

文章编号: 1000-7032(2012)06-0624-04

有机发光二极管的热分析与热设计

杨连乔, 付美娟, 魏 斌, 张建华*, 曹 进

(上海大学 新型显示及集成应用教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要: 采用基于计算流体动力学的热学模拟仿真与瞬态热学测试技术分析了 OLED 的热学特性, 研究并讨论了输入功率、面板取向、风速等实际应用变量对 OLED 面板结温的影响。研究表明, OLED 的结温与衬底及封装盖表面存在明显的温度梯度, 且此温度梯度随输入电流增加大幅增大。OLED 的热学特性与面板取向、气流速度密切相关。

关键词: OLED; 结温; 热阻

中图分类号: TN364+.2; TN305.94

文献标识码: A

DOI: 10.3788/fgxb20123306.0624

Thermal Analysis and Thermal Design of Organic Light-emitting Diode

YANG Lian-qiao, FU Mei-juan, WEI Bin, ZHANG Jian-hua*, CAO Jin

*(Key Laboratory of Advanced Display and System Applications (Shanghai University),**Ministry of Education, Shanghai University, Shanghai 200072, China)*** Corresponding Author, E-mail: jhzhang@shu.edu.cn*

Abstract: Computational fluid dynamic (CFD) based thermal simulation and transient thermal measurement are utilized to evaluate the thermal performance of OLED in this paper. The effects of input power, panel orientation and air velocity on the thermal characteristics of OLED are investigated and discussed. It is found that obvious thermal gradient exists between junction and substrate or glass cover, and the thermal gradient increases obviously with the input power. The thermal characteristic has a close relationship with the orientation of OLED panel and air velocity.

Key words: OLED; junction temperature; thermal resistance

1 引 言

近年来,有机电致发光二极管(OLED)由于其超薄、响应快以及柔性等独特优点得到了快速的发展^[1-3]。目前, OLED 已成功应用于 MP3、手机等中、小屏幕显示领域,并随着高效率磷光材料、成膜工艺、大尺寸非晶氧化物薄膜晶体管等技术的不断发展,在大尺寸电视以及室内外照明领

域都已崭露头角^[4-6]。

OLED 的发光层为有机材料,常用的衬底材料为 ITO(Indium tin oxide)玻璃。近年来,随着柔性 OLED 需求的不断发展, PET (Polyethylene terephthalate) 也常被用来研究作为衬底的可行性。有机材料、玻璃、PET 都具有很低的热传导率,而有机材料在高温下会产生电致发光效率降低甚至有机分子分解的负面影响,并最终导致器

收稿日期: 2012-02-23; 修订日期: 2012-04-11

基金项目: 国家十二五科技支撑计划(2011BAE01B14); 教育部留学回国人员科研启动基金; 上海市自然科学基金(09ZR1411900)资助项目

作者简介: 杨连乔(1979-),女,上海人,主要从事光电半导体的研究。

E-mail: yanglianqiao@shu.edu.cn, Tel: (021)56334417

件失效。国际上多年前就兴起了有关 OLED 热管理与热测量的研究。G. Vamvounis^[7]在 2004 年就报道了温度对 OLED 可靠性的影响,H. Tsuji^[8]和 S. Cheung^[9]分别采用拉曼散射及红外热成像法测量了 OLED 的工作温度,表明了 OLED 热管理的重要性。拉曼散射和红外成像法均可获得 OLED 器件表面温度的分布情况但无法测得结点温度,而直接决定有源层材料失效的温度是结点温度而非封装材料的表面温度。由于封装材料的散热性能较差,在结点温度和封装材料表面温度之间会存在一个明显的温度梯度。在国内,则普遍认为 OLED 发热量较小,无需进行特别的热管理,亦尚未见 OLED 热分析与热设计方面的报道。

本文采用基于计算流体动力学的热学建模仿真与瞬态热学测试法评估了 OLED 在不同工作条件下的特性。研究表明,OLED 的结温与衬底及封装材料表面存在明显的温度梯度,该温度梯度随输入电流的增加明显增大。具体散热设计应根据使用场合及周边环境进行相应的热设计以提高器件的发光效率与可靠性。

2 数值仿真与实验

本研究过程采用的 OLED 由玻璃衬底、阳极、导电层、发射层、阴极与玻璃封装盖组成。我们采用基于 CFD (Computational fluid dynamics) 的商用仿真软件 FloTHERM (Version. 9.2) 来评估 OLED 面板的热学特性。由于有源层与电极的厚度都只有几个到几百个纳米,因此在数值建模时将模型简化为玻璃衬底、有源层和玻璃封装盖。玻璃和有源层的热传导率分别假定为 $1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 和 $0.074 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ^[10],且不随温度变化。

实验采用了基于电学测试法的明导国际 (Mentor graphics) 的 T3ster^[11]来实时在线测量 OLED 的结温与热阻。OLED 作为一个典型的二极管器件,其正向压降 V 与 PN 结的温度成良好的线性关系,因此在测试过程中采用 V 作为温度敏感系数获得压降与温升之比,俗称 K 因子。在 K 因子的评估过程中,本文采用了 2 mA 的基准电流。在获得 K 因子之后,可以通过测量 OLED 在工作过程的电压变化结合 K 因子来得到 OLED 的结温,再通过温度随时间的变化曲线依据电热比拟理论采取一系列的数学换算得到结构函数。具体测试、分析过程见参考文献[12]。

3 结果与讨论

图 1(a) 为 OLED 面板及周边区域的温度分布图,环境温度为 25 °C,发光面板水平放置且发光面朝上,输入功率为 0.6 W。图 1(b) 为随着输入功率的变化,结点、衬底及玻璃封装盖的温度变化。从数值仿真结果(图 1)可知,在输入电流密度 $(0.6 / (3.6 \times 2.4) = 0.07 \text{ A/cm}^2)$ 远小于业界较为广泛认可的额定电流密度 1 A/cm^2 时,结点温度达到了 60.4 °C。结温、衬底及玻璃封装盖表面的温度随着输入功率的增大线性升高,但结温与表面温度之间的温度梯度则呈现显著增大的趋势。由此可知,虽然 OLED 是面光源,但是对其进行散热设计仍然十分重要,而把器件表面温度等同于结点温度会随着输入功率的增大误差越来越大。

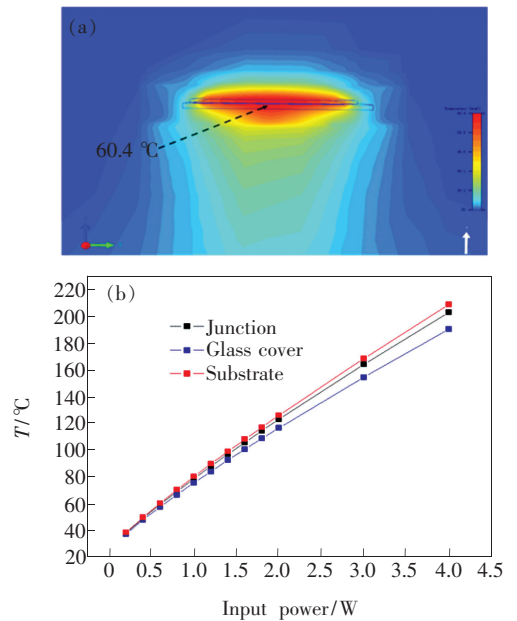


图 1 (a) 环境温度 25 °C、输入功率 0.6 W 时 OLED 的温度分布;(b) 结温、玻璃封装盖与衬底中心温度随着输入功率的变化。

Fig. 1 (a) Temperature distribution of OLED with input power of 0.6 W and ambient temperature of 25 °C ; (b) temperature variation with input power.

对于一般电子器件,热阻定义为沿热流通道上的温度差与通道上耗散的功率之比:

$$\theta_{jx} = \Delta T / P_{jx} = (T_j - T_x) / P_{jx}, \quad (1)$$

其中, θ_{jx} 为 OLED 的 PN 结至参考位置的热阻, T_j 为 PN 结温度, T_x 为参考点温度, P_{jx} 为热耗散功率。若不考虑光功率的影响,其值为总耗散功率

$V_f \times I_f$, 即 OLED 正向电流与正向电压的乘积。对于不同类型、制作工艺及功率的 OLED 器件, 电光转换效率不一, 因此在计算 OLED 热阻时需考虑光功率的影响, 对热耗散功率加以修正, 即 $P_{jx} = V_f \times I_f - P_{opt}$ 。本文所示热阻测试结果均暂不考虑光功率对热阻值的影响。

依据公式(1), 可通过计算得到仿真热阻值。通过实验测得的 OLED 热阻随输入电流变化的曲线如图 2(a) 所示, 实验与仿真结果的对比如图 2(b) 所示。由图 2(a) 可知, OLED 在自然对流环境中工作时, 其从结点到环境的热阻随输入电流的增大会呈现一个下降的趋势。原因有二: 其一, 本文所采用的 OLED 的衬底和封装盖均为玻璃, 而玻璃的热传导率随温度的升高增大^[13]; 其二, OLED 面板与周边环境的对流换热系数会随着面板表面与环境之间温度梯度的增大而变大^[14]。由图 2(b) 可知, 仿真与实验获得的热阻值都随输入功率增大而下降, 且仿真结果高于实验值。其主要原因有两点: 其一, 仿真结果采集的是 OLED 面板结温的最高值, 而采用电学参数法得到的是结温的平均值^[11]; 其二, 电极材料的热传导率远

大于有源层的热传导率, 本文在仿真过程中假定电极与有源层具有同样低的热传导率, 从而得到了较高的面板工作温度。

在实际使用中, OLED 面板的放置方向不尽相同, 发光面可能会朝上、朝下, 也有可能垂直于地面。如作为通用照明, 发光面朝下; 如作为显示屏, 发光面则通常垂直于地面。一般而言, 室内使用时, 可假定为自然对流换热条件, 因为即使是在使用空调的环境下, 空气风速一般也不会超过 0.3 m/s。图 3 是在自然对流环境中 OLED 面板不同取向时 OLED 结温随输入功率发生变化的仿真结果。由图 3 可知, 面板放置方向不同, 结温也会发生明显的变化, 尤其是在输入功率较大时, 发光面向上与向下分别会出现结温的最低点和最高值。原因为与周边环境接触的高温表面越易产生自然对流, 散热越好, 因此结温越低。在我们的研究中, 封装盖与衬底材料均为玻璃, 但玻璃封装盖相对于衬底较薄, 故表面温度较高, 此面朝上时自然对流换热的效果就更好。

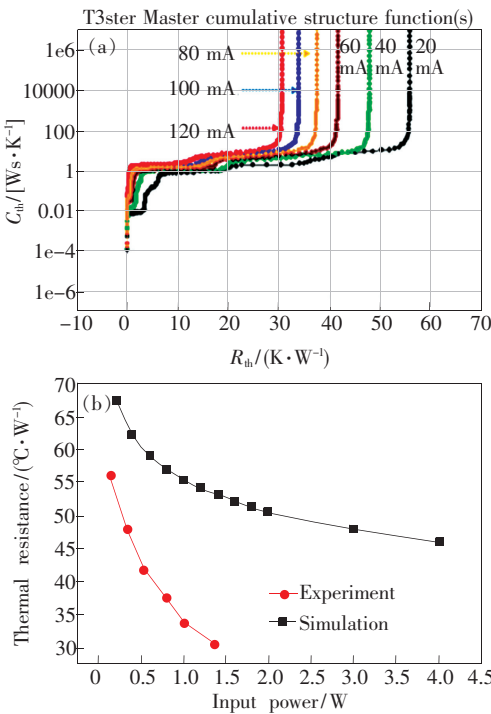


图 2 (a) 积分结构函数随输入电流的变化; (b) 仿真与实验热阻随输入电流的变化。

Fig. 2 (a) Cumulative structure function vs. input current; (b) calculated and experimental thermal resistance vs. input power.

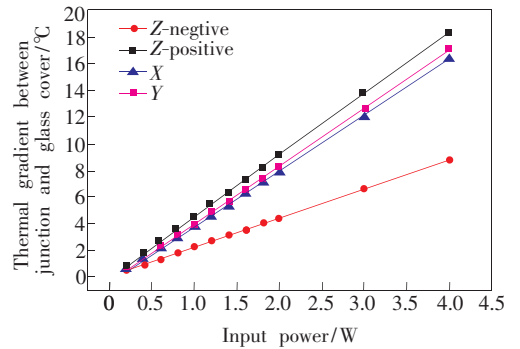


图 3 在 OLED 面板不同取向时结温与玻璃封装盖的温度梯度随输入功率的变化。Z-positive 代表发光面朝上, Z-negative 代表发光面朝下, X 代表面板短边垂直于地面, Y 代表面板长边垂直于地面。

Fig. 3 Simulated thermal gradient variation with input power between junction and glass cover when the OLED panel has different orientations. Z-positive stands for the direction of light emitting side is opposite to gravity direction, Z-negative stands for the direction of light emitting side is same with gravity direction, X stands for the short side of the OLED panel is perpendicular to the ground, and the Y stands for the short side of the OLED is perpendicular to the ground.

在探讨了 OLED 热学特性在自然对流环境下与面板取向之间的关系之后, 我们又分析了其在强制对流条件下的关系, 计算结果如图 4 所示。

前文提到,在自然对流条件下,结温随面板取向变

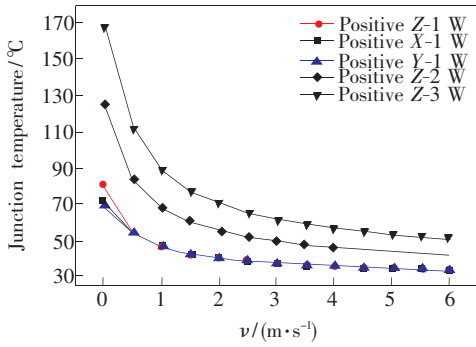


图4 OLED面板不同取向时结温随风速的变化(假定气流方向平行于发光面)

Fgi.4 Junction temperature vs. air velocity at different orientation (The air flow direction is supposed to parallel with the light emitting side of the OLED panel)

化很大;但是在强制对流条件下,在同样的输入功率时,结温与面板取向无关。主要原因为:在自然对流条件下,空气的流动取决于热梯度导致的空气密度变化而产生的浮力;在强制对流条件下,空气的流动主要来自于流体的惯性,而流体相对于面板的流速决定了对流换热系数的大小^[14]。

4 结 论

采用 Flotherm 热学仿真与 T3ster 瞬态热阻测试分析了 OLED 在不同工作环境下的热学表现,指出 OLED 虽为面光源,仍需对其进行热分析与热设计,应根据具体应用场合对 OLED 产品进行最佳品质因子的散热设计,具体考量因素包括输入功率、面板放置方向及气流速度等。

参 考 文 献:

- [1] Sun Sanchun, Fukuda Takeshi, Cao Jin, *et al.* High luminance microcavity organic light-emitting diodes [J]. *J. Optoelectronics Laser* (光电子·激光), 2009, 20(5):609-611 (in Chinese).
- [2] Cui Guoyu, Li Chuannan, Li Tao, *et al.* Organic light-emitting device with Li_3N n-type doped electron injecting layer [J]. *Acta Photonica Sinica* (光子学报), 2011, 40(2):194-198 (in Chinese).
- [3] Zhao Yongbiao, Chen Jiangshan, Ma Dongge. Realization of high efficiency orange and white organic light emitting diodes by introducing an ultra-thin undoped orange emitting layer [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2011, 99(16):163303-1-3.
- [4] Ni Weide, Wu Youzhi, Zhang Wenlin, *et al.* Highly efficient nondoped blue organic light-emitting diode using MoO_3 as anode buffer layer [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(12):1272-1275 (in Chinese).
- [5] Zhu Jianzhuo, Li Wenlian. Double-host high efficiency white organic light-emitting diodes with high color rendering index [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2012, 33(3):299-303 (in Chinese).
- [6] Song Chunli, Xu Yang, Zhou Hefeng, *et al.* Synthesis and properties of a novel type of red-light organic electroluminescence material [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2011, 32(3):285-289 (in Chinese).
- [7] Vamvounis G, Aziz H, Hu N X, *et al.* Temperature dependence of operational stability of organic light emitting diodes based on mixed emitter layers [J]. *Synthetic Metals*, 2004, 143(1):69-73.
- [8] Tsuji H, Oda A, Kido J, *et al.* Temperature measurements of organic light-emitting diodes by Stokes and anti-Stokes Raman scattering [J]. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 2008, 47(4):2171-2173.
- [9] Cheung S, Lee J H, Jeong J, *et al.* Substrate thermal conductivity effect on heat dissipation and lifetime improvement of organic light-emitting diodes [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2009, 94(25):253302-1-3.
- [10] Gielen A W J, Barink M, van den Brand J, *et al.* The electro-thermal-mechanical performance of an OLED: A multiphysics model study [C]//Proceeding of the 10th. Int. Conf. on Thermal, Mechanical and Multiphysics Simulation and Experiments in Micro-Electronics and Micro-Systems, Delft, Netherlands: IEEE, 2009:1-6.
- [11] Kim L, Shin M W. Thermal resistance measurement of LED package with multichips [J]. *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.*, 2007, 30(4):632-636.
- [12] Lin Y, Lu Y J, Gao Y L, *et al.* Measuring the thermal resistance of LED packages in practical circumstances [J]. *Thermochimica Acta*, 2011, 520(1-2):105-109.
- [13] van der Tempel L, Melis G P, Brandsma T C. Thermal conductivity of a glass: I. Measurement by the glass-metal contact [J]. *Glass Phys. Chem.*, 2000, 26(6):606-611.
- [14] Wang W J, Lee T H, Choi J H, *et al.* Thermal investigation of GaN-based laser diode package [J]. *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.*, 2007, 30(4):637-642.