

功率型白光 LEDs 平面涂层技术的优化研究

何远 饶海波 俱剑君 胡玥 申发华 高寒松 万远涛

(电子科技大学光电信息学院, 四川 成都 610054)

摘要 功率型白光 LEDs 平面涂层工艺是指通过采用聚乙烯醇+重铬酸铵(PVA+ADC)的水溶胶混合黄色荧光粉涂敷在芯片表面,然后曝光显影在芯片表面得到平面的粉层结构。通过对工艺进行优化(包括对工艺步骤的稳定,曝光时间的选择等)以及对环境因素进行了分析限定(包括暗室的对比实验及温度的控制),最终成功地提高了白光 LED 出光效率,其中单颗最大光效已达到 100 lm/W 以上,并使得工艺在芯片色温 5000 K,光效 90 lm/W 等方面具备了稳定性。

关键词 白光发光二极管;粉浆法;平面涂层工艺;光效

中图分类号 TN312.8⁺

OCIS 230.3670 220.2945

文献标识码 A

Optimized Research on Conformal-Coating Technology of Power White LEDs

He Yuan Rao Haibo Ju Jianjun Hu Yue Shen Fahua Gao Hansong Wan Yuantao

(School of Opto-Electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China,

Chengdu, Sichuan 610054, China)

Abstract Conformal-coating technology of power white LEDs uses PVA+ADC water-solution compounding yellow phosphor to coat on the surface of the die, then gets planar structure of the phosphor though exposure and developing. The luminous efficacy of the white LEDs is finally increased (higher than 100 lm/W for one die) though optimizing the technology including the stabilization of processing step and exposure time, confining the every element including comparison experiment of darkroom and the control of temperature. It is stabilized in color temperature of 5000 K and luminous efficacy of 90 lm/W.

Key words white LEDs; slurry method; conformal-coating technology; luminous efficacy

1 引言

近几年,大功率白光 LED 技术日益成熟,由于其高亮度、低能耗、长寿命等众多优点,将推动着新一代照明系统时代的来临。随着 LED 照明的普及,LED 产业还有巨大的提升空间。实现白光 LED 有很多方法,在产业生产上最常用的白光 LED 实现方法是在发射波长为 460~470 nm 的蓝色 InGaN-LED 芯片上涂敷黄色荧光粉,黄色荧光粉通常选用的是掺铈的钇铝石榴石(YAG:Ce³⁺),黄色荧光粉部分吸收 LED 发射的蓝光并产生与蓝光互补的波长约 570 nm 的黄光,通过控制黄色荧光粉粉层的厚度,利用空间混色原理将互补的黄光和蓝光混合以得到白光。这种组合的制作简易,成本低而效率高^[1],故被广泛应用。为了将黄色荧光粉涂敷在芯片表面,常用的方法有粉浆法^[2~4],沉淀法^[2~4],电泳沉积法^[2~4]。通过借鉴国外 CRT 涂屏工艺的先进理念^[2],本课题组已经开发了一种荧光粉平面涂层技术^[5~7],用由有机胶体(聚乙烯醇,PVA)、感光剂(重铬酸铵,ADC)、去离子水、助剂(分散剂等)和荧光粉(YAG:Ce³⁺)组成的水溶性感光胶的悬浮液(即粉浆)涂敷在蓝光 LED 芯片上,干燥后,利用蓝光 LED 芯片发光,有机胶体和感光剂发生光化学反应,使胶体

收稿日期: 2009-09-18; **收到修改稿日期:** 2009-09-30

基金项目: 国家 863 计划(2006AA03A116)和四川省应用基础研究(2008JY0051)资助课题。

作者简介: 何远(1985-),男,硕士研究生,主要从事固体照明方面的研究。E-mail: oddkiller@sina.com

导师简介: 饶海波(1968-),男,教授,博士生导师,主要从事光电材料和固体照明等方面的研究。

E-mail: rhh@uestc.edu.cn

和感光剂交联,生成不溶水的聚合物^[8],然后在显影液中显影,具有水溶性的有机胶体和感光剂溶解于显影液中,留下所需的荧光粉层图案。这种工艺当时只是证明其可行性,但是发光效率并不高,色温工艺的稳定性等方面暂时也没考虑。本文通过对工艺的优化,限制很多不定因素,希望能提高白光 LED 最大发光效率。

2 实 验

2.1 粉浆的配置

1) 成膜剂聚乙烯醇的配置:选用 PVA-124,其聚合度为 2400,醇解度为 98%。先准确称取 PVA 2.778 g 浸泡入 25 mL 去离子水中 24 h(质量分数为 10%的 PVA),让其充分溶胀,然后整体放入 90 °C 水浴中搅拌 25 min,继而在 90 °C 水浴中静置 90 min,中途蒸发的水分要随时补充,冷却后质量分数为 10%的 PVA 溶液配置完成。要保证最终配成的溶液澄清,无可见透明颗粒以及气泡。

2) 配置光敏剂重铬酸铵,将 50 mg ADC 加入 50 mL 水中充分搅拌,溶液避免长时间暴露在有光处。

3) 取所配置好的 PVA 溶液 0.2 mL 和 ADC 溶液 0.2 mL 混合 0.6 mL 去离子水充分搅拌,使整个感光体系均匀。

4) 称取黄色荧光粉 180 mg 加入 PVA+ADC 的混合液中,搅拌均匀,最终形成含有荧光粉的感光胶悬浮液。

5) 将配置好的粉浆放入暗室静置至搅拌所产生的气泡消失。

2.2 粉浆的涂敷

1) 将待涂敷的芯片进行 60 °C 前烘大概 10 min,除去湿气。

2) 用针头沾取均匀的粉浆,涂敷在芯片表面。量要合适,并要完全覆盖芯片,但不要多次涂敷,否则沉淀到芯片表面的荧光粉密度过大,产生的光会偏黄。

3) 将涂敷好的芯片放入暗室进行风干,风干时间要控制合适,并且最好不要使芯片离风源太近,避免风干后的粉层起皱。

2.3 曝光、显影及后固化

曝光方式采取 LED 芯片自曝光^[5,6],控制曝光时的电流和曝光时间,然后在适当水温下显影,得到粉层。这是该工艺中最关键的一步,将直接影响到 LED 器件的白光质量、出光效率以及使用寿命,所以在操作中应注意以下几点:1)流过 LED 的电流和曝光时间的控制,两者成反比关系,适当的电流,曝光适当的时间,才能得到理想厚度的粉层,如果曝光过度,得到的荧光粉层太厚,从 LED 芯片上发出的蓝光大部分转变为黄光,使出射光偏黄,并且显影困难,对粉层形状的均匀性得不到控制,如果曝光时间过短,情况正好相反;2)显影液的水温和显影时间的控制,两者成反比关系,由于感光体系是水溶性的,显影液高温时,溶解度较高,溶解速度较快,在得到理想厚度的情况下,显影时间应相应缩短;在低温时,情况正好相反。目前采用 10 mA 电流曝光 2 s,显影水温控制在 80 °C,在 1 min 内能得到芯片粉层形状。

最后对显影并且干燥后的芯片进行紫外后固化,使整个粉层外表面的 PVA 完全交联,增加粉层对芯片表面的附着。

3 环境因素

由于半导体工艺中,环境因素等细节对实验结果的影响比较大,所以对整个实验的环境因素进行了限定。实验在全暗室条件下进行,照明用波长大于 500 nm 的黄光,室温稳定于 24 °C。全暗室的目的是为了避开实验过程中粉浆完全曝光在日光中,日光中的蓝光成分会使得 PVA+ADC 感光胶体提前发生交联,造成显影时芯片周围不容易洗净。如图 1 所示,暗室条件下与非暗室条件下显影后的芯片对比,可以很明显地看出在暗室条件下完成实验的芯片未曝光的部分非常干净,而非暗室条件下完成实验的芯片非曝光区域有很多残留,无法洗净,而这些残留的荧光粉会影响基底对白光的反射。

温度恒定在 24 °C 是因为过低温度对实验不利。在 20 °C 以下实验,其他参数均不改变的情况下,显影有时会造成脱落现象,使得芯片图案有缺口,甚至无法显出图案。分析可知,造成这种情况的原因是由于温度

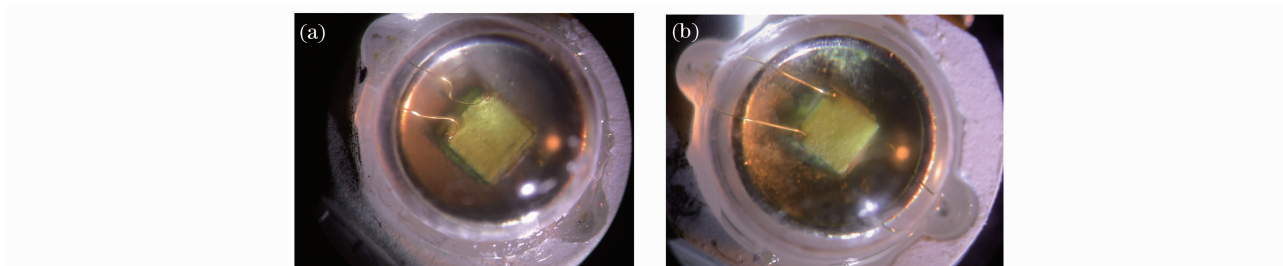


图1 暗室条件下(a)与非暗室条件下(b)显影后的芯片对比

Fig.1 Comparison of the dies developed in darkroom (a) and not in darkroom (b)

过低使得在固定的风干时间内涂敷在芯片表面的粉浆不能完全干燥,曝光显影过程中水分过多,芯片部分的粉层附着力不足,导致脱落。

4 曝光时间的影响

分别在 10 mA 曝光电流的条件下实验,曝光时间为 1,2 和 3 s,所做对比实验的数据如表 1 所示。其中 ϕ 为光通量, V_F 为正向电压, CCT 为色温, X, Y 指色坐标。

表 1 不同曝光时间的芯片对比实验数据

Table 1 Test data of the dies with different exposure time

No.	ϕ /lm	V_F /V	CCT /K	X	Y	Exposure time /s
1	69.08	3.1800	7660	0.3015	0.2985	1
2	85.91	3.2400	7345	0.3045	0.3025	
3	78.39	3.1800	8025	0.2726	0.2448	
1	97.52	3.1300	4950	0.3495	0.3826	2
2	92.14	3.1900	5530	0.3319	0.3511	
3	95.35	3.0900	5037	0.3646	0.4077	
1	67.90	3.1600	3676	0.4432	0.5266	3
2	51.51	3.2200	3768	0.4237	0.4855	
3	62.96	3.1000	3606	0.4344	0.4872	

Test current: 350 mA

可以看出,由于曝光时间影响荧光粉层的厚度,进而影响封装后芯片的色温及光效,所以曝光时间为 1 s 的芯片,粉层厚度偏薄,出射光色温偏高,蓝光成分过多导致对出光效率有所影响。而曝光时间为 3 s 的芯片,粉层厚度偏厚,出射光色温偏低,过厚的粉层导致损耗增多。只有曝光时间为 2 s 的芯片,效率明显高于曝光时间为 1 s 和 3 s 的芯片,如图 2 所示,并且色温合适,为优化工艺所确定的曝光时间。

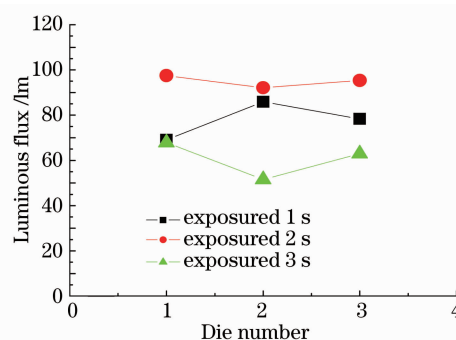


图 2 不同曝光时间的芯片光通量对比图

Fig.2 Diagram of dies with different exposure time

5 稳定性实验数据及结果分析

通过对实验环境的限定,对工艺的具体步骤优化以后,完成的芯片得到的数据如表 2 所示,其中 I_R 为反向电流, $2\theta_{1/2}$ 为指出光角度。

表 2 芯片测试数据

Table 2 Test data of the dies

No.	ϕ /lm	V_F /V	I_R / μ A	CCT /K	X	Y	$2\theta_{1/2}$
1	93.74	3.3000	0.2926	5598	0.3299	0.3748	97.0
2	106.97	3.3300	0.1912	5623	0.3313	0.3890	98.0
3	108.19	3.2000	0.3012	5064	0.3725	0.4481	105.0
4	99.25	3.1900	0.3278	5663	0.3291	0.3864	100.5
5	110.94	3.2100	0.3414	5522	0.3373	0.3981	101.4
6	107.54	3.2100	0.4289	5233	0.3579	0.4277	96.3
7	95.68	3.2200	0.2646	5537	0.3359	0.3938	103.2
8	93.97	3.2000	0.3748	6309	0.3010	0.3401	105.9
9	114.14	3.4000	0.3404	5592	0.3302	0.3526	106.0
10	118.27	3.2400	0.2037	5173	0.3496	0.3807	108.0

Test current: 350 mA

所用芯片为 Cree 公司的 EZ900, 测试仪器包括小积分球(型号为 YF1000 光色电综合分析系统及 PMS-50 增强性紫外可见-近红外光谱分析系统), V120 角度测试仪(型号为高速视角测试仪器 V120LED)。从这一批所完成芯片(10 片)可以看出优化以后的工艺在芯片的色温, 色坐标以及光通量方面已经具备稳定性, 如图 3 所示。并且在色温稳定的情况下, 光通量稳定很高, 平均值为 104.869 lm。而色温的稳定来源于对曝光时间的控制, 从而控制粉层厚度, 进而控制色温。对其中亮度最高的 2, 3, 5, 6, 9, 10 号芯片进一步分段测试, 结果如表 3~5 所示, 其中 E 为光效。

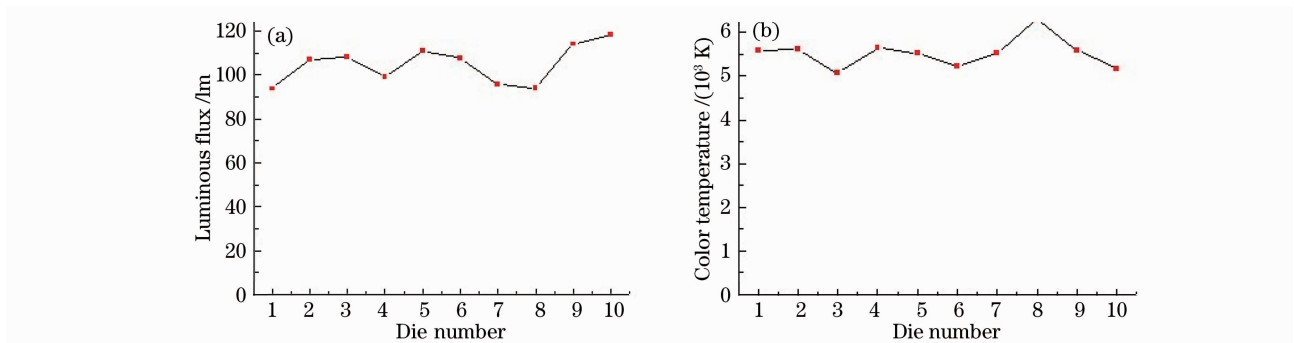


图 3 芯片光通量(a)和色温图(b)

Fig. 3 Diagram of luminous flux (a) and color temperature (b)

表 3 350 mA 电流下的测试数据

Table 3 Test data in 350 mA current

No.	E /(lm/W)	ϕ /lm	CCT /K	X	Y	V_F /V	I_R / μ A	$2\theta_{1/2}$
2	92.241	107.62	5629	0.3290	0.3863	3.3335	0.2260	88.5
3	91.002	108.27	4836	0.3729	0.4559	3.3993	0.2147	97.2
5	98.120	110.41	5479	0.3352	0.4307	3.2150	0.2162	89.4
6	94.618	106.88	5089	0.3558	0.3965	3.2274	0.1984	88.8
9	95.916	114.14	5593	0.3304	0.3526	3.4012	0.3400	93.5
10	104.294	118.27	5175	0.3493	0.3805	3.2397	0.2021	95.1

表 4 340 mA 电流下的测试数据

Table 4 Test data in 340 mA current

No.	E /(lm/W)	ϕ /lm	CCT /K	X	Y	V_F /V	I_R / μ A	$2\theta_{1/2}$
2	96.470	104.95	5698	0.3244	0.3828	3.1997	0.2470	81.9
3	93.243	105.57	4783	0.3725	0.4570	3.3300	0.2903	88.8
5	94.896	107.77	5408	0.3358	0.3884	3.3402	0.1914	89.7
6	94.094	105.98	5645	0.3264	0.3982	3.3127	0.2931	85.8
9	97.229	112.06	5602	0.3307	0.3522	3.3898	0.2879	90.2
10	105.069	115.23	5156	0.3489	0.3811	3.2256	0.2107	91.5

表 5 330 mA 电流下的测试数据
Table 5 Test data in 330 mA current

No.	$E / (\text{lm/W})$	ϕ / lm	CCT /K	X	Y	V_F / V	$I_R / \mu\text{A}$	$2\theta_{1/2}$
2	94.832	104.27	5620	0.3219	0.3859	3.3319	0.1451	78.3
3	95.394	104.58	4809	0.3641	0.4552	3.3221	0.1030	89.7
5	100.68	106.17	5494	0.3267	0.3934	3.1955	0.2385	84.0
6	95.416	101.49	4865	0.3584	0.4382	3.2232	0.1126	85.8
9	100.728	111.78	5598	0.3295	0.3627	3.3628	0.2204	89.9
10	108.315	115.02	5202	0.3396	0.3902	3.2179	0.1831	90.3

可以看出,10号芯片的光效已达到 100 lm/W 以上,其他芯片也能稳定达到 90 lm/W 以上,说明我们的工艺在光效方面已经具备成熟性。

6 结 论

通过对粉浆法的优化,对实验环境的限定,提出的大功率白光 LED 的平面涂层工艺已经具备稳定性和成熟性,能使白光光效达到 100 lm/W 以上,并且能通过曝光时间实现合适的色温,证明了平面涂层工艺在大功率白光 LED 的批量生产上的可行性。

参 考 文 献

- 1 Tsunemasa Taguchi. Present status and future prospect of system and design in white LED lighting technologies [C]. *SPIE*, 2004, **5530**: 21~26
- 2 Keith Y. Sasaki, B. Talbot. Deposition of powder phosphors for information displays [J]. *Advanced Materials*, 1999, **11**: 91~105
- 3 Jun-Ho Yum, Soo-Yeon Seo, Seonghoon Lee. Comparison of $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}_{0.05}$ phosphor coating methods for white light emitting diode on gallium nitride[C]. *SPIE*, 2001, **4445**: 60~69
- 4 Jun-Ho Yum, Soo-Yeon Seo, Seonghoon Lee. $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}_{0.05}$ phosphor coatings on gallium nitride for white light emitting diodes[J]. *J. Electrochemical Society*, 2003, **150**(2): H47~H52
- 5 Li Junfei, Rao Haibo, Hou Bin. Research on the conform-coating technology of power white LEDs [J]. *J. Semiconductors*, 2008, **29**(5): 320~323
李君飞,饶海波,侯斌. 功率型白光 LED 平面涂层工艺的研究[J]. *半导体学报*, 2008, **29**(5): 320~323
- 6 Bin Hou, Haibo Rao, Junfei Li. Phosphor coating technique with slurry method in application of white LED[C]. *SPIE*, 2007, **6841**(6): 61~68
- 7 Yu Xinmei, Rao Haibo, Hu Yue. A phosphor coating process for white LEDs application[J]. *Packaging and Assembly*, 2007, 864~870
余心梅,饶海波,胡玥. 一种在 LED 芯片表面制备荧光粉层的新方法[J]. *封装与集成*, 2007, 864~870
- 8 Zhai Xiaoxiao, Chu Zhanxing, Wang Liyuan. Research development on water-soluble photoresist[J]. *Photographic Science and Photochemistry*, 2007, **25**(1): 69~78
翟晓晓,褚战星,王力元. 水溶性光致抗蚀剂研究进展[J]. *感光科学与光化学*, 2007, **25**(1): 69~78