

文章编号: 1000-7032(2009)06-0734-04

微腔有机电致发光器件的角度依赖性

张春玉^{1,2}, 陆景彬², 孙成林², 秦 莉³, 肖力光¹, 任 慧¹, 王 成³

(1. 吉林建筑工程学院 材料科学与工程学院, 吉林 长春 130021;

2. 吉林大学 物理学院, 吉林 长春 130021; 3. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 设计并制作了两个器件,一个是微腔有机电致发光器件(MOLED):G/DBR/ITO/NPB(46 nm)/DPVBi(20 nm)/Alq₃(56 nm)/LiF(1 nm)/Al(150 nm);一个是无腔器件(OLED):G/ITO/NPB(46 nm)/DPVBi(20 nm)/Alq₃(56 nm)/LiF(1 nm)/Al(150 nm)。测试并分析了器件性能。OLED在电流密度30 mA/cm²时的电致发光(EL)光谱随观测角度由0°~70°都是一宽谱带,是发光层DPVBi的特征发光光谱,峰值都在452 nm处,半峰全宽均为70 nm,色坐标均为(x=0.18,y=0.19),无腔器件没有角度依赖性。相同电流密度下,微腔器件的EL谱随观测角度由0°~70°,发光峰值蓝移,由472 nm逐渐移至428 nm;峰值相对强度渐弱,由0.32变至0.02;半峰全宽由14 nm增加至120 nm;色坐标由(x=0.14,y=0.10)变至(x=0.19,y=0.25),颜色由紫蓝变成蓝白到接近白色。微腔器件具有明显的角度依赖性。

关键词: 有机电致发光器件;微腔;角度依赖性;蓝光

中图分类号: TN383.1; TN873.3

PACS: 78.60.Fi

PACC: 7860F

文献标识码: A

1 引 言

光学微腔是指具有高品质因子而尺寸小至与谐振光波波长相比拟的光学微型谐振器。在这种结构中,与自由空间存在许多不同,光子的运动状态产生了巨大的变化。Purcell^[1]在1946年就曾对这一观点作了简洁概括:“如果将原子或物质限制在尺寸至少在一个维度上可以与波长相比拟的腔内,则原子的自发发射将受到腔的控制而改变。”这种微腔对自发发射性质的影响被称为“Purcell效应”。在光学微腔中所发生的物理现象,不仅对腔量子电动力学研究有重要意义,而且对微腔有机电致发光器件(OLED)和微型激光器的研制具有指导意义,是目前凝聚态物理的研究热点。

微腔在激光器中的应用^[2],自发发射是半导体光器件中的能量损失、速度限制和噪声的主要来源,用微腔来控制自发发射,将有助于改进器件的性能。普通激光器中的自发发射因子一般为 $10^{-4} \sim 10^{-5}$,这说明 $10^4 \sim 10^5$ 个光子中只有一个进入激光模式而且成为振荡的“种子”,这种相当

低的自发发射因子的原因是双重的,一是自发发射在所有方向均等地辐射,而激光模式只在其中一个方向;另一个原因在于腔模式如此密集,而激光模式只有一个频率。微腔激光器在这两方面都有了很大的改善,从而自发发射因子极大地增加,接近于1,使阈值大大降低。在理想的微腔里,所有发射的光子均耦合进单模谐振腔里,因此增加泵浦时,发射过程会无相变的在输入-输出曲线上从自发发射到受激发射时,实现“无阈值激光器”。

目前,垂直腔面发射激光器(VCSEL)已在实际中有了一定的应用^[3~5],这种激光器就是一种微腔激光器。光电子学发展的新趋势,大容量并行光波通信、多通道光盘、光电集成、二维光阵列、光计算和光学中的互连等正日益提升了VCSEL的重要性。可以预期,随着光电子学和光子学的进一步发展,以半导体微腔激光器为代表的微腔激光器将在未来的光电子学和光子学中扮演十分重要的角色^[6]。

平面Fabry-Perot型微腔是目前理论和实践上研究得最为透彻的微腔类型,它的结构就是由

收稿日期: 2009-06-25; 修订日期: 2009-08-24

基金项目: 国家自然科学基金(10174077,60636020); 吉林省科技厅(20080335,20086011)资助项目

作者简介: 张春玉(1968-),女,吉林长春人,博士,主要从事有机发光、激光及微腔物理方面的研究。

E-mail: zhangcy68@163.com

两个反射镜及其间所夹的工作物质所组成。在 OLED 中引入平面光学微腔已经取得了一些研究成果,如发射峰值强度增强,光谱窄化效应,发光效率、色纯度提高^[7-9]等腔效应,但对于 MOLED 的角度依赖性研究未见详细报道。我们制作了蓝光微腔有机发光器件(MOLED),观察 MOLED 与 OLED 相比发光谱变化情况,主要考察随观测角度变化发光谱的变化(角度依赖性)。

2 器件制备

具体设计制作了两个蓝光器件。微腔器件 1 和普通器件 2。

微腔器件 1: G/DBR/ITO/NPB (46 nm)/DPVBi (20 nm)/Alq₃ (56 nm)/LiF (1 nm)/Al (150 nm)。普通器件 2: G/ITO/NPB (46 nm)/DPVBi (20 nm)/Alq₃ (56 nm)/LiF (1 nm)/Al (150 nm)。为了比较微腔对器件的作用效应,我们选用最简单的材料及最简单的器件结构。NPB 作为器件的空穴传输层; DPVBi 为蓝光发光层; Alq₃ 作为电子传输层; ITO 为阳极, 1 nm 的 LiF 做缓冲层, 以利于电子的有效注入, Al 作为阴极和腔镜。微腔器件与无腔器件相比除了在 ITO 和玻璃衬底之间加了一个 DBR 反射镜之外其余完全相同。器件中有 DBR 腔镜的为有腔器件, 无 DBR 的为无腔器件, 无腔器件是为了比较而制作的。

微腔器件所用的衬底结构: G/DBR/ITO, G 是 K₉ 玻璃, 上面的 DBR 和 ITO 是用电子束蒸发镀膜而成的。两器件衬底方块电阻均为 100 Ω, DBR 由 λ/4 光学介质材料依照 [HL]³ 结构沉积而成。这里符号 H 表示光学厚度为 1/4 的高折射率材料, L 表示光学厚度为 1/4 的低折射率材料, 3 是周期数。本实验中 DBR 的布拉格波长 λ = 464 nm, 高折射率材料 H 是五氧化二钽 (Ta₂O₅), 折射率为 2.05, 厚度 57 nm。L 是低折射率材料二氧化硅 (SiO₂), 它的折射率为 1.46, 厚度 80 nm。ITO 的折射率 2, 光学厚度为 λ/4, 实际厚度 58 nm, 既当作一层高折射率材料同时作为器件的正极。

在超净室中, 对 ITO 基片, 依次使用加热的去离子水加洗涤剂、去离子水超声清洗各 10 min, 除去油脂和其他表面污染物, 吹干。最后将 ITO 基片放入 OLED 有机多功能成膜设备中, 在 250 V 电压下用氧等离子体处理 3 min, 以便降低 ITO 表

面碳含量, 从而提高 ITO 氧的含量, 进一步可以增加 ITO 的功函数。预处理后放入多源有机热沉积系统中。所用的有机材料分别放入不同的蒸发源中, 每个蒸发源的温度可以单独控制。分别生长不同有机材料层。然后是 1 nm 的 LiF 做缓冲层。在生长过程中系统的真空度维持在 4 × 10⁻⁴ Pa 左右, 最后蒸发 150 nm 厚的铝作为阴极。膜的厚度和沉积速率均由 ZMK-III 膜厚监控仪进行监测, 实际沉积厚度由原子力显微镜校准。有机膜的光学常数由 UVISEL Spectroscopic Phase Modulated Ellipsometer 测量得到, 发光区的面积由 ITO 和金属电极的交叠面积决定, 这里为 2 mm × 2 mm。薄膜的荧光光谱由 HITACH F-4500 型荧光分光光度计进行测量, 是在垂直于器件表面的方向探测得到的。器件的电致发光谱、色度特性采用由美国 PR705 光谱扫描色度计和 Keithley-2400 Source meter 数字源表组成的测试系统进行同步测量, 所有的测试都是在室温大气中进行的。

3 结果与讨论

图 1 是微腔器件 1 与无腔器件 2 在相同电流密度 100 mA/cm² 下的 EL 谱, 无腔器件是一宽谱带, 是发光层 DPVBi 的特征发光谱, 峰值在 452 nm 处, 半峰全宽为 70 nm, 峰值相对强度 0.17, 色坐标为 x = 0.18, y = 0.19。微腔器件的 EL 谱峰值在 472 nm 处, 与器件 2 相比较, 峰值强度增强 5.4 倍(峰值相对强度 0.92), 半峰全宽窄化 4.4 倍(16 nm), 色坐标 x = 0.14, y = 0.10, 如图 2 所示。微腔器件的 CIE 色坐标和色纯度均远好于无腔器件。

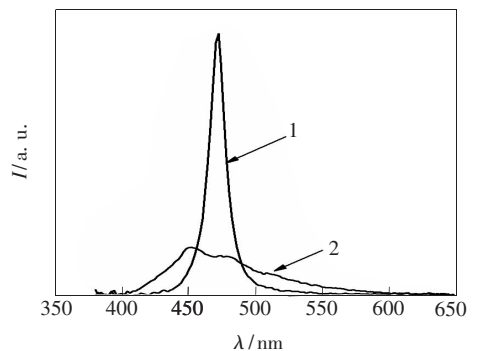


图 1 微腔器件 1 与无腔器件 2 的 EL 谱
Fig. 1 EL spectra of the microcavity and noncavity devices at the current density of 100 mA/cm²

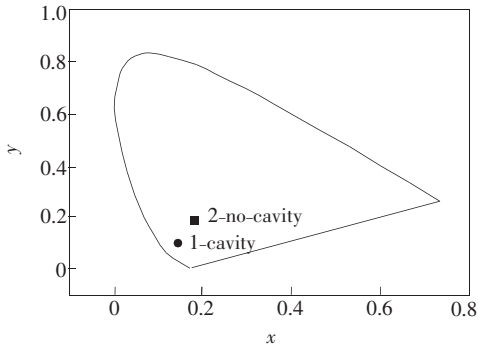


图2 微腔器件1与无腔器件2的CIE色坐标
Fig.2 CIE color coordinate of MOLED and OLED

图3是无腔器件在 30 mA/cm^2 的不同观测角度下的EL谱,从图中可以看到,随着角度由 0° 至 70° 角逐渐加大,EL峰值在 452 nm 没有变化。峰值强度逐渐变弱,半峰全宽无变化,都是 70 nm ;

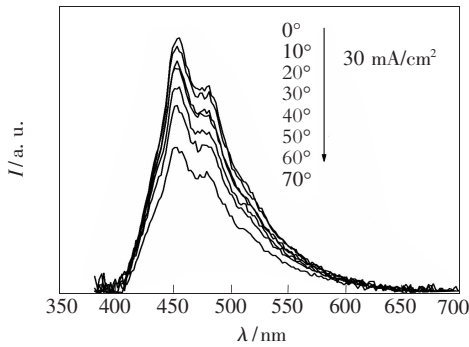


图3 OLED不同观测角度下的EL光谱

Fig.3 The EL spectra of OLED detected at different angle

表1 微腔器件EL谱随角度变化

Table 1 The EL spectral data of MOLED detected at different angle

角度 ($^\circ$)	峰值 (nm)	峰值强度 (a. u.)	半峰全宽 (nm)	CIE色坐标 (x, y)
0	472	0.32	14	0.14, 0.10
10	468	0.29	14	0.14, 0.09
20	464	0.29	14	0.15, 0.07
30	454	0.31	12	0.17, 0.06
40	446	0.20	14	0.18, 0.08
50	436	0.09	20	0.19, 0.13
60	428	0.04	30	0.19, 0.20
70	428	0.02	120	0.19, 0.25

CIE色坐标没变化,都是 $x=0.17, y=0.19$ 。说明了无腔器件的发光谱不随观测角度变化而变,没有角度依赖。

图4为微腔器件同样是在 30 mA/cm^2 时不同观测角度下的EL谱,表1具体列出了器件1在 30 mA/cm^2 时的角度变化引起的光谱各项数据变化。从图表中可以看到,随着探测角度由与器件法线成 0° 至 70° 角的逐渐加大,EL峰值由 472 nm 逐渐变小至 428 nm ,即蓝移。峰值强度逐渐变弱,变弱的幅度远大于无腔器件的变化幅度。不过我们也观察到在 30° 时,即峰值位于 454 nm 处的峰值强度明显大于 10° 和 20° 时,这是因为此波长处正是发光材料DPVBi的发光峰值波长处,因而出光要多一些。器件的半峰全宽也在逐渐变宽,由 14 nm 变至 120 nm 左右, CIE色坐标变化大,由纯蓝色的 $x=0.14, y=0.1$ 逐渐变至蓝白色的 $x=0.19, y=0.25$ 。说明了微腔器件有角度依赖性。

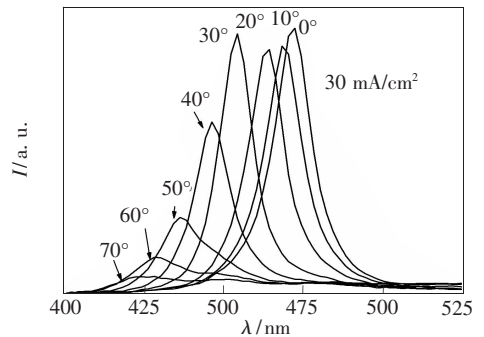


图4 MOLED不同观测角度下的EL谱

Fig.4 The EL spectra of MOLED detected at different angle

4 结 论

把微腔引入到蓝光EL器件中,观测到一系列腔效应,与无腔器件相比,微腔的EL谱线窄化和峰值强度增强,提高了器件的色纯度。随着观测角度增加,无腔器件没有角度依赖性;微腔器件的电致发光谱变化大,具有角度依赖性,发光更集中在腔轴方向上。显然,微腔器件的角度依赖性使得OLED平板显示存在视角问题,而设法避免并减小此缺点,对于实现有机微腔激光器的实用化是非常必要的。所以,在该领域开展研究具有重要意义。

参 考 文 献:

[1] Purcell E M. Spontaneous emission probabilities at radio frequencies [J]. *Phys. Rev.*, 1946, **69**(11-12):681-685.

- [2] Jiang Xudong, Liu Hongdu. Microcavity lasers [J]. *Acta Photon. Sin.* (光子学报), 1995, **24**(1):6-9 (in Chinese).
- [3] Geoffrey Duggan. Red vertical cavity surface emitting lasers (VCSELs) for consumer applications [J]. *Proc. SPIE*, 2008, **6908**:69080G-1-12.
- [4] Jennifer E Hastie, Stephane Calvez, Martin D Dawson. High power CW red VECSEL with linearly output beam polarized TEM00 [J]. *Optics Express*, 2005, **13**(1):77-81.
- [5] Fan L, Fallahi M. Over 3 W high-efficiency vertical-external-cavity surface-emitting lasers and application as efficient fiber laser pump sources [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2005, **86**(21):211116-1-3.
- [6] Yan Lingling, Li Hongjian, Zhang Jianhua, *et al.* Electroluminescence spectra in microcavity organic light-emitting devices [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2007, **28**(2):173-178 (in English).
- [7] Dodabalapur A, Rothberg L J, Jordan R H, *et al.* Physics and applications of organic microcavity light emitting diodes [J]. *J. Appl. Phys.*, 1996, **80**(12):6954-6964.
- [8] Zhang Chunyu, Liu Xingyuan, Ma Fengying, *et al.* Organic microcavity green color light emitting diode [J]. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 2006, **26**(1):111-115 (in Chinese).
- [9] Liu X Y, Wang L X, Liu Y, *et al.* Spontaneous emission properties of organic film in plane optical microcavity [J]. *Thin Solid Films*, 2000, **363**(1-2):204-207.

Angle Dependence of Microcavity Organic Light-emitting Device

ZHANG Chun-yu^{1,2}, LU Jing-bin², SUN Cheng-lin², QIN Li³, XIAO Li-guang¹, REN Hui¹, WANG Cheng³

(1. School of Materials Science and Engineering, Jilin Architectural and Civil Engineering Institute, Changchun 130021, China;

2. College of Physics, Jilin University, Changchun 130021, China;

3. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: We designed and made two devices, one is microcavity organic light-emitting device (MOLED), and the other is non-microcavity device (OLED). The structures of MOLED is G/DBR/ITO/NPB (46 nm)/DPVBi (20 nm)/Alq₃ (56 nm)/LiF (1 nm)/Al (150 nm); OLED is G/ITO/NPB (46 nm)/DPVBi (20 nm)/Alq₃ (56 nm)/LiF (1 nm)/Al (150 nm). The performances of MOLED and OLED were tested and analyzed. The OLED's electroluminescent (EL)-angle curve, at 30 mA/cm² and changing the angle from 0° to 70°, is a broad spectrum. It is the characteristic spectrum of DPVBi luminescence layer, which peaked at 452 nm, the full width at half maximum (FWHM) is 70 nm. The color coordinates (CIE) are ($x=0.18, y=0.19$). It was proved that OLED has no angle dependence.

The MOLED EL-angle curve at the same current of 30 mA/cm² is a narrow spectrum. We can see that, along with the detecting angle changing from 0° to 70°, the EL peak values decreases from 472 nm to 428 nm, namely blue shift. The peak intensity also decreased. The FWHM became larger from 14 nm to 120 nm. The CIE coordinates change from ($x=0.14, y=0.10$) to ($y=0.19, 0.25$), the color changes into blue-white from purple-orchid. All of the above proved that the MOLED obviously has angle dependence.

The angle dependence of MOLED is disadvantage for flat display application, thus we need reduce it. But this characteristics is virtue and necessary for organic microcavity laser.

Key words: OLED; microcavity; angle dependence; blue

CLC number: TN383.1; TN873.3

PACS: 78.60.Fi

PACC: 7860F

Document code: A