

## 功率型白光 LED 光学特性退化分析

周舟, 冯士维, 郭春生, 张光沉, 吴艳艳

北京工业大学电子信息与控制工程学院, 北京 100124

**摘要** 将 GaN 基蓝光芯片涂敷 YAG 荧光粉和透明硅胶制成额定功率为 1 W 的白光发光二极管(LED), 对其施加 900mA 的电流应力, 在老化过程中测量白光 LED 的主要光学参数, 考察其光学特性的退化情况。经过 4 200 h 的老化, 样品光通量退化为初始值的 15%~18%。样品的漏电流明显增大, 表明芯片有源区缺陷密度提高, 但光谱分布图中蓝光部分的辐射量未减少, 仅观察到黄光部分辐射量的减少, 推断出 YAG 荧光粉的转换效率降低。同时, 从原理上分析了样品色温逐渐增大, 显色指数基本不变的原因, 对大功率白光 LED 在照明领域的应用有一定的借鉴意义。

**关键词** 发光二极管; 老化试验; 光谱; 荧光粉; 色温; 显色指数

**中图分类号:** TN383 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2012)10-2611-04

### 引言

作为新一代照明光源, LED 具有节能、环保、寿命长、体积小、响应快等特点, 是近年来全球最具发展前景的高新技术领域之一<sup>[1]</sup>。全球范围内环境保护力度的持续加强以及产品性能的不断提高, 使得 LED 获得了巨大的市场空间<sup>[2-4]</sup>。目前工业上用 LED 实现白光有多种方式: 蓝光芯片上涂敷黄色荧光粉; 蓝光芯片上涂覆绿色和红色荧光粉; 紫外光芯片上涂敷三基色或多种颜色的荧光粉; 多芯片合成白光等等。其中使用最广泛的是第一种制法, 即用高效的 In-GaN/GaN 基蓝光 LED 芯片激发 YAG:Ce<sup>3+</sup> 荧光粉, 由蓝光和黄光混合形成白光<sup>[5]</sup>。这种方式对比于其他制法来说, 发光效率较高, 但因为在青色和红色方面光谱不足, 导致显色性较差, 且难以满足低色温照明的要求。

即便如此, 蓝光芯片涂敷 YAG 荧光粉制成的白光 LED 仍可以胜任一般显色性照明的需要, 且可以通过添加橙色或红色荧光粉来增加红光比率, 提高色温和显色指数。所以, 为了推进 LED 在照明领域的全面普及, 研究蓝黄光混合的白光 LED 的老化性能, 提高其在应用阶段的可靠性, 成为业界非常重要的课题<sup>[6, 7]</sup>。本工作用 GaN 基功率型蓝光芯片涂敷 YAG 荧光粉制成白光 LED, 对其施加 900 mA 的老化电流, 在老化过程中测试样品的主要光学参数及电流-电压关系曲线, 推断芯片和荧光粉的退化情况, 分析了光学参数变化的起因。

### 1 实验部分

用 Cree 公司生产的 GaN 基功率型蓝光芯片, 涂敷 YAG 荧光粉和透明硅胶封装成额定功率为 1 W 的白光 LED。将制成的样品固定在可施加电流应力的老化台上, 设定工作电流值为 900 mA。LED 样品的金属管壳紧贴在老化台铝制散热板的导热膜上, 以保证良好的热接触。用浙大三色的 LED 光学参数测试系统测量样品的光学参数, 每次测量均回到 LED 的额定工作电流 350 mA 下进行, 测试平台的温度设定为 25 °C。电学测试设备为 Agilent 4155, 主要测量样品的 I-V 特性。

图 1 为 LED 样品涂敷 YAG 荧光粉和透明硅胶前后测得

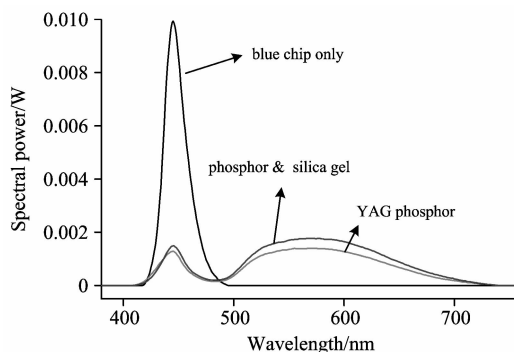


Fig. 1 Spectra of the LED sample before and after packaging

收稿日期: 2012-03-28, 修订日期: 2012-06-15

基金项目: 国家(863 计划)项目(2009AA032704), 北京市自然科学基金项目(4092005)和教育部博士点基金项目(20091103110006)资助

作者简介: 周舟, 1987 年生, 北京工业大学电子信息与控制工程学院硕士研究生 e-mail: iamzhou@163.com

的光谱分布情况。使用芯片的峰值波长为 445~448 nm, 涂敷 YAG 荧光粉以后, 大量蓝光经过荧光粉吸收转换成黄光, 黄光辐射量占整个光输出的 84% 左右。使用灌封硅胶以后, 由于其聚光作用, 测得的辐射通量由 236 mW 提高到 293 mW。通过在老化过程中阶段性地测试完好封装的白光 LED 样品的光学参数以考察其退化情况。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光通量的退化

经过长时间大电流应力下的老化, 白光 LED 样品的光通量发生了明显退化。图 2 为归一化处理后的 LED 样品的光通量随时间的变化图。光通量的变化经过了两个阶段, 首先是老化阶段的前 600 h 左右, LED 的光通量有所增加, 最高值达初始值的 102.8%。而后随着老化的继续进行, 光通量逐渐降低。

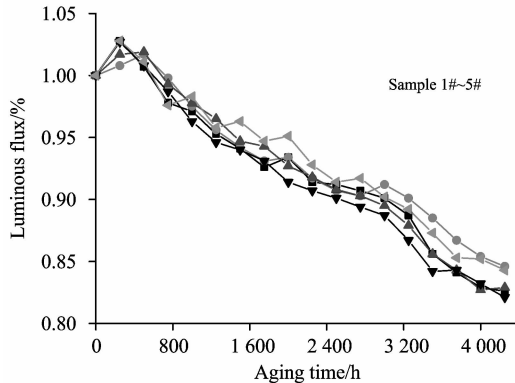


Fig. 2 Luminous flux as a function of aging time

功率型 LED 的光通量在老化过程中先上升后缓慢下降的现象已经有过一些报道<sup>[8, 9]</sup>, 可作如下解释: 给 LED 施加电流后, 开始阶段的老化相当于退火的过程, 消除了部分有源区中的缺陷, 并使 p 型受主进一步被激活, 提高了空穴浓度, 所以电子空穴辐射复合几率增大, 增加了光输出。而后由于老化过程中芯片中的晶格失配等缺陷不断增加, 它们起到非辐射复合中心和载流子隧穿通道的作用, 对 LED 光输出的消极影响逐渐大于退火效应的积极影响, 所以 600 h 以后, 样品光通量开始低于初始值。当 4 200 h 的老化试验结束时, 样品光通量退化幅度已达 15%~18%。

### 2.2 光谱分布的变化

LED 的光谱分布的状况直接影响其各项光学参数值, 图 3 为白光 LED 样品在不同老化阶段的光谱分布。对光谱曲线在 380~780 nm 范围内进行积分即可得到白光 LED 总的辐射通量, 即

$$P = \int_{380}^{780} P(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

其中  $\lambda$  为光的波长。

以光谱曲线中两峰值波长中最低能量的波长 (483 nm) 为界, 对光谱曲线小于 483 nm 的范围以及大于 483 nm 的范围进行积分得到的光功率分别为蓝光部分和黄光部分的辐射

通量<sup>[10]</sup>, 可以看到黄光的辐射通量明显降低, 而透射出的蓝光的辐射通量稍有增加, 两者的具体值如表 1 所示。

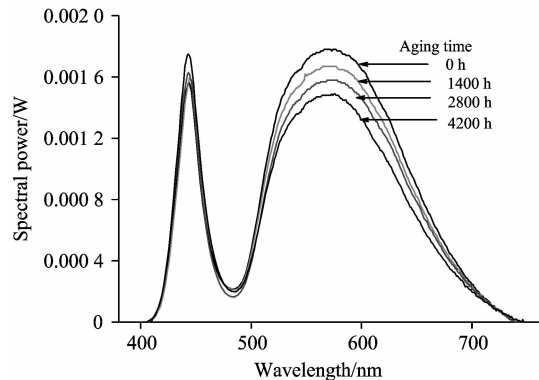


Fig. 3 The changes of PL spectra with the aging time

Table 1 The radiant flux of blue and yellow parts at different aging times

颜色	波长范围/nm	辐射量	0 h	1 400 h	2 800 h	4 200 h
蓝光	<483	W	0.047	0.048	0.048	0.052
黄光	>483	W	0.252	0.235	0.221	0.205

结合 LED 样品老化前后的  $I-V$  特性曲线来考察蓝光芯片的状况, 如图 4 所示, 在反向偏压和正向低偏压区域内, 均发现漏电流增大。在正向小电压下, 电流主要由耗尽层载流子的复合产生, 复合电流中的复合中心一般为非辐射复合中心, 这与有源区缺陷的密度密切相关。在反向偏压下, 电流的产生是由于在热激发的作用下耗尽层中的复合中心产生电子空穴对, 来不及复合就被强电场驱离而形成的。正向低偏压区域和反向偏压下漏电流的增加, 原因可归结为老化过程中芯片有源区中缺陷的不断增多导致了非辐射复合中心的增多<sup>[11]</sup>。

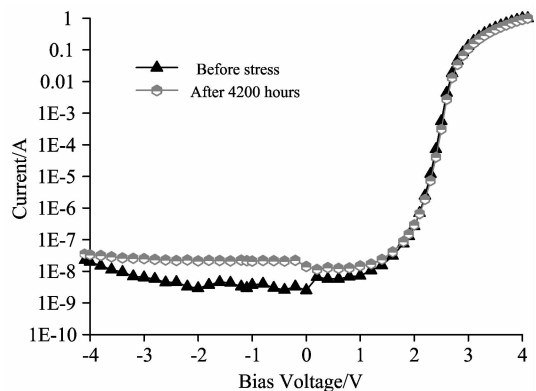


Fig. 4  $I-V$  curves before and after 4 200 hours aging

有源区中非辐射复合中心的增多将直接导致 LED 工作时蓝光芯片光输出的减少, 但样品透射出的蓝光辐射通量反而有所增加, 说明 YAG 荧光粉对蓝光的吸收量减少, 即荧光粉有了一定程度退化。荧光粉退化主要是因为 LED 样品长时间处于大电流应力下, 蓝光芯片一直处于很高的温度, 荧光粉在高温环境下工作, 发生了温度猝灭。因此, 蓝光芯

片光输出的减少以及 YAG 荧光粉转换效率降低, 共同导致了黄光辐射通量的降低。

### 2.3 色温与显色指数的变化

光源的光辐射所呈现的颜色与在某一温度下黑体辐射的颜色相同时, 黑体的温度即为光源的色温, 用绝对温度 K 表示。白光 LED 的色温高表示光输出中蓝绿光的组分多, 色温低表示黄橙光组分多<sup>[11]</sup>。试验中样品的色温老化前后从 4 003 K 升高到 4 406 K, 以图 5 所示的曲线递增, 这表明样品黄光部分的光输出占 LED 辐射通量的比率在减小, 与表 1 的结果是一致的。如此大的色温漂移将限制此类白光 LED 在对色温值有精确要求的照明场合的应用, 而导致这种情况的主要原因是荧光粉的高温猝灭, 所以研究荧光粉制造工艺关键的一点是提高荧光粉的猝灭温度, 以保证 LED 的辐射通量和色温的稳定性。

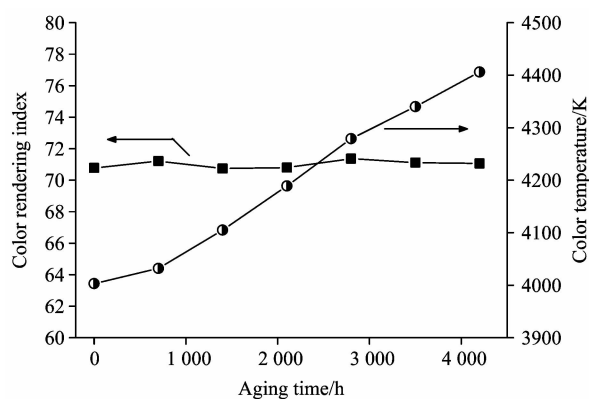


Fig. 5 Color temperature and color rendering index as the function of aging time

显色指数 (color rendering index, CRI) 是指当光源照射物体时, 物体所反映出的颜色与太阳光照射它时所反映出的颜色的符合程度。通常提到的 CRI 是指一般显色指数, 它的

测量与规定的 8 块颜色样品在被测光源下呈现出外貌与标准参考光源下呈现出外貌间的差异密切相关, 其计算公式为

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i \quad (2)$$

其中  $R_a$  为一般显色指数,  $R_i$  为特殊显色指数, 即光源对每一块色样的 CRI 值, 基准光源的显色指数为 100。测量标准中选取的 8 块色样具有中等饱和度和大致相同的明度, 颜色范围涵盖了整个可见光谱。虽然试验中的白光 LED 样品也近乎具有如同太阳光一样的在可见光范围内的连续光谱, 但是由于在青色与红色方面的光谱含量严重不足, 其显色指数  $R_a$  仅为 71 左右, 只能满足一般显色需求的照明场合。在整个老化过程中, 白光 LED 样品的显色指数几乎不变, 如图 5 所示, 这是由于样品的光输出衰减主要发生在黄色光和橙色光波段, 其他光波段的辐射量几乎没有改变, 而黄橙光的辐射量经衰减后仍有较高的值, 所以并不影响白光 LED 作为光源对每块色样的显色效果。由公式 (2) 可知, 特殊显色指数  $R_i$  的值近乎不变, 则一般显色指数  $R_a$  的波动幅度也很小。

### 3 结 论

由额定功率为 1 W 的 GaN 基蓝光芯片和 YAG 荧光粉制成白光 LED, 在 900 mA 的大电流应力下老化 4 200 h。在退火效应和有源区缺陷增加的双重作用下, LED 样品的光通量先增加后降低, 最后退化为初始量的 15%~18%。老化后 LED 蓝光部分的辐射量稍有增加, 黄光部分的辐射量明显减少, 这是由蓝光芯片光输出减少和荧光粉转换效率下降所致。由于黄橙光占 LED 辐射通量的比率降低, 样品的色温从 4 003 K 增大到 4 406 K, 但是衰减后的黄橙光仍有较高的辐射量, 而其他波段的光辐射量基本不变, 所以并不影响白光 LED 作为光源对物体的显色效果, 即显色指数也近乎不变。

### References

- [1] He Guoxing, Yan Huafeng. Optics Express, 2011, 19(3): 2519.
- [2] Trevisanello L, Meneghini M, Mura G, et al. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 2008, 8(2): 304.
- [3] Baur J, Baumann F, Peter M, et al. Physica Status Solidi C, 2009, 6(S2): S905.
- [4] Burqin J, Jubera V, Debe'da H, et al. Journal of Materials Science, 2011, 46(7): 2235.
- [5] Lin Yeong-Her, You Jiun-Pyng, Lin Yuan-Chang, et al. IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 2010, 33(4): 761.
- [6] XUE Zheng-qun, HUANG Sheng-rong, ZHANG Bao-ping, et al (薛正群, 黄生荣, 张保平, 等). Acta Physica Sinica (物理学报), 2010, 59(7): 5002.
- [7] Meneghesso G, Levada S, Zanoni E, et al. Microelectronics Reliability, 2003, 43(9-11): 1737.
- [8] Hu Jianzheng, Yang Lianqiao, Moo Wha Shin, et al. Semicond. Sci. Technol., 2007, 22(12): 1249.
- [9] ZHOU Zhou, FENG Shi-wei, ZHANG Guang-chen, et al (周舟, 冯士维, 张光沉, 等). Chinese Journal of Luminescence (发光学报), 2011, 32(10): 1046.
- [10] Gu Yimin, Nadarajah Narendran. Proceedings of the SPIE-The International Society for Optical Engineering, 2004, 5187(1): 107.
- [11] Cao X A, Sandvik P M, LeBoeuf S F, et al. Microelectronics Reliability, 2003, 43(12): 1987.

# Analysis on the Degradation of Optical Properties of High Power White LED

ZHOU Zhou, FENG Shi-wei, GUO Chun-sheng, ZHANG Guang-chen, WU Yan-yan

School of Electronic Information & Control Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

**Abstract** One watt white light emitting diodes (LEDs) were made by GaN-based blue light chips. The chips were coated by YAG phosphor and transparent silica gel. Current of 900 mA as electrical stress was carried on the LED samples and the optical properties of the samples were observed by measuring the main optical parameters during the aging test. After 4 200 hours of aging, the luminous flux rate of LEDs declined by a factor between 15% and 18%. Changes in *I-V* curves indicated the increase in leakage current, which were caused by the increase in defect density. Radiant flux of the blue light drawn from the spectrogram didn't decrease while the yellow light decreased obviously, which implies the degradation of conversion efficiency of YAG phosphor. Reasons for the increase in color temperature and keeping constant in color rendering index (CRI) were theoretically analyzed. The results of the experiment will provide a reference to the illumination applications of the high power white LED.

**Keywords** Light emitting diode; Aging test; Spectrum; Phosphor; Color temperature; Color rendering index

(Received Mar. 28, 2012; accepted Jun. 15, 2012)

---

## 《光谱学与光谱分析》对来稿英文摘要的要求

来稿英文摘要不符合下列要求者, 本刊要求作者重写, 这可能要推迟论文发表的时间。

1. 请用符合语法的英文, 要求言简意明、确切地论述文章的主要内容, **突出创新之处**。
2. 应拥有与论文同等量的主要信息, 包括四个要素, 即研究目的、方法、结果、结论。其中后两个要素最重要。有时一个句子即可包含前两个要素, 例如“用某种改进的 ICP-AES 测量了鱼池水样的痕量铅”。但有些情况下, 英文摘要可包括研究工作的主要对象和范围, 以及具有情报价值的其他重要信息。在结果部分最好有定量数据, 如检测限、相对标准偏差等; 结论部分最好指出方法或结果的优点和意义。
3. 句型力求简单, 尽量采用被动式, 通常应有 2000 个印刷字符, 300 个英文单词为宜, 不能太短; 也不要太长。用 A4 复印纸单面打印。
4. 摘要不应有引言中出现的内容, 换言之, 摘要中必须写进的内容应尽量避免在引言中出现。摘要也不要对论文内容作解释和评论, 不得简单重复题名中已有的信息; 不用非公知公用的符号和术语; 不用引文, 除非该论文证实或否定了他人已发表的论文。缩略语、略称、代号, 除相邻专业的读者也能清楚地理解外, 在首次出现时必须加以说明, 例如用括号写出全称。