

# 激光与光电子学进展

## 液晶显示直下式激光背光源微结构光纤的设计与研究

沈凯锋\*, 吴章强

深圳康佳电子科技有限公司研发中心, 广东 深圳 518000

**摘要** 设计并研究了外置半导体激光器+内置微结构光纤的方案,使光纤侧面发光,从而解决了传统直下式液晶模组需要使用大量发光二极管芯片及内置半导体激光器方案模组体积过大的问题。模拟分析了不同的深度、半径和微结构数量对光纤光场的影响,得到峰值照度为 32650 lx、水平可视角为 85°、垂直可视角为 84°33'35"的光场,达到了 LCD 显示行业的 10000 lx 背光源峰值照度、60°水平可视角、50°垂直可视角的要求,为半导体激光应用于 LCD 直下式显示领域提供一种新的方法。

**关键词** 激光光学; 激光背光; 直下式液晶显示器; 光纤

中图分类号 O436 文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.1114010

### Design of Microstructure Fiber for Direct Down Laser Backlight of Liquid Crystal Displays

Shen Kaifeng\*, Wu Zhangqiang

R & D Center, Shenzhen Konka Electronic Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China

**Abstract** The scheme of an external semiconductor laser with built-in microstructure fiber is designed and studied to achieve fiber-side lighting. This scheme solves the problems associated with traditional direct down liquid crystal modules: these require a large number of light-emitting diode chips, and the volume of the built-in semiconductor laser scheme is too large. The effects of different depths, radii, and the number of microstructures on the optical field are simulated and analyzed. Light field with a peak illumination of 32650 lx, a horizontal viewing angle of 85°, and a vertical viewing angle of 84°33'35" is obtained. These values meet the requirements of the liquid crystal display (LCD) industry for achieving a peak backlight illumination of 10000 lx, a horizontal viewing angle of 60°, and a vertical viewing angle of 50°. The proposed scheme provides a new method for applying semiconductor lasers in the field of LCD display.

**Key words** laser optics; laser backlight; direct down liquid crystal display; optical fiber

**OCIS codes** 120.2040; 140.3460; 140.2020

## 1 引言

液晶平板显示(LCD)在日常显示中有着非常广泛的应用,从小尺寸的手机、平板电脑到大尺寸的巨

幕电视都会用到液晶面板。目前直下式 LCD 背光模组多使用冷阴极荧光灯管(CCFL)和发光二极管(LED)<sup>[1-2]</sup>。与这两种光源相比,半导体激光器(LD)可以达到更高的单芯功率,在保证亮度的前提下明

收稿日期: 2020-11-25; 修回日期: 2020-12-02; 录用日期: 2020-12-14

\*E-mail: 1074965264@qq.com

显减少使用光源的数量;激光光谱为线形光谱,且激光的单色性好,更容易实现高色域的显示<sup>[3-4]</sup>。

如果简单地将激光器置于目前成熟的直下式背光模组中,势必会增加LCD模组的体积。国内外科研人员对此做了很多优化研究,大致分为三类:第一类是利用透镜组将激光的发散角扩大<sup>[5]</sup>;第二类是利用整形的衍射光学元件(DOE)将激光的发散角扩大<sup>[6]</sup>;第三类是利用光纤作为传光介质,再通过对光纤的处理将激光发散。目前已知的两种光纤发散激光的方法为:在光纤的侧面开孔,将光场漏出;在某一部位缩小光纤直径,破坏全反射。前人对这两种方法应用于侧入式LCD显示做了不少研究<sup>[7]</sup>。

传统光纤的基本架构包括纤芯、包层和涂覆层,其中涂覆层起到了保护光纤的作用,纤芯的折射率大于包层折射率,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。对传统的光纤纤芯、包层或者端面结构进行微加工时,传统光纤就会变成具有不同功能的功能型光纤<sup>[8-11]</sup>。目前成熟的光纤微加工方法主要包括化学腐蚀法、光纤研磨微加工法以及激光雕刻法等。上述三种方法中,激光雕刻法较为适用于光纤侧面加工。激光雕刻法是利用激光直接在光纤上雕刻出设计的结构,饶云江团队利用中心波长为  $10.6\ \mu\text{m}$  的二氧化碳激光器制成长周期光纤光栅(LPG)<sup>[12]</sup>。

本文主要针对传统直下式LCD模组需要使用大量LED芯片,内置半导体激光器方案模组体积过大的缺点,提出一种外置半导体激光器+内置微结构光纤的方案,通过软件模拟凹槽深度、凹槽半径和微结构数量对发光强度的影响,最终得到峰值照度为  $32650\ \text{lx}$ 、水平可视角  $H$  为  $85^\circ$ 、垂直可视角  $V$  为  $84^\circ 33' 35''$  的光场,基本满足LCD显示行业的  $10000\ \text{lx}$  背光源峰值照度、 $60^\circ$  水平可视角、 $50^\circ$  垂直可视角的要求,为半导体激光器应用于LCD直下式显示领域提供一种新的方法。

## 2 基本原理与模型构造

### 2.1 基本原理

在光纤中导入一种球形凹槽,在凹槽表面镀银形成可反射的镜面,使得在光纤中传输激光的入射角减小,光纤中的全反射被破坏,从而折射出激光。

图1为激光经过凹槽结构时光路示意图,其中球形凹槽半径为  $R$ ,凹槽深度为  $h$ ,光纤直径为  $d$ 。影

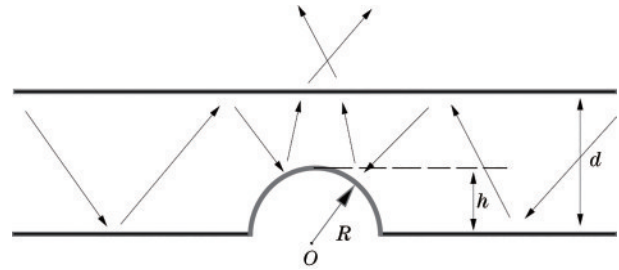


图1 光路示意图

Fig. 1 Light path diagram

响光线在光纤中全反射传输的主要因素是球形镜面凹槽在光纤中所占的体积。球形镜面凹槽在光纤中所占的体积主要由凹槽半径  $R$  和凹槽深度  $h$  决定。

如图2所示,当凹槽深度  $h$  不变时,增大凹槽半径  $R$ ,会使球形镜面凹槽在光纤中的横向面积增大,会有更多的光线因全反射被破坏而从顶部折射出光纤。

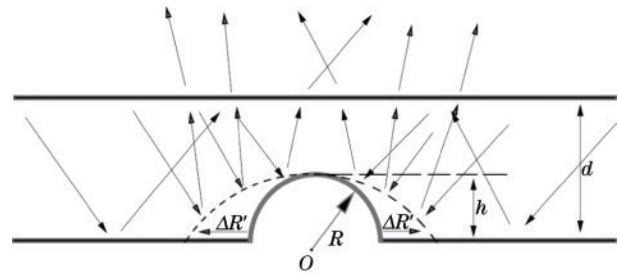


图2 凹槽半径  $R$  变化时的光路示意图

Fig. 2 Light path diagram with the variational groove radius  $R$

如图3所示,当凹槽半径  $R$  不变时,增大凹槽深度  $h$ ,会使球形镜面凹槽在光纤中的纵向面积增大,顶部出射光线数量减少,光线折射出光纤的路程更短,底部漏光现象更为明显。

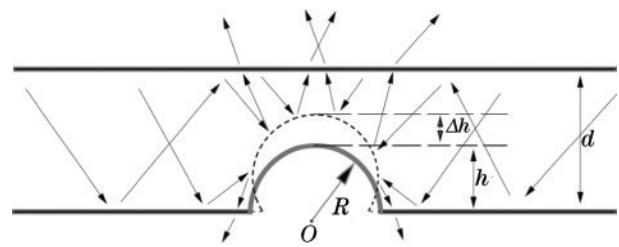


图3 凹槽深度  $h$  变化时的光路示意图

Fig. 3 Light path diagram with the variational groove depth  $h$

### 2.2 模型构造

通过TracePro软件构造微结构模型。如图4所示,在一根半径为  $r$  的光纤上用一个半径为  $R$  的球体进行作差的布尔运算,得到半径为  $R$  的球形凹槽曲面,同时对此面进行100%反射设置。

如图5所示,利用TracePro软件构建单个微结

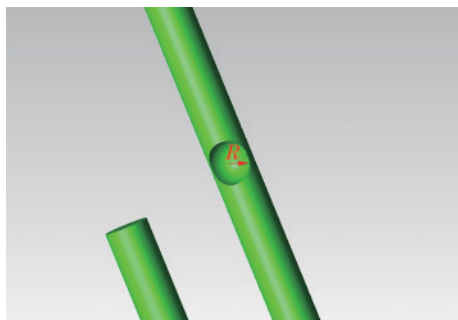


图 4 微结构示意图

Fig. 4 Microstructure diagram

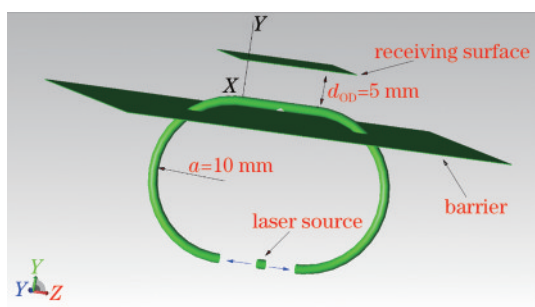


图 5 单个微结构模拟模型

Fig. 5 Single microstructure simulation model

构的模拟模型,此处将采用两个光通量为 1000 lm、光斑直径为 1.2 mm、波长为 450 nm 的激光光源分别向光纤两端出射近乎平行的激光。在光纤上方 5 mm 处设置了一个 15 mm×15 mm 的接收面。平行激光经过弯曲段(半径  $a=10$  mm)后以全反射形式传输,通过微结构出光打到接收面,利用阻隔面阻挡下方杂光。

在微结构模型的基础上,构建包含 3 根光纤的 32 寸(1 寸=3.33 cm)背光模组来验证微结构在背光模组中的光场效果。本研究将使用 3×3 的模型构造进行介绍,3×3 模型是指在光腔内部均匀分布 3 根光纤,每根光纤上均匀分布 3 个上述微结构。

如图 6 所示,使用 6 个光通量为 1000 lm、光斑直径为 1.2 mm、波长为 450 nm 的激光光源( $E$ 、 $F$ 、 $G$  处)沿着虚线箭头的两个方向分别给 6 个光纤端口输入近似平行的激光光线。

如图 7 所示, $A$ 、 $B$ 、 $C$  为 3 根相同的光纤,均匀分布在模组腔  $D$  内部,每根光纤中在  $a$ 、 $b$ 、 $c$  3 处增加上文所述的微结构,整个腔体内部的表面属性设置为 100% 反射。从整体来看, $f$  为激光平行传输转为全反射传输处, $e$  为激光通过全反射传输,在光纤上方 20 mm 处设置一个 800 mm×500 mm 的接收面。

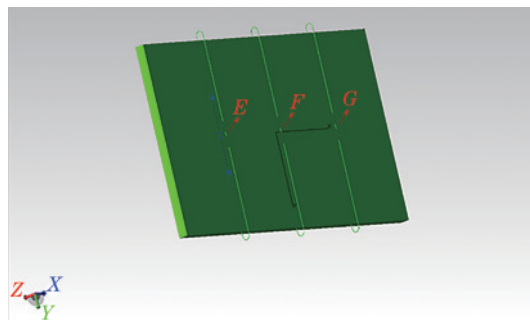


图 6 3×3 模组结构后视图

Fig. 6 Back view of the 3×3 module structure

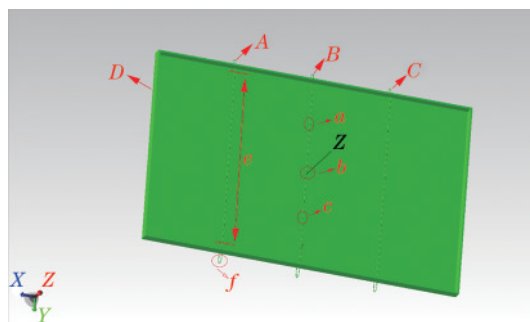


图 7 模组结构正视图

Fig. 7 Front view of the module structure

### 3 分析与讨论

本节将从单个微结构的方案开始探究,确定一个较优的凹槽半径与凹槽深度设计方案,构建一个包含 3 根光纤的 32 寸背光模组,探究微结构数量对整个背光模组光场的影响。

为了探究球形凹槽半径  $R$  与凹槽深度  $h$  对整个微结构发光强度的影响,利用 TracePro 软件对单个微结构的发光强度进行了模拟。

首先,确定光纤纤芯  $r_{ic}=0.6$  mm、折射率为 1.49,包层折射率为 1。利用前文所述的建模方法构建针对单个微结构的模拟模型(图 5)。

然后,固定  $h=0.6$  mm,调节凹槽半径  $R$ ,模拟得到不同的光场如图 8 所示,模拟数据如表 1 所示。

从表 1 可以看出,随着球形凹槽半径  $R$  逐渐变大,峰值照度(peak luminance)与平均照度(average luminance)都增加,但水平可视角  $H$ (垂直于光纤延伸方向)逐渐减小,垂直可视角  $V$ (平行于光纤延伸方向)较为稳定。水平可视角  $H$  为接收面中心点位置到发光中心点位置的连线与接收面中心点水平方向上 1/3 峰值照度位置到发光中心点位置的连线之间的角度;垂直可视角  $V$  为接收面中心点位置到发光中心点位置的连线与接收面中心点垂直方向



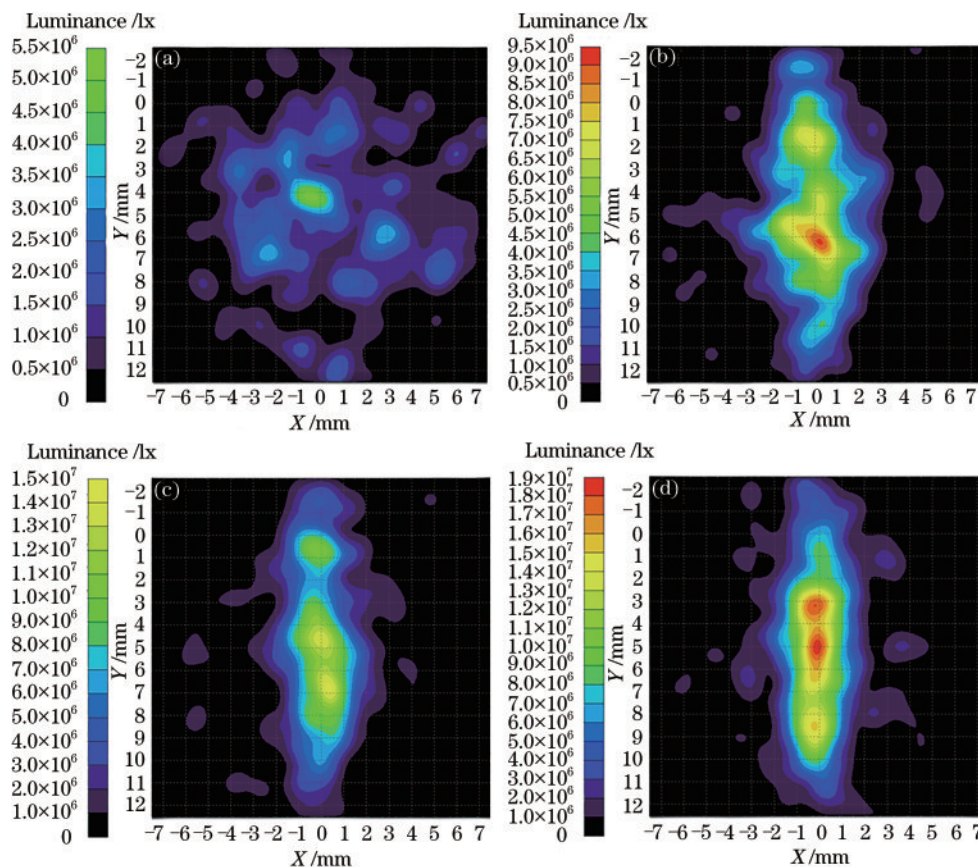


图 8 球形凹槽半径  $R$  对光场的影响。(a)  $R=0.4$  mm; (b)  $R=0.6$  mm; (c)  $R=0.8$  mm; (d)  $R=1.0$  mm

Fig. 8 Effect of spherical recess radius  $R$  on light field. (a)  $R=0.4$  mm; (b)  $R=0.6$  mm; (c)  $R=0.8$  mm; (d)  $R=1.0$  mm

表 1 球形凹槽半径  $R$  对光场的影响

Table 1 Effect of spherical recess radius  $R$  on light field

$R$ / mm	Peak luminance / ( $10^7$ lx)	Viewing angle / ( $^\circ$ )		Average luminance / ( $10^6$ lx)
		$H$	$V$	
0.4	0.52	33	46	0.75
0.6	0.91	23	53	1.0
0.8	1.4	15	45	1.5
1.0	1.9	13	47	1.9

上 1/3 峰值照度位置到发光中心点位置的连线之间的角度。

固定  $R=0.6$  mm, 调节凹槽深度  $h$ , 模拟得到的不同光场如图 9 所示, 模拟数据如表 2 所示。

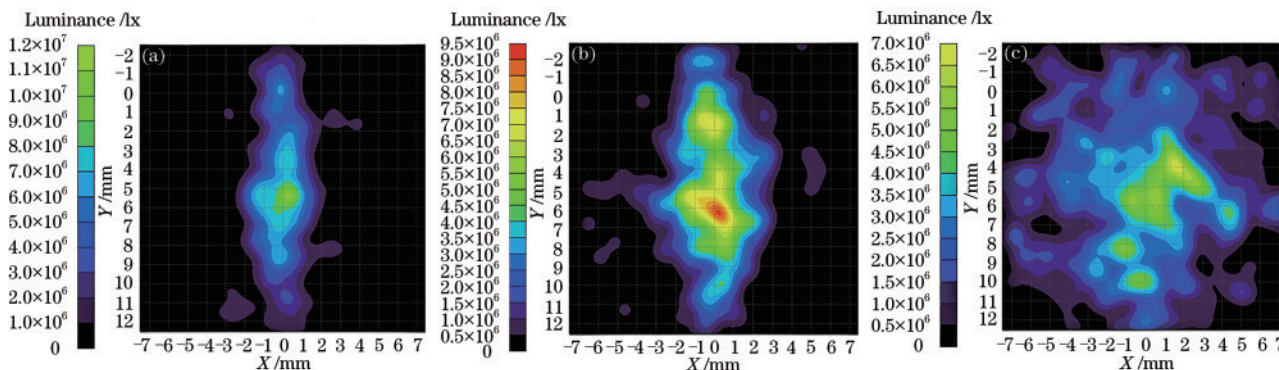


图 9 凹槽深度  $h$  对光场的影响。(a)  $h=0.4$  mm; (b)  $h=0.6$  mm; (c)  $h=0.8$  mm

Fig. 9 Effect of groove depth  $h$  on light field. (a)  $h=0.4$  mm; (b)  $h=0.6$  mm; (c)  $h=0.8$  mm

表 2 凹槽深度  $h$  对光场的影响  
Table 2 Effect of groove depth  $h$  on light field

$h$ /mm	Peak luminance /( $10^7$ lx)	Viewing angle /( $^\circ$ )		Average luminance /( $10^6$ lx)
		$H$	$V$	
0.4	1.1	2	48	0.96
0.6	0.91	23	53	1.0
0.8	0.68	42	55	1.5

从表 2 可以看出,随着凹槽深度  $h$  不断增大,其可视角  $H$ 、 $V$  与平均照度都在增加,峰值照度却在降低。当  $h=0.4$  mm 时,水平可视角  $H$  非常小;当  $h$  改变时,水平可视角  $H$  变化剧烈。

利用上述结论结合前文建模方法,可以构建一

个包含 3 根光纤的 32 寸背光模组(不包含光学膜材)。通过构建  $3 \times 3$ 、 $3 \times 4$ 、 $3 \times 5$ 、 $3 \times 6$  模型尝试得出光纤数量一定时较优的微结构数量。选取  $R=h=r=0.6$  mm,模拟所得光场如图 10~13 所示,模拟数据如表 3 所示。

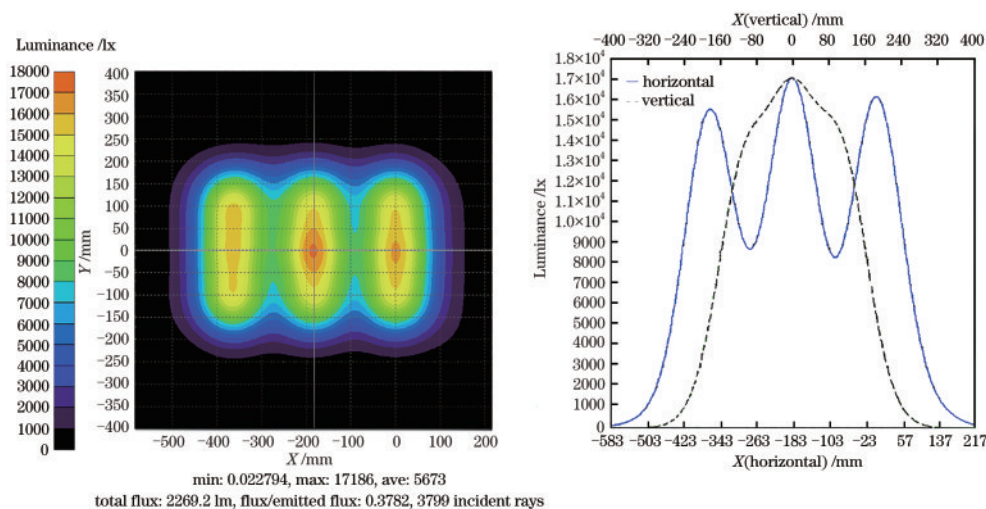


图 10  $3 \times 3$  模型的模拟光场

Fig. 10 Simulated light field in  $3 \times 3$  model

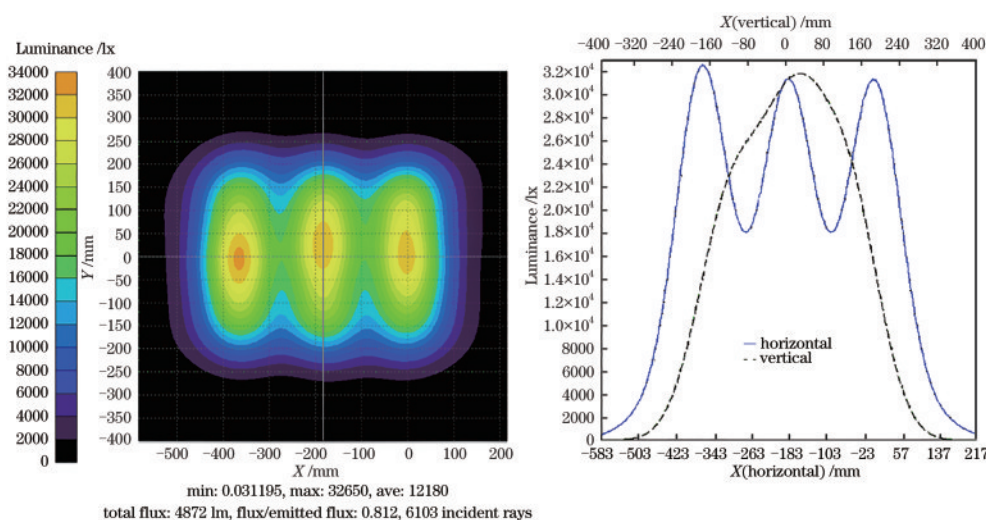


图 11  $3 \times 4$  模型的模拟光场

Fig. 11 Simulated light field in  $3 \times 4$  model

对比不同模型的模拟数据可以看出:在每根光纤利用 2 个光通量为 1000 lm 激光光源的情况下(总

计 6 个激光光源),整个背光模组的光照度受到微结构密度的影响。在 3 根光纤的模型中,当每根光纤



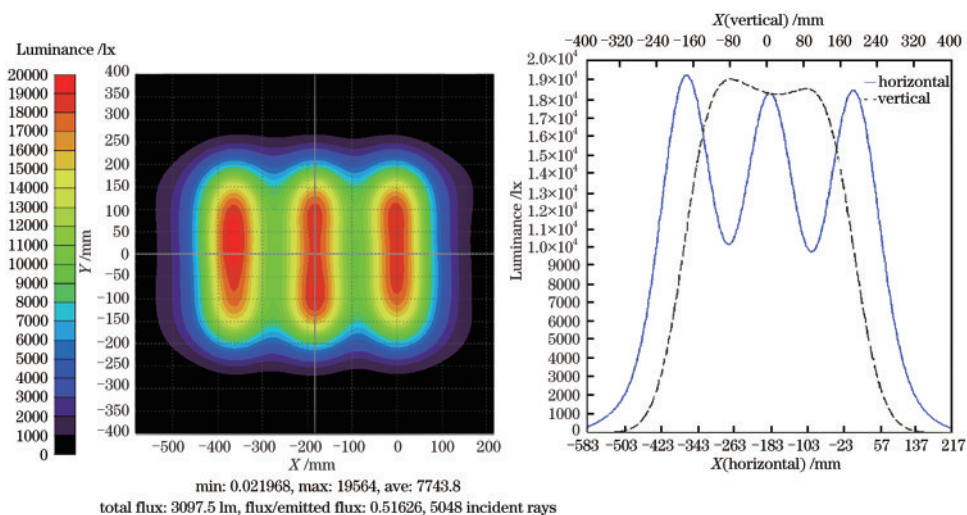


图 12 3×5模型的模拟光场

Fig. 12 Simulated light field in 3×5 model

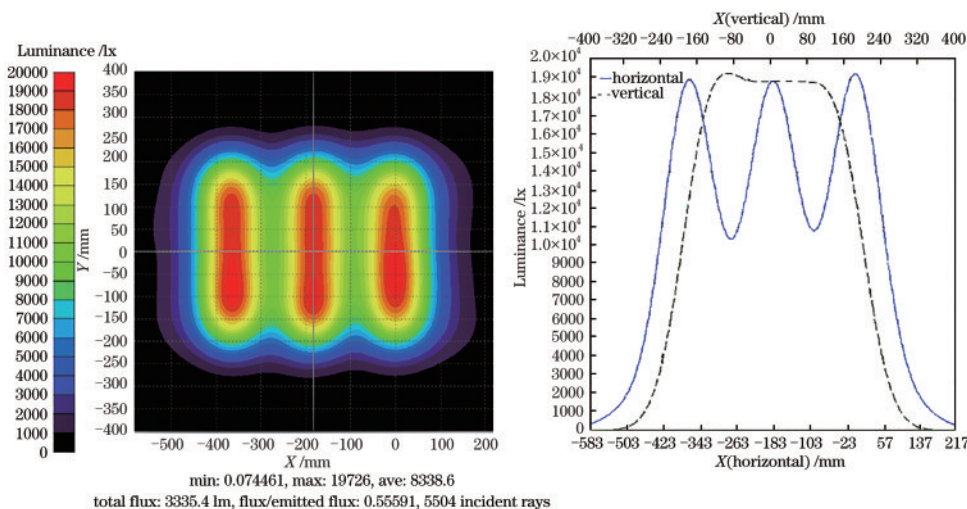


图 13 3×6模型的模拟光场

Fig. 13 Simulated light field in 3×6 model

表 3 不同模型对光场的影响

Table 3 Effect of different models on light field

Model	Peak luminance /lx	Viewing angle		Average luminance /lx	Total luminous flux /lm	Light efficiency /%
		H/(°)	V			
3×3	17186	85	83°39'35"	5673	2269	37.8
3×4	32650	85	84°33'35"	12180	4872	81.2
3×5	19564	85	84°48'20"	7743	3097	51.6
3×6	19726	85	85°1'49"	8338	3335	55.6

上存在4个均匀分布的微结构时,整个背光模组处于最亮的状态,发光效率达到81.2%;每根光纤微结构的数量影响到整个背光模组的垂直可视角V,但对水平可视角H的影响不大。

## 4 结 论

对于光纤侧端微结构,凹槽深度h和凹槽半径

R都会对所漏光场造成较大影响。当凹槽深度h固定为0.6 mm,凹槽半径R分别为0.4,0.6,0.8,1.0 mm时,单个微结构光纤光场的峰值照度从 $5.2 \times 10^6$  lx增长到 $1.9 \times 10^7$  lx,水平可视角H从33°骤降到13°;当凹槽半径R固定为0.6 mm,凹槽深度h分别为0.4,0.6,0.8 mm时,单个微结构光纤光场的峰值照度从 $1.1 \times 10^7$  lx降低至 $6.8 \times 10^6$  lx,平均照

度反而从  $9.6 \times 10^5$  lx 增长至  $1.5 \times 10^6$  lx, 水平可视角  $H$  从  $2^\circ$  骤升至  $42^\circ$ , 垂直可视角  $V$  从  $48^\circ$  缓慢增长至  $55^\circ$ 。对于完整的背光模组结构, 单根光纤上的微结构数量会对漏光场造成不小影响。当凹槽深度  $h$ 、凹槽半径  $R$  和光纤半径  $r$  都固定为  $0.6$  mm, 单根光纤上均匀分布的微结构数量分别为 3、4、5、6 时, 32 寸背光模组光场的水平可视角  $H$  几乎不变, 垂直可视角  $V$  从  $83^\circ 39' 35''$  缓慢增长至  $85^\circ 1' 49''$ , 峰值照度和平均照度在微结构数量为 4 时达到最大值, 分别为  $32650$  lx 和  $12180$  lx。通过这种微结构光纤的设计得到峰值照度为  $32650$  lx、水平可视角为  $85^\circ$ 、垂直可视角为  $84^\circ 33' 35''$  的光场, 实现了背光峰值照度为  $10000$  lx、水平可视角  $H$  大于  $60^\circ$ 、垂直可视角  $V$  大于  $50^\circ$  的预期目标, 满足直下式 LCD 背光模组对光源模块的要求。对于后续多光纤状态下使用几个微结构、微结构如何排布能使模组光场达到最亮, 多少个光纤能对混光距离的减小有影响等问题仍待后续研究。

### 参 考 文 献

- [1] Zhang X Y, Zhao L, Wu J H, 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 S. 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] Li Y H. 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.
- [4] Hollemann G. RGB lasers for laser projection displays [J]. Proceedings of SPIE, 2000, 3954: 140-151.
- [5] Xie H S. A direct down laser backlight module and its display: CN201120137767.0 [P]. 2012-06-13.  
谢鸿生. 一种直下式激光背光模组及其显示器: CN201120137767.0 [P]. 2012-06-13.
- [6] Liu Z X. Design of direct-lit laser backlight unit[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2019.  
刘子学. 直下式激光背光模组设计[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2019.
- [7] Zhao Z T, Zhang H, Zou Y G, et al. Design and research of side lighted fiber of laser backlight source in liquid crystal display [J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(3): 0301004.  
赵致童, 张贺, 邹永刚, 等. 液晶显示器激光背光源侧体发光光纤的设计与研究[J]. 中国激光, 2017, 44(3): 0301004.
- [8] Chen H F, Yan H M, Shan G F. Design of two-dimensional bending vector sensor based on selective infiltration of photonic crystal fiber [J]. Chinese Journal of 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.
- [9] Yan J, Li W, Jiang M S, et al. Shape perception and three-dimensional reconstruction technology of plate structure based on fiber Bragg grating sensor [J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(11): 1106006.  
闫洁, 李伟, 姜明顺, 等. 基于光纤光栅传感器的板状结构形态感知与三维重构技术[J]. 中国激光, 2020, 47(11): 1106006.
- [10] Chen X L, He Y, Xu Z W, et al. Theoretical and experimental investigation of a 10-kW high-efficiency 1070-nm fiber amplifier[J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(10): 1006001.  
陈晓龙, 何宇, 徐中巍, 等. 10 kW 高效率 1070 nm 光纤放大器的理论与实验研究[J]. 中国激光, 2020, 47(10): 1006001.
- [11] Shen S, Wei H M, Wang J, et al. 3D printing optical fiber Fabry-Perot cavity acoustic emission sensor[J]. Chinese Journal of Lasers, 2020, 47(9): 0906004.  
沈诗, 魏鹤鸣, 王俊, 等. 3D 打印光纤法布里-珀罗腔声发射传感器[J]. 中国激光, 2020, 47(9): 0906004.
- [12] Wang Y P, Wang D N, Jin W, et al. Asymmetric long period fiber gratings fabricated by use of CO<sub>2</sub> laser to carve periodic grooves on the optical fiber [J]. Applied Physics Letters, 2006, 89(15): 151105.