2010年4月

Apr., 2010

文章编号: 1000-7032(2010)02-0167-04

激子位置不同微腔有机电致发光器件性能模拟

王洪杰,张春玉*

(吉林建筑工程学院 材料科学与工程学院,吉林 长春 130021)

摘要:微腔有机电致发光器件(MOLED)的发光特性直接与微腔的结构相关,可以根据微腔器件的相关计算 公式,运用传输矩阵法对 MOLED 进行模拟设计。本文对微腔总长度 L = λ/2(λ:中心波长)不变情况下,激子 在微腔内不同位置复合发光的电致发光(EL)光谱性能进行模拟并比较。结果表明:发光谱的峰值都在所设 计的中心波长 520 nm 处,半峰全宽(FWHM)都是 17 nm,激子处在微腔的中心区域时,峰值强度和积分强度 都是最大,这是因为激子此时位于腔内电场的最大值处,偏离此处的两侧逐渐变小。以上结果表明:要制作 出高效率的 MOLED,必须使激子处于微腔内的最佳位置处。

关 键 词:有机电致发光器件;微腔;激子位置;模拟 **中图分类号:**TN383.1;TN873.3 **PACS:**78.60.Fi

1引言

有机发光显示技术是近年来发展起来的一种令 人瞩目的固体化平板显示技术[1~5]。该技术的发展 速度已超过当今任何一种显示技术的发展速度。与 传统的显示器件相比,有机发光显示器(OLED)具有 超轻、超薄、广视角、低功耗、主动发光、高清晰、耐低 温、抗震性能好等一系列优点,被誉为继 LCD 之后的 新一代显示器件。目前,市场上已经有含 OLED 显 示屏的 MP3、手机、数码相机、车载显示器、家用电器 在销售。显示技术一般要求材料的发光具有饱和 色。而大多数有机发光材料具有很宽的发光谱带, 颜色的色纯度不高。逐步进入商品化阶段的 OLED 技术,需要解决发光的色纯度问题。在器件中引入 光学微腔被证明是一种很好的方法^[6~9]。有机发光 器件的结构多种多样,夹在两个电极间的有机层的 总厚度处于可见光发光波长的量级。由于作为负电 极的金属同时可以作为反射镜,因此在衬底一侧加 入另一个反射镜就能够构造出 MOLED。

我们根据微腔器件的相关计算公式,运用传输矩阵法对 MOLED 进行模拟计算,并在微腔长度($L = \lambda/2$ 一定情况下,比较了激子在腔内不同位置复合发光的 MOLED EL 光谱的相关参量。

PACC: 7860F 文献标识码: A

2 微腔有机电致发光器件相关计算

平面光学微腔是由间距在光波长量级的两个 平行平面反射镜构成的 Fabry-Perot(F-P)谐振腔。 构成微腔的反射镜有两种,包括金属薄膜反射镜 和由光学厚度为 λ/4 的高低折射率光学介质材料 交替而成的分布布拉格反射镜(DBR)。DBR 由于 具有波长选择性高、反射率容易控制、吸收损耗小 等一系列优点而常被用作微腔器件的反射镜。

有机微腔的谐振模式满足 Fabry-Perot 方程^[10]:

$$(\varphi_1 + \varphi_2) + \frac{4\pi}{\lambda} \sum_i n_i d_i \cos\left[\arcsin\left(\frac{\sin\theta}{n_i}\right) \right] = 2m\pi,$$
(1)

其中 φ_1 和 φ_2 分别为 DBR 和金属的反射相移, λ 是谐振波长, n_i , d_i 为腔内各层薄膜的折射率和厚 度, θ 是外部探测角, m 是模式级数。

理论上垂直表面的有机微腔的发射光谱可以 通过下面的方程计算而得^[11]:

$$|E_{c}(\lambda)|^{2} = \frac{|E_{c}(\lambda)|^{2}}{\left(1 - R_{d}\left[1 + R_{m} + 2\sqrt{R_{m}}\cos\left(\frac{4\pi L_{1}}{\lambda}\right)\right]}{1 + R_{m}R_{d} - 2\sqrt{R_{m}R_{d}}\cos\left(\frac{4\pi L}{\lambda}\right)} |E_{n}(\lambda)|^{2},$$
(2)

基金项目:国家自然科学基金(10174077,60636029);吉林省科技厅(20010578)资助项目 作者简介:王洪杰(1966-),男,吉林永吉人,主要从事材料方面的研究。

收稿日期: 2009-12-25;修订日期: 2010-01-03

E-mail: wanghongjie3721@163.com

^{*:} 通讯联系人; E-mail: zhangccy68@163.com

其中 R_{d} 和 R_{m} 分别是 DBR 和金属(这里为铝)的 反射率, L_{1} 为激子与金属电极间的有效光学距离, L 为微腔的总有效腔长, $|E_{n}(\lambda)|^{2}$ 为发光 材料在自由空间的光谱分布。

根据公式运用传输矩阵进行模拟计算,并对 微腔总长度一定($L = \lambda/2$),激子在微腔内不同位 置 (L_1/L 改变)的 MOLED 器件在器件法线方向 上的发光性能进行比较分析。

具体设计的有机微腔电致发光器件的结构:

Glass/DBR/ITO(65 nm)/NPB/Alq₃/LiF(0.5 nm)/Al(150 nm),其中,设计的 DBR 中心波长 $\lambda = 520$ nm, DBR 结构:3(HL),H 为 Ta₂O₅,折射 率为 2.05,厚度为 63.4 nm;L 为 SiO₂,折射率为 1.46,厚度为 89 nm; ITO 折射率为 2.0,厚度为 65 nm。

在器件法线方向上观测即观测角 θ 为0°时, 公式(1)变为:

$$\varphi_1 + \varphi_2 - \frac{4\pi}{\lambda} \cdot L = 2m\pi, \qquad (3)$$

L 是整个腔内的有机层光学长度(这里包括 NPB, Alq₃), $L = \lambda/2$, 应用公式(1)、(2)、(3)进行模拟 计算, 公式中 $|E_n(\lambda)|^2$ 是发光材料在自由空间 的发光光谱分布, 在模拟计算中我们所用的是所 设计的器件中发光材料 Alq₃的实际测得的 PL 光 谱, 见图 1。由图 1 可以看出, Alq₃ 的 PL 光谱是 一个峰值位于 515 nm 处, FWHM 为 90 nm 的宽发 光谱带。



Fig. 1 Photoluminescence (PL) spectrum of Alq₃

3 结果与讨论

图 2 是模拟计算的腔长 $L = \lambda/2$, 激子在腔内 不同位置处的 MOLED 的 EL 光谱。从图可以看 到, 激子在腔内不同位置 $(L_1/L = 0.1 \sim 0.9)$ 时, 所有光谱的峰值都在所设计的中心波长 520 nm 处,FWHM 都是 17 nm,这是因为总的腔长没有变,但是峰值强度和光谱积分强度变化很大,具体见图 3 和 4。





Fig. 2 Modeled EL spectra of the MOLEO with exciton at different positions (L_1/L)

图 3 是激子在腔内不同位置下的发光谱的峰 值强度分布曲线,图 4 是激子在腔内不同位置下 的发光谱积分强度的变化状况。由图 3 和 4 可以 观察到,两图变化规律是相同的,当 L₁/L=0.5 时,





Fig. 3 The distribution curve of EL's peak intensity with exciton at different positions



- 图 4 激子在腔内不同位置下的发光谱的积分强度分布
- Fig. 4 The distribution curve of EL's integral intensity with exciton at different positions

即激子(有机材料的发光中心)在腔的中心位置时,发光谱的峰值强度最大,偏离此处的两侧逐渐变小。不过并非以它为中心对称,左侧即靠近金属镜距离近些的区域,L₁/L=0.4~0.5时,发光







参考文献:

谱的峰值强度和积分强度都是比较大,相差不多, 这种不平衡是因为两个反射镜即铝反射镜和 DBR 反射镜的不同,特别是反射率和反射相移的 不同导致的。为了分析原因,我们对器件的电场 强度分布和透射谱进行了计算,结果见图5。

由图 5(a) 看到,器件的反射谱的透射峰是在 520 nm 处,(b)图中,电场强度分布,图中所标明 的就是腔内中心位置,电场强度在波腹处最高,所 以器件设计制作时,对于微腔总长度 $L = \lambda/2$ 时, 使激子位于电场强度最大处, $L_1/L = 0.4 \sim 0.5$ 器 件性能才能最好。

4 结 论

通过对微腔长度 $L = \lambda/2$ 一定情况下,激子 在腔内不同位置的 MOLED 性能模拟计算比较。 结果表明:激子在微腔的中心区域 $L_1/L =$ 0.4~0.5时,发光谱的峰值强度和积分强度都是 最大,偏离此处的两侧逐渐变小,这是因为激子位 于腔内电场的最大值波腹位置处,所以我们设计 制作器件时要考虑到此因素,即发光层中激子复 合发光的位置应处于微腔电场最大区域处,才可 以得到性能好的器件。对结果的分析,深化了我 们对 MOLED 的总体认识,为进一步优化设计高 发光效率的器件结构奠定了理论基础。

- [1] Tang C W, Van Slyke S A. Organic electroluminescent diodes [J]. Appl. Phys. Lett., 1987, 51(12):913-915.
- [2] Heinz BaÈssler. Injection, transport and recombination of charge carriers in organic light-emitting diodes [J]. Polym. Adv. Technol., 1998, 9(7):402-418.
- [3] Qu Bo, Cheng Zhijian, Li Fushang, et al. Materials and devices in the field of polyfluorene derivatives organic electroluminescence [J]. Chin. J. Lumin. (发光学报), 2007, 28(5):683-692 (in Chinese).
- [4] Wu Jiang, Li Bocheng, Hou Jianhua, et al. Efficient top-emitting organic light-emitting diodes with silver anode modified by O₂-plasma [J]. Chin. J. Lumin. (发光学报), 2007, **28**(6):859-863 (in Chinese).
- [5] Li Lu, Yu Junsheng, Li Weizh, et al. Influence of bias voltage and host material on dye doped organic light-emitting diodes [J]. Chin. J. Lumin. (发光学报), 2007, 28(6):853-858 (in Chinese).
- [6] Zhang Chunyu, Xiao Liguang, Qin Li, et al. Blue color microcavity organic light emitting device [J]. Acta Optica Sinica (光学学报), 2009, 29(7):1967-1972 (in Chinese).
- [7] 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).
- [8] Xie Zefeng, Yuan Yongbo, Chen Shuming, *et al.* Study on metal microcavity OLEDs with improved efficiency [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(1):37-40 (in Chinese).
- [9] Xiong Zhiyong, Li Hongjian, Wang Junxi, *et al.* Optical characteristics of flexible microcavity organic light-emitting diodes [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2009, **30**(3):337-343 (in Chinese).

- [10] Boo Young Jung, Nam Young Kim, Changhee Lee. Control of resonant wavelength from organic light-emitting materials by use of a Fabry-Perot microcavity structure [J]. Appl. Opt., 2002, 41(16):3312-3318.
- [11] Deppe D G, Lel C, Lin C C, et al. Spontaneous emission from planar microstrucyures [J]. J. Modern Optics, 1994, 41 (2):325-344.

Simulation of Microcavity Organic Light-emitting Device at Different Exciton Positions

WANG Hong-jie, ZHANG Chun-yu

(College of Material Science and Engineering, Jinlin Institute of Architecture and Civil Engineering, Changchun 130021, China)

Abstract: The light-emitting characteristics of microcavity organic light-emitting device (MOLED) is directly related to the structure of microcavity, MOLED can be simulated by using transfer matrix method according to the related calculation formula of microcavity device. Under the unchangeable circumstances of the total length of microcavity $L = \lambda/2$ (λ is the center wavelength), this paper simulates and compares with the functions of composite light emitting EL when exciton is in different positions of microcavity. The result shows that peaks of electroluminescence spectrum are all in the 520 nm of designed center wavelength, the full wavelength of half maximum (FWHM) are all 17 nm. The peak intensity and integral intensity are the biggest when exciton is in the central area of microcavity. Because now the exciton is at the maximum position of the electric field which is in the microcavity, both sides became smaller and smaller when exciton deviates from this position. It illustrates that you have to make exciton at the best position of microcavity if you want to create an efficient MOLED.

Key words: organic light emitting device; microcavity; exciton position; simulationCLC number: TN383.1; TN873.3PACS: 78.60. FiPACC: 7860FDocument code: A