大功率白光 LED 灯具的散热分析

周志刚[1] 杨广华[1] 李玉兰[2]

(1.天津工业大学信息与通信工程学院，天津 300160；
2.天津军事交通学院，天津 300160)

[摘 要] 目前，新一代 LED 灯具正在迅速发展起来。但随之而来的也有许多待解决的问题。其中大功率 LED 的散热，就是一个特别突出的问题。本文就从 LED 散热问题着手，分别从 LED 器件制作的本身、散热基板及 LED 用散热片三个方面分析了 LED 照明灯具的散热问题和解决方案。

[关键词] 散热；灯具；LED

1. 引言

大功率 LED 白光照明具有三个最为主要的优点：节能、环保、长寿命，是目前替代传统光源的新一代光源。在 LED 工作的过程中，其 PN 结产生大量的热而导致 PN 结温快速上升。所产生的热量主要通过 LED 基板传导到外部安装的散热装置来进行散热。因此，散热设计对 LED 光源的性能起着至关重要的作用，良好的散热设计可以大幅度地延长 LED 的使用寿命。

大功率 LED 照明灯具散热问题的解决方法主要有两种：(1) 改善制备的芯片出光的效率问题，提高芯片发光的内量子效率和外量子效率，从而有效地从根本上解决热量的产生；(2)在基板上配置合理的散热结构或装置。本文将首先讨论温度对 LED 发光的影响，之后从这两种方法出发，对大功率白光 LED 照明灯具的散热问题进行讨论，并提出初步解决方案。

2. PN 结发热对大功率 LED 照明灯具的影响

LED 芯片的有源区面积小，工作电流大，造成 LED 芯片的工作温度高。结温上升导致 LED 输出光功率减小，加速芯片蜕化，器件寿命缩短[1-3]。随结温的上升 LED 的波长还将发生“红移”效应。如果要考虑到实际应用中对色漂移的不良影响，散热设计也要对最高结温进行限制。芯片工作时产生的热量通过内热通路传导至热沉，热沉通过空气对流或向外辐射散热。LED 结构及散热通路如图 1 所示。

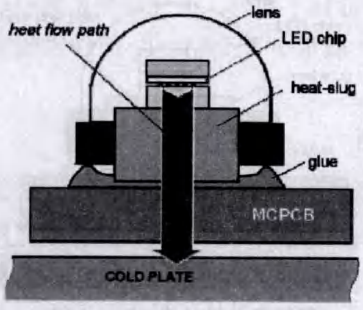
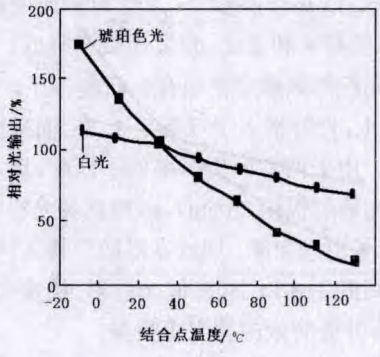
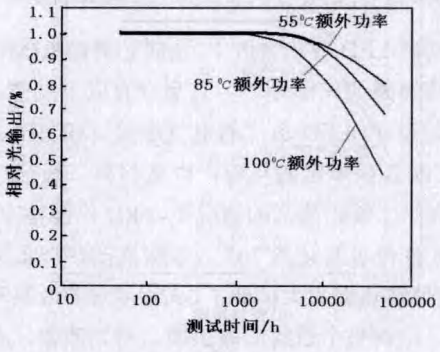


图 1 LED 散热结构示意图

LED 散热管理对大功率 LED 的影响主要有：(1)温度对 LED 光亮度输出的影响；(2) 温度对 LED 光输出颜色的影响；(3)温度所造成的 LED 的失效。图 2(a)显示了 LED 发光芯片的结合点温度和 LED 的出光量间的关系，两者成反比；图 2(b)显示了 LED 点亮后散热片温度和 LED 光衰程度的关系，LED 结合点温度和散热片的温度是线性关系。可以看出，散热片温度越高，LED 光衰越大。



(a)



(b)

图 2 温度 LED 发光的影响

3. 高出光率封装技术

在 LED 使用过程中，辐射复合产生的光子在向外发射时产生的损失，主要包括三个方面：(1)芯片内部结构缺陷以及材料的吸收；(2)光子在出射界面由于折射率差引起的反射损失；(3)以及由于入射角大于全反射临界角而引起的全反射损失。因此，很多光线无法从芯片中出射到外部。可以通过在芯片表面涂覆一层折射率相对较高的透明胶层 (灌封胶)，由

作者简介：周志刚，男，天津人，本科，研究方向：半导体材料发光，LED 灯具。

于该胶层处于芯片和空气之间，从而有效减少了光子在界面的损失，提高了取光效率。此外，灌封胶的作用还包括对芯片进行机械保护，应力释放，并作为一种光导结构。因此，LED中使用的灌封胶要求具有透光率高、折射率高、热稳定性好、流动性好、易于喷涂等优点。为提高LED封装的可靠性，还要求灌封胶具有低吸湿性、低应力、耐老化等特性。目前常用的灌封胶包括环氧树脂和硅胶。硅胶由于具有透光率高，折射率大，热稳定性好，应力小，吸湿性低等特点，明显优于环氧树脂，在大功率LED封装中得到广泛应用，但成本较高。研究表明，提高硅胶折射率可有效减少折射率物理屏障带来的光子损失，提高外量子效率，但硅胶性能受环境温度影响较大。随着温度升高，硅胶内部的热应力加大，导致硅胶的折射率降低，从而影响LED光效和光强分布。

在LED封装中通常使用荧光粉形成白光。其特性主要包括粒度、形状、发光效率、转换效率、稳定性(热和化学)等，其中，发光效率和转换效率是关键。研究表明，随着温度上升，荧光粉量子效率降低，出光减少，辐射波长也会发生变化，从而引起白光LED色温、色度的变化，较高的温度还会加速荧光粉的老化。原因在于荧光粉涂层是由环氧或硅胶与荧光粉调配而成，散热性能较差，当受到紫光或紫外光的辐射时，易发生温度猝灭和老化，使发光效率降低。此外，高温下灌封胶和荧光粉的热稳定性也存在问题。由于常用荧光粉尺寸在1um以上，折射率大于或等于1.85，而硅胶折射率一般在1.5左右。由于两者间折射率的不匹配，以及荧光粉颗粒尺寸远大于光散射极限(30nm)，因而在荧光粉颗粒表面存在光散射，降低了出光效率。通过在硅胶中掺入纳米荧光粉，可使折射率提高到1.8以上，降低光散射，提高LED出光效率(10%-20%)，并能有效改善光色质量。

4. 配置合理高效的散热基板，提高散热效率

在大功率LED散热通道中，金属芯线路板(MCPCB)是连接内外散热通路的关键环节，它至少有以下功能：(1)LED芯片的散热通道；(2)LED芯片的电气连接；(3)LED芯片的物理支撑。MCPCB保障电的互连，也是与第二级热沉的连接界面。在没有第二级铝热沉的情况下，LED也能在室温下工作，但是MCPCB很容易达到70℃，多级次的热沉虽然增加了一点热阻，但使散热面大大扩展了，从而使对流散热和辐射散热大大增强，进而整个系统的散热能力得到改善。在多数情况下，大功率LED芯片通过热扩散层过渡，安装在MCPCB上，而MCPCB紧贴在铝热沉上，两者光滑表面常用螺钉或弹簧加力紧固，并用导热胶粘贴以尽量减小界面热阻[4-6]。

MCPCB通常使用铝金属材料。在普通照明应用中，Al基板方案可以与M—LTCC竞争用于多芯片(MCM)封装，后者具有优异的散热性能，但是其工艺流程多、技术难度高，成本远高于Al基板。金属基低温共烧陶瓷型基板因其成本相对很高，若在普通照明应用中普及仍需克服成本难题；用体烧结的陶瓷片作为应力匹配层或热扩散层，通常还要用导热膏贴上大体积的热沉或者焊接在热沉上，陶瓷片厚度是微弧氧化膜的几十倍，加上与热沉的界面热阻，总热阻往往较大，而且成本也是一个不利因素。Al基板的优点很多，总结如下：

(1) 以完全无机的结构组成使得基板可以连续地在高温下工作，减少了因散热不畅而导致的失效问题；

(2) 可以把LED芯片等组件直接组装在铝合金基板上，省掉了额外贴装的热沉或安装在其底部的金属部件，降低了组装的成本；

(3) 铝用于热沉时为增强其散热性能，一般都要加工以获得更多散热面积并对其阳极氧化处理，散热面可以在微弧氧化流程中进行；

(4) 微弧氧化几乎适用于任何复杂形状的铝制品，这为封装的外形设计和后期工艺流程提供了更多的自由度；

(5) 铝有利于光学反射，可以就此依托铝芯制作反射杯。Al基板不仅自身成本低，而且简化了随后的制作工艺从而降低了成本，具有明显的成本优势。

5. 散热片的应用

散热片的种类很多，由制造方式来看，气冷的散热片可分为压印散热片、挤型散热片、铸造散热片、接着散热片、折迭散热片、改良式的铸造散热片、锻造散热片、切削散热片、机械加工散热片等[7-9]。

传统散热片材料为铝，铝的热传导性可达209 W/m □K，加工特性佳，成本低，因此应用非常广。而由于散热片性能要求越来越高，因此对于散热片材料热传导特性的要求也更为殷切，各种高传导性材料的需求也越来越高。铜的热传导率390 W/m □K，比起铝的传导增加70%，而缺点是重量三倍于铝，每磅的价格和铝相同，而更难加工。由于受限于高温的成型限制，无法和铝同样挤成形，而铜的机械加工花更多时间，使加工机具更易损毁。然而，当应用的场合受限于传导特性为重点时，铜通常可作为替代之用，此外利用铜做为散热片的底部可提升热传扩散的效率，降低热阻值。一些增进散热的材料如高导热以碳为基材的化合物，金属粉沫烧结，化合的钻石以及石墨等都是目前受瞩目的热传导材料。

散(导)热垫片也是一种极佳的导热材料，它与散热片的结合，可以改善散热效果。同时又比散热膏(导热硅脂或硅胶)干净。它的导热系数可以达到10W/m•K。散热垫片的导热效果是与整体面积成正比的，如果面积太小的话，起不到应有作用。散热垫片的价格相对贵一些。除此之外散热材料还有导热硅脂和导热硅胶，价格比较便宜，它们的缺点是在加工的时候会涂抹不均匀，而且导热系数相对来说是比较小，市场上的一般都小于5W/m•K，而导热硅脂又不容易固定，容易流动。

6. 结束语

LED的可靠性和LED的结构、装配、工艺、加工质量等有关，在实际工程应用上，还应通过各种试验取得反馈数据来完善设计，进一步提高其可靠性。LED使用散热器是要控制LED的温度，尤其是结温使其低于LED正常工作的安全结温，从而提高LED的可靠性。常规散热器趋向标准化、系列化、通用化，而新产品则向低热阻、多功能、体积小、质量轻、适用于自动化生产与安装等方向发展。通过LED发热原理的

分析和散热计算，可以指导设计散热方式和散热器的选择，保证了LED工作在安全的温度范围内，减少了质量问题；合理地选用、设计散热器，能有效降低 LED 的结温，提高LED的可靠性。所以一个整体的 LED 照明灯解决散热问题主要从上述所介绍的几个方面分析解决，LED 基板散热的改进和散热体的散热效率的提高是 LED 照明灯散热中的主要问题。如果 LED 的散热问题得以解决，LED 照明灯的优势就得以显示出来，也就会很快地取代传统的光源。

参考文献：

[1] Arik M, Petrosk F J, Weavery S. Thermal challenges in the future generation solid state lighting application: light emitting diodes[A]. Proc. of IEEE—ITHERM. conference[C]. 2002, 5: 113—120.

[2] Narendran N, Deng L, Pysar R M, et al. Performance characteristics of high—flux light—emitting diodes[J]. Proc. of SPIE, 2003.

[3] Thermal management of golden dragon LED[N]. Opto Semiconductors, 2002.

[4] S. Lee, "How to select a heat sink ", electronics cooling, 1995.

[5] C. A. Soule, "Future trends in heat sink design", electronics cooling, 2001.

[6] M. Iyengar & A. Bar-Cohen, "Design for Manufacturability of SISE parallel plate Forced convection heat sinks", Inter Society Conference on Thermal Phenomena, 2000.

[7] H. W. Markstein, "Optiumizing heat sink performance ", EP & P, 1995.

[8] Curran JA, Clyn TW. The thermal conductivity of plasma electrolytic oxide coatings on aluminium and magnesium[J]. Surface and Coatings Technology, 2005, (2-3): 177-183.

[9] Curran J A, Clyn T W. Thermo-physical properties of plasma electrolytic oxide coatings on aluminium[J]. Surface and Coatings Technology, 2005, (2-3): 168—176.

Thermal Analysis of the Large Power White LED Lighting

Zhou Zhigang[1] Yang Guanghua[1] Li Yulan[2]

(1. Tianjin polytechnic University, Tianjin 300160;
2. Academy of Military Transportation, Tianjin 300161)

【Abstract】 Nowadays, a new generation of LED lighting is developing rapidly. However, some key issues about the LED lighting should be solved. For example, the thermal management of large power LED is a particular problem. In this paper, the problems and solutions of power LED thermal management from these three aspects which include devices fabrication, thermal substrate and heat sink are analyzed.

【Keywords】 heat radiation; lighting; LED

（上接第 67 页）

The Development of Mobile Application Program Based on JavaFX

Li Weiyong

(Nanjing College of Information Technology, Nanjing 210046, Jiangsu)

【Abstract】 JavaFX provides a productive development environment by the Sun Co. , which aims at the rich internet applications. It combines the best capabilities of the Java platform with comprehensive, immersive media functionality into an intuitive and comprehensive one-stop development environment. It reduces the difficulty of the development and increases the transplantable of the program. This pager introduces the JavaFX structure and the characteristics of the JavaFX Script. The author discusses a photos explorer application and gives the main scheme to carry out the project.

【Keywords】 JavaFX; rich Internet application; JavaFX Mobile; mobile device; stage program

（上接第 88 页）

The Project Scheduling Problem and Optimization

Huang Shaorong

(Guangdong Justice Police Vocational College, Guangzhou 510520, Guangdong)

【Abstract】 This paper studies the project scheduling problem and its optimization algorithms. On the basis of the classification for the project scheduling problems, a summary of all kinds of algorithms for the project scheduling problem is given. Aiming at the shortcomings of the various scheduling model, the equilibrium optimization scheduling and the sustainable development scheduling are suggested.

【Keywords】 project scheduling problem; equilibrium optimization; sustainable development