对流传热方式对电路板散热性能影响

梁永浩[1]，陈冠林[1]，梁兆标[1]，庄智朋[1]
1. 东莞理工学院，化学工程与能源技术学院，大学路1号，东莞市，广东省，523808

引言：为了解决由于电子设备高集成化导致的电路板散热问题，本文分析不同对流方式对电路板散热影响。自然对流结构简单、无噪音，但散热有限；强制对流散热能力强，但伴随功耗与噪音。本工作采用有限元法定量对比二者适用范围，评价指标为：热点温度、平均温度、温度标准差及综合性能因子PEC。

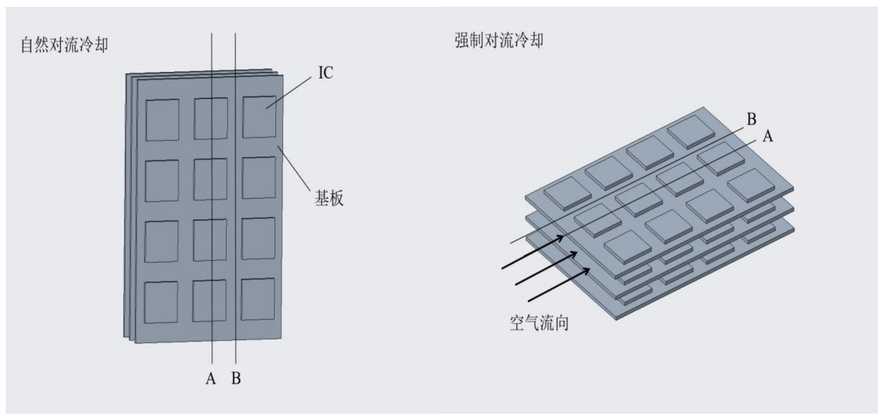


图 1. 多个串联热源组成的堆叠电路板

计算方法：利用 COMSOL Multiphysics®中的CFD模块和传热模块，建立了含FR4（Flame Retardant 4）基板与多IC（Integrated Circuit）热源的共轭传热电路板模型（如图1所示），并对模型进行简化（如图2所示）。自然对流垂直排列，强制对流水平排列。采用六面体网格并进行无关性验证（如图3所示）。

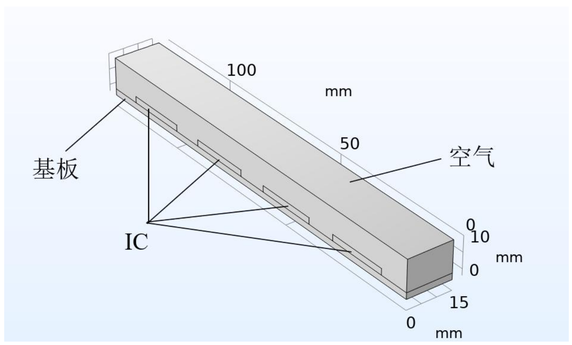


图 2. 简化模型的三维几何结构

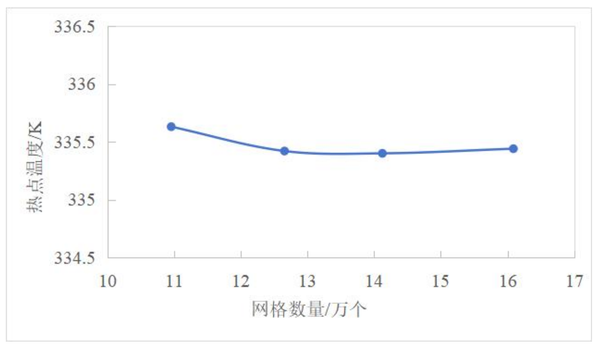


图 3. 网格无关性验证图

结果1：自然对流下的热特性（如图4、图5所示）。功率设为1×10^5～5×10^5 W/m³。结果显示温度场呈垂直分层，从下至上温度递增。平均温度、热点温度与标准差随功率线性增加。最高热点温度达334.5K，热点与平均温差达15.5K，表明自然对流在高功率下已接近散热极限。

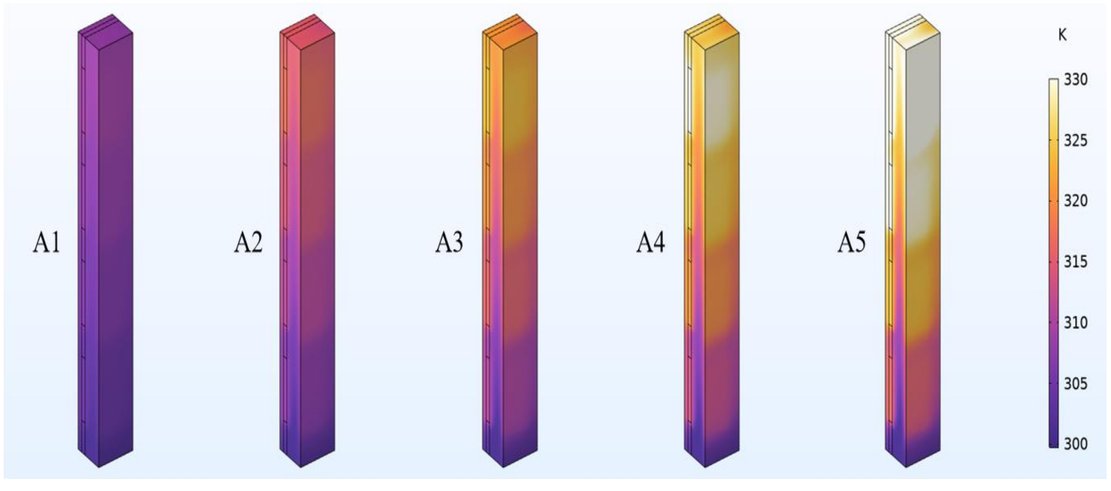


图 4. 不同工作功率下的温度场分布图

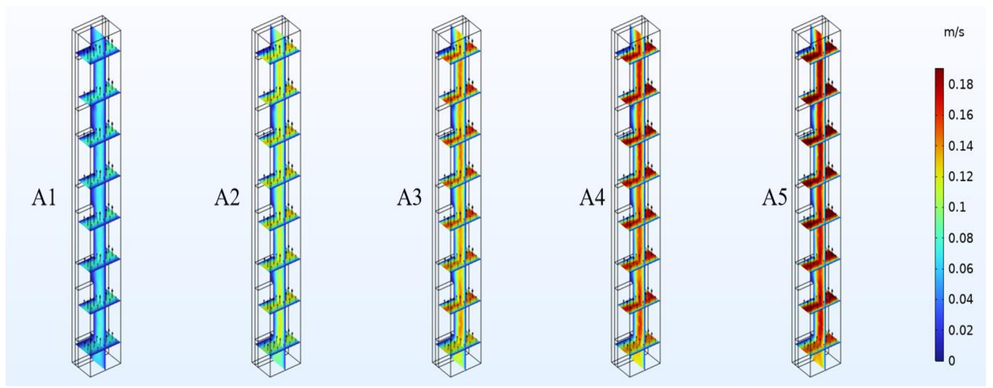


图 5. 不同工作功率下的速度场分布图

结果2：强制对流下入口温度的影响（如图6所示）。固定风速1m/s，入口温度从290K升至310K。提高入口温度使整体温度线性升高，但标准差由12.61K降至11.10K，改善了温度均匀性，同时增加了系统整体热载荷。

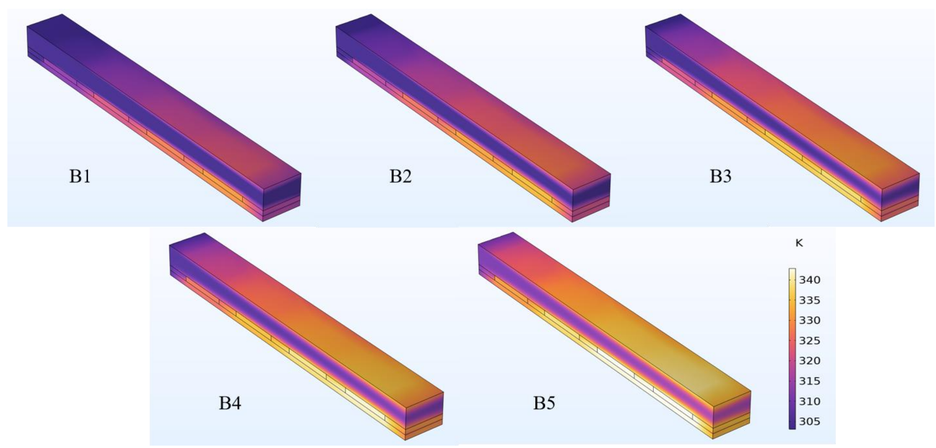


图 6. 不同入口温度下的温度场分布图

结果3：在冷却强制对流下入口风速的影响（如图7所示）。固定入口温度290K，风速从1m/s升至7m/s。提高风速可显著降低热点温度（331.2K降至309.5K）及标准差（12.61K降至6.01K），但边际效益递减。综合性能因子PEC始终大于1，表明高风速对热经济性有利。

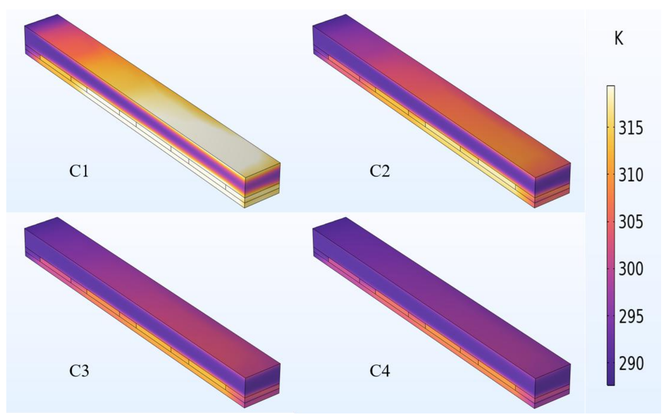


图 7. 不同入口风速下的温度场分布图

结论：自然对流适合低功耗、对噪音敏感的场景；强制对流适合大功率、需精确控温的场景。自然对流随功率增大线性恶化，存在散热极限。提高入口温度改善均匀性但增加热载荷；提高入口风速能有效降温且PEC>1。强制对流在高热流密度下具有明显优势，是高性能电子设备散热的优选方案。

参考文献：

[1]王涛,封龙.手持终端小型化低功耗设计技术探析[J].电子元器件与信息技术,2024,8(04):137-139.
[2]杜鹏,周庆忠,郑涵文,等.用于高密度集成微系统的微通道散热技术研究进展[J].微电子学与计算机,2023,40(01):87-96.
[3]Durgam S.Forced Convection from IC Chips on Printed Circuit Boards Generating High Heat Fluxes[J].Journal of The Institution of Engineers (India): Series C,2021,102(4):1-8.