

文章编号:1007-2780(2018)11-0931-05

COB 封装全光谱 LED 光源及其光电特性

李炳乾^{1*}, 罗明浩², 俞理云², 夏正浩², 陈叶青¹, 陈 岩¹

(1. 五邑大学 应用物理与材料学院, 广东 江门 529020;

2. 中山市光圣半导体科技有限责任公司, 广东 中山 528421)

摘要: 为了提高光源的显色指数, 设计、制作一种 COB 封装的全光谱 LED 光源, 通过在设计中增加峰值波长 415 nm 的紫光 LED 芯片和发光峰值波长 497 nm、655 nm 的荧光粉, 弥补了普通 LED 光源在紫光、蓝绿光和红光等光谱区间的能量分布不足。实验结果表明, 发光效率达到 103.34 lm/W, 全光谱 LED 光源显色指数高达 99.38, 接近日光 100 的显色指数, 能够满足高质量照明领域对光源显色性的要求。

关键词: COB 封装; 全光谱 LED 光源; 显色指数

中图分类号: TN312.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183311.0931

Full spectrum LED light in COB package and its characteristics

LI Bing-qian^{1*}, LUO Ming-hao², YU Li-yun², XIA Zheng-hao², CHEN Yie-qing¹, CHEN Yan¹

(1. Wuyi University, College of Applied Physics and materials, Jiangmen 529020, China;

2. Zhongshan Guangsheng Semiconductor Technology Co., Ltd., Zhongshan 528421, China)

Abstract: In order to improve the color rendering index of light source, a full spectrum LED light source of COB package is designed and manufactured, by adding the peak wavelength 415 nm of violet LED chip and luminous peak wavelength 497 nm and 655 nm phosphor, the energy distribution of common LED light source in the spectral range of violet, blue-green and red light is make up. The experimental results show that the luminous efficiency is 103.34 lm/W, the color index of the full spectrum LED is as high as 99.38, and it is close to the color index of sunlight, which can meet the requirement of high quality illumination.

Key words: COB package; full spectrum LED light source; color-rendering index

收稿日期: 2018-07-06; **修订日期:** 2018-05-13.

基金项目: 国家自然科学基金—青年基金项目(No.51602227); 广东省教育厅重点平台建设跃升计划工程中心项目(No.GCZX-A1411); 五邑大学教授启动经费(No.2015JS05)

Fund Support by National Natural Science Foundation—Youth Fund Project (No.51602227); Guangdong Province Education Department Key Platform construction Plan Engineering Center project (No. gczx-a1411), Wuyi University Professor Start-up Funds (No.2015JS05)

* 通信联系人, E-mail: 467243635@qq.com

1 引言

白光 LED 作为固态照明中的核心器件,有着高效、节能、环保等优点,已经在很多领域取代传统照明光源^[1-3]。目前,商品化的 LED 光源发光效率普遍超过 100 lm/W,在这种情况下,产业界不再一味追求发光效率,实现高质量的照明效果成为产业界追求的核心目标。全光谱照明光源指的是光谱波长覆盖所有可见光区、并有少量紫外光和红外光,光谱连续分布,光谱图中各段波长没有比例极为失调的波峰与波谷的部分。与普通 LED 光源相比,全光谱 LED 光源照明具有显色指数高、色彩还原能力强、降低光源“富蓝化”等特点,可以应用于商业照明、手术灯^[4]、博物馆照明^[5]和护眼台灯^[6]等高质量照明领域和太阳能电池的测试领域^[7-8]。

COB(Chip on Board)封装是指将 LED 芯片直接固定在基板上,芯片与线路板间通过引线键合进行电气连接的封装技术。COB 封装可以在一个很小的区域内封装几十甚至上百个芯片,实现高密度、高光通量的光输出^[9],在商业照明等领域有着广泛的应用。采用镜面铝基板的 COB LED 光源,没有传统金属线路板的绝缘层,散热能力得到大幅提高,而且镜面铝基板在整个可见光波段都具有很高的反射率,能够提高 COB 光源的流明效率,是目前高端 COB 市场的主流产品。

本文利用 COB 可以多芯片封装的特点,采用镜面铝基板,在芯片中串联接入峰值波长 415 nm 的紫光 LED 芯片,并在荧光粉中适当掺入激发峰值在 497 nm 的青色氮化物荧光粉和 655 nm 的红色氮化物荧光粉,弥补了普通 LED 光源在紫光、蓝绿光和长波红光等光谱区间的能量分布不足,设计、制作一种在可见光波段能量平滑分布,并含有少量紫外光和红外光的全光谱 LED 光源,实验结果表明,在取得发光效率超过 100 lm/W 的同时,全光谱 LED 光源显色指数高达 98.36,接近日光 100 的显色指数,能够满足高质量照明要求的应用需要^[10]。

2 实验材料和样品制作

实验蓝光芯片采用德豪润达的商品化芯片,型号为 DH1428,发光的波长 455.0~457.5 nm,芯片尺寸为 0.35 mm×0.70 mm。紫光芯片采用台湾光弘 GH2424,发光的波长 415.0~417.5 nm,芯片尺寸为 0.61 mm×0.61 mm,这个波段的紫光芯片在低于 400 nm 的紫外波段也存在着少量能量分布。理论上讲,引入紫光芯片后会对光源的近场光色均匀性带来影响,但由于 COB 发光面很小(本文发光面为直径 10 mm 的圆形),而且荧光粉颗粒对紫光起到漫反射的作用,人眼感觉不到光色的不均匀性。采用 6 颗蓝光芯片和 1 颗紫光芯片串联,然后 2 串并联的连接方式,电气连接如图 1 所示。

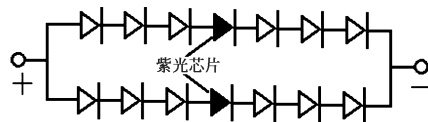


图 1 全光谱 COB LED 电气连接示意图

Fig.1 Full spectrum COB LED electrical connection schematic

芯片固晶采用信越 8491 绝缘固晶胶,将芯片粘结在基板上,在 150 °C 烘烤 2 h 固化后形成牢固粘结。芯片之间电极的连接采用直径 30 μm 金线和超声金丝球焊工艺,用白色橡胶在基板发光区围成一个圆(工艺上称为围坝),围坝高度为 0.6 mm。封装胶采用卡夫特 5581-5COB 硅胶,该型硅胶具有抗高温老化和工艺操作性强等优点。荧光粉采用博睿公司的 BN490 型硅基氮氧化物青色 LED 荧光粉、GM525 型 Ga:YAG 黄绿色 LED 荧光粉和 R655 型硅基氮氧化物红色

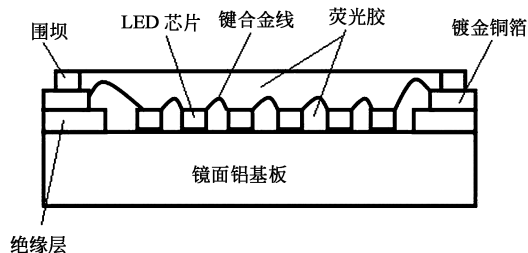


图 2 COB 封装 LED 光源结构示意图

Fig.2 COB package LED light source structure schematic

LED 荧光粉,硅胶和 3 种 LED 荧光粉按照一定的比例混合均匀作为荧光胶,使用精密点胶机将荧光胶均匀涂敷在围坝形成的胶圈里,覆盖住所有蓝光芯片和金线,控制荧光胶的涂覆量可以改变 COB 光源的色温。荧光胶在 80 ℃ 光电烘箱里初烤 1 h 后,在 150 ℃ 光电烘箱固化 2 h 后即完成了 COB 光源的样品制备过程。样品的结构示意图如图 2 所示。

3 测量方法及结果

3.1 测量方法和光电参数

COB 光源光电参数的测量采用杭州星谱 SSP3112 型 LED 光色电参数综合测试仪,该测量仪由驱动电源、直径为 0.5 m 积分球、光纤、光谱仪和处理数据的计算机等几部分组成。测试仪直接测量光能量随波长的分布,然后根据测量的光谱参数和光度学、色度学基本原理,由光谱分布计算得到光通量、光效、色品坐标、色温、显色指数、峰值波长、主波长、色纯度、光谱功率分布等 LED 光源的主要参数。测试仪的计算机除了可

以完成数据的计算处理之外,还可以控制 LED 驱动电源的电流和供电电流脉冲的宽度,实验中样品采用脉冲电流测试,电流值取 COB 光源的典型工作电流 300 mA,脉冲持续(曝光时间) 60 ms。

表 1 是测量得到的全光谱 LED 主要光电参数,从表中可以看出,样品的色温 5 081 K,位于日光标准色温 5 000~5 500 K 的范围之内,发光效率达到 103.34 lm/W,相比于同样芯片制作 80 显指(实测 $R_a=82.56$,发光效率达到 122.97 lm/W),发光效率下降了 19%,发光效率下降的原因是 415 nm 紫光芯片、490 nm 青色荧光粉、660 nm 红色荧光粉的发光峰值处,流明效率都低于高显指光源所用材料。虽然发光效率有所下降,但是高于 100 lm/W 的发光效率能够满足大部分应用领域的需求,对于要求发光效率更高的需要,通过使用更高亮度等级和更大尺寸的蓝光芯片,可以在本文基础上很容易实现。样品的显色指数高达 99.38,非常接近日光 100 的显色指数,几乎可以和日光一样真实重现各种颜色。

表 1 300 mA 时的全光谱 COB LED 光源光电参数

Tab.1 Optoelectrics characteristics of full spectrum LED lighting source at 300 mA

电压/V	光通量/lm	发光效率/(lm · W ⁻¹)	色温/K	CIE(x,y)	显色指数
22.40	694.53	103.34	5081	(0.349 3,0.356 5)	99.38

3.2 显色指数对比

表 2 给出了全光谱 COB LED 光源显色指数 R1-R14 的详细参数,同时给出了传统的 80 显指(实际 $R_a=82.56$)、70 显指(实际 $R_a=72.01$)相应的参数。从表中可以看出,本文研制的全光谱 COB LED 光源除了代表饱和蓝色的 R12 略低于 90(实测 89)之外,其他各指数都超过 95。如果需要提高 R12,在目前的技术条件下,可以通过串联接入 460~470 nm 波段的蓝光芯片或者使用 457.5~462.5 nm 的蓝光芯片作为激发光源,这

两种方法都会带来发光效率的下降,而且串联接入 460~470 nm 波段的蓝光芯片还会带来生产工艺的复杂(需要固晶 3 种芯片)。另外有一种最可行的方法就是等待发光峰值在 490 左右的青色荧光粉激发效率和稳定性进一步提高,达到产业化应用的要求。对于现在使用者最为关注的 R9 指数,全光谱 LED 为 96.1,传统 80 显指的为 7.8,70 显指的为一 19.1。为了更加直观的显示几种样品显色指数的差异,绘制了不同样品各显色指数的柱状图,如图 3 所示。

表 2 全光谱、高显指、普通 COB LED 光源显色指数详细对比

Tab.2 Color index of full spectrum LED lighting source and traditional lighting source

RX	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
全光谱	99.2	98.4	97.3	97.5	98.9	98	98.5
80 显指	80.2	86.9	91.8	77.5	80.8	82.4	86.8

续 表

RX	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
70 显指	71.5	75.6	78.8	74.6	72.4	67.9	79.8
RX	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
全光谱	98.5	96.1	95.5	95.7	89	98.6	98.5
80 显指	66.9	7.8	67.6	80.7	58.9	81.7	95.7
70 显指	60.7	-19.1	40.8	73.3	45.5	70.8	88.1

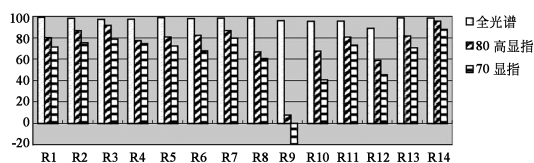


图 3 全光谱 COB LED 样品显色指数各分量与传统光源对比

Fig.3 Comparison of color index of full spectral COB LED with traditional light sources

3.3 光谱曲线及分析

图 4 绘制了全光谱(图 4 D,实线)、80 显指(图 4 B,短实线)、70(图 4 C,虚线)显指等三种 COB LED 光源的光谱曲线,通过光谱曲线的对比可以对全光谱 COB LED 光源显色指数提高的原因展开进一步分析。

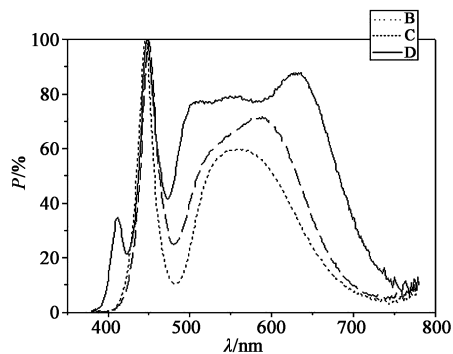


图 4 3 种 COB LED 样品光谱曲线对比

Fig.4 Comparison of spectral curves of three kinds of COB LED samples

从图中可以看出全光谱 COB LED 光源的光谱在 400,500,650 nm 等 3 个波长附近有明显加强。在 400 nm 附近光谱增加是串联接入的 415 nm 紫光芯片引起的,主要增加了显色指数中 R7(淡紫蓝色)、R8(淡红紫色)。在 500 nm 附近光谱增加是荧光粉中掺入适当比例的硅基氮氧化物青色 LED 荧光粉,该荧光粉的发射光谱峰值功率

为 497 nm,主要增加了显色指数中 R5(淡蓝绿色)、R11(饱和绿色)和 R14(树叶绿)。在 650 nm 附近光谱增加是用发射峰值 655 nm 的红色 LED 荧光粉替换了发射峰值在 630 nm 红色荧光粉,主要增加了显色指数中 R9(饱和红色)。在上述 3 种措施的共同作用下,光谱在整个可见光区更加均衡的分布,显色指数各项指标都大幅度得到提高。

文中研制的全光谱 LED 光源的光谱中,在 470 nm 附近的蓝绿仍然存在一个凹陷,严格讲与全光谱的定义存在一定差距只能称作“近全光谱”或者“拟全光谱”。在芯片中串联接入 470 nm 波段的蓝光芯片或者使用 460 nm 的蓝光芯片作为激发光源,或者等待发光峰值在 490 左右的青色荧光粉激发效率和稳定性进一步提高后,可以有效弥补这个凹陷,满足使用者对光源照明品质的更高要求。

4 结 论

结合商业照明、医学照明、博物馆照明和护眼台灯等高质量照明领域,利用 COB 光源多芯片和镜面铝高导热、高反光率的特点,设计、制作一种 COB 封装的全光谱 LED 光源,通过增加峰值波长 415 nm 的紫光 LED 芯片和发光峰值波长 497 nm 的荧光粉,使用 655 nm 的红色荧光粉,弥补了普通 LED 光源在紫光、蓝绿光和红光等光谱区间的能量分布不足,使得光源发光光谱在整个可见光区分布更加均衡。在保证发光效率超过 100 lm/W 的前提下,显色指数的各个分指标除了代表饱和蓝色的 R12 略低于 90(实测 89)之外,其他各指数都超过 95。光源显色指数高达 99.38,接近日光 100 的显色指数,能够满足高质量照明要求的应用需要。

参 考 文 献:

- [1] PIMPUTKAR S, SPECK J S, DENBAARS S P, *et al.* Prospects for LED lighting [J]. *Nature Photonics*, 2009, 3(4): 180-182.
- [2] ZHAO F C, SUN N, ZHANG H M, *et al.* Hybrid white organic light-emitting diodes with a double light-emitting layer structure for high color-rendering index [J]. *Journal of Applied Physics*, 2012, 112(8): 084504.
- [3] HU R, LUO X B, ZHENG H, *et al.* Design of a novel freeform lens for LED uniform illumination and conformal phosphor coating [J]. *Optics Express*, 2012, 20(13): 13727-13737.
- [4] 朱根娣,刘敏娟. 新型 LED 手术无影灯的光照度特性的研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2009, 33(3): 183-187.
- ZHU G D, LIU M J. Research on the illuminance characteristics of LED surgical luminaire [J]. *Chinese Journal of Medical Instrumentation*, 2009, 33(3): 183-187. (in Chinese)
- [5] 艾晶. LED 在我国博物馆/美术馆中的应用现状分析[J]. 照明工程学报, 2016, 27(3): 120-125.
- AI J. The present situation analysis of the application of LED in the museum and gallery [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2016, 27(3): 120-125. (in Chinese)
- [6] 牛占彪. 健康照明与无频闪护眼灯[J]. 灯与照明, 2015, 39(1): 15-19.
- NIU Z B. Health lighting and eye protection lamp with no flicker [J]. *Light & Lighting*, 2015, 39(1): 15-19. (in Chinese)
- [7] 张玉宝,董礼,张国英. 基于有效集算法的大功率单色 LED 太阳光谱模拟仿真[J]. 发光学报, 2018, 39(6): 862-869.
- ZHANG Y B, DONG L, ZHANG G Y. Simulation of high power monochromatic LED solar spectrum based on effective Set algorithm [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2018, 39(6): 862-869. (in Chinese)
- [8] 王凌云,王立辉,苏拾,等. 基于 LED 峰值的太阳光谱合成方法[J]. 发光学报, 2018, 39(4): 555-561.
- WANG L Y, WANG L H, SU S, *et al.* Solar spectrum synthesis based on LED peak [J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2018, 39(4): 555-561. (in Chinese)
- [9] 古志良,李炳乾,范广涵,等. COB 白光 LED 的光提取效率研究[J]. 半导体光电, 2015, 36(5): 753-755.
- GU Z L, LI B Q, FAN G H, *et al.* Study on light extraction efficiency of white COB-LED [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2015, 36(5): 753-755. (in Chinese)
- [10] 李琪,辛易. 全光谱 LED 发展现状及应用前景[J]. 中国照明电器, 2017(3): 12-16.
- LI Q, XIN Y. Advancement and trends of full spectrum LED [J]. *China Light & Lighting*, 2017(3): 12-16. (in Chinese)

作者简介:李炳乾(1970—),男,博士,教授,主要从事半导体发光器件封装技术的研究。E-mail:467243635@qq.com