

# LED 热特性表征中的工艺现状分析

上海坤道信息技术有限公司  
[www.simu-cad.com](http://www.simu-cad.com)  
021-62157100



W H I T E P A P E R

## 引言

按照 JESD51-14 和 CIE127-2007 的规定, 利用 JEDEC 标准静态试验进行瞬态温度测量提高了发光二极管 (LED) 热特性测量的精确性。这些高标准也增强了我们的客户信任度和市场占有率。按照这些标准, 明导电子 T3Ster 系统可以在一天内完成超过 100 次 LED 测温作业, 结果也是最准确的。T3Ster 系统后处理软件完全符合最新的结至外壳热阻测量热力试验标准 (JEDEC JE51-14)。本文讨论了更精确热特性测量对企业快速拓展市场份额的重要性, 并介绍了 T3Ster 和 TERALED 系统如何满足照明设备制造商及其客户在这方面的需求。

## 行业趋势——LED 的演变

根据麦肯锡公司的报告, 照明行业包括一般照明、汽车照明、逆光照明三大主要板块, 其中一般照明约占全球市场的 75% [1]。几乎整个照明行业都在朝着 LED 固态照明 (SSL) 技术方案演变。这个变化有很多因素, 例如立法规定、高效率追求以及不断降低的价格等等。

美国 2007 年能源独立和安全法案规定产生 310-2600 lm 的通用照明灯的照明效率要比白炽灯高 30%, 并准备在 2010 年取代 100W 白炽灯, 2014 年取代 40W 白炽灯。其他国家的立法也明确禁止白炽灯生产源。LED 越来越多的用于日行灯 (DRL), 欧盟强制规定 2011-2012 年新车生产中必须使用 LED 灯 (见图1)。OEM 也利用 LED 提高竞争优势, 塑造品牌影响力。

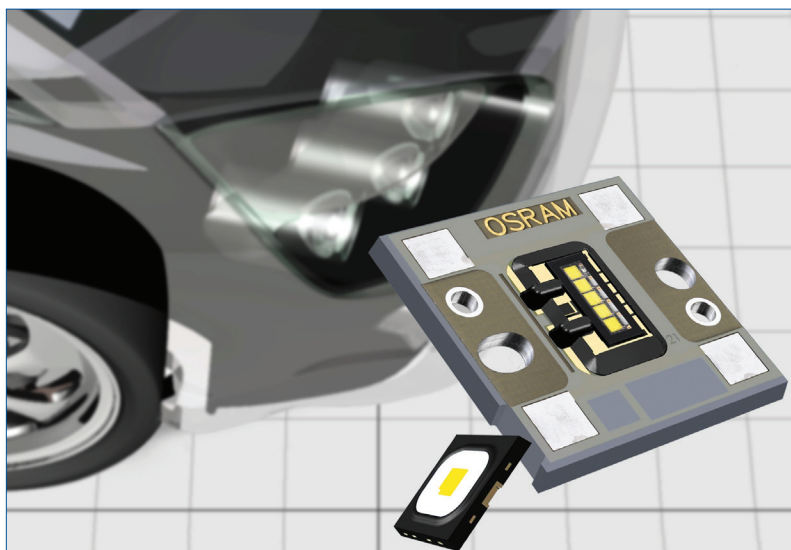


图 1: 欧盟强制规定 2011-2012 年期间新车生产必须使用 LED 作为日行灯

2009-2016 期间 300lm 以上的 LED 的收入综合年增长率将会超过 40%。据 IMS 研究 [2] 表明, 高亮 LED (HBLED) 是增长最为迅速的板块。尽管单价大幅下降, 但不会影响该板块的增长势头。Vantage Point 总裁 Alan Salzman 提到他希望 LED 的价格由 2011 年中期的每流明 1 美分降至 2012 年末每流明 0.25 美分, 至 2015 年 0.10 美分。他还预测, 截至 2016 年 LED 将会占整个一般照明板块的 50% [3] (见图 2)。

## 准确热性能指标的需求

在设计阶段应考虑用来确定电子元件热性能的各项指标, 以便于选择最适合所应用场所的照明元件, 从成本角度出发权衡各个元件的优缺点。

公开的热性能指标是供应商与客户达成的商业协议的一部分。一旦产品与公开内容有出入, 就会产生严重的经济损失, 供应商还要大量召回产品, 支付保修费用并带来负面名声。反过来, 公开正确的指标值, 提供准确的热模型有助于促进LED的销售, 提高企业信誉, 保持客户忠诚度。

## 确保必要的准确性

幸运的是，热性能的准确性是可以测量的。电子元件工业联合会 (JEDEC) 专门针对基于最新瞬态测量技术的结至外壳热阻测量建立了一个新的标准 JESD51-14 [4]。由于结至外壳热阻能够自产生热量的 PN 结点到外壳的底部表现热流路的特征，也就是能精确确定 LED 外壳的冷却设计，所以是最适合封装 LED 灯的一个指标。该方法采用“双接口”法，其中零件采用冷却台测量，导热膏可加可不加。结至外壳热阻通过检查两个测量值的差值确定。两次测量的热阻抗曲线在热量开始离开 LED 外壳进入外壳和冷却台之间的热界面这个点是必须重合的。这样才能清晰显示曲线发生偏离时的点。

## LED 电子结构简单，但热性能复杂

从半导体这个角度出发，LED 似乎是简单的 PN 结二极管。由于明导电子 MicRed T3Ster 可用于表示复杂外壳的半导体产品，所以理论上 LED 应该比较容易测量，但实际不然。LED 的热性能表征存在很多难题。LED 通常很小，未组装时测量起来非常困难。但是，我们可以先将元件装在两个不同的衬底上，利用双界面测量原则测量。不同于其它半导体，LED 的一个较大问题是它能发光。

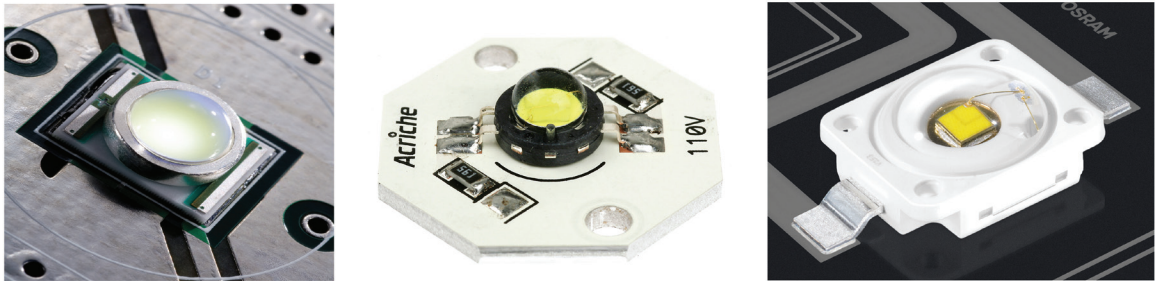


图 2：高亮 LED 在未来四年内可能是比较能赢利的产品。

对于 LED 而言，发光是决定其热阻性的主要因素。大部分半导体元件的热阻都是简单地利用外壳上的电源电量除以温升计算得来。这是因为所有供电电能都转化为热能。但是，LED 例外，LED 的很大一部分电能都转化为光能。所以，LED 可以用作光源。不同类型的 LED 的能量转换效率可能高达 30%-40%。根据以上转换效率数值，如果利用电源电量而不是正确的（加热）能量计算外壳的热阻，热阻值就会很小，说明（低效率 LED）外壳在 LED 中能够有效的散热。

## 提供先进的 LED 热表征方案

T3Ster 利用“智能”的 JEDEC 静态实验法 (JESD51-1) 测量，该方法可以在瞬态加热或冷却过程中进行连续测量，也是 JESD51-4 实验法的依据。测量结果是在瞬变早期测量的丰富数据，而其它方法无法实现。T3Ster 系统可在一天内完成 100 多次 JESD51-1/JESD51-14 规定的准确 LED 热性能测量，是如今市场上最快的热性能试验系统 (见图 3)。同时它能够最准确的捕捉温度分辨率为  $0.01^{\circ}\text{C}$  下  $1\mu\text{s}$  ( $1 \times 10^{-6}$  秒) LED 的瞬时反应。这意味着能够捕捉 LED 最早的热反应，从而了解 LED 外壳内接近热源的主要构造特征的影响，例如短时芯片粘贴的热阻。T3Ster 后处理软件完全支持结至外壳热阻测量用 JESD51-14 标准，先将直接测量出的温度时间曲线转化为“结构函数” (见 JESD51-14 附件A)，然后自动查找结至外壳热阻值。



图 3：T3Ster——明导电子热性能瞬态测试仪

图 4 中的图形说明了从外壳组件到实验设备用冷却台整个热流路中的所有热阻幅值。两次测量得出的累积结构函数偏差（外壳表面的热界面的不同质量）构成 JESD51-14 法的一部分。由于 LED 的转化效率可能受到结点温度的不利影响，所以要正确测量 LED 热表征非常困难。这对 LED 供应商和 SSL 设计者来说都是一个挑战。因此 LED 灯输出、结点温度和电量变化需要在测量前保持稳定状态。这样才能利用静态测量法捕捉冷却曲线，这是 LED 热表征的唯一正确方法。

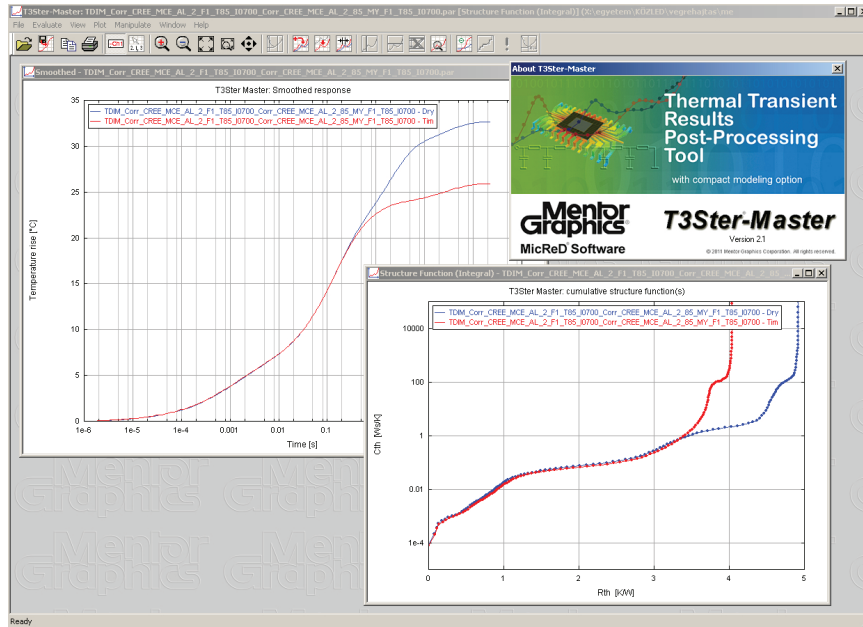


图 4：这些图形说明了从外壳组件到实验设备用冷却台的整个热流路中的所有热阻幅值

## 提供正确解决光能输出问题的方案

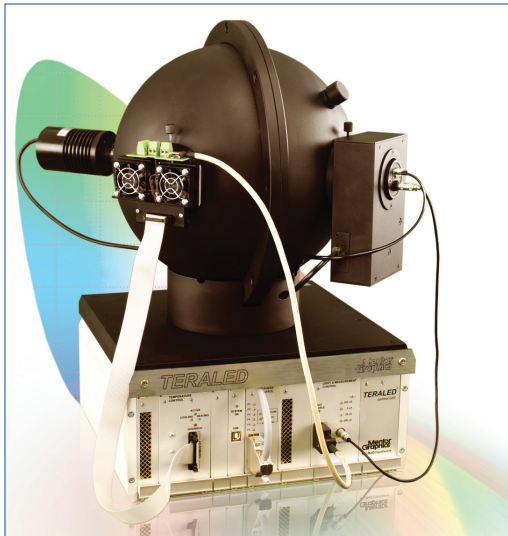


图 5：MicReD TERALED 是符合 CIE127:2007 标准的总通量温控测量系统

计算热指标时的一个要求就是正确解决光输出这个问题。LED 的光输出通常利用检测仪测量 LED 的总辐射功率、光通量等其它光输出特性来表现。

LED 试验时必须安装在一个温控冷却台上，确保光输出和测量的 LED 热量耗散不会发生变化。这样就可以一起测量 LED 释放的光能量、光输出特性以及热阻抗等参数。如果在不同的温度下进行测量，则可同时确定能量转换效率和光通量的温度依赖性等。

明导电子的 MicReD TERALED 是符合 CIE127:2007 标准的总通量温控测量系统（图5）。与 T3Ster 联合使用时，TERALED 是综合的 LED 试验台，可以对高亮 LED 和 LED 组合进行独立的热性能、辐射度/光度测量。由于是全自动测量，计算结果能很快得出。例如，试验时 LED 在 100 个操作点（正向电流和温度组合）能在 2 个小时内表达出来。



## 亟待标准化

依靠国际标准化组织和技术协会，我们积极追求 LED 热特征 [4] 标准化；但是迄今为止，目前并没有如何将热试验和光试验更好结合，产生 LED 正确热输出和光输出指标的任何正式标准。我们非常需要这样一个标准，而且随着 LED 半导体和封装技术的继续发展以及无法解决光散发的热能等问题，这种需要在不断增加。

## LED 热性能测量的商业优势

利用 T3Ster 获得准确的瞬态测量数据的其中一个主要好处，就是可以量化芯片粘贴热阻等重要热界面的信息。测量能够帮助制造商确定最佳的处理窗口，最小化芯片粘贴处理时间，加速零件全面投产的时间。T3Ster 也可以用于单个 LED、LED 线路和 LED 阵列的大量（高通量）可靠性试验，检查在高温环境下（例如 LM80 寿命试验）是否存在因老化导致的热降解现象，或者在高温环境下是否存在导致芯片脱落的热循环现象 [5]（见图 6）。空隙的存在会增加芯片粘贴的热阻值，从而导致结点温度急剧增加，进一步加速老化。因此在大批量投产之前必须先确定芯片粘贴降解率是合格的，这样才能确保元件的使用寿命。

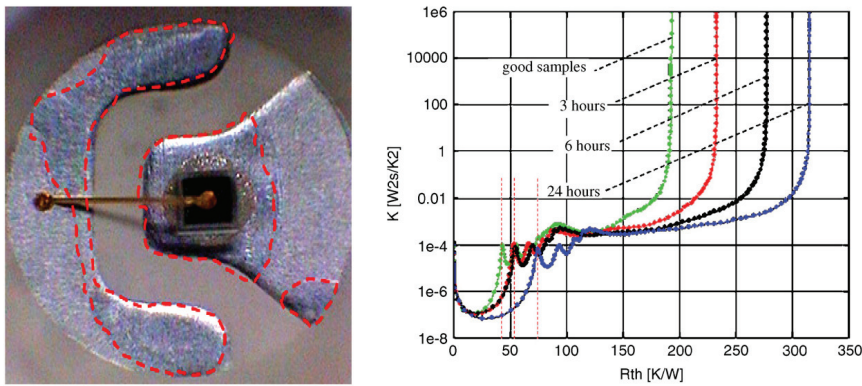


图 6: 芯片粘贴受损，导致结构函数发生变化 [5]。

作为生产流程的一部分，T3Ster 可用于校准线上芯片粘贴试验设备，检测生产中的芯片粘贴热阻值是否合格（合格/不合格试验）。检查处理窗口变化对产品热性能的影响，从而最小化库存勾销和不合格品处理产生的高额成本。

在批量生产过程中，集中测量方便 T3Ster 用于测试生产批次的元件样本，确保不会有不合格品流入市场。每年可以节省因产品召回所导致的百万美元经济损失。

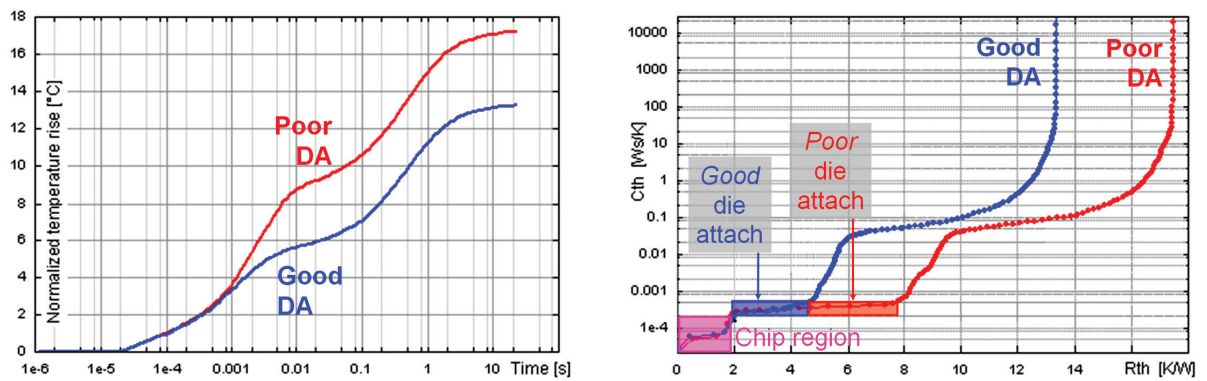


图 7: 为方便设置合格/不合格试验标准，对比 LED 芯片粘贴的优劣。左图：测出的瞬变；右图：因芯片粘贴质量差而导致热阻值增加的结构函数图。

利用 T3Ster 对现场退回的电子元件进行试验和分析。将利用该法找出的故障信息传递给生产部门，从而最小化今后的保修费用。同样地，对同类产品进行分析，方便 LED 供应商跟踪竞争对手的创新技术。

## 完善供应链

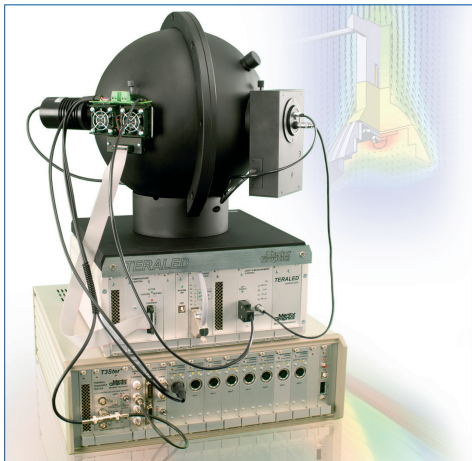


图8: 同时使用 T3Ster 和 TERALED 系统能为 LED 试验提供综合的解决方案

如果为特定应用环境选择适当的 LED, 那么正确的热性能指标就非常重要。指标还将用于早期初步设计阶段的冷却方案的“定型”试验。

SSL 设计师在进行产品热设计时需要准确的热模型。如今这些热模型可利用 JESD51-14 结至外壳热阻测量中的结构函数直接创建。设计师同时使用 T3Ster 和 TERALED 系统, 就一定能确保所测得的热性能数据能够应用于 LED 实际热阻测量。

过去, 如果设计需要一个准确的热模型, 则设计师需要创建一个涵盖所有重要内部几何体和材料特性的详细外壳模型。如今, 基于测量的热模型不再有这样的麻烦。

但是这些详细模型仍然不可替代, 例如在表示 LED 灯发动机时, 需要利用 T3Ster 验证这些详细模型。设计师可测量不同热环境下的元件, 对自结点到周围环境的热流路进行模型, 对比相同环境下详细模型对结构函数的反应。这样, 可以检测出模型构造、厚度和材料特性中的错误, 确保模型的绝对精准性。

## 小结

根据最新的 JEDEC 标准化技术, 准确的瞬态热性能测量对 LED 的设计、试生产和批量生产起着非常重要的作用。按照 JESD51-14 利用 JEDEC 标准静态实验法进行瞬态热性能测量取得的高度精确数据, 大大提高了 LED 热性能表征的效率。这些标准不仅提高了客户信任度, 还帮助我们实现了更大的市场占有率。

## 参考

1. “Lighting the Way: Perspectives on the Global Lighting Market,” McKinsey & Company, July 2011.
2. Jamie Fox, “The World Market for LEDs 2011 Edition,” IMS Research, 2011.
3. JESD51-14 “Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow through a Single Path,” November 2010, [http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD51-14\\_1.pdf](http://www.jedec.org/sites/default/files/docs/JESD51-14_1.pdf).
4. András Poppe, Gábor Farkas, Gábor Molnár, Balázs Katona, Tamás Temesvölgyi, and Jimmy-Weikun He, “Emerging standard for thermal testing of power LEDs and its possible implementation,” SPIE Proceedings 7784, 778414 (2010); doi:10.1117/12.864054.
5. Jianzheng Hu, Lianqiao Yang, and Moo Whan Shin, “Mechanism and thermal effect of delamination in light-emitting diode packages,” Microelectronics Journal 38: 157–163 (2007), doi:10.1016/j.mejo.2006.08.001.