[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
H01L 23/34 (2006.01)
H01L 23/427 (2006.01)
H05K 7/20 (2006.01)

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610011952.9

[43] 公开日 2006 年 10 月 25 日

[11] 公开号 CN 1851908A

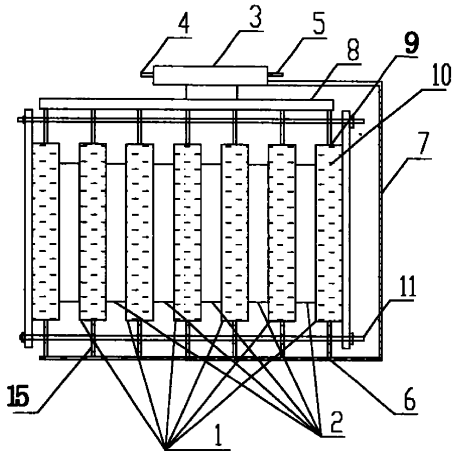
[22] 申请日 2006.5.22
[21] 申请号 200610011952.9
[71] 申请人 中国科学院电工研究所
地址 100080 北京市海淀区中关村北二条 6 号
[72] 发明人 顾国彪 国建鸿 傅德平 田新东 李振国 袁佳毅
[74] 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责任公司
代理人 关 玲
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 1 页

[54] 发明名称

一种功率半导体器件蒸发冷却装置

[57] 摘要

一种功率半导体器件蒸发冷却装置，其蒸发冷却散热器［1］内布置空心管道，散热器上下端部设有进液管［15］和出汽管［9］，管道内充入蒸发冷却介质［10］。大功率半导体器件［2］安装在蒸发冷却散热器［1］的外侧板表面，功率半导体器件［2］工作时产生的热量传至与器件接触的蒸发冷却散热器［1］，根据沸腾换热机理，蒸发冷却介质［10］吸热，在沸点蒸发产生相变，由于密度压差在重力加速度作用下生成的流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质在沸腾点蒸发成汽态上升到冷凝器［3］上部，并与其内的冷却循环水进行热交换冷凝成液体后，重新流回蒸发冷却散热器［1］。本发明体积小，冷却效率高。



1、一种功率半导体器件蒸发冷却装置，包括蒸发冷却散热器[1]和冷凝器[3]，冷凝器[3]置于蒸发冷却散热器[1]之上方，冷凝器[3]中有冷凝管、冷却水或冷风进口[4]和冷却水或热风出口[5]；其特征在于蒸发冷却散热器[1] 散热器内部设有采用型材或铸造制成的管道，管道可以是螺纹管、微肋管、收缩管，或多孔表面管，其形状为矩形、圆形或多边形，散热器[1]上下端部设有进液管[15]和出汽管[9]，管道内充入蒸发冷却介质[10]；蒸发冷却散热器[1]中与器件接触的外侧板表面为光滑平面，功率半导体器件[2]固定在此外侧板表面；大功率半导体器件[2]工作时产生的热量通过器件发热面传至与器件接触的蒸发冷却散热器[1]，蒸发冷却散热器[1]管道内的蒸发冷却介质[10] 在沸点蒸发产生相变，由于密度压差在重力加速度作用下生成的流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质在沸腾点蒸发成汽态上升到冷凝器[3]上部，并与其内的冷却循环水或冷风进行热交换，冷凝成液体后，重新流回蒸发冷却散热器[1]。

2、按照权利要求 1 所说的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于冷凝器[3]为空气冷却管型[3]或空气散热片型[13]；蒸发冷却散热器[1]与空气冷却管型冷却器[3]分体时，两者通过出汽管[9]连通；空气散热片[13]作为冷凝器时，蒸发冷却散热器[1]卧式布置，与立式布置的空气散热片[13]连为一体，空气散热片[13]中设有冷却介质[10]的流通通道，流通通道与卧式蒸发冷却散热器[1]的管道相通。

3、按照权利要求 1 所说的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于可在两个蒸发冷却散热器[1]之间夹装一个或多个功率半导体器件[2]，或多个蒸发冷却散热器[1]中间夹装多个功率半导体器件[2]。

4、按照权利要求 1 所说的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于多个蒸发冷却散热器[1]连通时，蒸发冷却散热器[1]上部通过端部出汽管[9]与均压管[8]连通，下部通过进液管[15]与集液管[6]连通，集液管[6]与回液管[7]连通至上部冷凝器[3]或冷却器[3]。

5、按照权利要求 1 所说的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于蒸发冷却介质循环可以借助泵提供循环动力或无泵自循环。

6、按照权利要求 1 所说的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于蒸发冷却介质其沸腾点不超过 70℃。

7、按照权利要求 1 所说的的功率半导体器件的蒸发冷却装置，其特征在于可在功率半导体器件[2]与蒸发冷却散热器[1]之间涂抹导热脂（胶）。

一种功率半导体器件蒸发冷却装置

技术领域

本发明涉及功率半导体器件的一种冷却装置，尤其是涉及功率半导体器件的蒸发冷却装置。

背景技术

随着高压交流输电技术、交流变频调速技术等方面日益广泛应用，电力电子装置的紧凑型和可靠性问题越来越受到广大电力技术人员的关注。在影响电力电子装置可靠性的多种因素中，散热是至关重要的一个。大功率半导体器件（亦称电力电子器件）工作时所产生的热量，将导致芯片温度的升高，如果没有适当的散热措施，可能使芯片的温度超过所允许的最高结温，从而导致器件性能的恶化以致损坏。所以在电路设计中，选择适当的散热方式，并进行合理的设计，是使器件的潜力得到充分发挥，提高电路可靠性不可缺少的重要环节之一。

现代电力电子装置一般采用空气冷却或者水冷。应该说，从散热的角度来说，水冷是非常理想的。但是，水循环系统工艺要求高，安装复杂，维护工作量大，而且一旦漏水，会带来安全隐患。所以，能够用空气冷却解决问题的场合，就不要采用水冷。采用水冷必须解决冷却水的纯度和长期运行时系统的可靠性及腐蚀两大问题。总之，开发和选择新型高效散热技术对电力电子装置进行冷却，是保证装置可靠性和缩小设备体积的一个重要措施。

中国专利200320129492.1公开了一种大功率电力电子器件蒸发冷却装置，包括蒸发冷却箱8和冷凝器9，冷凝器9置于蒸发冷却箱8之上方，冷凝器9中有冷凝管3、进水口1 和出水口2；蒸发冷却箱8与冷凝器9连为一整体或与冷凝器9分体，两者通过连接管7连通；蒸发冷却箱8中与器件接触的壁面为平面，内充有冷却液5，功率模块4固定在蒸发冷却箱8的外侧板表面。这种蒸发冷却箱采用容积式结构，内部体积较大，液体量多，箱体壁面接缝采用焊接方式，上部有出汽口，与器件进行热传递。 经过多次样机试验，发现其结构有以下缺点，如：体积大、焊接面、密封面比较多，使得加工安装维修均不方便；冷却介质成本较高且比重大，灌液量多，成本也高，重量大，同时设计裕度过大。

发明内容

为克服现有技术的缺点，本发明优化了现有技术的设计， 提供了一种改进型的非浸泡方式的蒸发冷却装置。本发明加工更简单、密封性能好、体积小、可以降低成本。可以在某种特殊条件下作用。

本发明由用于安装器件的蒸发冷却散热器和冷凝器组成，冷凝器置于蒸发冷却散热器之上方，用连接管连通，蒸发冷却散热器与器件散发热量的底座接触面为平面，器件紧固于蒸发冷却散热器壁面，冷凝器中有冷凝管，冷凝器外部有进水口和出水口便于连接用户水管，冷凝管内通二次冷却水。蒸发冷却散热器内充蒸发冷却介质，冷却介质采用沸点适中符合环保要求的蒸发冷却介质。

功率半导体器件即电力电子器件用于散发热量的底座安装在蒸发冷却散热器的外侧板表面，蒸发冷却散热器充有冷却介质，功率半导体器件工作时产生的热量通过器件发热面传至与器件接触的蒸发冷却散热器，根据沸腾换热机理，蒸发冷却散热器内的冷却介质吸热，在沸点蒸发产生相变，由于密度压差在重力加速度作用下生成的流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质在沸腾点蒸发成汽态上升到冷凝器上部，并与其内的冷却循环水进行热交换冷凝成液体后，重新流回蒸发冷却散热器。如此的蒸发冷却方式由于相变吸热量大，所以能对大功率电力电子器件进行高效的冷却。该结构功率器件组合安装方便，也可以将功率器件的芯片直接与蒸发冷却散热器封装一体，散热器采用导电金属材料，同时做电极引线，是整个电气系统结构简单且灵活。箱体式结构个功率器件集中在箱体四壁，器件安装和电气连线不方便。

本发明蒸发冷却散热器为管道式结构，散热器内部为空心管道，可以是螺纹管、微肋管、收缩管，或多孔表面管，采用型材或铸造制成，以减少焊接面。散热器上下端部设有进液口和出汽口。冷却介质在管道内流动，与器件进行热传递。由于采用了管道式结构，本发明比中国专利200320129492.1的结构体积更小，灌液量小，结构密封面减少。

本发明基于管内流动沸腾换热原理。流动沸腾是指液体在压差作用下，以一定的流速流经加热面时所发生的沸腾现象。现有技术的蒸发冷却箱容积式结构，采用大容积沸腾换热原理，所谓大容积饱和沸腾是指加热面被浸润在无强制对流的液体中所发生的沸腾现象。由于加热面处得气泡生长受流体流动方向上的附加作用，是当地的气化过程发生变化，如改变起始沸腾条件、减小气泡脱离直径，增加气泡逸离频率，影响气泡聚合过程等，因此，管内沸腾的机理要比大容积沸腾更为复杂。影响管内沸腾的因素很多，首先是液体在管内流动速度的影响，按强迫流动的对流放热方程式

$$Nu_f = 0.021\mathrm{Re}_f^{0.8}.\mathrm{Pr}_f^{0.43}.(\mathrm{Pr}_f/\mathrm{Pr}_w)^{0.25}$$

当热负荷很低，即沸腾很弱时，放热系数α基本上与不沸腾时的对流放热相一致。只在流速w很小时才显示出沸腾对放热的增强作用，当q不断增大时，α的数值也不断增大，流动速度的影响则逐渐减弱；只有流速很高时，才显示出对α有影响。

管内沸腾时临界状态的到来在很大程度上取决于形成的汽泡从受热面上脱离的条件。所以流动速度提高时，汽泡容易被液流从受热面上冲走，使临界点来得晚一些，从而提高了q_{KP}（临界热负荷）的数值。

管内蒸汽含量的多少对沸腾放热也有很大的影响，上述关于液体在管内流动沸腾的放热系数的关系式，是指沸腾时液体内蒸汽含量不大的状况，当单位容积内蒸汽含量很大时，α就迅速增加，这是因为占容积大部分的蒸汽在管子中心流动，而液体则被挤向壁面形成一层薄膜，这层薄膜在高速地流动着，从而形成了放热的有利条件，提高液体的换热效率。

大容积沸腾时，由温差引起的自然对流，流动沸腾是以一定的流速流经加热面，与气泡方向相同的沸腾现象，对核态沸腾传热有强化作用，并且管径越小，强化作用越明显，h自然对流$<h$流动对流。

由于采用管道结构，可以通过改变流道的表面形状，以提高强制对流换热系数，管道可以采用各种形式的内肋管、内螺旋管、缩放管、横纹管等，如采用垂直上升螺纹管，其传热系数是光管的1．6～2倍．或采用内部微肋管，微肋管传热系数是光管的1．2～ 1．5倍，改变流道形状可使沸腾得到强化，原因是由于流体质点速度变化或产生的剧烈漩涡，不断冲刷流动边界层，使流动边界层和传热边界层相应地减薄，从而可提高传热效率。多孔表面管也是一种在光滑表面上覆盖多孔层后所形成的换热，它也能对沸腾换热进行显著的强化。按加工工艺不同，分为烧结型、机械加工型、喷涂型及电化学腐蚀型等四种。其传热系数可达光滑表面的5倍左右。多孔表面之所以能够取得较好的强化换热效果在于它有大量的气化核心和较高的气泡脱离频率，两相流速提高，使传热系数升高，同时，其结构特点使得多孔层中可以建立起稳定的气液两相流动与传热传质循环。

中国专利200320129492.1的箱体结构属于自然对流传热，本发明采用管道式结构和多种强化传热的措施，提高对流传热效率，因此从原理分析，本发明传热效果更好。蒸发冷却散热器内部管道结构可以根据热负荷能力、介质流速等参数及临界热流密度交互计算来确定。

因为功率器件的故障率随结温的升高按指数函数增加，因此器件运行时必须保证其内部的结温始终保持在允许的结温之内。为降低器件结温，须设计热阻尽可能低的热流通路，使器件的热量能通过它尽快发散出去，根据传热学的基本原理，即要提高对流换热系数及降低表面接触热阻。由上述可知本发明管道式结构比中国专利200320129492.1的箱体结构的换热系数提高。为降低表面接触热阻即可以减小散热器与元件发热面接触的壁厚，可以采用导热性好的金属（如紫铜），且在接触面之间添导热性好的硅脂，以减小接触面之间的空隙，这些措施均可以减小热阻。

本发明冷却效率高，结构相对简单，器件安装和检修方便，同时由于冷却介质本身具有

绝缘性，因此提高了器件的可靠性，无水冷的结露、水路电位不固定、水路堵塞、腐蚀等带来的故障以及水处理设备的投资，经济性较好。

附图说明

图1a为本发明实施例之一：空气冷凝器式蒸发冷却散热器分体式结构示意图，图1b为散热器内部侧视图；

图2a为本发明实施例之二：水冷凝器式多个蒸发冷却散热器并联结构示意图，图2b为散热器侧视内部剖面图；

图3a是本发明实施例之三：外部风冷式蒸发冷却散热器一体式结构示意图，图3b是散热器正视内部剖面图。

图中：1 蒸发冷却散热器、 2 功率半导体器件、 3 水冷凝器或空气冷却器、4 冷却水或风进口、 5 冷却水或风出口、 6 集液管、 7 回液管、 8 均压管、 9 出汽管、10 蒸发冷却介质、 11 固定螺栓、 12 电连接头、 13 散热片、 14 散热器壳体、15进液管。

具体实施方式

下面结合附图和具体实施方式对本发明进一步说明。

本发明的一个实施例如图1a所示，空气冷凝器式蒸发冷却散热器分体式结构。冷凝器为空气冷却器3，蒸发冷却散热器1与空气冷却器3分体，空气冷却器3置于蒸发冷却散热器1之上方，两者通过出汽管9连通，风机从进口4吹进冷风，从出口5吹出来。蒸发冷却散热器1外部尺寸：宽X厚X高为100mmX30mmX630mm 。如图1b所示，蒸发冷却散热器1宽100mmX厚 30mmX高590，内部为宽90mmX厚15mmX高590的方形管道，内表面喷涂为多孔表面，增加气化核心和提高的气泡脱离频率，强化换热效果。在散热器1的内部充入蒸发冷却介质10。蒸发冷却散热器1的外侧板表面加工成光滑的平面，安装功率半导体器件2。功率半导体器件2的热量通过蒸发冷却散热器1的外侧板传至其内的蒸发冷却介质10，冷却介质10在沸点蒸发，产生相变吸热，由于密度压差在重力加速度作用下生成的流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质10在沸腾点蒸发成汽态上升到空气冷却器3上部，并与其内的冷空气进行热交换凝结成液体后，重新流回蒸发冷却散热器1。这种方式的空气冷却器或水冷凝器放置比较灵活，结构简单，维修方便。多个功率器件安装在同一表面，由于采用铜等导电材料作散热器，可以不用再在器件极板引出电连接线，可用散热器兼做电极板引线，通过电连接头12与外部电源线连接。如图1b为内部结构剖面图所示。

实验表明：此实施例工作电流为 2520A，压力为 0.008MPa 时，功率半导体器件 2 平均壁温 63℃，壳温 76℃内；工作电流为 2520A，压力为 0.015MPa 时，功率半导体器件 2 平均壁

温64℃，壳温可控制在78℃内；工作电流为2520A，压力为0.0225MPa，电压3.79v，功率为3528w时，功率半导体器件2平均壁温65℃，壳温可控制在78℃内；随着蒸发冷却散热器1内的冷却介质蒸汽压力升高，壳温会有略微升高，这是因为冷却介质10的沸点随压力升高而升高，引起壁温升高，如果为负压，壁温会降低，壳温也会随着降低。

采用非浸泡式蒸发冷却方式冷却大功率器件可以达到理想的冷却效果。而且一个散热器可以冷却多个功率器件，结构简单冷却效率高。

本发明的另一个实施例，多个蒸发冷却散热器并联与水冷凝器分体式如图2a所示，6个蒸发冷却散热器1通过出汽管15及均压管8连通，在其顶部与水冷凝器3连通，冷凝器装有冷凝管。功率半导体器件2夹装在蒸发冷却散热器1的外侧板表面之间，用固定螺栓11固定。为提高导热率，蒸发冷却散热器1为空心壳体，外表面加工光滑平整。散热器1内部结构如图2b所示，在散热器1的内部，以宽度方向并排均布的9根直径为10mm的内螺旋圆管为中央，外部用铜浇筑成型，并在上下留有汇流的进液管15和出汽管9。在功率半导体器件2与接触壁之间涂抹导热脂以减小热阻，蒸发冷却散热器1内的空心壳体充蒸发冷却介质10，水冷凝器3包括进水口4，出水口5，六个蒸发冷却散热器1上部通过端部出汽管9与均压管8连通，下部通过端部进液管15与集液管6连通，集液管6通过回液管7与顶部冷凝器3连通。功率半导体器件2工作时产生的热量通过蒸发冷却散热器1的外侧板传至其内的冷却介质10，蒸发冷却散热器1内的冷却介质10吸热，在沸点蒸发产生相变，由于密度压差在重力加速度作用下生成的流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质在沸腾点蒸发成汽态上升到冷凝器3上部，并与其内的冷却循环水进行热交换冷凝成液体后，经冷凝器3、回液管7、集液管6和进液管15，重新流回到蒸发冷却散热器1。由于采用内部管道，强化了核态沸腾，提高换热效率。

本发明实施例之三：外部风冷式蒸发冷却散热器一体式结构如图3a所示。卧式布置的蒸发冷却散热器1与立式布置的空气散热片13连为一体。空气散热片13中设有冷却介质10的流通通道，这些通道与卧式蒸发冷却散热器1的管道相通，其内部结构如图3b所示。蒸发冷却散热器1底板宽X厚X长为100mmX30mmX200mm,内部宽X厚X高为80mmX24mmX180mm的空心长方体，上部为内部空心的圆柱体散热片，增加换热面积，提高冷却效果，类似热管散热片。散热器1内充满蒸发冷却介质10。功率半导体器件2安装在蒸发冷却散热器1的外侧板表面，功率半导体器件2的热量通过蒸发冷却散热器的外侧板传至散热器1内的冷却介质10，冷却介质10在沸点蒸发，产生相变吸热，由于密度压差在重力加速度作用下生成流动压头，克服阻力压降形成一定流量的循环，使冷却介质10在沸腾点蒸发成汽态上升到空气散热片13中，通过空气散热片13与外部冷空气进行热交换，凝结成液体后，经空气散热片13内表面向下流回蒸

发冷却散热器1。这种方式的空气散热片体积小，可以使用在缺水的特殊环境中。多个功率器件安装在同一表面，由于采用铜等导电材料作散热器，可以不用再在器件极板引出电连接线，可用散热器兼做电极板引线，通过连接头12与外部电源线连接，结构简单，安装和维修方便。如图3b所示。

这三种结构的优点是功率半导体器件 2 通过固定螺栓和导热胶（脂）固定在蒸发冷却散热器 1 外侧表面上，安装和检修方便，更换器件时不需要打开蒸发冷却散热器。由于冷却介质 10 的沸点低，从而使得功率半导体器件 2 的最高温度控制在器件结温允许的范围。

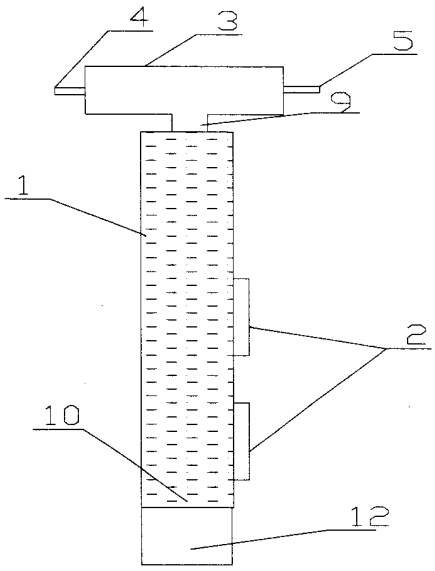


图 1a

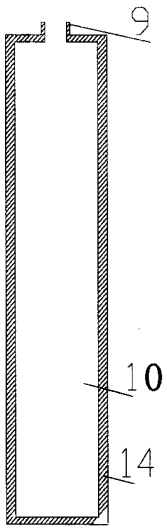


图 1b

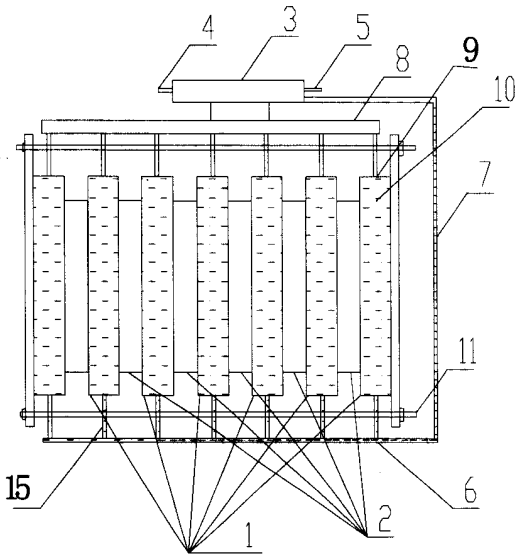


图 2a

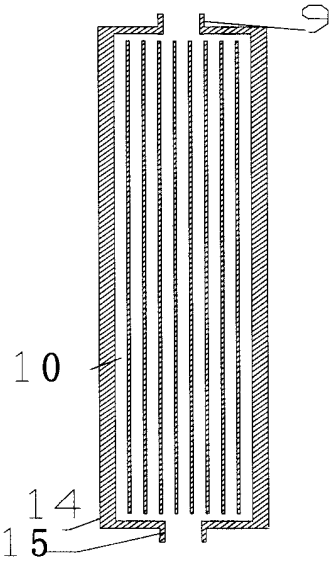


图 2b

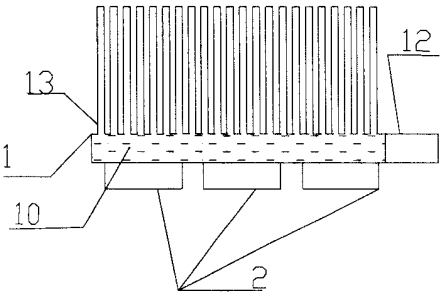


图 3a

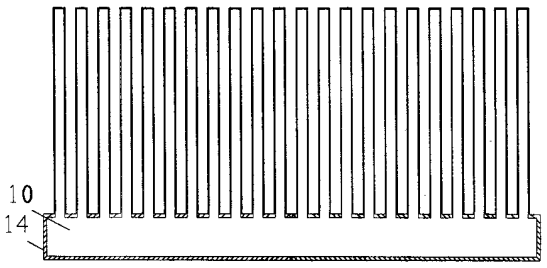


图 3b