

光固化时间对白光LED光学性能影响

孙海港 苗洪利 李国强

中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100

摘要 在贴片式白光LED封装中的荧光粉涂覆环节采用光固化的方法,研究UV固化时间对LED光学性能的影响。实验选取了九种固化时间,对封装出来的样品进行外观物理特性的观察测试并对完全固化的样品进行恒流老化和光度色度参数测试。结果表明:固化时间大于120 s时胶体基本固化;不同固化时间样品的峰值波长、色温、显色指数的最大值与最小值分别平均相差约1.2 nm、200 K、1.3个单位;固化时间大于210 s时,光通量的衰减率明显大于其他固化时间。该光固化胶在106.6 mW/cm²的紫外光功率密度下,固化120~180 s较为合适。从光学的角度探讨固化时间对LED性能的影响,对光固化技术在LED封装上的应用具有指导意义。

关键词 光学器件; UV固化; 固化时间; 白光LED; 光学性能; 封装工艺

中图分类号 TN383.1 **文献标识码** A **doi:** 10.3788/LOP51.052301

Influence of Photocuring Time on the Optical Properties of White LED

Sun Haigang Miao Hongli Li Guoqiang

*Institution of Information Science and Engineering, Ocean University of China,
Qingdao, Shandong 266100, China*

Abstract UV-curing method is used to solidify the phosphor in the process of LED packing, the influence of UV curing time on the optical properties of LED is studied. Nine different kinds of curing time is determined in the experiment of LED packing, after packaged, test the physical character of LEDs and then select the fully cured samples to conduct aging test experiments with constant current and test their photometric & colorimetric parameters regularly. The experimental results show that the adhesive is nearly cured when the curing time is greater than 120 s, the maximum and minimum average wavelength, color temperature and color rendering index of the LEDs for different testing time have a difference of almost 1.2 nm, 200 K, 1.3 respectively for different kinds of curing time, the luminous flux decay rate is higher than others when the curing time is longer than 210 s. So, the suitable curing time for this kind of UV radiation curing adhesive is 120~180 s under the UV power density of 106.6 mW/cm². Studying the influence of curing time on properties of LED by optical method is instructive and meaningful to use UV curing coatings in the process of LED packing.

Key words optical devices; UV-curing; curing time; white LED; optical properties; packaging process

OCIS codes 230.3670; 160.5470; 220.4610; 080.2205; 330.7323

1 引言

发光二极管(LED)对封装材料的要求主要为高光透射率、相对高的折射率、耐热老化和耐光老化等性能^[1-2]。其封装工艺与材料对LED的光度色度参数有重要影响^[3-7]。目前LED的封装主要为热固化,所用的材料主要为环氧树脂和有机硅树脂。热固化封装需要高温炉、长时间固化等条件,往往还需要经过后固化处理,会降低LED的生产效率,增加生产成本,同时也会造成荧光粉沉淀,影响LED的光度色度参数^[8-9]。

光固化技术越来越引起人们的注意。光固化是在紫外光照射下进行的化学反应,光固化胶一般由光敏树脂(低聚物)、活性稀释剂(单体)、光引发剂和一些添加剂组成,其中低聚物对固化速率及固化后材料的性

收稿日期: 2013-11-04; 收到修改稿日期: 2013-12-13; 网络出版日期: 2014-04-29

基金项目: 青岛市科技局攻关项目(12-4-1-2-GX)

作者简介: 孙海港(1988—),男,硕士研究生,主要从事光电材料与技术及LED封装等方面的研究。

E-mail: harbour26@outlook.com

导师简介: 苗洪利(1964—),男,教授,主要从事半导体照明方面的研究。E-mail: oumhl@ouc.edu.cn(通信联系人)

能起决定性作用^[10-11]。其最显著的特点为固化速率快,最快只需 0.05 ~ 0.10 s^[12]。目前,已经有专利和文献报道了用于白光 LED 封装中性能良好的光固化胶^[13-15],但是,仅仅从光固化材料本身去研究,没有涉及到具体的封装工艺对 LED 性能的影响。

本文在贴片式白光 LED 封装中的荧光粉涂覆环节采用光固化的方法,对用不同固化时间封装出来的 LED 样品进行老化实验,根据实验结果判断固化时间对 LED 光学性能的影响,找出最合适的固化时间范围,为紫外光固化技术在 LED 封装上的应用提供依据。

2 实验设备与方法

2.1 光固化实验箱

中国海洋大学半导体照明实验室具有传统 LED 封装线,并自行研制了 LED 封装光固化箱,固化箱采用 600 W、中心波长为 365 nm 的高压紫外汞灯。内有可以活动的载物板,通过调节载物板的高低位置,可以实现照射光强的变化;同时在紫外灯与载物板之间设有抽拉式挡板,可以方便控制照射时间。

2.2 光固化封装方法

在贴片式白光 LED 封装的荧光粉涂覆环节采用光固化。实验采用蓝宝石衬底蓝光 LED 芯片,采用钇铝石榴石(YAG)黄色荧光粉,选用的光固化胶由脂环型环氧树脂低聚物、碳酸丙烯酯活性稀释剂及阳离子光引发剂组成。

取一板 LED 支架,将支架在 80 ℃ 的环境下预热。选用同一批次芯片,完成固晶、焊线,将该板支架上的单颗 LED 支架分离出来平均分成 9 份。称取一定量低聚物 A,加入 2% 的光引发剂(光引发剂的量由吸收光子数和树脂的环氧值确定),搅拌 5 min 使之混合均匀,再加入与 A 等量的活性稀释剂 B,搅拌 5 min,将混合物抽真空 10 min,掺入一定比例的荧光粉,继续搅拌 5 min,然后完成点荧光粉胶。调节载物板到紫外灯的距离,固定紫外光功率密度为 106.6 mW/cm²,将分成 9 份的点好荧光粉胶的 LED 分别放入紫外固化箱中照射 30、60、90、120、150、180、210、240、270 s,完成表贴式白光 LED 的制备。

2.3 LED 性能测试手段

首先对不同固化时间封装成型的样品进行物理特性检查,判断胶的固化情况。然后进行恒流老化,定期对光电参数进行测量。对每种固化时间的样品进行初次测量,恒流点亮 24 h 再次测量,取其中比较稳定的 10 支作为实验样品进行长期恒流老化。测量仪器为某公司 SSP6612 型 LED 光电参数综合测试仪,该仪器可以完成对 LED 的相对光谱功率分布、色温、色坐标、光通量、正向电压等光电参数的测量。

3 LED 测试结果分析

固化完成后,对九种固化时间的 LED 进行观察及物理特性测试,其固化程度如表 1 所示。

表 1 九种固化时间样品固化程度对比

Table 1 Comparison of the degree of cure for nine different kinds of curing time

Curing time /s	Curing degree
30	A thin layer is cured and it is likely to flow when position the LEDs on the side
60	The surface layer is cured and it is liquid under the surface
90	Nearly cure and its surface is a little hard but it is dope under
120	Nearly fully cure
150	Fully cure but it is crisp
180	Fully cure
210	Fully cure
240	Fully cure
270	Fully cure

从表 1 可以看出随着固化时间的加长,固化程度进一步加深。其中 30、60、90 s 未完全固化,在这实际的生产过程中是不可取的。因此,接下来只对固化时间为 120 ~ 270 s 的样品进行恒流老化实验,对六种样品恒流老化 15 d。选取峰值波长、色温、显色指数和光通量四个参数,测试不同固化时间对它们的影响。对每

种 LED 的 10 个样品的各项参数测试结果分别去掉其中的一个最大值与最小值然后取平均,分析它们随老化时间加长的变化趋势。

3.1 对峰值波长影响

六种固化时间的 LED 峰值波长变化曲线如图 1 所示,可以看出不同固化时间样品的峰值波长有略微的不同,最高与最低的平均峰值波长相差约 1.2 nm,且峰值波长的大小与固化时间的长短没有一个固定线性关系。随着老化时间的延长,每种样品的峰值波长几乎不变。

3.2 对色温影响

图 2 为六种样品色温随老化时间的变化曲线,在不同的固化时间下样品的色温差异不大,最高色温与最低色温平均相差不到 200 K,并且色温的大小与固化时间的长短没有一个确定的关系。同时,无论是哪种固化时间的样品,随着老化时间的增加,各自的色温基本不变,说明用该方法及该光固化胶封装出来的 LED 的色温比较稳定。

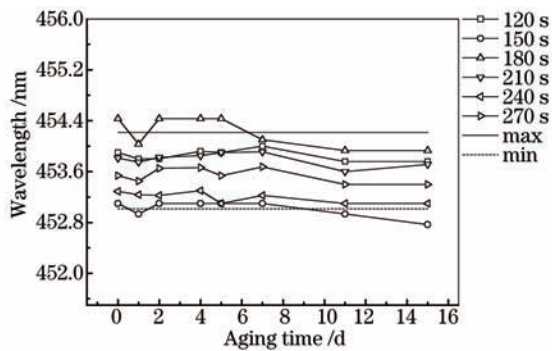


图 1 峰值波长变化曲线

Fig.1 Peak wavelength with aging time

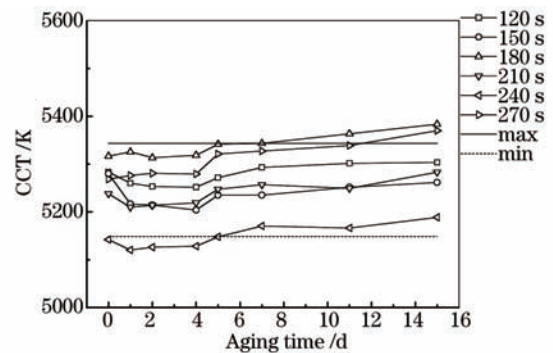


图 2 色温变化曲线

Fig.2 Color temperature with aging time

3.3 对显色指数影响

显色指数表示用该光源与用太阳光照射某物体时,物体颜色的差别。显色指数主要取决于光源的光谱^[12,16]。由图 3 可知,不同固化时间的样品其显色指数有微小差异,最高与最低相差仅 1.3 个单位,显色指数大小随固化时间长短的变化趋势与色温大致相同,它们之间同样不存在确定的关系。并且,随着老化时间的增加,各自的显色指数也比较稳定。

3.4 对光通量影响

光通量衰减率的变化曲线如图 4 所示,由图可知,270 s 样品光通量的衰减率明显高于其他样品,说明 270 s 虽然使光固化胶完全固化,但由于照射时间太长影响了固化胶的性能,因此固化 270 s 不可取。从老化第四天开始,固化 240 s 与 210 s 样品的衰减率明显高于其他样品,说明固化 240 s 和 210 s 同样不可取。而固化 120 ~ 180 s 衰减率的大小及变化情况相似,衰减率明显小于其他长时间照射,说明固化 120 ~ 180 s 对白光 LED 的性能影响相同且稳定。综合表 1,对该光固化胶在 106.6 mW/cm² 的光功率密度下,最低的固化时间在 120 s,最高在 180 s 较为合适。

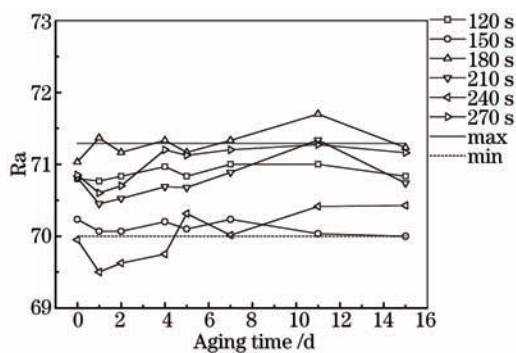


图 3 显色指数变化曲线

Fig.3 Color rendering index with aging time

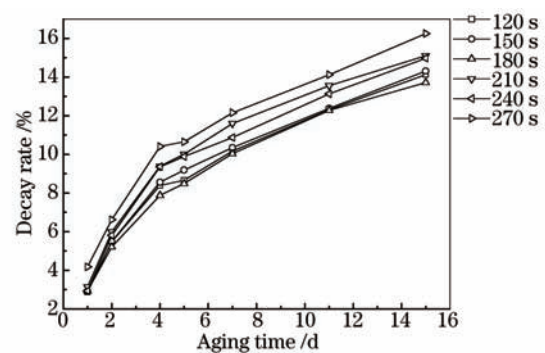


图 4 光通量衰减率变化曲线

Fig.4 Luminous flux decay rate with aging time

从图4中还可以看出,老化前期衰减率变化曲线的斜率远远高于老化后期的斜率,说明在老化前期LED灯的光通量衰减较快,老化后期光固化胶的稳定性相对于前期要稳定性些。

4 结 论

用光固化方法固化贴片式白光LED的荧光粉层,对用九种不同固化时间封装出来的样品进行物理特性测试,结果表明当固化时间大于120 s时胶体基本固化,随着固化时间的加长其固化程度加深。对完全固化的六种LED样品进行恒流老化实验,测试其峰值波长、色温、显色指数和光通量衰减率的变化情况。结果表明:不同固化时间样品的峰值波长、色温、显色指数的最大值与最小值分别平均相差约1.2 nm、200 K、1.3个单位,并且在不同的固化时间下样品的峰值波长、色温、显色指数随老化时间的增加基本保持不变;对于光通量,固化时间大于210 s时,光通量的衰减明显大于其他固化时间,固化时间在120~180 s时光通量衰减率较小且变化稳定。综上所述,在白光LED封装中,用该光固化胶调配荧光粉,在紫外光功率密度为106.6 mW/cm²的情况下,合适的固化时间最低为120 s,最高为180 s。

光固化技术应用于LED封装可以大大提高封装效率,其在LED封装上的应用,仅从化学的角度来确定固化时间是不够的。需要从光学的角度来判断固化时间对LED性能的影响,这对光固化技术在LED封装上的应用具有指导意义。

参 考 文 献

- 1 Mu Qihong, Li Jinhui. Status and development directions of high power LED encapsulation materials[J]. Shandong Science, 2011, 24(5): 30-34.
牟秋红, 李金辉. 功率型LED封装材料的研究现状及发展方向[J]. 山东科学, 2011, 24(5): 30-34.
- 2 Priyadarshi A, Shimin L, Mhaisalkar S G, *et al.*. Characterization of optical properties of acrylate based adhesives exposed to different temperature conditions[J]. J Appl Polym Sci, 2005, 98(3): 950-956.
- 3 Sun Ruoxi, Li Yi, Zhou Sheng, *et al.*. Design and thermal characteristics analysis of power flexible LED packaging[J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2012, 23(4): 637-643.
孙若曦, 李毅, 周晟, 等. 功率LED柔性封装结构的设计与热特性分析[J]. 光电子·激光, 2012, 23(4): 637-643.
- 4 Xu Yang, Cui Ying, Fu Hengyi, *et al.*. White light generation of glass ceramics containing Ba₂LaF₇:Eu²⁺, Tb³⁺ and Sm³⁺ nanocrystals[J]. Chin Opt Lett, 2012, 10(3): 061602.
- 5 Fang Jun, Hua Gang, Fu Renli, *et al.*. Structure and substrate for high power white LED package[J]. Semiconductor Technology, 2013, 38(2): 141-147.
方军, 花刚, 傅仁利, 等. 大功率白光LED封装结构和封装基板[J]. 半导体技术, 2013, 38(2): 141-147.
- 6 Luo Yuan, Wei Tiwei, Wang Xinglong. Analysis on thermal characteristics of high power LED based on flip-chip[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2012, 33(3): 321-324.
罗元, 魏体伟, 王兴龙. 基于倒装焊芯片的功率型LED热特性分析[J]. 半导体光电, 2012, 33(3): 321-324.
- 7 Tang Lei, Nie Haiping, Wang Peichuan, *et al.*. Dy³⁺-doped LiYF₄ crystals for UV-excited white light-emitting diodes[J]. Chin Opt Lett, 2013, 11(6): 061603.
- 8 Shen Changyu, Yang Yi, Jin Shongzhong, *et al.*. White light emitting diodes using blue and yellow-orange-emitting phosphors[J]. Optik, 2010, 121(16): 1487-1491.
- 9 Wu Yanyan, Feng Shiwei, Zhou Zhou, *et al.*. Failure mechanism of phosphor layer for high-power GaN-based white-LED[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(10): 102302.
吴艳艳, 冯士维, 周舟, 等. 大功率GaN基白光LED荧光层失效机理研究[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(10): 102302.
- 10 Yang Juan, Cheng Jiahui, Ren Dongyan. The research development of UV curing coating[J]. Guangdong Chemical Industry, 2011, 39(24): 7-8,16.
杨娟, 成佳辉, 任冬燕. UV固化涂料研究进展[J]. 广东化工, 2011, 39(24): 7-8,16.
- 11 Harkal U D, Muehlberg A J, Webster D C. UV curable glycidyl carbamate based resins[J]. Progress in Organic Coatings, 2012, 73(1): 19-25.
- 12 Wu Yiping, Jin Shangzhong, Zhang Shuqin, *et al.*. Influence of Ultraviolet curing of phosphor layer on the optical properties of LED[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2013, 50(2): 022301.

- 吴逸萍, 金尚忠, 张淑琴, 等. 紫外固化荧光粉层对 LED 光学性能的影响[J]. 激光与光电子学进展, 2013, 50(2): 022301.
- 13 Zhou Jianwen, Zhao Xiaohong, Zhou Yuguo. Packing Material for LED with UV-Curing[P]. China: CN 101692473 A, 2010.
- 周建文, 赵小宏, 周玉国. 光固化发光二极管封装料[P]. 中国: CN 101692473 A, 2010.
- 14 Yu Junsheng, Zhou Jianlin, Xing Guoxiu, *et al.*. Preparation of One Kind of LED[P]. China: CN 101916811 A, 2010.
- 于军胜, 周建林, 邢国秀, 等. 一种发光二极管及其制备方法[P]. 中国: CN 101916811 A, 2010.
- 15 Seungcheol Yang, Seung-Yeon Kwak, Jungho Jin, *et al.*. Thermally resistant UV-curable epoxy - siloxane hybrid materials for light emitting diode (LED) encapsulation[J]. J Mater Chem, 2012, 22(18): 8874-8880.
- 16 Cui Desheng, Guo Weiling, Cui Bifeng, *et al.*. Preparation and temperature-variation properties of high color rendering index LED[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(1): 0123005.
- 崔德胜, 郭伟玲, 崔碧峰, 等. 高显色白光 LED 的制备及其变温特性[J]. 光学学报, 2012, 32(1): 0123005.