

· 光电器件与材料 ·

## COB塑料基板和玻璃封装的LED灯具双通道散热分析

黄伟明, 文尚胜, 陈颖聪

(华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室, 广东 广州 510640)

**摘要:**提出了一种新的LED灯具封装方式,使用高热玻璃壳和惰性气体替代传统的环氧树脂进行封装,使用塑料散热器代替传统铝基板,以达到双通道散热的效果。采用ANSYS有限元热分析软件,优化惰性气体层厚度,并通过改变LED个数和单灯功率与传统的陶瓷基板COB封装方式进行热仿真对比分析。研究表明,惰性气体层厚度为1.5 mm时散热效果较好,双通道散热灯具的热阻远小于单通道散热灯具热阻。由于玻璃与传统的环氧树脂相比,透光性高、不易老化、抗紫外线效果好,在大功率、密集型封装和紫外LED灯具大发展的市场环境下,这种新的封装方式应用前景广阔。

**关键词:**LED灯具;塑料散热器;玻璃封装;双通道;有限元分析

中图分类号:TN312\*.8;TN383\*.1

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-04-0024-06

## Dual Channel Heat-dissipation Analysis of LED Luminaire with COB Plastic Substrate and Glass Encapsulation

HUANG Wei-ming, WEN Shang-sheng, CHEN Ying-cong

(State Key Laboratory of Luminescent Materials and Devices, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** A new encapsulating mode for LED luminaire is introduced. Dual channel heat-dissipation effect is obtained by using high thermal conductive glass shell and inert gas to encapsulate instead of traditional epoxy resin and using plastic heating-radiator instead of traditional aluminum substrate. The thickness of inert gas layer is optimized with ANSYS finite element thermal analysis software. Thermal simulation results are compared and analyzed through changing the number of LED, the power of a single LED and traditional ceramic substrate chip on board (COB) encapsulation mode. Research results show that heat-dissipation effect is better when the thickness of inert gas layer is 1.5 mm and the thermal resistance of dual channel heat-dissipation luminaire is far less than that of single channel. Comparing with traditional epoxy resin, plastic has the characteristics of high transmissivity, anti-aging and good anti-ultraviolet effect. The new encapsulation mode has widely application prospect in the market environment of widely development of UV LED luminaire with high power and intensive encapsulation.

**Key words:** LED luminaire; plastic heating-radiator; glass encapsulation; dual channel; finite element analysis

LED凭借其绿色环保、体积小、寿命长等优点,得到人们广泛的推广与应用<sup>[1-4]</sup>。而限于目前的半导体制造技术,量产的LED光电转换效率虽然超过了20%,但另外近80%的能量将转换为无法利用的热能。如果LED工作时产生大量的热量不能及时散

去,将会导致结温过高,使LED出现寿命变短、光衰加剧、波长漂移等问题<sup>[5-6]</sup>。因此,散热技术是保障LED灯具寿命及稳定性的关键技术,寻找更好的散热方式成为当今的研究重点。

为了不断地提高LED灯具的散热能力,研究人

收稿日期:2014-05-20

基金项目:广东省重大科技专项(2011A080801016);广东省战略新兴产业项目(2011A081301017;2012A080304012;2012A080304001)

作者简介:黄伟明(1990-),男,硕士,主要研究方向为半导体器件物理。

员提出了不同的封装方式。采用陶瓷材料作为基板的COB封装方式,不仅拥有COB封装简单的生产工序、低成本、低热阻的优势,而且采用陶瓷基板代替金属基板,能去除LED芯片与基板间的绝缘层,大大地降低了总热阻。而随着高导热塑料的出现,由于其高的导热系数、绝缘特性、设计自由度高等特点,认为采用高导热塑料材料作为基板是更优的选择。

传统的LED为了维护本身的气密性,排除外界湿度的影响,需使用环氧树脂对其进行密封处理。但环氧树脂的热膨胀系数较高,灌胶后与芯片接触紧密,在较高温度下产生的内应力容易损伤芯片。而且目前LED封装用的主要是双酚A型透明环氧树脂,在可见光区拥有高透明性,但耐紫外线老化的能力较弱,长时间在紫外环境下将发生变黄现象,严重影响透光率<sup>[7]</sup>。更重要的是,环氧树脂的导热系数相对较低,一般只有 $0.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,芯片通过环氧树脂散发出的热量与通过散热片散发出的热量相比,可以忽略不计。但是LED芯片是整体发热的,最理想的散热设计也应该是 $360^\circ$ 全方位散热。因此,用薄玻璃壳替换环氧树脂对LED进行封装,玻璃的导热系数约为 $1.1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,玻璃壳与芯片之间填充的惰性气体在LED正常工作温度下的导热系数高达 $1.75 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ,完全满足LED芯片从顶部散热的需求,极大提高了LED的散热能力,为大功率、密集型LED封装提供了一条崭新的思路。

## 1 LED热分析

### 1.1 理论分析

图1所示为铝基板封装的LED灯具各部位散热比例。可以看出,对于传统的封装方式,铝基板占LED散热的比例最大,对LED的散热性能影响最大,而铝基板上的热量则需要通过散热器最终散发到空气中。其中散热器和基板之间存在着粘贴层,粘贴层严重地影响了铝基板到散热器之间的热量传递。由于铝基板占散热比例最大,所以尽量减少铝基板到空气中的散热热阻,将会对灯具的散热效果有一个极大的提升<sup>[10]</sup>。因此,采用高导热塑料制成塑料散热器,让LED芯片直接贴装在塑料散热器上,实现无基板COB封装,缩短了散热通道,大大提高灯具的散热性能<sup>[11]</sup>。

另外,从图1可以看出,通过透镜散发出的热量约为5%<sup>[8-9]</sup>。也就是说,从芯片向上到空气环境这段短短的距离散发的热量只占二十分之一,而大量的热量是通过芯片下部复杂的器件结构散发出去的。对于传统的散热方式来说,如果能够提高LED向上散热的能力,那么对于LED散热设计来说将是一个质的飞跃。因此,在塑料散热器无基板COB封装的基础上,提出运用玻璃材料和惰性气体对LED进行封装,替换传统低导热系数的环氧树脂(导热系数一般为 $0.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ )。

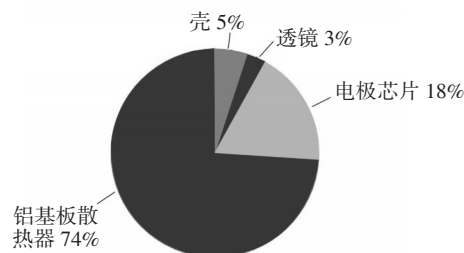


图1 铝基板封装的LED灯具各部位散热比例

为了研究上通道散热的可行性,在下通道不变的情况下,对于COB玻璃封装的LED灯具,热量由LED芯片沿着以下两个简化的散热通道传导。一是传统的散热路径<sup>[12]</sup>,即通过LED芯片-固晶胶-陶瓷散热器-粘贴层-散热器-空气/环境。第二个散热通道则是通过LED芯片-惰性气体-玻璃保护壳-空气/环境。简化双散热通道模型如图2所示。其中节点 $T_j$ 表示LED芯片的结温; $T_s$ 表示塑料散热器顶部的温度; $T_a$ 表示空气/环境的温度;等效热阻 $R_s$ 表示玻璃保护壳、惰性气体的热阻; $R_j$ 表示LED芯片、衬底及粘贴材料的组合热阻; $R_r$ 表示塑料散热器的热阻。

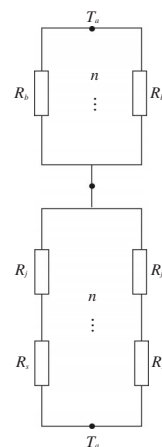


图2 等效热阻模型

根据上述双通道等效热阻模型,LED芯片到环境的总热阻可表示为

$$R_t = \frac{1}{\frac{n}{R_b} + \frac{n}{R_j + R_s}} = \frac{R_b(R_j + R_s)}{n(R_j + R_s + R_b)} \quad (1)$$

总热阻 $R_t$ 反应了COB玻璃封装的LED灯具的散热能力。从式(1)中可见,通过使用玻璃替代传统的环氧树脂进行封装,使得热阻 $R_b$ 变小,从而使总热阻 $R_t$ 变小,能将热量更快地传导到外界环境中,得到一个更好的散热效果。

表1 各层的特征

元件	芯片	固晶胶	陶瓷基板	粘贴层	铝散热器	塑料散热器
尺寸/mm	1×1×0.25	1×1×0.10	Φ20×20	Φ20×0.50	Φ50×20	Φ50×20
导热系数/ W/(m·K)	130	41	20	6	237	20

下面采用三种结构进行对比分析,分别是:

(1)传统单通道散热结构:环氧树脂封装,使用传统陶瓷和铝热沉散热。

(2)传统双通道散热结构:采用玻璃密闭惰性气体封装,使用传统陶瓷基板和铝热沉散热。

(3)基于塑料外壳的双通道散热结构:采用玻璃密封惰性气体封装,去除陶瓷基板和粘贴层,使用塑料散热器替代铝热沉进行散热。

COB封装是多灯封装,先模拟在单灯情况下,惰性气体层厚度和散热能力之间的关系,优选出最佳的惰性气体层厚度,为多灯的情况下各种封装方式的对比奠定基础。在进行三种结构的对比分析时,先对比第一和第二种结构,以证明用玻璃封装的双通道散热是切实有效的,再采用第二种和第三种结构进行对比,证明塑料散热器能够与传统的陶瓷散热器相媲美,最终论证基于塑料散热器和玻璃COB封装的LED灯具散热优势明显。

## 2 结果与讨论

### 2.1 优化惰性气体层厚度

首先设定LED工作电压为3V,工作电流为350mA,则输入功率为1.05W,其中80%转换为热能,则发热功率约为 $8.4 \times 10^{-1}$ W,假设芯片整体发热,则芯片的发热体积为 $2.5 \times 10^{-10}$ m<sup>3</sup>,所以施加在芯片上的热生产率载荷 $H=P/V=3.36 \times 10^9$ W/m<sup>3</sup>。由于目前薄玻璃壳的厚度可以精确做到0.1mm,为了保

### 1.2 仿真模拟

分析时不考虑涂覆在芯片表面的荧光粉,并假设LED芯片是均匀热源,整体发热,环境温度为20℃。由于散热主要依靠热传导和热对流,与外界热对流系数设为10W/(m<sup>2</sup>·K),器件的外表面与周围空气进行对流换热,其对流换热系数 $h$ 为常数,不考虑热辐射<sup>[13-14]</sup>。薄玻璃壳导热系数为1.1W/(m·K),惰性气体导热系数为1.75W/(m·K)。不同尺寸、不同材料导热系数对比如表1所示。

证其机械强度,设定薄玻璃壳厚度为0.5mm。在传统的LED封装中,环氧树脂的厚度可以达到3mm左右,故对惰性气体层厚度从0(芯片紧贴薄玻璃壳)开始至3mm进行模拟。

如图3所示,随着惰性气体层厚度的不断升高,双通道散热方式的优势逐渐显示出来。传统的封装方式是将芯片直接封装在环氧树脂上,如果使用玻璃封装时也将芯片直接封装在玻璃上(即惰性气体层厚度为0时),那么灯具的热阻是最高的,达到了41.5K/W,与单通道散热灯具的热阻基本没有差别。随着惰性气体层厚度的不断加大,从0~1.5mm的区间内,灯具的热阻减小的趋势明显。而从1.5~3mm之间热阻变化不大。

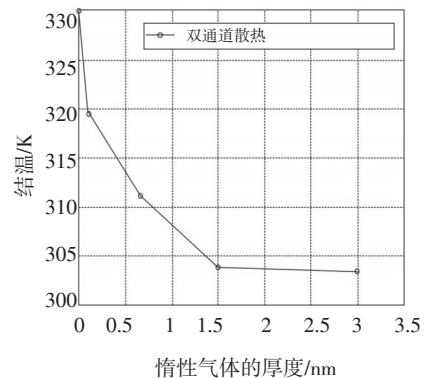


图3 不同惰性气体层厚度的结温大小

根据傅里叶定律,如下式所示

$$dQ = -\lambda \cdot ds \frac{\partial t}{\partial n} \quad (2)$$

它指出通过等温面的导热速率与温度梯度及传热面积成正比。这是一个基本的热学规律,适用于任何导热情况。增加惰性气体层厚度相当于增加了惰性气体层与薄玻璃壳接触的传热面积。由于惰性气体的导热系数优于薄玻璃壳,所以根据傅里叶热学定律,增加惰性气体层厚度将会使得整个上通道的散热效率提高。但传热面积并不是决定导热速率的唯一因素,随着惰性气体层厚度的增大,同一个等温面的温差将会变小,温度梯度的降低逐渐抵消传热面积增大所起到的散热效果。根据模拟结果及实际生产条件,1.5 mm厚度的惰性气体层是合适的。

## 2.2 对比结构一和结构二的LED灯具热性能

由于COB封装方式为多灯封装,在下通道散热不变即传统陶瓷封装方式的基础上,模拟了从单灯到9颗LED的散热效果,为保证热量分布的均匀性,不讨论3颗及7颗LED封装时的散热情况。

图4是LED芯片个数不同时结温的大小。从图4中可以看到,随着LED封装个数的增加,结温不断地升高,大致沿着一条直线分布。无论封装多少颗LED,单通道散热灯具模型的结温始终高于双通道散热灯具模型。当封装9颗LED时,单通道散热灯具模型的结温达到了74.753℃,而双通道散热灯具结温仅为62.368℃,还有很大空间进行密集型、大功率的封装。

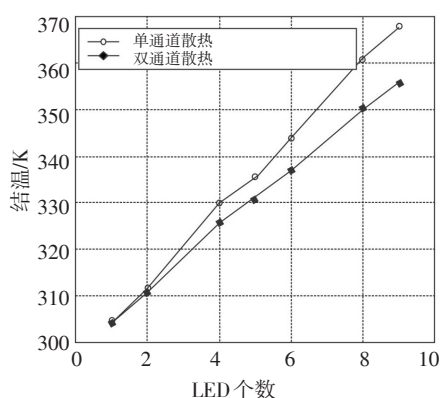


图4 LED芯片个数不同时结温的大小

为了对比研究两种封装方式的热阻大小,选取9颗LED芯片COB封装模型,在功率分别为0.1 W、0.5 W、1 W、1.08 W和3 W的条件下进行模拟,结果如图5所示。

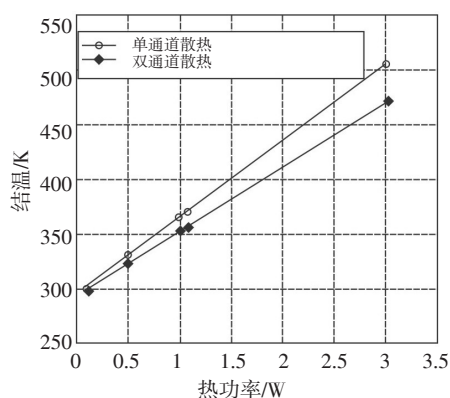


图5 LED芯片功率不同时结温的大小

可以很明显地看到,图5以功率为横轴、结温为纵轴,斜率即是灯具的热阻。两条斜率不同的直线说明灯具的热阻与LED的功率无关,不会随着LED功率的增加而增大,这符合热学的基本规律。同时,双通道散热灯具的热阻为59.918 K/W,大大低于单通道散热时的热阻,约为71.193 K/W,这说明双通道散热灯具的散热效果远好于单通道散热。同时,对比图4显示的不完美的直线,可以认为,LED封装的位置也会影响灯具的热阻,在相同功率下,采用何种排列方式能使灯具总热阻最小,是值得考虑的问题。

## 2.3 对比结构二和结构三的LED灯具热性能

通过以上模拟论述可以看出,双通道散热对于COB封装方式散热效果的贡献是明显的。下面结合上通道散热的优点,对下通道(即LED芯片-固晶胶-陶瓷散热器-粘贴层-散热器-空气/环境)进行优化。

忽略翅片散热带来的效果,简化模型。对于单层散热材料来说,根据单层平壁的热传导规律,设单层平壁内外表面温度为 $t_1$ 、 $t_2$ ,壁厚为 $b$ ,面积为 $S$ 。则可以写出傅里叶定律微分方程形式,如式(3)所示

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{Q}{\lambda S} \text{const} \quad (3)$$

设边界条件 $x=0, t=t_1, x=b, t=t_2$ ,积分后即得到式(4)。

$$Q = \frac{\lambda}{b} \cdot S \cdot (t_1 - t_2) \quad (4)$$

推而广之,在稳态导热的条件下,通过各层的导热速率必定是相等的,以三层平壁为例,即 $Q_1 = Q_2 = Q_3$ ,则可以得到傅里叶多层平壁传热规律,如式(5)所示



$$Q = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3}{\frac{b_1}{\lambda_1 S} + \frac{b_2}{\lambda_2 S} + \frac{b_3}{\lambda_3 S}} = \frac{t_1 - t_4}{R_1 + R_2 + R_3} \quad (5)$$

根据傅里叶多层平壁传热规律,在传导热量和环境温度相等的情况下,要降低热阻,可以从增大传热面积、增大导热系数和减少传热距离(壁厚)考虑。由于LED封装趋于精细,增大传热面积不是市场发展的趋势。导热系数与散热材料密切相关,高导热材料的导电性往往较好,不适合作为散热部件。所以把重点放在减少传热距离上。减少传热距离的最好方法即是减少下通道的传热结构。将LED芯片直接固晶在塑料散热器上,去掉了陶瓷基板层和粘贴层,即使塑料散热器的导热系数远不如铝基板好,但同样能达到较为理想的散热效果,基本结构如图6所示。

根据基本结构建立 ANSYS 散热模型,模拟结果

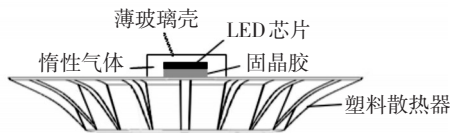


图6 基于塑料基板双通道散热 COB 封装结构

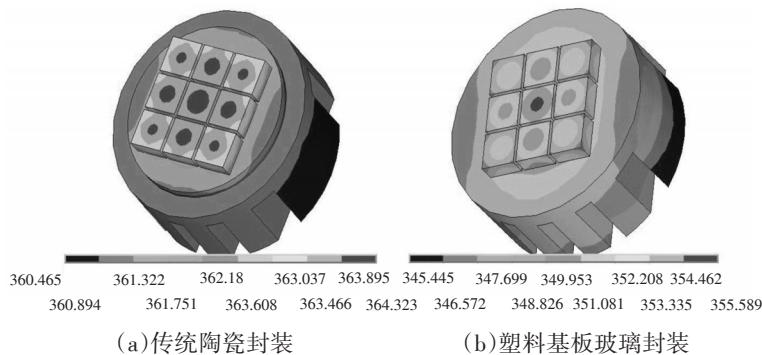


图7 器件功率为9 W时的温度场分布

### 3 结论

通过理论分析和仿真模拟,将使用薄玻璃壳封装的双通道散热灯具与传统的单通道散热灯具进行比较,并使用塑料散热器替代典型的COB封装方式中的陶瓷基板和铝基板。结果表明,使用COB玻璃封装的双通道散热LED灯具散热效果明显优于单通道散热灯具。通过模拟仿真以及傅里叶导热公式分析得出,惰性气体层为1.5 mm时散热效果良好,且适合于工业生产。以此为基础,根据傅里叶多层平壁公式推导和ANSYS热分析证明了基于导热系数为20 W/(m·K)的塑料散热器双通道散热的封装

如图7所示。采用传统陶瓷封装的灯具热阻为7.91 K/W,最高温度为364.323 °C,而采用塑料基板双通道散热道封装的灯具热阻为6.94 K/W,最高温度为355.589 °C。这说明基于塑料基板玻璃封装双通道的散热封装能够有效降低灯具热阻,从而提高其散热能力。这个模拟结果与傅里叶导热公式推导的结论是一致的。同时,从图中也可以看到,由于去掉了陶瓷基板和铝基板之间导热系数不高的粘贴层,使得整个塑料散热器上热量分布的更加均衡,更加分散,不会堆集在整个封装的上部。对于各个LED芯片来说,只有最中央的芯片达到了最高温度,这是传统陶瓷封装方式所不能比拟的。

同时,根据实践经验,当散热材料的厚度小于5 mm的时候,限制散热效果的主要因素已经由材料的导热系数大小变为自然对流系数的大小。所以虽然铝散热器的导热系数为237 W/(m·K),塑料散热器的导热系数为20 W/(m·K),但对结温的影响也相差不大。采用塑料散热器的封装方式比陶瓷基板COB封装方式有着更简单的结构和成本更低的生产加工工艺等优点,表现出绝对的优势。

方式,其散热能力媲美陶瓷基板的COB封装,而且更优于传统的金属基板的COB封装。塑料材料具有容易加工及价格便宜等优势,为解决LED灯具散热问题提供了一条新的途径。

### 参考文献

- [1] Voigtlander B. Fundamental processes in Si/Si and Ge/Si epitaxy studied by scanning tunneling microscopy during growth[J]. Surface Science Reports, 2001, 43(5-8): 127-254.
- [2] ZHANG Da-wei, LI Bai-cheng, Huang, et al. A multi-layer

- er phosphor package of white-light-emitting diodes with high efficiency [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2010, 121(24):2224-2226.
- [3] Hitzel F, Hangleiter A. The reason for the high emission efficiency of GaInN/GaN based LEDs[J]. *Phys Lett B*, 2008, 22:3261-3266.
- [4] Lee T H, Dickson R M. Single-Molecule LEDs from Nanoscale Electroluminescent Junctions[J]. *J Phy Chem B*, 2003, 107:7387-7390.
- [5] Jin X, Zhang B, Dai T, et al. Optimization of top polymer gratings to improve GaN LEDs light transmission[J]. *Chin Opt Lett*, 2008, 10:788-790.
- [6] Nogueira E, Vazquez M, Mateos J. Accelerated life test of high luminosity AlGaInP LEDs[J]. *Technical Physics Letters*. 2012, 52(9):1853-1858.
- [7] 牛萍娟,李艳玲,刘宏伟,等.热超声倒装焊在制作大功率 GaN 基 LED 中的应用[J]. *激光与光电子学进展*, 2007, 9:43-46.
- [8] Sim J K, Ashok K, Ra Y H. Characteristics enhancement of white LED lamp using low temperature co-fired ceramic chip on board package current [J]. *App. Phys*, 2012, 12 (2):494-498.
- [9] 邝海,刘军林,程海英,等.转移基板材质对 Si 衬底 GaN 基 LED 芯片性能的影响[J]. *光学学报*, 2008, 28 (1): 143-145
- [10] Liang T, Guo X, Guan B L, et al. A flip-chip AlGaInP LED with GaN/Sapphire transparent substrate fabricated by direct wafer bonding [J]. *Chin Phy. Lett*, 2007, 24 (4): 1110-1113.
- [11] Fan Y Y, He B, Zhou J, et al. Efficient heat transfer in high-power fiber lasers [J]. *Opt. Lett*, 2012, 10 (11): 111401-11401.
- [12] Shen C, Feng H, Xu Z, et al. GaInN light-emitting diodes with omni-directional reflector using nanoporous SnO<sub>2</sub> film [J]. *Chin Opt. Lett*, 2008, 6(2):152-153.
- [13] Wierer J J, Steigerwald D A, Krames M R. High-power Al-GaN flip-chip light-emitting diodes [J]. *Phys. Lett*, 2001, 78(22):3379-3381.
- [14] 张建平,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, 2:294-300.

~~~~~

(上接第4页)

- ical optical surface [M]. Beijing: Science Press, 1994: 157-160.
- [9] John W Figoski. Development of a three-mirror, wide-field sensor, from paper design to hardware [J]. *SPIE*, 1989, 1113:126-133.
- [10] Joseph M Hqward, Bryan D Stone. Imaging with three spherical mirrors [J]. *Applied Optics*, 2000, 39 (19) : 3216-3231.

~~~~~

(上接第9页)

- 光镜设计与分析[J]. *灯与照明*, 2010, 3: 18-21.
- [9] 李郑阳,冯仕猛.基于 Tracepro 软件的 LCD TV 直下式背光源均匀性仿真[J]. *液晶与显示*, 2009, 04: 86-90.
- [10] 安宇鹏,王一丁,李黎,等.采用 Tracepro 进行中红外气体检测系统的光路结构设计[J]. *激光与红外*, 2009, 11: 72-76.

~~~~~

(上接第12页)

- [2] 王志坚.光学工程基础[J]. *长春理工大学*, 98-101, 136-139
- [3] 王之江.实用光学技术手册[M]. 北京:机械工业出版社, 150-151.
- [4] 郁道银.工程光学[M]. 北京:机械工业出版社, 142-147.
- [5] 王志坚.光学工程原理[M]. 北京:国防工业出版社, 197-198.
- [6] 白瑜.一种改进型的红外三反射镜探测成像系统[J]. *光电技术应用*, 2013, 28(6): 31-34.
- [7] 袁莉.大口径平像场激光扩束器光学系统的研制[J]. *激光与红外*, 2007(3): 672-675.
- [8] 辛维娟.多波长激光扩束器的光学设计[J]. *光学仪器*, 2007(3): 31-34.
- [9] 胡明勇.1.064 μm 测风激光雷达扩束系统的设计[J]. *量子电子学报*, 2006(3): 467-470.
- [10] 樊丽娜.激光扩束望远镜的光学设计[J]. *红外*, 2007 (4): 20-22.