

# 高亮度顶发射单色绿光 OLED 微显示器件制备

段 瑜<sup>1,2</sup>, 张筱丹<sup>1,2</sup>, 孙 浩<sup>1</sup>, 朱亚安<sup>1,2</sup>, 王光华<sup>1,2</sup>,  
宋立媛<sup>1,2</sup>, 于晓辉<sup>1,2</sup>, 万锐敏<sup>1,2</sup>, 季华夏<sup>1</sup>, 李亚文<sup>1,2</sup>

(1. 云南北方奥雷德光电科技股份有限公司, 云南 昆明 650223;

2. 昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

**摘要:** 通过采用高效磷光体系材料和顶发射有机发光结构, 配合自有的 SVGA060 全数字信号电路系统架构 CMOS 硅基驱动电路, 获得了发光峰位于 535 nm 的高亮度单色绿光、0.6 英寸、800×600 分辨率 OLED 微显示器件, 最大亮度可达 20000 cd/m<sup>2</sup>。其起亮电压为 2.6 V, 亮度从 20 cd/m<sup>2</sup> 到 20000 cd/m<sup>2</sup> 的驱动电压摆幅为 2.7 V, 最大电流效率为 24.43 cd/A。电流密度为 20 mA/cm<sup>2</sup> 时, 色坐标 CIE<sub>X</sub> = 0.286、CIE<sub>Y</sub> = 0.665。该器件在 1000 cd/m<sup>2</sup> 和 500 cd/m<sup>2</sup> 亮度下的半衰期为 42559 h 和 186208 h。

**关键词:** 高亮度绿光; OLED; 微显示器件

中图分类号: O482.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2015)12-1022-05

## Fabrication of High Brightness Top-emitting Green OLED Micro-display

DUAN Yu<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiao-dan<sup>1,2</sup>, SUN Hao<sup>1</sup>, ZHU Ya-an<sup>1,2</sup>, WANG Guang-hua<sup>1,2</sup>,  
SONG Li-yuan<sup>1,2</sup>, YU Xiao-hui<sup>1,2</sup>, WAN Rui-min<sup>1,2</sup>, JI Hua-xia<sup>1</sup>, LI Ya-wen<sup>1,2</sup>

(1. Yunnan Olightek Opto-electronic technology Co., Ltd., Kunming 650223, China;

2. Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

**Abstract:** A high brightness, 0.6 inch, 800×600, mono green OLED micro-display, which based on phosphorescent materials, high efficient top-emitting structure and SVGA060 si-base CMOS backplane with full digital system driver circuit have been fabricated. The voltage of device start working is only 2.6 V, and the voltage swing as low as 2.7 V from 20 cd/m<sup>2</sup> to 20000 cd/m<sup>2</sup>. When current density is 20 mA/cm<sup>2</sup>, the green emission with peak at 535 nm and CIE coordinates X=0.286, Y=0.665. The maximum current efficiency is 24.43 cd/A. The optimized devices have a half-life of 42559 h@1000 cd/m<sup>2</sup> and 186208 h@500 cd/m<sup>2</sup>.

**Key words:** high brightness green emitting, OLED, Micro-display

## 0 引言

近年来, 有机电致发光显示器 (OLED) 由于具有视角宽、响应速度快、轻薄以及较容易实现全彩色平板显示等优点<sup>[1-2]</sup>, 受到了极大的关注, 具有广阔的应用前景。

传统的底发射 OLED 以 TFT 作为驱动电路时, 存在开口率的问题, 特别是针对微显示一类像素极小的显示器件, 这一问题就更显得突出。OLED 微型显示器作为硅基顶发射有机发光器件<sup>[3-4]</sup>, 光从顶端的透明或半透明的电极出射, 所有驱动电路可置于硅基衬

底上, 有利于实现发光器件与成熟硅基电路的集成, 同时还避免了传统底发射器件驱动电路和显示发光面积相互竞争的问题, 提高了显示器件的开口率。

OLED 显示器中所用的材料分为荧光材料和磷光材料。根据自旋统计估算, 在电激发的条件下, 空穴和电子结合而成的单线态和三线态激子的几率分别为 25% 和 75%。对荧光材料而言, 它只能通过单线态-单线态能量转移的方式来形成单线态激子, 因而荧光材料制备的 OLED 显示器的最大内量子效率为 25%。而对于磷光材料而言, 它既能通过三线态-三线态能量转移的方式来形成三线态激子, 又能通过单线态-单线

收稿日期: 2015-07-04; 修订日期: 2015-12-09。

作者简介: 段瑜 (1981-), 女, 高级工程师, 主要从事 OLED 器件开发。

基金项目: 云南省应用基础研究重点项目, 编号: 2012FA004; 昆明市产业创新发展重点项目, 编号: 2014-01-A-G-02-2006。

态能量转移的方式然后经单线态-三线态的系间窜越来形成单线态激子，因而由磷光材料组成的器件的最大内量子效率可达 100%。很多文献报道<sup>[5-11]</sup>采用了磷光材料获得了高性能的 OLED 器件，特别是单色绿光 OLED 器件。但是这些报道都是基于底发射的 OLED 显示结构。本文利用磷光材料形成单层发光层，蒸镀在云南北方奥雷德公司开发的 SVGA060 硅基板上，从而制备出高亮度顶发射单色绿光 OLED 微显示器件。

## 1 设计思路

图 1 为 OLED 微型显示器结构示意图，从图上可以看出，OLED 微型显示器由 PCB 背板、硅基驱动电路、金属阳极、OLED 有机发光薄膜层、透明阴极、彩色过滤层和玻璃盖片构成。其中彩色过滤层仅限于制备彩色 OLED 微型显示器使用。

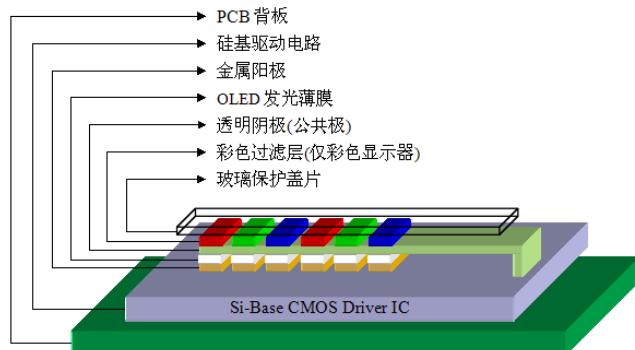


图 1 OLED 微型显示器结构示意图

Fig.1 Schematic of OLED micro-display device

### 1.1 硅基 CMOS 驱动电路

云南北方奥雷德公司所开发的 SVGA060 硅基板，采用全数字系统架构的 CMOS 驱动电路设计，显示尺寸为 0.6 in，分辨率为 800×600。其每个像素点由 R、G、B 三个亚像素点构成，按垂直列条状排列（如图 2 所示）。在本文单色绿光器件中，3 个亚像素点均发绿光。每个像素的尺寸、发光面积与显示面积的占空比、显示区域尺寸如表 1 所示。

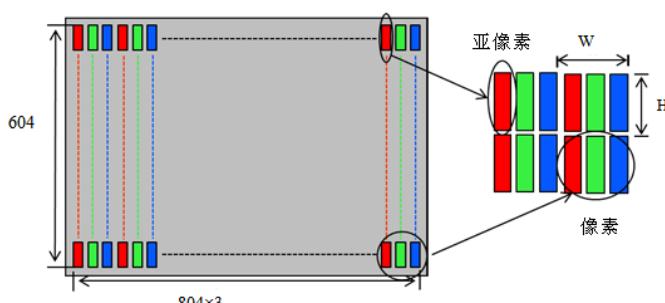


图 2 像素排列图

Fig.2 Pixel array architecture

表 1 像素尺寸相关信息列表

Table 1 Related parameters of the pixel

像素点尺寸		占空比	显示区域尺寸	
宽 (W)	高 (H)		宽 (W)	高 (H)
15 μm	15 μm	75%	12.06 mm	9.06 mm

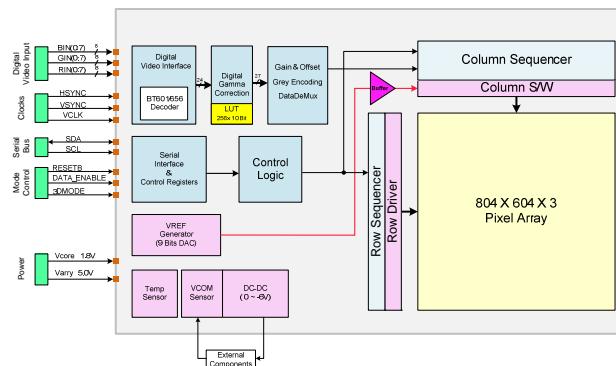


图 3 驱动电路芯片功能结构图

Fig.3 SVGA060 block diagram

SVGA060 硅基板驱动驱动电路功能结构如图 3 所示。主要由数字视频信号接口及解码、数字伽玛矫正，RGB 增益控制、灰度映射、D/A 转换、行列扫描、像素驱动阵列、串行通信、逻辑控制、温度传感器、DC/DC 转换等功能模块组成。

数字视频信号接口具有 3 个 8 位数据通道，可接受 8/16/24 位的 RGB、YCbCr 或 Mono 视频信号，兼容 ITU-R BT.601/656 标准。内部解码器根据不同的视频输入格式解码输出 24 位 RGB 信号，伽玛矫正电路对 24 位 RGB 信号进行查表矫正后，可扩展至 3×9 位 RGB 信号输出。

两线串行接口兼容 I<sup>2</sup>C 通信标准，用于实现内部寄存器的读写操作，并通过逻辑控制单元实现数字视频信号的解码和处理、伽玛矫正、DC-DC 阴极负电压等功能电路的可编程控制和协调工作，以及双目 3D 效果的实现。

内部温度传感器电路实时监测芯片内部的工作温度，外部控制单元通过两线串行接口读取该温度值后，可根据显示器的亮度-温度特性，按需要及时调整 DC-DC 阴极负电压，从而实现显示器亮度的温度补偿功能。

### 1.2 磷光有机发光结构

磷光有机发光结构如图 4 所示，由阳极、空穴注入层、空穴传输层、绿色磷光发光层、电子传输层、电子注入层和透明阴极构成。有机发光结构中所采用的材料都为玻璃化温度较高的材料，保证整个有机发光结构的稳定性。

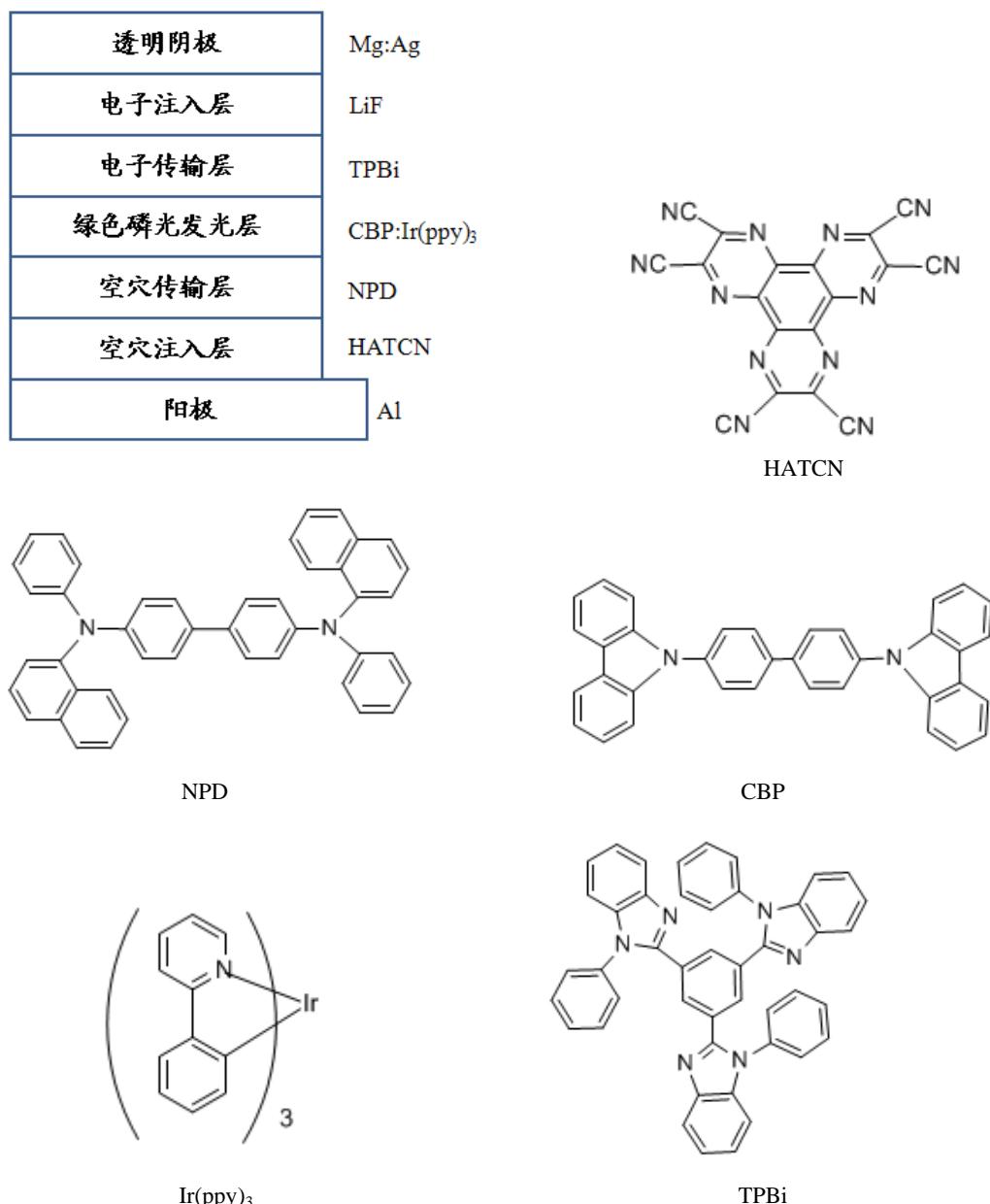


图4 磷光有机发光结构及材料结构图

Fig.4 Phosphorescent green OLED architecture and molecular structures of the materials

## 2 实验

本实验采用云南北方奥雷德公司开发的SVGA060 硅基背板，在硅片上蒸镀磷光有机发光结构，其中空穴注入层的厚度为 300~400 Å，空穴传输层的厚度为 100~200 Å，发光层厚度为 250~350 Å，掺杂率为 15% 到 20%，电子传输层厚度为 250~350 Å，电子注入层厚度为 100~150 Å，蒸发速度保持为 1 Å/s，蒸镀腔室真空度保持在  $2 \times 10^{-4}$  Pa。器件的亮度及光谱由 PR-655 光度计测量，电流和电压通过 Keithley 2400 测试仪所组成的测试系统测量。

## 3 结果和讨论

图 5 为器件的电流密度-电压-亮度特性曲线。起亮电压为 2.6 V；电流密度为 20 mA/cm<sup>2</sup> 时，电压为 4.1 V，亮度为 4700 cd/m<sup>2</sup>；电流密度为 44 mA/cm<sup>2</sup> 时，电压为 4.65 V，亮度为 10000 cd/m<sup>2</sup>；器件最大亮度可达 20000 cd/m<sup>2</sup>。

更为重要的是，对于 OLED 微型显示器而言，由于其驱动电压的工作范围十分有限，要求在较小的电压变化范围内，器件亮度能有大幅的提升。从图 5 中可以看到器件亮度从 20 cd/m<sup>2</sup> 到 20000 cd/m<sup>2</sup> 的电压变化幅度仅为 2.7 V，能有效满足 OLED 微型显示器

驱动电压的要求。

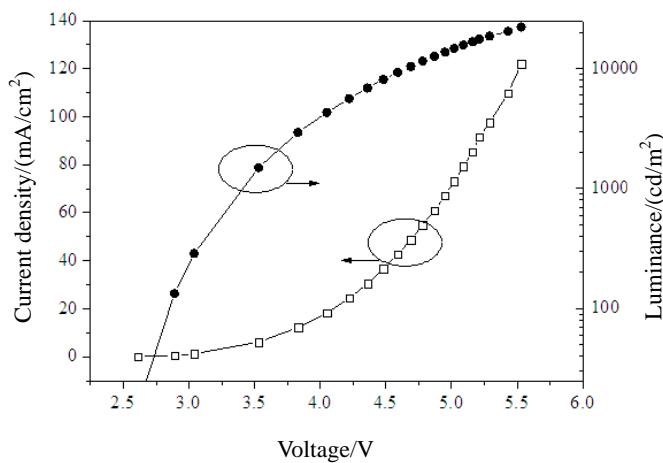


图 5 电流密度-电压-亮度特性曲线

Fig.5 J-V-L characteristics of the green microdisplays

图 6 为器件电流效率和功率效率随亮度变化的曲线。在亮度值为  $1500 \text{ cd/m}^2$  下, 电流效率达到最大值, 为  $24.43 \text{ cd/A}$ , 相对应的功率效率为  $21.73 \text{ lm/W}$ 。随着亮度的增大, 电流效率和功率效率都有了不同程度的降低。

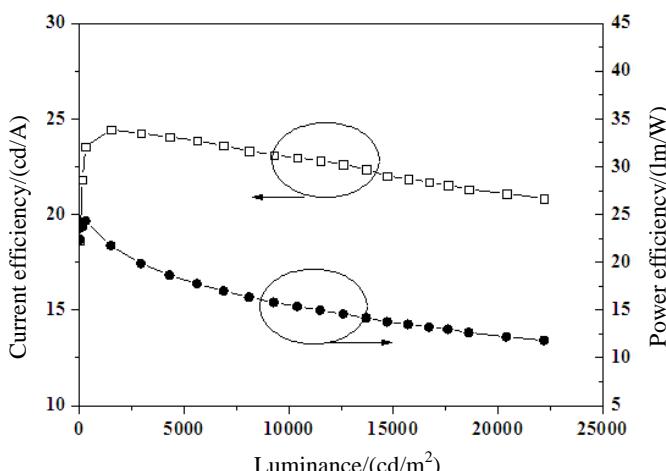


图 6 器件的电流效率和功率效率随亮度变化曲线

Fig.6 The current efficiency and power efficiency of the green OLED device versus luminance

图 7 为器件色坐标随电流密度的变化曲线, 可以看出, 电流密度为  $20 \text{ mA/cm}^2$  时, CIEX 为 0.286, CIEY 为 0.665, 并且随着电流密度的增加, 器件的 CIEX 和 CIEY 变化较为稳定, 这对于高亮显示应用是十分重要的。

图 8 为器件在  $20 \text{ mA/cm}^2$  的电流密度下的 EL 光谱, 可以看出在  $535 \text{ nm}$  处有一宽带发光峰, 该发射峰基本接近人眼最敏感的  $555 \text{ nm}$  波长的绿光。

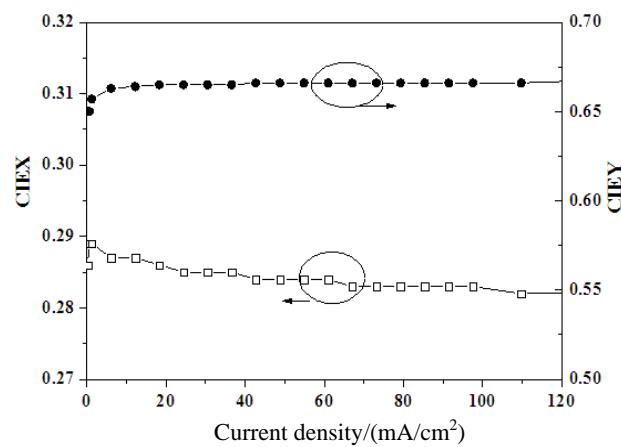


图 7 器件色坐标随电流密度变化曲线

Fig.7 The chromaticity of the green OLED device versus current density

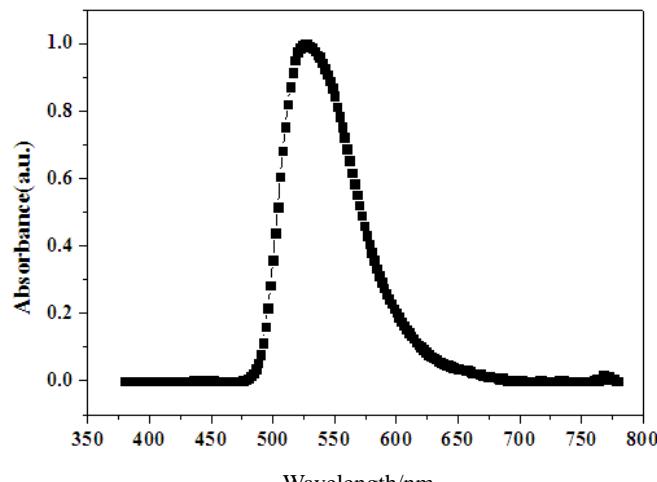


图 8 器件的 EL 光谱

Fig.8 EL Spectra of devices

图 9 为恒流驱动下器件在  $3200 \text{ cd/m}^2$ 、 $6000 \text{ cd/m}^2$  和  $12000 \text{ cd/m}^2$  起始亮度下持续点亮情况下的亮度和时间的归一化曲线。可以看到将亮度和时间归一化后, 3 条曲线的重合性较好, 说明该器件的工艺较为稳定。

根据器件在  $3200 \text{ cd/m}^2$ 、 $6000 \text{ cd/m}^2$  和  $12000 \text{ cd/m}^2$  起始亮度下的亮度衰减情况, 采用公式(1)进行拟合计算<sup>[12-13]</sup>, 公式如下:

$$L_0^n \times t_{1/2} = \text{Const} \quad t \quad (1)$$

公式(1)说明了器件的初始亮度与该初始亮度下的半衰期之间的关系。其中  $L_0$  为器件的初始亮度,  $t_{1/2}$  为对应起始亮度衰减到一半的时间, 也即为器件的半衰期,  $n$  为加速系数。根据公式(1)从而推算出在特定使用亮度下的半衰期如表 2 所示。

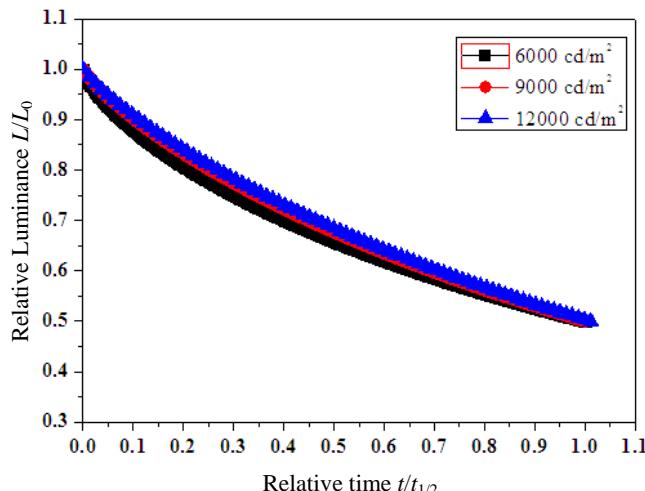


图9 恒流驱动下器件在 $3200 \text{ cd}/\text{m}^2$ 、 $6000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 和 $12000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 起始亮度下的亮度和时间归一化曲线

Fig.9 The normalized luminance decay curves of green OLED microdisplays driven at a constant current with starting luminance of 3200, 6000 and  $12000 \text{ cd}/\text{m}^2$

表2 推算出的器件半衰期

Table 2 Projected half-life in hours

起始亮度	半衰期
$1000 \text{ cd}/\text{m}^2$	42559 h
$500 \text{ cd}/\text{m}^2$	186208 h

#### 4 总结

通过采用磷光体系材料和高效顶发射有机发光结构，配合 SVGA060 全数字信号电路系统架构的 CMOS 硅基驱动电路，获得了发光峰位于 535 nm 的高亮度单色绿光、0.6 in、 $800 \times 600$  分辨率 OLED 微显示器件，最大亮度可达  $20000 \text{ cd}/\text{m}^2$ 。其起亮电压为 2.6 V，亮度从  $20 \text{ cd}/\text{m}^2$  到  $20000 \text{ cd}/\text{m}^2$  的驱动电压摆幅为 2.7 V，最大电流效率为 24.43 cd/A。电流密度为  $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$  时，色坐标 CIEX=0.286、CIEY=0.665。该器件在  $1000 \text{ cd}/\text{m}^2$  和  $500 \text{ cd}/\text{m}^2$  使用亮度下的半衰期寿命为 42559 h 和 186208 h。

#### 参考文献：

[1] Wang J, Yu J S, Li L, et al. Low roll-off power efficiency organic

light-emitting diodes consisted of nondoped ultrathin phosphorescent layer[J]. *Applied Physics Letters*, 2008, **92**(13): 133308-1-3.

- [2] Forrest S R. The road to high efficiency organic light emitting devices[J]. *Organic Electronics*, 2003, **4**(2-3): 45-48.
- [3] Chen C W, Hsieh P Y, Chiang H H, et al. Top-emitting organic light emitting devices using surface-modified Ag anode[J]. *Applied Physics Letters*, 2003, **83**(25): 5127-5129.
- [4] LU M H, Weaver M S, Zhou T X, et al. High-efficiency top-emitting organic light emitting devices[J]. *Applied Physics Letters*, 2002, **81**(21): 3921-3923.
- [5] Baldo M A, O'Brien D F, You Y, et al. Highly efficient phosphorescent emission from organic electroluminescent devices[J]. *Nature*, 1998, **395**(6698): 151-154.
- [6] Tanaka D, Sasabe H, Li Y J, et al. Ultra high efficiency green organic light-emitting devices[J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2007, **46**: 10-12.
- [7] Kondakov D Y, Sandifer J R, Tang C W, et al. Nonradiative recombination centers and electrical aging of organic light-emitting diodes: Direct connection between accumulation of trapped charge and luminance loss[J]. *Journal of applied physics*, 2003, **93**(2): 1108-1119.
- [8] Cleave V, Yahiroglu G, Barny P L, et al. Harvesting singlet and triplet energy in polymer LEDs[J]. *Advanced Materials*, 1999, **11**(4): 285-288.
- [9] Lane P A, Palilis L C, O'Brien D F, et al. Origin of electrophosphorescence from a doped polymer light emitting diode[J]. *Physics Review B*, 2001, **63**: 235206.
- [10] Yang X H, Neher D, Scherf U, et al. Polymer electrophosphorescent devices utilizing a ladder-type poly(para-phenylene) host[J]. *Journal of Applied Physics*, 2003, **93**(8): 4413-4419.
- [11] Levell J W, Gunning J P, Burn P L, et al. A phosphorescent poly(dendrimer) with increased viscosity for solution-processed OLED devices[J]. *Organic Electronics*, 2010, **11**(9): 1561-1568.
- [12] Féry C, Racine B, Vaufrey D, et al. Physical mechanism responsible for the stretched exponential decay behavior of aging organic light-emitting diodes [J]. *Applied Physics Letters*, 2005, **87**(21): 213502-203502-3.
- [13] Lim Y B, Yoon D H, Kim H H, et al. Physical mechanism responsible for degradation of organic light-emitting diodes[J]. *Microelectronic Engineering*, 2014, **129**: 21-23.