

# 风冷与相变材料组合热防护系统设计

吴晓亭 孙红闯 樊学斌  
郑州轻工业大学

DOI:10.12238/pe.v3i2.12477

**[摘要]** 随着芯片技术的发展,芯片功率日益提高,随之带来了芯片的热防护问题。风冷和水冷作为常见的冷却方法,冷却失效会造成芯片温度急剧升高而热失效的问题。本文结合相变材料吸热控温的原理,对高功率密度的芯片进行风冷和相变材料组合热防护的方案设计,并通过CFD模拟验证了方法的可行性,结果表明,采用相变材料与风冷组合的冷却结构,能够在风冷失效后,延迟芯片热失效时间,给与系统足够的时间用于保存数据,具有良好的应用前景。

**[关键词]** 芯片; 相变材料; 组合热防护; 延迟热失效

**中图分类号:** N945.23 **文献标识码:** A

## Design of combined thermal protection system of air-cooled and phase change materials

Xiaoting Wu Hongchuang Sun Xuebin Fan  
Zhengzhou University of Light Industry

**[Abstract]** With the development of chip technology, the power of chips is increasing day by day, which brings the thermal protection problem of chips. Air cooling and water cooling are common cooling methods, and cooling failure will cause the problem of rapid increase in chip temperature and thermal failure. In this paper, combined with the principle of heat absorption and temperature control of phase change materials, the scheme design of the combined thermal protection scheme of air-cooled and phase-change materials for chips with high power density, and the feasibility of the method is verified by CFD simulation, and the results show that the cooling structure of the combination of phase change materials and air cooling can delay the thermal failure time of the chip after the air-cooling failure, and give the system enough time to save the data, which has a good application prospect.

**[Key words]** chips; phase change materials; combined thermal protection; delayed thermal failure

### 引言

芯片技术的快速发展是提升智能制造领域的关键,随着芯片计算能力的快速提高,芯片功耗也随之大大增加,未来高性能芯片核心部分的功率密度甚至可以达到更高。由于核心元器件尺寸微小,导致其功率密度极高,散热问题不能不解决。然而,在电子产品的不断革新升级中,温控技术却未迭代升级,以致在应用中的核心元器件受到安全温度阈值的影响而无法发挥正常功效。因此,温控技术的突破创新成为高性能芯片应用亟需解决的问题。

相变材料热防护是一种崭新高效仅凭其物理性质不依赖其他系统做功的热防护方式,具有恒温简单效率高的特点<sup>[1]</sup>。在高温环境下,相变材料通过相变保持一定温度,放出或吸收大量热量。该物理特性在电子热防护上可以保证核心元器件在正常温度下运行,降低核心元器件的温度波动带来的巨大影响。采用相变材料相变过程的吸热或放热量相比于传统蓄热材料可提高5-14倍。因此,结合相变温控原理,在保证元器件与相变材

料的热传导效率情况下,相变储能材料可以将电子元器件的运行温度维持在一个合适的区间并且波动较小,且整个过程只依赖物理变化,具有较好的独立性、可靠性与稳定性。

### 1 相变热防护研究现状

相变材料的控温原理是指利用相变材料在物相变化的过程中持续吸收或释放热量且自身温度保持不变的原理,将其与电子元器件进行充分直接或间接接触,当元器件的核心温度较高,达到相变材料的相变温度时,材料通过相变吸收热量,使元器件的核心温度始终维持在安全阈值以下,保证系统的正常工作运转;而当电子元器件的核心温度或环境温度较低时,相变材料进行反向相变释放热量,不让元器件因过低温度而影响正常运转。相变材料的分类可以根据不同情况有不同分类,根据化学组成,可分为:无机水相变储热材料、盐类相变储热材料、石蜡类相变储热材料、有机化合物类相变储热材料、聚合物共晶体系相变储热材料等。

相变储能材料控温与其他传统散热方式控温相比,优势十分显著,不依赖外部耗能、结构简单、可循环多次使用等。在电子元器件热防护的应用上,有一些学者开展了研究。张芳<sup>[2]</sup>利用石蜡二氧化硅的复合材料,件热防护的相变控温系统,根据实验显示,在1500-2800W/m<sup>2</sup>的热流密度下,复合相变材料可以始终使核心元器件的温度维持在65℃以下,时间为940-7000s,这样的时间间隔完全满足在传统散热方式失效时的紧急数据保护及相关重要操作。相变材料目前主要侧重于建筑领域。如Elfeky等<sup>[3]</sup>将相变储热材料应用于太阳能集热厂的储热系统中。并根据数据及数值模型方程验证了方案的经济性。相比于其他研究案例,相变材料作为储热系统的方案性能最佳。胡小东等<sup>[4]</sup>通过热物性分析膨胀石墨的不同配比下的不同影响,并通过实验得出质量分数合适的膨胀石墨-石蜡符合相变储能材料的热导率比石蜡提高了6倍。

## 2 相变材料

相变材料选择需要注重封装问题,计算机内部集成度极高,一旦发生材料泄露就会导致严重后果,造成用户数据损失等相关问题,从封装困难程度上应当尽量选择易封装的材料,气液、固气这两种相变材料的封装难度较大。从相变温度方面考虑,由于计算机CPU的温度普遍设置在80℃以下,所以相变材料的相变温度要小于80℃。综上所述,选择低温相变材料。初步选定固-液相变材料石蜡进行模拟,相变温度约为320-337K,石蜡属于有机材料,具有固体成型性好,不易发生相分离的特点,并且腐蚀性较小,性能相对稳定。

## 3 芯片散热系统结构

本设计中,针对60W的CPU,在现有风冷结构的基础上,增加相变材料结构,并设计合理的结构,利用高导热系数的导热材料,将CPU与风冷翅片散热系统相连,且同时与相变材料相连,这样,在风冷系统能够正常工作的时候,利用风冷系统将CPU散发的热量带走,而在风冷系统突然失效的时候,能够将热量迅速导入相变材料,利用相变材料的显热以及相变潜热,吸收CPU散发的热量,这样能够利用相变材料的吸热,延迟CPU的温升速率,为应急处理赢取更多的时间,

为了能够了解所设计的结构对散热能力的影响,针对CPU的散热系统,首先对现有的风冷结构进行结构简化、三维造型和网格划分,最后采用CFD对简化后的模型开展仿真模拟,之后增加相变材料结构,并开展模拟,为后续的结构优化奠定基础。

### 3.1 芯片风冷方案

只有风冷时,散热系统结构简化后如图1所示,从下往上一共4层,分别是CPU、导热铜片、散热翅片和风扇底座,风扇底座中间预留有圆形孔,用于安装散热风扇,气流从两侧流入翅片,然后从圆形孔流出,被风扇抽吸走。热量由CPU散发后,经导热铜片传递到散热翅片,风扇通过源源不断的抽取冷流流经翅片,实现对翅片的冷却,从而实现对CPU的冷却。在实际中,导热铜片的厚度可以变化,形状根据需要进行弯曲,但由于铜具有很好的导热能力,因此总体对传热的影响较小,所以简化成了方形片状结

构;散热翅片具有复杂的结构,在翅片上往往会有弯曲的纹路,从而增加气流的接触面积,同时翅片的厚度很薄,翅片间距也很小,翅片数量很多,有时候为了增加结构强度,在横向会出现若干条加强肋;风扇底座周边会设计为肋孔结构,从而减轻重量,增加强度。但鉴于这些真实结构会大大增加CFD模拟的难度,因此本文在CFD模拟之前对这些结构进行了简化,旨在通过CFD模拟能够初步认识风冷结构的总体传热特征,为组合冷却的结构优化奠定基础。

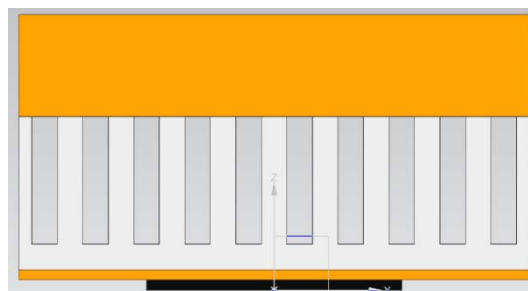


图1 风冷散热基座及翅片相关模型

### 3.2 芯片风冷与相变组合冷却方案

增加相变材料后的结构如图2所示,除了左侧的风冷结构以外,增加了右侧的相变材料结构,相变材料与风冷结构通过导热铜片连接,在实际中,导热铜片的形状可以根据具体相变材料的位置进行变形,对导热能力总体的影响较小,为方便CFD模拟,在此处简化了方形的片状结构,能够直接连接相变材料和散热铜片。相变材料如图2中右侧深色部分所示,相变材料的储存方式可以根据需要调整,可采用导热铜管插入相变材料的方式,相变材料接触的导热铜管数量不同则传热能力不同,一般来讲更多的导热铜管数量能够更快的将热量快速传导给相变材料。鉴于CFD模拟的需求,本章采用图2的结构开展CFD模拟,模拟中不考虑装载相变材料的壳体的散热。



图2 组合冷却结构

## 4 结果与讨论

### 4.1 CFD稳态模拟结果及分析

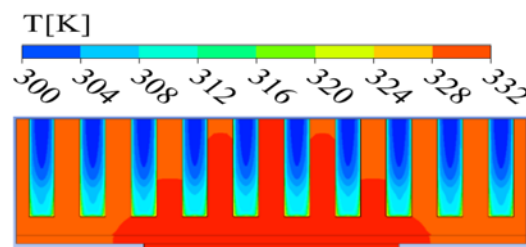


图3 不同风量下散热系统的温度分布

CFD稳态模拟得到的是在系统达到稳定时的状态,包括固体的温度分布以及流体的温度、压力、速度分布。以此可以知道

散热结构的传热情况。只有风冷的传热情况如图3所示,可以看到,随着风量的减小,CPU的最高温度在逐渐升高,这与实际是相符的,当风量减小到10g/s以下的时候,CPU最高的温度达到了332K,而石蜡的相变温度在本设计中假定为333K,因此在模拟中,为了避免模拟中发生相变,风量设定为10g/s。

#### 4.2组合冷却性能分析

添加相变材料后的模拟结果的温度分布如图4所示,其中,风冷部分的温度分布与没有添加相变材料基本一致,这是因为稳态模拟结果是最终的稳定状态,而稳定状态,意味着相变材料吸热量达到饱和,也就是说整个固体区域已经达到了热平衡,然而,在没有达到热平衡的状态时,相变材料与导热铜管仍然存在3~5K的温差。模拟收敛后,相变材料和导热铜管达到了热平衡,温度基本一致,相变材料能够维持在相变温度一段时间。采用目前的这种结构在稳态时,CPU的核心温度可维持在65℃以下,数值模拟展示的相变材料延迟热失效功能可以实现。

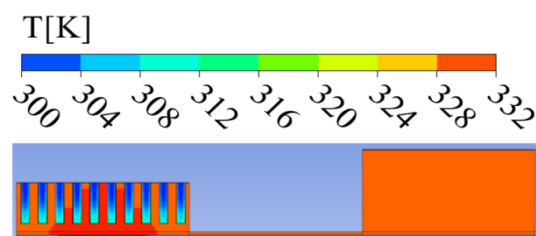


图4 相变材料达到热平衡的温度分布

#### 5 结束语

本文通过对芯片组合冷却结构的模拟计算,对比了纯风冷与组合冷却的温度分布。表明风冷与相变材料结合的组合冷却

方式能够延迟风冷失效时的热失效。证实了设计的合理性及实用性,验证了最初在CPU散热系统失效时,相变材料的延迟热失效的预测,为用户争取了在传统散热模组遭遇突发情况时进行操作的时间,但具体的结构设计,详细的相变储能材料选型还需要结合更多的现实模型进行参考,仍有很大的研究空间待发掘。

本研究由河南省高等学校重点科研项目支持(25B470004)。

#### [参考文献]

[1]谢亮.相变材料在防热系统中的应用[J].科技创新与应用,2018,8(5):147-148.

[2]张芳,王小群,杜善义.相变温控在电子设备上的应用研究[J].电子器件,2007,30(5):1939-1942.

[3]Elfeky K E, Mohammed A G, Ahmed N, et al. Thermal and economic evaluation of phase change material volume fraction for thermocline tank used in concentrating solar power plants[J].Applied Energy,2020,267:115054.

[4]胡小冬,高学农,李得伦,等.石蜡/膨胀石墨定形相变材料的性能[J].化工学报,2013,64(10):3831-3837.

#### 作者简介:

吴晓亭(1990--),女,汉族,河南登封人,硕士,研究方向:相变材料应用。

孙红闯(1990--),男,汉族,河南登封人,博士,研究方向:传热传质。

樊学斌(1998--),男,汉族,河南安阳人,本科,研究方向:新兴能源。