



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109287109 A

(43)申请公布日 2019.01.29

(21)申请号 201811427232.X

(22)申请日 2018.11.27

(71)申请人 上海交通大学

地址 200240 上海市闵行区东川路800号

(72)发明人 甘甜 全晓军 李金京

(74)专利代理机构 上海旭诚知识产权代理有限公司 31220

代理人 郑立

(51)Int.Cl.

H05K 7/20(2006.01)

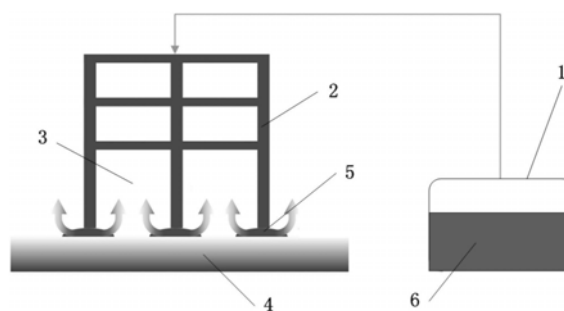
权利要求书1页 说明书4页 附图1页

## (54)发明名称

一种基于毛细导流的干法相变换热设备

## (57)摘要

本发明公开了一种基于毛细导流的干法相变换热设备,涉及换热冷却技术领域,包括冷却液、储液池、输液毛细管网络,所述储液池内设置有冷却液,所述储液池与所述输液毛细管网络的一端相连接,所述输液毛细管网络的另一端设置于发热表面,所述输液毛细管网络由毛细管构成。本发明利用毛细作用自动调节供液量,在发热表面形成岛状液膜阵列的气液分离通道,通过干法相变进行散热,具有冷却液使用量少、散热效率高、均热能力强等优点。



1. 一种基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,包括冷却液、储液池、输液毛细管网络,所述储液池内设置有冷却液,所述储液池与所述输液毛细管网络的一端相连接,所述输液毛细管网络的另一端多点接触设置于发热表面,所述输液毛细管网络由毛细管构成。

2. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述毛细管材料是柔性材料。

3. 如权利要求2所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述柔性材料是光固化柔性材料。

4. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述毛细管是相互联系又相互独立。

5. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述输液毛细管网络是开式结构。

6. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述输液毛细管网络采用吹胀成型或3D打印工艺制造。

7. 如权利要求6所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述3D打印工艺是光固化3D打印。

8. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述输液毛细管网络毛细管与所述发热表面间形成排气通道。

9. 如权利要求1所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述输液毛细管网络通过抽出和移动单根或数根毛细管、调节不同位置的毛细管的长度和位置进行调整。

10. 如权利要求1-9任意一项所述基于毛细导流的干法相变换热设备,其特征在于,所述基于毛细导流的干法相变换热设备与射流散热技术联合使用。

## 一种基于毛细导流的干法相变换热设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及换热冷却技术领域,尤其涉及一种基于毛细导流的干法相变换热设备。

### 背景技术

[0002] 随着科技进步和技术发展,高发热环境在生产生活中已经变得越来越普遍,高铁、电动车、航天、雷达等领域的大功率电子设备的发热量日益增长。过高的温度会损坏半导体节点以及电路联结面,增加电阻值,甚至形成机械应力损伤。随着电子元件的温度升高,系统可靠性会急剧降低。目前大功率电子设备的热流密度可达到 $250\text{W}/\text{cm}^2$ ,大功率半导体激光器的热流密度可达到 $1000\text{W}/\text{cm}^2$ 。提供行之有效的散热方案,实现高热流密度工作环境下的热管理,已成为时下相关行业的迫切需求。

[0003] 传统的热管理方案以单相流循环冷却技术为主。这一技术已经非常成熟,其主要原理是使用循环冷却液在热源表面对流带走热量。近年来,两相流冷却技术和射流冲击冷却也逐渐成为高热流密度工况下热管理的有效手段。相比单相流循环冷却,两相流冷却技术在冷却液通过热源表面时发生相变汽化,利用了气泡生成过程中产生的扰动以及液体的相变潜热,具有冷却液流量小、换热量大的优点。射流冲击冷却是一种用于高热流密度工况下的热管理手段。冷却液在压差的作用下,通过圆形或其他形状的射流孔喷射到加热表面上对其进行冷却。冷却液直接冲击表面,在被冲击表面形成较薄边界层,同时局部沸腾汽化,可有效实将发热区域热量带走。

[0004] 另一种有效利用两相冷却的换热设备称之为热管,当前热管的发展朝着微型化、高效能方向发展,微热管作为一种高效的相变换热装置,具有体积小、导热能力强、稳定性高等优点,吸液芯结构是决定热管性能的重要参数,目前热管中常用的吸液芯结构有沟槽型、烧结型以及复合型。

[0005] 但是,随着电子设备功率增长,上述现有技术均显现出一定的局限性。

[0006] (1) 单相流循环冷却逐渐难以应对高热流密度工况下的热管理需求。

[0007] (2) 两相流循环冷却可提供更强的换热能力,但系统设计难度较高。与单相流循环冷却类似,两相流循环冷却同样需要循环泵驱动冷却液,因此两相流循环冷却系统需保证带走热量气化后的冷却液在到达循环泵之前完全冷凝,恢复单相状态。否则当气态冷却液通过循环泵时会导致冷却系统无法正常工作。考虑到大功率电子设备存在瞬态高功率工作状态,两相流循环冷却技术难以在此种工况下应用。且由于散热过程中在封闭循环管道内持续出现沸腾和凝结相变过程,会对散热系统形成持续的周期性震荡冲击,容易出现故障或导致系统损坏。

[0008] (3) 射流冲击冷却可提供较强的换热能力,但在实际应用场景中,喷射在壁面上的液膜厚度不均,射流喷洒的大部分冷却液无法在换热过程中汽化,而是保持液态。处于液态的冷却液无法利用相变过程的潜热带走热量,换热效率较低。且与换热表面接触的冷却液沸腾后,会被未能汽化的冷却液阻挡,气泡难以排开,导致换热能力下降。此外,射流气液无

法分离,在冷却液到达受热壁面之前会与气体发生一定的热交换,降低实际换热效果。

[0009] (4) 封闭微热管的适用场合较少,在某些特定的散热环境下并不适用,如某些需要添加辅助风冷散热的开放式场合(如启动阶段散热)。此外平板热管等在不规则、不平整的加热壁面则无法有效散热,异型热管能满足不同形貌加热面的散热要求,但是对不同形貌加热面就需要加工不同热管,形貌适应性差,加工复杂且维护成本高。

[0010] 因此,本领域的技术人员致力于开发一种换热设备,能够根据发热器件功率自动调节冷却液供给量,并提高换热效率和不同应用场景的适用性,满足大功率电子设备的换热需求。

## 发明内容

[0011] 有鉴于现有技术的上述缺陷,本发明所要解决的技术问题是如何提高大功率电子设备的换热能力、换热效率、适用性,实现冷却液供给量的自动调节和高热流密度工作环境下的有效热管理。

[0012] 为实现上述目的,本发明提供了一种基于毛细导流的干法相变换热设备,包括冷却液、储液池、输液毛细管网络,所述储液池内设置有冷却液,所述储液池与所述输液毛细管网络的一端相连接,所述输液毛细管网络的另一端多点接触设置于发热表面,所述输液毛细管网络由毛细管构成。

[0013] 进一步地,所述毛细管材料是柔性材料。

[0014] 进一步地,所述柔性材料是光固化柔性材料。

[0015] 进一步地,所述毛细管是相互联系又相互独立。

[0016] 进一步地,所述输液毛细管网络是开式结构。

[0017] 进一步地,所述输液毛细管网络采用吹胀成型或3D打印工艺制造。

[0018] 进一步地,所述3D打印工艺是光固化3D打印。

[0019] 进一步地,所述输液毛细管网络毛细管与所述发热表面间形成排气通道。

[0020] 进一步地,所述输液毛细管网络通过抽出和移动单根或数根毛细管、调节不同位置的毛细管的长度和位置进行调整。

[0021] 进一步地,所述基于毛细导流的干法相变换热设备与射流散热技术联合使用。

[0022] 与现有的热管理技术相比,本发明利用毛细作用自动调节供液量,在发热表面形成岛状液膜阵列的气液分离通道,通过干法相变进行散热,具有冷却液使用量少、散热效率高、均热能力强等优点。

[0023] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明,以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

## 附图说明

[0024] 图1是本发明一个较佳实施例的气液通道分离毛细导流冷却系统原理示意图。

[0025] 其中:1-储液池,2-输液毛细管网络,3-排气通道,4-发热表面,5-岛状液膜,6-冷却液。

## 具体实施方式

[0026] 以下参考说明书附图介绍本发明的优选实施例,使其技术内容更加清楚和便于理解。本发明可以通过许多不同形式的实施例来得以体现,本发明的保护范围并非仅限于文中提到的实施例。

[0027] 在附图中,结构相同的部件以相同数字标号表示,各处结构或功能相似的组件以相似数字标号表示。附图所示的每一组件的尺寸和厚度是任意示出的,本发明并没有限定每个组件的尺寸和厚度。为了使图示更清晰,附图中有些地方适当夸大了部件的厚度。

[0028] 如图1所示,为本发明一个较佳实施例基于毛细导流的干法相变换热设备,包括冷却液6、储液池1、输液毛细管网络2,储液池1内存储有冷却液6,输液毛细管网络2的一端浸入冷却液6中,输液毛细管网络2的另一端安装在发热表面4,输液毛细管网络2由毛细管构成,是柔性的。

[0029] 其中,输液毛细管网络2通过吹胀成型或3D打印等工艺制造,使其能与发热表面4形成多点接触,形成排气通道3。输液毛细管网络2从储液池1中通过毛细作用将冷却液6导流至发热表面4,形成岛状液膜5,并在发热表面4维持液膜覆盖,通过持续稳定的蒸发带走热量,在输液毛细管网络2最大供液速率以内,随着发热器件功率的改变,液膜供给量随蒸发速率也随之改变,但发热表面4的液膜始终维持在一个稳定的厚度范围,进一步增强高热流密度表面的散热能力,有效实现高热流密度工况下的自主热管理。

[0030] 本发明实施例基于以下原理来增强高热流密度表面的换热能力:

[0031] (1) 换热通过蒸发实现,相变过程潜热较大,能有效带走热量。

[0032] (2) 蒸发后的气态冷却液可通过输液毛细管网络2间的空隙排走,供液排气通道分离,促进蒸发。

[0033] (3) 换热表面因毛细作用形成液膜岛阵列,形成大量液-固-汽三相线,可强化蒸发。

[0034] 使用时,首先,通过软件建模设计出输液毛细管网络2的形貌(毛细管之间的连接方式,排布疏密等)和尺寸,采用光固化柔性材料,使用光固化3D打印技术打印出输液毛细管网络2。依据光固化材料和形貌设计的不同,可获得弯折能力、输液能力不同的网络。

[0035] 然后,将输液毛细管网络2的一端浸入储液池1,另一端安置于发热表面4上,在毛细作用下,储液池1内的冷却液6被导至发热表面4,并在蒸发后通过毛细管之间的间隙离开,从而带走发热表面的热量。在同一热流密度下,采用毛细导流网络的散热装置相比单相/多相流循环冷却和射流冷却装置,消耗的冷却液更少,且无需循环泵进行驱动。

[0036] 由于输液毛细管网络2采用柔性材料制备,各毛细管相互联系而又相互独立,可通过抽出和移动单根或数根毛细管的方式对其进行调整。对于不同形貌的加热面,输液毛细管网络2可通过调节不同位置的毛细管的长度和位置,相应做出调整而不需要重新加工。

[0037] 与现有的热管理技术相比,本发明实施例在使用过程中不需要供液驱动,无能耗、无噪音。冷却液全部通过相变换热带走热量,单位冷却液带走的热量更多。在局部发热量大,液膜蒸发量大时,多点接触的输液毛细管网络2可在局部区域自动提高补液量,将整个发热面温度分布维持在比较均匀的水平。两相换热时,由于热阻等影响,液膜蒸发和沸腾换热流密度远远高于其他常规两相换热,输液毛细管网络2能维持液膜蒸发和沸腾。

[0038] 由于输液毛细管网络2采用柔性材料制备,对于不同形貌的加热面,输液毛细管网

络2可通过调节不同位置的毛细管的长度和位置,相应做出调整而不需要重新加工,结构自适应性好,能够满足某些特定异型结构表面和特定开式场合的需求。在更换换热设备过程中,开式的输液毛细管网络2只需更换其中数根毛细管,不需更换整个设备,维护成本低。

[0039] 本发明实施例亦可与射流散热技术联合使用,进一步实现高效低耗的高发热功率电子元器件热管理。

[0040] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术无需创造性劳动就可以根据本发明的构思做出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

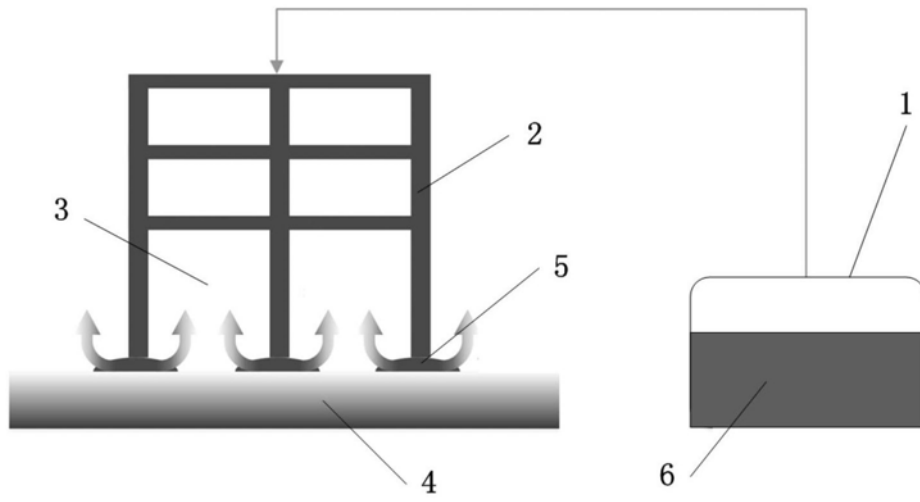


图1