

LED 系统评估与质量分析

半导体照明产品的研发绝不仅仅只是 LED 芯片和驱动电子器件，Richie Richards 将详细解释如何评价各个基本设计元素，包括材料选择、热管理以及兼容性问题等，从而对照明产品进行优化。

古谚有云，质量以眼见为实，但多数情况下质量很难被描述。当你要描述一件半导体照明产品的性能时，能影响到产品质量的设计元素一般是不可见的。发光 LED 芯片只是整个系统中很小的一部分，整个系统的质量也不仅仅由其决定。只有采用系统性的方法来评估半导体照明产品，才能准确预测该产品在安装和使用寿命期间的性能表现。接下来让我们考虑若干有助于半导体照明开发者取得成功的设计元素。

LED 技术正在不断快速进化，但市场上许多 LED 光源制造商对其产品性能指标的宣传是未经核实的，包括色彩质量、光通量、效能、耐用性以及半导体照明产品的一般质量特性等。由于热设计或电路设计不佳而导致质量低下的半导体照明产品会引起电超限应力。上述状况再加上制造流程中的化学兼容性问题，会使 LED 的质量逐渐下降，甚至光源完全失效。图 1 显示了可能导致半导体照明光源质量下降甚至失效的设计或工艺问题。

系统性评估

为了确保半导体照明产品的质量，对光源系统进行广泛的测试来精确测定设计余量并预测产品的长期可靠性。不仅仅是 LED 芯片，整个半导体照明系统都需要确保质量。美国

Richie Richards现为科锐公司的应用工程师负责人。

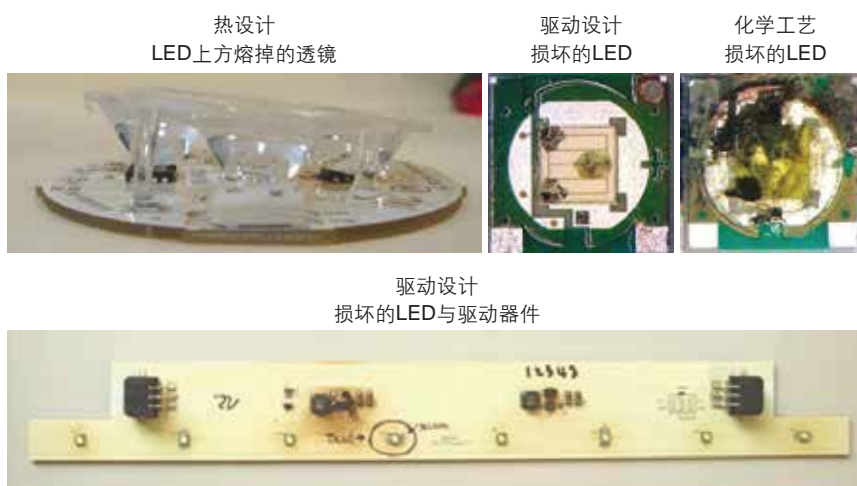


图 1. 热、化学及驱动器相关的问题都可能影响半导体照明产品的质量。

科锐 (Cree) 公司实施了一套系统的测试流程，对光源的热、电、机械、光度和光学 (TEMPO) 参数进行测试来评估半导体照明产品的质量。由科锐服务团队负责的 TEMPO 项目的重点是帮助 LED 客户解决其面临的技术难题。该项目能帮助研发人员快速克服系统设计挑战、节约研发成本、加快产品投放到市场的时间。

照明产品系统评估的正确步骤包括多点测试和分析过程。工程人员必须进行一系列针对热、电、机械、光度和光学特性的测试，并提供一份包含所有相关数据的综合报告，来确认 LED 照明产品的性能。附表中详细列出了 TEMPO 项目的具体测试项。另外，该测试项目的结果可用于照明工程师协会 IES 批准的 TM-21 标准来预测 LED 寿命。

测量和评估 LED 光源是具有挑战性的，而对于刚接触 LED 设计的

照明制造商来说更是如此。固态光源包括许多不同的组件，包括 LED 芯片、电路板、光学、散射板、电流驱动器、电源、散热器以及机械外壳等。这些组件中的任何一个都能影响 SSL 产品的性能、质量或寿命。

光源的系统性能还需要对包括机械结构和长期可靠性等方面进行评估。此外针对 LED 光源测得的结果还需要符合 LM-79-08 标准。评估需要提供测得结果与相关法规或安全标准的比较，后者包括能源之星 (Energy Star)、DLC (DesignLights Consortium) 和 UL 标准等。

热和机械测试

大部分的 LED 失效都与温度有关。热管理及其导致的 LED 半导体芯片结温与 LED 的性能和寿命紧密相关。过高的结温会减少光输出并加速 LED 寿命的衰减。合理的 LED 光

源的热管理及机械结构对于性能至关重要。需要使用多种技术来评价机械结构，例如LED焊点的X光成像等。必须测量实际热性能来验证热设计假设是确保半导体照明产品质量和可靠性。

然而，半导体照明的热测量也不简单。热电耦布置位置不妥或被大量光子辐射都会得到不正确的温度测量结果。上述错误导致的设计问题就有可能影响LED最终产品的寿命。

正确的做法应该是精确测量LED的焊点温度来确认半导体照明灯具中LED的结温。以TEMPO测试为例，它包括测量到的焊点温度，稳态状态下光源的红外光成像，以及从上述测量结果计算得到结温。如图2中所示的温度测量和红外成像能有助于测量和阐明基于LED光源的热性能。

图2中右侧两块相同PCB板红外成像的不同显示出了二者热性能的差异。左边的黄色的PCB板温度更低，右边的PCB板为亮红色，而且其中LED已为白热状，表明右边的PCB板在安装时存在热界面问题。

LED和PCB板之间物理界面的质量，会对半导体照明系统的热性能产生主要影响，其主要通过X光成像

进行评估。通过X光对PCB进行分析能有效检验焊接工艺的质量，并查出是否存在空洞或过量焊料的现象。将X光摄像头置于LED半球之上，焦平面与焊盘重合，就能清晰显示出焊接界面的质量。如果看到大量的焊料空洞或焊盘间有过量焊料颗粒则意味着LED焊接质量不佳。

电测试

当评估半导体照明设计时需要考虑的重要电参数包括效率、功率因素、驱动电流瞬态分析、亮度调节器兼容性和整体光源能效等。图3显示了部分电测试的例子。

驱动器效率可以用输出到LED的功率除以灯具的测量输入功率计算得到，它是评价半导体照明系统电流驱动器性能的合适指标。在本测试中，电流驱动器对LED的输出功率为各LED正向电压和电流乘积的总和。

光源功效 (Luminaire Efficacy)，有时也被称为转换效率 (Wall-plug Efficacy)，是表征灯具能将多少电能转化为光子的指标。处于静态状态时，该指标可由总光通量除以总输入功率得到，单位为lm/W。功效是一个能很好表征衡量系统性能实质的数字，

测试总结

热：

焊点温度测试
红外摄像头热成像

电：

驱动器效率
瞬态分析
功率分析 (PF, THD)
亮度调节器兼容性测试
耐压
Vf/ 电流平衡 (仅针对并联阵列)

机械：

定性结构分析
化学兼容性分析
PCB板X光

光度与光学：

光通量 (流明)
辐射通量 (瓦)
色度 (CRI, CCT, x-y, u-v, u'-v', duv)
光谱功率分布 (可见光范围)
照度 (ft-cd 或 lux)
发光强度 (candela)
灯具功效 (lm/w)
光学效率
部件重分级与色点评估
可见闪烁
TM-21 寿命估算
根据能源之星和 DLC 标准评估数据

测量 T_{sp} 以确定 T_j



灯具的热图像测试

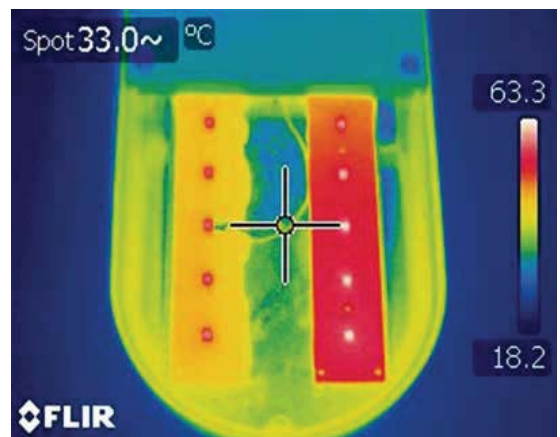


图2. 针对半导体照明产品的热和机械测试可以发现其中的设计或制造缺陷。

高光器性能测试



图 3. 电测试应该包括可能导致产品失效的瞬态分析, 和亮度调节器兼容性测试来确保产品将能满足消费者的预期。

驱动器电流开启测试



2米的积分球

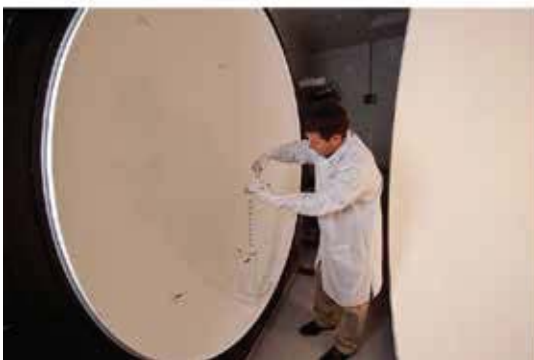


图 4. 综合光度测试要求使用直径 2m 的积分球以及 C 型测角光度计。

因为其由电、光度、光学和热性能等综合决定。仅仅具备高功效的光引擎并不一定能获得高的总体功效, 因为外部透镜的光损失, 或为 LED 提供驱动电流的驱动器电路的低效率都会对后者产生负面影响。

功率因素是另外一个与 LED 驱动器性能相关的电指标, 并往往是路灯的关键参数, 因为连接到电网的路灯数量太大。DLC 对于路灯明确要求功率因素要大于 0.9。一般来说, 功率因素越接近 1, 性能越好。

功率因素如果为 1 则表明接入的电压与消耗的电流具有相同的相位。对于宽输入电压系统 (例如 120-277 VAC), 应该对所有可能用到的名义输入电压 (对于此例为 120、220 和 277VAC) 测量功率因素。并将其中最差的功率因素记入提交到的 DLC

的报告中, 该种情况一般出现在最高的名义电压下。

亮度调节器兼容性

亮度调节器的兼容性也是一个非常关键的质量因素, 而为传统白炽灯负载设计的产痛相位控制亮度调节器

并不能很好地适用于半导体照明系统及其驱动器。亮度调节器的兼容性测试一般是将半导体照明产品与一系列常用的亮度调节器相连, 并定性地观察下列特征: 闪烁 (flicker)、亮度调节的平滑性 (smoothness)、调整控制面板但亮度无变化 (dead travel)、亮度调到较低或关闭后西药调到较高亮度才能重新点亮 (pop-on)、人耳可辨噪音 (audible noise) 和未调至最低亮度就已熄灭 (dropout)。

NEMA (美国电气制造商协会) 最新公布了一项名为《用于半导体固态照明的截相亮度调节: 基本兼容性》(SSL 7A-201X) 的标准, 规定亮度调节器电路进行最大和最小导通角测试。NEMA 亮度调节器测试包括最大光输出 (MLO) 以及与 NEMA 给定亮度调节器电路相比的参考最低光输出 (RMLO)。使用 NEMA 指定亮度调节电路得到的测试结果例举在附表中。

瞬态超限电流的发生也是 LED 性能下降的重要机制之一。也就是短时间内输送给 LED 的电流超过了数据手册上规定的最大电流。瞬时超限电流每次发生的时间通常只有毫秒, 通常由热插拔及电流驱动器的开启瞬态响应引起。其亦常为 LED

样本调光器没讲结果				
项目	无调光器	MLO @ max (138°)	RMLO @ low (40°)	测试标准
总光通量(lm)	834	818	125	IES LM-79-08
功率(W)	9.59	10.23	2.04	-
电压	115.8	115.8	115.8	-
功率因素	0.972	0.85	0.258	-
电流 (mA)	106	104	68	IES LM-79-08
光输出 (%)	100	98	15	NEMA
频率 (Hz)	60	60	60	-
光效 (lm/W)	87.07	80	61	-
THDI (%)	15.12	42.23	133.39	-
THDV (%)	0.06	0.07	0.07	-

驱动器潜在电超限应力的来源。高速开启的电流检验数字存储震荡特性，并记录下瞬态响应。这些电特性都需要测试来帮助确保半导体照明产品的系统质量。

光度和光学测试

光度测试包括总辐射通量

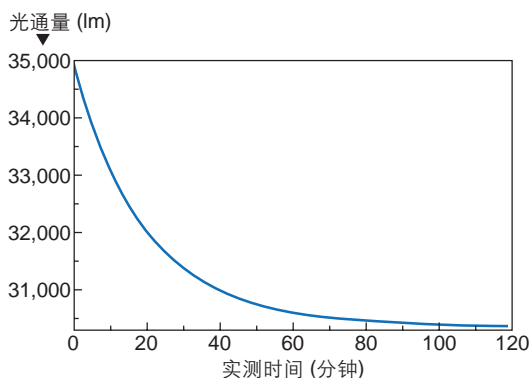


图 5. 间隔 1 分钟的光通量测量现实半导体照明产品需要时间来达到稳定状态。

(Radiant Flux)、光通量 (Luminous Flux)、色度、相对色温 (CCT) 以及色彩渲染指数 (CRI) 等。辐射通量的单位为瓦、通过计算从光源发射出电磁辐射 (光) 的总功率来得到。光通量则为根据人眼视觉感知加权后的测量结果。要正确表征系统特性，光通量测试需要在足够长的时间周期内每次一分钟进行多次测量，以使测试样本能达到 LM-79-08 所要求的稳定状态。图 5 所示的样本测试结果

显示该光源需要大约 1.6 小时来达到稳定。为了进行 TEMPO 光度和光学测试，科锐公司使用了一个直径为 2m、型号为 CSLMS-7660 的 Labsphere 积分球，以及 Labsphere-Otsuka Electronics 的 MC-9801 光谱仪。光度测试遵循 IES LM-79-081 规范，并使用 NIST 可循迹灯进行吸收校正等程序，另外还要保证被测器件的发射平面与积分球的传感器挡板共线。在科锐的实验室中，使用 Chroma 的

Model 61503 交直流电源为被测单元供电，由 Xitron 的 Model 2801 功率分析仪来进行功率测量。

另外，科锐使用由 UL 的照明科学部门推出的 C 型测角光度计 (goniophotometer) 来测量光源的光照强度。该仪器会在一系列水平面上逐个扫描垂直角度上的光源光束，也就是在若干特定角度上测量得到光源的三维光束模式。IES LM-79-08 要求使用 C 型测角光度计，因为被测的 LED 光源是以实际工作状态进行测量，没有显著的空气流动来对光源进行人工制冷。图 4 显示了该光度测量设备的图片。

我们在前文中提到过，辐射通量的单位为瓦、通

过计算从光源发射出电磁辐射 (光) 的总功率来得到，而光通量则为根据人眼视觉感知加权后的测量结果。要正确表征系统特性，光通量测试需要在足够长的时间周期内每次一分钟进行多次测量，以使测试样本能达到 LM-79-08 所要求的稳定状态。图 5 所示的样本测试结果

材料与化学制剂

系统评估的最后一步必须关注产品中使用的材料和化学制剂。长时间使用并处于相对高温后发生的化学反应，会影响 LED 和半导体照明产品的性能。

为保证选用了合适的部件，并且在制造工艺中没有引入任何降低性能的化学反应，应该将 LED 从制成的

光源中取出并进行完全地表征测量。科锐通常从光源中取出 5 颗 LED 进行检验，在 700 mA 的电流下对每个 LED 单独进行光度性能测量。图 6 将样本测试结果绘制到分级图 (Binning Chart) 中，它们的通量均归于 T3 档 (最低 $220\text{lm} \pm 7\%$)，色度则分别为 6C1、6D2、7B4 和 7A3 档。上述分级数据可与用于半导体照明产品中 LED 的出厂数据进行比较，以检验 LED 是否发生了性能下降。

综上所述，推向市场的速度在当前竞争激励的半导体照明产业中至关重要，但产品质量亦是如此。科锐致力于克服技术难关，按需快速提供针对系统的热、电、机械、光度和光学 (TEMPO) 测试数据。这样能帮助半导体照明产业在尽可能短的时间内为市场提供高质量的产品。正确的系统

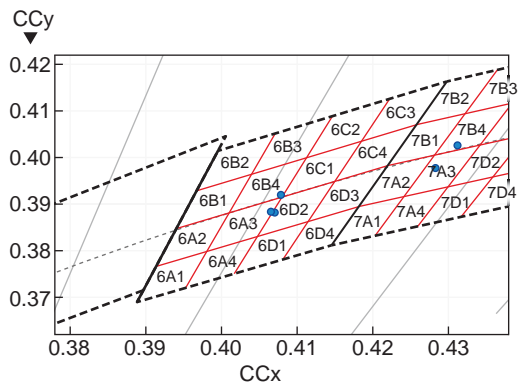


图 6. 对从光源中取出的 LED 进行表征测量能揭示该部件的性能是否在半导体照明系统的制造过程中受到影响。

测试、报告生成和测量结果电话咨询，可以明确半导体照明产品的质量如何，帮助终端用户获得高质量的半导体照明产品。

在科锐位于北卡罗来纳州 Durham 的总部，科锐杜汉姆技术中心通过了美国自愿实验室认证计划 (NVLAP) 的认证，NVLAP 实验室编号 500070-0，它能满足 ISO/IEC 17025:2005、IES LM-58-94 以及 IES LM-79-08 标准的要求。