

Thermal Analysis of Illumination High2Power LED

LI U Yan2chao^{1,2}, F U Gui2cui^{1*}, GAO Cheng¹, LI Xi2hui², WANG Shi2jie²

1. Department of Project System Engineering, Beihang University, Beijing 100083, China;
2. Compound Crystal Technology Co., Ltd., Beijing 100083, China

Abstract: High2power LED usually is in small size and big current, most of the input power converted into thermal energy, so heat dissipation is the key technology to be solved. This paper introduces the method of thermal design and module of thermal resistance of High2power LED; and describes heat dissipation design for illumination High2power LED arrays. The results from the simulation and analysis and the assessment experiment had proved that the method and the radiator design met the demand of heat dissipation of the LED arrays.

Key words: high2power LED; heat dissipation design; simulation analysis

EEACC: 8530; 4260D

照明用大功率 LED 散热研究

刘雁潮^{1,2}, 付桂翠^{1*}, 高 成¹, 李细辉², 王史杰²

1. 北京航空航天大学工程系统工程系, 北京 100083;
2. 北京中科稼英半导体有限公司, 北京 100083

摘 要: 大功率 LED 体积小、工作电流大, 输入功率中大部分转化为热能, 散热是需要解决的关键技术。文章介绍了大功率 LED 热设计的方法, 针对大功率 LED 的封装结构, 建立了热传导模型; 对某照明用大功率 LED 阵列进行了散热设计, 通过仿真分析和热评估试验验证了所采用的散热方法和设计的散热器满足 LED 阵列的散热要求。

关键词: 大功率 LED; 散热设计; 仿真分析

中图分类号: TN36

文献标识码: A

文章编号: 1002-9490(2008)06-171-04

在节能和环保两大需求的强力推动下, LED 的应用已从早年的指示、显示和装饰逐步走向照明领域。大功率 LED 照明的实现方法主要有两种: 一是直接封装 5 W 以上的超大功率 LED 芯片; 二是通过多颗 LED 组合成超大功率 LED 阵列。超大功率 LED 芯片主要从国外或台湾进口, 价格很高。相比之下小功率芯片不仅国内货源充足, 组合成同样的功率价格也相对较低^[1]。除此之外, 多芯片 LED 阵列还有独特的优势: 通过不同 LED 芯片的串并联组合, 可以实现各种不同的额定电压和电流, 更好地适应驱动器设计; 单位面积的芯片数可多可少, 可以封装成各种不同的点和面光源; 可以加入不同颜色的

发光芯片, 实现情景照明。

目前, 比较成熟的商品化的大功率 LED 输入功率一般为 1 W, 芯片面积 1 mm @1 mm, 其热流密度达到了 100 W/cm²。如此高的热流密度, 如不采取有效的散热措施, 会使 LED 芯片结温过高, 减少芯片出射的光子, 发光效率降低; 另一方面, 结温的升高还会使芯片的发射光谱发生红移, 色温质量下降, 尤其是对基于蓝光 LED 激发荧光粉的白光 LED 器件更为严重, 荧光粉的转换效率也会随着温度升高而降低^[2]。因此, 对大功率 LED 进行散热研究具有重要的理论和工程价值。

收稿日期: 2008-04-01

作者简介: 刘雁潮, 男, 硕士, 主要从事电子元器件热设计应用技术方面的研究;

付桂翠, 女, 博士, 副教授, 主要研究方向为电子元器件热设计热分析应用技术;

高 成, 男, 博士, 高工, 主要研究方向为电子元器件及设备的可靠性设计与应用技术。

1 大功率 LED 的封装结构

大功率 LED 的典型封装结构见图 1。LED 芯片用高导热银胶贴在黄铜或铝等高导热率的内部热沉上, 芯片电极通过金线与引线框架连接, 芯片外部用硅橡胶或者其他热稳定性、绝缘性好以及光学透明的树脂材料封装, 热沉四周用塑料材料封装; 最后整个 LED 器件用高导热银胶贴在金属基线路板上^[3]。这种采热通路和电通路分离的设计方式, 更便于散热方案的设计和和实施。

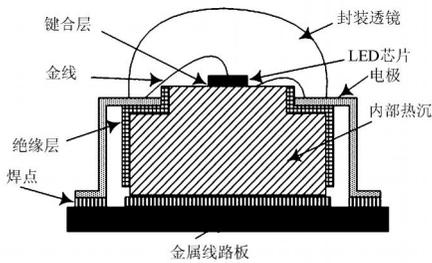


图 1 大功率 LED 的典型封装结构

2 大功率 LED 的热设计

为保证大功率 LED 的正常工作, 需通过有效的热设计保证 LED 的工作结温在允许的温度范围内。对一般的 LED 来讲, 在生产工艺阶段靠器件内部、封装和管壳的热设计就可以解决散热问题。但对大功率 LED, 一般还需增加有效的外部散热措施。肋片式散热器能有效地增加散热面积, 提高散热效果, 在自然对流情况下, 功率器件广泛的采用肋片式散热器来辅助散热。合理地选用、设计散热器, 能有效降低大功率 LED 的结温、提高发光质量和延长使用寿命^[4]。大功率 LED 的热设计流程见图 2。

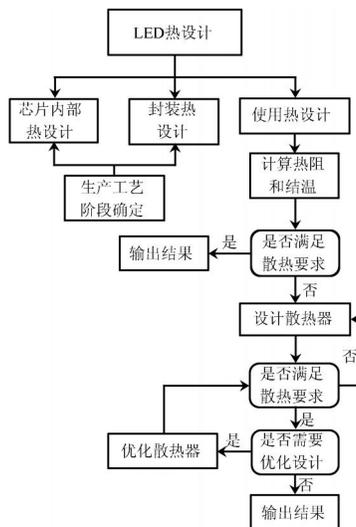


图 2 大功率 LED 的热设计流程

产工艺阶段保证的, 这里重点介绍使用过程中的热设计。

首先根据大功率 LED 正常工作时的性能参数和环境参数, 如环境温度、LED 的功耗和热阻等, 计算 LED 结温是否工作在安全范围之内, 判断是否需要安装散热器进行散热。在需要安装散热器进行散热情况下, 初选散热器, 重新计算 LED 结温, 判断 LED 结温是否在安全范围之内, 所选散热器是否满足要求。对于符合要求的散热器, 根据实际工程需要判断是否进行优化设计。

3 LED 散热系统的传热模型

大功率 LED 装上散热器后, 其散热途径将会有所变化。内热阻 R_{j-c} 保持不变, 热量一方面通过外壳和封装透镜直接向周围传递, 其热阻为 R_{T_p} ; 另一方面热量通过底部粘结层传给金属线路板, 外部热沉与金属线路板间的热阻为 R_{c-b} , 再由线路板通过粘结层传给散热器, 金属线路板与散热器间的热阻为 R_{b-s} , 然后由散热器再把热量散发到周围空间, 散热器到周围环境之间的热阻为 R_{s-a} , 其热阻网络如图 3 所示^[5]。封装透镜材料或者硅橡胶和热沉四周的塑料材料导热率极低, 当外壳和透镜本身到周围环境的散热可忽略不计时(即 $R_{T_p} \ll (R_{c-b} + R_{b-s} + R_{s-a})$), 图 3 可简化为图 4。图中: T_j 为大功率 LED 芯片的结温; T_c 为壳温(内部热沉底部的温度); T_b 为金属线路板的温度; T_s 为散热器最高温度点的温度; T_a 为环境温度; P_D 为器件耗散的功率。根据热电阻法, 系统的总热阻 R_{j-a} 和 LED 芯片的结温 T_j 可由公式 (1), (2) 得到。

$$R_{j-a} = R_{j-c} + R_{c-b} + R_{b-s} + R_{s-a} = \frac{T_j - T_a}{P_D} \quad (1)$$

$$R_{j-c} = \frac{T_j - T_c}{P_D} \text{ 且 } T_j = P_D \cdot R_{j-c} + T_c \quad (2)$$

由公式可知要提高大功率 LED 通过散热器耗散的热量, 则应尽量降低各个热阻值。而 LED 芯片内热阻 R_{j-c} 由生产工艺决定, 是固定不变的, 应主要考虑如何采取有效措施减小热阻 R_{c-b} 、 R_{b-s} 和 R_{s-a} 。

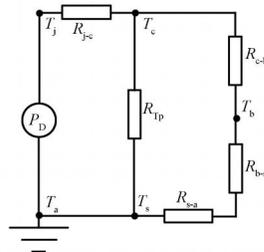


图 3 热阻网络模型图

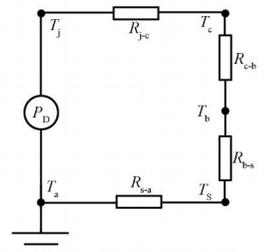


图 4 简化热阻网络模型图

芯片内部的热设计和封装的热设计是通过生

4 某大功率 LED 阵列的散热设计

4.1 阵列简介

大功率 LED 阵列的基本结构见图 5。

9 颗白光 LED 和 9 颗用于情景照明的 RGB 芯片间隔贴装在长方形的铝制线路板上。其中白光 LED 采用蓝宝石衬底的 GaN 蓝光芯片激发黄色荧光粉产生白光, 每颗功率 1 W; RGB 内部封装了红、绿、蓝三色芯片, 可控制单独发光实现情景照明, 全部发光则组合成白光, 每颗总功率也为 1 W。阵列中 PCB 板作 LED 器件电极连接布线之用, 铝芯夹层作为热沉散热, 电流通道与热流通道各自独立。LED 和 RGB 芯片内部热阻为 $8\text{e} / \text{W}$, 最高允许结温为 125e , 考虑到工作可靠性和 LED 结温对寿命的影响, 采用可靠性设计中的三级降额设计, 热设计目标为 LED 芯片的结温不超过 105e [6]。

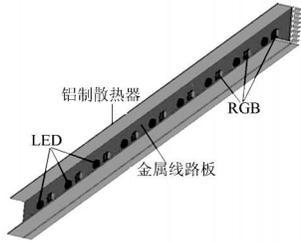


图 5 大功率 LED 照明阵列结构

4.2 热设计方案

为了更好地满足散热和灯具的外形设计的需要, 为 LED 阵列设计安装如图 6 所示的铝制肋片散热器, 金属线路板和散热器底座用高导热银胶粘结。

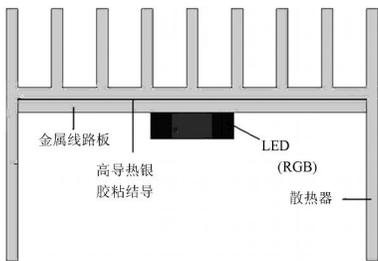


图 6 散热器剖面

这种散热器结构成本低廉、结构简单、便于制成模具进行大规模生产; 并且铝有极高的热导率, 具备良好的散热效果 [6]。上方两个肋片是为灯具外形设计需要, 在增加散热面积的同时, 用于支撑上方取光的透明材料。散热器的几何参数见表 1 所示。

表 1 散热器的几何参数 单位: mm

肋片位置	肋片个数	肋片厚度	肋片高度	肋片间距	底座厚度
基座上方	9	1.1	7.5	4.3	1.1
基座下方	2	1.1	15	34.5)

4.3 热设计结果的仿真分析

采用 ICEPAK 热分析软件对热设计的结果进行仿真分析。在 ICEPAK 中建立热分析模型。主要由热源、金属线路板和散热器组成。因为 LED 内部热阻是一个固定值, 模型中把每只大功率 LED 考虑成一个热源, 不考虑内部结构。对流模式为空气自然对流, 空气的自然对流系数取平均值 $7.5\text{W} / (\text{m}^2\text{K})$ 。考虑到 LED 阵列可能会在各种环境工作, 环境温度设为 40e ; LED 阵列中各材料导热系数见表 2 [8]。

表 2 LED 阵列中各材料的导热系数

材料	蓝宝石	GaN	铝	银胶	黄铜
导热系数/ $\text{W} / (\text{m}^2\text{K})$	35	130	178	3.8	389

通过仿真分析, 获得的 LED 阵列金属线路板的稳态温度场分布和阵列中心横剖面的温度场分布分别见图 7、图 8。可以看出, 温度最高的区域集中在阵列的中部, 两端相对较低, 阵列中间芯片的最高亮温为 60.3e 。

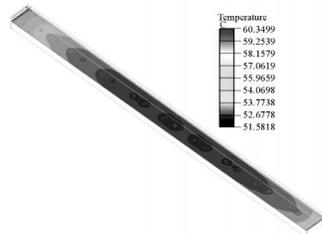


图 7 金属线路板的温度场分布

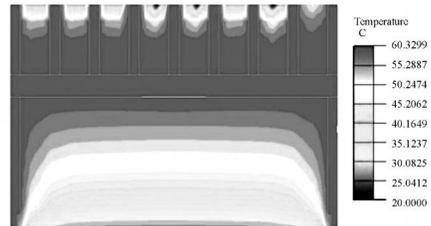


图 8 阵列中间横剖面的温度场分布

由于对流换热和辐射换热起的作用较小, 采用文中图 4 所示的简化等效热阻网和公式 (1) 代入数据计算 LED 芯片的结温。

$$T_j = P_D \# R_{j-c} + T_c \quad (2)$$

其中, $P_D = 1\text{W}$

$$R_{j-c} = 8\text{e} / \text{W}$$

$$T_c = 40\text{e}$$

计算得:

$$T_j = 1\text{W} \# 8\text{e} / \text{W} + 60.3\text{e} = 68.3\text{e}$$

4.4 热评估试验

为了验证仿真结果, 对该大功率 LED 阵列进行了热实验。实验中恒温箱温度设定 40e , 将 LED

阵列放在恒温箱中连续工作 12 h, 采用 16 路接触式测温系统测量选定点 A、B、C 的温度, 测温结果分别为 58.1 e、56.8 e 和 57.5 e, 比仿真结果稍低, 但是在允许误差范围内, 热试验结果验证了仿真结果的正确性。

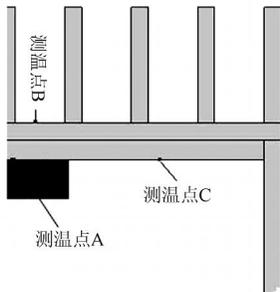


图 9 热试验测温点分布

5 结论

对于大功率 LED 器件, 由于其输入功率的进一步提高, 更多的热量需要有效地耗散掉, 因此大功率 LED 器件的散热问题对于 LED 的发展是一个挑战。本文在研究了大功率 LED 的封装机构、热设计

方法和传热模型的基础上, 对某大功率 LED 阵列进行了散热设计。经过仿真分析和实验验证, 为 LED 阵列设计的铝制肋片结构散热器, 在 40 e 的环境中所有芯片全负荷工作的情况下, 可以将芯片的最高结温控制在 70 e 以内, 较好地满足了工程的需要。

参考文献:

- [1] 卢文全, 张仲生. 新型大功率白光 LED 组件[J]. 中国照明电器, 2007, 6(6).
- [2] 张成敬, 王春青. 一种高功率白光 LED 灯具的封装热设计研究[J]. 2007, 8(5).
- [3] 马泽涛, 朱大庆, 王晓军. 一种高功率 LED 封装的热分析[J]. 2007, 27(1).
- [4] Arik M, Weaver S. Chip Scale Thermal Management of High Brightness LED Packages[J]. Proc of SPIE, 2004.
- [5] Kim Lan, Choi Jong Hwa, Jang Sun Ho. Thermal Analysis of LED Array System with Heat Pipe[J]. Thermochemica Acta, Apr 1, 2007, 455(6).
- [6] Curran J A, Clyn T W et al. The Thermal Conductivity of Plasma Electrolytic Oxide Coatings on Aluminium and Magnesium[J]. Surface and Coatings Technology, 2005.

(上接第 1715 页)

It should be noted that the white field output flux is measured on the condition that Spoke Light Recapture (SLR) Mode is running (In SLR Mode, DMD won't shut down in the TSC). To the contrary, the homochromatic output flux is measured when the SLR Mode is disabled. The simulation values of R, G, B, W screen flux are 22.6 lm, 75.5 lm, 18.3 lm and 130.5 lm, in which the green one is much different from the actual value.

4 Conclusion

In the paper, the structure of the optical system and the operational principle of the optical engine based on LED light source are introduced. Compared the actual measurement with the simulation, it is almost consistent. The total output flux of the projector is 112.3 lm, which is far from the demand of commercialization. Nevertheless, with the improvement of the luminous flux per LED, luminous flux of the optical engine will also be raised. The productions meeting with the commercial demand will be invented in the

near future, which will provide the consumers a new kind of the large screen television with low price and excellent performance.

References:

- [1] Niven G, Opto & Laser Europe[J]. 2006, No. 142, 33236.
- [2] Breidenassel Nicole, Grötsch Stefan, Schnabel Wolfgang, SID 06 DIGEST[C]//2006, 18161818.
- [3] www.lumileds.com[EB/OL].
- [4] Harbers G, Paolini S, Keuper M, SID Microdisplay 2002 [C]//Digest of Papers 2002, 2225.
- [5] Harbers G, Keuper M and Paolini S, 10th Int. Display Workshop[C]//(IDW'03), 2003, 15821588.
- [6] Kanayama H, Maeda M and Miwa T, Consumer Electronics [C]//ICCE '06 Digest of Technical Papers, 2006, 122128.
- [7] Harbers G, Projection[J]. 2(6):2004, 24225.
- [8] Keuper M H, Harbers G and Paolini S, SID Symposium Digest of Technical Papers[J]. 2004, 35: 942945.
- [9] Lee Won Yong, Lee Young Chol and Lee Hee Joong, Proc. SPIE[J]. 5529:2004, 127.
- [10] Wang Weisheng, Jiang Wei, Dou Xiaoming, Acta Optica Sinica[J]. 2005, 25(6): 852859.