

文章编号: 1000-7032(1999)04-0346-05

# 多模发射的单层有机光学微腔

刘星元<sup>1</sup>, 冯纪蒙<sup>2</sup>, 刘 云<sup>1</sup>, 梁春军<sup>1</sup>, 赵东旭<sup>1</sup>,  
洪自若<sup>1</sup>, 赵家民<sup>1</sup>, 鄂树林<sup>3</sup>, 李文连<sup>1</sup>,  
虞家琪<sup>3</sup>, 王立军<sup>3</sup>

(1. 中国科学院长春物理研究所, 吉林 长春 130021;

2. 中国科学院长春光学精密机械研究所, 吉林 长春 130022;

3. 中国科学院激发态物理开放研究实验室, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 研究了有机发光材料在 F-P 微腔中的发光特性. 有机光学微腔以多层介质膜和金属铝(Al)分别作为反射镜, 8-羟基喹啉铝(Alq)为发光材料. 在微腔的光致发光谱中观察到了多个模式以及明显的谱线窄化现象, 发射光谱的主要特征和 F-P 微腔的谐振模式相同.

**关键词:** 有机微腔; 光谱窄化; 光学微腔

**中图分类号:** TN365 **文献标识码:** A

## 1 引 言

有机电致发光(OEL)器件由于高亮度、高效率、稳定性好等优点, 成为当前平板显示研究的热点<sup>[1~3]</sup>, 但是 OEL 器件中采用的有机小分子和聚合物发光材料, 通常具有很宽的发光谱带(半高全宽约 100nm), 难以获得高色纯度的发光. 解决这个问题有一个有效途径就是在 OEL 器件中引入 Fabry-perot 光学微腔<sup>[4~8]</sup>. 与普通器件的情况相比, 微腔中的光模式密度会受到调制而重新分布. 在腔谐振频率处的光模式密度将增加, 不在谐振频率处的光模式密度将降低. 因而光学微腔将对发光材料的自发发射性质进行强烈的修正. 目前, 对各种发光材料包括无机半导体、有机染料、聚合物等在光学微腔中的发射性质的研究受到人们极大的重视<sup>[6~8]</sup>. 通过微腔对 OEL 器件的光谱调制, 人们已经获得了光谱窄化和谱线增强的结果, 并成功地在一种发光材料中实现了红、蓝、绿的窄谱带发射<sup>[8]</sup>. 通过选用合适的材料以及合理的微腔结构, 将有可能实现由一种发光材料做出多色发光的器件. 我们以 8-羟基喹啉铝(Alq)为发光材料, 制作了单层的有机光学微腔, 对多色发光的有机光学微腔的研制进行了初步的探索.

## 2 实 验

Alq 是一种常用的有机发光材料. 它性能稳定, 发光效率很高. 选用它作为微腔的发光层. 微腔的结构和 Alq 的分子结构如图 1 所示. 器件的制备过程如下, 首先在抛光的玻璃衬底上用电子束蒸发( $2 \times 10^{-3}$  Pa)的方法获得分布式布喇格反射镜(DBR), 作为入射腔镜. 然后, 采用真空( $5 \times 10^{-3}$  Pa)热蒸发的方法, 依次沉积 Alq 膜和 Al 膜, 分别

收稿日期: 1998-09-17; 修订日期: 1999-03-15

基金项目: 中国科学院“九五”重大项目及国家自然科学基金资助课题

作者简介: 刘星元(1970-), 理学博士, 从事有机微腔发光和有机聚合物激光等方面研究.

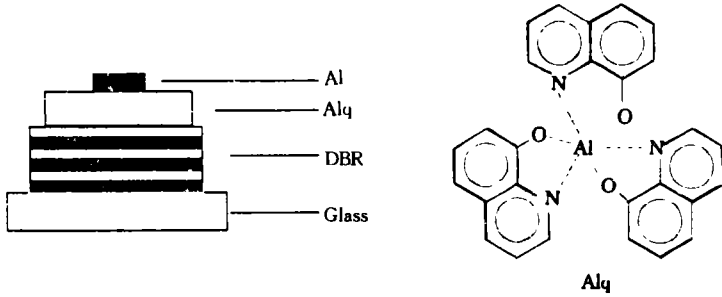


图 1 微腔器件的结构和 Alq 的分子结构

Fig.1 Microcavity structure and the molecular structure of the organic material.

作为发光层和反射腔镜, 有机膜和金属的膜厚由石英振荡膜厚监控仪控制. 器件的光致发光谱由 F4500 HITACHI 荧光光度计测得. 透射光谱和反射光谱分别由岛津 UV-365 RECORDING SPECTROPHOTOMETER 和 Lambda 9 SPECTROPHOTOMETER PERKINELMER 测量. 微腔的 PL 光谱测量方法是入射光由 DBR 一侧以 45 度角入射, 发射光在垂直于腔发射面的方向上接收.

### 3 结果和讨论

DBR 的透射光谱如图 2 所示. DBR 由 3 个膜系共 16 周期的  $\lambda/4$  介质膜组成. 其中  $H = \text{TiO}_2 (n = 2.0)$ ,  $L = \text{SiO}_2 (n = 1.46)$ .  $\lambda_1 = 430\text{nm}$ , 膜系  $(HL)^6H$ .  $\lambda_2 = 570\text{nm}$ , 膜系  $(HL)^6H$ .  $\lambda_3 = 630\text{nm}$ , 膜系  $(HL)^4H$ . 在 420nm 到 650nm 的光谱范围内, 其透射率均在 5% 以下. 所以 DBR 的平均反射率约为 95%. 微腔的另一个反射镜 A1, 由于是金属介质, 对光的吸收很强, 但其在可见区的反射率也能达到 90% 左右. 实验中 Alq 的厚度控制在约 150nm, 折射率约为 1.7. 有机薄膜的光学厚度在 250nm 左右.

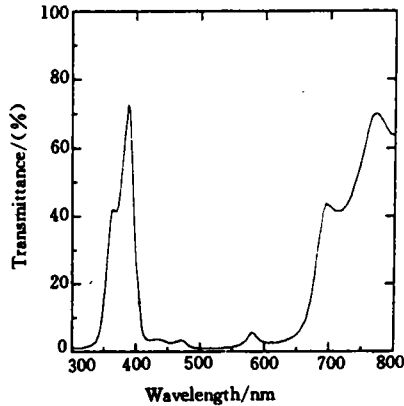


图 2 DBR 的透射光谱

Fig.2 Transmittance spectrum of DBR.

图 3 给出了微腔的反射光谱. 图 4 所示为单层 Alq 薄膜及微腔的 PL 光谱. 薄膜和微腔的 PL 发射均在 355nm 波长处激发. 微腔的反射光谱及 PL 光谱的数据分别列于表 1 和表 2. 由图 3 和表 1 可知, 在微腔的高反射区内, 共有 4 个透过率极大, 中心波长分别为 446nm, 495nm, 552nm 和 613nm. 通过与 DBR 的透射谱比较, 可以认为, 这 4 个透过率极大位置对应着微腔的谐振波长. 由图 4 及表 2 可知, Alq 薄膜的荧光发射峰位于约 520nm 处, 半高宽(FWHM)约 100nm. 微腔的 PL 谱线窄化是很明显的. 在可见区共出现四个窄带谱线, 分别位于 449nm, 497nm, 555nm, 615nm. 比较图 3 和图 4 可知, 微腔发射谱线的位置和微腔的透过率极大处基本上是一一对应的. 4 条发射谱线都是微腔的谐振模式. 它们的 FWHM 分别为 17nm, 14nm, 7nm 和 5.6nm. 其中波长 555nm 处谱线的 FWHM 缩小了 13 倍. 微腔的谐振模式满足 Fabry-perot 方程

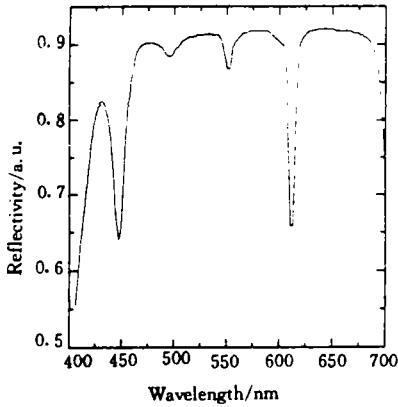


图 3 微腔的反射光谱

Fig. 3 The reflection spectrum of microcavity.

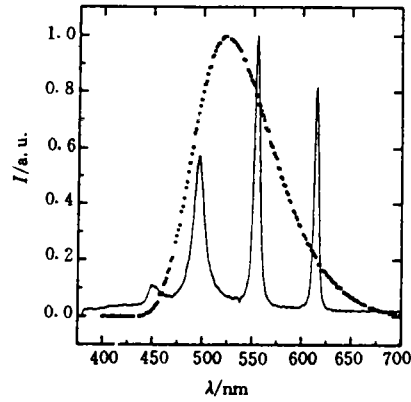


图 4 单层 Alq 薄膜和微腔的 PL 光谱

Fig. 4 PL spectra of single Alq film and the microcavity.

表 1 微腔反射光谱的数据

Table 1 The data of reflection spectrum of microcavity.

微腔透射谱线 峰值 (nm)	透射谱线的 FWHM (nm)	透射谱线的 峰值透过率 A	Alq 薄膜在微腔 透射峰处的荧 光相对强度 B	归一化的 A × B
466	13	0.36	0.014	0.049
495	18	0.12	0.72	0.84
552	9	0.13	0.786	1
613	7	0.34	0.22	0.73

$$2L_{\text{eff}}\cos\theta = m\lambda \tag{1}$$

其中  $\lambda$  是谐振波长,  $m$  是模式级数,  $\theta$  是相应于微腔光发射的外部探测角的内部出射角,  $L_{\text{eff}}$  是微腔的有效腔长, 它由以下几部分构成

$$L_{\text{eff}} = L_{\text{DBR}} + nd + L_{\text{MET}} \tag{2}$$

其中第一项  $L_{\text{DBR}}$  来自于腔内光场在 DBR 中的有效穿透深度. 第二项是有机薄膜的光学厚度,  $n$ 、 $d$  分别是有机薄膜的折射率和几何厚度. 第三项  $L_{\text{MET}}$  来自于有机膜与金属界面的反射相移. 在尺寸为光波长大小的光学微腔中, 一般由第一项和第三项引入的有效腔长, 要超过有机薄膜的光学厚度. 采用发射光谱范围很宽的有机发光材料, 在微腔结构

表 2 微腔 PL 谱的数据

Table 2 The data of PL spectrum of the microcavity.

微腔 PL 谱线 峰值/nm	微腔 PL 谱线的 FWHM/(nm)	微腔 PL 谱线的 相对强度
449	17	0.11
497	14	0.57
555	7	1
615	5.6	0.82

中, 可以通过改变发光薄膜厚度的方法来实现不同颜色的发光<sup>[8~9]</sup>. 通常的 DBR 结构设计只针对一个中心波长, 所以高反射带的范围有限. 光学微腔的谐振腔很短, 因而模间距大, 在可见区一般只存在一个或两个谐振模式<sup>[9~10]</sup>, 其他模式存在于红外区或紫外区. 为了同时获得红、蓝、绿等多个发射模式, 可以采用增加发光层

厚度或设计特殊的 DBR 结构等方法. 构造了多个膜系叠加的 DBR 结构. 这种结构对不同波长的光引入的有效腔长不同. 其中, 波长越短, 有效腔长  $L_{\text{eff}}$  越长, 级次  $m$  越大. 尽管发光层的折射率  $n$  也随波长而变, 但其变化对有效腔长的影响可忽略不计. 微腔出现的多模发射主要是由于 DBR 的结构引起的, 而受发光层的光学厚度  $nd$  的影响很小. 由表 1 中归一化的  $A \times B$  数据和表 2 中的 PL 发射模式相对强度的数据对比可知, 微腔 PL 谱线的强度即与峰值透过率成正比, 又与相应处的薄膜荧光强度成正比, 同时还存在其他因素的影响. 微腔 PL 谱线处于薄膜荧光强的波长处时, 它的 FWHM 要比微腔相应处的透射谱线的 FWHM 窄一些. 处于薄膜荧光弱的波长处时, 则要变宽一些.

## 4 结 论

以 Alq 为发光材料, DBR 和 Al 分别作为反射镜制作了单层有机光学微腔. 通过适当的 DBR 结构设计, 在 PL 谱中实现了谱线明显窄化的多模式发射. 对多色发光的单层有机光学微腔的研制进行了有益的探索.

## 参 考 文 献

- [1] Tang C W, VanSlyke S A. Appl. Phys. Lett., 1987, **51**:913.
- [2] Adachi C, Tokito S, Tsutsui T *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., 1988, **27**:L269.
- [3] Burrows P E, Bulovic V, Forrest S R *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1994, **65**:2922.
- [4] Dodabalapur A, Rohberg L J, Miller T M, Kwock W. Appl. Phys. Lett., 1994, **64**: 19.
- [5] Guss W, Vestweber H, Hopmeier M *et al.*, Synth. Met., 1996, **83**:257.
- [6] Schubert E F, Hunt N E J, Micovic M *et al.*, Science, **265**:943.
- [7] Takada N, Tsutsui T, Saito S. Appl. Phys. Lett., 1993, **63**:2032.
- [8] Cimrova V, Scherf U, Neher D. Appl. Phys. Lett., 1996, **69**:608.
- [9] Zhang B, Zhuang L, Lin Y *et al.*, Solid State Commun., 1996, **97**:445.
- [10] Tokito S, Taga Y, Tsutsui T. Synth. Met., 1997, **91**:49.

# SINGLE-LAYER ORGANIC OPTICAL MICROCAVITY OF MULTY CAVITY MODES

LIU Xingyuan<sup>1</sup>, FENG Jimeng<sup>2</sup>, LIU Yun<sup>1</sup>, LIANG Chunjun<sup>1</sup>,  
Zhao Dongxu<sup>1</sup>,  
HONG Ziruo<sup>1</sup>, ZHAO Jiamin<sup>1</sup>, YE Shulin<sup>3</sup>, LI Wenlian<sup>1</sup>,  
YU Jiaqi<sup>3</sup>, WANG Lijun<sup>3</sup>

(1. Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021;

2. Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022;

3. Laboratory of Excited State Processes, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021, China)

## Abstract

The spontaneous emission properties of a single layer organic film in flat optical microcavity were studied. The optical microcavity was formed by a layer of a Tris(8-quinol-

linolato) aluminum (Alq) film sandwiched between a quarter-wavelength distributed Bragg reflector (DBR) and a Al metallic reflector. The DBR used here is a chirped one, the structure of which is  $G[H_1L_1]^6[H_2L_2]^6[H_3L_3]^4H'$ . There the G label represents the glass substrate, the notation  $[H_1L_1]^6$  implies a quarter-wave of high-index material H, followed by a quarter-wave of low-index material L, and 6 times. The high-index material is  $TiO_2$  with a refractive indices of 2.0, the low-index material is  $SiO_2$  with a refractive indices of 1.46. The Bragg wavelength of the three stacks is 430nm, 570nm and 630nm, respectively. The stopband range of the DBR was extended from 420nm to 650nm.

The PL spectrum of the microcavity and that of Alq film was compared at the same excitation condition. It showed that the PL spectrum of Alq film is a wider band, centered at 521nm with a FWHM of 93nm. The PL of the microcavity exhibits a multimode emission that locates at blue, green and red spectral region. It showed that there are 4 peaks in the PL spectrum of the microcavity. The three strong peaks are located at 497nm, 555nm and 615nm, respectively. The other weaker peak is located at 449nm. A strong spectral narrow from 100nm (full width half maximum) of film to 5.6nm of microcavity in PL is observed. The results implied that using microcavity structure is a useful way to achieve multi-color emission.

**Key words:** organic microcavity; spectral narrow; optical microcavity