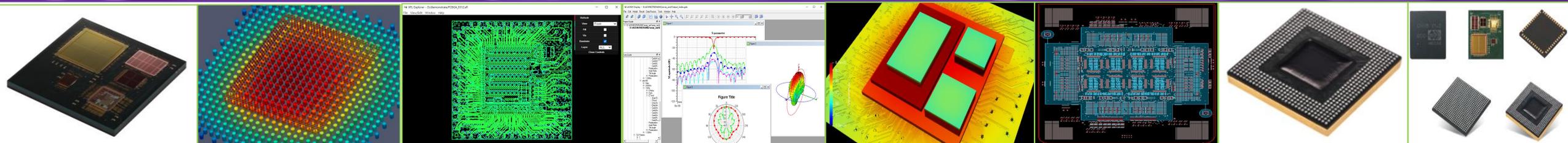
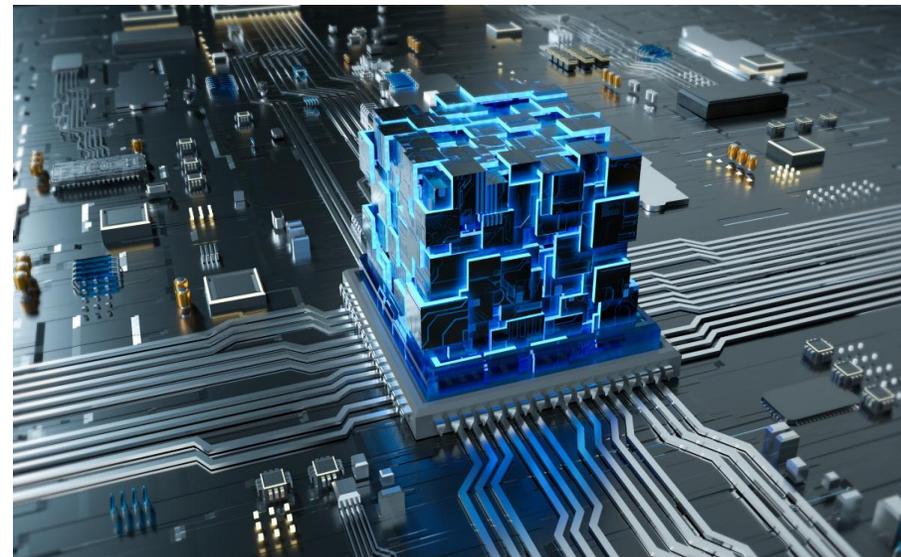


后摩尔时代Chiplet热仿真技术探讨

芯瑞微（上海）电子科技有限公司

吴寅芝 产品总监

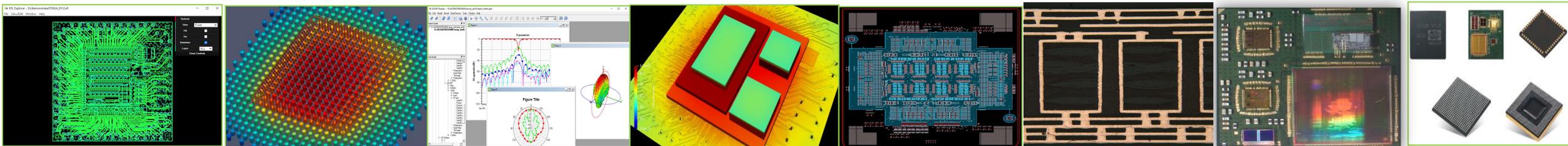




1 Chiplet异构集成设计实现的挑战

2 热仿真技术难点与解决方案

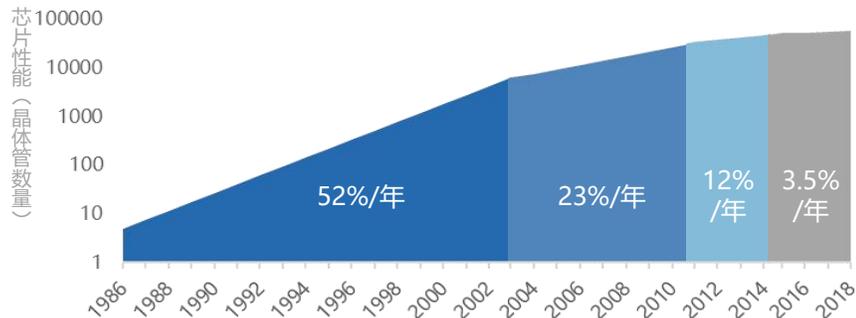
3 关于芯瑞微



行业痛点：以先进封装技术为基础的3DIC和Chiplet是后摩尔时代的必然选择

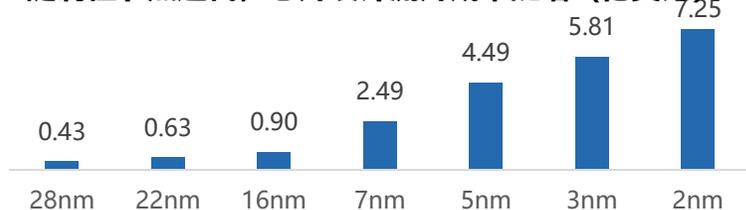
后摩尔时代到来，芯片制程遭遇物理极限

制程升级带来的性能边际提升逐年递减¹



性能提升见顶

随制程节点迭代，芯片设计流片成本陡增（亿美元）²



成本快速攀升

多家芯片巨头饱受良率困扰

SAMSUNG

三星4nm芯片良率仅有35%，导致高通芯片转单台积电

intel

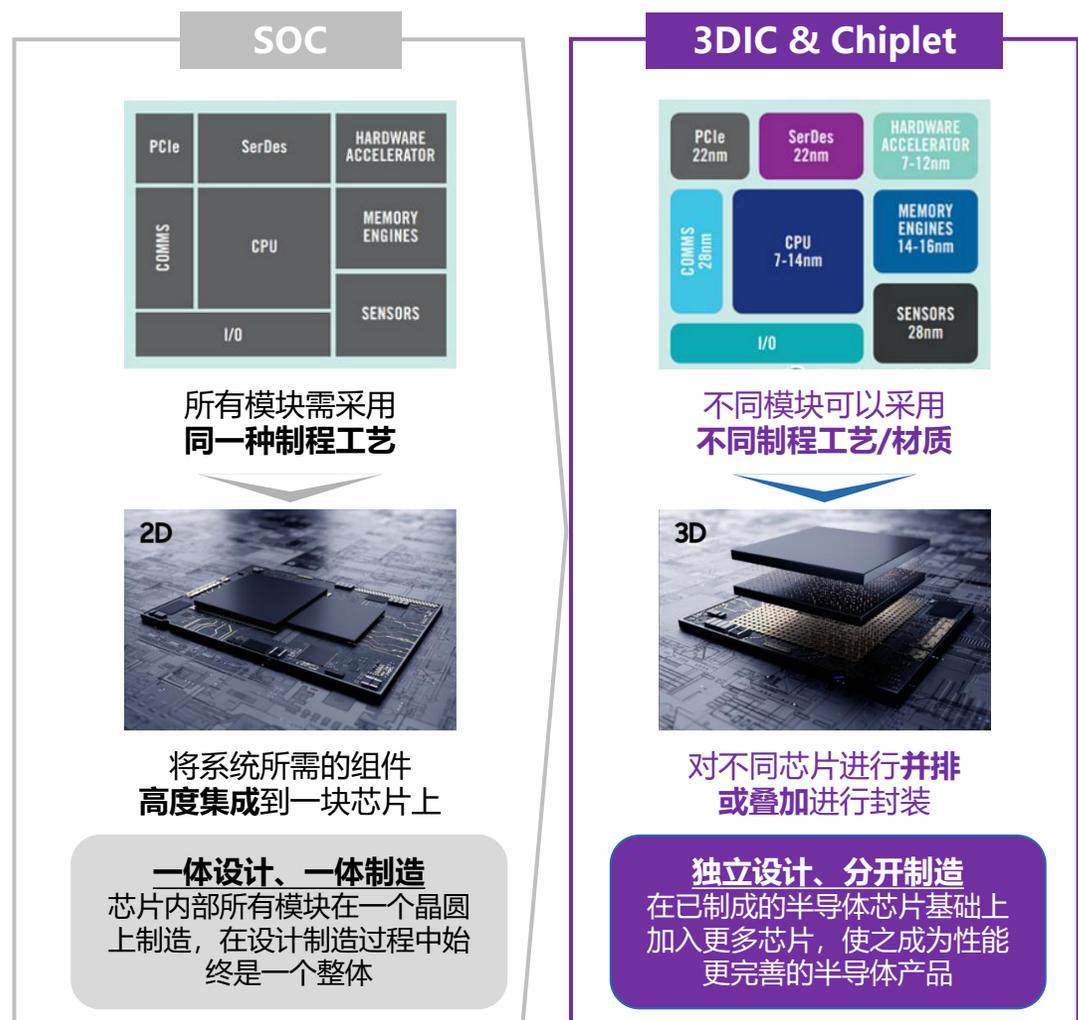
原计划于2021年底上市的7nm芯片，因良率问题多次推迟

良率危机凸显



数据来源：1. Computer Architecture；2. Marvell, IBS

以先进封装技术为基础，3DIC和Chiplet可实现芯片性能进一步提升



行业痛点：EDA底层逻辑由制造工艺前置→仿真结果前置转变，互连仿真成为新的设计挑战



 SOC

2021年：iPhone 13发布，搭载了基于台积电5nm工艺的A15芯片

 3DIC & Chiplet

2022年：推出采用台积电2.5D封装技术的M1 Ultra芯片

芯片产业

关键矛盾

芯片性能VS.制程工艺

芯片性能VS.封装方式

实现路径

依托于先进制程提升晶体管密度

依托于先进封装提升芯片集成度

核心痛点

如何解决先进制程工艺带来的良率问题

如何解决堆叠技术下芯片的信号、散热等问题

EDA行业

产品需求

内置工艺参数，
确保芯片设计的物理实现

基于仿真结果，
确保封装方式的物理表现

底层逻辑

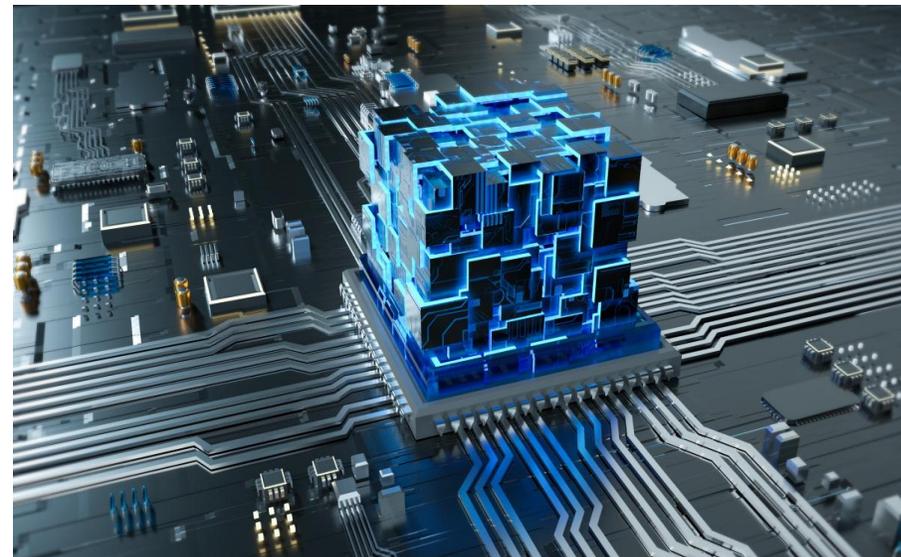
制造工艺前置

仿真结果前置

价值中心

EDA设计

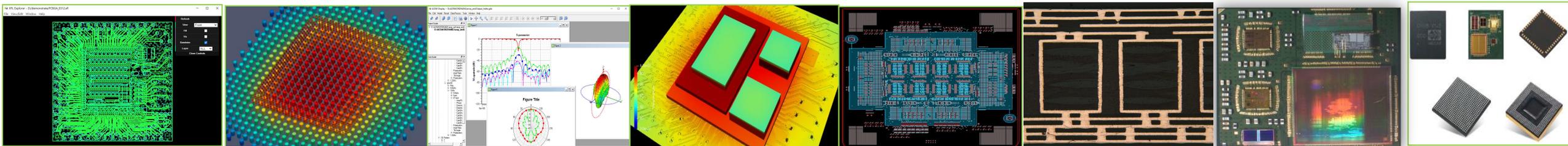
EDA仿真



1 Chiplet异构集成设计实现的挑战

2 热仿真技术难点与解决方案

3 关于芯瑞微



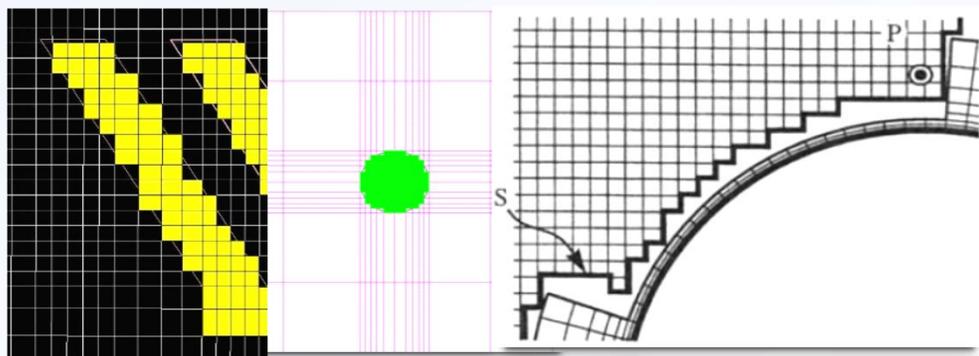
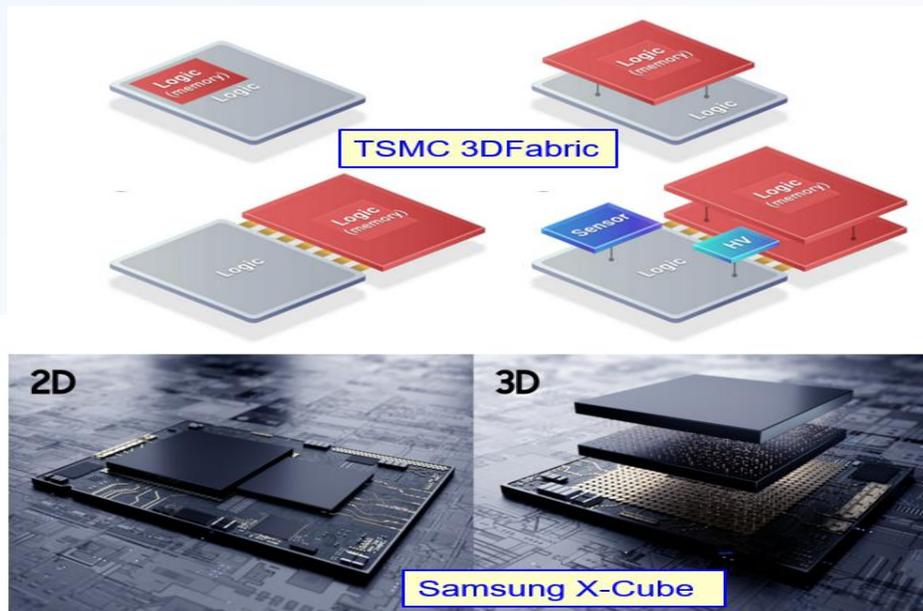
Chiplet对热仿真技术提出的挑战

挑战1: 3DIC/chiplets等先进结构和封装技术要求更细致的仿真尺度

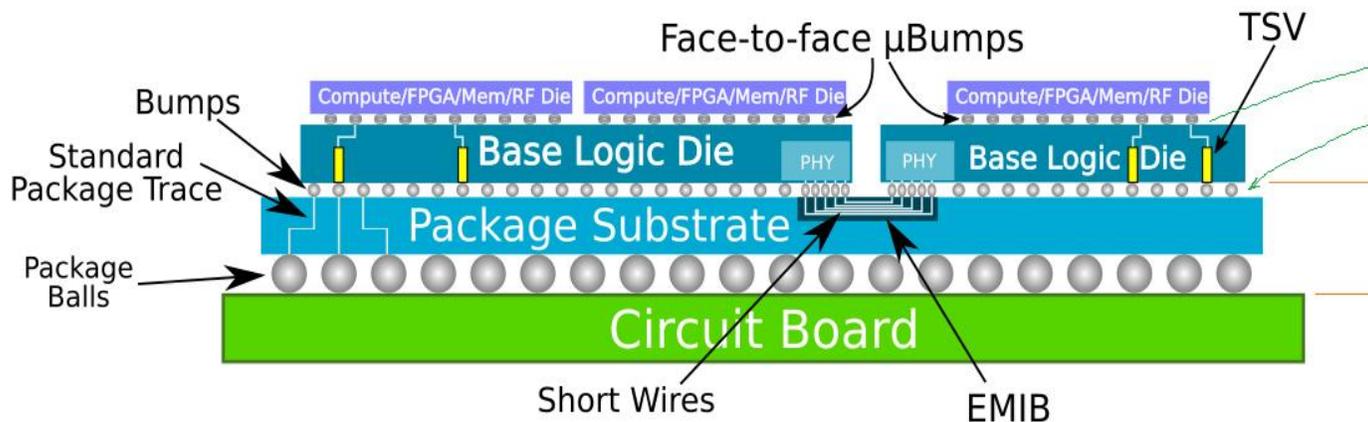
在先进芯片结构和先进封装技术高速发展的今天，诸如3DIC设计和Chiplets设计等封装结构越来越复杂，尺寸越来越精细，热点越来越集中。

传统的电子散热仿真软件由CFD程序发展而来，网格多采用正交六面体网格，且网格尺寸具有一定的限制，在处理传统封装时或采用几何简化措施，或采用多级网格处理，但无论哪种方式，都会损失几何的精度和仿真精度。

特别是在3DIC和Chiplet设计中，封装内部温度和热点问题尤为突出，传统的CFD仿真模式根本无法模拟精细结构的温度场。

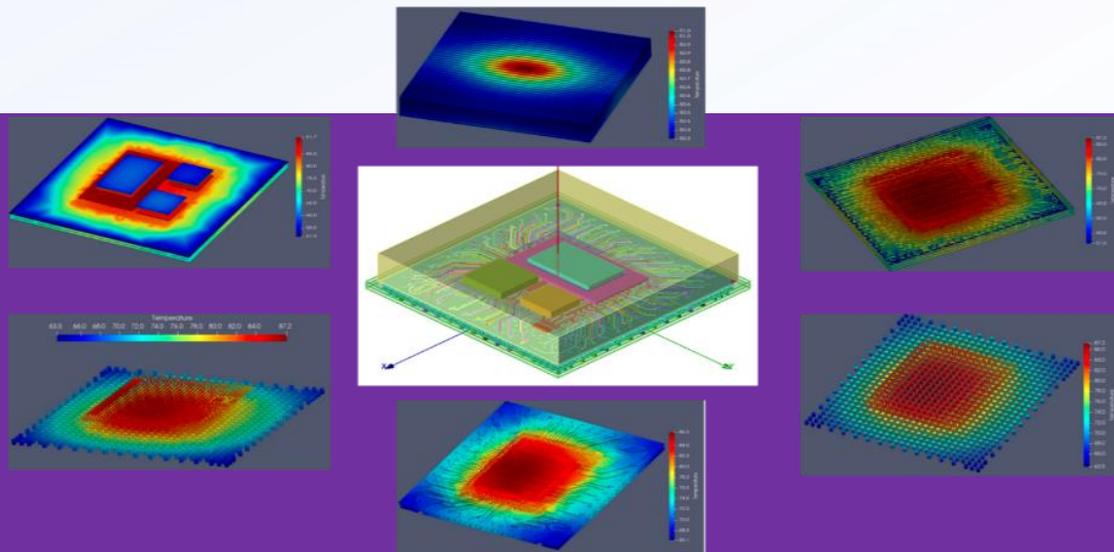


正交六面体网格对几何体的剖分损失

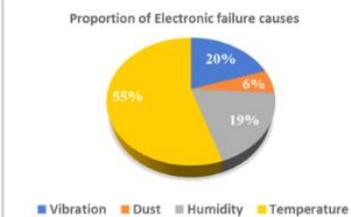


国产自主电子散热仿真工具TurboT

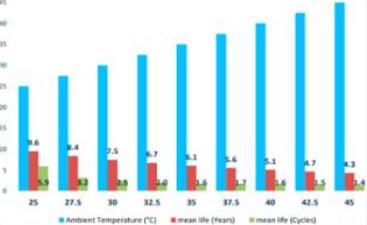
TurboT是由芯瑞微（上海）电子科技有限公司，基于自主知识产权技术开发的电子散热数值仿真软件。TurboT基于强大的电子产品几何建模技术，高精度网格剖分和热流固耦合仿真算法，实现用户对芯片封装、PCB等电子设备的热设计和热仿真。



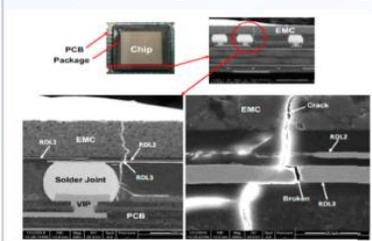
温度和热是引起电子失效的主要原因



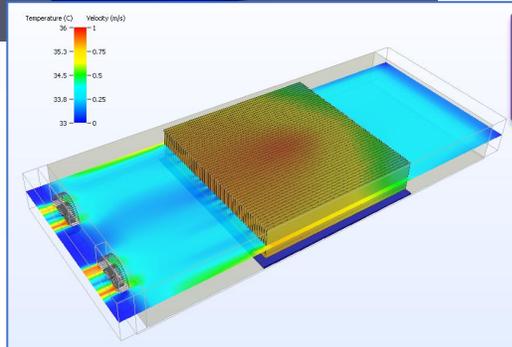
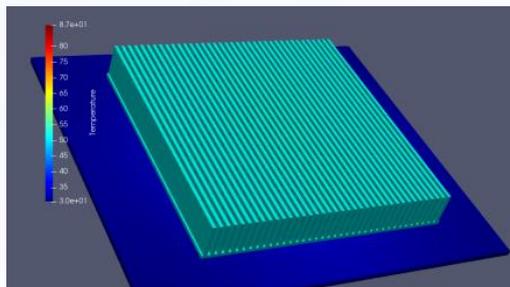
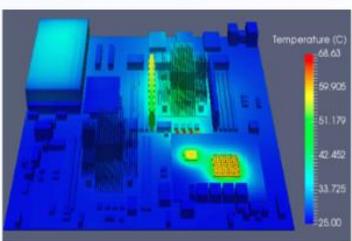
温度将显著影响电子产品使用寿命



超温现象将破坏电子产品的机械性能



超温现象将影响电子产品使用体验



电子散热仿真设计核心应用:

- > 电子空间几何布置优化
- > 电子材料选择
- > 散热结构的布局 and 连接
- > 强迫/自然对流换热设计计算
- > 系统热辐射分析
- > 温度控制系统设计
- >

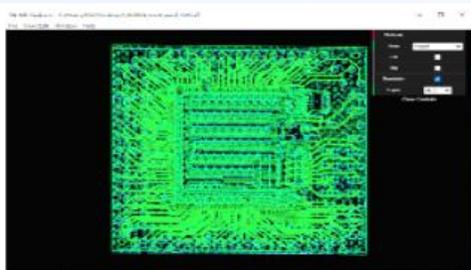
TurboT散热仿真全流程解决方案

可实现的应用场景：

- 芯片封装级热仿真分析场景
- PCB系统级热仿真分析场景
- 设备级电子散热仿真分析场景

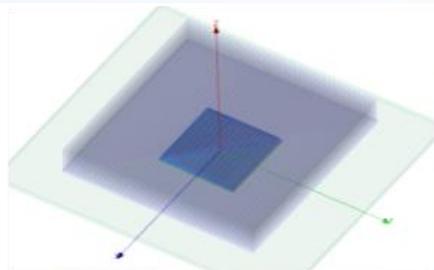
可实现的热相关仿真物理场：

- 电子设备外部对流换热仿真
- 辐射换热仿真
- 芯片/PCB结构导热仿真
- 芯片/PCB结构热应变和热应力仿真



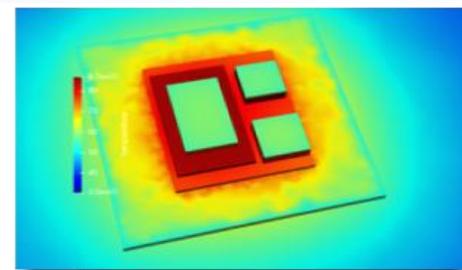
支持通用ECAD导入格式

可实现MCM/SIP通用格式的读入，包括芯片封装几何细节和散热几何设计细节等呈现。



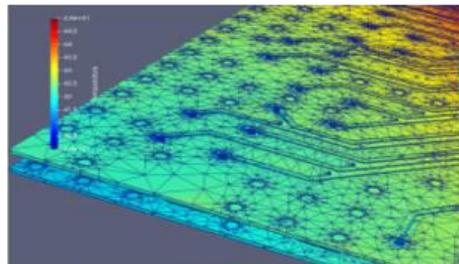
支持Package几何建模

提供芯片封装的对象几何建模，包括Substrate/Die/Mold/Lid/Heatsink等影响芯片封装散热的几何结构。



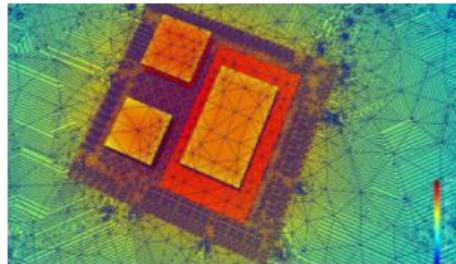
提供多种热源/边界条件设置

提供多种热源/边界条件设置，包含体积热源、面热源、环境温度设置等。



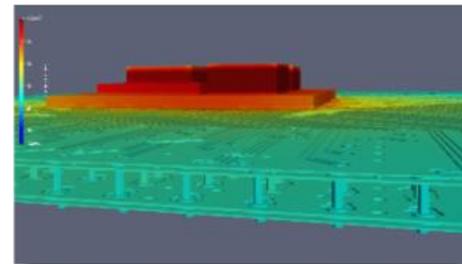
独立自主的网格剖分技术

提供精细的网格划分技术，精确到芯片package substrate设计细节的网格自动剖分技术，无需几何简化。



成熟的高精度高效率求解器

对电子散热物理过程中出现的热流固耦合问题，以及热、机械应力问题，具备精确的求解分析能力。



自动的结果后处理功能

对生成的温度场结果进行自动化的后处理，生成可被Paraview识别和展示的结果文件。

TurboT的先进封装计算案例

芯瑞微经典热仿真案例1

数字芯片封装，放置在JEDEC 4层板上进行散热分析，6个Die的功率一共为3W，在自然对流下进行热仿真分析。

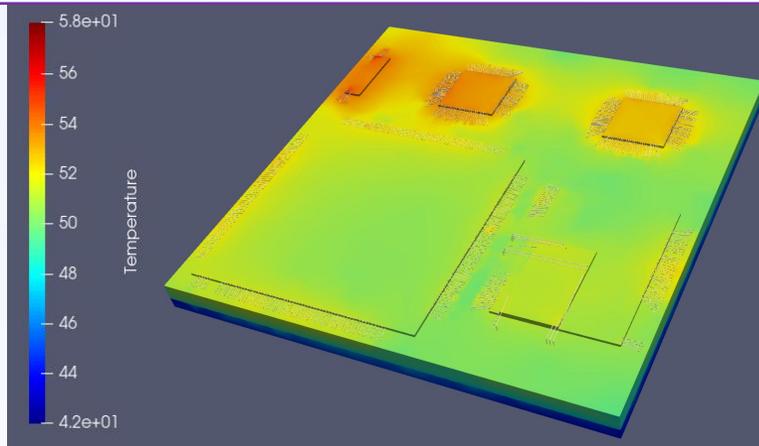
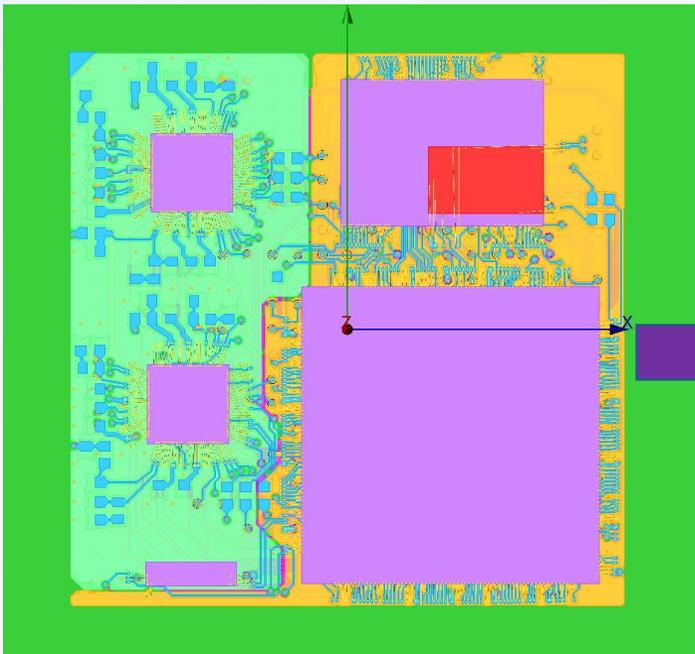


Figure 1: Temperature of PKG

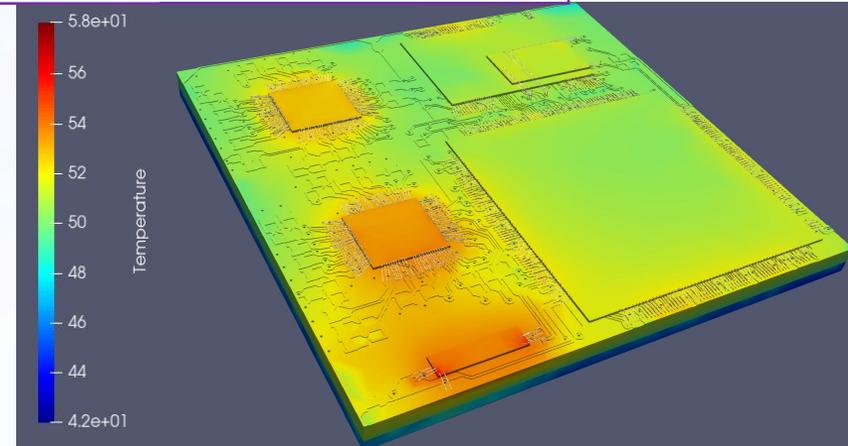


Figure 2: Temperature of PKG with more details

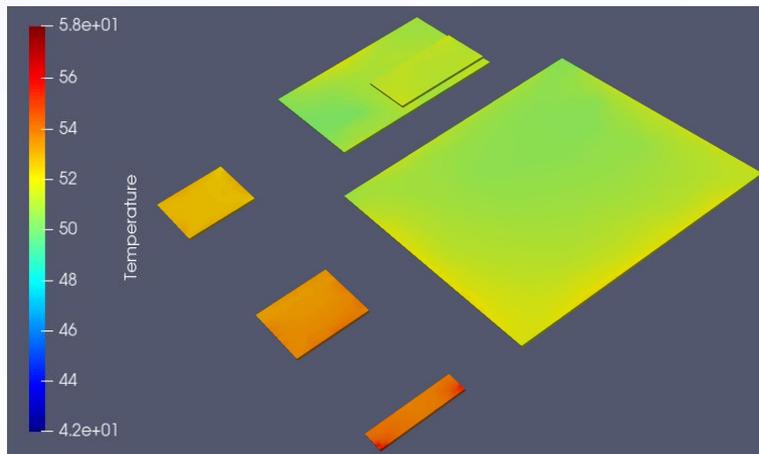


Figure 3: Temperature of stack and single Die

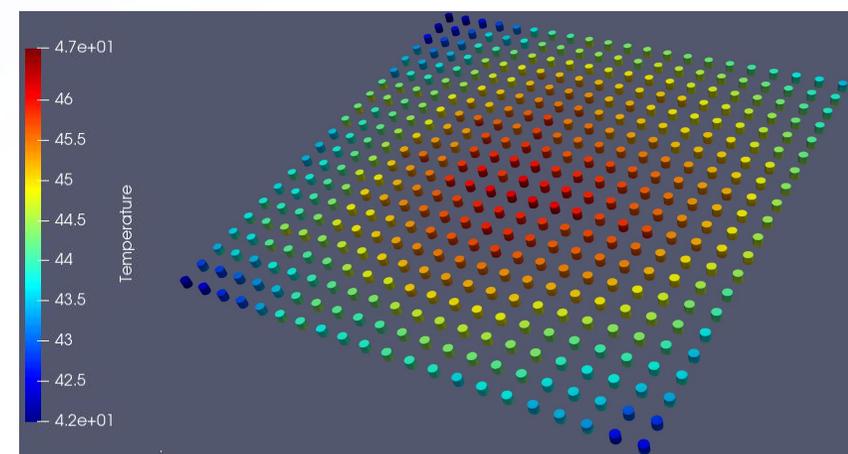
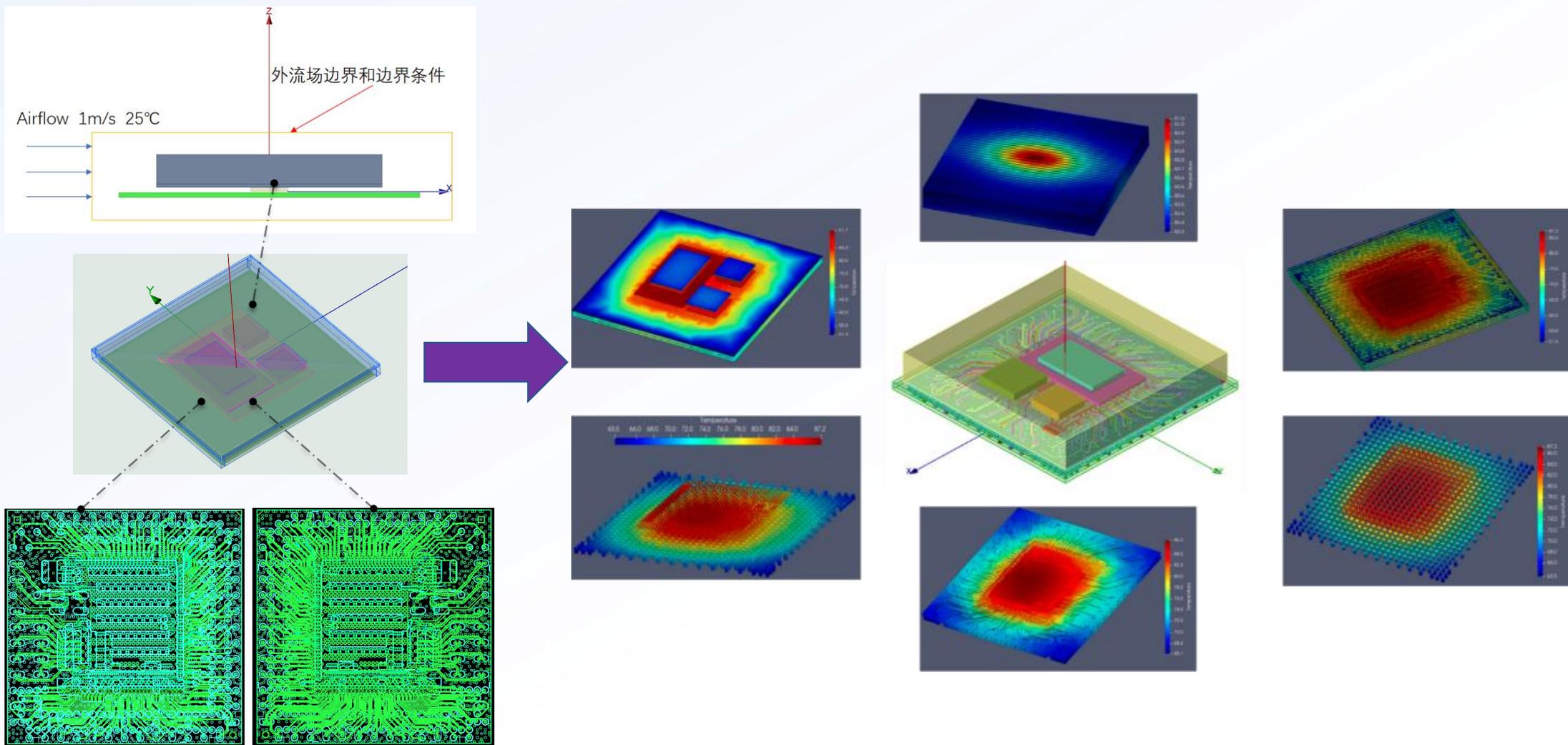


Figure 4: Temperature of Bump

TurboT的先进封装计算案例

芯瑞微经典热仿真案例2

在PCB板上有一个封装芯片，封装芯片上粘接X方向顺流的散热器，4个硅晶片作为发热源，在X方向给定边界条件为1m/s的强迫对流流速进行散热。



技术稀缺：国际先进的跨尺度、多维度和复杂瞬态下热电路抽取仿真技术

领先国际的热电路模型抽取仿真技术，适配先进封装的快速热仿真需求

先进封装热仿真痛点

热电路抽取解决方案

多源异构热瞬态复杂

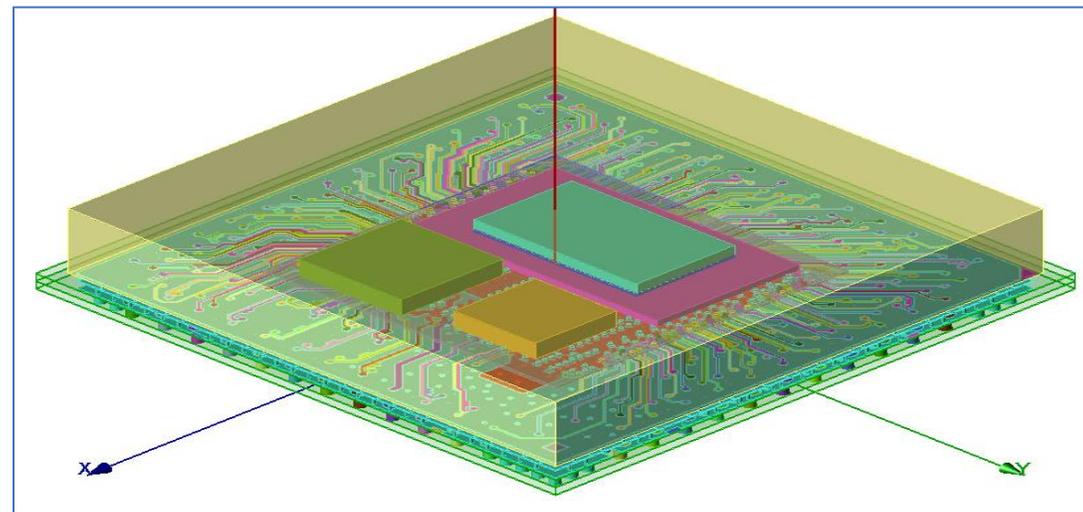
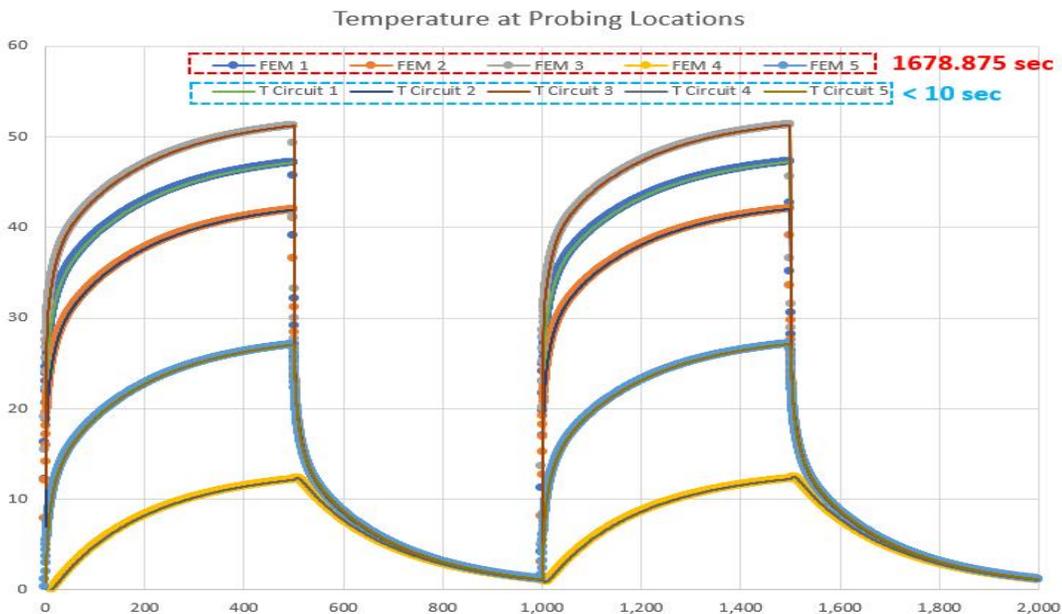
适配各种封装的Chip内外热电路的快速高效联合仿真

热源多，瞬态时间长

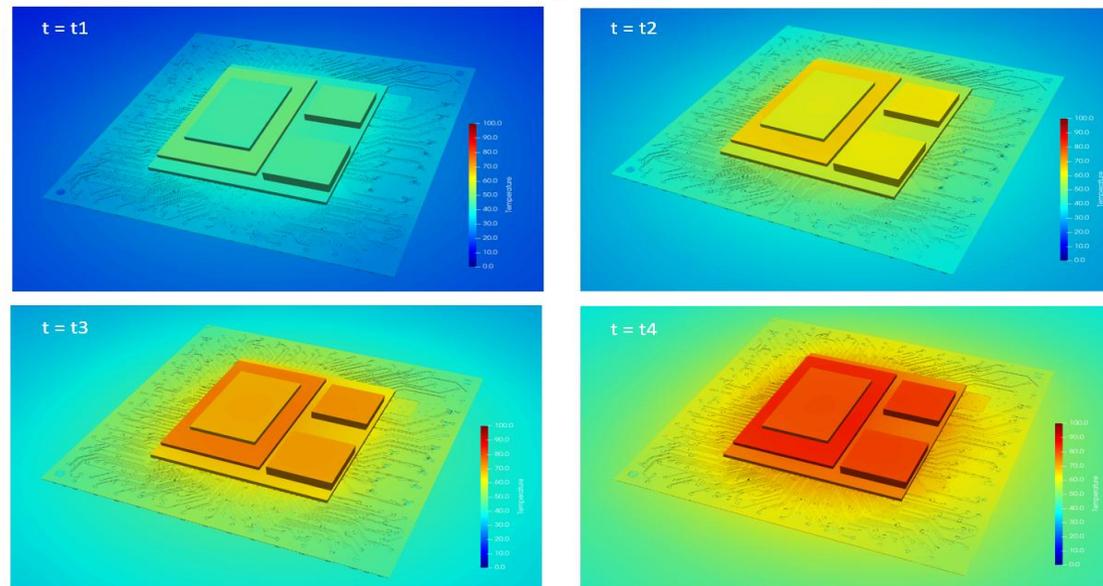
热源、瞬态模拟时间设置简单，仿真时间比有限元快2个数量级

跨尺度计算精度差

无差别网格剖分和跨尺度计算，瞬态温度计算精度高

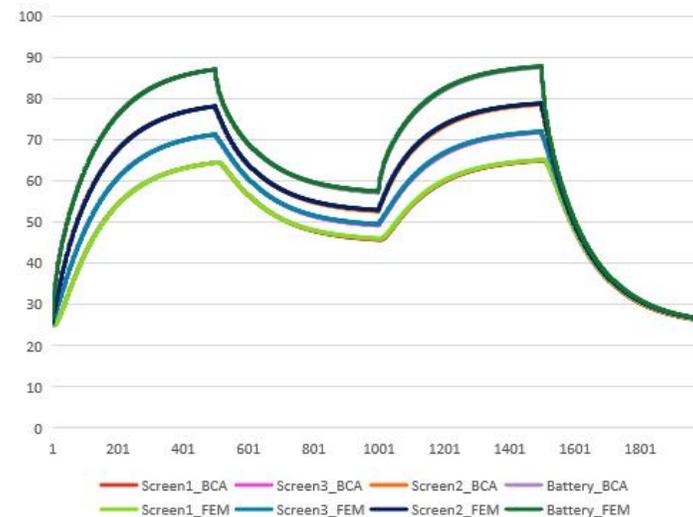
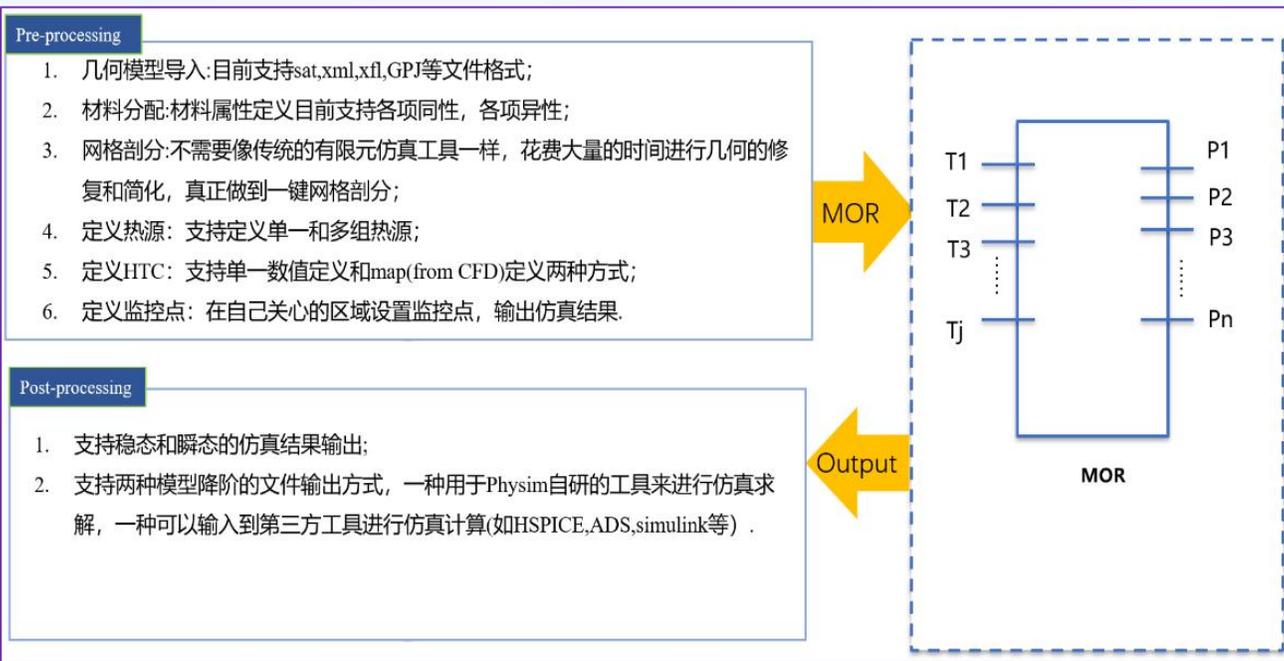


Transient Thermal Simulation of Chiplets and Substrate ($t_1 < t_2 < t_3 < t_4$)



热电路抽取工具TurboT-BCA(Boundary Condition Aware)

芯瑞微电子科技有限公司推出的TurboT-BCA，利用热降阶模型(ROM)的方法，帮助用户高效率完成复杂模型热仿真。其求解速度相比传统热仿真工具提升千倍，且有效精度没有损失，是颠覆性的仿真技术。



BCA VS FEM 仿真精度对比

芯瑞微热电路提取技术

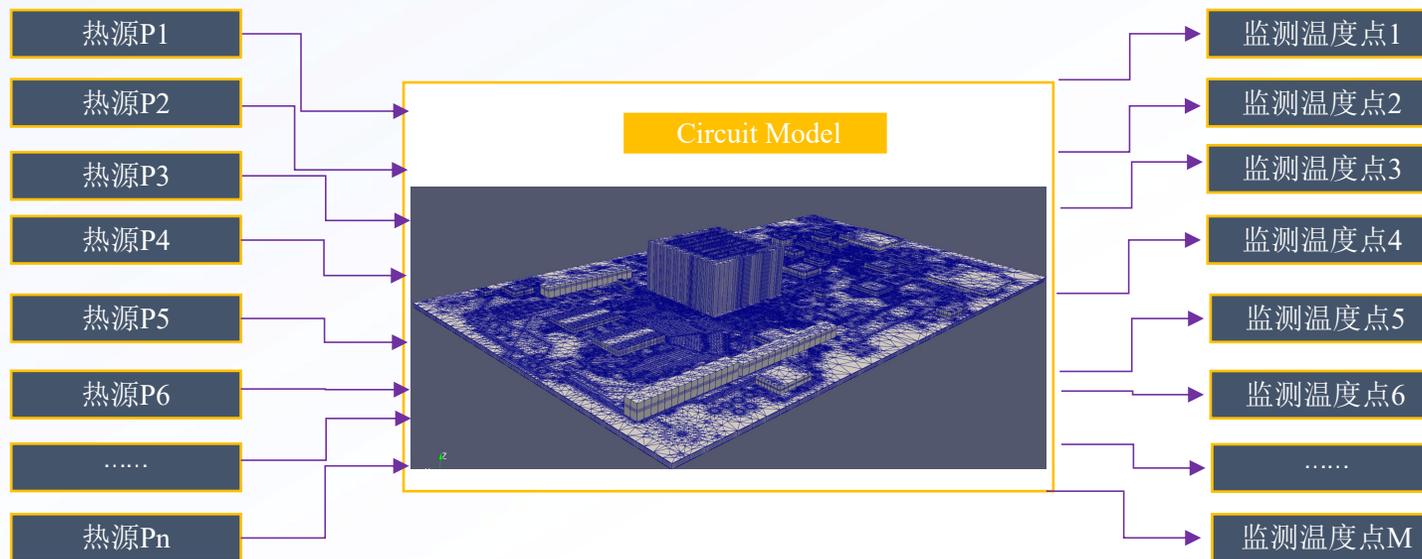
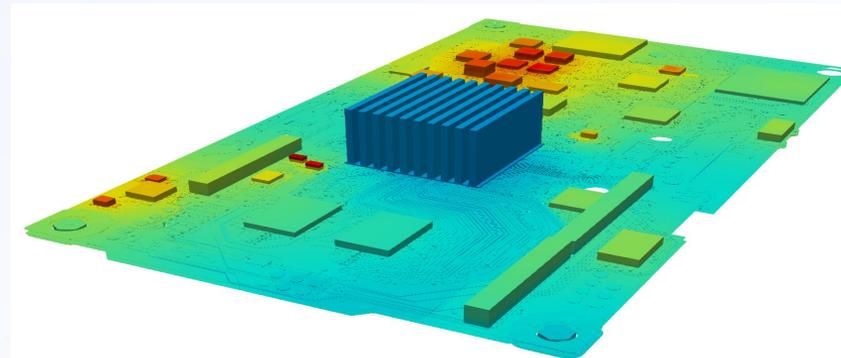
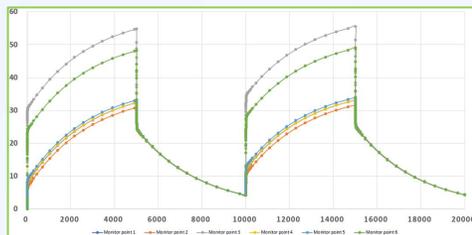
Physim Circuit电热抽取工具介绍

可实现的应用场景：

- 芯片封装/PCB级热仿真分析场景
- 消费电子热仿真分析
- 终端产品系统级热设计

软件主要特色功能：

- 不需要对仿真对象几何模型进行简化，一键网格剖分
- 高质量保证降阶模型准确性和温度计算精度
- 大幅降低瞬态仿真的难度和计算时间
- 抽取的热模型既可以用Physim自研的工具求解，也可以输入到第三方工具进行系统级线路仿真(如HSPICE, ADS, simulink等)

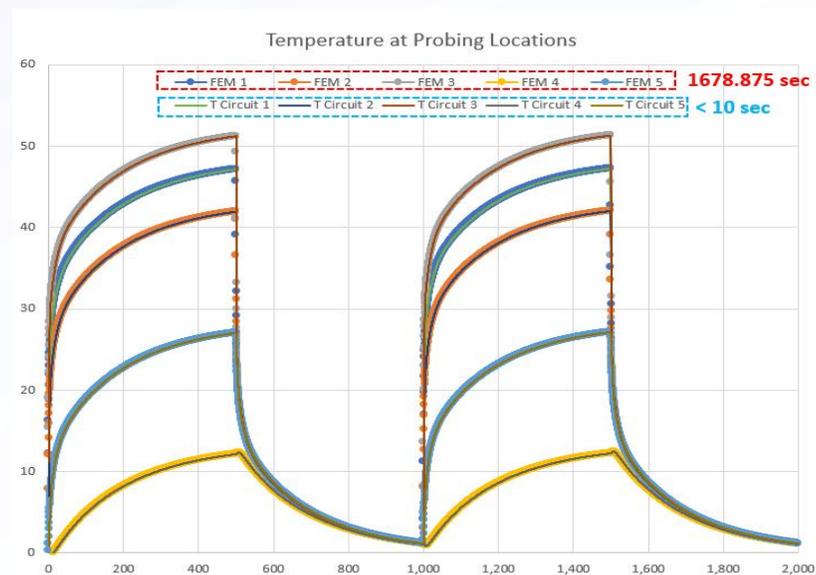
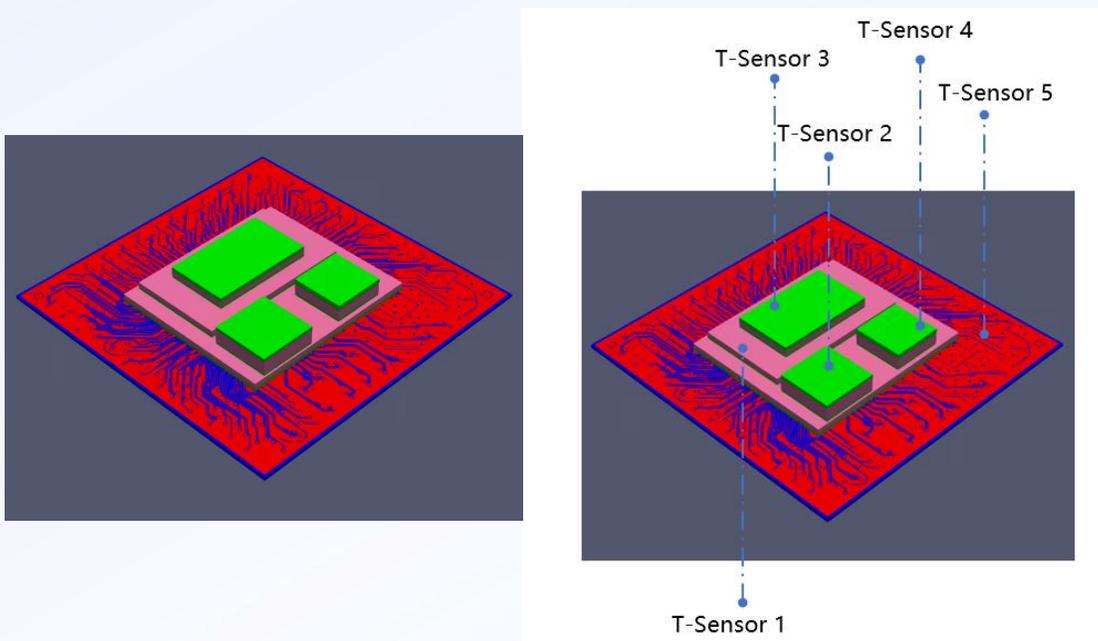


Physim Thermal Circuit工作原理图

TurboT-BCA先进热仿真案例

经典案例1-自然对流下的4层基板Chiplet案例

某企业用户的芯片，放置在JEDEC 4层板上进行散热分析，两组热源，设定5个温度观测点，采用FVM+FEM在自然对流下进行瞬态热仿真分析（2千秒）和ROM计算两千秒的结果对比如下图。我们可以看到在采用有限元仿真需要1678s, 而使用ROM仿真仅仅不到十秒，且仿真结果高度一致。



某企业用户的chiplet封装热仿真案例

ROM VS FEM

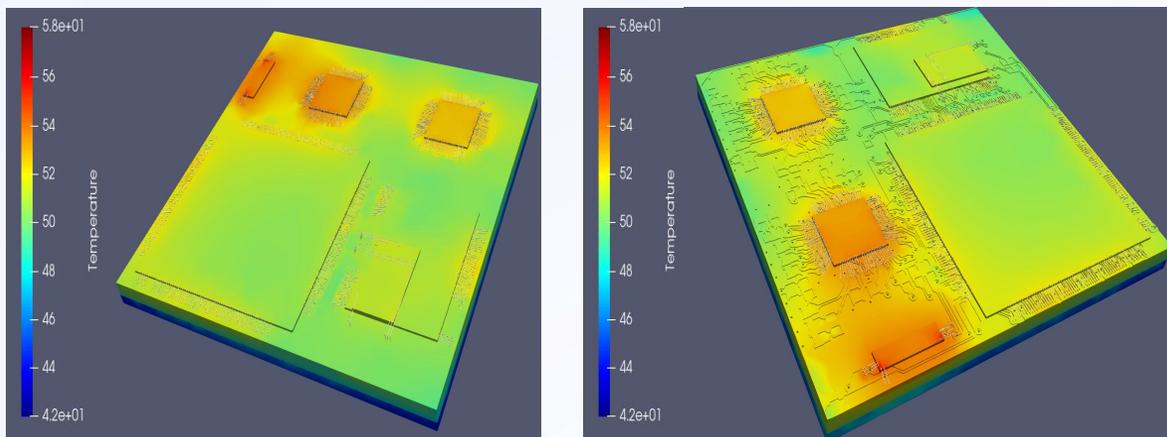
TurboT-BCA先进热仿真案例

经典案例2-Sip封装案例

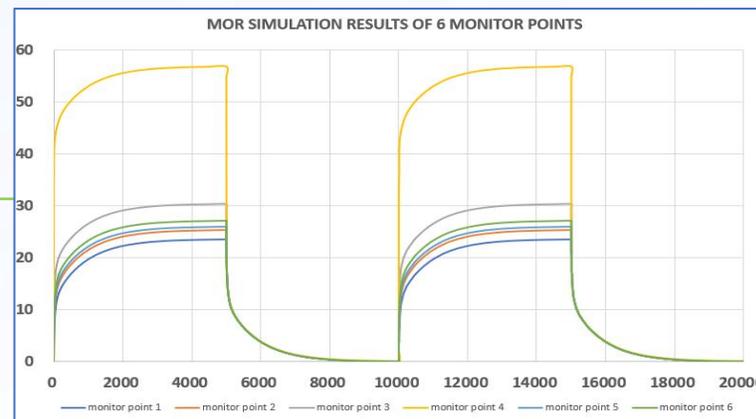
对Sip封装的Die（共5个Die的面热源），并分别通过FEM和TurboT-BCA工具进行关注点的2万秒计算时间的瞬态热仿真（总体网格数量为350万，一共5个面热源，6个温度观测点）。

➤ 热电路模型计算时间为34秒，观测点最高温度57.6°C。

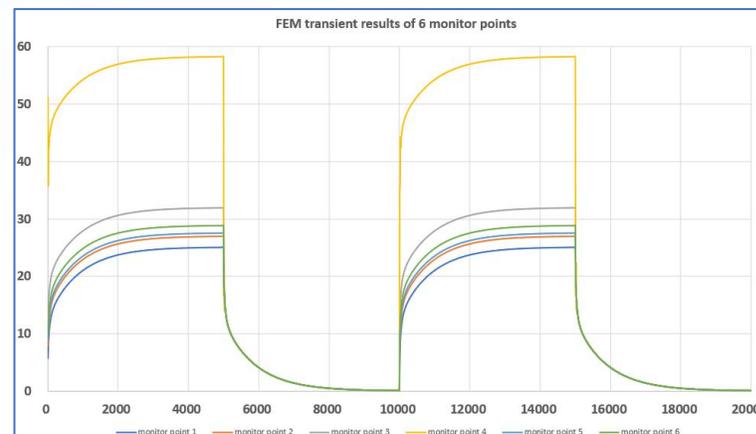
➤ FEM模型计算时间约2800秒，观测点最高温度58°C。



FEM模型计算Sip封装的温度云图



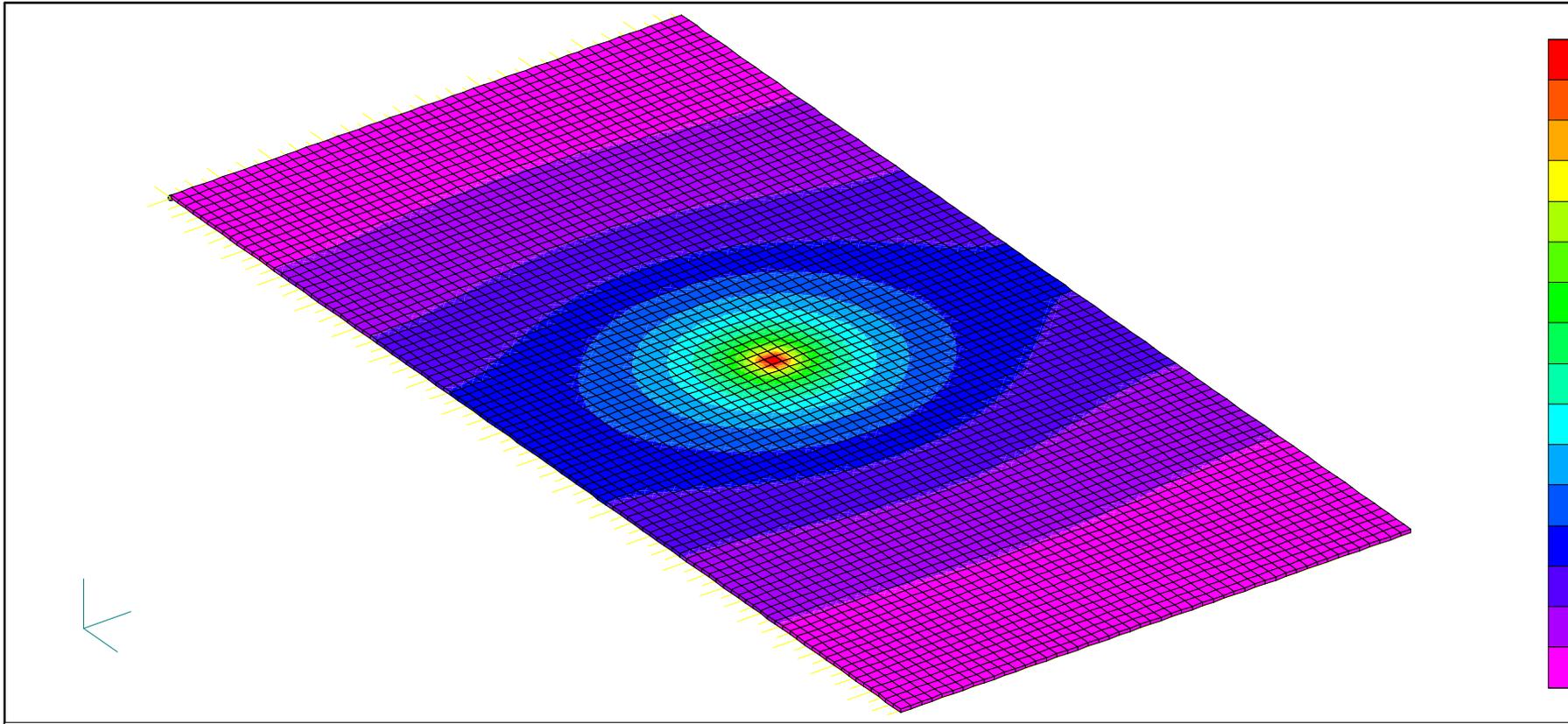
热电路模型计算各个监测点的温度值

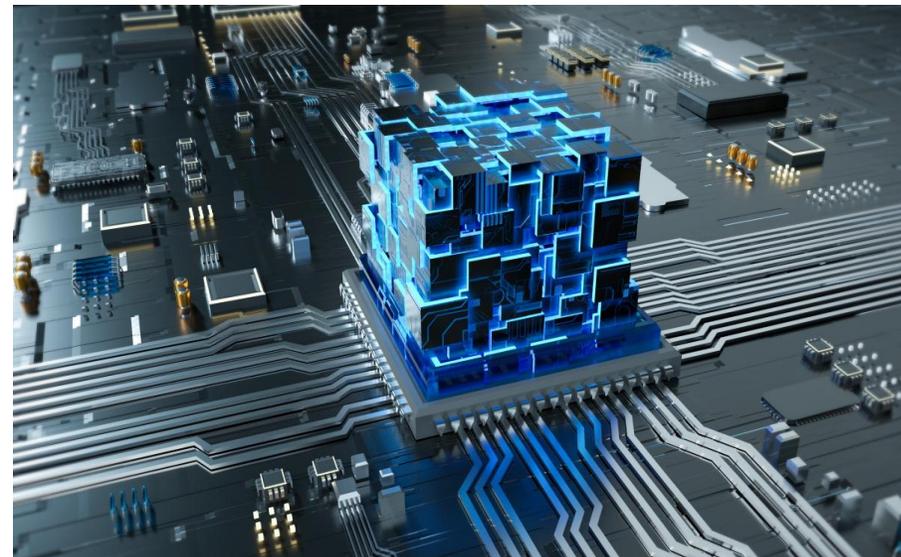


FEM模型计算各个监测点的温度值

TurboT-BCA技术

1. 提取热对流条件下的热电路
2. 其他热对流条件的热电路可以通过在步骤1中移动极点来产生

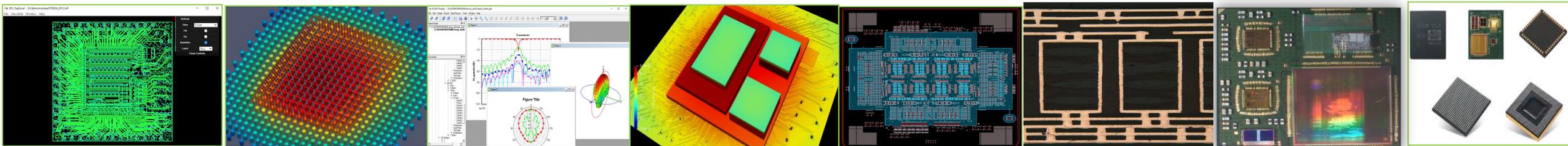




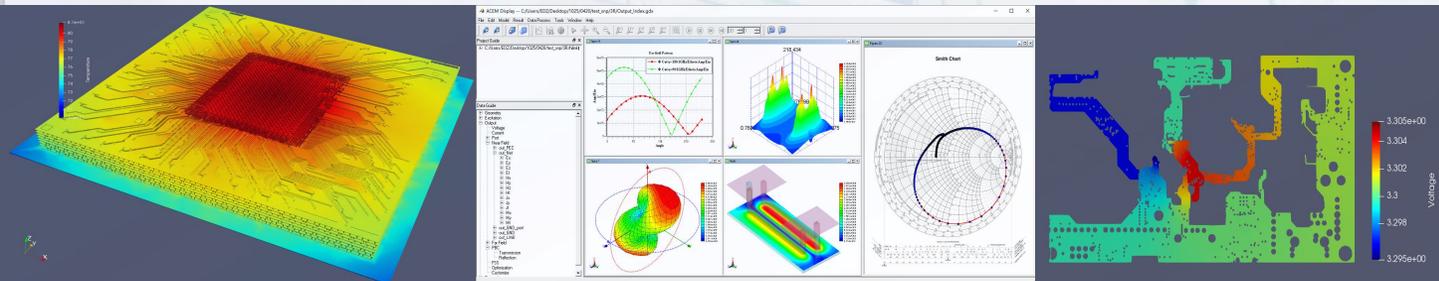
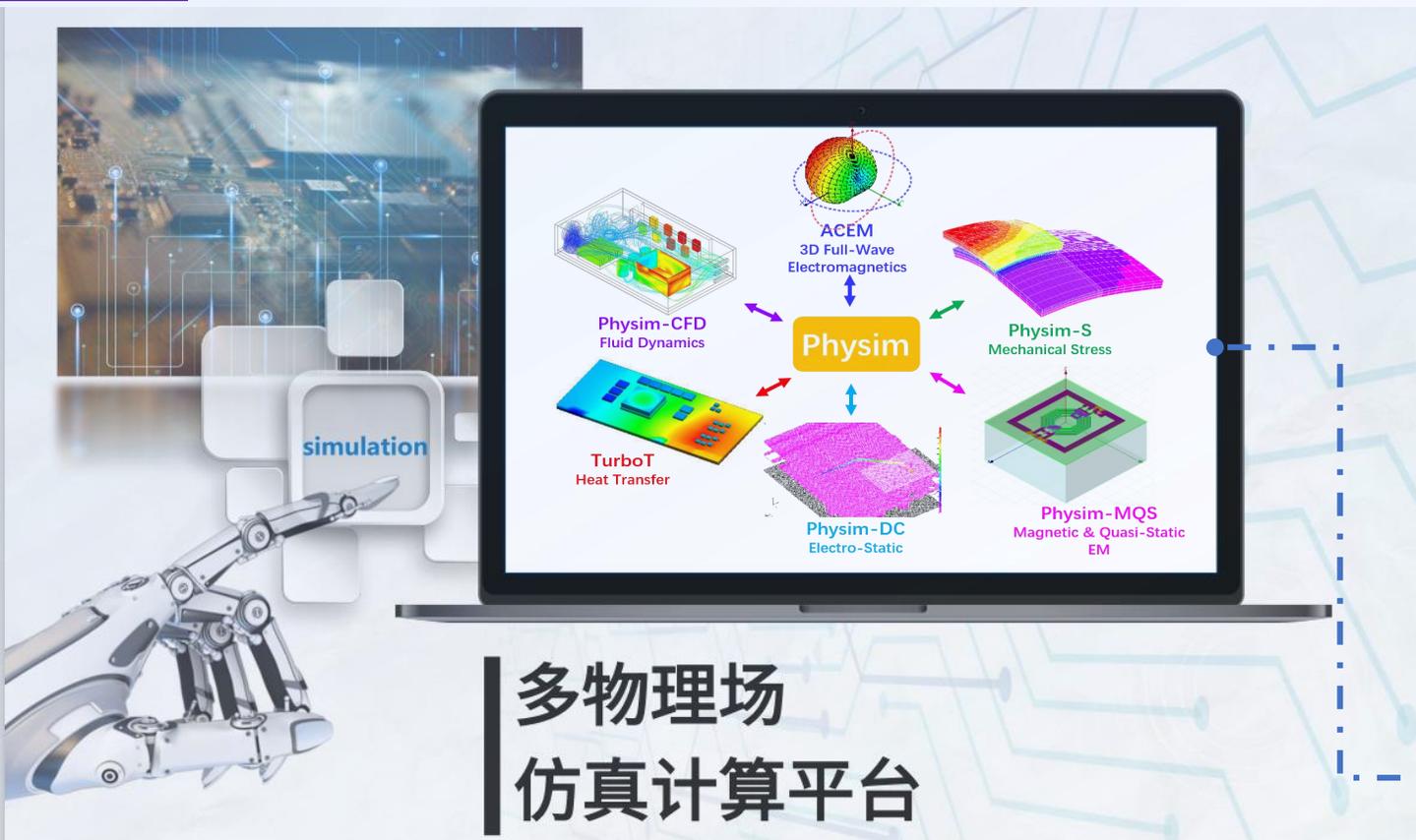
1 Chiplet异构集成设计实现的挑战

2 热仿真技术难点与解决方案

3 关于芯瑞微



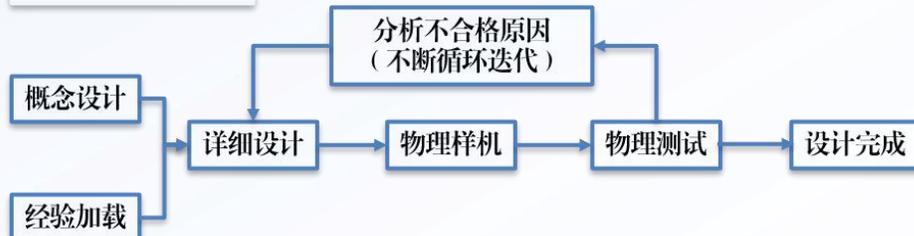
自研多物理场仿真软件和仿真服务



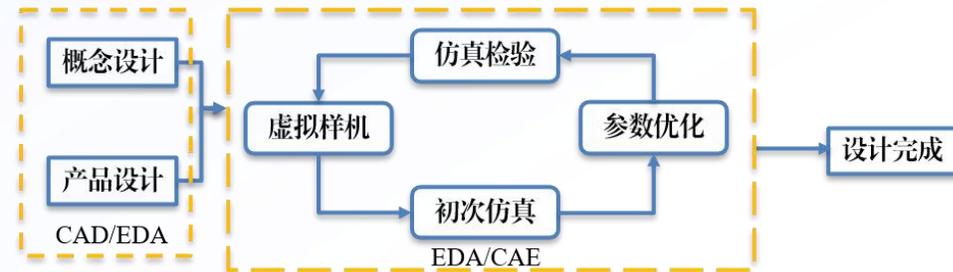
电热、电磁、电源仿真模块



传统设计研发流程



现代设计研发流程



多物理场仿真相比传统研发流程的优势

- ▶ 节省大量样机测试时间，加速研发过程；
- ▶ 用数值计算方法优化产品，更加科学有效；
- ▶ 虚拟样机节省大量测试成本，保证测试成功率；
- ▶ 数字化样机，可反复计算迭代，节省样机制造成本；
- ▶ 与现代设计文件完美衔接，防止物理样机制造带来误差。

芯瑞微：聚焦3DIC和Chiplet，以多物理场仿真为核心，重塑后摩尔时代半导体产业价值

基于多物理场仿真平台，全面赋能半导体与先进制造企业

半导体行业

芯片设计公司 | 晶圆代工厂 | IDM厂商 | 半导体封装测试服务 | ...

先进制造业

航空航天 | 汽车 | 轨道交通 | 电力能源 | ...

多物理场耦合，提供面向先进封装设计实现的一体化解决方案

封装选型

基板设计

Si/Pi仿真

热和应力仿真

工程验证和测试

板级互连

通用仿真软件和解决方案平台，实现结构、电、磁、热、力、流综合物理场仿真的全面覆盖

Bump/Pinmap排布设计

Die互连方案

三维电磁仿真

热和应力仿真

信号完整性

功能性测试

可靠性测试

封装需求分析

详细封装方案设计

电源完整性

流体CFD仿真

准静态电磁仿真

基板和封装制造

...



先进封装设计服务



自研多物理场仿真软件



先进封装测试和加工服务

底层技术自主可控，真正在工业软件的核心模块实现国产替代

先进封装设计服务能力

MCM设计

SIP设计

PoP设计

.....

底层核心算法技术

自适应网格划分

多物理场求解器

仿真结果后处理

设计文件接口

先进封装测试和加工技术

多功能几何编辑

...

SIP设计加工能力

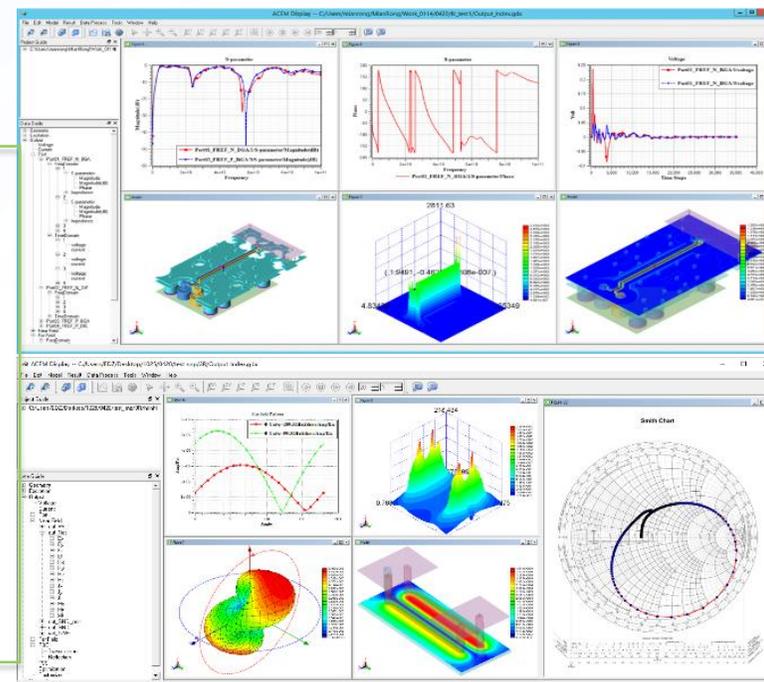
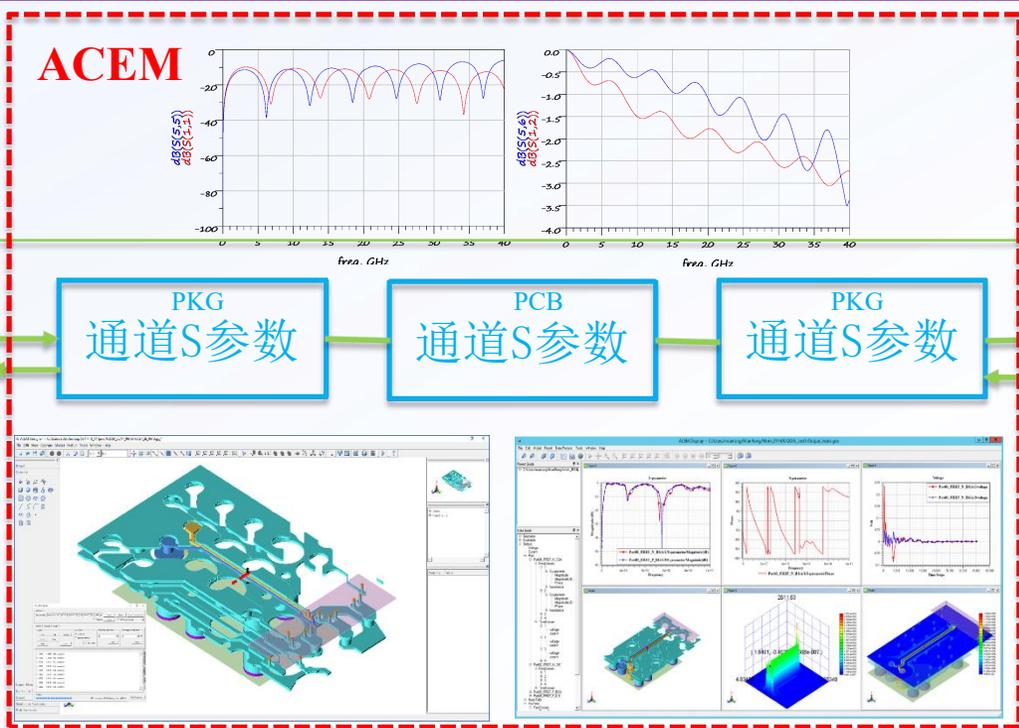
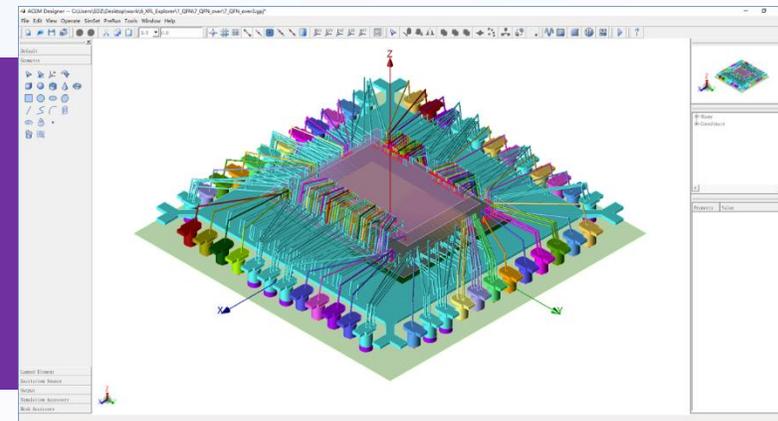
PCB加工能力

晶圆级封装技术和工艺能力

...

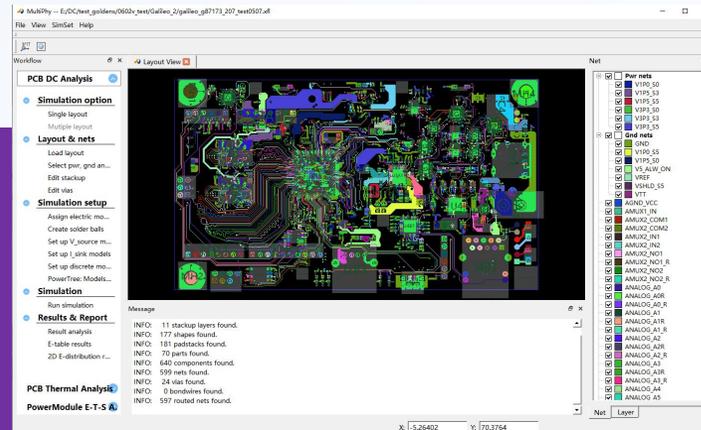
三维电磁仿真工具ACEM

ACEM是由芯瑞微（上海）电子科技有限公司，基于自主知识产权技术开发的三维电磁仿真软件。作为任意三维结构全波电磁仿真工具，ACEM依托强大的3D编辑、自动参数化、和极低的内存占用特性，搭载imesh智能加密和网格后处理引擎，可以并行加速的HPC，适配于航天航空、半导体、计算机、通信网络、人工智能等行业产品的设计和仿真。



电源直流仿真分析工具PhySim DC

PhySim DC是由芯瑞微自主研发，针对于当前低压大电流的PCB和封装产品提供全面的直流分析的仿真软件。PhySim DC基于强大的电路模型建模技术，高精度网格剖分以及精准高效的仿真求解算法，实现用户对芯片封装、PCB等电子设备的电源直流仿真分析。



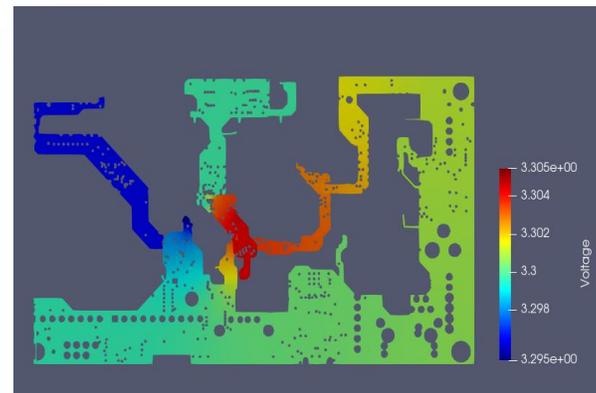
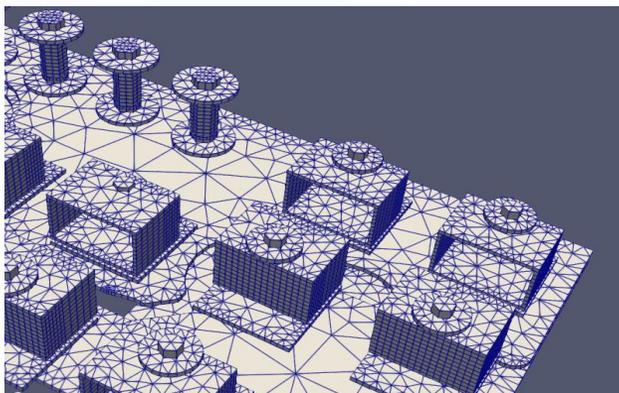
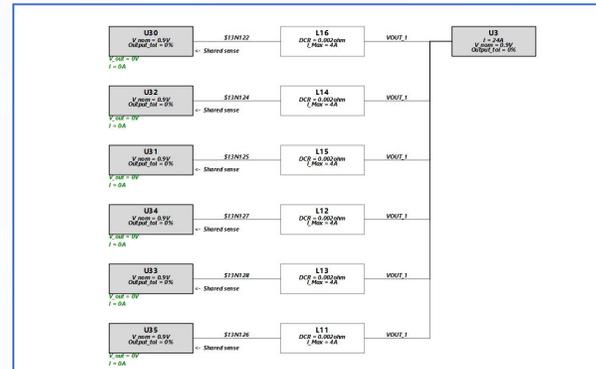
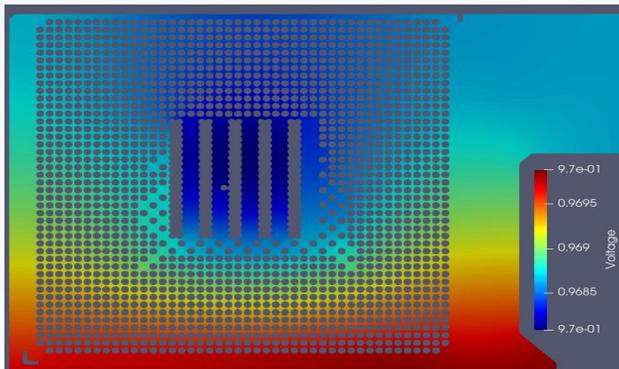
PhySim DC电源直流分析全流程解决方案

可实现的应用场景：

- 芯片封装级电源完整性分析场景
- PCB系统级电源完整性仿真分析场景
- 有埋容设计的电源模块仿真分析

可实现的电源完整性仿真分析：

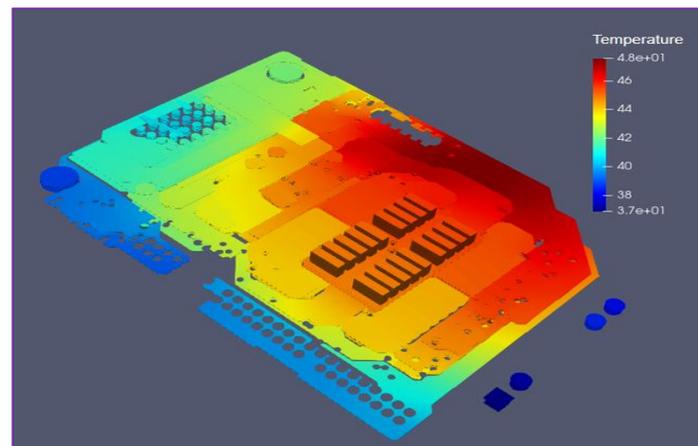
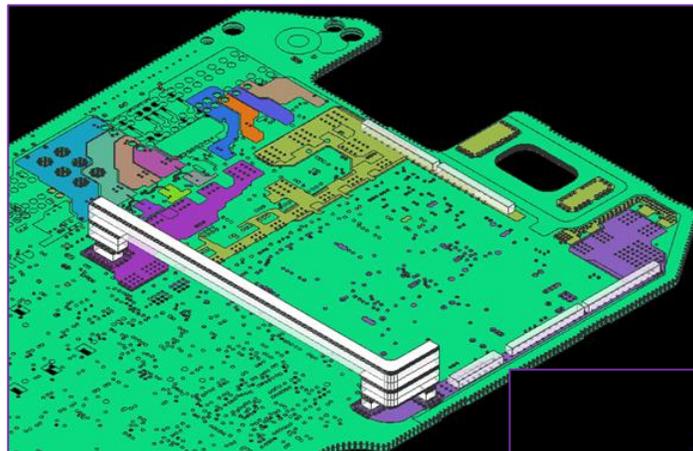
- IR-drop仿真分析；
- 过孔电流密度仿真分析；
- 埋容的DC建模以及流经大电流仿真分析
- 电源树的提取
- 电热混合仿真



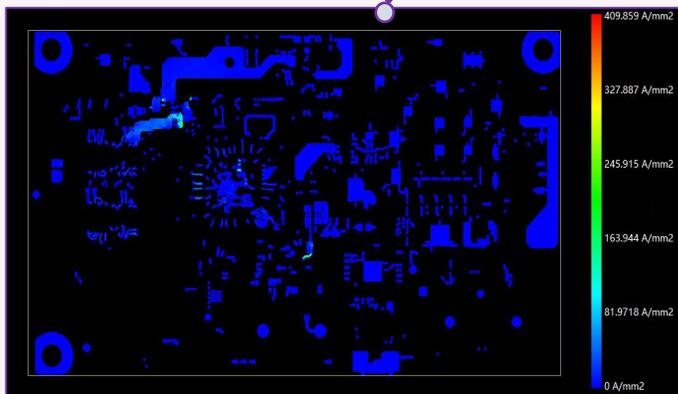
电热耦合仿真工具PhySim ET

Electrical&Thermal

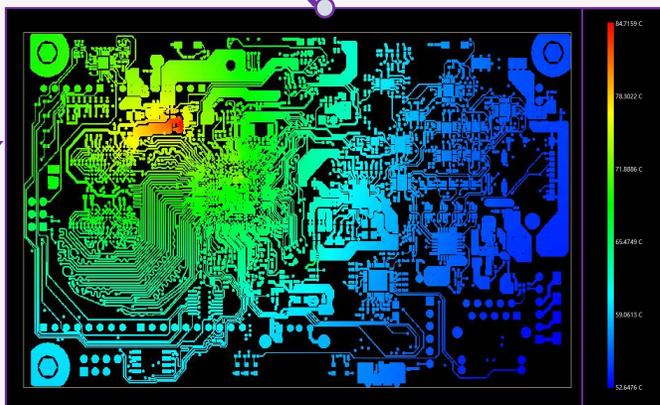
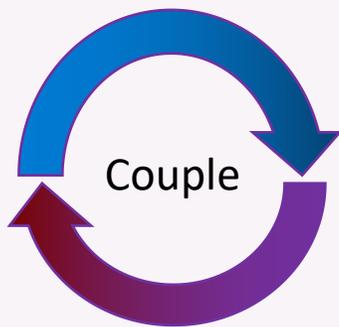
强大的电性能仿真与热分布分析相结合，自动对电流及温度间的相互影响进行迭代计算，充分考虑由于温度的升高给电性能带来的影响，得到更准确的仿真结果，帮助设计人员**定位温度热点**，**优化设计**。



PhySimET 电热联合仿真



直流分析



传热计算

电热协同仿真示意图



感谢

THANK YOU FOR WATCHING