

文章编号: 1007-2780(2010)06-0817-05

# LCD 导光板自由曲面微型槽结构与优化

曹保柱, 王晓蕊

(西安电子科技大学 技术物理学院, 陕西 西安 710071, E-mail: lantian314@126.com)

**摘 要:** 为满足液晶显示器对于背光模组亮度高、发光均匀、厚度小的要求, 提出一种侧入式背光模组的新型组合导光板结构设计方法。即在理想 Lambertian 光源侧向入射时, 为满足导光板亮度均匀性的要求, 提出并确定了一种基于自由曲面函数的导光板底部微型槽结构。借助于 TracePro 光学软件对该导光板进行了建模, 并通过合理设置微型槽镀膜和组合反射板的光学属性, 实现了导光板照明效果的仿真。仿真结果显示, 基于该微型槽的导光板符合工程上的亮度均匀性和超薄设计要求。

**关 键 词:** 导光板; 背光模组; 液晶显示; 微型槽; 自由曲面

**中图分类号:** TN27

**文献标识码:** A

## Optimization and Design of Micro-Groove Structure of LCD Light Guide Plate Based on Freeform Surface

CAO Bao-zhu, WANG Xiao-rui

(Department of Technical Physics, Xidian University, Xi'an 710071, China, E-mail: lantian314@126.com)

**Abstract:** Based on the demand of high-brightness, uniform luminance and ultra-thin structure of LCD backlight module, a new combination design method of light guide plate is proposed for LCD edge backlight module in this paper. Specifically, when an ideal Lambertian light propagated into the incident surface of light guide plate, a micro-groove structure based on freeform surface function for light guide plate was proposed and determined for satisfying the requirement of uniform luminance. Further, the light guide plate based on the proposed micro-groove structure is modeled and simulated by using optical software TracePro. Experimental results show that this micro-groove structure can provide good uniform luminance by setting particular property of optical coating film and reflector, which also meet the requirement of ultra-thin structure.

**Key words:** light guide plate; backlight module; LCD; micro-groove; free-form surface

### 1 引 言

目前, LCD 已经取代 CRT 成为主流的显示设备。由于液晶本身不发光, 所以需要背光模组为 LCD 提供光源来实现显示。为了确保显示画面的质量, LCD 的背光源应具有亮度高、发光均匀、照明角度大、可调、功耗低、轻且薄等性能<sup>[1]</sup>。

传统的 LCD 侧光式背光模组由光源、导光板、棱形板、扩散板和反射层组成<sup>[2]</sup>。

导光板在背光模组中的成本比重较高, 亦是侧光式背光中不可或缺的组成部分, 在设计和加工工艺方面均具有很高的研究价值<sup>[3]</sup>。根据导光板底部微型结构的不同, 可分为网点分布结构和 V 型槽结构。网点分布结构主要是根据不同位

置,在导光板的底部设计不同大小、不同分布的网点。网点分布理论主要包括超均匀分布理论、斥力缓和法、动态均匀分布理论以及动态分子法<sup>[3-7]</sup>。Di Feng 等人用 MEMS 和网点技术在导光板两侧进行设计,收到不错的效果<sup>[8]</sup>。2000 年初,Akihiro Tagaya 和 Yaauhiro Koike 提出了导光板的 V 型槽结构理论<sup>[3,9]</sup>。2003 年,Okumura T 等人对导光板 V 型槽结构进行了进一步的优化设计,使光能有效利用率得到了提高<sup>[10]</sup>。蒋金波等采用边界线原理设计了用于手机背光模组的轮廓渐变 V 槽形自由曲面结构<sup>[11-12]</sup>。

本文在理想的 Lambertian 光源侧向投射时,为达到背光从导光板工作面垂直出射的理想情况,推导了导光板底部微型槽的自由曲面函数。根据平行分布导光板底部微型槽的仿真结果,进一步采用三级台阶式分布导光板底部微型槽,微型槽表面镀吸收膜、散射膜和增透膜以及组合倾角为  $2^\circ$  反射板等方法,得到高亮度、发光均匀的背光源。采用 TracePro 光学软件对模型进行了仿真,得到了符合工程要求的仿真结果。

## 2 导光板微型槽的数学模型

所设计的导光板出射面尺寸为  $30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ ,光源输入端的厚度为  $1\text{ mm}$ 。假设输入端面接收到入射光后成为一个理想的 Lambertian 光源。本文将输入端面分割为无数个高度为  $1\text{ mm}$  的线光源,线光源上的任意一个 Lambertian 点光源只对应于导光板底部的线。此线光源和导光板底部线在坐标系中的对应关系如图 1 所示。本文主要对入射端面线光源的形状和底部线形面的形状进行设计,假设入射端面线光源函数为  $f_2(y)$ ,底部线形面函数为  $f_1(x)$ 。

当入射端面线光源函数上一点 A 发出的任

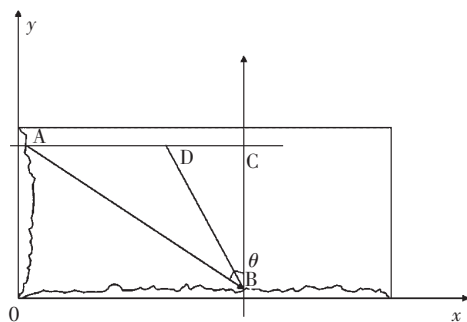


图 1 线光源与导光板底部线对应关系

Fig. 1 Correspondence relationship between linear light and lines of the bottom of light guide plate

意一条光线 AB 入射到底部线形面的任意一点 B,经过此点的完全反射后,出射光线 BC 垂直于底面向上出射。在此理想情况下,出射的面光源最均匀、亮度最高。其中,BD 是 B 点的法线,点 A 坐标为  $[f_2(y_0), y_0]$ ,点 B 坐标为  $[x_0, f_1(x_0)]$ ,点 C 坐标为  $(x_0, y_0)$ ,点 D 坐标为  $(x_1, y_0)$ ,AB 与 BC 的夹角为  $\theta$ 。

根据图 2 的几何关系以及几何光学反射定律,可以得到:

$$\tan\theta = \frac{x_0 - x}{y_0 - y} \quad (1)$$

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{x_0 - x_1}{y_0 - y} \quad (2)$$

$$y = f_1(x_0) \quad (3)$$

$$x = f_2(y_0) \quad (4)$$

$$f_1(x_0) = -\frac{x_0 - x_1}{y_0 - y} \quad (5)$$

$$\tan\theta = \frac{2\tan \frac{\theta}{2}}{1 - \tan^2 \frac{\theta}{2}} \quad (6)$$

解上述方程得到理想情况下:

$$x_0 - x_1 = \frac{-2[y_0 - f_1(x_0)]^2 + \sqrt{4[y_0 - f_1(x_0)]^4 + 4[x_0 - f_2(y_0)]^2[y_0 - f_1(x_0)]^2}}{2[x_0 - f_2(y_0)]} \quad (7)$$

由公式(7)可知,  $f_1(x_0)$  与  $f_2(y_0)$  并不容易求出,而且任意函数曲面在实际生产加工中也会遇到困难,基于这些原因,本文采用一些工程相似的处理方法。 $y_0$  的取值范围比较小,在  $0 \sim 1\text{ mm}$  之内,而且可以选取导光板的内部一定区域作为工作区,忽略边缘。这样函数  $f_1(x_0)$  和  $f_2(y_0)$  值

相对远端  $x_0$  很小,  $y_0 - f_1(x_0)$  和  $[y_0 - f_1(x_0)]^2$  相对于  $x_0 - f_2(y_0)$  也很小,从而得到简化方程:

$$f'_1(x_0) \approx \frac{-1 + x_0 - f_2(y_0)}{x_0 - f_2(y_0)} \quad (8)$$

求解得到:

$$f_1(x_0) = x_0 - \ln[x_0 - f_2(y_0)] + b \quad (9)$$

目前对于  $f_2(y_0)$  的设计主要目的是提高入射光能的耦合度。当采用光源紧贴入射面(或把入射面定义成为光源)的设计时,并不需要考虑入射光源的耦合度问题,为此  $f_2(y_0)$  可以取最简单的形式  $f_2(y_0)=0$ 。为了提高导光板的利用率,简化  $f_1(x_0)$  的坐标表示,公式(9)中取常数  $b=-1$ 。综上所述, $f_1(x_0)$  方程可以转换为如下形式:

$$f_1(x_0) = x_0 - \ln x_0 - 1 \tag{10}$$

$f_1(x_0)$  方程采用二阶泰勒级数展开:

$$f_1(x_0) = \frac{(x_0 - 1)^2}{2} \tag{11}$$

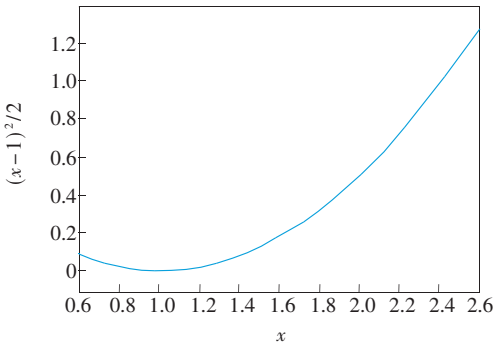


图 2  $\frac{(x_0-1)^2}{2}$  曲线分布

Fig. 2 Curve distribution of  $\frac{(x_0-1)^2}{2}$

泰勒级数展开条件为  $0 < x_0 < 2$ ,而当  $f_1(x_0)$  的斜率为负数时,并不符合以上设计思想。因此,选取  $f_1(x_0)$  函数自变量  $x_0$  在 1~2 范围。同时,将函数平移 2 个单位仍能满足以上函数的推导过程,从而得到了导光板底部微型结构的自由曲面函数。

3 仿真与优化设计

根据以上推导的导光板底部微型结构的自由曲面函数进行建模,采用理想 Lambertian 光源入射,导光板底部微型槽平行分布,得到光照度的分布如图 3 所示。

由照度分布图可知:远光源端工作区(10~30 mm)光照度分布较均匀,但能量较低;近光源端工作区(0~10 mm)光照度起伏较大,而且能量也较大。此仿真结果并不理想,主要原因是底部表面采用理想的镜面反射,这样近光源端的微结构就会遮挡远光源的微结构,使得远光源端本应该发挥理想反射作用的部分微结构不能反射到光,距离入

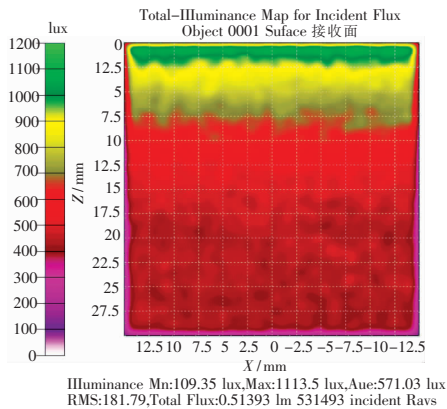


图 3 光照度的分布图

Fig. 3 Illumination distribution map

射光源越远,光照度值越小,从而导致出射光照度分布不均匀。

为了解决这个问题,需要对导光板底部微型结构进行优化。自由曲面函数中  $b$  因子的存在,使函数可以沿  $y$  轴上下移动。如果采用阶梯状分布,可以使每个微型结构接收到光并发挥作用,但每增加 1 mm 的水平距离就必须抬高厚度 0.5 mm,这样不能够满足超薄设计的要求。本文将导光板底部微型结构单元函数截取 1~1.25 mm 段形成三台阶分布:0~10 mm 处于第一台阶,10~20 mm 处于第二台阶,20~30 mm 处于第三台阶,三级台阶依次提高 0.031 25 mm。另外,还采用了底部微型槽表面镀膜技术对近光源端工作区进行优化,其中 0~1 mm 和 4~7.5 mm 镀理想扩散膜,1~4 mm 镀理想吸收膜,7.5~30 mm 镀理想增透膜。同时,还在导光板的下面加入倾角为  $2^\circ$  的全反射板,用以平衡近光源端和远光源端工作区的光照度分布。最后形成了一种新型的组合导光板,整体结构如图 4 所示,底部微型结构放大如图 5 所示。

分别采用波长为  $0.47 \mu\text{m}$  的蓝光、波长为  $0.546 1 \mu\text{m}$  的绿光和波长为  $0.632 8 \mu\text{m}$  的红光

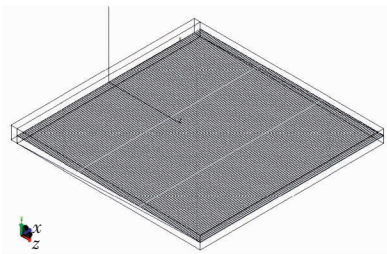


图 4 导光板整体结构

Fig. 4 Whole structure of light guide plate



图 5 导光板底部微型结构放大图

Fig. 5 Enlarged drawing of micro-structure at the bottom of light guide plate

作为入射光源。模型有效工作区为距离导光板入射端 2.5 mm 以内,距其他三边缘 1.5 mm 以内的区域。光照度均匀度采用光照度最小值与平均值的比值来衡量。

在波长为 0.47  $\mu\text{m}$  的蓝光入射下进行光线追迹,得到出射面光照度分布如图 6 所示。根据图 6 的光照度分布,可以得到在模型有效工作区域内均匀度为 79.03%,最大照度为 404.099 lx,最小照度为 251.183 lx,平均照度值为 317.827 lx。

在波长为 0.546 1  $\mu\text{m}$  的绿光入射下进行光线追迹,得到出射面光照度分布如图 7 所示。根据图 7 的光照度分布,可以得到在模型有效工作区域内均匀度为 80.37%,最大照度为 399.305 lx,最小照度为 246.915 lx,平均照度值为 307.228 lx。

在波长为 0.632 8  $\mu\text{m}$  的红光入射下进行光线追迹,得到出射面光照度分布如图 8 所示。根据图 8 的光照度分布,可以得到在模型有效工作区域内均匀度为 80.13%,最大照度为 404.127 lx,最小照度为 241.246 lx,平均照度值为 301.064 lx。

综上所述,在导光板的有效工作区域内,R、G、B 三基色主波长下光照度均匀度分别为 80.13%、

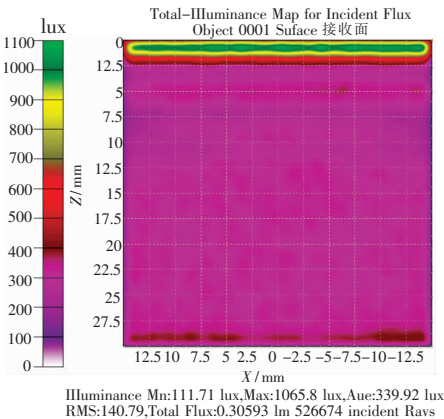


图 6 入射光波长为 0.47  $\mu\text{m}$  时,出射面的光照度分布图。  
Fig. 6 Illumination distribution map of the exit surface when the wavelength of incident light is 0.47  $\mu\text{m}$

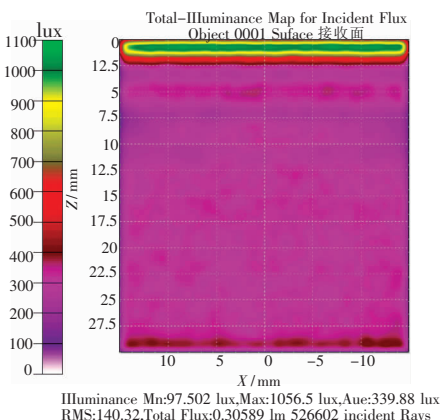


图 7 入射光波长为 0.546 1  $\mu\text{m}$  时,出射面的光照度分布图。  
Fig. 7 Illumination distribution map of the exit surface when the wavelength of incident light is 0.546 1  $\mu\text{m}$

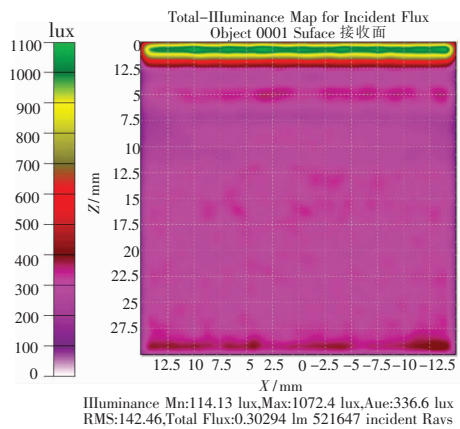


图 8 入射光波长为 0.632 8  $\mu\text{m}$  时,出射面的光照度分布图。  
Fig. 8 Illumination distribution map of the exit surface when the wavelength of incident light is 0.632 8  $\mu\text{m}$

80.37%和 79.03%,误差波动很小,均匀度较高,能够满足实际工程的需要。

## 4 结    论

提出一种导光板底部微型结构设计的数学模型,并采用了导光板和反射板相组合的方式。导光板底部微型槽结构的设计和三级台阶分布使远光源端出射面光照度均匀,效果良好;底部微型槽表面镀膜技术主要针对于近光源端出射面光照度较高的特点设计;反射板主要用于进一步平衡远光源端出射面和近光源端出射面的光照度的平均值。这种组合结构使大面积的远光端工作区很容易达到较高均匀度,大幅降低了背光

组件设计的工作量。由于结构较为简单,所以结构的优化收到了良好的仿真效果,能够满足整体的设计工艺容易实现。以上技术的应用和工程设计的需要。

参 考 文 献:

[1] 季旭东. LCD 背光产品的新发展 [J]. 液晶与显示,2002,17(2):119-127.

[2] 谢洪波,李保安,徐爱国,等. 液晶背光模组中棱镜膜结构参数影响显示效果的模拟分析与验证[J]. 液晶与显示, 2008,23(5):549-554.

[3] 孟晓. LED 背光模组设计 [D]. 杭州:浙江大学, 硕士学位论文, 2007.

[4] 王大巍,王刚,李俊峰,等. 薄膜晶体管液晶显示器件的制造、测试与技术发展[M]. 北京:机械工业出版社,2007: 155-158.

[5] 臧金浩. 侧入式 LED 导光板结构的设计 [D]. 西安:西北大学, 硕士学位论文,2008.

[6] Chang J G, Su M H, Lee C T, *et al.* Generating random and nonoverlapping dot pattern for liquid-crystal display backlight light guides using molecular-dynamics method [J]. *J. Appl. Phys.* , 2005,98(11):114910-114917.

[7] Ide T,Mizuta H, Taira Y, *et al.* Dot pattern generation technique using molecular dynamics [J]. *J. Opt. Soc. Am*, 2000, 209(2):248-255.

[8] Feng D, Yan Y B, Yang X, *et al.* Novel light-guide plates for liquid crystal display backlight [J]. *J. Opt. A*, 2005,(7):111-117.

[9] Tagaya A, Koike Y. Highly scattering optical transmission polymers for bright display [J]. *Macromol. Symp.* , 2000, 154:73-82.

[10] Okumura T, Tagaya A, Koike Y, *et al.* Highly-efficient backlight for liquid crystal display having no optical films [J]. *Appl. Phys. Lett.* , 2003, 83(13):2515-2517.

[11] 蒋金波,杜雪,李荣彬,等. 用于手机背光模组的轮廓渐变 V 槽形自由曲面结构的新颖设计 [J]. 液晶与显示, 2005,20(3):178-184.

[12] 蒋金波,杜雪,李荣彬,等. 自由曲面的 LED 路灯透镜的设计 [J]. 液晶与显示, 2008,23(5):589-594.



《液晶与显示》关于作者署名的通告

针对目前论文署名比较随便,论文作者要求增减合著者或改变排名顺序的情况时有发生,本刊编辑部特提请文章作者注意:论文署名是一件十分严肃的事情。在论文上署名的作者应为参与论文撰写或对论文所涉及的研究工作有贡献的人,所有署名作者均应对文章内容负责。凡合著的文章,投稿前应仔细斟酌,考虑周全,并征得所有合作者的同意,同时应写明联系人。署名及排序在投稿后确实需要改变时,应由联系人向编辑部出示有关合著者同意并签名(盖章)的函件。否则,编辑部有权拒绝其要求。

《液晶与显示》编辑部