

有机电致发光器件稳定性测试系统的设计与实现

张稳稳^{1,2,3}, 吴朝新^{2,3}, 朱仁龙^{2,3}, 侯洵^{1,2,3}

- (1. 中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 710119, 西安;
2. 西安交通大学电子物理与器件教育部重点实验室, 710049, 西安;
3. 西安交通大学陕西省信息光子技术重点实验室, 710049, 西安)

摘要: 针对目前有机电致发光器件的稳定性测试系统电路复杂和成本较高等问题,设计了一种有机电致发光器件稳定性测试系统. 该系统采用集成运放组建器件的驱动电源,用硅光电池俘获亮度值,并选用基于 PCI 总线的采集卡来采集亮度数据和电压数据. 该稳定性测试系统不仅能够提供常用的恒流驱动方式,而且可以提供一种电流-电压混合源(正向恒流反向恒压)驱动. 由于采用硅光电池代替传统的辉度计,因此大幅度节约了成本;基于 PCI 总线的采集卡的选择,降低了开发设计的难杂程度,缩短了开发周期. 测试结果表明,该系统能够测试不同样品的亮度衰减和电压上升情况,性能稳定,数据可靠.

关键词: 有机电致发光器件;稳定性;电流-电压混合源

中图分类号: TN383 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2011)01-0064-04

Development of Testing System for the Stability of Organic Light Emitting Devices

ZHANG Wenwen^{1,2,3}, WU Zhaoxin^{2,3}, ZHU Renlong^{2,3}, HOU Xun^{1,2,3}

- (1. State Key Laboratory of Transient Optics and Photonics, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China; 2. Key Laboratory for Physical Electronics and Devices of the Ministry of Education, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 3. Key Laboratory of Photonics Technology for Information of Shaanxi Province, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A novel testing system for stability of organic light emitting devices (OLED) is proposed to improve the circuit complexity and high cost of existing systems. The proposed system employs the high precision IC operational amplifiers to achieve driving power supply, and uses silicon photocells to capture brightness of OLED. Then an acquisition board based on PCI bus is used to obtain the data concerning the variation of brightness and voltage of OLED. The testing system can provide two different power sources, i. e., a constant current source and a hybrid current-voltage source (a constant current source for direct bias and a constant voltage source for reverse bias). Silicon photocells are used to replace traditional brightness photometers so that costs are substantially reduced, while the use of the acquisition board based on PCI bus decreases development difficulty and shortens the development time. Testing results show that the system is competent to measure luminance delay and voltage raising, and is stable and reliable.

Keywords: organic light emitting device; stability; hybrid current-voltage source

如何提高有机电致发光器件(OLED)的稳定性,不仅是科学界研究的热点,而且也一直是产业界

关注的焦点. 研究人员已经发现, 器件结构、电极材料、工艺条件等诸多因素都会影响 OLED 的稳定性^[1], 因此 OLED 的稳定性测试就显得非常重要. OLED 的老化衰减主要表现在器件的亮度随着时间的增加而衰减, 电压随着时间的增加而上升^[2]. 一般定义亮度衰减的半衰期为器件的寿命, OLED 寿命的测量就是在一定的电源条件下, 测试亮度衰减到一半所需用的时间. OLED 稳定性测试系统主要用于测量器件的寿命以及运行过程中器件两端的电压. 目前, 几乎没有商用的专用于测试 OLED 稳定性的仪器, 对于稳定性的测试主要有两种途径: 一是利用现有的可编程的流源 Keithley 系列进行编程外加光电检测单元^[3-4], 但价格比较昂贵; 二是采用独立的供电电源外加辉度计及数据采集系统, 操作不便且成本较高. 因此, 发展经济实用和性能可靠的 OLED 稳定性测试系统具有较为广阔的前景和应用价值. 文献[5-6]分别介绍了其自主研发的稳定性测试系统, 但前者电路复杂^[5], 后者功能单一^[6]. 本文设计并实现了一种集成的 OLED 稳定性测试系统, 电路实现比较简单, 而且既可以提供简单的恒流测试, 又可以提供一种电流-电压混合测试(正向恒流反向恒压), 并自动记录结果, 提高了操作性, 减少了成本.

1 测试系统的设计与实现

本文设计的 OLED 稳定性测试系统主要是用来测量器件的寿命(亮度半衰期)以及运行过程中器件两端的电压. OLED 运行中亮度衰减和电压上升现象的物理本质是, 在一定电压驱动下, 电子和空穴分别从阴极和阳极注入到电子和空穴传输层, 电子和空穴分别经过电子和空穴传输层迁移到发光层, 并在发光层中相遇, 形成激子并使发光分子激发辐射发出光, 形成众多的发光中心. 由于有机材料老化、器件结构等本征的因素及其外界的使用条件, 会导致发光中心湮灭. 发光中心随时间湮灭的数目外在地体现在亮度随着时间的衰减^[7]. OLED 一般采用恒流源驱动, 由于器件本征的降解使得器件的阻值逐渐增大, 器件两端的电压自然会升高. 亮度衰减和电压上升是器件老化衰退的表现.

本文测试系统主要由 OLED 驱动电源、光电探测单元、数据采集系统和计算机处理系统组成, 可同时测试多路 OLED. 图 1 是测试系统的组成框图.

1.1 OLED 驱动电源

OLED 驱动电源一般为恒流源, 这是由其电学

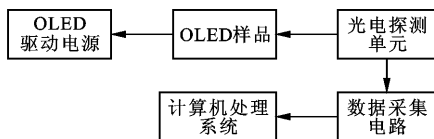


图 1 测试系统的组成框图

性质所决定的. 本文制备了一种标准双层 OLED, 器件结构为: ITO/NPB(60 nm)/Alq₃(60 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm), 其驱动电压与亮度和电流密度的关系曲线如图 2 所示. 从图 2 中可以看出, 存在一个电压阈值(起亮电压), 当驱动电压低于这个阈值时, 电流密度和亮度基本不增加, 而驱动电压高于这个阈值时, 亮度和电流密度急剧增加, 而且亮度与电流密度呈线性关系. 在许多研究^[8-11]中, 发现一种特殊的交流驱动——正向恒流反向恒压的电流-电压混合电源驱动可以提高器件的寿命. 这是因为反向偏压能够移除电荷陷阱, 阻止偶极子聚集和杂质离子向电极漂移^[11-12]. 本系统中 OLED 驱动电源为可调可控多功能电源, 它能够灵活地设置恒流模式和电流-电压混合模式. 由于集成运算放大器具有单晶体管或差分放大器无法比拟的许多优点, 因此本驱动电源设计方案借鉴了集成运算放大器的正负反馈平衡型电路, 电路原理如图 3 所示. 这种电路的负载接地, 比较方便扩展支路, 目前我们设计为 6 条支路.

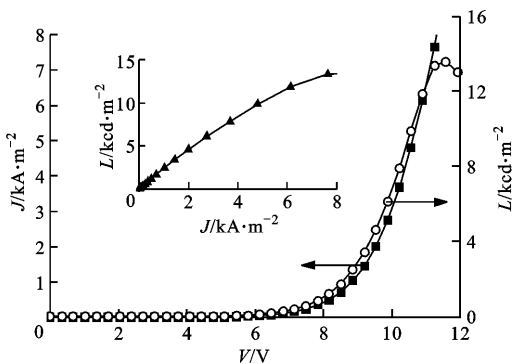
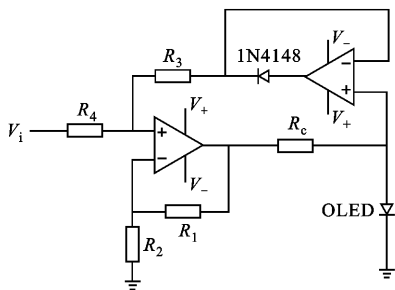


图 2 OLED 的亮度与驱动电压和电流密度的关系曲线

输入信号 V_i 由计算机通过 D/A 转换器控制, 接在运算放大器的正向输入端, 通过它可以调整电源的类型和电流电压幅度. 如果 V_i 是恒定的正电压信号, 快速二极管 IN4148 正向导通, 当 $R_1/R_2 = R_3/R_4$ 成立时, 此电路是个标准的正负反馈平衡型电路, 相当于一个压控恒流源, 流过 OLED 的电流是 $I_{\text{OLED}} = (V_i R_2) / (R_1 R_c)$, 可通过改变电压的大小来调整恒流的大小. 如果 V_i 是交流电压信号, 当



$R_1 \sim R_4$ 为平衡电阻; R_c 为限流电阻

图3 OLED驱动电源

$R_1/R_2 = R_3/R_4$ 成立时,在 V_i 的正向循环里,相当于一个压控恒流源, $I_{\text{OLED}} = (V_i R_2)/(R_1 R_c)$,而在 V_i 反向循环里,运算放大器的输出是负向电压,快速二极管 1N4148 处于反向截止状态,取消了第一个运放的正反馈回路,电路缩减为一个同相比例放大器, OLED 两端相当于加上了一个反向电压 $(1 + R_2/R_1)V_i$,此时流过 OLED 的电流为 0。

1.2 光电探测单元

器件的寿命是其亮度衰减到一半所用的时间。光电探测单元主要是将亮度信号转换为电压信号,主要包括光电转换器件、电流电压转换电路和电压放大电路。测量亮度一般采用的是精度很高的辉度计,需要对每个屏分别对焦且一次只能对焦一个屏,而且价格昂贵,不利于对多个样品同时测试。实际上, OLED 的寿命测试需要测试亮度的半衰期,而非亮度的绝对值。本文采用硅光电池作为光电转换器件,代替了传统的辉度计。这是因为硅光电池的输出电流与照射的光强成线性关系,且价格非常便宜。应用硅光电池设计的光电探测单元线路简单,容易实现,易于安装。为了采集硅光电池的输出电流,需要将电流信号转换成电压信号并进行放大,其原理比较简单,在此不再赘述,具体电路如图 4 所示。

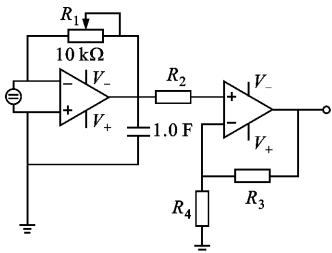


图4 电流-电压转换及其放大电路

1.3 数据采集电路

数据采集电路用来完成 OLED 两端电压信号及光电探测单元输出给定的频率的采样。数据采集

卡采用了即插即用的 PCI 总线的 PCI-8319 光电隔离模入接口卡,该接口卡采用三总线光电隔离技术,使被测量信号系统同计算机之间完全电气隔离,避免了系统总线和模拟信号相互间干扰。此外,该接口卡还采用了高性能的仪表放大器 AD620,具有极高的输入阻抗和共模抑制比,并具有最高可达 1 000 倍的放大增益,可直接配接各种传感器,能完成对不同信号的放大处理,同时接口卡自带 DC/DC 隔离电源模块,无需再外接电源,使用方便。PCI-8319 模入接口卡允许采用 32 路单端输入方式或 16 路双端输入方式。

1.4 计算机处理系统

计算机处理系统主要是对 PCI-8319 数据采集卡编程,进行测量数据采集,自动记录测量数据,并存放指定的文件中。该系统提供了良好的人机对话界面,可方便地设置测试参数,还可以通过界面实时观察到待测屏的状态,体现了测试系统的简便性。

PCI-8319 自带 Windows 标准动态链接文件 PCI8KP.dll,它所封装的函数可以被其他应用程序在运行时直接调用,其中包括有对 PCI-8319 相关地址进行读写的操作函数,处理程序是用可视化语言 VB6.0 调用动态链接文件 PCI8KP.dll 来编写的,简单明了。光电探测单元输出信号与亮度信号的函数关系,由 PR650 光谱光度/色度计校准确定。图 5 是亮度采集的简单流程,假定 20 ms 采集一个数据,连续采集 20 次进行平均并记录,记录间隔 1 min。程序开始运行采集到的第一个亮度信号就是初始亮度 L_0 ,当采集到的亮度信号是初始亮度的一半,即 $L_{\text{data}} = L_0/2$ 时,两者的时间间隔即是亮度的半衰期 $T_{1/2}$ 。

2 测试系统的应用

用标准的热蒸镀工艺制备了 OLED 样品,器件结构为 ITO/NPB(60 nm)/Alq₃(60 nm)/LiF(0.5 nm)/Al(100 nm)。ITO 作为阳极,NPB 作为空穴传输层,Alq₃ 作为发光层及电子传输层, LiF/Al 作为双层阴极。器件在氮气环境下进行了封装。发光面积为 12 mm²。

驱动电源分别提供 50 Hz 的电流-电压混合源(AC),正向电流密度为 713.0 A/m²,反向电压为 5 V,占空比为 1:1,还提供了电流密度为 356.5 A/m² 的恒流。采用本文系统测试了 OLED 的亮度衰减曲线,如图 6 所示(图 6 中嵌图是电流密度为 356.5 A/m² 的恒流下,电压的上升与时间的关系)。亮度衰减曲线可

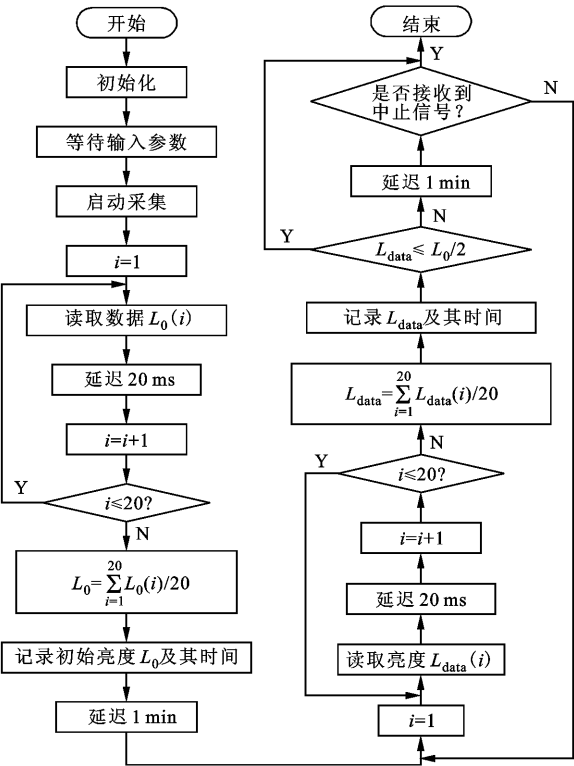


图 5 亮度数据采集处理流程图

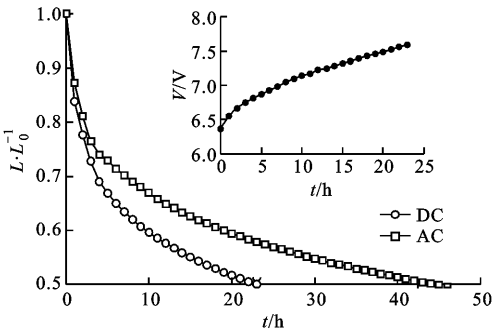


图 6 亮度衰减曲线与电压上升曲线

以比较好地符合扩展的指数衰减规律,即 SED 方程^[7],如式(1)所示,证实了测量数据的可靠性。

$$\frac{L}{L_0} = \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^\beta\right]$$

(1)

3 总 结

本文建立了一套可测试 OLED 亮度衰减曲线和电压上升曲线的稳定性测试系统. 该系统通过计算机控制,能够独立测试多个 OLED 样品,可以灵活设置交流混合电源驱动和直流恒流驱动模式,便于根据 OLED 样品的实际情况,确定不同应用条件下的稳定性. 本文的测试系统采用硅光电池代替传

统的辉度计将光信号转换为电信号,在很大程度上降低了成本;采用了即插即用的 PCI 总线的 PCI-8319 光电隔离模入接口卡来采集数据,不仅降低了开发难度,而且提高了数据采集的可靠性. 应用本文系统成功地对 OLED 样品进行了测试,结果表明该系统完全能够完成亮度衰减和电压上升的测试,具有很高的实用价值。

参考文献:

[1] ISHII M, TAGA Y. Influence of temperature and drive current on degradation mechanisms in organic light diodes [J]. Applied Physics Letters, 2002, 80 (18):3430-3432.

[2] AZIZ H, POPVIC Z D, HU Nanxing, et al. Degradation mechanism of small molecule-based organic light-emitting devices [J]. Science, 1999 283 (19): 1990-1902.

[3] 倪抒颖,吴有智,孙润光,等. 有机电致发光器件自动测量系统 [J]. 上海大学学报:自然科学版, 2004, 10 (4):337-340,345.
NI Shuying, WU Youzhi, SUN Runguang, et al. Automatic measurement system for organic light emitting diodes (OLEDs) [J]. Journal of Shanghai University: Natural Science, 2004, 10(4):337-340,345.

[4] 彭强,姚若河. 新型 OLED 测试系统的设计与实现 [J]. 半导体技术,2009,34(5):467-469.
PENG Qiang, YAO Ruohu. Design and implementation of novel OLED test system [J]. Semiconductor Technology, 2009, 34(5):467-469.

[5] JUAN C J, TSAI M J. Implementation of a novel system for measuring the lifetime of OLED panels [J]. IEEE Consume Electronics, 2003, 49(1):1-2.

[6] 陈志明,朱文清,张志林,等. 有机电致发光器件寿命测试系统 [J]. 光电子·激光, 2006, 17(1):1349-1350.
CHEN Zhiming, ZHU Wenqing, ZHANG Zhilin, et al. Life test system of organic light-emitting devices [J]. Journal of Optoelectronics·Laser, 2006, 17(1): 1349-1350.

[7] FERY C, RACINE B, VAUFREY D, et al. Physical mechanism responsible for the stretched exponential decay behavior of aging organic light-emitting diodes [J/OL]. Applied Physics Letters, 2005, 87(21)[2010-05-23]. <http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=APPLAB000087000021213502000001&idtype=cvips&prog=normal&doi=10.1063/1.2133922>.

[8] VAN VANSLYKE S A, CHEN Chin Hsin, TANG

- Ching Wan. Organic electroluminescent devices with improved stability [J]. Applied Physics Letters, 1996, 69(15):2160-2162.
- [9] BEAUDOIN N, ESSIAMBRE S, GAUVIN S. Simple hybrid current-voltage source for the characterization of organic light-emitting devices [J/OL]. Review of Scientific Instruments, 2006, 77(2)[2010-05-15]. <http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=RSINAK0000770000002026102000001&idtype=cvips&prog=normal&doi=10.1063/1.2169502>.
- [10] LI Feng, FENG Jing, LIU Shiyong. Degradation of organic light-emitting devices under different driving model [J]. Synthetic Metals, 2003, 137 (1/2/3): 1103-1104.
- [11] CUSUMANO P, BUTTITTA F, DI CRISTOFALO A, et al. Effect of driving method on the degradation of organic light emitting diodes [J]. Synthetic Metals, 2003, 139(3):657-661.
- [12] ZOU Dechun, YAHIRO M, TSUTSUI T. Spontaneous and reverse-bias induced recovery behavior in organic electroluminescent diodes [J]. Applied Physics Letters, 1998, 72(19):2484-2486.

(编辑 刘杨)