

# 华为制作出极为精确的热仿真模型

作者：Yake Fang，华为技术有限公司高级工程师



## 通

信应用高性能多核 IC 器件的封装对制造商和系统集成商而言均是重大挑战。传统上，封装内系统 (SiP) 采用芯片并排方式进行安装，可允许不同的半导体技术混用。最近，堆叠硅片变得越来越常见，由于体积增加，片上系统 (SoC) 设计方法的前期不可收回支出要高得多，但总体而言，该方案的成本是最低的。此类多热源器件要求在设计流程前期便开展非常细致的热设计工作，以免在详细设计阶段产生高昂的变更成本。

在当今计算能力越来越强的通信器件行业，更多的功能和更高的功耗让通信器件应用的热设计变得至关重要。这些产品致使 SoC 封装所处的热环境更为严峻，因此在设计时，必须严格遵守热学参数指标，方能达到尺寸、重量和外形参数要求。

华为一贯重视产品设计中的热挑战，热分析贯穿于产品研发的整个流程之中。我们有一个宏伟计划，那就是为多核 SoC 和 SiP 器件开发一种内部热设计流程，使我们能够利用最高质量的热数据和模型来推动我们的设计工作。

我们使用 FloTHERM 已有近 15 年，积累了丰富的经验，所以能够创建 SoC 和 SiP 产品的详细热模型。不过，我们需要一种方法来测试这些封装是否达到了设计规定的热性能，并且还要测试其他供应商的封装，而不是依赖其提供的往往不够精确或不适合设计的热数据。由于它是基于瞬态热测量原

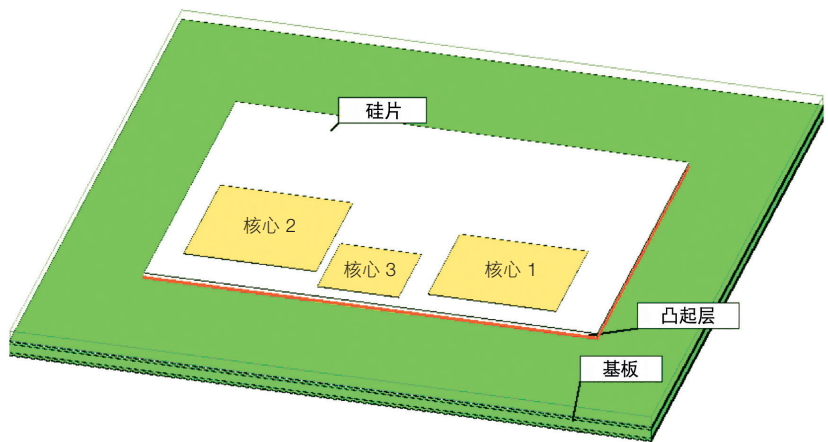


图 1. SoC 器件结构概览

则，为了提供最高保真度，我们转而使用 Mentor Graphics 的 T3Ster<sup>®</sup> 硬件来执行一系列热测试，以便我们的热设计工程师能够更好地了解这些高性能产品的热阻抗特性，以及减少完成良好设计所需的时间和资源。

作为这种新设计工作流程的测试载具，我们选择了研究现在通信器件应用中常用的 3 核心 SoC 器件，其以层叠封装 (PoP) 形式组装，支持封装堆叠。FloTHERM 模型如图 1 所示。

首批有效封装一生产出来，我们使用 Mentor Graphics T3Ster 硬件对其进行了测量，该硬件可记录器件对功率阶跃的温度响应，从仅几微秒至达到稳态，精度为  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 。

在 FloTHERM 中创建该封装的详细数值模型之后，我们执行了瞬态仿真以获取这个尚未校准模型（利用设计流程中的最佳可用

信息构建）的基准结果。我们从 FloTHERM 和 T3Ster 中获得的温度与时间曲线看起来相当吻合。

由于是在同一 FloTHERM 热环境中使用封装模型，故 FloTHERM 仿真得到的温度与时域响应曲线也可转换为结构函数，然后便可比较这两个结构函数。这是热量离开封装时经历的累积热容与累积热阻的关系图。如果模型与封装实际情况完全匹配，那么两个结构函数应当完全一致，因为从芯片结点到环境的热流通道应当完全一致。

然后对此温度与时间数据进行后处理，建立 T3Ster 和 FloTHERM 结果的结构函数图并进行比较。我们并不期望二者会完全一致，因为材料热属性通常存在不确定性，比如，粘结层的厚度和均匀性，以及结构内部的接触热阻（一种材料与其相邻材料的非理想热接触）。但是，当我们比较结构函



“为了成功设计通信器件，华为首先在 FloTHERM 中运行热仿真，然后基于从 T3Ster 获得的精确热测量数据校准详细热模型。与此同时，华为通过选择不同材料来优化设计，降低热阻，并利用 T3Ster 的瞬态热测量予以确认。相比以前，此流程要快很多，且所需资源更少。它为华为提供高度精确的热模型以供系统级建模使用，助力我们领先于竞争对手，以更快地速度将产品推向市场。”

Fang Yake, 华为技术有限公司高级工程师

数，看到图 2 所示的巨大差异时，我们多少有点吃惊。结构函数比较是一款非常强大的工具，可以显示模型与实验结果的差异，以及差异位于热流通路的何处。

图 2 显示了当核心 1 加电时，初始 FloTHERM 仿真（黑色）和 T3Ster 测量数据（蓝色）的结构函数。两个结构函数显然大相径庭。如该图最右边所示，当热量到达环境时，热容变为无限大。对于 FloTHERM 模型，这发生在比实际情况要低的热阻处，所以模型低估了温升。其中一些差异可能是由于冷板建模方式存在缺陷所致。然而，图形左边显示的差异是在封装模型本身以内且靠近热源。当核心 2 和核心 3 加电时，仿真与测试结果均显示出类似的差异。

若手动修改模型以使其与实验结果一致，将非常耗时且容易出错，因为手动修改是一个猜测校正过程，不适合像我们这样的快节奏设计环境。不过，我们之所以选择 T3Ster，部分原因在于可以将其结果读入 FloTHERM 的 Command Center 工具中，从而自动校准用户选择的多个参数以调整模型，使其与测量数据匹配。通过这种校准可实现非常好的拟合，所得模型具有非常高的精度，适合系统设计使用，相比之下手动调整极难做到且颇费时间。

为执行自动校准，我们选择了与封装内部加热对应的时间范围，忽略了代表电路板和冷板加热的那部分曲线，故瞬态计算截断于 0.15 s。优化需要一系列参数（其确切

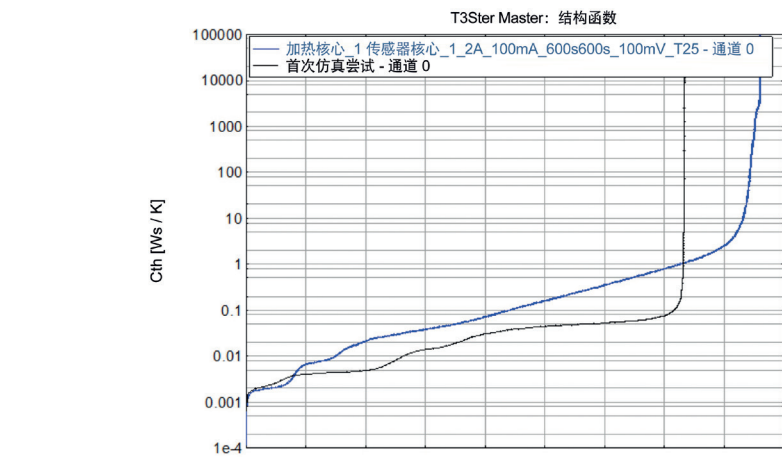


图 2. 初始仿真曲线（黑色）与 T3Ster 实测曲线（蓝色）

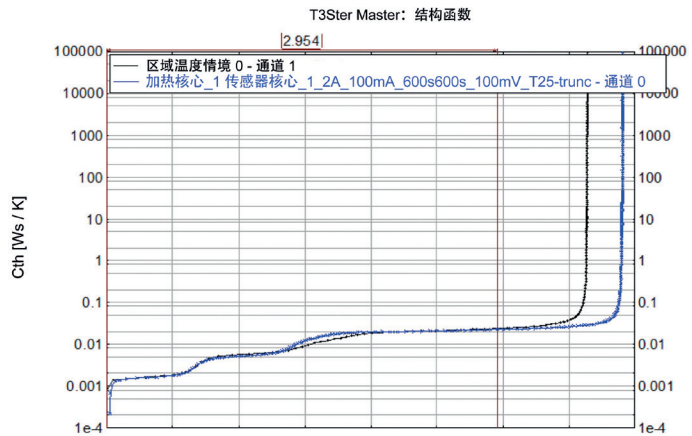


图 3. 相当吻合的最终校准结果

值是不确定的) 及其热导率值的可能范围。选定调整的材料为: C4 凸块; 底胶; 封装基板; 以及阻焊层。

结果如图 3 所示，在最高达到结-电路板热阻 (RthJB) 的热阻范围内吻合得非常好。由此

可证明 FloTHERM 自动校准技术配合 T3Ster 使用的有效性，而校准后的模型可用于板级和系统级热分析，且结果的保真度和置信度非常高。