

液晶边光式白色 LED 背光源的光学设计

刘红^{1,2} 孙传伟¹ 李伽³ 刘锦高¹ 王蔚生¹

¹华东师范大学信息科学与技术学院, 上海 200062
²长江师范学院物理学及电子工程系, 重庆 408003
³浙江工业大学信息工程学院, 浙江 杭州 310023

摘要 通过理论分析与模拟验证,设计和制作了一款采用双侧边光式白光 LED 作为背光源的 26 inch(1 inch=2.54 cm)液晶电视。选用的白光 LED 结构简单,性能优良。在实际制作中利用高效的驱动电路对白光 LED 单元进行驱动。模拟结果表明:此结构的白光 LED 背光源液晶电视亮度均匀性能够达到 91%,色度均匀性达到 85%,完全满足设计应用要求。

关键词 光学设计;液晶电视;白光 LED 背光源;边光式;亮度均匀性;色度均匀性

中图分类号 TN958 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.012201

Optical Design of Side-Lighting WLED for LCD Backlight

Liu Hong^{1,2} Sun Chuanwei¹ Li Jia³ Liu Jingao¹ Wang Weisheng¹

¹School of Information Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200062, China
²Department of Physics and Electron Engineering, Yangtze Normal University, Chongqing 408003, China
³College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou, Zhejiang 310023, China

Abstract Through theoretical analysis and simulation test, we design and fabricate a 26 inch (1 inch=2.54 cm) liquid crystal display television set (LCD TV) with two side white light LEDs (WLEDs) as backlights. The structure of the WLED is simple and the WLEDs perform excellent. In the actual fabrication, a highly efficient circuit is used to drive the WLED units. The simulation results show that the brightness uniformity of the LCD TV is 91% and the color uniformity is 85%, which completely satisfies the requests of design.

Key words optical design; liquid crystal display television set; white light LED backlight; side lighting; brightness uniformity; color uniformity

OCIS codes 220.3620; 220.3630

1 引言

液晶显示器(TCD)具有轻、薄、高清晰和显示无辐射等很多优点,但是液晶电视(LCD TV)的液晶本身并不发光,只能透光,它必须依靠被动光源显示影像。LCD 属于背光型显示器件。液晶电视的显示原理就是靠背光光源发出的光线来“阻断”或“打开”液晶屏幕上均匀排列的细小液晶颗粒来达到还原画面的效果。因此,背光光源的发展对 LCD 的性能非常重要。目前市场上主流的液晶背光光源主要有发光二极管(LED)和冷阴极荧光管(CCFL)两类^[1]。而 LED 与 CCFL 相比,优势是多方面的。CCFL 中含汞,汞不但成本高,而且对环境危害很大。LED 作为绿色环保光源,具有耗电低、色度纯、寿命长、体积小和响应时间短等多项优势。LED 的色域覆盖率可以达到美国国家电视系统委员会(NTSC)的 105%,甚至 120%以上,而 CCFL

收稿日期: 2011-07-10; **收到修改稿日期**: 2011-09-04; **网络出版日期**: 2011-10-21

基金项目: 国家 863 计划(2007AA030112,2009AA032708)资助课题。

作者简介: 刘红(1978—),女,讲师,博士研究生,主要从事显示光源和光学设计等方面的研究。

E-mail: haimi.liu@gmail.com

导师简介: 王蔚生(1967—),男,博士,副研究员,主要从事显示和光学设计等方面的研究。

E-mail: wangweisheng@hotmail.com(通信联系人)

背光源的液晶电视几乎只有 60% 左右^[2]。液晶电视采用 LED 背光可以使厚度更薄、寿命更长(LED 背光光源的使用极限大于 10^5 h)、色域更广、画质更高。在画质就是生命的显示行业,LED 纳秒量级的响应速度也为消除显示快速移动物体时出现的拖尾模糊现象提供了保障。如今超薄已成为平板电视激烈竞争的目标之一,而 LED 背光源的应用可以让液晶电视将超薄做到极致,因此 LED 是最被看好的下一代绿色光源,而 LED 背光源也正给液晶电视带来一场新技术革命。

本文设计和制作了一款 26 inch(1 inch=2.54 cm)液晶电视,采用双侧边光式白光 LED(WLED)作为背光源。模拟结果表明,其亮度均匀性和色度均匀性都达到了很高的水平。

2 LED 背光技术

目前,技术上 LED 背光源解决方案花样繁多,如按光源的摆放位置分类,背光源可以分为直下式^[3]、边光式、倾斜式^[4]和单顶角结构^[5]等。直下式背光是将多个 LED 均匀分布在显示区域后面,加上反射腔和扩散膜等共同作用,得到亮度均匀的平面发光效果,其缺点是显示器较厚。边光式背光是将多个 LED 在侧面排列,通过导光板和一些光学膜后在面板上形成均匀发光面,其最大优点是可使显示器厚度更薄。而倾斜式背光和单顶角结构背光主要是使用一些大功率的 LED,采用一定的角度作为背光源,只在设计中有所运用,目前实际生产中由于技术和成本等问题还没有形成量产。LED 背光按颜色划分可以分为红绿蓝三基色(RGB)LED 背光和白光 LED(WLED)背光两种。RGB LED 背光是将红、绿、蓝三种颜色的光复合产生白光,而 WLED 背光是直接利用白光。

2.1 定制 WLED 的规格

行业内生产各种 LED 的厂家很多,产品也很多。根据设计要求定做了一款用硅树脂做密封材料,Bin 脚只有两种,大小为 $3.5\text{ mm} \times 3.5\text{ mm}$ 的 WLED。该 WLED 灯的芯粒是采用整块晶圆外延片上的蓝色部分的芯粒,因为该部分芯粒是最好的,性能也是最稳定的。为确保发光性能的一致性,同时购买该厂家同批次生产的 WLED,因为如果在晶圆生成、切割和封装等环节的环境不一致,将会使生产得到的 LED 产品存在较大差异。在环境温度为 $25\text{ }^\circ\text{C}$,正向电流 $I_f = 60\text{ mA}$ 时,测试选用的 WLED 性能,测得正向电压 V_f 为 $2.9 \sim 3.3 \sim 3.6\text{ V}$ (电压偏差为 $\pm 0.1\text{ V}$,中间为典型值,两边为最小、最大值);发光角度 $2\theta_{1/2}$ 为 120° ;发光强度 I_v 为 $3800 \sim 4500 \sim 5200\text{ mcd}$ (偏差为 $\pm 5\%$)。直流正向电流能通过的最大值为 120 mA ,尖峰脉冲电流最大值为 250 mA ,WLED 最大耐温为 $125\text{ }^\circ\text{C}$ 。测试 WLED 的光场分布,如图 1 所示,其对称性很好;WLED 的辐射方向测试结果如图 2 所示,其性能很好。可见,此 WLED 性能指标完全符合设计的需要。

2.2 光学设计分析

LED 背光光学设计是以几何光学为基础,设计合理的结构使 LED 背光系统能够达到很好的亮度均匀性和色度均匀性。理想的 LED 背光系统设计需考虑 LED 的厚度、效率、功耗、亮度、均匀性、可连接性及易装配性、低电噪声、少的辅助元件、低成本和使用寿命^[6]等多方面因素。设计中将 LCD 面板外观比例定为 $16:9$,此比例为显示的黄金比例。为了使设计的 LCD 更加轻薄、外形更美观和成本更低,决定采用白光 LED 的边发射型排列结构的背光形式。如果采用 RGB LED 背光源,则一般需要三块导光板,会使产品结构复杂。考虑到 LED 为点光源,在背光模组设计中,离光源近的

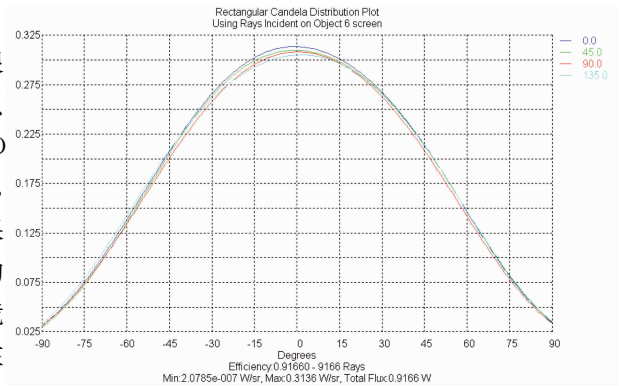


图 1 WLED 的光场分布图

Fig. 1 Light distribution of WLED

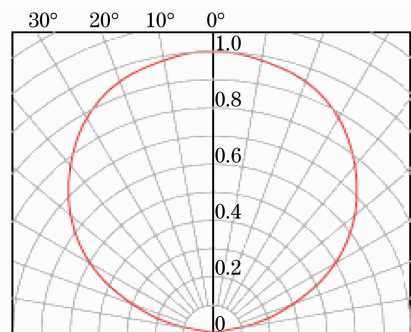


图 2 WLED 辐射方向图

Fig. 2 Radiation pattern of WLED

地方,网点分布较稀疏;离光源远的地方,网点较密集。设计目标要将点光源转变成线光源,同时对导光板进行优化设计^[7]。将 WLED 光源产生的亮度大面积展开,并改变发光方向,最大可能地避免亮斑和黑区,解决暗角、边缘暗线和亮线等问题。再结合利用各种光学薄膜使亮度和均匀性得到提高,使面板显示效果达到最好。

2.3 LCD 的结构设计

将定制的 WLED 灯用作 26 inch LCD 的背光源,考虑上下两边(单边长 597 mm)共使用 160 个 WLED 单元,每边排列 80 颗 WLED,其平均间距约为 7.5 mm。因为有螺丝和定位孔间隔,所以 WLED 间距不完全一致,这将造成很大的光线不均匀性,可以通过对背光模中导光板印刷网点的布点设计予以改善。边发射型所用 WLED 其位置临近导光板侧面,不能相隔太近,否则会有灯影;也不能相隔太远,因为边框太宽会影响外形的美观。

LCD 的边发射型 LED 背光模组主要由光源、导光板、光学用的膜片、散热片、驱动电路和塑胶框等组成,其结构如图 3 所示。背光模组尺寸和 LCD 尺寸大小一致,最大误差不能超过 5 mm,其背光特性好坏直接取决于导光板和光学用的膜片。光学用的膜片主要包括扩散膜、棱片和 3M 增光片等。扩散膜(散射板)主要是将光线形成漫反射并均匀扩散;棱片(垂直和水平相间隔的棱片)又称收光膜或增亮膜,主要负责把光线聚拢,使其垂直进入液晶模块并提升辉度;3M 增光片是 3M 中心专利,可以将光亮度增加 1/3。这些光学膜片将 LED 发出的光均匀地导入液晶面板,增加 LCD 的显示亮度。这项特殊技术在日本、韩国及中国台湾等地的一些生产商都有广泛的应用,几乎已成为一种行业标准。

2.4 驱动电路

驱动 WLED 背光采用微型无电感稳压器。实验定做的 WLED 灯是视角越大越好,但同时要求在视角范围内亮度尽量均匀。为了尽可能得到均匀的亮度,要采用亮度动态控制方式。亮度动态控制就是通过对显示画面进行分析,得到不同区域的最佳亮度,同时控制 WLED 背光达到相应的亮度^[8,9]。亮度动态控制可以方便地通过调节 WLED 背光源电源的电压或输入电流的大小,从而改变 WLED 发光强度,使 WLED 在较低能耗条件下工作。采用串联保护电阻的连接方式与 WLED 串联,可以使每个 WLED 单元的驱动电流相等。

保护电阻 R 计算公式为 $R = \frac{V_s - V_f}{I_f}$,其中 V_s 为电源电压。选用的 WLED 驱动芯片要求能处理高达 24 W 的输出功率,处理效率达到 95% 以上;工作温度范围达到 $-40\text{ }^\circ\text{C} \sim 125\text{ }^\circ\text{C}$ 。连接组装 26 inch LCD 时要选择干燥温和的室温,在一个星期内完成将 WLED 从打开包装到贴片的整个过程。连接 WLED 到模组边侧时,线路板上的孔应完全和 WLED 的外脚相对应,否则容易导致 WLED 所用环氧树脂老化,降低使用寿命。

3 LCD 背光均匀度效果仿真

均匀度指的是图像最亮与最暗部分的差异值,其表达式为 $U_\lambda = E_{\min}/E_{\max}$ 。一般说来,画面最亮的地方会是离光源近的近点,最暗的地方为离光源远的远点。因此,均匀度越高,画面中央到边缘的一致性就越高;均匀度越低,画面明亮不一的情形就越严重。为了评价 26 inch LCD 背光系统的亮度和色度均匀度,采用美国 Lambda 公司出品的 Tracepro 6.0 仿真光学软件得到 26 inch LCD 背光系统的照度分布情况,如图 4 所示。

用数码相机在曝光度相同的情况下拍摄 26 inch LCD 的显示画面(因为采样照片过多,文中未附图片),借用 ANSI-1992 九点方法,从背光源发光平面的边缘和中央部分取 9 点,计算其亮度均匀度。通过计算得

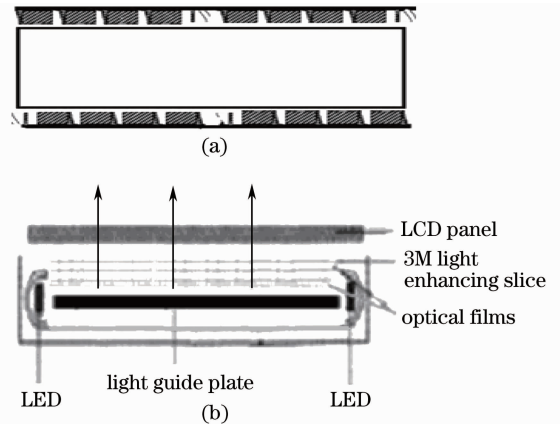


图 3 WLED 两边侧背光系统图。(a)未安装 LCD 面板的正面图;(b)侧面图

Fig. 3 Backlight structure of the two side-emitting WLEDs. (a) Face view without LCD panel; (b) side view

出此背光系统的亮度均匀性达到 91%，色度均匀性达到 85% 以上。

4 结 论

设计了一款 26 inch LCD TV, 采用新型的边发射型 WLED 作为背光源, 通过应用背光板、光学薄膜以及合理的驱动电路, 达到了很好的色度和照度均匀性, 设计公差也在合理范围内。还可以进一步通过新技术来改善 LED 背光源的整体性能, 如目前国内外对新型导光板的研究有很多突破, 已研制出了许多性能优越的新型材料。通过进一步设计优化, 可望更好地达到背光系统一体化、轻薄化和低成本目标^[10,11]。

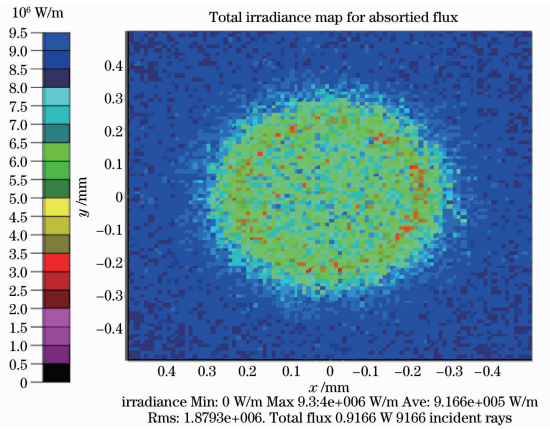


图 4 照度分布图

Fig. 4 Illumination distribution

参 考 文 献

- Zheng Jiuyun, Han Zhigang, Luo Shengqin. The application and driver of white light LED[J]. *Advanced Display*, 2009, **20**(8): 43~46
郑久云, 韩志刚, 罗胜钦. 白光 LED 的应用与驱动[J]. *现代显示*, 2009, **20**(8): 43~46
- Wang Min, Xia Xianjun. Technology and applications of the new LED backlight[J]. *Optoelectronic Technology*, 2005, **25**(4): 268~270
- Chen Xiangxian, Xu Ping, Wan Lili *et al.*. The new technology of light guide plate for backlight system[J]. *Chinese J. Liquid Crystals and Displays*, 2007, **22**(5): 577~582
陈祥贤, 徐平, 万丽丽等. 新型背光系统导光板技术[J]. *液晶与显示*, 2007, **22**(5): 577~582
- Huang Chong, Jiang Yansen, Shen Yi *et al.*. Design of scattering netted dots on light guide plate of edge-lighting LED backlight[J]. *Journal of Applied Optics*, 2008, **29**(5): 690~692
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): 690~692
- Pablo Benitez, Juan C. Minano, Jose Blen *et al.*. Simultaneous multiple surface optical design method in three dimensions [J]. *Opt. Engng.*, 2004, **43**(7): 1489~1502
- Luo Yi, Zhang Xianpeng, Wang Lin *et al.*. Non-imaging optics and its application in solid state lighting[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 963~971
罗毅, 张贤鹏, 王霖等. 半导体照明中的非成像光学及其应用[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 963~971
- Qu Enshi, Zhang Hengjin, Cao Jianzhong *et al.*. Discussion of illuminance formula in optical design[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(7): 1364~1368
屈恩世, 张恒金, 曹剑中等. 对光学设计中照度计算公式的讨论[J]. *光学学报*, 2008, **28**(7): 1364~1368
- Zhang Louying, Zhang Li. Research on mechanism of high power LED luminous attenuation [J]. *Semiconductor Technology*, 2009, **34**(15): 474~477
- Yang Jianyi, Jiang Xiaoqing, Wang Minghua *et al.*. Two-dimensional wavelength demultiplexing employing multilevel arrayed waveguides[J]. *Opt. Express*, 2004, **12**(6): 1084~1089
- Wang Weisheng, Qiu Song, Mao Min *et al.*. Research on optical engine of DLP RPTV based on LED[J]. *Advanced Display*, 2006, **17**(12): 22~25
王蔚生, 邱菘, 毛敏等. 采用 LED 光源 DLP 背投电视光学引擎的研究[J]. *现代显示*, 2006, **17**(12): 22~25
- Seung Ryong Park, Oh Jang Kwon, Dongho Shin *et al.*. Grating microdot patterned light guide plates for LED backlights [J]. *Opt. Express*, 2007, **15**(6): 2888~2899