



# (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106793685 A

(43)申请公布日 2017. 05. 31

(21)申请号 201611130226.9

F28D 15/04(2006.01)

(22)申请日 2016.12.09

F25B 21/02(2006.01)

(71)申请人 淳铭散热科技股份有限公司

地址 523808 广东省东莞市松山湖高新技术产业开发区科技二路10号中科创新广场A栋4楼403

申请人 华北电力大学

(72)发明人 徐进良 纪献兵 李红传 谢曙  
骆永光

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 罗满

(51) Int. Cl.

H05K 7/20(2006.01)

F28D 20/02(2006.01)

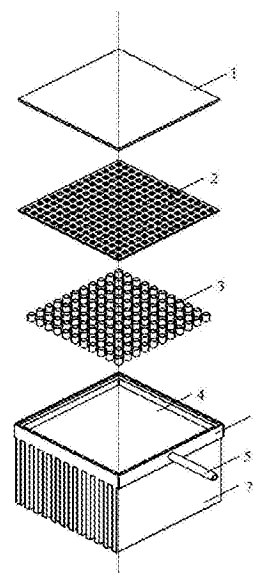
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

## (54)发明名称

一种复合散热装置

## (57)摘要

本发明公开了一种复合散热装置,包括平板热管和若干夹心相变材料复合板;平板热管的蒸发端用于从发热元件取热,平板热管的冷凝端与夹心相变材料复合板的基部连接,蒸发端内壁设置有多孔毛细吸液芯层,毛细吸液芯层上设置有仿生毛细吸液芯,夹心相变材料复合板具有封闭内腔,内腔内设置有相变材料,内腔的侧壁为金属板。应用本发明提供的复合散热装置,设置有毛细吸液芯的平板热管具有良好的均温性,相变材料抑制了温度波峰,保证了整个电子设备的正常工作。同时,平板热管和夹心相变材料复合板的一体化设计,消除了传统平板热管与热沉间的接触热阻。综上,本发明提供的复合散热装置均温性更好、散热能力更强、安全性更加有保障、加工简单。



1. 一种复合散热装置,其特征在于,包括平板热管和若干夹心相变材料复合板;所述平板热管的蒸发端用于从发热元件取热,所述平板热管的冷凝端与所述夹心相变材料复合板的基部连接,所述蒸发端设置有多孔毛细吸液芯层,所述多孔毛细吸液芯层上设置有仿生毛细吸液芯,所述夹心相变材料复合板具有封闭内腔,所述内腔内设置有相变材料,所述内腔的侧壁为金属板。

2. 根据权利要求1所述的复合散热装置,其特征在于,包括多个并列设置的所述夹心相变材料复合板,且相邻两个所述夹心相变材料复合板之间具有预设间距的间隙。

3. 根据权利要求1所述的复合散热装置,其特征在于,所述冷凝端与所述金属板为一体成型结构,所述蒸发端与所述冷凝端密封连接并在所述蒸发端与所述冷凝端之间形成所述平板热管的工质容腔。

4. 根据权利要求1所述的复合散热装置,其特征在于,所述平板热管的蒸发端设置有半导体制冷片。

5. 根据权利要求1-4任一项所述的复合散热装置,其特征在于,所述仿生毛细吸液芯的顶端与所述冷凝端相抵。

6. 根据权利要求5所述的复合散热装置,其特征在于,所述多孔毛细吸液芯层与所述仿生毛细吸液芯均为经热氧化或者过氧化氢氧化制备而成的超亲水毛细芯,或者通过添加造孔剂制备而成的多尺度孔隙超亲水毛细芯。

7. 根据权利要求5所述的复合散热装置,其特征在于,所述多孔毛细吸液芯层与所述仿生毛细吸液芯为粉末烧结毛细芯、丝网、泡沫金属或者机械微加工的槽道。

8. 根据权利要求1-4任一项所述的复合散热装置,其特征在于,所述相变材料为熔点在 $40^{\circ}\text{C}$ - $80^{\circ}\text{C}$ 之间的相变材料。

9. 根据权利要求8所述的复合散热装置,其特征在于,所述相变材料为添加有膨胀石墨粉、铜粉或者铝粉以提高导热性的复合材料。

10. 根据权利要求8所述的复合散热装置,其特征在于,所述相变材料为单一相变材料、复合相变材料、无机相变材料、有机相变材料或者微胶囊。

## 一种复合散热装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及散热技术领域,更具体地说,涉及一种复合散热装置。

### 背景技术

[0002] 随着工业电子及半导体科学技术的发展,大功率电子和光学器件(如LED)、动力电池、计算机CPU/GPU(以下简称电子设备)等不断向着微型化、集成化方向发展,导致单位容积内的产热量急速增加、局部热流密度急剧增长、热流分布不均匀等现象发生,如果热量不能及时排出且电子设备受热不均匀,将对电子设备的稳定性、可靠性及寿命产生重大影响。传统的单纯使用金属板与空气强迫对流冷却的散热方式已经达到其传热极限,散热问题成为制约大功率电子设备及半导体技术、产业发展的主要瓶颈之一。

[0003] 平板热管,作为一种高效相变传热装置,具有传热温差小、传热性能高、体积小、重量轻、优良的均温性等优点,已成为高热流密度电子设备散热的理想元件之一。平板热管作为散热装置的一部分,通常是与翅片热沉分离的,在与翅片热沉组合使用时通过涂抹导热膏与翅片热沉基部接触,因此存在较大的接触热阻;其次,如果电子设备的功率发生较大变化(如超频),温度也会发生大的变化,将会对电子设备产生疲劳,甚至破坏电子设备的使用功能;再次,一旦强制空气对流换热的冷却系统失去工作功能(例如风扇出现故障),电子设备的温度将迅速上升,最终导致烧毁。

[0004] 综上所述,如何有效地解决散热装置难以满足电子设备的散热需求造成电子设备易烧损等问题,是目前本领域技术人员急需解决的问题。

### 发明内容

[0005] 有鉴于此,本发明的目的在于提供一种复合散热装置,该复合散热装置的结构设计可以有效地解决散热装置难以满足电子设备的散热需求造成电子设备易烧损的问题。

[0006] 为了达到上述目的,本发明提供如下技术方案:

[0007] 一种复合散热装置,包括平板热管和若干夹心相变材料复合板;所述平板热管的蒸发端用于从发热元件取热,所述平板热管的冷凝端与所述夹心相变材料复合板的基部连接,所述蒸发端设置有多孔毛细吸液芯层,所述多孔毛细吸液芯层上设置有仿生毛细吸液芯,所述夹心相变材料复合板具有封闭内腔,所述内腔内设置有相变材料,所述内腔的侧壁为金属板。

[0008] 优选地,上述复合散热装置中,包括多个并列设置的所述夹心相变材料复合板,且相邻两个所述夹心相变材料复合板之间具有预设间距的间隙。

[0009] 优选地,上述复合散热装置中,其特征在于,所述冷凝端与所述金属板为一体成型结构,所述蒸发端与所述冷凝端密封连接并在所述蒸发端与所述冷凝端之间形成所述平板热管的工质容腔。

[0010] 优选地,上述复合散热装置中,其特征在于,所述平板热管的蒸发端设置有半导体制冷片。

[0011] 优选地,上述复合散热装置中,所述仿生毛细吸液芯的顶端与所述冷凝端相抵。

[0012] 优选地,上述复合散热装置中,所述多孔毛细吸液芯层与所述仿生毛细吸液芯均为经热氧化或者过氧化氢氧化制备而成的超亲水毛细芯,或者通过添加造孔剂制备而成的多尺度孔隙超亲水毛细芯。

[0013] 优选地,上述复合散热装置中,所述多孔毛细吸液芯层与所述仿生毛细吸液芯为粉末烧结毛细芯、丝网、泡沫金属或者机械微加工的槽道。

[0014] 优选地,上述复合散热装置中,所述相变材料为熔点在40℃-80℃之间的相变材料。

[0015] 优选地,上述复合散热装置中,所述相变材料为添加有膨胀石墨粉、铜粉或者铝粉以提高导热性的复合材料。

[0016] 优选地,上述复合散热装置中,所述相变材料为单一相变材料、复合相变材料、无机相变材料、有机相变材料或者微胶囊。

[0017] 本发明提供的复合散热装置包括平板热管和若干夹心相变材料复合板。其中,平板热管的蒸发端用于从发热元件进行取热,平板热管的冷凝端与夹心相变材料复合板的基部连接,将热量传递至夹心相变材料复合板。蒸发端设置有多孔毛细吸液芯层,毛细吸液芯层上设置有仿生毛细吸液芯。夹心相变材料复合板具有内腔,其内腔内设置有相变材料,内腔的侧壁为金属板以将热量散发。

[0018] 应用本发明提供的复合散热装置时,当电子设备高功率或满负荷运行时,会产生大量的热量,热量经过热传导的方式进入平板热管蒸发端和多孔毛细吸液芯层,当其达到一定温度时,多孔毛细吸液芯层内部的液体会发生汽化,汽化后的蒸汽从多孔毛细吸液芯层内部逸出,并到达冷凝端冷凝成液体,这些液体在毛细吸力的作用下沿着仿生毛细吸液芯再次到达多孔毛细吸液芯层,并在其内部进行分配,流向相变发生区域,满足液体蒸发所需要的液体供应,从而形成完整的循环,由于多孔毛细吸液芯层及仿生毛细吸液芯的存在,液体的循环是被动的,不需要外界的动力,而且能够在反重力下工作。且仿生毛细吸液芯由于存在大小不同的孔隙,因此能很好的解决蒸汽溢出与液体吸入之间的矛盾问题,因为大孔利于蒸汽的逸出,小孔利于液体的吸入,从而使平板热管表现出最佳的性能。

[0019] 同时,平板热管的蒸发端吸收发热元件的热量,其内的蒸汽在冷凝端释放的热量再传给夹心相变材料复合板,因此整个夹心相变材料复合板的温度逐渐升高,夹心相变材料复合板再与周围的空气发生对流换热,最终将热量散到周围环境中,实现散热功能。由于相变材料的存在可以增加热惯性,它能够吸收过热量,从而在一定程度上能够保护电子设备,因而能够在电子设备功耗发生较大变化时减轻电子设备热疲劳。另一方面,当发热元件功耗突然增大(如超频)或者主动式冷却系统发生故障(例如风扇出现故障)时,发热元件的温度会迅速上升,当温度达到夹心相变材料复合板内腔中的相变材料的熔点时,相变材料会吸收大量热量以潜热的形式储存起来,从而使整个电子设备的温度迅速下降,抑制了温度波峰,进而保证了整个电子设备的正常工作。同时,平板热管和夹心相变材料复合板的一体化设计,消除了传统平板热管与热沉间的接触热阻。

## 附图说明

[0020] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例或现

有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0021] 图1为本发明提供的复合散热装置一种具体实施方式的爆炸结构示意图;

[0022] 图2为图1所示的复合散热装置装配状态的截面结构示意图;

[0023] 图3为图1中多孔毛细吸液芯层及仿生毛细吸液芯的放大结构示意图;

[0024] 图4为用于成型图3所示结构的模具剖面结构示意图;

[0025] 图5为图4所示模具的俯视结构示意图。

[0026] 附图中标记如下:

[0027] 1、蒸发端;2、多孔毛细吸液芯层;3、仿生毛细吸液芯;4、工质容腔;5、注液管;6、冷凝端;7、夹心相变材料复合板;71、金属板;72、相变材料;73、密封塞;74、预留空腔。

### 具体实施方式

[0028] 本发明实施例公开了一种复合散热装置,以满足电子设备的散热需求,避免电子设备的烧损。

[0029] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0030] 请参阅图1-图5,图1为本发明提供的复合散热装置一种具体实施方式的爆炸结构示意图;图2为图1所示的复合散热装置装配状态的截面结构示意图;图3为图1中多孔毛细吸液芯层及仿生毛细吸液芯的放大结构示意图;图4为用于成型图3所示结构的模具剖面结构示意图;图5为图4所示模具的俯视结构示意图。

[0031] 在一种具体实施方式中,本发明提供的复合散热装置包括平板热管和若干夹心相变材料复合板7。

[0032] 其中,平板热管的蒸发端1用于由发热元件进行取热,平板热管的冷凝端6与夹心相变材料复合板7的基部连接。平板热管的液体工质在取热端吸收热量蒸发,在冷凝端冷凝下落,并将热量传递至与冷凝端6相连的夹心相变材料复合板7。具体平板热管的外形可以是圆形、椭圆形、方形、菱形等,其制作材料可以是铜、铝、不锈钢及其合金。平板热管的液体工质具体可以是水、乙醇、丙酮、有机工质及其混合物等。平板热管的蒸发端1与冷凝端6的周边进行封装,保证其气密性。平板热管上可以设置注液管5,进而热管的液体工质通过注液管5注入其内并封装。

[0033] 夹心相变材料复合板7具有内腔,其内腔内设置有相变材料72,内腔的侧壁为金属板71以将热量散发。也就是夹心相变材料复合板7包括相对的金属板71,金属板71之间为相变材料72。当然,夹心相变材料复合板7的内腔应为密闭内腔,具体可以通过密封结构将金属板71的两端密封,密封结构的具体形式可以不作限定。也可以通过一体成型工艺,制备出顶端封闭的、具有内腔的金属板71结构。

[0034] 金属板71具体可以为铜板、铝板、不锈钢板以及合金板,其厚度与高度可根据具体需要来设计。需要说明的是,夹心相变材料复合板7也应包括方形、圆形或者菱形的具有内

腔的翅片耦合结构,即在翅片内部预制空腔用于存储相变材料72,对应的内部空腔可以是方形、圆形、菱形或者其他各种形状的空腔。

[0035] 蒸发端1设置有多孔毛细吸液芯层2,多孔毛细吸液芯层2上设置有仿生毛细吸液芯3。也就是在平板热管的工质容腔4内设置多孔毛细吸液芯层2和仿生毛细吸液芯3。多孔毛细吸液芯层2可以贴合于蒸发端1的内壁设置,在其上进一步设置仿生毛细吸液芯3,仿生毛细吸液芯3具有大小不同的孔隙,具体仿生毛细吸液芯3优选的可以设置为多个柱状结构,且在多孔毛细吸液芯层2的上表面均匀分布。

[0036] 应用本发明提供的复合散热装置时,当电子设备高功率或满负荷运行时,会产生大量的热量,热量经过热传导的方式进入平板热管蒸发端1和多孔毛细吸液芯层2,当其达到一定温度时,多孔毛细吸液芯层2内部的液体会发生汽化,汽化后的蒸汽从多孔毛细吸液芯层2内部逸出,并到达冷凝端冷凝成液体,这些液体在毛细吸力的作用下沿着仿生毛细吸液芯3再次到达多孔毛细吸液芯层2,并在其内部进行分配,流向相变发生区域,满足液体蒸发所需要的液体供应,从而形成完整的循环,由于多孔毛细吸液芯层2及仿生毛细吸液芯3的存在,液体的循环是被动的,不需要外界的动力,而且能够在反重力下工作。且仿生毛细吸液芯由于存在大小不同的孔隙,因此能很好的解决蒸汽溢出与液体回流之间的矛盾问题,因为大孔利于蒸汽的逸出,小孔利于液体的回流,从而使平板热管表现出最佳的性能。

[0037] 同时,平板热管的蒸发端吸收发热元件的热量,其内的蒸汽在冷凝端释放的热量再传给夹心相变材料复合板7,因此整个夹心相变材料复合板7的温度逐渐升高,夹心相变材料复合板7再与周围的空气发生对流换热,最终将热量散到周围环境中,实现散热功能。由于相变材料的存在可以增加热惯性,它能够吸收过热量,从而在一定程度上能够保护电子设备,因而能够在电子设备功耗发生较大变化时减轻电子设备热疲劳。另一方面,当发热元件功耗突然增大(如超频)或者主动式冷却系统发生故障(例如风扇出现故障)时,发热元件的温度会迅速上升,当温度达到夹心相变材料复合板7内腔中的相变材料72的熔点时,相变材料72会吸收大量热量以潜热的形式储存起来,从而使整个电子设备的温度迅速下降,抑制了温度波峰,进而保证了整个电子设备的正常工作。且平板热管和夹心相变材料复合板7的一体化设计,消除了传统平板热管与热沉间的接触热阻。

[0038] 优选的,金属板71的顶端通过密封塞73密封,基部与冷凝端6密封连接,相变材料72与冷凝端6接触。因而加工较为方便,且相变材料72与冷凝端6接触,能够直接与冷凝端6进行热量交换,提高散热效率。当然,根据需要也可以将金属板71的基部先通过金属底板等进行密封,而后再将金属底板与平板热管的冷凝端6连接,进行热交换,相对的换热效率较低。上述夹心相变材料复合板7具体可以通过如下步骤制备:

[0039] S1:通过模具铸造成型出四周封闭但中间预留空腔74的一体化金属板71;

[0040] S2:将相变材料72装进预留的空腔,考虑相变材料72在融化的时候体积会发生变化,因此预留有一部分预留空腔74,再用密封塞73将金属板71的上端开口密封。

[0041] 根据需要也可以通过如下另一种方法进行夹心相变材料复合板7的加工:

[0042] S1:将制备成型的相变材料72贴合在四周留有折边的金属薄板上;

[0043] S2:将另一块金属薄板压紧于相变材料72上,并对两块金属薄板进行密封焊接;

[0044] S3:待完成焊接处理用密封塞73将上端口密封。当然,本发明夹心相变材料复合板7的制作方法并不限于上述两种方法,其他不违背其原理、本质的制作方法也应包含在内。

[0045] 进一步地,可以包括多个并列设置的夹心相变材料复合板7,且相邻两个夹心相变材料复合板7之间具有预设间距的间隙。间隙以供空气流通,用于对流换热。通过多个夹心相变材料复合板7共同进行散热,显著提升了散热效率。同时相邻两个夹心相变材料复合板7之间均设置有预设间距的间隙,从而热量能够有效由各个夹心相变材料复合板7的两侧壁散发,散热效果好。

[0046] 具体的,冷凝端6与金属板71可以为一体成型结构,蒸发端1与冷凝端6密封连接并在蒸发端1与冷凝端6之间形成平板热管的工质容腔4。也就是冷凝端6与金属板71为一体式结构,因而金属板71与冷凝端6的连接强度高,二者间密封性好。同时,便于复合散热装置整体的制备,无需后续二者连接的操作,有效节约了生产时间。平板热管的蒸发端1与冷凝端6密封连接,并在其内形成用于设置工质的工质容腔4。当然,根据需要也可以采用焊接等常规的固定连接方式将金属板71与冷凝端6固定连接。

[0047] 在上述各实施例中,为了提高散热效率,可以在平板热管的蒸发端1设置半导体制冷片。具体半导体制冷片的结构请参考现有技术,此处不再赘述。

[0048] 在上述各实施例的基础上,仿生毛细吸液芯3的顶端与冷凝端6相抵。因而仿生毛细吸液芯3能够直接与平板热管冷凝端6接触,一方面可以大大缩短液体工质回流的路径与时间、减小流动阻力,另一方面可以起到支撑的作用,同时还可以增强热管的径向导热能力。

[0049] 更进一步地,多孔毛细吸液芯层2与仿生毛细吸液芯3均为经热氧化或者过氧化氢氧化制备而成的超亲水毛细芯,或者通过添加造孔剂制备而成的多尺度孔隙超亲水毛细芯。多尺度毛细吸液芯由于存在大小不同的孔隙,因此能很好的解决蒸汽溢出与液体吸入之间的矛盾问题,因为大孔利于蒸汽的逸出,小孔利于液体的吸入,从而使平板热管表现出最佳的性能。

[0050] 具体的,多孔毛细吸液芯层2与仿生毛细吸液芯3的类型可以是粉末烧结、丝网、泡沫金属、机械微加工的槽道等。粉末烧结毛细吸液芯其烧结材料可以是铜粉、镍粉等。粉末烧结毛细吸液芯的烧结方式可以是沿着壁面烧结,也可以是蒸发端与冷凝端直接接触的形式。

[0051] 优选的,平板热管的多孔毛细吸液芯层2与仿生毛细吸液芯3通过烧结的方式制备在平板热管的蒸发端1上。如通过模具烧结于平板热管的蒸发端1上。请参阅图4和图5,图4为用于成型图3所示结构的模具剖面结构示意图;图5为图4所示模具的俯视结构示意图。通过模具烧结制备的多孔毛细吸液芯层2与仿生毛细吸液芯3不仅牢固可靠,而且可大批量生产,易于产业化制作,减小生产成本。

[0052] 图3为图1中多孔毛细吸液芯层2及仿生毛细吸液芯3的放大结构示意图。其具体制备过程可以包括:采用如图4和图5所示的模具,在烧结之前,用蒸馏水冲去其表面杂质,再放在烘箱内烘干;接着将模具从烘箱内取出,待冷却至室温,在模具表面铺展铜粉;然后将事先打磨好的平板热管蒸发端1轻轻放在模具上,并用一定重量且表面平整的钢块压在其上部,再在蒸发端1四周填充碳粉,以防止烧结过程中铜粉被氧化;最后设定程序:以一定的升温速率加热一定的时间到预设温度,再保温一段时间,之后程序自动关闭。待程序设定好后,将填充好铜粉及放有铜板的模具放入高温气氛烧结炉,关闭阀门,打开抽气阀,用真空泵抽真空一段时间后关闭,再打开充气阀并充入一定体积的氮气保护气,关闭充气阀门,启

动加热按钮。待整个烧结过程结束之后,取出模具,将其表面清理干净,取出铜板,即可得到如图3所示底部分布有一定数量圆柱形结构的毛细吸液芯结构。根据需要,毛细吸液芯的形状也可以是方形、椭圆形、菱形、锥形。

[0053] 在上述各实施例的基础上,相变材料72优选的可以为熔点在40℃-80℃之间的相变材料72。对于某一复合散热装置而言,可以根据其散热对象选择合适熔点的相变材料72。优选的,相变材料72的熔点范围可以50℃、60℃、70℃等。相变材料72的状态可以是固态、液态,还可以为固液混合物,具体根据需要进行选择。

[0054] 具体的,相变材料72的种类可以为单一相变材料、复合相变材料、无机相变材料、有机相变材料或者微胶囊,或者也可以为上述各类相变材料72的混合物,或泡沫金属与相变材料72的复合体。根据散热装置的应用对象,即发热元件的不同,可以选择不同的相变材料72,以获得最优的散热效果。

[0055] 为了增强相变材料72的导热性,可在相变材料72中添加辅助剂。例如可以在相变材料72内部添加导热能力强的金属粉末或非金属粉末以增强相变材料72的导热能力,金属粉末如铜粉或者铝粉,非金属粉末如膨胀石墨粉等。也就是相变材料72可以为添加有膨胀石墨粉、铜粉或者铝粉以提高导热性的复合材料。当然,辅助剂并不局限于上述成分,其他适用于增加导热性的辅助剂也可以使用。

[0056] 上述详细说明是针对本发明可行实施例的具体说明,该装置也可以包括低压交流或直流风扇等风扇,整体形成体积小、重量轻的高效散热装置。由于本发明制备了多尺度仿生毛细吸液芯,因此可大大提高平板热管的传热性能,从而保证整个平板热管冷凝端6具有较好的均温特性,大大提高整个装置的散热效率,继而本发明也就能够使散热装置的散热过程实现高效、低成本和低能耗的操作运行,为解决制约大功率电子元器件的散热提供了一种较好的解决途径。

[0057] 综上所述,本发明提供的复合散热装置具有均温性更好、散热能力更强、安全性更加有保障、加工简单、减小传统散热装置的空间等优点,能高效的解决大功率/高热流密度电子和光学器件(如LED)、动力电池、计算机CPU/GPU等散热技术难题;另外还能在电子设备功耗发生变化(如超频)或者强制空气对流换热的冷却系统失去工作功能(例如风扇出现故障)时,起到快速吸收电子设备产生的过热量,抑制电子设备的温度波峰,保护电子设备不受损毁的作用。

[0058] 本说明书中各个实施例采用递进的方式描述,每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处,各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

[0059] 对所公开的实施例的上述说明,使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的,本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下,在其它实施例中实现。因此,本发明将不会被限制于本文所示的这些实施例,而是要符合与本文所公开的原理和新颖特点相一致的最宽的范围。



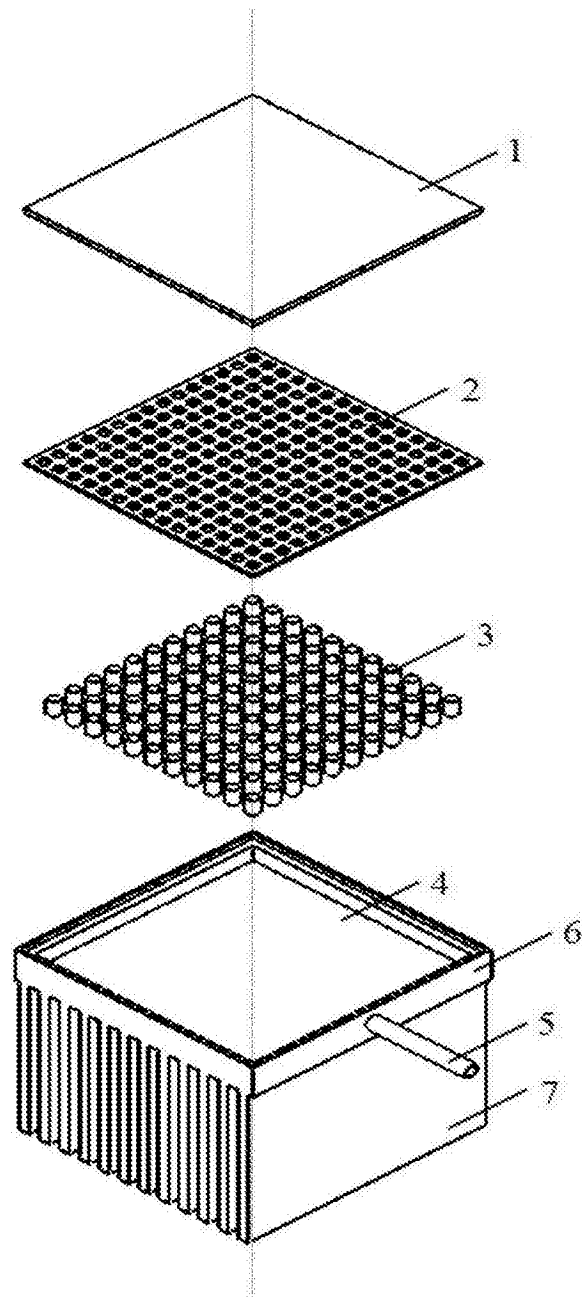


图1

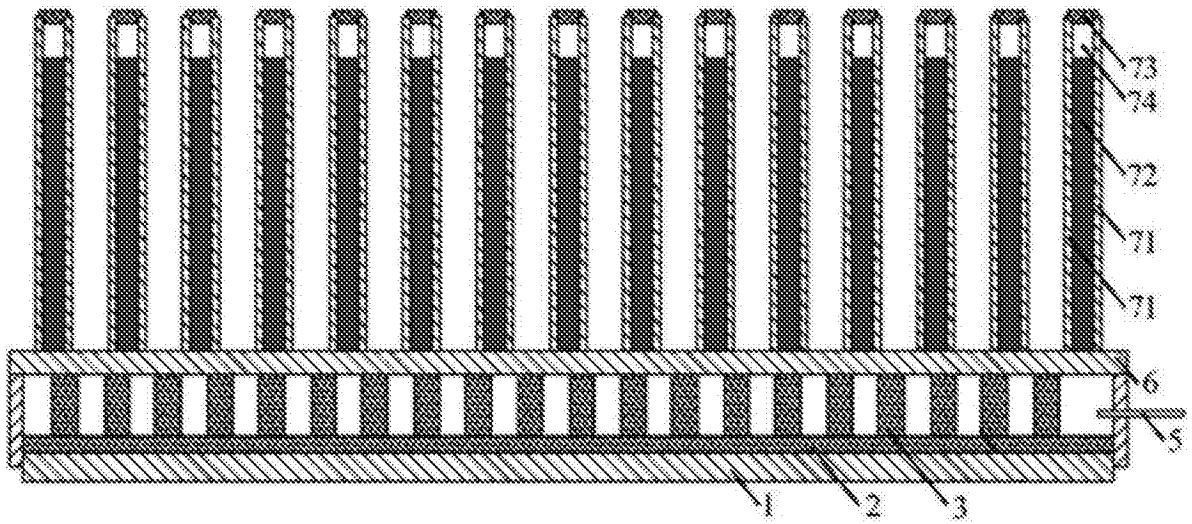


图2

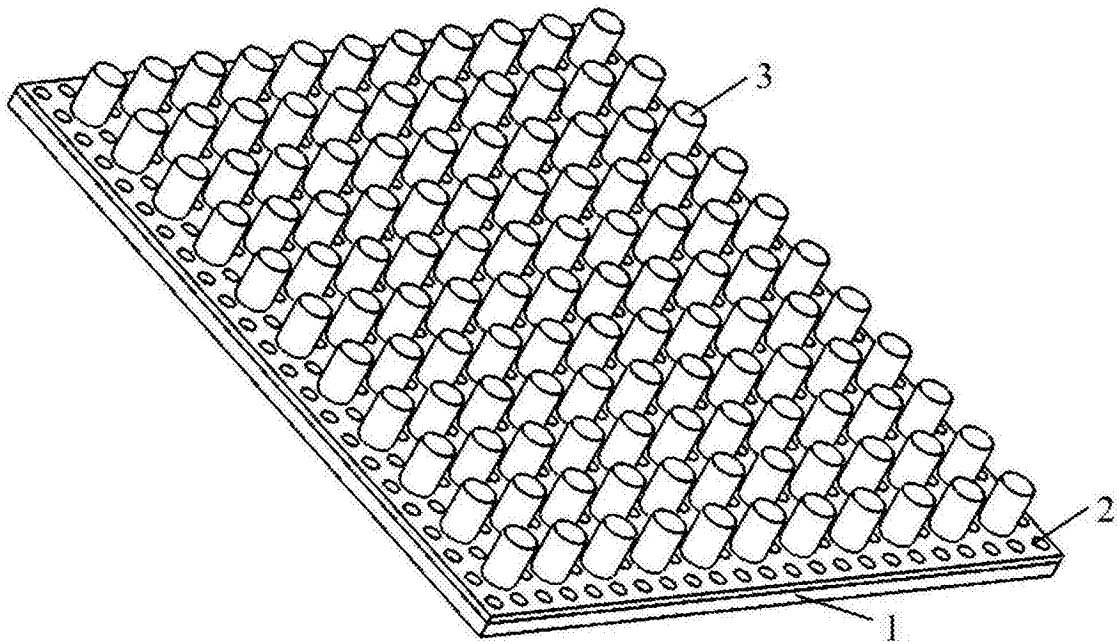


图3

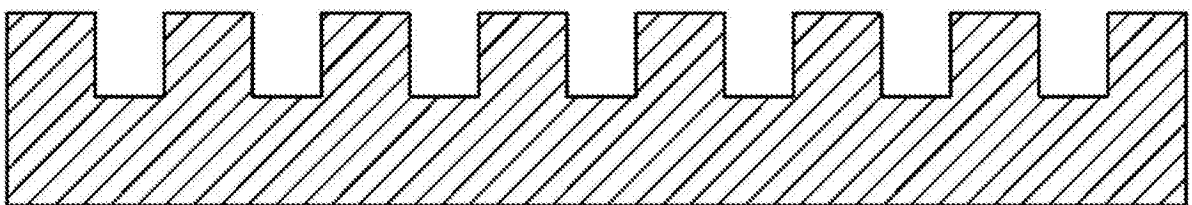


图4

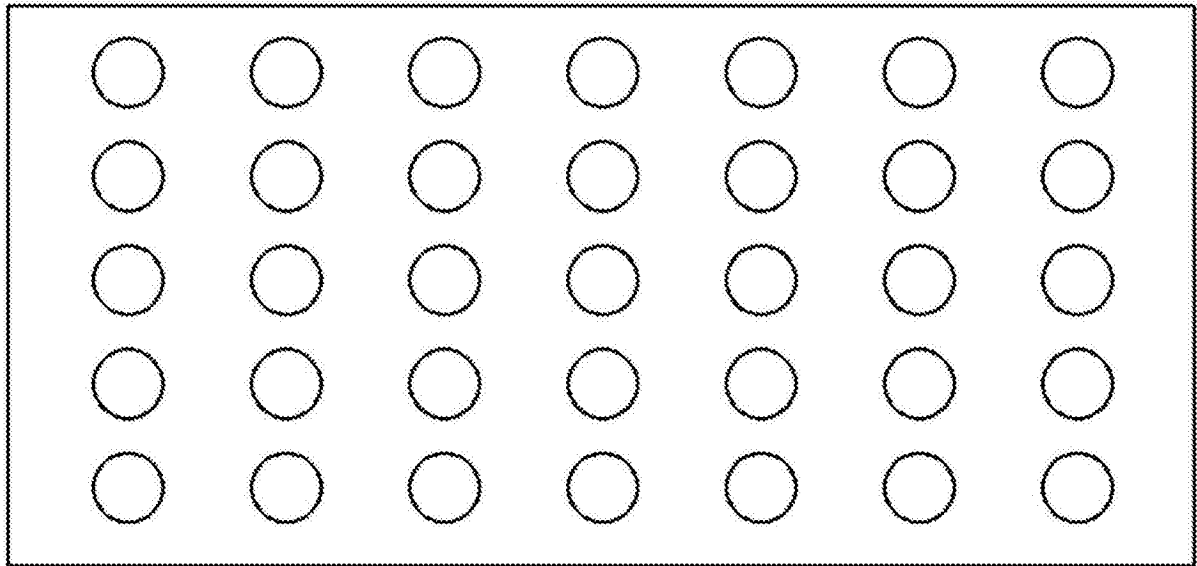


图5