

LED 灯具可靠性测试方法及成本控制

近年来,由于 LED 的技术发展迅速,主要性能指标有很大提高,目前 LED 器件的发光效率超过 200lm/W,产业化水平达 110~120lm/W,可以作为光源在照明领域推广应用,目前已进入室外景观照明、功能性照明、商用照明等领域。在应用过程中,有几个主要技术和成本问题,如 LED 照明灯具的能效还不高,LED 白光的光色在某些照明场合还不合适,LED 灯具的可靠性还不高,有些产品寿命很短,另外 LED 灯具的价格目前普遍偏高等,这些问题有待进一步解决和提高。业界同行对 LED 光源的可靠性和成本问题比较重视,均在努力解决之中。本文也将着重对这两个问题进行较为详细的描述及分析。

一、LED 灯具可靠性

有关 LED 灯具的分类、性能指标及可靠性等,美国“能源之星”中已有很具体的规定[1],可靠性指标中,主要规定 LED 照明灯具寿命 3.5 万小时,在全寿命期内色度变化在 CIE1976 (u, v) 中 0.007 以内。美国 SSL 计划中规定白光 LED 器件寿命在 2010-2015 年中为 5 万小时。国内对 LED 照明灯具的寿命要求一般也提到 3~3.5 万小时。

上述提到 LED 灯具寿命和色保持度的指标,从目前来看是很高的,实际上很多 LED 灯具还达不到这个要求,因为 LED 灯具所涉及的技术问题很多、很复杂,其中主要是系统可靠性问题,包含 LED 芯片、封装器件、驱动电源模块、散热和灯具的可靠性。以下分别对这些问题进行分析:

1、LED 灯具可靠性相关内容介绍

在分析 LED 灯具可靠性之前，先对 LED 可靠性有关的基本内容作些介绍，将对 LED 灯具可靠性的深入分析有所帮助。

(1) 本质失效、从属失效

LED 器件失效一般分为二种：本质失效和从属失效。本质失效指的是 LED 芯片引起的失效，又分为电漂移和离子热扩散失效。从属失效一般由封装结构材料、工艺引起，即封装结构和用的环氧、硅胶、导电胶、荧光粉、焊接、引线、工艺、温度等因素引起的。

(2) 十度法则

某些电子器件在一定温度范围内，温度每升高 10°C ，其主要技术指标下降一半（或下降 $1/4$ ）。实践证明，LED 器件热沉温度在 50°C 至 80°C 时，LED 寿命值基本符合十度法则。最近也有媒体报道：LED 器件温度每上升 2°C ，其寿命下降 10%，当温度从 63°C 上升至 74°C 时，平均寿命下降 $3/4$ 。因为器件封装工艺不同，完全可能出现这种现象。

(3) 寿命的含义

LED 寿命是指在规定工作条件下，光输出功率或光通量衰减到初始值的 70% 的工作时间，同时色度变化保持在 0.007 内。

LED 平均寿命的意义是 LED 产品失效前的工作时间的平均值，用 MTF 来表示，它是电子器件最常用的可靠性参数。

可靠性试验内容包括可靠性筛选、环境试验、寿命试验（长期或短期）。我们这里所讨论的只是寿命试验，其他项目暂不考虑。

（4）长期寿命试验

为了确认 LED 灯具寿命是否达到 3.5 万小时，需要进行长期寿命试验，目前的做法基本上形成如下共识：因 GaN 基的 LED 器件开始的输出光功率不稳定，所以按美国 ASSIST 联盟规定，需要电老化 1000 小时后，测得的光功率或光通量为初始值。之后加额定电流 3000 小时，测量光通量（或光功率）衰减要小于 4%，再加电流 3000 小时，光通量衰减要小于 8%，再通电 4000 小时，共 1 万小时，测得光通量衰减要小于 14%，即光通量达到初始值的 86% 以上。此时才可证明确保 LED 寿命达到 3.5 万小时。

（5）加速（短期）寿命试验

电子器件加速寿命试验可以在加大应力（电功率或温度）下进行试验，这里要讨论的是采用温度应力的办法，测量计算出来的寿命是 LED 平均寿命，即失效前的平均工作时间。采用此方法将会大大地缩短 LED 寿命的测试时间，有利于及时改进、提高 LED 可靠性。加温度应力的寿命试验方法在文章[2]中已详细论述，主要是引用“亚玛卡西”（yamakoshi）的发光管光功率缓慢退化公式，通过退化系数得到不同加速应力温度下 LED 的寿命试验数据，再

用“阿伦尼斯”（Arrhenius）方程的数值解析法得到正常应力（室温）下的 LED 的平均寿命，简称“退化系数解析法”，该方法采用三个不同应力温度即 165℃、175℃和 185℃下，测量的数据计算出室温下平均寿命的一致性。该试验方法是可靠的，目前已在这个研究成果上，起草制定“半导体发光二极管寿命的试验方法”标准，国内一些企业也同时研制加速寿命试验的设备仪器。

2、LED 器件可靠性

LED 器件可靠性主要取决于二个部分：外延芯片及器件封装的性能质量，这二种失效机理完全不一样，现分别叙述。

（1）外延芯片的失效

影响外延芯片性能及质量的，主要是与外延层特别是 P-n 结部分的位错和缺陷的数目和分布情况，金属与半导体接触层质量，以及外延层及芯片表面和周边沾污引起离子数目及状况有关。芯片在加热加电条件下，会逐步引起位错、缺陷、表面和周边产生电漂移及离子热扩散，使芯片失效，正是上面所说的本质失效。要提高外延芯片可靠性指标，从根本上要降低外延生长过程中产生的位错和缺陷以及外延层表面和周边的沾污，提高金属与半导体接触质量，从而提高工作寿命的时间。目前有报道，对裸芯片作加速寿命试验，并进行推算，一般寿命达 10 万小时以上，甚至几十万小时。

（2）器件封装的失效

有报道称：LED 器件失效大约 70%以上是由封装引起，所以封装技术对 LED 器件来说是关键技术。有关 LED 器件封装技术在文章[3]、[4]中有详细论述，所以在此不作介绍，只简要分析有关 LED 器件封装的可靠性问题。LED 封装引起的失效是从属失效，其原因很复杂，主要来源有三部分：

其一，封装材料不佳引起，如环氧、硅胶、荧光粉、基座、导电胶、固晶材料等。

其二，封装结构设计不合理，如材料不匹配、产生应力、引起断裂、开路等。

其三，封装工艺不合适，如装片、压焊、点胶工艺、固化温度及时间等。

为提高器件封装可靠性，首先在原材料选用方面要严格控制材料的质量，在封装结构上除了考虑出光效率和散热外，还要考虑多种材料结合在一起时的热胀匹配问题。在封装工艺上，要严格控制每道工序的工艺流程，尽量采用自动化设备、确保工艺的一致性及重复性，保障 LED 器件性能和可靠性指标。