

文章编号: 1005-5630(2021)01-0042-07

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2021.01.007

面板检测用显微镜光学系统设计

陈 鲁, 李志强

(深圳中科飞测科技有限公司, 广东 深圳 518000)

摘要: 为了实现对面板上缺陷精细分析和分类, 设计了可见光波段、数值孔径为 0.42 的复消色差平场显微物镜和照明光学系统。通过合理结构优化、光焦度分配和材料的选择, 优化出平场复消色差物镜, 使其 MTF 曲线接近衍射极限。采用科勒照明匀光方案, 设计照明光学系统, 并用 Lighttools 软件对照明光学系统进行仿真。实验表明, 光学系统分辨率达到 $0.775\ \mu\text{m}$, 在成像视场范围内照明均匀性可以达到 98% 以上。设计结果与实际测试结果一致, 可满足高精度面板检测使用要求。

关键词: 面板检测; 科勒照明; 显微镜; Lighttools 软件

中图分类号: TN 491 **文献标志码:** A

Design of microscope optical system for panel inspection

CHEN Lu, LI Zhiqiang

(Skyverse Limited, Shenzhen 518000, China)

Abstract: In order to achieve the fine analysis and classification of the defects on the panel, the apochromatic objective with a numerical aperture of 0.42 in the visible spectrum and illumination optical system were designed. First, the objective lens was designed with reasonable structure optimization, optical focal length distribution and material selection, and the MTF curve is closed to the diffraction limit. Secondly, the illumination optical system is designed by the scheme of Kohler illumination. Simulating optical system with Lighttools software. The experimental results show that the resolution of the optical system can reach $0.775\ \mu\text{m}$ and the illumination uniformity can reach 98%. The results are consistent with the actual test results and meet the requirements of high-precision panel inspection.

Keywords: panel inspection; Kohler illumination; microscope; Lighttools software

收稿日期: 2020-10-27

基金项目: 深圳市海外高层次人才资金资助项目(KQTD2016053116451329)

作者简介: 陈 鲁 (1977—), 男, 研究员, 研究方向为集成电路全自动智能检测。

E-mail: chenlu@skyverse.cn

通信作者: 李志强 (1988—), 男, 工程师, 研究方向为集成电路智能检测系统光学设计。

E-mail: 951878970@qq.com

引 言

随着 PAD、手机等消费电子产品的快速普及, OLED 面板的市场发展迅速, 需求巨大。由于 OLED 面板生产工序复杂, 在大规模的生产中不可避免地会出现短路、断路等缺陷, 严重影响产品的成品率, 因此在生产过程中加入缺陷检测是提升产品的成品率的必要环节。

目前, 国内劳动密集型企业仍采用人工视觉缺陷检测方法, 由于过分地依赖技术员的视力和个人的主观判断, 导致检测结果的精度和一致性无法保证。国外研发的有机发光半导体(OLED)面板自动化生产设备均采用的是显微镜配合机器视觉的自动检测方法, 该方法检测精度高、一致性好, 极大地提升了生产效率。而国内还不具备同类自动检测产品, 致使我国 OLED 面板生产企业只能从国外进口生产设备^[1-2]。

显微镜作为自动检测设备的重要组成部分, 其照明均匀性将直接影响成像区域的对比度, 对突显目标的特征、后续机器视觉识别以及分析检测区域影响重大。显微镜能否正确获取面板缺陷信息很大程度上取决于显微物镜的成像性能。

在显微镜照明和物镜设计方面的成果有: 薛金来等^[3]通过结构优化、光角度分配及材料选择优化出 NA 为 0.75 的复消色差物镜; 陈姣等^[4]通过 PW 法并结合初级像差理论设计出近紫外-可见光宽波段复消色差显微物镜; 郁晓晖等^[5]研究了针对癌症基因突变检测的宽光谱、大数值孔径平场复消色差物镜; 柴常春等^[6]设计了结构光照明显微镜的照明系统; 隋成华等^[7]研究了用于裂缝灯显微镜科勒照明系统。

但是, 这些设计都不是针对 OLED 面板自动检测的显微镜系统的要求进行的, 为此本文针对 OLED 面板自动检测特点, 即以提高照明系统均匀性和成像性能为目的, 设计面板检测用显微镜照明光学系统和显微物镜, 为实现 OLED 面板的自动检测提供参考。

1 面板检测设备构成

图 1 为面板检测设备整体结构图, 主要由全检模块、复检模块、定位模块、面板承载平台等几部分组成。

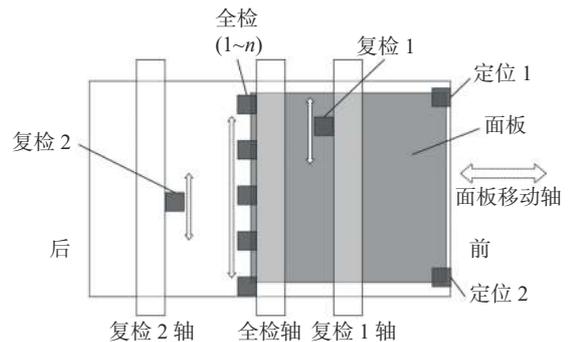


图 1 面板检测设备整体结构图

Fig. 1 The overall structure of panel inspection equipment

首先全检模块对面板进行扫描检测, 面板在 X 方向上往复运动, 全检模块在 Y 方向往复运动, 形成 XY 面扫描。全检模块负责扫描完整面板区域, 进行缺陷识别及分析, 最终得到面板上的全部缺陷。

复检模块在 Y 方向上可往复运动, 复检模块主要对全检模块检出的缺陷进行高分辨率图像复拍, 用于缺陷的精细分析及分类。复检模块由显微光学系统组成, 而显微光学系统组成又由照明系统和成像系统两部分组成, 如图 2 所示。

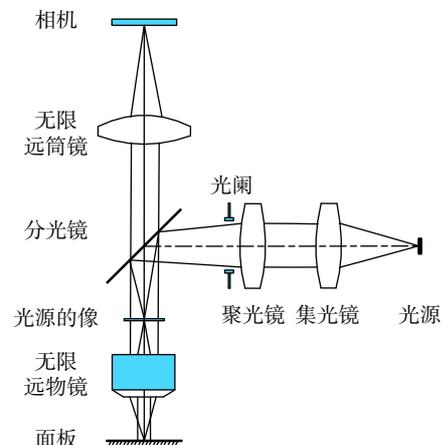


图 2 面板检测用显微镜原理

Fig. 2 The principle of microscope for panel inspection

显微镜工作原理:

(1)光源辐射出光束先经集光镜、聚光镜,然后经分光镜转折,在物镜聚焦的后焦平面成光源的像,再经过无限远物镜后在面板上形成均匀的辐照分布。

(2)被均匀照明的面板经无限远物镜、分光镜、无限远筒镜成像在相机上。显微镜在 Y 方向上扫描并拍摄面板图像,同时固定在平台上的面板随平台沿 X 方向移动,从而对面板形成 XY 平面的扫描和拍摄。

(3)将采集到的图像送计算机进行算法分析,判断出缺陷的种类和对应位置坐标,并统计出结果。

2 光学系统设计

2.1 显微物镜设计

为了方便系统分布和分光镜安装,本文选取无限远共轭物镜结构。结合实际检测需要和显微镜行业的国际标准,显微物镜的主要设计指标如表 1 所示。

表 1 显微物镜设计指标
Tab. 1 Design index of the objective

设计指标	数值
放大倍率	20 ^x
数值孔径	0.42
视场/mm	1.2
焦距/mm	10
分辨率/ μm	0.8
工作距离/mm	0.6
光谱范围/nm	400~760
总长/mm	<40

本文针对可见光设计显微镜,选取 C 光、D 光、F 光为主要波长进行优化。通常情况下,复消色差的显微物镜初始结构选用阿米西型或者阿贝型的结构,这种结构可以很好校正球差、色差和正弦差。但这种系统是正光焦度分离的结

构,其匹兹万场曲是较大的正值,为了满足平场条件,系统需引入弯月形厚透镜。通常消色差使用双胶合透镜,而复消色差则需要三胶合透镜。由二级光谱理论可知,为了实现复消色差,在材料选择上需选相对色散系数尽量相等、阿贝常数相差要大的材料。整体光焦度为 0.1 m^{-1} ,共 6 组 10 片镜片,初始设计时采用光焦度均匀分配原则^[3-5]。

依照物镜设计参数使用 Zemax 软件进行优化。图 3 为物镜结构图,该物镜由 6 组共 10 片镜片组成。图 4 为物镜的各类像差:(a)显示出各视场 RMS 半径均小于艾里斑半径;(b)显示 625 lp/mm 处全视场内的 $\text{MTF}>0.45$,图中最外实线圈为衍射极限,各视场子午方向和弧矢方向均趋近衍射极限,能够很好地保证成像质量;(c)、(d)、(e)分别显示出物镜的色差、二级光谱、像散、场曲都得到了很好的校正,畸变也在 0.5% 以内。综上表明,物镜像质良好,可满足设计要求。

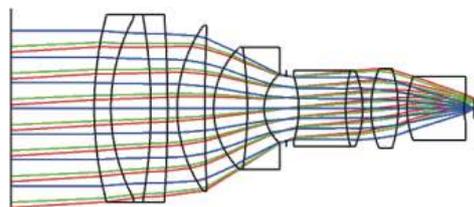


图 3 物镜结构图

Fig. 3 The objective lens structure

2.2 照明光学系统设计

成像系统视场为 $0.62 \text{ mm} \times 0.49 \text{ mm}$,外接圆直径为 0.8 mm ,照明视场需要覆盖成像视场,另外由于结构件的加工及装配误差,需留取一定余量,又因物镜视场直径为 1.2 mm ,故照明视场取 1.2 mm 。为了更好地突显面板上目标的缺陷特征,保证良好的图像质量,照明的均匀性需大于 95%。

图 5 为照明系统光路,光源输出端面直径为 3.5 mm , NA_1 为 0.22,则物高 y_1 为 1.75 mm 。根据物镜视场为 1.2 mm ,则 y_3 为 0.6 mm 。

根据几何关系和照明系统拉赫不变量可知,孔径角 u_1 、 u_2 、 u_3 满足以下关系:

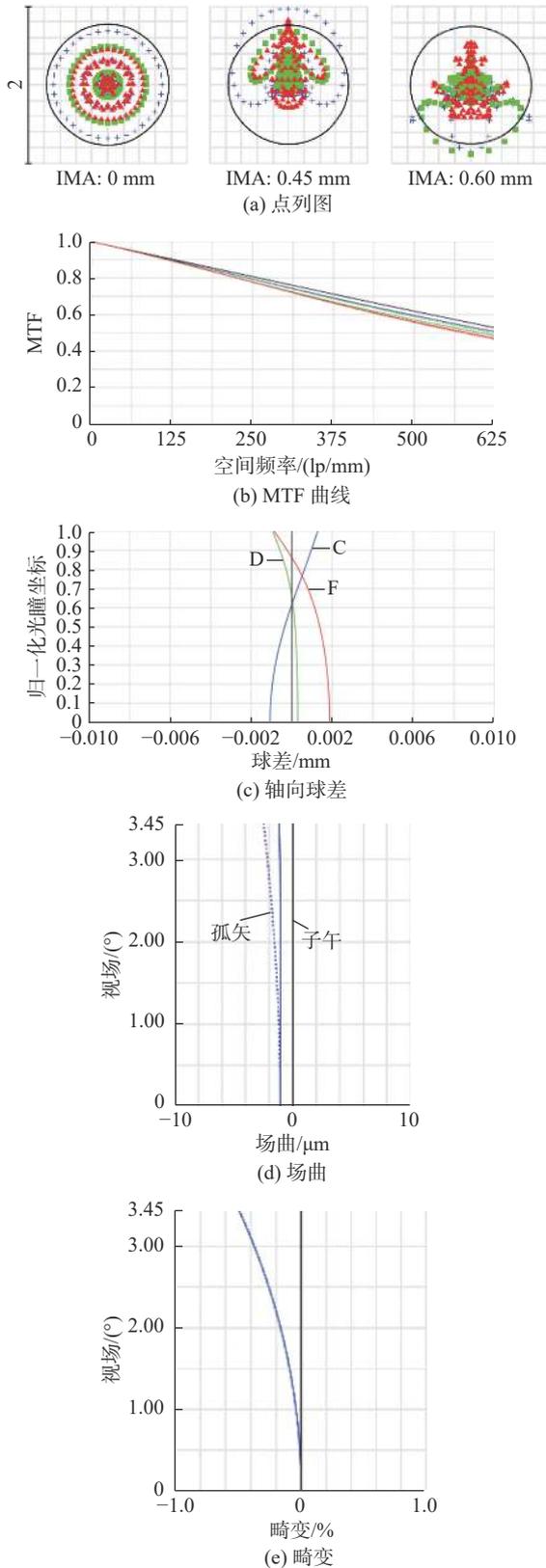


图 4 像差图

Fig. 4 Aberration curves

$$\tan u_2 = \tan u_3 = y_3 / f' \quad (1)$$

$$n_1 * y_1 * \sin u_1 = n_2 * y_2 * \sin u_2 \quad (2)$$

式中: y_2 为照明系统像高; n_1 、 n_2 为介质折射率。因系统位于空气中, 有 $n_1 = n_2 = 1$, 则式(2)可表示为

$$y_1 * NA_1 = y_2 * \sin u_2 \quad (3)$$

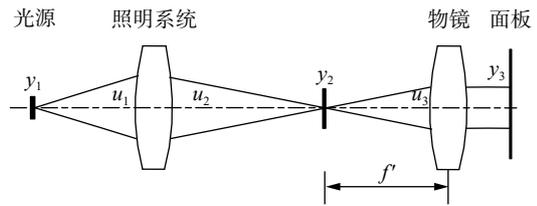


图 5 显微镜照明光学系统示意图

Fig. 5 The illumination optical system of microscope

将参数代入式(2), 可得 $y_2 = 6.42 \text{ mm}$ 。

将光源参数 $y_1 = 1.75 \text{ mm}$, $NA_1 = 0.22$ 作为输入, 采用三片双凸透镜和一个双胶合透镜组合的初始结构^[6-8], 经 Zemax 软件优化, 得到照明光学系统参数如图 6 所示。聚光镜距像面 120 mm, 光源像高 6.42 mm。

将优化好的显微物镜和照明系统导入 Zemax 软件中, 得到如图 7 所示的光学模型结构。

使用 Lighttools 光学软件进行仿真分析, 采用蒙特卡罗光线追击方法, 即从建好的光源模型中生成多条光线, 使经光学系统的出射光产生最佳的辐照面^[9-11]。按照 Zemax 中的参数, 在 Lighttools 中建模仿真, 效果如图 8 所示。

追迹 2000 万条光线, 得到辐射照度分布图, 如图 9 所示。从图中可以看出: 照射面上的光斑为圆形且均匀, 直径约为 1.2 mm; 在 X 方向上, 最小辐射照度为 0.499 W/mm^2 , 最大辐射照度为 0.514 W/m^2 , 平均辐射照度为 0.508 W/mm^2 , 均匀性为 98.2%; Y 方向上最小辐射照度为 0.501 W/mm^2 , 最大辐射照度为 0.515 W/mm^2 , 平均辐射照度为 0.509 W/mm^2 , 均匀性为 98.4%。

3 实验验证

3.1 分辨率测试

将设计好并加工完成的光学镜片和结构件装

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Material	Coat	Clear Semi-Dia
0	OBJECT	Standard	Infinity	1.930			1.750
1	Standard		38.688 V	4.000	BK7		2.159
2	Standard		-38.688 V	1.950			2.599
3	Standard		38.688 V	4.000	BK7		2.896
4	Standard		-38.688 V	1.980			3.141
5	Standard		38.688 V	4.000	BK7		3.267
6	Standard		-38.688 V	6.000			3.299
7	STOP	Standard	Infinity	41.200			3.145
8	Standard		68.491 V	2.000	SF5		12.474
9	Standard		22.731 V	11.500	BK7		12.725
10	Standard		-29.418 V	120.000			13.308
11	IMAGE	Standard	Infinity	-			6.419

图 6 照明光学系统光学数据列表

Fig. 6 The optical data list of illumination optical system

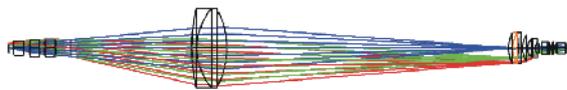


图 7 光学模型结构

Fig. 7 The optical model structure



图 8 Lighttools 仿真图

Fig. 8 The simulation by Lighttools

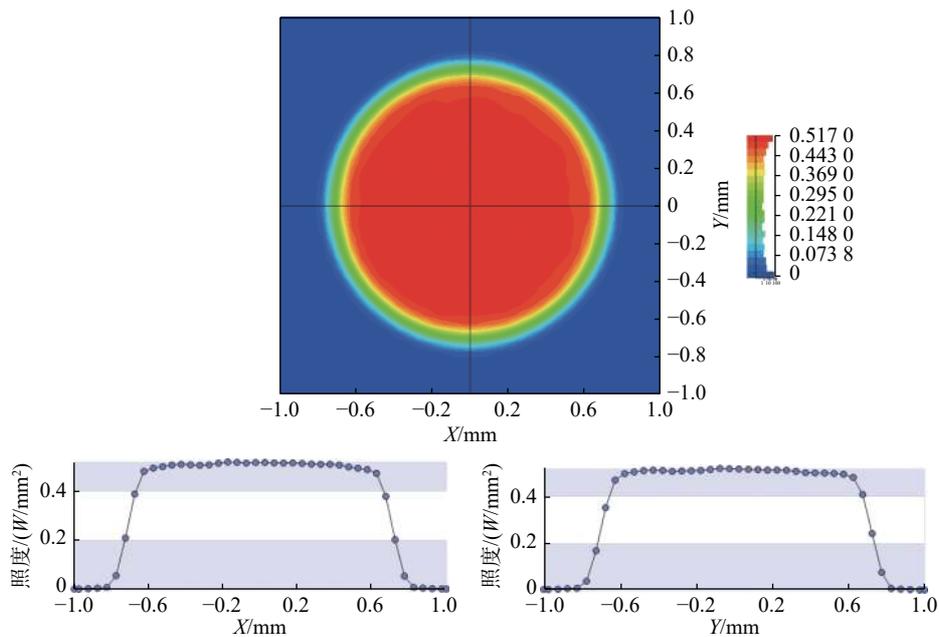


图 9 辐射照度分布

Fig. 9 The irradiance distribution

配完成, 光源模块采用光纤输出光, 同时将光纤出射端连接到照明光学系统入射端。实验装置如图 10 所示。

图 11 为用于测试显微光学系统的分辨率板, 将标准分辨率板置于平台上, 显微光学系统对分辨率板进行聚焦和拍摄图像。从图 11 中可看出, 显微光学系统能清晰分辨 9-3 条纹, 即 645 lp/mm(对应分辨率为 0.775 μm)。使用程序计算 9-3 条纹的对比度, 可得 Y 方向和 X 方向对比度分别为 0.436、0.400, 与设计要求基本一致, 满足分辨率要求。

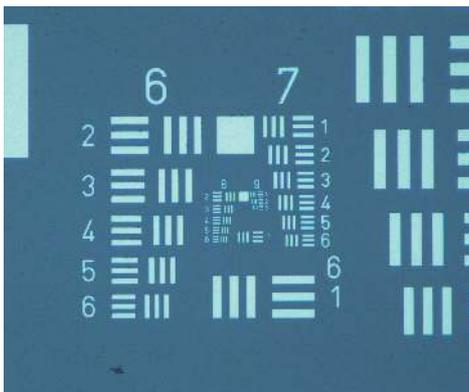
3.2 均匀性测试

将空白面板置于平台上, 显微系统聚焦后拍摄图像。使用 MATLAB 分析系统照明均匀性, 结果如图 12 所示, 统计数据如表 2 所示。由此

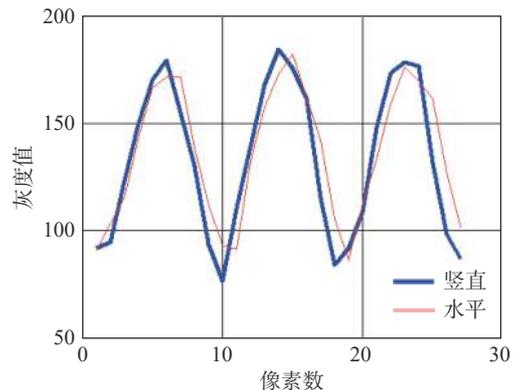


图 10 实验装置

Fig. 10 The experimental device



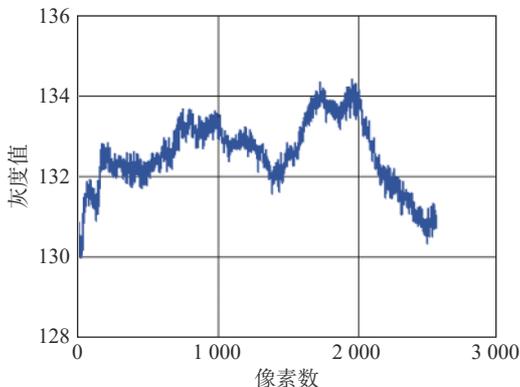
(a) 分辨率板



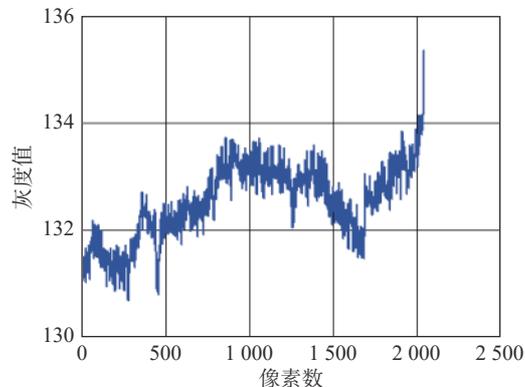
(b) 对比度曲线

图 11 分辨率测试图

Fig. 11 The resolution test



(a) 水平方向灰度曲线



(b) 垂直方向灰度曲线

图 12 MATLAB 分析均匀性结果

Fig. 12 The uniformity analysis results by MATLAB

表 2 均匀性测试结果
Tab. 2 Uniformity test result

灰度类别	最大值	最小值	平均值	均匀性
水平方向灰度	134.4	130.0	132.5	98.0%
垂直方向灰度	135.3	130.7	132.5	98.6%

可知 X 和 Y 方向均匀性均满足要求。

4 结 论

本文根据 OLED 面板自动检测对高成像质量、高照明均匀性的要求, 设计了面板检测用显微光学系统。其中设计的平场复消色差显微物镜成像质量趋近衍射极限, 照明光学系统采用科勒照明结构, 保证了照明均匀性且降低了生产成本。实验表明: 光学系统分辨率达到 $0.775 \mu\text{m}$, 在成像视场范围内照明均匀性可以达到 98% 以上。设计结果与实际测试结果一致, 满足高精度面板检测使用要求。

参考文献:

- [1] 王庆康. OLED 屏机器视觉检测系统的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [2] 张奇之. 自动光学检测技术的发展现状 [J]. 工程技术, 2017(16): 118.
- [3] 薛金来, 巩岩, 李佃蒙. N. A. 0.75 平场复消色差显微物镜光学设计 [J]. 中国光学, 2015, 8(6): 957–963.
- [4] 陈姣, 焦明印, 常伟军, 等. 近紫外-可见光宽波段复消色差显微物镜设计 [J]. 应用光学, 2011, 32(6): 1098–1102.
- [5] 郁晓晖, 高志山, 袁群. 宽光谱长工作距弱荧光信号检测显微物镜设计 [J]. 光学精密工程, 2018, 26(7): 1588–1595.
- [6] 柴常春, 闫红洲, 罗健, 等. 结构光照明显微镜照明系统的设计与仿真 [J]. 工具技术, 2019, 53(7): 99–102.
- [7] 隋成华, 沃圣杰, 徐丹阳, 等. 裂隙灯显微镜照明系统的设计与实现 [J]. 激光与光电子学进展, 2017, 54(11): 112202.
- [8] 张以谟. 应用光学 [M]. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [9] 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.
- [10] 向艳红, 张容, 黄本诚. KFTA 太阳模拟器辐照均匀性仿真 [J]. 航天器环境工程, 2006, 23(5): 288–292.
- [11] 刘石, 张国玉, 孙高飞, 等. 太阳模拟器用光学积分器设计 [J]. 光子学报, 2013, 42(4): 467–470.

(编辑: 刘铁英)