

文章编号:1007-2780(2018)11-0905-06

侧入式局域动态调光背光聚光特性研究

尹慧娟*, 王培娜, 吴波, 吴春明, 孙文波, 施祖传

(安徽省背光源工程技术研究中心, 安徽省平板显示 LED 背光源工程研究中心,
合肥市背光源工程技术研究中心, 合肥京东方显示光源有限公司, 安徽 合肥 230012)

摘要:针对 HDR 技术在侧入式局域动态调光中的特殊要求, 采用结构导光板搭配 LED 灯条进行聚光, 以此提高背光对比度, 实现液晶显示器的分区动态调光控制。首先, 基于现有导光板出光面亮度分布, 确定了导光板出光面微结构为锯齿形, 然后利用光线追迹法对结构导光板进行仿真, 分析了不同结构的导光板出光面微结构棱高、棱宽比和曲率对聚光性能的影响, 结果表明, 聚光性与导光板出光面结构直接相关, 光学胶折射率为 1.49, 棱高为 20 μm , 棱宽比为 0.47 时, 聚光性能最佳; 根据仿真结果开发了实际背光产品, 并对此产品进行了测试, 测试结果表明, 与传统的导光板相比, 使用结构导光板后, 背光聚光效果显著, 对比度由 6.01 提升到 127.15, 满足动态调光聚光性要求。

关键词:局域动态调光; 结构导光板; 侧入式; 聚光

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183311.0905

Spotlight characteristics of local dynamic dimming for side-lit backlight

YIN Hui-juan*, WANG Pei-na, WU Bo, WU Chun-ming, SUN Wen-bo, SHI Zu-chuan

(Anhui Backlight Unit Engineering Technology Research Center,
Anhui Flat Panel Display and LED Backlight Unit Engineering Research Center,
Hefei Backlight Unit Engineering Technology Research Center,
Hefei BOE Display Lighting Co., Ltd., Hefei 230012, China)

Abstract: For the special requirements of the high dynamic range local dynamic dimming in the side-lit backlight, this paper proposed the structural light guide plate matching the LED light bars to spotlight, improving the backlight contrast and realizing the divisional dimming control of the liquid crystal display. First, based on the surface brightness distribution of the existing light guide plate, the microstructure surface of the light guide plate was designed as a zigzag shape. In order to analyze the influence of the height, width and curvature of the microstructure on the light-emitting surface of the light guide plate with different structures, the ray tracing method was used to simulate the structure of the light guide plate. The simulation results show that the light concentrating property is related to the light-emitting surface structure of the light guide plate. When the refractive index of the optical

收稿日期: 2018-05-04; 修订日期: 2018-07-14.

基金项目: 安徽省科技攻关计划 (No.1501021043)

Supported by Science and Technology Major Project of Anhui Province (No.1501021043)

* 通信联系人, E-mail: yinhuijuan@boe.com.cn

adhesive is 1.49, the height is 20 μm , and a ratio of the height to the width is 0.47, the light collection effect is the best. On the basis of the design, a sample was produced and measured. The practical measurement results show that using structure light guide plate, the contrast ratio turns from 6.01 to 6.01 as compared with the common light guide plate. These results satisfy the requirements of local dynamic dimming.

Key words: local dynamic dimming; structural light guide plate; side-lit; spotlight

1 引言

随着显示技术的快速发展,人们对电视内容显示质量的要求也在不断提升,继 4K 之后高动态范围(High Dynamic Range, HDR)技术成为电视领域的新宠^[1-2]。HDR 技术最直接的效果就是提升显示画面的亮度范围,使得黑色表现更加深邃,亮度更高,为用户带来更具层次感的画面以及更多平时看不到的细节。

HDR 技术要求背光实现动态控制,目前背光实现动态控制主要有两种方式:(1)全局动态背光控制(Global Dimming),背光整体亮度随画面调节;(2)局域动态背光控制(Local Dimming),背光亮度分区控制。直下式背光源的全局及局域调光已经十分成熟,多款成熟产品投放市场,侧入式背光源目前只有全局调光投入市场,局域调光尚在开发中。目前已有的局域调光主要为运用调光算法对背光亮度进行调节^[3-5],如 Cho 等提出通过正交定位的 LED 矩阵驱动实现局域调光^[6];Pyo 等将动态调光算法与定时控制器结合,实现动态二维局域调光和扫描,提升运动图像的质量^[7];Anggorosesar 等提出了一种基于人类的视觉系统的局域调光算法^[8];Jung 等提出了 4 面入光的导光板结构搭配相应算法进行局域动态调光^[9]。

本文采用结构导光板搭配 LED 灯条进行聚光,现有用于侧入式调光的结构导光板均采用通用形状,没有专门对微结构形貌进行设计,光线相互串扰严重,在所有背光中均进行运用,不能精确应用于调光中。本文提出了根据不同 LED 的发射角度,结合导光板出光面的亮度分布、导光板材质折射率,设计相应的导光板表面微结构,可以精确控制背光区域亮度,提升背光亮度对比度,该方法具有设计简单、易加工、可操作性强的优点。

2 结构导光板聚光原理及评价方法

2.1 结构导光板聚光原理

侧入式背光源 HDR 局域调光主要原理是通过导光板出光面微结构形貌的设计,使其走向与 LED 光线行进方向一致,限制光线扩散,控制与微结构单元对应的 LED 亮度,实现背光区域亮度的控制,如图 1 所示。

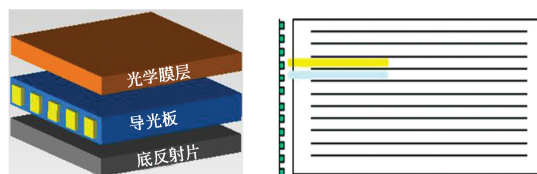


图 1 导光板聚光原理图

Fig.1 Principle of LGP spotlight

随着光程的变长,光线到达尾端时扩散角度越来越大,导致光线区域之间干扰,影响局部调光效果,若要实现背光的局域调光效果,必须使光线具有聚光性,将其集中在一定区域内。

采用 LED 单边入光的背光结构,LED 发出的光线经过导光板后的效果如图 2 所示,光线基本集中在 80° 内,靠近中心能量越高。



图 2 导光板出光面光线分布

Fig.2 Brightness distribution on out-light surface of LGP

导光板表面微结构设计思路为:对出射角度为 24° (由实测数据计算得到,此区域亮度为最大

亮度的 50%) 的光线进行分析(图 3),通过设计导光板表面微结构,使其从导光板上表面出射时,出射光线垂直于导光板下表面。结合斯涅尔定律,存在下列公式:

$$\begin{cases} n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \\ n_1 \sin \theta_3 = n_2 \sin \theta_4 \\ \theta_4 = \theta_1 + \theta_3 \\ \theta_2 = 24^\circ \end{cases}, \quad (1)$$

式中: θ_1 为光线从导光板上表面无微结构面出射,进入空气中的入射角, θ_2 为此时光线的出射角,微结构采用光刻方法加工,光学胶折射率为 1.49,即 $n_1=1.49$, n_2 为空气折射率, $n_2=1$, θ_3 为光线经导光板上表面微结构面出射时与法线方向的夹角, θ_4 为此时光线的出射角度,式(1)可改为:

$$\begin{cases} 1.49 \sin \theta_1 = \sin 24^\circ \\ 1.49 \sin(\theta_4 - \theta_1) = \sin \theta_4 \end{cases}, \quad (2)$$

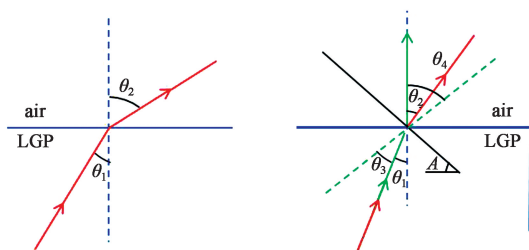


图 3 结构导光板光线分析

Fig.3 Analysis of structure LGP

根据式(2)可得, $\theta_4 = \angle A = 43.2^\circ$ 。对 $\angle A = 43.2^\circ$ 时光线进行分析,主要有两种情况:(1)入射光线与垂直方向夹角在 $-42^\circ \sim 1^\circ$ (垂直方向为 0° 方向,顺时针为“+”,逆时针为“-”)时,光线发生全反射现象,重新经过导光板网点散射或进入相邻结构;(2)入射光线与垂直方向夹角为 $1^\circ \sim 42^\circ$ 时,经过结构导光板作用后,光线集中在 $\pm 30^\circ$ 内,其中入射光线与垂直方向夹角 $5^\circ \sim 24^\circ$ 时,结构导光板可将光线集中在 $\pm 10^\circ$ 内,如图 4 所示。因此,能量较高的光线(大于半光强的光线,即 $\pm 24^\circ$ 内光线)经过结构导光板后,光线可集中在 $\pm 10^\circ$ 内。

2.2 聚光性评价方法

目前业内尚没有关于背光源局部调光的统一评价标准,为了表示其聚光效果,本文将相邻明暗区域中心点亮度的比值作为背光源的对比度(Contrast Ratio, C/R),如图 5 所示。背光平均分为 8 个部分,点亮第 4 区域,其余区域 LED 关

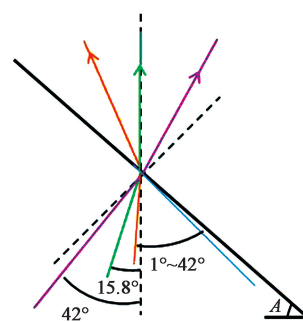


图 4 $\angle A = 43.2^\circ$ 时光线分析

Fig.4 Ray analysis when $\angle = 43.2^\circ$

闭,分别测试区域 2 和区域 4 内中心点的亮度,则背光源的对比度为:

$$C/R = P_1/P_2, \quad (3)$$

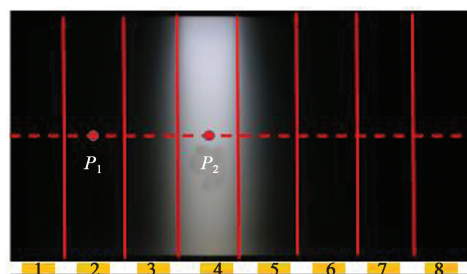


图 5 背光聚光性评价方法

Fig.5 Evaluation method of backlight

3 结构导光板软件仿真分析

导光板表面微结构形貌决定了背光的聚光效果,分别对微结构的棱高(Height, H)、棱高(Pitch, P)/间距比(H/P)和微结构曲率 3 个方面进行分析与仿真,建立背光源模型如图 6 所示。

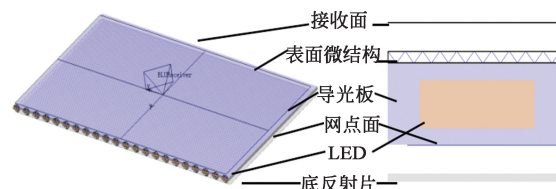


图 6 背光仿真模型

Fig.6 Simulation model of backlight

3.1 棱高对聚光的影响

微结构高度决定了加工的深度,同时也影响导光板的厚度,保持其它两个参数不变,改变微结构高度,对背光进行多次仿真,结果如表 1 所示。

表 1 不同棱高下聚光效果

Tab.1 Simulation results of different height

$H/\mu\text{m}$	$L_{P1}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$L_{P2}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	C/R
10	4.69	285.73	60.92
20	4.32	285.82	66.16
30	4.65	285.48	61.39
40	4.86	285.12	58.67
50	5.01	282.59	56.41

由表 1 可以看出,棱高为 20 μm 时对比度最大,棱高在 10~40 μm 时,对比度变化较小,大于 50 μm 后,对比度显著下降。当棱高过大时,光线在微结构中传播路程增加,光线折射、反射现象加强,光线损失严重,亮度下降,从而导致对比度降低;当棱高过小时,光线在微结构中折射、反射作用不充分,对比度无法达到最佳值。

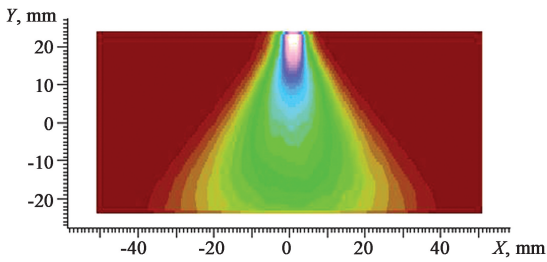
3.2 棱高和棱宽比值对聚光的影响

保持导光板出光面微结构棱高 H 为 20 μm 不变,改变微结构,分析 H/P 比值对聚光性的影响,仿真结果如图 7 所示,亮度对比度值见表 2。

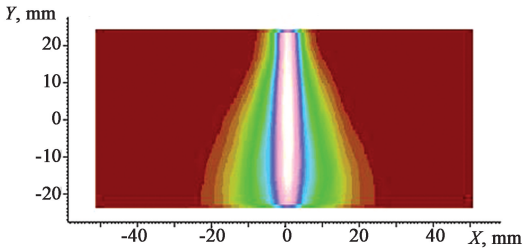
表 2 H/P 比值对聚光影响仿真结果

Tab.2 H/P Ratio spotlight simulation results

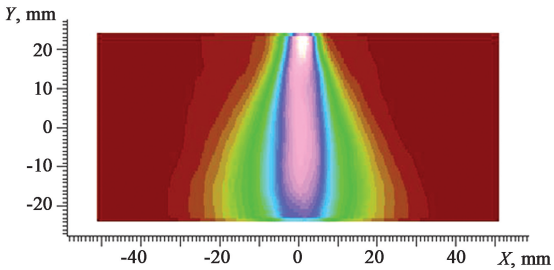
$H/\mu\text{m}$	$P/\mu\text{m}$	H/P	C/R
20	20	1	24.43
20	42.6	0.47	66.16
20	60	0.33	19.05
20	100	0.2	10.87



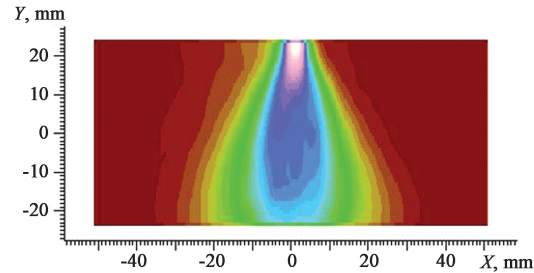
(a) $P=20 \mu\text{m}$



(b) $P=40 \mu\text{m}$



(c) $P=60 \mu\text{m}$



(d) $P=80 \mu\text{m}$

图 7 H/P 比值对聚光性影响的仿真图

Fig.7 Simulation of H/P ratio spotlight

从仿真结果可以看出,聚光性随着 H/P 比值的变化而变化,当 $\angle A=43.2^\circ$,即 H/P 比值为 0.47 时,聚光性最好,收光角度最小,对比度最高。当 H/P 比值大于 0.47,即 $\angle A$ 大于 43.2° 时,仅有较少光线被集中在 0° 方向附近,多数光线产生全反射现象, H/P 值越小于 0.47,聚光效果越差;当 H/P 比值小于 0.47,即 $\angle A$ 小于 43.2° 时,大量光线被集中在 $\pm 30^\circ$ 以外,且较多光线进入临近微结构中发生一次或多次折射、全反射作用,聚光效果下降。

3.3 不同曲率微结构对聚光的影响

导光板 H 为 20 μm , P 为 42.6 μm 保持不变,对不同曲率结构的导光板进行仿真,导光板结构如图 8 所示,仿真后结果如表 3 所示。

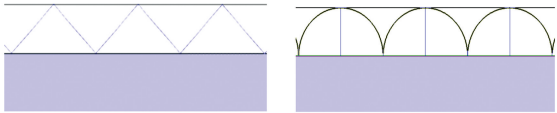


图 8 不同曲率结构的导光板

Fig.8 Different curvature structure LGP

由表 3 可以看出,导光板为线性时,聚光效果最好。由于球形微结构表面法向从顶部到底部趋向水平,故 $\pm 24^\circ$ 附近的光线通过曲面微结构时,

表 3 不同曲率聚光仿真结果

Tab.3 Different curvature simulation results

Lenti 结构	$L_{P1}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$L_{P2}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	C/R
线型	4.32	285.82	66.16
曲面	5.85	142.73	24.40

光线会集中在各个法线方向,不会将光线限制在 0° 附近,因此线性微结构聚光性能优于曲面结构。

4 实际测试结果

根据上述仿真设计结果,采用光刻方式加工出了结构导光板,并对其进行了实际测试。图 9 为选用德国 Carl Zeiss 公司的 LMS700 共聚焦显微镜测试的结构导光板三维表面形貌图。

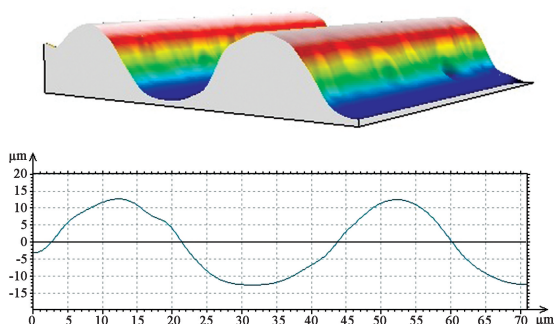


图 9 结构导光板共聚焦显微镜测试图

Fig.9 Microscope photo of LGP structure

将加工得到的结构导光板放入 15.6 寸侧入式背光模组中进行亮度测试,验证导光板结构的聚光性效果。背光模组自上而下结构为底反射片、导光板、下扩散片、两层增亮膜,背光源由 96 颗日亚 NSSW306FT-HGB 的 LED 构成 Light Bar,该 Light Bar 分成 8 个通道,每个通道可单独

调节背光亮暗程度及模组画面。实验中只点亮第 4 通道,其余通道关闭,分别对导光板出光面未加微结构和结构导光板进行了测试,背光画面效果如图 10 所示,亮度值见表 4。采用结构导光板后亮度对比度由 6.01 提高到了 127.15,聚光效果显著。



图 10 导光板出光面无结构(左)和加结构(右)测试图

Fig.10 Testing result of LGP without structure (left) and with structure (right)

表 4 背光亮亮度测试值

Tab.4 Testing value of backlight brightness

导光板	$L_{P1}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	$L_{P2}/(\text{cd} \cdot \text{m}^{-2})$	C/R
无微结构	429.6	2580	6.01
加微结构	56.27	7155	127.15

5 结 论

本文利用结构导光板对背光源进行聚光,实现了 HDR 对动态调光的要求。导光板出光面微结构光刻胶折射率 1.49,棱高 $20 \mu\text{m}$, H/P 值 0.47,线性结构时,聚光效果最好。与传统的出光面无微结构的导光板相比,对比度由 6.01 提高到 127.15。本文设计的导光板出光面微结构适用于单边入光的侧入式背光模组,有效解决了 HDR 在侧入式背光模组调光时,分区画面的光串扰问题,可广泛应用于侧入式 HDR 调光产品中。

参 考 文 献:

- [1] 惠慧,朱颖琰,朱林林,等.HDR 技术及标准发展情况 [J]. 电视技术,2016,40(3):75-78.
HUI H, ZHU Y Y, ZHU L L, et al. Development and standardization of high dynamic range technology [J]. *Reception and Display*, 2016, 40(3): 75-78. (in Chinese)
- [2] 王金华.高动态范围场景可视化技术研究[D].北京:北京交通大学,2010.
WANG J H. Research on high dynamic range scenes visualization [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2010. (in Chinese)
- [3] BAE S W, YOON G W, YOON J B. Ultra-thin edge type single sheet backlight unit for seamless two-dimensional

- local dimming [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2016, 47(1): 1406-1408.
- [4] 李冰.侧光式液晶电视区域动态控制功能的算法研究与硬件实现[D].青岛:中国海洋大学,2013.
LI B. Algorithm research and hardware implementation of area dynamic control of edge-lit LCD TV [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013. (in Chinese)
- [5] 刘芬,吕国强,张喜条,等.侧入式发光二极管背光区域调光算法[J].光电工程,2015,42(4):81-87.
LIU F, LÜ G Q, ZHANG X T, *et al.* A local dimming algorithm for edge-lit lighting emitting diode backlight [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2015, 42(4): 81-87. (in Chinese)
- [6] CHO H, KWON O H. A local dimming algorithm for low power LCD TVs using edge-type LED backlight [J]. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 2010, 56(4): 2054-2060.
- [7] PYO D, JUNG T, JANG D, *et al.* Active local dimming system for low power and motion blur enhancement [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1): 1433-1435.
- [8] ANGGOROSAR A, KIM Y J. Object-based local dimming for LCD systems with LED BLUs [C]//*Proceedings of IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design*. Fukuoka, Japan: IEEE, 2011: 315-320.
- [9] JUNG S, KIM M, KIM D, *et al.* Local dimming design and optimization for edge-type LED backlight unit [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2011, 42(1): 1430-1432.

作者简介:尹慧娟(1989—),女,河南济源人,硕士,工程师,主要从事 LED 背光及相关显示技术研究。E-mail:yinhuijuan@boe.com.cn