

برای تحلیل حرارتی این سیستم، مشخصات مسئله را مدولار سازی کرده و از شبکه مقاومت‌های حرارتی ۱ بعدی (D 1 Thermal Resistance Network) استفاده می‌کنیم.

۱. فرضیات اولیه (Key Assumptions)

- ابعاد مرجع: ابعاد تراشه $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ ($A = 900\text{ mm}^2 = 9 \times 10^{-4}\text{ m}^2$) و ضخامت $t_{Cu} = 2\text{ mm}$ فرض می‌شود.
- شرایط کاری: شار حرارتی ثابت $Q = W/50$ و دمای محیط $T_{\text{amb}} = 35^\circ\text{C}$ (میانگین محدوده ۲۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد اتاق).
- ضریب هدایت حرارتی مس (k_{Cu}): برابر با $401\text{ W/m}\cdot\text{K}$.
- جریان حرارت ۱ بعدی: اتلاف حرارت جانبی (شعاعی) به دلیل عایق‌کاری فرض شده ناچیز است.
- مقاومت تماس حرارتی (R_{TIM}): از پد/خمیر حرارتی (TIM) استاندارد استفاده می‌شود.

۲. تحلیل مسیر انتقال حرارت (Thermal Path Analysis)

مسیر انتقال حرارت از پیوند (Junction) تا محیط اطراف به صورت سری است:

$$R_{altot} = R_{Cu} + R_{TIM} + R_{sink} + R_{conv}$$

فرمول‌ها:

- مقاومت رسانشی مس: $R_{Cu} = \frac{t_{Cu}}{k_{Cu} \cdot A}$
- مقاومت رسانشی/تماسی خمیر حرارتی (TIM): $R_{TIM} = \frac{\theta_{TIM}}{A}$
- دمای پیوند تراشه: $T_j = T_{amb} + (Q \times R_{total})$

۳. محاسبات عددی و مقایسه راهکارهای خنک‌کاری

جدول زیر مقاومت حرارتی و دمای پیش‌بینی شده پیوند (T_j) را برای ۳ استراتژی مختلف در شار $W/50$ نشان می‌دهد:

۳. خنک‌کاری مایع (Liquid Cold Plate)	۲. خنک‌کاری اجباری با هوا (Forced Air Cooling)	۱. خنک‌کاری طبیعی (Natural Convection)	پارامتر / راهکار
کالپلیت مسی (Copper Cold Plate)	آلومینیوم فین‌دار + فن mm80	آلومینیوم ساده (بدون فن)	نوع هیئت‌سینک
0.K0055/W	0.K0055/W	0.K0055/W	R_{Cu}

R_{TIM}	$0.K20/W$	$0.K10/W$	$0.K05/W$
$R_{sink} + R_{conv}$	$\sim 3.K50/W$	$\sim 0.K65/W$	$\sim 0.K12/W$
مقاومت کل (R_{total})	$3.K705/W$	$0.K755/W$	$0.K1755/W$
افزایش دما ($T\Delta$)	$\text{\text{C}}^{\circ}185.2\$$	$\text{\text{C}}^{\circ}37.8\$$	$\text{\text{C}}^{\circ}8.8\$$
دمای پیوند (T_j)	$\text{\text{C}}^{\circ}220.2\$$ (غیرمجاز)	$\text{\text{C}}^{\circ}72.8\$$ (ایده‌آل)	$\text{\text{C}}^{\circ}43.8\$$ (عالی)

۴. پیشنهادات فنی مهندسی (Recommendations)

1. راهکار منتخب (خنک‌کاری اجباری هوا):
 ○ استفاده از هیت‌سینک آلومینیومی فین‌دار به همراه یک فن کوچک، دمای تراشه را در محدوده $\text{\text{C}}^{\circ}72.8\$$ نگه می‌دارد که دقیقاً درون محدوده کاری مجاز شما ($\text{\text{C}}^{\circ}20-$) است.
 ○ استفاده از TIM با کیفیت: $\text{\text{C}}^{\circ}80\$$
2. انتخاب یک خمیر حرارتی با $\text{K}\cdot\text{W/m}^2 \geq 4$ و اعمال فشار یکنواخت پیچ‌ها
 ○ (حداقل $0.MPa2$) جهت کاهش مقاومت R_{TIM} .
3. خنک‌کاری مایع (در صورت نیاز به قابلیت اطمینان بالاتر):
 ○ اگر دمای محیط بالاتر از $\text{\text{C}}^{\circ}40\$$ برود، سیستم هوای اجباری پاسخگو نخواهد بود و باید از واترپلاک (Cold Plate) استفاده شود.