
相变材料集成，功率模块热管理新突破

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/40785.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

相变材料集成，功率模块热管理新突破。论文标题：Analysis of Power Modules Including Phase Change Materials in the Top Interconnection of Semiconductor Devices

论文链接：<https://www.mdpi.com/2673-3978/5/4/14>

期刊名：Electronic Materials

期刊主页：<https://www.mdpi.com/journal/electronicmat>

研究背景

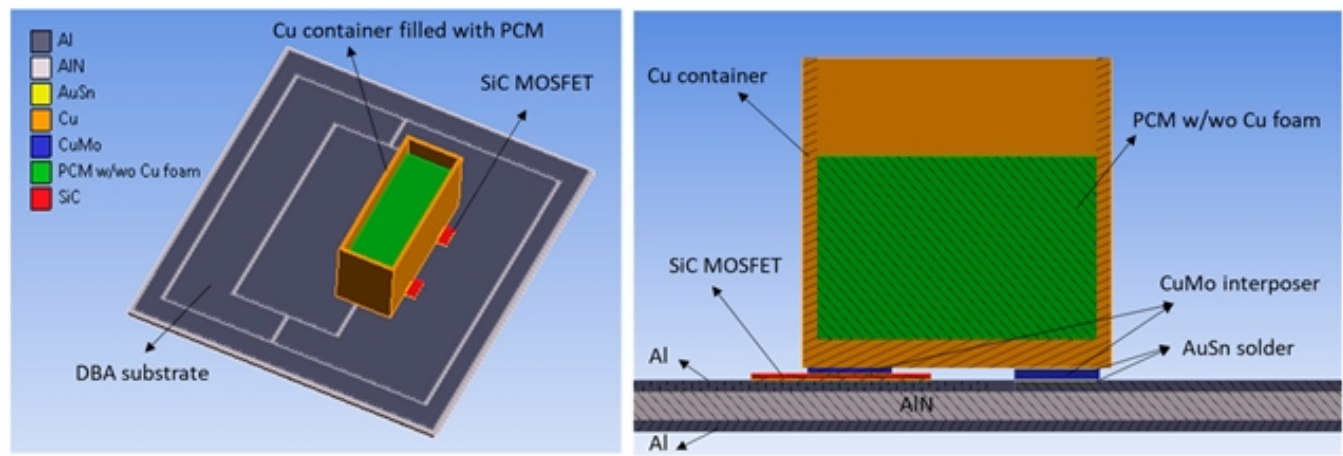
航空电气化进程的加速，使得功率模块在飞机电气系统中的应用愈发普及。然而，功率模块在运行时常因短暂功率峰值而产生过热，易导致半导体器件过早失效。传统的解决方案多依赖过度设计模块或冷却系统，或将模块移至低温区域，但这些策略与高功率密度、集成化的发展趋势背道而驰。因此，开发一种能在短时功率峰值期间有效冷却功率模块的新型方案，对满足电动运输尤其是航空领域的减重与小型化需求至关重要。本研究旨在设计一种新型功率模块，通过在半导体器件顶部互连结构中集成相变材料，以应对短时功率峰值带来的热管理挑战。

研究内容

研究团队提出了一种创新的功率模块设计，将相变材料集成于顶部器件互连的容器内。该设计使相变材料仅在温度超出额定范围时熔化吸热，从而在不影响额定工况冷却性能的前提下，有效管理短时功率峰值。研究选取赤藓糖醇与RT100（一种石蜡）两种有机相变材料进行实验与模拟，并探讨了添加铜泡沫的增益效果。实验基于两个 $180\text{ }\mu\text{m}$ 厚的SiC MOSFET器件（1200V-98A），通过直接键合铝基板组装，并在顶部设计了容纳相变材料的铜制容器。此外，研究还特别设计了Mo60Cu40中间层，用以拉大容器与MOSFET边缘距离以维持高击穿电压，同时平衡器件与基板高度，并作为缓冲层缓解两者间的机械应力。

通过热测试与数值模拟，团队验证了该设计的有效性。在相变材料体积恒定（约 1cm^3 /器件）且对流换热系数为 $800\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ 的条件下，采用赤藓糖醇与90%孔隙率铜泡沫的方案，较传统线键合技术可降低结温约 $35\text{ }^\circ\text{C}$ 。模拟与实验结果高度吻合，表明虚拟原型对依据特定任务剖面确定容器尺寸极具价值。研究还评估了该方案在重复功率循环下的性能，发现两种材料均适用，但其选择需根据任务剖面谨慎考量，因为赤藓糖醇的凝固温度（ $40\text{ }^\circ\text{C}$ ）远低于RT100（ $90\text{ }^\circ\text{C}$ ），这直接影响了它们在重复功率循环中的表现。

研究同时聚焦相变材料的高温可靠性。对两种材料在130 ° C至150 ° C范围内进行等温加速老化实验后发现，它们在空气中均出现潜热退化与质量损失现象。若以储能能力降至初始值50%为失效判据，赤藓糖醇与RT100在150 ° C下的评估寿命分别约为100小时和340小时。该发现对实际应用中相变材料的选型与功率模块的设计具有重要指导意义，尤其在航空等高可靠性要求的领域。



图为模拟几何结构的3D视图和横截面视图

研究总结

本研究成功开发并验证了一种集成相变材料的新型功率模块设计，通过在半导体器件顶部互连结构中引入相变材料容器，有效解决了短时功率峰值引发的过热问题。实验与模拟结果均表明，该设计在维持额定工况冷却性能的同时，能显著降低功率峰值期间的结温，其中赤藓糖醇与90%孔隙率铜泡沫的组合方案可实现约35 ° C的温降。研究还发现，尽管两种有机相变材料均可承受重复功率循环，但其选型需结合具体任务剖面审慎评估，尤其需关注二者在冷却过程中的行为差异。此外，高温老化实验揭示了相变材料在长期高温应用中的性能退化规律，为实际应用的材料选择与寿命预测提供了关键依据。综上，该研究为功率模块热管理提供了一种创新解决方案，尤其适用于航空等对重量和体积严苛的应用场景，也为相变材料在电子热管理领域的应用贡献了有价值的实验数据与理论支持。

Electronic Materials期刊介绍

主编：Prof. Dr. Wojciech Pisula

1. Max Planck Institute for Polymer Research, Ackermannweg 10, 55128 Mainz, Germany

2. Department of Molecular Physics, Faculty of Chemistry, Lodz University of Technology, Zeromskiego 116, 90-924 Lodz, Poland

Electronic Materials (ISSN 2673-3978) 是一个开放获取期刊，发表与电子材料相关的科学研究和技术发展。本刊为电子材料基础科学、工程和实际应用方面的综述、文章和简讯提供发表平台。目前已被Scopus, Ei Compendex等数据库收录。

来源：Electronic Materials

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发