

液晶显示器激光背光光源侧体发光光纤的设计与研究

赵致童, 张 贺, 邹永刚, 马晓辉

长春理工大学高功率半导体激光国家重点实验室 吉林 长春 130022

摘要 设计并研究了对光纤侧面加工的方法,使光纤侧面发光,从而获得了液晶显示器背光模组所需要的多发光点结构的激光光源。模拟分析了对光纤侧面加工时不同孔深、孔面积、孔几何结构等参数对光纤光场的影响,得到了各个出光点对应光场照度最大值在 5% 均齐度范围内的光场。

关键词 激光物理; 激光显示; 液晶显示器; 半导体激光器; 光纤

中图分类号 TN873

文献标识码 A

doi: 10.3788/CJL201744.0301004

Design and Research of Side Lighted Fiber of Laser Backlight Source in Liquid Crystal Display

Zhao Zhitong, Zhang He, Zou Yonggang, Ma Xiaohui

State Key Laboratory of High Power Semiconductor Laser, Changchun University of Science and Technology, Changchun, Jilin 130022, China

Abstract The method of side-surface process of fiber is designed and studied to make the fiber side lighting, then the laser source of multi-spot structure required by liquid crystal display backlight module is obtained. The effects of different depths, areas and geometrical structures of hole on the optical field of the fiber during the side-surface process are simulated and analyzed. The light field is obtained that the uniformity of the maximum luminous intensity of each light spot is within 5% field.

Key words laser physics; laser display; liquid crystal display; laser diode; fiber

OCIS codes 140.2020; 140.3460; 120.2040

1 引 言

液晶显示器(LCD)在手机、笔记本电脑等设备中有广泛的应用,根据相关统计,2008年世界LCD的产值就已经达到1034亿美元,而这个数字预计在2016年将达到1118亿美元。目前LCD的背光源主要采用发光二极管(LED)和冷阴极荧光灯管(CCFL)^[1-2],与这些光源相比,激光光谱为线谱,色饱和度高,可供选择的谱线很丰富,可构成大色域色度三角形,能覆盖人眼从自然界中所能识别色彩的80%,色彩丰富度是LED灯源的3倍有余;激光电光转换效率高,发光强度大,有利于高亮度、大屏幕显示。用激光作为光源的LCD显示技术已经成为当前研究的热点^[3-7]。

如果简单地将激光器套用在现有的背光源系统中,则必须在原结构的基础上增加红绿蓝(RGB)三色激光合束系统,增加了LCD模组的体积,与LCD越来越薄的市场发展趋势相悖。

传统光纤的基本结构包括纤芯、包层和涂覆层,其中涂覆层起到保护光纤的作用,纤芯的折射率大于包层的折射率,这样,当激光的入射角满足全反射条件时,光能就会在光纤中传输。当对传统光纤纤芯或者包层的折射率、光纤端面结构以及形貌进行微加工时,传统光纤就会变成拥有对应不同功能的新型光纤。目前

收稿日期: 2016-10-10; **收到修改稿日期:** 2016-11-22

基金项目: 吉林省科技计划重点项目(20140204028GX,20150204068GX)、长春理工大学青年科学基金(XQNJJ-2014-15)

作者简介: 赵致童(1988—),男,硕士研究生,主要从事光电子技术方面的研究。E-mail: eshine21@163.com

导师简介: 张 贺(1985—),男,博士,助理研究员,主要从事光电子技术方面的研究。

E-mail: zhhe920@sina.com(通信联系人)

成熟的微加工技术主要包括光纤研磨微加工、化学腐蚀以及激光雕刻技术等。光纤研磨技术发展的时间较长,1980年 Bergh R A 等^[8]首次研究了传统光纤侧端研磨技术,30年来,这项技术的相关工艺已经非常成熟,但是其精度偏低、成本高、成品率低^[9];化学腐蚀技术是利用氢氟酸(HF)对由熔融石英制作而成的光纤进行腐蚀雕刻的方法,Mario Dagenais 及其团队利用这种方法得到最大灵敏度为 1394 nm/RIU 的光纤光栅^[10];激光雕刻用激光直接在光纤上雕刻出设计的结构,饶云江的科研团队利用中心波长 10.6 μm 的二氧化碳激光器将光纤的一侧烧成了周期排列的孔从而制作出长周期光纤光栅(LPG)^[11],可作为探针应用到通信领域^[12-13]。上述侧体发光光纤的制备方法中,化学腐蚀和激光雕刻这两种方法可实现光纤侧面的微加工。

本文主要针对传统光纤,提出对光纤侧面加工改变其发光光场,通过软件模拟了不同孔结构对其漏光光场的影响,得到了适用于 LCD 背光模组的均齐光场。为将半导体激光应用于激光显示提供一种实现方法。

2 模型建立

提出一种以半导体激光器(LD)配合传统光纤作为光源模块的光源外置结构,如图 1 所示。通过对光纤侧端加工使光纤侧面发光。采用这种结构光源的背光模块优势在于:由于光源是用 RGB 三色激光器提供的,其色域比用单片激光器配合荧光粉出白光的光源系统和如今的 LED 光源大;由于光源外置,LCD 背光模组理论上可以做到和光纤直径差不多的厚度,这样避免了因在背光模组增加 RGB 合束系统而导致的模组厚度的上升;对于因大尺寸 LCD 面板的需要而使用大功率激光器的情况,该结构也能很好地解决散热的问题,例如大屏幕液晶电视,外置光源模块可以安放到电视机边框外侧,这样可以对激光器施加风冷、水冷、液氮冷却等装置,解决了激光器因散热问题而导致 LCD 模组体积增加的问题。

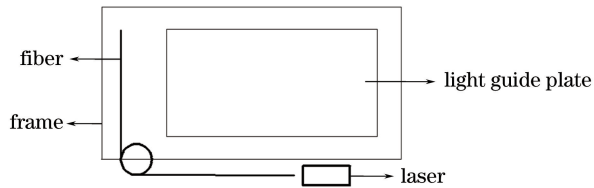


图 1 光源外置激光背光模组

Fig. 1 Laser backlight module with external light source

用 SolidWorks 软件建立光纤模型,如图 2 所示,在远离光源一侧设置倾斜 45°挡板,其表面设置成全反面,作用是将光纤的尾光反射到出光面,从而避免光能浪费,光纤周围其余挡板构成一个槽型装置,内表面均设置为全反面,用来提高光能的利用率,光纤整体半径为 500 μm ,设定芯径的折射率为 1.67,半径为 250 μm ,包层的折射率为 1.33,厚度为 250 μm ,设平行光以 7° 的入射角耦合进光纤,再对光纤芯径进行几何开孔,从而实现光纤的侧体发光,再用 Tracepro 软件进行光线追迹,得到模拟的实验结果。

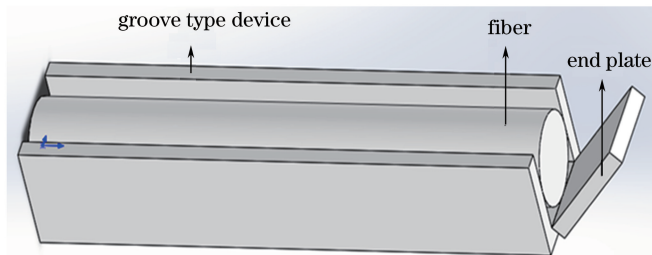


图 2 光纤系统模型

Fig. 2 Optical fiber system model

3 结果与讨论

3.1 侧端开孔

应用 Solidworks 软件对光纤芯径模拟加工,如图 3 所示,图中开孔深度为 d ,圆形半径为 r 。由折射定律可知,在光纤传播的光满足全反射条件时,光会沿着光纤一直向前传播。侧端开孔侧视示意图如图 4 所

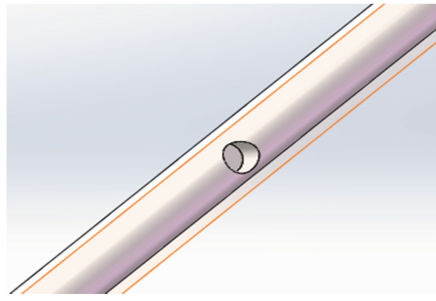


图 3 侧端开孔模型

Fig. 3 Model of side opening hole

示,开孔半径为 r ,深度为 d ,此时,有一部分光(a光)未受到开孔的影响正常传输,还有一部分光(b光、c光)因在开孔处发生多次折射最终漏出光纤。从图 4 中可以看到:虽然孔只是打在光纤的一侧,但是开孔周围均有漏出光;开孔深度 d 影响开孔近光源端漏光的多少;开孔半径影响孔的远光源端截面的位置,当半径 r 增大时,经过光纤下界面反射的、原本正常传输的光能将有一部分受到开孔的影响而从光纤漏出,导致漏光场光照度 E 的增加。

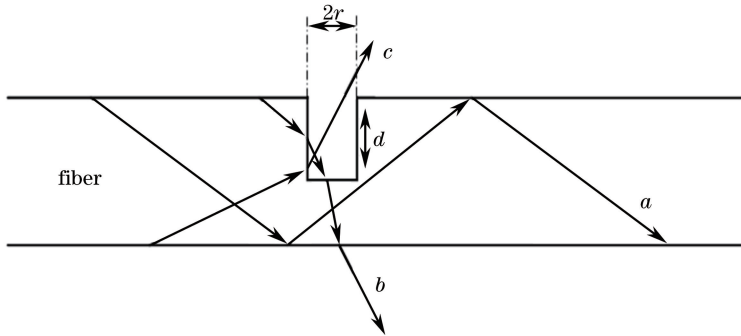


图 4 侧端开孔示意图

Fig. 4 Lateral view of side opening hole

固定 $r=30 \mu\text{m}$,调节不同深度 d 模拟所得不同光场如图 5 所示,模拟数据如表 1 所示。

表 1 侧端开孔深度对光场的影响

Table 1 Effect of depth of side opening hole on light field

| $d / \mu\text{m}$ | $E / (10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|-------------------|--|
| 50 | 6.53 |
| 100 | 10.6 |
| 150 | 11.8 |

固定 $d=100$,调节不同开孔半径 r 所得不同光场如图 6 所示,所得数据如表 2 所示。

表 2 侧端开孔半径对光场的影响

Table 2 Effect of radii of side opening hole on light field

| $r / \mu\text{m}$ | $E / (10^7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|-------------------|--|
| 50 | 1.26 |
| 100 | 2.12 |
| 150 | 3.91 |

通过以上对比分析可以看出,随着参数 d 和 r 的增加,漏光场照度值均会增大。考虑到所选光纤孔径应避免开孔过深或过大在实际中导致光纤易折损,通过多次模拟探索,取 r 值为 $150 \mu\text{m}$,通过改变深度 d 去调整所漏光场的照度。

根据上述规律,对光纤分别做 5 处开孔 A、B、C、D、E,使得 5 处开孔对应的照度最大值均在 $1.5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 的 $\pm 5\%$ 之间,此时,尾光(end)的照度却为 $2.90 \times 10^7 \text{ W/m}^2$,极大地破坏了整体的均匀度,如图 7 所示。

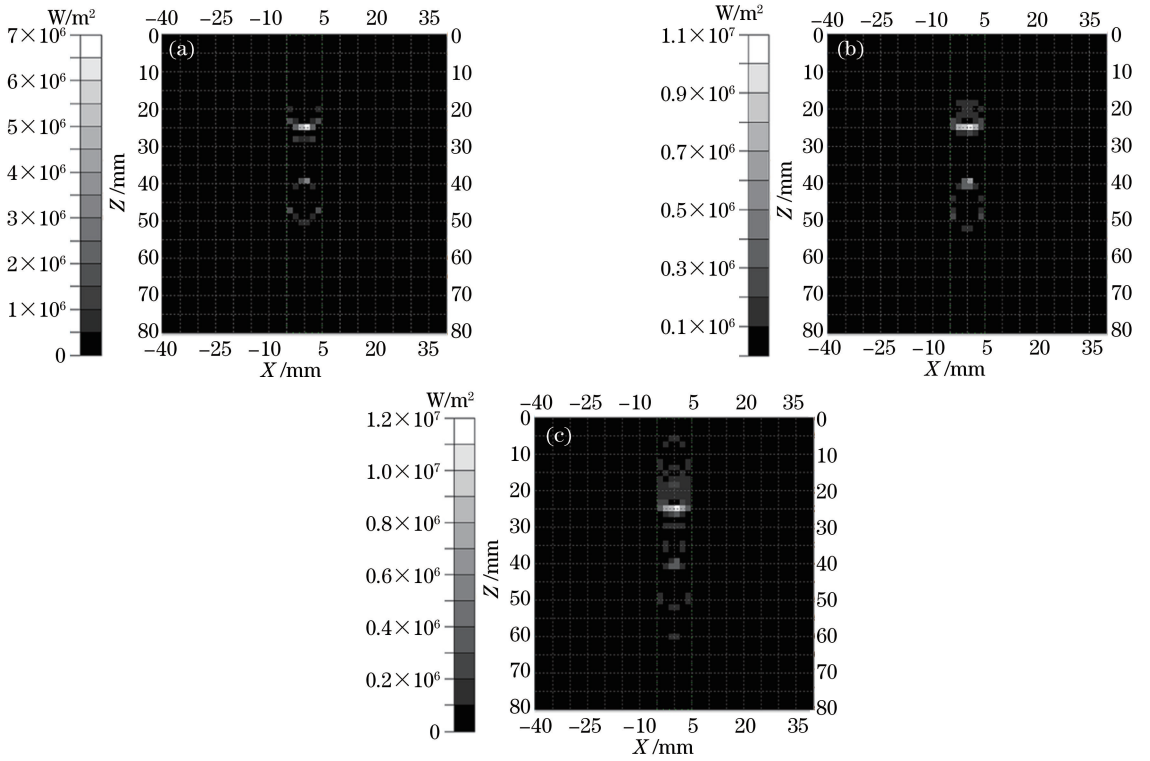


图 5 不同深度对漏光光场的影响。(a) $d=50 \mu m$; (b) $d=100 \mu m$; (c) $d=150 \mu m$

Fig. 5 Influence of different depths on leakage light field. (a) $d=50 \mu m$; (b) $d=100 \mu m$; (c) $d=150 \mu m$

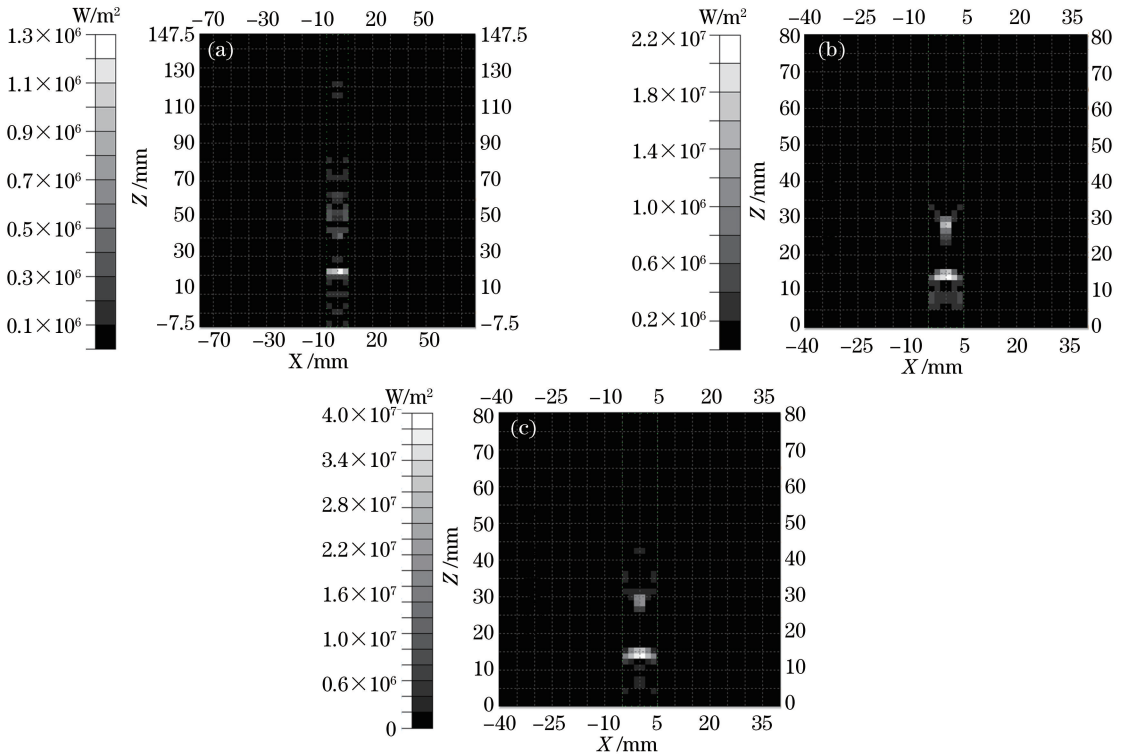


图 6 不同半径对漏光光场的影响。(a) $r=50 \mu m$; (b) $r=100 \mu m$; (c) $r=150 \mu m$

Fig. 6 Influence of different radii on leakage light field. (a) $r=50 \mu m$; (b) $r=100 \mu m$; (c) $r=150 \mu m$

为了解决上述问题,应用辅助漏光与主漏光相结合的技术,先对光纤侧端开辅助漏光口 F、G、H、I、J、K,这些辅助漏光口的作用是将尾光部分多余的光能更均匀地散到整体发光区域,此时,再开主漏光口主漏光孔

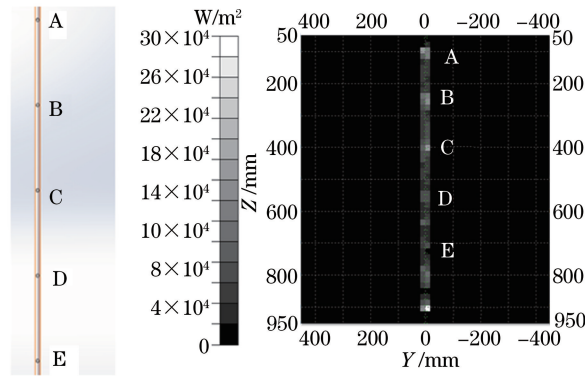


图 7 侧端开孔模拟图

Fig. 7 Simulation diagram of side opening hole

A、B、C、D、E,调整主漏光口的开孔参数 r 和 d ,使得主漏光口和尾光(End)对应的最大照度值保持在 $1.5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 的 $\pm 5\%$ 的均齐度范围内,具体参数如表 3 所示,模拟实验效果如图 8 所示。由此可见,辅助漏光与主漏光相结合的设计,能完美地解决只开主漏光口所面临的尾光过强的问题。

表 3 侧端开孔模拟数据

Table 3 Simulated date of side opening hole

| Position | A | B | C | D | E | End |
|--|------|------|------|------|------|------|
| $r / \mu\text{m}$ | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | — |
| $d / \mu\text{m}$ | 210 | 200 | 190 | 350 | 500 | — |
| $E / (10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ | 1.47 | 1.48 | 1.50 | 1.50 | 1.51 | 1.53 |
| Position | F | G | H | I | J | K |
| $r / \mu\text{m}$ | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| $d / \mu\text{m}$ | 100 | 100 | 100 | 110 | 250 | 250 |
| $E / (10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ | 0.60 | 0.60 | 0.57 | 0.30 | 0.50 | 0.50 |

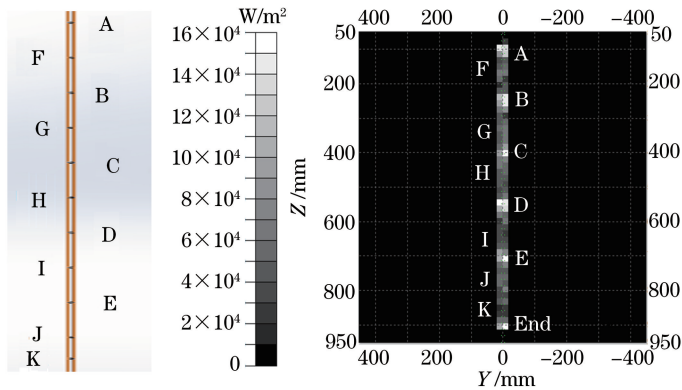


图 8 侧端开孔模拟效果图

Fig. 8 Simulation effect diagram of side opening hole

以上模拟充分证明,光纤侧端开孔技术可以达到适用于 LCD 背光模组的均齐光场。这种侧体光纤的制备需要对同一条光纤的侧端多次打圆柱体结构的孔,比较适合用激光雕刻的方法去实现。

3.2 环形开孔

应用 Solidworks 软件,对光纤芯径模拟加工,长度为 L ,深度为 d ,如图 9 所示。如图 10 所示,(a)为环形切口处端面图,光能直接由切口处露出,故切口深度 d 对所漏光场的光能有较大影响。露出的光只有在切口面发生一次折射,所以,与侧端开孔相比,环形切口所漏光场较整齐。(b)为侧视图, L 为切口区域的长度。由于切口远离光源的那一端对切口所漏光场影响不大,所以参数 L 对光场光能影响较小。

固定 $d=50$,调节不同长度模拟所得不同光场如图 11 所示,所得模拟数据如表 4 所示。

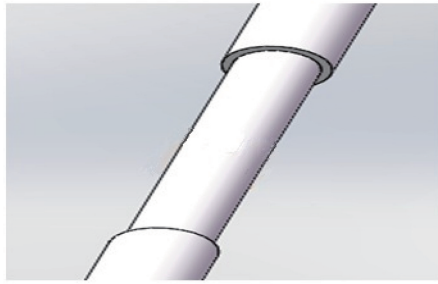


图 9 环形开孔模型

Fig. 9 Model of ring opening hole

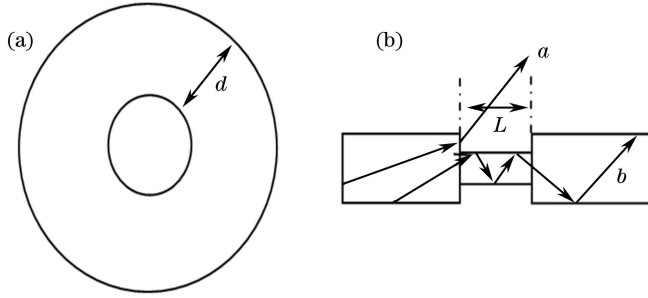


图 10 环形切口示意图。(a) 端面图；(b) 侧视图

Fig. 10 Model of ring opening hole. (a) Front view; (b) lateral view

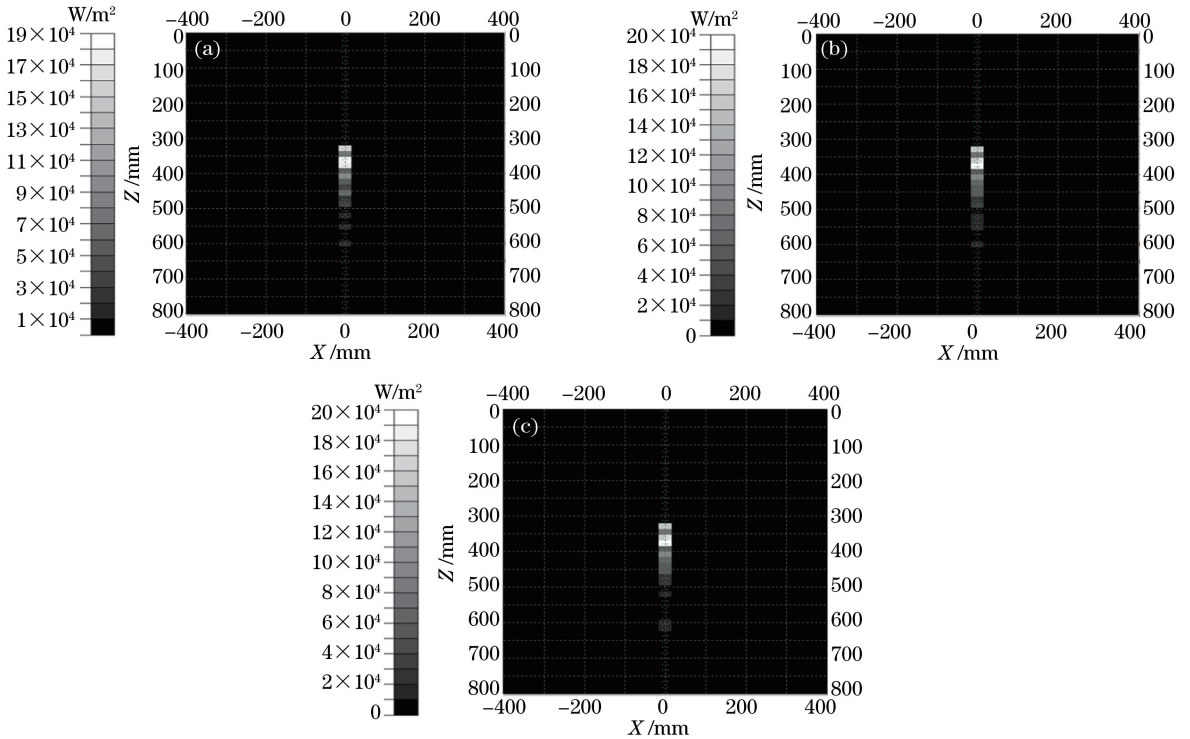


图 11 不同长度对漏光光场的影响。(a) $L=3000 \mu\text{m}$ ；(b) $L=4000 \mu\text{m}$ ；(c) $L=5000 \mu\text{m}$

Fig. 11 Influence of different lengths on leakage light field. (a) $L=3000 \mu\text{m}$ ；(b) $L=4000 \mu\text{m}$ ；(c) $L=5000 \mu\text{m}$

表 4 环形开孔长度对光场的影响

Table 4 Effect of length of ring opening hole on light field

| $L / \mu\text{m}$ | $E / (10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|-------------------|--|
| 3000 | 1.88 |
| 4000 | 1.91 |
| 5000 | 1.92 |

固定 $L = 1000 \mu\text{m}$, 在距离光源 $3000 \mu\text{m}$ 处打孔, 调节不同深度 d 所得不同光场如图 12 所示, 模拟数据如表 5 所示。

表 5 环形开孔深度对光场的影响

Table 5 Effect of depth of ring opening hole on light field

| $d / \mu\text{m}$ | $E / (10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ |
|-------------------|--|
| 50 | 1.85 |
| 100 | 5.36 |
| 150 | 6.87 |

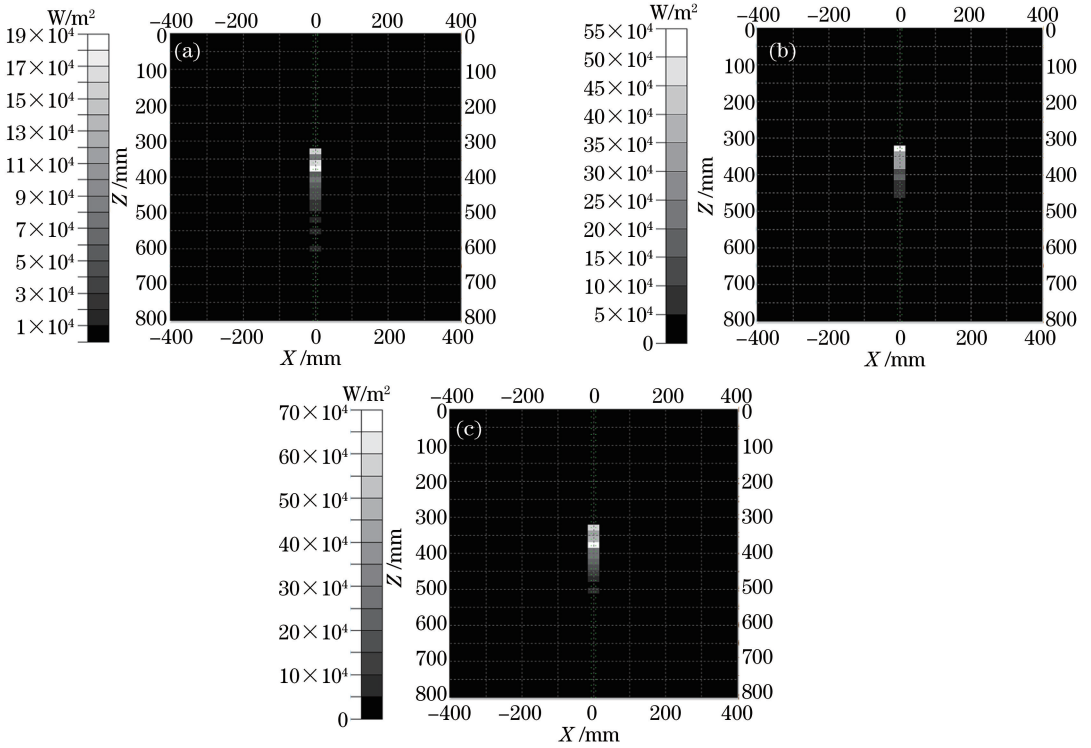


图 12 不同深度对漏光光场的影响。(a) $d = 50 \mu\text{m}$; (b) $d = 100 \mu\text{m}$; (c) $d = 150 \mu\text{m}$

Fig. 12 Influence of different depths on leakage light field. (a) $d = 50 \mu\text{m}$; (b) $d = 100 \mu\text{m}$; (c) $d = 150 \mu\text{m}$

对比表 4 和表 5 的数据可以看出, 环形开孔的长度对所漏光场的影响可以忽略不计。开漏光口 A、B、C、D、E 调节开孔深度 d , 使得漏光口和尾光所对应的照度最大值点在 $1.5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 的 $\pm 5\%$ 之间, 具体参数如表 6 所示, 模拟效果如图 13 所示。

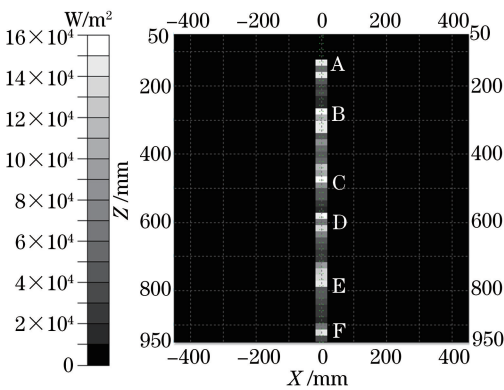


图 13 环形开孔模拟效果图

Fig. 13 Simulation effect diagram of ring opening hole

表 6 环形开孔模拟数据
Table 6 Simulated date of ring opening hole

| Position | A | B | C | D | E | End |
|--|------|------|------|------|------|------|
| $L / \mu\text{m}$ | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | 3000 | — |
| $d / \mu\text{m}$ | 25 | 50 | 65 | 95 | 200 | — |
| $E / (10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2})$ | 1.46 | 1.54 | 1.56 | 1.52 | 1.43 | 1.57 |

由此可见,环形开孔同样能达到预期效果,和侧端开孔相比,不需要辅助漏光口,所以工序上比较简单。考虑到孔的几何构造,这种开孔方式比较适合用化学腐蚀的光纤微加工方法。

4 结 论

对于光纤侧端开孔结构,开孔深度 d 和开孔半径 r 都会对所漏光场造成大幅度影响,如果只对主漏光点 A、B、C、D、E 处进行开孔,会导致尾光光能过大,致使整体均匀度下降,需要配合辅助漏光点 F、G、H、I、J、K,通过调节主漏光点和辅助漏光点,当开孔半径 r 固定为 $150 \mu\text{m}$,A、B、C、D、E、F、G、H、I、J、K 点的开孔深度 d (单位: μm)分别为 210、200、190、350、500、100、100、100、110、250、250 时,得到了主漏光点 A、B、C、D、E 和尾光 M 所对应的照度最大值点在 1.5×10^5 的 $\pm 5\%$ W/m^2 范围内;对于环形开孔,开孔深度 d 对所漏光场影响幅度大,开孔长度 L 对光场影响非常小,可以忽略不计,调整各处开孔深度 d 可以达到均匀光场的目的,通过模拟实验发现,当开孔长度 L 固定为 $300 \mu\text{m}$ 时,调整 A、B、C、D、E 各点的开孔深度 d 值(单位: μm)分别为 25、50、65、95、200,得到漏光点 A、B、C、D、E 和尾光所对应的照度最大值点在 1.5×10^5 的 $\pm 5\%$ W/m^2 范围内。通过两种开孔所得各个对应点照度最大值均能实现 $\pm 5\%$ 的均匀度,达到实验预期效果,满足 LCD 背光模组对光源模块的要求。相比之下,激光雕刻光纤微加工方法适用于侧端开孔的情形,化学腐蚀方法更适用于环形开孔的情形;环形开孔漏光区域较规整,这是不同开孔结构造成的。

参 考 文 献

- [1] Zhang Xiaoyu, Zhao li, Wu Jinhua, *et al.* Study on the relation of TFT LCD color gamut with color filter and backlight [J]. Optoelectronic Technology, 2016, 36(1): 1-4.
张小芸, 赵 丽, 吴金华, 等. TFT 液晶面板色彩与滤色器及背光源关系的研究[J]. 光电子技术, 2016, 36(1): 1-4.
- [2] Xue Sheng. LED back light source for LCD[J]. Advanced Display, 2005(7): 34-37.
雪 生. 用于 LCD 的 LED 背光源[J]. 现代显示, 2005(7): 34-37.
- [3] Liu Jingwei. Research on speckle suppression in laser projection display[D]. Jinan: Shandong University, 2015.
刘敬伟. 激光投影显示散斑抑制方法研究[D]. 济南: 山东大学, 2015.
- [4] Fu Hanyi, Liu Weiqi, Liu Hua, *et al.* Color-recurrent system in high-definition laser display[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(7): 1774-1780.
付瀚毅, 刘伟奇, 柳 华, 等. 高清激光显示中的色彩复现系统[J]. 光学 精密工程, 2014, 22(7): 1774-1780.
- [5] Graggs G M J, Riechert F, Meuret Y, *et al.* Speckle characteristics of a laser projector using nonmodal laser emission of a semiconductor laser[C]. SPIE, 2010, 7387: 73870O.
- [6] Redding B, Choma M A, Cao H. Speckle-free laser imaging using random laser illumination[J]. Nature Photonics, 2012, 6: 355-359.
- [7] Li Yihui. Research on gamut expansion of laser display[D]. Jinan: Shandong University, 2012.
李义辉. 激光显示的色域扩展研究[D]. 济南: 山东大学, 2012.
- [8] Bergh R A, Kotler G, Shaw H J. Single-mode fiber optic directional coupler[J]. IET Electronics Letters, 1980, 16(7): 260-261.
- [9] Bai Yinbing. Development of optical fiber-based micro-processing technologies and functional devices[D]. Hangzhou: Zhejiang University.
白银冰. 光纤微加工技术及器件应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- [10] Chrystis A N, Lee S M, Lee S B, *et al.* High sensitivity evanescent field fiber Bragg grating sensor [J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2005, 17(6): 1253-1255.
- [11] Wang Yiping, Wang D N, Jin Wei, *et al.* Asymmetric long period fiber gratings fabricated by use of CO₂ laser to carve

- periodic grooves on the optical fiber[J]. Applied Physics Letters, 2006, 89: 151105.
- [12] Chen Huifang, Yan Huimin, Shan Guofeng. Design of two-dimensional bending vector sensor based on selective infiltration of photonic crystal fiber[J]. Chinese J Lasers, 2016, 43(1): 0105003.
陈慧芳, 严惠民, 单国峰. 基于选择填充光子晶体光纤的二维弯曲矢量传感器设计[J]. 中国激光, 2016, 43(1): 0105003.
- [13] Liu Pengfei, Hao Fenghuan, He Shaoling, *et al.* A wavelength demodulation method for distributed feedback active fiber grating sensors based on the wavelength scanning technique[J]. Chinese J Lasers, 2016, 43(10): 1010002.
刘鹏飞, 郝凤欢, 何少灵, 等. 一种基于波长扫描的分布反馈有源光纤光栅传感器波长解调方法[J]. 中国激光, 2016, 43(10): 1010002.