

doi: 10.3788/gzxb20124106.0664

感光性树脂应用于发光二极管平面自适应封装技术

丁坤, 饶海波, 宋继荣

(电子科技大学 光电学院, 成都 610054)

摘 要:采用感光性树脂+荧光粉进行了发光二极管平面自适应涂覆技术, 实现了白光发光二极管荧光粉涂层的平面化工艺, 使器件出光的亮度、空间色度均匀性较之传统封装工艺器件有了明显的改善, 光斑及单管间色度、亮度偏差均小于 6%。综合聚乙烯醇的感光 and 硅胶的物化、光学性能, 在粉浆法工艺中采用乳化技术, 实现了聚乙烯醇+硅树脂的多相结构的荧光粉平面涂层, 有助于进一步改善荧光粉层的物化性能, 而多相涂层有效折射率的提高更有利于提高器件的整体出光效率。由于感光性树脂其感光波长覆盖范围非常广, 另外还可以通过光增感等技术使其感光波长范围变得其与发光二极管的发光波长相匹配, 这样, 对于各种荧光粉转化的白光发光二极管都可以实现平面涂层技术。由于大部分感光材料对紫外部分的吸收更强烈, 所以对于紫外十三基色荧光粉的传统灌封技术将会得到明显的改善。

关键词:白光发光二极管; 平面自适应涂层; 聚乙烯醇; 感光性树脂

中图分类号: O472+.3

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2012)06-0664-4

0 引言

基于白光发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 的第三代绿色节能新光源是现代照明发展的必然趋势, 其经济和社会意义巨大^[1]。

现有的基于 LED 芯片的白光 LED 照明技术, 以蓝色 LED 芯片配合黄色荧光粉的荧光粉转换型 LED (Phosphor-Converted LED, PCLED) 方式最简单易行^[2], 其相关研究和开发应用也最广泛。特别是随着近年来蓝色 LED 芯片效率的迅速提升, 这种 PCLED 的固态照明技术的应用进程得到明显加速, 已形成在短期内取代荧光灯成为商用、家用照明主流的趋势^[3-4]。而 PCLED 白光实现的一个技术关键就是荧光粉的涂敷工艺, 荧光粉涂层的厚度可控性和均匀性直接影响 LED 出光的亮度、色度一致性甚至白光出射的效率^[5]。当前国内 PCLED 产业普遍采用的传统灌封工艺已经难以满足作为照明光源级应用的功率型白光 LED 技术和性能增长的要求^[6]。

传统的灌封工艺, 直接在芯片表面点涂荧光粉胶, 即将荧光粉颗粒与胶体 (如硅胶或环氧树脂等) 按一定配比混合, 制成粉浆, 搅拌均匀, 然后用针头类工具将其涂敷于芯片表面, 理想情况下形成类似

球冠状的涂层^[7]。但这种方法及涂层存在明显的结构缺陷, 这种荧光粉涂层, 除中心到边缘的结构非均匀外, 在实际操作中, 无论手动或机器实现, 同一批次的 LED 管之间, 荧光粉层在形状上都会有一定的差异, 很难控制均匀性和一致性, 势必带来器件之间较大的色度差异^[8]; 同时, 由于涂层胶滴实际微观表面的凹凸不平, 当光线出射时, 就会形成白光光束颜色的不均匀, 导致局部偏黄或偏蓝的不均匀性光斑出现^[9]。

要克服上述缺陷, 改善白光 LED 的光斑空间分布均匀性以及管间色度、亮度的均匀一致性, 从而在产品性能和批量生产能力上有所提高, 就必须改变现有的荧光粉涂层形状和工艺, 使芯片出光面方向的荧光粉层厚度均匀适当, 这样才能得到均匀一致的出射白光, 即要求荧光粉涂层的浓度、厚度和形状的可控性, 荧光粉层的平面结构应该是一种有效的解决途径。

Lumileds 公司 (Philips) 在 2004 年的专利 (US Patent 6756186B2) 首先提出了平面涂层 (conformal coating, 或称保形涂层) 的概念, 相关概念已经成为了当前高效白光 LED 封装技术的一个重要发展方向。2009 年底以来, 国际上先进的白光 LED 生产厂

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (No. 2006AA03A116)、四川省应用基础研究 (No. 2008JY0051) 和广东省科技厅 (No. 2011B090400083) 资助

第一作者: 丁坤 (1987-), 男, 硕士, 主要研究方向为 LED 封装及应用. Email: dingkun001@163.com

通讯作者: 饶海波 (1968-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为光电子器件及其相关材料的开发. Email: rhh@uestc.edu.cn

收稿日期: 2011-08-24; **修回日期:** 2012-03-05

家(Cree、Philips、Osram)已经有平面涂层结构的产品上市,说明国外先进厂家已经完成了各自的平面涂层技术的研发并在部分产品上得到成功运用.但国内尚未见相关产品的报道,相关产业技术的缺乏已经成为制约国内企业产品技术和性能升级的瓶颈,具有自主知识产权的平面涂层产业化技术是国内白光 LED 封装行业亟待解决的共性关键技术,相关技术和产品的研发工作现实意义重大而紧迫.

1 基本原理

20 世纪 40 年代感光材料引起人们的注意,21 世纪以来,其应用研究已趋于完善^[10],应用领域已遍及照相、电影、遥感、医疗、印刷制版等各个领域.本文研究了其在高新技术 LED 平面涂层中的重要应用^[11].

自曝光工艺基本原理如图 1:先将荧光粉粉末分散在感光材料(如 PVA、重氮树脂(Diazo)、叠氮树脂等)中,形成含有感光胶的荧光粉粉浆(胶体),然后取适量胶体涂覆在芯片出光面上,使荧光粉粉浆在芯片表面均匀分布,适当干燥后,通过自曝光、热水(或者有机溶剂、酸、碱等)显影步骤,在芯片表面形成所需要的荧光粉感光胶分散体(多相)结构的粉层图案,然后,采用干法去胶工艺去除涂层中的感光胶成份,从而在芯片出光面上实现对芯片光强分布具有自适应特点的(单相)荧光粉涂层,结合后续光学硅胶灌封工艺,最后获得具有荧光粉硅胶分散体成份的荧光粉平面涂层封装效果,以实现光学热学性能最优化的白光 LED 器件.

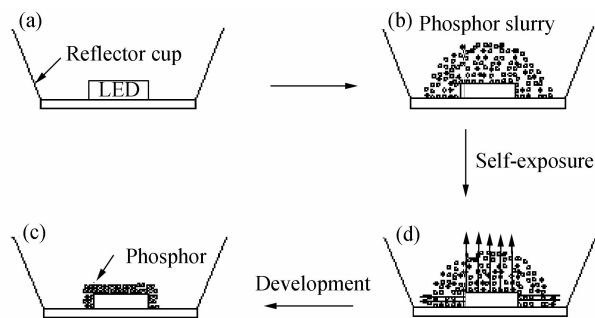


图 1 自曝光工艺原理

Fig. 1 Schematic diagram of the slurry coating process

LED 芯片+硅胶+荧光粉系列技术具有许多缺陷:一是生产效率不高,不能适应现代工业上的批量化生产;二是粉层形状不规则,外形呈拱圆形,直接导致了单颗白光 LED 出光在空间的分布不均匀,人眼在白光范围内是很灵敏的,能分辨的空间色温差异阈值是 50~100 K,分辨出色度坐标为 0.01 的差别;三是器件间的一致性得不到保证,同一批产品可能会有很大的差异.这些原因制约了白光 LED 整

体性能的提高.而采用感光胶曝光技术,其粉层结构和形状得到控制,厚度的均匀性得到一致性保障.其封装的 LED 光斑均匀性比硅胶荧光粉系列的光斑具有明显的均匀,并且应用感光胶+荧光粉系列可以根据芯片自身发光特点进行自适应效果,具体来讲,由于芯片自身生长过程中可能会产生缺陷而使得某一小部分发光较弱或较强,从而产生光斑不均匀,当感光粉浆涂覆到芯片表面,在曝光过程中其发光较弱或较强的区域上面的荧光粉层也会相应的变薄或者变厚,从而达到最终出射光斑的均匀可控,实现其自适应效果.

2 实验与分析

实验采用 GaN 基蓝光 LED 外延片所封装的半成品,发射波长为 460~465 nm;感光胶采用应用广泛的聚乙烯醇(PVA)+重铬酸铵(ADC)系列;荧光粉选用与芯片波长匹配的弘大 432 粉,其发射波长为 569 nm.

将预先配置好的 PVA 与 ADC 按一定配比混合均匀,然后加入一定量的荧光粉,搅拌均匀,使之形成混合均匀的感光胶粉浆体系;用点胶针头蘸取一定量粉浆点在 LED 上,烘干,曝光完以后用水将芯片周围的粉浆洗涤干净,干燥即可.实验结果如图 2,其中,上面两个及左下面的图形为采用本方法的实验图案,右下面为市场产品的图案.

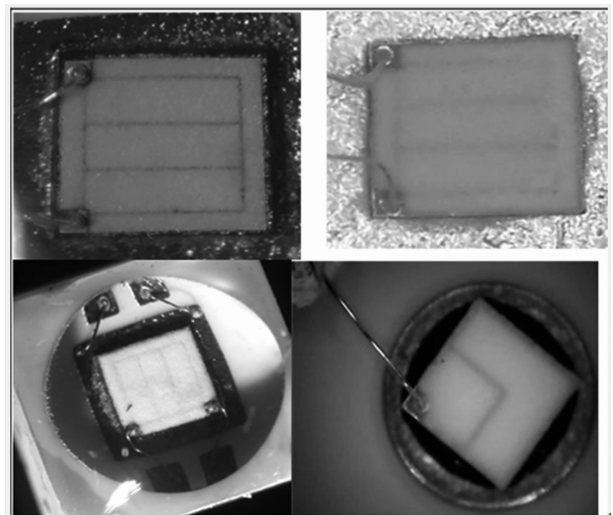


图 2 试验照片

Fig. 2 Experimental photos

采用粉浆法工艺的荧光粉平面涂层结构,可见规则、均匀的荧光粉层平面图案.它还可以根据芯片本身的发光性能对芯片进行自适应涂覆.具体而言,就是在芯片发光强度高的区域其荧光粉粉层较厚,反之,则较薄,相应的就可以很清晰地看见电极的分布结构.

性能测试表明,采用粉浆法平面涂层工艺的白光 LED 器件亮度达到了硅胶传统灌封工艺器件的水平,但亮度、色度均匀性有显著的提高,充分显示出平面涂层工艺的优势.图 3 是三个平面涂层封装样品光斑的九点法测试结果,测试条件:LED 到屏垂直距离 30 cm,屏上九个取样点构成 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 的正方形分布.测试结果表明:光斑 9 点色度差 $\leq 3\%$,管间色度差范围($0.33 \pm 6\%$, $0.33 \pm 6\%$),亮度差 $\leq 6\%$.

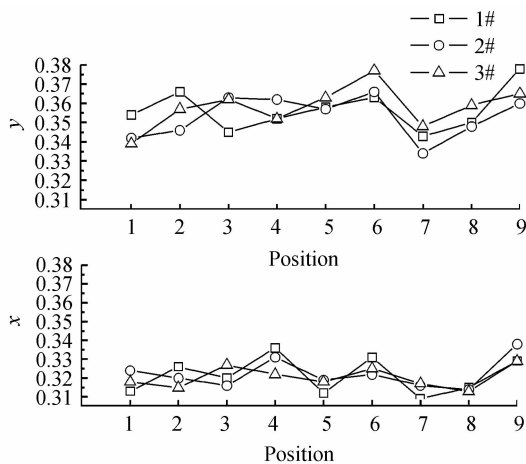


图 3 平面涂层 LED 光斑九点色度分布图

Fig. 3 The schematic diagram of LED conformal coating's facula

图 4 是粉浆法工艺封装芯片的发光色度与曝光时间的关系曲线图,由图可见,通过控制曝光时间能够很好地控制芯片表面荧光粉涂层的厚度(即荧光粉总量),进而实现不同色温(CCT)的发光输出,是粉浆法工艺白光 LED 器件性能的可控一致性的直接证明.

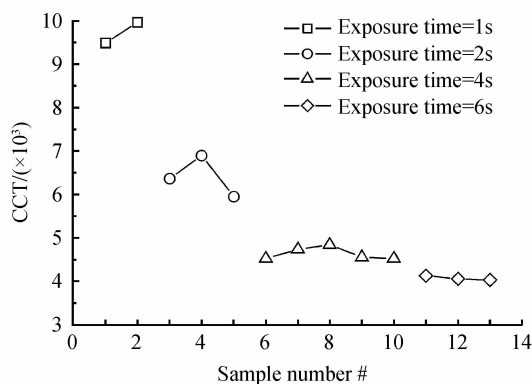


图 4 样品发光色温与曝光时间的关系曲线

Fig. 4 The relationship between CCT and exposure time

3 结论

采用感光性树脂+荧光粉进行 LED 平面自适应涂覆,实现了白光 LED 荧光粉涂层的平面化工艺,使得器件出光的亮度、空间色度均匀性较之传统封装工艺器件有了明显的改善,光斑及单管间色度、

亮度偏差均小于 6%。通过采用对蓝光(460 nm 左右)敏感的感光剂(ADC 或 Diaza),直接利用蓝色 LED 芯片自发光促使感光区 PVA 的交联反应,从而实现了感光过程的自曝光工艺.综合 PVA 的感光和硅胶的物化、光学性能,在粉浆法工艺中采用乳化技术,实现了 PVA+Silicone 的多相结构的荧光粉平面涂层,有助于进一步改善荧光粉层的物化性能,而多相涂层有效折射率的提高更有利于器件出光效.由于感光性树脂其感光波长覆盖范围非常广,另外还可以通过光增感等技术使其感光波长范围变得其与 LED 的发光波长相匹配,这样,对于各种荧光粉转化(PCLED)的白光 LED 都可以实现平面涂层技术.由于大部分感光材料对紫外部分的吸收更强烈,所以对于紫外+三基色荧光粉的传统封装技术将会得到明显的改善.

荧光粉平面涂层工艺作为白光 LED 封装工艺的升级换代技术,是目前国外 LED 先进生产厂家(Cree、Philips(即 Luminleds)、Osram)正在积极推广采用的主流封装技术方向,平面涂层自适应技术能够彻底克服现有 LED 主流灌封工艺在粉层结构和形状上的弊端,尤其能改善光斑的均匀性,实现涂层形状、厚度及均匀性的可控一致性,实验已经证明,新工艺白光 LED 器件的光斑及管间色度、亮度均匀性较之传统工艺器件有明显的改善.同时由于平面工艺的集成化优势,该技术在批量化生产方面应用前景巨大.

参考文献

- [1] TSUNEMASA T. The light for the 21st century national project based on white light emitting diode (LED) lighting technology[J]. *IEICE Transactions of Electronics (Japanese Edition)*, 2001, **J84-C(11)**: 1040.
- [2] CRAFT M G. LEDs for solid state lighting and other emerging applications: status, trends, and challenges [C]. *Proceedings of SPIE-Fifth International Conference on Solid State Lighting*, 2005, **5941**: 594101-1.
- [3] LI Jun-fei, RAO Hai-bo, BIN Hou. Investigation on improving the extraction efficiency of power white LEDs with slurry method[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2009, **30(1)**: 19-24.
- [4] BIN Hou, RAO Hai-bo, LI Jun-fei. Methods of increasing luminous efficiency of phosphor-converted LED realized by conformal phosphor coating [J]. *Journal of Display Technology*, 2009, **5(2)**: 57-60.
- [5] 史光国. 半导体发光二极管及固体照明[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [6] NAKAMURA S, MUKAI T, SENCH M. Introduction to solid-state lighting[M]. 1994, **64(13)**: 1689.
- [7] 余心梅. 功率型白光 LED 荧光粉平面涂层技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [8] CHUA J B Y, AHMAD A, SUMMERS C J, *et al.* Phosphor deposition methods[J]. US; US6924233 B1. No. 2 Aug. 2005.
- [9] YUM J H, KIM S S, SUNG Y E, *et al.* $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12} : \text{Ce}_{0.05}$ phospho coating on a flexible substrate for use in white light-

emitting diodes[J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, **251**(2004): 203-207.

[10] 永松元太郎,乾英夫. 感光性高分子[M]. 北京:科学出版社,

1984.

[11] 周敏. 水性感光胶的理论探索与发展[C]. 上海市纺织工程学会,上海印染学术年会论文、资料集, 1994:171-184.

Photosensitive Polymers Used in LEDs Planar Phosphor Coating

DING Kun, RAO Hai-bo, SONG Ji-rong

(School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Adopting the photosensitive polymers + phosphor for LED conformal coating to realize the white LED phosphor coating planarization process, this technology enables the device to give off bright light and more self color space than the traditional packaging process, and spot color between single tube and the deviation of brightness is less than 6%. Integrating photosensitive of PVA and physical chemistry performance of silicone and adopting emulsion technology in slip method process, the phosphor surface coating of PVA and silicone is realized, which is help to improve phosphor layer's physicochemical properties. The improvement of effective refractive index of multiple phase coating is more helpful to improve the whole luminous efficiency of device. Because the range of photopolymer's sensitive wavelength is very wide, besides the technology of adding to photosensitive, so that its photosensitive wavelength range is match to LEDs emitting wavelength, so white LED conversed by variety of phosphor can achieve planar coating technique. Because the majority of photopolymers are easy to absorb UV light, the traditional casting technology of UV+ three-color phosphor will be greatly improved.

Key words: White LEDs; Self-adaptive conformal coating; PVA; Photosensitive polymers