研究简报

高效率的有机电致发光器件

赵伟明[1]，李述汤[2]，张步新[1]，朱文清[1]，蒋雪茵[1]，张志林[1]，许少鸿[1]
(1. 上海大学 材料科学与工程学院，上海 201800；2. 香港城市大学 物理及材料科学系)

关 键 词：缓冲层；有机薄膜；发光二极管
中图分类号：TN873.3 文献标识码：A 文章编号：1000-7032(2000)01-0081-03

有机电致发光器件(OLEDs)的发光机理包括电子和空穴从电极的注入、激子的形成及复合发光，其中，空穴和电子的注入平衡是非常重要的。为了平衡载流子的注入以得到高效率和稳定性好的器件，人们不仅使用了电子注入更为有效的LiF/Al[1]和CsF/Al[2]等复合电极，同时也使用了空穴缓冲层，如S. A. Van Slyke等[3]在ITO和NPB之间使用CuPc，使得器件的稳定性得到了明显的提高；A. Gyoutoku等[4]用碳膜使器件的半寿命超过3500小时；最近，Y. Kurosaka等[5]和Z. B. Deng[6]分别在ITO和空穴传输层之间插入一薄层Al_2O_3和SiO_2提高了器件的效率。

我们在ITO和NPB之间插入不同厚度的氟化锂LiF层作空穴缓冲层，用芳香族二胺类衍生物NPB作为空穴传输层，染料掺杂8-羟基喹啉铝Alq_3作为发光层，采用氟化锂LiF和金属Al作复合电极[1,7]，得到了高效率的发光器件，并比较了不同的空穴缓冲层厚度下器件的发光性能。

图1为有机材料的分子结构。器件结构为ITO/LiF/NPB(70nm)/Alq_3(70nm)/Al复合电极。Al复合电极由LiF和Al层构成，其中，LiF和Al厚度分别为0.5～2nm和150nm。所有的测试均在大气下进行。

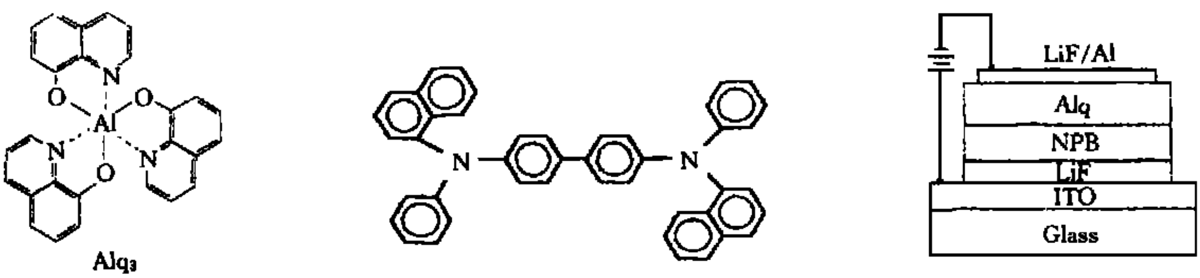

图1 有机材料Alq_3，NPB的分子结构及器件结构
Fig.1 Organic EL configuration and molecular structures.

图2所示为器件的电流-电压关系，由图可见，随着LiF空穴缓冲层厚度的增加，电流-电压曲线向高电压方向移动，换句话说，由于缓冲层的存在，减少了空穴的注入，从而导致电流的减小。Y. Kurosaka等[5]用Al_2O_3(1nm)作空穴缓冲层时观察到类似的现象，不过后者的电压移动比较大，有近15V左右，而用LiF(2nm)只有4V左右。

图3所示为器件的亮度-电压曲线。没有LiF缓冲层时，器件的启亮电压为2.6V，而LiF缓冲层为2.0nm时，启亮电压增加到4.0V，同时亮度-电压曲线变得越来越陡，这对于显示器的驱动来说是有利的。

T. Mori等[8]发现在LiF/Al复合电极中，

收稿日期：1999-08-03；修订日期：2000-01-17
基金项目：国家自然科学基金重大项目(59790050)及上海市教委(99A29)资助项目
作者简介：赵伟明(1965-)，男，云南人，工学博士，副研究员，主要从事薄膜电致发光材料与器件的研究。

由于 LiF 的存在, Al 向 Alq 中注入电子的有效势垒仅为 0.1eV, 其注入电子能力比 Mg∶Ag 电极强。所以, 器件的启亮电压低而效率高。

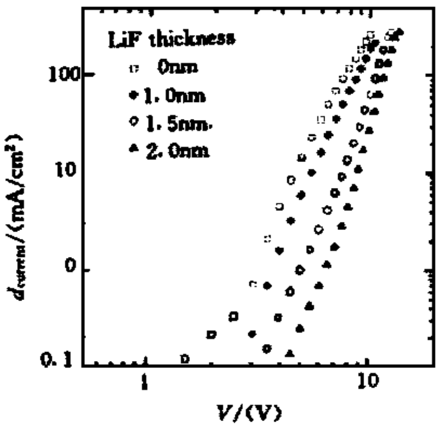

图 2 发光器件的电流-电压特性

Fig.2 Current density-voltage characteristics of the EL devices.

但是, 由于 Alq_3 的电子迁移率 ($10^{-5}cm^2/V\cdot s$) 比 NPB 中空穴 ($10^{-3}cm^2/V\cdot s$) 的小两个量级, 在用 LiF/Al 复合电极的器件中, 电子仍为少数载流子, 器件的效率决定于电子, 而电流取决于多数载流子空穴。在本实验中, 使用了 LiF 空穴缓冲层后, 明显提高了器件的效率, 这可能来源于两方面的原因: 多数载流子空穴注入的减少(图 2) 和 ITO 表面光滑性的改善。前者改善了载流子在发光层中的注入平衡, 导致了器件效率的提高(图 3); 后者则是提高了空穴注入的均匀性。不过, 其真实的作用机理还需要进一步证实。

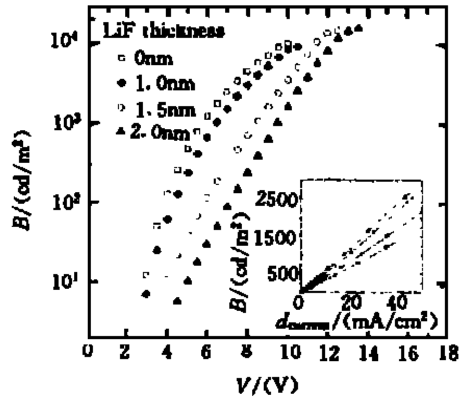

图 3 有机发光器件的亮度-电压特性, 插图为亮度-电流曲线

Fig. 3 Luminance-voltage characteristics of the EL devices. The insert shows the luminance vs forward bias current.

表 1 列出了器件在电流密度为 $20mA/cm^2$ 条件下的发光特性。从表中可以看出 LiF 缓冲层厚为 2.0nm 时, 器件的发光亮度为 $1210cd/m^2$, 效率为 6.0cd/A, 而没有缓冲层的发光亮度只有 $617cd/m^2$, 效率为 3.2cd/A, 可见, 由于使用了缓冲层, 器件效率提高了近一倍。

表 1 器件在电流密度为 **20mA/cm²** 条件下的发光特性

Table 1 Luminance data of OLEDs at $20mA/cm^2$.

LiF thickness(nm)	0	1.0	1.5	2.0
Brightness(cd/m^2)	617	873	1165	1210
Voltage(V)	5.2	6.2	8.4	9.7
Efficiency(cd/A)	3.2	4.1	5.6	6.0
Luminous eff.(lm/W)	1.87	2.1	2.17	1.93

综上所述, 在 ITO 和 NPB 之间插入 LiF 缓冲层减少了空穴的注入, 进一步平衡了发光层中的电子和空穴, 从而提高器件的效率。

参 考 文 献

[1] Hung L S, Tang C W, Mason M G. Enhanced electron injection in organic electro-luminescence devices using an Al/LiF electrode [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**: 152-154.

[2] Jabbour G E, Kippelen B, Armstrong N R, *et al*. Alumium based cathode structure for enhanced electron injection in electroluminescent organic devices [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**: 1185-1187.

[3] VanSlyke S A, Chen C H, Tang C W. Organic electroluminescent devices with improved stability [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **69**: 2160-2162.

[4] Gyoutoku A, Hara S, Komatsu T, *et al*. An organic electroluminescent dot-matrix display using carbon under layer [J]. *Synthetic Metals*, 1997, **91**: 73-75.

[5] Yoshitaka Kurosaka, Norio Tada, Yutaka Ohmori, *et al*. Improvement of electrode/organic layer interfaces by the insertion of monolayer-like aluminum oxide film [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 1998, **37**: L872-875.

[6] Deng Z B, Ding X M, *et al*. Enhanced brightness and effeciency in organic electroluminescent devices using SiO_2 buffer layers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1999, **74**: 2227-2229.

[7] Zhao Weiming, Liu Zugang, Tang Chunjiu, *et al*. Effecient organic luminescent devices with LiF/Al as cathode [J]. *Acta Optica Sinica*, 1998, **18**(8): 1152 (in Chinese).

[8] Mori T, Fujikama H, Tokito S, *et al*. Electronic structure of 8-hydroxyquinoline aluminum/LiF/Al interface for organic electroluminescent device studied by ultraviolet photoelectron spectroscopy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**: 2763-2765.

High Efficiency Organic Thin Film Electroluminescent Devices

ZHAO Wei-ming[1], Lee Shu-tang[2], ZHANG Bu-xin[1],
ZHU Wen-qing[1], JIANG Xue-yin[1], ZHANG Zhi-lin[1], XU Shao-hong[1]

(1. *School of Materials Science and Engineering*, *Shanghai University*, *Shanghai* 201800, *China*;
2. *Department of Physics and Materials Science*, *City University of Hong Kong*, *Kowloon*, *Hong Kong*)

Abstract

The operating mechanisms of the OLEDs involve injection of electrons and holes from the electrodes, and electron-hole recombination which emits the light. To balance the numbers of electrons and holes injected from electrode and obtain high emission efficiency, several hole injecting buffer layers such as CuPc, Carbon, Al_2O_3 and SiO_2 have been used to improve the efficiency and lifetime of the OLEDs.

In this study, highly efficienct and bright organic electroluminescent devices were developed using lithium fluoride (LiF) film as hole and electron injecting layers. Typical OLEDs have the structure of ITO glass/LiF/NPB(70nm)/Alq(70nm)/LiF(0.5nm)/Al(200nm). The device with a 2.0nm LiF hole injecting layer showed the luminance of 1210cd/m^2 at 20mA/cm^2 which corresponds to an efficiency of 6.0cd/A. In contrast, the device without LiF hole injecting layer exhibited 617cd/m^2 at the same current density which showed an efficiency of 3.2cd/A. These results suggest that the LiF hole injecting layer with a proper thickness can enhance the efficiency of the OLEDs due to blocking the injection of holes.

Key words: buffer layer; organic thin film; electroluminescent devices

Received 3 August 1999