

用于背光模组的三基色微细导光管的设计研究

谢洪波 于洪朗* 官仁敏 韩 凜 李 韬

(天津大学精密仪器及光电子工程学院, 天津 300072)

摘要 提出了一种用于背光模组的三基色微细导光管的设计方案。该导光管结构可取代传统的线光源冷阴极荧光灯管(CCFL),并保留其导光板设计成熟的优点,在保证环保、提高对比度的同时将色域提高150%。对三基色微细导光管在光学软件中进行建模,并理论推导能够均光的网点半径排布规律,将该微细导光管与三基色LED光源相结合实现时间混色,省略彩色滤光片,提高光能利用率及空间分辨率。模拟实验表明,该微细导光管的光能利用率达66%以上,亮度均匀性达95%。取代CCFL后结合时间混色技术实现色序法显示,该新型背光源的总体光透过率为12%,较传统的CCFL背光源光透过率提高一倍以上。

关键词 导光管; 时间混色; 光能利用率; 均匀性

中图分类号 TN27; TM923.01

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP48.023102

Design and Research on Tricolor Micro-Optical Guidepipe Used in Backlight Module

Xie Hongbo Yu Honglang Gong Renmin Han Lin Li Tao

(College of Precision Instrument and Optoelectronics Engineering, Tianjin University,
Tianjin 300072, China)

Abstract Aside-emitting micro-optical guidepipe is presented to replace the linear light source cold cathode fluorescent lighting (CCFL) in backlight module. The guidepipe retains the advantages of designing the light guide plate but avoid the shortcomings of CCFL. Combined with RGB LED, the new backlight module can realize time mixing color and remove color filter. The tricolor micro-optical guidepipe is modeled in optical software, and the netted dots radius function is proposed by theoretical derivation to uniform light energy, then the analysis show that the structure improves color range to 150%, the efficiency is above 66% the uniformity is better than 95%, and the light transmittance of this new backlight is 12% which is twice of that of the CCFL backlight module.

Key words guidepipe; time mixing color; light utilization ration; uniformity

OCIS codes 310.2790; 330.7338; 080.4298

1 引言

近年来,大中尺寸液晶显示器需求大增,由于液晶显示器被动发光,必须依靠背光源为其提供照明,因此显示技术的发展必将带动背光源技术的进步^[1]。LED背光源因具有色域范围宽、无污染和发展前景好等优势成为液晶产品背光源的首选^[2~4],现阶段LED光源的光效可以达到140 lm/W,且仍然快速发展。目前LED背光源主要是将LED点光源转化为发光均匀的面光源,根据光源分布于导光板位置的不同,分为侧光式和直下式两种^[5]。直下式LED背光源重量大、功耗高、散热问题严重,而侧光式LED背光源发光区域受限制、对于每种LED排布方式均需重新设计导光板,因此成本高、均匀性差。针对现有LED背光源的缺点,本文提出了一种新型的侧发光微细导光管,该导光管和红绿蓝三基色(RGB)LED相结合,可实现时间混色提高光能利用率^[6],使背光模组轻薄、节能、散热好、降低成本,因此具有广阔的应用前景。

收稿日期: 2010-08-21; **收到修改稿日期:** 2010-10-21

作者简介: 谢洪波(1969—),男,博士,副教授,主要从事成像技术与显示技术等方面的研究。E-mail: hbxie@tju.edu.cn

* **通信联系人.** E-mail: yuhonglang9999@163.com

2 微细导光管的设计理念及网点半径变化规律

2.1 设计理念

具有微细导光管的背光源结构如图 1 所示,包括 LED 光源、微细导光管和导光板(LGP)等。在微细导光管中光线由于全反射而向前传播^[7],侧发光导光管需要改变其中部分光线的前进方向,从而达到侧面出光的目的,因此需要引入网点或微棱镜等微结构。将导光管的一侧加散射网点,当光传播到导光管具有散射网点一侧时,全反射条件被破坏,部分光线改变方向从侧面射出^[8]。图 2 为侧发光微细导光管中光线传输过程。

理论计算与模拟实验表明,散射网点的几何形状对光散射影响不大,而网点半径的变化规律在很大程度上决定了输出光亮度与亮度均匀性。

2.2 网点半径变化规律

因导光管的长度远大于其直径,故假设光强度仅随导光管的长度方向变化。为了探索网点半径变化规律,设仅随 x 方向(导光管长度方向)变化的网点填充率函数

$$f(x) = s(x)/d^2, \quad (1)$$

式中 $s(x)$ 表示 x 处散射网点的面积大小, d^2 为此处网格面积。设 x 处截面 A 上的传导光通量为 $\varphi(x)$, 不考虑吸收及漏光现象, 则位置 x 处光通量为

$$\varphi(x) = \varphi_0 - BWx, \quad (2)$$

式中 B 为出光面的输出光亮度。为了简化模型, 设 B 为常数, W 为导光管直径。其中 φ_0 为 $x = 0$ 位置处 LED 光源耦合进导光管中的光通量。 B 正比于网点填充率函数 $f(x)$, 且正比于截面 A 处的光通量。所以

$$B = kf(x)\varphi(x), \quad (3)$$

式中 k 为一个不随 x 变化而变化的比例常数, 将(2)式代入(3)式解得

$$f(x) = \frac{B}{k(\varphi_0 - BWx)}. \quad (4)$$

若散射网点为圆形, 可知

$$\pi R^2 = d^2 \times f(x), \quad (5)$$

式中 R 为坐标位置 x 处的散射网点半径。

设近 LED 光源端第一个散射网点半径为 R_0 , 该网点中心位置坐标设为 $x_0 = 0$, 远 LED 光源端最后一个散射网点半径为 R_1 , 其网点中心位置坐标设为 $x_1 = L - d$, 其中 L 为导光管的长度。

则根据边界条件及(4)式可得

$$f(x) = \frac{\pi R_0^2}{d} \frac{1}{\{1 - [(1 - R_0^2)/R_1^2][x/(L - d)]\}}, \quad (6)$$

将(6)式代入(5)式求解并近似得

$$R(x) = \frac{R_0}{\sqrt{1 - (1 - R_0^2/R_1^2)x/L}}, \quad (7)$$

简化为

$$R(x) = \frac{A}{\sqrt{1 - Bx}}, \quad (8)$$

式中 $A = R_0$, $B = (1/L)(1 - R_0^2/R_1^2)$ 。若导光管轴向长度 L 确定, 网点半径 R_0 , R_1 以及网格大小 d 给定, 则可以计算得到确定的数值 A , B , 因此根据(8)式可以计算得出 x 位置处的网点半径大小。

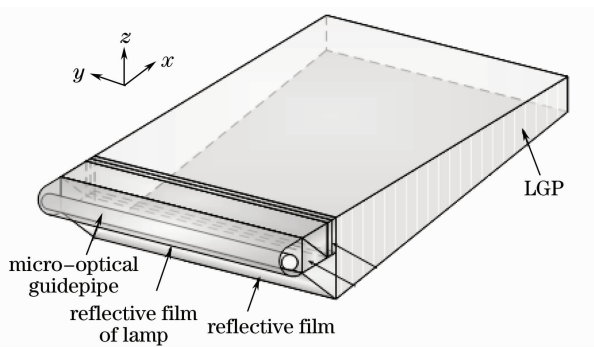


图 1 微细导光管背光源结构

Fig. 1 Structure of micro-optical guidepipe backlight

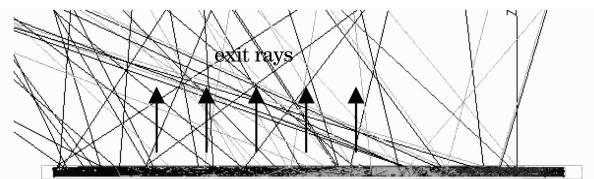


图 2 侧发光导光管中光线传输过程

Fig. 2 Transmission of light beam in micro-optical guidepipe

考虑到导光管的吸收、散射及漏光现象根据仿真模拟情况对导光管散射网点半径变化函数进行如下参数修正:

$$R(x) = \frac{A}{\sqrt{1 - \alpha Bx}}, \quad (9)$$

式中 α 为引入的修正参数。

3 三基色微细导光管的设计

根据侧发光微细导光管的设计理念及网点半径计算公式,本文给出一个侧发光微细导光管的设计实例,其中导光管采用的材质为亚克力(PMMA),折射率 $n=1.49$,导光管长度 150 mm,直径 5 mm,出光面为 2 mm × 150 mm 的长方形,即在导光管上削出一个平面作为出光面,导光管侧面除此之外的部分镀反射膜,导光管两端为光入射面,网点结构排布在出光面上,导光管的截面图如图 3 所示。

本文所设计的侧发光微细导光管采用三基色 LED 进行照明。导光管的两端截面为圆形,因此采用芯片为圆形截面 LED 光源进行照明,为了使 LED 发出的光汇聚到一点,达到混光的目的,将三色光源采用如图 4 所示的排布方式。

模拟实验表明采用上述排布方式,能够保证三种颜色的光近似从同一位置发出,满足时序显示的要求。将三基色 LED 用在侧发光导光管中进行照明,同时点亮 RGB 光源,模拟分析此时的侧发光微细导光管出光亮度及亮度均匀性。图 5 为其模拟结果。

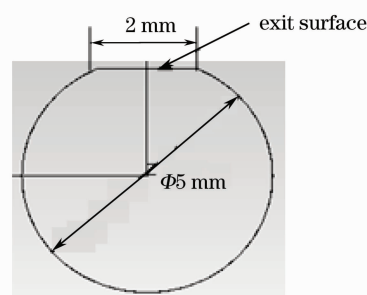


图 3 导光管截面图

Fig. 3 Sections of guidepipe

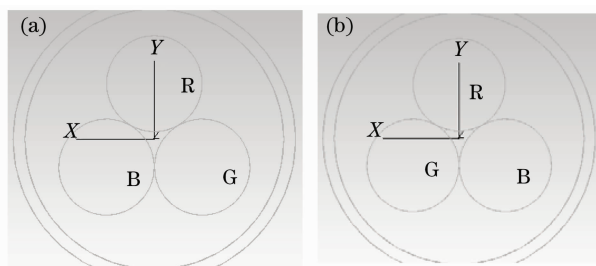


图 4 RGB LED 位置:导光管左端(a);右端(b)

Fig. 4 Location of RGB LED; left (a); right (b)

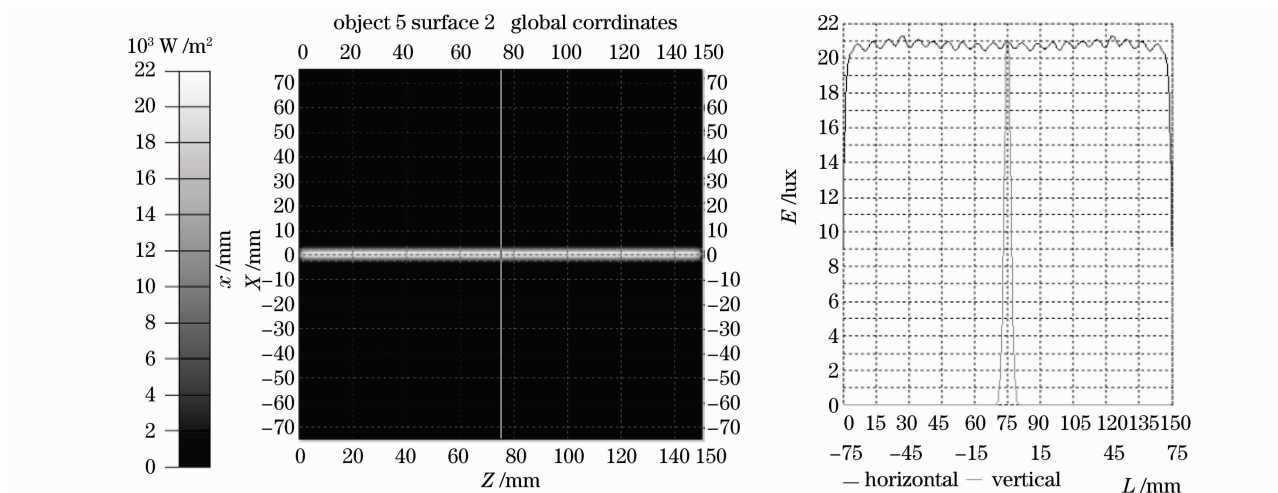


图 5 RGB 三色 LED 被点亮时的照度及照度曲线图

Fig. 5 Illuminance map and curves when RGB LED is lit

由模拟结果算得:光能利用率 $\epsilon = E_{in}/E_{out} = 66.463\%$, 式中 E_{in} 为入射光通量, E_{out} 为出射光通量。亮度均匀性 $\eta = [1 - (I_{max} - I_{min})/\bar{I}] \times 100\% = 95.192\%$ 。将传统的 CCFL 背光源的光能利用率与所设计的侧发光微细导光管的背光源光能利用率进行对比如表 1 所示。通过上述比较可以看到当用微细导光管取代 CCFL 后,背光源系统的光能利用率提高了 1 倍以上,且微细导光管出光亮度均匀性达 95% 以上,能够满足

背光系统对光源出光均匀性的要求。

表 1 CCFL 背光源与三基色 LED 微细导光管背光源光透过率对比

Table 1 Comparison of light transmittance between RGB LED micro-optical guidepipe backlight and CCFL backlight

Item	CCFL backlight		RGB LED micro-optical guidepipe backlight	
	Transmittance of each layer	Total light transmittance	Transmittance of each layer	Total light transmittance
Light source	CCFL 100%	100%	Micro-optical guidepipe 66%	66%
LGP	60%	60%	60%	39.6%
Polarizing film 1	40%	24%	40%	15.84%
Liquid crystal	95%	23%	95%	15.05%
Color filter	30%	7%	100% (Without color Filter)	15.05%
Polarizing film 2	90%	6%	90%	13.55%
Surface reflection	5.4%	90%	90%	12%
Final transmittance		5.4%		12%

4 结 论

提出了一种用于背光模组的三基色侧发光微细导光管的设计方案,理论推导出散射网点半径函数并根据实际情况进行参数修正,得到散射网点半径变化的最佳规律。将导光管与三基色 LED 相结合进行建模,模拟时间混色,取代 CCFL 并将背光源系统的光能利用率提高 1 倍以上。该三基色导光管具有广阔的应用前景和使用价值。

参 考 文 献

- Chen Xiangzhen. The current stage and development trend of FPD technology[J]. *Optoelectronic Technology*, 2008, **28**(1): 1~6
陈向真. 平板显示技术现状和发展趋势[J]. 光电子技术, 2008, **28**(1): 1~6
- Tang Jin, Dai Qingyuan. Large-size LCD backlight[J]. *Science and Technology Consulting Herald*, 2007, (5): 67~68
唐进, 戴庆元. 大尺寸液晶显示器背光源[J]. 科技咨询导报, 2007, (5): 67~68
- Liao Jianbo, Zhou Binyi. Comparison and development trend of normal back illumination of LCD display[J]. *J. Pingxiang College*, 2007, (6): 32~34
廖建波, 周斌益. 液晶显示器常见背光源的比较及发展趋势[J]. 萍乡高等专科学校学报, 2007, (6): 32~34
- The Analysis of LED Backlight Market State Used in Large-Size LCD panel [OL]. <http://www.China-led.Net/info/200718/4204>
大尺寸LCD面板用LED背光源市场态势分析[OL]. <http://www.China-led.Net/info/200718/4204>
- Liu Fei, Shen Gao, Yang Dongsheng. Design of scattering netted dots on light guide plate of backlight used in LCD[J]. *Science and Technology Innovation Herald*, 2009, (6): 13
刘飞, 申高, 杨东升. 用于液晶显示器的背光源导光板网点设计[J]. 科技创新导报, 2009, (6): 13
- Lu Qiang. Research on LCD technology without filtering color membrane based on time mixing color[J]. *Information Technology*, 2007, (8): 107~109
陆强. 基于时间混色的无滤色膜液晶显示技术研究[J]. 信息技术, 2007, (8): 107~109
- Zhou Li, Tu Qifei, Zhu Minghua. The technology of side-emitting guidepipe [J]. *China Illuminating Engineering Journal*, 2007, **18**(3): 16~18
周莉, 屠其非, 朱明华. 侧发光导光管[J]. 照明工程学报, 2007, **18**(3): 16~18
- Luo Jianzhong, Chen Zhe, Zhang Yonglin *et al.*. Design and simulation analysis of scattering netted dots on edge-lighting flat light guide plate[J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2006, **21**(3): 206~213
骆建忠, 陈哲, 张永林等. 侧光平板式导光板散射网点设计及仿真分析[J]. 液晶与显示, 2006, **21**(3): 206~213