

文章编号: 1007-2780(2012)06-0774-06

均匀照明 LED 背光板设计

周羲君^{1,2}, 冯仕猛^{1*}

(1. 上海交通大学 物理系, 上海 200240, E-mail: zhouxijun123123@163.com;
2. 3M 中国有限公司, 上海 200233)

摘 要: 当前越来越多的液晶显示器都朝着低功耗的方向发展, 而降低功耗的直接方法是减少作为光源的 LED 数目及功耗, 但因 LED 颗数变少, 使 LED 间距增大而产生 hot spot。为解决这个问题, 文中在不改变 LED 与导光板之间空气层的前提下, 增大相邻 LED 之间间距, 达到了很好的混光效果。由于 LED 入射导光板的光入射角增大, 解决了在 LED 背光模组的 hot spot 现象, 使均匀性得到最大程度的改善, 这一研究对于提高低功耗液晶显示器显示效果具有一定的参考意义。

关 键 词: LED; 均匀性

中图分类号: O753⁺.2 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122706.0774

Design of High Uniformity LED Backlight

ZHOU Xi-jun^{1,2}, FENG Shi-meng^{1*}

(1. Department of Physics, Shanghai JiaoTong University, Shanghai 200240, China, E-mail: zhouxijun123123@163.com;
2. China Co., LTD, Shanghai 200233, China)

Abstract: Currently, more and more liquid crystal displays are towards to the low-power, which the effective method is reducing the number of LEDs as the light source. However, as the decrease of LED pixel, hot spot will increase fast. To solve above problem, without changing the distance between LED and guide plate, and with increasing the distance between LED and LED as well as incident angles of guide light plate, light in guide light plat is completely mixed by using this method, and light uniformity is much more improved. Hot spot in the LED backlight module are also solved. This research has good significance for LCD display.

Key words: LED; uniformity

1 引 言

在液晶显示中, 越来越多的光源由 LED 代替了冷阴极荧光灯管。LED 作为一种新型光源, 有光效高、低能耗、寿命长、绿色无污染等各种优点。在为液晶显示提供光照的背光模组中, 常用的白光 LED 的效率已超过 100 lm/W。

近年来, 诸如平板显示等这些极具吸引力的

热销产品已经变得更加环保节能, 很多厂家使其产品比前一代的能耗下降了约 25%~35%。对于以 LED 为光源的液晶显示设备来说, 减少 LED 的颗数便是最直接有效的方法。但由于 LED 为点光源, 一旦颗数减少就意味着 LED 之间的间距加大, 因此随之而来的便会在靠近显示设备边框的画面入光部位就会出现明暗相间的现象, 我们称之为 Hot Spot。

收稿日期: 2012-08-20; 修订日期: 2012-09-24
作者简介: 周羲君(1983—), 女, 上海人, 硕士研究生, 研究方向: 液晶显示器背光设计及光学膜片。
* 通讯联系人, E-mail: smfeng@sjtu.edu.cn

而目前解决 hot spot 的方法多为减小所选 LED 功率从而增加 LED 排布密度;或是拉大 LED 与入光面之间的距离,以求光在入射至导光板时能够消除 hot spot 所带来的均匀性过差的问题。

2 实验与改进

在给出解决方案之前,先对目前显示器中使用的背光模组中的 LED 光学性能做出相应的了解。再结合光学仿真,指出现有 LED 背光模组中实际存在的问题,并予以分析。

在这里我们选择了联想的显示器 Think Vision L2251xwD 作为被测对象,它的屏幕尺寸是 55.9 cm(22 in),宽高比为 16:9。显示器的组成部分有包括了白反、印刷式亚克力导光板、LED 灯条以及光学膜片组(其中包括上扩散片、棱镜片和下扩散片)的背光模组,液晶面板和包覆在面板外的边框。

这个显示设备有以下的临界尺寸:相邻 2 颗 LED 中心点的距离为 9 mm,LED 和导光板入光面之间的距离约为 0.25 mm,而 LED 的发光面和距离其最近的网点之间的距离约为 2 mm,最后 LED 的发光面距覆盖在液晶面板上边框的边缘约为 5 mm。LED 灯条上 LED 的颗数为 54 颗。

2.1 LED 发光的光强度分布测试

LED 为点性发光体,其发光状态为扇状发射,一般其中心的发光光强最大。采用多颗非连续的点光源 LED 排列成线状后做成 LED 灯条,用其替代传统的线性发光的 CCFL 光源。在方案提出之前,先看一看 LED 的出光分布。

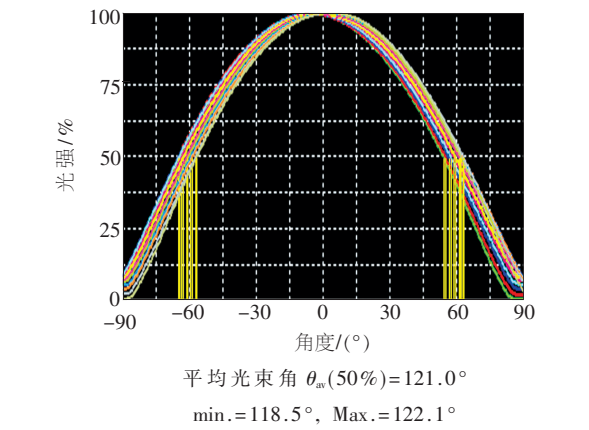


图 1 LED 光强分布曲线
Fig. 1 Curves of LED light intensity distribution

取被测显示器中的 LED 为测试对象。使用远方的 LED 分布光度计测试得到的被测显示器中使用的 LED 光强分布曲线如图 1 所示。纵轴所示为所测光强的相对值,横轴为光束角度 θ 角。图 2 是 LED 光强分布的仿真图。由其及光强分布曲线可见,LED 的主发光区位于中心部分,而其光强越向外则越弱。

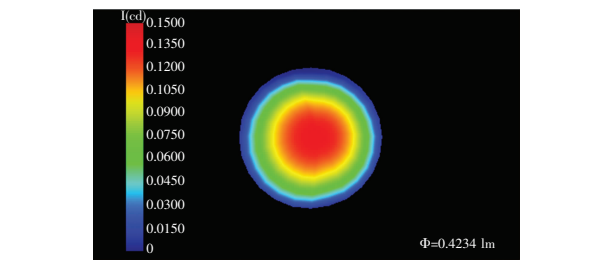


图 2 LED 光强分布的仿真图
Fig. 2 LED simulation of light intensity distribution

在实际背光源应用中,LED 将会成线性排列,置放于导光板一侧作为入射光源。由于 LED 光效的不断上升,以及绿色节能的要求,所用 LED 颗数便在实际使用中不断下降,也就是说,LED 和 LED 之间的间距变得越来越大了。在通常设计中,一旦间距超过一定范围(一般大约在 9~11 mm),所存在的 hot spot 现象就会变得相当明显以致无法接受。在这里,我们将这种情况称为“均匀性限制”。

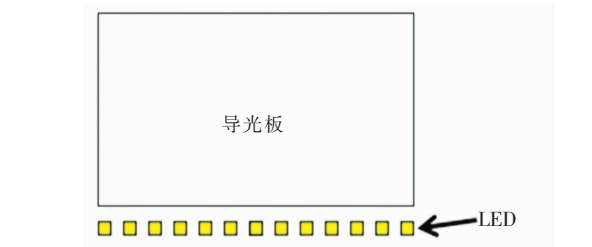


图 3 背光中 LED 的排列方式
Fig. 3 LED arrangement of backlight

2.2 LED 设计的模拟仿真

我们使用被测显示器中的 LED 参数和 LED 的排布参数,在 Lighttools 中进行光学仿真,所得结果如图 4 所示。

一般来说,如果要将点光有效地导入进而成为均匀的面光需要一个相当好的导光及混合机构。通常市场上的导光板都是选用低损耗的 PMMA 作为常用材料。入射的光会在导光板内

部全反射来达到光线传输的目的。最终面光的均匀出射则是由印在导光板上的网点来控制的。但是由于导光板的厚度是一定的,因此对全反射来说就限制了光线在导光板内部的均匀传输。特别是靠近入射面附近,光的混合程度严重不足。因此,就如我们在仿真结果中看到的,在 2 个 LED 光入射的中间地带很少有光线的存在,从而造成暗区的存在。通常,只有减小 LED 之间的间距,以达到良好均匀性的目的。所以,反过来说,这又大大限制了 2 颗 LED 之间间距增大的可能性。

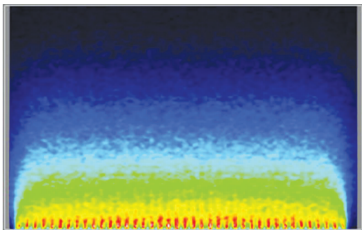


图 4 Hot spot 现象存在的 LED 背光
Fig. 4 Hot spot phenomenon in LED backlight

而目前市场上产品的解决方法通常有 2 种,一是增加 LED 的颗数以减小 2 颗 LED 之间间距,以增加出射光的重叠区域;二是将 LED 和导光板间空气层的厚度增加,从而避免 hot spot 的出现。虽然这两种方法可以解决 hot spot 的问题,但他们所带来的弊端却也是不能避免的。如:

(1)若采用第一种方法,由于 LED 在工作中会发热,而其工作时的温度恰是决定其发光效率的因素之一。而一旦 LED 和 LED 之间的距离过小,散热的效果便会变差,而使 LED 不能在最佳的温度下工作,从而限制了整个系统的效率。

(2)若采用第二种方法,会因为均匀性要求,而使用更宽的边框去遮挡住增厚的空气层以及未均匀混光的部分。这样在视觉上会让人觉得实际可视屏幕面积比实际面积小很多。

由于实际 LED 的颜色不可能是完全相同的,因此若是混光部分不能很好地相交融,那么便会增加对 LED 色差的敏感性。

3 设计和实验评测

3.1 微棱镜膜片的结构使用

我们提出的解决方法是,在不改变 LED 与导

光板之间空气层的前提下,增大 LED 和 LED 之间间距,也可以达到很好的混光效果。其实在小尺寸的 LED 背光应用中,有一种是在 LED 的入光面做上一些微结构,而使得光进入导光板以后的入射角变得更大而达到更好的均匀性。但通常这类导光板都是注塑而成的,从而可以较为容易地获得不同的结构。但在显示器这类中尺寸的显示设备中,使用的导光板都是在切好的平板上由油墨印刷网点而得,所以不可能在出光面上直接做出微结构而达到我们的要求。

我们尝试把一种带有微结构的膜片贴到 LED 光的出射面上,以此来代替直接注塑导光板入射面上微结构的作用。这种微结构可以帮助扩展 LED 光进入导光板的入射角,从而减少暗区的存在,方法简单易行。

这里我们选择棱镜结构来实现匀光的目的。如图 5 所示,棱镜的排列方向垂直于导光板放置的水平方向,并面向 LED 灯条的位置。而选择的棱镜结构的尺寸相对于 LED 也非常小,为 50 μm 。

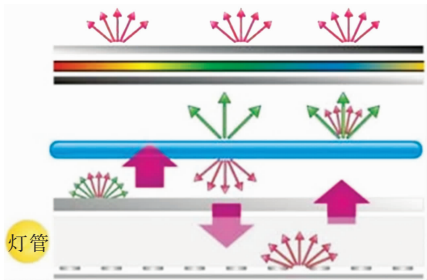


图 5 微棱镜膜片使用示意图
Fig. 5 Microprism patch using a schematic

这样一个带有棱镜结构的膜片贴到导光板上以后所具有的功能是使进入导光板的光的入射角度更大。用一支激光笔放置于导光板的入射面,使该激光入射至导光板,比较使用棱镜结构膜片之前和之后的光的入射角度的变化。图 6 清晰地展示了得到很好扩展的入射导光板的光的光束角度,而没有做任何处理的部分,入射光仍然是一准直光束。如图 6(b)所示,即便是光以大于 PM-MA 全发射角的角度入射至导光板,光束的扩展情况依然良好。当入射光以 60° 入射至导光板后,入射光束依然可达 70° 左右。而在另一边没有贴微棱镜结构膜片的地方,入射光束的扩散角度仅为 35° ,而且大部分的光都集中在该光束的中间区域。

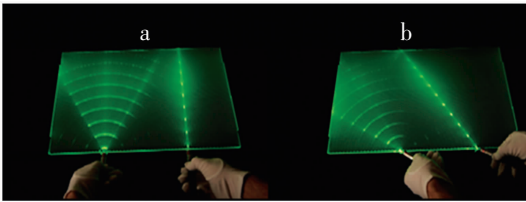


图 6 普通导光板和贴有微棱镜膜片导光板对入射光角度的不同影响(a、b 图中左侧导光板均贴有微棱镜膜片,而右侧未贴)

Fig. 6 Effect of ordinary and affixed with a microprism patch lightguide plate on different angles of incident light

由图 7 所示可以看出,由朗伯型 LED 做成的 LED 灯条发出的光入射至贴了微棱镜结构膜片后所达到的效果。如图(a)所示,由 LED 发出的

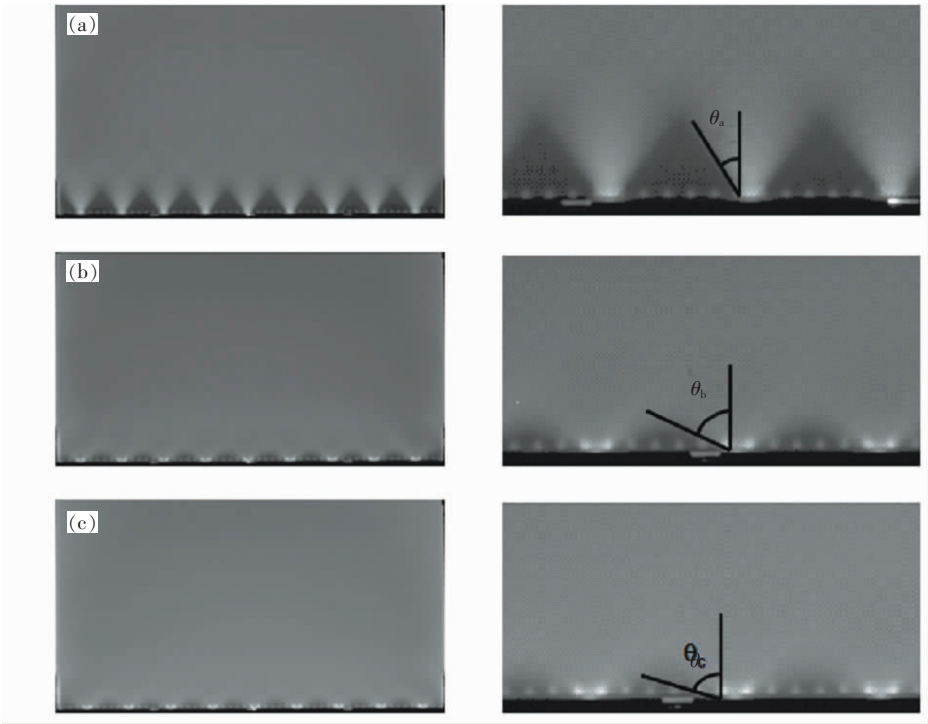


图 7 贴了微棱镜膜片以后对 LED 出光角度的影响

Fig. 7 Impact of posted microprism patch later on LED light angle

3.2 解决方案对 LED 间距的影响

图 8 是模拟改变相邻 2 颗 LED 间距,而得到的均匀性的变化图。图 8(a)是距 LED 1 mm 处所得均匀性值的改变,图 8(b)是距 LED 5 mm 处所得均匀性值的改变。可以清晰地看到,当使用微棱镜结构膜片以后,均匀性会是原来的 2 倍以上。

用于被改进样品显示器的相邻 2 颗 LED 中

光入射至导光板的入射角是要小于 PMMA 的全反射角 $\pm 42^\circ$ 。图(a)中右侧的照片所示为左图的近照,同样图(b)和图(c)的近照皆为该图右侧照片。图(b)和图(c)所示,分别贴了折射率为 1.57 和 1.65 的微棱镜结构膜片。如图,实测 θ_a 为 35° , θ_b 为 66° , θ_c 为 75° 。由测量数据可知,使用折射率为 1.57 和 1.65 的微棱镜结构膜片后, θ 角分别增加了 89%和 114%。

因此可知,相对于通常的全反射的情况,LED 之间的暗区面积变得更小了。也就是说,这使得在背光模组的设计中 2 颗相邻 LED 之间可允许的间距变得更大了。由此可见最大入射角是由所贴微棱镜结构膜片所决定的,棱镜材料的折射率越大则入射至导光板的光的角度会越大。

心点的距离为 9 mm,现在我们对其 LED 的驱动电路稍作改动。当所有 LED 全都打开的时候相邻 2 颗 LED 之间的间距为 9 mm;当 LED 一颗隔一颗被点亮时,相邻 2 颗点亮的 LED 之间的间距为 18 mm;当仅序号为 3 的倍数的 LED 被点亮时,相邻 2 颗点亮的 LED 之间的间距为 27 mm;当仅序号为 6 的倍数的 LED 被点亮时,相邻 2 颗点亮的 LED 之间的间距为 54 mm。这里我们将

微棱镜结构膜片用光学透明胶黏剂贴到导光板的入光面,有微棱镜结构的那面朝向 LED。同时需注意排出贴合过程中产生的所有气泡。

图 9 所示为联想的显示器在修改前和修改以后的效果对比。其中 I 为修改之前的效果,II 为贴合了微棱镜以后的效果。而相邻点亮的 LED 中心点之间的距离分别为(a) 9 mm,(b) 18 mm,(c) 27 mm,(d) 54 mm。

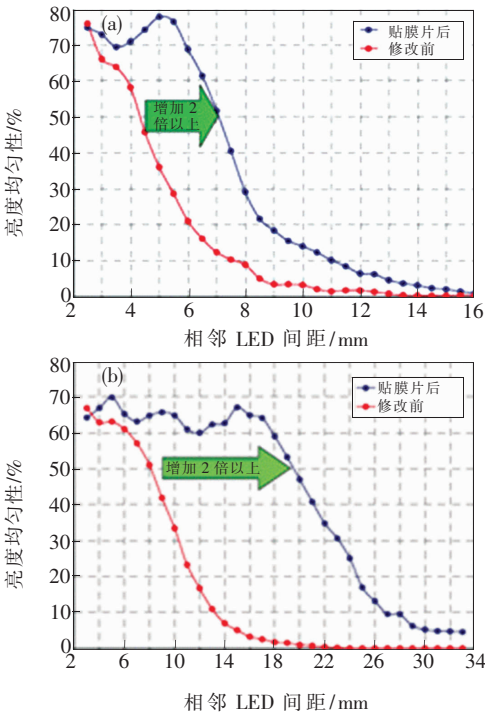


图 8 当改变 LED 间距时亮度均匀性的变化
Fig. 8 Varieties of brightness uniformity with the change of the space between LEDs

如图 9 所示,当相邻 2 颗点亮的 LED 之间的间距增大至 18 mm 时,未修改导光板的显示器,在靠近入光面的地方很容易看到 hot spot 的存在,也就是光学均匀性很差。而在贴上微棱镜结构膜片的时候,一直到相邻 2 颗点亮的 LED 间距增大至原来的 3 倍,即 27 mm 时,依然没有出现 hot spot 的现象,也就是它的光学均匀性和原始状态一样。一直到间距增大至原始状态的 4 倍,即 54 mm 时才看到了轻微的 hot spot 的出现。这种程度的不均匀,完全可以通过靠近入光面的网点优化来使其达到均匀性要求。而这种微棱镜结构膜片的使用,对最后亮度的影响很小,仅为 2%。

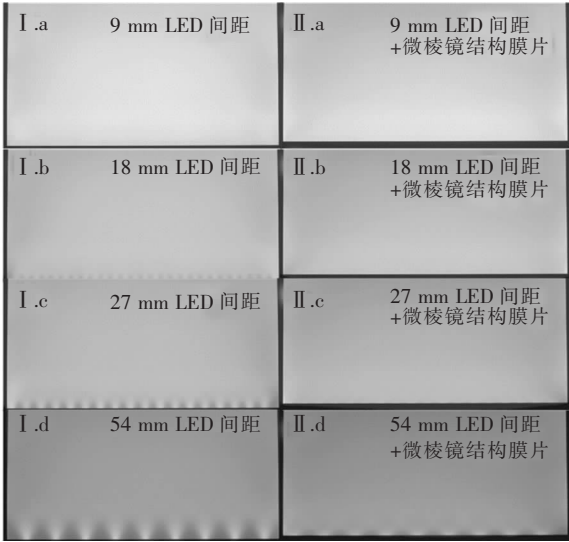


图 9 改变相邻 LED 间距后是否贴有微棱镜膜片对亮度均匀性的影响
Fig. 9 Brightness uniformity influenced by the light guide plate with and without affixed microprism patch after changing the space between adjacent LEDs

4 结果和讨论

为保证改进后样品最终的光学性能不发生变化,根据以上的评测结果,最终改进样品中我们选用 18 mm 的 LED 间距,并同时 将光学膜片组中的上扩散片换成 3M 公司的 LEFD(DBEF 产品家族中亮度增益最高的一种),将原来的棱镜片换成高增益的棱镜片。将其和改进前的样品进行比较,具体的测试结果如表 1 所示。

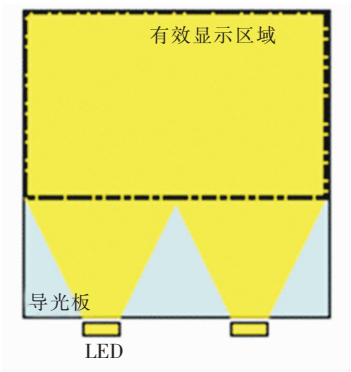
由测试结果可知,在保持亮度均匀性不变的前提下,当 LED 的数量减少 50%,并同时使用 3M 的 DBEF 的方案,可保持原始亮度不变。

表 1 样品测试结果
Table 1 Sample test results

	改进前	改进后
分辨率	1 680×1 050	1 680×1 050
光学膜片组	上扩散片+棱镜片 +下扩散片	LEFD+高增益棱 镜片+下扩散片
亮度/(cd·m ⁻²)	263	257
13 点均匀性/%	83%	82%
色域/%	78	78
背光功耗/W	27	13.5
LED 颗数	54	27

表 2 原有显示器样品和使用微棱镜结构膜片改进以后的对比

Table 2 Optical effect contrast between original monitor and the moriter with using micro-prism structure

改进前	改进后
	
在导光板和空气层上发生的光的折射混合是有限的,因此限制了边框尺寸的最小值和相邻 2 颗 LED 的间距的最大值。	当使用了微棱镜结构膜片以后,发出的光以大角度入射至导光板,并在导光板内部发生全反射,然后均匀地导向导光板的另一端,以得到均匀的面光源。

5 结 论

改进 55.9 cm(22 in)低功耗的液晶显示器的设计,其背光功耗只有 13.5 W,是原来未做改进前的一半。但是,从各种实测的光学参数来看,与原来相比基本没有改变。达到此种效果的改进关

键仅在于,导光板的入光面上贴上一条有微棱镜结构的膜片,从而使入射至导光板的光束角度变大,而达到良好的匀光效果。这样就使增加相邻 LED 间距而不出现 hot spot 现象成为可能。该方案能减少 LED 的颗数,便获得低功耗的绿色节能的液晶显示器成为可能。

参 考 文 献:

[1] 刘钱飞,张小宁,刘纯亮,等. LED 背光源亮度均匀性改善方法 [J]. 真空电子技术, 2009,(6):17-04.

[2] Munisamy Anandan, Progress of LED Backlights for LCDs [J]. *Journal of the SID*, 2008,16(2):287-310.

[3] 应根裕,胡文波,邱勇. 平板显示技术[M]. 北京:人民邮电出版社,2002:21-22.

[4] 李郑阳,陈明容. 测量发光画面亮度均匀性的方法:中国,CN200710141775 [P]. 2008-01-09.

[5] 季卓莺,邵红,林燕丹. 暗适应时间、背景亮度和眩光对人眼对比度阈值影响的探讨 [J]. 照明工程学报,17(4):1-4,15.

[6] 刘波,章小兵. 使用多色 LED 补色的背光源 [J]. 液晶与显示,2010,25(5):699-701.

[7] 申苓. 液晶显示器背光源驱动优化的探讨 [J]. 液晶与显示,2006,21(2):165-168.

[8] 李东平,缪春燕,刘丽芳,等. 白光 LED 用 YAG:CE³⁺ 荧光粉的研究进展 [J]. 液晶与显示,2005,20(6):526-531.