

紫外发射二极管辐射度测试方法

周钢¹ 刘秀娟² 张嘉盈³ 吴杜雄³

(1.深圳赛西信息技术有限公司, 广东 深圳 518057 2.中国电子技术标准化研究院, 北京 100176
3.广州赛西标准检测研究院有限公司, 广东 广州 510700)

摘要: 受国家节能环保政策及新型冠状病毒肺炎疫情等因素影响, 紫外发射二极管凭借自身优势在市场上广泛普及, 但存在辐射度测试标准缺失问题。制定紫外发射二极管辐射度测试方法的行业标准, 分析测试仪器及评价指标的要求, 开展相关试验验证, 为紫外发射二极管的产品质量提供测评手段。

关键词: 紫外发射二极管; 辐射度; 测试方法

中图分类号: TN23

文献标识码: A

文章编号: 1674-2605(2021)04-0006-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2021.04.006

0 引言

紫外发射二极管 (ultraviolet emitting diode, UV LED) 是指在一定电流激励下, 可发射紫外光的半导体二极管。UV LED 具有节能环保、体积小、结构牢固、易控制等特点, 逐渐取代传统紫外光源, 广泛应用于紫外固化、卫生消毒、分析测试、防伪检测、医疗诊断和环境净化等领域。2017 年 8 月正式实施的《关于汞的水俣公约》限制了汞的使用、排放以及 2020 年新型冠状病毒肺炎疫情在全球迅速蔓延, 都为 UV LED 产业的发展提供重要契机。

虽然紫外辐射小剂量时对人体无害, 但大剂量时会给眼睛及皮肤造成危害^[1], 如皮肤红斑、晶状体白内障、光致角膜炎、电光性眼炎等。近年来, 随着 UV LED 的生物效应越来越受到重视, 评价 UV LED 产品质量的辐射度指标也倍受关注。

1 标准化现状

UV LED 的核心部分是由 P, N 型半导体构成的 PN 结, 当正向电流导通 PN 结时, 电子和空穴相互结合并释放出紫外光。UV LED 工作机理不同于汞灯等传统紫外光源, 现有的紫外光源国内外标准不适用于 UV LED 辐射度测试, 如 QB/T 2989—2008《紫外线高压汞灯紫外辐照度及电参数测量方法》等^[2]。UV LED 的紫外波长为 (200~400) nm, 普通 LED 的可

见光波长为 (380~780) nm, 普通 LED 的国内外标准只规定可见光的光度、色度等测试, 不涉及紫外辐射度测试。因此, 现有普通 LED 的国内外标准也不适用于 UV LED 辐射度测试, 如 SJ/T 11394—2009《半导体发光二极管测试方法》等^[3]。

研究 UV LED 辐射度测试方法, 制定行业标准, 规定测试条件、测试仪器、评价指标等, 可为产品技术评价和质量控制提供有力依据, 对促进 UV LED 行业的健康发展具有重要意义。

2 测试仪器

2.1 积分球-光谱仪系统

UV LED 辐射度测试方法可分为相对法与绝对法。其中, 积分球-光谱仪系统采用相对法测试辐射度; 测角仪-紫外探头-光谱仪系统采用绝对法测试辐射度。

积分球-光谱仪系统结构如图 1 所示。积分球装有辅助灯, 用于测试 UV LED 及球内物件的自吸收系数, 辅助灯光谱与 UV LED 光谱接近, 且辐射通量不随时间而变化。积分球内壁为无光谱选择性、无荧光的漫反射涂层, 有较强的耐紫外线能力, 可避免黄化现象。推荐涂层使用反射率为 0.85 以上的涂料, 以使积分球具有更好的光谱性能和更好的稳定性^[4]。积分球内部的所有物件, 如挡板、UV LED 安装支架、辅助夹具等, 都会影响测试结果, 因此它们外形尺寸应

尽可能小，且具有紫外高反射率的表面。推荐积分球内部的所有物件选用的涂料表面反射率在 0.85 以上，且具有无光谱选择性和漫反射特性。

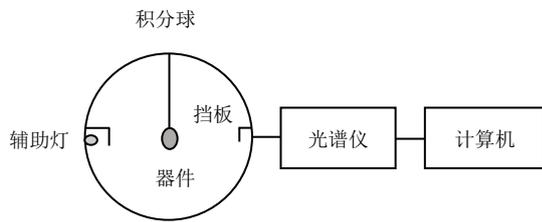


图1 积分球-光谱仪系统结构图

光谱仪要覆盖 UV LED 的紫外波长范围，且具有线性响应度；可采用双单色仪或单单色仪，并符合 GB/T 26179—2010《光源的光谱辐射度测量》的要求，带宽不大于 2 nm，波长分辨率不大于 0.2 nm^[5]。积分球-光谱仪系统进行总光谱辐射通量的标定后，可测试辐射通量、辐射效率、峰值波长、中心波长、光谱半宽等。

2.2 测角仪-紫外探头-光谱仪系统

测角仪-紫外探头-光谱仪系统结构图如图 2 所示。测角仪的角度扫描范围需覆盖 UV LED 的全部辐射空间角度，准确度应在 $\pm 0.5^\circ$ 之内，角度分辨力 $\geq 0.1^\circ$ 。

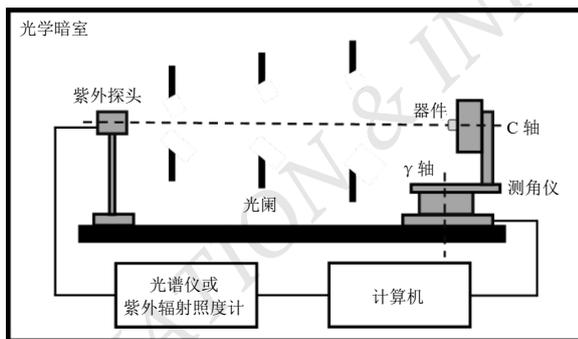


图2 测角仪-紫外探头-光谱仪系统结构图

在一些角度区域内，UV LED 发出的紫外辐射可能被测角仪-紫外探头-光谱仪系统的机械结构遮挡，使这些紫外辐射无法被紫外探头接收。通过推算立体角包含的这一角度区域内的辐射照度分布，可对 UV LED 的总辐射通量进行修正。

测角仪-紫外探头-光谱仪系统置于光学暗室中，

以避免杂散光影响测试结果。光学暗室中所有物件表面采用紫外低反射材料，不存在荧光现象。该系统采用溯源至 SI 单位的氙灯进行光谱辐射照度的标定后，可测试辐射强度、辐射强度分布、半强度角、辐射通量、辐射效率、峰值波长、中心波长、光谱半宽等。

3 评价指标

3.1 辐射照度

在光学暗室中，采用具有光谱辐射照度功能的紫外光谱仪直接测试 UV LED 的辐射照度，测试原理如图 3 所示。UV LED 与紫外探头之间设置不同孔径的光阑，以避免杂散光影响测试结果。

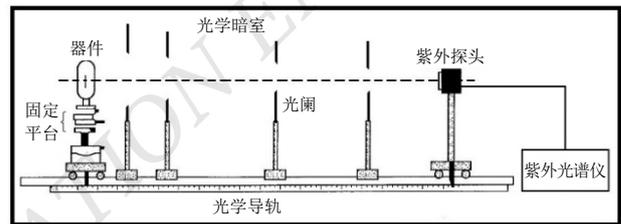


图3 辐射照度测试原理

测试 UV LED 的辐射照度时，UV LED 与紫外探头之间的测试距离按 CIE 127: 2007《LED 测量》推荐的标准条件 A 或条件 B 设置，如表 1 所示。在这 2 种条件下，紫外探头都要求有一个面积为 100 mm² 的圆入射孔径。

表 1 CIE 127 推荐的标准条件 A 或条件 B

CIE推荐	UV LED到紫外探头的距离/mm	立体角/sr	平面角/(°)
标准条件A	316	0.001	2.0
标准条件B	100	0.010	6.5

3.2 辐射强度、辐射强度分布和半强度角

在测试距离不小于 UV LED 辐射面最大尺寸 10 倍的远场条件下，采用测角仪-紫外探头-光谱仪系统直接测试 UV LED 的不同空间角度辐射照度，根据辐射照度与测试距离平方反比关系，按式(1)计算辐射强度。

$$I_c(\varepsilon, \eta) = r^2 \cdot E_c(\varepsilon, \eta) \quad (1)$$

式中, $I_c(\varepsilon, \eta)$ 为空间 (ε, η) 方向上的辐射强度, 单位为 W/sr; (ε, η) 为空间角度, 单位为 $(^\circ)$; r 为测试距离, 单位为 m; $E_c(\varepsilon, \eta)$ 为空间 (ε, η) 方向上测试点的辐射照度, 单位为 W/m²。

不同空间角度的辐射强度分布, 可用极坐标图表示。在该图上分别读取最大辐射强度的 50% 所对应的角度 θ_1, θ_2 , 按式(2)计算半强度角 $\theta_{1/2}$ 。

$$\theta_{1/2} = |\theta_2 - \theta_1| \quad (2)$$

式中, $\theta_{1/2}$ 为半强度角, 单位为 $(^\circ)$; θ_1, θ_2 为最大辐射强度的 50% 所对应的角度, 单位为 $(^\circ)$ 。

3.3 辐射通量和辐射效率

采用积分球-光谱仪系统或测角仪-紫外探头-光谱仪系统测试辐射通量。当测角仪-紫外探头-光谱仪系统的测试死角(机械结构遮挡)不影响辐射通量的准确度时, 可采用该系统测试辐射通量^[6]。

积分球-光谱仪系统根据已知光谱辐射通量的标准灯标定比较后, 直接测试 UV LED 的光谱辐射通量, 并按式(3)计算 UV LED 的总辐射通量^[7]。

$$\Phi_{\text{TEST}} = \int_{\lambda} \Phi_{\text{TEST}}(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

式中, Φ_{TEST} 为 UV LED 的总辐射通量, 单位为 W; $\Phi_{\text{TEST}}(\lambda)$ 为 UV LED 的光谱辐射通量, 单位为 W/nm。

UV LED 与标准灯的光谱、尺寸、外形等有较大差异时, 可能会产生较大测试误差, 需用自吸收修正系数按式(4)、式(5)修正测试结果。

$$\Phi_{\text{TEST}}(\lambda) = \Phi_{\text{REF}}(\lambda) \cdot \frac{y_{\text{TEST}}(\lambda)}{y_{\text{REF}}(\lambda)} \cdot \frac{1}{\alpha(\lambda)} \quad (4)$$

$$\alpha(\lambda) = \frac{y_{\text{aux, TEST}}(\lambda)}{y_{\text{aux, REF}}(\lambda)} \quad (5)$$

式中, $\Phi_{\text{REF}}(\lambda)$ 为标准灯的光谱辐射通量, 单位为 W/nm; $y_{\text{TEST}}(\lambda)$ 为 UV LED 的光谱仪读数; $y_{\text{REF}}(\lambda)$ 为标准灯的光谱仪读数; $\alpha(\lambda)$ 为自吸收修正系数; $y_{\text{aux, TEST}}(\lambda)$ 为 UV LED 不工作、辅助灯工作的光谱仪读数; $y_{\text{aux, REF}}(\lambda)$ 为标准灯不工作、辅助灯工作的光

谱仪读数^[8]。

测角仪-紫外探头-光谱仪系统直接测试不同空间角度 UV LED 的辐射照度分布, 采用辐射照度积分法, 按式(6)计算 UV LED 的总辐射通量。

$$\Phi_c = \int_0^{4\pi} r^2 E_c(\varepsilon, \eta) d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} r^2 E_c(\varepsilon, \eta) \sin\varepsilon d\varepsilon d\eta \quad (6)$$

根据积分球-光谱仪系统或测角仪-紫外探头-光谱仪测试 UV LED 的总辐射通量与其消耗的电功率的比值, 按式(7)计算辐射效率。

$$\eta_c = \frac{\Phi_c}{P} \quad (7)$$

式中, η_c 为辐射效率; Φ_c 为总辐射通量, 单位为 W; P 为消耗的电功率, 单位为 W。

3.4 峰值波长、中心波长和光谱半宽

采用积分球-光谱仪系统或测角仪-紫外探头-光谱仪系统直接测试 UV LED 的相对光谱辐射功率分布曲线, 如图 4 所示, 图 4 中最大相对辐射功率对应的波长, 即为峰值波长 λ_p 。

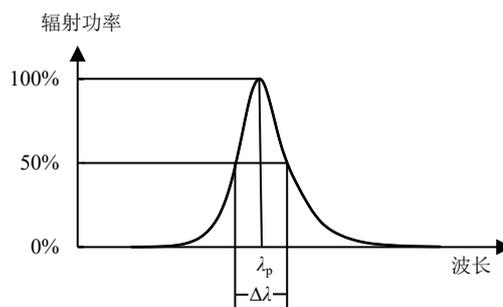


图4 相对光谱辐射功率分布曲线图

在相对光谱辐射功率分布曲线图中, 读取峰值波长辐射功率 50% 所对应的波长 $\lambda'_{0.5}, \lambda''_{0.5}$, 两者之间的中心处波长, 即为中心波长 $\lambda_{0.5}$, 如式(8)所示。两者之差, 即为光谱半宽 $\Delta\lambda$, 如式(9)所示。

$$\lambda_{0.5} = \frac{(\lambda'_{0.5} + \lambda''_{0.5})}{2} \quad (8)$$

$$\Delta\lambda = \lambda''_{0.5} - \lambda'_{0.5} \quad (9)$$

式中, $\lambda_{0.5}$ 为中心波长, 单位为 nm; $\Delta\lambda$ 为光谱半宽, 单位为 nm; $\lambda'_{0.5}, \lambda''_{0.5}$ 为峰值波长辐射功率 50% 所相

对应的波长, 单位为 nm。

4 试验验证

分别选取 2 个 385 nm UV-A LED (1 号、2 号)、275 nm UV-C LED (3 号、4 号) 为测试对象, 采用积分球-光谱仪系统测试其峰值波长、辐射通量、辐射效率等指标。测试中, 测试场所应保持干净整洁, 无腐蚀性气体, 周围环境无影响测试仪器正常工作的粉尘、震动和电磁场的干扰。测试仪器及 UV LED 达到稳定状态后进行测试。判定 UV LED 稳定工作的条件为: 在 15 min 内, 紫外辐射 (辐射通量、辐射照度或辐射强度) 变化小于 0.5%。UV LED 的测试数据如表 2 所示。

表 2 UV LED 的测试数据

器件类型	UV-A LED		UV-C LED	
	1 号	2 号	3 号	4 号
工作电流/mA	700.0	700.0	349.8	349.9
工作电压/V	4.163	3.758	22.920	25.780
电功率/W	2.91	2.63	8.02	9.02
峰值波长/nm	383.0	383.5	274.5	276.6
辐射通量/mW	793.4	739.0	258.3	286.8
辐射效率/%	27.3	28.1	3.2	3.2

由表 2 可知: UV-C LED 的辐射效率远低于 UV-A LED 的辐射效率, 且两者的辐射效率相对于普通 LED 较低。

UV LED 大部分电能转化为热能, 应注重改进应用材料及封装方式, 以不断提高辐射效率; 同时加强

UV LED 散热结构设计, 以改善 UV LED 使用寿命。

5 结语

针对 UV LED 缺失辐射度测试标准问题, 本文提出制定行业标准的建议, 从测试仪器及评价指标等方面进行分析, 通过相关试验验证 UV LED 辐射度测试方法可行性, 为 UV LED 的产品质量评价提供依据。由于 UV LED 的发射波长短, 辐射能量大, 其紫外辐射对人眼和皮肤具有一定的光生物危害。在测试时, 应减少皮肤裸露并佩戴紫外防护眼镜及穿防护服进行保护, 也应注意其他仪器受到 UV LED 紫外辐射造成的老化等问题。

参考文献

- [1] 王震. 紫外辐射通量的测量研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [2] 全国照明电器标准化技术委员会. QB/T 2989—2008 紫外线高压汞灯紫外辐照度及电参数测量方法[S]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008.
- [3] 工业和信息化部电子工业标准化研究所. SJ/T 11394—2009 半导体发光二极管测试方法[S]. 北京: 中国电子技术标准化研究所, 2009.
- [4] 林金强. 积分球法测量 LED 光通量的可靠性研究[D]. 厦门: 厦门大学, 2013.
- [5] 全国照明电器标准化技术委员会. GB/T 26179—2010 光源的光谱辐射度测量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [6] 万小玲, 杨静华. 影响积分球-光谱仪系统测试结果的因素分析[J]. 中国照明电器, 2018(11): 37-40.
- [7] 宋立, 李倩, 陈聪, 等. 紫外 LED 辐射通量测量的挑战与应对[J]. 照明工程学报, 2019, 30(5): 107-110.
- [8] 李伟铭, 柳挺, 黄河山, 等. 半导体照明产品的光通量测量方法研究[J]. 电子测试, 2019(2): 73-75.

Test Method for Emittance of Ultraviolet Emitting Diodes

Zhou Gang¹ Liu Xiujuan² Zhang Jiaying³ Wu Duxiong³

(1. Shenzhen CESI Information Technology Co., Ltd. Shenzhen 518057, China

2. China Electronics Standardization Institute, Beijing 100176, China

3. CESI (Guangzhou) Standards & Testing Institute Co., Ltd. Guangzhou 510700, China)

Abstract: Affected by the national energy conservation and environmental protection policy and COVID-19 epidemic, prompting UV LED to be popular in the market, but the lack of radiance test standards, it is necessary to formulate industry standards of UV LED radiance measuring method, analyze the requirements of equipment and evaluation indicators, carry out relevant tests and verification, and provide evaluation means for the quality of UV LED. (下转第 32 页)