求 1 所述的冷却系统，其特征在于，所述电渗泵设备包括：

具有流体入口和流体出口的流体腔室；

设置在正极腔室部分内的正极；

设置在负极腔室部分内的负极；

在正极和负极之间施加电压后能够提供电渗泵送的多孔结构，所述多孔结构在正极腔室部分和负极腔室部分之间产生在流体腔室中的分隔；以及

与流体腔室一体的催化复合器。

3. 如权利要求 2 所述的冷却系统，其特征在于，所述催化复合器使氧和氢复合。

4. 如权利要求 2 所述的冷却系统，其中还包括设置在催化复合器附近的加热元件。

5. 如权利要求 2 所述的冷却系统，其中还包括覆盖催化复合器以使其保持干燥的透气薄膜。

6. 如权利要求 2 所述的冷却系统，还包括：

设置在正极腔室部分和负极腔室部分之间的通道；以及

设置在通道附近的透气薄膜,以使通过其中的流体达到最小并且允许气体副产物通过。

7. 如权利要求 6 所述的冷却系统,其特征在于,所述气体副产物是氢并且所述通道使得设置在负极腔室部分中的氢通向正极腔室部分。

8. 一种为放热装置提供散热的方法,包括:

利用电渗泵产生具有液相的流体流;

引导流体流通过衬底中的微通道,并且所述衬底与放热装置物理相连以将热量传送到所述流体,其中所述引导步骤将来自于电渗泵的流体流通过一第一导管引导到微通道中;

进一步引导被加热的流体借助连接到微通道的一第二导管通过热交换器以冷却流体;以及

进一步引导被冷却的流体借助连接到热交换器的一第三导管返回到电渗泵以产生闭环流体流。

9. 一种与利用具有液相的流体工作的冷却系统结合使用的设备,所述设备包括:

放热装置,所述放热装置包括放热元件;以及

衬底,所述衬底与放热装置物理连接,并且所述放热装置和衬底每一个都包含至少一部分微通道,从而使热能从放热装置传递到衬底,并且使热能进一步传递到设置在微通道内的流体,所述冷却系统包括:连接到微通道并产生流体流的电渗泵;和连接到微通道以提供从中穿过的流体流和将热量从流体中传送出去的热交换器。

10. 如权利要求 9 所述的设备,其特征在于所述微通道、热交换器和电渗泵被连接在一起以形成闭环流体流。

11. 如权利要求 9 所述的设备,其特征在于,所述衬底还包括多个垂直的电互连部件。

12. 如权利要求 11 所述的设备,其特征在于,还包括多个温度传感器和一个温度控制电路,其中所述多个垂直的电互连部件提供使多个温度传感器与温度控制电路连接在一起的电连接。

13. 如权利要求 12 所述的设备, 其特征在于, 所述温度控制电路是放热装置的一部分。

14. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 所述衬底包括开口, 使得外部刺激与放热装置之间相互作用, 外部刺激包括压力、声音、化学品、机械力、和电领域作用中的至少一个。

15. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 一部分所述微通道包括:

上腔;

下腔; 以及

设置在上腔和下腔之间的多个子通道。

16. 如权利要求 9 所述的设备, 其特征在于, 所述电渗泵设备包括:

具有流体入口和流体出口的流体腔室;

设置在正极腔室部分内的正极;

设置在负极腔室部分内的负极;

在正极和负极之间施加电压后能够提供电渗泵送的多孔结构, 所述多孔结构在正极腔室部分和负极腔室部分之间产生在流体腔室中的分隔; 以及

与流体腔室一体的催化复合器。

17. 如权利要求 16 所述的设备, 其特征在于, 所述催化复合器使氧和氢复合。

18. 如权利要求 16 所述的设备, 其中还包括设置在催化复合器附近的加热元件。

19. 如权利要求 16 所述的设备, 其中还包括覆盖催化复合器以使其保持干燥的透气薄膜。

20. 如权利要求 16 所述的设备, 还包括:

设置在正极腔室部分和负极腔室部分之间的通道; 以及

设置在通道附近的透气薄膜, 以使通过其中的流体达到最小并且允许气体副产物通过。

21. 如权利要求 20 所述的设备，其特征在于，所述气体副产物是氢并且所述通道使得设置在负极腔室部分中的氢通向正极腔室部分。

22. 一种与半导体放热装置相连的热交换设备，所述热交换设备利用一种具有液相的流体工作，所述热交换设备包括：

电渗泵，所述电渗泵产生流体流；

热交换器，以提供流过其中的流体流并将热量从热交换器中传递走；

适于与所述半导体放热装置物理相连的衬底；

设置在衬底中并与电渗泵相连的第一和第二微通道流体入口；

设置在衬底中并与热交换器相连的第一和第二微通道流体出口；

以及

连接在各个第一和第二流体入口和第一和第二流体出口之间的第一和第二微通道，所述第一和第二微通道由此提供独立流体流动路径。

23. 如权利要求 22 所述的热交换设备，还包括：

用于将微通道、热交换器和电渗泵连接在一起的数个导管以提供闭环流体流或开环流体流。

24. 如权利要求 22 所述的热交换设备，还包括：分别位于第一和第二微通道附近的第一和第二温度传感器，以使第一温度传感器检测在第一温度传感器附近的由发热装置产生的热能，以及第二温度传感器检测在第二温度传感器附近的由发热装置产生的热能。

25. 如权利要求 22 所述的热交换设备，还包括：第一和第二微通道都包含平行且相邻设置的第一和第二微通道部分，以使第一微通道中的流体流动方向与第二微通道中的流体流动方向相反。

26. 如权利要求 22 所述的热交换设备，其特征在于，第一微通道至少部分地设置在放热装置的高热能区域上并且第二微通道设置在放热装置中不同于所述高热能区域的另一个部分上。

27. 如权利要求 22 所述的热交换设备，其特征在于，所述衬底

还包括多个垂直的电互连部件。

28. 如权利要求 27 所述的热交换设备, 其特征在于, 还包括多个温度传感器和一个温度控制电路, 所述多个垂直的电互连部件提供使多个温度传感器与温度控制电路连接在一起的电连接。

29. 如权利要求 22 所述的热交换设备, 其特征在于, 所述衬底包括开口, 使得外部刺激与放热装置之间相互作用, 外部刺激包括压力、声音、化学品、机械力、和电领域作用中的至少一个。

30. 一种用于放热装置的冷却系统, 所述冷却系统利用具有液相的流体工作, 所述冷却系统包括:

衬底, 所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道, 其中微通道包括一个包含局部阻挡结构、以便增大接触流体的表面积的部分;

所述衬底适于与放热装置物理连接, 从而使热能从放热装置传递到衬底, 并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体, 微通道被构造成使流体流过其中;

热交换器, 所述热交换器连接到微通道流体出口以提供流过其中的流体流并将热量从所述流体传递走;

连接到微通道流体入口的电渗泵, 所述电渗泵产生流体流; 以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

31. 如权利要求 30 所述的冷却系统, 其特征在于, 所述局部阻挡结构是由微通道壁的粗糙部分构成的。

32. 如权利要求 30 所述的冷却系统, 其特征在于, 所述局部阻挡结构设置在微通道内。

33. 一种用于放热装置的冷却系统, 所述冷却系统利用具有液相的流体工作, 所述冷却系统包括:

衬底, 所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道, 所述衬底适于与放热装置物理连接, 从而使热能从放热装置传递到衬底, 并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体, 该微通道被构造成使流体流过其中, 其中微通道的一部分包括上腔、下腔以及设置在

上腔和下腔之间的多个子通道;

连接到微通道流体出口的热交换器,以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走;

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵,所述电渗泵产生流体流;以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

34. 一种用于放热装置的冷却系统,所述冷却系统利用具有液相的流体工作,所述冷却系统包括:

邻近放热装置设置的压力传感器;

衬底,所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道,所述衬底适于与放热装置物理连接,从而使热能从放热装置传递到衬底,并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体,微通道被构造成使流体流过其中;

连接到微通道流体出口的热交换器,以提供流过其中的流体流,并使热量从所述流体传递走;

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵,所述电渗泵产生流体流;以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

35. 如权利要求 34 所述的冷却系统,其特征在于,所述压力传感器设置在衬底内。

36. 如权利要求 34 所述的冷却系统,其特征在于,所述压力传感器设置在衬底和热交换器之间的流体路径中。

37. 如权利要求 36 所述的冷却系统,其特征在于,还包括设置在电渗泵和衬底之间的流体路径中的另一压力传感器。

38. 如权利要求 37 所述的冷却系统,其特征在于,还包括设置在衬底内的温度传感器。

39. 如权利要求 38 所述的冷却系统,其特征在于,还包括接收

来自于所述压力传感器、所述另一压力传感器和所述温度传感器的输入信号的温度控制电路。

40. 如权利要求 39 所述的冷却系统，其特征在于，所述温度控制电路使用来自于所述压力传感器、所述另一压力传感器和所述温度传感器的信号控制电渗泵。

41. 一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：

衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，所述微通道被构造成使流体流过其中；

用于接收来自于设置在微通道附近的温度传感器的输入信号的温度控制电路；

连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走；

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

42. 一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：

衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，其中衬底由第一和第二层构成，并且所述微通道的至少一部分形成在所述第一和第二层内；

所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，所述微通道被构造成使流体流过其中；

连接在微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走；

连接到微通道流体入口和热交换器流体出口的电渗泵,所述电渗泵产生流体流;以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

43. 一种用于由多个集成电路构成的放热装置的冷却系统,所述冷却系统利用具有液相的流体工作,所述冷却系统包括:

设置在多个集成电路之间的衬底,所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道,所述衬底适于与放热装置物理连接,从而使热能从放热装置传递到衬底,并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体,微通道被构造成使流体流过其中;

连接在微通道流体出口的热交换器,以提供流过其中的流体流并使热量从流体传递走;

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵,所述电渗泵产生流体流;以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

44. 一种用于放热装置的冷却系统,所述冷却系统利用具有液相的流体工作,所述冷却系统包括:

衬底,所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道,所述衬底适于与放热装置物理连接,从而使热能从放热装置传递到衬底,并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体,微通道被构造成使流体流过其中,其中所述衬底还包括多个垂直的电互连部件;

连接在微通道流体出口的热交换器,以提供流过其中的流体流并使热量从流体传递走;

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵,所述电渗泵产生流体流;以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

45. 如权利要求 44 所述的冷却系统,其特征在于,所述微通道

还包括垂直和水平的流体通道。

46. 如权利要求 44 所述的冷却系统，其特征在于，还包括多个温度传感器和一个温度控制电路，所述多个垂直的电互连部件提供使多个温度传感器与温度控制电路连接的电连接。

47. 一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：

衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，其中所述衬底包括开口，使得外部刺激与放热装置之间相互作用，外部刺激包括压力、声音、化学品、机械力、和电领域作用中的至少一个；

所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道构造成使流体流过其中；

连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从热交换器传递走；

连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及

其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

电渗微通道冷却系统

本申请涉及、并要求 2001 年 9 月 28 日所申请的美国专利申请 No.60/326,151 的优先权，在这里合并参考所述美国专利申请 No.60/326,151。文中所描述的本发明部分由 DARPA/Air Force Contract F33615-99-C-1442 支持。

技术领域

本发明通常涉及从发热装置中去除热量。具体地，本发明涉及从集成电路、光电装置、大功率电子设备、生物分析装置以及消耗或吸收充分热量以致于需要专用装置去除热量的任何装置中去除热量。

背景技术

例如包括膝上型电脑、手提式电脑和台式电脑以及移动电话的电子系统通过使用输入电能而操作。这些系统已显示出如下特征：一些输入功率被转换为热量，并且所产生的热量通常被集中在可识别区域，诸如集成电路芯片或电路板中。所述装置和产品包含散热器、风扇、热导管、致冷剂、以及冷却水以便于在需要时将它们的操作温度调节在特定范围内。

已经预知当前正在发展中的电子装置将在超过传统散热技术的冷却能力的总系数和空间密度下产生热量。例如，由半导体工业设定并由半导体的国际技术路标所总结的技术目标显示出，需要在 2007 年之前从微处理器的表面中移除 200W。在光通信工业、大功率电子设备工业以及其它地方中总功率和功率密度趋向于更高的趋势同样是极大的。传统散热器完全不能够在与系统设计和市场期望相符的体积内去除目标功率和功率密度。

总系统体积的有目的的减少加剧了这种情况，这缩小了冷却装置可使用的体积和表面面积。这两种趋势的相互作用（增加热负荷以及减少系统体积）已被公认为半导体工业前景以及依赖热产生或吸收装置的

其他工业的关键性问题。

用于从装置中去除热量的传统技术包括多种沿用已久的技术。

散热器通常包括具有翼片的金属板，所述金属板用于通过自然对流或强制对流而将热量从装置中传输到周围空气中。散热器翼片足以增加所述装置与空气之间的接触面积，从而增加热传递的效率。50 多年以来我们已知有许多材料、几何形状以及结构的散热片。

由电动马达驱动的由转动叶片构成的风扇可通过使得空气在高于自然对流所产生的更大的速度下在散热器周围循环并穿过散热器而增强散热器与周围空气之间的热传递。将风扇用于冷却系统已有 30 多年了。已有许多发明人研发出了为冷却产生大量热量的装置结合风扇与散热器，并且被广泛使用。

导热管由中空管构成，所述中空管包含芯吸结构并且部分地充有液体。导热管的一端被布置得与发热装置相接触。在导热管的该端部处，液体蒸发，并且蒸汽沿管的套筒中心向下行进到另一端。该端部被布置得与低温媒介或散热器相接触，或与周围空气相接触，并用于将管中心中的蒸汽冷却至凝结温度。在凝结之后，通过芯吸结构中的毛细管作用力将该液体回输到管的热端部。导热管可提供明显优于相同尺寸的实心金属杆的热传导，并且广泛使用在许多应用中。目前导热管用于电子产品、宇宙飞船以及涉及紧密几何形状中产生热量的各种其他应用中的热量移除。可用多种几何结构构成导热管，并且可将导热管结合到用于有效地热传输的装置包装中（5,216,580），或者可用于通过挠性连接将热量传送一定距离（5,560,423）。蒸汽腔室在操作原理和尺寸方面近似于导热管，但是通常具有矩形（而不是管状的）的截面形状并且可包含芯吸结构的各种几何布置。导热管和蒸汽腔室两者在最大功率方面都从属于相同的基本物理限制：热源与散热器之间的间隔越长，并且横截面积越小，在这些装置达到毛细限或烧干状态之前可被移除的总热功率就越小。

通过蒸汽压缩循环或通过热电或其他固态冷却装置对装置进行主动冷却用在某些高性能热控制应用中，或用在需要在低温下调节的地

方。在这些应用中，来自于所述装置的热量被传输到排出（rejection）表面，并且由于受到冷却机构的热力学效率所限，增加了显著的过剩热。通常必须由文中所述的其他装置中的一种对排出（rejection）表面进行冷却。多年以来，蒸汽压缩制冷循环已被用于从家用空调和厨房制冷到宇宙飞船和低温装置系统范围内的许多应用中。

冷却水被用在产生了大量热量并且文中所述的其他方法不能够将热量排出到周围空气中的情况中。在这种情况下，需要冷却水的连续供应，并且该冷却水在所附结构中的装置或沟槽中传送或穿过所附结构中的装置或沟槽。之后，温水返回到废水系统。

在使用冷却水技术的小型化应用中存在使得微通道冷却系统小型化、使得闭环冷却系统以及依赖流体的主动泵送实现冷却的系统小型化的问题。在早期 1980 年代 Tuckerman 等人(US 4,450,472; US 4,573,067)最初探究了微通道热交换器。这些装置包含硅衬底中的直的、均匀截面的微构造通道，冷却液穿过所述微构造通道。继 Tuckerman 和 Pease (4,450,472) 的最初探究之后的专利包括微通道制造方法、附着方法以及具体应用的特定材料和设计的描述。

也已有人探究了用以实现更高热传递系数或改进的温度均匀性的微通道散热器设计。Phillips (US 4,894,709) 描述了使用防护顶盖结构 (guard header structure) 以提高芯片中的温度均匀性的液体微通道冷却。Frieser (US 4,312,012) 描述了对于微通道表面的改进以提高核状沸腾和热传递系数。Swift (US 4,516,632) 和 Walpole (US 5,099,910) 描述了具有交替性流动方向提高温度均匀性的通道。Lomolino (US 5,427,174) 使用双流体混合以便于在目标温度范围上控制冷却剂和紊流的有效热容。

近年来，使用微通道的闭环冷却系统也已形成积极的研究领域，其中包括 Hamilton (US 5,901,037) 对于闭环冷却系统的描述，其中流体穿过附于集成电路的微通道，并且磁力泵产生压力。而且，Davis (US 5,703,536) 描述了用于高功率 RF 发射器冷却的闭环流体冷却系统。

已经广泛探究了微型泵的发展。这些研究工作包括基于振动压电

隔膜的泵、蠕动泵、电动水动力泵等。迄今为止的这些泵看来似乎都不能够产生用于从高功率装置中移除高热通量所需的压力和/或流动。

自从 1809 年的 F.F.Reuss 的研究以来,我们已经知道电渗透现象。对于该现象的简单描述是在液/壁接触面处产生的净电荷区域上诱发液体流动。该力的量级与所用的电场以及该净电荷区域中可用的带电粒种数量成比例。具有大截面面积的系统可获得较大的流速。大压力产生需要具有非常高的表面积-体积比的结构。

最初由 Theeuwes (3,923,426) 研发初了基于电渗透现象的微型泵(例如电渗泵),其中多孔陶瓷结构被用于提供具有带电表面层的众多微米级的通道。Theeuwes 描述了对于给定工作流体、小直径孔隙来说选择具有高多孔性、高电渗迁移率的特性的泵送结构的重要性,并且描述了使用可能包括珠粒和多孔聚合母体的石英或玻璃陶瓷的可能性。建议 Theeuwes 泵中的工作流体具有高介电常数、低粘度、以及低导电性。Theeuwes 泵所使用的范例液体包括脱离子水、乙基乙醇和酒精水混合物,以及许多有机溶液。使用这些材料和溶液,报告了超过 1mL/min 的流速和超过 1Atmosphere (大气压力压力单位)的压力。

尽管以上描述了许多不同的形形色色的冷却系统和技术,但是还存在对于用于可在小型化环境中使用的高功率应用中的改进闭环、流体冷却系统和技术需要。另外,还存在对于改进的微型流体冷却系统的需要,所述微型流体冷却系统具有对于装置的反馈控制温度调节,所述调节有助于例如通过流过泵的流体进行电力控制而对于集成电路进行主动温度的过热点冷却。所述微型流体冷却系统可使用多个冷却环(与多个泵相结合)以允许装置温度分布曲线的专门和瞬时特性的独立调节。

而且,还存在对于能够产生高压(例如,大于 10PSI 的压力)和/或移除前述高热通量(例如,大于 100W)所需的高流速(例如,大于 5ml/min 的流速)的微型泵的需要。所述泵应克服传统泵的缺点,例如用在呈现出(例如,通过收复)包含逸出气体或沉积物的实际问题的闭环系统中的泵结构。这些问题在使用泵的闭环流体冷却系统中更加突

出。

发明内容

在一个方面中，本发明有利地用于从发热装置中移除热量并通过使用具有泵的流体环传输到散热结构。可单独地或以各种组合的方式获得许多特定优点中的一些。

本发明具有从装置中移除高热通量和高的总功率的能力。

本发明还可使得必须附于发热装置的冷却系统的元件的体积和重量以及泵和热交换器的重量最小化。

本发明还可模拟装置与微型热交换器的操作中所产生的装置温度分布。该模拟为给定流速和微通道结构确定了热传递到微型热交换器的热阻。

即使在考虑了由于装置操作中的改变而导致的热通量中的大空间和瞬时变化，本发明还使得微型热交换器中的微通道形状和分布最优化并且还使得装置上的空间和瞬时温度变化最小化。

本发明还具有甚至在热通量中存在较大不均匀性的情况下使得装置中的温度变化最小化的能力，在热通量中存在较大不均匀性可在其性能和稳定性上具有强烈的有害影响。这是通过微通道热交换器的布置、几何形状和内在特性的修整实现的。最佳的微通道设计是通过如下声明的使用本发明的模拟能力而实现的。

本发明提供了散热元件布置上的灵活性，尤其是能够与发热装置之间具有大间隔。还能够具有大散热面积，这减小了散热部分以及系统整体的热阻。

本发明所涉及的设备和方法最好使用电渗泵，所述电渗泵能够在不移动机械部分、不连带产生不能接受的电噪声和声噪声以及不连带降低可靠性的情况下产生高压和高流速。这些电渗泵最好用与目前可用微型泵相比在性能、效率以及降低重量和制造成本方面有所改进的材料和结构制造。这些电渗泵最好可用于逸出气体或沉积物的收复，这可用于长期的闭环操作。本发明所涉及的设备和方法还可通过对于流过泵的流体进行电控制而允许对装置的温度进行主动调节并且可使用多个冷却

环以允许装置温度分布曲线的专门和瞬时特性的独立调节。

具体地，本发明提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中；连接到微通道流体出口的热交换器，所述热交换器被构造成使流体流过其中，并允许从热交换器传递热能；连接到微通道流体入口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵被连接以提供开环流体流。

本发明还提供了一种为放热装置提供散热的方法，包括：利用电渗泵产生具有液相的流体流；引导流体流通过衬底中的微通道，并且所述衬底与放热装置物理相连以将热量传送到所述流体，其中所述引导步骤将来自于电渗泵的流体流通过一第一导管引导到微通道中；进一步引导被加热的流体借助连接到微通道的一第二导管通过热交换器以冷却流体；以及进一步引导被冷却的流体借助连接到热交换器的一第三导管返回到电渗泵以产生闭环流体流。

本发明还提供了一种与利用具有液相的流体工作的冷却系统结合使用的设备，所述设备包括：放热装置，所述放热装置包括放热元件；以及衬底，所述衬底与放热装置物理连接，并且所述放热装置和衬底每一个都包含至少一部分微通道，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能进一步传递到设置在微通道内的流体，所述冷却系统包括：连接到微通道并产生流体流的电渗泵；和连接到微通道以提供从中穿过的流体流和将热量从流体中传送出去的热交换器。

本发明还提供了一种与半导体放热装置相连的热交换设备，所述热交换设备利用一种具有液相的流体工作，所述热交换设备包括：电渗泵，所述电渗泵产生流体流；热交换器，以提供流过其中的流体流并将热量从热交换器中传递走；适于与所述半导体放热装置物理相连的衬底；设置在衬底中并与电渗泵相连的第一和第二微通道流体入口；设置

在衬底中并与热交换器相连的第一和第二微通道流体出口；以及连接在各个第一和第二流体入口和第一和第二流体出口之间的第一和第二微通道，所述第一和第二微通道由此提供独立流体流动路径。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，其中微通道包括一个包含局部阻挡结构、以便增大接触流体的表面积的部分；所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中；热交换器，所述热交换器连接到微通道流体出口以提供流过其中的流体流并将热量从所述流体传递走；连接到微通道流体入口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，该微通道被构造成使流体流过其中，其中微通道的一部分包括上腔、下腔以及设置在上腔和下腔之间的多个子通道；连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：邻近放热装置设置的压力传感器；衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中；连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的

流体流，并使热量从所述流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，所述微通道被构造成使流体流过其中；用于接收来自于设置在微通道附近的温度传感器的输入信号的温度控制电路；连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，其中衬底由第一和第二层构成，并且所述微通道的至少一部分形成在所述第一和第二层内；所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，所述微通道被构造成使流体流过其中；连接在微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从所述流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器流体出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于由多个集成电路构成的放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：设置在多个集成电路之间的衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中；连接在微通道流体出口的热交换器，以

提供流过其中的流体流并使热量从流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道被构造成使流体流过其中，其中所述衬底还包括多个垂直的电互连部件；连接在微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从流体传递走；连接到微通道流体入口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

本发明还提供了一种用于放热装置的冷却系统，所述冷却系统利用具有液相的流体工作，所述冷却系统包括：衬底，所述衬底包括设置在其中的至少一部分微通道，其中所述衬底包括开口，使得外部刺激与放热装置之间相互作用，外部刺激包括压力、声音、化学品、机械力、和电领域作用中的至少一个；所述衬底适于与放热装置物理连接，从而使热能从放热装置传递到衬底，并且使热能从衬底进一步传递到设置在微通道内的流体，微通道构造成使流体流过其中；连接到微通道流体出口的热交换器，以提供流过其中的流体流并使热量从热交换器传递走；连接到微通道流体出口和热交换器出口的电渗泵，所述电渗泵产生流体流；以及其中所述衬底、热交换器和电渗泵连接在一起以提供闭环流体流。

附图说明

从以下结合附图所作出的对于本发明优选例证性实施例的详细描述中可明白并且更易理解本发明的这些和其他优点和方面，在附图中：

图 1 示出了闭环冷却系统的一个实施例。

图 2 示出了电渗泵的一个实施例。

图 3A 和 3B 分别示出了微通道结构的一个实施例的顶视图和截面

图。

图 4 和图 5 示出了微通道结构的其他实施例。

图 6 和图 7 示出了大热交换器的实施例。

图 8 示出了用于形成烧结圆盘的设备。

图 9A 和 9B 示出了本发明一个实施例所涉及的使用烧结的玻璃粉多孔结构的电渗泵。

图 10 和图 11 示出了电渗泵的其他实施例。

图 12 示出了本发明所涉及的以及将透通道布置于多孔结构的所有侧部上的电渗泵的侧视图。

图 13 和图 14 示出了用于覆盖催化复合器的隔膜的实施例。

图 15 示出了双电渗泵的一个实施例。

图 16 示出了具有催化复合器的加热器的用法。

图 17 示出了微构造电渗泵的一个实施例。

图 18 示出了集成的微通道结构和电渗泵的一个实施例。

图 19 和图 20 示出了闭环冷却系统的其他实施例。

图 21 和图 22 示出了开环冷却系统的其他实施例。

图 23 示出了电渗泵的其他实施例。

图 24 示出了微通道结构的其他实施例。

图 25 示出了在 3-D 装置组套中使用多个微通道结构的一个实施例。

图 26 和图 27 示出了包含用于接近所附发热装置的开口的微通道结构的其他实施例。

图 28 示出了一部分微通道结构的一个实施例。

图 29 示出了包含部分阻挡结构的一部分微通道结构的一个实施例。

图 30A 和 30B 示出了包含多个冷却层的微通道结构的其他实施例的顶部和截面图。

图 31 和图 32 示出了在两个腔室之间使用多个流体注入点的微通道的实施例。

图 33-35 示出了以各种层的方式形成微通道。

图 36-37 示出了至少部分地形成于被冷却的装置中的微通道。

图 38 示出了使用压力传感器、电流传感器以及温度传感器的冷却系统的一个实施例。

图 39 示出了其中温度控制系统是被冷却装置的一部分的一个实施例。

图 40 示出了其中微通道结构与温度控制系统整体形成的一个实施例。

图 41 示出了其中温度控制系统被附于微通道结构的一个实施例。

图 42 和图 43 示出了使用热散布机的实施例。

图 44A 和 44B 是示出了微通道尺寸上的平均装置温度和压力下降之间关系的图表。

图 45 示出了各种通道几何形状对平均壁温度和压力下降的作用。

图 46 示出了不均匀发热对温度和压力下降的作用。

图 47 示出了热点位置对温度和压力下降的作用。

图 48A 和 48B 示出了翼片对壁温度均匀性和压力下降的作用。

图 49 示出了包含气泡成核点的一部分微通道结构的一个实施例。

图 50 示出了表, 所述表示出了作为所使用的流体的函数的流速。

图 51 示出了示出了表, 所述表示出了作为所使用的流体的 pH 的函数的流速。

图 52 示出了功能流程图, 所述功能流程图示出了本发明所涉及的微通道的模造过程。

具体实施方式

在一个方面中, 本发明提供了一种用于基于微型热交换器的电子系统的紧凑的冷却系统, 尤其是在硅或金属中加工的微通道, 以及紧密的电渗泵。该系统被密封地封闭并且以模块化的方式被布置, 能够有效地从装置中去除热量, 并传输到适宜的大热交换器。如所述的微型热交换

器和电渗泵是非常紧凑并且能量有效的，因此总系统远小于并轻于通常用于从小型装置中移除同等能量的导热管、蒸汽腔室、以及翼片分布散热器。该系统通过挠性管相互连接，因此在设计灵活性方面具有优势。由于在其优选形式中各种部件形成了为热能传输所提供的液体穿过其中的闭环，因此该系统的某些实施例通常被称为闭合系统。

各个图示出了该系统的不同方面，但是，应该明白的是，在不同的附图中表示相同部件的附图标记使用相同的标记。应该理解的是，也可考虑除具体示出的那些以外的部件的各种组合。而且，有时参照具体系统实施例描述诸如微型热交换器、大型热交换器、以及泵等独立部件，并且虽然所述描述是精确的，但是应该理解的是，这些部件以及所描述的变体，分别是有意义的，并且具有可取得专利的特征，所述特征被独立描述并与其中描述有它们的系统相分离。

图1示出了闭环冷却系统100的一个实施例，所述闭环冷却系统100包括附于热产生装置50（以通过电连接52附于电路板54的集成电路的方式示出，但是也可作为电路板或其他热产生装置）的微型热交换器200、用于工作流体的微型泵300、用于将热量从电子系统中排出到周围环境中的大型热交换器400，以及根据微型热交换器200处所测得的温度用于所述泵输入电压的控制器500。下面将分别详细地描述独立的系统部件。

微型热交换器。微型热交换器200在小型截面（厚度低于1mm）中具有非常低的热阻。使用诸如镀银环氧树脂或焊料等热附着材料，微型热交换器200直接附于装置的表面上。这种设计选择使用尺寸在20-500微米范围内的通道（微通道，如下文中进一步描述的）。该微型热交换器200的有效方面是具有集成的温度计的独立通道组。该空间分布、尺寸、以及流动方向可适合于出现在芯片或装置50上的不同功能位置处的变化的热通量。另外，如下面所描述的，可使得这些微通道或微型喷嘴的几何形状和布置最优化以便于使得装置50具有均匀的温度，或允许在装置50的不同区域中独立温度控制。

微型热交换器200可用各种材料制成，例如包括薄金属板、硅和玻璃层、陶瓷以及碳-纤维复合材料。可如此选择用于该结构的材料，以使其

满足从装置50到流体的热传导的需要，并且使其实现附于装置50的高可靠性以及用于在与环中的流体相接触的情况下长期操作。对于可靠连接的需要可达到使得热膨胀系数与装置50的热膨胀系数相匹配的要求。由于研究中的许多装置50都是用硅制成的，因此用硅制成的微型热交换器200可为有利的。另外，硅制造方法允许对于微通道的形状和布置的精确控制，并且可将温度传感器、压力传感器以及控制电路组合到微通道结构中。或者，金属制造方法能够接近所要求的尺寸控制，并且在某些情况中具有超越于硅的优势，诸如低成本制造、高可靠性密封工艺，以及与某些应用的热需求的兼容性。本发明的优点在于，根据电渗泵300的能力，在某些情况下，在微通道结构的材料和几何形状的选择方面具有较大灵活性。

电渗泵300. 存在许多种可在文中所述的系统中执行操作的可行泵。然而，最好使用能够在其输出功率下产生高压和高流速的新型电渗泵300（也称为“E0泵300”或简称为“泵300”）。电渗泵300使用电场以将电荷推进到液-固界面附近，并且通常适合在主动泵送元件中具有非常高的表面积-体积比。由于当与水或水溶液相接触时，已知带电层和形成的电渗的基本电化学可发生在许多材料表面上，因此可使用多种方法制造泵300。特定溶液和特定表面之间的相互作用特性将导致可由所施加的电场牵引的带电溶液量中的变化。因此，E0泵300的性能取决于该表面相互作用，并且选择产生强电渗泵送效果的溶液和表面也会是有用的。

泵300的高压和高流速可通过例如使用诸如硼硅酸盐釉料、聚合釉料、玻璃微粒的填充床等烧结多孔媒介产生。气凝胶、玻璃-纤维复合材料、毫微结构介质、多孔硅石、微通道板结构、其他多孔陶瓷材料、以及具有高表面/体积比和化学活性表面的许多其他材料都可用于制造电渗泵300。还可使用平版印刷方法直接制造具有高表面/体积比的结构。硅微构造泵送结构可具有与包括传感器和微通道结构的其他微型热交换器200元件以及诸如控制器500的控制底座相结合的优点，如下文中所描述的，所有元件都在一个独立模块中。

大型热交换器400. 大型热交换器400在闭环系统与周围环境之间具

有非常低的热阻。大型热交换器400可包括许多执行许多不同方法的传统散热装置,并且大型热交换器400用于在低热阻下向周围环境散热。例如,大型热交换器400可包括金属、风冷散热器,或装置套或包装壳体的专用部分。应该强调的是,冷却环可使得大型热交换器400具有巨大的设计灵活性,这是由于在某些仪器中,大型热交换器400可被布置得远离于装置50,并且无需与装置50附近的区域要求具有实际的兼容性。

控制器500. 控制器500从装置50的电子系统中取得可用的标准输入电压并将其转换成电渗泵300所需的操作电压。控制器500还监控结合在微型热交换器200中的温度传感器、压力传感器以及流速传感器,向与泵300相联系的电源提供合适的驱动电压以便于在每个电渗泵300的正极314和负极316之间形成适当的电流,从而在泵中形成促成工作流体的液相的环境。对于大面积装置50(超过 2cm^2)来说,使用多个传感器和电渗泵300的设计可在可变速度下向装置50不同区域附近的组合微通道提供冷却。

除上述部件的材料和结构(包括泵300)的制造方法中的变化以外,本发明从另一个方面上描述了独特的操作方法。

电渗泵送方法的使用的一个不可避免的方面是流体与电极之间的相互作用的电化学。该界面的电荷互换造成了电解作用,并将导致流体的一些组分的分解。在流体为水的情况下,电解作用导致一个电极处连续形成 H_2 另一个电极处连续形成 O_2 。

因此,如下文中进一步描述的,本发明的一个方面是,包含由催化剂(包含疏水性铂催化剂)构成的催化复合器。在该催化剂作用下 H_2 和 O_2 将重新结合形成水,并且该表面的疏水性使得水结成水珠并从催化剂表面滚落下来并返回到流体中。将液体保持得远离催化剂表面压力的另一种方法是利用与氢的氧化作用相关的反应热。氢和氧重新结合成水可使得文中所述的系统100形成为闭合的密封地封闭的系统。虽然多种不同的催化剂材料都可使用,但是我们已经发现,就目前来说,文中所述的疏水性铂催化剂最好用。

文中所述的本发明的其他方面是入口和出口的设计、电极设计以及

重新结合的腔室的位置，从而可使得氧气泡和氢气泡可在一个小体积腔室中组合。图2更详细地示出了泵300的设计，所述泵300通过将多孔结构310密封在形成泵送腔室312的套的相应的负极半312A和正极半312B之间而形成。通过与各个电极313和315相连接的正极314和负极316通过套的壁318被插入到泵送腔室312中，使得与泵300中的工作流体电接触。壁318可由例如诸如丙烯酸玻璃、陶瓷或涂有 SiO_2 的硅等绝缘材料制成，并且使用包括壁318A和318B的二片式结构构成，如图中所示的，所述壁318A和318B被连接于多孔结构300的边界处，并使用密封件320或通过两片的熔接或焊接而密封，所述密封件320可为，例如粘合剂、垫圈。流体从入口322中流出，电渗力使之穿过泵送腔室312中的多孔结构300，并通过出口324排出。正极314处产生的氧被俘获在腔室部分312中，并且负极316处产生的氢穿过环并返回到泵300，在那里与剩余氧一起进入到催化复合器326中，并且重新结合以形成水并返回到泵送腔室312中。

压力（即，浮力）将上游电极（正极314）处产生的氧气泡驱动到重新结合腔室中。流过闭环系统（经受压力、表面张力以及粘滞力）并且，向上进入到泵300的入口322的氢气泡也在浮力下被向上驱动到重新结合腔室312中，最后进入到筛眼或粒状催化复合器326中，在那里与氢重新结合以便于如上所述的形成水。

在闭环的操作期间，蒸发区域中的流体的连续蒸发作用可导致闭环中蒸发器或别处中的残余物的积聚。这些残余物可包括蒸发期间从溶液中沉淀的电解质和盐，或任何其他溶解固体。由于这些电解质中的一些具有保护电极表面特性和泵的多孔结构的能力，因此可有意地加入一些电解质。可通过周期性地使得泵在最大流速下操作短暂时间来防止沉积的残余物的长期积聚。当流速增加到最大值时，液相充满整个冷却环，使得所沉积的材料溶解到溶液中，从而回收积聚的残余物。该工艺被称为wash-thru，并且取决于泵的这个特征，即，允许通过施加于泵电极的电势差的增加而快速地调整流速。通过与泵300执行短时（例如，每1000秒执行1秒）的wash-thru操作，冷却环中沉积的残余物可被收回到流体中。这有助于系统100的长期操作。

允许使用电解质对于可保持泵300长期性能（通过稳定表面化学处理）以及减小电极与泵结构之间的压降（即，与从电极表面通过介入的电解质并且传导到泵送结构的入口孔隙的导电离子相关的压降）是关键性的。

下面在进一步描述系统100之前，将进一步描述系统100的其他独特操作方面。

用于瞬时芯片温度均匀性的泵控制.将温度计整体形成于微型热交换器200中并且通过控制器500反馈可使得系统100在装置50上的瞬时温度变化最小化，甚至在装置50处的热负荷中存在瞬时波动时也是如此。对于硅热交换器的情况，使用例如掺杂硅的热敏电阻、二极管、或制模金属电阻桥将所述温度计整体形成于热交换器中。控制器500提供信号以控制与每个电渗泵300相连的电源，从而根据在微型热交换器200处测得的温度控制存在于正极314与负极316之间的电流。在系统100使用不只一个泵300的情况下，控制器500和适当的泵300可分别对应于装置50不同区域上的温度波动。该功能性利用系统100的元件的重要特性 - 压力和流过泵300的流速对应于快于1mS的时间量程上的施加电压中的变化，并且微型热交换器200的比热非常低。因此，系统100与热负荷中变化的对应或与对于操作温度中变化的需要足够快以允许具有接近于1Hz带宽的动态温度控制。该特征是优于诸如导热管、冷却翼片（和/或风扇）以及相变材料方法等现存微型装置温度控制技术的明显改进，所述现存微型装置温度控制技术使用不能根据电信号输入（被动散热器、导热管、相变材料）而调整热移除的方法，或由于用以修正热传递系数（风扇）的大热容量和边际能力而具有非常缓慢瞬时响应。

用于使得芯片温度和温度梯度最小化的微型热交换器设计.甚至在考虑来自于装置50中的热通量的大空间变化的情况下，微型热交换器200能够进行诸如现场感温的设计革新以使得固定流速的最大和平均的芯片温度最小化。这些革新机会包括掺杂硅电热调节器的结合，如下文中将描述的，这使得控制器500与温度中的局部变化相对应。另外，微型热交换器200具有适合于通道尺寸和空间密度以改变装置50区域上的有效热

阻的可能性，从而使得从不同热通量中产生的温度梯度最小化。可使用用于通道中两相沸腾流的一维模型实现以硅制成微通道的设计和最佳化，如下文中进一步描述的。使用局部高表面区域结构（诸如内部翼片）可减小最大热通量区域中的有效通道尺寸，或者具有较小截面面积50的区域，以便于增大局部导热性。此外，相对于流体入口的流动方向和高热通量区域的位置可用于使得局部温度最小化。由于当流体流过通道时压力连续减小，并且两相液-气混合物的温度唯一地取决于压力，增加流体入口与高热通量区域之间的间隔可强烈地减小其温度。沿装置50上相反方向流动的通道组也可有利地获得更大的温度均匀性。

详细热模型基础上的最优设计技术的发展允许被制定得配合特定装置50上的热分布的微通道几何形状的设计。本发明的该方面允许系统100的总性能相对于特定装置特性最优化。本发明的该方面还具有通过一个微型热交换器200操作多个独立冷却环的能力。用于硅制造的该设计和制造能力可使得多个射流歧管共同位于一个衬底上并且同步操作以便于实现装置50不同区域的独立热调节。

环形系统的工作流体设计和最优化。使用适合的工作流体化学性质和操作压力可进一步达到目标装置50温度。化学性质和操作压力两者都影响沸腾温度，所述沸腾温度确定系统100实现最低热阻时的装置50温度。由于它们还影响图2中所示的催化复合器326的操作，因此这些设计和优化策略是显著的，所述催化复合器326要求最小化的氢和氧的部分压力以便于有效地操作。

可使用的流体化学性质包括（但不局限于）脱离子水（DI）、水缓冲溶液、有机液体（例如，乙腈和甲醇），以及用于泵300的工作流体的有机物和缓冲剂的混合物。实现所需热传递的工作流体的最佳混合需要泵性能和可靠性并使得泵性能和可靠性最优化。导致工作流体混合最优化的关键包括工作流体的长期pH值控制（所述长期pH值控制直接影响泵表面电荷密度以及泵压力和流速性能）。尽管纯粹的脱离子水通常具有用于热移除的最好热力学效率，但是系统的操作可利用其他要求。例如，通过增加超越于可从DI水中可得到的流体的传导性可实现泵的高流速性

能，例如通过向水中加入缓冲剂。另外，水溶液中的添加剂可有助于保护电极和多孔泵送结构的表面特性。例如，工作流体传导性方面的增加具有增加泵300的焦耳热消散的消极效果，而且还具有减小多孔泵送结构中的溶液中的带电离子层的厚度的有益效果，这可增加由泵所提供的压力和流速。另外，流体传导性方面的增加可用于降低从电极到多孔泵送结构的表面之间的电势降。由于只有多孔泵送结构表面上的电势差有助于泵送作用，因此这是重要的。从正极到一个表面以及从另一个表面到负极的电势降是浪费的。

在进一步详细描述环状系统100之前，将描述它所提供的某些优点。这些优点使得系统100比得上以上所述的传统热消散系统（包括膝上型和手提式装置中的导热管和蒸汽腔室技术以及用在台式电脑中的传统金属翼片分布散热器）。由于包括增加的最高热负荷、装置50处的最小体积以及温度变化的瞬时和空间减少的可能性等主要改进，文中所描述的环状系统100的各个方面也将使得电子系统具有连续的定标和性能改进。

用于给定装置体积的更大最高热负荷. 本发明所涉及的系统100的显著优点是比使用更小体积的传统装置处理更高的热负荷。由于冷却环被泵送，因此给定环状系统100设计的压降和流速可适合于5W（手提式电脑）与1kW（并行处理机台式电脑）之间的目标热负荷。虽然电渗泵300（如果使用的话）为环状系统100增加了小辅助体积，但是每个泵300都极为简洁（小于任何竞争泵）并且具有巨大的性能优势。具体地，液相的泵送使得系统100移除远远超过导热管与具有可比体积的蒸汽腔室所处理的总燃烧热。与装置50所需的能量相比，泵300所需的附加能量较少，因此在应用于便携式电子系统时对于电池寿命来说不会具有明显的负担。

芯片后侧处的最小体积. 从系统小型化和多个芯片集成的观点看来，微型热交换器200，尤其是厚度低于1毫米的微通道散热器具有巨大的优点，这是由于与传统技术相比它占据更少的空间（尤其是在装置50的后侧）。这在是明显的，尤其是由于半导体工业的目标在于将多个芯片结合于一个装置50包装中的增加的集成化，其中用于减小信号延迟的芯片之间的最小间隔是关键性的。对于单芯片系统来说，芯片后侧处微型热

交换器200的最小体积是关键性的,这是由于它可使得电子系统壳体中的尺寸最小化。对于金属翼片分布散热器来说,该设计可供直接附于装置50后侧的巨大体积。该大体积要求可防止电路的密集封装,尤其是在需要将众多电路布置于产品中的应用中,诸如服务器。在其他应用中,诸如膝上型电脑,微处理器上方的空间是极为有限的,并且难于容纳适合于超过50W能量的翼片分布散热器。传统设计不能提供这样的体积,这抑制了将众多芯片紧密地集成在一个包装中并妨碍了系统的最小化,尤其是对于简洁的台式电脑来说。

设计灵活性. 优选的泵300具有设计灵活性,具体是由于它使得热量排出到远离装置50的只使用流体管连接的较大面积上,并且取决于所使用的系统,可被布置于各个位置中。例如,虽然图1示出了其中泵300将流体泵送到微型热交换器200中的闭环系统,但是泵300也可将流体泵送到大型热交换器400中,或除图1中所示的位置以外的位置。

芯片内温度变化的瞬时和局部响应. 与导热管、蒸汽腔室以及金属翼片分布散热器相反,环状系统100可对加热中的瞬时波动起反应(例如,通过电渗泵300的控制)以及对热强度的空间变化和装置50上的温升起反应(例如,通过微通道设计和致力于装置50区域上的微通道的泵300的独立控制)。这使得系统在时间和空间上为装置50提供更好的温度均匀性。

芯片和散热器之间热失配的缺乏. 与导热管和蒸汽腔室相关的主要可靠性是装置50与热散布机之间的热膨胀系数的失配,所述热散布机与装置50直接接触。在文中进一步描述的使用微型热交换器200与硅片装置50的闭环系统100的某些实施例中在芯片与散热器之间将不存在热膨胀失配。该益处可通过使用新型连接材料(诸如薄合金焊料)而不是传统的镀金属有机材料而被开发出来,从而基本减小总的系统热阻。

在已提供了以上综述并且已描述了若干优点的情况下,在下文中将给出系统100的详细描述以及各个方面和方法。

如上所述的,图1示出了本发明的一个闭环流体系统100的示意图,所述闭环流体系统100包括微型热交换器200、泵300、大型热交换器400以及控制器500。在进一步描述各个元件之前,将叙述系统100的几个重

要特征。

泵300的输出集中到微型热交换器200的入口上可为重要的。微型热交换器200通常被连接于发热的装置50，并且将为所述还中的最高温度点。在微型热交换器200的出口处，流体/蒸汽混合物沿挠性管110向下朝向大型热交换器400行进。一个重要特征在于对于某些应用来说，该管的长度可为厘米的，而在其他应用中长度可大至米。由于用在本发明中的泵的高压性能，这些较长的长度也是可行的。泵300能够产生非常高的压力，所述压力可用于迫使流体/蒸汽混合物下降到管的一定长度，从而使得大型热交换器400根据控制所述系统100的设计的所有其他因素被布置。

在大型热交换器400中，流体/蒸汽混合物完全凝结为流体，并且经过挠性管的第二长度112。该长度112也可非常长，通过使用如所示的第三长度114的挠性管允许泵300靠近于微型热交换器200布置，或者甚至与泵300整体形成，所述泵300与微型热交换器200整体形成，如稍后在下文中参照图18所描述的。

可将控制器500理解为从微型热交换器200中的温度计中或从被冷却的装置50中的温度计中取得输入信号的电子电路，所述信号沿信号线120被传输。控制器500根据输入信号通过沿信号线122向与泵300相连的电源提供信号而调节通过泵300的电流，以便于获得期望的热性能。泵流速与所施加的电压严格地成比例，因此该控制算法可为简单的比例控制器500，或者可包含更多的复杂方法论。由于微型热交换器200的比热较小，并且泵300的响应时间较快，因此热控制系统的时间响应可非常快，并且能够以较快的动态响应执行稳固的、精确的控制器500。

图1中所示的实施例还具有这样的特征，即，系统元件的设计完全分类-即，每个元件200、300、400和500在性能上都是独立于系统其他元件的特性的最优的。基本上，对于泵300来说能够产生俘获和传送必需热所需的流速和压力是重要的。然而，几乎没有微型热交换器200的设计方面可对大型热交换器400的设计产生任何影响。系统元件的这种分类能够易化独立优化，并且还允许从独立设计和制造的部件的收集中被装配以便

于与任何特定应用的性能要求相匹配。

微型热交换器200的设计和优化.图1中所示的微型热交换器200可包括微构造硅结构、或包括机械加工的金属结构、或包括许多其他可行材料。图3A和3B分别示出了示范性微通道结构的顶视图和截面图。层210具有蚀刻到一个表面212中的微通道220图案。依照从装置50的特定区域中去除热的要求，这些通道220可被横过表面212布置，或者可均匀地分布这些通道220。也可这样布置，其中在该表面上产生不只一个流体路径，如图3A中由流体微通道路径220-1和220-2示出的-依照应用要求，这些独立路径可分别连接于独立泵300和/或独立大型热交换器400。

微通道220的布置可适合于预期热源在装置50上的分布，如图3A中所示的。通道220的密度可在对应于过热源的区域中增加，或者通道220的路径选择可被调节以使得从微型热交换器200的入口222到出口224的温度梯度最小化。也可调节通道220的宽度、深度和形状以提高装置的温度均匀性。与转移到在各种速度下在各种通道形状中流动的流体中的热量计算相组合的装置中热源的计算机模型用于模拟装置50上的温度曲线，并且这些曲线的最小化可导致微型热交换器200的最优设计。下面将描述该模型建立的过程。

E0泵300的高压能力的一个特定优点在于通道220布置无需被设计得在同一时间最小化压降以及最大化温度均匀性。对于给定装置50可使得温度均匀性最优化，并且E0泵300可适合于提供合适的压力和流速以操作微型热交换器200和大型热交换器400。通道220可只被蚀刻到层210中，如由粘接微型热交换器200的2-层通道220A所示的，或可出现在层210和214两者上，如分别被蚀刻到层210和214中的通道部分220B和220C中所示的。层210和214的对齐可为通道220形成辅助几何形状截面，以便于适合于使得装置50中的温度改变最小化。

图3B中所示的两层210和214可通过阳极或熔焊、或低共熔结合、或用于玻璃和硅结构的粘合剂结合而被粘接。金属结构可通过焊接、软焊、或低共熔结合或粘合剂而被粘接。对于几乎任何材料的多层微通道结构可执行相似的技术。应根据从装置中去除热的要求确定通道的形状和布

置，并且可通过使用该应用中描述的热造型工具帮助该设计。

在微型热交换器200中布置温度传感器（也称之为温度计）是另一个重要因素，并且相对于微通道220和装置50的热源横向地布置执行温度计具有独特的优点，并且如以下将描述的，将温度计布置在不同的竖直位置中也是有利的。

图3A还示出了设置在微型热交换器200各个位置中的温度传感器250。这些温度传感器250通过图1中所示的信号线120向控制器500提供表示微型热交换器200特定区域（从而与装置50的特定区域相对应）温度的信号，这些温度用于保持最佳温度控制，如前面所述的。以250-1、250-2、250-3、250-4、250-5和250-6表示的温度传感器还示出了微型热交换器中的特定有利布置。如将描述的，将温度计布置在粘接表面处、布置在通道附近的中间中，以及布置在热交换器的顶表面上可允许这些不同位置处温度的测量和控制，以及在瞬变期间确定热流。因此，所测量的温度是周围区域的平均温度，包括来自于微通道220的冷却以及来自于装置50中的局部热源的加热的影响。依照近似值，这些影响的平均是有利的——也就是说，任何特定位置处的温度都被最靠近于所述位置的加热和冷却源极严重地影响。而且，温度传感器最迅速地响应最靠近于所述位置的加热和冷却源。

如图中所示的，传感器250-1和250-2被布置于分别对应于相同的流体微通道路径220-1和220-2的流体路径之间。然而，传感器250-1被布置在具有变化的横截面积的微通道路径220-1之间，而传感器250-2被布置在具有恒定的横截面积的微通道路径220-2之间。因此，靠近于通道布置的传感器250-1和250-2将对通道中的热转移变化最为敏感，并且将更快速地响应那里的变化。

而且，传感器250-3被布置在两个不同的流体微通道路径220-1和220-2之间，这使得控制器500改变流体微通道路径220-1和220-2中的任一个或两者中的流速，从而改变与之相对应区域的温度。相对于各个微通道路径布置传感器可导致通过若干通道调节流速的能力，以便于在通道之间的任何位置处获得特定温度。

而且，通过靠近于具体通道布置传感器，可测量和控制流过所述通道的流体温度，因此在沿所述通道的上游或下游区域中实现温度上的适当的控制。最后，通道与温度传感器之间的间隔在传感器响应流体流动中变化所花费的时间上具有影响，并且可允许该系统中的该位置中的温度的快速或缓慢的反馈控制。因此示出了传感器250-4和250-5更远离通道220并且更靠近于装置50，而示出了传感器250-6更远离通道220和装置50两者。布置于装置50的粘接界面处的传感器250-4和250-5对于局部热源最为敏感，并且将由于装置50中热消散的改变更快速地响应于温度方面的变化，而传感器250-6将在更大的时期内提供更为整体水平的温度变化的指示。

由于本发明的一个目的是提供装置的反馈控制冷却、因此使用温度传感器、压力传感器和/或流速传感器以便于向控制器500提供输入信号是重要的。所测量的参数（例如，温度）与预期参数（例如，温度）相比较，并且由反馈控制算法分析所述差异，以产生泵控制压力中的变化。作为示例，如果装置50中特定位置处的温度超过了预期调节温度的话，控制器500将增加泵300的电压，所述泵300向温度计附近的通道提供流体流动，从而增加向所述区域中的流体的热传递，并且冷却装置50的所述区域。简单的反馈控制向与预期温度和所测量温度之间的差异成比例的泵300施加电压。这通常被称为比例控制。简单比例控制的缺点是，只可在温度中产生大误差之后产生控制输出（泵电压）中的大变化。更为超前控制策略企图从温度（温度中的速度变化）中获得信息，并且可能从不只一个温度计中获得信息以便于产生更精确调节温度的控制信息。所述控制器500更易于在若干位置处（诸如以上所述的装置50附近、微通道220附近以及微型热交换器200的顶表面处）记录的温度信号向下操作。来自于相对于装置50和微通道220不同位置的这些温度测量结果在不同的比率下向控制器500提供信息，并且对于不同的局部影响具有不同的灵敏度，从而导致面对热量输入时具有更好精确度和稳定性的总控制策略。因此，从微型热交换器200中的若干不同位置中提供输入（例如，热）是优选的。

诸如层210和214的层厚度也是需要考虑的事项。取决于材料和生产工艺,这些层通常不薄于0.1mm,并且可有几毫米厚。例如,如果这些层是用硅或玻璃板制成的,所述板的典型厚度接近于0.5mm,尽管它们可薄至0.1mm以使得微型热交换器的总厚度最小化。如果这些层是用陶瓷制成的,层厚度通常为1mm或更大。如果这些层是用金属制成的,层厚度通常接近或大于1mm。

在许多应用中,待冷却的装置是硅集成电路,因此用硅制成微型热交换器具有一些重要的优点。具体地,装置与热交换器的热膨胀系数会相匹配,从而可消除装置与热交换器之间的接触面处的差分热膨胀-诱发应力。在硅热交换器的情况中,可使用微构造技术实现路径和截面形状以及微通道的布置上的精确控制,并且这些结构的总体尺寸可最小化以允许装置的非常紧密的包装。最后,微型热交换器的一个重要的优点是,如下面图25中所示的,其有限的厚度可允许装置和冷却层的交替堆积。

图4示出了微型热交换器200的设计方面的另一个可行变体。如图中所示的,通过微型热交换器200的一个旁路(诸如旁路220A)在入口222A的后面被分成为11个独立旁路220A-1到220A-11,并且在出口224A处重新结合成一个旁路。区域220A-1到220A-11中通道的宽度在尺寸和形状上可变以确保根据需要流体被分配到每个独立旁路220A-1到220A-11中。

图5示出了微型热交换器200的设计方面的另一个可行变体。如图中所示的,两个旁路220-1和220-2刚好在出口224-1之前相组合,从而可使用从外部连接于微型热交换器200的独立流体线110。另外,在旁路220-2的端部附近,通道分裂成7个平行的旁路220-2-1到220-2-7,示出了一个通道分成为若干通道并且在微型热交换器200中重新结合的可能性,如前面参照图4所描述的。

大型热交换器400设计. 大型热交换器400可包括用于向周围环境中散热的多个传统宏观方法中的任意方法。例如,流体可流过金属翼片分布散热器基底中的通道。系统100的一个优点是,如果考虑了其他性能或成本优势的话,泵300的高压能力允许大型热交换器400的流体阻力较高。因此,可使得流体流过大型热交换器400中的复杂路径以便于在与增加的

流体流动阻力无关的情况下使得热阻最小化。

图6示出了大型热交换器400A的一个示例，所述大型热交换器400A是以包含翼片406的传统宏观热交换器的设计为基础的。流动通道420设置于允许流体在流体入口422与流体出口424之间流动的芯部元件418中。一个重要的优点是，由于可通过环元件之间的挠性流体连接部分110、112和114将热量传递到更大长度上，因此，在装置50外围的约束条件之外，可使得大型热交换器400的形状和性能最优化。

通过系统100可实现的一个优点是，可设计包括非常复杂的流体流动路径或遍布提供与空气之间热接触的高表面积结构的路径的大型热交换器400。图7示出了可行大型热交换器400的一个示例，其中流体通道420通入到从芯部元件418中突出的翼片406中。流体流动路径通入到翼片406中可显著减小大型热交换器400的总热阻，从而提高整个系统100的散热性能。

本发明的一个优选实施例是将大型热交换器直接连接于系统的外表面。上述图1示出了连接于翼片分布散热器的大型热交换器，但是将大型热交换器直接连接于系统的外表面可能是有利的。如果所述系统是台式电脑的话，所述实施例将涉及将大型热交换器直接安装于侧部的内表面上或外壳的顶部上。如果所述系统是膝上型电脑的话，将大型热交换器安装于屏幕的后侧中将是有益的。在这两种情况中，所述构造具有离开这些竖直布置表面增强自然对流的优点。

如同微型热交换器200的情况一样，下文中进一步描述的热模型可由于使得流体路径420在大型热交换器400中的分布最优化，包括使得大型热交换器400的性能最优化的直径、截面形状、深度、形状、密度以及其他几何参数的详细设计。

通常，在将热交换器200和400设计得用于最优热性能之后，可确定泵300的性能要求并且可独立地使其特征最优化。本发明的一个特征是，泵300的能力可适合于允许热交换器200和400的独立最优化，从而产生基本提高的总系统热性能。

电渗泵300设计和制造. 该系统中优选的电渗泵300可用多种材料并

通过多种制造方法生产。然而，也可使用诸如静电驱动的薄膜泵、压电泵、超声波泵等其他泵并且仍可获得本发明的某些优点。然而，所述泵最好为电渗泵300，如图2中所示和以上所述的，其中泵结构包括在多孔结构310的任一侧上具有电极314和316的充液腔室213。当正极314与负极316之间（进而多孔结构310的相对侧部之间）存在电势差时，多孔结构310中的离子从侧部312B被吸引到侧部312A，并且邻近的液体也被拉过结构310。所产生的流速和压力差使得液体流过整个闭环系统100。在图2中所示的实施例中，陶瓷圆盘形式的多孔结构310被密封在腔室312的半部312A和312B之间，并且示出了流体入口322和出口324、正极314、负极316以及催化复合器326的提供。该具体泵实施例可用便宜的材料容易地装配，并用于产生超过2Atm的压力和10mL/min那么高的流速。

为了使得优选电渗泵300产生预期的压力和流速，泵300最好包括以下部件：

1. 多孔结构310，其特征在于，多个小直径旁路从一侧通到另一侧。所述旁路的直径通常小于0.01mm，并且如果它们的直径小于0.0025mm的话是优选的。该首选项的原因在于，越小直径的通道在表面附近中产生越大的流体分量以及越大的流体带电分量，从而导致用于具体电势差的总流体上的更大的力。多孔结构310的厚度通常在1mm与1cm之间。较薄的厚度导致具体电势差的增加的流速，但是重要的是必须记得，所产生的压力在该结构上施力，因此如果其厚度太薄的话可能损坏。高流速要求和可靠性之间的平衡导致陶瓷结构的优选厚度为几毫米。如图10中所示的，可通过在相对侧上的区域中的若干位置处为多孔结构提供支撑以改进该情况。

当空间是设计约束条件或需要考虑的事项时，可将腔室的尺寸选择得使得泵的尺寸和质量最小化，但是需要提供坚固的外壳。必须用具有绝缘表面的材料制成外壳，以使得没有电流从负极或正极进入到腔室表面。对于用丙烯酸制成的腔室来说，总尺寸是几厘米，并且壁厚度为1-3mm。所有这些尺寸都可被减小以使得泵具有低于1cm的总体尺寸，甚至像1-2mm那么小；这些泵特征在于腔室厚度接近于1mm，并且分别一直

到0.1mm。

多孔结构310的材料应具有相对于工作流体的高电渗迁移率，并且提供可抵抗将发生的高差分压力所需的机械完整性。

2. 一对电极，如所示的正极314和负极316，用于在多孔结构310上施加电场。这些电极314和316将被浸入到多孔结构310相对侧上的流体中，并应抵抗与流体之间的化学相互作用，以及当施加电压时将发生的电解作用。

3. 用于流体流动的入口322和出口324。

4. 用于俘获析出的氢气和氧气并使之重新结合以替代电解作用所失去的水的装置，诸如所示出的催化复合器326。在图10中示出了所述催化复合器326的一个示例，并且所述催化复合器326包括充有涂有铂的网眼或充有涂有铂的陶瓷芯块的小腔室。铂表面用作是用于在泵中各处产生的 H_2 和 O_2 分子之间的有效反应的衬底以使其重新结合以形成液态水，之后所述水回到泵的主腔室中。该腔室可被布置在泵腔室312的壁中，或者被附于该腔室的外部。对于重新结合腔室来说提供用于气体从泵腔室中进入并用于流体返回的装置是重要的。

5. 工作流体，其特征在于，具有相对于多孔结构表面的低粘性、高电阻率、以及高电渗迁移率。该流体应包括在长期暴露于系统100中的其他材料期间和在连续的电解期间不会退化的成分。

下面将描述包含适合于流体冷却系统100的闭环操作的泵300的这些元件的实施例。这些描述包括用于形成整个泵结构的零件、用于将电极连接于多孔结构表面的方法，以及用以构成多孔结构310的选定材料的特定示例。

烧结硅石泵制造工艺。用于生产所述泵送元件的可行方法是使用硅石微粒的填充床作为多孔结构310。已经研发出了用于制造烧结微粒泵送媒介的各种工艺，并且所述工艺对于本领域普通技术人员来说是公知的。

第一种工艺是用离心机分离硅石水浆并倒出水、干燥滤饼、切成约1mm的盘状部分，并且烧结。该工艺适用于具有至少1微米尺寸的微粒。

第二种工艺是如图8中所示的通过使用漏斗架82和薄膜滤器80过滤

而从含水泥浆中收集微粒，在薄膜滤器80中真空孔84连接于真空装置（未示出）以获得微粒滤饼310AA，所述微粒滤饼310AA将成为多孔结构310。该工艺适用于1微米的微粒，但是在没有类似于干砂的碎屑的情况下不能处理3微米微粒的滤饼310AA。即使处理湿物时，烧结的初始阶段干燥滤饼310AA，导致裂缝的形成。干燥滤饼310AA的该不良机械特性可通过使用硅胶的“粘结剂”解决。在没有出现裂缝迹象的情况下在1150℃下烧结玻璃粉。下面描述了用于3微米硅石微粒的微粒-凝胶玻璃粉圆盘工艺的三种变体：

在强烈搅拌下从1部分TEOS、2部分乙醇、0.2部分水以及0.01部分的10% HCl中生产出前体硅胶。在气泡停止之后，在封闭容器中将前体溶液搅拌2小时。然后以多种方式获得滤饼样品，包括：

1. 如图8中示意性示出的，收集3微米微粒的滤饼，但是在完全干燥之前，前体溶液的两种等分量涌过滤饼；
2. 前体溶液的一种等分量被加入到3微米硅石微粒的含水泥浆中并如图8中所示的被过滤；并且
3. 前体溶液的一种等分量被加入到3微米硅石微粒的乙醇泥浆中并如图8中所示的被过滤。

然后将各种样品风干三天，并且在1150℃下以20℃/min的倾斜速率烧烤（air-fired），并且在1150℃下保持30min，并且在20℃/min冷却下来。所述工艺步骤是有代表性的，尽管它们并非是最优的，并且产生更密集圆盘的变体可用作多孔结构310，或者可产生具有更高泵送能力的圆盘。

通过电泳压塑硅石微粒而从含水泥浆中收集滤饼中的硅石微粒的第三种方法也可产生适合结构的多孔元件310。除电势被施加到过滤器和架上以外，该工艺与以上所述的图8中的工艺相似，并且电场在溶液中的离子上施加巨大力，产生有助于将微粒装填到密集圆盘中的力。

该基本制造方法的关键性优点是玻璃粉的受控形状、受控孔径大小、流速和压力的最优化、以及更简单更有效的表面化学。所有这些优点都导致E0泵300的更可靠操作以及使用便宜且可广泛使用的材料的非常价廉的制造。

烧结玻璃粉制造工艺. 另一种泵制造工艺是基于市场上可买到的超细烧结玻璃粉的使用, 其中在图9A和图9B中示出了所形成的烧结玻璃粉泵300。在这种情况下, 获得了正确尺寸和形状的陶瓷圆盘。用于插入在泵300上的圆盘的制备和泵300的装配如下所述:

1. 从商业厂商(诸如Robu, Inc. 4)那里购买30-mm直径、超细玻璃粉。丙烯酸块被加工以产生空腔312A和312B并且包含形成腔室312的壁318。这些空腔312A和312B名义上是圆柱形的, 4-mm深并且直径为4-mm。在每个块的边缘中需要至少一个通孔以用作流体入口322或出口324。通常, 每个通孔都是3mm的孔, 其中加工的有倒刺的装配部分在其中被环氧化, 并且入口和出口管被连接于所述通孔。0.5-mm孔也被设在每个丙烯酸块中以便于直通并环氧密封通向每个电极的Pt线。将被环氧密封的每个块的表面都用180-砂粒研磨剂磨蚀以促进环氧粘接。

2. 2×4mm的网状催化剂片被插入到正极分隔间中, 通常从入口处穿过分隔间。

3. 当电极玻璃粉被装配在两个丙烯酸块之间时, Pt电线头342被插入到它们在正极和负极分隔间中的各个孔中, 并且组件用C-夹子夹在一起。使用耐水性环氧树脂密封丙烯酸与陶瓷块之间的接头320。由于丙烯酸被吸入到陶瓷圆盘中的气孔中, 首先只涂覆轻(light)环氧涂层, 之后在一个小时内涂覆第二更重的环氧涂层以加固丙烯酸与陶瓷块之间的粘结。

4. 泵300通过入口孔322的真空填充而开始操作。

5. 通过将DC电源在入口322侧与正电极(正极314)连接并且在泵300的出口322侧接地(或负极316)而操纵泵300。

6. 为了促使气泡平流到流中以及在复合器326处收集气体, 如此定位泵300以使得气泡的浮力促进所述平流和收集。

电极金属在泵结构本身上的沉积. 以上所述泵电极的该变体使用电极金属在多孔介电玻璃粉泵材料表面上的沉积。原样玻璃粉被磨碎并依次用120、180、240、322和600砂粒研磨剂磨光以获得多孔陶瓷结构340。其目的是从玻璃粉制造中去除总体表面粗糙度并且实际提供相互连接颗

粒上的平坦表面，以便于使得喷镀金属膜玻璃颗粒“岛”相互连接。

1. 薄金属膜作为有图案的电极314和316被沉积在陶瓷圆盘的大表面的相对面上。这些膜由40nmTi和100nmPt的e-射束蒸发层构成。Ti层通常是附着促进层，并且Pt惰性电极膜的厚度是表面孔隙的应力、导电性、阶梯覆盖以及封锁状态之间的折衷状态。

2. 使用环氧树脂344将10-mil的Pt线342Ag环氧化到Ti-Pt膜上，以通过所述包装的壁形成电导线。通过外敷透明的耐水性环氧树脂而防止Ag环氧树脂阳极氧化。

阳极化的氧化铝泵制造工艺。该方法描述了以Anopore过滤器作为示例的多孔氧化铝替换结构形式。这些过滤器为70微米厚并通过使得铝板阳极氧化而制成。本发明包括对于市场上可买得到的anopore过滤器所进行的两项改进以使其适合于E0泵300。第一项改进是使用草酸作为阳极氧化媒介。所形成的混合表面氧化-草酸盐可被焙烧以只形成氧化物，所述氧化物将具有更简单的表面化学特性。草酸盐到氧化物的转换是公知的陶瓷技术。第二项改进是主要阳极氧化较厚的铝层以将孔隙长度增加到几百微米，从而增加流体阻力以及泵300可产生的最大压力。较厚的多孔膜还将被加工得比现存过滤器结构更坚固。

上述方法超越用于制成可用作多孔结构310的多孔结构的现存方法的关键性优点包括用以减小“弯曲”的平行孔隙的最优化流动结构的形成，泵送结构被形成得非常平坦，确保沉积的金属膜电极将被相互连接，以及由于在聚丙烯支撑结构被（热）粘接之后零售价为\$1的25-mm直径过滤器所导致的低成本。

图10示出了使用如上所述多孔玻璃粉的修正泵300。然而，在该修正中，泵300使用附于外壳左右半部的一组支撑结构350，对多孔泵送结构提供机械支撑。所述泵的一个重要特征是，在流体上所产生的力与泵上的电势以及多孔结构中的表面上的带电层的密度成比例。如果可减小多孔媒介的厚度的话，通过泵的流速增加，但是要求该媒介抵抗压力差。通常，大区域、薄结构在高压差下可能损坏。为了解决这个问题，如图10中所示的，可如此制造支撑结构350，即，使其从构成泵送腔室312

的外壳的一个半部312A延伸到外壳的一个半部312B。这些支撑结构350可形成穿过所述结构一维的柱或梁，并且在基本没有阻止流体流向并穿过多孔泵送结构310的情况下只提供机械支撑点。

文中所描述的电渗泵300在消耗少量电力并且没有活动部分的简洁包装中具有产生大体积流量和大压力的独特能力。然而，该泵300包括必须处理的一些复杂性。例如，向泵300中的溶液施加电势和电流必然导致电解作用并且必须处理该程序中产生的气体。一个选项是让所述气体随着所泵送的流体简单地从系统中逸出，如下文中参照图21所描述的。在所述系统中，流体逐渐被消耗，并且这可适合于只在当前使用的系统。另外，必须补充流体。第二项复杂性是电解气泡和流体流线中的气块的流动的处理和控制。所以，我们已发明气透性膜的申请，所述气透性膜可用于分离电解气体并将它们导向重新结合腔室。第三项复杂性是当泵特性作为所使用的离子类型、离子浓度、溶液的pH值以及温度的函数时工作流体的最优化。

然而，通常最好收复所述气体，并使其重新结合以回收流体。图10(a-b)示出了其中来自于负极314的氢气穿过出口324、通过所述环并到达正极316的系统。正极316处产生的氧与催化复合器326表面上的氢结合。不是任由氢气穿过所述环（在那里气泡可造成压力和流速改变），而是在负极腔室312a中有利地俘获该气体，并使其直接返回到正极腔室312b中。

图11示出了泵300的一个实施例，所述泵300已被修正以使得气体输送到正极腔室312b中。在支撑结构中形成了通道328以使得该气体通过，并且布置半透性膜330以阻断液体流动同时允许气体流过。实际上，存在用于实现气体移动以及重新结合可能性的通道328以及膜330的许多可行性几何布置。图11示出了在负极腔室312a处具有一个多孔膜330的多孔泵送结构上方以及周围的旁路。可将该膜328布置于正极腔室312b处，布置于通道328中，诸如外壳的两个半部之间的接缝处，或其他位置。

图12示出了一个优选实施例，其中多个所述通道328沿圆周布置于泵送结构的周围以允许气体进入，与泵300相对于重力的定位无关。例如，

图12示出了这样一种可行性布置。

在一些情况中，如果用于复合器326催化剂的材料与流体相接触的话会降低其效能。在这些情况中，可使用半透性膜将复合器326与泵送腔室312中的液体相隔离。图13和14示出了用于复合器326的两种可行性布置，所述布置分别使用半透性膜327A和327B，并且执行该隔离功能。除了使用这样的膜327以外，缓和该问题或用于复合器催化剂性能的快速恢复也可使用向催化剂提供加热的加热器332，如图16中所示的。该加热器332可用于一直使得复合器326保持温暖，或如果需要实现干燥或性能增强的话用于间歇性地加热复合器326。如下文中所述的，可使用压力传感器和温度计的组合以判断冷却环的状态和泵300的状态。例如，如果检测到压力增加的话，这可指示出复合器326已变湿或需要复原。使用加热器332施加稳定热或简短热脉冲可用于恢复复合器326中催化剂的性能。

对于膜330和327来说具有若干种可行性材料选择。所需要的是具有密集过滤器结构的膜，所述膜使得气体通过同时阻断水的通过。一种示例材料是用于室外涂层的Gore-Tex材料，-这些材料已知可阻断水的通过同时使得蒸汽通过。

E0泵300的另一个重要实施例是使用不只一个多孔结构310以产生向微型热交换器200中的流动。图15示出了一个特定实施例，所述实施例包括一对多孔结构310，并且从一个入口322中向一对出口324A和324B泵送流体。来自于出口324A和324B的流动可重新结合以穿过一个流体环，或者它们可保持分离。通过电极315A和315B施加于两个负极316A和316B的电势不必是相同的，因此这种设计可使用具有电极313和共享泵送区域的共用正极314独立控制流过一对冷却环的流体。该双连泵结构也可用作前述基本泵的高转移变型。通过组合来自于出口324A和324B的流动，本发明可使得任何单一泵的体积流量翻倍，同时产生相同的高压并在相同的压力下操作。或者，可将这种布置看作是初始泵和后备泵，其中只在泵另一半的性能中记录了损坏指示之后，激活所述泵送结构的一半。

包括不只一对泵送结构的组合也是可行的。使用一对泵送结构是优选的实施例，这是由于可将一对泵送结构的一个靠近于另一个布置，从

而允许在只附加少许总泵体积或质量或成本的情况下获得2倍流速的泵。包括第二泵可具有这样的附加情况，即，可独立地使用泵的两个半部从而获得更高级的流速控制。

微构造的裂缝泵. 图17中所示的微加工裂缝泵300C包括E0泵300的分层变型，其中通过在一个衬底370中蚀刻浅通道310-CH而构成了非常薄的平坦通道310-CH（相当于通常存在于上述实施例的多孔结构中的通道），然后所述衬底370被涂覆绝缘层（诸如 Si_3N_4 层），然后粘接具有平坦表面晶片的第二玻璃层380以密封窄通道310-CH。或者，垂直于衬底370的表面定位的非常薄的平坦通道可被蚀刻于衬底370中以连接入口372和出口374腔室。形成更深的凹槽以提供入口372和出口374腔室，并且允许电极314和316布置于其中。由于流体旁路的总截面面积基本小于E0泵300的其他变型的截面面积，因此微构造电渗泵300C通常产生低于1L/min的流体流动。通过在同一个衬底上提供以平行的方式操作的多个泵300C可恢复损失的流动。

气凝胶泵送元件. 该方法依赖多孔硅石（称作气凝胶）的替换结构形式。用于形成E0泵300的该材料的关键性优点是非常高的多孔性，因此它具有更高的电渗流速和更低的质量（重量）。另外，还存在将气凝胶铸成预期形状的可能性；可铸在电极结构上。这些材料也可抵抗高温处理。

泵的工作流体的最优化. 水，最好是脱离子水（“DI”水）是电渗泵300的通用工作流体。除出色的热特性（诸如蒸发的高潜热）之外，水还支持电渗，并且可用催化剂便利地重新结合其电解产物，氢气和氧气。

通过改变含水工作流体的成分可使得泵300的性能最优化。在图50中示出了所述最优化中的一个示例，其中以与放置于其中的硼酸钠浓度相对的方式标绘了初始和平均恒稳态流速。最佳性能是接近于该电解液的3mM。由于无法完全理解流速可受电解液成分和/或浓度的影响的化学原因，另一种电解液的最佳性能也可出现在略微不同的浓度上。

然而，这点也是重要的，即，电解液可为电惰性或可完全可逆的，以使得电解副产品不会随着时间的流逝而增加。例如，氯离子电解将在正极处产生氯气而不是氧气，并且我们的催化剂或许不会将氯与氢重新

结合。此外，溶解的氯与包含溶解有氧气的工作流体相比是更具腐蚀性
的工作流体。

为何选择硼酸钠的另一个原因在于，它代表用于制造多孔聚合玻璃
粉的玻璃材料的三种主要成分中的两种。因此，电解液还倾向于抑制多
孔媒介的分解或瞬时化学改性。另一种相似的电解液在向多孔媒介提供
稳定、有效电渗表面方面可更出色。

优选工作流体的另一个特征是在pH值方面的控制，尤其是抑制正极
分隔间的酸产生特性。抑制低pH值是重要的原因在于，在降低的pH值下，
电渗流速显著地降低，如图51中所示的。

综合系统.以上已经描述了本发明的各个部件200、300、400和500的
改进。在另一个方面中，本发明将元件，尤其是微型热交换器200和电渗
泵300以及最好还有控制器500结合成可提供综合热控制的简洁模块。如
以上图18中所示的，本发明的一个实施例是集成的微型热交换器600的改
进。该模块包括如上所述的微型热交换器通道220，并且包括用以测量温
度分布的温度传感器或温度计，以及包括微构造E0泵300，所有这些都在
一个简洁包装中。也可包括其他类型的传感器，诸如压力传感器和流动
类型传感器。

可通过连接离散小型电阻温度计或通过硅结构区域的轻微掺杂将温
度计结合在结构中而容易地结合温度计250。轻微掺杂的硅可用于通过电
阻的测量或通过电流偏压二极管的形成以及通过正向压降的测量精确地
检测温度。在任意一种情况中，都可使用用于在任何标准MEMS铸造厂中
形成微通道220的相同的平版印刷术、沉积和蚀刻工具制造这些温度计元
件250。这些温度计250能够局部、精确地测量装置50附近的温度，并允
许调整泵压力和流体流速以在指定限值内调节装置温度。

此外，也可结合具有微构造结构的E0泵300，由于尺寸限制，通常结
合较小的E0泵。将图17中的上述微加工“裂缝泵”300C看作是从微构
造硅结构中整体制造的E0泵300的一个型式，并且所述E0泵300可与文
中所述的其他温度计250和微通道220的制造相似。在图18中示出了综合的
冷却模块的一个优选实施例，所述冷却模块可包括微型热交换器200、一

组集成的温度计250以及集成的E0裂缝泵300。在一些情况中，该结合程度将降低所述安置的总体复杂性，并且可导致降低的制造成本。使得控制器500与该结构结合也是可行的。

也可考虑闭环冷却系统100的其他设计。

图19示出了闭环冷却系统100的修正示意图。在该实施例中，具有通过系统的2个独立流体通路，如由作为一个通路的流体线110、112和114以及作为另一个流体通路的流体线110A、112A和114A所示的。可通过两个泵300和300A中的不同电极的不同电势独立地控制通过这些通路的流速，从而使用由控制器500通过信号线122和122A供应的信号调节通过每个泵300和300A的电流。所述系统100的优点是，它可根据生热的变化分布独立地调节装置50的多个区域的温度。例如，装置50可为微处理器，其中其一些区域在稳定速率下产生热量，而其他区域在快速改变的速率下产生热量。该结构允许通过装置的分离区域的冷却剂的独立控制，并且在热量产生中存在这些空间变化的情况下可保持总的热均匀性。

在也可扩展为使用不只一个所示的泵的另一个变体中，来自于任何独立泵300的流体在进入装置50之前或进入到装置50之后被分成为不只一个流动路径，并且流入到这些分离旁路中的部分可由阀或其他分流方法改变。图20示出了该系统100的一个实施例，其中使得流体流过两个独立旁路，通过所述环，一个使用流体线110和115而另一个使用流体线110A和115A，并且分流器590用于确定泵300的输出如何在两个路径之间分开。在该图中，流体路径在微型热交换器的入口和出口处被分离并且在大型热交换器中相结合。显而易见，可在微型热交换器200之前或之中的任何位置处分离流体路径，并且可在微型热交换器200、大型热交换器400中（如图中所示的）或在泵300的入口处的任何位置处结合它们。

除了前面描述的闭环冷却结构之外，本发明的一个实施例使用开环结构，其中冷却流体从一个容器中被抽出并且在一次穿过所述环之后远离所述系统被排出。图21示出了这样一种系统，其中流体从容器302中被抽出、通过泵300将其吸入到所述环中、然后通过微型热交换器200并且在流体离开所述系统之前通过大型热交换器400到某个废物容器中。虽然

所述系统对于许多成套应用不是理想的，但是存在允许来自于外部源的冷却水的使用和散热的许多其他应用。文中所描述的泵和热交换器可与这样的结构相结合以获得特定优点，诸如增加的压力、以及流体流动的控制。

图22示出了该系统的一个变体，其中不包括大型热交换器400，并且从微型热交换器200中排出的是加热的流体和蒸汽。该加热的流体可被传送到废物容器中，包括其所携带的热量。在某些应用中没有大型热交换器400可被看作是优点。

在图23中所示的特定开环实施例中，示出了电渗泵300，其中使得通过电解作用在泵的正极侧上产生的气体逸散到周围环境中。在某些情况中，必须收复该气体并使其重新结合以形成流体并将所有流体保留在系统中。然而，还存在其中无需回收所述气体的其他应用。在这种情况下，必须提供用于使得气体逸出泵300的某种类型的排气孔。在泵300的正极侧312b上，所产生的气体不能穿过多孔结构310，因此必须提供排气孔304。在负极侧312a上，可如图中所示的，气体随通过出口324的流体一起逸出，或者也可使其开口。如果负极侧312a上所产生的气体穿过冷却系统的剩余部分的话，它将最终到达泵300的正极侧312b，在那里它可重新结合或可通过排气孔304逸出。

图24示出了微型热交换器200的另一个实施例，其中前面参照图3B所示的由层210和214构成的每个冷却层230与电内连232相互交织，所述电内连232大部分最好是竖直的。这些竖直的电内连232可用于允许与装置50上表面的电接触，并且还在那个表面上提供热冷却。由于在许多应用中使用用以形成冷却的同一个表面通过电触点形成与装置50的电接触是重要的，因此该结构是有用的。所述装置50的示例诸如可受益于光电装置，在硅晶片的两侧上构图的集成电路、或多层、复合信号系统，诸如为单片无线电所提议的那些。如图24中所示的，竖直的电内连232从层214的顶表面234向层210的底表面传送电信号，并且包括用于从一个或两个表面中有效地去除热量的横向流体通道220。

图25示出了多层组套中的这样一种热交换器200的示范性结合，所述

热交换器200包括接口板244、主板246和引线接合248，如可想象的用于3-D复合信号系统的。由于这些装置的密度和功率消耗增加了，因此冷却层230接合在3-D综合系统中可明显地有助于散热。由于通过所有层到表面的普通热传导是效率低的，将冷却层230布置于3-D结构中可更有效地用于热传导，并且外表面（诸如所示的240和242）将在电力、光学、RF接近所述系统方面更为重要。

图26A和26B示出了另一种微型热交换器200，所述微型热交换器200具有用于包含上述电内连232的冷却层230的另一种布置。在该实施例中，冷却层230包含通过微型热交换器200的开口260，为装置50提供了可与微型热交换器200的开口260上方的打开区域进行光学、电力或其他相互作用的空间。所述其他相互作用包括压力、声音、化学、机械力或电磁场相互作用。环形微型热交换器还用于与装置50热电连接，以及用于与装置50以其他形式连接。由于如果可接触外部刺激的话装置50的冷却表面可更好地工作，因此具有这样的开口260是重要的。例如，二极管激光器可需要光学有效表面的冷却以及光学使用所述表面的发射区域。

图27示出了微通道热交换器的另一个可行实施例，其中通过“C形”开口262提供向装置50顶表面上的区域的通路，所述“C形”开口262执行与上述开口260相同的功能。

图28示出了可用在微型热交换器200中的锥形通道部分220T，所述锥形通道部分220T具有将描述的优点。在前面所述的图3A中也示出了所述锥形通道部分220T。

本发明的另一个有利特征是诸如图3A中所示的微通道220的几何形状适合于微型热交换器200中以使得热特性最优化。作为该特征的一个示例，它可预测入口流体温度以及装置50上的生热的空间分布。为了在装置50上获得均匀的温度，必须使得传递到流体的热的空间分布与生热的空间分布相匹配。当流体流过微通道220时，其温度增加，并且当其转化为蒸汽时，流体经历显著膨胀，导致速率的较大增加。通常，对于高速率流动来说，从微通道220的壁262到流体的热传递效率提高了。因此，可通过调节微型热交换器中微通道的截面尺寸来适应到流体的热传递效

率。图28示出了在入口264处以小截面面积起始的微通道220（以便于在入口264附近引起高速率流动），然后在下游出口266处膨胀为较大的截面（以便于在引起低速率流动）。这种特定设计可代表在入口附近具有较高生热的一种设计。

此外，可在期望存在流体与蒸汽混合物的通道220的区域设计较大截面，这是由于与从液体到蒸汽的转化相关的体积增加导致较大加速度和因此形成的增加的速率。在这种情况下，与图28中所示的相似的设计可被理解为适用于当流体从入口264移动到出口266时从流体向混合流体/蒸汽状态的局部转化。另外，使得通道变宽而后再变窄可为有利的，从而实现在微型热交换器的不同位置处流体速率的减小而后增加。如图3A中所示的，可以明白的是，再三地将通道尺寸从大到小地改变并且复原以便于使得热传递效率与装置上的预期散热分布相适应。通常，更窄的截面将导致更高的流体速率，以及更有效的热传递。

可以其他方式增加热传递的速率和效率，包括将额外的结构270引入通道中期望增加速率的区域中。图29示出了这样一种设计，其中多个结构270被留在通道220中以部分地阻断流动。由于通道220剩余的截面面积减少了，因此这些结构270使得该区域中的流体速率增加，从而增加该区域中的热传递效率。另外，由于这些结构的表面增加了与流体相接触的总表面面积，因此增加了通道220的有效表面面积，从而进一步增加从装置50到流体的热传递效率。

将通道220制造于微型热交换器中的微构造方法的特定优点在于，可引入小设计零件（诸如具有可变宽度的锥形通道220T）或在通道220的内部使用结构270。接近1微米的最小化零件尺寸是可行的，能够非常精确地控制通道220和部分阻断结构270的形状。除调节通道220的宽度和插入部分阻断结构270以外还可设计的具有可变深度的通道，从而在没有改变微通道220的相对密度的情况下连续地调节通道截面面积。

除了在前述基本平坦的微通道基础上以几何形状构成微型热交换器220以外，从进一步冷却层230-n（诸如图30A和图30B中所示的）中可发生有助于从装置50中传递热量的流体分布，所述进一步冷却层230-n与前

面图3B中所示的冷却层230一起存在。图30A和图30B示出了包括流过流体冷却层230和230-2的可行的微型热交换器的几何形状,其中图30A的顶视图沿层210的上部所截。为了形成第二冷却层230-2,在前述层210和214上形成了上部层216(尽管任何数量的层210、214和216都可由于获得可变数量的冷却层230)。在该实施例中,上部冷却层230-2用于从流体入口222中向遍及微型热交换器200的多个位置分配冷却流体,而下部冷却层230用于散开所述流体并使得流体穿过流体出口(由224-1和224-2所示的)。该实施例的一个优点在于,冷的冷却流体可被引入到底部冷却层230上的任何位置中,并且可通过横向和竖直通道的截面尺寸确定流过每个通道220的流体的流速。

在图31中示出了用于冷却流体的分配的一个特别引人关注的实施例,其中流体在流体入口222处进入到微型热交换器200的上层216中,并且通过平坦容器274均匀地散开。第二层214中的多个小孔导致流体注入点或喷滴向微型热交换器200的第一层210中的腔室278中分配的形成。通过开口的尺寸和每个区域中开口的密度确定冷却流体的分配。然后流体在第一层210中的流体出口224处排出。在该实施例中,与上面所述的实施例一样形成了以相同的方式连接起来的各个层210、214和216,然后用胶水、传导性化合物、焊料附于装置50或直接结合。

图32示出了微型热交换器200的另一个实施例,该实施例与图31中实施例相似,消除了层210并用于流体直接接触装置50的表面。在该结构中,形成了层216和214,并且层216和214直接结合于装置50,并且下部腔室278被形成于装置50与微型热交换器200的接触面处。图33示出了微型热交换器200的另一个实施例,所述微型热交换器200具有一个冷却层230,并且也用于流体直接接触装置50的表面。图33还示出了一个实施例,其中装置50被描绘成具有形成与电路板电连接的突出接头(bump-bonds)的电路,也可被描绘成微处理器的壳体。由于去除了一些障碍,通过允许流体与装置50直接接触,因此提高了从装置50到流体的热传递,因此可优化系统性能。然而,该方法是复杂的,这是由于装置40与微型热交换器200之间的实际连接必须抵抗流体和压力,并且需要在装置50的使用

期限内防漏。

取决于层214中开口276上的压力差、以及开口276的尺寸，穿过腔室278的流体可形成小喷滴，这可具有几个重要的优点。通常，喷滴的形成是由流动的雷诺数支配的。对于太大的喷射口来说，电渗泵所产生的质量流将导致太小的流速，因此孔流雷诺数太小以致于不能实现喷射（表现为口出口处的分离流）。对于太小的喷射口来说，粘性应力耗散了泵所产生的压能，并又使得雷诺数太小。因此应该具有最优喷射口直径以获得较高雷诺数（即使只是层状的）的喷射流。由于增加的速度以及腔室278中存在惯性流动不稳定性，因此喷滴（或更优选地，一组喷滴）的形成增强了腔室278中流体热传递的效率。另外，喷滴使得腔室278中的流体适当地混合，从而有助于校平任何温度梯度。

前面所示的图3B以及图34和图35示出了微型热交换器200的各种实施例，其中微通道220被制备为密封结构，之后使用热传导性化合物将所述密封结构附于装置50。该方法的特定优点在于，可使用有可能毁坏装置50的高温工艺和化学药品制备微型热交换器200。在完成了微型热交换器200的制造之后，使用不会损坏装置50的工艺和材料将其连接于装置50的后侧。在所示出的各种实施例中，图3B和35中的实施例优于图34中所示的实施例，这是由于流体被直接传输到粘接于装置50的热交换器200的层中，因此来自于装置50的热量在通过微通道220的流体被移除之前只需行进较短的路径。

除了使得流体与装置50表面相接触的上述实施例之外，微型热交换器200的其他实施例可使用对于装置50表面的几何修正也会的更大的表面面积接触。图36示出了这样一种微通道设计，其中通道220被形成于装置50的后侧，并且连接结构的其余部分将流体引导并分配到这些通道220。图37示出了以上结合图32所描述的喷射器组，所述喷射器组被粘接于装置50，其中用于传送所述喷滴的腔室通过蚀刻于装置50的后侧而被形成。

在冷却环的操作期间，所述还的某些元件可能开始出现故障。例如，可开始增加微型热交换器200或大型热交换器400上的压力，表明沉积材

料的形成。对于该情况的适当反应是wash through, 通过短时期增加通过泵300的流速而实现。在整个环上形成压力还可指示出泵300中正极314或负极316处的电解作用中产生的气体的积聚, 以及泵300的气体重新结合元件的可能性短暂故障。对于该情况的适当反应是降低一段时间的泵操作电流, 一般是在数十秒的范围内, 或者甚至是颠倒大致相同时间的泵300的电势, 以倒转气体的流动。对于该情况的另一种适当反应是加热复合器326。为了检测指示出故障或电势故障的上述和其他状态, 可使用压力传感器、温度传感器、或电流传感器以判断冷却环或冷却环的特定元件的状态的某些方面。可以上述相对于温度传感器所述的方式在所述系统中使用这些传感器。同样地, 可使用控制器500检测这些状态。

图38示出了冷却环的视图, 其中测量压力的压力传感器280和测量电流的电流传感器290以及前述的温度传感器250被布置在环中的位置中, 并且来自于这些传感器的信号被反馈到控制器500中。控制器500将利用这些信号判断所述环的状态, 并且依适当的方式提供矫正的控制信号。

还应该注意的是, 在上述描述中, 出于方便的目的, 作为系统中的独特装置示出了控制器500。还存在可发生控制器500的功能的其他可能性, 包括以下情况。

如图39中所示的, 本发明可利用装置50的能力实现该功能。例如, 如果装置50是微处理器的话, 微处理器可从微型热交换器上的温度传感器250以及还中的其他传感器280和290中获得作为输入信号的信号。该微处理器可翻译这些信号, 并且计算调节温度所需的输出信号, 执行“wash through”处理, 或与压力或电流中的改变相对应。

如图40中所示的, 本发明可将微控制器500A或其他电路装置结合到微型热交换器200中。或者, 如图41中所示的, 微控制器500A可被附于外部微型热交换器200。在任一情况中, 通过作为微型热交换器200一部分的集成电路操纵控制功能, 所述集成电路形成一个独立单元。

本发明的另一个实施例使用上述各种部件, 其中实施例通常被称作热撒布机。本发明不是将热量从一个位置移动到明显分离的位置处, 而是可用于泵送流体以便于有效地将热量从局部热源散布到更大的表面区

域，具有用于克服实体结构的有限热导率的优点。实际上，本实施例不是使用前述实施例中所述的微型热交换器200和大型热交换器400两者，而是只使用如图42中所示的一个热撒布机150以便于将装置50所产生的热分布在热撒布机150中的更大区域上。热撒布机150中包含用于执行前述由微型热交换器200和大型热交换器400所执行的功能的部件。热撒布机150传输该热量并且由于其非常大的表面区域可有效地将其分布到周围空气中。如前所述，移动流体将热量从装置50上的局部生热部分带走并有效地散布在热撒布机150的整个体积上。

除其中热量通过热撒布机150直接传输到安装结构的实施例之外。如图43中所示的，装置50产生小热体积，并且被附于更大的热撒布机150。流体横越装置50与热撒布机150之间的小表面区域，俘获装置50所产生的热量。接着，流体横越热撒布机150与更大安装底架160之间的接触面162。在这种布置下，热撒布机150有效地将热量散布到底架160以便于低热阻连接。由于底架材料的有限热导率，这可具有比通过直接将装置50附于底架160上可实现的热性能更好的热性能（低热阻）。撒布机150用作低热阻结构，所述低热阻结构用于将小表面区域（装置50上）上产生的热量传送到底架160上的更大表面区域上。该实施例的变体可用在其中底架具有足够表面区域以将热量散布或引导到其他热传递机构（诸如风、流水）的任何应用中。其实施例可包括交通工具上的电力电子器件，或分布在大区域装置上的集中热源。

系统热量传递模拟和最优化. 本发明的另一个有用方面是，用以模拟详细方式下的特定系统设计的散热能力的热传递的详细计算机模拟的使用，以及用于重复该设计细节以便于使得总体系统性能最大化的该模拟能力的使用。例如，可模拟真实生热装置50的行为，包括装置50中的生热的空间和时间分布。

热设计CAD（计算机辅助设计）

热设计CAD目的的综述. 本发明包含热设计CAD工具的使用，所述热设计CAD工具能够使得使用者完成微型热交换器200的方案图，所述微型热交换器200将实现使用者的具体生热装置50的最优热均匀性。该CAD工具

包括用于计算压力、速率、热传递速度、以及给定装置生热部分的温度变化的模块和给定微通道几何形状。以下描述了该系统的结构单元，并且还提供了功能说明。该CAD工具执行使得微通道几何形状最优化的主要作用，从而提高所形成的散热器的品质因素，具体地，降低温度变化并降低平均热阻。

热传递模型. 从装置50中到表面、通过接触面到散热结构（微型热交换器）、从该结构到穿过其中的流体、以及从所述流体到大型热交换器400之后到周围环境中的热传递的详细模型都可被执行。这些热传递特性对于每个结构中通道的形状和布置是特定的，并且取决于由E0泵300所产生的压力和流速。该完成的系统模型允许设计者将变体引入到系统设计的细节中，诸如通道几何形状（例如，布置、空间、直径、形状）中的改变，以及允许设计者计算这些变化在系统性能上的影响。具体地，所述计算结果确定从装置到周围环境的总热阻、装置温度方面的空间变化以及装置温度方面的时间变化。该模型基于简单计算，1D方法。该1D方法非常有利，这是由于其计算效率，尤其是与更详细的多相模拟方法相比。因此该1D近似法对于通道最优化是有效的，所述方法需要许多对于多种形状和结构的通道性能的循序计算。文中所发明的该模拟方法在数字上解答了用于微型热交换器实体墙（硅或金属）中热传导以及用于流体水平对流的能量方程式，具有由损失到热交换器周围环境的热损失所表示的边界条件。用于流体的入口和出口状态分别被连接于流体离开E0泵的出口位置和热抑制器的入口。该模拟使用有限体积法并且根据对工作流体的列表数据的相关性考虑液体和蒸汽特性的温度和压力依存性。

使用热传递系数和壁表面摩擦系数确定传输到流体中的热量和沿通道的压降。这些系数是从适于数据的试验中获得的或是从对通道中两相流动的精确解中获得的。该模拟考虑沿给定通道的长度空间地改变热产生，并且，当对于平行方式的多个通道执行模拟时，也考虑热通量中的横向变化。对于任何给定的通道来说，该模拟将装置50温度分布确定为生热率、通道形状、流体输入流速以及温度的函数。该模拟可模拟各种截面形状和路径的作用。该模拟可基于同类的或分离流假定。

该模拟在数字上解答硅壁的热传导和流体对流的能量方程式，具有由损失到周围环境的热损失所表示的边界条件。该模拟使用有限体积法并且根据对工作流体的列表数据的相关性考虑液体和蒸汽特性的温度和压力依存性。该模拟是沿通道方向的一维的并且分别使用用于实体墙和流体的平均局部温度 T_w 和 T_f 。所述能量方程式为：

$$\frac{d}{dz} \left(k_w A_w \frac{dT_w}{dz} \right) - \eta h_{conv} p (T_w - T_f) - \frac{w(T_w - T_w)}{R_{env}} + q'' w = 0 \quad (1)$$

$$n \dot{Y} \frac{di_f}{dz} - \eta h_{conv} p (T_w - T_f) = 0 \quad (2)$$

其中 z 是沿通道的坐标， A_w 是通道壁横截面积， p 是通道截面的周长，而 w 是一个通道的节距。翼片效率， η ，表示与局部通道壁中的散热器正交的温度变化。硅的导热性是 k_w ， $n \dot{Y}$ 是质量流率，以及 h_{conv} 是通道壁与流体之间的热传递的对流系数。用于两相流动的每单位质量的流体焓 i ，用局

$$i_f = (1-x)i_l + xi_v \quad (3)$$

部流体质量 x 表示，所述局部流体质量 x 是气相的质量分数，使用

其中脚注 l 和 v 分别表示两相流动中的液相和气相。

公式(1)解释沿首项中硅壁的热传导、第二项中的对流热传递速率以及第三项中的使用阻抗 R_{env} 的向周围环境的自然对流热损失。由于其极小量级，因此忽略辐射热损失。流体流动公式(2)涉及相对于从通道壁传输到流体中的热传输速率的流体的平均焓密度的变化。

装置50上的温度均匀性是ICs的可靠性能的临界值。例如，微处理器芯片装置上的较大生热区域趋向于较高的局部温度以及当芯片的剩余部分刚好处于出现故障的阈值温度之下时趋向于出现故障。因此，实现均匀芯片温度的能力是任何冷却方案的重要条件。而且，前导冷却方案应证明其解决与实际芯片中的热点相关的温度均匀性问题的可能性，其中

所述热点处的局部生热率远超过芯片上的平均值，可导致局部芯片温度的急剧增加。

结构单元：流动/压力模型. 为两相状态研发了两个流动模型。一种同类的流动模型假定液体和气体在每个位置 z 处具有相同的速度。另一种方法是环形两相流动模型，其中假定薄的、低速液膜围绕快速移动的蒸汽核心。Stanley等人的用于沿可比尺寸的通道的两相流动的热通量和摩擦系数的数据(R. S. Stanley、R. F. Barron、以及T. A. Ameel, “Two-Phase Flow In Microchannels”, *DSC-Vol. 62/HTD-Vol. 34 MEMS. ASME*(1997), pp. 143-152) 为同类的流动模型提供更多的支持。压力分布分别由同类流动模型的下式表示

$$-\left(\frac{dP}{dz}\right) = \frac{f m'^2}{2\rho D} + \frac{d}{dz} \left(\frac{m'^2}{\rho} \right) \quad (4)$$

以及由环形模型的下式表示

$$-\left(\frac{dP}{dz}\right) = \frac{2\tau_i}{D/2 - \delta} + \frac{m'^2}{\alpha} \frac{d}{dz} \left(\frac{x^2}{\alpha \rho_v} \right) \quad (5)$$

液-蒸汽混合物的密度为 $\square$ ， $\square_v$ 是气相的密度， f 是综合的平均摩擦系数，而 D 是通道水力直径。质量通量 mm'' 与质量流率 $n\dot{Y}$ 的关系表示为 $mm'' = n\dot{Y}/A_c$ ，其中 A_c 是流动通路的截面面积。液膜厚度为 $\square$ ， $\square_i$ 是环形流动模型中液体-蒸汽接触面处的剪应力，并且 $\square$ 是空隙比，即，蒸汽流动截面面积与总流动截面面积的比率。

如上所述的详细的数值模拟可用于预测微通道热交换结构中的温度分布，并且可用在重复的设计程序中以便于最优化这些微通道设计的性能，从而实现具体系统性能目的。

结构单元：连接热传递与流动/压力模型. 所述模型可使得通道位置、相对流速、局部截面形状以及延伸表面在通道中的受控布置最优化，所有这些都可实现温度均匀性。这些模型步骤包括：

1. 根据流体混合装置温度和局部壁温度对于用于纵向通道方向上1D热传导和对流问题的离散化公式的推导。输入到这组离散化公式中的是入口流速和温度、通道形状和沿纵向坐标通过衬底的形状变化、以及沿衬底施加到通道壁的热通量局部值。

2. 根据热力学状态（温度、压力、质量）和参照现存数据的库程序确定混合装置流体（两相）特性（粘性、导热性、比热）

3. 使用两种方法中的一种计算热传递系数和摩擦系数，所述两种方法即，3.1分离流模型，其中通过求解Navier-Stokes 和能量方程式而分析地确定这些系数，3.2同类的流模型，其中使用根据观察和文献中提供的合适的试验确定这些系数。

4. 使用under-relaxed Gauss-Seidel技术解答离散化公式。该计算结果从上述输入中产生壁温度。

在图52中示意性地示出了该模型方法。如图52中所示的，该模型程序始于起始几何形状，并且在框910中给出了热量输入空间分布的定量描述。依照上述步骤1-2，我们确定微通道中每个位置处的流体状态，并且在框912中计算压力分布和流动速率。依照上述步骤3-4，我们计算热传递系数，并且确定所产生的壁温度分布，所述壁温度分布与框914中的装置温度分布相关。最优化涉及通道形状的改变以及其沿通道长度的演化、流速、以及入口温度，以便于在考虑通过对通道几何形状的不断干扰（形状干扰管理器904）反复地执行所施加热通量中的改变的情况下使得温度改变最小化，趋向于优化设计（会聚管理器906）。在下面描述了用于实现最优性能的细节和方法。

具体地，热交换器中的压力分布支配两相混合物的饱和温度的分布，所述饱和温度的分布用于在考虑给定热通量的情况下控制壁温度。例如，即使在考虑下游端处热通量急剧增加的情况下，也可将通道下游端处的壁保持在比上游端处的壁更低的温度下。饱和温度的变化将支配该情况中的壁温度分布，而不是局部热通量。

已证明，受益于工作流体的潜热，两相微通道冷却具有比单相液体冷却更大的效率和更好的芯片温度均匀性。然而，实验数据和模拟已示

出了微型热交换器温度方面的最高在空间上沿通道出现在刚好出现沸腾上游的位置处。该温度最高部分地与微通道壁的过热相关并且可形成大于200℃的芯片温度差。只要防止普通的泡核沸腾就可发生过热。由于从纯液体到两相流动的转化,该壁温度最高还与出现沸腾的附近中的热传递系数的减小相关。

在微通道中,由于没有气泡成核位置,或者由于微通道太小以便于脱离气泡以与液体一起传播,可抑制泡核沸腾。例如,如果所脱离的气泡尺寸和通道直径一样大的话,液体流动可被气泡阻断,并且可在该接触面处发生液体到蒸汽的转化。这种情况的一个不合宜的结果是通道下游的热传递系数的减小,以及微通道壁处出现非常大温升的可能性。

在研发本发明期间,已经作出了为微通道反映沸腾状态的测量,并且已确定何种沸腾状态是在给定速率下穿过给定半径通道的水所需要的。对于在低于1m/s速率下穿过直径大于100微米的流体来说,可以发现已使用同类流动假定(液体和气体在相同的速率下行进)全面描述了沸腾和热传递。在该限制内,利用Kandlikar's矫正通过有限体积模型在合理的精确性下描述了热传递,以确定从微通道壁传递到流体的热量。因此,可用于提供从微通道壁传递到微通道的任何位置处的流体的热量的精确计算。

利用Kandlikar's矫正通过有限体积模型的模拟提供了作为示例的微通道热交换器的设计,所述微通道热交换器的目标是从20mm×20mm的面积上去除200W的热量。水流速为10-20ml/min,这在散热器的出口处形成了0.5-0.25的含汽率(这是液体状态下排出流体的部分)。对于给定芯片尺寸来说,通过100μm厚度的恒定通道壁以及通过微通道宽度的要求确定通道的数量。在最优设计中,宽度从入口到出口可改变以获得有利的性能。在当前描述的设计中,入口温度为69℃的水用作工作流体,尽管可以理解的是,存在工作流体的多种形式及其入口温度。

结构单元: 出口压力最优化 在使得芯片温度适合于可靠性所需的要求的特定目的下,可被调节的一个参数是微型热交换器的出口压力。如果该压力与大气压力相同的话,在没有过热的情况下流体-蒸汽转化温

度是 100°C ，然而，通过使得例如微型热交换器的出口压力低于大气压力，可降低该转化温度。该方法可用在闭环中，所述闭环在每个点处与大气条件相隔离。对于许多应用，最好将转化温度降至 100°C 以下-例如，集成电路通常工要求晶体管处的最高操作温度低于 125°C 。由于在晶体管与热交换器之间存在一些热阻，因此将存在从热交换器到晶体管的温升。温升与所消散的能量之间的比率被称作热阻。对于给定热阻来说，存在与低于 125°C 的晶体管操作以及 100°C 的微型热交换器操作相关的最大能量。然而，如果可在 75°C 操作微型热交换器的话，可消散两倍的能量同时将晶体管保持在 125°C 以下。因此，在微型热交换器出口处具有低于大气压力的压力的流体环操作是非常有用的方法。

例如，我们假定图1中所示的冷却环在微型热交换器出口处具有设定为 0.3bar 的压力；对于这种情况，在微型散热器中将出现 70°C 的流体-蒸汽转化温度，导致装置操作温度低至 100°C 或低于 100°C ，或导致在更高温度下操作的装置的更高的能量消散。

为了获得低出口压力，使得微通道的形状适合于消除流动阻力是重要的，其中流动阻力将导致流体流过微型热交换器的大压力增加。图44A和图44B示出了在用于2种不同流速的通道尺寸上的平均芯片温度和压降的相关性。微通道在整个通道长度上具有恒定的截面，并且施加了总量为 200W 的均匀生热。如图44A和图44B中所示的，由于降低的压降导致较宽的通道具有较低的平均壁温度。这些定量结果可用作微通道系统设计的设计指南。

图45示出了各种通道截面几何形状的平均芯片温度和压降的比较关系。可以看出发散通道和收敛通道几何形状都不会提供比具有恒定截面的较宽通道更好的性能。使得流动阻力最小化的通道几何形状将导致沿通道降低的压降并保留在低于大气压的出口压力下操作的可能性。

平均温度和压力的这些计算结果没有考虑具有通道几何形状的热传递效率的变化。通常期望通过能够引起更高流速的设计（诸如窄通道直径）改进热传递，或通过增加与流体相接触的通道的表面面积的设计（诸如通过引入翼片或改变为更长更窄的通道）改进热传递。通常，这些改

变导致增加的流动阻力，因此在获得降低的出口压力（以及降低的操作温度）的设计与那些获得提高的热传递效率的设计之间可存在冲突。当然，最佳的设计实现了降低微型热交换器的操作温度的目的与减小流体和微型热交换器之间热阻的目的之间的平衡。通常可反复地实现最优化。

结构单元：热量分布。除了由于压力和通道几何形状的影响所引起的问题以外，如果装置所产生的热量没有均匀地分布的话，还存在复杂性问题。例如，微处理器显示“热点”，在那里能量消散是集成的。图46示出了在芯片的压降和温度场上空间变化加热的具体示例的效果。作为该示例，通道尺寸为 $300\mu\text{m} \times 300\mu\text{m}$ ，并且通道的数量为50。水流速为 10ml/min 。

对于情况1，25%的总能量被施加在通道的上游半部，而对于情况2，75%集中在上游半部。由于低速液相区域中的小对流热传递系数，导致在每种情况中最高壁温度出现在入口附近。对于左右方向的流动，正当流体接近于芯片右半部上的热点时，增加的流体速率（由于一些流体转化为蒸汽所致）导致增加的热传递效率。对于右左方向的流动，入口处的较低热传递系数导致入口处增加的装置温度，以及更加不均匀的温度分布。另外，情况（1）具有比情况（2）更低的压降、更低的平均芯片温度以及更均匀的温度场。情况（1）的引人注意的结果是最高的温度不在更高的热通量区域处而是靠近于入口处，这是两相微通道散热器的一个强有力优点。因此，相对于装置的热点控制单相区域和2相区域的位置是重要的，并且通过某些设计可获得增加均匀性的机会。

使用该CAD工具，通常执行涉及微通道的布置和流动方向的调节的重复性行为，以使得所述设计重复性地接近于最佳布置。从以上描述中可以明白的是，微通道的形状和直径以及微通道中的流动方向在装置中的温度分布上可具有戏剧性的效果。

在图47中，用与图3中相同的几何形状和流动结构检查热点位置的作用以便于以示例的方式示出热点位置在200W散热器的温度和压降方面的作用。通道尺寸为 $700\mu\text{m}(\text{W}) \times 300\mu\text{m}(\text{H})$ ，通道的数量为25。液体流速为 20ml/min 。热点为2mm长并且40%的总热量集中在该热点上。在该模

拟中,热点位置从芯片的一端逐渐移动到芯片的另一端(相对于微通道)。当热点位置位于入口区域附近时,在通道中较早地开始沸腾并且随后沿通道的压降使得热点下游的温度基本较低。而且,入口附近的液相区域具有低于两相区域的热传递系数,这在壁与流体之间产生较大的温度差。因此,当热点与沸点几乎重叠时,在该区域附近最大壁温度具有其最大值并且散热器具有高温度梯度。当热点进一步移向下游时,最大温度比平均温度更快速地降低。当热点处于入口附近时,壁温度具有沸点处和热点处的两个峰值,而第一峰值具有更高的温度。

结构单元: 翼片. 可通过增加壁的表面面积进一步改变微通道中热传递的分布。取代减小通道直径以实现该效果,而是可将辅助“翼片”引入到通道中,在没有急剧地增加给定流速的压降的情况下,实现传导到流体中的更高的热传导。这些辅助翼片增加了与流体的热接触,并且可在微通道的期望处于单相状态下的区域中显著增强热传递效果。例如,微通道入口几乎将一直显示单相流动,并且前述描述使我们明白,不希望将入口布置在热点附近,这是由于单相流动中的有限的热传递效率。然而,通过引入翼片可部分地缓和该作用,所述翼片可提高向热点附近的流体的热传导。而且,通过使用翼片可抑制与热传递系数降低相关的在出现沸腾的壁处所发生的温度增加。在图48A和图48B中示出了该效果。这些翼片具有低截面面积,因此不会明显增加流动阻力,尤其是在流体适当混合的两相状态中。

图48A和48B示出了布置于通道内侧的一组竖直翼片在芯片温度分布上的作用。该结果建议,使得微通道液相区域(即,通道入口)处的翼片降低芯片上的峰值温度,从而提高温度均匀性。使得两相状态中的翼片增加热传递率的努力几乎不具有益处,这是由于与翼片在高速流动区域中的布置相关的增加压降所导致的。

结构单元: 增强的成核现象表面. 已知在固-液接触面处发生沸腾,并且可在允许形成气泡的那些表面处存在缺陷的情况下被增强。通常这些都是空腔形状的缺陷,这是由于如果不要求产生完整球形表面的液体-蒸汽分界面膜的话易于形成气泡而导致的。非常光滑的表面显示出过热-

意味着抑制沸腾直到温度大大超过正常转化温度，这是由于与气泡形成相关的高能penalty所导致的。已知包括高密度空腔缺陷的粗糙表面通常在不过热的情况下允许沸腾。在实验中，如图49中所示的，微通道220已在其特定位置221中被故意弄粗糙，并且观察到气泡形成被布置于这些与中。因此，使用等离子蚀刻或其他粗糙法所获得的具有增加的表面面积的通道中的局部区域221可增强并稳定通道中的沸腾并且降低出现并降低热交换器性能的过热。具有增强表面面积的这些区域221可用于适应沸腾的出现，以使其出现在特定位置处并且在通道220中的特定过热水平内，并且可将其设计得用于降低热点附近的温度最大值。这允许增加特定位置处的粗糙度以使得在这些特定位置处出现气泡形成，从而提供用于控制微通道中沸腾的空间分布的方法。

CAD工具的执行过程：

在上述内容基础上，将描述CAD工具所使用的综合热设计方法学，其中将假定能量消散分布在装置上，并且调节微通道的位置、形状和密度以便于实现所述装置的更优选的热均匀性。在该工具中，各种模块将计算压降和相转化温度，并且计算从流体到微通道壁的热传递系数，以及计算所形成的装置上的温度分布。所述工具最好使用例如以沿通道长度的特定点处的温度的标准偏差和热阻的绝对值为基准的成本函数。所述工具最优化自由参数，包括翼片布置、通道宽度和高度，以及具有增加的成核现象表面的区域的布置，以使得质量函数最大化。可在考虑不均匀施加热负荷的情况下计算质量函数，从而在考虑不均匀性的情况下提供更优选的设计。

图52示出了最佳热设计CAD工具900的操作的流程图。流程图52示出了以重复的方式执行的计算顺序和设计修正，直到获得更优选的设计。应该注意的是，在设计程序中不是所有的框图都需要采用-根据设计标准和考虑的事项可删除某些程序并加入其他程序。主要元件是计算环902、形状干扰管理器904以及总体会聚管理器906。

计算环902将装置的热量分布看作是输入信息，并从用户-输入通道几何形状开始，如910所示的。计算环902确定在没有热量输入的情况下

通过装置的流动型式，计算沿通道的压力和每个位置处的热传递系数，如步骤912所示的。然后将热量输入加到模拟中，并且使用整个系统的热传递系数的起始值执行温度分布的计算，如步骤914所示的。然后，使用温度分布计算由于粘性中的热诱导变化导致的压力分布中的变化，以及液体-蒸汽相转化的起始位置，以及在流动感应压降上具有影响的其他现象，如重复的步骤912所示的。然后使用该提高的压力分布重算热传递系数、相转化位置（由于转化温度是压力的函数）以及系统的总温度分布。该环在温度和压力计算之间重复，直到完全解稳定。该计算环的输出是用于给定热分布和微通道几何形状的压力和温度分布的最终预测。

形状干扰管理器904计算与所计算的热分布相关的“成本函数”，如步骤916所示的。该成本函数最好是标量参数，当系统的热均匀性最优时所述标量参数将达到最小值。形状干扰管理器还参数化微通道几何形状，如以“计算灵敏性”示出的步骤918所示的，并且在通道的尺寸和位置方面引入小干扰，如步骤90所示的，以及将新设计重新带入到计算环中。在完成了具有新几何形状的计算环之后，在步骤916重新计算成本函数，并且确定成本函数与形状干扰之间的关系。作为简单的示例，假定其中通过在系统的一个部分中增加通道宽度而修正通道几何形状的的情况。成本函数在该参数上的相关性将被视为由通道宽度的部分变化所分开的成本函数的两个数值之间的差。事实上，最好执行更高级的形状最优化运算法则——一种能够同步地确定相对于若干参数变化的成本函数的灵敏性的运算法则。形状最优化运算法则广泛用于许多应用中，并且存在可容易地适合于该应用的方法。

会聚管理器906通过设计参数中的变化监控成本函数中的改变，并且以提供“局部最优值”上的会聚的方式在形式上保证该设计是最新的，并且还在设计中进行足够大的改变以提供这样的担保，即，该设计具有成为全局最优值的高机会。当由干扰环改变的重复性设计会聚在全局最优值上时，会聚管理器对全局最优值进行测验（提供测试设计参数中大干扰的结果），并且通过记录成本函数对于干扰降低的灵敏性而监控成本函数的会聚，如步骤922所示的。在最佳设计处，所有方向中所有参数

中的轻微干扰通常导致成本函数的略微增加的数值。当会聚管理器确定所述设计已会聚在最优设计的一些界限中时，暂停所述重复，并将该最终设计表示为输出。

尽管以上已详细描述了各种优选实施例，电势本领域普通技术人员可理解的是，在没有从本质上脱离本发明的新颖技术和优点的情况下，对于示范性实施例所作出的许多修正都是可行的。

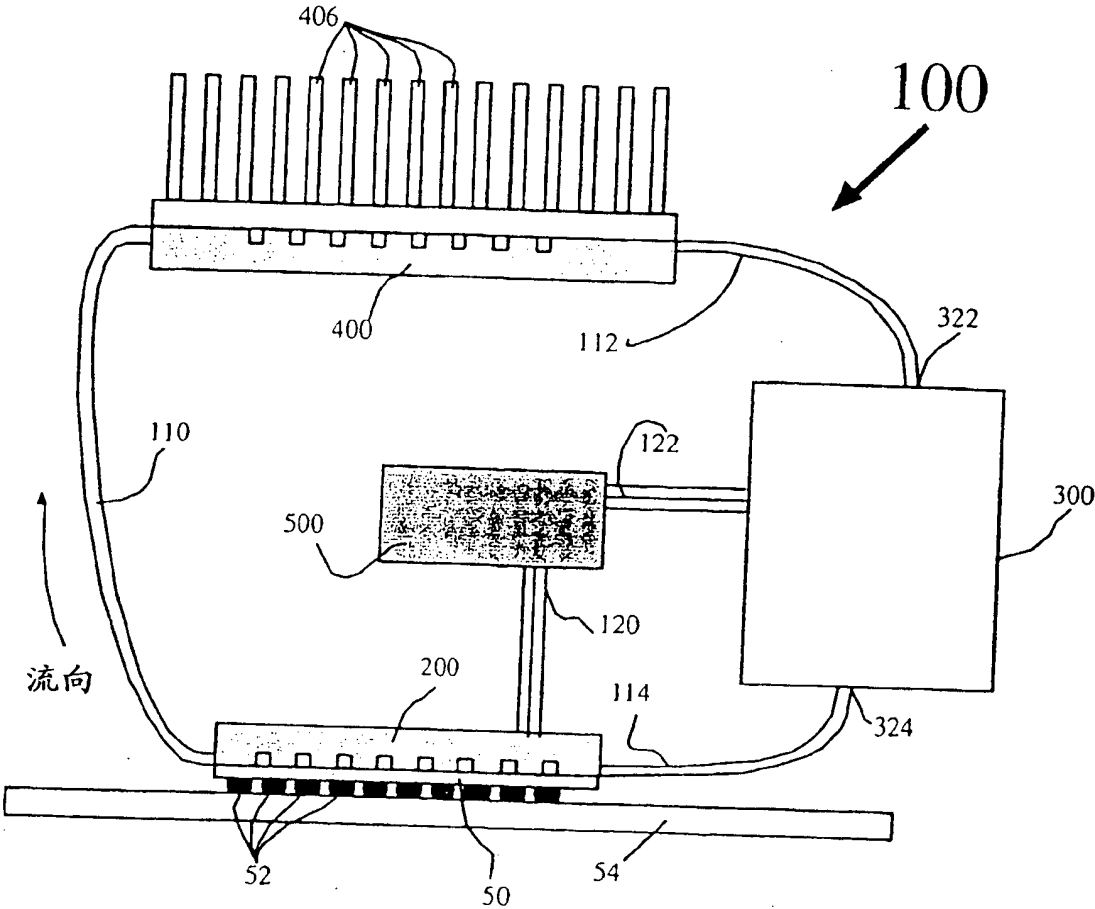


图1

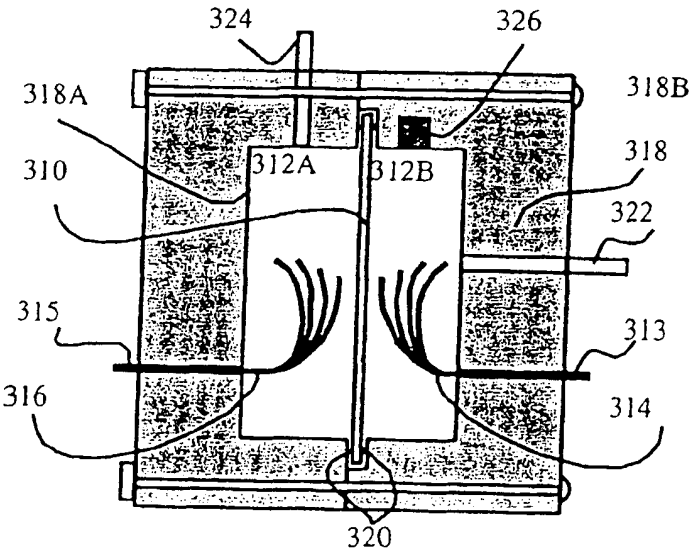


图 2

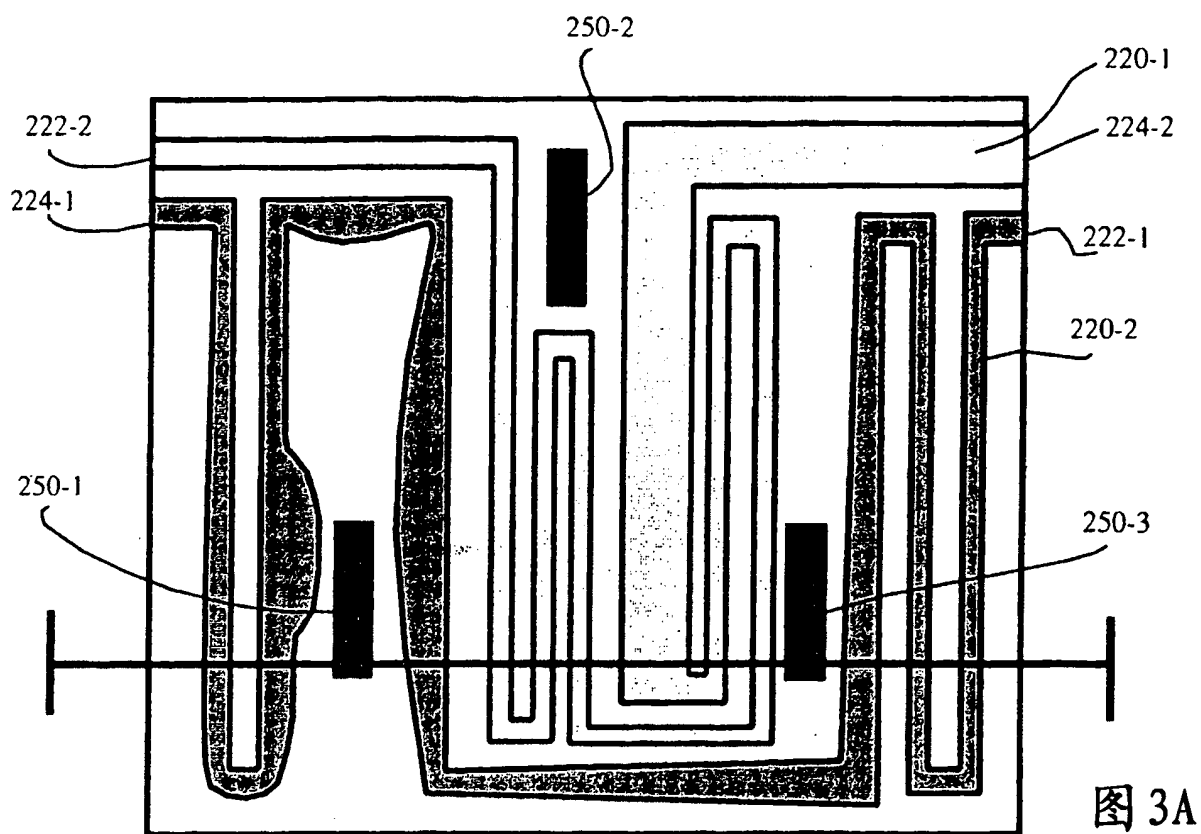


图 3A

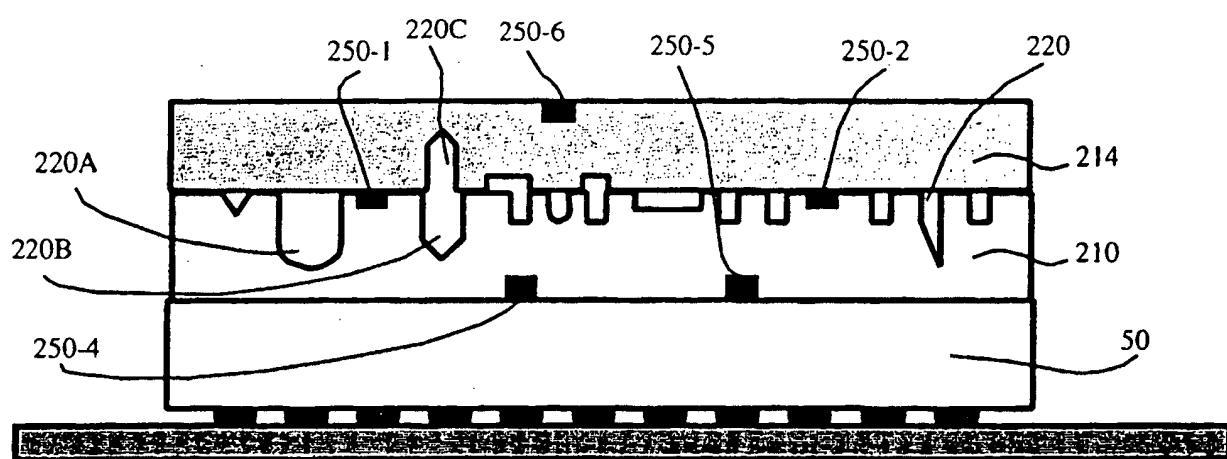


图 3B

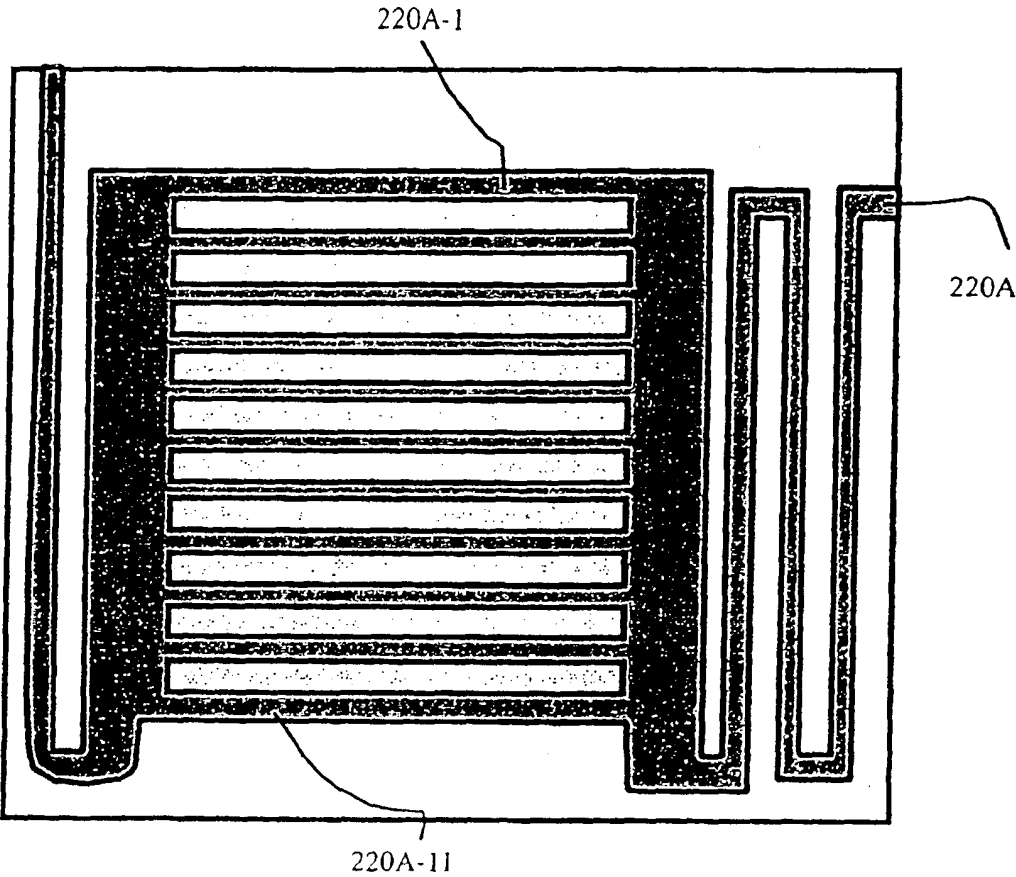


图 4

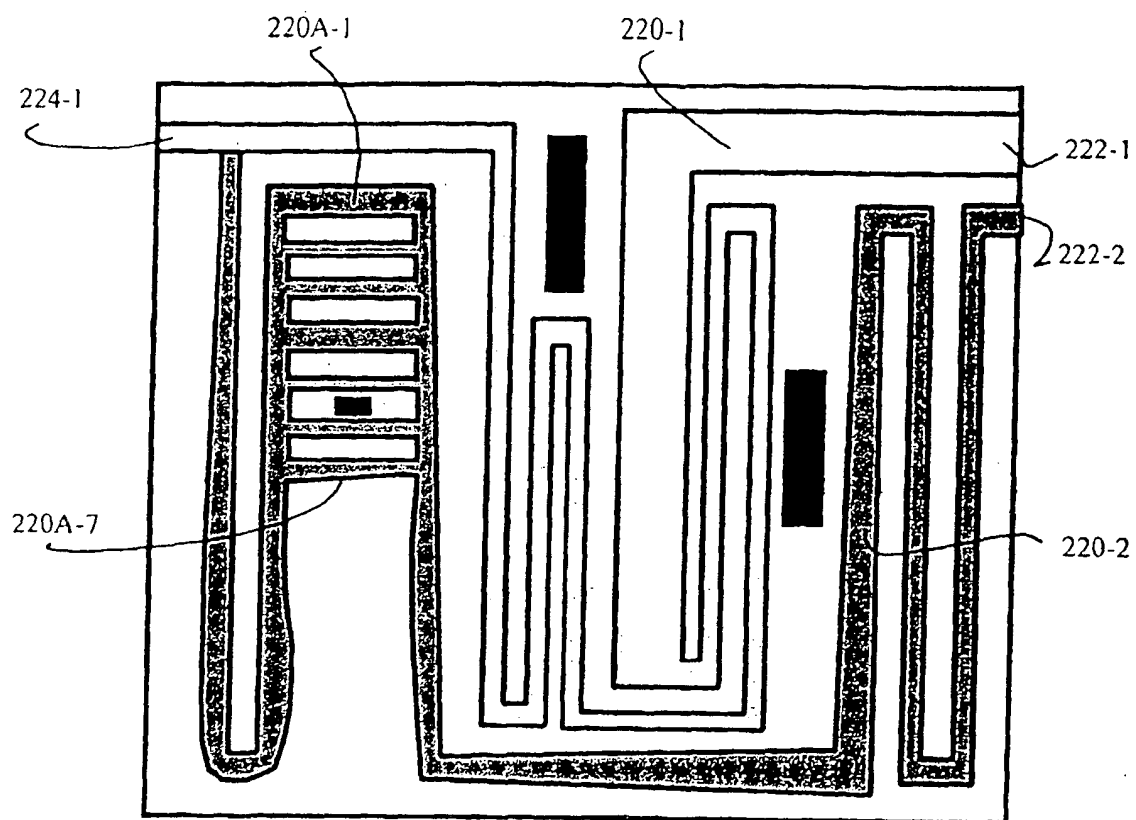


图5

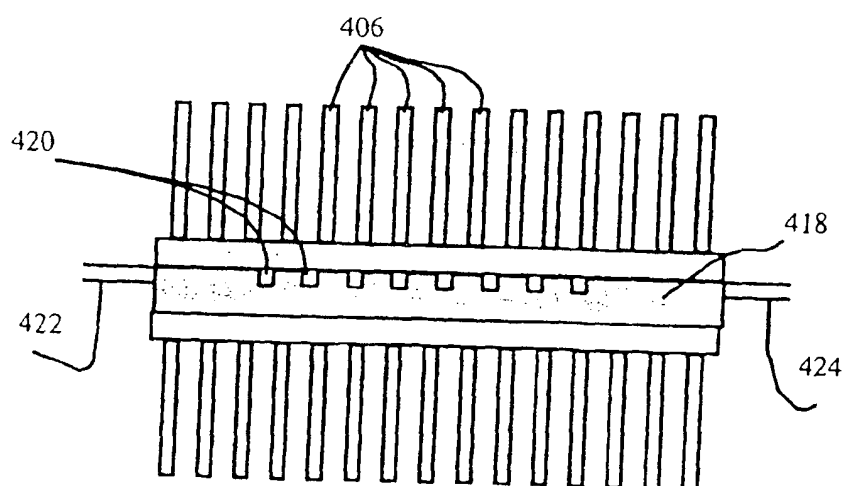


图6

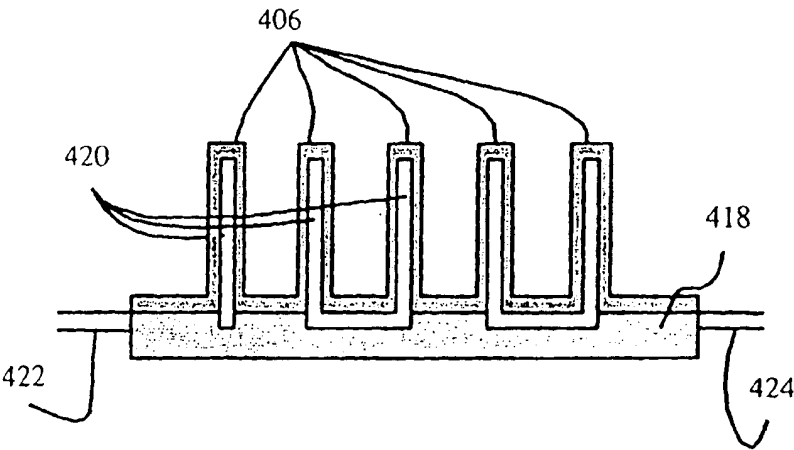


图 7

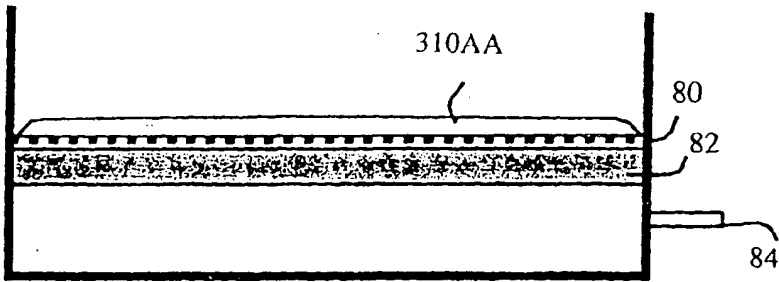


图 8

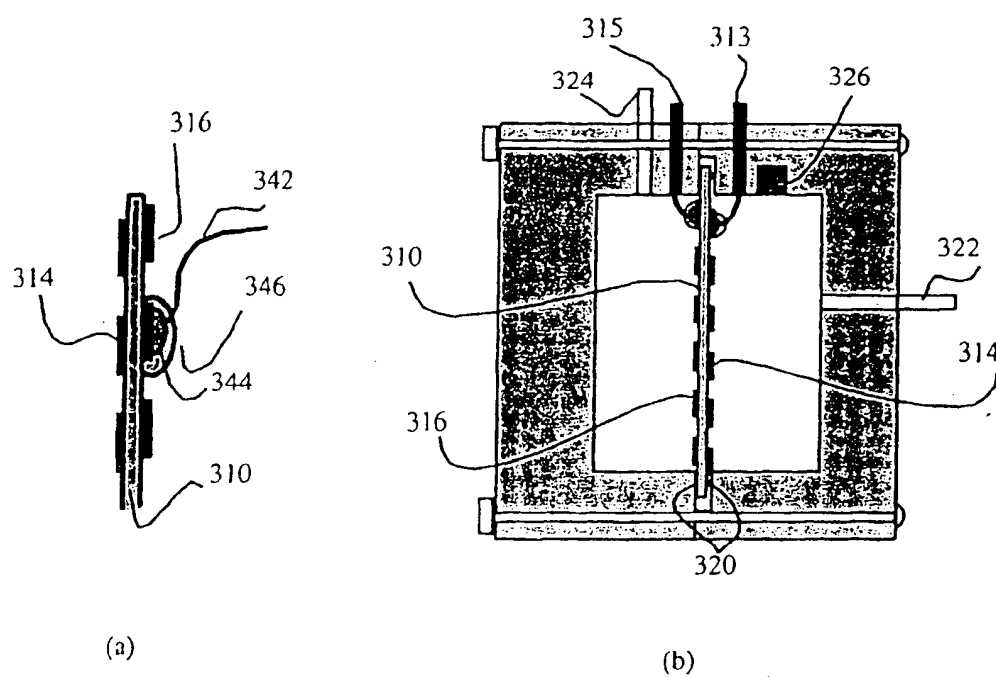


图 9

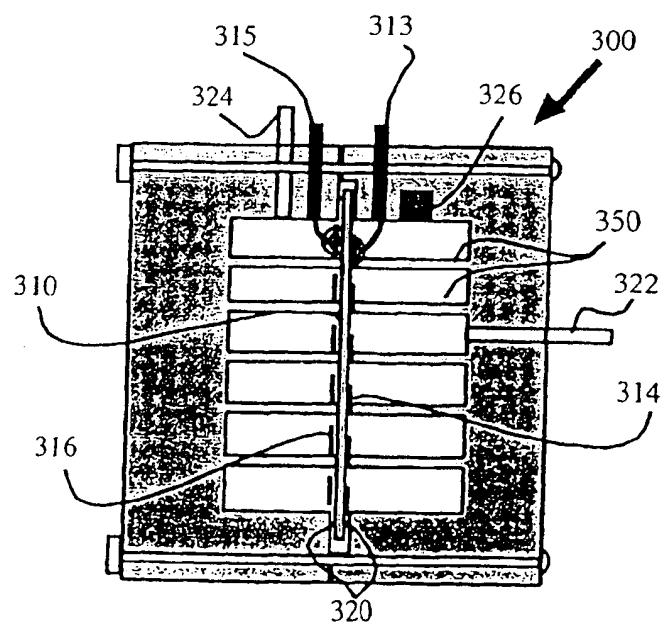


图 10

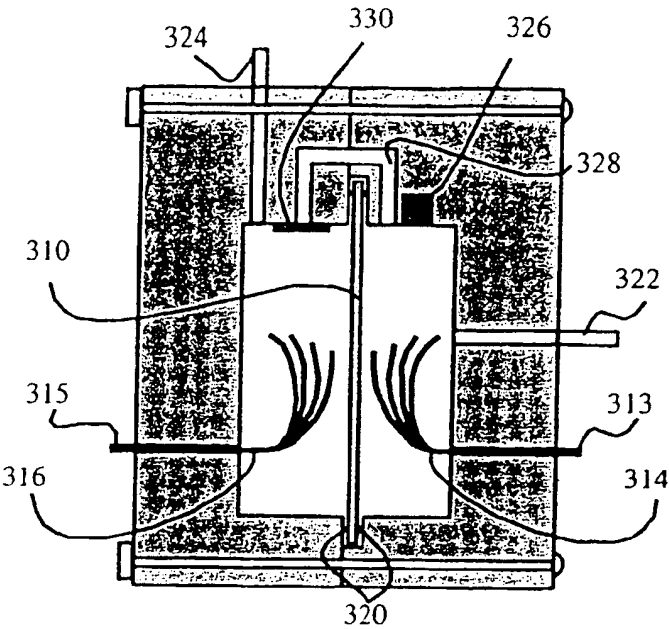


图 11

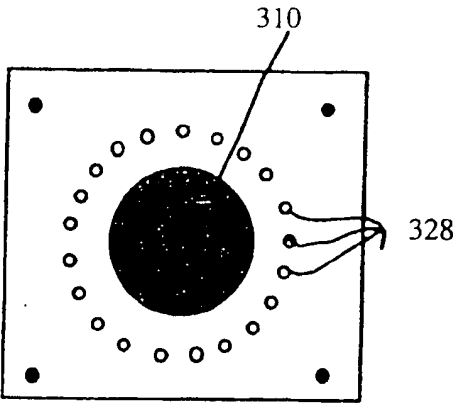


图 12

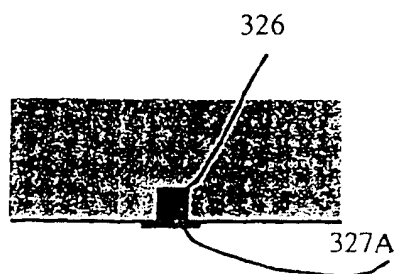


图 13

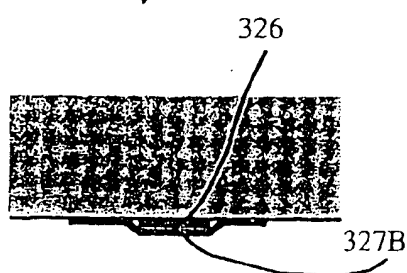


图 14

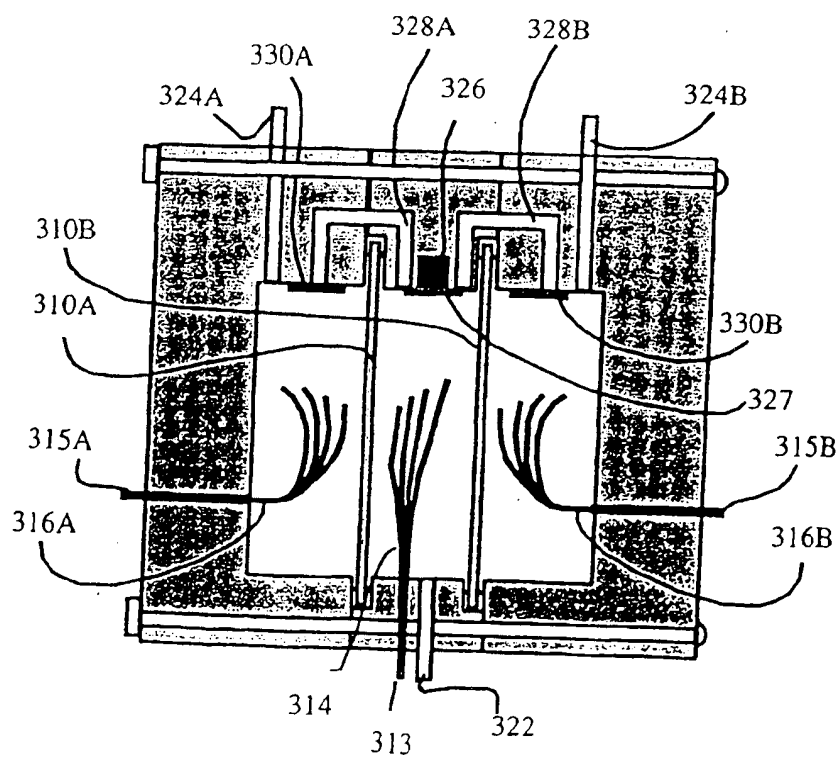


图 15

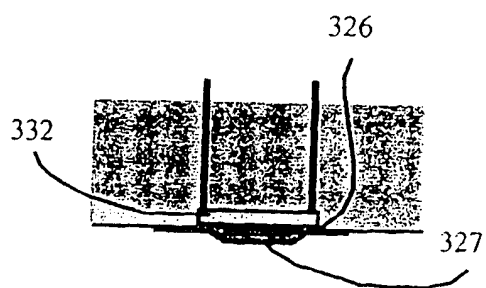


图16

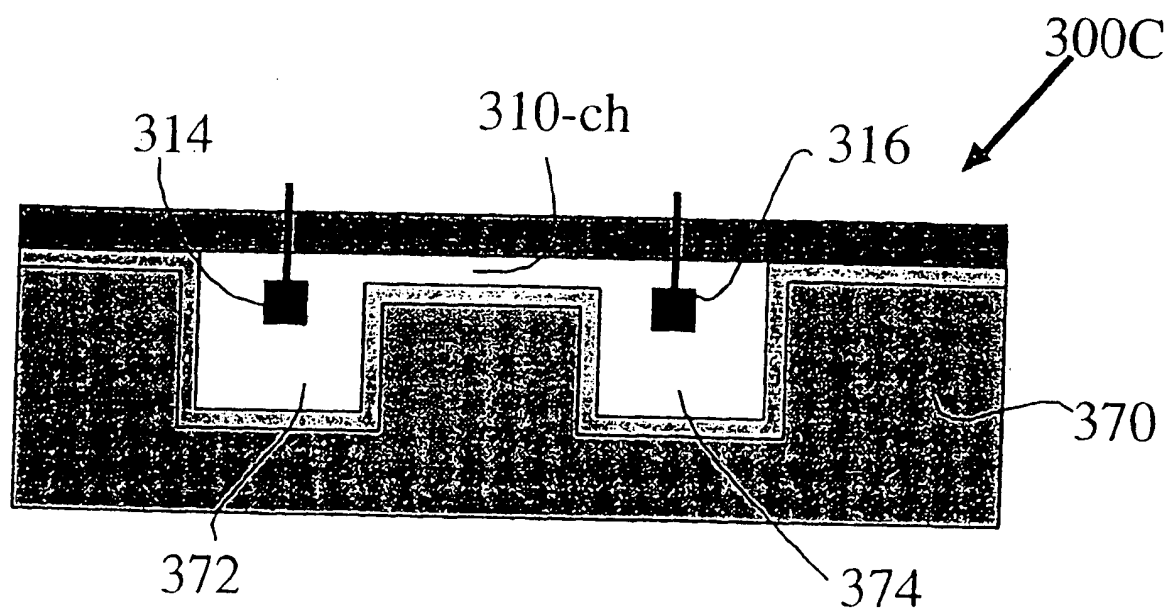


图17

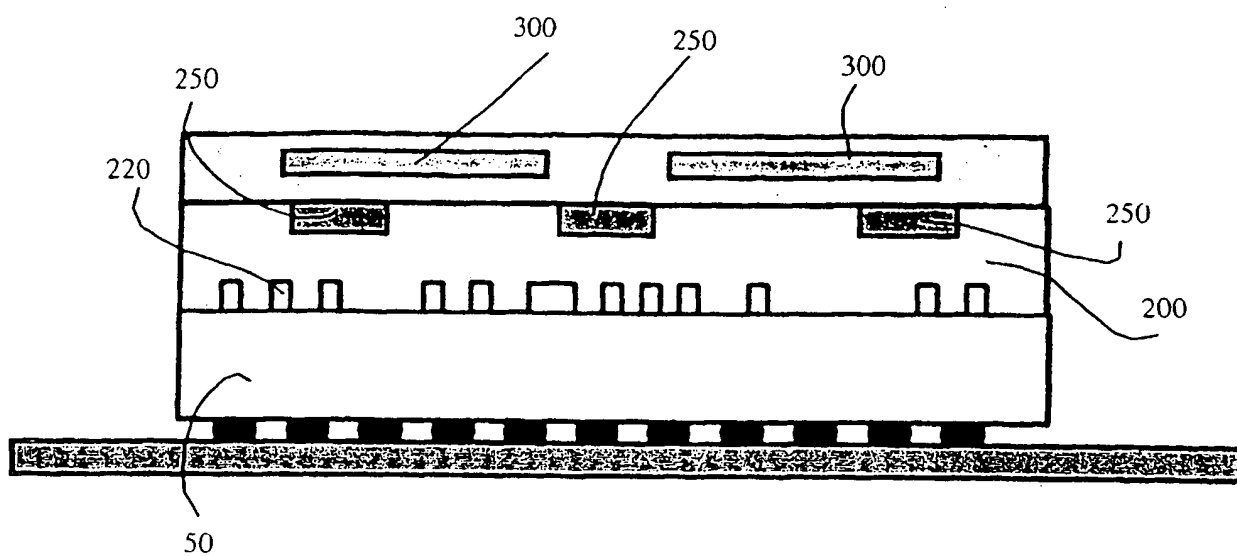


图 18

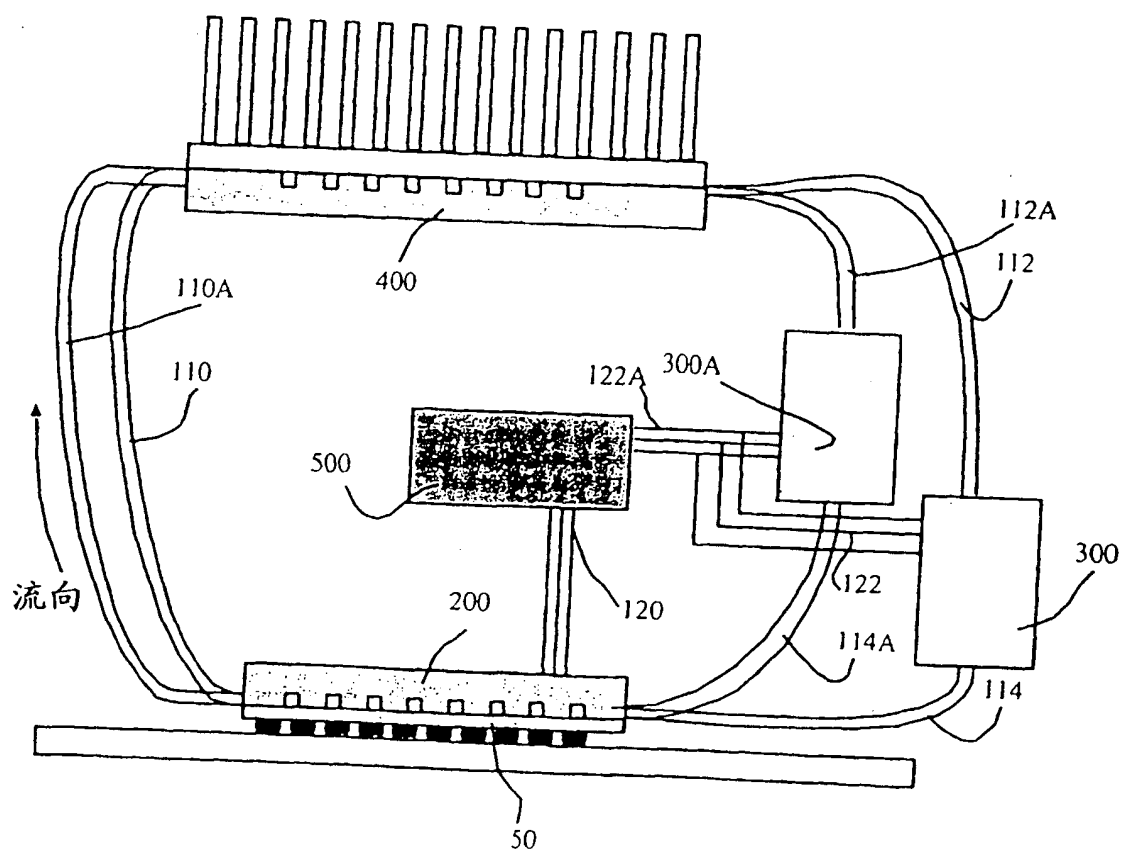


图 19

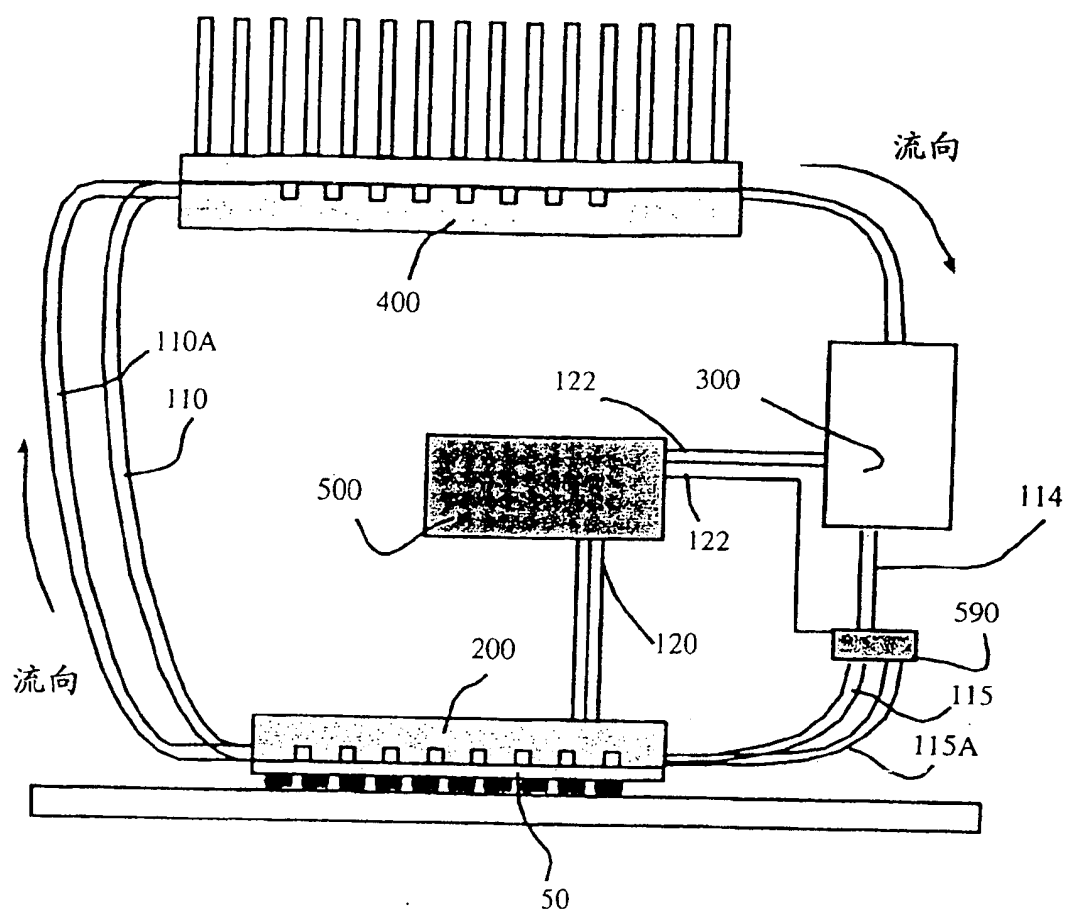


图 20

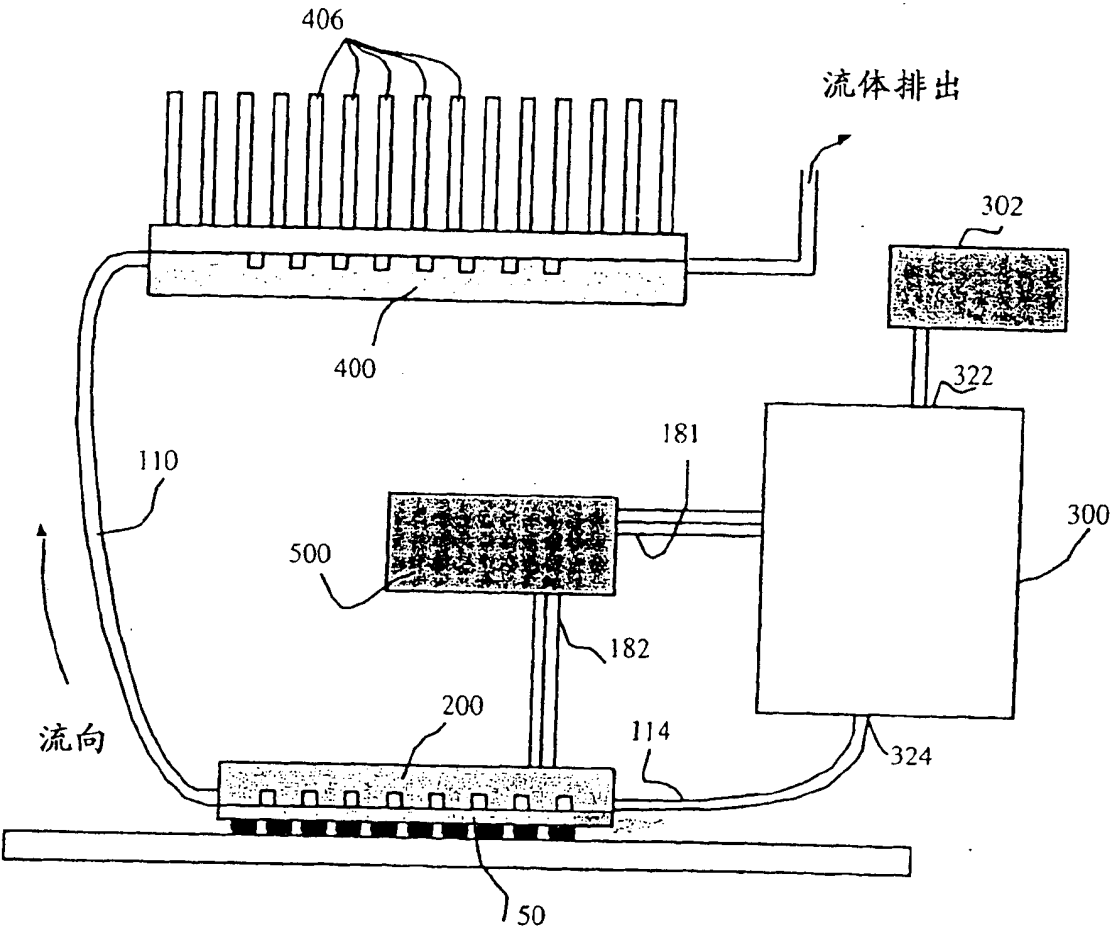


图 21

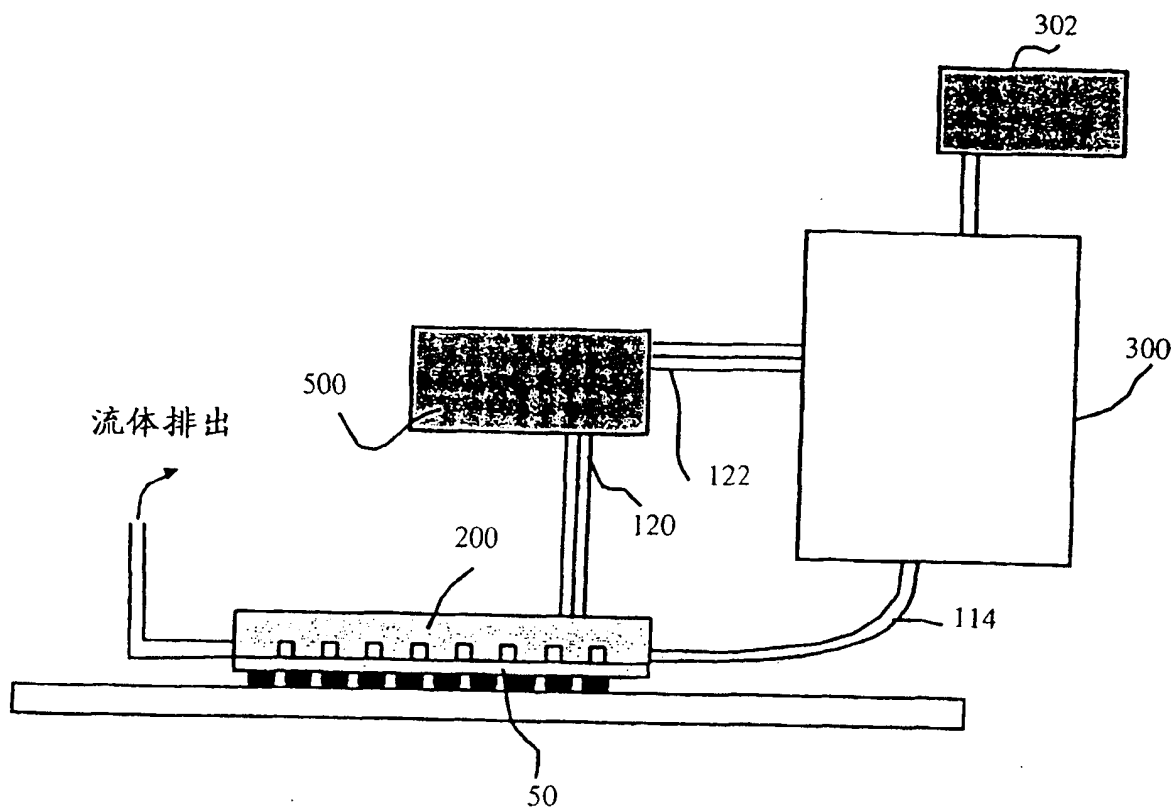


图 22

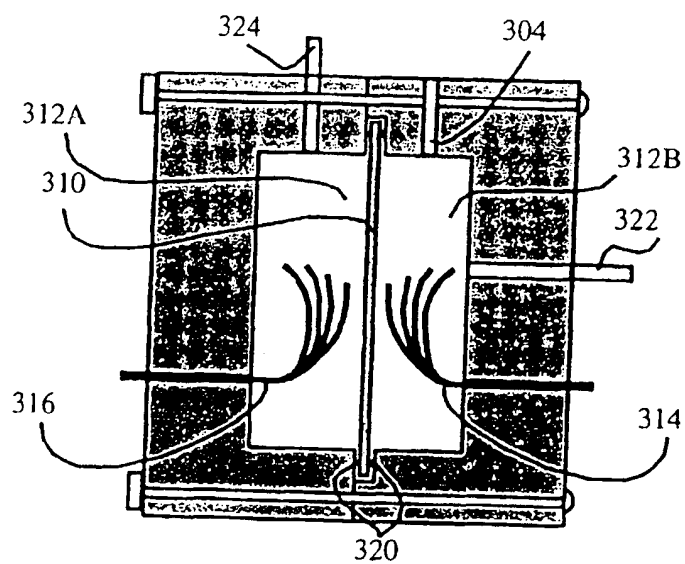


图 23

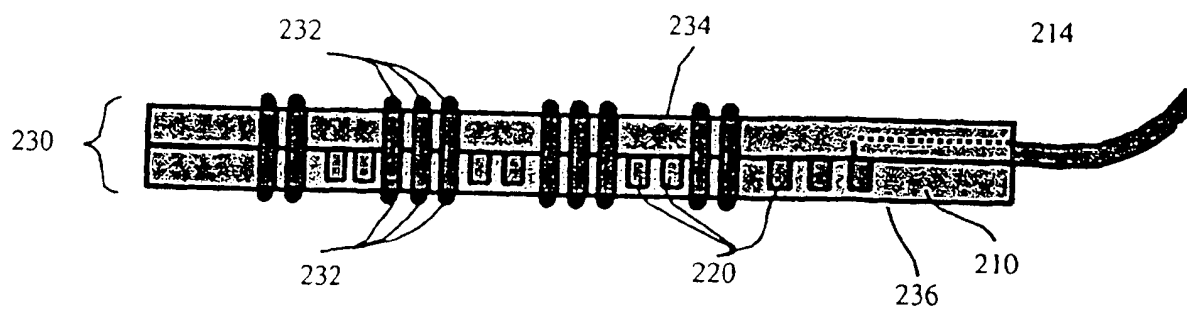


图 24

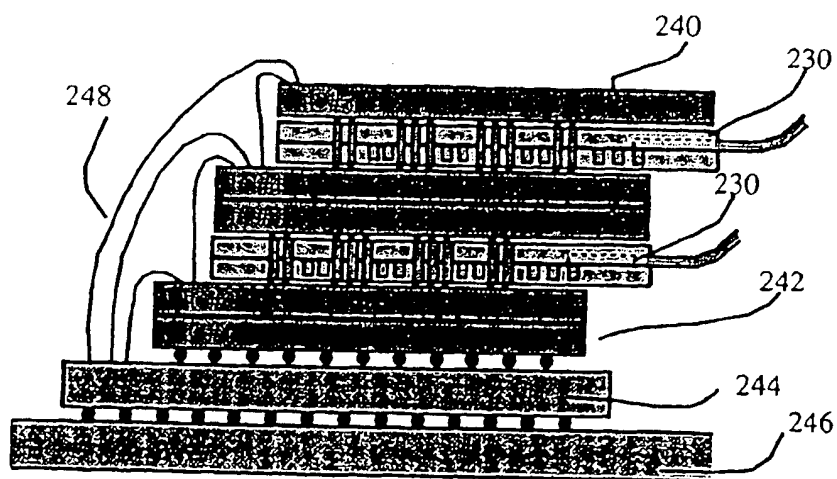
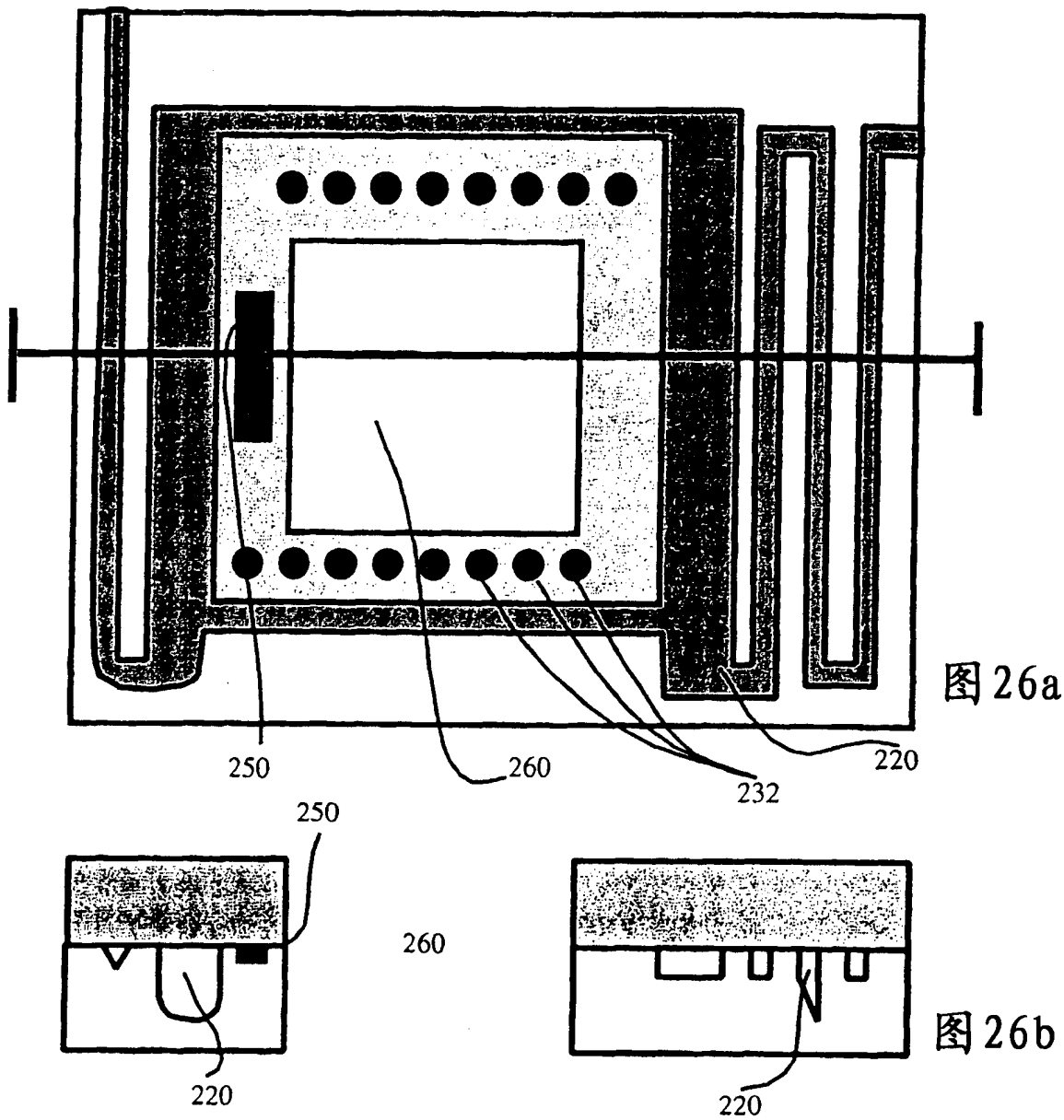


图 25



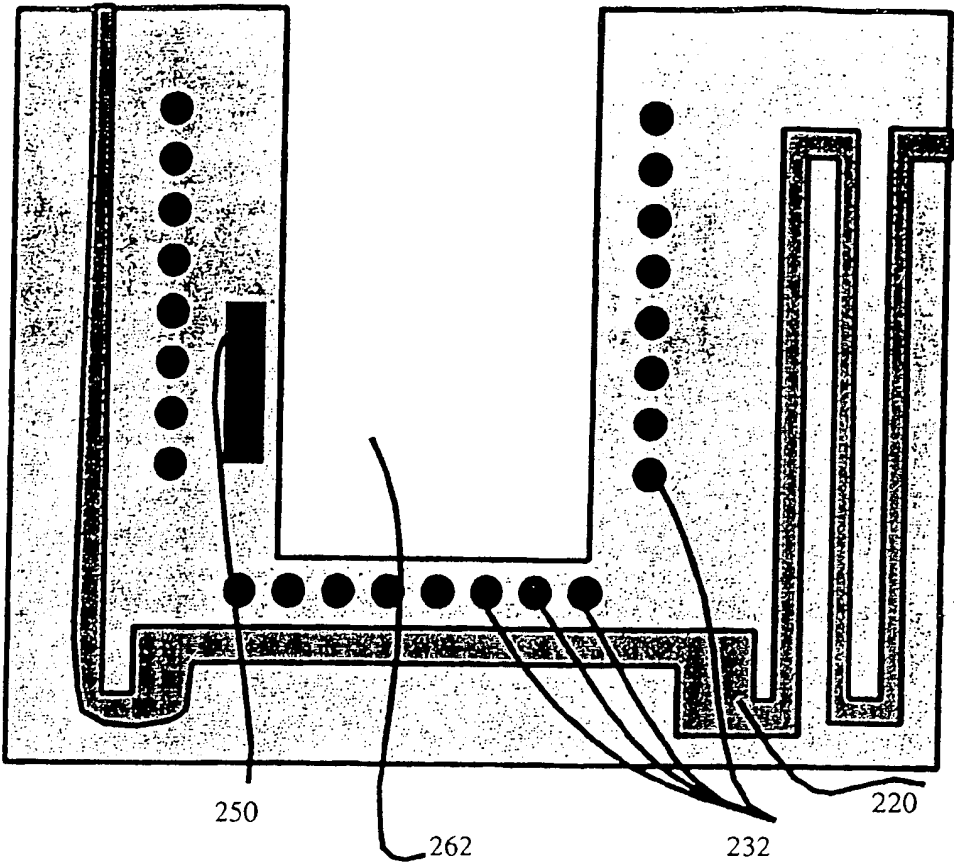


图 27

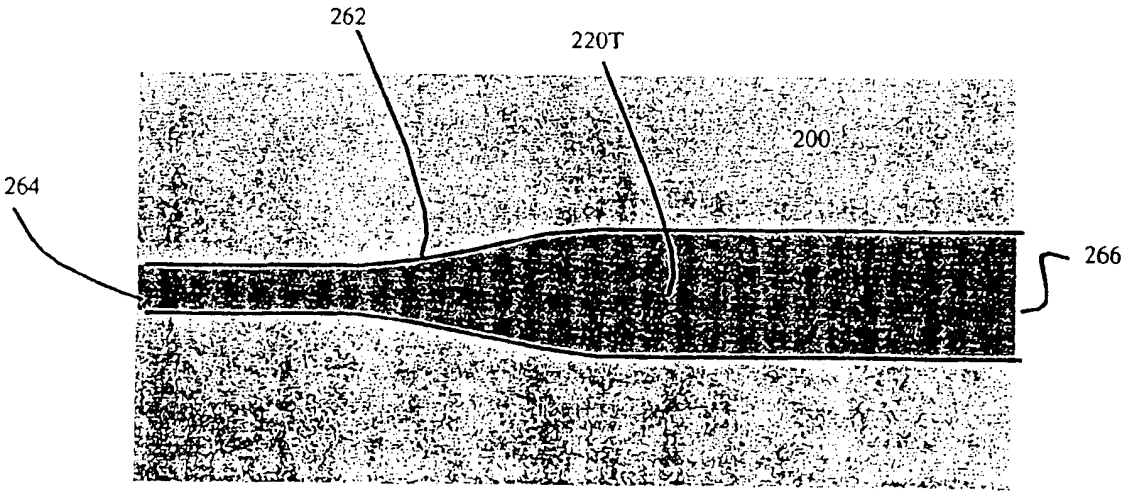


图 28

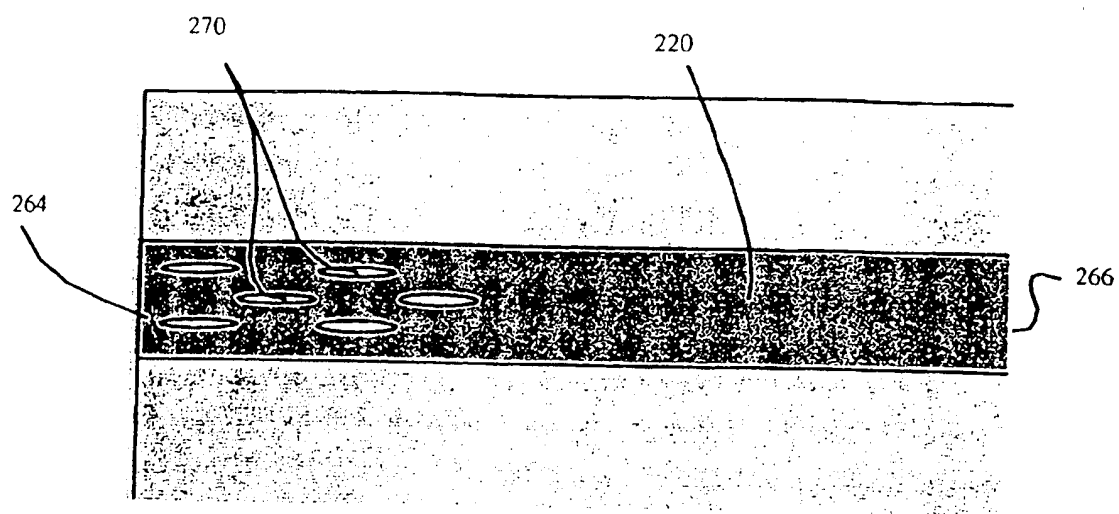


图 29

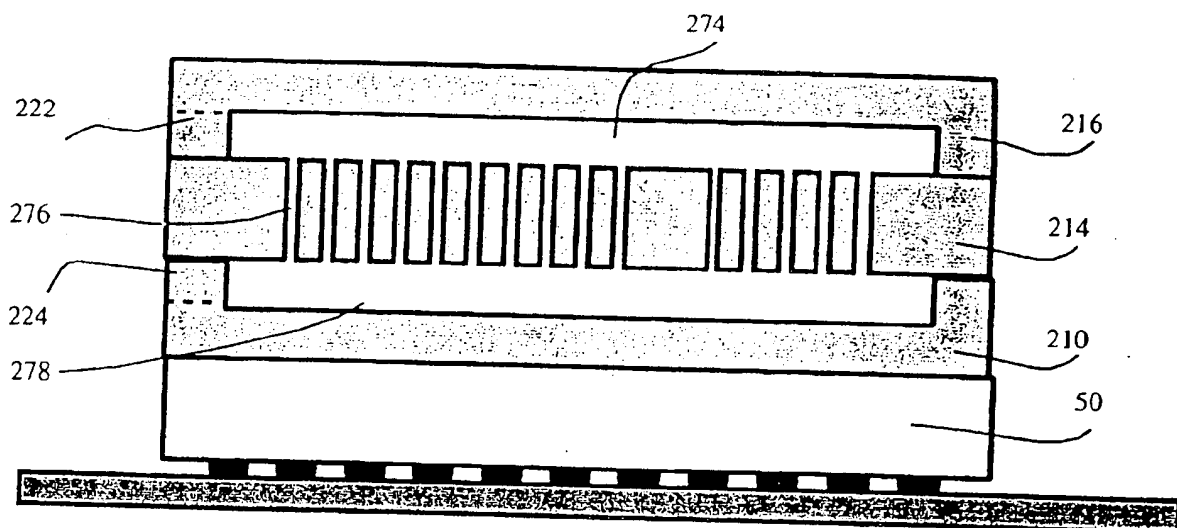


图 31

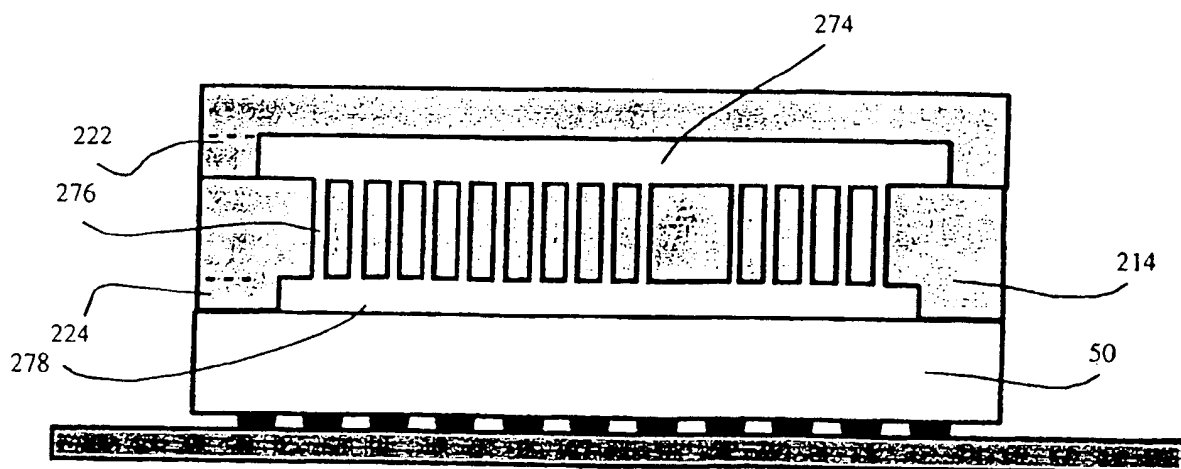
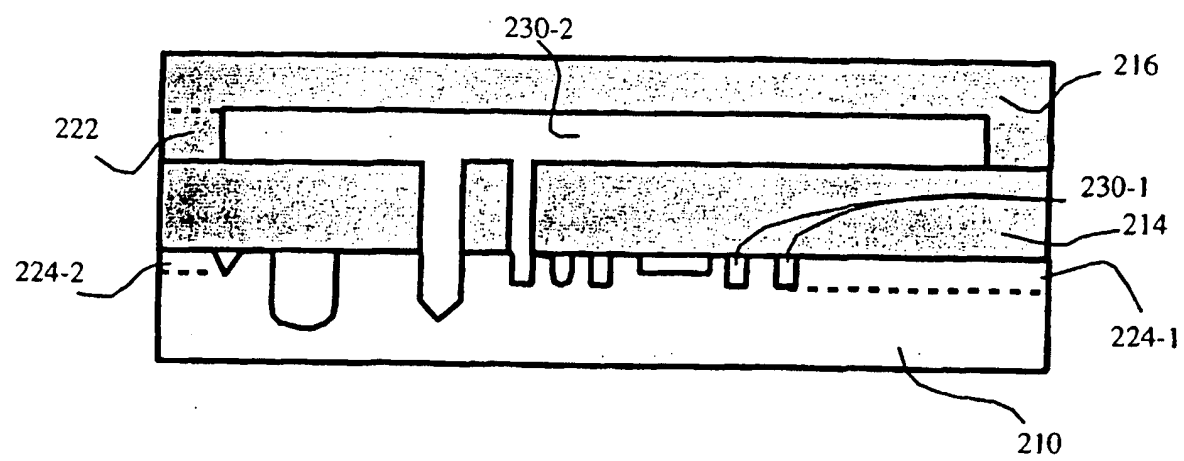
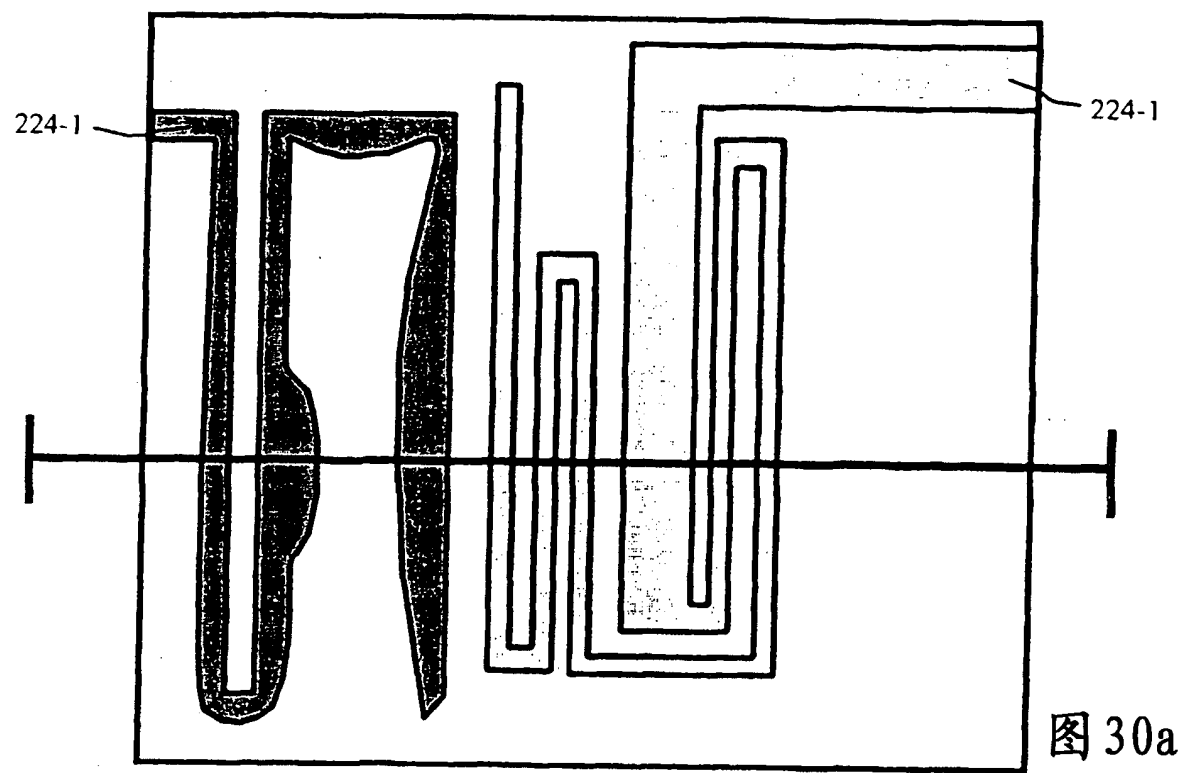


图 32



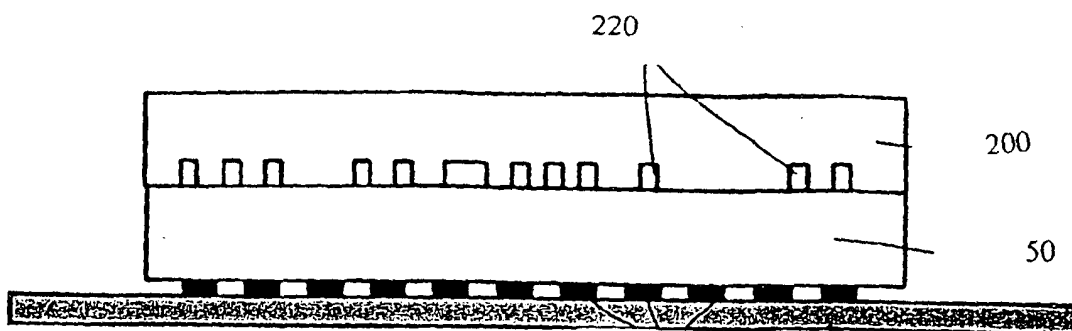


图 33

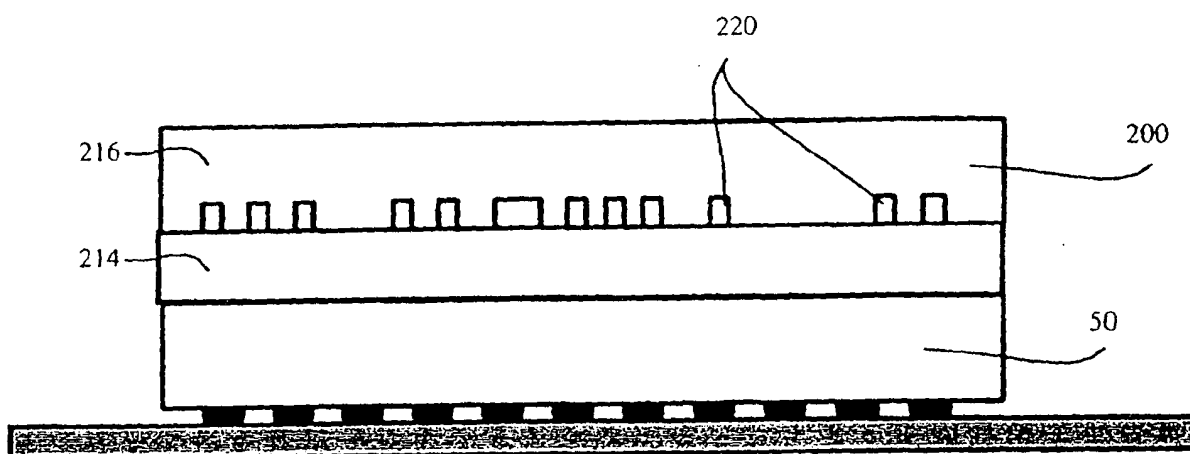


图 34

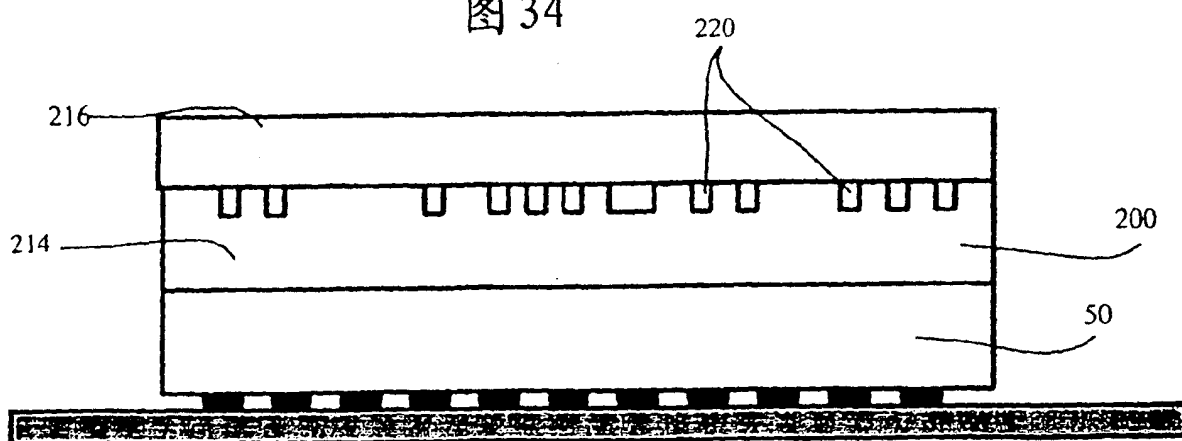


图 35

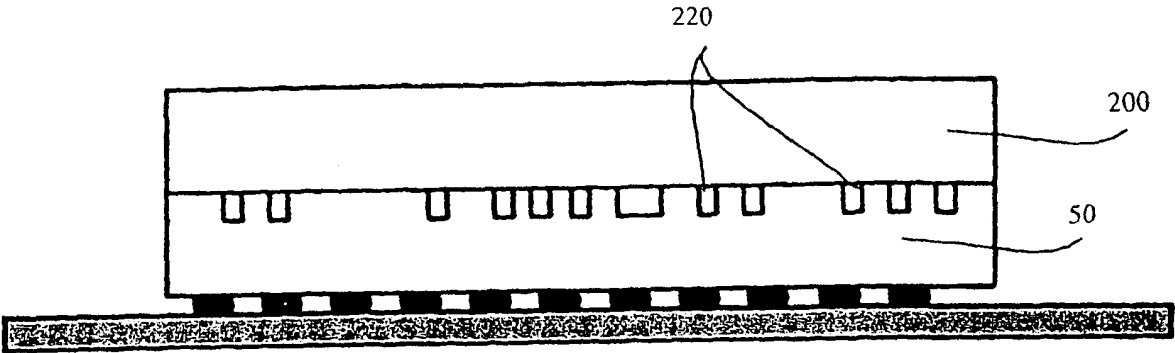


图 36

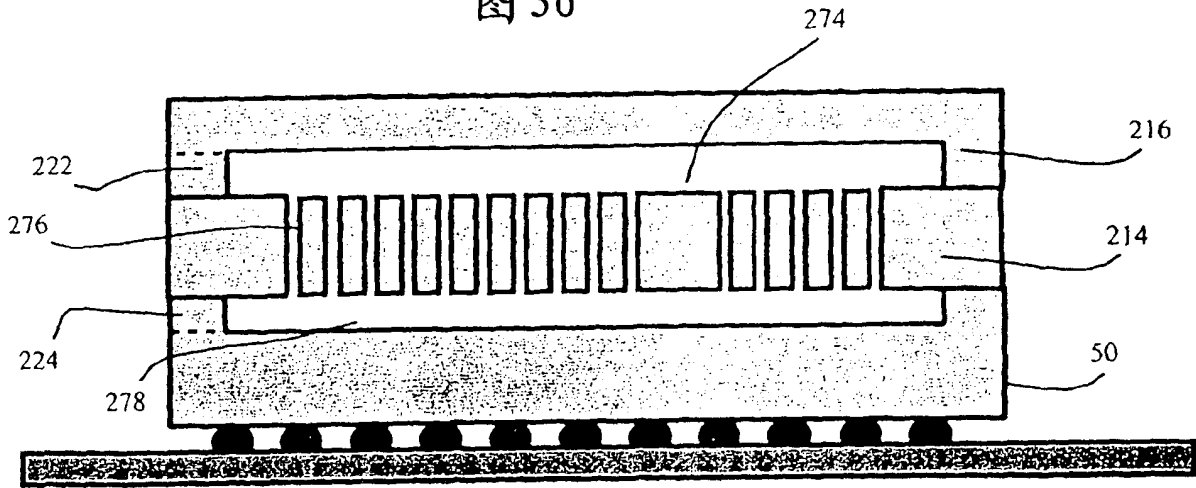


图 37

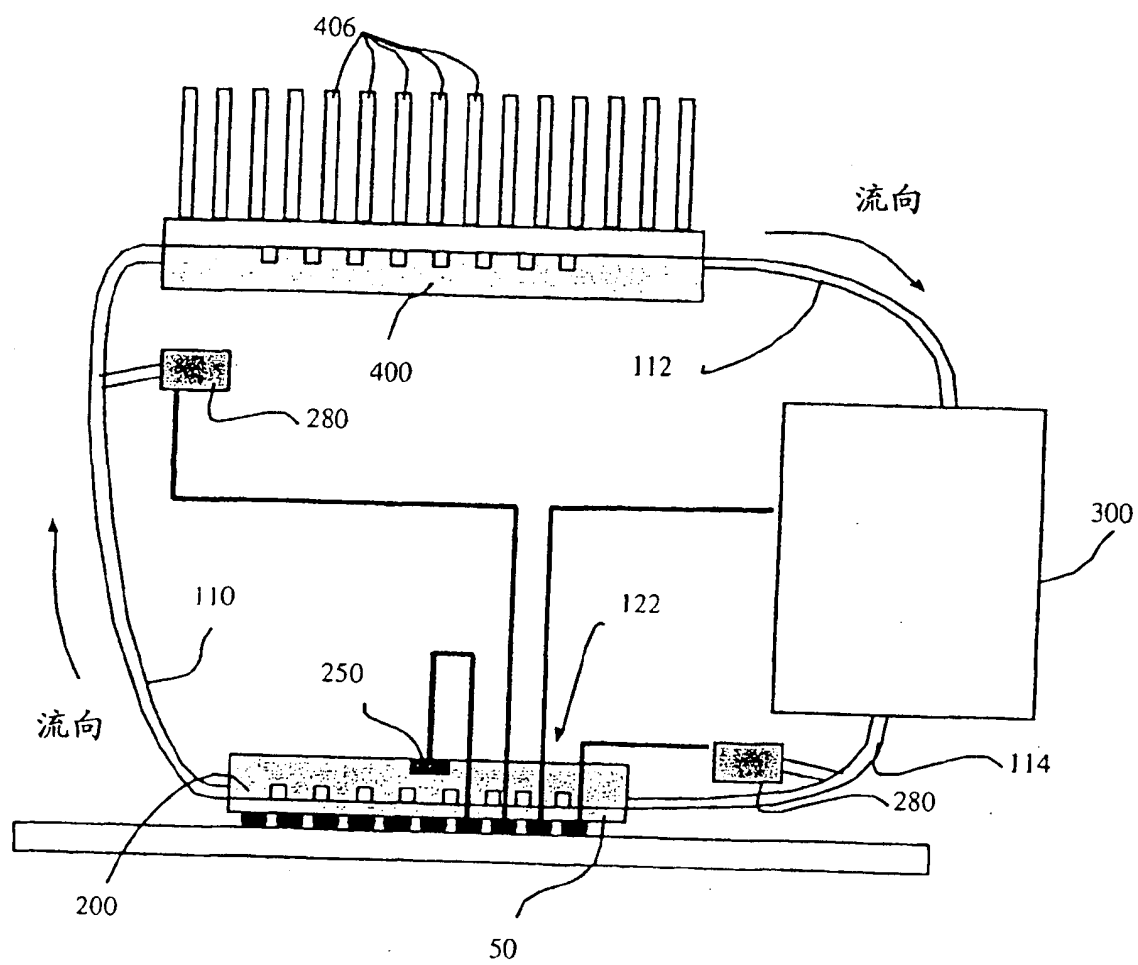


图 39

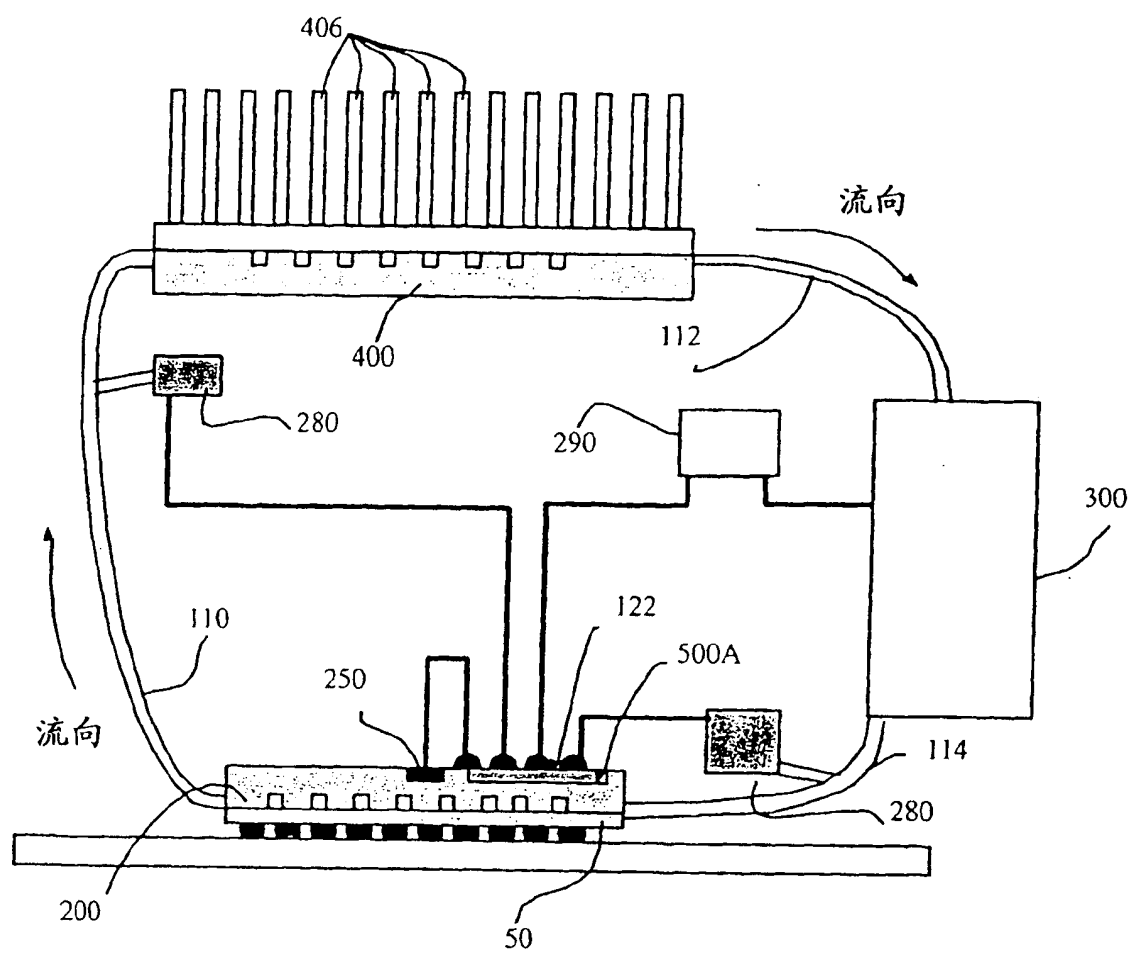


图 40

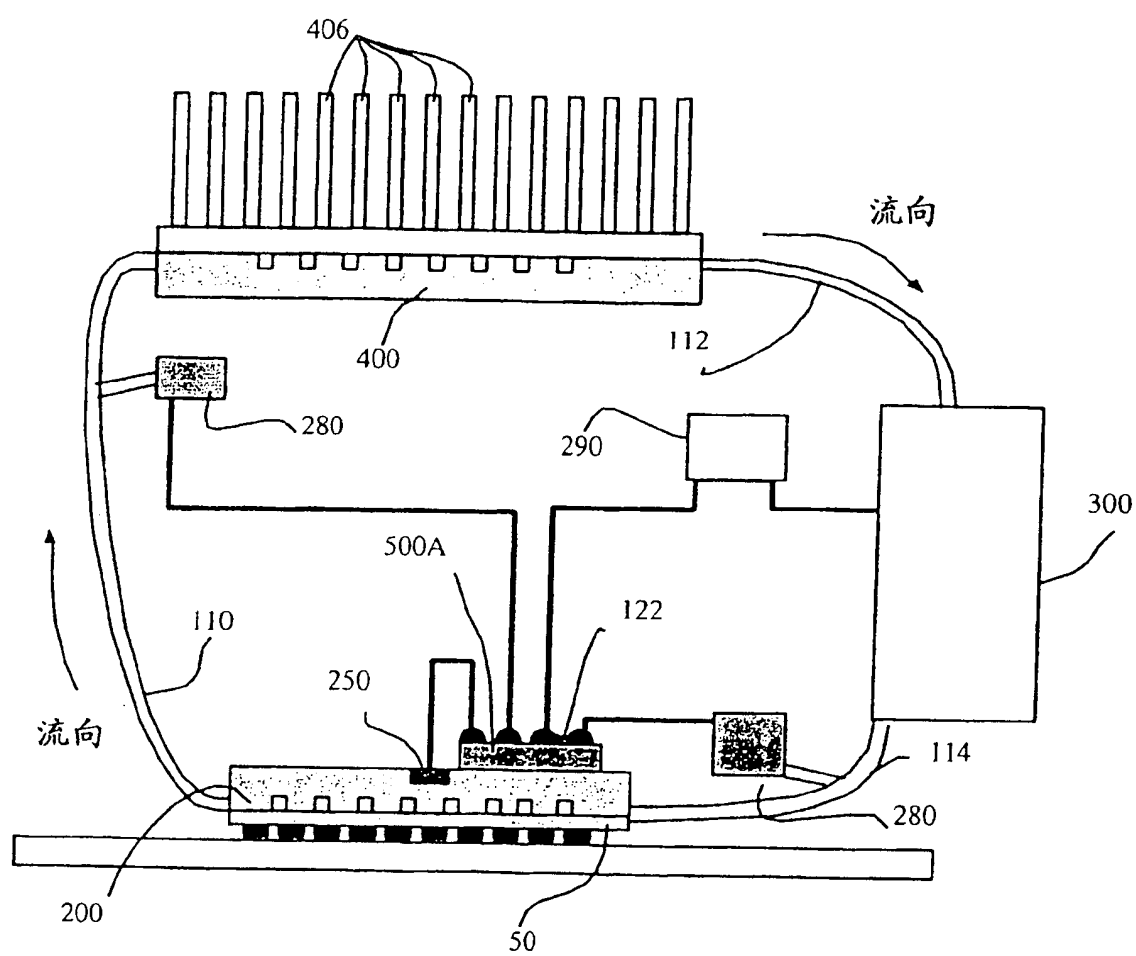


图 41

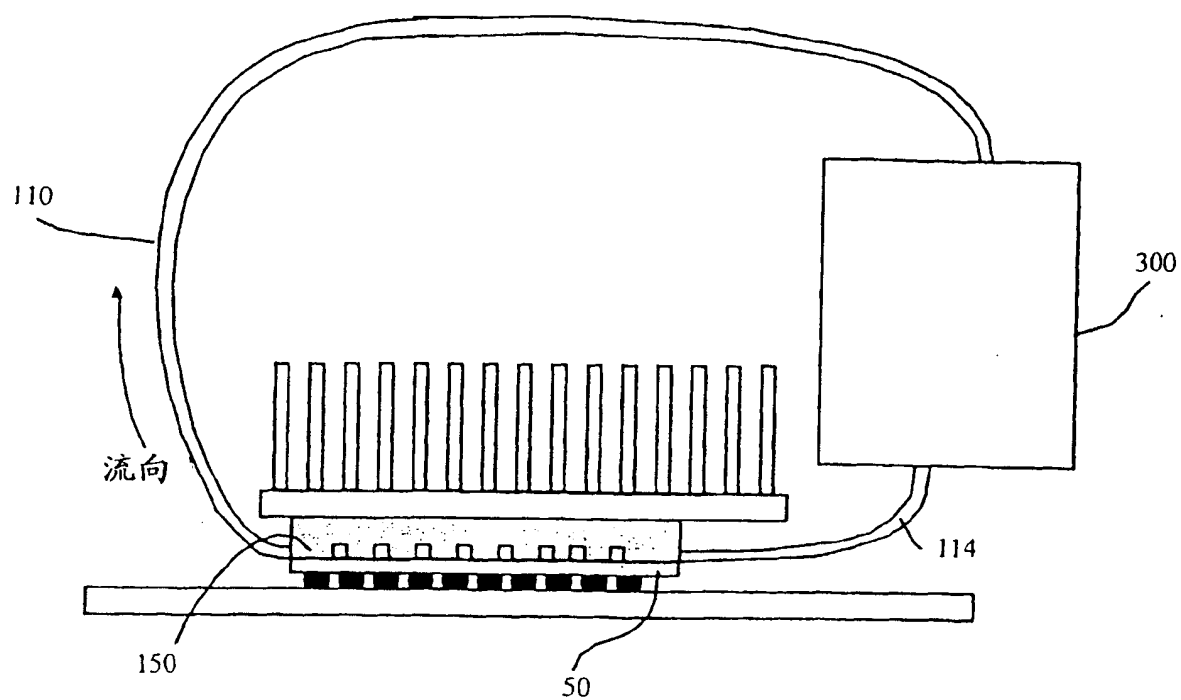


图 42

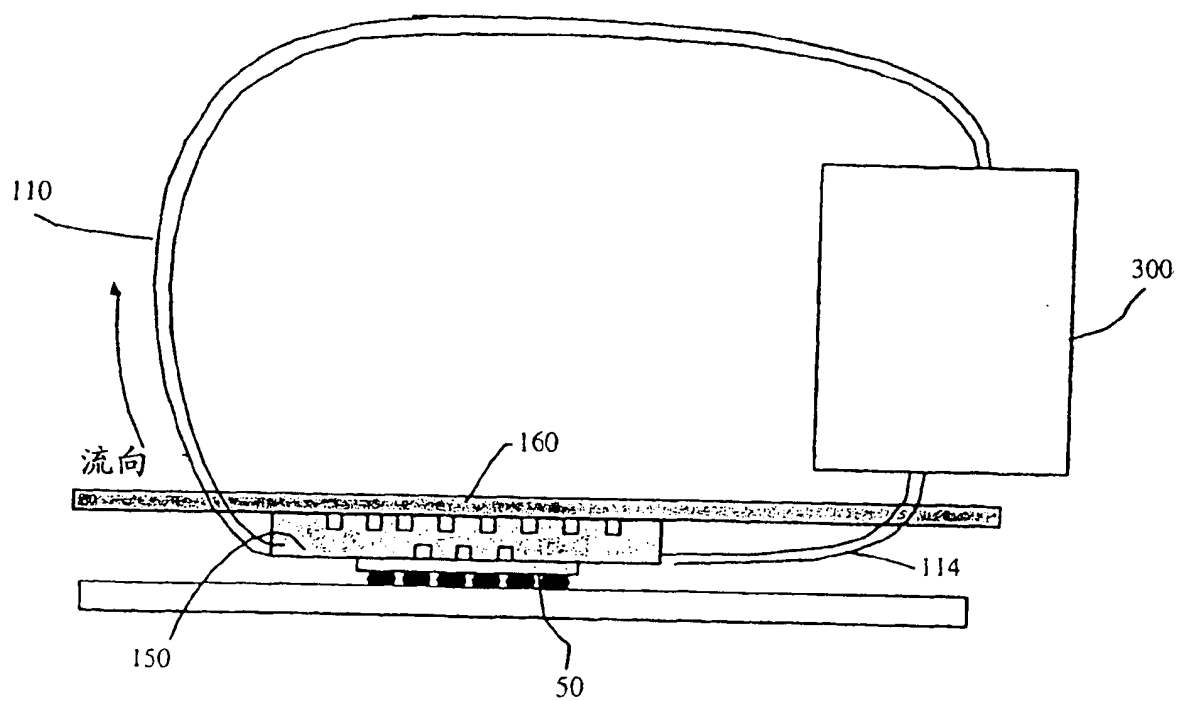


图 43

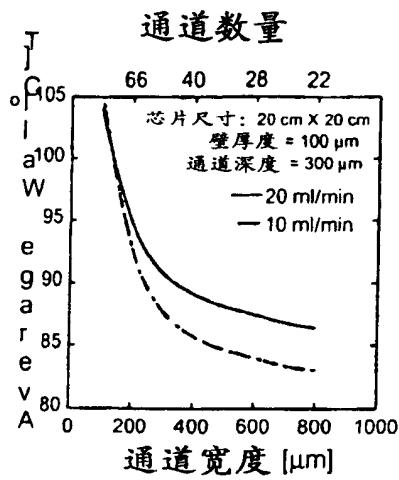


图 44a

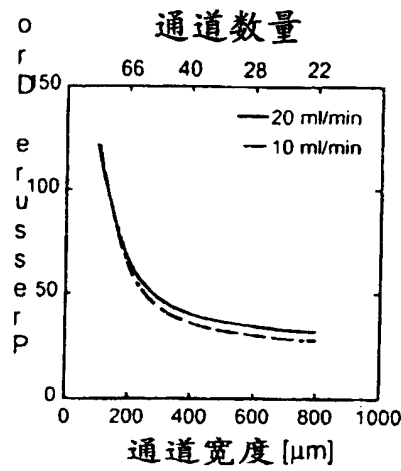


图 44b

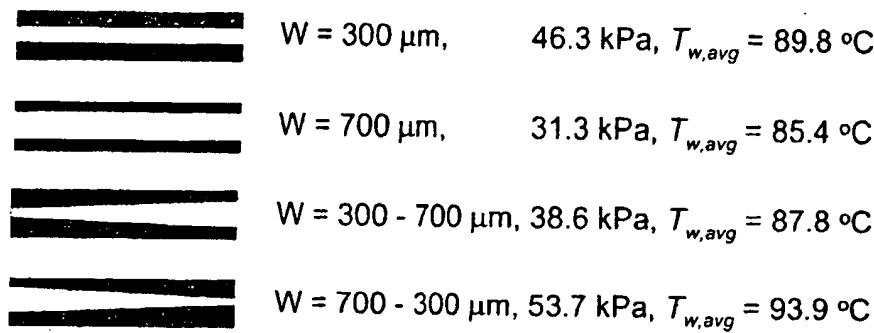


图 45

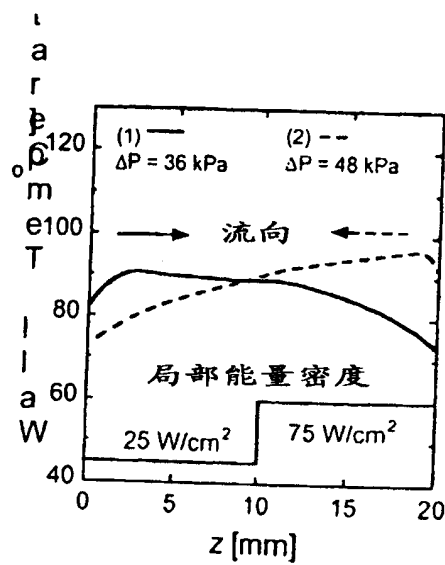


图 46

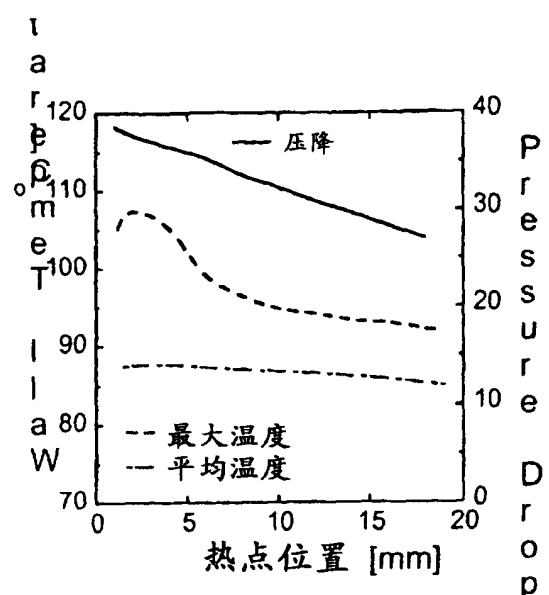


图 47

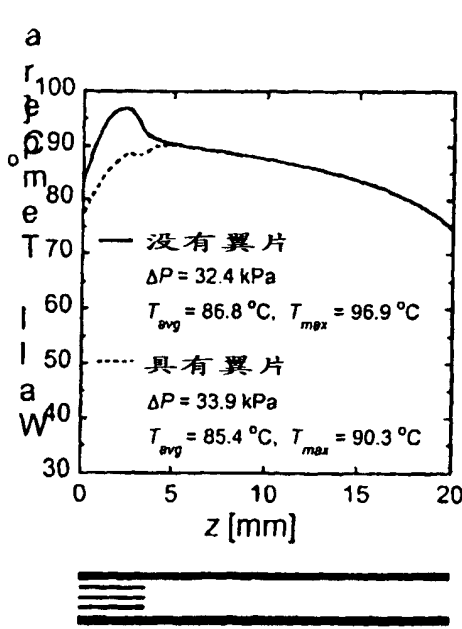


图 48a

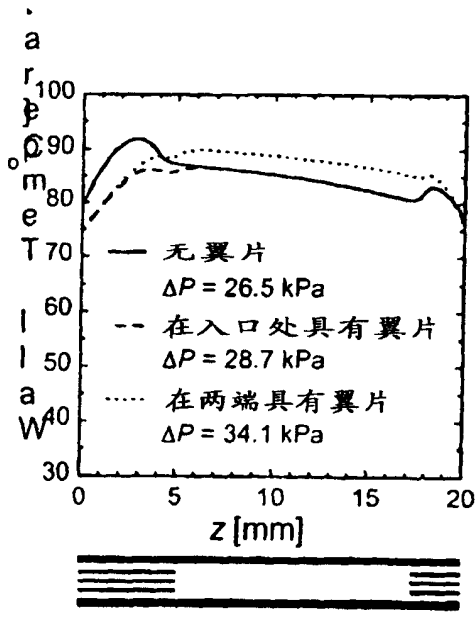


图 48b

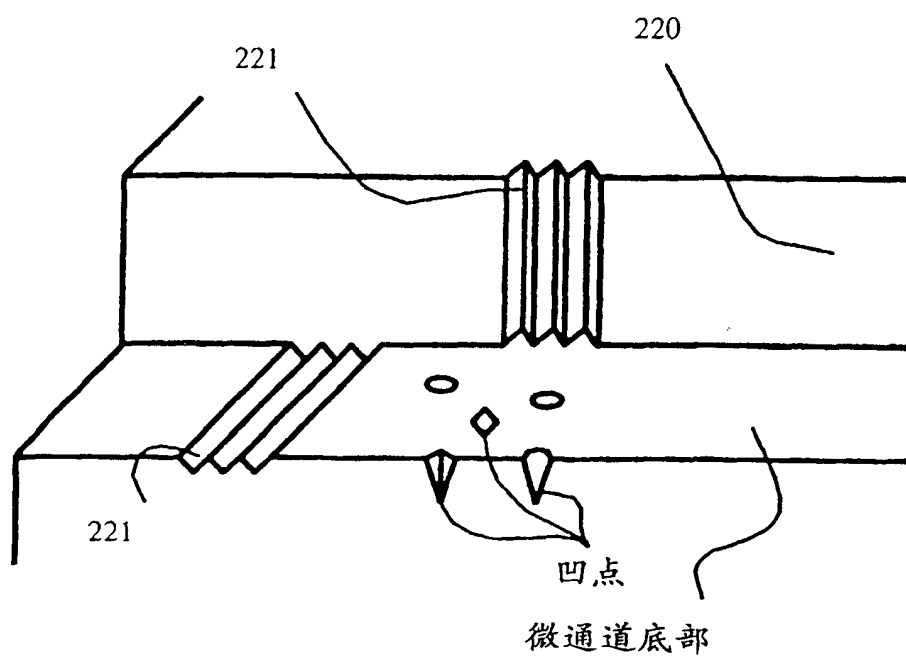


图 49

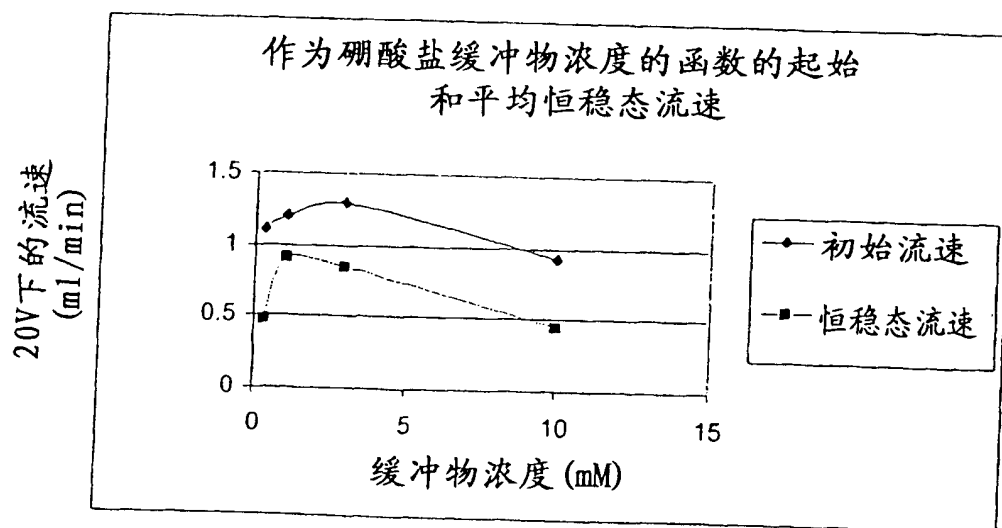


图 50

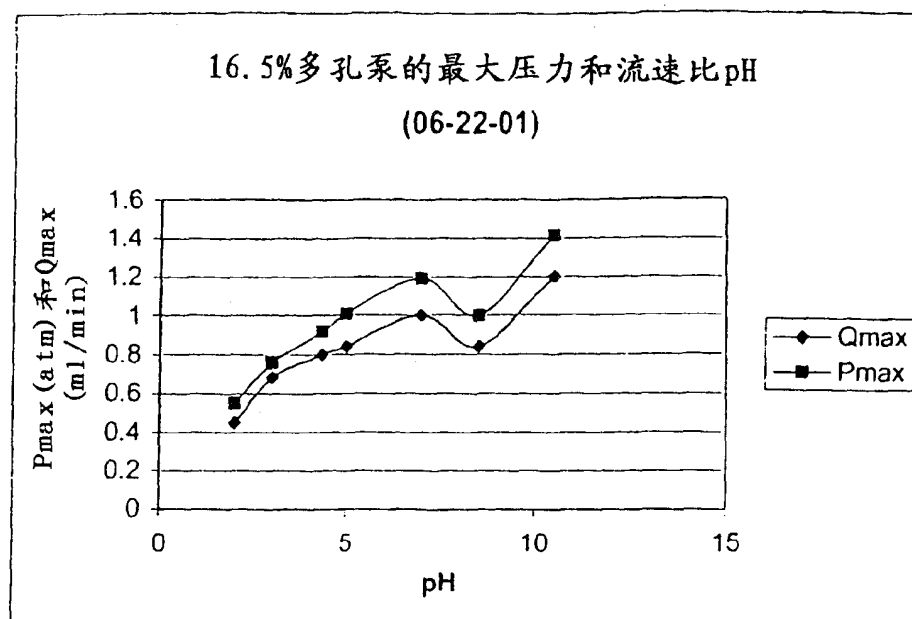


图 51

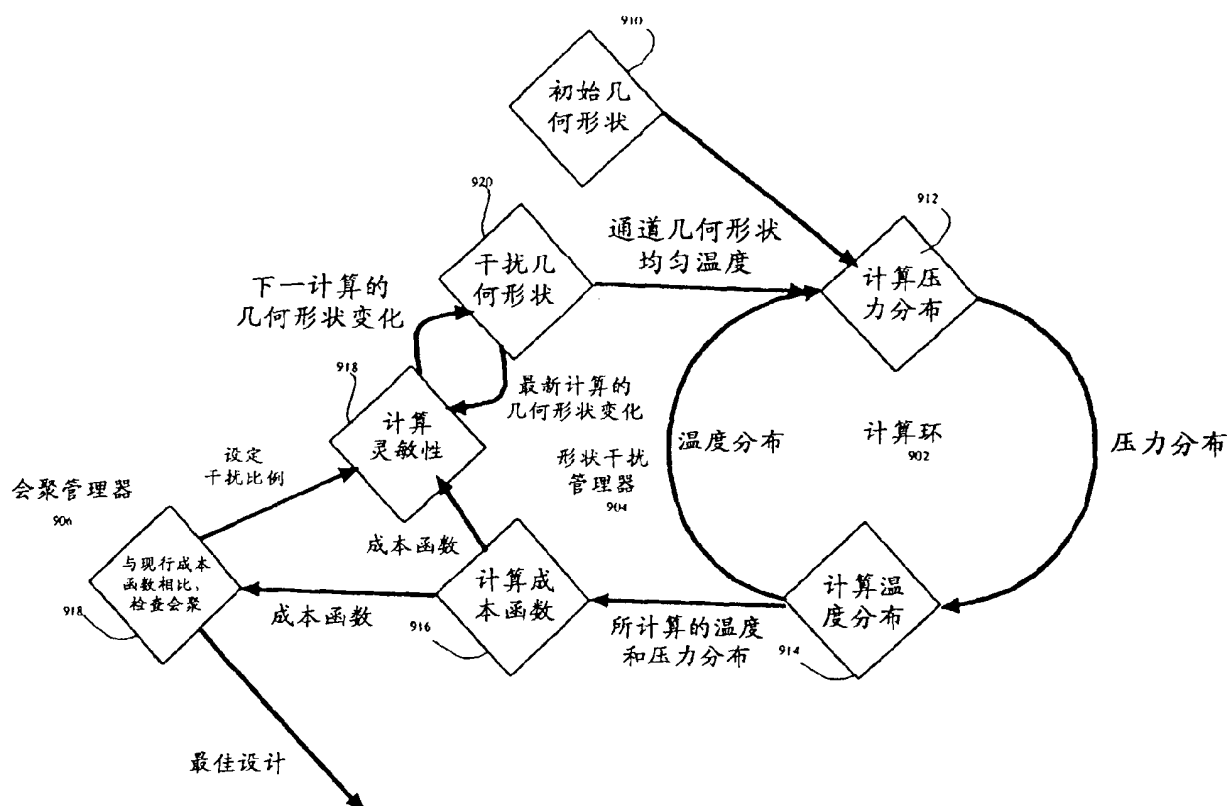


图 52