

OLED 显示器热带雨林环境适应性研究

王冲文, 赵宏坤, 刘 剑, 王乔方, 朱光宇, 杨玉萍, 罗 瑞, 赵远荣, 李 伟, 刘艳芳, 戈 帆
(国营第二九八厂, 云南 昆明 650114)

摘要: 为开展 OLED 显示器在热带雨林气候条件下的环境适应性研究, 将 OLED 显示器置于西双版纳试验站进行库内自然暴露试验, 并定期对样品进行观察和检测。经过一年的暴露试验, OLED 显示器表面出现针孔、黑点和膜层脱落等现象, 以及发光面积减小和亮度降低等性能衰减变化。研究发现, OLED 显示器在热带雨林环境中长期受温度、湿度等环境因素的交变应力作用, 其密封性遭到破坏, 外界氧气、水汽等进入显示器内部, 最终导致 OLED 显示器失效。因此, 要想进一步提高 OLED 显示器在热带雨林环境中的使用寿命, 关键在于改善 OLED 显示器的密封性。

关键词: OLED; 热带雨林; 环境适应性; 密封性

中图分类号: TN219 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2020)06-0542-05

Dissecting the Adaptability of OLED Displays in Tropical Rainforest

WANG Chongwen, ZHAO Hongkun, LIU Jian, WANG Qiaofang, ZHU Guangyu,
YANG Yuping, LUO Rui, ZHAO Yuanrong, LI Wei, LIU Yanfang, GE Fan
(State-Owned No. 298 Factory, Kunming 650114, China)

Abstract: To study the environmental adaptability of OLED displays in tropical rainforest, OLED displays are placed into the storeroom of experimental station in Xishuangbanna, and they are observed and tested regularly. After one-year-exposure, the surface of OLED displays appears pinhole, black point, and obscission. In addition, the area of luminescence and brightness were reduced. Investigation revealed: the sealing of OLED displays is destroyed in tropical rainforest, subjected to the long term alternating stress caused by temperature and humidity, thus led to the failure of OLED with oxygen and moisture in the interior of displays. Therefore, an improved sealing is the key to the service life of OLED displays in tropical rainforest.

Key words: OLED, tropical rainforest, environmental adaptability, sealing

0 引言

OLED (organic light-emitting diode) 显示器具有发光效率高、功耗低、质量轻、厚度薄、可弯曲、主动发光、色彩饱和度高等优点, 是目前最具发展前景的显示技术^[1]。作为光电技术的重要终端核心器件, OLED 显示器很早时期就为军事应用所开发, 在武器装备信息化发展中具有重要作用, 已成为当今欧美主流信息化武器装备的标准配置, 并广泛应用于飞机、航天器、坦克装甲车辆以及单兵武器装备, 如枪械瞄具、战车坦克、航空航天以及军用信息化视频眼镜等。由于 OLED 显示器为全固态, 具有无真空腔、无液态成分、抗震性好等特点, 可在高寒、强烈震动以及具

有巨大加速度等恶劣环境中使用。

近年来, OLED 显示器发展取得明显进步, 但大多将研究重点放在如何提高其发光效率等性能研究上, 而忽略了 OLED 的使用环境及其寿命的研究, 事实证明, 真正限制 OLED 显示器实现商业化、规模化、大众化运用的主要因素正是其有待提高的环境适应性^[2-3]。对积累的故障数据按不同的环境条件进行分析, 结果显示, OLED 显示器在湿热环境下使用时故障率最高。目前国内外尚无 OLED 显示器在热带雨林环境中的适应性研究的报道。

本文将 OLED 显示器长期置于热带雨林环境中进行自然环境暴露试验, 收集 OLED 显示器的失效模式, 分析其失效机理, 进而开展 OLED 显示器的热带

收稿日期: 2019-12-05; 修订日期: 2020-05-20.

作者简介: 王冲文 (1991-), 男, 云南曲靖人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事环境试验研究。E-mail: 530359488@qq.com.

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目 (JSHS2016208B005)。

雨林环境适应性研究。

1 OLED 显示器寿命影响因素

OLED, 即有机电致发光二极管, 主要是在透明阴极和金属阳极间夹杂上有机功能薄膜和有机发光层薄膜, 在外界电压的驱动下, 由电极阴极和阳极注入的电子和空穴传输到有机层中进行复合后产生激子, 激子在电场作用下发生迁移并伴随着能量释放, 这些能量又传递给有机发光物质的分子, 使其从基态跃迁到激发态, 当受激分子从激发态回到基态时, 辐射跃迁产生光子, 达到发光现象, 其本质上是一种将电能转换为光能达到发光效果的器件^[4-5]。OLED 微型显示器结构如图 1 所示, 主要由金属阳极、多层 OLED 发光薄膜、透明阴极、过滤层、复合高密度密封薄膜等组成, 贴装有玻璃保护盖片, 再与 PCB 背板互联封装而成。研究发现^[2-3], OLED 显示器的使用寿命除受内在自身材料老化影响外, 主要还受使用环境的温度和湿度影响较大, 在 25℃ 和 50% RH 的常规温、湿度条件下, OLED 显示器的工作寿命可达数万小时, 但在高温高湿环境下其寿命将大大降低, 从动力学分析认为, OLED 器件的工作温度每升高 10℃, 器件的老化速率将增加一倍。OLED 显示器的使用受湿度影响也较大, 尤其是当器件的密封性被破坏时, 空气中的水汽和氧气进入器件内部, 与金属电极发生氧化或使有机层发生水解等, 复旦大学彭雅芳^[4]经实验研究表明, 密封性破坏后, 空气中的水汽和氧气可在数小时内就将 OLED 显示器的发光性能降低甚至直接破坏, 这与 L. M. Do 和 Burrows 等人开展的关于水汽分解和氧化理论研究相符^[4], 其分解氧化的化学方程式如下:

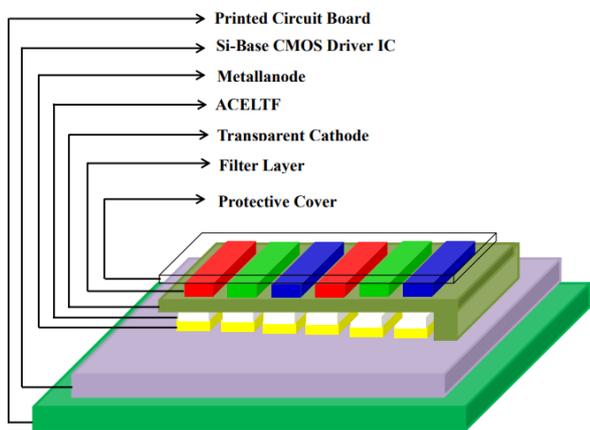
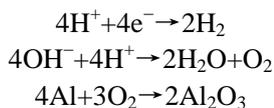


图 1 OLED 显示器结构示意图
Fig.1 Structural diagram for OLED

2 热带雨林气候环境试验

热带雨林气候具有高温高湿的特点, 是对提高 OLED 显示器使用寿命和进行可靠性研究的重要环境, 开展 OLED 显示器在热带雨林气候的环境适应性研究, 可为我国 OLED 显示器的设计、使用及维护提供一定的试验依据。

西双版纳试验站的年平均温度为 22.1℃, 最高温度达 37.2℃, 单日最大温差高达 21.8℃; 年平均相对湿度为 84% RH, 最高相对湿度达 99% RH, 单日最大湿度差高达 80% RH, 属于典型的热带雨林气候环境, 是精密仪器设备的故障频发区。OLED 显示器显微图及图像显示如图 2 所示, 由红绿蓝三基色组成, 通过三基色彩色过滤层可实现全彩色显示。针对 OLED 显示器的热带雨林环境适应性研究, 本文采用一款低功耗主动式 OLED 彩色显示器为试验样件, 将 OLED 显示器投放于西双版纳热带雨林自然环境试验站库内进行自然暴露试验, 以半年为一个试验周期, 共试验四个周期, 每个试验周期定时取样进行相关外观观察和性能检测, 并对试验结果进行分析整理。

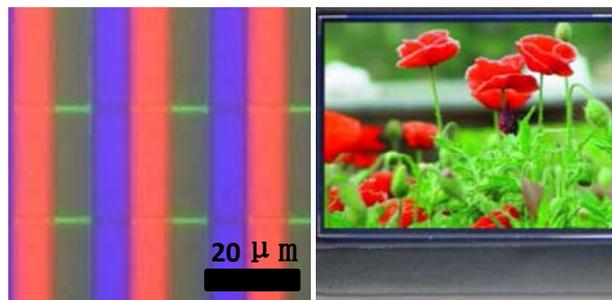


图 2 OLED 显示器微观和宏观图

Fig.2 Microscopic and macroscopic of OLED

3 自然环境试验结果及讨论

3.1 试验结果

OLED 显示器经热带雨林环境自然暴露试验后结果如图 3 所示, 其中, 图(a)为试验前的 OLED 显示器图片; 图(b)为第一周期试验后图片; 图(c)和图(d)为第二周期试验后图片; 图(e)为第三周期试验后图片; 图(f)为第四周期试验后图片。

从外观对比观察发现, 自然暴露试验第一个周期后的 OLED 显示器与试验前的外观上无明显差别; 第二个周期后的 OLED 显示器角落出现“针孔”, 边缘出现破损; 第三个周期后的 OLED 显示器失效面积由边缘和角落位置向中心扩散; 当暴露到第四周期后, OLED 显示器表面近 70% 的面积已经完全失效。

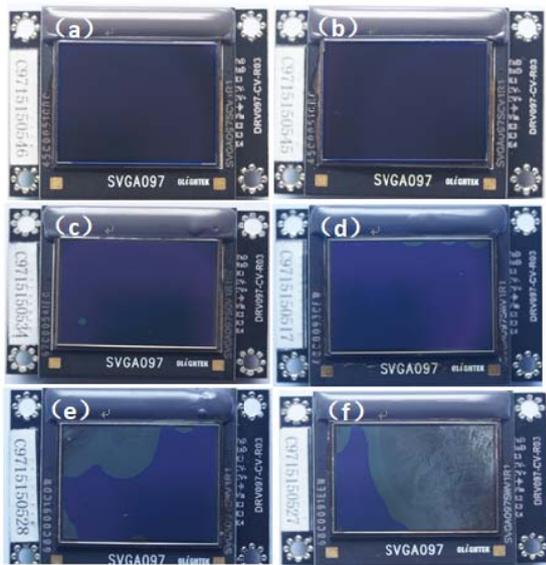


图3 OLED显示器试验结果: (a) 试验前; (b) 第一周期; (c)(d) 第二周期; (e) 第三周期; (f) 第四周期
Fig.3 The experiment results of OLED: (a) Pre-test; (b) The first cycle;(c)(d) The second cycle;(e) The third cycle; (f) The fourth cycle

分别对经过4个周期暴露试验的 OLED 显示器亮度进行检测, 检测结果如表 1 所示, 随着库内暴露试验时间的延长, OLED 显示器的亮度呈下降趋势。

表 1 OLED 显示器各周期亮度

Table1 The luminance of OLED display in different period

Period	Pre-test	First	Second	Third	Fourth
Brightness /(cd/m ²)	105.8	105.6	104.3	103.7	103.1

3.2 失效机理分析

第二个周期的 OLED 显示器针孔位置的显微图和 SEM 图如图 4 所示, 其中心点发现结晶物, 周围形成两个规则的圆环, 这主要是因为制作器件时, 一些微小的灰尘颗粒先于阴极沉积到有机层上, 当器件通电工作时, 会形成不均匀的电场, 从而导致该点的电流过大, 最终短路成为“热点”, 使得局部过热, 有机层出现熔融, 彩色过滤层被逐渐撑起, 最终形成以微粒点为圆心的白色圆环。

将第二周期边缘失效的 OLED 显示器进行点亮, 结果如图 5 所示。显示器上除破损位置外其余部分均能点亮, 在检测仪器屏幕上, 黑点依稀可见, 在显微镜下观察, 黑点更为清晰明显。李立志、唐利斌等人曾对 OLED 黑点缺陷进行过相关研究^[6], 并对黑点面积扩散理论进行了解释, 得到黑点面积与 OLED 显示器老化时间近似为正比例, 两者间满足下列关系式:

$$S = D\pi^2 t$$

式中: S 为黑点面积; D 为扩散系数; t 为老化时间。

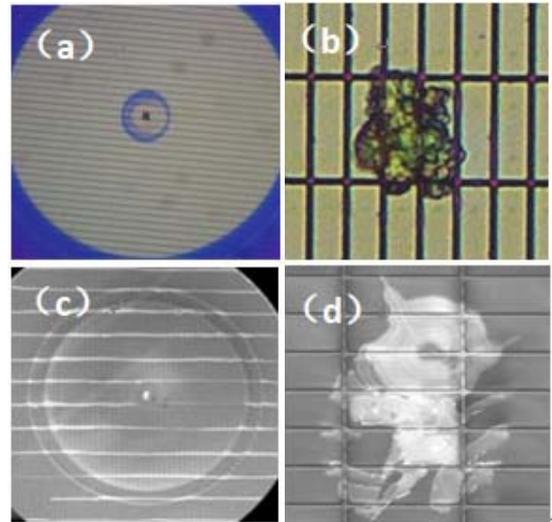


图4 OLED显示器针孔: (a)(b) 显微图; (c)(d) SEM 图
Fig.4 The pinhole of OLED: (a)(b)Micrograph; (c)(d)SEM

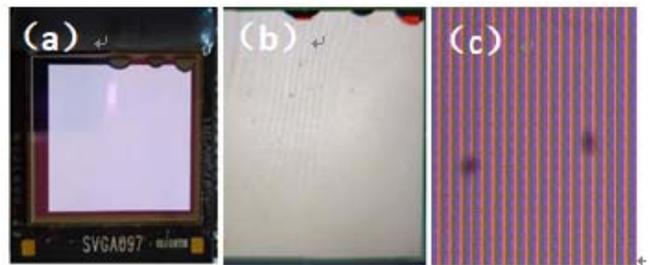


图5 OLED显示器黑点: (a) (b) 宏观图; (c) 显微图
Fig.5 The black point of OLED: (a) (b) Macrograph; (c) Micrograph

第三周期和第四周期的 OLED 显示器表面均出现大面积失效, 将未进行自然暴露试验的 OLED 显示器与第四周期的 OLED 显示器进行点亮对比, 结果如图 6 所示, 第四周期的 OLED 显示器表面失效部分已经无法正常点亮, 在显微镜下对失效边缘进行观察, 两侧可明显区分。在扫描电镜下观察失效样品表面, 可发现有膜层脱落及氧化现象。

第四周期 OLED 显示器中失效部分的 EDS 图如图 7 所示, 可以看出, 除硅以外, 氧含量最高, 几乎和钠、镁、铝、铁的总含量相当。复旦大学的彭雅芳等人经过实验室试验研究发现, 若器件密封性破坏严重, OLED 显示器可在数小时内完全失效^[4]。当密封性被破坏后, 热带雨林环境中丰富的氧气及水汽进入器件内部, 氧气可与器件内的钠、镁、铝、铁等活泼金属以及电极材料发生氧化反应。此外, 氧气会与有机层接触发生氧化, 生成羰基化合物, 它是一种有效的淬灭剂, 会显著降低 OLED 显示器的发光量子效应^[7-9]; 水汽则会使得有机层与电极间的界面黏附降低^[10], 造成两

者间逐渐分离,间接为氧气扩散制造出更大空间,因此,在氧气和水汽的综合作用下, OLED 显示器的失效速率将不断增加。

3.3 OLED 封装技术

对失效的 OLED 显示器进行统计分析,超过 90% 的失效样品都是从边角位置开始逐渐延伸到屏幕内部。国内外大量实验及研究均表明,密封性的破坏是影响 OLED 显示器使用寿命的关键,因此,各种封装技术方法也在不断发展变化^[11]。早期封装技术主要通过封装空间内填充各种干燥剂来保持封装空间内干燥;随着 OLED 的显示面积变大且越来越薄,逐渐出现了柔性封装,这种封装方式可与显示器件紧密贴合,使得封装板体积更薄,还有助于覆盖更大的面积;后来又提出多层封装方法,如有机膜、无机膜交错密封,并逐渐提高不同材质的膜层之间的粘附力,避免

层与层之间产生位移或断裂;近年来在多膜层密封的基础上进一步增加环绕各个密封层的阻挡层,以阻挡水汽和氧气的进入,与此同时,在密封层中还可以掺入吸水材料或者微粒,进一步提高阻挡效果,甚至在显示器内部设置水氧检测部,当水氧含量超标时,可及时预警,以便对密封层进行检测加固,从而提高 OLED 显示器的使用寿命^[12]。为解决 OLED 的密封性问题,德国布伦瑞克大学的 J. Meyer 采用交替沉积 Al_2O_3 和 ZrO_2 形成纳米堆叠结构的方式对 OLED 器件进行封装^[13];加利福尼亚大学的 N. Kim 等采用旋涂 Cytop (全氟代聚合物) 作为水汽阻挡层的封装方法,将器件半衰期寿命提高了 5 倍以上^[14];Kodak 公司研究利用原子层沉积 Al_2O_3 作为阻挡层进行薄膜封装^[15],这些封装技术对水汽和氧气渗透都具有较好的阻挡作用。

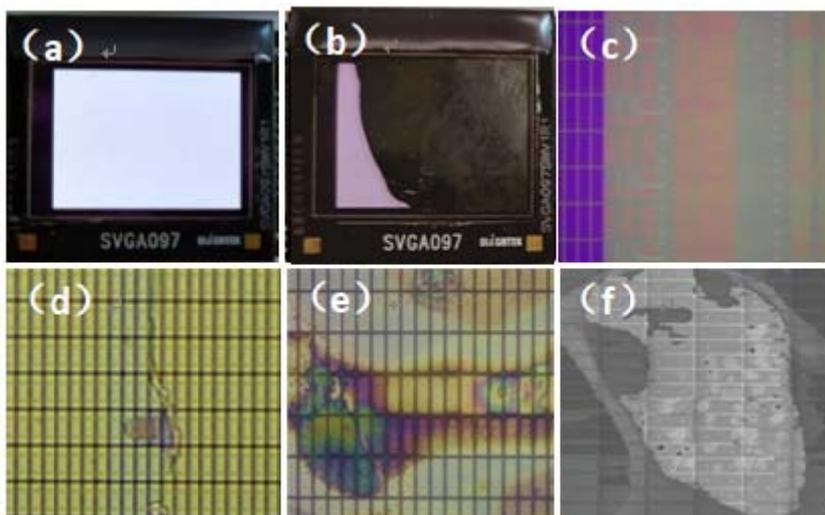


图 6 OLED 显示器、显微图和 SEM 图: (a) 试验前; (b) 第四周期; (c)(d)(e) 失效部分显微图; (f) 失效部分 SEM 图

Fig.6 The diagram of OLED: Micrograph and SEM: (a) Pre-test; (b) The fourth cycle; (c)(d)(e) The Micrograph of failure; (f) The SEM of failure

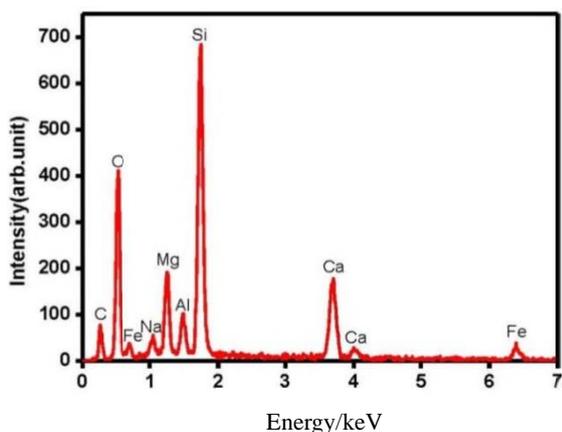


图 7 OLED 显示器中失效部分 EDS 图

Fig.7 The EDS of OLED failure

4 结论

OLED 显示器在西双版纳热带雨林自然环境试验站下经过四个周期的库内暴露试验后, OLED 显示器表面出现针孔、黑点及膜层脱落等现象,并伴随着亮度降低和发光面积减小等性能衰减问题。通过对 OLED 显示器的失效机理进行系统分析,深入开展 OLED 显示器热带雨林环境适应性研究,主要是由于热带雨林环境具有高温高湿的环境特征,在温度和湿度的交变应力作用下, OLED 显示器的密封性逐渐被破坏,空气中的水汽和氧气进入 OLED 显示器内部,引起有机层水解、电极金属氧化等,进而造成 OLED 显示器的性能衰减和结构破坏。因此,要想提高 OLED

显示器在热带雨林环境中的使用寿命,在设计、选材、工艺及维护等过程中都需要重点考虑不断提升和保证 OLED 显示器的密封性。

参考文献:

- [1] 张洪彬, 宋岩, 郑南飞, 等. OLED 显示模块环境试验条件的确定[J]. 环境试验, 2017(10): 21-24.
ZHANG Hongbin, SONG Yan, ZHENG Nanfei, et al. The determination of environmental test conditions of OLED display modules[J]. *Environmental Testing*, 2017(10): 21-24.
- [2] 吴启鹏, 付朝晖, 李军建, 等. OLED 封装材料气体渗透率的静态积累式进样质谱法测量[J]. 真空, 2017, 54(3): 32-36.
WU Qipeng, FU Zhaohui, LI Junjian, et al. Measuring gas penetration rates of OLED packaging materials by mass spectrometry method with static accumulation sampling[J]. *Vacuum*, 2017, 54(3): 32-36.
- [3] 王剑斌. 有机电致发光器件寿命测试系统研发及老化机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
WANG Jianbin. Development of Lifetime Test System for Organic Light-Emitting Diode and Its Aging Mechanisms[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [4] 彭雅芳. OLED 的失效分析技术研究[D]. 上海: 复旦大学, 2008.
PENG Yafang. The Failure Analysis of OLED[D]. Shanghai: Fudan University, 2008.
- [5] So F, Kondakov D. Degradation mechanisms in small-molecule and polymer organic light-emitting diodes[J]. *Adv. Mater.*, 2010, 22(34): 62-77.
- [6] 李斌志, 唐利斌, 郑云, 等. 老化对 OLED 黑点缺陷的影响研究[J]. 红外技术, 2010, 32(6): 349-352.
LI Hongzhi, TANG Libing, ZHENG Yun, et al. The effect of aging time on the dark spot defect[J]. *Infrared Technology*, 2010, 32(6): 249-352.
- [7] 陈纬斌, 林学好, 李周, 等. OLED 封装用粘接材料的研究进展[J]. 广东化工, 2018, 45(14): 181-184.
CHEN Weibin, LIN Xuehao, LI Zhou, et al. Research progress of bonding materials for OLED encapsulation application[J]. *Gdchem.*, 2018, 45(14): 181-184.
- [8] 官志敏. 有机电致发光器件的失效机理研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2004.
GUAN Zhiming. The Failure Mechanism of Organic Light-emitting Diode[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology, 2004.
- [9] 黄卫东. 高可靠性电子封装中防潮薄膜技术的研究[D]. 上海: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2003.
HUANG Weidong. The Moisture-resistant Coating Technology in High Reliability Electronic Modules[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Microsystems and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, 2003.
- [10] Phatak R, Tsui T Y, Aziz H. Dependence of dark spot growth on cathode/organic interfacial adhesion in organic light emitting devices[J]. *Journal of Applied Physics*, 2012, 111(5): 054512.
- [11] 王强, 张有刚. 非制冷红外焦平面探测器封装技术研究进展[J]. 红外技术, 2018(9): 837-842.
WANG Qiang, ZHANG Yougang. Research progress of the packaging techniques for uncooled infrared focal plane arrays[J]. *Infrared Technology*, 2018(9): 837-842.
- [12] 钱丹娜. OLED 封装专利技术综述[J]. 河南科技, 2019(8): 62-64.
QIAN Danna. Overview of OLED packing patent technology[J]. *Henan Science and Technology*, 2019(8): 62-64.
- [13] Meyer J, Winkler T, Hamwi S. Reliable thin film encapsulation for organic light emitting diodes grown by low-temperature atomic layer deposition[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94: 233305.
- [14] Kim N, Kippelen B, Graham S. A hybrid encapsulation method for organic electronics[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94: 163308.
- [15] Ghosh A P, Jarman C M, Formalik J E. Thin-film encapsulation of organic light-emitting devices[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, 86: 223503.