电气照明

江苏省照明学会主办

THE JIANGSU ELECTRIC LIGHTING THIRD QUARTER 2020

3 2020 季刊

常州市福兴电器有限公司
CHANGZHOU FUXING ELECTRICAL APPLIANCE CO.,LTD
www.wuj-fuxing.com

RN LED
复古新型装饰灯

www.wj-fuxing.com
地址：江苏省常州市武进经济开发区西太湖大道288号
电话：+86-519-83665888
邮箱：sales01@wj-fuxing.com

电气照明

ELECTRIC LIGHTING

季 刊

2020年第3期（总第118期）

主办单位 江苏省照明学会

编委会主任 杨正名

编委会副主任 李广安 王海波 吕家东
道德宁 杨宇峰 姚敦友

（按姓氏笔划排名排序）

编 委 于国力 王幸强 王海波
王海鸥 叶幼东 史 杰
卢有祥 冯灵芝 刘玉庆
李广安 李先栗 吕家东
陈礼贵 严 慈 肖勇强
杨宇锋 周文龙 崔一平
郭振涛 顾章明 杨海峰
邹万流 梁人杰 姚敦友
道德宁 薛 源

主 编 吕家东

责任编辑 肖勇强

总 策 划 冯灵芝

编 辑 王莹莹

平面设计 王莹莹

封面题字 甘子光

出版单位 《电气照明》编辑部

地 址 江苏省南京市鼓楼区金川门外5号

邮 编 210015

电 话 （025）58806897

邮 箱 jszmxh@126.com

出版日期 2020年9月1日

目 录

技术交流 Technical Communication

基于电流和双高斯模型的RGB LED光谱仿真与研究

蒋 腾 卓宁泽 谢琳艳 刘晓峰 王海波 …… 02

$BN/CsPbX_3$复合纳米晶的制备及其白光LED应用

董宇辉 曾书玉 韩博宁 薛 洁 宋继中 曾海波 …… 08

LED植物照明原理、推广难题与研究进展

徐志刚 …… 21

标准解读 Standard Interpretation

固态照明（SSL）技术要求V5.0&5.1解读

韩立成 田江波 …… 24

科普宣传 Popular Science Propaganda

LCD、OLED、Mini/Micro LED傻傻分不清？带你看懂面板后的技术差异 …… 28

一篇文章让你看懂所有电光源光谱 …… 30

设计赏析 Design appreciation

涟漪海洋的Ceto照明 —— 罗斯·加丹 …… 33

线条流畅的HIEROGLYPH照明 …… 35

学会动态 JSIES News

江苏省照明学会专委会钱宗明秘书长线上分享学术报告 …… 37

金手指奖走进南京 华东赛区上演强强对决 …… 38

江苏省照明学会理事单位長江都市喜获“2020中国全过程工程咨询行业综合实力百强” …… 43

江苏省照明学会召开激光设备辐射防护团体标准立项论证会议 …… 45

江苏省照明学会专家参加江苏欧亚照明省级新产品新技术鉴定会 …… 47

基于电流和双高斯模型的RGB LED光谱仿真与研究

蒋 腾[1] 卓宁泽[2,3] 谢琳艳[1] 刘晓峰[2,3] 王海波[2,3]

(1. 南京工业大学 材料科学与工程学院，江苏 南京 211816；2. 南京工业大学 电光源材料研究所，江苏 南京 210009;3. 轻工业部南京电光源材料科学研究所，江苏 南京 210015)

摘要：

为了探究电流改变对RGB LED芯片光度学、色度学参数产生的影响以及双高斯模型在不同电流下对RGB LED芯片光学特性的预测准确性。结果表明，随着驱动电流I_F的增加，红光光谱向长波方向移动，绿光和蓝光光谱产生蓝移,RGB LED芯片的半高宽呈线性增加。不同电流下，双高斯模型拟合得到的光谱与实测光谱接近，红色芯片拟合光谱与实测光谱的相关系数最高为0.993257，绿色为0.994372，蓝色为0.992654，色品坐标(x，y)误差均在3%以内RGB LED混合高、低色温白光，拟合光谱与实测光谱的相关系数在0.984267以上，拟合色坐标与实测色坐标接近。双高斯模型适用于不同电流下RGB LED混合白光设计，具有一定的理论指导和实践依据。

关键词：

发光二极管；LED 混光；双高斯模型；驱动电流；光谱；相关系数

中图分类号：O433 **文献标识码：**A **DOI：**10.3969 j.issn.1004440X.2020.01.004

Research and Simulation of RGB LED Spectrums Based on Currents and Double Gaussian Model

JIANG Teng[1], ZHUO Ningze[2,3], XIE Linyan[1], LIU Xiaofeng[2,3], WANG Haibo[2,3]

(1.College of Material Science and Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, China;2. Research Institute of Electric Light Source Materials, Nanjing Tech University, Nanjing 210009, China; 3.Institute of Electronic and Photonic Materials of Light Industry, Nanjing 210015, China)

Abstract: This article was to explore the influence of current changes on the photometric and chromaticity parameters of RGB LED chips, and the accuracy of the prediction of optical characteristics of RGB LED chips by the double-gaussian model under different currents. The results showed that with increasing of drive current I_F, the spectrum of red chip moved towards long-wave direction, the spectrum of blue and green chips generated blueshift, and the FWHM of RGB LED chips increased linearly. The spectrum simulated by double gaussian model was closed to measured spectrum under different currents, which the highest correlation index between simulated and measured

spectrum of red reached 0.993257, green was 0.994372 and blue was 0.992654, the error of color coordinates (x, y) were within 3%. Furthermore, the simulation and experimental verification were conducted on RGB LED mixed high and low color temperature white light, respectively. The correlation between simulated and measured spectrum were above 0.984267, and the simulated color coordinate was closed to measured. The results indicated that double gaussian model was applicable to RGB LED mix white light design.

Key words: light emitting diode; LED light mixing; double gaussian model; drive current; spectrum; correlation index

前言

随着半导体照明技术的快速发展，发光二极管（light emitting diode，LED）凭借功耗低、发光效率高、寿命长等性能逐步占据照明和显示市场，不同波长的 LED 被开发出来并应用于各个行业。由红绿 - 蓝芯片组成的 LED 光源提供了独特的颜色可变性，可以通过调节三基色的混合比例实现色温的连续变化[1]。由于各色 LED 芯片的发光效率是不同的，为了产生高质量的白光，必须使用不同等级的电流来驱动各个 LED 芯片[2]。同时，同色异谱现象影响照明品质，对于白光 LED 设计，光源的光谱也应该考虑进去，建立准确预测 LED 芯片或荧光粉光谱的数学模型具有重要意义[3,4]。

本文从驱动电流对 RGB LED 芯片的影响出发，探究不同电流下双高斯光谱模型（以下简称 D-G model ）对 RGB LED 芯片光谱、色品坐标的预测准确性，采用相关系数和色品坐标误差进行评价。

1 实验方法

选取 RGB LED 芯片进行实验验证，分别是峰值波长为 630nm 的红光芯片、530 nm 的绿光芯片和 470 nm 的蓝光芯片，尺寸为 20 mil×20 mil（1 mil=0.0254 mm），以 SMD 的形式封装在 LED 基板上。采用远方 PMS-80 可见光谱分析系统测试各色 LED 工作状态下的光学参数，初始电压设定为 5 V，电流为 10 mA 直流输出。测试前先使用标准灯（色温为 2856 进行校正，在室温不变的情况下进行测试，改变驱动电流 I_F，从 10 mA 逐渐上升至 150 mA，每增加 10 mA 进行一次光谱测试。制备多个光源，重复实验上述实验。

基于对 LED 光谱模型的分析，本文选用 D-G model 进行对比预测，其绝对光谱功率分布公 式为[5]：

$$I(\lambda) = I_{01}\exp\left[-4\ln(2)\left(\frac{\lambda-\lambda_{01}}{\Delta\lambda_1}\right)^2\right] + I_{02}\exp\left[-4\ln(2)\left(\frac{\lambda-\lambda_{02}}{\Delta\lambda_2}\right)^2\right] \quad (1)$$

其中 I_{01}、I_{02} 为峰值光强，λ_{01}、λ_{02} 为峰值波长，$\Delta\lambda_1$ 是左侧光谱半宽度：

$$\Delta\lambda_1 = 2\int_{380nm}^{\lambda 0} s_{LED}(\lambda)\,d\lambda$$

$\Delta\lambda_2$ 是右侧光谱半宽度：

$$\Delta\lambda_2 = 2\int_{\lambda_0}^{780nm} s_{LED}(\lambda)\,d\lambda$$

在仿真模拟中，采用相关系数 r 来评价单色 LED 芯片光谱分布功率和 D-G model 模拟光谱分布功率的拟合程度，定义为

$$r(Y,Y_i)\ \frac{\mathrm{Cov}(Y,Y_i)}{\sqrt{\mathrm{Var}[Y]\cdot\mathrm{Var}[Y_i]}} \quad (2)$$

其中 Y 为实测光谱值，Yi 为拟合光谱值。$r \leqslant 1$，越接近 1 拟合效果越好。当 r = 1 时，表明实测曲线和模拟曲线完全重合。

RGB LED 混合白光的光谱采用叠加原理计

算，计算公式为

$$S_w(\lambda) = S(\lambda, \lambda_R, \Delta\lambda_R) + S(\lambda, \lambda_G, \Delta\lambda_G) + S(\lambda, \lambda_B, \Delta\lambda_B) \quad (3)$$

首先，通过改变 RGB LED 芯片的驱动电流 I_F，测试和计算不同电流下 LED 芯片的发射光谱、色品坐标、半高宽等参数，分析并讨论了驱动电流 I_F 改变对这些参数的影响。其次，采用 D-G model 计算出拟合光谱与色品坐标，分别与实测参数进行对比，验证不同电流下 D-G model 对单色 LED 光谱的预测准确性。最后，采用 D-G model 对 RGB LED 混合高低色温白光进行仿真模拟和实验验证。

2 结果与讨论

将多个光源的数据记录整理，发现各个 RGB LED 芯片发光光谱、色坐标等参数受电流改变的影响没有明显差别，选取其中一组数据，将 RGB LED 芯片各自的光谱、色品坐标等参数与拟合光谱所得到的参数进行对比分析。

2.1 发光光谱与实验验证

LED 光谱包含一定的波长范围，因此通过研究芯片的光谱功率分布来探索其光度学和色度学特性有重要的意义[6]。如图 1 所示，RGB LED 芯片的光谱近似满足高斯分布。随着驱动电流 I_F 的增大，RGB LED 芯片光谱功率分布发生变化。

结合 RGB LED 芯片的发光光谱和峰值波长，随着驱动电流I_F增大，红光芯片主波长向长波方向移动，峰值波长从 630 nm 增加到 635 nm 。绿光和蓝光芯片的主波长减小，峰值波长分别在 40 mA 和 90 mA 时发生蓝移。这些现象是由以下几个因素引起的：首先，随着驱动电流 I_F 增加，LED 芯片功率上升导致结温升高，禁带宽度发生窄化，使发射出来的光子能量下降，红光芯片向长波方向移[7]。由于芯片材质不同，绿光和蓝光芯片中自由电子数随电流增大而增加，屏蔽了部分内建电场，进而削弱量子限制斯塔克效应使光谱发生蓝移[8]。其次，PN 结快速升温使晶格场发生能级变化，引起能级分裂和电子跃迁，进一步地使 RGB LED 光谱发生改变。与此同时，RGB LED 光谱变化还与极化电场和多量子阱中的载流子密度分布有关[9]。电流增大，PN 结中载流子密度上升，产生多体效应，使禁带宽度变窄；极化电场使能带弯曲，降低了出射光子的能量，使有效禁带宽度进一步变窄。绿光芯片包含更多的 In 成份，加强了极化电场，所以在驱动电流 I_F = 40 mA 处发生蓝移。

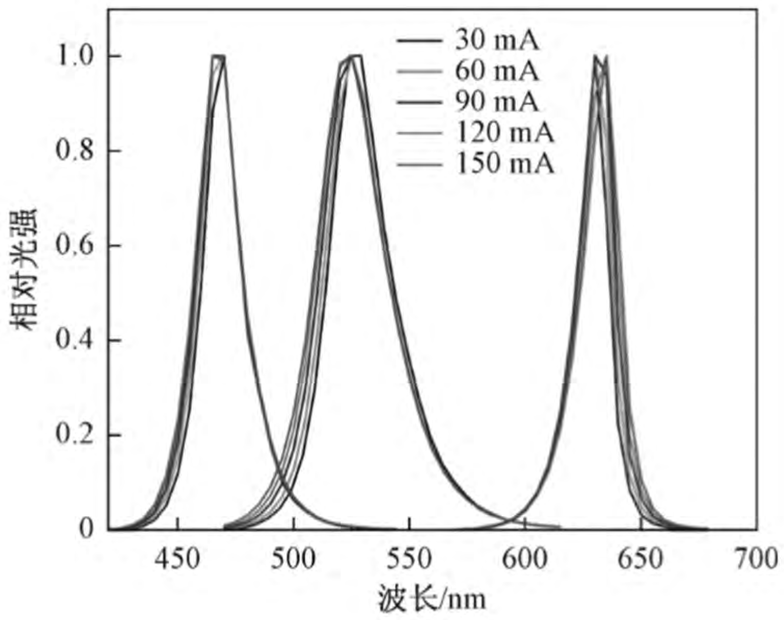


图 1　光谱随电流的变化关系

Fig. 1　Spectrum changes with drive current

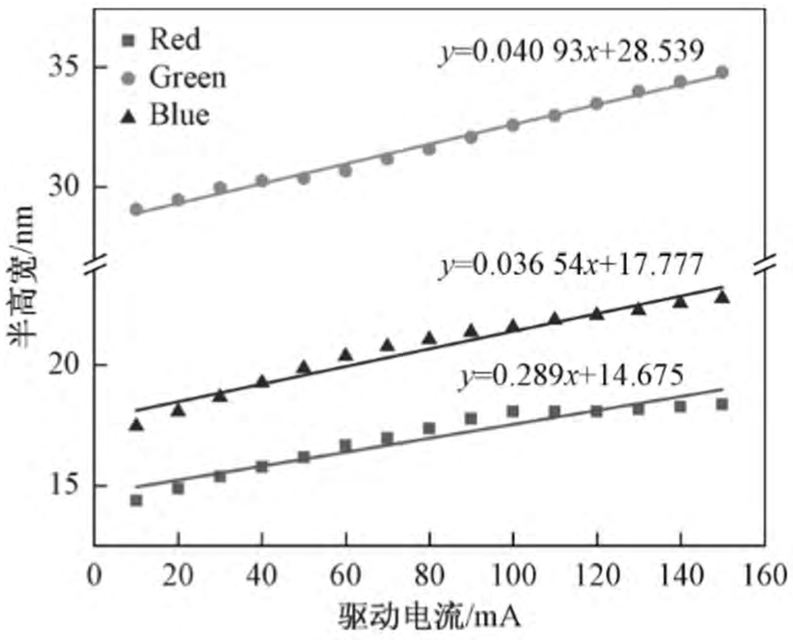


图 2　半高宽随电流的变化关系

Fig. 2　FWHM changes with drive current

如图 2 所示，RGB LED 芯片半高宽随着驱动电流 I_F 增大而上升，近似满足线性关系。影响半高宽变化的主要原因有：首先，随着驱动电流 I_F 增大，PN 结中载流子的密度上升，产生能带填充效应，增大了导带和价带的能量间距。同时，受 LED 芯片结温的影响，驱动电流增大导致结温上升，晶格弛豫的能量和振动频率均随之增大，处于激发态的电子会优先跃迁到能量较高的振动态，再回到基态，进一步使发射光谱

半宽度增加[10]。

对于在 10 ～ 150 mA 驱动电流条件下 RGB LED 的绝对光谱功率分布和 D-G model 拟合光谱功率分布的相关系数见表 1。结果表明，采用 D-G model 拟合的光谱与实测光谱相关性较高，能够较好地拟合出实际光谱功率分布。

表 1　拟合光谱和实测光谱的相关系数

Table 1　Correlation index between simulated spectrum and measured spectrum

驱动电流/mA	红	绿	蓝
10	0.986760	0.992440	0.978288
20	0.987281	0.988406	0.983355
30	0.988106	0.986753	0.984008
40	0.988296	0.994372	0.984238
50	0.988454	0.993902	0.984369
60	0.988534	0.993546	0.984471
70	0.987625	0.993428	0.984437
80	0.986910	0.993311	0.984566
90	0.986314	0.993236	0.991796
100	0.991623	0.993166	0.99202
110	0.992211	0.992996	0.992309
120	0.99278	0.992808	0.992458
130	0.993182	0.992931	0.992654
140	0.993257	0.993015	0.992658
150	0.993110	0.993216	00992651

根据拟合光谱与实测光谱的相关系数，分别选取相关度最高的光谱进行局部拟合验证。图 3 所示为 140 mA 驱动电流下红光光谱、40 mA 驱动电流下绿光光谱、130 mA 驱动电流下蓝光光谱。结果表明，D-G model 拟合得到的光谱和实测光谱接近，D-G model 能够准确预测单色 LED 的光谱功率分布。

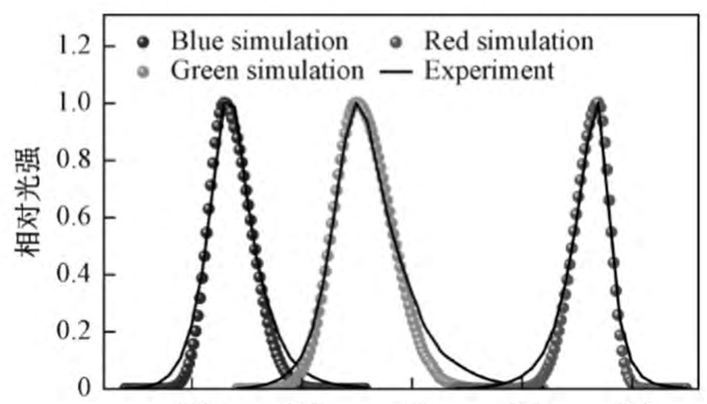


图 3　D-G model 拟合光谱与实测光谱

Fig. 3　D-G model simulated spectrum and measured spectrum

2.2 色品坐标与实验验证

根据光谱的变化，RGB LED 芯片各自的色坐标也必然发生改变[11]。图 4 分别对应红光芯片、绿光芯片、蓝光芯片。可以看出，红光芯片和蓝光芯片的 x 坐标与驱动电流 I_F 成正比关系，y 坐标与驱动电流 I_F 呈反比。绿光芯片区别于红蓝芯片，如图 4(c) 所示，当驱动电流 I_F 为 10 ～ 60 mA 时 x 值逐渐减小，y 值逐渐增大；继续增大电流，x、y 同时减小。

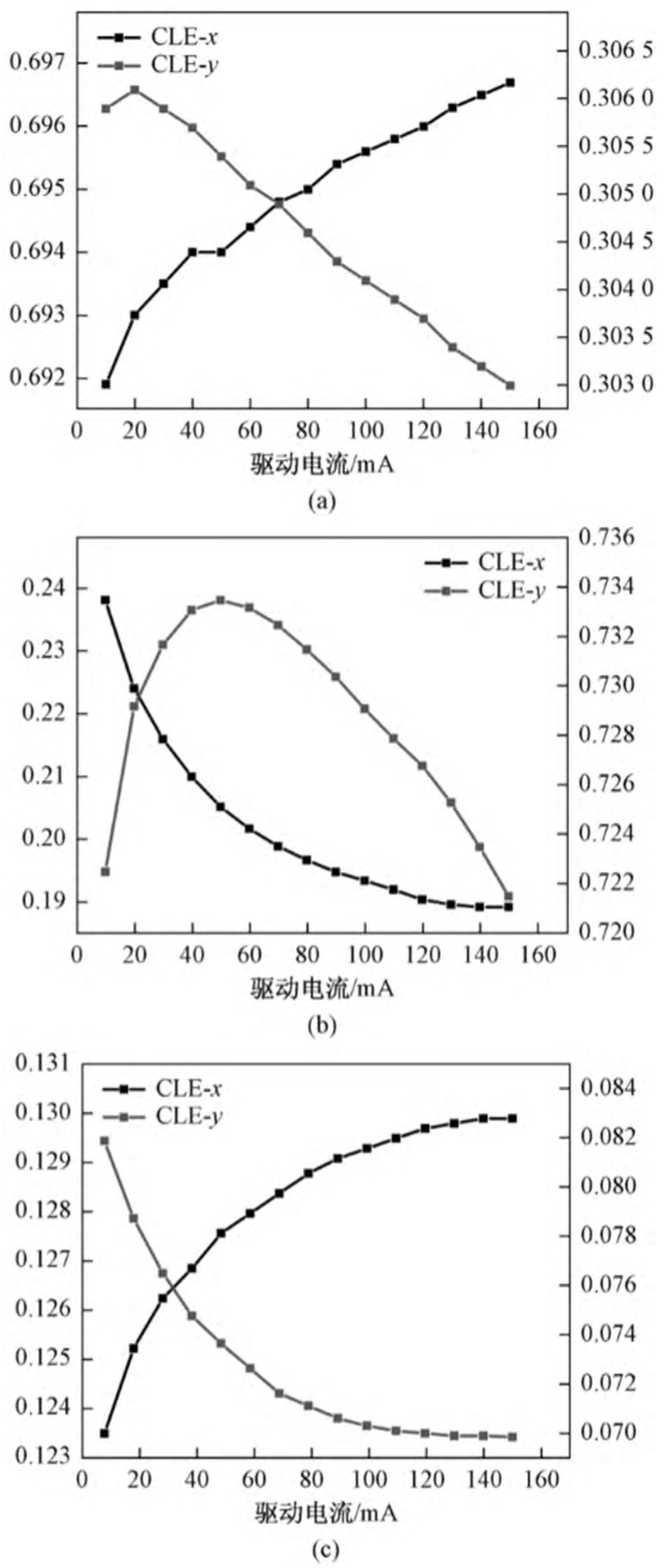


图 4　RGB LED 芯片色品坐标随电流的变化关系

Fig. 4　RGB LED chips color coordinate changes with drive current

根据拟合光谱计算出 RGB 拟合色坐标 (x', y')。由图 5 可以看出，红光芯片拟合色坐标 (x', y') 和实测色坐标 (x, y) 数值接近。经过计算，x 值的平均误差为 1.23%，y 值的平均误差为 2.2%；绿光芯 x 值的平均误差为 1.56%，y 值的平均误差为 2.34%；蓝光芯片 x 值的平均误差为 0.48%，y 值的平均误差为

2.64%。结果表明，采用 D-G model 拟合得到的色坐标接近该驱动电流下实际色坐标，为 RGB LED 芯片混合白光提供有效的实验依据。

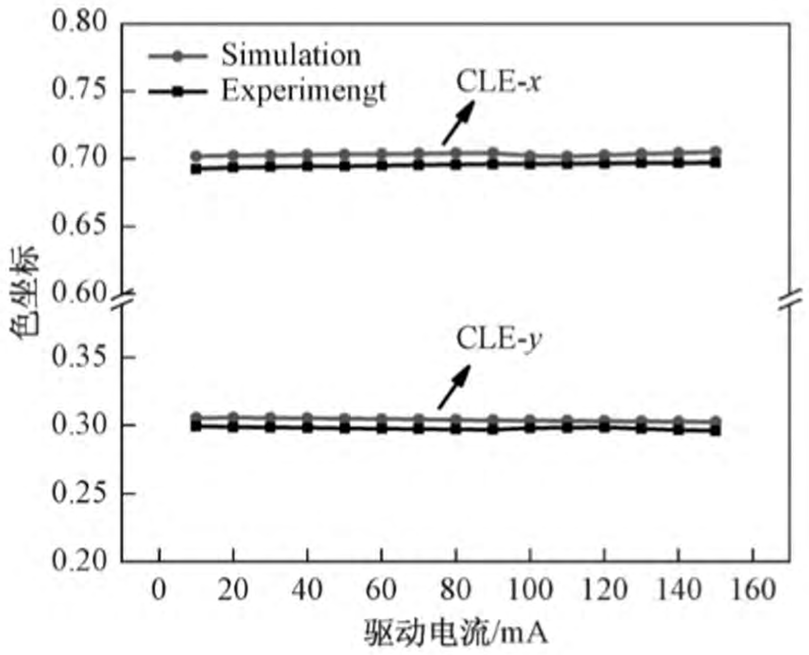


图 5　红光芯片拟合色坐标与实测色坐标对比

Fig. 5　Comparison between simulated and measured color coordinate of red chip

2.3 RGB LED 混合白光仿真模拟

为了验证 D-G model 在白光设计中的有效性，采用 RGB LED 芯片制备了高、低色温白光进行仿真模拟。其中实测低色温为 3245K，拟合色温为 3165K，由 40 mA 驱动的红光芯片、20 mA 驱动的绿光芯片、10 mA 驱动的蓝光芯片组成；实测高色温为 6080K，拟合色温为 5955K，由 60 mA 驱动的红光芯片、40 mA 驱动的绿光芯片、30 mA 驱动的蓝光芯片组成。拟合光谱与实测光谱如图 6、图 7 所示。

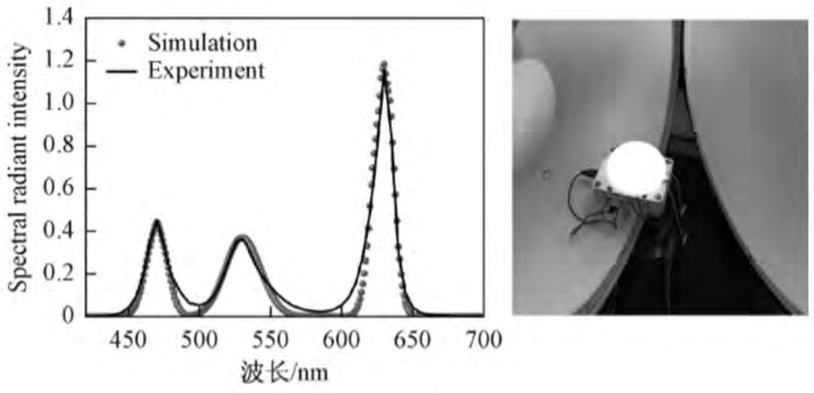


图 6　3 245 K 拟合光谱和实测光谱对比

Fig. 6　Comparison of 3 245 K simulated and measured spectrum

结果表明，在 3245K 色温下，拟合光谱与实测光谱的相关系数为 0.98807，色坐标 x 值误差为 0.6%，y 值误差为 2.3%。在 6080K 色温下，拟合光谱与实测光谱的相关系数为 0.984967。颜色坐标的 x 值误差为 0.95%，y 值误差为 1.8%。从实验中可以看出，当驱动电流 I_F 增大时，PN 结内部温度升高。RGB LED 芯片在没有

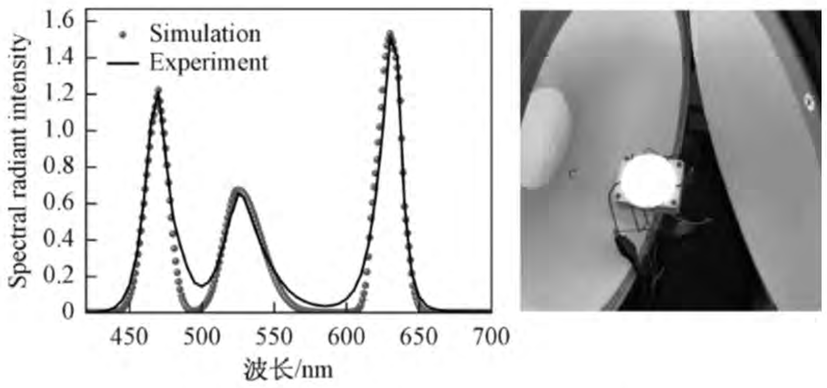


图 7　6 080 K 拟合光谱和实测光谱对比

Fig. 7　Comparison of 6 080 K simulated and measured spectrum

散热系统的情况下具有更大的热效应，导致颜色坐标偏移更大。D-G 模型模拟得到的光谱功率分布与实际的光谱功率分布相吻合，对 RGB LED 混合白光的设计具有重要的参考意义。

3 结论

实验结果表明，当驱动电流 I_F 增加时：红光芯片向长波方向移动，绿光和蓝光芯片产生蓝移，RGB LED 芯片的半高宽均增大，近似满足线性关系线。D-G model 拟合光谱与实测光谱的相关系数较高，其中红光相关指数最高为 0.993257，绿光为 0.994372，蓝光为 0.992654。RGB LED 芯片的色品坐标随着驱动电流的增大而变化，拟合色坐标和实测色坐标误差在 3% 以内。进一步地对 RGB LED 混合高、低色温白光进行了仿真和实验，结果表明，相关系数分别为 0.984267 和 0.98807，拟合色坐标与实测色坐标接近。综上所述，D-G 模型适用于不同驱动电流下 RGB LED 光谱与 RGB LED 混合白光光谱的预测，为 RGB LED 混合白光设计提供了理论支持。

参考文献

[1] Saeed G, Seyyed J R. Design of white LED using $GaNIn_xGa_{(1-x)}N$ multi quantum well [J]. Optik, 2015, 2015 (126): 5820-5824.

[2] Zukauskas A, Vaicekauskas R, Ivanauskas F, et al. Optimization of white polychromatic semiconductor lamps [J]. Applied Physics Letters, 2002, 80 (2): 234-236.

[3] Cheng H, Lin J, Chen W. On the thermal characterization of an RGB LED-based white light module [J]. Applied Thermal Engineer-

ing,2012,38: 105-116.

[4] 彭妙颜,周锡韬. 国内外博物馆照明标准及其绿色照明技术的比较 [J]. 照明工程学报，2018，29(3):46-52.

[5] 杨宇铭,李燕,周天亮,等. 高显色指数 LED 光谱配比与色度参数的关系[J]. 照明工程学报,2019,30(5): 82-87.

[6] 孔荀，居家奇. 白光 LED 光谱调制对纺织品照明显色能力的影响[J]. 照明工程学报，2019,30（5）:99-106.

[7] 沈海平,冯华君,潘建根,等. LED 光谱数学模型及其应用（英文）[C]//走近 CIE26th———中国照明学会（2005）学术年会论文集. 北京：中国照明学会,2005.

[8] 李炳乾,俞理云,罗明浩,等. 荧光粉预沉淀对 COB 白光 LED 光色参数的影响 [J]. 半导体光电,2018,39(6): 824-827.

[9] Wu H,Dong J,Qi G,et al. Optimization of LED light spectrum to enhance colorfulness of illuminated objects with white light constraints [J]. Journal of the Optical Society of America A,2015,32 (7): 1262.

[10] 刘轩，王美玉，李毅，等. 阶梯状量子阱结构对蓝光 GaN 基 LED 性能的改善 [J]. 半导体技术，2019,44(10): 767-772.

[11] Zhong P，He G，Zhang M. Optimal spectra of white lightemitting diodes using quantum dot nanophosphors [J].Optics Express，2012，20 (80): 9122-9134.

[12] 左佳奇，龙兴明，冯媛媛，等. 环境温度和驱动电流对白光 LED 的温度敏感光学参数影响 [J]. 中国西部科技,2015,14 (3): 6-9.

[13] Erdem T，Demir H V. Color science of nanocrystal quantum dots for lighting and displays [J].Nanophotonics，2013，2 (1): 57-81.

（来源：《光谱学与光谱分析》）

BN/$CsPbX_3$复合纳米晶的制备及其白光LED应用

董宇辉，曾书玉，韩博宁，薛 洁，宋继中，曾海波
（南京理工大学 材料科学与工程学院，纳米光电材料研究所，新型显示材料与器件工信部重点实验室，
江苏 南京 210094）

摘要：

全无机钙钛矿（$CsPbX_3$）纳米晶因其出色的光电特性在光电子器件领域具有广泛应用，然而稳定性依然是制约其发展的瓶颈。本工作结合当前的研究进展，采用全固态反应，通过对球磨参数以及反应物配比等多种条件的调控研究，实现了在空气中可稳定放置 60 d 以上的 BN/$CsPbX_3$ 复合纳米晶荧光粉，其发光中心波长可覆盖 417~680 nm 的范围，发光峰半高宽为 23~47 nm，展示出极高的色纯度。在出色发光性能基础上，进一步将其直接应用于白光 LED 照明，获得了出色、稳定的发光性能。在空气中放置 1 m 后，其亮度衰减仅为 0.7 %，且连续工作 2 h 后，衰减程度小于 4 %，展现出优异的工作稳定性。

关键词：

无机钙钛矿；稳定性；全固态反应；白光 LED 应用

中图分类号：TQ174　**文献标识码：**A

BN/$CsPbX_3$ Composite Nanocrystals: Synthesis and Applications in White LED

DONG Yu-Hui, ZENG Shu-Yu, HAN Bo-Ning, XUE Jie, SONG Ji-Zhong, ZENG Hai-Bo
(MIIT Key Laboratory of Advanced Display Materials and Devices, Institute of Optoelectronics & Nanomaterials, School of Materials Science and Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: All inorganic perovskite ($CsPbX_3$) nanocrystals has wide applications in the field of optoelectronic devices due to its excellent photoelectric characteristics, however, stability is still the bottleneck restricting its development.Combining with the current research progress, the BN/$CsPbX_3$ composite nanocrystals phosphors was synthesized via all-solid-state reactions. During the process, parameters of ball milling, ratio of reactants and other reaction conditions were optimized, thus the BN/$CsPbX_3$ composite nanocrystals can be stable in the air for more than 60 days. Its luminescence wavelength can cover the range of 417-680 nm with

with full width at half maximum of 23-47 nm, showing high color purity, and was further used in white LED with high stability and luminance. After placed in the atmosphere for a month, the attenuation of LED luminance is only about 0.7%, and less than 4% deterioration was observed after continuous work of 2 h, showing great working stability.

Key words: all-inorganic perovskite; stability; all-solid-state reaction; white LED applications

前言

近几年，全无机钙钛矿纳米材料（尤其是 $CsPbX_3$, X=Cl, Br 或 I）因其超高的光致发光效率 (PL QY)、可调谐的发光波长、超窄的发光峰半高宽 (FHWM) 等成为发光领域的热点材料[1-3]，被广泛应用于白光照明[1,4]、发光二极管[5-6]、太阳能电池[7-8]、光电探测器[9-10]等光电子器件领域。在白光照明领域，基于 $CsPbX_3$ 极高的色纯度和发光效率，若能实现其荧光粉的大批量制备，可得到高亮度、广色域的照明光源。目前关于 $CsPbX_3$ 材料的制备、性质及应用等工作的报道已十分详尽，然而距离实际应用仍然非常遥远，制约其发展的瓶颈在于稳定性。由于 $CsPbX_3$ 自身的离子特性，其在空气稳定、水稳定、光稳定以及热稳定性方面均面临着严峻挑战[11]。当前用于解决稳定性的策略主要是通过在其表面包裹如 Si、SiO_2、大分子等材料[12-15]，以隔绝外界环境对它的影响，从而提高稳定性。但是以上方法主要通过溶液法完成包裹，由于钙钛矿的离子特性，对溶剂的选择相对困难，尤其是极性溶剂对其破坏作用较大；此外溶液法制备容易引入杂质，需要进行较为复杂的后处理过程，且会对环境造成污染[16-17]。

基于以上考虑，全固态合成 $CsPbX_3$ 纳米晶 (NCs) 是很好的解决方法，然而目前的报道十分匮乏[18]，且并未解决其稳定性的问题。本研究旨在采用全固态反应制备超稳定 $CsPbX_3$ NCs，制备过程无溶剂参与，亦无需进一步清洗或后处理，且为一步法的简单反应，有利于大批量制备。采用具有防水特性的 BN 与 $CsPbX_3$ NCs 进行复合，通过一步法的全固态球磨反应制备一系列超稳定的 $CsPbX_3$ NCs，通过改变卤素成分可实现 417~680 nm 的发光峰位调控。该方法制备的 $CsPbX_3$ NCs 荧光粉可在空气中稳定放置 60 d 以上，并基于合理的多色荧光粉配比，将其应用于白光 LED 照明领域，器件表现出优异的发光性及稳定性。

1 实验方法

$CsPbX_3$ NCs 的典型合成：等摩尔比的 CsX、PbX_2 (Macklin, 1 mmol)，微米级的 h-BN 粉末 (XFNANO, NO:XFBNO$_2$, 0.1 g)，以及双十二烷基二甲基溴化铵 (DDAB, Aladdin, 0.1 g)，在开放的氛围下将以上原料放入行星球磨机 (QM-3MP4) 的尼龙球磨罐中，并配备直径为 3 mm 的 ZrO_2 球，球料重量比为 30:1。行星球磨机的转速设置为 500 r/min，球磨 2~7 h 后获得均匀的 $CsPbX_3$ NCs。

白光 LED 的构筑：将 $CsPbX_3$ NCs 分散于 PMMA 的甲苯溶液中搅拌均匀，形成 $CsPbX_3$ NCs/PMMA 的混合溶液，将混合溶液滴涂在蓝光 LED 芯片（发光中心峰为 460 nm）上，真空下 60℃烘干约 12 h。

测试与表征手段：$CsPbX_3$ NCs 的结晶质量由 X 射线衍射 (XRD, Bruker-AXS D8 Advance) 表征。扫描电镜 (SEM) 及能谱 (EDS) 分析由 FEI Quanta 250F 设备完成。光致发光 (PL) 光谱通过荧光光谱仪测试 (Varian Cary

Eclipse)。LED 的器件性能测试通过电源(Keithley 2400)及外量子效率测试系统(C9920-12,Hamamatsu Photonics)进行评估。

2 结果与讨论

2.1 $CsPbX_3$ NCs 的可控制备

本文采用全固态球磨反应实现 $CsPbX_3$ NCs 的可控制备，并在一定程度上解决了其稳定性的关键问题，其合成示意图如图 1(a) 所示。整个合成过程没有惰性气体保护，未隔绝氧气和水，该反应模式可以制备大批量的 $CsPbX_3$ NCs 荧光粉，与工业化生产兼容性好。图 1(b) 为扩大规模制备的碘基红色荧光粉，在紫外光的照射下，发出红色的荧光，粉末并

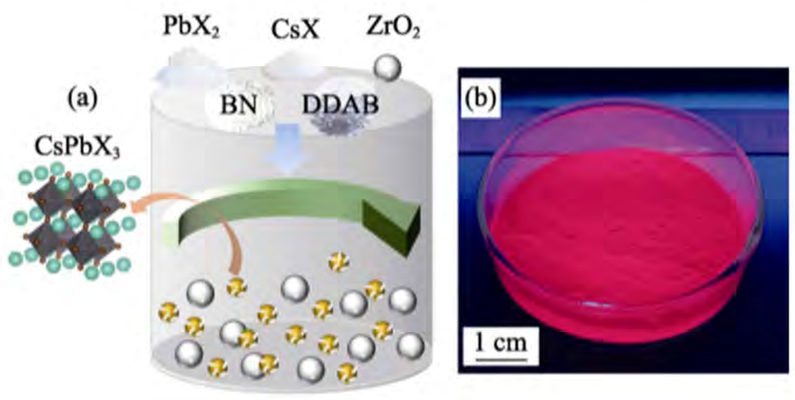


图 1　全固态球磨合成 $CsPbX_3$ NCs 示意图(a)和紫外光(365 nm)激发下的大产量红色钙钛矿荧光粉末照片(b)

Fig. 1　Scheme of the all-solid-state ball milling procedure fo synthesis of $CsPbX_3$ NCs (a) and optical image of large-scal red emission powder under UV light excitation (365 nm) (b)

未采取任何后处理。

为了系统地优化球磨条件，如研磨介质的大小、球料比、球磨转速等，研究其对 $CsPbX_3$ NCs 光学性能的影响，对不同反应条件制备的 $CsPbBr_3$ NCs 粉末 PL 光谱进行测试表征（图 S1~S3)。从磨介 ZrO_2 球的尺寸、球料比以及球磨转速三方面进行了研究，研究表明，在相同的测试条件下，磨介 ZrO_2 球尺寸为 3 mm、球料比为 30 : 1 以及转速为 500 r/min 时，$CsPbBr_3$ NCs 的发光性能最佳，且发光色纯度最高。

采用全固态球磨方法，通过调节原料中卤素的比例实现发光波长的调谐。其多色粉末的 PL 光谱见图 2(a)，由图可见，其发光峰位在 417~680 nm 的范围内可调，几乎覆盖整个可见光波段。相应的，其多色粉末的实物图见其插图，上层为自然光下的 $CsPbX_3$ NCs，而下层为 365 nm 紫外光辐照下的照片，可见该方法对于合成不同组分的 $CsPbX_3$ NCs 具有普适性，不仅如此，图中 $CsPbX_3$ NCs 发光谱的半峰宽 (FHWM) 均在 23~47 nm 的范围（发光性能汇总见表 S1)，展示了出色的发光色纯度。文献报道中有过饱和再结晶、微流体平台以及快速阴离子交换等溶液方法 [1, 17, 19-20]，表 S2 中详细对比了这些方法制得的 NCs 性能参数，研究表明本文报道的 $CsPbX_3$NCs 性能可与之比拟。可见该方法合成的 CsPbX3NCs 具有发光波长可调、高色纯度等优点，在白光 LED 应用领域有巨大潜力。考虑白光 LED 应用中的关键参数——色域，对所制备 CsPbX3 NCs 的色域进行测试表征，如图 2(b) 所示。其国际标准 NTSC 的色坐标分别为：蓝色 (0.155, 0.07)，绿色 (0.31,0.595)，红 (0.63, 0.34)，如图 2(b) 中黑色线所示。图中其余各点为球磨法制备的 $CsPbX_3$ NCs 色坐标，由图可知，

图 2　(a)不同组分 $CsPbX_3$ NCs 的 PL 光谱，内部插图为在正常日光和紫外光(黑色背景)下相应粉末的照片；(b)Pe-NCs 的色域光谱(内黑线为 NTSC)

Fig. 2　(a) PL emission spectra of $CsPbX_3$ NCs powder, the corresponding optical images under normal daylight and UV light (black background) were exhibited inside; (b) Color gamut spectra of perovskite NCs (the inner black line indicating NTSC)

本文报道的 $CsPbX_3$ NCs 表现出更广的显示色域，使颜色更鲜艳、还原度更高。其优良的发光性能将推进钙钛矿荧光粉在显示和照明领域的应用。

在成功制备了发光波长可调谐的 CsPbX3 荧光粉后，对其微观结构进行了进一步表征研究。图 3 为不同卤素比例 $CsPbX_3$ NCs 的 SEM 照片，分别对应于图 2 的九个典型样品。从图 3(a)~(e),Cl/Br 比例逐渐减小，原材料中对应的比值依次为 3/0、2.5/1、2/1、1/2 和 0/3;类似地，从图 3(f)~(i),Br/I 的比例逐渐减小，比例依次为 2/1、1/2、1/2.5 和 0/3。由图可知,NCs 的尺寸分布为几十至上百纳米，且不同组分的 CsPbX3 NCs 均具有较为均匀的尺寸。这是由于尽管没有溶剂参与反应过程，但是高速的球磨过程和研磨介质间的作用力提供了一个高温、高压的环境，有助于 $CsPbX_3$ NCs 的形核与生长[21-22]，结晶质量良好，并已由 XRD 验证（见图 S4)。以上结果说明全固态的球磨反应是一种普适的、可用于制备高结晶质量、发光波长可调 Pe-NCs 的方法，将推动钙钛矿在实际产业中的应用。

鉴于 $CsPbX_3$ NCs 的空气稳定性至关重要，将直接影响在器件中的应用，选取最难实现稳定性的 $CsPbI_3$ NCs 作为典型代表，对其在空气中的稳定性进行了测试表征。将 $CsPbI_3$ 粉末放置在开放的大气中，跟踪记录了 60 d 内的 PL 强度变化如图 4(a)。研究表明,$CsPbI_3$ 粉末的 PL 强度随着时间的推移衰减缓慢，在 2 m 后依然保持了初始值（PL QY 为 19.14%）的 80%，具有出色的稳定性，打破了 $CsPbI_3$ 荧光粉稳定性差的发展瓶颈。进一步对其结晶性进行同步跟踪监测（图 4(b)），亦未观察到结晶性的明显变化，表明在 60 d 的时间里，钙钛矿 $CsPbI_3$ NCs 并未发生明显相变过程，除了标示出的略微过量的 CsI，所有的峰位几乎保持着 $CsPbI_3$ 正交相，进一步验证了粉末的稳定性。而图 4(c) 为 $CsPbI_3$ 粉

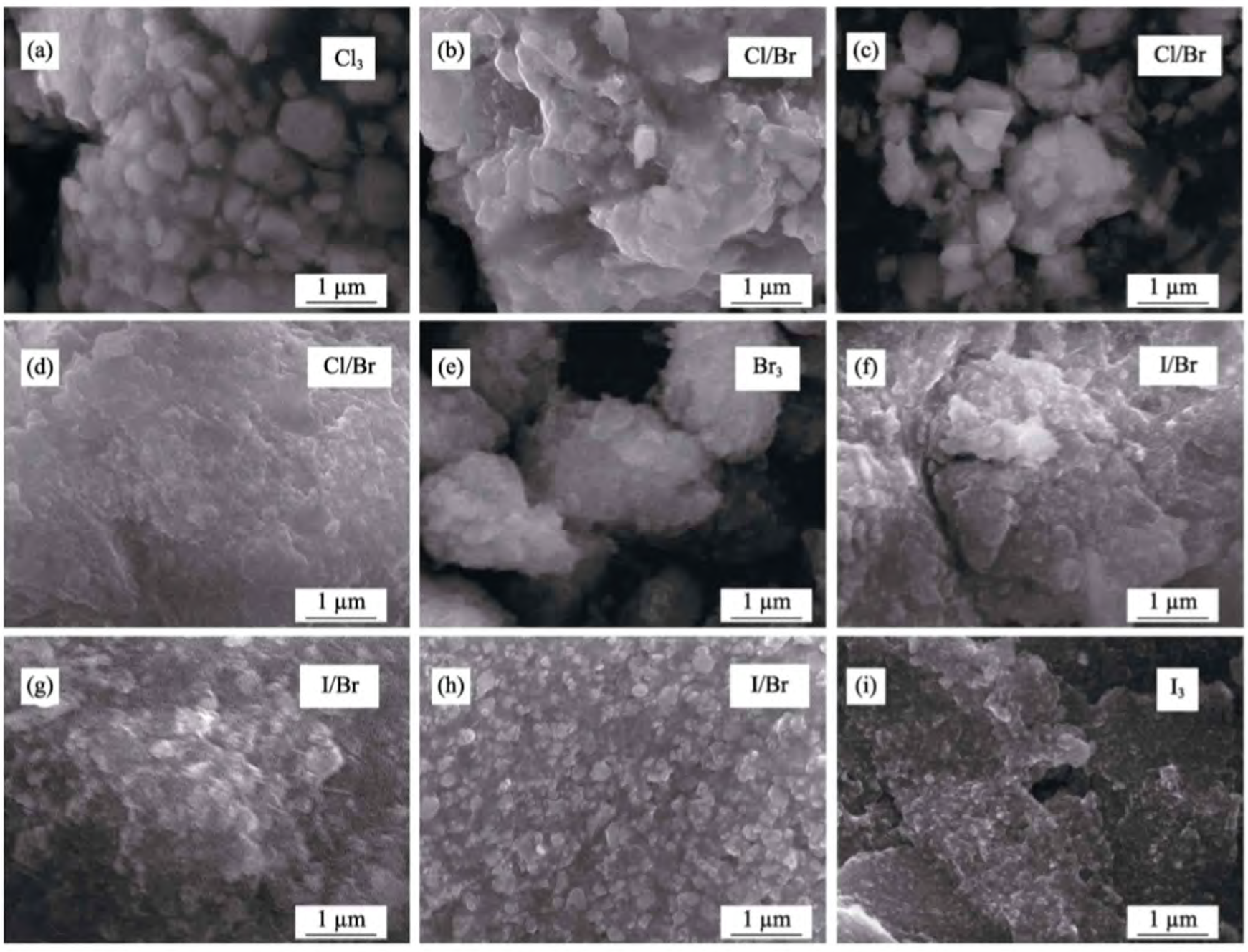


图 3　不同成分 $CsPbX_3$ NCs 的 SEM 照片表征，(a)~(i)分别对应图 2 中九个典型样品

Fig. 3　SEM images of $CsPbX_3$ NCs

(a-e): SEM images of $CsPbCl_xBr_{3-x}$ NCs, the content of Br increases from (a) to (e); (f-i): SEM images of $CsPbI_xBr_{3-x}$ NCs, the proportion of Br decreases from (f) to (i)

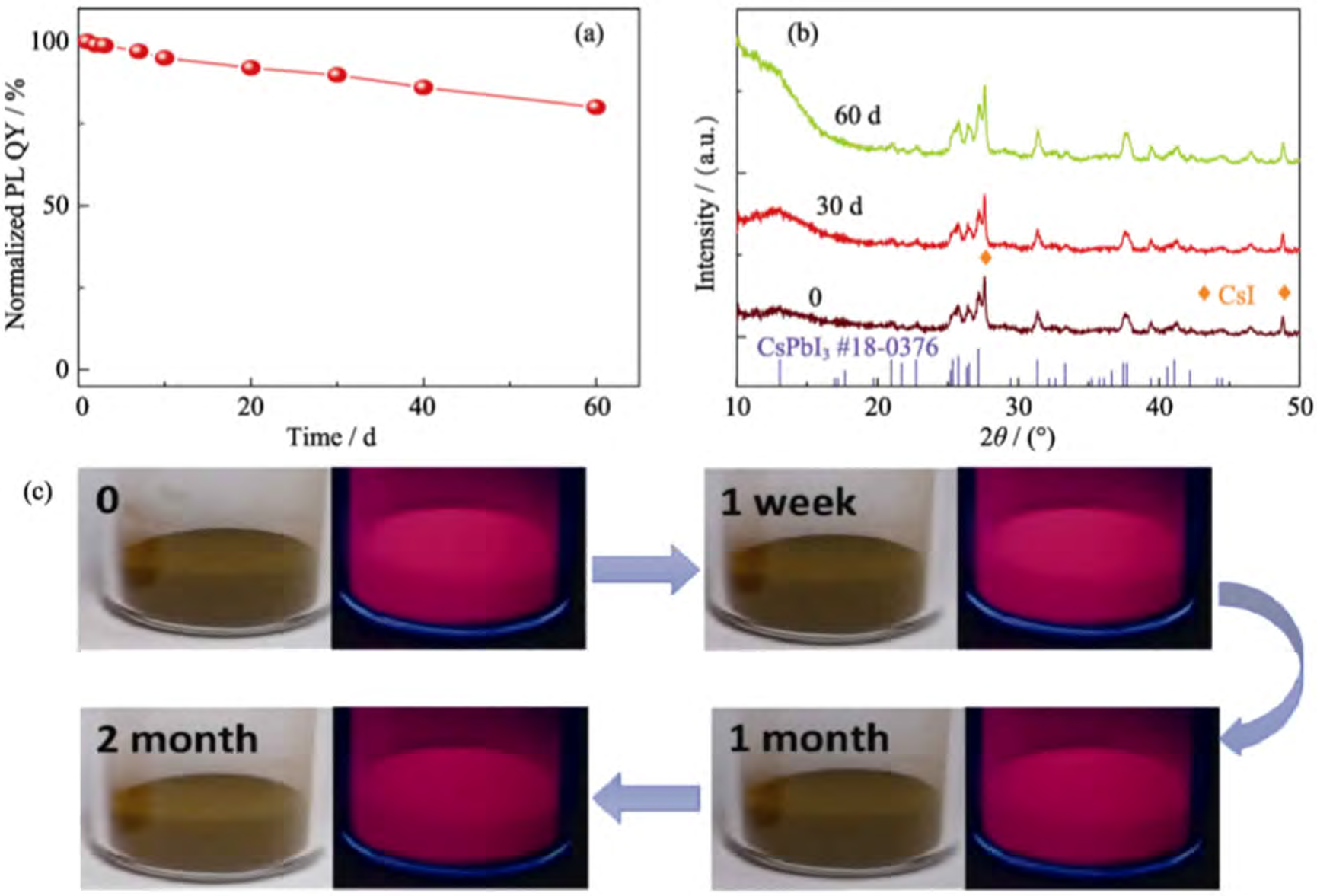


图 4　空气中稳定的 $CsPbI_3$ NCs 粉末

Fig. 4　The air stability of $CsPbI_3$ NCs powder

(a) The PL stability exposed in air; (b) X-ray diffraction (XRD) pattern of $CsPbI_3$ NCs powder; (c) Photographs of the powder samples with time changing under the sunlight (left) and UV light (right)

末在自然光和紫外光下的实物变化过程。由图可见，随着时间推移，在放置 60 d 后，其发光强度与初始情况相比仅有略微的降低，即使在潮湿的空气中，亦表现出优异的空气稳定性，将打破 $CsPbX_3$ NCs 的应用限制，拓宽其适用的范围。

本研究通过复合 BN 粉末制备了高稳定的 $CsPbI_3$ NCs 粉末，利用 BN 对钙钛矿进行包裹，达到隔绝水氧的作用，其用量将起到至关重要的作用。图 5(a) 为不同 BN 用量对粉末发光稳定性的调控。由图可知，当原料中 BN 的含量过低时，$CsPbI_3$ NCs 粉末的发光十分不稳定，不到 1 d，荧光便淬灭，这是由于包裹量过少，而 $CsPbI_3$ 在暴露的空气中十分不稳定。而当 BN 含量不断增加，其发光稳定性得到明显提升。当添加量为 0.1 g 时，荧光强度 1 w 内均未出现明显衰减，与图 4 中结果相吻合。然而当进一步增加 BN 用量，荧光强度将出现显著衰减（图 S5），这可能是由于过量的 BN 影响了钙钛矿粉末的合成过程，因此，本文中将 BN 的用量固定为 0.1 g。对于此配比制备的 $CsPbI_3$ 粉末也采用 SEM 及 EDS 进行了分析，如图 5(b) 和 (c) 所示。研究表明，由于无溶剂参与反应过程，图 5(b) 的大范围 SEM 照片中粉末有轻微的团聚，与图 3 结果相似，但不影响其性能。其相应的 EDS 元素分析图谱在图 5(c) 中呈现，可知粉末中 B 和 N，与 Cs、Pb 和 I 的分布几乎完全同步，说明 BN 在大范围内分布均匀，球磨反应十分充分。此外，在元素成分中亦看到了少量的 Br，这是由于使用的表面活性剂 DDAB 中含有一定量的 Br，分布也十分均匀。在图 S6 中也进一步得到了验证，其含量约为 7.67%。

在前文叙述中，已经制得在敞开的环境中可稳定存在的钙钛矿荧光粉末，在此基础上，结合蓝光 LED 芯片，将其应用于白光 LED 中，并对元器件的性能进行表征分析。在构筑白光 LED 时，绿色的 $CsPbBr_3$ 粉末与红色钙钛矿粉末 (I/Br 的比例为 2.5/1) 按照一定比例混合后分散于 PMMA 的甲苯溶液中，

将分散液滴涂于蓝色 LED 芯片上，封装后即完成器件的组装，其示意图见图 6(a)。器件发光的颜色可通过改变红 / 绿 Pe-NCs 粉末的用量实现调控，图 6(b) 为三种典型发光的电致发光光谱，分别为偏绿白光、白光以及偏红白光。三种光谱均包含红绿蓝三个发光峰，分别对应着红、绿 Pe-NCs 以及芯片自身的蓝光。其中，绿光发光峰中心位于 532 nm，红光为 650 nm，与图 2 中同组分 CsPbX3 NCs 的发光峰位完全吻合，没有偏移，说明荧光粉的发光性质未发生变化。进一步对白光 LED 的发光进行了表征，其发光情况如图 6(c) 所示，研究表明，在 2.5 V（启亮电压）时其发光相对较弱，随着电压逐步增大，其发光亮度也随之明显升高，较高的亮度完全可以满足照明的应用需求。

在实际应用中，除了发光情况值得考评，器件工作的稳定性也十分重要。为了检验 $CsPbX_3$ NCs 基白光 LED 的稳定性，在无保护措施的情况下将其暴露于空气中放置一段时间，并检测期间发光的稳定性变化（图 7(a)）。正如预期，$CsPbX_3$ NCs 的稳定性表现良好，器件的发光强度在 30 d 时间内几乎没有衰减，仅降低了 0.7%，完全不影响使用。此外，考虑到生活中照明设备常常需要连续工作，进一步测试表征了连续工作下的稳定性。在 2.7 V 的工作电压下，将 LED 连续点亮工作 2 h 后，重新测试其发光性能。研究表明，经过长时间的连续工作后，LED 的发光强度仅从 4.9×10^5 cd/m² 变为 4.7×10^5 cd/m² 衰减

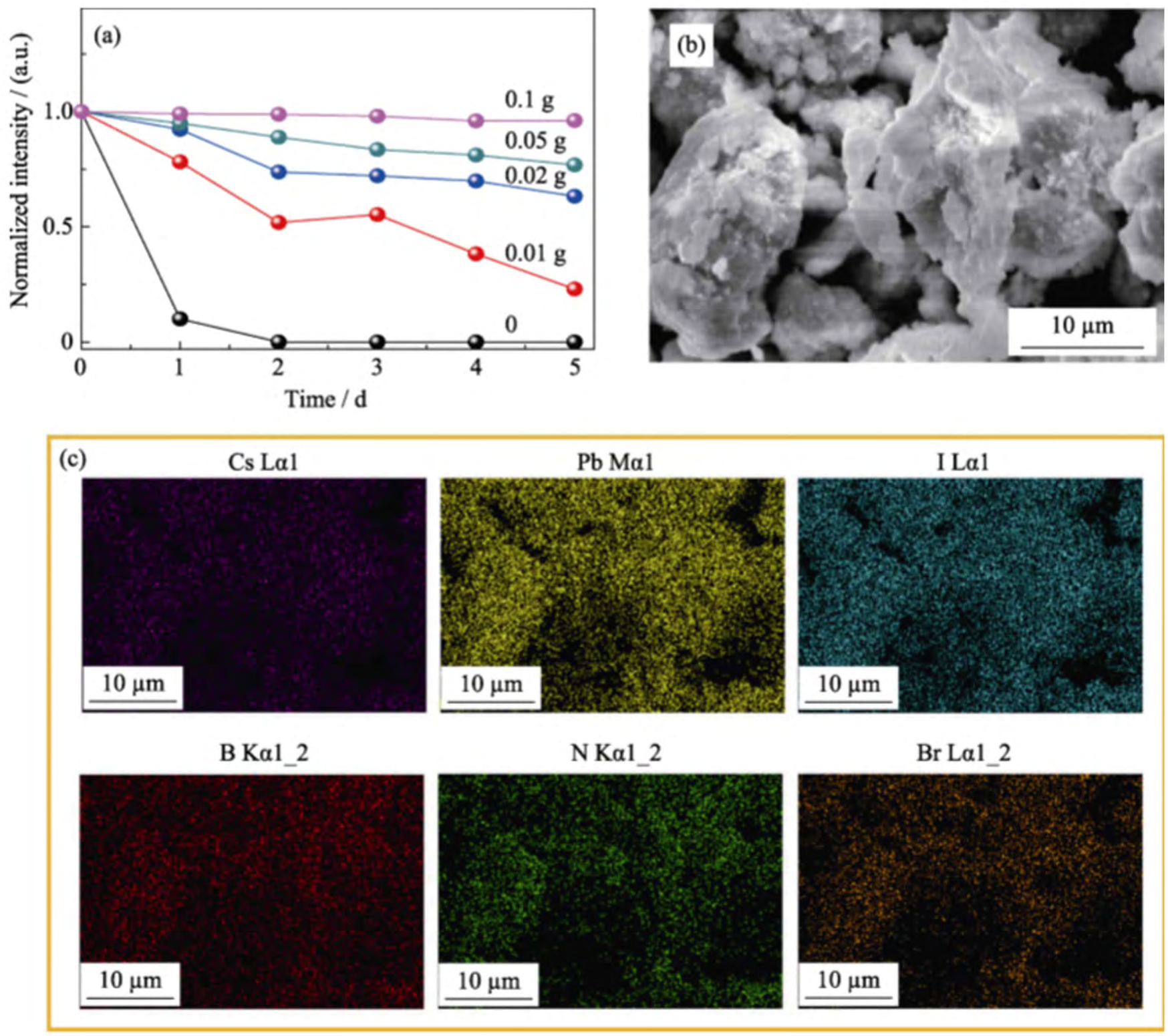


图 5　$CsPbI_3$ NCs 的稳定性分析

Fig. 5　Analysis of air stability of $CsPbI_3$ NCs

(a) Stability test of $CsPbI_3$ NCs powder with different BN quantity; (b) SEM image of $CsPbI_3$ NCs; (c) Energy dispersive spectroscopy (EDS) mapping images of (b)

将分散液滴涂于蓝色 LED 芯片上，封装后即完成器件的组装，其示意图见图 6(a)。器件发光的颜色可通过改变红 / 绿 Pe-NCs 粉末的用量实现调控，图 6(b) 为三种典型发光的电致发光光谱，分别为偏绿白光、白光以及偏红白光。三种光谱均包含红绿蓝三个发光峰，分别对应着红、绿 Pe-NCs 以及芯片自身的蓝光。其中，绿光发光峰中心位于 532 nm，红光为 650 nm，与图 2 中同组分 CsPbX3 NCs 的发光峰位完全吻合，没有偏移，说明荧光粉的发光性质未发生变化。进一步对白光 LED 的发光进行了表征，其发光情况如图 6(c) 所示，研究表明，在 2.5 V（启亮电压）时其发光相对较弱，随着电压逐步增大，其发光亮度也随之明显升高，较高的亮度完全可以满足照明的应用需求。

在实际应用中，除了发光情况值得考评，器件工作的稳定性也十分重要。为了检验 $CsPbX_3$ NCs 基白光 LED 的稳定性，在无保护措施的情况下将其暴露于空气中放置一段时间，并检测期间发光的稳定性变化（图 7(a)）。正如预期，$CsPbX_3$ NCs 的稳定性表现良好，器件的发光强度在 30 d 时间内几乎没有衰减，仅降低了 0.7%，完全不影响使用。此外，考虑到生活中照明设备常常需要连续工作，进一步测试表征了连续工作下的稳定性。在 2.7 V 的工作电压下，将 LED 连续点亮工作 2 h 后，重新测试其发光性能。研究表明，经过长时间的连续工作后，LED 的发光强度仅从 4.9×10^5 cd/m² 变为 4.7×10^5 cd/m² 衰减

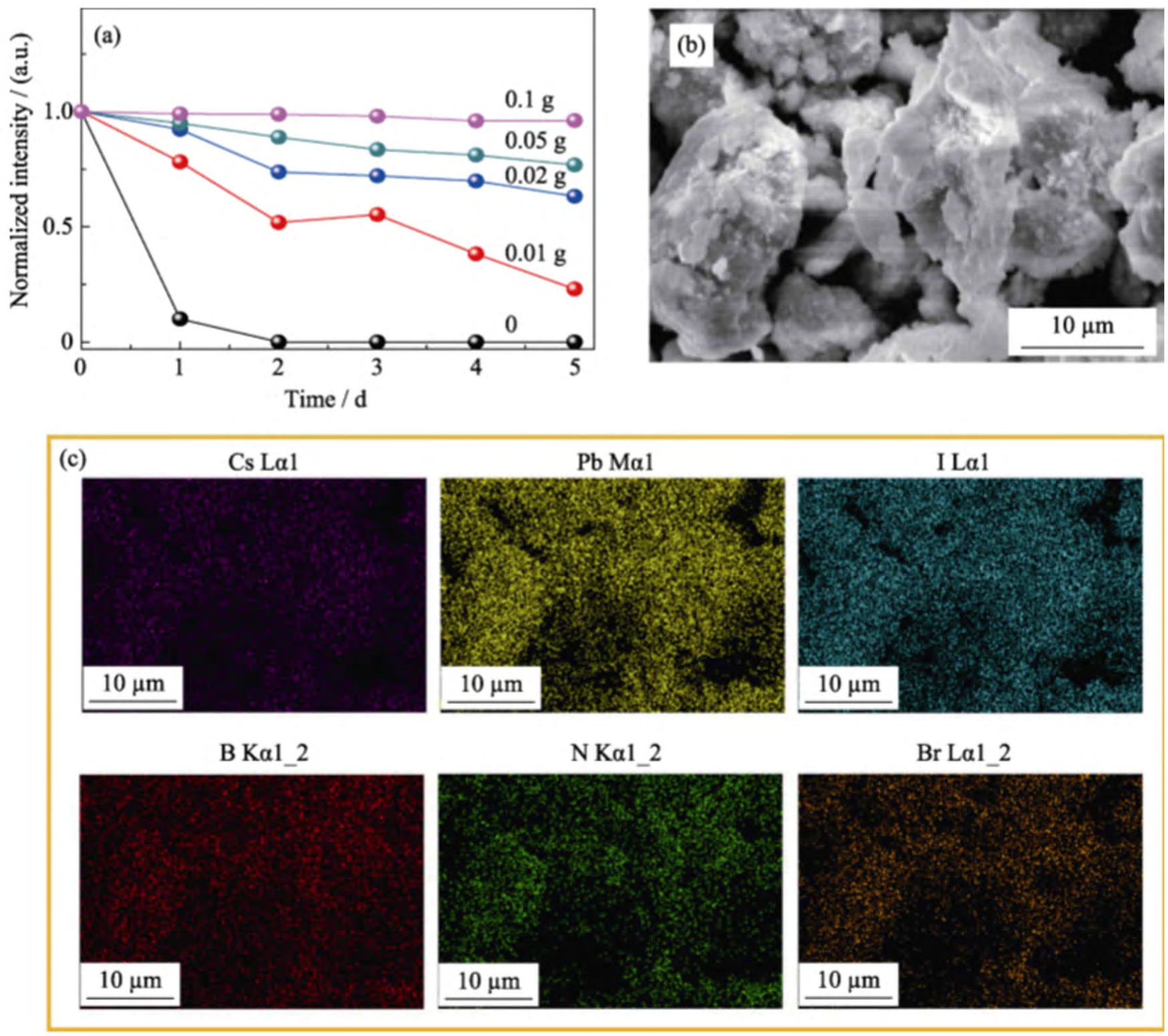
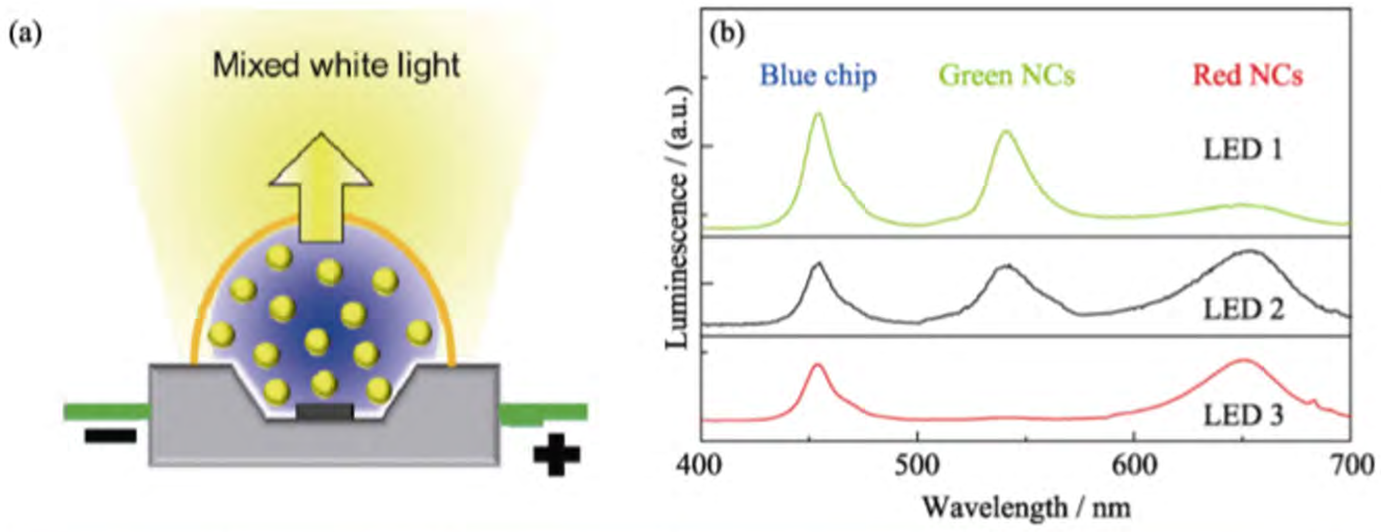


图 5　$CsPbI_3$ NCs 的稳定性分析

Fig. 5　Analysis of air stability of $CsPbI_3$ NCs

(a) Stability test of $CsPbI_3$ NCs powder with different BN quantity; (b) SEM image of $CsPbI_3$ NCs; (c) Energy dispersive spectroscopy (EDS) mapping images of (b)



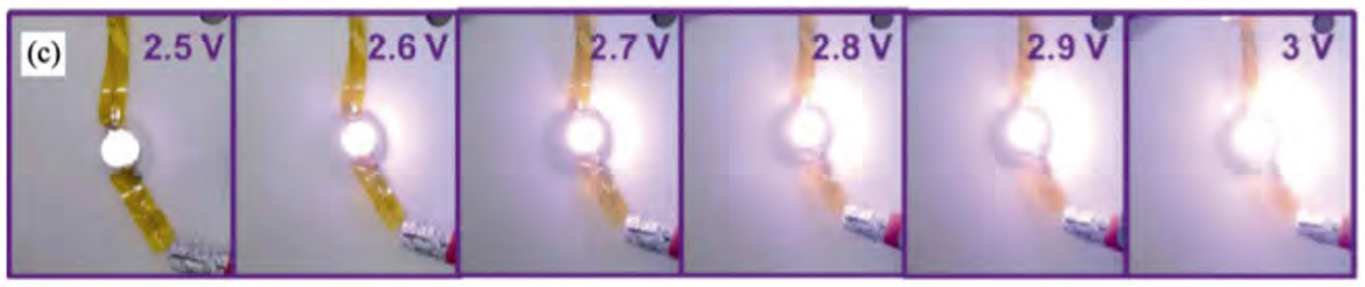


图 6　Pe-NCs 构筑的白光 LED

Fig. 6　Proof-of-concept demonstration of white LED by blending green and red Pe-NCs on a commercial blue LED chip
(a) Schematically depicts the packing method of white LED; (b) EL spectra of three typical devices exhibiting (1) green-white, (2) white, and (3) red-white; (c) Photographs of the white LED under different operating voltage

幅度小于 4%，不影响正常工作。如此出色的工作稳定性使得钙钛矿荧光粉在显示、照明等领域展现出广阔的前景。下一步工作将致力于进一步提升钙钛矿荧光粉的亮度、稳定性等性能，推进其在该领域的应用进程。

3 讨论

本文采用全固态球磨反应实现了全无机钙钛矿复合纳米晶荧光粉的制备。通过调节球磨原料中的卤素比例，可实现发光中心波长在 417~680 nm 范围的调控。采用具有防水性质的 BN 与 CsPbX3 纳米晶进行复合，获得了可在空气中稳定放置 60 d 以上的钙钛矿荧光粉末。进一步将该荧光粉直接应用于白光 LED 照明领域，获得了出色、稳定的发光性能。在空气中放置一个月亮度衰减 0.7%，连续工作 2 h 后，衰减 <4%，表现出较高的稳定性，将为发光照明领域的应用奠定基础。

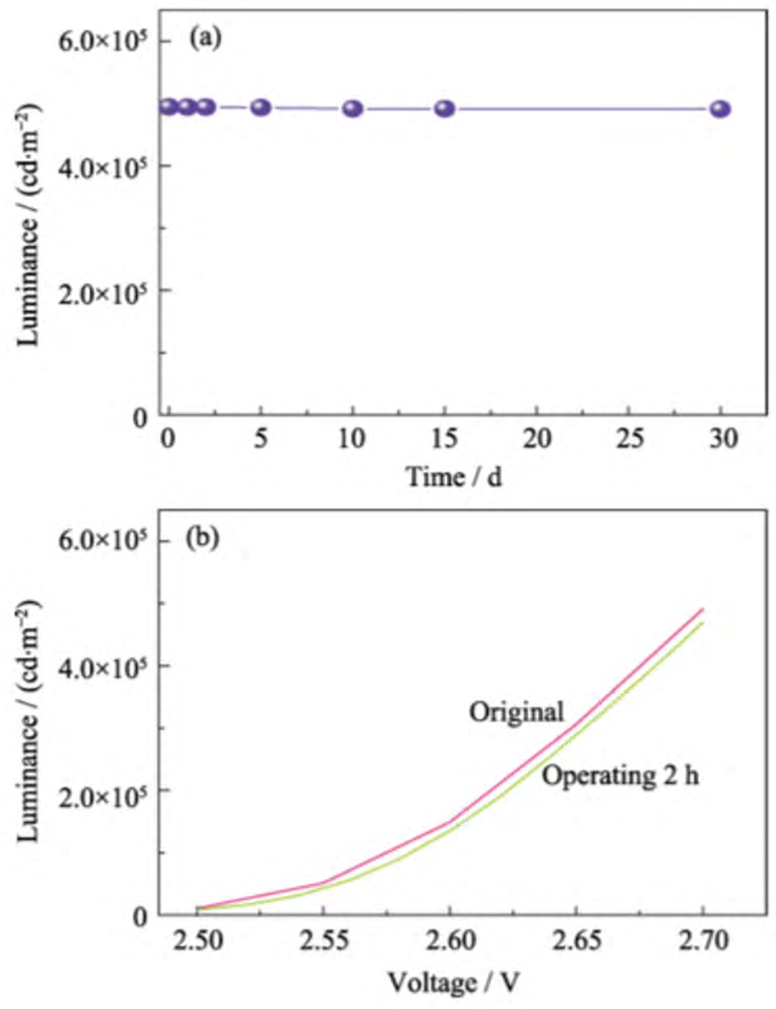


图 7　白光 LED 的稳定性

Fig. 7　The stability of white-light LED
(a) The luminance stability of white-light LED placed in the air measured at the voltage of 2.7 V; (b) The working stability of the white-light LED after continuous operating for 2 h

参考文献

[1] LI X M, WU Y, ZHANG S L, et al. $CsPbX_3$ quantum dots for lighting and displays: room-temperature synthesis, photoluminescence superiorities, underlying origins and white light-emitting diodes. Advanced Functional Materials, 2016, 26(15): 2435－2445.

[2] LI X M, CAO F, YU D J, et al. All inorganic halide perovskites nanosystem: synthesis, structural features, optical properties and ptoelectronic applications. Small, 2017, 13(9): 1603996－1－24.

[3] LI X M, YU D J, CAO F, et al. Healing all-inorganic perovskite films via recyclable dissolution-recyrstallization for

compact and smooth carrier channels of optoelectronic devices with high stability. Advanced Functional Materials, 2016, 26(32): 5903-5912.

[4] YAO E P, YANG Z, MENG L, et al. High-brightness blue and white leds based on inorganic perovskite nanocrystals and their composites. Advanced Materials, 2017, 29(23): 1606859-1-7.

[5] SONG J Z, LI J H, LI X M, et al. Quantum dot light-emitting diodes based on inorganic perovskite cesium lead halides ($CsPbX_3$). Advanced Materials, 2015, 27(44): 7162-7167.

[6] LI J H, XU L M, WANG T, et al. 50-fold eqe improvement up to 6.27% of solution-processed all-inorganic perovskite $CsPbBr_3$ QLEDs via surface ligand density control. Advanced Materials, 2017, 29(5): 1603885-1-9.

[7] JIANG W L, ZHOU W, YING J F, et al. Thermal stable perovskite solar cells improved by ZnO/graphene oxide as electron transfer layers. Journal of Inorganic Materials, 2017, 32(1): 96-100.

[8] YANG Y, GAO J, CUI J R, et al. Research progress of perovskite solar cells. Journal of Inorganic Materials, 2015, 30(11): 1131-1138.

[9] DONG Y H, GU Y, ZOU Y S, et al. Improving all-inorganic perovskite photodetectors by preferred orientation and plasmonic effect. Small, 2016, 12(40): 5622-5632.

[10] SONG J Z, XU L M, LI J H, et al. Monolayer and few-layer all-inorganic perovskites as a new family of two-dimensional semiconductors for printable optoelectronic devices. Advanced Materials, 2016, 28(24): 4861-4869.

[11] WANG Y, LI X M, SONG J Z, et al. All-inorganic colloidal perovskite quantum dots: a new class of lasing materials with favorable characteristics. Advanced Materials, 2015, 27(44): 7101-7108.

[12] LI X M, WANG Y, SUN H D, et al. Amino-mediated anchoring perovskite quantum dots for stable and low-threshold random lasing. Advanced Materials, 2017, 29(36): 1701185-1-9.

[13] RAJA S N, BEKENSTEIN Y, KOC M A, et al. Encapsulation of perovskite nanocrystals into macroscale polymer matrices: enhanced stability and polarization. ACS Appl. Mater. Interfaces, 2016, 8(51): 35523-35533.

[14] LI Z, KONG L, HUANG S, et al. Highly luminescent and ultrastable $CsPbBr_3$ perovskite quantum dots incorporated into a silica/alumina monolith. Angewandte Chemie International Edition, 2017, 129(28): 8246-8250.

[15] KOJIMA A, IKEGAMI M, TESHIMA K, et al. Highly luminescent lead bromide perovskite nanoparticles synthesized with porous alumina media. Chemistry Letters, 2012, 41(4): 397-399.

[16] AKKERMAN Q A, D'INNOCENZO V, ACCORNERO S, et al. Tuning the optical properties of cesium lead halide perovskite nanocrystals by anion exchange reactions. Journal of the American Chemical Society, 2015, 137(32): 10276-10281.

[17] LIGNOS I, STAVRAKIS S, NEDELCU G, et al. Synthesis of cesium lead halide perovskite nanocrystals in a droplet-based microfluidic platform: fast parametric space mapping. Nano Letters, 2016, 16(3): 1869-1877.

[18] ZHU Z Y, YANG Q Q, GAO L F, et al. Solvent-free mechanosynthesis of composition-tunable cesium lead halide perovskite quantum dots. Journal of Physical Chemistry

Letters, 2017, 8(7):1610－1614.

[19] PROTESESCU L, YAKUNIN S, BODNARCHUK M I, et al.Nanocrystals of cesium lead halide perovskites (CsPbX3, X = Cl,Br, and I): novel optoelectronic materials showing bright emission with wide color gamut. Nano Lett., 2015, 15(6): 3692－3696.

[20] NEDELCU G, PROTESESCU L, YAKUNIN S, et al. Fast anionexchange in highly luminescent nanocrystals of cesium lead halide perovskites ($CsPbX_3$, X = Cl, Br, I). Nano Lett., 2015, 15(8):5635－5640.

[21] JODLOWSKI AD, YEPEZ A, LUQUE R, et al. Benign-by-design solventless mechanochemical synthesis of three-, two-, and one-dimensional hybrid perovskites. Angewandte Chemie International Edititon, 2017, 55(48): 14972－14977.

[22] MANUKYAN K V, YEGHISHYAN A V, MOSKOVSKIKH D O,et al. Mechanochemical synthesis of methylammonium lead iodide perovskite. Journal of Materials Science, 2016, 51(19): 9123－9130.

Supporting information:

$BN/CsPbX_3$复合纳米晶的制备及其白光LED应用

董宇辉，曾书玉，韩博宁，薛 洁，宋继中，曾海波

（南京理工大学 材料科学与工程学院，纳米光电材料研究所，新型显示材料与器件工信部重点实验室，江苏 南京 210094）

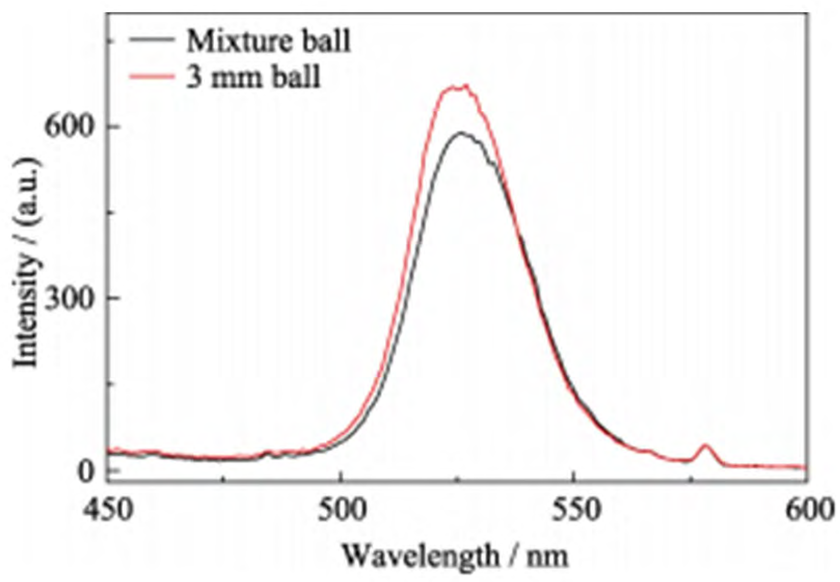


图 S1 不同比例磨球制备 $CsPbBr_3$ 纳米晶粉末的 PL 光谱

Fig. S1 PL intensity of $CsPbBr_3$ NCs powder with different size of grind medium under the same test condition

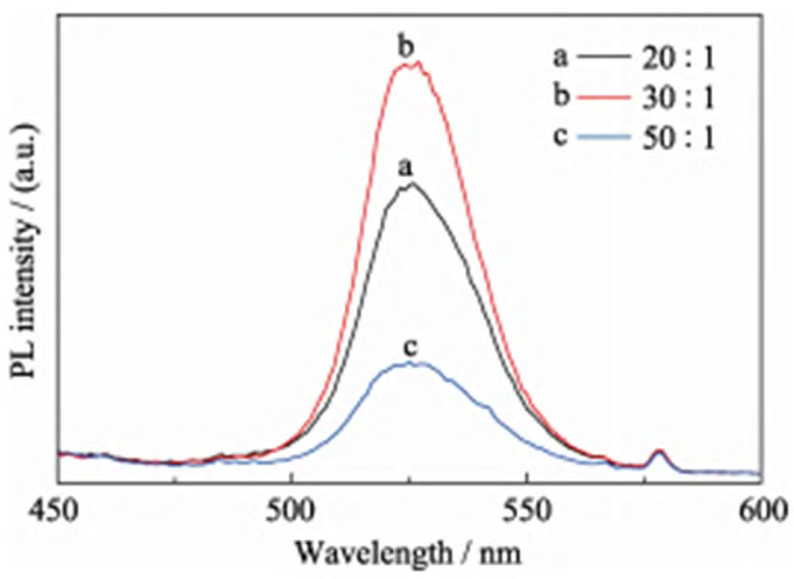


图 S2 不同球料比制备 $CsPbBr_3$ 纳米晶粉末的 PL 光谱强度

Fig. S2 PL intensity of $CsPbBr_3$ NCs powder with different ball-to-powder ratio under the same condition

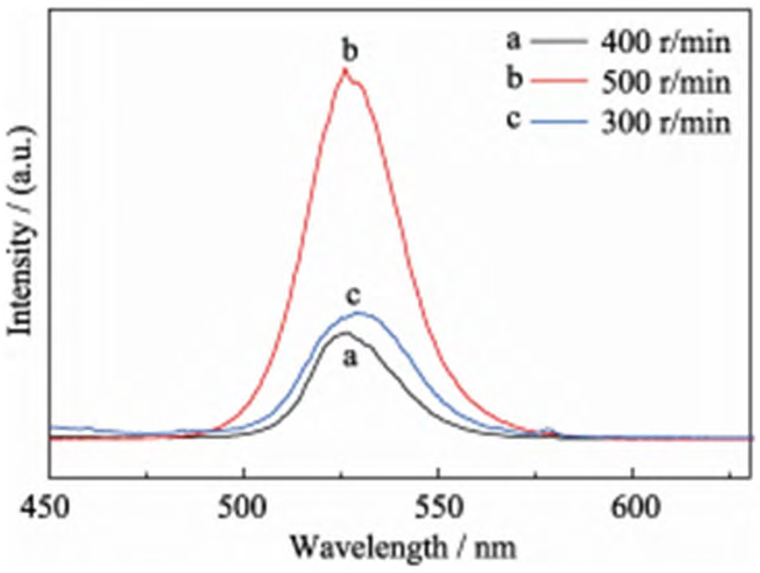


图 S3 不同球磨转速下制备 $CsPbBr_3$ 纳米晶粉末的 PL 光谱强度

Fig. S3 PL spectra of $CsPbBr_3$ NCs powder with various rotation speed of the planetary mill

表 S1 不同卤素配比的 $CsPbX_3$ 发光性能汇总

Table S1 Comprehensive comparisons for the representative perovskite NCs

$CsPbX_3$	Emission peak/nm	FWHM/nm	$CsPbX_3$	Emission peak/nm	FWHM/nm
$CsPbCl_3$	417	23	$CsPbIBr_2$	551	41
$CsPbCl_{2.14}Br_{0.86}$	430	23	$CsPbI_2Br$	605	47
$CsPbCl_2Br$	447	27	$CsPbI_{2.14}Br_{0.86}$	642	46
$CsPbClBr_2$	483	38	$CsPbI_3$	680	40
$CsPbBr_3$	532	33			

表 S2 本文 $CsPbX_3$ 与典型溶液法制备的发光性能对比

Table S2 Comparison of FWHM of $CsPbX_3$ with typical solution synthesis

Sample	Synthetic methods	FWHM/nm	Color/nm	Ref.
$CsPbX_3$(X=Cl, Br, I)	All-solid-state ball milling	23−47	417−680	This work
$CsPbX_3$(X=Cl, Br, I)	Supersaturated recrystallization	12−39	400−650	[1]
$CsPbX_3$($CsPb(Br/Cl)_3$ -$CsPbI_3$)	Droplet-based microfluidic platform	20−45	470−690	[2]
$CsPbX_3$(X=Cl, Br, I)	Fast Anion-Exchange	12−40	410−700	[3]

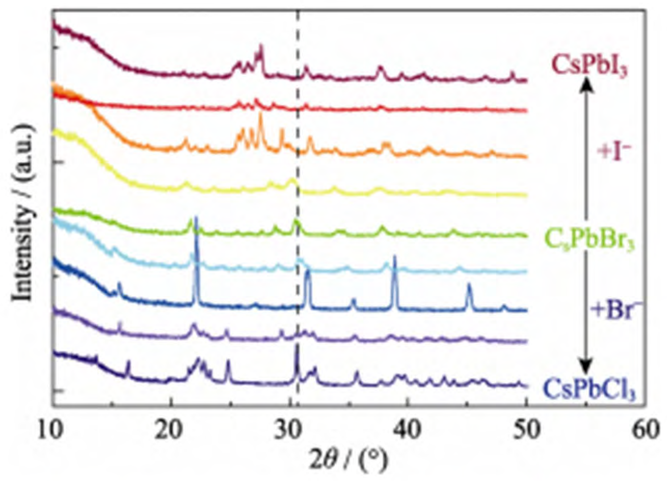


图 S4 不同卤素配比的 $CsPbX_3$ 粉末 XRD 谱图

Fig. S4 The X-Ray diffraction spectra of $CsPbX_3$ NCs powder with various halogen ratios

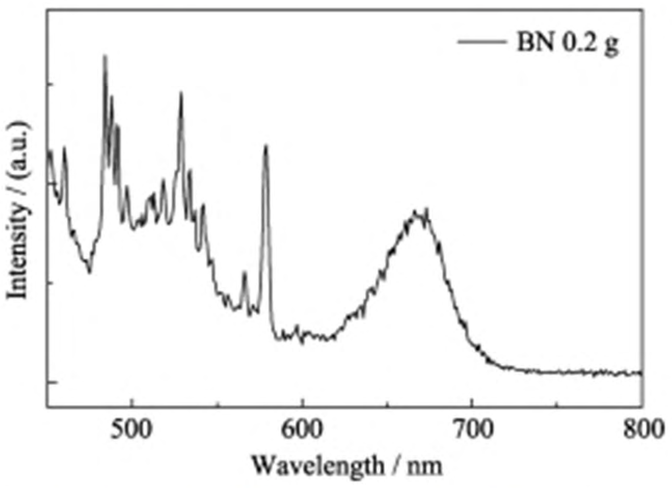
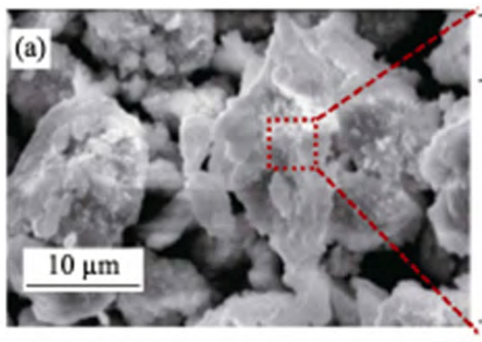


图 S5 BN 用量为 0.2 g 时 $CsPbI_3$ 粉末的 PL 光谱

Fig. S5 The PL spectrum of $CsPbI_3$ powder adding amount of 0.2 g of BN



Element	wt%	at%
Br	4.43	7.67
I	53.40	58.29
Cs	15.61	16.27
Pb	26.57	17.77

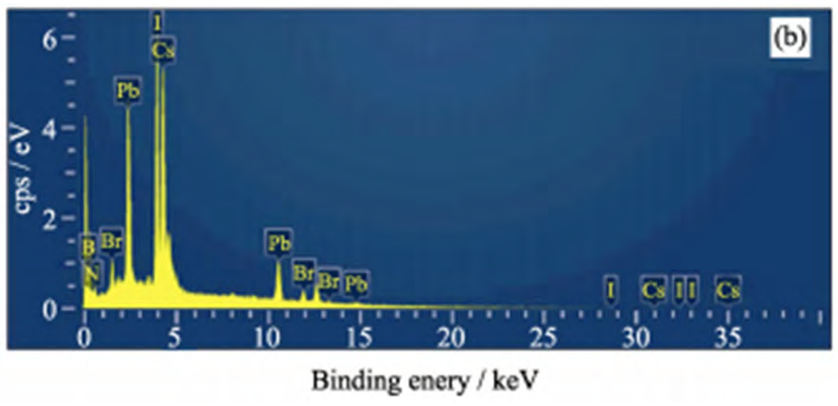


图 S6 $CsPbI_3$ 粉末的 SEM 照片和元素比例(a)以及 EDS 能谱(b)

Fig. S6 EDS information of $CsPbI_3$ NCs powder

(a) SEM image with corresponding atomic percentage information; (b) EDS spectrum of $CsPbI_3$ NCs

References:

[1] LI X, WU Y, ZHANG S, *et al*. $CsPbX_3$ quantum dots for lighting and displays: room-temperature synthesis, photoluminescence superiorities, underlying origins and white light-emitting diodes. *Adv Funct. Mater.*, 2016, 26(15): 2435－2445.

[2] LIGNOS I, STAVRAKIS S, NEDELCU G, *et al*. Synthesis of cesium lead halide perovskite nano-

crystals in a droplet-based microfluidic platform: fast parametric space mapping. *Nano Lett.*, 2016, 16(3): 1869－1877.

[3] NEDELCU G, PROTESESCU L, YAKUNIN S, *et al*. Fast anion-exchange in highly luminescent nanocrystals of cesium lead halide perovskites($CsPbX_3$, X = Cl, Br, I). *Nano Lett.*, 2015, 15(8): 5635－5640.

（来源：《无机材料学报》）

《电气照明》征稿启事

《电气照明》是江苏省照明学会内部发行的专业刊物(季刊)，主要刊载照明领域的科研学术，技术研究，照明工程、行业动态、经营管理等相关文章。

一、征稿人员

照明相关领域专家、学者、教师、在校生，照明行业工作人员，以及对照明领域感兴趣的人员。

二、征稿要求及说明

1. 来稿的著作权和版权由作者负责，不得侵犯第三方的权益，所有来稿引用部分文字的要在参考文献中注明；署名和作者单位无误。编辑部对来稿有权作技术性和文字性修改，不同意删改的请在来稿中声明。

2.《电气照明》采用电子投稿。稿件请注明作者姓名、工作单位、通讯地址、联系电话等，以便联系有关事宜；文稿一经采用付给稿费，对以电子邮件方式投稿者，本刊均以电子邮件方式将处理结果告诉作者，请及时查收电子邮箱。

三、收稿地址

投稿信箱：jszmxh@126.com

联系电话：025-58806897、18061464118

联 系 人：王莹莹

声明：本期刊为江苏省照明学会内刊，仅供内部交流使用，版权归原作者或原期刊所有，如有侵权请联系本期刊编辑部

LED植物照明原理、推广难题与研究进展

LED植物照明原理、推广难题与研究进展

南京农业大学 农学院

徐志刚 博士生导师 教授

汇报内容

一、原理

二、难题与求解

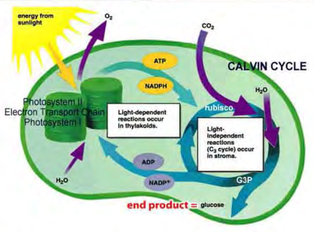
三、研究进展

光对植物有3大基础作用

光形态建成：植物依赖光控制自身细胞的分化、结构和功能的改变，最终汇集成组织和器官的建成，即以光控制植物发育的过程。

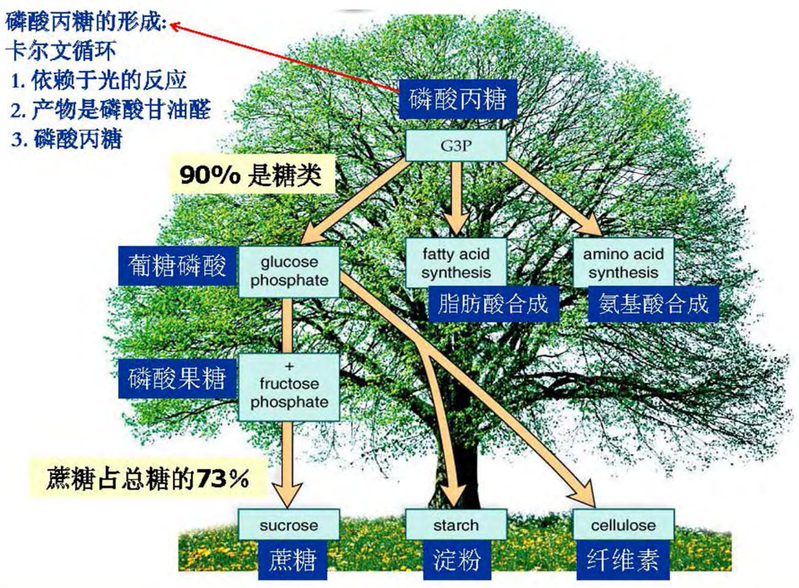


光合作用：在光的照射下，经过光反应和碳反应，在叶绿体内，将二氧化碳和水转化为有机物，并释放出氧气的生化过程。



调控生理节律：生物钟通过调控导引节律的相位来调节植物的生理活动。生物钟一定范围内受光的引导，通过光敏色素(PHYs)、隐花色素(CRYs)和紫外光-B受体的光信号通路调控生物钟成分以达到这种导引。

磷酸丙糖的形成:
卡尔文循环
1. 依赖于光的反应
2. 产物是磷酸甘油醛
3. 磷酸丙糖



一、原理

外界环境影响着植物的生长发育，其中以光影响最大。光对植物的影响主要有两个方面：

其一，光是绿色植物光合作用必需的；

其二，光调节植物整个生长发育，以使植物更好地适应外界环境。

一、原理

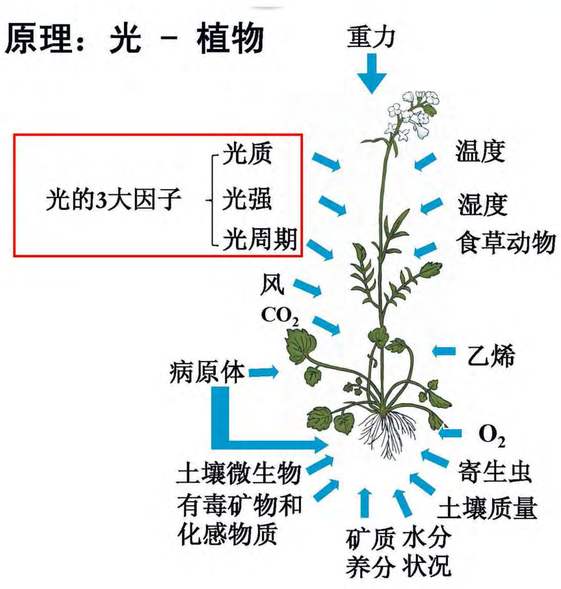
（一）光对植物的主要作用之一：光合作用

迄今为止，植物光合作用是人类赖以生存和发展的基础和源泉。（Photosynthesis）

光合作用不仅为人类提供衣食，为人类提供氧气，而且发挥固碳功能，为全球生物圈的碳平衡调节做出主要贡献。

光合作用离不开光，影响光合作用效率的主要涉光因素是光密度和光谱分布。

一、原理：光 - 植物



光在植物生长环境因子中所处的位置

一、原理 ----（一）光合作用

在自然界，随着季节、天气、地域和时段的变化，光密度和光谱分布均有所变化。植物适应这种变化，进化出各具特点的高效利用光能的生存策略，为其生长发育服务。

我们需要研究不同季节、不同地域、不同阶段，植物对光密度和光谱分布的需求规律，实施针对性的按需给光，寻求 因时、因地、因品种的优化的动态给光模式，实现低能耗和高效生长的目标。

一、原理

（二）光对植物的重要作用之二：形态建成

植物依赖光控制细胞的分化、结构和功能的改变，最终汇集成组织和器官的建成，即：光控制植物发育的过程，称为光形态建成（photo morphogenesis）。

光以信号的方式作用于植物的形态建成。

一、原理 ----（二）形态建成

光形态建成是低能反应，与光谱有关。

形态建成依赖于光受体，感知光信号：

1、光受体主要包括光敏色素（与红光有关）、

2、隐花色素（与蓝光有关）、

3、紫外光－B受体

一、原理

（三）光对植物的重要作用之三：调控生理节律

1、植物逐时节律性,又称昼夜节律(Circadian rhythm)或生物钟，指在小时尺度上表现出每日周期性昼夜变化的节律性。

植物的许多生理过程如固氮活性、细胞分裂和生长、光合作用活性、叶片的运动、基因表达等都具生物钟性质。

一、原理 ----（三）调控生理节律

生物钟通过调控导引节律的相位来调节植物的生理活动。生物钟一定范围内受光的引导，通过光敏色素(PHYs)和隐花色素(CRYs)的光信号通路调控生物钟成分以达到这种导引。

我们需要研究植物的逐时节律，实施逐时节律性的植物光照，寻求 逐时追踪优化的动态光照模式，实现低能耗和高效生长的目标。

一、原理 ----（三）调控生理节律

2、逐日节律(Circannual rhythm)，以年为周期、以天为尺度形成的春茂秋衰的“一岁一枯荣”现象，如植物生根、发芽、开花结果等。

人们对植物不同生育期生长、营养等，尤其对植物的幼年期、开花的光周期诱导等方面进行了大量的研究，但研究者很少从生物节律角度来关注植物光照模式。

一、原理 ----（三）调控生理节律

我们需要从更长时间尺度上，研究逐日或逐多日的植物光照节律，寻求 逐日追踪优化的动态光照模式，实现低能耗和高效生长的目标。

二、难题

（一）潜力与提现

植物科研和生产对人工光源的需求很大，包括现实需求和潜在需求：

2000万平米组培：以每平米5层计算，需要10根T8 LED灯，总需求2亿根，以每根100元计算，总销售额在200亿元；

350万公顷设施面积，即35亿平米，暂设20%面积需要补光、以200元/m^2 的 LED需求量计算，总销售额在1400亿元。

假设这1600亿元在10年内均分，则静态年销售额在160亿元。

二、难题 ----（一）潜力与提现

市场需求潜力引起业界热切的期盼,有志于LED植物照明的企业风起云涌,如雨后春笋,在网上能够搜索到100个页面以上的相关企业和产品信息。

但现实的销售额是多少?

提现慢、提现难与巨大的市场潜力、热切的期望形成反差。

当前呈现了一哄而起的热闹与兴盛，日后必将出现一哄而退的悲情与冷寂。

二、难题 ----（一）潜力与提现

如何求解这一难题？一家之言，供借鉴。

1、正确认识

农业比较效益低、投资回收慢、但回报稳定持久。要适应这些特点，在认识上要准备持久战，当长跑冠军，挣慢钱、挣小钱、挣持久的钱。

不要寄希望于赢在起跑线上，不要立足于挣快钱、挣大钱、挣眼前的钱，要避免当开路烈士，成为垫脚石。

请以积极善意的理念领会上述意思。注重准备和储备

二、难题 ----（一）潜力与提现

2、布局谋划

目标战略、整体布局、谋定而动

减少盲动、抵挡诱惑、避免盲目跟风

3、追踪准备

原理、技术、工艺、产品、系统

人才、团队、模式

4、选准突破点

切入的方式、切入的产品、切入的技术

服务的模式、服务的内容、服务的依托

二、难题

（二）科研与产业

1-1、科研与产业衔接存在困难

（1）科研成果不足以解答产业界面临的问题；

（2）产业界的需求难以顺畅地获得科研力量的支撑

1-2、建议：

互动—— 这方面企业表现出了主动，研究单位较被动

信任——企业和研究单位之间缺乏互信

机制与平台—— 建立平台，建立机制

二、难题 ---- （二）科研与产业

2-1、科研界创新面临困难

（1）人才与队伍、知识与学科有结构性缺陷，突破困难

（2）理念与思路、内容与目标存在自我封闭，突破困难

2-2、建议：

（1）充实农业生命科学领域的研究力量，大量吸纳农业生命学科中年轻的副教授、讲师、博士；

（2）放开思路和心胸，创新合作理念，放弃自我独尊的老大心态，团结人才做大事、做实事；

（3）集思广益，做好符合产业需求和方向的顶层设计，力戒闭门造车，自以为是。

二、难题 ---- （二）科研与产业

3-1、产业界创新面临困难

（1）创新动力不足：生存、利润、研发投入

（2）创新环境堪忧：模仿抄袭、一哄而上、劣币驱逐良币

3-2、建议：

（1）依据实力而动：暂无实力，可持续关注，小投入，不搞大项目，主攻单项关键核心技术；实力强，找准切入点，做系统化研发。暂不寻求以此为主业。

（2）摒弃“就灯而灯”的理念，做植物（生物）照明系统、做装备、做融合植物（生物）栽培技术的系统解决方案。

二、难题

（三）市场与政府

1、市场和政府的协调衔接存在困难

1-2、建议：

（1）充分利用市场和政府2种资源。在初期阶段，以政府对现代农业建设示范的支持政策作为依托，建立示范应用，带动并培育市场。

（2）做好与当地政府的交流互动，将农业照明与政府扶持现代农业的目标统一起来，为当地现代农业发展服务。在服务求发展。

二、难题

（四）产品性能与技术经济

（五）无序竞争与合作共赢

以本人的见识和能力，无法对植物照明目前所存在的困难加以全面总结和归纳，求解之策也难以中肯合理，所述仅仅是一管之见，抛砖引玉，供各位同仁参考。请大家批评指正！

三、研究团队2013年研究工作进展

研究团队：

徐志刚 博士，教　授，博导

刘晓英 博士，副教授，硕导

焦学磊 硕士，讲　师，在读博士生

在读博士生4名，硕士生12名

（一）科研成果与科研任务进展

1、发表4篇SCI论文，获得发明专利授权1项，获得实用新型专利授权2项，获中华农业科技奖二等奖1项，申报国家发明专利4项，培养博士毕业生1名、硕士毕业生3名。

2、完成3项科研课题的结题验收准备工作（国家863项目1项、国家科技支撑项目1项、江苏省省科技支撑项目1项）

3、启动并实施2项科研项目（现代农业领域国家863项目1项、农业部公益性行业科技项目1项）

（二）实验研究进展

1、完成了不同光谱能量分布对马铃薯脱毒组培苗生根壮苗、试管薯产量和品质的实验研究，获取了适宜光谱能量分布参数。

2、开展了不同光谱能量分布对大豆组培植株再生阶段和生根壮苗阶段的实验，预备实验取得成功，假设得到初步证实，已布置进一步的实验研究。

3、开展了不同光谱能量分布对作物抗非生物逆境的作用机制的实验研究。

4、 开展了不同光谱能量分布对水稻育秧和果菜育苗的实验，目标是获取适宜光谱能量分布参数，用于工厂化育秧与育苗。

5、 以油菜和石斛为材料，开展了转录组学方面的实验研究，样品已寄送专业公司检测，等待结果做数据分析。

6、启动了植物工厂节能原理与适宜栽培模式研究。

7、开展了植物工厂化栽培技术集成研究（叶菜、药材）

8、启动了植物补光机理与标准的研究：从分子机理层面研究其内在机制，为植物光照标准的制定提供基础性支撑。

(三) 研发与推广

1、研发了10款植物生长灯，替换传统钠灯。在中国农大、江苏省农科院、南京农大的植物人工气候室得到应用。特点如下：

（1）光密度最高达950μmol·m^{-2}·s^{-1}（20cm正下方）

（2）生物能效高，功率消耗是传统钠灯的1/2；

（3）发热量是传统钠灯的1/3，整体耗电量减少2/3;

（4）对植物冠层热辐射极低，不会对植物造成热灼伤和热应急；

固态照明(SSL)技术要求 V5.0&5.1 解读

江苏威诺检测技术有限公司 韩立成
北京泰瑞特检测服务技术有限公司 田江波

摘要：

本文从标准新增加内容、实施的时间计划表等方面对 SSL 技术要求 V5.0&5.1 进行解读。

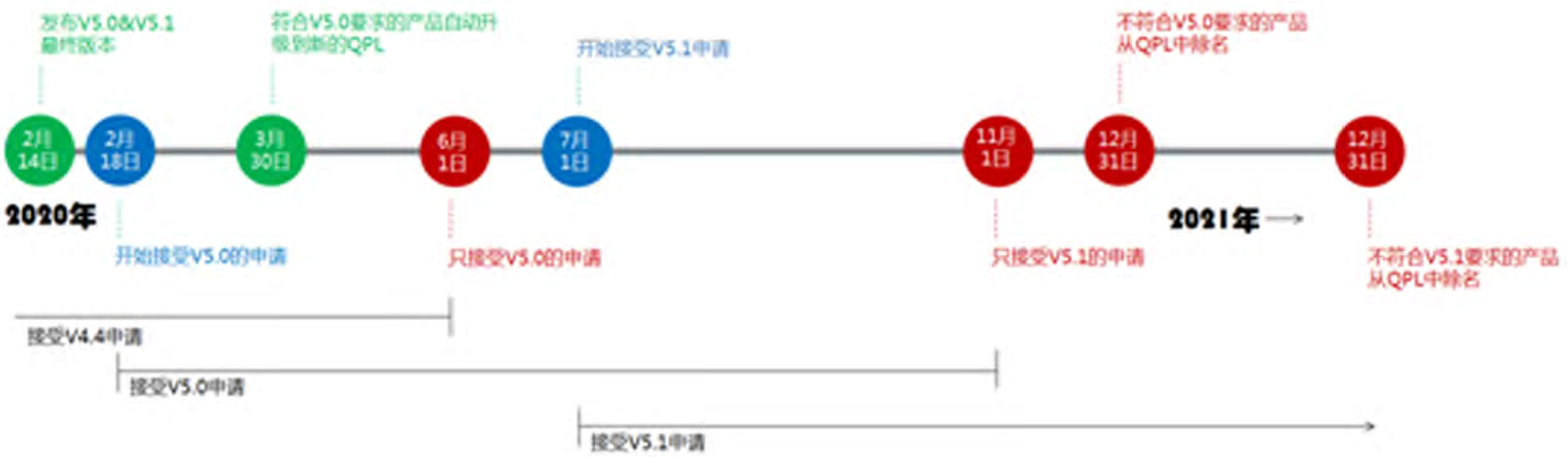
关键词：

光效；光谱质量；光分布；眩光以及闪烁；调光及控制的兼容性。

美国时间 2020 年 2 月 14 日，美国灯具设计联盟（DLC）正式发布固态照明技术要求 SSL V5.0 &V5.1 的最终版本。DLC 从行业发展长远角度出发，将提升光谱质量、高质量互联、商用照明节能性作为照明行业未来的发展基础，提出了对产品控制功能的要求，这样产品在颜色的一致性和炫光上将有更好表现，以期实现最大限度地节约能源，从而提高用户的满意度。在审阅了收到的关于 SSL V 5 第二版草案的评论意见并与 DLC 成员讨论之后，DLC 决定分阶段实施新的技术要求，以利于制造商顺利过渡和积极应对。V5.0 版本旨在照明产品的光效（但不要求光照颜色质量）、可调光性能要求以及报告审核标准，以促进持续发展的节能技术和可控制兼容性能，从而实现最大的节能效益和提升用户满意度。V5.1 版本包含通过更好的颜色一致性和色品质量，如眩光、光分布以及控制功能等要求去体现颜色渲染和显示性能 ， 继续鼓励提升列名产品光谱质量和产品控制兼容性的广阔愿景以期能实现更多的能源节省和用户满意度。

该正式版本的发布，对于国内的灯具制造商来说，在这的紧张的疫情之下可以抢先了解 DLC 的技术要求，积极面对市场要求的变化，把握好时间点，打一场有准备的仗。下面让我们来仔细研究一下本次更新的具体要求以及难点和应对措施：

1. 考虑到可能为了给市场足够时间进行升级，标准分为了两个版本，分两个阶段实施，下面我们来了解一下本次更新的时间点：



相比上一版，少了对最小光输出状态的要求，少了对具体数据的限值，要求将Pst/SVM/Percent Flicker/Flicker Index 在100% 光输出和 20% 光输出状态下的数据列入报告中。

闪烁百分比 PF 在 IEEE 标准中也被称为调制率，用 Mod% 表示，PF 或 FI 值越大，表明光源频闪越严重。根据 IEEE 标准，频闪带来的风险与调制深度和闪烁频率有关，频率较高时，调制深度相对较大。

4. 调光及控制的兼容性(Dimming&Controls Compatibility)

调光被认为是灯具、改装套件和灯泡必须具备的功能：

•除个别豁免情况以外，室内灯具及其retrofit kits: 需要具有连续调光功能；

•带控制功能的产品需上报灯具的控制类型（包 括 Occupancy/Vacancy Sensing, Daylight Sensing, Multifunction Sensing (Occupancy + Daylight), High-end Trim, LLLC, Energy Monitoring, Traffic Sensing, Exterior Photocell, Networked Replacement Lamp)；

•调光产品需上报控制信号的通信类型和调光协议(有线类型包括：0-10V, DALI, DMX, Power Signal / Phase-cut, Proprietary, Other Wired；无线类型包括：Zigbee, Bluetooth, Wi-Fi, Proprietary, Other Wireless)；

•其他产品：需要确定是否可调光；

•*注意：所有金牌产品需要具有连续可调光功能。*

5. 容差 (Allowances)

针对某些特殊类别的产品，在特定条件下允许降低光效要求。

•当 CCT≤2700K 时，可适用光效容差 -5%

•产品满足对应的 CRI 要求时，可适用光效容差 -5~-10%

•产品满足对应的眩光要求时，可适用光效容差 -10%

6. 允差(Tolerances)

•光通量 ±10% 不变

•光效 -3% 不变

•色温按照 ANSI C78.377 不变

•增加显指 -1point

•增加颜色维持率 +0.0004

•增加 UGR +1

•增加光束角 -5°

7. THD、PF 和参考灯盒的要求

从以往的测试数据来看，灯具产品的电能质量相当稳定可靠，DLC 决定删除谐

波失真(THD)和功率因数(PF)的参数要求，以减少企业测试负担。

•更新了对于参考灯盒（Reference Housings)的政策。

Linear Replacement Lamps，即 LED 灯管产品，由于该类产品成熟度较高，现免除对该类产品及 2G11-Base 产品在参考灯盒(reference housing)中的测试要求，但是增加以对裸

灯管的波束角(Beam Angle)的要求，所有灯管需要达到 160 度以上的波束角要求。

8. 对于 LED 光源用 LM80 报告要求变化

对于流明维持率，通常我们根据灯珠 LM-80 报告及 TM-21 文件，通过测试灯珠 Tc 温度进行推算，得到灯珠的 L70 及 L90。对于 L70，我们要求灯珠的衰减时间要大于 50000 小时，根据本次更新的 clarify，推算寿命不可超过 LM-80 实测时间的 6 倍，即如果我们要求得到 50000 小时的寿命，LM-80 报告的测试数据不得小于 8333.3 小时且测试样品不得小于 20 个，所以生产企业在选用 LED 灯珠时需要注意这一点。

9. 费用增加（从 2020-07-01 开始实施）

更新的费用构成：

Application Type 申请类型	Item 项次	Fee 费用（July 1, 2020）
Single Product	Single Product Application Fee	$750
Family Grouping	Independent Test Reports (ITRs)	$375
Family Grouping	Additional product family members	$30
Private Label	Independent Test Reports (ITRs)	$325
Private Label	Additional product family members	$30

10. 审核时间增加(从 2020-07-01 开始实施）

申请程序时间表：

Application Type 申请类型	Initial Review 初始审核	Comprehensive Review 全面审核
Single Product	9 个工作日	7 个工作日
Family Grouping	9 个工作日	10 个工作日
Private Label	6 个工作日	6 个工作日
Product Updates	9 个工作日	10 个工作日

众所周知，美国是贸易大国，产品技术标准、进口法规的严谨程度较高，国内厂商的产品想要流通北美市场，就必须要了解美国的市场准入规则，规避贸易风险，结合此次标准更新来看，2020 预计有 2 大类产品会被下架，第 1 类：光效不满足 V5.0 技术要求的产品；第 2 类：R9<0 的产品。所以，在接下来的一年时间里，各生产商需规避此 2 点技术要求。

近年来 LED 照明行业技术更加成熟，市场也趋于稳定，行业巨头利用资金、技术的优势不断延展产业巩固领先地位，新技术的涌现也给小企业做大的机会，各生产企业应当在考虑全球标准的情况下充分发挥创新理念和美学认知，从智能、健康和节能的角度设计出更多更好的产品，提升我国灯具设计的自主创新能力，推进灯具产业转型升级，从而提升中国照明产业的国际地位！

LCD、OLED、Mini/Micro LED傻傻分不清？带你看懂面板后的技术差异

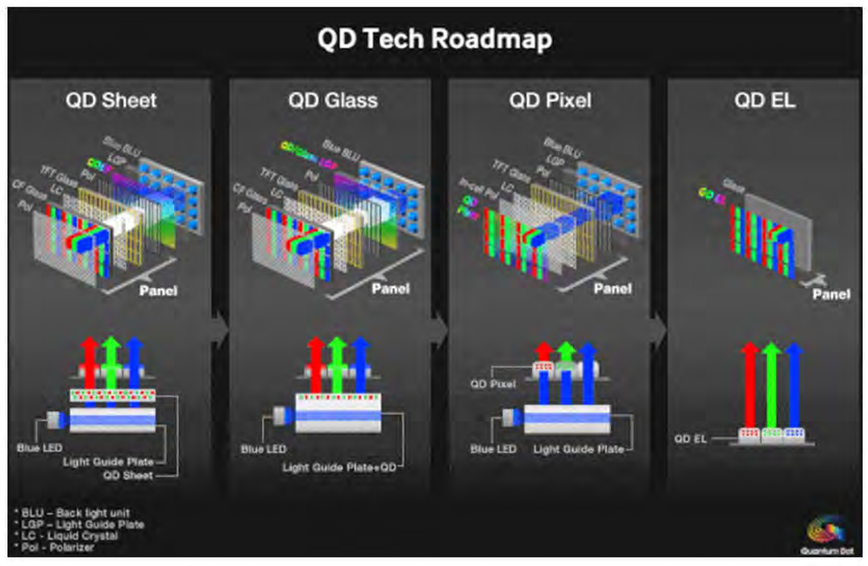
近年来蔚为风潮的量子点显示技术，其实与OLED及LCD本质上没什么关系，还有MiniLED和Micro　LED也不只是尺寸的差别。最后就来简单的介绍一下，这些新兴技术到底怎么区分。

所谓量子点，其实是一种半导体纳米结构，可以把激子(Exciton)从三个空间方向上束缚住，且发光频率会随着这种半导体尺寸的改变而变化，意即通过调节这种纳米半导体的尺寸，就可控制其颜色，且具有很高的光稳定性。

基于这些特性，理论上这种荧光材料甚至可以制造出接近自然光的连续光谱效果，色域非常广，且寿命更长，有成为终极显示技术的潜能。简单来讲，这是一种能够优化光源的技术，且不会有OLED的烙印问题。QD技术最早还是应用在LCD等非自发光显示器上，而后才被研究如何应用在OLED上。目前两者通常会以QLED及QD-OLED来区分。

发展积极，量产难言

QLED 虽然同样如 LCD 需依靠背光源，也承袭了其缺点，但透过量子点薄膜(QDEF)能发出更纯的色彩。而三星近年来积极发展的 QD-OLED 则是更进一步，直接用蓝色 OLED 光源，激发不同粒径大小的量子点转换成红光和绿光。不仅性能提升，成本「理论」上也将低于原有的 WOLED 技术，加上喷墨印刷制程，有望使其产品能继续称霸市场。不过目前来看三星理想中的 QD-OLED 技术，由于光转换率仍偏低，虽然近期不断有乐观消息传出，但总体上商业化准备还不足。

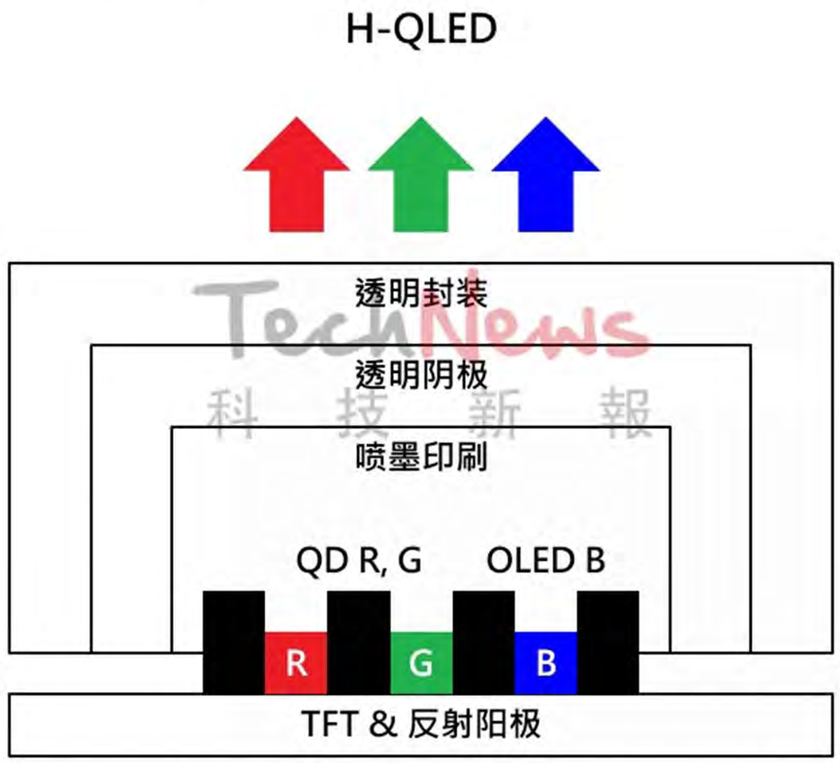


理想中的真正量子点显示技术是最右侧的电致发光(Electroluminescence，EL)，已不再需要进行色转换，目前还未有明确命名。(Source：Samsung Display)

事实上，要制造量子点并不容易，材料结构至少要缩到 100 纳米以下，所以对制程要求更高，且实际上能采用的材料仍是有限，虽然在 2006 年首个量子点技术显示器就已问世，但量子点材料往往容易受热影响，很难使用真空蒸镀量产，只能依赖喷墨印刷的进展。所以目前市面上所见的量子点电视，基本上是与 LCD 雷同的 QLED，而非 QD-OLED。如今三星较为成熟的也是无机材料喷墨印刷术。

而大陆方面也有不小的进展，在 CES 2019 展上，华星光电也同样发布了一种混合 OLED 与 QLED 的技术 H-QLED，且采用喷墨印刷，而在 CES 2020，更展出了柔性 OLED 喷墨印刷面板，近日还注资了日本 JOLED，可望取得相关技术，不过这些产品都还未有量产消息。其实与三星的技术路线图比较，H-QLED 仍是与 QD-OLED 相似的技术。(Source：科技新报)集邦调研分析师表示，新兴显示技术瓶颈克服不易，QD-OLED 最快可能也要 2021 年才会问世，就算是目前大陆已开始铺陈产线的 OLED 喷墨印刷

技术仍有 ppi 偏低的问题，真正成熟要等 2022 年以后才比较有望。

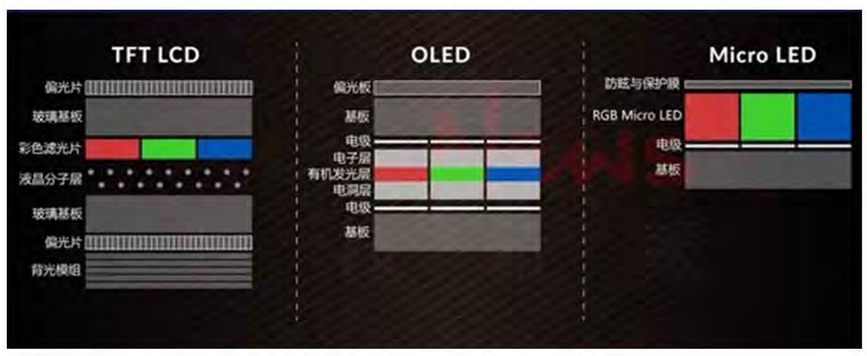


其实与三星的技术路线图比较，H-QLED 仍是与 QD-OLED 相似的技术。（Source：科技新报）

集邦调研分析师表示，新兴显示技术瓶颈克服不易，QD-OLED 最快可能也要 2021 年才会问世，就算是目前大陆已开始铺陈产线的 OLED 喷墨印刷技术仍有 ppi 偏低的问题，真正成熟要等 2022 年以后才比较有望。

MiniLED 到 Micro LED 的暧昧

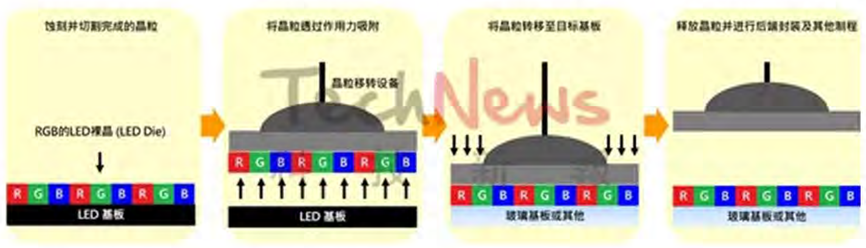
不过目前讨论度最高的，可能还不是量子点技术，而是同样被视为高阶显示技术的 Micro LED 与 MiniLED。Micro LED 是指「微发光二极管」而 MiniLED 正式名称为「次毫米发光二极管」，两者尺寸基本上以 100 微米为界，约 0.1 毫米。不过如 Micro LED 已有 3 微米以下的原型，且技术难点也并不在于生产微缩晶粒。



三大显示技术的结构比较。（Source：科技新报）

其实最早也没有 Mini 及 Micro 之分，只是厂商为了与竞争对手做出差异化，所以导致越来越多定义，甚至近年来还有 Nano LED 的说来越多定义，甚至近年来还有 Nano LED 的说法，但 Micro LED 已被视为是终极技术了，真到了纳米级反而难发光。不过较值得一提的是，RGB MiniLED 就不只是做为背光，而是直接用来显示，不过尽管宽色域及鲜艳度等性能直追 OLED，但成本仍相当惊人，基本上还是很利基。

整体而言，MiniLED 仍被视为是 Micro LED 的过渡，MiniLED 大多用在传统 LCD 结构，微缩的是背光 LED。而 Micro LED 则致力于直接封装发光元件，能做到单独驱动无机自发光，甚至性能更胜 OLED，被业界誉为新蓝海。虽然制程简化，但技术更困难，尤其是巨量转移（Mass Transfer）技术更将直接影响未来 MiniLED 的设计周期及 Micro LED 的量产契机。



巨量转移技术的概念流程。（Source：科技新报）

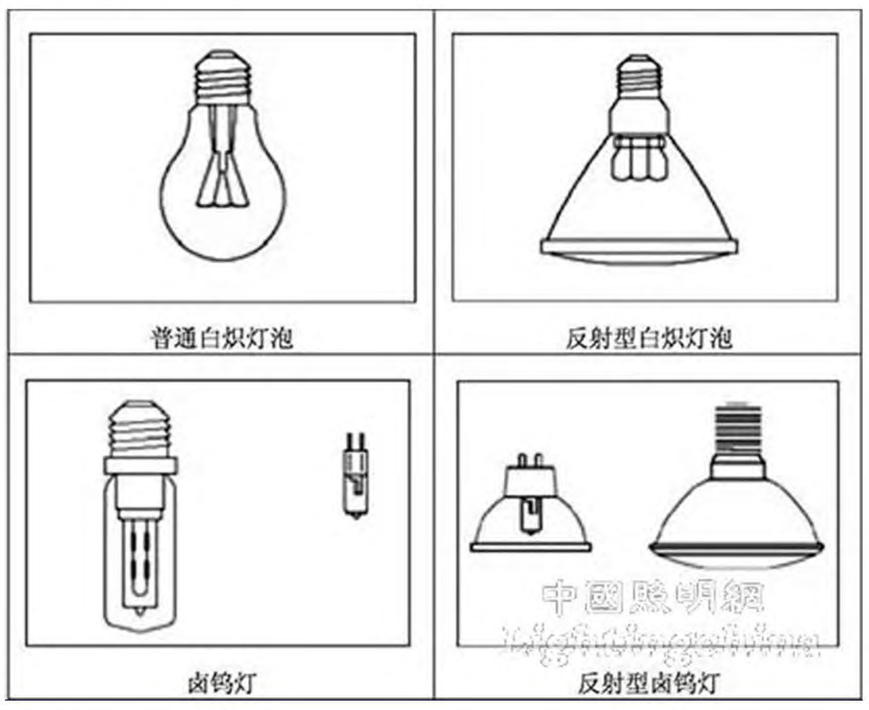
所以如台厂更积极的在发展 MiniLED，而打算退出 LCD 市场的三星就直接将目标放在 Micro LED 上。简单的说，无论是 Mini 或 Micro LED 技术与之前讨论的最大不同主要在于后段制程，从巨量转移、封装测试，甚至到维修都是很大的挑战。且如今随着技术进步 MiniLED 尺寸的定义可能还会越来越小，未来 50 微米以上可能都还是被称做 MiniLED。

最后值得一提的是，目前台湾业者所称的 MiniLED，与大陆常讲的 MiniLED 显示，概念上并不太一样。台厂所指，的确是微缩晶粒尺寸，而大陆就更突显在封装方式上，若是 MiniLED 背光模块，可用更密集的芯片排布来做成超薄光源。而放在自发光显示，MiniLED 也能做出更小的点间距封装，两者产品有一定的差异化。

（来源：LEDinside 网站）

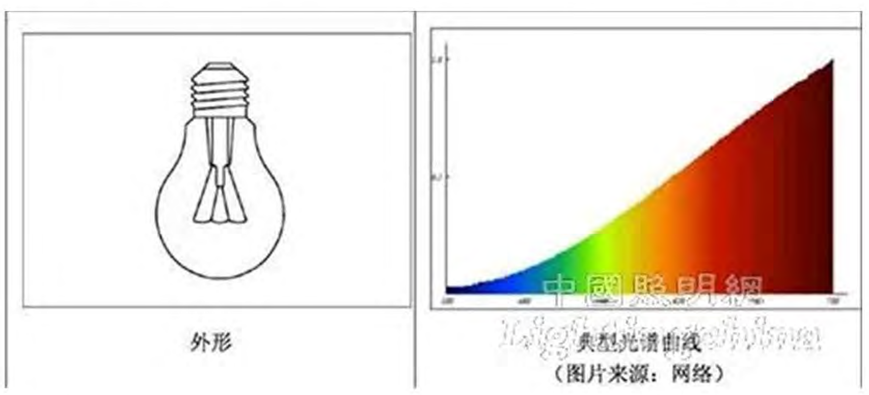
照明科普：一篇文章让你看懂所有电光源光谱

一、热辐射光源



1、白炽灯

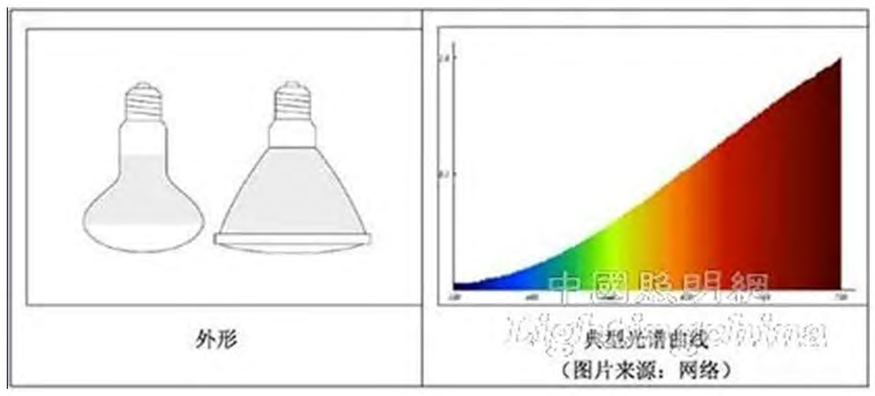
发光原理：打过铁吗？烤过串吗？烧过电磁炉吗？用过浴霸吗？烧热了也都发光。没错，这哥们发的光，就是靠电流“烧”出来的。



2、反射型白炽灯泡

小知识：

反射型灯泡分为 R 型和 PAR 型，R(Reflector) 型通常采用内壁涂层，PAR 的全称是 Parabolic Aluminised Reflector(抛物型铝反射器型)。此外，反射型灯泡常见的还有 AR 和 MR，分别是 Aluminium Reflector(铝反射器型) 和 Multiface Reflector(多面反射器型)。



3、卤钨灯

发光原理：卤钨循环，一目了然，无须再谈。

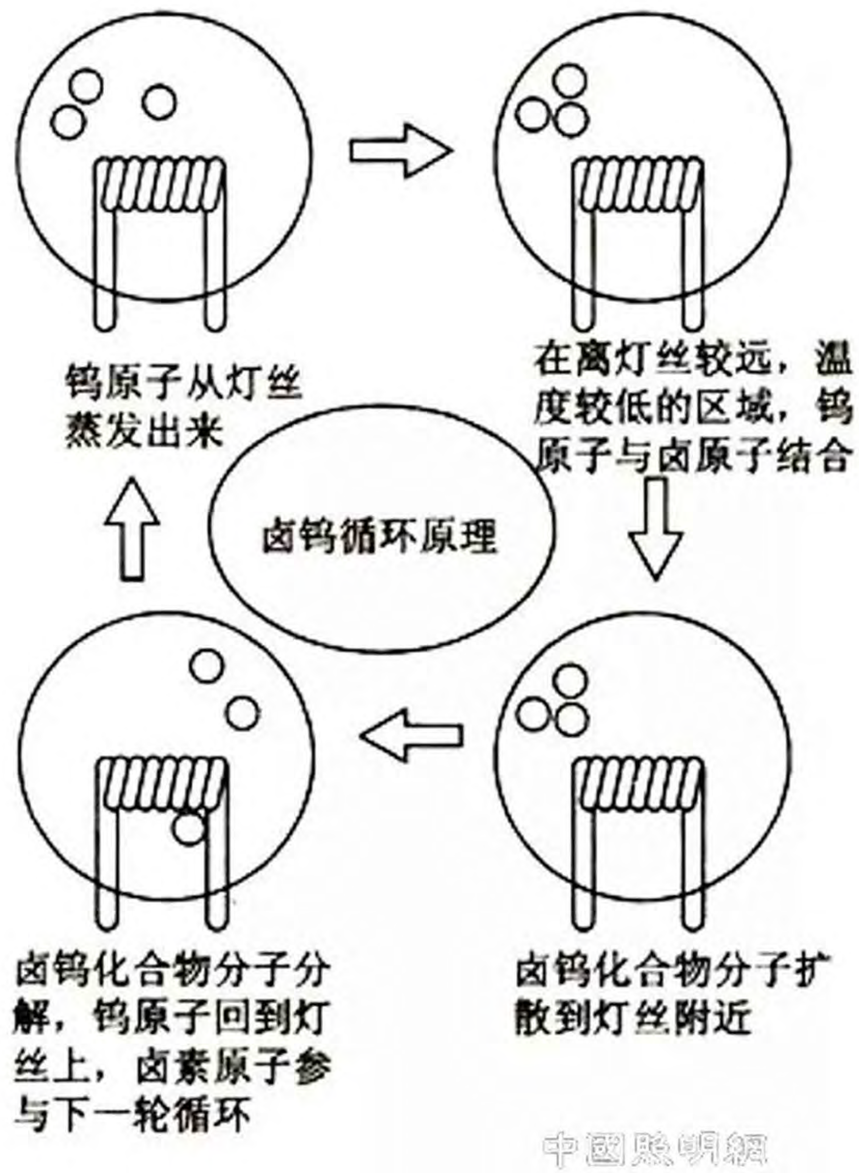
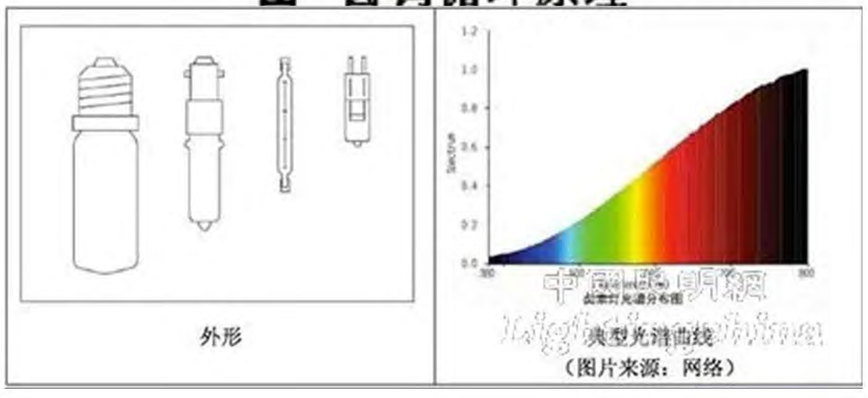


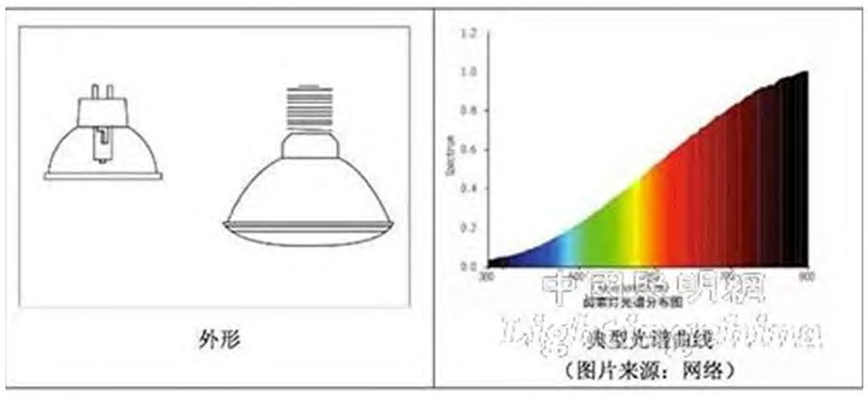
图　卤钨循环原理



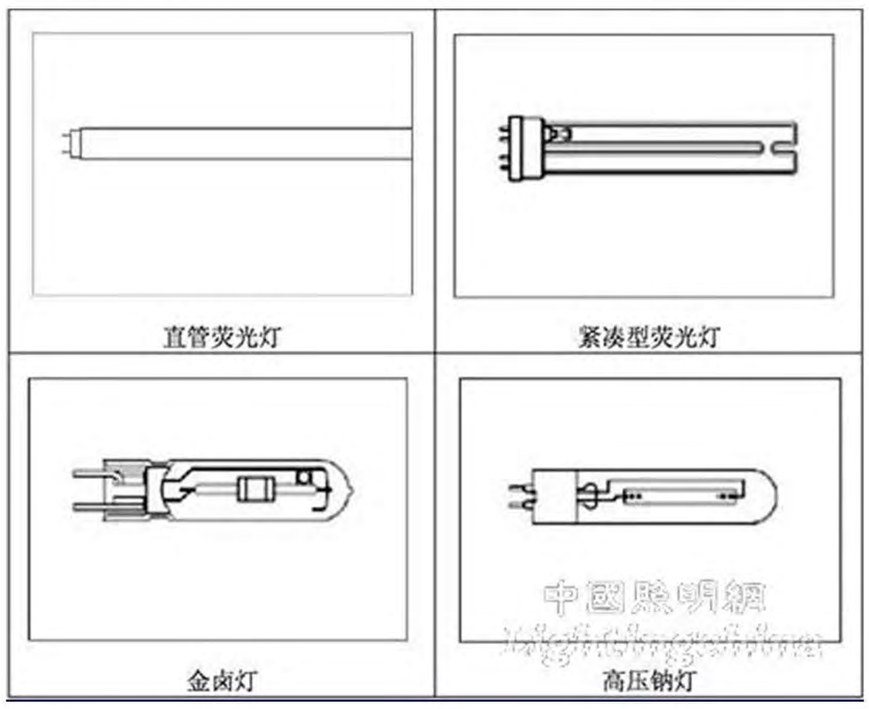
4、反射型卤钨灯

小知识：

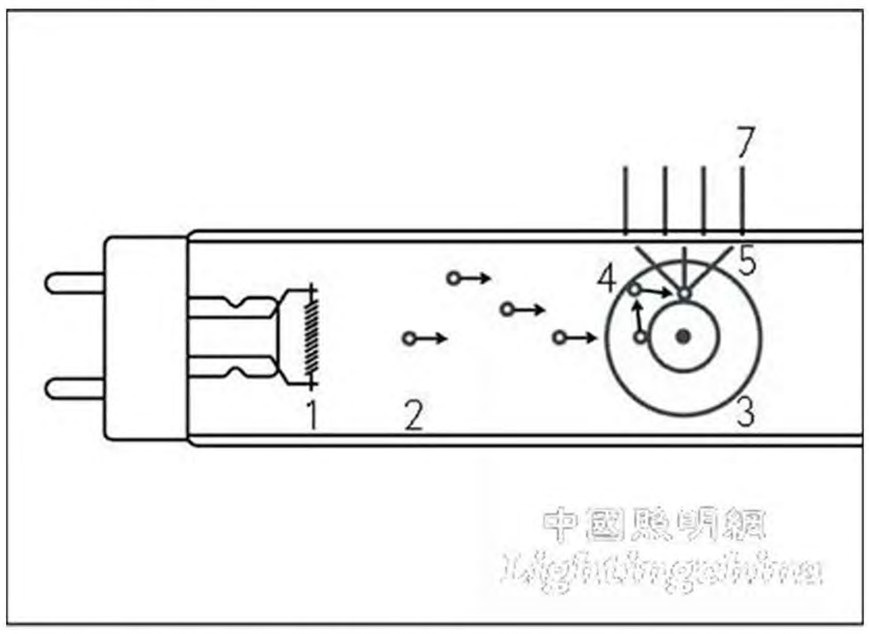
我们通常看到的 MR11、MR16，PAR20、PAR30、PAR38、PAR56 等，后面的数字表征的是光源的直径，以 1/8 英寸为单位。所以 MR16 的直径是 16*1/8=2 英寸≈51mm，所以也有厂家这么表示 MR16 光源：QR-CBC51。其它类推。



二、气体放电灯



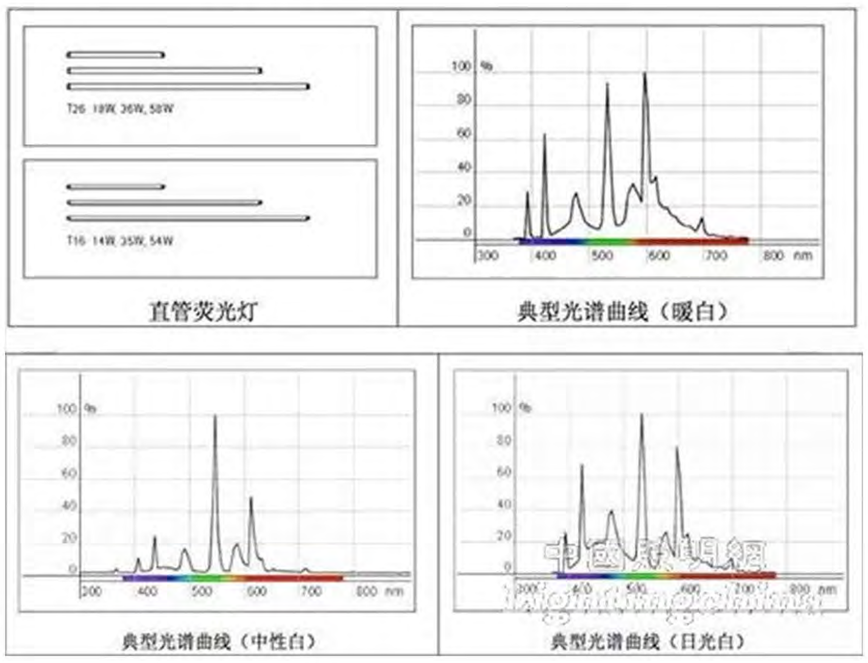
1、直管荧光灯



发光原理（ 如下图所示 ）：电极（1）；释放出电子（2）；进入到管中，碰撞到汞原子（3）；使得汞原子的电子（4）；受到刺激后发生跃迁，释放出紫外辐射（5）；经过管壁的荧光粉涂层（6）；紫外辐射转化为可见光（7）。

小知识：

跟上面的 MR16 一样，我们平时说的 T5、T8，以前还有 T12，后面的数字表征的也是灯管的直径，以 1/8 英寸为单位。所以 T5 的直径差不多是 16mm，T8 的直径是 26mm。



2、紧凑型荧光灯

小知识：

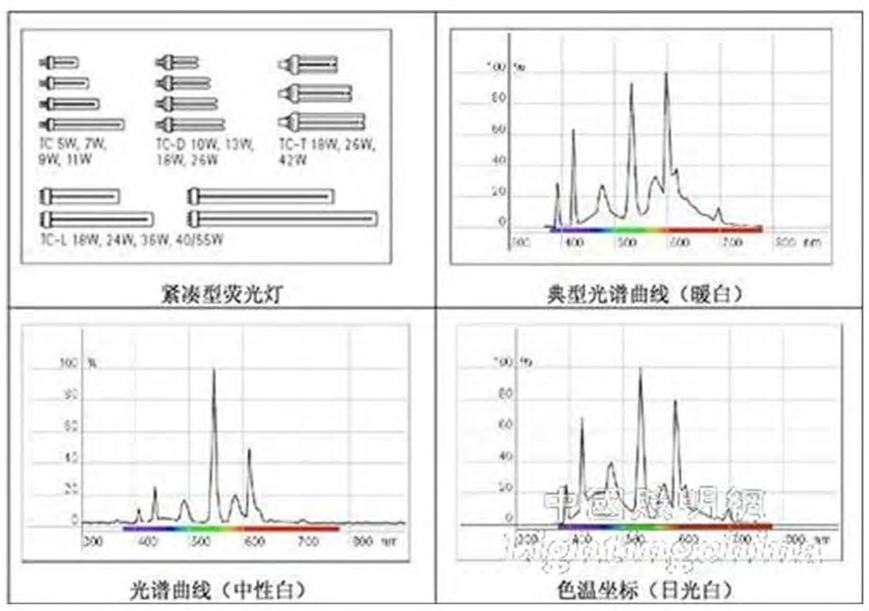
紧凑型荧光灯通常用它的 U 形管的数量或长度来加以标示和区分。

无：singleU(1U)

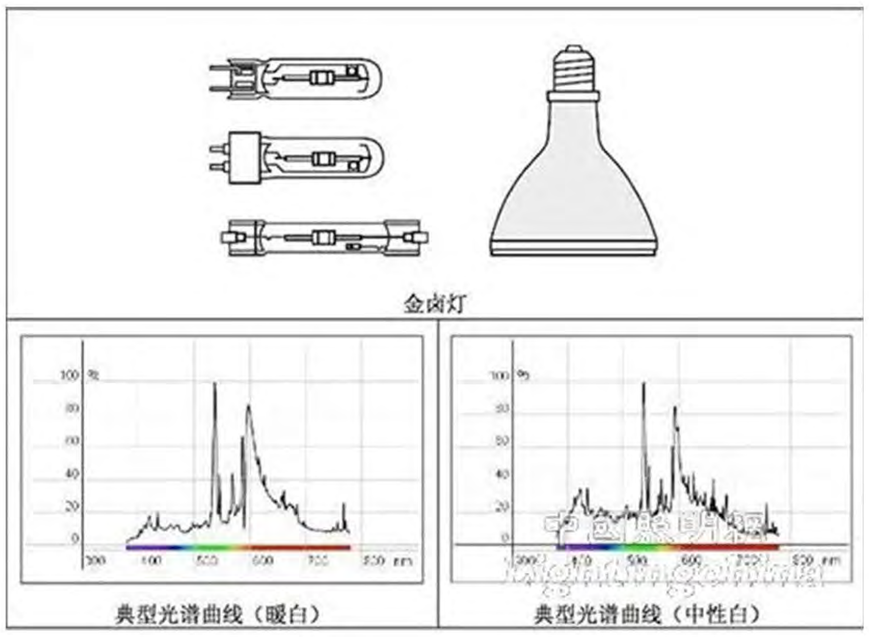
D：double U(2U)

T：triple U(3U)

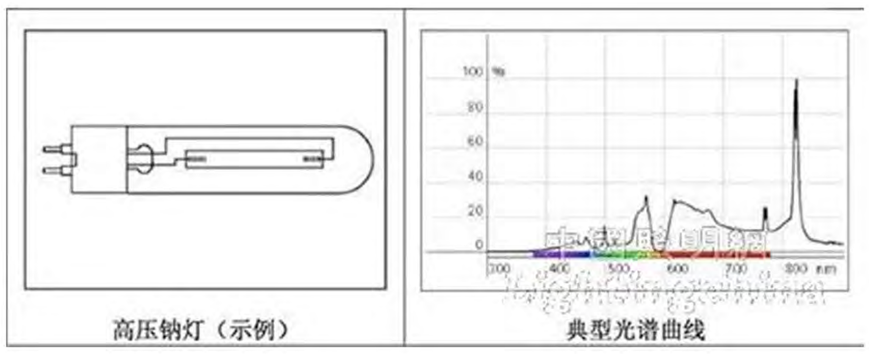
L：long U 筷子管



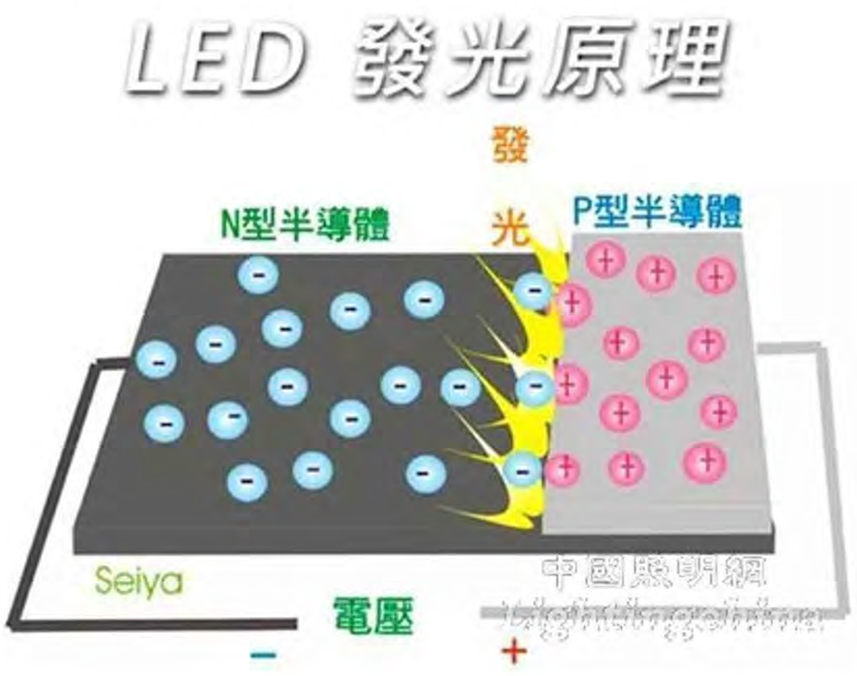
3、金卤灯



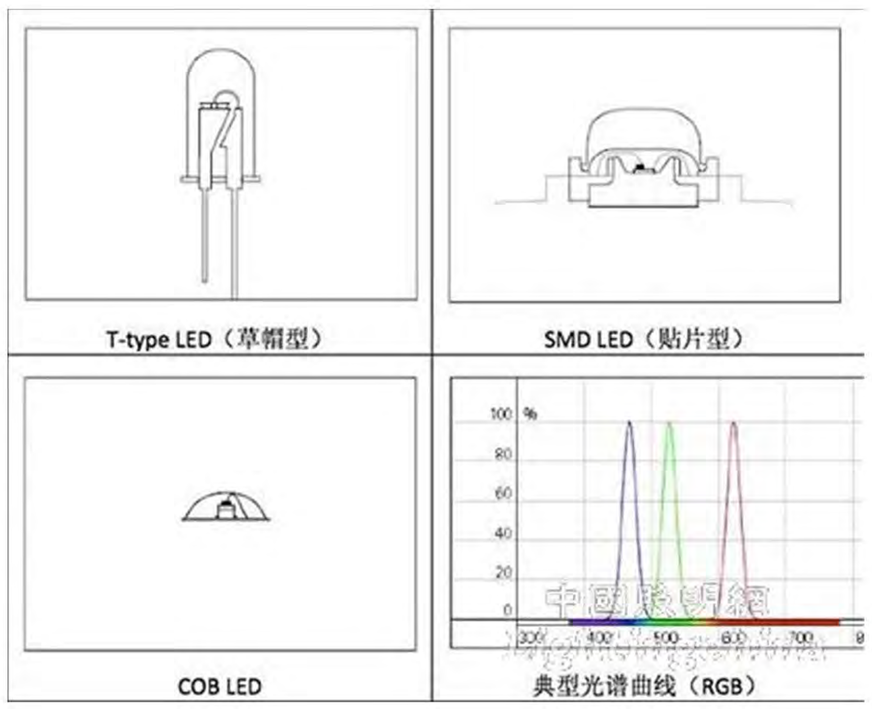
4、高压钠灯



三、LED



图：LED 发光原理（图片来源网络）



（来源：中国照明网）

宝德照明集团有限公司

宝德照明集团有限公司座落于扬州市北郊、成立于1998年，发展至今20余载。集团是户外照明器材、太阳能路灯、LED产品、高杆灯、钢管电力塔、通信塔、交通器材、光伏智能节能应用等产品研发、生产、销售及工程施工的综合型企业。目前拥有城市及道路照明专业承包壹级、照明工程设计专项甲级、电子与智能化工程壹级、市政工程总承包、电力工程施工总承包、机电工程总承包、公路工程总承包资质等。

集团多次被遴选为国家重点工程照明设备供货单位。“路友”牌系列灯具产品销往86个国家和地区，照亮了南京禄口机场、青海格尔木机场、合肥机场、杭州萧山机场等国内大、中、小型40多家机场；美化了丹东中朝大桥、福建泉州跨海大桥和辽宁葫芦岛海滨浴场以及众多道路、桥梁、隧道、大型建筑。

宝德集团始终秉承精致的质量管理，精密的制造工艺，精准的检验细则，精心的售后服务，永远刚性，确保客户永远放心满意。

0514-84216968

涟漪海洋的Ceto照明——罗斯·加丹





Ceto 是由澳大利亚设计师 Ross Gardam 创建的极简主义照明系列，其中每个玻璃元素都反映出独特的图案，因为设计师希望通过吹口哨的作品捕捉起伏不定的海洋表面。





提供多种配置，所有照明灯在有机玻璃元素和精密机加工的铝制组件之间达到微妙的平衡。每个光源似乎都悬吊在支撑管上，没有可见的连接，使设计更轻便。



玻璃的独特形式是通过传统的光学玻璃吹制技术获得的，该技术会在阴影的内侧形成波纹玻璃效果，而外部形状保持一致。Gardam 解释说：“对我来说，海洋具有如此平静的作用；这个地方充满了童年的怀旧和深刻的安宁感。”













（来源：“Design Milk”网站）

线条流畅的HIEROGLYPH照明



WORKSTEAD 的 HIEROGLYPH 系列让我们的眼睛震撼人心！ HIEROGLYPH 已经是今年的第五次照明发布，包括壁灯和吊坠设计，两者均由嵌套的木圆柱组成，与 WORKSTEAD 的 LODGE 系列共享基本元素。两者都使用九个灯泡做一个发光的照明，依靠 De Stijl 运动的形式以及借用其名字的象征语言。您可以从挂布的软线或固定的金属杆中选择三种标准高度的吊坠，但请注意，也可以定制高度。HIEROGLYPH 系列在美国布鲁克林制造。



















（来源：“Design Milk”网站）

江苏省照明学会专委会钱宗明秘书长线上分享学术报告



5 月 21 日，省照明学会文旅专委会副会长兼秘书长钱宗明参加由中国照明学会室外照明专委会、中国道路照明论坛举办的“ 智慧大师学院 ”线上公开课，分享了学术报告《如何用经济学和文化学的理念做文旅照明》。省内外同行在线观看达 1300 多人次。

这次公开课，钱秘书长主要讲述了文旅照明的发展历程及前景，结合《江南四大名园 金陵第一园：瞻园夜游创意策划实景》实际案例，如何运用经济学和文化学的思路来解决 IP 缺失、内容同质、人才匮乏、流量不足等问题，并对当前疫情下的文旅照明作出了详细的分析。此次公开课持续约两个小时，在积极提问环节中圆满结束。

金手指奖走进南京 华东赛区上演强强对决

7 月 11 日，2020 第十届金手指奖设计师华东赛区晋级赛在江苏南京拉开帷幕。本次活动由中国照明学会指导，中国照明网主办，南京照明学会、江苏省照明学会、江苏省照明电器协会共同协办。来自华东地区的专家评委、设计师代表以照明企业代表等近 200 人齐聚一堂，共同见证设计师选手的精彩对决，此外，还有 5000 余人次通过网络直播平台观看了此次比赛的现场直播。



大赛现场

作为主办方代表，中国照明网总经理丁云高在活动中首先致辞。他表示，从参赛选手的名单来看，金手指奖参赛的设计师水平越来越高，希望今天比赛的选手代表华东赛区赛出好成绩。今年以来，金手指奖的线上、线下赛区都得到了超乎想象的关注，这也是人们越来越重视照明设计的体现。



中国照明网总经理丁云高

作为协办方代表，江苏省照明学会理事长、南京工业大学电光源材料研究所所长王海波在致辞中表示，近年来，在江苏举办的全国性照明活动特别多，包括今天的华东赛区比赛也选在了南京，也这是江苏照明行业发展蓬勃的表现。金手指奖是业内最具影响力的奖项之一，评选覆盖的范围非常广，拥有庞大的行业资源。相信金手指奖在华东赛区的比赛，一定会碰撞出激烈的火花，让行业的目光聚焦华东，挖掘更多优质的照明设计师，共享更多的机遇。江苏省照明学会也会继续支持金手指奖的发展，让更多设计师有机会走出去。



江苏省照明学会理事长

南京工业大学电光源材料研究所所长王海波

金手指奖华东赛区评审组长、南京照明学会理事长、南京路灯管理处处长臧锋在致辞中提到，金手指奖至今已举办十届，为行业输出了大量的优秀设计师和企业。金手指奖是设计师展示自己创作成果的平台，也是一个学习交流的平台，通过这个平台可以互相学习交流，取长补短，共同提高我们的技术水平和创作能力。华东地区在照明产业上具有完整的产业链，重视科技和品质，在中国照明产业中占据重要位置。相信优秀的企业也培养了许多优秀的照明设计师。他表示，希望华东的照明设计师可以不断学

习，不断提高，为照明事业做出更大贡献。



金手指奖华东赛区评审组长、南京照明学会理事长
南京路灯管理处处长臧锋

金手指奖组委会秘书长、中国照明网副总经理王敏在赛前介绍了本次比赛的规则：为保证赛事的公平、公开、公正，本次比赛的成绩将由 14 位专家评审和 15 位提名评审当场打分以及线上大众评审当场投票得出。其中，专家评审分数占 70%，提名评审分数占 20%，大众评审占 10%。专家评审和提名评审的分数将会去掉最高分和最低分再取平均分。参与线上直播的观众均可作为大众评审，在规定的时间内为喜爱的选手投出仅有的一票。



金手指奖组委会秘书长、中国照明网副总经理王敏

在本届金手指奖的宣贯中，王敏也介绍了今年金手指奖的变化：

一，品牌奖从室内 / 室外两大类变为具体的商业照明、家居照明、智慧路灯、照明电源、智能照明、景观照明、演艺灯光、健康照明等品牌奖。

二，创新产品奖分为十大类：建筑照明、景观照明、文旅灯光、教室照明、LED 显示、家居照明、商业照明、办公照明、智慧杆、医疗照明。

三，过去的案例奖改为工程设计奖，其中包含室内照明工程设计奖、道路照明工程设计奖、文旅景观照明工程设计奖和建筑照明工程设计奖，每一奖项细分一、二、三等奖。

四、增设十周年特别奖，主要奖励本年度积极承担社会责任，做出了杰出贡献的照明企业以及对金手指奖的发展有过支持和帮助的照明企业和个人。另外，人物奖中增设了销售经理奖。与去年增设的杰出项目经理奖一样，希望以此鼓励和褒奖这些为企业和行业发展默默作出贡献的“ 幕后人 ”，为行业塑造良好榜样。



往届设计师代表
南京朗辉光电科技有限公司设计总监陈丽娟

比赛正式开始前，往届设计师代表、南京朗辉光电科技有限公司设计总监陈丽娟带来了《南京小西湖历史街区夜景照明设计》演讲分享。她以小西湖历史街区内四座独栋建筑为例，深入分析了其中的夜景照明设计如何结合文化特点体现出城市记忆和烟火气息的设计概念。

金手指奖华东赛区作为最具有竞争力的赛区，一直受到很多关注，得到了许多精英设计师的响应。经过组委会和评委初步筛选，共有 6 名选手从初评中脱颖而出，为了两个总决赛的晋级名额，参赛选手们上演了一场高水平的精彩

赛事。



江苏绿色照明工程有限公司

设计负责人陈圣炜

一号选手江苏绿色照明工程有限公司设计负责人陈圣炜在《文旅之光－文旅照明的专业化与精工细作》主题演讲中，通过解读栖霞古寺灯光亮化工程项目，诠释了他对“ 文 ”、“ 旅 ”及“ 光 ”的理解。该项目的照明设计在栖霞寺区域保留寺庙原有的庄严肃穆；在佛教文化园区域通过声光电以及对于大型雕塑的氛围营造，突出浓厚佛学气息；在游客服务中心强调功能化照明，保证基础亮度充足，满足其功能性，与各区域色温匹配；在佛学院、主题酒店则服务于五湖四海的游客及佛学者的“ 港湾 ”，营造舒心之感。



南京中电熊猫照明有限公司

智慧照明事业部副总经理陈世雄

二号选手南京中电熊猫照明有限公司智慧照明事业部副总经理陈世雄在《西域南疆逐光之旅》主题演讲中介绍了喀什古城夜景照明设计。项目结合新疆独有的西域特色的夜游路线。他认为，夜游，应该是美的体验，是用灯光叙说一个完整的故事，而游人是倾听者，是观赏者，当然就会有审美疲劳，视觉疲劳，规划设计时，应在主题、布局、亮度、色彩、动静、快慢，中间渗透着冲突、高潮、趣味性。一个好的夜游产品就是一场完美的观演体验。



南京孔雀蓝照明设计有限公司设计总监杜贝贝

三号选手南京孔雀蓝照明设计有限公司设计总监杜贝贝带来了《杏花深处秣陵关——南京秣陵镇老街改造夜景照明设计》主题演讲。该项目在照明设计上，延续桥北、桥南大街的空间肌理，打造最具城市记忆和生活活力的空间环境。在空间上，塑造特色鲜明的街区风貌，保留古镇空间记忆；在轴线上，打造贯穿街道空间的光影长廊；在沿街展示面上，梳理统一标准的灯光立面；在节点上，营造节奏分明的景观节点。通过文化的植入，融入文化符号，再现秣陵古风与市井文化。激活地块的商业氛围，促进城市更新与古镇复兴。



颐可光照明设计（上海）有限公司设计总监袁振

四号选手颐可光照明设计（上海）有限公司设计总监袁振带来了《古韵江南 • 乌镇雅园商业街》主题演讲。他谈到，商业街作为乌镇雅达国际园区的商业配套，位于园区的中心位置，他希望舍弃现代流行的城市建筑照明方式，以柔和的建筑内透光和隐蔽的照明方式体现建筑

形态。注重整体光环境的“舍”与“得”，合理舍弃冗余光影，营造富有古镇烟火气息的夜景光环境。把握商业街建筑之间的开合关系，通过灯光的虚实明暗关系，体现商业街整体建筑之间的空间尺度与节奏感。



南京朗辉光电科技有限公司照明设计师何梦杰

五号选手南京朗辉光电科技有限公司照明设计师何梦杰分享了《让光既有润物无声价值，又有引人入胜能力——福州西湖左海夜游灯光项目》。该项目充分考虑人工照明对植物、鸟类、昆虫的影响，控制好每日夜间光照的强度、时长和人工光源的光谱峰值，严格控制光照强度、峰值光谱及照射时长，打造了一个生态示范公园，强调区域独特性、强调和谐、包容的气度，与周边环境、建筑相融共生，植入地域文化，打造可读文化特色公园。



江苏国禹建设股份有限公司设计经理张敏敏

六号选手江苏国禹建设股份有限公司设计经理张敏敏带来了《终极幻想探秘北纬——Latitude-30° N 主题公园夜景概念设计方案》演讲分享。该项目是全球第一座探索世界未解之谜得现代化第五代主题乐园，夜景灯光设计立足于园区主题，在满足基础功能性照明的前提下，在景观照明中突出重点，主要以园区制高点，六大板块中的特色景观为夜景规划重点，兼顾其余一般设施照明，最终表现出有主题的、生动的、身临其境、充满夜游乐趣的灯光设计主题。



评委点评

六位选手都发挥了自己最大的潜能，出色的完成了演讲。现场评委均对选手从专业角度进行了点评，对选手的创意及亮点不吝赞赏，也指出选手演讲及设计项目存在的问题，参赛选手的精彩表现，评委们的精心点评，让整个比赛现场氛围高涨。



华东赛区评审副组长、中国照明学会副秘书长

南京照明学会副理事长兼秘书长沈茹

华东赛区评审副组长、中国照明学会副秘书长、南京照明学会副理事长兼秘书长沈茹在总结道，今天的比赛给了她四点感触。首先是本次华东赛区的晋级赛选在了南京举行，给南京

的设计师提供一个学习、借鉴和提升的平台，对南京的照明事业起到很好的促进作用。第二是，今天参赛的选手，不仅年轻有为，而且表达顺畅，表现非常出色。第三是，今天演讲的 6 个方案基本围绕文旅、夜游的主题，总体方案都比较完整，主题定位准确，选取的灯具与环境融合，注重以人为本的理念，避免光污染。关键是都提到了落地以后的社会经济效益，在夜游和文旅项目中，社会和经济效益是很重要的因素。沈茹认为这也是金手指奖接地气的地方，因为我们不仅要看设计师的演讲能力、设计方案，还要看项目落地后真正的效果，这也是金手指奖评分项中设置得非常好的一项。第四点，文旅项目之所以难，是因为文旅项目不仅蕴含了人文内涵，还有人的感知、认知等各方面的因素，是综合性的体验项目。文旅项目的核心是创意，即吸引人，留住人，这是最难的。因为每个人需求和关注点都不一样，这也给设计师带来了很大的挑战。要用文化的理念发展旅游，来传播文化，同时实现价值的叠加，能够实现综合的效益，同时通过项目的策划得到延续。

此外，金手指奖组委会还为华东赛区评审委员及提名委员分别颁发了聘书，以此感谢各专家评委为比赛及行业的辛苦付出。



南京照明学会理事长、南京市路灯管理处处长臧锋为晋级选手颁发荣誉证书

最后，经过统计南京朗辉光电科技有限公司照明设计师何梦杰和颐可光照明设计（上海）有限公司设计总监袁振分别获得第十届金手指奖华东赛区晋级赛的第一名与第二名。南京照明学会理事长、南京市路灯管理处处长臧锋为两位选手颁发了荣誉证书。两位选手也将代表华东赛区选手进军全国总决赛。





为华东赛区评审委员及提名委员颁发聘书



现场掠影

（来源：“ 中国照明网 ”网站）

江苏省照明学会理事单位長江都市喜获“2020中国全过程工程咨询行业综合实力百强”



由中国采购与招标网、中国名企排行网联合组织开展的“2020 第十四届全国招投标领域年度聚焦暨第二届中国全过程工程咨询机构评价推介 ”活动，受到业内及社会各界人士的广泛关注，网上共展示 8255 家企业，专题浏览量达 2.7 亿次，有效投票数达 3309 万张。活动历时 4 个月，历经企业报名、资料初审、网上公示、评论投票、数据核对、综合评审等阶段，最终采取“ 综合评审法 ”遴选出“2020 中国全过程工程咨询行业综合实力百强 ”。

南京長江都市建筑设计股份有限公司荣誉上榜“2020 中国全过程工程咨询行业综合实力百强 ”。

2020中国全过程工程咨询行业综合实力百强

（注：排名不分先后）

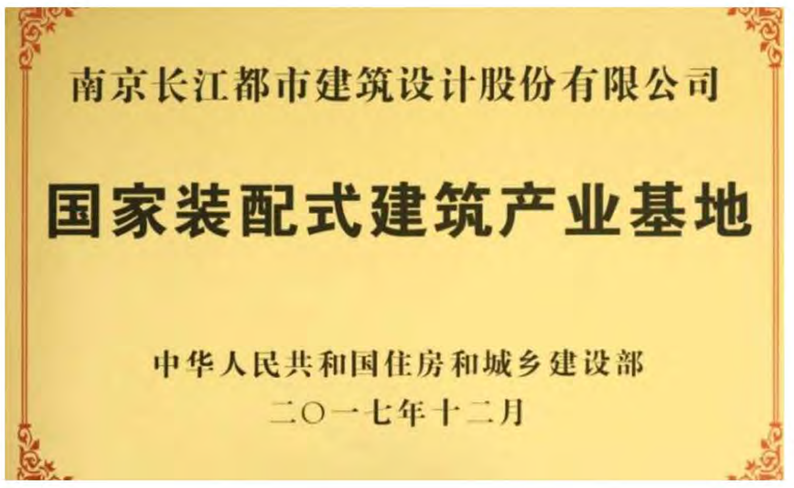
序号	企业名称	管理体系	网址
1	中国建筑设计研究院有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.cadri.cn
2	北京市建筑设计研究院有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.biad.com.cn
3	中国联合工程有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.chinacuc.com
4	中冶京诚工程技术有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.ceri.com.cn
5	中国中元国际工程有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.ippr.com.cn
6	中国寰球工程有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	hqcec.cnpc.com.cn
7	上海建科工程咨询有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.jkec.com.cn
8	上海同济工程咨询有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.tongji-ec.com.cn
9	北京国金管理咨询有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.bgccn.com
10	深圳市建筑设计研究总院有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.sadi.com.cn
11	浙江江南工程管理股份有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.jnpm.cn
12	浙江五洲工程项目管理有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.wzpm.com.cn
13	南京长江都市建筑设计股份有限公司	质量管理体系认证 环境管理体系认证 中国职业健康安全管理体系认证	www.nanjing-design.cn

关于長江都市

南京長江都市建筑设计股份有限公司前身为南京市民用建筑设计研究院，创建于一九七六年初。经历了四十余年的发展，已形成以城市设计、办公建筑、商业建筑、科研教育建筑、居住建筑设计为特色和主要产品，具有一定实力和规模的区域性、综合性、特色鲜明的现代建筑设计企业。2014年、2017年连续获评国家高新技术企业，标志着長江都市由传统单一的建筑工程设计向科技创新与工程设计咨询及总承包相结合的方向转型升级，在江苏省乃至华东地区具较高声誉及较强竞争力。公司致力于成为服务城市建设和更新的平台型技术集成服务商，以“建筑服务社会”的企业使命为社会提供优质设计和服务。

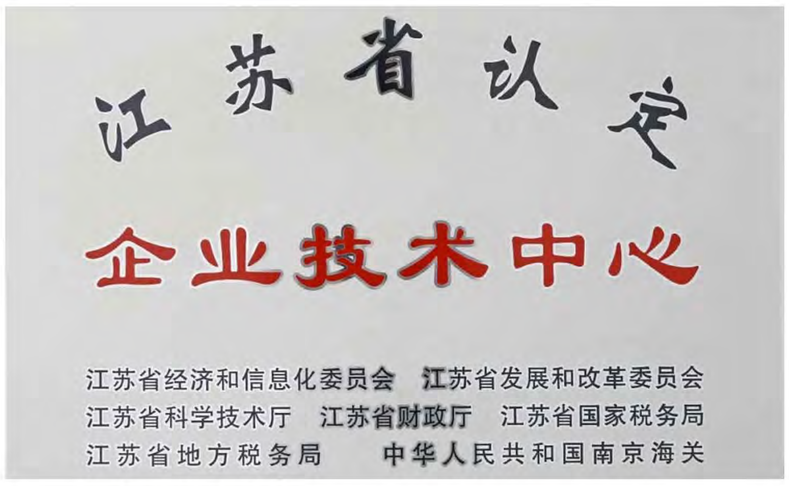
近年来，公司在绿色建筑和装配式建筑领域开展技术创新与设计应用，先后完成90余项装配式建筑设计，总建筑面积达1200万平方米，在国内建筑设计企业中居于前列。率先展开工程总承包和全过程工程咨询服务，向客户提供高质量的全方位技术服务。2018年入选首批“江苏省全过程工程咨询试点企业”，依托公司丰富的设计总包一体化服务经验，充分发挥長江都市建筑设计优势和建筑师的主导作用，积极培育全过程工程咨询服务的能力，加快長江都市从单一传统建筑工程设计向工程设计+工程咨询+工程承包管理的综合型现代工程设计咨询公司转型升级，努力成为江苏省内一流的具有特色工程设计咨询企业。

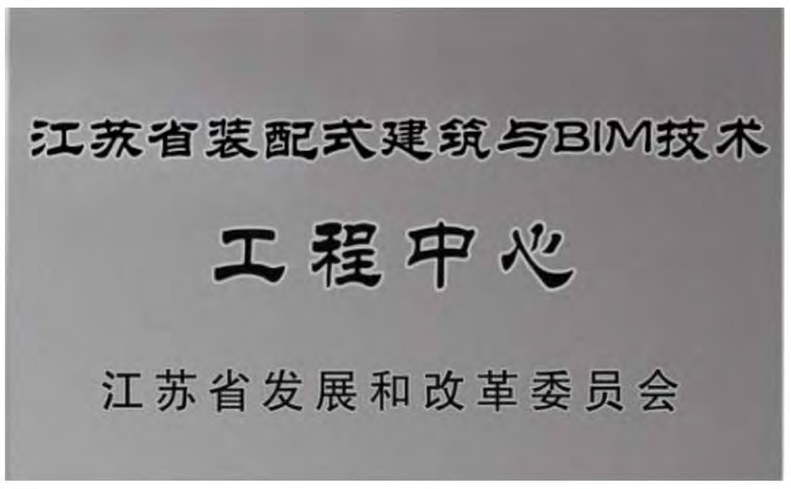












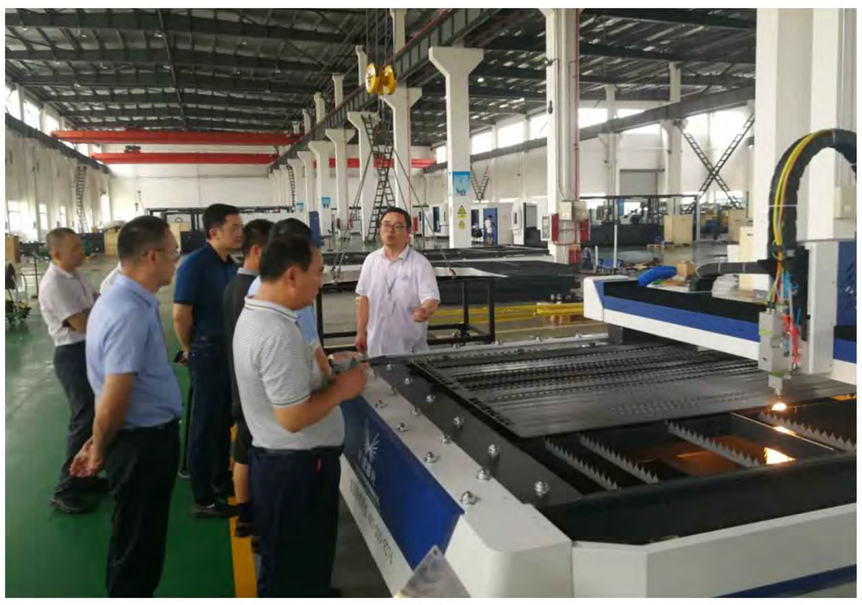
（来源：“ 长江都市 ”微信公众号）

江苏省照明学会召开
激光设备辐射防护团体标准立项论证会议



2020 年 8 月 8 日，江苏省照明学会组织标准化工作委员专家在无锡庆源激光科技有限公司召开了《激光加工设备 光辐射防护要求》团体标准立项论证会，省照明学会标准化工作委员会主任吕家东、副主任王田虎和各位委员、常州天正工业发展股份有限公司董事长助理、常州信息职业技术学院高工杨青丰、无锡庆源激光科技有限公司常务副总经理彭文斌、技术副总经理陈继良等 10 余人出席会议。



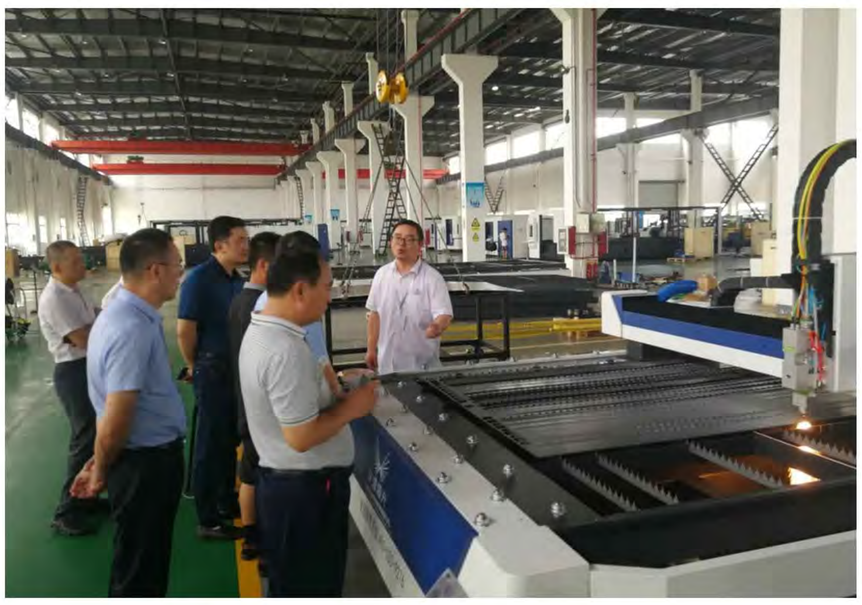


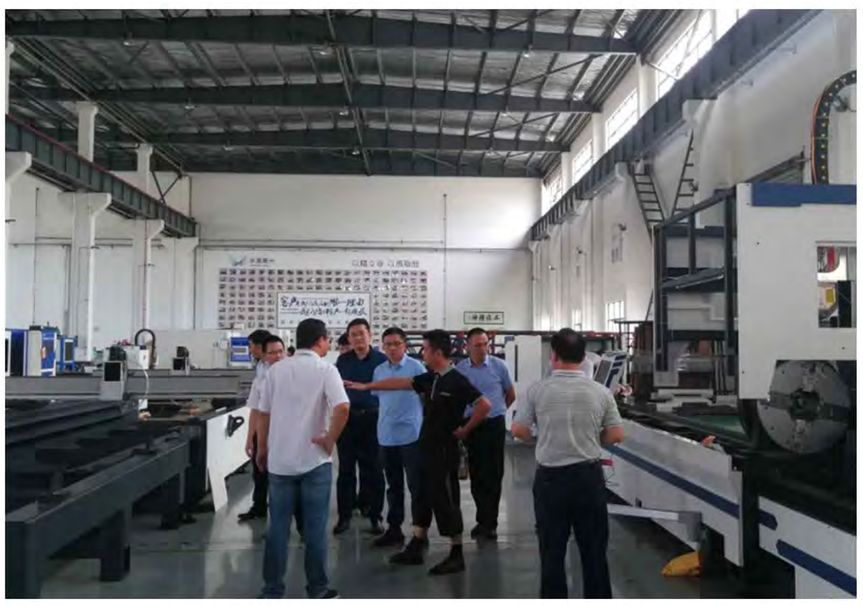
标准化工作委员专家听取了团体标准制定提出单位的编制汇报，现场考察了激光切割设备的生产情况，对相关技术和发展趋势进行了详细讨论和分析研究。结合行业发展实际，注重标准的可操作性、科学性及适用性，从内容规范、方向定位及应用层面提出了具有建设性的意见和建议。与会代表一致认为激光设备辐射防护团体标准制定符合行业发展迫切需求，有利于规范行业发展，同意立项，并要求主编单位

按工作计划尽快推进编制工作。









无锡庆源激光科技有限公司

无锡庆源激光科技有限公司是一家专业研发、生产工业激光切割机的现代化制造企业，是无锡新区机光电科技产业园首批引进的高新技术企业，公司现有 4000 平米的标准化厂房。经过多年激光技术与各类人才的沉淀，拥有专业的技术团队、专家教授队伍。

公司自成立以来注重技术、品质、应用、市场等多方面资源的优化整合，以“ 高效率、高性能、高精度 ”为导向的激光切割机，广泛应用于：机械设备、电器设备、广告标牌、钣金制作、精密零件、汽车配件、数码产品、眼镜制作、工艺礼品、五金制品、电子元件等行业。

庆源激光专注于大、中、小幅面激光切割机。紧跟国际前沿，并与德国、美国、英国等世界著名激光配套供应商紧密协作，研制的激光设备光电转换效率高、光束质量好、性能稳定。多项技术已处于国内地位，尤其是固体激光切割机在切割厚度和切割速度方面居亚洲地位，设备远销马来西亚等东南亚国家及地区。

庆源激光围绕“ 以精立业，以质取胜 ”的经营理念，不断完善产品品质，深得广大客户的信赖与支持！

地址：无锡新区鸿山街道锡协路 203 号
（原锡协路 208 号机光电园区斜对面 200 米）

电话：86-0510-68885506

联系人：何海龙先生（销售总监）

手机：13961805727

电子邮件：lei.chenqy-laser

网址：http://www.qy-laser.com

江苏省照明学会专家参加
江苏欧亚照明省级新产品新技术鉴定会



2020 年 8 月 22 日，江苏省工业和信息化厅组织专家在沭阳县召开了省级新产品新技术鉴定会，江苏欧亚照明股份有限公司的“ 防水汽太阳能路灯 ”、“ 智能感应一体化路灯 ”、“ 可旋转易清洗太阳能景观灯 ” 等 6 个新产品和“ 锂电池组自动焊接技术 ”、“ LED 线路板锡膏精准涂覆技术 ” 等 2 项新技术通过了鉴定。

江苏省照明学会理事长王海波教授、副理事长兼秘书长吕家东教授、副理事长薛源高工、国家轻工业电光源材料质量监督检测中心常务副主任黄如喜高工作为评审专家参加了此次鉴定会。

江苏欧亚照明股份有限公司



公司于2007年3月成立，前身为宿迁欧亚照明有限公司，座落于素有中国“花乡之都”美誉的——江苏沭阳县国家级经济开发区。欧亚照明是一家集产品研发、生产销售、工程施工于一体的规模化创新型科技企业，拥有员工180余人，其中国家二级建造师5名，高级工程师3名，厂房生产面积1万多平方米，拥有500W金属大型激光雕刻机床组、500W金属拱装大型光纤雕刻机、光伏激光划片仪、激光分选分测试仪、组件大型测试仪、光学测试积分球、组件层压机、大型重工折弯机、大型重工钢板切割机、600T冲压机、100台二氧化碳保护、大型循环式高温烤箱、静电发生器多套、高速纵剪机、自动埋弧焊、气体焊接、彩色粉末静电喷涂、热镀锌等多种大型自动设备。

公司遵循“节能环保、新能源、新科技”理念，获得了“江苏省著名商标”、“CQC”国家光伏系统产品认证、CCC国家强制性产品认证以及CE欧盟强制性安全认证，主要产品有：全功率段晶体硅太阳能电池板太阳能离网光伏发电系统，分布式光伏发电系统，多功能车载式太阳能移动电源，太阳能路灯，道路灯、景观灯、庭院灯、礼花灯、草坪灯、仿真植物灯，LED光源及其他户外照明电器。

地址：中国 • 江苏 • 沭阳县北工业园区萧山路19号
电话：0527-83967088
传真：0527-83967088
邮箱：jsoyzm@163.com
网址：http://www.jsoyzm.com

江苏省照明学会

Jiangsu Illuminating Engineering Society

THE JIANGSU
ELECTRIC LIGHTING
FIRST QUARTER 2020

2020年09月01日出版