

文章编号: 1000-7032(2012)11-1236-05

大功率 LED 的电流老化特性分析

李艳菲, 张方辉*, 张 静

(陕西科技大学 电气与信息工程学院, 陕西 西安 710021)

摘要: 基于一体化封装技术, 先将铝基板进行硬质阳极氧化处理使其绝缘, 后将蓝光 LED 芯片直接封装到铝基板上, 分别制成大功率白光和蓝光 LED, 其中白光 LED 由蓝光芯片涂覆 YAG: Ce 荧光粉制成。将白光和蓝光 LED 分别用 500 mA 和 700 mA 电流加速老化 1 000 h, 平均每隔 24 h 测试其各种光学参数, 对比蓝光 LED 与白光 LED 的衰减情况。白光 LED 的光通量衰减比蓝光严重, 但白光光功率的衰减比蓝光慢。LED 的衰减分为两个阶段: 第一阶段芯片与荧光粉同时衰减; 第二阶段主要是芯片的衰减, 荧光粉衰减较慢。

关键词: 一体化封装; LED; 老化; 失效分析

中图分类号: TN312.8

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20123311.1236

The Accelerated Aging Characterization of High Power LED

LI Yan-fei, ZHANG Fang-hui*, ZHANG Jing

(School of Electrical and Information Engineering, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

* Corresponding Author, E-mail: zhangfanghui@sudt.edu.cn

Abstract: Insulation layer of aluminum substrate for LED encapsulation was made by hard anodizing technology. White and blue GaN-based light-emitting diodes were encapsulated on the aluminum plate directly. White LED was fabricated by blue chip coated with YAG: Ce phosphor, while blue LED didn't coated with phosphor. Accelerated aging tests at 500 mA and 700 mA were carried out for about 1 000 h on the new type of integrated high-power. Then optical parameters of LEDs were tested per 24 h. Compared with the blue and white LED, we could get the following conclusions: White LED luminous flux attenuates seriously than the blue LED, while optical power is opposite. There are two stages in LED attenuation: The chip and phosphor decay at the same time in initial stage of aging, well blue chip attenuation is dominant after a certain period of time.

Key words: integration package; LED; aging; failure mechanism.

1 引 言

LED 具有低电压、低能耗、长寿命、高可靠性、易维护等优点, 符合绿色照明与显示工程节能与环保的要求, 已广泛应用于图像显示、信号指示

和照明领域^[1]。蓝光和白光 LED 的出现使 LED 成为当今半导体技术发展的热点。白光 LED 被誉为 21 世纪新光源, 有望成为继白炽灯、荧光灯、高强度气体放电灯之后的第四代光源。LED 产品的开发研制已成为发展前景十分诱人的朝阳

收稿日期: 2012-07-17; 修订日期: 2012-09-20

基金项目: 国家自然科学基金(61076066); 陕西省科技统筹创新工程计划(2011KTCQ01-09)资助项目

作者简介: 李艳菲(1987-), 女, 河北唐山人, 主要从事 LED 寿命与可靠性方面的研究。

E-mail: liyanfei20052008@163.com

产业。

但是白光和蓝光 LED 从商业化到现在才经历了十几年, 技术仍在不断完善之中。普通封装的白光 LED 的光衰非常严重, 寿命只有几千小时, 仅约为蓝光芯片封装的 LED 寿命的 1/10, 寿命和光衰问题成为制约白光 LED 商业化的瓶颈^[2-3]。另外, 不同厂家、不同批次的 LED 芯片质量和封装水平也参差不齐。在各种因素影响下, LED 的寿命并不像很多厂家所乐观估计的那样可以达到 10 万小时^[4], 因此对白光 LED 的发光效率、色度等的老化机理进行研究, 进而提高其可靠性就显得十分重要。

本文自行设计了一体化封装的 LED, 直接将 LED 芯片封装到铝板上, 分别制成蓝光和白光 LED, 减小了 LED 工作时从芯片到大气的热阻, 提高了 LED 的寿命及可靠性。对大功率 LED 进行了电流加速老化实验, 通过对器件老化前后的光学特性的测量, 分析了 LED 失效的主要原因。

2 实 验

1 W 的蓝光 LED 芯片分别购于武汉迪源光电科技有限公司和台湾晶元光电股份有限公司, 荧光粉为彩虹 LED YAG MLY-02D 型荧光粉, 荧光粉胶及封装胶分别采用广州杰果电子科技有限公司的 8866 AB 胶和 5212AB 硅胶。扩晶机和焊线机分别为深圳三合发光电设备有限公司的 SH2002 型和 SH2012 型, 真空干燥箱为背景科伟永兴仪器有限公司的 DZF 型真空干燥箱。

先将芯片直接封装到铝板上, 然后涂覆 YAG:Ce 黄色荧光粉 (蓝光 LED 不涂覆荧光粉), 分别制成蓝光和白光 LED。LED 示意图与实物图如图 1 所示。铝板尺寸为 50 mm × 50 mm × 5 mm,

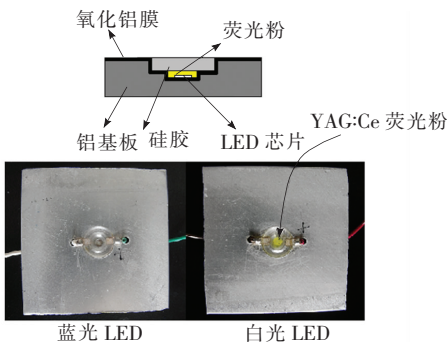


图 1 LED 示意图与实物图

Fig. 1 Schematic diagram of LED

表面经过阳极氧化处理以使其绝缘, 保证 LED 的电学可靠性。LED 的封装过程: 铝板打同心孔 → 阳极氧化 → 固晶 → 固电极 → 点荧光粉 → 点封装硅胶 → 连接电极引线。其中铝板硬质阳极氧化的过程: 脱脂 → 冷水洗 → 碱蚀 (NaOH, 45 g/L, 50 °C, 30 s) → 热水洗 → 冷水洗 → 出光 (HNO₃, 130 g/L, 室温, 3 min) → 热水洗 → 冷水洗 → 阳极氧化 → 水洗。

实验中分别用 500 mA 和 700 mA 的电流老化 LED, 老化时间为 1 000 h, 平均每间隔 24 h 测试 1 次其光衰变化与光谱特性变化, 并推导出 LED 的使用寿命。所有测试均在室温下进行, 大功率 LED 的电学和光学特性通过 LED 专用测试系统 PMS-50 紫外-可见-近红外光谱分析系统测试, LED 管脚温度用深圳欣宝科仪器仪表研制中心的 DM6801A 型温度计测量。

3 结果与讨论

在实验过程中, 用 500 mA 加速老化 36 h 后, 测量 LED 的管脚温度为 45 °C 左右; 用 700 mA 电流加速老化 36 h 后, LED 管脚温度为 55 °C 左右。二者温度均在允许范围内, 说明一体化封装的方式有利于 LED 的散热, 故本文只考虑电流的影响。

图 2 所示为 LED 的光通量变化曲线, 其中白光使用晶元芯片, 蓝光分别使用迪源和晶元的芯片。由图 2 可以看出, 迪源蓝光芯片在 500 h 后急剧衰减, 而晶元芯片制作的蓝光和白光 LED 在 1 000 h 内均缓慢衰减。这表明不同厂家生产的 LED 芯片的性能与质量有很大差别。

深能级缺陷和非辐射复合中心的不断产生是

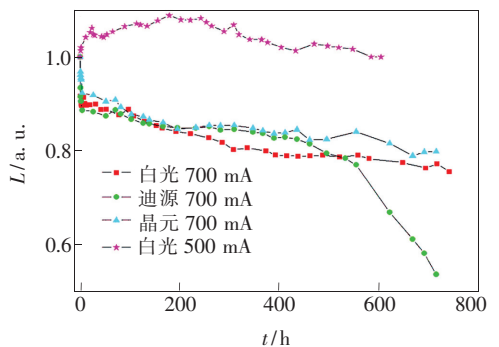


图 2 蓝光与白光 LED 的光通量随老化时间的衰减

Fig. 2 The attenuation of blue and white LED luminous flux with aging time

造成 GaN 发光二极管老化的重要原因^[5-7],而 Mg-H 化合物的存在是造成复合中心和深能级缺陷出现的原因。由于载流子不断地激发 Mg-H 化合物发生电离等作用,从而形成深能级缺陷和非辐射复合中心,导致了电子和空穴的复合。这些复合中心的能量不足以导致发出光子,能量以声子或者热能的形式散出,降低了发光效率。所以,随着老化时间的延长,LED 的光通量不断下降。

由图 2 可以看出,LED 用 500 mA 加速时,在老化的初始阶段,光通量有一个上升的阶段,而用 700 mA 加速则没有该阶段。这是因为光通量上升是由于热退火效应使器件内的 Mg-H 络合物分解,相当于 Mg^{2+} 浓度增大,即 p 型杂质浓度增大,器件工作时注入量子阱中的载流子数增加,辐射复合几率增大^[8]。

图 3 所示为 700 mA 加速下的归一化的白光 LED 的发光光谱图。由图可以看出,荧光粉在整个加速老化时间段内都有明显衰减。YAG:Ce 荧光粉的发射峰颜色为黄色,属于 Ce 的 5d→4f 的特征跃迁,随着老化时间的延长,表面附近导带深入到 Ce^{3+} 的激发态中形成陷阱,发光效率下降^[9]。与蓝光 LED 相比,荧光粉有加速白光 LED 老化的作用。即使是同一厂家的荧光粉,不同型号对白光 LED 的光衰影响也不相同,这与荧光粉的原材料成分关系密切。经研究发现,荧光粉受温度影响比较严重,当散热条件不好时,荧光粉更容易光衰老化^[10]。因此,研究具有更高温度稳定性的荧光粉是提高白光 LED 寿命的关键技术之一。

图 4 所示为白光 LED 中蓝光芯片波峰与黄光荧光粉发射波峰随时间的变化关系,其中蓝光

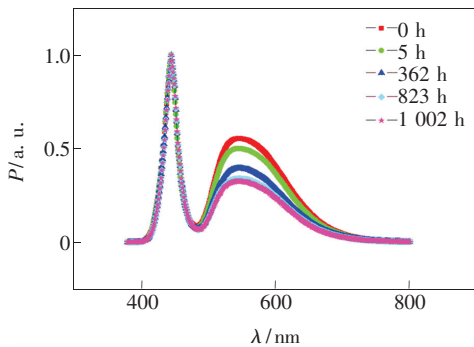


图 3 700 mA 加速下白光 LED 光谱分布的变化

Fig. 3 The white LED spectral distribution changes under 700 mA current

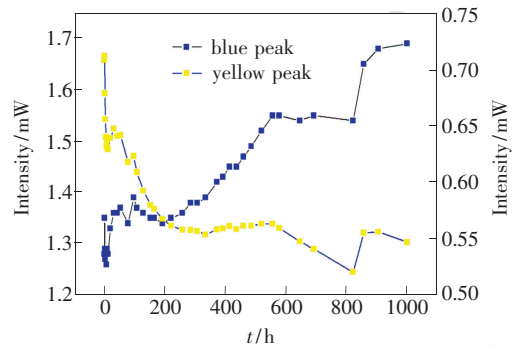


图 4 蓝光与黄光的峰值波长变化

Fig. 4 The changes of blue peak and yellow peak

波长为 450 nm,黄光波长为 540 nm。由图可以看出,蓝光波峰随时间的增加而升高,荧光粉的发射波峰随时间的增加而下降。蓝光与黄光的辐射波峰虽然升高,但芯片发射的蓝光能量和荧光粉发射的黄光能量是衰减的。

图 5 所示光通量与光辐射功率随时间的变化,由图可以看到,白光 LED 的光通量明显比蓝光的光通量衰减快,这是因为白光是由蓝光芯片激发黄光荧光粉后蓝光与黄光混合产生的,芯片与荧光粉的同时退化导致白光光通量下降。但是白光的光功率比蓝光光功率下降得慢。

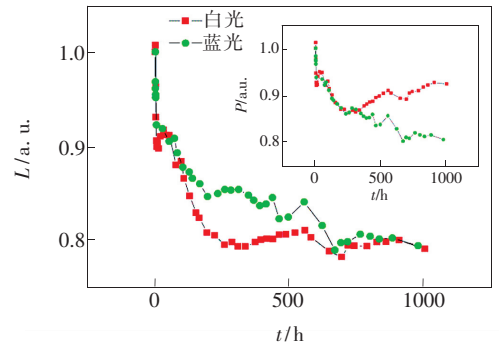


图 5 700 mA 下蓝光和白光的光通量与光辐射功率变化曲线

Fig. 5 The attenuation of luminous and radiated power under 700 mA current

光通量是光辐射功率产生的视觉刺激值,与心理因素有关;而光功率是纯物理量,与人眼无关。光通量与光功率的关系为:

$$\Phi_V = 683 \int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda) V(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

其中 Φ_V 为光通量, $V(\lambda)$ 为光谱光视函数, Φ_E 为光辐射通量即光功率。如图 6 所示,即人眼对各种波长光的平均相对灵敏度^[11]。其在 550 nm 处

有最大值,即人眼对 550 nm 黄绿光最敏感。由于荧光粉的发射峰值波长为 540 nm,故荧光粉的发光能量变化对光通量影响很大。在整个老化时间段内,荧光粉发出的能量均有衰退的现象,故白光 LED 光通量的衰减比蓝光 LED 光通量的衰减严重。

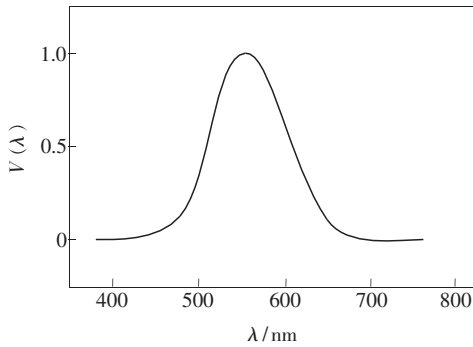


图 6 光谱光视函数

Fig. 6 The viewport function

由图 5 可以看出,LED 的衰退分两个阶段:第一阶段为 250 h 之内,芯片与荧光粉发出的光同时衰减;第二阶段为 250 h 以后,荧光粉的衰减变慢,主要是芯片的衰减。

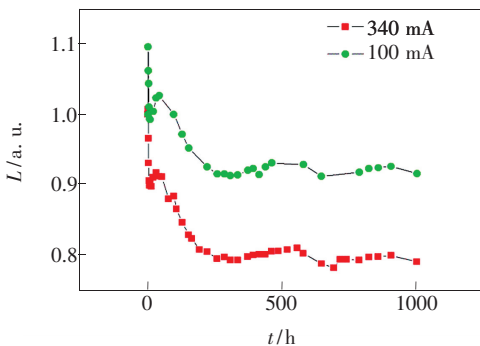


图 7 不同电流测试下的光通量衰减

Fig. 7 Luminous flux attenuation under different currents test

图 7 所示为 700 mA 加速下的白光 LED 分别用 340 mA 和 100 mA 测试其光通量,由图可以看出两种测试条件下 LED 的衰减趋势大致相同,但小电流测试条件下光衰衰减比大电流衰减幅度小,这是因为复合效率受载流子迁移率影响较大,在器件中多数载流子应具有较低的迁移率,这样有利于载流子的注入和传输,从而可提高发光效率^[12-13]。LED 所加驱动电压低时,多数载流子的迁移率低,复合效率高,所以在低电流测试下,LED 的衰减较慢。

4 结 论

基于一体化封装技术,将 LED 芯片直接封装到铝基板上,制成大功率白光和蓝光 LED,提高了 LED 的可靠性。分别用 500 mA 和 700 mA 电流对 LED 加速老化,通过测试其各种光学参数来分析器件的失效机理。LED 光通量的下降主要是由于深能级缺陷和非辐射复合中心的不断产生,并且复合效率受载流子迁移率影响较大,在器件中多数载流子应具有较低的迁移率,这样有利于载流子的注入和传输,从而可提高发光效率。LED 所加驱动电压低时,多数载流子的迁移率低,复合效率高,所以在低电流测试下,LED 的衰减较慢。在整个老化时间段内,荧光粉均有衰退的趋势,故白光 LED 光通量衰减比蓝光 LED 光通量的衰减严重,但白光的光功率比蓝光下降得慢。人眼对 550 nm 黄绿光最敏感,由于荧光粉的发射峰值波长为 540 nm,故荧光粉的发光能量变化对光通量影响很大。LED 的衰退分两个阶段:第一阶段为 250 h 之内,芯片与荧光粉发出的光同时衰减;第二阶段为 250 h 以后,荧光粉的衰减变慢,主要是芯片的衰减。

参 考 文 献:

- [1] Yeh N C, Chung J P. High-brightness LEDs-energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, 13(8):2175-2180.
- [2] Xiao Y P, Mo C L, Qiu C, et al. The aging characteristics of GaN-based blue LED on Si substrate [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(3):364-368 (in Chinese).
- [3] Peng J. The main problem in the high-power LED application [J]. *Lamps and Lighting*, 2004, (3):4-7.
- [4] Liu Wong J H, Siu S L. Degradation behaviors of GaN light-emitting diodes under high-temperature and high-current stressing [J]. *Microelectron. Reliab.*, 2011, 9(14):1-4.
- [5] Xue Z Q, Huang S R, Zhang B P, et al. Analysis of failure mechanism of GaN-based white light-emitting diode [J]. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2010, 59(7):5002-5009 (in Chinese).

- [6] Meneghini M, Barbisan D, Bilenko Y. Defect-related degradation of deep-UV-LEDs [J]. *Microelectron. Reliab.*, 2010, 50(9-11):1538-1542.
- [7] Wang J S, Tsai C C, Liou J S. Mean-time-to-failure evaluations of encapsulation materials for LED package in accelerated thermal tests [J]. *Microelectron. Reliab.*, 2012, 52(5):813-817.
- [8] Cui D S, Guo W L, Cui B F, *et al.* Early degradation of GaN-based power LED under electrical stresses [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(1):93-96 (in Chinese).
- [9] Zhang Z T, Zhang J Y. *Inorganic Photoluminescence Materials and Application* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2011:182-184.
- [10] Wu H B, Wang C L. Experimental research on influence of packing materials of white LED on its luminous decay [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2005, 25(8):1091-1094 (in Chinese).
- [11] Miu J D, Xu W J, Mou T S. *Photovoltaic Technology* [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1995:3-5.
- [12] Xu X M, Peng J C, Li H J. Effects of carrier mobilities on recombination efficiency in single layer organic [J]. *Acta Physica Sinica* (物理学报), 2002, 51(10):2380-2386 (in Chinese).
- [13] Dai S C. Influence of power effect on the thermal resistance of power LED [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2010, 31(6):876-881 (in Chinese).