

可控温大功率LED光强空间分布测试系统的设计

陈国龙 姚琦 朱丽虹 林思棋 郭自泉 吕毅军 陈忠

厦门大学电子科学系 福建省半导体照明工程技术研究中心, 福建 厦门 361005

摘要 发光二极管(LED)的光强空间分布特性决定了它能否满足特定场合的应用。大功率LED由于发热量大,其绝对光强空间分布(LISD)的测试也必须在特定热沉温度下进行才能得到准确可靠的结果。设计了一个可对大功率LED进行热沉温度控制且快速实现LISD自动测试的系统。该自动测试系统基于LEDGON-100测角光度计及其高精度的二维旋转台,配合测试适配器、温度控制器、光度探头、Keithley 2400源表和测试软件组成。测试软件基于Delphi程序语言开发。在控温条件下,该LISD自动测试系统稳定可靠,测试时间大大缩短,测试结果实时直观。利用该自动测试系统对具有朗伯型和蝙蝠翼型两大LISD类型的LED进行测试,获得它们的二维LISD和三维LISD。实验结果表明:随着热沉温度的增加,光强绝对值下降,而相对LISD却不变。

关键词 测量;光强空间分布;热沉温度;发光二极管

中图分类号 TN383 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.031202

Design of a Temperature-Controlled Test System for Luminous Intensity Spatial Distribution Characteristics of High Power LED

Chen Guolong Yao Qi Zhu Lihong Lin Siqi Guo Ziquan Lü Yijun Chen Zhong

Fujian Engineering Research Center for Solid-State Lighting, Department of Electronic Science, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005, China

Abstract Characteristics of the luminous intensity spatial distribution (LISD) of light emitting diodes (LEDs) are capable of determining whether these devices can be applied on specific occasions. The absolute LISD of high power LED can be accurately measured only when LED is fixed at a specific heat-sink temperature because of the LED's large heat-generating capacity. In this study, an automatic test system based on LEDGON-100 goniophotometer and the meter's high-precision two-dimensional (2D) revolving platform, is designed. In addition, it comprises of a test adapter, a temperature controller, a photometer head, a Keithley 2400 source meter, and an in-house-developed software package. This assembly can both control heat-sink temperatures and measure the LISD characteristics rapidly for high-power LEDs. The software is developed using Delphi programming language. The test system is stable and reliable. The test time is greatly reduced and measurements are instantly displayed. Two general types of LEDs, Lambertian type and batwing type, are measured by the system to obtain their 2D and three-dimensional (3D) LISDs. Experimental results show that the absolute luminous intensity decreases as the heat-sink temperature increases. However, the relative LISDs are the same under different heat-sink temperatures.

Key words measurement; luminous intensity spatial distribution; heat-sink temperature; light emitting diode

OCIS codes 120.5240; 080.4298; 350.4800; 230.3670

1 引言

发光二极管(LED)是一种应用十分广泛的电致发光器件,以其亮度高、功耗低、寿命长、可靠性高、环保等优势逐渐替代传统光源,成为最佳的发光源之一^[1-3]。随着大功率LED在日常照明中的应用,如何提高它的发光效率,如何实现均匀照明,以及如何尽量将光线集中到有用的区域,使其满足一定的光强分布成为理

收稿日期: 2013-10-27; 收到修改稿日期: 2013-11-22; 网络出版日期: 2014-02-20

基金项目: 国家自然科学基金(11104230)、福建省重大科技项目(2011H6025,2012H0039)

作者简介: 陈国龙(1969—),男,硕士,实验师,主要从事半导体照明器件性能检测及检测技术方面的研究。

E-mail: glchen@xmu.edu.cn

想光源设计中备受关注的问题^[4-7]。同时LED光输出特性是温度的函数,大功率LED由于发热大,在不同的热沉温度下,LED的亮度、光通量、光效、色度等光输出特性会发生变化^[8],绝对光强空间分布(LISD)特性也会发生变化。要解决这些问题就必须对LED的光强分布做一定的分析研究,绝对光强分布测试也必须是在某个确定的热沉温度下进行,其结果才准确可靠^[9]。然而目前LISD测试仪主要针对小功率LED,由于空间限制,配备有热沉温度控制进行大功率LED的LISD测试的仪器目前还没有,这就给设计、分析和测试大功率LED的LISD造成极大的不便。为保证LED测试时光输出的稳定性,除了要求测试环境温度恒定外,LED还要采用恒流源驱动^[10]。另外对于LED来说,配光曲线和LISD也存在区别,配光曲线只是LISD图在一个剖面上的轮廓曲线,从效果上看,多个等分割面的配光曲线不如一张三维(3D)LISD立体图直观。特别是目前LED光源种类繁多,发光特性各不相同,其中包括各种非对称的LED光源,例如长方形或椭圆形封装结构的LED。LED光源的三维LISD立体图显然比几十张配光曲线更加正确和直观,所以得到正确反映LED光源的三维LISD立体图尤为重要^[11]。

LEDGON-100测角光度计是德国Instrument Systems (IS)公司为测量LED空间辐射分布和辐射功率或光通量而设计的高精度测角光度计,系统配备有步进马达控制的测角二维(2D)旋转台,这使得LED被测量时能高精度地围绕它的机械轴旋转(Φ 角或方位角)和绕其顶端回转(θ 角或极角),其中 Φ 角范围为 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$, θ 角范围为 $-100^{\circ}\sim +100^{\circ}$,精度达到 0.1° ^[12]。但LEDGON-100与IS公司的光谱仪配合测试绝对LISD时要进行光谱测试,若要获得三维LISD立体图数据相当耗时,且没有LED样品热沉温度控制功能。针对以上情况,基于快速而精确的测试理念,本文设计了一个基于LEDGON-100测角光度计及其高精度的二维旋转台结构,配合测试适配器、温度控制器、光度探头、Keithley 2400源表和测试软件,可对大功率LED进行热沉温度控制且快速实现LISD自动测试的系统。该测试系统同时具有稳定可靠和测试结果实时直观等优点。

2 硬 件

2.1 测试系统框图

大功率LED的LISD测试系统框图如图1所示。系统由LEDGON-100二维旋转台、测试适配器、温度控制器、光度探头、Keithley 2400源表和测试软件组成。温度控制器能够对测试适配器上的LED样品进行热沉控温,二维旋转台的步进马达实现LED样品的精确定位。LED发出的光通过光度探头转化为电流信号,高精度的Keithley 2400源表采集电流信号。样品定位和数据处理均由所设计的应用软件自动实现。LEDGON-100二维旋转台 θ 角和 Φ 角定义如图2所示。

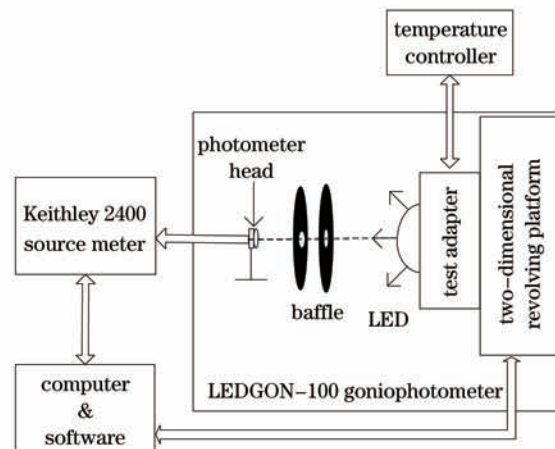
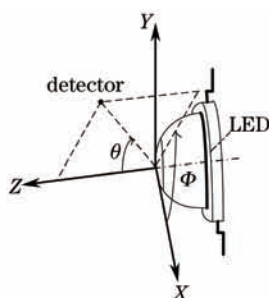


图1 大功率LED的LISD测试系统框图

Fig.1 System diagram of measuring device for LISD characteristics of high power LED

2.2 温度控制器和测试适配器

温度控制器由DN1220控制芯片、温度调节电路、温度显示模块、温度传感器和热电制冷器(TEC)等单元组成,温度控制器原理框图如图3所示。DN1220是一个针对TEC的微型双极性温度控制器,采用负温度系数(NTC)热敏电阻作为温度传感器。采用DN1220的线性比例积分(PI)控制回路实现温度稳定。温度调

图2 Φ 角和 θ 角的定义Fig.2 Definition of the Φ and θ solid angles

节电路基于TLC2262运算放大器,将设定点的电压与温度传感器产生的表示目标物体温度的电压通过运算放大器进行比较,产生一个偏差电压,偏差电压通过差分放大及PI补偿网络后输出到驱动电路实现对温度的回路控制。温度传感器选用10K($1\pm 1\%$)、B值(热敏电阻的材料常数)为3435的负温度系数热敏电阻。温度显示采用液晶显示模块。TEC选择必须考虑温度控制的实际要求和DN1220控制芯片的驱动能力,这里型号选用昆晶冷片公司生产的TEC1-071043030。

测试适配器主要由大功率LED夹具、TEC、温度传感器和散热部件等组成。由于测角光度计空间有限,测试适配器设计尺寸不能太大,而且必须考虑到LED的机械轴应垂直对准探测器的中心及二维旋转台的结构特点。测试适配器配合二维旋转台,在所设计的软件控制LEDGON-100二维旋转台的步进马达下,能够实现LED样品的二维精确定位。所设计的测试适配器和温度控制器实物图如图4所示。

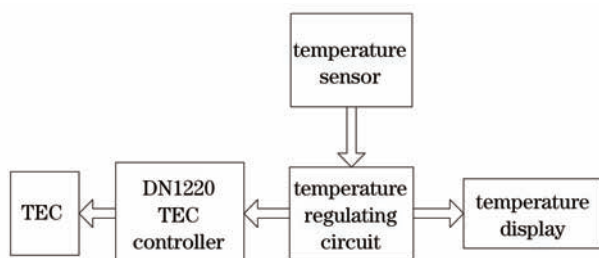


图3 温度控制器原理框图

Fig.3 Temperature controller block diagram

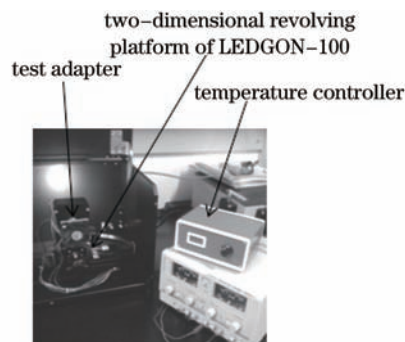


图4 测试适配器和温度控制器实物图

Fig.4 Picture of test adapter and temperature controller

2.3 光度探头

待测LED在一定电流下发射出的光经线性光电探测器接受,形成与LED光强成正比的光电流信号。光电流与光强对应关系需要通过光度定标来实现,所以光度探头测试前需先使用已知光强标准灯进行光强校准。这样通过测试光电流就可得到LED的LISD。光电探测器在没有光照的情况下由于噪声或者环境因素的影响而产生的光电流即为暗电流。暗电流的存在使测量产生误差,所以要进行零点定标,将暗电流消除。实验中采用杭州远方公司生产的V10001光度探头,该光度探头经余弦校正和平均人眼明视觉视见函数 $V(\lambda)$ 匹配。

3 软件

测试软件设计流程图如图5所示。测试软件程序采用Delphi语言,基于Keithley 2400的GPIB接口和LEDGON-100的RS232接口进行编程^[13]。测量开始时首先对上述两台仪器进行初始化,然后进行暗电流的测量,接下去可以分别设置角 θ 和角 Φ 的初始值和它们的旋转间隔 $\Delta\theta$ 和 $\Delta\Phi$ 进行测试,也可以输入 θ 值和 Φ 值使二维旋转台转动到指定的位置。测试完后,测试结果会以表格、二维和三维形式显示,实时直观。

4 实验及结果处理

目前LED的LISD主要有朗伯型和蝙蝠翼型两种类型^[14]。实验选用具有上述空间分布的1W大功率白光LED各1只,LED驱动电流都为350mA。实验是在CIE127:2007条件A下进行的。

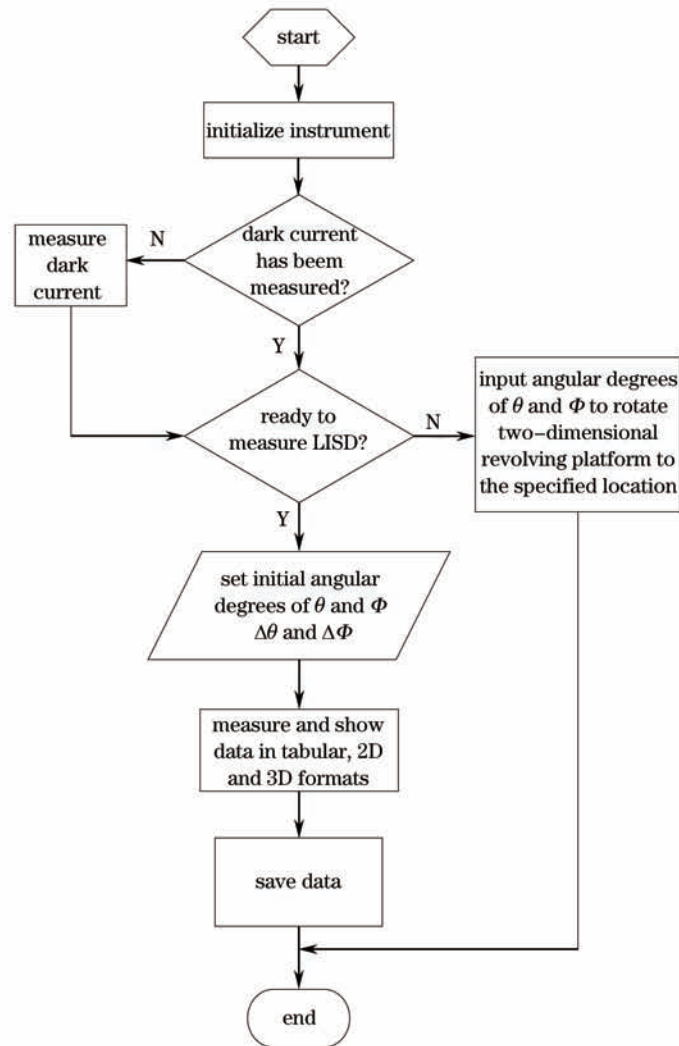
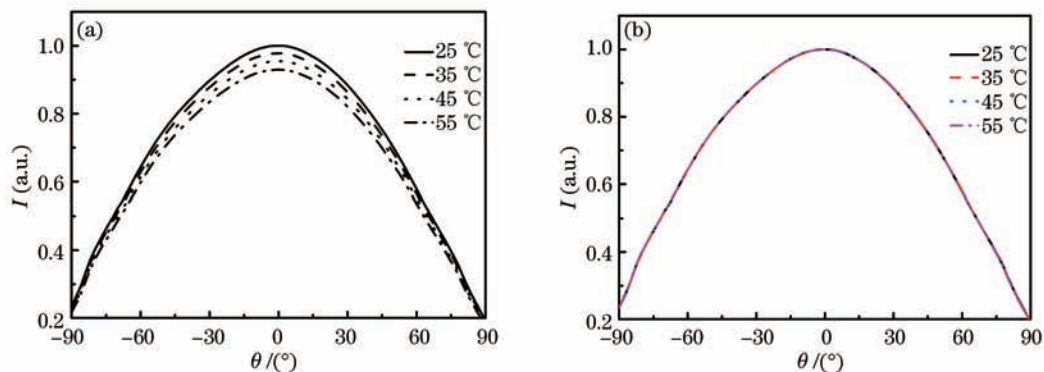


图5 软件设计流程图

Fig.5 Flow chart of software

实验先进行不同热沉温度下 θ 角方向的 LED 的 LISD 测试, 样品采用仿流明形式封装 LED (朗伯型)。在 $\Delta\theta$ 设为 2° , 热沉温度分别设为 25°C 、 35°C 、 45°C 和 55°C 的条件下进行测试。LED 在不同热沉温度下 θ 角方向的二维 (直角坐标) LISD 结果如图 6 所示。图 6(a) 中纵坐标 I 是以 25°C 下光强最大值求得的归一化相对光强, 图 6(b) 中纵坐标 I 是以不同热沉温度下的光强最大值各自求得的归一化相对光强。由图 6(a) 可知, LED 在 θ 角方向的二维光强随着热沉温度的增加而明显减小, 这是由于大功率 LED 的发热量大, 随着结温升高, 器件的量子效率降低, 辐射复合降低, 非辐射复合升高, 同时结温升高使 LED 芯片的峰值波长红移, 造

图6 不同热沉温度下 θ 角方向的 LISD 曲线Fig.6 LISD curves in θ angular direction under different heat-sink temperatures

成了芯片的发射波长和荧光粉的激发波长不匹配,这些因素直接导致器件的光输出的下降^[15-16]。另外,一般光强空间分布测试结果都需要同时进行多条配光曲线的测试,耗时较多,热影响更为显著。可见对于大功率LED光强空间分布的测试,温度控制是不可忽略的测试条件。从图6(b)可知,不同热沉温度下的各自相对LISD不变。该测试系统直接采用光度探头,输出的信号为电信号,测试过程中不需要进行光谱测试即可得到光源的光强空间分布,测试时间大大缩短。

为了便于观察不同 Φ 角下LED的LISD,实验样品采用花生壳状LED(蝙蝠翼型), $\Delta\Phi$ 设为 45° , $\Delta\theta$ 设为 2° ,热沉温度 25°C 。LED在热沉温度相同、不同 Φ 角下 θ 角方向的二维相对LISD如图7所示。

为了验证测试结果的准确性,采用文中介绍的测试系统和德国IS公司原配的光强分布测试系统分别对朗伯型样品进行测试,得到几乎相同的二维(直角坐标)光强空间分布曲线。测试结果如图8所示。曲线1是采用文中介绍的测试系统所测试的二维光强空间分布曲线,曲线2是采用IS公司原配的光强分布测试系统记录绘制的二维光强空间分布曲线,图中纵坐标为归一化的相对光强。

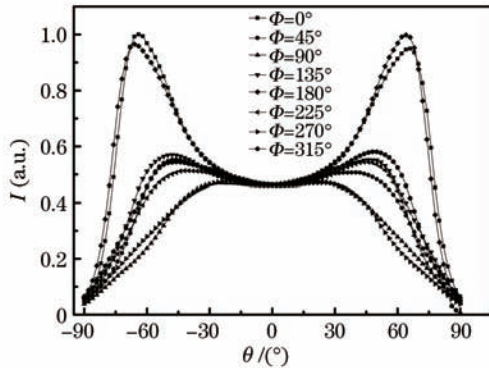


图7 热沉温度相同、不同 Φ 角下 θ 角方向的LISD曲线

Fig.7 LISD curves in θ angular direction under different angles Φ with the same heat-sink temperature

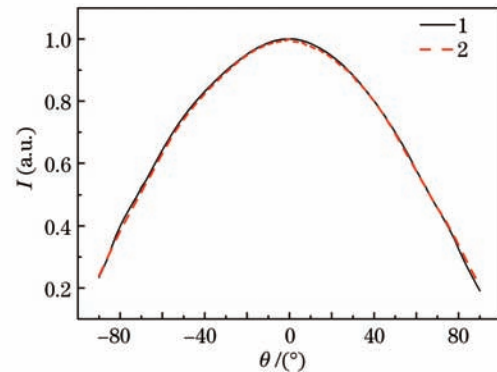


图8 二维(直角坐标)光强空间分布曲线对比

Fig.8 Two-dimensional LISD curves for comparative measurement

利用该测试系统对以上两个样品在热沉温度 25°C 下分别获得不同 F 角度下($\Delta\Phi = 10^\circ$)的二维LISD,就可获得它们的三维LISD立体图,结果分别如图9和图10所示,测试结果直观可靠。

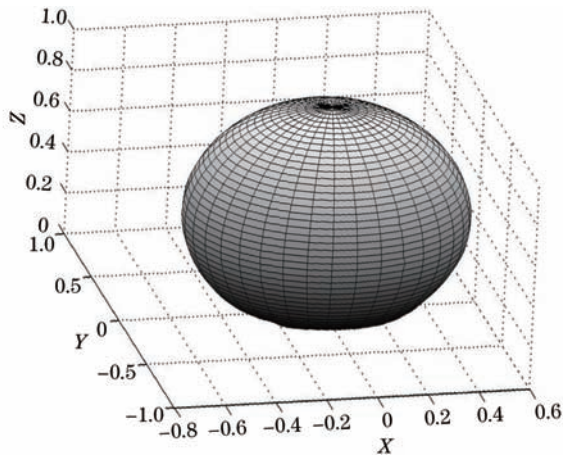


图9 朗伯型LED三维LISD立体图

Fig.9 Three-dimensional LISD figure of Lambertian type LED

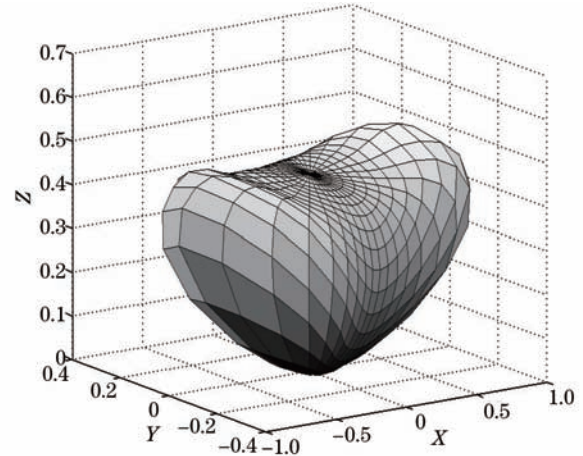


图10 蝙蝠翼型LED三维LISD立体图

Fig.10 Three-dimensional LISD figure of batwing type LED

5 结论

大功率LED的LISD特性的设计和测试越来越重要。大功率LED由于发热量大,对其绝对光强空间分布的测试也必须在特定热沉温度下进行,结果才准确可靠。基于快速而精确测试的理念,本文设计了一个基于LEDGON-100测角光度计及其高精度的二维旋转台结构,配合测试适配器、温度控制器、光度探头、

Keithley 2400 源表和测试软件,可对大功率 LED 进行热沉温度控制且较快实现 LISD 的自动测试系统。硬件部分设计出温度控制器和针对 LEDGON-100 的测试适配器,温度控制器基于高精度的 TEC 控制芯片 DN1220 设计;软件部分基于 Delphi 语言实现了对 LEDGON-100 二维旋转台和 Keithley 2400 源表的通讯和控制。利用该测试系统对具有朗伯型和蝙蝠翼型两大 LISD 类型的 LED 进行了热沉控温下的 LISD 测试,结果表明随着热沉温度的增加,光强绝对值下降,而相对 LISD 却不变。该 LISD 自动测试系统稳定可靠,测试时间大大缩短,测试结果实时直观。另外,所设计的测试适配器、温度控制器和应用软件是对 LEDGON-100 功能的进一步扩展,可更好地服务检测和科学研究。

参考文献

- 1 MinLi, Qiuyi Han, Wei Li, *et al.*. Comparison research of street lamps: characteristic parameters and lighting performance of light-emitting diodes, high pressure sodium lamps and ceramic discharge metal halide lamps [J]. *Applied Mechanics and Materials*, 2012, 229-231: 2610-2614.
- 2 Michael R Krames, Oleg B Shchekin, Regina Mueller-Mach, *et al.*. Status and future of high-power light-emitting diodes for solid-state lighting [J]. *J Display Technology*, 2007, 3(2): 160-175.
- 3 Jong Kyu Kim, E Fred Schubert. Transcending the replacement paradigm of solid-state lighting [J]. *Opt Express*, 2008, 16(26): 21835-21840.
- 4 Hai Yang, Yang Daoguo, Hou Fengze. Secondary optical simulation of LED based on goniophotometer [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2012, 49(3): 032302.
海 洋, 杨道国, 侯峰泽. 基于分布光度计测试实验的 LED 二次光学仿真[J]. *激光与光电子学进展*, 2012, 49(3): 032302.
- 5 Chung-Yi Lin, Tung-Cheng Pan, Yao-chi Peng, *et al.*. High efficiency LED module with 3D bending machine [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 579: 10-21.
- 6 Zhouping Su, Donglin Xue, Zhicheng Ji. Designing LED array for uniform illumination distribution by simulated annealing algorithm [J]. *Opt Express*, 2012, 20(S6): A843-A855.
- 7 Huang Qilu, Wu Fengtie. Investigation of uniform illumination of near-field targets using a conic light-emitting diode array [J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, 30(10): 3039-3043.
黄启禄, 吴逢铁. 基于近场均匀照明的 LED 二次曲线阵列的研究[J]. *光学学报*, 2010, 30(10): 3039-3043.
- 8 Ding Tianping, Guo Weiling, Cui Bifeng, *et al.*. The effect of temperature on the PL spectra of high power LED [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2011, 31(6): 1450-1453.
丁天平, 郭伟玲, 崔碧峰, 等. 温度对功率 LED 光谱特性的影响[J]. *光谱学与光谱分析*, 2011, 31(6): 1450-1453.
- 9 G Sauter. Goniometry of luminescent diodes [J]. *Metrologia*, 1991, 28(3): 239-242.
- 10 M Doble, N Narendran, A Bierman, *et al.*. Impact of dimming white LEDs: chromaticity shifts due to different dimming methods [C]. *SPIE*, 2005, 5941: 291-299.
- 11 Ren Hao, Wang Qiaobin, Li Kangye, *et al.*. Fast-measurement on intensity spatial distribution characteristics of LED [J]. *Optical Instruments*, 2008, 30(6): 6-9.
任 豪, 王巧彬, 李康业, 等. LED 光源光强空间分布特性的快速测试[J]. *光学仪器*, 2008, 30(6): 6-9.
- 12 F Sametoglu. Construction of two-axis goniophotometer for measurement of spatial distribution of a light source and calculation of luminous flux [J]. *Acta Physica Polonica A*, 2011, 119(6): 783-791.
- 13 Liang Shui. Delphi Program Development Paradigm Collections [M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2010. 129-134.
梁 水. DELPHI 程序开发范例宝典[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010. 129-134.
- 14 Tse-Ming Chung, Shusheng Dai. A study of the spatial intensity distribution of LED for general lighting [J]. *J Light & Visual Environment*, 2010, 34(3): 170-175.
- 15 Lü Yujun, Lei Ruirui, Gao Yulin, *et al.*. Analysis of luminous efficiency of power LED [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(s2): 805-810.
吕毅军, 雷瑞瑞, 高玉琳, 等. 功率 LED 发光效率分析[J]. *光学学报*, 2009, 29(s2): 805-810.
- 16 Cui Desheng, Guo Weiling, Cui Bifeng, *et al.*. Preparation and temperature-variation properties of high color rendering index LED [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(1): 0123005.
崔德胜, 郭伟玲, 崔碧峰, 等. 高显色白光 LED 的制备及其变温特性[J]. *光学学报*, 2012, 32(1): 0123005.