



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109920768 A

(43)申请公布日 2019.06.21

(21)申请号 201910242949.5

(22)申请日 2019.03.28

(71)申请人 河北工业大学

地址 300130 天津市红桥区丁字沽光荣道8号河北工业大学东院330#

(72)发明人 王希平 李志刚 姚文森 丁祥宽

(74)专利代理机构 天津翰林知识产权代理事务所(普通合伙) 12210

代理人 张国荣

(51) Int. Cl.

H01L 23/367(2006.01)

H01L 23/373(2006.01)

H01L 23/473(2006.01)

H01L 25/18(2006.01)

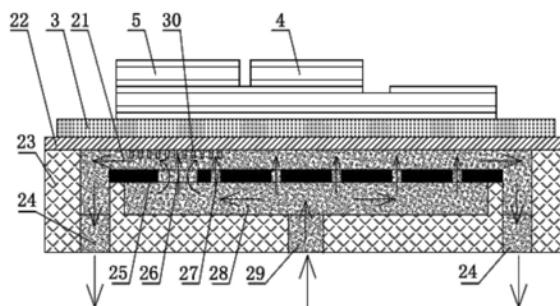
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54)发明名称

一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统

(57)摘要

本发明公开一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,包括安装在IGBT模块的铜基板背面上的导热板;还包括安装在导热板表面上的冷却系统座;冷却系统座与导热板之间形成腔体结构,冷却系统座上设有冷却液注入口和排液口,冷却液注入口设置在冷却系统座的中部,排液口设置在冷却系统座的四周,在冷却系统座与导热板之间形成的腔体结构内部安装有匀流板;匀流板与冷却液注入口一侧的冷却系统座之间形成匀流腔,匀流板与导热板之间形成换热腔,排液口通过冷却液汇流槽与换热腔连通;匀流板上设置有调温孔和匀流孔。该水冷散热系统能够解决逆变工况下或整流运行工况下IGBT芯片局部需要加强散热的问题。



1. 一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,包括安装在IGBT模块的铜基板背面上的导热板,二者接触处涂有导热硅脂以加强导热;还包括安装在导热板表面上的冷却系统座;冷却系统座与导热板之间形成腔体结构,冷却系统座上设有冷却液注入口和排液口,冷却液注入口设置在冷却系统座的中部,排液口设置在冷却系统座的四周,在冷却系统座与导热板之间形成的腔体结构内部安装有匀流板;匀流板与冷却液注入口一侧的冷却系统座之间形成匀流腔,匀流板与导热板之间形成换热腔,排液口通过冷却液汇流槽与换热腔连通;匀流板上设置有调温孔和匀流孔,调温孔的尺寸较匀流孔大,调温孔的位置正对于位于其上方的IGBT芯片或二极管芯片。

2. 根据权利要求1所述的一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,导热板采用紫铜材料,表面镀银或镀金处理。

3. 根据权利要求1所述的一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,在IGBT芯片对应的导热板外侧位置上设置有散热片,或在二极管芯片对应的导热板外侧位置上设置有散热片。

4. 根据权利要求3所述的一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,所述散热片为指状或放射状。

5. 根据权利要求1所述的一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,冷却系统座的材料采用有隔热作用非金属材料。

一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统

技术领域

[0001] 本发明涉及散热技术领域,具体是一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统。

背景技术

[0002] IGBT模块(Insulated Gate Bipolar Transistor,绝缘栅双极型晶体管),是由BJT(双极型三极管)和MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式功率半导体器件,兼有MOSFET的高输入阻抗和GTR的低导通压降两方面的优点。目前工程上可以应用的大功率IGBT模块(单个模块)耐受电压最高可达6.5kV,电流承载最高可达上千安培,开断速度快,开关频率高。大功率IGBT模块目前被广泛应用于高压直流输电、交通运输和可再生能源发电等领域,是整流和逆变系统电力电子装置的核心部件。

[0003] 大功率IGBT模块内部一般采用多芯片串并联技术,IGBT模块内部分布有IGBT芯片、二极管芯片和电极等,IGBT芯片和二极管芯片是发热源,其他部位基本上不发热。IGBT模块是由多层不同材料组成,且各层材料之间热膨胀系数不一致,在运行工况下,模块各层结构承受热胀冷缩过程中产生的巨大热应力,长期重复的温度波动是影响系统核心器件IGBT工作寿命的主要原因,其可靠性的高低进而影响到系统的安全可靠运行。柔性直流输电中模块化多电平换流阀,处于整流或逆变运行工况时,半桥子模块中各个器件功率损耗和结温分布不均衡,下管IGBT模块比上管IGBT模块承受较大的循环热应力,且IGBT模块内部芯片发热源温度严重不均衡。在风电变流器中,处于整流运行工况下,同一桥臂内二极管芯片温度高于IGBT芯片温度,处于逆变运行工况时,同一桥臂内IGBT芯片温度高于二极管芯片温度。有研究表明,在正常的工作范围内,IGBT模块的内部温度每上升10℃,IGBT模块失效率就增加一倍,瞬态IGBT模块的内部高温是器件外部失效的重要诱因。因此通过有效的散热装置设计,降低IGBT模块的内部结温和局部温度不均匀性,是提高IGBT模块可靠性和使用寿命的主要方法之一。

[0004] IGBT模块内部一般组成电桥路结构使用,分单管IGBT模块、半桥IGBT模块、全桥IGBT模块和三相桥IGBT模块等几种类型。IGBT模块按照封装形式的不同可以分为焊接型IGBT模块和压接型IGBT模块两种形式。不管是哪种类型的IGBT模块,都存在以下特点:在逆变工况下,IGBT模块内部的IGBT芯片功率消耗大,发热量大,IGBT芯片温度最高;在整流工况下,IGBT模块内部二极管芯片功率消耗大,发热量大,二极管芯片温度最高。

[0005] 本专利以英飞凌焊接式Infineon FF300R17ME4(300A/1.7kV/150℃)型号IGBT模块为例进行说明和风冷散热器的相关设计,该型号的IGBT模块应用在MMC系统(Modular Multilevel Convert,模块化多电平变换器)分别在逆变工况(直流电变交流电)和整流(交流电变直流电)工况下,模块施加功率电流为带有直流偏置特性的交流电流,芯片结构模型及结温仿真参见图1、图2和图3。该型号IGBT模块是半桥结构(参见图1),其中1是上桥臂的三个并联的二极管芯片,2是上桥臂三个并联的IGBT芯片,3是IGBT模块的铜基板,4是下桥臂的三个并联的二极管芯片,5是下桥臂三个并联的IGBT芯片,6是导热的上层铜板。

[0006] 以Infineon FF300R17ME4型号的IGBT模块的下桥臂为例,在逆变工况下(见图2),IGBT模块下半桥的三个IGBT芯片51、52和53温度比较高,明显高于周围的导热上层铜板和二极管芯片41、42和43的温度。由于三个IGBT芯片51、52和53热耦合作用,处于中间位置的IGBT芯片52的温度最大,为106.1℃,该最高温度与IGBT模块的温度最低点的温差相差约36℃;在整流工况下(见图3),IGBT模块下半桥的三个二极管芯片41、42和43温度较高,明显高于周围的导热上层铜板和IGBT芯片51、52和53的温度,由于三个二极管芯片41、42和43热耦合作用,二极管芯片42的温度最大,为120.6℃,与整个模块温度最低点的温差相差约51℃。

[0007] IGBT模块内部结构单元示意图参见图4所示,IGBT模块的铜基板3起到支撑整个IGBT模块的作用,另外铜基板还是整个IGBT模块的散热板,由于IGBT模块内部充满了硅凝胶,IGBT模块产生的热量只能通过铜基板向下传递,然后导出IGBT模块外部。下层焊料层7、下铜层8、陶瓷层15和上铜层6是一体式结构,称为覆铜陶瓷基板,其作用是传导IGBT芯片或二极管芯片产生的热量到铜基板3;覆铜陶瓷基板还是非常好的绝缘层,可以提供IGBT芯片或二极管芯片之间的电绝缘功能,可以有效防止IGBT芯片10和二极管芯片13向铜基板被高电压击穿或漏电。覆铜陶瓷基板的下铜层8通过下焊料层7和铜基板3焊接到一起,上铜层6通过上焊料层9与IGBT芯片10和二极管芯片13焊接到一起。为了提高IGBT芯片10和二极管芯片13的焊接可靠性,在IGBT芯片10和二极管芯片13又分别覆盖了一层铝箔层11和14,键合线12焊接在了IGBT芯片10和二极管芯片13的铝箔层上,然后再焊接到了上铜层6上,键合线的作用导通连接芯片和电极,提供导通电流和电压。

[0008] 通过以上描述可以看到,一个IGBT模块包括两层焊料层和键合线焊接点。铜基板3、覆铜陶瓷基板(包括8、15和6)、IGBT芯片10、二极管芯片13、键合线12、下焊料层7和上焊料层9是通过焊接在一起才形成了IGBT模块。以上这些材料的热膨胀系数是不相同的,若IGBT芯片10或二极管芯片13局部发热不能快速散出去,就会造成IGBT芯片10或二极管芯片13局部热集聚升温,IGBT芯片10或二极管芯片13与焊接这些芯片材料由于热膨胀系数不同,在它们的焊接处产生内应力,容易出现焊接层翘起、开焊或裂缝等缺陷,影响IGBT模块的可靠性和使用寿命。在循环热应力的作用下,IGBT模块失效速度加快。

[0009] 目前广泛使用的IGBT模块散热片是传统风冷散热片或传统水冷散热片。传统风冷散热片安装在了IGBT模块的铜基板上3,仅仅是增加了铜基板的散热面积,可以整体降低IGBT模块的温度。一般可以减低IGBT模块温度5~20℃,采用强制风冷散热片可以降低IGBT模块温度为10~30℃。传统风冷散热片一般应用到IGBT模块发热量不大的场合、室外使用场合或采用水冷散热片不方便的场合,室内使用需要对室内空气进行二次制冷。

[0010] 传统的水冷散热片仅是在冷却板内加上了水冷通道,热量由水携带带走。水冷通道的设计导致水冷板温度是不均匀的,靠近水冷通道的地方温度低,远离水冷通道的温度高,水冷板上的温度梯度是固定不可调节的。也就是说传统的水冷散热片仅仅提供了一个水冷金属板去冷却IGBT模块,完全没有考虑到IGBT芯片局部需要加强散热。

发明内容

[0011] 为克服现有技术的不足,本发明提供一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统。该水冷散热系统能够解决逆变工况下或整流运行工况下,IGBT模块内部结温或壳温分布不均匀的问题,解决IGBT芯片局部需要加强散热的问题,提高了IGBT模块使用可靠

性和使用寿命。

[0012] 本发明解决所述技术问题的技术方案是,设计一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统,其特征在于,包括安装在IGBT模块的铜基板背面上的导热板,二者接触处涂有导热硅脂以加强导热;还包括安装在导热版表面上的冷却系统座;冷却系统座与导热板之间形成腔体结构,冷却系统座上设有冷却液注入口和排液口,冷却液注入口设置在冷却系统座的中部,排液口设置在冷却系统座的四周,在冷却系统座与导热板之间形成的腔体结构内部安装有匀流板;匀流板与冷却液注入口一侧的冷却系统座之间形成匀流腔,匀流板与导热板之间形成换热腔,排液口通过冷却液汇流槽与换热腔连通;匀流板上设置有调温孔和匀流孔,调温孔的尺寸较匀流孔大,调温孔的位置正对于位于其上方的IGBT芯片或二极管芯片。

[0013] 与现有技术相比,本发明有益效果在于:本发明水冷散热系统的冷却系统座和匀流板的设置,可以实现在IGBT模块发热量大的地方加大冷却液流量,可以实现铜基板温度基本上没有温差,降低了IGBT模块内部的热应力,可使基板焊料层退化速度减慢,提高IGBT模块可靠性和使用寿命。

附图说明

[0014] 图1为英飞凌FF300R17ME4型号IGBT模块内部结构示意图。

[0015] 图2为英飞凌FF300R17ME4型号IGBT模块逆变工况下稳态结温分布云图。

[0016] 图3为英飞凌FF300R17ME4型号IGBT模块整流工况下稳态结温分布云图。

[0017] 图4为一种实施例的IGBT模块内部单元结构示意图。

[0018] 图5为本发明水冷散热系统在IGBT模块逆变工况下一种实施例的主视结构示意图(局部纵向剖视)。

[0019] 图6为本发明水冷散热系统在IGBT模块逆变工况下一种实施例的仰视结构示意图。

[0020] 图7为本发明水冷散热系统在IGBT模块整流工况下一种实施例的主视结构示意图(局部纵向剖视)。

[0021] 图8为本发明水冷散热系统在IGBT模块整流工况下一种实施例的仰视结构示意图。

[0022] 图9为本发明水冷散热系统在IGBT模块逆变工况下一种实施例的细节设计流程图。

具体实施方式

[0023] 下面结合实施例及附图详细叙述本发明。实施例是以本发明所述技术方案为前提进行的具体实施,给出了详细的实施方式和过程。但本申请的权利要求保护范围不限于下述的实施例描述。

[0024] 本发明提供一种计及运行工况的大功率IGBT模块水冷散热系统(简称水冷散热系统,参见图5-9),包括安装在IGBT模块的铜基板3背面上的导热板22,二者接触处涂有导热硅脂以加强导热;还包括安装在导热版22表面上的冷却系统座23;冷却系统座23与导热板22之间形成腔体结构,冷却系统座23上设有冷却液注入口29和排液口24,冷却液注入口29

设置在冷却系统座23的中部,排液口24设置在冷却系统座23的四周,在冷却系统座23与导热板22之间形成的腔体结构内部安装有匀流板25;匀流板25与冷却液注入口29一侧的冷却系统座23之间形成匀流腔28,匀流板25与导热板22之间形成换热腔21,排液口24通过冷却液汇流槽31与换热腔21连通。匀流板25上设置有调温孔26和匀流孔27,调温孔26的尺寸较匀流孔27大,调温孔26的位置正对于位于其上方的IGBT芯片5或二极管芯片4(逆变工况下正对IGBT芯片5,整流工况下正对二极管芯片4,两种情况不同时出现)。

[0025] 导热板22采用紫铜材料,表面镀银或镀金处理,增加导热性和防止腐蚀。导热板22在保证强度的前提下越薄越好,减少导热板的热容。在IGBT芯片5对应的导热板22外侧位置上设置有散热片30,或在二极管芯片4对应的导热板22外侧位置上设置有散热片30;所述散热片30为指状或放射状,增加导热板22局部与冷却液体的接触面积,利于IGBT芯片局部热量的快速导出。

[0026] 本发明使用的冷却液是工业冷却水,进水温度是10~15℃,回水温度20~30℃,冷却系统座23的材料采用有隔热作用非金属材料,可以确保冷却水不和大气接触升温。

[0027] 匀流板25是根据对IGBT模块的发热状态进行模拟结果后再进行设计,发热量大的部位匀流板25对应的开孔尺寸大,例如匀流板25上的调温孔26对应的IGBT芯片的位置,发热量小的部位相对的匀流板25对应的开孔尺寸小,例如匀流板25上的匀流孔27对应其他发热位置。匀流板25设计完毕后导入IGBT模块热模型进行校核和再次修改设计,一直到设计到合适的匀流板25。匀流腔体28的冷却液注入口29注入冷却液,在匀流腔体28实现流量分配,然后冷却液通过匀流板25上的大小不一的开孔喷入换热腔21内,进而冷却导热板22,由于匀流板25上对应发热量大的位置开孔尺寸较大,因而导热板22对对应发热量大的位置冷却液流量就越大。在冷却液和导热板22充分热交换后,汇入冷却系统座23内设计的四条冷却液汇流槽31内,在冷却液汇流槽31交汇的四个角内设计有四个排液口24。换热腔21、冷却液汇流槽31和排液口24的设计确保冷却液可以与导热板22充分进行热交换,没有死角。

[0028] 本发明实现了在IGBT模块发热量的地方加大冷却流量,可以实现铜基板3温度基本上没有温差,降低了IGBT模块内部的热应力,可使基板焊料层退化速度减慢,提高IGBT模块可靠性和使用寿命。

[0029] IGBT模块逆变工况下的水冷散热系统细节设计流程图参见图9,结构图参考图5-6。整流工况下的水冷散热系统细节设计流程图与逆变工况下的水冷散热系统设计原理相同,可以使用同一个冷却系统座23,仅需根据整流工况下的IGBT模块发热特点重新设计适合整流工况下的匀流板25就可以实现目的。

[0030] 一般情况下IGBT模块要么在整流工况下使用,要么是逆变工况下使用,一般不会两者都使用。只要给定规定型号的IGBT模块和确定工况使用状态,就可以根据本发明的方法设计出相匹配的水冷散热系统,确保IGBT模块可以快速均匀散热,减少IGBT模块的热不平衡状态,降低热应力水平,尤其是当变频器系统处于低频运行工况下,可以避免IGBT芯片结温因超过最大允许结温而导致的永久性损坏,从而提高IGBT模块的可靠性和使用寿命。

[0031] 上述实施例仅仅以IGBT模块内部一个单元来进行论述,也可以根据IGBT模块不同的结构特点,采用增加水冷散热系统尺寸或采用多个水冷散热系统串联或并联的方式进行组装以达到最大的散热效果。

[0032] 逆变工况下大功率IGBT模块水冷散热系统的设计方法的流程见图9所示。迭代设

计方法如下,首先设计一个IGBT模块水冷散热模型,预先给定一个输入参数,例如:水流量10s1m,冷却水压力0.2Mpa,均流板25上开三种直径的孔,调温孔26孔径为8mm,一号匀流孔的孔径为6mm,二号匀流孔孔径为5mm,调温孔26孔径中心与均流板25的物理中心偏心20mm。然后输入热模型,模拟大功率IGBT模块水冷散热系统工作状态,查看热模型散热均匀性是否复合预先的设计目标,即整个大功率IGBT模块水冷散热系统最高温度不超过50℃,热均匀性最高和最低不超过10℃。通过调整以上参数和反复迭代,设计参数得到以下实施例参数。

[0033] 本发明的另一个实施例是:冷却液采用纯水,水流量20s1m,冷却水压力0.35Mpa,均流板25上开三种直径的孔,调温孔26孔径为5.6mm,一号匀流孔的孔径为4.8mm,二号匀流孔孔径为4.0mm,调温孔26孔径中心与均流板25的物理中心偏心8.56mm。

[0034] 本发明未述及之处适用于现有技术。

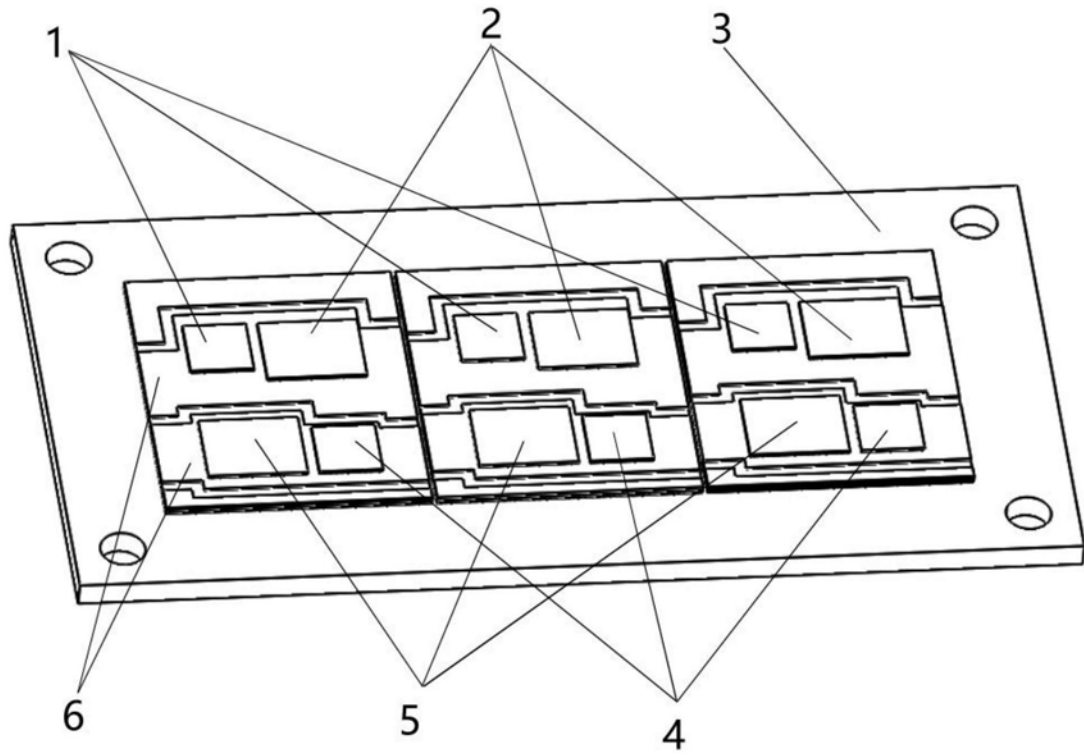


图1

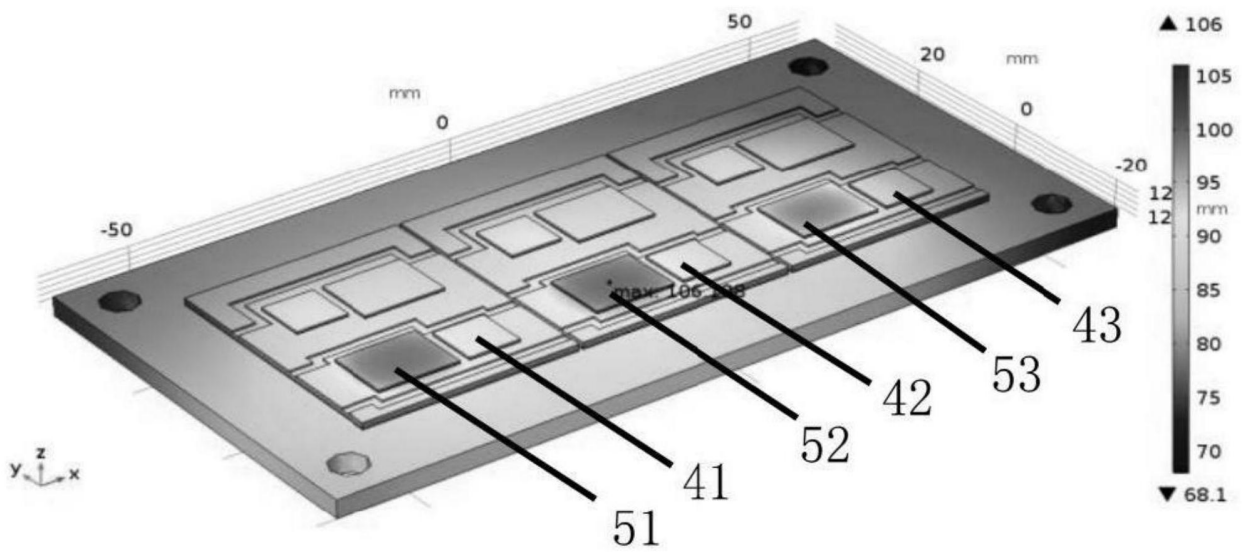


图2

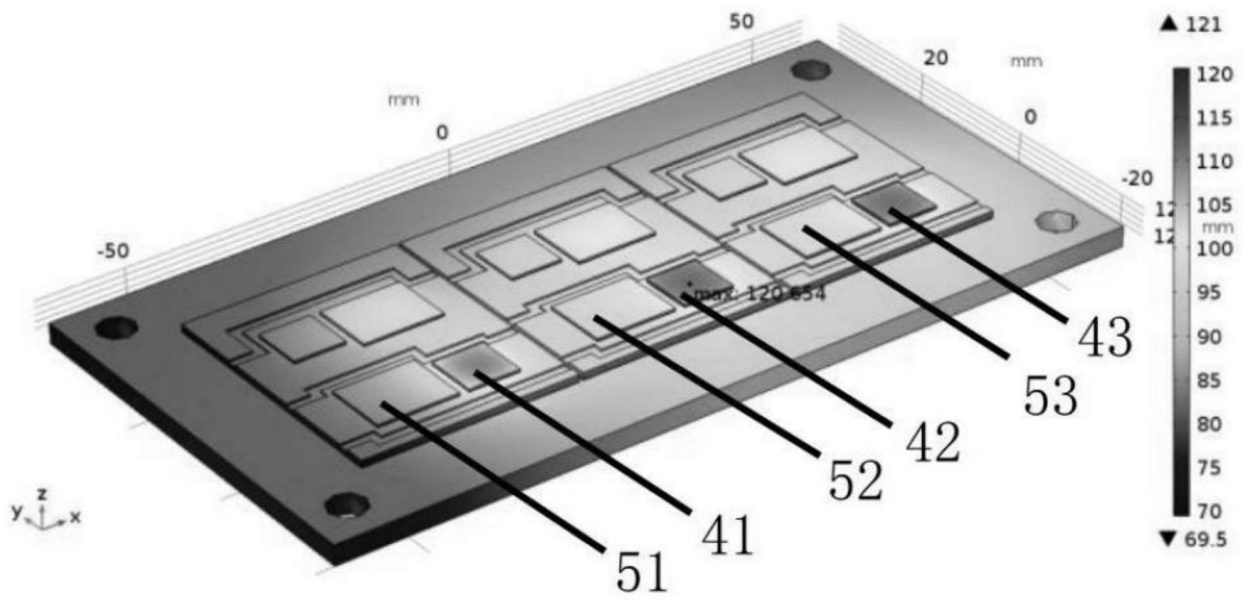


图3

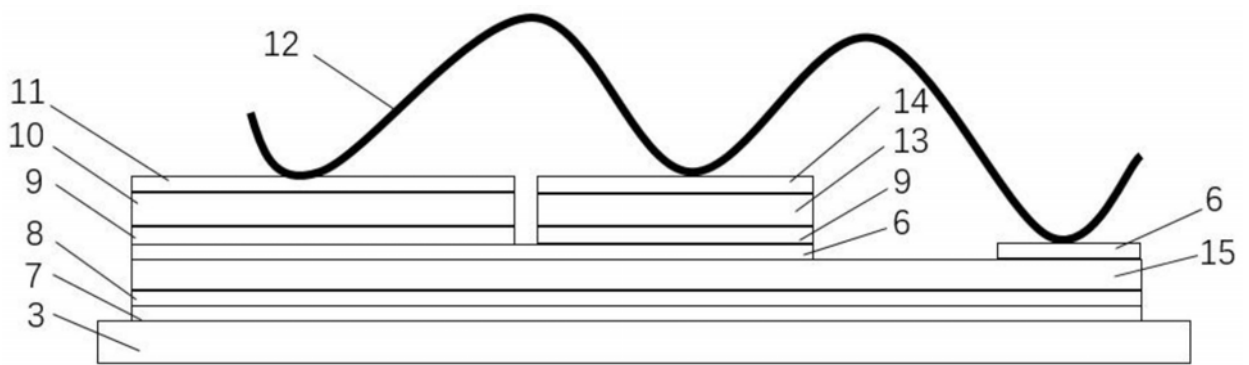


图4

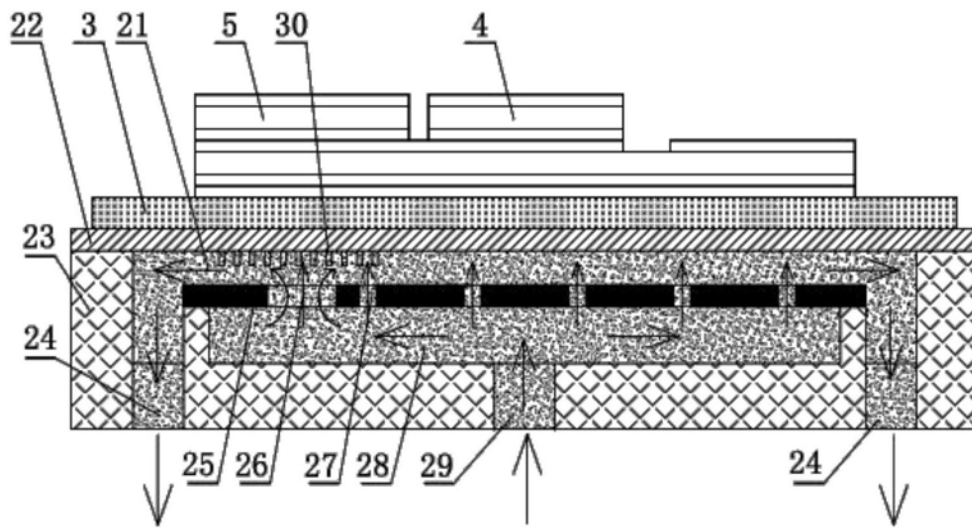


图5

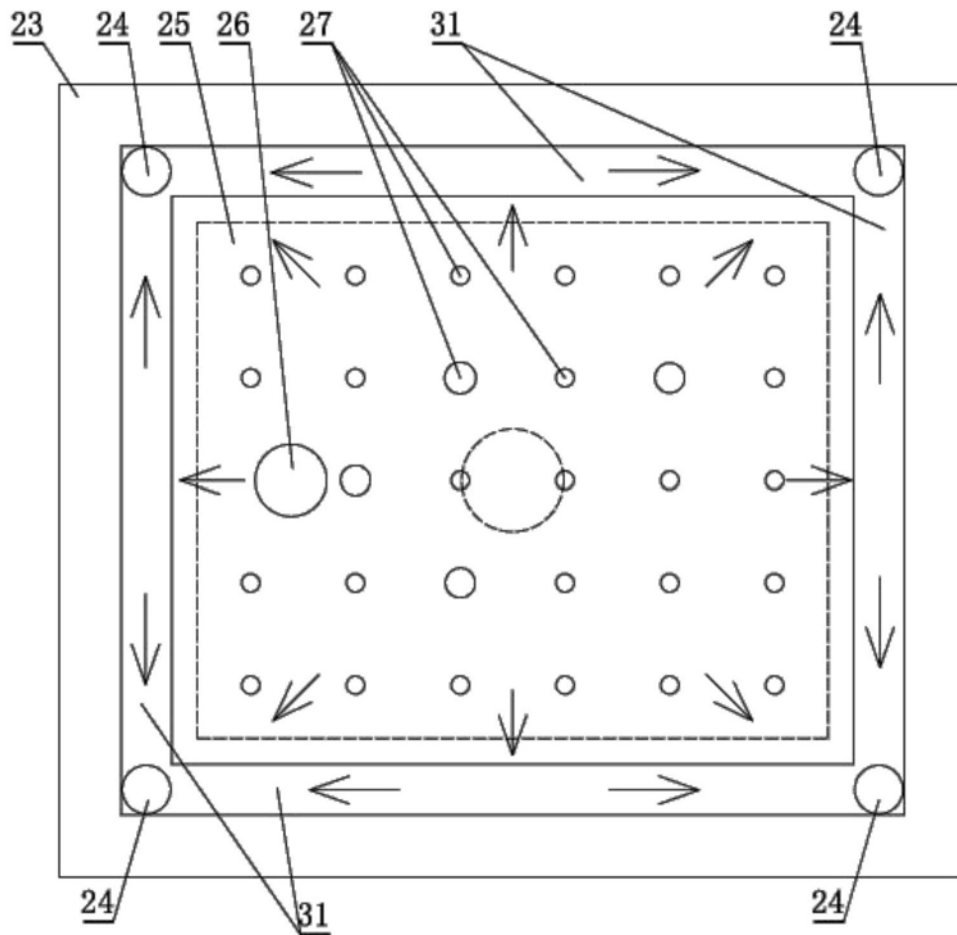


图6

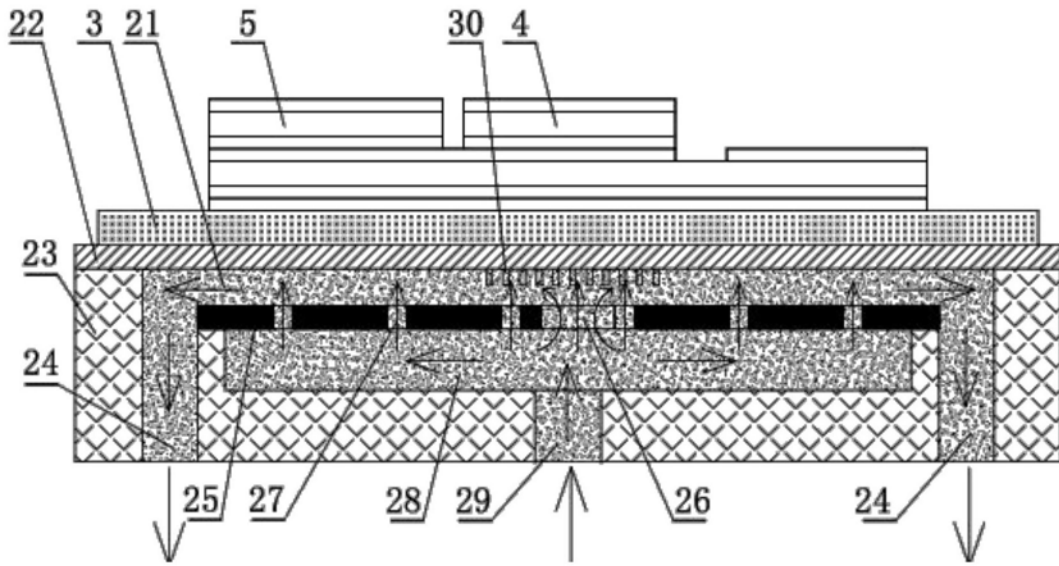


图7

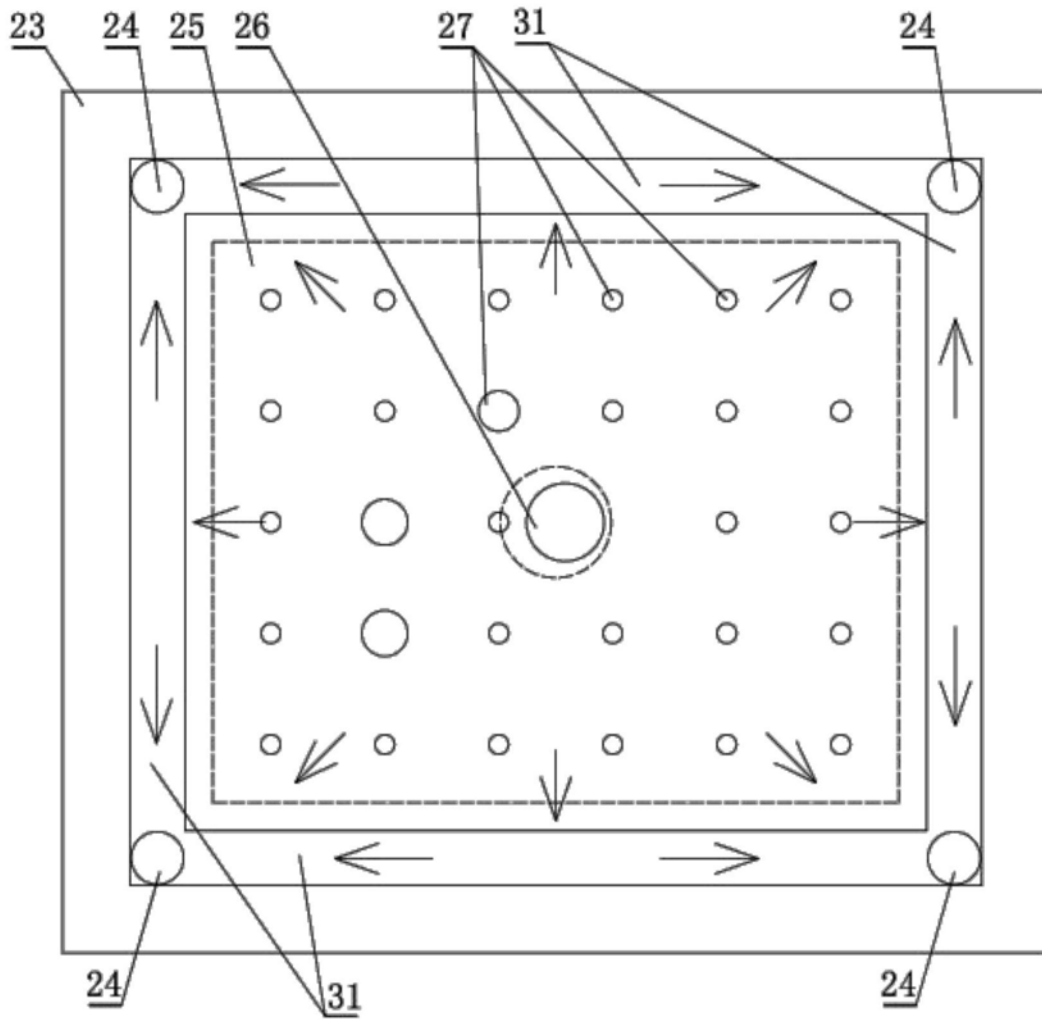


图8

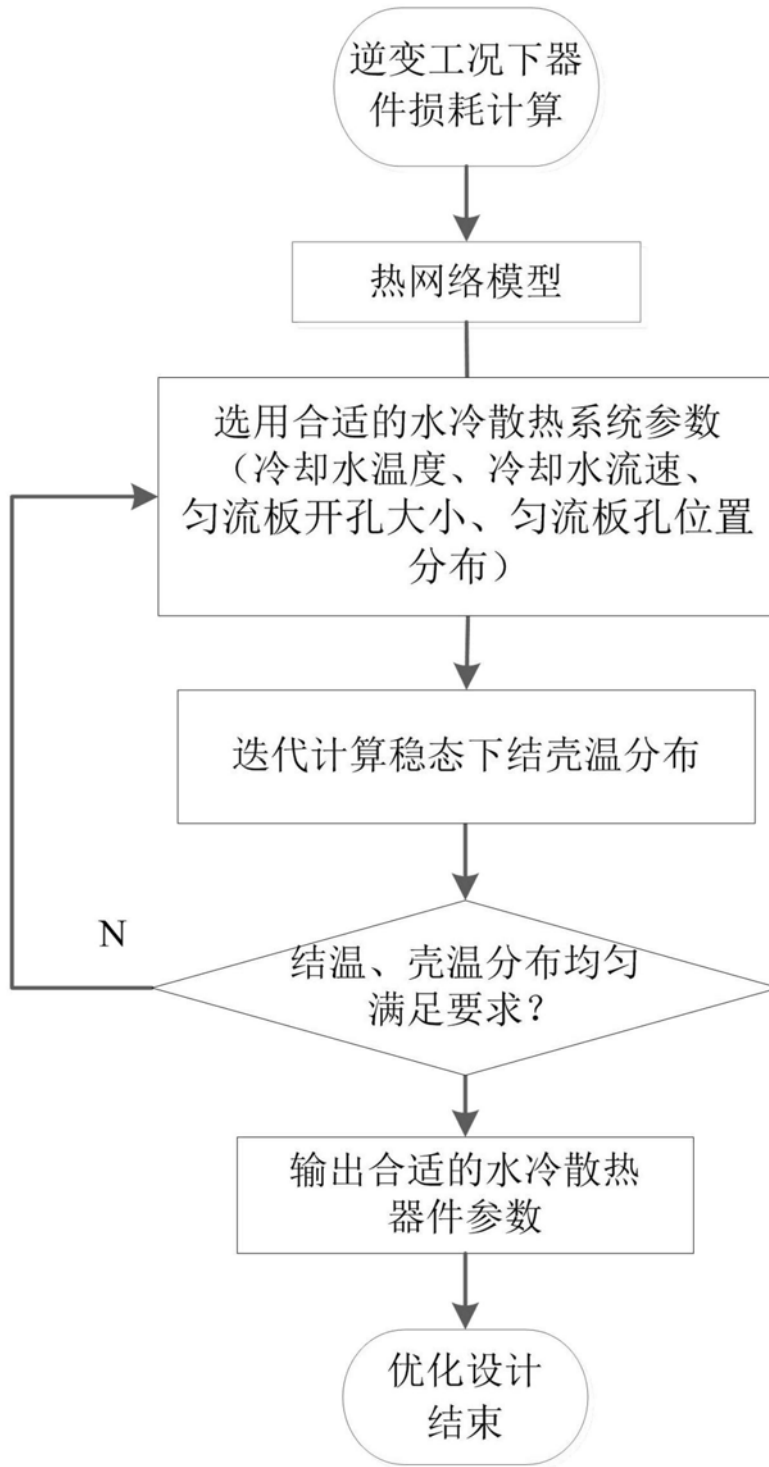


图9