

用于太阳模拟器的新型匀光器

王广才*, 林兴, 顾晨, 王静, 欧琳

南开大学光电子薄膜器件与技术研究所, 天津市光电子薄膜器件与技术重点实验室, 薄膜光电子技术教育部工程研究中心,
天津市中欧太阳能光伏发电技术联合研究中心, 天津 300350

摘要 辐照强度均匀性是太阳模拟器的一项重要指标, 采用光学积分器进行匀光具有设计复杂和成本高等问题。采用三维打印技术制备的模具, 将超高效镜面反射片压制为微球面反射镜片, 用两片微球面反射镜片和圆筒形光导管组成新型匀光器, 利用光的漫反射原理, 得到在 150 mm 直径光斑上的辐照强度不均匀性为 1.12%, 该结果达到 IEC 60904-9 的 A 级水平。新型匀光器具有结构简单、光源利用率高、造价低廉等特点。

关键词 物理光学; 微球面反射镜; 光学积分器; 辐照强度均匀性; 太阳模拟器

中图分类号 O439

文献标志码 A

doi: 10.3788/AOS202040.2436001

New Type of Uniform Light Device for Solar Simulator

Wang Guangcai*, Lin Xing, Gu Chen, Wang Jing, Ou Lin

Institute of Photo-Electronics Thin Film Devices and Technique, Key Laboratory of Photoelectronic Thin Film Devices and Technology of Tianjin, Engineering Research Center of Thin Film Optoelectronics Technology, Ministry of Education, Sino-Euro Joint Research Center for Photovoltaic Power Generation of Tianjin, Nankai University, Tianjin 300350, China

Abstract The uniformity of irradiance intensity is an important parameter of a solar simulator. There are some problems, such as designing complexity and high cost, in the process of using an optical integrator to obtain uniformity light. The microsphere surface reflective lens is pressed by the ultra-efficient mirror with the moulds prepared by three-dimensional printing technology. A new type of uniform light device is composed of two microsphere surface reflective lenses and a cylindrical light pipes. The non-uniformity of irradiance intensity of a light spot with a 150 mm diameter is 1.12% obtained by the principle of diffuse reflection of light. The result reaches the A level of IEC 60904-9. The new type of uniform light device has some characters such as simple structure, high utilization rate of light source, and low cost.

Key words physical optics; microsphere surface reflective lens; optical integrator; uniformity of irradiance intensity; solar simulator

OCIS codes 260.6970; 230.1150; 220.2945; 350.6050

太阳模拟器在航空航天、光伏能源、新材料研制、材料老化实验、农林培育等领域具有广泛的应用^[1-4], 辐照强度不均匀性是其关键技术指标之一^[1-7]。在一定面积的辐照光斑上, 为了获得 IEC 60904-9 国际标准^[8]中辐照强度不均匀性指标的最高 A 级水平(-2%~2%), 目前的太阳模拟器常采用光学积分器进行匀光, 但是光学积分器存在着设计复杂、加工难度大、造价高、对光的反射损失大等问题^[1-7]。本研究利用三维(3D)立体绘图软件设计出配对使用的微凹面和微凸面型立体模型, 采用 3D

打印技术打印出尼龙材料的母模和公模, 将超高效反射镜片压制为微球面反射镜片, 其公差在 -0.25~0.25 mm 范围内。利用光的漫反射原理, 用两片微球面反射镜片和一个圆筒形光导管组成一种新型匀光器, 其原理如图 1(a)所示。图 1(b)为采用新型匀光器制备的出射光斑在垂直方向和水平方向任意可调的太阳模拟器照片。

在基于新型匀光器的太阳模拟器中, 对辐照强度均匀性影响比较大的因素有两个: 一个是氙灯光源的发光中心与椭球面反射镜第一焦点的距离, 即

收稿日期: 2020-10-09; 修回日期: 2020-10-30; 录用日期: 2020-11-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划(2013AA050302)、南开大学中央高校基本科研业务费专项资金(63191204)

* E-mail: wgc2008@nankai.edu.cn

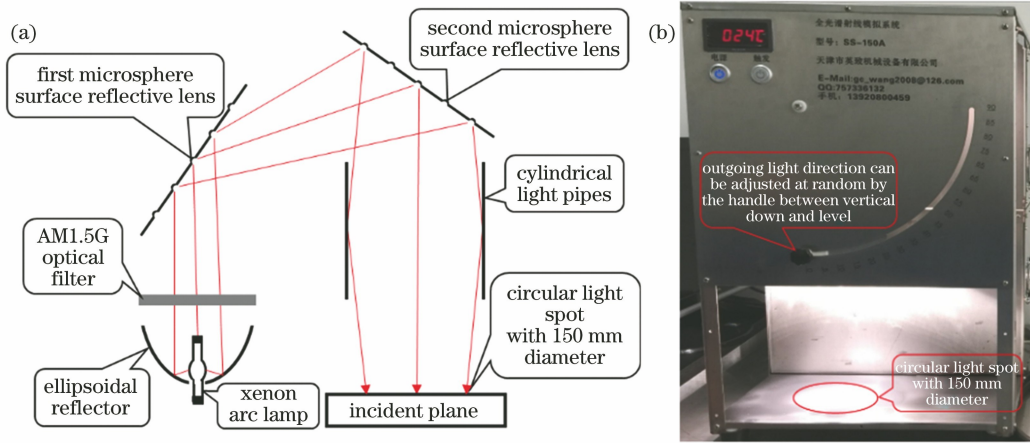


图 1 采用新型匀光器制备太阳模拟器。(a)原理示意图;(b)制备的太阳模拟器照片

Fig. 1 Fabrication of solar simulator by using new type of uniform light device. (a) Schematic diagram; (b) photo of fabricated solar simulator

离焦距离;另一个是微球面反射镜片每 100 mm 内所包括的微球面个数。辐照强度不均匀性与这两个因素的关系如图 2(a)和(b)所示。调节离焦距离为 -0.5 mm 时,可以获得 1.95% 的辐照强度不均匀性。使用 1 kW 的氙灯时,工作平台处的辐照强度可以达到近 2 个标准太阳光强。从图 2(b)可以看出,当微球面反射镜片在单位长度内的微球面个数从 10 个增加到 30 个,辐照强度的不均匀性从

7.37% 下降到 1.12%。当不均匀的光照射到微球面反射镜片上,利用光的漫反射原理,增加微球面个数时微球面直径变小,每个微球面反射的光线数减少,则漫反射后的光会更均匀。通过两片反射镜片的匀光并经圆筒型光导管的进一步匀光可得到均匀的光斑。不均匀性与微球面个数呈近似反比关系,增加单位长度内微球面个数是提高新型匀光器辐照强度均匀性的一种有效方法。

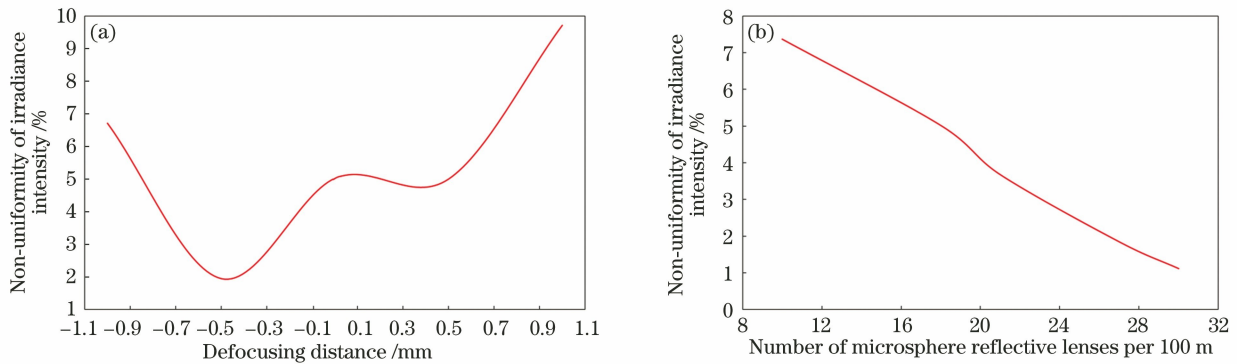


图 2 辐照强度不均匀性与离焦距离和每 100 mm 内微球面反射镜个数的关系。(a)辐照强度不均匀性与离焦距离的关系;(b)辐照强度不均匀性与每 100 mm 内微球面个数的关系

Fig. 2 Relationship among non-uniformity of irradiance intensity, defocusing distance, and number of microsphere surface reflective lenses per 100 mm. (a) Relationship between non-uniformity of irradiance intensity and defocusing distance; (b) relationship between non-uniformity of irradiance intensity and number of microsphere surface reflective lenses per 100 mm

调节氙灯功率为其额定功率的 64%,在直径为 150 mm 的光斑上可以获得一个标准太阳光强,辐照强度不均匀性为 1.12%,该结果达到太阳模拟器国际标准 IEC 60904-9 的 A 级水平^[8]。目前文献中还没有关于这种新型匀光器的报道。该技术具有结构简单、调节方便、造价低廉、光源

利用率高特性,具有较大的应用价值。进一步增加单位长度内微球面的个数、提高微球面反射镜的使用寿命、拓展新型匀光器在低辐照强度模式下的应用,是本课题组下一步工作的重要研究内容。

参 考 文 献

- [1] Li Z Q, Su S, Wang G M, et al. Research on a new cluster-type optical integrator for solar simulator[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(12): 122301.
李志强, 苏拾, 王国名, 等. 太阳模拟器用新型集束式光学积分器研究[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(12): 122301.
- [2] Wang G M, Zhang G Y, Liu S, et al. Optical system optimization of improving solar simulator irradiation uniformity[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2014, 51(1): 012204.
王国名, 张国玉, 刘石, 等. 提高太阳模拟器辐照均匀性的光学系统优化设计[J]. 激光与光电子学进展, 2014, 51(1): 012204.
- [3] Gao Y, Zhang G Y, Zheng R, et al. Solar simulator irradiation uniformity based on optical integrator[J]. Acta Optica Sinica, 2012, 32(6): 0623003.
高越, 张国玉, 郑茹, 等. 光学积分器对太阳模拟器辐照均匀性的影响[J]. 光学学报, 2012, 32(6): 0623003.
- [4] Su S, Zhang G Y, Fu Y, et al. New development of solar simulator [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(7): 070003.
苏拾, 张国玉, 付芸, 等. 太阳模拟器的新发展[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(7): 070003.
- [5] Su S, Wang Y W, Zhang G Y, et al. Design of LED array light source and collimating optical system for mobile solar simulator[J]. Acta Optica Sinica, 2019, 39(8): 0808001.
苏拾, 王逸文, 张国玉, 等. 运动式太阳模拟器 LED 阵列光源及其准直光学系统设计[J]. 光学学报, 2019, 39(8): 0808001.
- [6] Liu S, Zhang G Y, Sun G F, et al. Design of an optical system for a solar simulator with high collimation degree and high irradiance[J]. Journal of Optical Technology, 2017, 84(2): 117-121.
- [7] Sun G F, Zhang G Y, Liu S, et al. Designing an optical system of a high precision solar simulator for meteorological application [J]. Journal of Optical Technology, 2017, 84(8): 552-556.
- [8] International Standards. Photovoltaic devices-Part 9: Classification of solar simulator characteristics: IEC 60904-9: 2020[S]. Switzerland: IEC, 2020.