

三维发光LED灯片散热设计和测试研究

李杨¹ 邹军^{2*} 朱伟³ 陈浩³ 曲士巍³ 王艺燃² 林宇杰⁴

¹上海应用技术学院材料科学与工程学院, 上海 201418

²上海应用技术学院理学院, 上海 201418

³浙江亿米光电科技有限公司, 浙江 嘉兴 314100

⁴上海博恩世通光电股份有限公司, 上海 201108

摘要 三维发光LED灯片因其360°发光的优点成为制备球泡灯的首选光源。但是与其他LED光源相比,三维发光LED灯片的散热通道由纵向变为横向,散热要求更高。通过热模拟软件探求最佳散热三维灯片设计模型,通过对比优化其基板结构和芯片排布方式将同样驱动功率下基板的温度由130℃降至83℃。为验证模拟的准确性开模制备这两种灯片,并对两种灯片不同位置和热沉同时测温监控发现,300s内发光灯片和热沉上的温度达到平衡,两种灯片样品上的温度与模拟的温度基本相同。结果表明,优化后的三维发光LED灯片具有良好的散热性能,可满足三维发光LED灯片产业化产品需求。

关键词 光学器件; 三维发光; LED灯片; 散热; 热模拟

中图分类号 TN383^{+.1}

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP52.112303

Study on Thermal Dissipation and Measurement of Three-Dimensional Light-Emitting LED

Li Yang¹ Zou Jun² Zhu Wei³ Chen Hao³ Qu Shiwei³ Wang Yiran² Lin Yujie⁴

¹School of Material Science and Engineering, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

²School of Science, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418, China

³Zhejiang Emitting Optoelectronic Technology Co, Ltd, Jiaxing, Zhejiang 314100, China

⁴Shanghai PN-STONE Optoelectronics Co, Ltd, Shanghai 201108, China

Abstract Three-dimensional light-emitting diodes (LEDs) have been the preferred light source for bulb lamp due to their 360° illumination. However, compared with other light sources, this encapsulation requires better cooling function owing to its heat dissipation channel changing from longitudinal to transverse. Therefore, this work attempts to design the best thermal dissipation model of the three-dimensional LEDs through thermal simulation software. By comparing optimization of the substrate and chip pattern mode, the temperature of substrate decreases from 130℃ to 83℃ under the same drive current condition. In order to verify the accuracy of simulation, two samples are made to test the performances of thermal dissipation. The temperature of samples can achieve equilibrium in 300 s. Moreover, the test results are in accord with the simulation results. Experimental results show that the optimization of three-dimensional light-emitting LED lights with good heat dissipation performance can satisfy the industrialization product demand of the three-dimensional light-emitting LED lights.

Key words optical devices; three-dimensional light-emitting; LED lamp; thermal dissipation; thermal simulation

OCIS codes 230.3670; 230.0250; 230.4000

1 引言

随着LED性能持续提高,价格快速下降,逐渐被大众接受,三维发光灯片以其360°发光成为制备球泡灯

收稿日期: 2015-06-11; 收到修改稿日期: 2015-06-24; 网络出版日期: 2015-10-20

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(51302171)、上海应用技术学院人才计划(YJ2014-04)、上海市学科能力建设项目(14500503300)、上海联盟计划项目(Lm201547)、上海市产学研合作项目(沪CXY-2013-61)、嘉善县科技计划项目(20141316)

作者简介: 李杨(1982—),女,硕士,实验师,主要从事LED荧光材料和封装方面的研究。E-mail: liyang123@sit.edu.cn

*通信联系人。E-mail: zoujun@sit.edu.cn

首选光源^[1-2]。三维发光光源最近才逐渐成为市场热点,最突出的为灯丝光源^[3-4],LED灯丝球泡灯的发光形状和球泡结构等均类似传统白炽灯,并且可采用传统白炽灯的生产设备和工艺制备后端球泡产品^[5],只是灯丝需要LED封装厂制备出三维发光灯丝。三维发光灯丝面临的第一个问题就是散热问题^[6-7],第二个问题是三维发光均匀性^[8-9],在散热方面三维发光灯丝球泡灯采用导热率好的蓝宝石基板和封泡过程中充入流动性强的氦气等增强传热和散热,最终降低节温^[10-12]。三维发光灯片也可借助三维发光灯丝的研究思路进行研究,只是灯丝芯片排列是单排线性,而灯片排列方式样式较多,怎样排列较好成为开模制版的第一步,本文通过热模拟软件FLOEFD模拟获得最佳的灯片结构和芯片排列模式,并开模获得实物,通过热学测试设备对其温度和热分布进行表征。

2 实验

倒装芯片固定于白陶瓷板,白陶瓷的尺寸为 $4\text{ mm}\times 8\text{ mm}\times 0.38\text{ mm}$,5颗 $0.23\text{ mm}\times 0.66\text{ mm}$ 倒装芯片通过锡膏固定于陶瓷基板上,芯片排列方式为212,如图1(a)所示;图1(b)为优化后固定有倒装芯片的白陶瓷板,白陶瓷的尺寸为 $5\text{ mm}\times 8\text{ mm}\times 0.64\text{ mm}$,芯片尺寸不变,芯片排列方式为122。

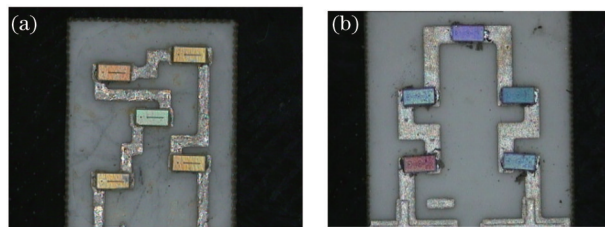


图1 三维发光LED灯片样品的照片。(a)灯片1;(b)灯片2

Fig.1 Photographs of the three-dimensional LED lamp pieces. (a) Sample 1; (b) sample 2

采用多通道温度测试仪,分别监测散热器,三维灯片如图2所示,其中No.3位于陶瓷的最顶端,No.2位于陶瓷的中部,No.1位于陶瓷的底部,即散热器。

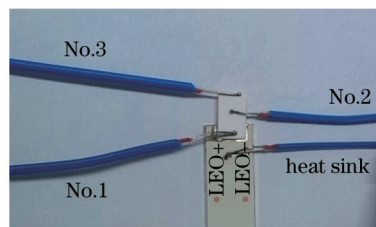


图2 多通道温度测试仪测试位置示意图

Fig.2 Sketch map of multi-channel temperature measuring instrument test

3 结果与讨论

3.1 热模拟结果分析

采用热学模拟软件FLOEFD对模型进行模拟,FLOEFD软件是一种简单有效的分析热分布的软件,通过对热通道的设置、材料的导热率和尺寸等的设定,即可以绘制出热分布,是一种工业化常用的软件,也是科研机构对热分析的有效手段。

首先对参考物进行热学模拟的边界条件设定:

- 1) 对环境温度施加温度载荷:设定环境温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 2) 对模型周围气体施加约束:设定模型周围气体为空气;
- 3) 对各部分器件材料进行设定,其中陶瓷基板选择95瓷;
- 4) 对光源施加约束:单颗灯片功率为 1.2 W ;
- 5) 对散热器施加约束:散热器材料为铝合金。

图3(a)即灯片一的热模拟图,通过比较图3(a)和(b),在其他参数不变情况下,灯片尺寸由原来的 $4\text{ mm}\times 8\text{ mm}\times 0.38\text{ mm}$ 改进为 $4\text{ mm}\times 8\text{ mm}\times 0.64\text{ mm}$ 之后,热模拟中的最高温度由 $130.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 变为 $103.42\text{ }^{\circ}\text{C}$,温度下降 $26.68\text{ }^{\circ}\text{C}$,灯片的厚度仅增加了 0.26 mm ,最高温度下降了20%,厚度增加直接增加了热通道的面积,热通

道的厚度由 0.38 mm 增至 0.64 mm, 约增大 68%, 温度降低约 20.5%, 该结果与已有文献结果基本一致^[4,13]。

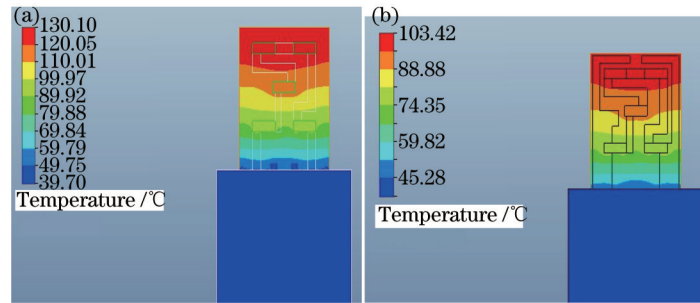


图3 灯片1热模拟示意图。(a) 灯片尺寸为 4 mm×8 mm×0.38 mm, 芯片排列模式为 212;
(b) 灯片尺寸 4 mm×8 mm×0.64 mm, 芯片排列模式为 212

Fig.3 Thermal simulation diagram of sample 1. (a) Dimension of sample is 4 mm×8 mm×0.38 mm, chip pattern is 212;
(b) dimension of sample is 4 mm×8 mm×0.64 mm, chip pattern is 212

通过比较图 3(b)和图 4(a), 在其他参数不变情况下, 改变芯片布局, 最高温度由 103.42 °C 变为 95 °C, 温度下降 8.42 °C。热通道结构的要求为: 通道长度越短越好, 而通道底面积越大越好^[4]。以此为依据, 热阻公式:

$$R_{th} = L/S, \quad (1)$$

设定距离散热器最近的芯片距离散热器为 L , 其次为 $2L$, 最远的为 $3L$, 图 3 中有 2 个芯片距离为 $3L$, 1 颗芯片为 $2L$, 2 颗芯片为 L ; 而图 4 中, 芯片的距离分别为 1 颗 $3L$, 2 颗 $2L$, 2 颗 L , 总的距离分别为 $10L$ 和 $9L$, 故图 3 (b) 芯片排列方式的总热阻为:

$$R_{th} = 10L/S, \quad (2)$$

而图 4(a) 芯片排列方式的总热阻为:

$$R_{th} = 9L/S, \quad (3)$$

所以图 4 排列模式的温度低于图 3。

比较图 4(a)和(b), 发现在其他参数不变情况下, 将基板的宽度由 4 mm 变成 5 mm, 且芯片间距由 0.5 mm 加宽到 0.6 mm, 最高温度从 96 °C 下降至 84.59 °C, 下降了 11.41 °C, 这说明在一定范围内增加芯片间距, 能够使热通道内的热分布更加均匀, 加快散热速率。这一结论也与 Liu Dongjing 等^[14]的实验结果一致。通过多个模型的模拟最终获得了节温低于 85 °C 的 LED 光源, 满足 LED 应用需求。

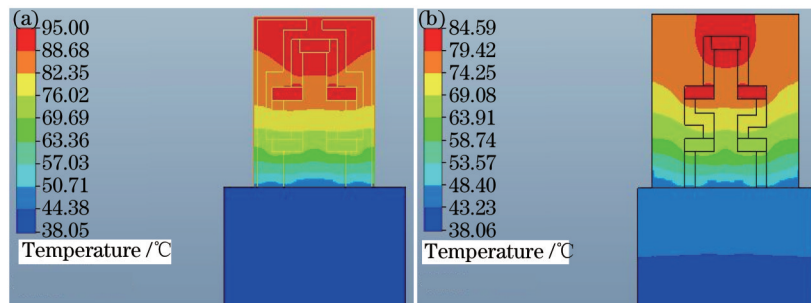


图4 灯片2热模拟示意图。(a) 灯片尺寸为 4 mm×8 mm×0.64 mm, 芯片排列模式为 122;
(b) 灯片尺寸为 5 mm×8 mm×0.64 mm, 芯片排列模式为 122

Fig.4 Thermal simulation diagram of sample 2. (a) Dimension of sample is 4 mm×8 mm×0.64 mm, chip pattern is 122;
(b) dimension of sample is 5 mm×8 mm×0.64 mm, chip pattern is 122

3.2 开模样品测试结果分析

按照图 3(a)和图 4(b)模拟结构进行开模制备出陶瓷基板, 并在其上固晶, 制备 LED 三维发光光源, 将此光源进行温度监测, 监测点如图 3 所示位置, 从曲线图可以发现两种灯片在 300 s 以后, 温度基本趋于平衡, 在 0~150 s 之间, 温度处于快速增长阶段, 150~300 s 温度增长渐渐趋于平缓; 灯片 1: No.3 平衡时温度大约为 119 °C, No.2 平衡时温度约为 114 °C, No.1 平衡时温度约为 93 °C, 而散热器上的温度平衡时为 68.6 °C; 而灯片 2 上述 4 个点的平衡温度分别为: 89.7 °C, 84 °C, 65.8 °C 和 48.6 °C 左右。两种灯片的实际散热器温度均高于模拟的温度, 主要表现在散热体(heat sink)温度高于模拟温度约 10 °C 左右, 其余点与模拟温度相差不大, 其原因是实际散

热器不是均温体(模拟时把散热器看做热阻很小的均温体),也是有一定热阻的铝制散热器,其次陶瓷片与铝制散热器接触靠导热硅脂,导热硅脂对传热起到主要的抑制作用,导致从陶瓷片到铝制散热器的热阻较大^[15],而模拟的时候把导热硅脂看作均匀的导热体,实际上导热硅脂上有空洞,导致热阻较大。灯片上模拟的温度与实际测试的温度相差较小,说明模拟比较准确,可以用此模拟方式指导研发和生产。

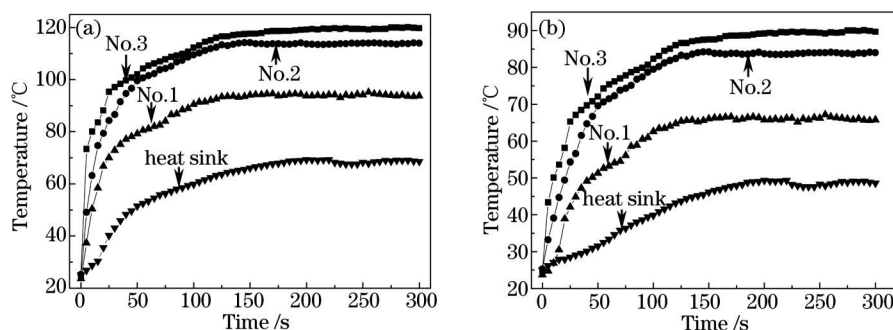


图5 测试灯片不同点和散热器上温度随时间的变化曲线。(a)为灯片1;(b)为灯片2

Fig.5 Temperature change curves versus time at different points of samples. (a) Sample 1; (b) sample 2

4 结 论

通过 FLOEFD 模拟软件对三维发光灯片进行热学模拟,通过改变基板厚度从 0.38 mm 增加至 0.68 mm 最高温度从 130 °C 降至 103 °C,再改变芯片排列方式将最高温度降至 95 °C,最后通过将基板宽度由 4 mm 增加到 5 mm,并将芯片间距从 0.5 mm 增加至 0.6 mm 最高温度降至 84.59 °C,确定最后模型,对其进行开模制备出该陶瓷基板,并在其上封装 LED 光源,对光源进行测试分析发现灯片 1 和 2 平衡后,灯片上 3 个点的温度与模拟的温度基本相同,只有散热器上的温度与模拟的温度有差异,来源于导热硅脂和散热器本身的热阻,导致实际测试的温度高于模拟的温度。

参 考 文 献

- 1 Wen Feng, Liu Deming, Huang Lirong, *et al.*. Light emitting diode emitting white light directly[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2006, 4(3): 21-24.
文 峰,刘德明,黄黎蓉,等.直接出射白光的新型发光二极管[J].光学与光电技术,2006,4(3):21-24.
- 2 Yin Stuart(Shizhuo), Wang Chao, Zhu Wenbin, *et al.*. Single chip super broadband InGaN/GaN LED enabled by nanostructured substrate[J]. Opt Express, 2014, 22(S5): A1380-A1388.
- 3 Li Yang, Dong Susu, Wang Yiran, *et al.*. Optical characterization of light-emitting diodes fabricated with vertical and flip-chip structure[J]. Electro-optic Technology Application, 2014, 29(5): 47-51.
李 杨,董素素,王艺燃,等.垂直结构LED和倒装结构LED的发光特性研究[J].光电技术应用,2014,29(5):7-51.
- 4 Wang Yiran, Li Yuefeng, Zou Jun, *et al.*. White LED accelerated aging performance analysis[J]. China Light & Lighting, 2014, (10): 43-46.
王艺燃,李月峰,邹 军.白光LED加速老化性能分析[J].中国照明电器,2014,(10):43-46.
- 5 Zhang Shengdong, Wang Fengchao, Zou Jun. Influence research on LED encapsulation light source from YAG phosphor with different particle size[J]. Electro-optic Technology Application, 2014, 29(4): 21-23.
张生冬,王凤超,邹 军.不同粒径YAG荧光粉对LED封装光源的影响研究[J].光电技术应用,2014,29(4):21-23.
- 6 Yin Luqiao, Weng Fei, Song Peng, *et al.*. Thermal interact effects of LED chip with YAG phosphor layer[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(3): 0323002.
殷录桥,翁 菲,宋 朋,等.LED芯片与YAG荧光粉的相互热作用[J].光学学报,2014,34(3):0323002.
- 7 Tian Lixin, Wen Shangsheng, Yao Rihui, *et al.*. Research on the heat-release performance of high power LED using slotted plate[J]. Acta Optica Sinica, 2014, 34(11): 1123002.
田立新,文尚胜,姚日晖,等.基于开缝基板的大功率LED散热性能研究[J].光学学报,2014,34(11):1123002.
- 8 Shen Xiaoxia, Cai Lüzhong, Dong Guoyan, *et al.*. Impact of structure design of photonic crystals on LED light extraction efficiency[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(s1): s106006.
沈晓霞,蔡履中,董国艳,等.光子晶体LED结构优化设计对光提取效率的影响[J].中国激光,2014,41(s1):s106006.

- 9 Ye Zhao, Wang Chao, Cao Qipeng, *et al.*. Study of illumination uniformity of LED arrays for radiation calibration[J]. Chinese J Lasers, 2014, 41(s1): s116007.
叶 钊, 王 超, 曹启鹏, 等. LED阵列用作定标光源的照明均匀性研究[J]. 中国激光, 2014, 41(s1): s116007.
- 10 Zhang Jianxin, Niu Pingjuan, Li Hongyue, *et al.*. Study on the heat dissipation performance of LED array using thermal circuit method[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2013, 34(4): 516-522.
张建新, 牛萍娟, 李红月, 等. 基于等效热路法的LED阵列散热性能研究[J]. 发光学报, 2013, 34(4): 516-522.
- 11 Zou Jun, Li Yang, Zhu Wei, *et al.*. Optical characterization of three-dimensional light-emitting LED[J]. Chinese Journal of Luminescence, 2015, 36(6): 12-15.
邹 军, 李 杨, 朱 伟, 等. 三维发光LED灯片的光学性能研究[J]. 发光学报, 2015, 36(6): 12-15.
- 12 Wang Cheng, Peng Xiaoli, Song Leyi, *et al.*. An investigation of the quality problems in the production of 95% radiating ceramic substrates[J]. Vacuum Electronics, 2006, (4): 78-81.
王 成, 彭小利, 宋乐义, 等. 95陶瓷散热基片生产中若干质量问题[J]. 真空电子技术, 2006, (4): 78-81.
- 13 Wang Jing, Wu Fugen. Key issues of improving cooling of high-brightness LED[J]. Electronic Design Engineering, 2009, 17(4): 123-125.
王 静, 吴福根. 改善大功率LED散热的关键问题[J]. 电子设计工程, 2009, 17(4): 123-125.
- 14 Liu Dongjing, Yang Haiying, Yang Ping. Experimental and numerical approach on junction temperature of high-power LED[J]. Microelectronics Reliability, 2014, 54(5): 926-931.
- 15 Zhang Shufang, Fang Liang, Fu Guangzong, *et al.*. Study on effect of thermal conductive silicon grease coating on thermolysis property of LED[J]. Material Review, 2007, 21(5A): 145-149.
张淑芳, 方 亮, 付光宗, 等. 硅脂导热涂层改善LED散热性能的研究[J]. 材料导报, 2007, 21(5A): 145-149.

栏目编辑: 韩 峰