

文章编号: 1000-7032(2009)01-0051-04

p 型深受主能级对 OLED 器件电荷输运的影响

陈 伟, 饶海波*, 蒋 泉, 余心梅, 胡 玥, 李君飞, 侯 斌

(电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054)

摘要: 对 OLED 器件施加扫描电压时, 器件的瞬态电压-电流特性表现出滞后现象。并且随着扫描电压的方向、扫描速度的不同, 器件瞬态电压-电流曲线也不相同。使用具有 ITO/CuPc/NPD/Alq₃/LiF/Al 结构的 OLED 器件做电压扫描测试, 并尝试用 p 型深受主型陷阱能级的存在, 以及深能级较长的充放电时间特性对 OLED 器件中载流子输运过程的影响来定性解释上述滞后现象, 获得了比较满意的结果, 为器件性能的进一步优化找到了方向。

关键词: 有机电致发光; 电压-电流特性; p 型深受主能级; 前向扫描

中图分类号: TN383.1; TN873.3

PACC: 7860F

文献标识码: A

1 引 言

有机电致发光器件(OLED)采用有机薄膜作发光层,能够在低驱动电压下实现有效的电致发光。自1987年C. W. TANG等人^[1]报道了低电压、高效率的有机小分子电致发光器件以来, OLEDs 获得了飞速的发展,并很有希望成为下一代显示器的主导技术^[2~7]。目前,全世界各研发机构纷纷投入大量的人力物力对 OLED 基础理论进行研究,发现了 OLED 器件一些新的特性。当对 OLED 器件施加瞬态扫描电压时,从其电压-电流曲线可以观察到零电流电压偏移等现象。本文在前人的研究基础上^[8],对这些现象作出一些定性的分析。

2 测试方法

扫描驱动电压的施加方式如图1所示。首先对持续器件施加初始电压 U_{start} (持续时间记做 hold time),直到器件电流完全稳定为止,然后迅速施加下一个电压值 $U_{\text{start}} + \Delta U$ 并开始测量其电流值。再经过一个延时时间(t_d)立刻施加下一个电压值 $U_{\text{start}} + 2\Delta U$ 。以此类推直到施加电压达到结束电压值 U_{stop} 为止。使用 OLED 器件结构为 ITO(氧化铟锡)/CuPc(酞菁铜)(30 nm)/NPD

{4,4'-bis[N-(1-naphthyl)-N-phenyl-amino]biphenyl)}(40 nm)/Alq₃(8-羟基喹啉铝)(30 nm)/LiF/Al,测试器件发光的面积为 2 mm × 3 mm,薄膜厚度约为 100 nm。使用仪器 Keithely2400 提供电压源且测量电流。仪器的测量精度大约在 1×10^{-11} A。

图1 扫描驱动电压施加方式

Fig. 1 The applied way of sweep drive voltage

3 测试结果和分析

3.1 采用前向扫描方式研究 OLED 电压-电流瞬态特性

初始电压 U_{start} 取 -2 V,终止电压 U_{stop} 取 4 V,持续时间取 30 s, ΔU 取 0.05 V, t_d 取 0.1 s,这种从“低电压”到“高电压”的电压施加方式称之为前向扫描。经数据处理后其电压-电流特性如图2所示。

如图2,此工作方式下器件电压-电流曲线表

收稿日期: 2008-04-16; 修订日期: 2008-06-17

基金项目: 浙江阳光集团资助项目(W050317)

作者简介: 陈伟(1982-),男,安徽人,主要从事 OLED 器件性能测试与分析方面的研究。

*: 通讯联系人; E-mail: rhh@uestc.edu.cn, Tel: (028)83202108

图 2 前向扫描驱动方式下 OLED 的电压-电流曲线

Fig. 2 Voltage-current characteristic under the forward sweep drive

现出的两个特点:1) 在负电段($-0.9 \sim 0 \text{ V}$)出现了正向小电流;2) 零电流电压往负方向偏移。可以采用 p 型深能级陷阱充放电过程来对上述 OLED 器件的瞬态电压-电流特性做出解释^[8,9]。

综合考虑整个前向扫描过程,如图 3 所示,首先负偏压 U_{start} 施加一段时间,在 ITO 与 CuPc 的接触面附近,CuPc 的 HOMO 能带弯曲,形成空穴反阻挡层,产生空穴累积^[10]。NPD 为 p 型有机材料,Alq₃ 是 n 型有机材料。两者的接触面上形成 p-n 结。对此 p-n 结施加反向电压 U_{start} 时,耗尽区变宽。由于深受主陷阱浓度远大于浅受主能级浓度,耗尽区内的 NPD 材料中的深陷阱俘获电子形成负离子。这个过程可以看作深陷阱的充电过程。

开始前向扫描,负偏压降低。此时 ITO/CuPc 接触面的空穴反阻挡层变小,无法累积过多的空穴。

同时 NPD 与 Alq₃ 界面 p-n 结变窄,NPD 中耗尽区边缘的 p 型受主深能级陷阱开始放出电荷。

图 3 负偏压对 OLED 器件能级的影响

Fig. 3 The influence of reverse bias voltage on the energy levels of OLED

在这两个界面的共同作用下,多余的空穴从 ITO/CuPc 向 NPD/Alq₃ 流动,形成瞬态的正向扩散电流 I_1 。同时耗尽层中的受主深能级陷阱也会向 Al 电极方向放出负电荷,形成瞬态负向迁移电流 I_2 ,其大小与耗尽区的场强即宽度有关,随 p-n 的变窄而减少得很快。随着负偏压的降低 $I_1 > I_2$,整个器件的瞬态电流方向为正。随着负偏压的降低,瞬态正向电流的持续时间越长,当仪器测试时间小于此瞬态正向电流持续时间时就能在负压段($-0.9 \sim 0 \text{ V}$)观测到图 2 所示的正向瞬态小电流。

3.2 采用反向扫描方式研究 OLED 电压-电流瞬态特性

初始电压 U_{start} 取 $+4 \text{ V}$,终止电压 U_{stop} 取 -2 V ,持续时间取 30 s , ΔU 取 -0.05 V ,延时时间取 0.1 s ,这种从“高电压”到“低电压”的电压施加方式称之为反向扫描。经数据处理后测量结果如图 4 所示。此工作方式下器件电压-电流曲线表现出的两个特点:1) 在正压段($0.9 \sim 0 \text{ V}$)出现了负向小电流。2) 零电流电压往正方向偏移。同样可以采用 p 型深能级陷阱充电过程来进行解释。

图 4 反向扫描驱动方式下 OLED 的电压-电流曲线

Fig. 4 Voltage-current characteristic under reverse sweep drive

对器件施加正电压 U_{start} 时,ITO/CuPc 接触面形成负离子累积区。随着反向扫描的进行,p-n 结结区开始展宽,p 型深陷阱能级开始充电,ITO/CuPc 接触面放出负电荷,形成反向瞬态充电电流。同时阴极方向的电子通过耗尽区向 NPD 方向扩散形成正向瞬态充电电流。随着正向偏压的变小($0 \sim 0.9 \text{ V}$),耗尽区进一步加宽,正向扩散电流变小,p 型深陷阱能级充电电流的综合结果表现为反向电流。

3.3 扫描延时的不同对测试结果的影响

采用前向扫描方式进行两次测量。如图5所示曲线B表示施加电压方式是从 -2 V 开始每过 0.1 s 增加 0.05 V 直到电压增至 $+4\text{ V}$ 为止。曲线C表示施加电压方式是从 -2 V 开始每过 0.5 s 增加 0.05 V 直到电压增至 $+4\text{ V}$ 为止。

由图5可见以 0.1 s 的速度电压扫描时,零电流电压值为 -0.9 V 。而以 0.5 s 的速度电压扫描时,零电流电压值为 -0.25 V 。

正向扫描时p型深受主能级陷阱放电所产生的正

向瞬态电流随时间的延长而逐渐变小,根据前文分析瞬态正向电流实际上是正向扩散电流与来自于耗尽层的反向迁移电流综合作用的结果。负偏压越小,耗尽层越窄,反向放电电流越小。总瞬态正向电流越大,放电持续时间越长。所以,测量零电流电压时,延时时间越长测得的负偏压越小,即延时 0.1 s ,测得零电流电压为 -0.9 V ;而延时 0.5 s 测得零电流电压为 -0.25 V 。

4 结 论

由OLED器件中p型深受主能级充放电过程的存在,成功的解释了观测到的瞬态电压-电流特性:前向扫描方式下p型深陷阱能级首先充电,随着前向扫描的进行(负向偏压降低),深陷阱能级开始放电,当达到某一负偏压时深能级陷阱放电总电流方向为正,且测试延迟时间越短,零电流电压向负方向漂移的程度也就越大;反向扫描方式下p型深陷阱能级首先不参与耗尽区的形成,随着反向扫描的进行(正向偏压降低),深陷阱能级开始充电。当达到某一正偏压时深能级陷阱充电总电流方向为负,且测试延迟时间越短,零电流电压向正方向漂移的程度也就越大。

图5 不同的延时前向扫描驱动下OLED的电压-电流曲线
Fig. 5 Voltage-current characteristic under the forward sweep drive with different hysteresis-time

参 考 文 献:

- [1] Tang C W, Vanslyke S A. Organic electroluminescent diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(12):913-915.
- [2] Zhao G Q, Zhou S H. The development of organic electroluminescence [J]. *Exploitation of the Information of Science and Technology* (科技情报开发与经济), 2005, **15**(11):160-161 (in Chinese).
- [3] Liu Y Q, Zhang Z F. Reseach and development of OLED [J]. *The Electronic Technology of Vacuum* (真空电子技术), 2005, (5):24-27 (in Chinese).
- [4] Wang Guangde, Wang Li, Jiang Wenlong, et al. The impact of different DPVBi thickness and position on the organic light-emitting devices [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(2):189-192 (in Chinese).
- [5] Li Lu, Yu Junsheng, Li Weizhi, et al. Modification effect of NPB film thickness on charge carrier recombination zone of hetrostructure OLEDs [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(3):341-344 (in Chinese).
- [6] Tang Xiaoqing, Yu Junsheng, Li Lu, et al. Effect of ultrathin BCP layer on organic light-emitting device performance [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(2):253-258 (in Chinese).
- [7] Han Shiliang, Yuan Yongbo, Lian Jiarong, et al. The effect of ITO anode resistance on OLEDs performance [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(3):429-432 (in Chinese).
- [8] Nguyen P H, Scheinert S, Berleb S, et al. The influence of deep traps on transient current-voltage characteristics of organic light-emitting diodes [J]. *Organic Electronics*, 2001, **2**(3-4):105-120.
- [9] Riel H, Brutting W, Beierlein T, et al. Influence of space charges on the current-voltage characteristic of organic light-emitting devices [J]. *Synthetic Metals*, 2000, **111-112**:303-306.
- [10] Liu E K, Zhu B J, Luo P S, et al. *Semiconductor Physics* [M]. Sixth edition, Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003 (in Chinese).

Effect of p-type Deep Acceptor-like Trap on the Charge Carrier Transportation of OLEDs

CHEN Wei, RAO Hai-bo, JIANG Quan, YU Xin-mei, HU Yue, LI Jun-fei, HOU Bin

(School of Opto-electronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: Transient voltage-current characteristics of OLED show hysteresis effects in the bias regime depending on the direction and speed of bias sweep. This behaviour was investigated here for the example of device based on the configuration of ITO/CuPc/NPD/Alq₃/LiF/Al. The existence and relatively long recharging time of p-type deep acceptor-like trap on the recharging process after the change of bias of OLED should be responsible for these phenomena. According to the above mentioned analysis, some measurements were taken to change the concentration of those deep traps in order to improve the optical and electric performance of OLED.

Key words: OLED; voltage-current characteristic; p-type deep acceptor-like trap; forward sweep

Received date: 2008-04-16

《中国光学与应用光学》征稿启事

经国家新闻出版总署批准,《中国光学与应用光学》于 2008 年 10 月创刊,该刊为国家级正式出版物,双月刊,A4 开本,国内外公开发售,刊号:ISSN 1674-2915/CN22-1389/04。

《中国光学与应用光学》报道如下内容:基础光学、发光理论与发光技术、光谱学与光谱技术、激光与激光技术、集成光学与器件、纤维光学与器件、光通信、薄膜光学与技术、光电子技术与器件、信息光学、新型光学材料、光学工艺、现代光学仪器与光学测试、光学在其他领域的应用等。

《中国光学与应用光学》诚征学术价值显著、实验数据完整的原创性论文;研究前景广阔,具有实用、推广价值的技术报告;有创新意识,能够反映当前先进水平的阶段性研究简报;对当前学科领域的研究热点和前沿问题的专题报告;以及综合评述国内外光学技术研究现状、发展动态和未来发展趋势的综述性论文。根据期刊定位,编辑部将优先发表内容新颖、可读性强的综述性论文和用英文发表的学术性论文。

《中国光学与应用光学》热忱欢迎广大读者、作者关心和支持本刊的发展,并积极订阅、踊跃赐稿,来稿请发送到 gxyygx2007@126.com。

编辑部地址:吉林省长春市东南湖大路 3888 号 邮编:130033

电邮:gxyygx2007@126.com

电话:0431-86176852 0431-84627061

传真:0431-84695881