五层半导体封装 · 数值验证总结

FE MODEL VERIFICATION | 5 W 稳态热 → 线弹性静力结构 | 2026-10-11

L1 / C3-MPC
正式基准保留

最高温度	最大总变形 · Case A	焊料等效应力峰值	焊料节点平均等效应力
38.786 °C	3.191 μm	26.497 MPa	16.989 MPa

连续 Top Cu / AlN / Bottom Cu + SAC305 + Si；无键合线、铜岛及端子参与原 FE。正式数字：[E01, E07]

01 3-2-1 位移参照独立性

Case A → 镜像三点 Case B：均为六个独立标量约束，秩 = 6。

SAC305	Case A	Case B
峰值 / MPa	26.497304	26.497304
节点平均 / MPa	16.989327	16.989327

全五层应力分量最大差：2.5 Pa；弹性应变最大差：6.18e−11

刚体对齐后最大位移残差：1.20e−8 μm

定位反力约 1e−9 N；本算例支持参照独立性，非真实安装验证。

证据：[E02, E06]；小转动、全部 23,108 唯一节点等权拟合。

02 全 MPC 网格敏感性

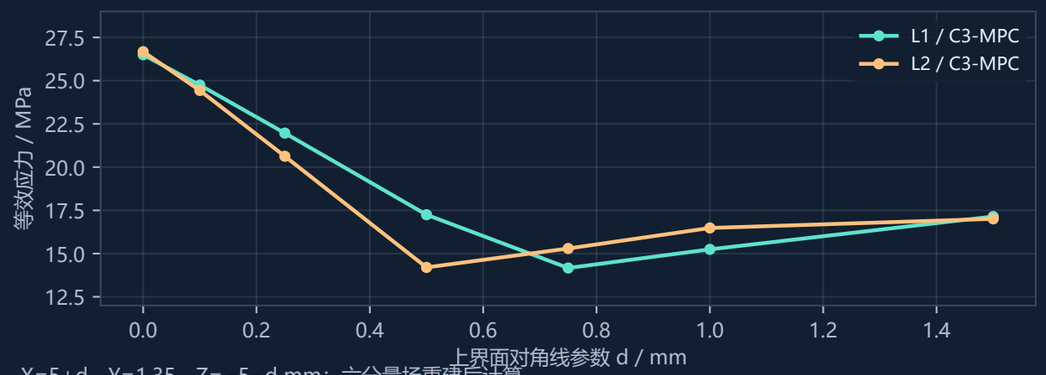
L1：23,108 节点 / 3,504 实体 → L2：59,265 / 10,000

指标	L1	L2	变化
Tmax / °C	38.786160	38.776649	-0.00951 °C
Umax / μm	3.191468	3.177515	-0.437%
峰值 / MPa	26.497304	26.676049	+0.675%
节点均值 / MPa	16.989327	16.847271	-0.836%

热平衡：L1、L2 均约 5 W 输入 / 5 W 对流输出。

[E03–E05]；表中 L1 温度为 RTH 双精度提取，不替换正式值。

03 角点峰值变化小 ≠ 局部场已收敛



X=5+d，Y=1.35，Z=−5−d mm；六分量场重建后计算。

d=0.5 mm：局部值 -17.67%；固定 1 mm 角区估计 -2.14%。

[E03, E06] 点为后处理采样，连线仅引导；非新增 FE 算例。

04 可以说明什么 · 不能说明什么

支持：定位独立性、能量守恒、整体与内部响应低敏感性。

四个 Si / SAC305 上界面角点具有近等峰值；
Max 标签只标一处，不代表仅该处高应力。[E02, E03]

风险：尖角、多材料界面、MPC 离散及局部梯度。
两级网格不能证明完全收敛，不能证明或排除奇异性。

Verification：针对当前模型的数值核查。
Validation：尚无实物试验及真实安装工况对照。

未考虑：焊料塑性、蠕变、热循环、制造残余应力。
不得预测焊料寿命；不得宣称原 FE 包含 D2 展示新增结构。

[E01–E06, R01–R03] 结论限定于已计算、已记录的模型。

模型假设：h=1000 W/(m²·K)，环境/参考 25°C；四界面理想 Bonded MPC；三点仅定义刚体参照。

源文件与 SHA256：Evidence_Index.md / Evidence_Index.json；全部指标源自实际 Phase 1/2，本轮未求解。