文章编号:1002-2082(2010)03-0499-04

基于MoOx层减反射膜调节白光色度的顶发射有机电致发光器件

赵 波,姜久兴,姬广举,吴丰民
(哈尔滨理工大学 应用科学学院,黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要:为了改进白光顶发射器件的色纯度,使用高折射率的材料MoOx作为光输出耦合层,通过对器件的减反射膜厚度的优化,制作了硅基顶发射有机白光器件。器件结构为Si/Ag (60 nm) /MoOx (2 nm) /NPB (50 nm) /DPVBi (7 nm) /rubrene (0.2 nm) /Alq_3 (43 nm) /LiF (1 nm)/Al (1 nm) /Ag (20 nm) /MoOx。并结合实验,优化了减反射膜的厚度。随着MoOx厚度的增加,在460 nm左右的蓝光区域出现了一个明显的发光峰,色坐标逐渐向白光等能点(0.33,0.33)靠近,实现了对白光色度的调节,制作出了高效率的白光顶发射有机电致发光器件。

关键词:减反射膜;顶发射;有机电致发光器件;氧化钼
中图分类号:TN383.1 **文献标志码**:A

Adjusting chroma of top-emitting white organic light-emitting device based on out-coupling layer of MoOx

ZHAO Bo, JIANG Jiu-xing, JI Guang-ju, WU Feng-min
(Applied Sciences College, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: Top-emitting white organic light-emitting device was fabricated by optimizing the thickness of MoOx layer with high refractive index and low absorption in the visible region, which is used as out-coupling layer. The structure of the device is Si/Ag (60 nm) /MoOx (2 nm) /NPB (50 nm) /DPVBi (7 nm) /rubrene (0.2 nm)/Alq_3 (43 nm)/LiF (1 nm)/Al (1 nm)/Ag(20 nm)/MoOx ($x$nm). We analyzed the influence of out-coupling layer's growth on devices' performance. We researched the influence of the MoOx's thicknesses on EL spectrum. With the increase of MoOx thickness, the transmittance was enhanced for blue light region and the spectrum covered visible light region. CIE was changed from (0.30, 0.49) to (0.33, 0.42) when we added 30 nm MoOx as out-coupling layer. When the out-coupling layer was 40 nm MoOx, CIE was (0.30, 0.38). It is found that the CIE moved to the equal energy point.

Key words: out-coupling layer; top-emitting; organic light-emitting devices (OLED); MoOx

引言

Organic light-emitting devices (OLED)[1]是指利用有机材料在电流的激发作用下而发光的现象来制作的一种器件,被认为是有潜力的平板显示技术之一,从而成为近年来信息显示领域的研究热点。而且有机电致发光器件潜在的应用不仅在显示领域,在固态照明方面可能也有很大的发展空间,其广泛的应用前景和这些年技术上的突飞猛进使

收稿日期:2010-01-24; **修回日期**:2010-03-12
作者简介:赵波(1980—),男,山东莱西人,哈尔滨理工大学教师,主要从事有机电致发光器件的研究工作。
E-mail:leapard2008@163.com

得OLED成为信息显示领域和科学研究产品开发最热门的话题之一。

减反射膜可用来减少光能在光学元件表面的反射损失,增加透射光的光通量。当光线由一种介质入射到另一种介质表面时会产生反射损失,这种反射光严重损害了光学系统的特性,所以在光学器件表面蒸镀上减反射膜,利用干涉原理,使通过膜层界面的反射光相互抵消以达到减少反射的目的。同样,在顶发射器件的金属阴极表面引入减反射膜可以改变光的反射和透射能量的分布。一般金属外侧淀积的耦合层的折射率越高,光的耦合输出性能越好[2]。

我们选定MoOx作为顶发射器件的减反射膜,通过优化MoOx的厚度,制备了硅基顶发射有机白光器件并对其色度进行了调节。

1 物理模型

在选择减反射膜材料时需要考虑材料应满足较低的蒸发温度以便其膜层可真空蒸发获得,可见光范围内透明,拥有较高的折射率,还有可见光范围内吸收小等。因为MoOx具备上述优点,且成本较低,所以在此选择MoOx作为顶发射电致发光器件的减反射膜。MoOx的折射率如图1所示。

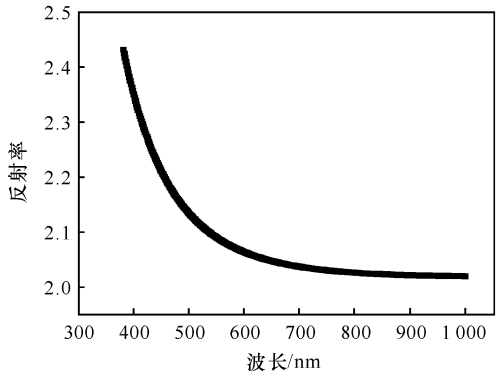

图1 MoOx的折射率

Fig. 1 Refractive index of MoOx

为了改善光的输出耦合,需要对MoOx减反射膜的厚度进行优化。在此考虑光线垂直入射的简单情况。激子形成于DPVBi层并靠近NPB和DPVBi的界面。在此不考虑激子的扩散,假设激子全部在NPB和DPVBi的界面上形成,那么发出的光经由rubrene(0.2 nm),Alq_3(50 nm),LiF(1 nm),Al(1 nm),Ag(15 nm),MoOx射出。由于rubrene,LiF和Al层厚度很薄,对于光的传输性能影响较小,在此忽略不计。我们考虑的多层膜系统结构如图2所示。

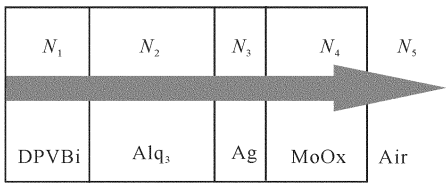

图2 多层膜系统的结构

Fig. 2 The structure of multi-layer-film system

多层膜的透射系数t为

$$t=\frac{E_{54}^{+}}{E_{10}^{+}}=\frac{t_1t_2t_3t_4}{\mu_{11}} \tag{1}$$

多层膜的透射率T为

$$T=\frac{N_5}{N_1}t\cdot t^{*}=\frac{N_5}{N_1}\left(\frac{t_1t_2t_3t_4}{\mu_{11}}\right)\left(\frac{t_1t_2t_3t_4}{\mu_{11}}\right)^{*} \tag{2}$$

参考图2,N_1,N_2,N_3和N_4分别对应DPVBi,Alq_3,Ag,MoOx和空气的光学导纳(或折射率),公式中μ表示吸收系数。测试出各个膜层的折射系数和消光系数,可以计算出光通过多层膜的透射率。公式中涉及到的折射系数和消光系数等光学常数均由美国J. A. Woolam公司的M-2000UI可变入射角椭圆偏振仪测试得到。

图3为不同MoOx厚度的多层膜结构透射率理论曲线,由曲线可以看出当MoOx厚度为30 nm和40 nm时,多层膜系统对蓝光的透射率较高。所以选取减反射膜厚度为30 nm和40 nm进行实验,同时与未生长减反射膜的器件进行对比,设计实验结构如下:Si/Ag(45 nm)/MoOx(2 nm)/NPB(50 nm)/DPVBi(7 nm)/rubrene(0.2 nm)/Alq_3(43 nm)/LiF(1 nm)/Al(1 nm)/Ag(20 nm)/MoOx(0 nm,30 nm,40 nm)。

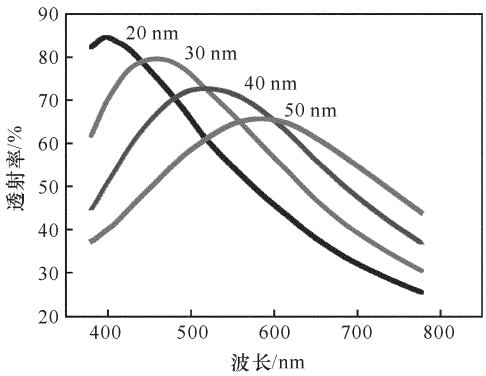

图3 不同MoOx厚度的多层膜结构透射率理论曲线

Fig. 3 The transmittance of the structure at different thickness of MoOx

2　实验

本实验所选用的器件结构中Si为衬底,Ag/MoOx为复合阳极(MoOx起到电极修饰的作用),LiF/Al/Ag为复合阴极,白光有机发光EL结构为NPB/DPVBi/rubrene/Alq_3,这NPB为空穴传输层,DPVBi为蓝光发光层,rubrene薄层为黄光发光层,Alq_3为电子传输层。

实验中采用我们参与设计研制的沈阳四达真空技术研究所生产的多源有机分子束沉积系统进行有机薄膜的蒸镀。系统在蒸发有机小分子材料时系统的真空度维持在3×10^{-4}Pa左右。薄膜厚度和生长速率均由美国IL-400型膜厚控制仪进行控制。器件的电致发光谱、亮度、色度以及电流、电压特性采用由美国PR650亮度、光谱测试仪,美国Keithley-2400电流-电压测试仪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　结果与分析

图4为器件在10 V下随MoOx厚度变化的归一化(在560 nm处)电致发光光谱,从图中可以看出,随着MoOx厚度的增加,在460 nm左右的蓝光区域出现了一个明显的发光峰,这是由于当MoOx厚度增加到一个合适值时,就会对一个特定波长的光产生增透的作用,从图中可以看出相对于560 nm处的强度,40 nm时460 nm处的峰值最大,说明此时对蓝光的增透已经很好,这与图3通过计算机拟合得到的结果有些偏差,我们认为这是由于对模型设计的简化以及实验中薄膜厚度测量误差引起的。这样得到光谱覆盖了400 nm～700 nm的可见光区域并有2个比较明显的峰,导致CIE向白光区域移动,从未生长MoOx时的(0.30,0.49)到30 nmMoOx的(0.33,0.42)再到40 nmMoOx的(0.30,0.38),可见器件的色坐标进入白光区并逐渐向白光等能点(0.33,0.33)靠近。

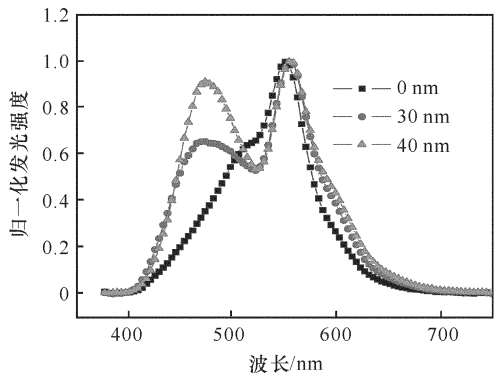

图4　器件随MoOx厚度变化对应的归一化电致发光光谱

Fig. 4　Change of EL spectra with different thickness of MoOx

图5为不同MoOx厚度下器件色坐标随电压变化情况,结合图4可以看到,随着MoOx厚度的增加,来自DPVBi的蓝光发射峰的强度相对于黄光发射峰的强度逐渐增强;色坐标随着电压的增加发生蓝移。我们认为以上现象是由于随着亮度的增加,所对应的外加电压也增加,导致激子复合区域发生移动。我们认为激子主要在rubrene层和NPB与DPVBi的界面形成。由于在有机电致发光器件中,电子相对于空穴是少子,在低电压(对应较低的亮度)的情况下,绝大部分的激子在rubrene层形成,导致低亮度下黄光的发射很强;随着电压的升高(对应较高的亮度),有更多的电子到达NPB与DPVBi的界面,从而相对与较低的电压有更多的激子在这个界面形成,使蓝光的发射相对增强[3]。同时可以看到随着MoOx厚度的增加,器件的色坐标逐渐向白光等能点(0.33,0.33)靠近,实现白光发射。

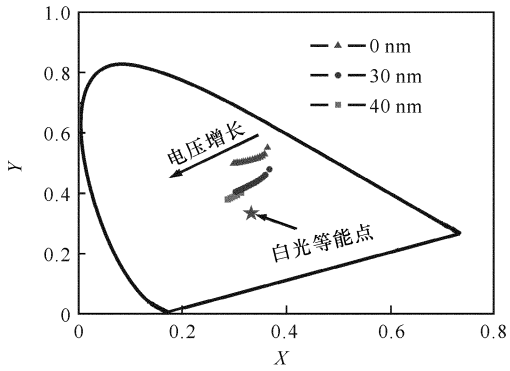

图5　不同MoOx厚度下器件色坐标随电压变化情况

Fig. 5　Shift of CIE coordinates at different thickness of MoOx

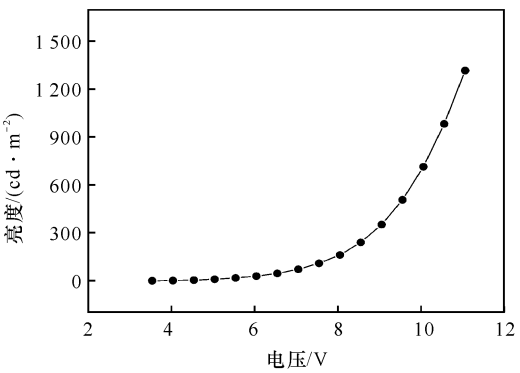

图6　器件的亮度-电压特性曲线

Fig. 6　Luminance-voltage characteristics of the device

图6和图7为40 nm厚MoOx时器件的亮度-电压特性曲线及效率-电流密度特性曲线,可见器件11 V下的亮度为1 300 cd/m^2,最高效率为1.85 cd/A。

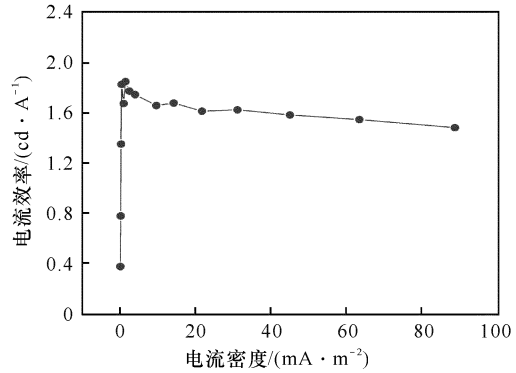

图7 器件的效率-电流密度特性曲线

Fig. 7 Efficiency-current efficiency of the device

4 结论

采用高折射指数材料MoOx作为光输出耦合层,制作了厚度为30 nm和40 nm的减反射膜。分析了随减反射膜厚度增加的电致发光光谱,随着MoOx厚度的增加,在460 nm左右的蓝光区域出现了一个明显的发光峰,色坐标从未生长MoOx时的(0.30,0.49)到30 nm MoOx的(0.33,0.42)再到40 nm MoOx的(0.30,0.38),可见器件的色坐标进入白光区并逐渐向白光等能点靠近。

参考文献:

[1] TANG C W, VANSLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. Applied Physics Letters,1987,51(12):913-915.

[2] HSU S F,LEE C C,HWANG S W, et al. Highly efficient top-emitting white organic electroluminescent devices [J]. Applied Physics Letters, 2005,86(25):1-3.

[3] CHEN C H,MENG H F. Recombination distribution and color tuning of multilayer organic light-emitting diode[J]. Applied Physics Letters, 2005,86(20):1-3.