

# 全光谱 LED 健康照明：机遇与挑战

靳梓诺<sup>1</sup>, 沈亚龙<sup>1,2</sup>, 赵虎旦<sup>3</sup>

(1. 宿迁学院 材料工程系, 江苏 宿迁 223800; 2. 南京理工大学 材料科学与工程学院, 江苏 南京 210094;  
3. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 与普通的白光 LED 相比, 全光谱 LED 具有光谱连续可调、无蓝光危害、显色性高等优点。本文从多角度分析阐述了全光谱 LED 的制备方法, 以及在健康、教育、动植物照明等多个领域应用的前景机遇。同时, 由于其制备工艺尚不成熟, 全光谱 LED 健康照明面临制造成本较高、光电转换效率较低、工作寿命较短等技术挑战。相信随着科技的发展, 全光谱 LED 的制备体系将不断完善, 成为未来照明市场领域的佼佼者。

**关键词:** 健康照明; 全光谱 LED; 连续光谱; 机遇与挑战

中图分类号: O482.31 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2023.06.005

## Full Spectrum LED Health Lighting: Opportunities and Challenges

JIN Zinuo<sup>1</sup>, SHEN Yalong<sup>1,2</sup>, ZHAO Hudan<sup>3</sup>

(1. Department of Materials Science and Engineering, Suqian University, Suqian 223800, China;  
2. College of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;  
3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033, China)

**Abstract:** Compared with ordinary white LED lights, full-spectrum LEDs have advantages such as continuous spectrum adjustment, no blue light hazard, and high color rendering. This article provides a multiple-faceted analysis and exposition of the preparation methods for full-spectrum LEDs, as well as the prospective opportunities for their applications in various fields such as health, education, and lighting for both animals and plants. Meanwhile, due to its immature manufacturing process, full-spectrum LED healthy lighting faces technical challenges such as high manufacturing cost, low photoelectric conversion efficiency and short operational lifespan. It is believed that with the development of technology, the preparation system for full-spectrum LEDs will continue to improve, making it a leader in the future lighting market.

**Key words:** healthy lighting; full-spectrum LED; continuous spectrum; opportunities and challenges

## 引言

近些年来, 被人们广泛使用的照明产品无疑是白光 LED。LED 又名发光二极管, 相较于传统照明, LED 是一种全新的固态照明技术——半导体固

态照明。不同于白炽灯的钨丝, 半导体固态照明的发光材料主要依靠其内部的 PN 结, 可以直接将电能转变为光能。因此目前市场上的白光 LED 具有光电转换效率高、耗能少、寿命长等优点<sup>[1]</sup>。白光发光二极管根据芯片数目可以分为单芯片型和多芯片型, 由于多芯片型 LED 构造较为复杂, 生产成本较

基金项目: 江苏省高等学校自然科学面上项目 (21KJB430011); 宿迁市科技计划项目 (K202126); 宿迁学院博士科研启动项目 (CK0004221)

通信作者: 沈亚龙, E-mail: shenyalong@njust.edu.cn

高。因此相比之下,适合量产的家用LED灯为市面上主流的单芯片型白光LED,其利用光致发光的发光机理,制备方法主要采用“紫外线或者蓝光芯片激发各色掺有稀土元素的荧光粉”<sup>[2]</sup>,由此复合发光生成白光。

随着LED技术的不断发展与成熟,人们对灯具的发光品质也愈加注重。美国环境保护署(U.S. Environmental Protection Agency)于1991年开始提出“绿色照明”的概念。1996年,中国开始正式实施绿色照明工程。随着绿色照明概念的推行,人们除了关注照明节能环保外,更加注重照明的品质。

由于白光LED是由蓝光或紫外线激发荧光粉复合发光而成,因此其发射的白光光谱中紫外线或蓝光部分较多。而光辐射的危害主要体现在紫外线对人体皮肤的伤害、蓝光对眼睛的危害以及热损伤。IEC 62471:2006标准根据不同光波的发射限值进行了危险等级的划分,见表1。白光LED除蓝光过剩外,在光谱中也存在着青蓝光波段较低、红光波段缺失等缺陷。这些缺陷不仅会对人体健康造成威胁,也会对部分植物生长起到抑制作用。因此,这种蓝光危害小、光电转换效率高的全光谱LED健康照明逐渐成为人和动植物健康生长的主流照明方向。

表1 IEC 62471:2006的生物危害分类

Table 1 The biohazards classification of IEC 62471:2006

测量-风险	符号	发射限值			单位
		无危险	低危险	中度危险	
光化学紫外危害(200~400 nm)	$E_S$	0.001	0.003	0.03	$W \cdot m^{-2}$
近紫外危害(315~400 nm)	$E_{UVA}$	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
蓝光危害(300~700 nm)	$L_B$	100	10 000	4 000 000	$W \cdot m^{-2} sr^{-1}$
蓝光危害—小光源(300~700 nm)	$E_B$	1.0	1.0	400	$W \cdot m^{-2}$
视网膜热危害(380~1 400 nm)	$L_R$	28 000/ $\alpha$	28 000/ $\alpha$	71 000/ $\alpha$	$W \cdot m^{-2} sr^{-1}$
视网膜热危害—低视觉刺激	$L_{IR}$	6 000/ $\alpha$	6 000/ $\alpha$	6 000/ $\alpha$	$W \cdot m^{-2} sr^{-1}$
红外辐射(780~3 000 nm)	$E_{IR}$	570	570	3 200	$W \cdot m^{-2}$

## 1 全光谱LED

### 1.1 概念特性

为解决普通LED光谱在蓝色波段范围产生的危害,研究学者们提出了一个新的名词:全光谱LED。全光谱LED是指光源发出的光涵盖所有可见光,即红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七色,以及少量的不可见光<sup>[3]</sup>。太阳光属于自然光,太阳光谱是人们最为熟悉的全光谱,其光谱是连续的。从图1可以看出,全光谱没有普通LED光谱中各波段比例严重失调的问题,从而弥补了普通LED在光谱上蓝光过剩、青色光缺失、长波红光不足<sup>[4]</sup>的缺陷。这些优势不仅减少了普通LED的蓝光过剩带给人体的视觉疲劳,同时,其连续可调的宽光谱满足了不同动植物生长的光照需求,为动植物的生长提供了有利的光照环境。

显色特性是衡量光色特性是否优越的标准之一。显色指数CRI的大小反映了其光源对物体的显色能力的好坏。从图2中可以看出,显色指数越高,物体色彩还原度越大,带给人们的视觉效果越好。目前全光谱LED的平均显色指数 $R_a$ 高达97以上<sup>[5]</sup>,要远远

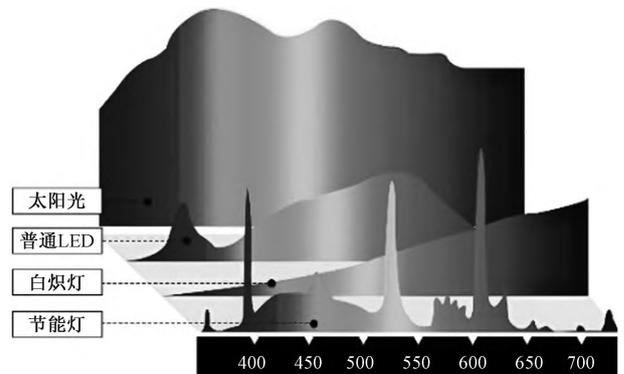


图1 太阳光谱与普通灯具光谱图比较

Fig. 1 The comparison of the solar spectrum and the spectral map of ordinary lamps

高于普通LED,即全光谱LED相较于普通LED具有高显色特性,能更大程度地还原物体本身的色彩。

### 1.2 制备方法

目前全光谱LED制备方法主要分为多基色LED方案和LED激发多色荧光粉方案。而对于LED激发荧光粉方案,荧光粉的种类对全光谱LED的性能起着决定性作用。因此,针对不同照明应用场景的需求,可以掺入不同的荧光粉,以此制备出不同光电特性的全光谱LED。

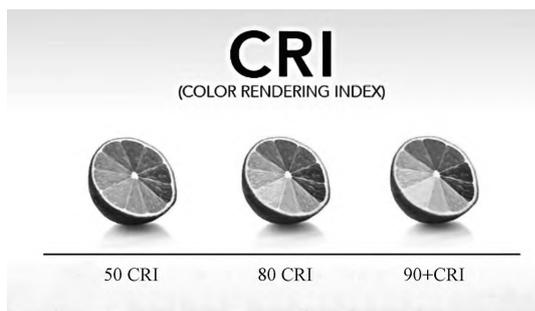


图 2 不同显色指数光源的显示效果

Fig. 2 Display effect of different color rendering index lamp sources

### 1.2.1 多基色 LED 构筑

多基色 LED 构筑法主要是将多种不同颜色的单色 LED 芯片集体构筑，通过不同的排列组合，改变波峰值与半高宽等光谱特征，从而得到连续光谱且具有高显色性和高光效特点的一种制备方法。目前通过三基色 LED 芯片混合而成的白光显色指数可达到 85 以上，而四色芯片组合的 LED 显色指数可达到 88 以上<sup>[6]</sup>。

### 1.2.2 单色 LED 光谱拟合法

单色 LED 光谱拟合是根据不同颜色 LED 的光谱特性，选取合适的单色 LED 光谱进行叠加，并通过光谱拟合数学模型、光谱拟合优化算法等成功实现全光谱 LED 照明。王宏民等<sup>[7]</sup>提出将 LED 光谱合成自然光全光谱的数学模型为：

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^i k_n I_n(\lambda) \quad (1)$$

式中， $L(\lambda)$  为目标光谱曲线； $I_n(\lambda)$  为单色 LED 在额定电流下光谱分布函数； $k_n$  为拟合系数。

成功建立数学模型后，分别利用最小二乘法、LM 算法得到拟合所需的单色 LED 的拟合参数并进行参数优化。随后采用递减实验的方法，对拟合结果进行优化。最终结果显示，27 种单色 LED 合成光谱结果满足 AM1.5 的 A 级标准，17 种单色 LED 合成光谱满足 AM1.5 的 B 级标准，达到模拟太阳光照明的光谱匹配度要求<sup>[8]</sup>。

### 1.2.3 蓝光 LED 芯片 + 黄红色荧光粉

为进一步弥补现有技术中全光谱红色波段的缺失问题（图 3），研究学者们相继提出在此制备基础上加入不同波长的红色荧光粉，以达到使全光谱更贴近太阳光谱的目的。Uheda 等<sup>[9]</sup>提出在黄色荧光粉中掺入新型氮化物红色荧光粉  $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ 。将发光波长为 450 ~ 470 nm 的蓝光芯片激发黄色与

红色荧光粉，从而得到长波红色发射峰，提高了光谱的整体连续性，改善了显色性能。 $\text{CaAlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$  红色荧光粉热稳性较好，但是合成时需要高温高压，因此难以进行大规模生产。

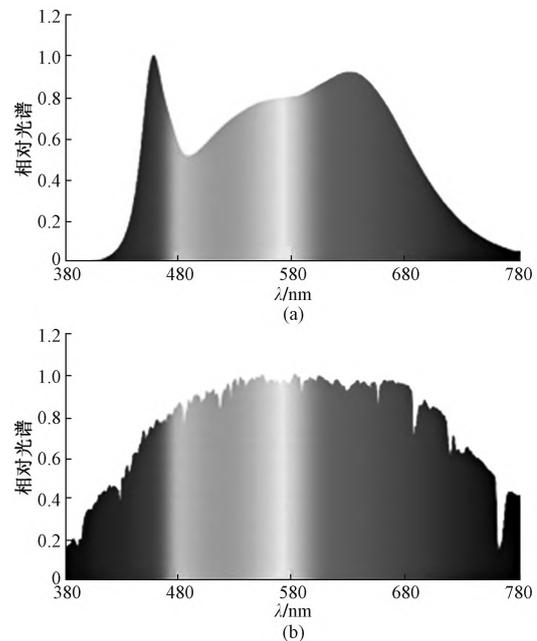
图 3 现有技术全光谱与太阳光谱比较图<sup>[10]</sup>

Fig. 3 The comparison of the full spectrum of existing technologies with the solar spectrum

### 1.2.4 双芯蓝光芯片 + 多色荧光粉

双芯蓝光芯片搭配多色荧光粉是利用两个不同波长的蓝光芯片激发荧光粉使部分特殊显色指数达到 90 以上的一种制备方案。任昌烈等<sup>[11]</sup>通过实验得出结论：在光源色温为 5 000 K 时，若两个蓝光芯片的发光波长分别在 447.5 ~ 450 nm 和 455 ~ 457.5 nm 范围内，并搭配密度为  $6\,450\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  的  $\text{Y}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  黄绿色荧光粉和少量氮化物红色荧光粉  $(\text{Sr}, \text{Ca})\text{AlSiN}_3:\text{Eu}^{2+}$ 、密度为  $6\,100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  的  $\text{Y}_3(\text{Al}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+}$  黄绿色荧光粉与氮化物  $\text{BaSi}_2\text{O}_2\text{N}_2:\text{Eu}^{2+}$  蓝绿色荧光粉，可组成显色指数高达 97.8 的全光谱白光 LED。

### 1.2.5 紫光芯片 + RGB 三基色荧光粉

此制备方案是用波长为 395 nm 左右的紫光芯片搭配一定比例的红、绿、蓝三色荧光粉，可得到显色指数高、颜色稳定性好的优质全光谱 LED<sup>[12]</sup>。日本与韩国目前在中国销售的全光谱 LED，其制备技术为紫光芯片（UV）激发三基色荧光粉。图 4 所示为目前市面上主流的紫外光激发全光谱 LED 光谱

图。然而,随着色温的升高,光谱中蓝色波段能量越大,对人体的伤害越高。因此,为了降低灯具工作时的色温,杨皎洁<sup>[13]</sup>提出了一种新型商用短波蓝色荧光粉  $\text{NaSrSeSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$  和  $\text{NaBaLuSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$  青色荧光粉。实验结果表明,将市面上普通蓝色荧光粉替换为焦硅酸盐蓝色荧光粉,并搭配其他颜色商业荧光粉,再加入青色荧光粉,在波长为 330 nm 的 UV 芯片激发下得到的 WLEDs 器件,其相关色温显著下降。同时,此方法也有效填补了短波长部分,弥补了青色光缺失造成的波谷。由此,光源光谱更加接近太阳光光谱。

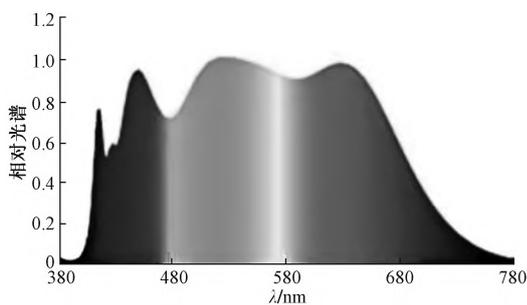


图4 紫外光 LED 激发全光谱图<sup>[10]</sup>

Fig. 4 The full spectrum of UV LED excitation

## 2 全光谱 LED 的机遇

全光谱 LED 的机遇来源于其优越的光色特性和广阔的应用市场前景。全光谱 LED 的优势主要体现在其光谱较普通 LED 更加接近自然光光谱,有效减少了蓝光危害,缓解视觉疲劳。因此被广泛应用于日常家庭照明、教育照明、动植物照明等领域。

### 2.1 健康照明

追求健康照明是人们日益增长的美好生活需求的具体表现之一。研究表明,人长时间在带有能量较大的蓝光波段 LED 照明下,人体视神经会受到较大的伤害,造成人体视觉疲劳、近视等;同时,会干扰人体生物节律,对人体健康产生影响。对于糖尿病患者来说,由于他们服用的药物大多属于光敏感性药物,若患者用药过后长时间暴露在蓝光过剩的光照环境下,极大可能会引起患者的视网膜病变,且随着灯的色温越高,其所包含的蓝色光波段能量越大。因此,在这个人们不断追求“健康生活”的时代里,减少蓝光过剩产生的危害开始成为研究学者们主攻的一个课题。

### 2.2 教育照明

随着预防控制全国儿童青少年近视率等一些政策的出台,教育照明被逐渐重视起来。

2018 年 8 月,国家卫生健康委员、教育部等部门联合印发了《综合防控儿童青少年近视实施方案》。方案中提到:预计到 2030 年我国儿童近视率应控制在 3% 左右,小学生、初中生和高中生近视率应分别控制在 38%、60% 和 70% 以下。预防近视中,除了加强自身的防范意识外,环境因素也至关重要,例如用眼的环境和灯具的选择等。《中小学校普通教室在照明设计安装卫生要求》中指出:对于教室照明,学校应充分利用自然光。使用灯具照明时应尽量选择色温指数高、蓝光危害少的白光 LED。因此制造出性能优越、舒适度高的教育照明灯具的工作迫在眉睫,全光谱 LED 照明应用前景也十分广阔。从表 2 可以看出,全光谱 LED 相较于传统 LED,可以帮助教室里的学生更好地缓解眼部疲劳,符合现行国家标准。

### 2.3 动植物照明

随着农牧产业的发展,光电科技越来越多地应用到农牧产业上来。农牧产业大力发展的同时也带动了动植物照明产业的崛起。全光谱 LED 凭借其自身的优势在农牧照明市场的前景也愈加广阔。

奶牛生产性能(产奶量)是评判奶牛品质的标准之一<sup>[14]</sup>。有研究发现,每天长时间接触光照的奶牛,其牛奶产量可相对提高 5% ~ 16%<sup>[15]</sup>。同时,与白光和黄光 LED 灯相比,蓝光过剩的 LED 灯会给奶牛造成更多的压力。因此,可以利用智能控制系统,搭配传感器等其他智能设备,制备出一种应用于奶牛养殖的全光谱 LED 照明控制系统。传感器用于检测当地牧场位置的平均光照强度、色温,以及光谱中蓝光的比例。然后通过调节控制照明系统中光谱不同波长的发光比例、光照强度、色温等光色指数,使全光谱 LED 发出的光达到最适合奶牛生产生活的标准,从而增加奶牛的产奶量。

光质影响着植物的光合特性、生长发育、生理代谢和形态构建,红光和蓝光是植物进行光合作用和光形态建成的主要光谱<sup>[16]</sup>。不同植物生长时所需要的最佳光质条件大多有所差异。以绿豆芽苗菜为例,谭仁豪等<sup>[17]</sup>在研究报告中提出蓝光处理下的光源对绿豆芽苗生物量的积累起到一定的抑制作用,而小白菜的叶片发育良好,生长状态最佳<sup>[18]</sup>;红蓝

光比为 1:2 的光源却促进了生菜的光合作用 (图 5), 是生菜高产的优选光源<sup>[19]</sup>; 红蓝复合光为 2:1 的光源可以显著提高秋葵幼苗生长时的各项生理指标<sup>[20]</sup>, 表 3 概述了不同光质对黄秋葵幼苗成长的影响。因此, 可以利用全光谱的光谱可调性, 将全

光谱 LED 与智能识别系统相连接。智能识别系统通过扫描不同时间段大棚种植的植物计算出对应植物的最佳生长光谱, 使全光谱 LED 发出最适合此植物生长的光, 保证植物的生物累积量、生长状态等各项生理指标达到“巅峰”状态。

表 2 改造前后学校教室光源品质对比

Table 2 The comparison of light quality in classroom before and after the renovation

对比项	传统 LED 照明	国家标准	全光谱 LED
教室照度/ lx	200 低于国家标准	≥300	390 符合国家标准
教室照度均匀度	0.58 区域之间亮度不均匀	≥0.7	0.8 区域之间亮度均匀
黑板照度/ lx	290 低于国家标准	≥500	580 符合国家标准
黑板照度均匀度	0.55 区域之间亮度不均匀	≥0.8	0.81 区域之间亮度均匀
眩光	25 容易引起视觉不舒适	<19	15.9 舒适度高
显色指数	70~80 色彩还原性差	≥80	>90 色彩还原性好
色温/K	6 500 蓝光危害大	3 300~5 000	5 000 光线偏暖, 蓝光危害小

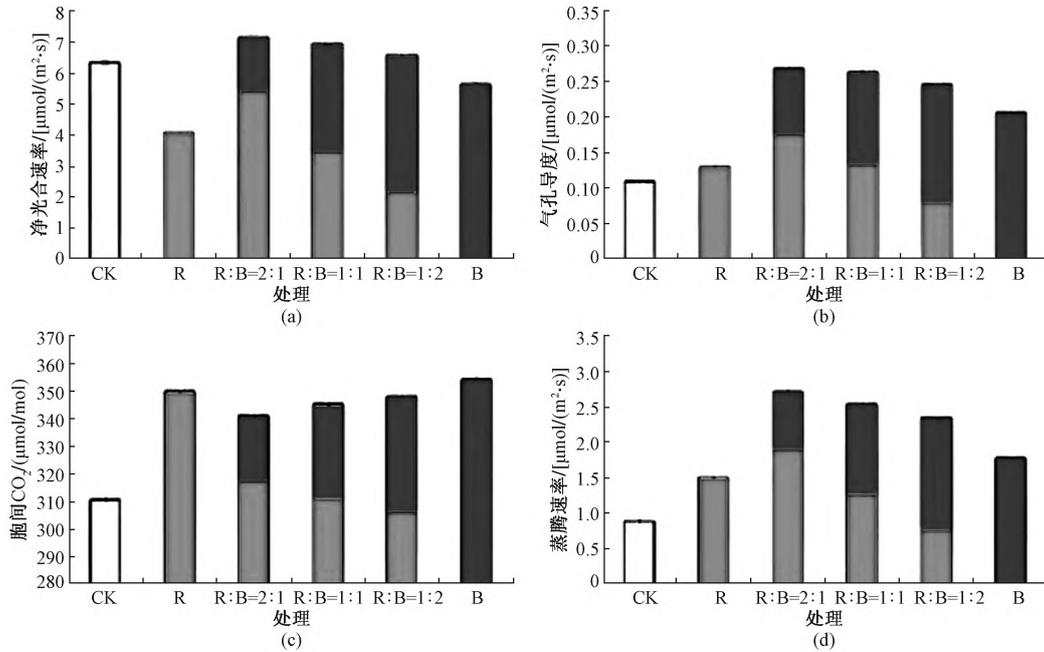


图 5 不同比例红蓝光对生菜光合作用<sup>[19]</sup>

Fig. 5 The effects of different ratios of red and blue light on photosynthesis of lettuce

表 3 不同光质对黄秋葵幼苗成长的影响<sup>[20]</sup>

Table 3 The effects of different light quality on the growth of okra seedlings

光处理	鲜样质量/g	干样质量/g	根长/cm	茎粗/cm	株高/cm	壮苗指数/mg
荧光灯 CK	4.19 ± 0.15c	0.44 ± 0.03c	8.76 ± 0.51c	3.92 ± 0.14c	15.90 ± 0.52c	108.48 ± 3.52d
蓝光 B	5.17 ± 0.22b	0.54 ± 0.02b	9.41 ± 0.35b	4.67 ± 0.22b	18.40 ± 1.30b	137.05 ± 2.98b
紫光 P	4.13 ± 0.21c	0.43 ± 0.02c	8.20 ± 0.22c	3.87 ± 0.13c	14.53 ± 0.34d	114.53 ± 2.79d
红光 R	4.97 ± 0.25b	0.51 ± 0.02b	9.60 ± 0.30b	3.95 ± 0.19c	16.23 ± 0.42c	124.12 ± 3.09c
红蓝复合光 BR	5.60 ± 0.31a	0.61 ± 0.03a	10.70 ± 0.47a	5.24 ± 0.16a	21.50 ± 1.21a	148.67 ± 2.54a

注: 同列的不同字母表示处理间 (n=3) 在 P<0.05 水平存在显著性差异。

由此可见, 由于全光谱 LED 在光谱上拥有连续性强、蓝光危害小、长波红光充足、光谱颜色可调等优点, 其在未来照明市场的前景不容小觑。

### 3 全光谱 LED 的挑战

#### 3.1 价格

虽然目前全光谱 LED 凭借它的光谱连续性强、蓝光危害小的特点越来越受到广大消费者的喜欢, LED 制造商开始重视并加大投入生产。但是, 由于激发荧光粉的 UV 芯片制作成本高, 导致产品价格较为昂贵。因此, 对于普通家庭或者工厂而言, 他们会更倾向于使用普通 LED 芯片来减少成本。

#### 3.2 发光效率

目前市场普通的 LED 灯的发光效率在 150 lm/W 左右, 而大多全光谱 LED 的效率在 122 lm/W 左右, 低于普通 LED 灯<sup>[21]</sup>。发光效率的差异主要来源于技术的成熟与否。普通 LED 灯经过多年市场开发, 开发工艺已十分成熟, 而全光谱在市场上的“磨练”仍较少, 制造工艺仍处于差强人意的状态, 其所用的蓝、紫色芯片和荧光粉的发光效率还有待提高。

#### 3.3 可靠性与稳定性

对于多基色 LED 方案, 由于单色芯片性能不一, 尤其是绿色和黄色芯片发光效率远低于其他芯片而导致“绿色鸿沟”, 而且芯片的光衰差异大, 容易引起白光色温不稳定。对于芯片激发荧光粉的制备方法, 由于不同荧光粉老化速率不一, 可能导致光谱、灯具发光颜色随着时间的推移逐渐出现偏差。且用于散热装置中的封装材料环氧树脂在紫光照射下易黄化, 长时间会出现色温漂移, 不再维持最初的白光色温<sup>[22]</sup>, 进而致使 LED 灯使用寿命减少。

#### 3.4 工作寿命

合格的普通 LED 灯的工作寿命一般在 100 kh<sup>[23]</sup>, 而全光谱因为制作工艺还未成熟, 以及荧光粉的稳定性能较差, 其工作寿命远远小于普通 LED 灯。此外, 由于环氧树脂在紫外灯长时间的照射下容易黄化, 影响透气透氧性, 散热效果会逐渐减弱, 长时间使用后温度会急剧升高, 加剧灯具内部材料的老化, 缩短使用寿命。

## 4 结论

全光谱 LED 因其光谱更加连续、有害蓝光部分比例低的特点, 相对于普通 LED 光谱更加满足人们对健康生活的追求与需要。比较两者, 全光谱 LED 的市场更为广泛、需求量大, 因此它的机遇有很多。但是到目前为止, 其制备技术不够成熟, 稳定性与可靠性较差, 且成本过高, 不易被大众所接受。相信随着时代的进步以及学者们的不断研究, 其制备技术会愈发简单便捷, 工作效率与使用寿命等方面会大大优化, 成为照明市场的领导者。

#### 参考文献

- [1] 李厥富. LED 照明技术的应用 [J]. 中国科技纵横, 2014 (9): 54-56.
- [2] 李兆, 王亚楠, 徐祎朴, 等. 白光 LED 用 YVO<sub>4</sub>: Tm<sup>3+</sup> 蓝色荧光粉的制备及发光性能 [J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43 (2): 623-628.
- [3] 冯荣标, 陈涛, 陈伟, 等. 高显色全光谱 LED 特性及其对解决蓝光危害的贡献 [J]. 光源与照明, 2016 (1): 7-10.
- [4] 赵芳仪, 刘小浪, 宋振, 等. 超高显色指数、全光谱白光 LED 封装技术 [J]. 照明工程学报, 2019, 30 (3): 75-80.
- [5] 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.
- [6] 吴一新, 杜罡, 李晓艳. 多基色全光谱白光 LED 混光研究 [J]. 科技创新与应用, 2018 (25): 24-25.
- [7] 王宏民, 唐帆, 薛萍. 基于单色 LED 的太阳光谱合成方法 [J]. 激光与光电子学进展, 2020, 57 (9): 239-245.
- [8] 唐帆. LED 全光谱合成方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2020.
- [9] Uheda K, Hirosaki N, Yamamoto Y, et al. Luminescence properties of a red phosphor, CaAlSiN<sub>3</sub>: Eu<sup>3+</sup>, for white light-emitting diodes [J]. Electrochemical and Solid State Letters, 2006, 9 (4): H22-H25.
- [10] 裘金阳, 陈磊, 王新中, 等. 全光谱 LED 技术研究进展 [J]. 发光学报, 2020, 41 (2): 199-207.
- [11] 任昌烈, 卞文静, 谢自力. 不同波长双芯蓝光芯片封装高显色指数白光 LED 技术 [J]. 灯与照明, 2021, 45 (4): 48-51.
- [12] 柳丝婉, 韩秋漪, 李福生, 等. 全光谱白光 LED 研究进展 [J]. 光源与照明, 2019 (2): 14-19.

- [13] 杨皎洁. 全光谱白光LED用焦硅酸盐蓝/青色荧光粉的制备及其发光性能研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2022.
- [14] 别雪, 张巧娥, 吴晶, 等. 光照对奶牛生产性能和部分血液指标的影响 [J]. 中国奶牛, 2023 (4): 1-5.
- [15] 葛旭升, 王国良. 光照对奶牛生产性能影响的研究 [J]. 中国乳业, 2019 (5): 34-36.
- [16] 张云, 吕镇城, 徐良雄, 等. LED红蓝光对植物生长发育和光合特性影响的研究进展 [J]. 惠州学院学报, 2019, 39 (6): 33-40.
- [17] 谭仁豪, 张艳, 曹亚兰, 等. 不同蓝红光质组合LED灯对绿豆芽苗菜生长的影响 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46 (2): 112-116.
- [18] 樊小雪, 高文瑞, 孙艳军, 等. 不同光质对小白菜叶片发育和光合作用的影响 [J]. 信阳师范学院学报 (自然科学版), 2018, 31 (4): 562-567.
- [19] 张珂嘉, 邹志荣, 杨俊伟, 等. 不同比例红蓝光对奶油生菜生长、光合特性及品质的影响 [J]. 蔬菜, 2018 (2): 7-12.
- [20] 李慧敏, 陆晓民, 高青海, 等. 不同光质对黄秋葵幼苗生长、光合色素和气孔特征的影响 [J]. 草业学报, 2016, 25 (6): 62-70.
- [21] 李亚利. 全光谱LED在专业照明领域的应用 [J]. 电子世界, 2018 (10): 77-78.
- [22] 谭磊, 孙颖超. 浅析影响LED灯具使用寿命的因素 [J]. 演艺科技, 2017 (10): 31-34.
- [23] 郑孟. LED照明优缺点及其应用 [J]. 山西建筑, 2011, 37 (14): 122-123.

## 中国照明学会八届四次理事会在苏州召开

11月11日, 中国照明学会八届四次理事会在江苏苏州召开。中国照明学会刘正雷理事长主持会议并作理事会工作报告。中国照明学会驻会副理事长高飞, 副理事长杨春宇、苏耀康、魏彬、刘刚, 特邀副理事长郝洛西、姚梦明、官勇, 监事长张保洲, 以及第八届理事会理事和代表130多人参加会议。

刘正雷理事长在理事会报告中指出, 一年来, 中国照明学会在中国科学技术协会和中国轻工业联合会的领导下, 坚持以党建为统领, 积极践行“四个服务”职责, 在党建强会、学术立会、人才兴会、开放办会、依章治会等方面努力开展工作, 政治、业务、人才、组织、制度等方面建设取得新成效。他表示, 学会在价值引领、期刊建设、决策咨询、科学普及、产学研融合和展会等方面还有较大提升空间。要继续发挥专业行业优势, 深化产学研用各界联动, 努力推动一流学会建设和照明行业高质量发展。

会议以无记名投票的方式, 选举木林森股份有限公司执行总经理唐国庆, 南京市城市照明建设运营集团有限公司党委书记、董事长臧锋两位同志为中国照明学会第八届理事会副理事长。

会议审议通过了八届四次理事会工作报告。增补山东省建筑设计研究院有限公司电气总工程师张钊、欧普照明股份有限公司研发副总裁于杰两位同志为第八届理事会常务理事, 增补深圳茂硕电子科技有限公司董事长顾永德、中国建筑西北设计研究院有限公司建筑光环境设计研究中心主任薛骁、郑州大学教授罗勇、上海芯龙光电科技股份有限公司总经理魏靓、浙江阳光照明电器集团股份有限公司董事长陈卫等五位同志为第八届理事会理事, 取消、调整了第八届理事会部分理事和常务理事。

会议决定设立中国照明学会数字艺术专业委员会, 决定中科院建筑设计研究院光环境研究所所长许楠同志拟任数字艺术专业委员会主任委员。会议表决通过《中国照明学会团体标准管理办法》、《中国照明学会专家库管理办法》和《中国照明学会科普教育基地认定与管理办法》。会议还审议通过了其他事项。

会议同期召开了八届十七次理事长办公会暨八届十一次常务理事会议、八届四次理事会党员大会, 还举行了中国照明学会照明行业专家与企业家座谈会、中国照明学会分支机构专题研讨会。