

文章编号:1007-2780(2017)12-0949-07

手机液晶显示屏色温校正

王 裕*, 林魏峣, 钱雪华

(深圳众思科技有限公司上海分公司, 上海 200127)

摘要:为了改善手机液晶显示屏白画面主观偏色的问题,本文运用了色度分析仪测量系统,对手机液晶显示屏白画面偏色校正方法进行了研究。首先,分析了影响手机液晶显示屏白画面偏色的主要的原因,基于成本的考量,只进行后期模组段的色温校正,借助设备厂商的色度分析仪测量手机液晶显示屏出厂时的白点坐标的分布范围,对比分析了色坐标优先(方案一)和亮度优先(方案二)两种色温校正的方法。实验结果表明:方案一可以做到色坐标公差在 ± 0.01 以内,甚至更小(看算法的需要和设备的精度),但是无法应用于工程生产领域。方案二虽然牺牲了色温的一致性(± 0.015),工厂的生产效率相比方案一提高了两倍多。综合考量成本和工厂生产效率的因素,方案二更好地满足了实际工程应用的需求。

关键词:手机;液晶显示屏;偏色;色温校正;生产效率;色坐标

中图分类号: TN256 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20173212.0949

Color temperature calibration of liquid crystal display of mobile phone

WANG Yu*, LIN Wei-yao, QIAN Xue-hua

(Zeusis Technology Co., Ltd., Multimedia Technology, Shanghai 200127, China)

Abstract: In order to improve the color shift of the white screen of the Liquid Crystal Display (LCD) of mobile phone, this paper proposes two methods of color temperature calibration, and compares the calibration results respectively. Experimental results shows that the color coordinate method 1 can control the color coordinate tolerance within ± 0.01 , even smaller (base on the algorithm requirement and the accuracy of the equipment). This method can't be applied to mass production, because it takes too long time to do it. Although it sacrifices the color temperature uniformity(± 0.015) by using the luminance method 2, the production efficiency of the factory was nearly twice as higher as the color coordinate method 1. Taking the factors of cost and efficiency into account, the luminance method 2 is better to meet the demand of practical engineering application.

Key words: mobile phone; liquid crystal display; color shift; color temperature calibration; production efficiency; color coordinates

收稿日期:2017-06-12;修订日期:2017-07-12.

* 通信联系人, E-mail: 253310515@163.com

1 引言

手机屏幕显示的白画面偏色,即使是相同品牌相同型号所呈现出来的白画面的颜色给人主观感受都会有所不同,主要差别就在于制造液晶显示器件(LCD)本身的差异,材料特性,工艺制成的波动和参数校正的不同使得颜色表现都不可能完全一致。目前很多手机消费者抱怨自己买到的手机主观上有偏色(偏黄,偏红,或者偏蓝等等。)目前国外手机厂商,(比如苹果(Apple),三星(Samsung))首先在器件选型设计阶段就已经做了器件优化,使得显示器件本身的颜色一致性即色坐标的离散度做到最小,这样至少从器件物理角度方面已经做到了最好的一致性,当然成本也增加了很多,然后每一片屏再去做后续的软件色温校正,苹果公司采用的是处理器端的色温校正算法,算法精度和处理速度都比液晶显示器自带的驱动芯片内置对应的性能优秀很多,具体内部的算法如何实现测试系统如何搭建,苹果和三星公司针对这一技术部分从未公开透露过。苹果公司仅仅是开放了用户调节界面,供消费者进行自由调整。

国内厂商早期为了节省成本,在这方面的投入不是很大,且技术都在日韩面板设计厂商的手中,整机厂基本没有话语权,导致国产手机被消费者频频吐槽和诋毁。近几年来国产中高端手机陆续打开市场,市场占有率持续增加,价格在3 000元左右的中高端手机也是占领了半壁江山,竞争非常的激烈,随之暴露的消费者体验的问题也越来越多,用户对手机的颜色一致性要求越来越高,谁能抓住用户的需求,提升用户的体验,谁就能占领市场。手机显示器件本身的颜色一致性问题被很多消费者吐槽,为了提高消费者的满意度,国内手机厂商针对如何做好手机屏幕器件本身的颜色一致性,以及手机个体之间的颜色差异和寻找系统的解决方案都在努力的探索中。为此本文提出色温校正的方法,在考虑成本以及可量产性的情况下将白画面的颜色矫正到最小的范围之内。

本论文意义在于探索出研究手机屏幕白画面颜色一致性的色温校准技术,在目前较高的成本压力之下,将白画面的色坐标收敛到可以接受的范围之内,从而获得最大的收益。与苹果和三星

手机巨头进行对标,探索其中的矫正方法,打破其对国内手机厂商技术的封锁,为国内厂商针对手机颜色一致性方面提供参考和借鉴,逐步缩小与竞争对手在颜色一致性上的差距。

2 LCD 色度的影响因素

2.1 色度学基本公式

根据色度学基本公式^[1]:

$$\begin{cases} X = k \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{x}(\lambda) d(\lambda) \\ Y = k \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{y}(\lambda) d(\lambda) \\ Z = k \int_{\lambda} \varphi(\lambda) \bar{z}(\lambda) d(\lambda) \\ k = 100 / \sum_{\lambda} S(\lambda) k_y(\lambda) \Delta(\lambda) \end{cases}, \quad (1)$$

其中: X 代表红色色光, Y 代表绿色色光, Z 代表蓝色色光, k 为归一化系数。 $\bar{x}(\lambda)$ $\bar{y}(\lambda)$ $\bar{z}(\lambda)$ 为 CIE-XYZ 光谱三刺激值。

而: $\varphi(\lambda) = \tau(\lambda) S(\lambda)$

对于自发光物体就是发光物体的辐射相对光谱功率分布。 $S(\lambda)$ 为照明光源的光谱功率分布, $\tau(\lambda)$ 为物体光透射比。

$$\begin{cases} x = X / (X + Y + Z) \\ y = Y / (X + Y + Z) \\ z = Z / (X + Y + Z) \\ x + y + z = 1 \end{cases}, \quad (2)$$

其中: x, y, z 即为对应颜色的色度坐标,根据上述公式可得出 x, y, z 实际上只有两个独立变量。人眼看到的颜色其实是背光源经过 LCD 到达人眼的刺激,所有这些路径上的材料都会影响最终人眼看到的颜色,本文只针对影响因子较大的几个做分析。本文测试 B 公司数据,采用测量频谱设备为 SR3-UL1(拓普康设备色度仪设备名称)和 CA310(柯尼卡美能达设备名称),标准光源为 C 光源。众所周知,白点和色温有换算公式^[2],所以本文中白点的矫正也可以理解为色温的矫正。色坐标越分散即离散度越大,说明不同片之间颜色的差异越大^[3](虽然是非线性关系,但是在一定程度上表明了颜色的主观差异性大小。

2.2 背光发光二极管的色块

液晶显示器是被动发光器件,所以后面必须

有发光源,背光(back light)就是液晶显示器件的光源,其中最重要的就是发光二极管(LED; light-emitting diode),对于 LED 可以根据其色坐标及色温不同进行划分(如图 1),色块(bin)就是一个色温分布的区域^[4],在这个区域里面,还可以细分成更小的区域,划分的越小,色坐标的变化量的值越小,对于最终模组的色坐标影响就越小,当然 LED 厂商筛选区块划分投入的成本就越相对越高^[5]。

这个划分后的小的区域就是 LED 的色度区块,不同的色块区域,对应的色温有差异。人眼能够识别的颜色差异阈值大约为 0.005^[6],可是 LED 本身的颜色差异跨度接近 0.03。所以技术上去缩小 LED 本身的颜色差异是目前重要的研究方向。

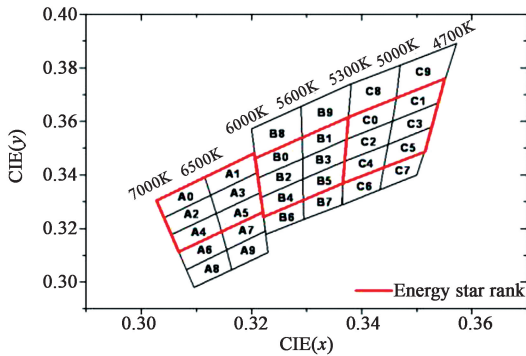


图 1 LED 区块图

Fig.1 LED bin diagram

2.3 彩色滤光片

众所周知,LCD 是不发光的器件,它的颜色的产生是靠背光发出的白光经过彩色滤光片后,用液晶控制 RGB 像素开关达到混色的目的。影响颜色的主要部分为 RGB 颜料的膜厚度,以及所采用的光阻材料的物理化学特性。而经过彩色滤光片后光损失特别大,所以提高彩色滤光片的透过率以及色纯度成为行业的重要研究方向^[7]。目前大多数采用颜料系(pigment)的光阻材料^[8],较好地平衡了环境可靠性,色纯度以及高透过率的要求。近些年来有很多混合式颜料被开发出来,也是为了进一步提高彩色滤光片的透光率^[9]。

2.4 其他因素

除了上述背光和彩膜为主要因素影响最终模组的颜色之外,还会有液晶盒厚度,氧化铟锡(indium tin oxide;ITO)薄膜厚度,液晶电压,有机

膜,偏光片,其他 LCD 内部像素区域的膜材^[10]。但是这些因素一般各家面板厂都会根据自己的实际情况以及所采用的材料,在设计初期和工艺上已经进行了优化和改善。实际也表明,一旦这些材料确定下来,轻易不会做变更(因为材料的变更很严格,需要经过一整套验证),引入的差异会在后续的设计时作为固定值进行模拟补偿。

3 色温校正方法

3.1 基本原理介绍

经过上述的介绍,LCD 的制造本身涉及到的材料和工艺都非常的复杂,最终的实际测试的模组白画面色度或多或少都和当时设计值有一些差异,加上 LED 的色块选择,以及考量成本因素,一般不可能只采用一个 LED 色块进行量产,故模组的最终白画面色坐标差异比较大,主观上感觉就是偏色问题比较严重,根据色坐标在色度图上的分布位置的不同,会给人以不同的颜色差异感觉,所以我们采用现有的设备将模组的白点坐标分布范围进行收敛。

基本流程和原理介绍:通过 SR3-UL1 或者 CA310 测试 RGBW 画面的 XY 值以及亮度(L)值。

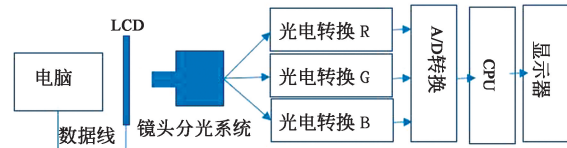


图 2 色坐标测量系统

Fig.2 Color coordinates measurement system

初始显示画面为红色 R(255,0,0)绿色 G(0,255,0)蓝色 B(0,0,255)白色 W(255,255,255)分别测试色坐标和亮度数据并记录,测量系统和流程如图 2。

$$\begin{bmatrix} W(X) \\ W(Y) \\ W(Z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(X)G(X)B(X) \\ R(Y)G(Y)B(Y) \\ R(Z)G(Z)B(Z) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(X)G(X)B(X) \\ R(Y)G(Y)B(Y) \\ R(Z)G(Z)B(Z) \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} W(X) \\ W(Y) \\ W(Z) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} W(X) \\ W(Y) \\ W(Z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W(Y) \times x/y \\ W(Y) \\ W(Y) \times z/(1-x-y) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

本文采用某公司 5.5 in FHD 标准品实验数据分布情况如上图为例,采用的新思的显示驱动 IC,内部内置了 12 条可以修改的 gamma 曲线。基本思路都是通过电脑程序将 $C_1, C_2, C_3 \in [0, 1]$ 连续变化的浮点型数值写入到 LCD 驱动 IC 的寄存器内,每写入一组 (C_1, C_2, C_3) 值,刷新一次画面,白画面的色坐标就做出相应的变化,记录相关的对应数据,按照需求优化相关算法。

3.2 方案 1:色坐标优先

根据上述公式可以看出,我们采用更简单和容易操作的方法(图 3),将 (C_1, C_2, C_3) 系数作用于 RGB 画面,即调整 RGB 画面的比例,测试白点坐标是否达到目标值或者进入目标范围之内。

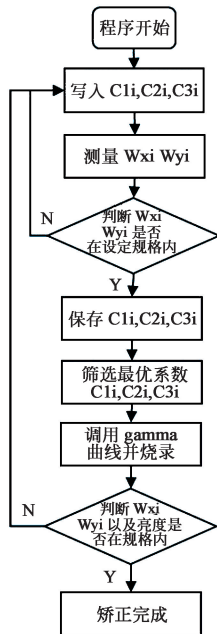


图 3 色度优先软件流程

Fig.3 Soft process procedure of color coordinate method 1

该方法需要每次固定 C_1, C_2, C_3 中的一个或者两个, C_1, C_2, C_3 都要取遍 $[0, 1]$, 并测试判断 (W_x, W_y) 是否在目标规格之内,最后将多组解在进行软件筛选,判断出最优的 C_1, C_2, C_3 系数,然后调用 gamma 曲线并烧录。为了保证色坐标矫正目标规格之内,针对每一片模组都要进行白点矫正,该方案每次矫正都要从头进行计算,每次都会得到一个非常庞大的数据表格,这种方法理论上可以使得每一块模组都矫正到目标规格范围之内,甚至可以矫正到需要的任何一个白点坐标(取决于规格要求和设备的精度),数据表明色

坐标可以收敛到 ± 0.01 以内,甚至可以更小(图 4)。正视白画面的颜色一致性是最好的,但是非常耗时间,对于制造工厂领域来讲,非常影响工厂的产出率 $UPH=87$ ($UPH=\text{unit per hour}$)。而且有的模组色坐标是完全在要求的规格之内了,但是亮度损失太大,已经低于规格下限(图 5)。

从图 4 可以看出,所有分布的白点色坐标全部矫正到目标规格之内(± 0.01),从图 5 中可以看出,有一部分模组的亮度低于 450 cd/m^2 ,根据数据统计,平均亮度下降 12%,亮度低于 450 cd/m^2 的比例大约为 12.9%,原因是该方案算法中没有考虑色温矫正时牺牲亮度的多少,而在终端手机市场,目前消费者对亮度的要求也越来越高(在阳光底下抱怨屏幕上的信息看不清楚),一个很重要的原因就是模组本身亮度偏低导致,所以亮度规格比色度指标的优先度更高。故针对上述算法我们需要做进一步的优化和改进。

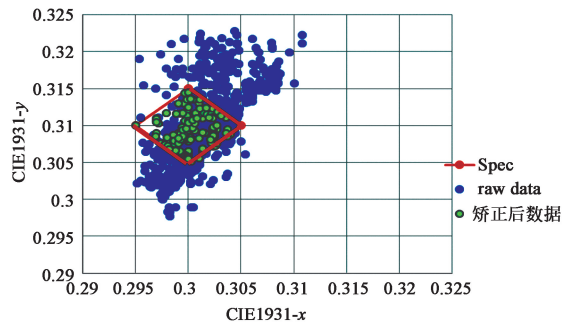


图 4 白点矫正到目标规格之内

Fig.4 White point adjust into specification

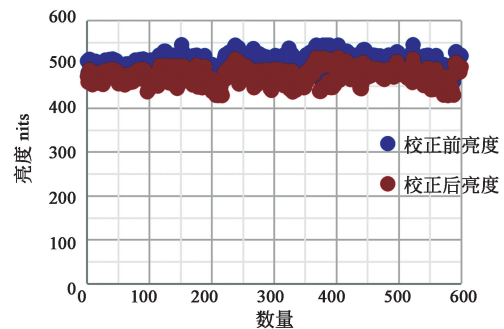


图 5 方案一白点矫正前后亮度变化

Fig.5 Luminance variation before and after white point calibration of method 1

3.3 方案 2:亮度优先

分区域白点矫正. 图 6 中实线框 1 代表需要矫正的规格范围,其余 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11

区域为人为划分的区域,将校正的规格范围在二维平面内进行平移,得到图 6 的区域划分示意图。

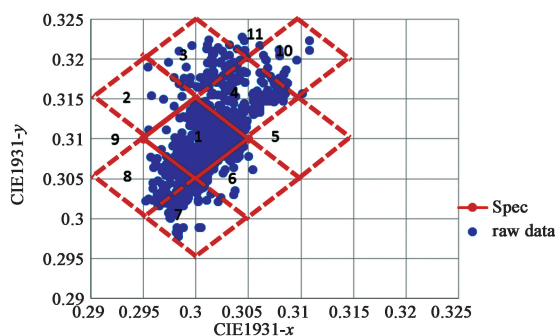


图 6 白点色坐标分布和白点规格区域划分

Fig.6 White color coordinate distribution and white point specification divided into different area

根据这样的划分可以将所有的数据包含在要求的规格之内。(说明:第 5,9 区域由于 LED 区块选择的原因一直没有产出相关的数据,暂未进行统计,后续如有数据处理方法类似)根据划分的区域,即仅仅需要把这 11 个区域对应的中心点样品调试到规格的中心点即可,并固化对应的调整系数(C_1, C_2, C_3),所以可以得到 11 个区域对应的 11 组固化系数,形成数据库。

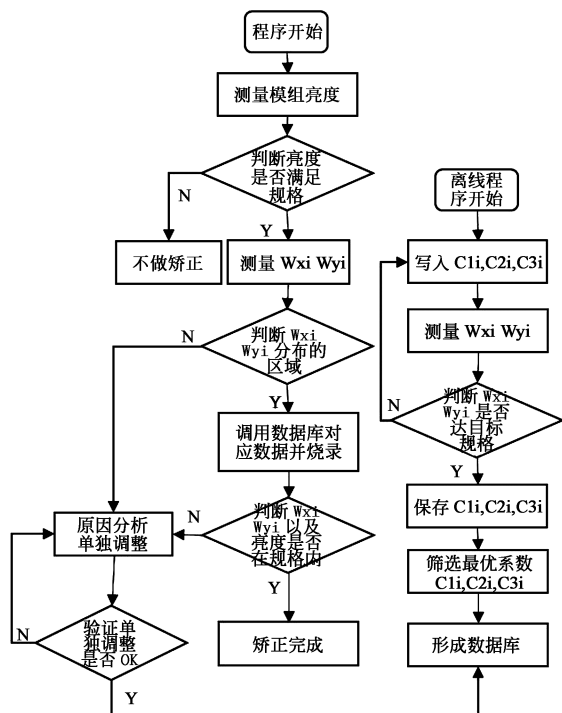


图 7 亮度优先软件流程

Fig. 7 Software procedure of luminance first method 2

软件流程如图 7 所示。在矫正之前首先进行亮度判断,如果亮度低于 450 cd/m^2 就不用做白点的矫正,维持原始的白点坐标,如果亮度大于 450 cd/m^2 再进行白点的矫正,然后测试初始样品的白画面色坐标(W_x, W_y)判断其处于划分的哪个区域,然后软件自动调用并烧录对应的比例系数(C_1, C_2, C_3)。这样可以确保矫正后的色坐标一定在要求的规格范围之内(因为每个区域的色坐标相对于规格值都移动了固定的距离)。如果超出规格,就要分析原因单独进行白点的矫正和优化,验证 OK 后,更新调用的数据库即可。这种方案优点在于数据库的建立可以提前离线做好,每次矫正不需要像方案一那样全部从头计算一遍,只要判定初始的色坐标属于哪个区域,直接烧录数据库中对应的参数即可,故该方案便于产线管理和操作,也便于研发人员的维护,大大缩短了产线每一片模组矫正的时间。

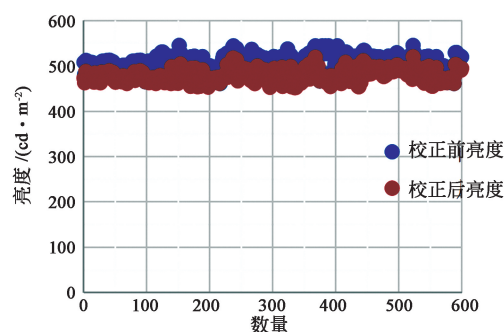


图 8 方案二白点矫正前后亮度变化

Fig.8 Luminance variation before and after white point calibration of method 2

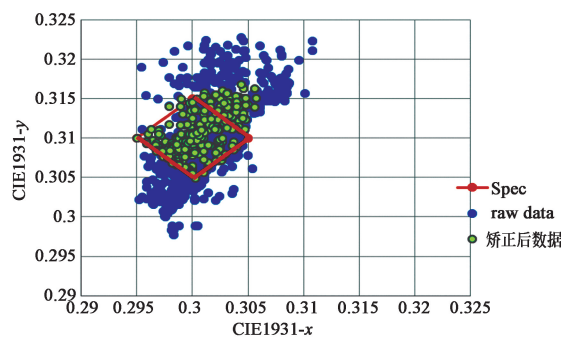


图 9 方案二白点矫正结果

Fig.9 White point adjust result of method 2

图 8 和图 9 矫正的实验数据统计得出,亮度全部大于 450 cd/m^2 ,同时色坐标得到了有效的收敛,为了兼顾亮度的损失,大约 7.2% 色坐标超

出给定的色度规格范围。这一部分色度超出规格的模组,是因为需要降低更多的绿色画面的比例系数,才能矫正到目标规格之内,这时亮度明显低于 450 cd/m^2 , 故不能进行白点色坐标的矫正,这种分区域烧录固定的比例系数的方法,UPH 提高了两倍多,达到了 $\text{UPH}=179$,大大提高了产线的生产效率。

4 色温矫正结果

对比两种矫正的方案我们可以得出(如图 10),

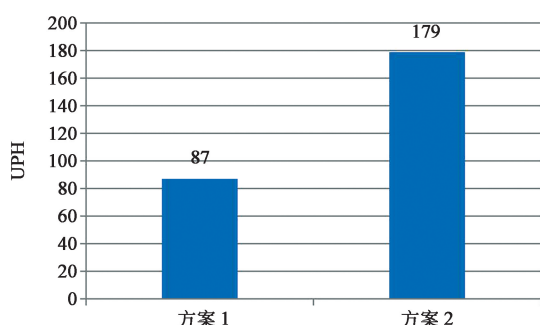


图 10 UPH 比较

Fig. 10 Method 1 UPH compared with method 2 UPH

色坐标优先的方案可以做到色坐标公差在 ± 0.01 以内,甚至更小(看算法的需要和设备的精度);耗时太长,无法应用于工程生产领域;亮度优先的方案虽然牺牲了色温的一致性(± 0.015),工厂的生产效率相比方案一提高了两倍多。综合考量成本和工厂生产效率的因素,方案二更好地满足了实际工程应用的需求。

5 结 论

手机端通过 SR3-UL1 或者 CA310 光度计设备,配合系统动态写入 RGB 的比例系数,优化了色温矫正的算法逻辑关系,验证了两种色温校准的方法,有效地收敛了白画面的颜色均一性,改善了色差问题。两种方案可以根据实际情况选择性采用。最近发现两种矫正方法都会有一个弊端,就是拖动变色,(在有文字的界面上下以某种速度拖动,发现文字的边缘颜色会发生变化,停止拖动后颜色恢复正常)而且拖动变色的现象和初始状态色坐标的分布位置以及矫正的方向有一定的关系,这一部分目前还在继续研究。

参 考 文 献:

- [1] 薛朝华.颜色科学与计算机测色配色实用技术[M].北京:化学工业出版社,2004:44-48.
XUE C H. *Practical Technology of Color Science and Computer Color Measurement and Color Matching* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 44-48. (in Chinese)
- [2] 代彩红,于家琳.光源相关色温计算方法的讨论[J].计量学报,2000,21(3):183-188.
DAI C H, YU J L. Discussion on the calculating methods for color temperature of the source [J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2000, 21(3): 183-188. (in Chinese)
- [3] 郑柏左.色彩理论与数位影像[M].台北:新文京开发出版股份有限公司,2004.
ZHENG B Z. *Color and Image* [M]. Taipei: New Wun Ching Developmental Publishing Co., Ltd., 2004. (in Chinese)
- [4] 金伟其,胡威捷.辐射度 光度与色度及其测量[M].北京:北京理工大学出版社,2006.
JIN W Q, HU W J. *Radiometry, Photometry and Chromaticity, and Their Measurements* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2006. (in Chinese)
- [5] 毛兴武,张艳雯,周建军,等.新一代绿色光源 LED 及其应用技术[M].北京:人民邮电出版社,2008.
MAO X W, ZHANG Y W, ZHOU J J, et al. *A New Generation of Green Light Source LED and Its Application Technology* [M]. Beijing: Posts and Telecommunications Press, 2008. (in Chinese)
- [6] 陈元灯.LED 制造技术与应用[M].北京:电子工业出版社,2007.
CHEN Y D. *LED Manufacturing Technology and Application* [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2007. (in Chinese)
- [7] 李宏彦,杨久霞,吕艳英,等.TFT-LCD 用彩色滤光片[J].现代显示,2005(6):41-44.
LI H Y, YANG J X, LV Y Y, et al. Color filter for TFT-LCD [J]. *Advanced Display*, 2005(6): 41-44. (in Chinese)

nese)

- [8] 何璇,邓振波,杨久霞,等.彩色滤光片用光阻剂研究[J].现代显示,2008(S):75-77,74.
HE X, DENG Z B, YANG J X, *et al.* Research on the photoresist for the color filter [J]. *Advanced Display*, 2008(S): 75-77, 74. (in Chinese)
- [9] MCLAREN K. *The Colour Science of Dyes and Pigments* [M]. Bristol: Adam Hilger, 1983: 127.
- [10] DEN BOERW. *Active Matrix Liquid Crystal Displays: Fundamentals and Applications* [M]. Amsterdam: Elsevier, 2005: 113-119.

作者简介:王裕(1984—),男,陕西咸阳人,上海交通大学电子信息与电气工程学院工程硕士,主要从事手机行业触控与显示器件可靠性研究。E-mail:253310515@163.com.