全球首台 1200A T3Ster 热阻测试系统在中国成功安装并顺利通过稳定运行的要求，完成验收

MENTOR GRAPHICS, MECHANICAL ANALYSIS DIVISION

WHITEPAPER

Mentor Graphics®

MECHANICAL ANALYSIS

www.mentor.com

在当今快速发展的工业领域里，电力电子技术起到了非常重要的作用，而其中所涉及到的电力电子器件，例如：绝缘栅双极性晶体管（IGBT）、场效应管（MOSFET）、双极性晶体管（BJT）、功率 MOSFET 等广泛的应用在越来越多的电子领域。

随着工业领域中电力电子器件应用的进一步扩展，耐大电流、耐高压、高速和低饱和压降的电力电子器件的应用日益广泛。但伴随着功耗加大的同时，也带来了结温过高的问题，这对电力电子器件的可靠性提出了更高的要求，也意味着对电力电子器件的散热设计、散热性能提出了进一步的要求。

明导公司（Mentor Graphics）的 T3Ster 热阻测试系统一种独特的设备，它能够对包括电力电子器件在内的半导体器件的热特性进行测量，从而对器件的散热设计进行优化，对散热性能进行针对性的改善。

T3Ster 系统不仅适用于半导体器件的热特性的测量和分析，还可评估半导体器件的封装水平，可以对半导体器件封装的缺陷进行检测，以及在半导体器件进行可靠性测试后，对封装水平的进行再评估。

此次在中国安装的 1200A T3Ster 热阻测试系统是全球首台满足加热电流从 0A 到 1200A 线性输出的 T3Ster 热阻测试系统，是针对电力电子器件暨功率型半导体器件的瞬态热测试而开发的，满足 IGBT 的热特性测量，此外，此系统还可以测试晶闸管、功率晶体管，大功率 LED，MOSFET 和其他功率器件。

图 1: 1200A T3Ster 热阻测试系统

1200A T3Ster 热阻测试系统的优势在于：
1、 结温度测量精度高，器件结温度的测量精度为 0.01° C；
2、 从加热状态和测量状态切换时间短，仅为 1μs；
3、 测试采样速率高且时间短，1μs /次，即1秒钟可以采样一百万次；
4、 采用先进的静态测试方法进行瞬态热测试，测试周期短，测试的重复性好；
1200A T3Ster 热阻测试系统可以输出如下的电气参数：
1、 加热电流：在器件电压 0~7V 的范围内，加热电流在 0~1200A 范围内线性输出；
2、 测试电流：在器件电压 0~7V 的范围内，测试电流在 0~2A 范围内线性输出；
3、 Gate 控制电压：0~30V 范围内线性输出；
4、 脉冲电流宽度：10ms~ 无穷大；
1200A T3Ster 热阻测试系统满足如下的要求：
1、 被测试器件数：每次进行一个 DUT 测试；
2、 具有 Power Cycle 的功能：循环次数 1~无穷大；
3、 适用的温度测试方法：器件的导通电压作为温度敏感参数；
4、 适用的瞬态测试方法：静态测试法（持续加热，冷却中连续测试），动态测试方法（脉冲加热，单点测试）。

1200A T3Ster 热阻测试系统能对电力电子器件暨大功率半导体器件进行瞬态热阻抗和稳态热阻测试。具有可靠、方便、准确的对被测半导体器件进行温度敏感参数的测量和校准的能力。温度敏感参数在测量、校准时，可采用外部液体循环器控制环境温度，从而对被测半导体器件的升温和冷却进行控制。

1200A T3Ster 热阻测试系统是一个工业化的设备，具备 3 色 LED 警示灯，以及其他的安全保护功能：
1、 此 T3Ster 系统具备完整合适的机柜，所有部件都放置在机柜中。
2、 此 T3Ster 系统在大电流工作时，无意的短路可能会引起被测半导体器件的损害或者引起外部电路的熔化，因此系统内部的部件是被保护的。保护元件比如 RCD 和过电流断路器被内置到系统中，放置在机柜的后面。
3、 所有的系统布线都是具有阻燃性，非卤素的 RADOX 绝缘性的大横截面面积的铜绞线。布线在托架的布线槽中，或者托架的其他配件中（托盘，导轨等）。
4、 为了安全，所有的部件都将放在不锈钢门的后面，但是在测试中，键盘等部件需要在一分钟内使用多次，连续使用的部件将被放置在一个可以方便使用的地方。
5、 在整体机柜的操作平台的两侧，装有安全光幕。在正常操作中，当操作人员试图通过一些金属工具或者用手接触电缆时，安全光幕会被触发，T3Ster 系统自动停止当前的操作人员的进行的测量。
6、 在整体机柜的操作平台的背面，安装有保护性背板，防止操作人员在测试中从设备后部无意的接触被测半导体器件，进行安全防护。
7、 在整体机柜的操作平台的底面，安装有保护性托盘，防止冷板中的液体意外的泄露。
8、 安装在正确位置的用于安全性保证的光感传感器，在探测到烟雾后，立即切断主电路并声光报警。
9、 如果被测品在试验中失效，试验设备具备自动检测、报警，以及停止试验，并关断试验电流的能力。
10、两个急停按钮被整合到此系统中，一个用来切断加热电流（被测器件过热的情况下），另一个是主电源开关。
11、通过 1200A T3Ster 热阻测试系统具有的安全功能软件，可以对系统的硬件状态和软件状态进行实时的监控，确保系统的安全运行。

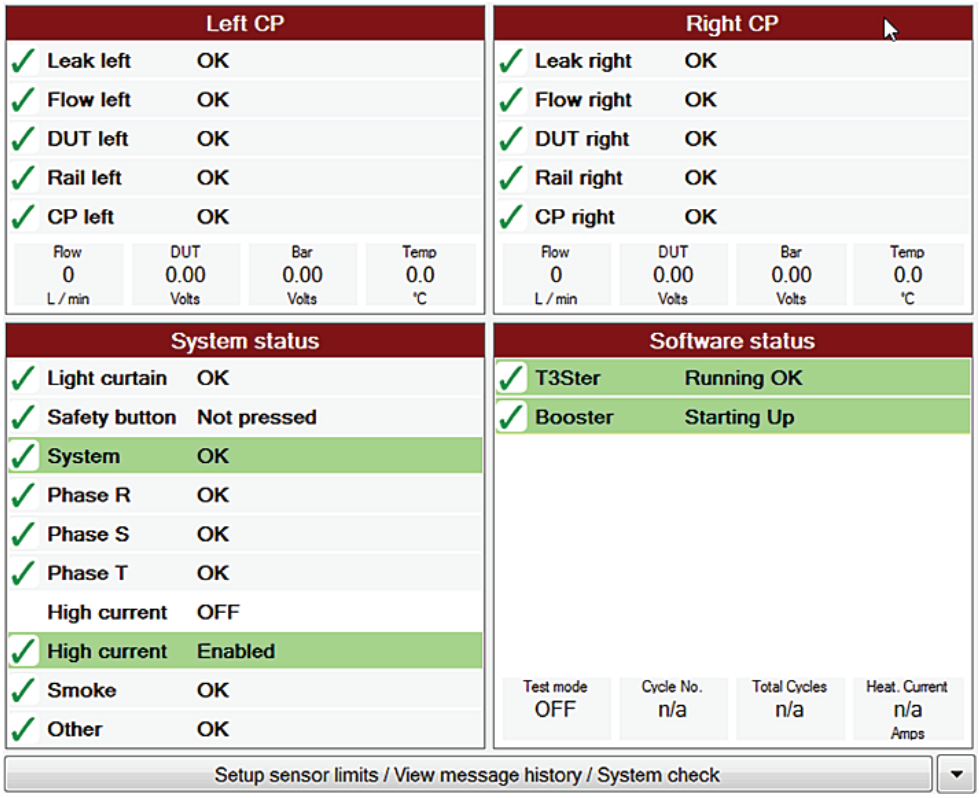

图 2：1200A T3Ster 热阻测试系统安全功能软件显示的实时监控状态

使用明导公司（Mentor Graphics）的 1200A T3Ster 热阻测试系统不仅可以测量电力电子器件暨功率型半导体器件在大功耗实际工况下的真实结温，还可以通过结温随着时间变化的瞬态热响应曲线，精确地得到电力电子器件封装内部的结构函数。

T3Ster 热阻测试系统在业内创新实现了符合 JEDEC 组织 JESD51-1 标准定义的先进的静态测试方法。此方法强调使用一个稳定的加热功率，使一个封装的半导体器件从“相对冷却”的状态到“相对加热”的状态，达到热平衡状态后，再切换掉加热功率，并在半导体器件上通过微小的测试电流进行测量，得到半导体器件的温度冷却曲线，从而得到半导体器件的瞬态温度响应曲线，在很短的时间内就可以完成一个完整的半导体器件热特性测量。通过软件分析可以得到半导体器件在一个给定的环境中的非常精确的温度随时间的瞬态变化曲线。

使用先进的静态测试方法，测试半导体器件的冷却阶段的优势在于：

1、 测试周期短，典型的 IGBT 热特性测试时间在 30 分钟内完成；而测试半导体器件的加热阶段，对于典型的 IGBT 热特性测试，测试时间在 10 个小时以上；
2、 在测量中，不受加热过程中加热功率变化的影响，半导体器件被施加的功率阶跃保持稳定，符合 JEDEC 组织 JESD51-14 标准中对于瞬态热测试的要求；
3、 静态测试方法可以测量半导体器件由于加热状态到测试状态所施加功率的阶跃变化所引起的最初时间段内的电气噪音的变化，并按照 JEDEC 组织 JESD51-14 标准中规定的方法处理，无电气噪音的影响，提高测量的精度且应用方便；
4、 适合于功率器件（MOSFET，IGBT）的测试；
5、 完整的，高精度的热响应曲线可以产生足够精度的结构函数进行分析；
6、 JEDEC 组织 JESD51-14 标准明确的规定了使用静态测试方法进行瞬态热测试。

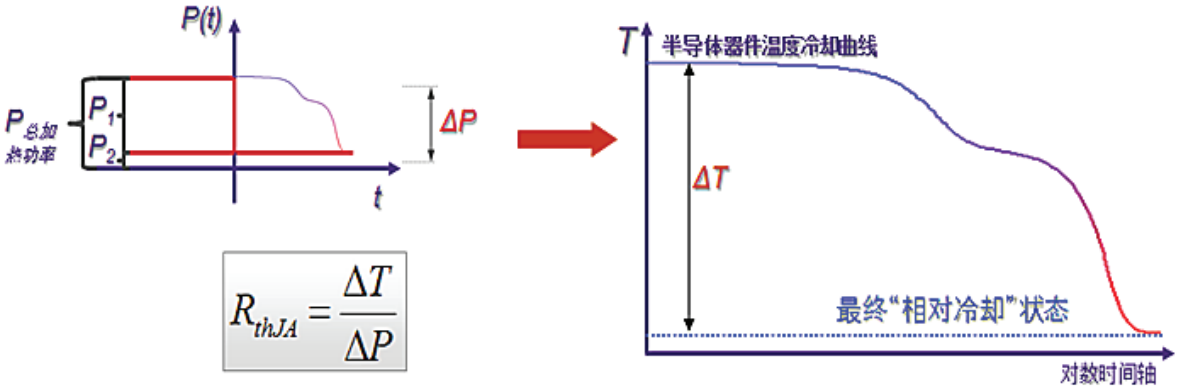

图 3：JESD51-1 静态测试方法的原理图

T3Ster 热阻测试系统通过分析软件拥有对测试后的原始数据，也就是温度随时间的瞬态变化曲线，进行分析和处理的能力，从而将热流路径上各层材料的热阻和热容的特性，包括半导体器件封装内部的 Die Chip、Die Attach、Lead Frame、Insulator、底壳金属散热器和封装外部的导热硅脂和热沉的热阻和热容的特性，通过结构函数非常详细的呈现出来。T3Ster 系统分析和处理结果可以进一步与半导体器件的仿真结果相比较，对仿真模型进行修正，从而提高设计能力。

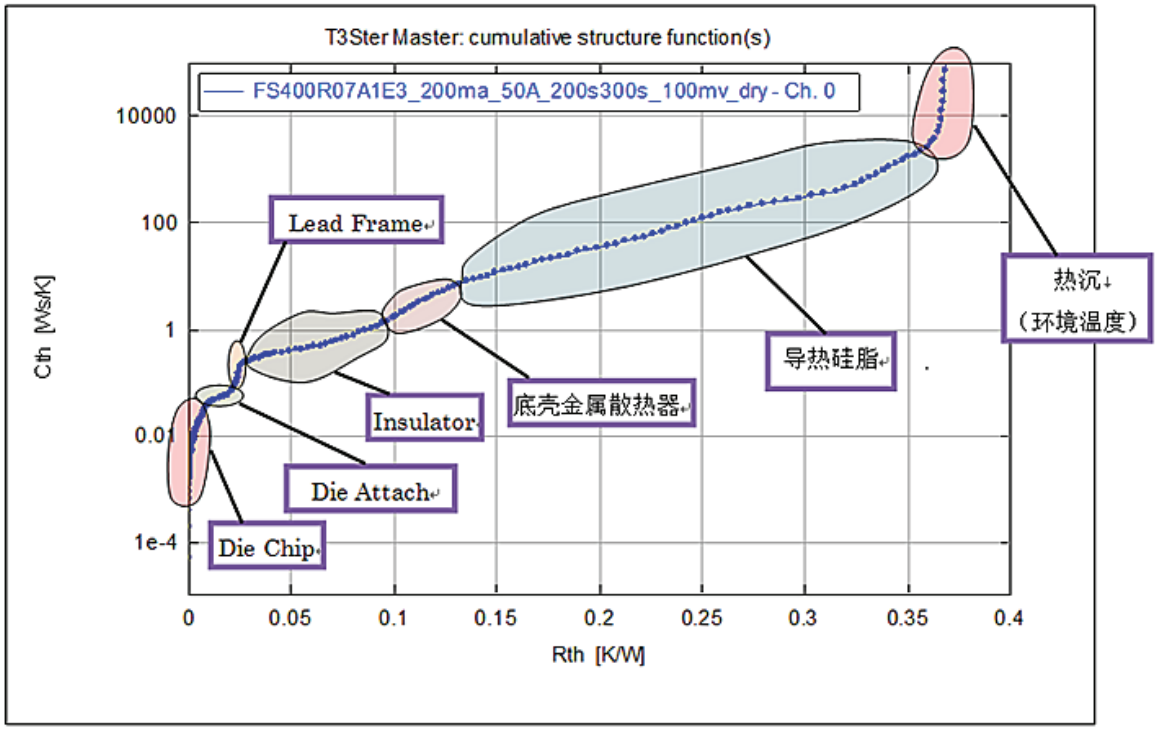

图 4：IGBT 器件进行瞬态热测试后，得到的 IGBT 各层材料的热阻和热容分布的结构函数

结构函数反映了从发热源（DieChip）到环境（热沉，最后直线向上部分）的热流路径上的所有热容与热阻分布。根据结构函数上斜率(热容与热阻的比值)变化，可以区分出代表不同材料的线段。T3Ster 系统用直观的方式，帮助分析热流路径上不同材料的热阻与热容。

得益于 T3Ster 系统非常高速的电流切换能力，1μs 的电流切换能力，瞬态热测试可以从微妙级开始，使分析半导体器件内部的散热结构成为现实。同时基于 T3Ster 系统的高速连续采样能力，每一微秒采样一次，可以提供工业级最高精度的结构函数。

1200A T3Ster 热阻测试系统这样设计的优势在于：

1、 T3Ster 系统拥有的非常高速的电流切换能力，1μs 的电流切换，瞬态热测试可以从微妙级开始，即热流还在半导体器件封装内部流动时，测试数据采样已经开始，使分析半导体器件内部的散热结构成为现实，包括半导体器件封装内部的 Die Chip、Die Attach、Lead Frame、Insulator、底壳金属散热器和封装外部的导热硅脂和热沉的热阻和热容的特性，通过结构函数非常详细的呈现出来；

2、 测试样本采样分辨率为 1μs，即1秒钟可采样一百万次，提供超高采样密度。采样密度越高，把握的瞬态热变化细节越多，结构分析结果更准确，对于半导体器件封装内部的 Die Chip、Die Attach、Lead Frame、Insulator、底壳金属散热器和封装外部的导热硅脂和热沉的热阻和热容的特性判断越准确，而且可重复性更好；

3、 采集的数据的分辨率是 12 比特，而且噪声振幅小于 2 比特。这意味着，信号-噪声比低至约 70 分贝，这在业内是最高的水平，而且这种高精确度的数据测量、采集，对以后的瞬态热响应曲线的评价和分析是至关重要的。

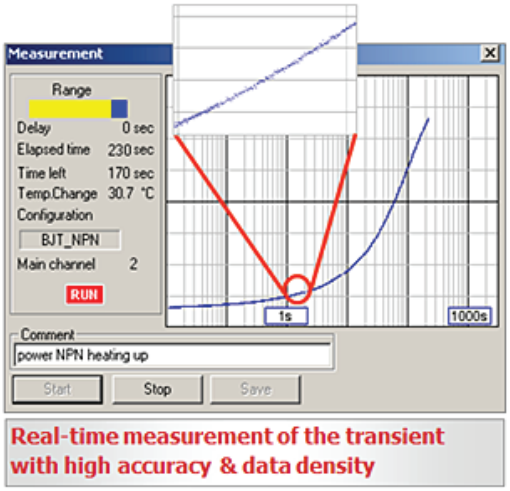

图 5：T3Ster 系统测试采样图

T3Ster 热阻测试系统在业内创新实现了符合 JEDEC 组织 JESD51-1 标准的先进的静态测试方法，这种方法是一种实时的，连续性的瞬态热测试。这种“连续测量”的技术，结合 T3Ster 系统拥有的在高时间分辨率下的高的测量精度，使获得精确的，无噪音的，真正的热瞬态曲线成为了现实。

此 1200A T3Ster 热阻测试系统于 2013 年 8 月份在中国客户的现场顺利地进行安装。

迄今，已经稳定无任何故障的运行超过 120 天，顺利地通过了客户的稳定运行期的验收，达到了客户的预期目标，为客户在电力电子器件研发阶段的改进，产品大规模量产的验证做出了极大的贡献。

在 1200A T3Ster 热阻测试系统的帮助下，客户通过瞬态热测试，得到结构函数，可以分析出电力电子器件暨被测半导体器件散热路径上包括封装内部各层结构的热阻值，为器件封装进一步的优化指明方向。

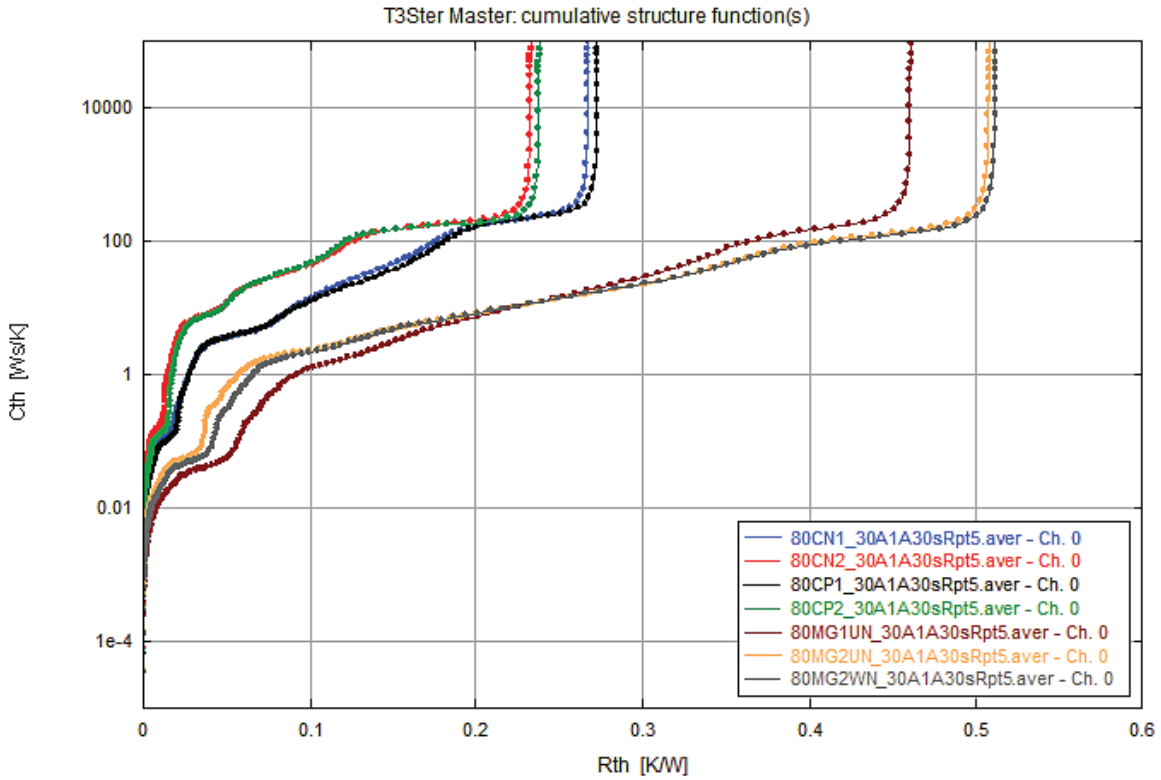

图 6：不同 IGBT 器件通过结构函数显示的内部各层材料的热阻和热容的分布

在 1200A T3Ster 热阻测试系统的帮助下，客户可以对器件在老化试验中和老化试验后进行瞬态热测试，通过结构函数的对比，得出器件散热路径上不同材料的热阻随着老化试验的进行而发生的降级过程，从而进行进一步的优化；通过这种方式，可以进一步的提高产品的质量水平，提高品牌的信誉度。

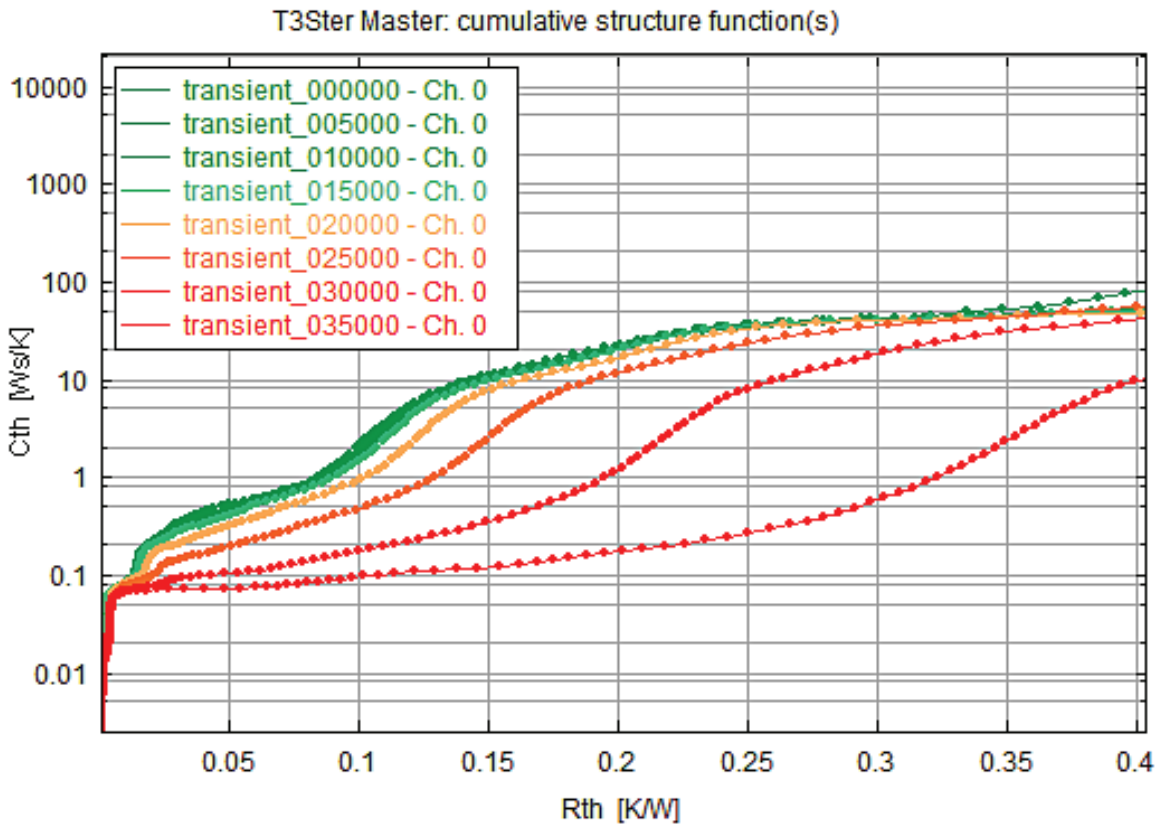

图 7：可靠性测试中和可靠性测试后，结构函数显示的 IGBT 器件的 Die Attach 层的降级过程

在 1200A T3Ster 热阻测试系统的帮助下，客户可以通过结构函数功能，可以输出RC网络到仿真软件中进行器件仿真模型的再优化和再设计；经过 T3Ster 输出的 RC 网络校准过的仿真模型，才是真实有效的仿真模型，可以被采用进行进一步的仿真分析，从而提高工作效率和分析的成功率。

在 1200A T3Ster 热阻测试系统的帮助下，客户可以通过结构函数功能，可以准确测试出各接触界面层的接触热阻值，进而得出热学界面材料在散热系统中的表现。

通过使用明导公司（Mentor Graphics）1200A T3Ster 热阻测试系统，中国客户得到了极大的益处，不仅在产品的研发阶段可以通过结构函数功能进行针对性的改善，降低未来产品的热阻值，进一步提高产品的功耗，进而向市场提供更有竞争力的产品；还可以在可靠性测试中，通过结构函数的功能，发现产品潜在的实效，从而进行进一步的优化，通过这种方式，可以进一步的提高产品的质量水平，提高品牌的信誉度，提高产品的市场占有率；通过结构函数功能提供的RC网络，中国客户可以进一步到仿真软件中进行器件仿真模型的再优化和再设计；经过T3Ster输出的RC网络校准过的仿真模型，才是真实有效的仿真模型，可以被采用进行进一步的仿真分析，从而提高工作效率和分析的成功率。

1200A T3Ster 热阻测试系统为客户真正带来了器件热学设计和器件热学测量的解决方案。

图 8：中国客户使用 1200A T3Ster 热阻测试系统对 IGBT 器件进行瞬态热测试

For the latest product information, call us or visit: www.mentor.com

©2014 Mentor Graphics Corporation, all rights reserved. This document contains information that is proprietary to Mentor Graphics Corporation and may be duplicated in whole or in part by the original recipient for internal business purposes only, provided that this entire notice appears in all copies. In accepting this document, the recipient agrees to make every reasonable effort to prevent unauthorized use of this information. All trademarks mentioned in this document are the trademarks of their respective owners.

Corporate Headquarters
Mentor Graphics Corporation
8005 SW Boeckman Road
Wilsonville, OR 97070-7777
Phone: 503.685.7000
Fax: 503.685.1204

Sales and Product Information
Phone: 800.547.3000
sales_info@mentor.com

Visit www.mentor.com/company/office_locations/ for the list of Mechanical Analysis Division Offices

MGC 03-14 TECH11940