

文章编号: 0253-4339(2012)06-0052-05

doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2012.06.052

多芯片平板热管散热器性能的实验研究

韩晓星 田智凤 赫文秀 王亚雄

(内蒙古科技大学 化学工程与工艺系 包头 014010)

摘要 设计了一种新型多芯片平板热管散热器,通过测试模拟芯片的表面温度,对散热器在不同空气流速、芯片数目及位置和加热功率下的散热性能进行了实验研究。测试结果表明:在环境温度为20℃、芯片表面温度控制在80℃的条件下,散热器水平使用时,单芯片、双芯片和三芯片的最大散热能力分别为310W,390W和500W;散热器垂直使用时,其最大散热能力分别为275W,408W,500W。由此得出,多芯片平板热管散热器的散热性能较单芯片散热器具有更大优势。实验结论与平板热管的热扩散效果吻合良好,而且符合现代电子器件散热的要求。

关键词 热工学;平板热管;多芯片冷却;电子器件;散热器

中图分类号: TB657.9; TK124; TK172.4

文献标识码: A

Experimental Investigation of the Thermal Performance of Flat Heat Pipe Heat Sink for Multi-chip Cooling

Han Xiaoxing Tian Zhifeng He Wenxiu Wang Yaxiong

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, 014010, China)

Abstract A novel flat heat pipe heat sink for multi-chip was designed, and the thermal performance of the heat sink in different air speed, chips numbers and positions, heating power was experimentally investigated. The experimental results showed that the maximum heat transport capacity of the heat sink with one, two and three heat sources were 310W, 390 W and 500 W respectively in the horizontal position, and 275W, 408W, 500W in the vertical application when the chips temperature was less than 80℃ and the ambient temperature was 20℃. For the flat heat pipe heat sink, multiple chips cooling can dissipate more heat than unique source. The results were found to agree well with the experimental data about the thermal spreading effect of the flat heat pipe. It was shown that flat heat pipe accords with the requirements of electronic devices cooling.

Keywords Pyrology; Flat heat pipe; Multiple chips cooling; Electronic devices; Heat sink

随着微电子技术的迅猛发展,电子器件的微型化已成为现代电子设备发展的主流趋势。电子器件特征尺寸的不断减小,芯片的集成度、封装密度以及工作频率不断提高,使得芯片的热流密度和热负荷迅速升高,对装置的可靠性造成极大威胁^[1-2]。为了保证电力电子设备的正常运行,需要使内装电子元件维持在一定温度范围内运转。这是因为电子元件的性能对温度非常敏感,温度过高或过低,元件性能将显著下降,不能稳定工作,从而也将影响到整个系统的可靠运行。因此迫切需要采用高效散热技术来解决此问题,这也是国内外该领域众所关心的一个重要课题之一^[3]。芯片技术发展对高性能冷却的迫切要求与实际应用的广阔市场空间,使得对极高热流密度芯片、微系统的散热冷却研究一直成为非常重要而又活跃的研究领域^[4]。平板热管作为一种新型的热管技术,由于其质量轻、

热导率高、启动性和均温性良好,且由其做成的平板热管散热器的热管蒸发端与散热器底板面积相同,与芯片接触紧密,热阻小,故更能体现热管的传热特性,成为解决电子散热问题的很有前途的技术之一。

在大规模生产的制冷装置和精度较高的装载应用程序中,用的都是焊接上翅片的平板热管,所用平板热管独特的三维吸液芯为进一步研究微型热管的传热机理及优化设计打下了基础。前人已经对平板热管做了大量的理论和实验研究^[1, 5-12],但是由于多芯片分布造成不均匀的热负荷分布,以往应用于单芯片热管传热研究的传统的分析方法将不再适用,对多个芯片在平板热管上的分布和优化是一个崭新的研究领域。目前的工作是研究由改进平板热管所做散热器的性能特点,对三芯片嵌入式高性能平板热管散热器进行改进、制造和实验验证。为

收稿日期: 2012年1月13日

了考察该散热器的工作特性及设计的合理性，并找到芯片的最佳数目及位置，利用所建立的性能测试系统进行了大量的实验研究。

实验有三个目的：首先，研发一种高性能平板热管散热器；第二，检测多芯片散热器的最大传热量和散热能力；第三，确定各种操作条件对该散热器传热能力的影响。

1 实验平板热管散热器结构

平板热管散热器结构如图1所示，尺寸为254mm×50mm×36mm。平板热管(FHP)的规格为254.0mm×30.0mm×3.0mm，由四根平板型热管并列紧密的排列在一起组合而成，绕开了传统平板热管死角的问题，能够承受瞬态操作条件下热管内的压力变化，内部结构为微孔隙烧结芯，这种毛细结构能承受高热流密度，并且制造成本较低。其壳体和吸液芯材料均为紫铜。纯水作为工作介质，在高温炉内通过无铅焊锡将翅片焊到平板热管上，翅片通过对流散热的方式将热量传递到空气中。翅片是由厚度0.4mm，间距为2.4mm的铝片构成。中间部分排布有27个翅片，两侧各有13个翅片。加热段上方加铺一块厚2mm的铜板模拟电子芯片的垫片，并保持平面接触。平板热管换热器有三个加热段(即热管的蒸发段)，尺寸相同，均为36mm×20mm。

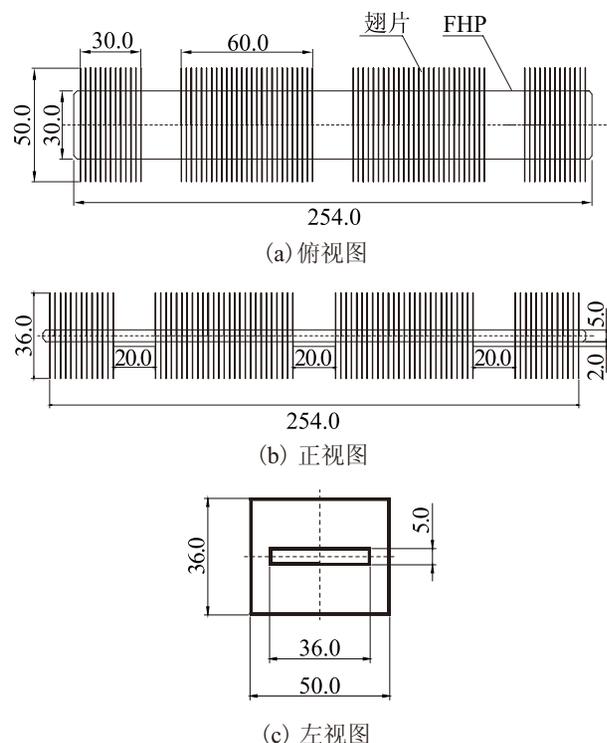
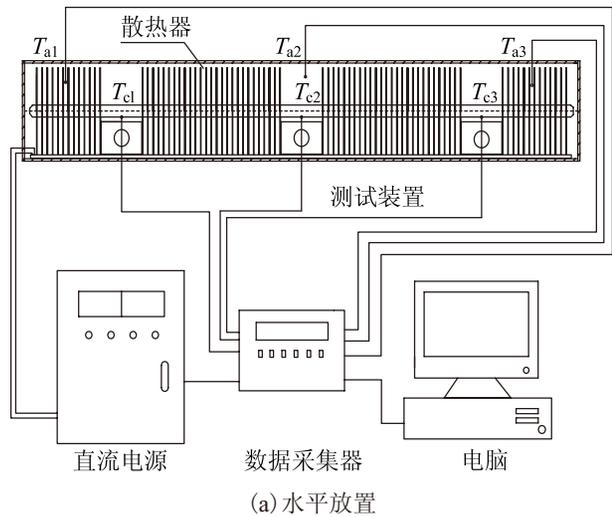


图1 散热器的结构图

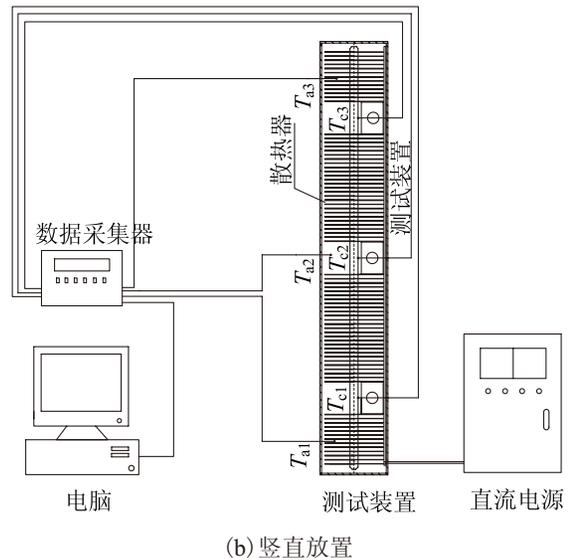
Fig.1 Configurations of the flat heat pipe heat sink

2 热管散热器的测试系统及方法

2.1 测试系统



(a) 水平放置



(b) 竖直放置

图2 实验测试装置图

Fig.2 Experimental test scheme

实验测试装置如图2所示，测试系统由以下各部分组成：多芯片平板热管散热器、模拟电子元件发热管、加热系统(由电热管加热，直流电源控制输入电流)、风扇(吸入式)、风速控制系统、风速测试系统(OMEGA 测速仪)以及过程测温系统(包括铜-康铜热电偶、FLUKE 2680A 数据采集仪和计算机)。风洞测试段的尺寸为254.0mm×36.0mm。在三个25mm×20mm的电木中分别插入一个规格相同的电加热管作为加热段(蒸发段)，在加热垫片和平板热管表面之间涂上导热硅脂，并用螺丝将平板热管和底座压紧，以减小接触热阻，有效提高散热效率。在平板热管的蒸发段和绝热段的外围均包有保温棉以减少热量损失。同时，在风洞的进口处

安置三个热电偶，来测定环境温度。热电偶直接与型号为FLUKE 2680 A的数据采集系统相连，并由电脑显示和处理数据。通过调节加热电压得到不同的加热功率。通过实验来测定改进的这种多芯片平板热管散热器在各种操作条件下的散热性能。

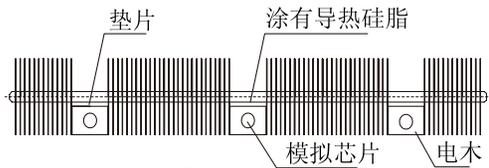


图3 散热器应用示意图

2.2 测试方法

在每次测试之前，大约需要30min稳定系统。然后打开电源，将电源升高到预定的电压和电流。在各种工况中，每根热电偶的温度随时间的变化在10 min内均不超过0.5℃，则认为热管已经达到稳定的工作状态。此时，测量和记录下各测试点的温度和实验的其他参数。然后逐渐增加加热功率，重复上述操作直到烧干为止，在这个极限点，蒸发段温度和热阻都将会出现急剧地上升现象。此时的输入功率为散热器在该功率和操作温度下的最大传热量^[12]。然后改变冷空气流速，按照上述步骤进行实验。通过上述实验步骤，分别对单芯片，双芯片和三芯片散热器散热性能进行测试，多次实验后确定不同操作温度下热管的最大传热能力。当散热器横向放置时，有五种测试情况：1)单芯片在一侧；2)单芯片在中间位置；3)双芯片处于相邻的位置；4)双芯片分别置于散热器的两侧(相间)；5)三芯片。当散热器纵向放置时，有七种情况：单芯片分别置于散热器的上、中、下三个位置；相邻的双芯片上中、中下两个位置；两芯片相间；三芯片。

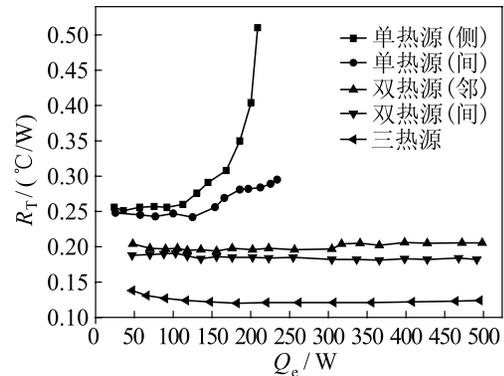
3 实验结果与分析

在电子设备的操作中，节点温度要求必须控制在所要求的热负荷以下。芯片节点的最高温度取决于通过散热器的热流量、散热器的热阻、对流特性和系统的环境温度。测试散热器性能的最佳方法就是通过其热阻来确定，对于整个散热能力来说，散热器的热阻为所有芯片表面的最高温度与环境温度之差除以总热流量所得的值^[9]。在实验范围内，各个工况下的热量损失均不超过加热功率的10%。微型热管的实际受热功率可以通过电加热功率除去热量损失得到。

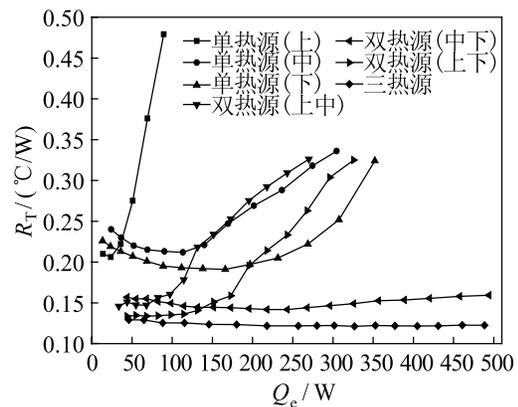
$$R_T = \frac{T_s - T_a}{Q_c} \quad (1)$$

式中： R_T —散热器总热阻，℃/W； T_s —芯片的最高温度，℃； T_a —环境温度，℃； Q_c —受热功率，W。

3.1 加热功率及芯片位置对散热器热阻的影响



(a) 散热器横向放置时的总热阻



(b) 散热器纵向放置时的总热阻

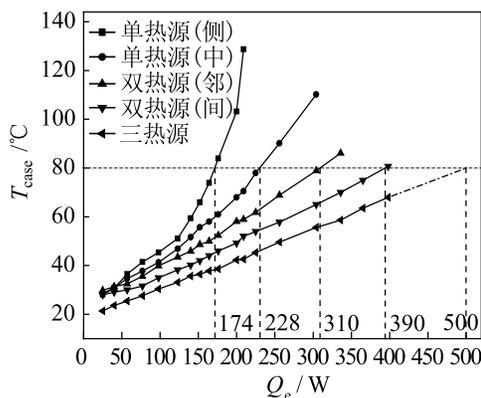
图4 不同情况下散热器总热阻

Fig.4 Overall thermal resistance of the heat sink

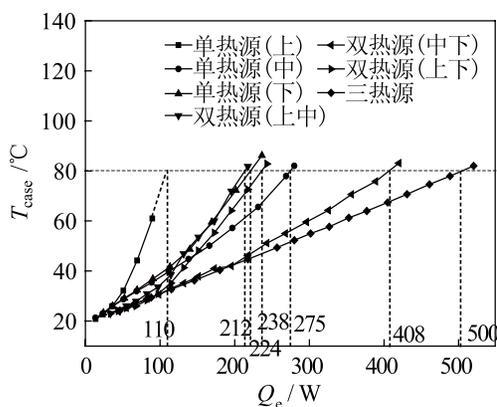
图4是在环境温度为20℃，进口风速为2.5m/s时，不同加热功率及芯片位置对不同情况散热器的总热阻和最大热阻的影响曲线。当加热功率较低时，热管不能正常工作，热阻较大；随着加热功率的增大，热管热流密度增加，气泡产生的频率加快，使蒸发段汽化加剧，因而热阻减小；加热功率继续增大，蒸发段工质全部汽化，冷凝端工质不能及时回流到蒸发段，致使蒸发段出现干涸，导致热阻急剧上升，热管逐渐失效，散热器的散热能力急剧下降，实验现象为温度急剧升高。此时计算出的受热功率为散热器的最大散热能力。如图4(a)前两种情况的最大传热能力分别为110W和140W；而双芯片和三芯片在500W的测试范围内，没有出现烧

干现象，即没有发现温度急剧升高。如图4(b)所示，在前四种情况下散热器的最大传热量分别为20W, 110W, 180W, 100W；处于上下两端的双芯片散热器的最大传热量为160W；处于中下相邻的双芯片散热器和三芯片散热器在500W的测试范围内，没有出现烧干现象。三芯片同时工作时，由于热管的受热面积增大，热管中的多段工质同时开始蒸发，在实验范围内，平板热管一直处于最佳工作状态，热阻一直很稳定，未出现干涸，也就是其最大散热能力远远超出实验所测的最大功率。通过增加芯片数目，散热器的总热阻明显下降，而且散热器的最大传热能力成倍增加。

3.2 加热功率对芯片表面温度的影响



(a) 散热器横向放置时的散热能力



(b) 散热器竖直放置时的散热能力

图5 散热器在极限温度下的散热能力

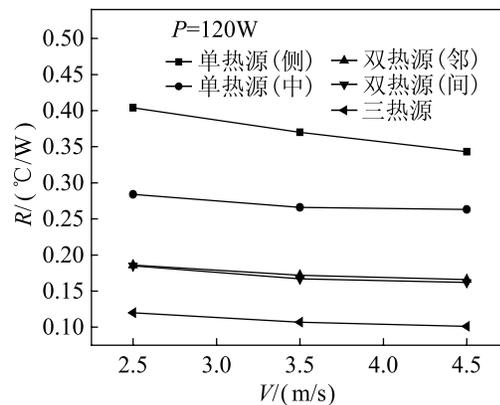
Fig.5 Heat dissipation capacities of the heat sink under temperature limitation

图5是在环境温度为20℃时，芯片表面温度与加热功率的关系曲线，从图中可以看出，芯片表面温度随加热功率的增大而升高，在实验功率范围内后三种情况几乎成线性关系。也可得出，当散热器横向放置时，单、双、三芯片散热器分别在芯片表面温度为80℃时的最大散热能力，其值分别为

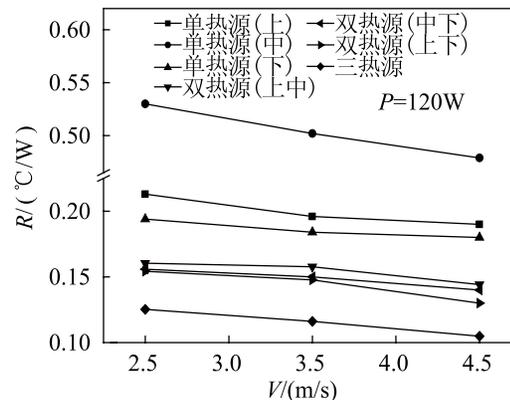
310W, 390W, 500W。当散热器竖直放置时，其最大散热能力分别为275W, 408W, 500W。实验表明，对单一芯片加热的平板热管而言，芯片布置在基板的中心可以提高其散热能力；对双芯片散热器而言，芯片位置距离较远时，其散热能力大大提高；三芯片的散热能力居其中最大。

3.3 进口风速对散热器热阻的影响

图6为当进口风温为20℃，加热功率为120W时，放置位置不同的散热器热阻随进口风速变化的情况。冷空气的流速对散热器热阻也有较大影响，根据实验结果，随着风速的增加，换热强度增加，热阻减小，热管的传热极限升高。



(a) 散热器横向放置时不同风速下的热阻



(b) 散热器竖直放置时不同风速下的热阻

图6 空气流速对整体热阻的影响

Fig.6 Effect of air flowrate on the overall thermal resistance

4 结论

通过测试模拟芯片的表面温度，对所设计的平板热管散热器在不同的操作参数(空气流速和加热功率)和应用情况(芯片位置和数目)下的散热性能进行了实验研究，分析了解实际操作情况对平板热管散热器传热性能的影响。

1) 随着风速的增加，散热器的热阻呈下降趋

势；随着加热功率的增加在达到散热器的传热极限之前，热管热阻基本不变；而当散热器达到传热极限之后，热管的热阻急剧上升。

2) 芯片数目对散热器的散热能力也有较大影响，对同一散热器，其散热能力与芯片数目成正比。因此在电力电子器件的冷却系统中，利用多芯片平板热管散热器可以达到更好的散热效果。

3) 芯片在底板上位置的改变对均热板的温差有很大的影响，芯片分开布置有利于减小最高温度及温差，可以极大地提高平板热管散热器的散热性能。

4) 在保证设计风量的条件下，可以通过调整风机的电压或其他方式降低风扇的转速，从而降低风扇的噪音。

参考文献

- [1] 张亚平, 余小玲, 周恩民, 等. 新型径向平板热管传热性能的实验研究[J]. 西安交通大学学报, 2007, 41(7):780-783. (Zhang Yaping, Yu Xiaoling, Zhou Enmin, et al. Experimental Research on Heat Transfer Performance of Novel Radial Flat Heat Pipe [J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007, 41(7):780-783.)
- [2] 陈金建, 汪双凤. 平板热管散热技术研究进展[J]. 化工进展, 2009, 28(12):2105-2108. (Chen Jinjian, Wang Shuangfeng. Research progress in flat plate heat pipes[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2009, 28(12):2105-2108.)
- [3] Yaxiong Wang, Peterson G P. Flat Heat Pipe Cooling Devices for Mobile Computers[C]// ASME Conference Proceedings. Washington, DC:2003:65-72.
- [4] 李腾, 刘静. 芯片冷却技术的最新研究进展及其评价[J]. 制冷学报, 2004, 25(3):22-32. (Li Teng, Liu Jing. Latest Research Advancement and Assessment of Chip Cooling Techniques[J]. Journal of Refrigeration, 2004, 25(3):22-32.)
- [5] Huang X Y, Liu C Y. The pressure and velocity fields in the wick structure of a localized heated flat plate heat pipe[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 1996, 39(6):1325-1330.
- [6] Leong K C, Liu C Y, Sun K H. Vapor pressure distribution of a flat plate heat pipe[J]. International Communications in Heat and Mass Transfer, 1996, 23(6):789-797.
- [7] Tan B K, Huang X Y, Wong T N, et al. A study of multiple heat sources on a flat plate heat pipe using a point source approach[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2000, 43(20):3755-3764.
- [8] Rightley M J, Tigges C P, Givler R C, et al. Innovative wick design for multi-source, flat plate heat pipes[J]. Microelectronics Journal, 2003, 34(3):187-194.
- [9] Xiao B, Faghri A. A three-dimensional thermal-fluid analysis of flat heat pipes[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2008, 51(11-12):3113-3126.
- [10] 洪宇平, 李强, 宣益民. 小型平板热管传热实验研究[J]. 南京理工大学学报, 2001, 25(1):32-35. (Hong Yuping, Li Qiang, Xuan Yimin. Experimental Research on Pint-sized Flat Heat Pipe[J]. Journal of Nanjing University of Technology, 2001, 25(1):32-35.)
- [11] 田金颖, 诸凯, 刘建林, 等. 冷却电子芯片的平板热管散热器传热性能研究[J]. 制冷学报, 2007, 28(6):18-22. (Tian Jinying, Zhu Kai, Liu Jianlin, et al. Experiments Investigation on Thermal Conductivity of Flat Heat Pipes Used to Cool Electric Die[J]. Journal of Refrigeration, 2007, 28(6):18-22.)
- [12] 蒋朝勇, 夏侯国伟. 新型微型平板热管的传热性能[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2009, 6(1):65-68. (Jiang Chaoyong, Xiahou Guowei. The thermal performance of a new-style miniature flat heat pipes[J]. Journal of Changsha University of Technology, 2009, 6(1):65-68.)

通讯作者简介

王亚雄, 男(1964-), 教授, 内蒙古科技大学化学与化工学院, (0472)5951560, E-mail: yaxiongw@hotmail.com。研究方向: 微型热管及相变装置的研究和应用, 微电子装置及计算机的散热冷却技术, 航空航天器的热控制系统, 高效节能技术与装置。

About the corresponding author

Wang Yaxiong (1964-), male, Professor, School of Chemistry and Chemical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, (0472) 5951560, E-mail: yaxiongw@hotmail.com. Research fields: Phase-change Phenomena in porous media and micro heat pipe, cooling technology for microelectronic devices and computers, Thermal management for spacecraft, efficient energy-saving technology and equipment.