

引入阱结构改善有机发光器件的效率*

杨惠山^{1,2} 陈淑芬¹ 赵毅¹ 侯晶莹¹ 刘式墉¹

(1 吉林大学集成光电子学国家重点实验室, 长春 130023)(2 泉州师范学院物理系, 泉州 362000)

摘 要 利用阱结构作为发光层, 阱由 8-羟基喹啉铝和 4,4'-N,N'-dicarbazole-biphenyl 交替蒸发长成, 改善了器件的效率, 这归因于增加空穴和电子在薄发光层的堆积, 形成的激子有效地被限制在薄的发光层中发光. 器件的最大电流效率在外加电压 8V 时达到 4.1cd/A, 与一般异质结器件相比效率提高了 2 倍多. 这说明在适当阱数时用简单办法可提高器件的效率.

关键词 有机电致发光; 阱结构; 效率

中图分类号 TN383.1 **文献标识码**

A
效率^[12~18]. 本文用一种有机材料 N,N'-双(1-萘基)-N,N'-二苯基-1,1'-二苯基-4,4'-二胺(NPB)作为空穴传输材料, 用 8-羟基喹啉铝(Alq)和 4,4'-N,N'-dicarbazole-biphenyl(CBP)交替蒸发长成阱作为发光层, Alq 电子传输材料, 用双层电极(LiF/Al)作为负电极, 制备了有机电致发光器件. 与一般异质结器件相比, 单阱器件的发光效率提高了 2 倍多.

0 引言

自 80 年代末以来, 由于有机电致发光器件(OLEDs)具有高亮度、宽视角、全固化、高分辨率、响应快等特性, 且有机材料价廉、选择余地大, 所以 OLEDs 在大面积彩色显示方面具有广阔的应用前景, 一直受到世界各国研究人员的重视, 在短短十多年的时间进行了非常细致深入的研究. 从材料的合成及选择、器件结构的优化设计、材料能带结构的匹配、电极材料的选择及电极修饰等各个方面的研究都已全面展开. 除了大量的有机发光材料被合成外, 各种结构的有机电致发光器件也被制备出来, 使得其驱动电压、发光效率、发光亮度和寿命等性能均有较大的进展^[1~7]. 目前, 在这一领域, 人们仍把热点集中在降低驱动电压、增加器件的发光效率、延长使用寿命、实现全色显示等方面. 通过研究, 人们已认识到, 有机电致发光器件的效率跟载流子的注入效率和注入平衡有很大的关系. 电极/有机层间的势垒高度决定载流子的注入效率, 大多数有机发光材料都分别具有电子或空穴传输特性, 但两者的传输速率相差很大, 空穴传输层的迁移率比电子传输层的迁移率大两个数量级, 导致载流子的复合将会靠近表面电极附近, 而不是在发光中心, 从而降低了载流子的辐射效率; 而一般空穴注入较容易, 而电子注入较困难, 为了解决载流子的注入不平衡, 通常在有空穴传输层(HTL), 电子传输层(ETL)的结构中采用各种方法. 比如, 在阳极和空穴传输层之间采用缓冲层 CuPc 或量子阱结构^[8]. 在阴极和电子传输层之间采用阴极修饰材料^[9~11], 另外采用掺杂的方法也可以显著提高有机电致发光器件的发光亮度和

1 实验

实验中采用多源有机分子气相沉积系统制备有机发光器件, 选用 NPB 作为空穴传输层, Alq 作为电子传输层, 用 Alq 和 CBP 交替蒸发长成阱作为发光层, 器件结构及有机材料的分子结构如图 1. 并以 ITO 导电玻璃为衬底和阳极, 其方块电阻为 100Ω/□, Al 作阴极, LiF 为电子注入缓冲层, 制作器件前依次用甲苯、丙酮、乙醇、去离子水反复擦洗, 并进行超声波处理. 将所用材料分别放在温度可以单独控制的不同蒸发源(石英坩埚)中. 按设计的结构分别生长不同的有机材料, 在制备过程中系统的真空度维持在 4×10^{-4} Pa 左右. 材料生长的厚度和速率由美国产 IL-400 膜厚控制仪控制, 蒸发速率控制在 0.1~0.3 nm/S. 分别制备结构为 ITO/NPB(60 nm)/[Alq(5 nm)/CBP(3 nm)]_n/Alq(xnm)/LiF(1 nm)/Al. 为了保持器件总厚度不变, 当 $n=0, 1, 2, 3$ 时, 则 $x=40, 32, 24, 16$, 对应器件分别称为简单异质结结构(HS)、单阱结构(SWS)、双阱结构(DWS)、三阱结构(TWS). 器件的发光面积 2×2 mm², 亮度-电流-电压曲线由美国 PR650、光谱测量仪和 Keithley-2400 测试仪组成的测试系统测量. 所有的测试都是在室温、大气中进行的.

* 国家自然科学基金(60376028, 60207003)和国家“973”高科技计划(2003CB314703)资助项目

Tel: 0431-5175824 Email: yanghuishan@eyou.com

收稿日期: 2004-12-21

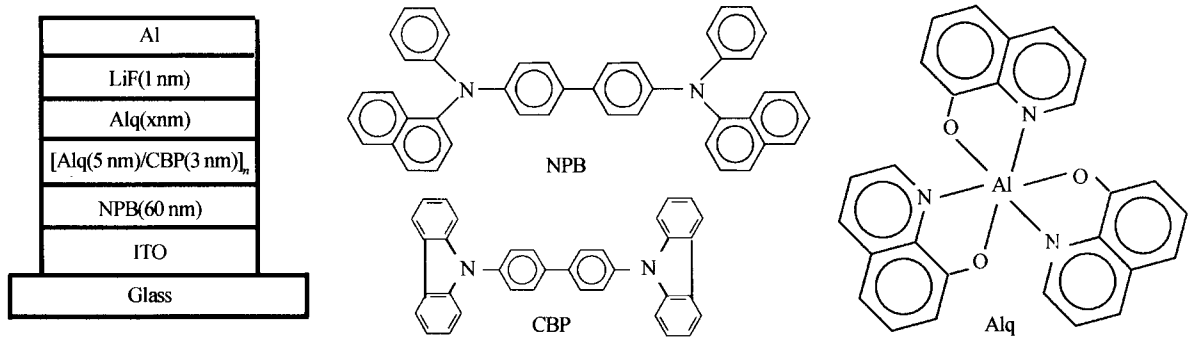


图1 所用有机材料的化学结构式和器件结构
Fig. 1 Chemical structures of the organic materials and structure of OLEDs

2 结果与分析

一般说来,有机电致发光器件属注入式发光二极管.当空穴和电子分别从器件的阳极和阴极注入到发光层中,在外加电压所形成的外电场作用下,空穴和电子相遇形成激子.激子在发光层中辐射复合而发光,但由于空穴和电子注入的不平衡以及两者迁移率的差异,使得从两极注入的载流子不能有效地限制在发光区而形成激子,导致部分多余载流子到达电极,并造成电极处发光的猝灭,从而引起发光效率的降低.

由图2可知,它具有有机电致发光器件的电流-电压关系,随着阱数的增加,在一定电压下电流密度减少,这是由于电子和空穴传输中势垒数量增多.

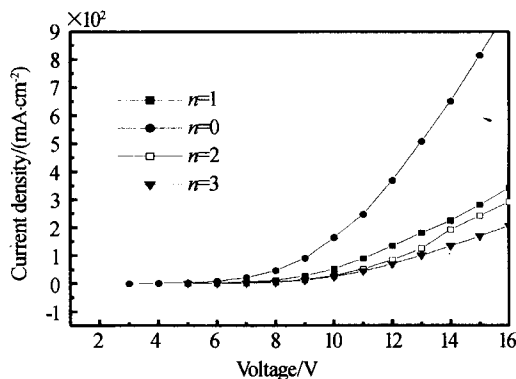


图2 器件的电流密度-电压曲线
Fig. 2 The current density-voltage characteristics of devices

随着阱数的增加,在一定电压下亮度减少,如图3.也就是说要达到一定的亮度,随着阱数的增加必须增加电压,否则由于势垒数量增多导致电流密度减少而使亮度降低.在15 V时,简单异质结结构(HS)、单阱结构(SWS)、双阱结构(DWS)和三阱结构(TWS)的亮度分别为9165 cd/m²,6474 cd/m²,5094 cd/m²和2418 cd/m².

器件的性能不仅要求高亮度而且要有高效率.从图4可看出,适当阱数器件的电流效率比简单异质结结构器件的电流效率有明显的提高.在外加电

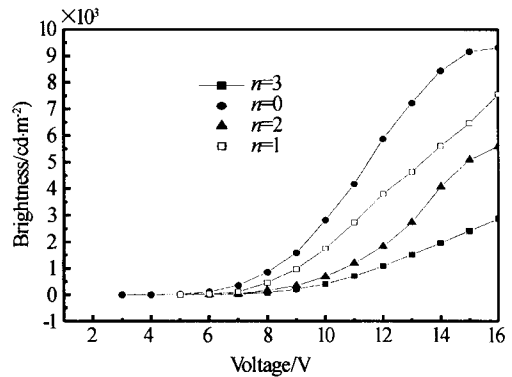


图3 器件的电压-亮度曲线
Fig. 3 Luminance-voltage characteristics of devices

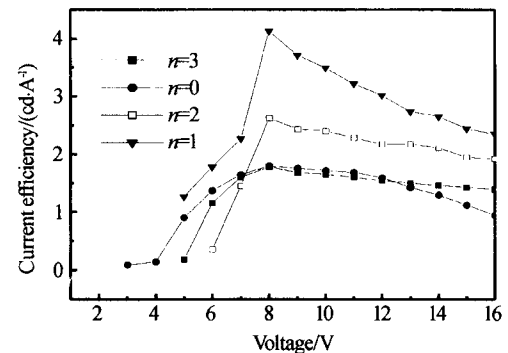


图4 器件的电压-效率曲线
Fig. 4 EL efficiency-voltage characteristics of devices

压为8 V时,器件HS和SWS的亮度分别为848.9 cd/m²和451.1 cd/m²,而电流密度HS为47.2 mA/cm²,是SWS(11.6 mA/cm²)的4倍多,同时HS的电流效率是1.8 cd/A, SWS是4.1 cd/A, SWS是异质结器件HS的2倍多;与此同时, SWS, DWS和TWS电流密度分别为11.6 mA/cm², 5.89 mA/cm²和4.46 mA/cm²,此时SWS的亮度是451.1 cd/m²,接近DWS(154.7 cd/m²)的3倍,是TWS(79 cd/m²)HS的4.5倍多,因而SWS, DWS和TWS的电流效率分别为4.1 cd/A, 2.6 cd/A和1.78 cd/A. 电流效率的增加可归于空穴和电子在薄Alq层的聚积,这可由Alq和CBP的HOMO能级来说明(见图5). 由于Alq与CBP的HOMO能级差0.5 eV,这能限制空穴在Alq层从而更有可能地增加激子

形成和结合的几率,正如本文所知的,有机发光器件的外量子效率与载流子的结合有关.

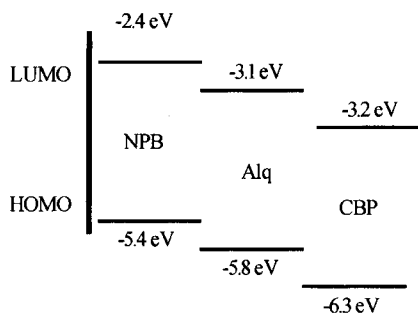


图5 有机发光器件的能级图

Fig. 5 The energy diagrams of the OLEDs

3 结论

制备的由 Alq 和 CBP 组成阱结构的多层有机发光器件,有效地改善了有机发光器件的效率. 单阱器件具有最好的效率性能,在外加电压为 8 V 时其达到 4.1 cd/A,与一般的异质结器件相比,电流效率有明显的提高,是异质结器件的 2 倍多. 结果说明适当的阱数能提高器件的性能.

参考文献

- Tang C W, VanSlyke S A. Organic electroluminescent diodes. *Appl Phys Lett*, 1987, **51**(12):913~915
- Tang C W, VanSlyke S A, Chen C H. Electroluminescence of doped organic thin films. *J Appl Phys*, 1989, **65**(9):3610~3616
- Huang J S, Pfeiffer M, Werner A, et al. Low-voltage organic electroluminescent devices using pin structures. *Appl Phys Lett*, 2002, **80**(1):139~141
- Shen Z, Burrows P E, Bulovic V, et al. Three-color, tunable, organic light-emitting devices. *Science*, 1997, **276**(27):2009~2012
- Arai M, Nakayak, Onitsuka O, et al. Passive matrix display of organic LEDs. *Synth Met*, 1997, **91**(1):21~25
- Mori T, Tsuge H, Mizutani T. Enhancement of electroluminescence efficiency for organic light-emitting diodes due to the introduction of a co-evaporated layer. *J Phys D:Appl Phys*, 1999, **32**(15):L65~L69
- Huang Q L, Cui J, Yan H, et al. Small molecule organic light-emitting diodes can exhibit high performance without conventional hole transport layers. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(19):3528~3530
- Qiu Y, Gao Y D, Wei P, et al. Organic light-emitting diodes with improved hole-electron balance by using copper phthalocyanine/aromatic diamine multiple quantum wells. *Appl Phys Lett*, 2002, **80**(15):2628~2630
- Hung L S, Tang C W, Mason M G, et al. Application of an ultrathin LiF/Al bilayer in organic light-emitting diodes. *Appl Phys Lett*, 2001, **78**(4):544~546
- Chan M Y, Lai S L, Fung M K, et al. Efficient CsF/Yb/Ag cathodes for organic light-emitting devices. *Appl Phys Lett*, 2003, **82**(11):1784~1786
- Jabbour G E, Kippelen B, Armstrong N R, et al. Aluminum based cathode structure for enhanced electron injection in electroluminescent organic devices. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(9):1185~1187
- Kido J, Matsumoto T. Bright organic electroluminescent devices having a metal-doped electron-injecting layer. *Appl Phys Lett*, 1998, **73**(20):2866~2868
- Mitsuya M, Suzuki T, Koyama T, et al. Bright red organic light-emitting diodes doped with a fluorescent dye. *Appl Phys Lett*, 2000, **77**(20):3772~3774
- Zhou X, Qin D S, Pfeiffer M, et al. High-efficiency electrophosphorescent organic light-emitting diodes. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(21):4070~4072
- Aziz H, Popovic Z D. Study of organic light-emitting diodes with a 5, 6, 11, 12-tetraphenylanthracene (rubrene)-doped hole transport layer. *Appl Phys Lett*, 2002, **80**(12):2180~2182
- Hamada Y, Matsusue N, Kanno H, et al. Improved luminous efficiency of organic light-emitting diodes by carrier trapping dopants. *Jpn J Appl Phys*, 2001, **40**(7B):L753~L755
- 杨惠山,程加力,赵毅,等. 利用电子传输层掺杂改善有机发光器件的效率. 光子学报, 2004, **33**(11):1364~1366
- Yang H S, Cheng J L, Zhao Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(11):1364~1366
- 李宏建,易丹青,黄伯云,等. 注入和输运对单层有机发光器件复合发光的影响. 光子学报, 2003, **32**(12):1446~1449
- Li H J, Yi D Q, Huang B Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2003, **32**(12):1446~1449
- 肖步文,李传南,李新红,等. 沉积亚单层荧光染料提高有机发光器件的发光效率. 光子学报, 2005, **34**(8):1145~1148
- Xiao B W, Li C N, Li X H, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34**(8):1145~1148

Enhancement of Electroluminescence Efficiency for Organic Light-Emitting Devices Due to the Introduction of the Well Structure

Yang Huishan^{1,2}, Chen Shufen¹, Zhao Yi¹, Hou Jingying¹, Liu Shiyong¹

¹ National Laboratory of Integrate Optoelectronics, Jilin University, Changchun 130023

² Department of Physics, Quanzhou Normal College, Quanzhou 362000

Received date: 2004-12-21

Abstract The well structure which was fabricated by alternating deposition of constituent tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (Alq) and 4,4'-N,N'-dicarbazole-biphenyl (CBP) layers, improved the current efficiency. The enhanced efficiency can be attributed to the strong accumulation of electrons and holes in the thin Alq₃ layer, which leads to an increase of the exciton formation and exciton recombination probability. The single well device exhibits the highest current efficiency of 4.1 cd/A, which is more than twice than that of the conventional heterostructure device. It is an effective and simple way to improve the efficiency of EL devices by utilizing well structure as the emitting layer with proper well number.

Keywords Organic light-emitting devices; Well structure; Efficiency



Yang Huishan was born in 1964, Huian, Fujian Province. He received the B. S. degree in Physics Department, Fujian Normal University in 1985. After graduation he worked in the Department of Physics, Quanzhou Normal College. Now he is a Ph. D. candidate of Jinlin University. His current research interest is organic electroluminescent devices.