

基于后动态聚焦振镜系统激光打点优化研究

晏恒峰¹ 陈继民¹ 邵 军²

(¹北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124; ²海目(北京)激光与数控发展有限公司, 北京 100176)

摘要 导光板(LGP)作为液晶显示(LCD)技术的背光源,已得到了广泛的应用。导光板材料的反射面有大量反射点,目前照明用导光板多采用丝网印刷或激光雕刻制备这些反射点。丝网印刷的油墨反射点容易老化脱落,激光雕刻的优势在于更具个性化,生产灵活且环保等,是今后的发展趋势。传统激光雕刻方式效率低,且缺乏工艺优化。提出一套基于后动态聚焦振镜系统的激光打点方法及相应的工艺优化方法,该方法加工效果优异,加工效率显著提高。

关键词 激光技术; 激光打点; 导光板; 后动态聚焦振镜; 背光源

中图分类号 TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201340.0903006

Study on Laser Dots Marking Based on Dynamic Focusing Galvanometer System

Yan Hengfeng¹ Chen Jimin¹ Shao Jun²

(¹Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)
(²HM Beijing Laser and NC Development Co. Ltd., Beijing, 100176, China)

Abstract The light guide plate (LGP) as the backlight of the liquid crystal display (LCD), has been applied widely. The manufacturing principle arranging the reflection point on the surface of the the LGP material. Currently LGP for lighting is manufactured by screen printing and laser engraving. Laser engraving is more personalized, flexible and green, but the traditional laser engraving way, whose efficiency is too low, is lack of processing optimization. A methodology of laser dots marking that based on dynamic focus galvanometer system is proposed. The corresponding process optimization method is developed. It improves the effectiveness and efficiency of processing significantly.

Key words laser technique; laser dots marking; light guide plate; dynamic focus galvanometer system; backlight

OCIS codes 140.3390; 140.3510; 160.5470; 140.3470

1 引言

导光板(LGP)照明技术是目前大多数液晶显示屏背光照明的主流方法^[1-3],其体积小巧轻薄,对光的利用效率较高,且电力消耗低。该照明方式逐渐被灯箱及普通照明行业所采用。目前所采用的制造方法主要有模具注塑,数控雕刻机刀具雕刻,丝网印刷,绘图仪式雕刻机激光雕刻等。本文提出一种基于后动态聚焦振镜系统的激光打点系统,以及所需的加工图档处理方法。可配合网点设计工艺,利用激光控制技术对点大小,深度等参数进行控制,实现了完整的导光板生产工艺。该工艺比绘图仪式激光雕刻加工工艺效率更高,工艺参数控制更灵活;效率远超数控雕刻机刀具雕刻工艺;比丝网印刷及模具

注塑更环保,生产更灵活,技术门槛更低。

2 原理和加工方法

导光板的原理是利用聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)透明导光板将由冷阴极荧光灯管(线光源)或LED发出的白光,从透明板端面导入,借助导光板两面的反射,扩散到整个板面,当光照射到导光板背面的反光点时发生漫反射,从而起到照明的作用^[4-5](如图1所示)。通过控制反射点的密度分布,使离光源近的区域出射光线较少,远离光源的位置出射光线较多,从而实现光线在工作面的均匀出射。排布与加工反射点是导光板的关键技术,目前已有用于布

收稿日期: 2013-03-07; 收到修改稿日期: 2013-05-04

基金项目: 北京市教委重点项目暨北京市自然科学基金(KZ200910005006)

作者简介: 晏恒峰(1986-),男,博士研究生,主要从事激光微加工应用和工艺方面的研究。E-mail: lastyh@163.com

导师简介: 陈继民(1965-),男,教授,博士生导师,主要从事激光加工方面的研究。E-mail: jimin@bjut.edu.cn

点设计的软件,而常见的点阵加工方法有:

1) 用波长约为 1064 nm 的脉冲激光在金属上钻孔制成模具,再用高精密注塑机注塑制成导光板。该方法精细度高,一致性好,但成本和技术门槛高,不利于灵活、个性化生产。本文提出的部分优化方法对该种工艺同样适用。

2) 丝网印刷方法。在油墨中加入促进散射的材料,直接在 PMMA 上印刷网点,该方法目前在新兴起的普通照明行业应用较为广泛。需要完整的丝网印刷生产线,特点是生产效率高,但印刷的油墨容易老化脱落,印刷精细度欠缺。

3) 计算机数字控制(CNC)雕刻机直接雕刻网点的方法,比较利于灵活生产,但是效率低,刀具易磨损。刀具磨损难于监控,会导致导光板一致性较低,目前已较少应用。

4) 用 CO₂ 激光直接在 PMMA 材料上标刻网点^[6-9],作为一种新的方法逐渐受到重视。该方法门槛较低,且可实现从图纸到产品的“所见即所得”。非常利于灵活生产和个性化定制。激光加工较丝网印刷等工艺而言,环保程度更高。然而目前使用的设备大多为皮带式雕刻机,有很多特殊工艺难以实现,加工效率较低。

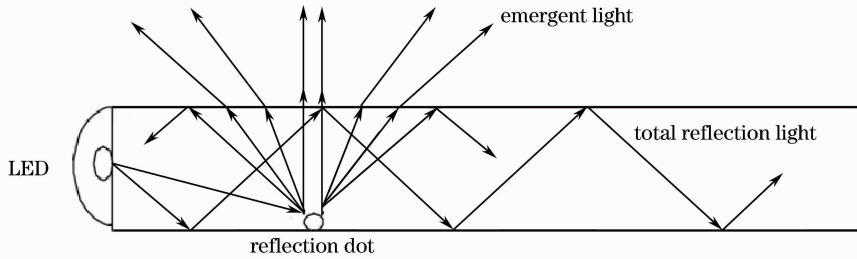


图 1 导光板原理

Fig. 1 Principle of LGP

传统振镜系统虽然扫描速度快,但由于 F-theta 透镜的限制,加工幅面难以做大。本文采用了新型后动态聚焦振镜系统,该系统在普通的两轴振镜系统上增加一个轴,用于动态地改变焦距,也叫三轴振镜扫描系统。它摆脱了 F-theta 透镜尺寸的限制,目前最大的加工幅面可达 1500 mm × 1500 mm(适用于波长为 1064 nm 的激光)。

导光板的网点设计方案复杂,主要表现在点类型非常多,包括圆形点、方形点、线、弧线、不规则图形等。点的排布方法有矩阵式分别、密度分布、乱数分布等。排布原则是通过排布反射点,使出射光更多,光强分布更均匀。

图 2 是一种矩阵式布点方式,它的点间距是一致的,仅靠点的大小变化来控制出射光强。图 3 为

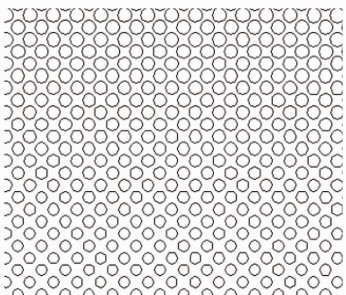


图 2 矩阵式布点方式

Fig. 2 Matrix dots arrangement

不规则布点方式,它允许点的大小一致,靠点的密度分布来控制出射光强,亦可通点大小变化,使控制更加灵活。

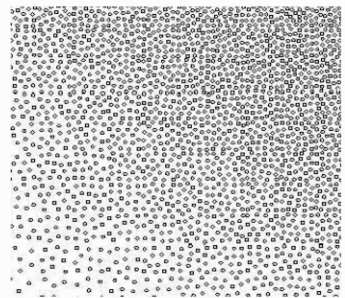


图 3 不规则布点方式

Fig. 3 Random dots arrangement

以上两种方式皆为激光加工导光板常用布点方式,既可用于激光在金属材料上打孔再注塑,也可用于直接在 PMMA 材料上标刻。圆形点排布有如下优点:

- 1) 利于前期计算,仿真及后期测量、检测加工结果;
- 2) 适合用激光加工;
- 3) 易获得较高的优良品率。

3 实验系统

本实验采用的系统结构如图 4 所示。系统使用

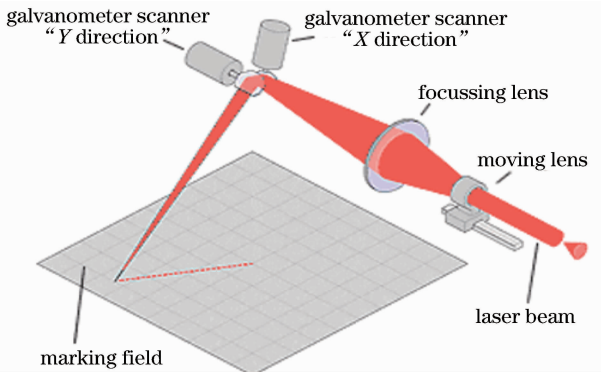


图 4 实验系统

Fig. 4 Experimental system

50 W CO₂ 激光器, 经聚焦后光斑直径大小约为 0.15 mm。读入仅含有有点位置的点文件, 使用激光光刻软件直接进行打点。打标尺寸为 600 mm × 600 mm。在此工作状态下, XY 振镜离工作面的距离约 900 mm, 距离越远, 加工幅面越大, 实际打标后的图案极容易变形, 通常呈现透视类型的畸变(如图 5 所示)。在两轴振镜系统中若遇此问题, 通常采用的方法是校正 F-theta 透镜, 但在三轴系统中, 由于校正非常复杂, 无法频繁使用。研究发现, 实际过程中变形量通常较小, 一般为毫米级, 但点的数量庞大, 故提出通过计算将变形量分布到点阵中, 从而得到正确的总体外形尺寸, 同时保证点阵的密度分布。

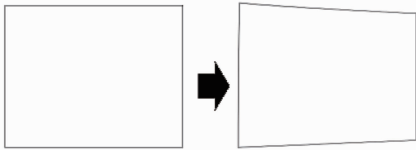


图 5 透视形变

Fig. 5 Perspective deformation

4 数据算法

4.1 透视形变修正

设点矩阵为 $M(x, y)$, 变换后的矩阵为 $M_n(x_n, y_n)$ 。通过本系统提出的输入界面(如图 6 所示), 可

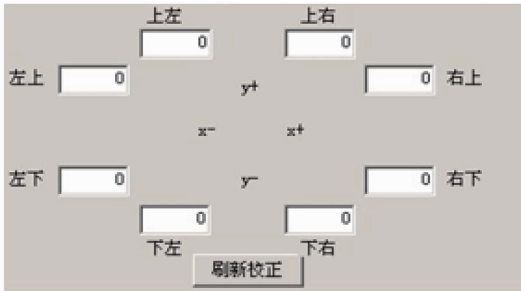


图 6 用户界面

Fig. 6 User interface

获得 8 个校正值: 上右 f_{upright} , 下右 $f_{\text{downright}}$, 上左 f_{upleft} , 下左 f_{downleft} , 右上 f_{rightup} , 右下 $f_{\text{rightdown}}$, 左上 f_{leftup} 和左下 f_{leftdown} 。首先计算出 M 中 XY 的最大和最小值 $X_{\text{max}}, X_{\text{min}}, Y_{\text{max}}, Y_{\text{min}}$ 。则 8 个变量对矩阵的变换可以表述为

$$Y_1 = f_{\text{upright}} \times \left(\frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(\frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (1)$$

$$Y_2 = -f_{\text{downright}} \times \left(\frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(1 - \frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (2)$$

$$Y_3 = f_{\text{upleft}} \times \left(1 - \frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(\frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (3)$$

$$Y_4 = -f_{\text{downleft}} \times \left(1 - \frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(1 - \frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (4)$$

$$X_1 = f_{\text{rightdown}} \times \left(\frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(\frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (5)$$

$$X_2 = -f_{\text{rightdown}} \times \left(\frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(1 - \frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (6)$$

$$X_3 = f_{\text{leftup}} \times \left(1 - \frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(\frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (7)$$

$$X_4 = -f_{\text{leftdown}} \times \left(1 - \frac{X}{X_{\text{max}}}\right) \times \left(1 - \frac{Y}{Y_{\text{max}}}\right), \quad (8)$$

则新的 X_n, Y_n 为

$$X_n = X + X_1 + X_2 + X_3 + X_4, \quad (9)$$

$$Y_n = Y + Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4. \quad (10)$$

图像变换的结果如图 7 所示。经实验证明, 此方法确实可以在不改变出射光强均匀度的前提下, 解决毫米级的形变问题。

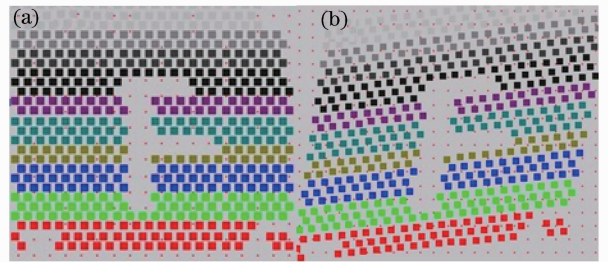


图 7 点阵(a)被转换为点阵(b)

Fig. 7 Dots (a) is transformed to dots (b)

4.2 激光能量与点的大小

利用激光来实现点的大小变换有 2 种方式: 1) 将原始文件的圆点直径直接读入, 按照原图形大小标刻不同尺寸的圆点; 2) 将原文件按点读入, 用不同的能量来实现不同点的大小, 激光功率越大点越大, 激光功率越小则点越小。第一种方式需要机械部分完成大量圆形插补运动, 对机械性能要求极高。而第二种方式的效率相对较高。

但目前的控制方法, 无法或很难实现每个点都调整激光器的参数, 一般的控制器采用“笔”概念, 以

本文实验用到的振镜控制软件 SAMLight 为例,仅支持 255 支笔,即 255 套参数,故只能用一套参数完成一部分点的调整后,再进行下一部分调整。导光板网点按照真实的光照模型设计,生成的数据通常为准连续变化,如数万个点的半径数据可能对应数千种半径。实验发现,实际应用中可适当降低参数分辨率,同时尽量减少对均匀度的影响。本文采取如下算法分割这类参数。

设 M 中最大参数为 P_{\max} ,最小参数为 P_{\min} ,某一点的参数为 $P(x,y)$,分割份数为 n ,则每次能量变化对应的参数变化为 E_p :

$$E_p = (P_{\max} - P_{\min})/n. \quad (11)$$

实验中发现,该种参数分配结果可能使低密度分区变得较宽,破坏均匀性。故增加变量 H , H 为调整系数,通过调整 H 使 ΔE_p 不均匀。则第一个参数分割阈值为

$$E_{p1} = (P_{\max} - P_{\min}) \times (1 - H)/(1 - n), \quad (12)$$

则 n 份中的第 i 份分割阈值为

$$\Delta E_{pi} = E_{p1} \times H^{i-1}. \quad (13)$$

图 8 显示了不均匀的参数分割效果,不同颜色代表不同的能量分配值,通过 H 值的变化,可调整不同参数之间的能量分布比例。

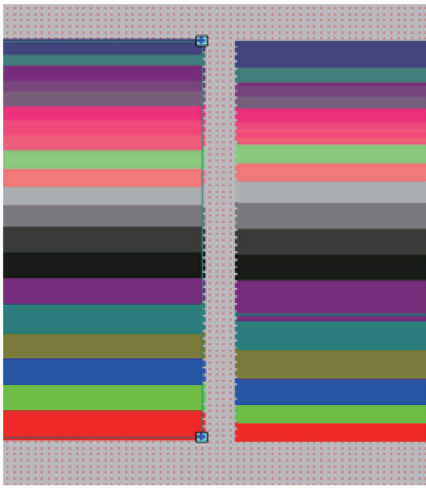


图 8 参数不均匀分割的能量分布

Fig. 8 Power distribution of uneven parameters spitting

为了建立参数与能量的对应关系,需要进行采集和测量,这个过程非常消耗时间。通过建立模型,尽量减少测量点,利用这些点推算出其他点与能量的对应关系。首先进行数据采集,在同样的实验条件下,获得设置的能量值,与实际标刻的点尺寸或者其他参数的关系,设点在参数 P 时的能量值为

$$E = a_0 + a_1 P^1 + a_2 P^2 + \dots, \quad (14)$$

式中 a_0, a_1, a_2, \dots 为待求解系数。图 9 为激光功率随

实际加工点的尺寸的变化关系。用 CO_2 激光器(波长为 1064 nm,平均功率为 50 W 的连续波激光器)在 PMMA 上直接标刻,纵坐标表示所使用平均功率的百分比,横坐标表示加工点的直径。该类数据线性关系好,可直接利用直线公式拟合。

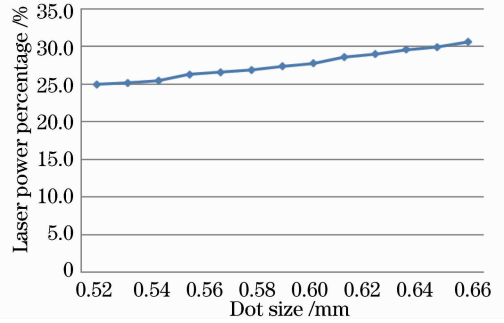


图 9 激光功率随实际加工点尺寸的变化

Fig. 9 Laser power versus dot size

如采用模具制造导光板的方法,还需要得到激光功率与加工点深度的关系(如图 10 所示),用光纤激光器(波长为 1064 nm,平均功率为 20 W 的脉冲激光器,脉冲宽度约 80 ns)在不锈钢上标刻,实验数据如表 1 所示。

表 1 实验数据 2

Table 1 Experimental data 2

| Laser power percentage /% | Depth / μm |
|---------------------------|-----------------------|
| 48 | 4.043 |
| 52 | 5.156 |
| 56 | 5.653 |
| 60 | 6.192 |
| 70 | 6.244 |
| 80 | 7.559 |
| 90 | 7.639 |

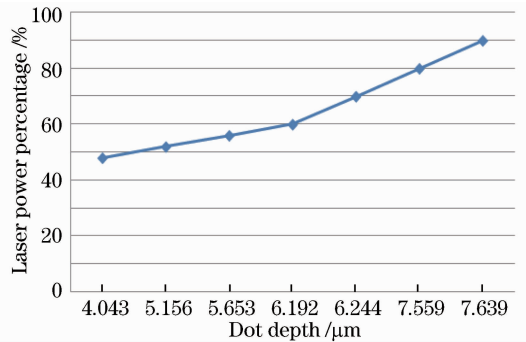


图 10 实验数据 2

Fig. 10 Experimental data 2

利用表 1 的数据,进行三阶多项式拟合求解 a_0, a_1, a_2, a_3 ,则有:

$$E = -0.7089 + 14.7970 \times P^1 - 87.4695 P^2 + 206.5769 \times P^3, \quad (15)$$

用(15)式进行拟合计算,其结果如图 11 所示。对比图 10 可见,拟合结果基本符合实际数据。

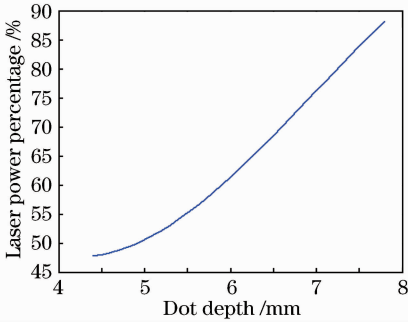


图 11 三阶多项式拟合结果

Fig. 11 Result of the third order polynomial

4.3 模糊能量分级

实验中发现,能量的分界线仍然可能造成视觉上的分界线。主要原因是系统能量分级数不够,为此,让相邻的分割块互相穿插。

设有离散型随机变量 $X \sim F(x)$, 能量总共被分为 N 份,第 n 份的能量为 $E(n)$ 。加入随机变量后,第 n 份的能量为 $E(n+X)$,可知 $E(n+X)$ 的分布仍满足 $F(x)$ 。因此,控制 $F(x)$ 的分布,即可控制能量的分布,设 X 满足如表 2 所示的分布。

表 2 X 的分布

Table 2 Distribution of X

| X | -1 | 0 | 1 |
|-----|-----|-----|-----|
| p | 1/3 | 1/3 | 1/3 |

表 2 中 p 为 X 对应的概率,此处 p 取值一样,即为等概率事件,则每一级能量分布按等概率向临级穿插,穿插后能量分布如图 12(b)所示,不同颜色表示不同的能量分布,如果控制 p 使其成为关于坐标系的函数,则可以实现更复杂的分割效果。相对于图 12(a),图 12(b)能量分布不再是均匀的阶梯状。

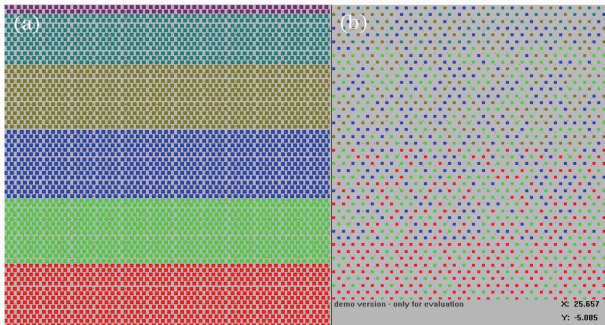


图 12 (a)普通能量分割后的能量分布;(b)随机化能量分割后的能量分布

Fig. 12 (a) Power distribution of normal parameters spitting; (b) power distribution of random parameters spitting

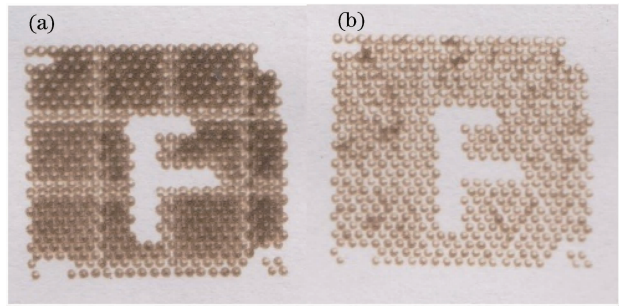


图 13 (a)普通分割实际效果;(b)参数分割随机化实际效果

Fig. 13 (a) Result of normal parameters spitting; (b) result of random parameters spitting

为更清晰地观察实验效果,用 20 W 的连续型 CO₂ 激光器在白纸上测试加工,按图 12 的两种不同的参数分割方式进行能量分布。图 13 为实际加工的效果,图 13(a)可见明显的分界线,而采用能量分割随机化后结果消除了分界线[图 13(b)]。

图 14 为 CO₂ 激光器在 PMMA 上的打点效果,所采用的图形为圆形阵列,激光功率为 50 W,加工线速度约 200 mm/s。通过本文所述的能量分布方法控制点的大小,如图 14 所示,左边样点测量直径为 0.54 mm,该区域的能量分布为 26%,即占平均功率 50 W 的 26%。右边的样点直径为 0.59 mm,该区域的能量分布为 27.5%。

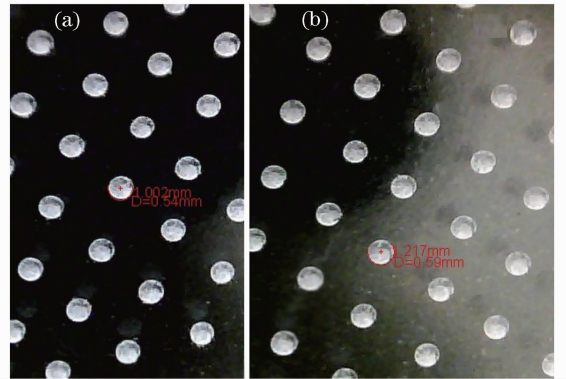


图 14 CO₂ 激光器在 PMMA 上打点效果

Fig. 14 Sample dots marked by CO₂ laser on PMMA

5 结 论

提出了一套基于后动态聚焦系统的激光打点及优化方法,通过实验与研究,得出如下结论:

- 1) 后动态聚焦系统中采用把变形量插值到网中可以解决毫米级变形问题;
- 2) 含参数的点文件处理方法中,通过多种分割方法使普通的打标系统就可以处理大量的参数;
- 3) 利用插值的方法可以解决实际加工效果与

设置参数的自动匹配问题,通过控制能量即可标刻出不同尺寸的点,大大提高了加工效率;

4) 利用随机模型可实现能量分布的进一步优化,消除连接部分的分界线。

该方法效率高,易于灵活生产和环保。作为一种新的加工工艺,已经应用在导光板的实际生产中,取得了良好的经济效益和社会效益。

参 考 文 献

- 1 Yin Jie, Qiu Yunfeng, Liu Qiao, *et al.*. Design of light guide plate for large-size LED slim light box [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2010, 47(12): 120801.
尹 杰,邱云峰,刘 桥,等. 大尺寸LED超薄灯箱的导光板设计[J]. *激光与光电子学进展*, 2010, 47(12): 120801.
- 2 Huang Chong, Jian Yansen, Shen Yi, *et al.*. Design of scattering netted dots on light guide plate of edge-lighting LED backlight[J]. *J Applied Optics*, 2008, 29(5): 689-692.
黄 翀,姜言森,沈 奕,等. 侧光式LED背光源的导光板网点设计[J]. *应用光学*, 2008, 29(5): 689-692.
- 3 Wu Jiesheng, He Hua, Li Hongyan, *et al.*. A preliminary design of the scattering point of light guide plates [J]. *Advanced Display*, 2007, 18(4): 36-39.
吴桔生,何 华,李宏彦,等. 导光板散射点的初步设计[J]. 现

- 代显示, 2007, 18(4): 36-39.
- 4 O Rötting, W Ropke, H Becker, *et al.*. Polymer microfabrication technologies[J]. *Microsyst Technol*, 2002, 8(1): 32-36.
 - 5 A Costela, I Garciamoreno, F Floridoetal. Laser ablation of polymeric materials at 157 nm[J]. *J Appl Phys*, 1995, 77(6): 2343-2350.
 - 6 Qi Heng, Wang Xiansong, Chen Tao, *et al.*. Fabrication and application of PMMA continuous flow PCR microfluidic chip with CO₂ laser direct writing ablation micromachining technique[J]. *Chinese J Lasers*, 2009, 36(5): 1239-1245.
祁 恒,王贤松,陈 涛,等. PMMA基连续流式PCR微流控芯片的CO₂激光直写加工与应用[J]. *中国激光*, 2009, 36(5): 1239-1245.
 - 7 Shen Xuefei, Chen Tao. Improvement of processing technique of CO₂ laser direct writing on PMMA micro channels[J]. *Chinese J Lasers*, 2011, 38(6): 251-255.
申雪飞,陈 涛. CO₂激光直写PMMA微通道工艺改进的实验研究[J]. *中国激光*, 2011, 38(6): 251-255.
 - 8 Li Xiaoyu, Cheng Jimin, Liu Furong, *et al.*. Micro-channel fabrication with CO₂ laser ablation of polymethyl methacrylate [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48(4): 041401.
李晓宇,陈继民,刘富荣,等. CO₂激光刻蚀PMMA制备微流道的研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2011, 48(4): 041401.
 - 9 Klank H, Kutter J P, Geschke O. CO₂-laser micromachining and back-end processing for rapid production of PMMA-based microfluidic systems[J]. *Lab on a Chip*, 2002, 2(4): 242-246.

栏目编辑: 宋梅梅