

高效高亮度有机红色微腔发光二极管*

马凤英¹, 苏建坡¹, 程东明¹, 刘星元^{2,3}

(1 郑州大学 物理工程学院, 郑州 450052)

(2 中国科学院激发态物理开放实验室, 长春 130033)

(3 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘 要:采用普通的 Alq : DCM 红光发光材料体系, 制作了结构为 Glass/DBR/ITO/NPB/Alq : DCM/MgAg 的有机红光微腔发光器件, 实现了纯红光发射, 器件发射峰位于 600 nm. 与无腔器件相比, 微腔器件光谱半峰全宽(FWHM)从 92 nm 压缩为 32 nm, 色度从 $X=0.58, Y=0.41$ 改善为 $X=0.6, Y=0.4$, 微腔器件的最大发光效率为 3.1 cd/A, 最大亮度为 32 010 cd/m².

关键词:红光; 有机发光二极管; 微腔; 全色显示

中图分类号: TN383

文献标识码: A

文章编号: 1004-4213(2007)08-1397-3

0 引言

对于实现全色显示而言, 要求有色纯度较高的红、绿、蓝三色发射. 目前, 有机绿光发射器件的发光效率和稳定性基本上达到了实用化的水平. 而对于红光器件, 尽管在材料和器件方面都进行了大量的研究^[1-4], 但由于人眼对橙光的反应比红光更敏感, 如果光谱有很小一部分落在橙光波段, 则器件的颜色就表现为“橙红”, 滤掉橙光又会损失一部分能量, 器件的效率会降低. 因此, 在有机电致发光器件中, 纯红光发射目前仍然是一个难题. 红光材料作为三基色有机发光材料之一, 目前主要是通过物理掺杂的方法, 将红光染料掺杂到宽带隙的主体材料中制备, 能量通过空间传递 (Foster) 原理从主体材料转移至红光染料^[5]. 虽然目前有很多研究小组致力于开发新型高效的红光染料^[6-7], 但真正具有实际应用价值的仍然十分有限, DCM 则是一种比较常用且效率较高的红光染料.

针对提高红光器件的发光效率和色纯度, 人们提出了很多方法, 包括采用新型器件结构^[8]、辅助掺

杂和开发性能更好的基质材料等. J. Qiao^[9] 等人报导了一种纯红光发光二极管, 采用的基质材料为 Ga₂(saph)₂Q₂, 器件的色度为 $X=0.675, Y=0.322$. 本文采用微腔结构来实现颜色调制, 红光染料采用 DCM, 基质材料为 Alq₃, 制成器件 Glass/DBR/ITO/NPB/Alq : DCM/MgAg, 获得了纯红光发射, 发光峰值为 600 nm, 色坐标为 $X=0.6, Y=0.4$.

1 器件制备

器件结构和所用材料分子式如图 1. 其中衬底采用抛光的普通玻璃, DBR (分布式布拉格反射镜) 作为微腔结构的一端反射镜, 而 MgAg 作为另一端反射镜及二极管的阴极, ITO (透明铟锡氧化物) 作为阳极, 器件发光从衬底侧导出. NPB 为空穴传输层, Alq : DCM 为发光层. DBR 和 ITO 均是采用电子束蒸发的方法获得, ITO 的厚度为 150 nm. NPB, Mg : Ag 和 Alq : DCM 是由真空热蒸发的方法获得, 其中 Mg 和 Ag 的蒸发速率比为 10 : 1, Alq 和 DCM 的蒸发速率之比为 100 : 2, 它们的厚度分别为 90 nm, 70 nm 和 70 nm. 膜厚和沉积速率均由 ZMK-III 膜

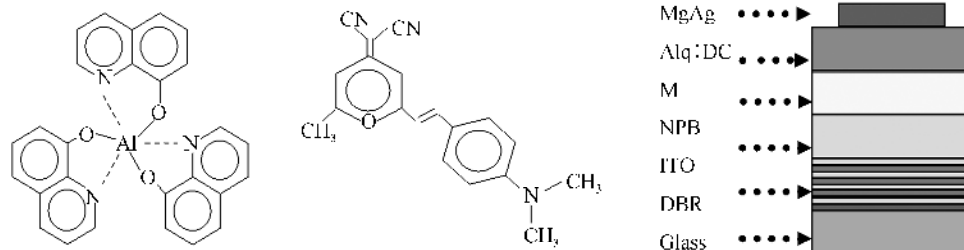


图 1 器件及所用材料分子式结构
Fig. 1 Schematics of the materials and cavity device

* 河南省教育厅自然科学研究项目(2007140016)资助
Tel: 0371-67763701 Email: fengyingma@163.com
收稿日期: 2006-05-08

厚监控仪进行监测, 发光区的面积由 ITO 和金属电极的交叠面积决定, 这里为 $2 \times 1.9 \text{ mm}^2$. 电源为 DF1730SB5A 直流稳压电源. 光谱采用 HITACH

F-4500 荧光光谱仪测得. PL 谱是在垂直于器件表面的方向探测得到的.

DBR 的中心波长为 598 nm, 结构为 $[HL]^2H$, 其中 H 为高折射率材料 Ta_2O_5 (折射率 2.1), L 为低折射率材料 SiO_2 (折射率 1.46), 厚度分别为 71 nm 和 102 nm. 图 2 为 DBR 的透射谱, 由图可以看出, 中心波长处的反射率约为 72%.

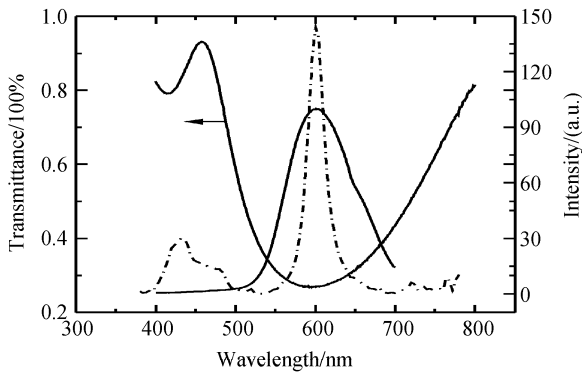


图 2 DBR 的透射谱和 Alq:DCM 薄膜(实线)和微腔(点划线)的 PL 谱

Fig. 2 Transmittance and photo-luminescence spectra of DBR, Alq:DCM (solid) and the cavity (dash-dot)

2 结果讨论

图 3 为 Alq 和 DCM 薄膜的吸收和光致发光谱. 这里 DCM 作红光染料, 而 Alq 作为基质材料, 对 DCM 起到分散的作用, 降低其浓度淬灭的几率, 掺杂体系的发光颜色与掺杂剂的浓度有关. 由于 Forster 能量转移速率与母体的发射光谱和客体的吸收光谱之间的重叠面积成正比, 面积越大, 两者之间的能量转移就越完全. 由图知, DCM 的吸收谱和 Alq 的发射谱有较好的重叠, 因此能量转移较彻底, 且 DCM 本身的吸收谱和发射谱之间交叠较小, 能有效的避免自吸收.

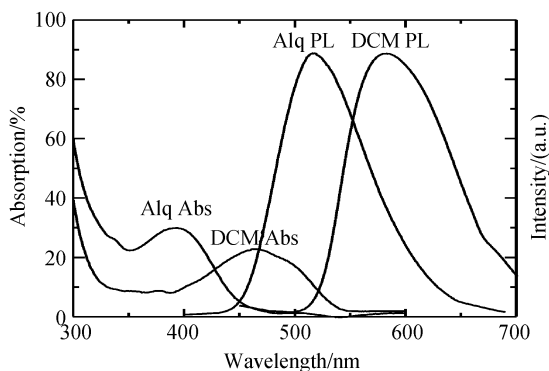


图 3 Alq 和 DCM 薄膜的吸收和光致发光谱

Fig. 3 Absorbance and photoluminescence spectra of Alq and DCM

图 2 同时给出了 Alq:DCM 薄膜和微腔器件的 PL 谱, 两者的峰值均在 600 nm 左右, 微腔在 430 nm 附近还有一个较弱的峰, 来自于 NPB. 图 4 为在 22 V

的电压下测得的微腔和无腔器件的 EL 谱. 微腔器件的峰值位于 600 nm, 注意到无腔器件的 EL 谱强度扩大了 10 倍, 这样微腔器件的峰值强度与无腔器件相比就增大了将近 16 倍, 而光谱半峰全宽从无腔器件的 92 nm 降低到了 32 nm. 微腔器件模拟光谱的半峰全宽为 22 nm, 小于实测的 EL 谱半峰全宽 (32 nm). 这主要是由器件发光面积比较大 ($2 \times 1.9 \text{ mm}^2$) 引起的, 因为光谱仪的接收狭缝具有一定的尺寸, 这样很大一部分腔轴附近与腔轴成一定角度的光能够进入狭缝, 而这些光相应与腔的谐振模式波长较短, 因此测得的光谱会有一定程度的展宽. 另外如果光谱仪的分辨率很低也会使所测的光谱展宽.

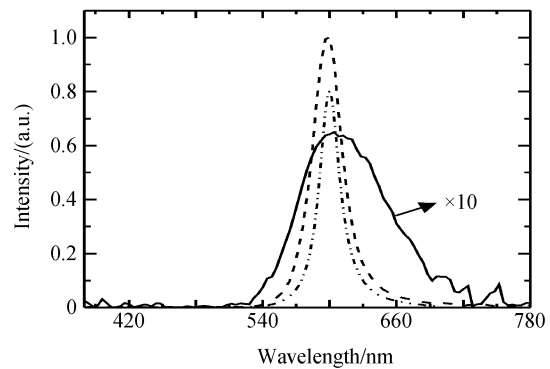


图 4 微腔(划线)和无腔器件(实线)的 EL 谱及微腔器件的模拟光谱(点划线)

Fig. 4 Electroluminescence spectra of the cavity device (dash) and non-cavity (solid) and the simulated one (dash-dot)

图 5 为微腔器件的亮度-EL 效率-电流密度曲线. 器件的最大 EL 效率为 3.1 cd/A, 最大亮度为 32010 cd/m^2 . 这在采用 Alq:DCM 掺杂体系的红光 OLED 器件中性能是比较好的. 因为将微腔引入 OLED 中, 通过设计腔长以及优化腔内各有机层的厚度, 使发光中心位于腔内驻波场的波腹附近, 提高器件辐射偶极子和腔内电场的耦合效率, 从而提高器件的发光效率和亮度.

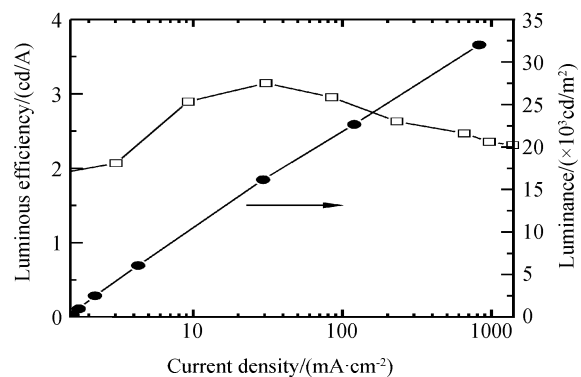


图 5 微腔器件的亮度-EL 效率-电流密度曲线

Fig. 5 Brightness-luminous efficiency and current density characteristics of the cavity device

3 结论

制作了有机微腔红光发射器件,发射峰位于 600 nm,半峰全宽从无腔器件的 92 nm 压缩为 32 nm. 器件的色度由无腔器件的 $X=0.58, Y=0.41$ 改善至微腔器件的 $X=0.6, Y=0.4$. 微腔器件的最大亮度为 $32\ 010\ \text{cd/m}^2$,最大发光效率为 $3.1\ \text{cd/A}$.

参考文献

- [1] CHEN B J, LIN X Q, LI Y K, *et al.* Improvement of efficiency and color purity of red-dopant organic light emitting diodes by energy levels matching with host materials[J]. *J Phys D: Appl Phys*, 2001, **34**(1): 30-35.
- [2] XIE Z Y, HUNG L S, LEE S T. High-efficiency red electroluminescence from a narrow recombination zone confined by an organic double-heterostructure[J]. *Appl Phys Lett*, 2001, **79**(7): 1048-1050.
- [3] LI F, LIN J L, FENG J, *et al.* Electrical and optical characteristics of red organic light-emitting diodes doped with two guest dyes[J]. *Synthetic Metals*, 2003, **139**(2): 341-346.
- [4] HONG Z R, LEE C S, LEE S T, *et al.* Efficient red electroluminescence from organic devices using dye-doped rare earth complexes[J]. *Appl Phys Lett*, 2003, **82**(14): 2218-2220.
- [5] MA Feng-ying, ZHANG Chun-yu, LIU Xing-yuan, *et al.* Red emission from microcavity organic light-emitting diode[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(7): 835-838.
马凤英,张春玉,刘星元,等.有机微腔红光发射器件[J]. *光子学报*, 2004, **33**(7): 835-838.
- [6] HAMADA Y, KANNO H. Red organic light-emitting diodes using an emitting assist dopant [J]. *SANYO Technical Review*, 2002, **34**(1): 9-14.
- [7] CHE Guang-bo, SU Zi-sheng, LI Wen-lian, *et al.* New phosphorescent copper (I) complex and its red OLED[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2006, **21**(2): 185-186.
车广波,苏子生,李文连,等.一种新型磷光铜(I)配合物及其红光 OLED[J]. *液晶与显示*, 2006, **21**(2): 185-186.
- [8] SHEN Wei-dong, WANG Jian-pu, CHEN Hai-xing, *et al.* Design of the wavelength tunable microcavity organic light emitting diode based on MEMS[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2004, **33**(2): 155-158.
沈伟东,王建浦,陈海星,等.基于 MEMS 的波长可调谐微腔有机发光二极管的设计[J]. *光子学报*, 2004, **33**(2): 155-158.
- [9] QIAO J, QIU Y, WANG L D, *et al.* Pure red electroluminescence from a host material of binuclear gallium complex[J]. *Appl Phys Lett*, 2002, **81**(26): 4913-4915.

High Efficiency High Brightness Red Emission Microcavity Organic Light-Emitting Diode

MA Feng-ying¹, SU Jian-po¹, CHENG Dong-ming¹, LIU Xing-yuan^{2,3}

(1 School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

(2 Laboratory of Excited Processes, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

(3 Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics & Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Received date: 2006-05-08

Abstract: The red emission microcavity organic light-emitting diode was fabricated with the structure of Glass/DBR/ITO/NPB/Alq : DCM/MgAg. The pure red emission has been realized with the peak wavelength at 600 nm. Comparing with the non-cavity device the full width at half maximum (FWHM) of the cavity device was compressed from 92 nm to 32 nm. And the purity was also improved from $X=0.58, Y=0.41$ to $X=0.6, Y=0.4$. The highest luminous efficiency of $3.1\ \text{cd/A}$ and the highest brightness were achieved by microcavity device.

Key words: Red emission; Organic light-emitting diode; Microcavity; Full-color display



MA Feng-ying was born in 1975, Henan Province. She graduated from Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics & Physics, Chinese Academy of Sciences in 2005 and got her Doctorial degree. She majors in microcavity organic light emitting diode and polymer laser. She is interested in the application of the organic/polymer light emitting diode to the display and lighting and published about 20 correlative papers.