

文章编号:1004-4213(2011)11-1630-6

有机电致发光器件的封装热特性研究

黎永涛^a, 宋小锋^a, 陈建龙^a, 姚日晖^{a,b}, 文尚胜^{a,b}

(华南理工大学 a. 高分子光电材料及器件研究所; b. 发光物理与化学国家重点实验室, 广州 510640)

摘要:有机电致发光器件的稳定性与其封装结构密切相关,封装技术的优劣直接影响有机电致发光二极管器件的寿命.本文采用热阻抗模型对三种常用有机电致发光二极管器件封装结构进行热阻抗分析,并利用 ANSYS 有限元分析软件的热分析模块对热特性进行研究,得出各种器件封装结构的温度场分布,根据温度场分布比较得出各种封装结构散热性能的差异.分析得出,传统后盖式封装结构与混合封装结构散热效果相差不大,Barix 封装结构具有最好的散热性能.模拟仿真结果显示,当玻璃厚度从 0.5 mm 增加至 0.9 mm 时,传统封装结构的发光层温度升高了 0.124℃,Barix 封装结构的发光层温度升高了 0.262℃,表明玻璃层厚度的增减对有机电致发光二极管器件的散热影响较小.改变器件表面空气流动速度,使对流系数从 25W/(m²·K)变为 85W/(m²·K)时,传统封装结构有机电致发光二极管发光层的温度由 42.911℃递减到 26.85℃,可见增大表面空气流动速度对降低有机电致发光二极管有源层的温度作用显著.

关键词:热分析;有机电致发光;封装结构;有限元分析

中图分类号:O644

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20114011.1630

0 引言

有机电致发光二极管(Organic Light-Emitting Diode, OLED)由于具有超薄、重量轻、能耗低、主动发光、视角宽、响应快、容易实现真色彩、高对比度、工作温度范围宽、能实现柔性显示等优点^[1],在显示与照明领域有极大的应用前景,越来越受到人们的重视.

随着科学界和产业界不断地研究, OLED 的亮度和发光效率都在不断提高,但是其寿命和稳定性依旧是制约其发展的重要瓶颈.由于现阶段 OLED 器件的发光效率还不高,工作时大部分的能量将转化为热能^[2-3].随着热能的增多, OLED 器件温度上升,将使器件形成的激子的数量减少,漏电流增加,从而使器件的热击穿电压和亮度降低^[4],同时有机电致发光器件材料容易发生高温分解,并破坏器件结构^[5],最终导致器件的寿命大大缩短.而由于各层之间的热膨胀系数的差异,在较高温度下,其结构会受到热应力的影响,进而使 OLED 的可靠性与稳定性变差^[6-8].

本文通过对目前三种常见有机电致发光器件封装结构热特性进行研究,分析影响 OLED 器件热特

性的主要因素.为优化器件结构,提高 OLED 器件的寿命、可靠性与稳定性提供理论指导.

1 OLED 光源封装热阻抗模型

OLED 光源的封装可采取传统后盖式封装、有机无机多层薄膜交错封装等结构,因其厚度相比于长宽尺寸小得多,经简化其热阻模型为:基板→ITO 阳极→空穴传输层→发光层→电子传输层→铝阴极→保护层,图 1 为 OLED 封装结构的简化模型示意图.

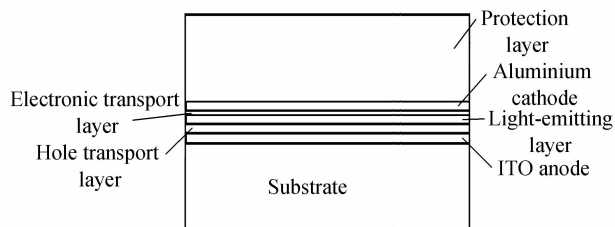


图 1 OLED 封装结构的简化模型

Fig. 1 The simplified model of OLED device's encapsulation structure

图中的发光层同时也是发热层,从图 1 中可以看出,聚合物发光层与空气之间存在两个热传递路径:1)发光层→电子传输层→铝阴极→保护层→空气,2)发光层→空穴传输层→ITO 阳极→基板→空

基金项目:广东省工业科技攻关计划(No. B09B20071220)和广东省国际科技合作计划(No. B09B2051110)资助

第一作者:黎永涛(1989-),男,本科在读,主要研究方向为信息显示与光电技术. Email: li_yt@mail.scut.edu.cn

导师(通讯作者):文尚胜(1964-),男,副教授,主要研究方向为 LED 及 OLED 等. Email: shshwen@scut.edu.cn

收稿日期:2011-06-23;修回日期:2011-07-26

气.热传递路径的散热通道模型如图 2.

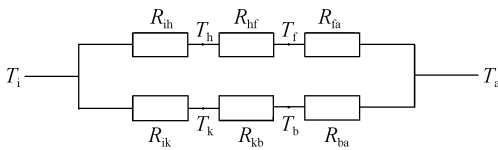


图 2 散热模型
Fig. 2 The heat dissipation model

图 2 由五个结点构成,分别为 T_i 、 T_h 、 T_k 、 T_f 、 T_b 、 T_a (T_i 表示 OLED 发光层的温度, T_h 表示空穴传输层与 ITO 阳极接触面的温度, T_f 为 ITO 阳极与基板接触面的温度, T_k 表示电子传输层与铝阴极界面处的温度, T_b 为铝阴极与保护层界面的温度, T_a 为空气的温度),各结点间构成热阻 R_{ih} 、 R_{ik} 、 R_{hf} 、 R_{ka} 、 R_{fa} 、 R_{ba} (R_{ih} 为发光层到空穴传输层的热阻, R_{ik} 为发光层到电子传输层的热阻, R_{hf} 为空穴传输层的热阻, R_{kb} 为铝阴极的电阻, R_{fa} 为基板到空气的热阻, R_{ba} 为保护层到空气的热阻). 因为两个热量传导路径的起点都是 PFO-BT 发光层,而终点则都是空气,类同于电路中的并联连接.

根据图 2 中的模型,可以推导出 OLED 发光层到空气的总热阻 R_{ia} ,可表示为

$$\frac{1}{R_{ia}} = \frac{1}{R_{ih} + R_{hf} + R_{fa}} + \frac{1}{R_{ik} + R_{kb} + R_{ba}} \quad (1)$$

化简得

$$R_{ia} = \frac{(R_{ih} + R_{hf} + R_{fa})(R_{ik} + R_{kb} + R_{ba})}{R_{ih} + R_{hf} + R_{fa} + R_{ik} + R_{kb} + R_{ba}} \quad (2)$$

OLED 光源封装总热阻 R_{ia} 、温度 T 和热功率 P 三者的关系可由式(3)表示

$$R_{ia} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{T_i - T_a}{(1 - \eta)P_{in}} = \frac{T_i - T_a}{(1 - \eta)V_{in}I_{in}} \quad (3)$$

式中 P_{in} 为 OLED 的输入功率,可由输入电压和输入电流的乘积求得.总热阻 R_{ia} 的大小反映了 OLED 散热能力的强弱, R_{ia} 越小则 OLED 器件越容易散热.

2 有机电致发光器件的三种不同封装结构

本文主要对三种常见的 OLED 器件封装结构的热特性进行研究,采用 ANSYS 软件对这三种封装结构进行热分析模拟与仿真.

2.1 传统后盖式封装结构

该结构是将预先在玻璃基板上制作好的 OLED 器件送入一个充满惰性气体,水、氧含量低于 1 ppm 的手套箱内,再将封装所用的盖板(可用玻璃或金属材料)送入手套箱内,然后用密封胶将盖板与玻璃沉底粘住即可完成封装^[9-10].传统后盖式封装结构如图 3.

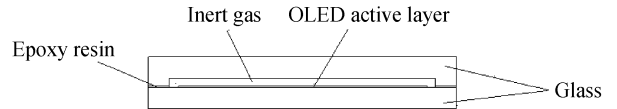


图 3 传统后盖式封装结构
Fig. 3 Traditional encapsulation structure of back cover type

该封装技术具有结构简单、工艺成熟、成本低的优点,故大多数 OLED 采用此封装结构.其缺点是:采用的密封胶具有的多孔性易使空气、水汽等杂质气体进入 OLED 器件内部,进而影响其使用寿命.

2.2 混合封装方法

将传统玻璃后盖式封装和薄膜封装这两种方法有机地结合起来,在蒸镀完 OLED 各有机功能层以后,在 OLED 器件上沉积一层隔水隔氧薄膜,最后与传统的玻璃后盖密闭成一个腔体而形成的一种新型封装技术^[9,11],如图 4.

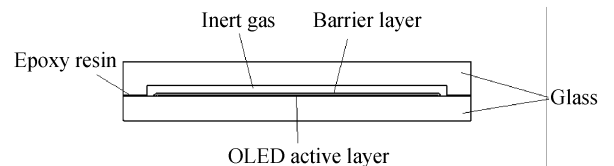


图 4 混合封装结构
Fig. 4 Hybrid encapsulation structure

该新型封装方法具有两种方法的优点,即具有良好的电屏蔽性,较强的阻水、阻氧性能,以及化学稳定、抗氧化、电绝缘等优点.

2.3 Barix 封装技术

该技术是 Vitex Systems 公司开发出的一种新型的薄膜层封装技术,它对水汽和氧气的渗透具有相当好的阻挡作用.该封装结构隔离层称为 Barix 层,采用有机层和无机层交替堆叠的方法,该隔离层能直接加在 OLED 显示器的上面,且不再需要使用机械封装元件就可实现对 OLED 器件水汽和氧气的隔离保护^[10-13],如图 5.

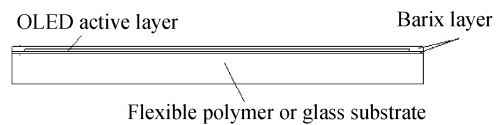


图 5 Barix 封装结构
Fig. 5 Barix encapsulation structure

该封装技术具有减少针孔,有效地隔绝水汽、氧气的优异性能,相对于传统的封装方法具有更轻、更薄且可实现柔性显示的优点.

3 不同封装结构的热模拟与分析

本文采用实验室制备的高分子 OLED 器件结构来进行研究分析,在此器件结构的基础上对三种不同封装结构来进行热分析.首先给出仿真所采用的器件结构的各种参量如表 1~3.

表 1 OLED 各层材料热导率及厚度
Table 1 Thermal conductivity and thickness of OLED device's material

OLED layer	ITO (positive pole)	PEDOT	PFO-BT	Ba	Al
Thermal conductivity/ [W/(m·K)]	20	0.12	0.12	18.4	237
Thickness/nm	125	40	80	4	80

表 2 传统封装结构参量

Table 2 The parameters of traditional encapsulation structure

Layer	Glass	Inert gas(Nitrogen)
Thermal conductivity/ [W/(m·K)]	0.9	0.026
Thickness/nm	500 000	500 000

表 3 Barix 封装结构参量

Table 3 The parameters of Barix encapsulation structure

Layer	Flexible polymer (PET)	Glass	Polyethylene film	Al ₂ O ₃ film
Thermal conductivity/ [W/(m·K)]	0.24	0.9	0.42	46.1
Thickness/nm	175 000	500 000	700	50

在 OLED 器件传统封装结构中采用的玻璃基板和玻璃盖板的厚度都是 0.5 mm. 混合封装与传统封装结构相同, 但为取得更好的隔水隔氧性能而在 OLED 工作层上溅射氧化铝薄膜作为保护层, 其厚度为 500 nm. 在 Barix 结构封装中, 基板材料可选用玻璃基板或是柔性聚合物 PET, 而 Barix 层则是由 4 层聚乙烯薄膜和氧化铝薄膜交替形成, Barix 层总厚度为 3 μm, 其中聚乙烯膜厚度为 700 nm, 氧化铝膜厚度为 50 nm.

器件采用 OLED 照明用产品尺寸参量, 其有效发光面积 A 为 $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, 则发光层 PFO-BT 的发光体积 V 为 $2 \times 10^{-10} \text{ m}^3$; 当 OLED 器件亮度为 2000 cd/m^2 时, 器件的电压为 7.7 V, 电流为 382 mA, 输入功率为 2.94 W, 能量转换效率为 2%, 则热生成功率 P 为 2.88 W, 单位体积热产生率 $Q = P/V = 14.4 \times 10^9 \text{ W/m}^3$.

对 OLED 器件的不同封装结构热分析采用 ANSYS 中 Thermal 模块, 选择 Thermal Solid Brick 8node 70 作为 3D 热分析结构单元. 由于 OLED 光源器件的长宽相比于其厚度大得多, 热量只在厚度方向对器件产生影响, 因而忽略四边封装对其散热的影响, 仿真模型如图 6.

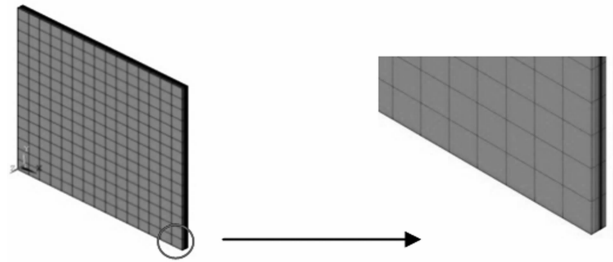


图 6 OLED 器件仿真模型

Fig. 6 Simulation model of OLED device

采用 ANSYS 软件稳态方式模拟自然对流下不同封装结构的温度场分布, 在分析中, 空气与 OLED 器件外表面的自然对流换热系数为 $25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$, 空气温度为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的边界载荷.

根据上述条件, 利用 ANSYS 有限元分析软件, 模拟三种不同封装结构, 即传统封装结构、混合封装结构、Barix 封装结构的温度场分布. 其中的 Barix 封装结构又分为两种情况, 一种为玻璃衬底, 另一种为柔性 PET 衬底. 上述各封装结构所模拟的温度场分布如图 7.

从图 7 温度场的分布可以看出, 在相同的热载荷条件下, 即所施加的单位体积的热生成率、自然对流系数以及室温条件相同, 不同的封装结构对 OLED 器件的散热影响各异.

上述所模拟的四种不同封装结构中, 最高温度都在 OLED 器件发光层, 即 PFO-BT 层产生, 但是其温度场的具体分布却各不相同. 表 4 给出了不同封装结构的最高温度和根据式(3)求得的总热阻.

从图 7 和表 4 中可以对对比看出传统后盖式封装结构与混合封装结构的温度场分布基本相似, 其最高温度和最低温度也基本相同. 混合封装的最高温度比传统封装的高 $0.027 \text{ }^\circ\text{C}$, 表明氧化铝薄膜保护层对散热效果的影响并不明显. 其原因是混合封装结构只是在传统封装结构基础上多加一层厚度极小的致密氧化铝薄膜, 而氧化铝薄膜的热导率又比较高, 故这两种封装结构的散热效果相差不大. 同时可由图 7 中(a)、(b)看出, 玻璃基板的温度明显比玻璃后盖的温度要高, 这主要是因为传统封装结构和混合封装结构中存在惰性气体层, 其热导率只有 $0.026 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, 对热量传递到玻璃后盖产生很大影响, 热量主要从基板一端传递到空气中.

表 4 不同封装结构的最高温度和总热阻

Table 4 The highest temperature and entire thermal resistance of different encapsulation structures

Package structure	Traditional packaging	Mixed packaging	Barix packaging (Glass substrate)	Barix packaging (PET substrate)
Maximum temperature/ $^\circ\text{C}$	47.487	47.514	42.911	42.960
Total thermal resistance /($^\circ\text{C/W}$)	9.54	9.55	7.96	7.97

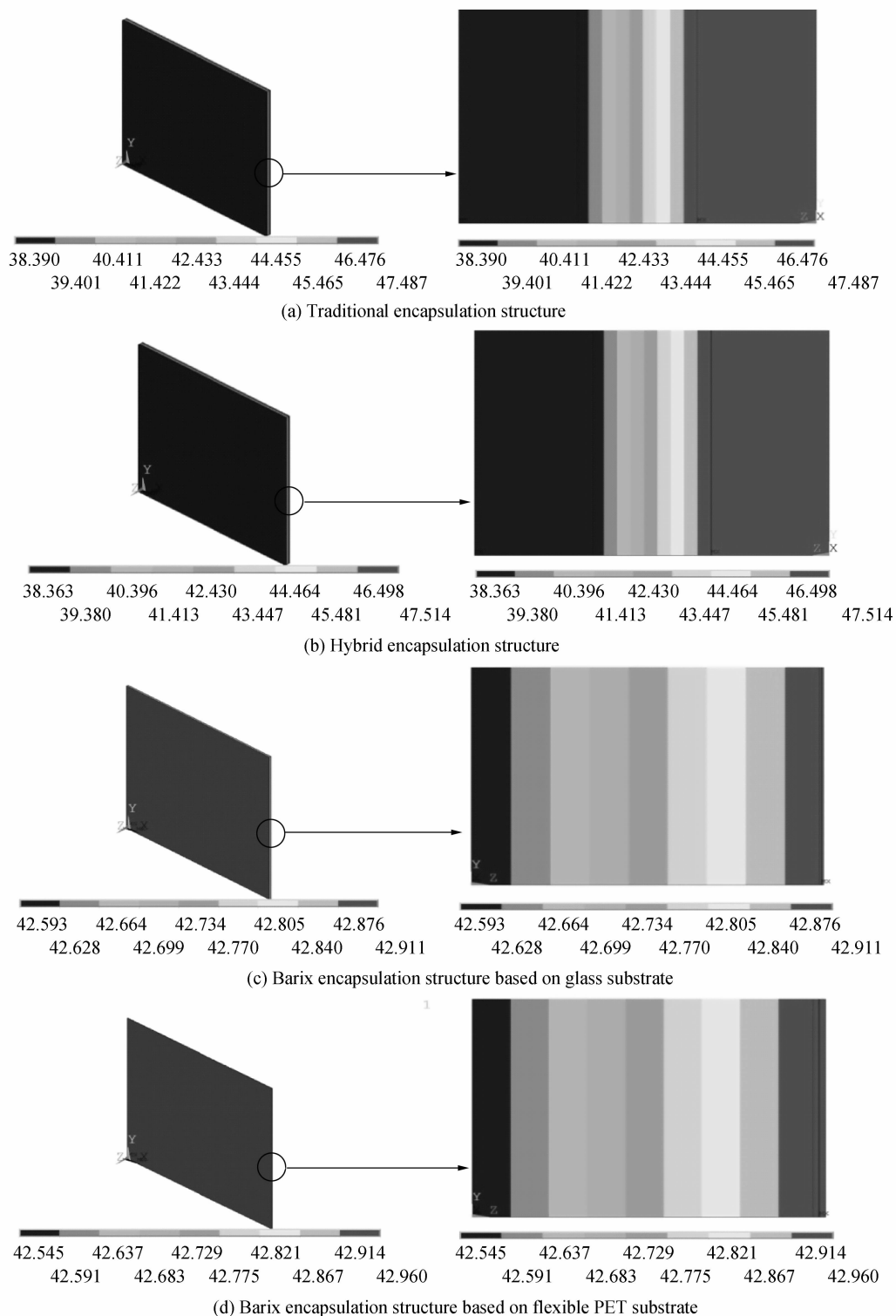


图7 不同的 OLED 器件封装结构温度场分布图

Fig. 7 The temperature field distributions of OLED device's different encapsulation structures

另外,从图7和表4还可以看出 Barix 封装结构在两种情况下的发光层温度都比另外两种封装结构要低,这表明其散热效果比另外两种结构好.原因在于 Barix 封装结构的封装层薄膜的厚度要比另外两种结构的封装层薄.对比 Barix 的玻璃衬底以及柔性 PET 衬底两种不同封装结构散热情况,两者的发光层温度相差不大,散热效果大体一致.但是

PET 衬底的最高温度要比玻璃衬底的略高一些,高出 $0.049\text{ }^{\circ}\text{C}$,表明 Barix 封装的玻璃衬底结构要比 PET 衬底结构的散热效果要好,这是由于玻璃的热导率要比 PET 高的缘故.

同时,通过仿真模拟得出不同玻璃层厚度时传统封装和 Barix 封装(玻璃衬底)两种封装结构的发光层温度及其对应关系图(图8),以及传统封装结

构在不同外部对流条件下的发光层温度及其对应关系图(图9)。

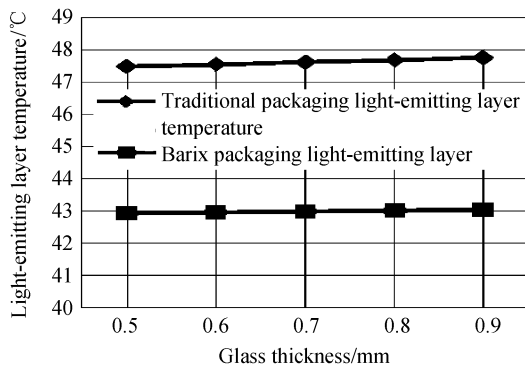


图8 发光层温度与玻璃层厚度关系

Fig. 8 The relationship between the temperature of luminous layer and the thickness of glass layer

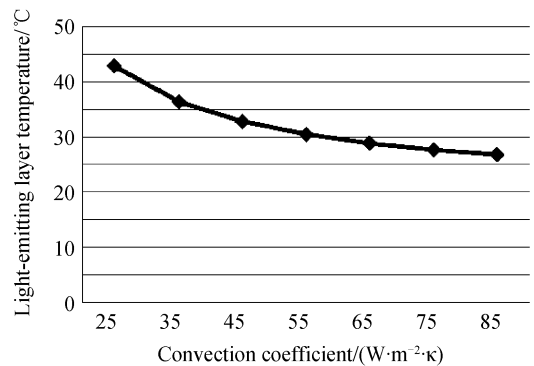


图9 发光层温度与对流系数关系

Fig. 9 The relationship between the temperature of luminous layer and the convection coefficient

在表5中,随着玻璃层厚度的增加,OLED发光层的温度也有一定程度的升高,但其升高幅度不大。

表5 不同玻璃层厚度时的发光层温度

Table 5 The temperature of luminous layer with different thickness of glass layer

Glass thickness/mm	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
Traditional packaging light-emitting layer temperature/°C	42.911	42.942	42.973	43.004	43.035
Barix packaging light-emitting layer temperature/°C	47.487	47.552	47.618	47.683	47.749

表6 不同外部对流条件下的发光层温度

Table 6 The temperature of luminous layer under different convection conditions

Convection coefficient/ [W/(m ² ·K)]	25	35	45	55	65	75	85
Traditional packaging light-emitting layer temperature/°C	42.911	36.411	32.799	30.501	28.909	27.742	26.85

当玻璃厚度从0.5 mm增加至0.9 mm时,传统封装结构的发光层温度升高了0.124 °C,Barix封装结构的发光层温度也仅升高了0.262 °C,这说明玻璃层厚度的增减对OLED器件的散热影响并不大。而当改变器件表面对流系数时,发光层温度的下降要比因玻璃层厚度减小而引起的温度降低明显得多,当对流系数从25 W/(m²·K)变为85 W/(m²·K)时,发光层的温度由42.911 °C降低到26.85 °C。

4 结论

本文采用热阻抗模型来分析OLED器件的热特性,并利用ANSYS有限元分析软件对目前常用的三种OLED器件封装结构(传统后盖式封装、混合式封装和Barix封装)进行了热模拟分析与仿真,得出它们的温度场分布,进而比较得出各种封装结构的散热效果差别。经比较得出,三种封装结构中,散热效果最好为Barix封装,传统后盖式封装与混合式封装的散热效果相差不大。在Barix封装结构中,玻璃衬底封装结构的散热效果要比柔性PET衬底的略好。通过改变玻璃层或PET层的厚度来增强散热的效果并不明显,而通过增加器件表面的对流

系数,即加快器件表面风速对散热能达到更明显的效果,仿真结果表明,使对流系数从25 W/(m²·K)变为85 W/(m²·K)时,发光层的温度可降低到原来的一半。

参考文献

- [1] TANG C W, van SLYKE S A. Organic electroluminescent diodes[J]. *Applied Physics Letters*, 1987, **51**(12): 913-915.
- [2] ZHANG Jian-ping, ZOU Jian-hua, WEN Shang-sheng. Thermal analysis of polymer electroluminescent LED surface light source[J]. *Acta Optica Sinica*, 2011, **31**(2): 0231002(1-7).
张剑平, 邹建华, 文尚胜. 聚合物电致发光二极管面光源的热分析[J]. *光学学报*, 2011, **31**(2): 0231002(1-7).
- [3] ZHANG Jian-ping, WEN Shang-sheng, ZOU Jian-hua, et al. Simulation of thermal properties for polymer light-emitting diodes [J]. *Acta Polymerica Sinica*, 2010, (12): 1458-1463.
张剑平, 文尚胜, 邹建华, 等. 聚合物电致发光二极管热特性研究[J]. *高分子学报*, 2010, (12): 1458-1463.
- [4] ZHANG Fang-hui, XI Jian-fei, WANG Xiu-feng. Influence of sulfide glass thin film encapsulation layer on lifetime of OLEDs [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2010, **31**(1): 30-33.
张方晖, 席俊飞, 王秀峰. 硫系玻璃薄膜封装层对OLED寿命的影响[J]. *光电器件*, 2010, **31**(1): 30-33.
- [5] KAWAHARADA M, OOISHI M, SAITO T, et al. Nuclei of dark spots in organic EL devices: detection by DFM and observation of the microstructure by TEM [J]. *Synthetic Metals*, 1997, **91**(1-3): 113-116.

- [6] STURM J C, WILSON W, IODICE M. Thermal effects and scaling in organic light-emitting flat-panel displays[J]. *IEEE Journal of Selected Topics In Quantum Electronics*, 1998, **4** (1): 75-82.
- [7] JIANG Xue-yin, ZHANG Zhi-lin, ZHANG Bu-xin, *et al.* High stable red organic emitting diode[J]. *Chinese Journal of Luminescence*, 2000, **21**(2): 174-176.
蒋雪茵, 张志林, 张步新, 等. 高稳定性的红色有机薄膜电致发光器件[J]. *发光学报*, 2000, **21**(2): 174-176.
- [8] ZHOU Mei-Juan, WANG Qiu-Yun, LUO Shi-Di, *et al.* Heat effect of organic electroluminescence devices and analysis of the failure process[J]. *Laser Journal*, 2004, **25**(5): 27-28.
周美娟, 王秋云, 罗世地, 等. 有机薄膜电致发光器件的热效应及器件失效过程研究[J]. *激光杂志*, 2004, **25**(5): 27-28.
- [9] HUANG Da-yong, NIU Ping-juan, LI Xiao-yun. Advancement in research of encapsulation technology for OLED[J]. *Microelectronics*, 2010, **40**(6): 875-879.
黄大勇, 牛萍娟, 李晓云. 有机电致发光器件封装技术的研究进展[J]. *微电子学*, 2010, **40**(6): 875-879.
- [10] HUANG Jian-jun. Introduction of OLED packaging technology[J]. *Technology Forum*, 2010(5): 48-51.
黄建军. OLED封装技术介绍[J]. *技术论坛*, 2010(5): 48-51.
- [11] CHOI Y H, LEE Y G, BULLIARD X, *et al.* Homogeneous Al₂O₃ multilayer structures with reinforced mechanical stability for high-performance and high-throughput thin-film encapsulation[J]. *Scripta Materialia*, 2010, (62): 447 - 450.
- [12] BURROWS P E, GRAFF GL, GROSS M E, *et al.* Ultra barrier flexible substrates for flat panel displays [J]. *Displays*, 2001,(22): 65-69.
- [13] GHOSH A P, GERENSER L J, JARMAN C M, *et al.* Thin-film encapsulation of organic light-emitting devices[J]. *Applied Physics Letters*, 2005, **86**(22): 3503-3505.

Encapsulation's Thermal Characteristics for Organic Electroluminescent Devices

LI Yong-tao^a, SONG Xiao-feng^a, CHEN Jian-long^a, YAO Ri-hui^{a,b}, WEN Shang-sheng^{a,b}

(a. Institute of Polymer Optoelectronic Material and Devices; b. State Key Laboratory of Luminescence Physics and Chemistry, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The stability of OLED device is closely related to the encapsulation structure, while the quality of the encapsulation technology will have a direct impact on the lifetime of OLED device. Several familiar OLED encapsulation structures are introduced, adopting the thermal impedance model to analyse the impedance of these encapsulation structures. And by using the thermal analysis module of the ANSYS finite element analysis software, the thermal characteristics of these packaging technologies are researched, obtaining the temperature field distribution of each structures. The differences of the heat dissipation performance are derived through comparison. There's not much difference in the effect of heat dissipation between the traditional encapsulation structure and the hybrid encapsulation structure, while the Barix encapsulation structure has the best heat dissipation performance. The simulation results show that when the thickness of the glass increases from 0.5 mm to 0.9 mm, the temperature of luminous layer of traditional encapsulation structure raises 0.124 °C, and that of Barix encapsulation structure only raises 0.262 °C, which indicates that the heat dissipation performance has little to do with the thickness of the glass layer. When changing the airflow rate of the surface of the device to make the convection coefficient increase from 25 W/(m² · K) to 85 W/(m² · K), the temperature of luminous layer of traditional encapsulation structure decreases from 42.911 °C to 26.85 °C, which has a remarkable impact on reducing the temperature of the active layer.

Key words: Thermal analysis; Organic electroluminescent; Encapsulation structure; Finite element analysis