

文章编号: 1007-2780(2013)03-0358-07

显示器的室外可读性分析

徐富国, 堵光磊

(3M 中国有限公司, 上海 200234, E-mail: f xu3@mmm.com)

摘 要: 实验采用美国国家标准与技术研究院的环境光对比度测试方法测试目前市场上常用的几种显示屏幕的环境光对比度, 测试样品包括: 透射式液晶显示器, 半反半透式液晶显示器, 电子纸, 彩色电子纸, 微机电干涉仪调制显示屏。并在阳光下对几种不同显示器的室外可读性做了目测比较。通过本次实验对显示器的室外可读性给出了定性及定量的分析, 找到了各种显示器提高室外可读性的方法: 提高液晶显示器亮度可以提高室外可读性, 提高半反半透式屏幕及反射式屏幕反射区域的反射率可以提高其室外可读性。

关 键 词: 室外可读性; 透射式液晶显示器; 半反半透液晶显示器; 全反射式显示器; 电子纸

中图分类号: TN141; TN141.9; TN873⁺.91; TN873⁺.93 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/YJYXS20132803.0358

Display Sunlight Readable Analysis

XU Fu-guo, DU Guang-lei

(3M China Limited, Shanghai 200233, China, E-mail: f xu3@mmm.com)

Abstract: The NIST ambient contrast ratio measurement method was used in this experiment to measure the ambient CR of different display in market. The samples include: transmissive LCD, transreflective LCD, e-Ink, color e-Ink and Interferometric modulation mirasol display. Their sunlight readability were also compared under sunlight by human eyes. The ambient CR of these displays were qualitatively and quantitatively analyzed. Some methods to enhance sunlight readability were found: For LCD, enhancing LCD panel brightness will enhance LCD sunlight readability. for transreflective LCD and reflective display, enhancing the reflectivity of display area will enhance their sunlight readability.

Key words: sunlight readable; transmissive LCD; transreflective display; reflective display; E-Ink

1 引 言

最近随着智能手机及移动互联技术的发展, 智能手机等移动式电子设备的应用越来越广泛。用户对手机屏幕的要求越来越高。手机的屏幕从 2007 年的 8.9 cm (3.5 in) 到现在的 10.2~12.7 cm (4~5 in) 主流屏幕, 屏幕在逐渐地增大。显示屏幕的色彩及解晰度都有较大的提升。智能手机在推动显示技术的迅速发展。而手机屏幕的室外

可读性则是不可忽视的问题。

智能手机等移动显示设备的可读性与所处的照明环境密切相关, 根据使用场所的不同, 环境光照度会有不同的数值, 室内一般在 500 lx 以内, 室外照度受天气的影响比较大, 在 5 000 lx 以上, 夏日正午会达到 100 000 lx 以上, 某些高解析度及高色域的手机屏幕在室内使用的情况下显示效果非常好, 但是当在室外强光环境下使用时, 由于外界的光线过于强烈, 显示内容很难分辨。

收稿日期: 2012-09-24; 修订日期: 2013-03-08

作者简介: 徐富国(1980-), 男, 山东临沂人, 硕士, 主要研究方向为液晶显示器及背光材料研发。

目前液晶显示器的对比度是指暗室下的对比度^[1],这与我们的使用环境是完全不同的,因此目前显示器的对比度测试方法并不能反映我们的使用情况,VESA 等国际组织提出了测试环境光对比度(Ambient CR)的方法^[1]。美国商业部国家标准与技术学院(NIST)的 Edward F. Kelly 等人提出了液晶显示器在不同环境光情况下的多种测试方法^[2-7],Michael E. Becker^[8], Phil Downen^[9] 等也对显示器的表面反射及环境光对比度测试做了研究,国内的一些科研人员也注意到了环境光对比度的测量及分析^[10-12],上述研究均认为利用环境光对比度更能反映我们显示设备的真实使用情况。

液晶显示器的对比度、色度、解析度等都已经形成了统一的规格,但是目前还没有一个统一的标准来界定液晶显示器的环境光对比度,而这个数值又是与液晶显示器的显示效果紧密相关的一个参数。

本实验的主要目的是测试并分析目前市场上常见的显示器环境光对比度的情况,对显示产品的室外可读性给出定量的分析。找到提高显示器的室外可读性的方法。

2 显示器环境光对比度测试方法

2.1 环境光对比度的测试方法

本实验采用美国国家标准与技术研究院(NIST)的环境光对比度测试标准^[2]。该方法要求使用一个 A 光源来模拟太阳光,A 光源发出的光经过积分球的反射会变成一个均匀的散射光,显示器和均匀光源出光口(Sample port)紧密贴合放置。然后在出光口的对面有一个测量口(measurement port),使用 TOPCON 光度计 SR3 通过测量口测量显示器的表面亮度。调节 A 光源的输入电压可以调节 A 光源的发光强度,用来模拟不同的太阳光照度,该实验的测试范围从暗室到 30 000 lx。

测试步骤:

第一步,如图 1 的设备,测试光度计与显示器的法线呈 10° 角,积分球的光源不点亮,在暗室环境下测试显示器白画面和黑画面的亮度,白画面亮度记为 L_w ,黑画面亮度记为 L_k 。

第二步,点亮光源,用标准反射镜盖住出光口,标准反射片的反射率已知,此处我们用 ρ_{std} 来

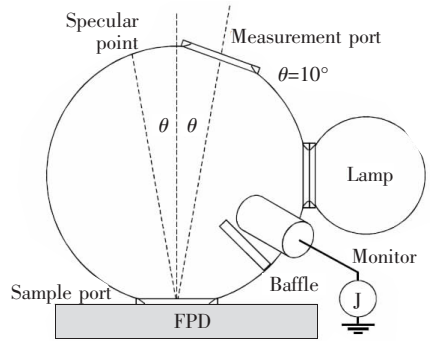


图 1 环境光对比度的测试方法

Fig. 1 Ambient CR test method

表示。用光度计 SR3 测量标准反射镜的亮度 L_{std} ,用积分球侧面的光电流计测量此时的光电流值 J_{std} 。

此时均匀光源出光口的照度可以用式(1)计算:

$$E_{std} = \pi L_{std} / \rho_{std} \quad (1)$$

均匀光源出光口照度和光电流是常数关系,可用式(2)表示:

$$\alpha = E_{std} / J_{std} \quad (2)$$

在下一步测试中只需要测量光电流值就可以知道均匀光源出光口的光照度值:

$$E = \alpha J \quad (3)$$

第三步,移开标准反射板,将显示器调为白画面,并和均匀光源出光口紧密结合,测量此时显示器表面的亮度 L_h ,并记录光电流值 J_h 。此时白画面下的屏幕反射系数为:

$$\rho_w = \pi(L_h - L_w) / \alpha J_h \quad (4)$$

第四步,将显示器画面调为黑画面,重复上述测试,黑画面的亮度计为 L_d ,光电流记为 J_d 。黑画面下的反射系数为:

$$\rho_k = \pi(L_d - L_k) / \alpha J_d \quad (5)$$

环境光对比度 C_r 可用式(6)进行计算:

$$C_r = \frac{\left(\frac{\rho_w}{\pi} \times E_0\right) + L_w}{\left(\frac{\rho_k}{\pi} \times E_0\right) + L_b} \quad (6)$$

该数值反映了屏幕在不同的环境光照度下的可视性。根据显示器的不同结构可以对式(6)进行简化,对透过式液晶显示器而言,其环境光对比度是一个与环境光照度成反比的数值:

$$C_r = 1 + \frac{k_1}{E_0}$$

k_1 是一个常数。透过式液晶显示器的环境光对比度随外界光的增强而迅速下降。

对于反射式显示屏,可以进行简化^[3],是一个与屏幕反射系数相关的一个常数。因此反射式屏幕的环境光对比度应该是一个常数,不随外界环境光照度的变化而变化。屏幕的反射系数越高,则环境光对比度越高,室外可读性越好。

2.2 测试样品的选择

本次试验主要选择透射式液晶显示器,半反半透式液晶显示器,OLED屏幕,反射式显示器;黑白显示电子纸,彩色电子纸以及微机电法布里伯罗干涉型显示器。

试验样品均是市场上可以购买到的电子产品。其中透射式液晶显示器及 OLED 显示器广泛引用于智能手机领域,半反半透式液晶显示器应用于笔记本及智能手机领域,反射式电子纸屏幕及微机电法布里伯罗干涉型显示器应用于电子书领域,所有样品均是在各自的显示领域具有代表性技术的电子产品。

3 结果与讨论

3.1 液晶显示器在不同环境光下的环境光对比度

透射式液晶显示器包含扭曲向列型液晶显示屏幕(TN: Twisted Nematic LCD),平面转换型液晶显示器(IPS: In-Plane Switching LCD),垂直排列型液晶显示器(VA: Vertical Alignment LCD)等。透射式液晶显示器是现在应用最广泛的一种液晶显示器,从智能手机到笔记本、电视等用的都是上述不同形式的透射式液晶显示器。

使用手机和笔记本电脑等移动设备的人都会有这样的感受:液晶显示屏在室内使用显示效果很清晰,但是在室外使用的情况下,显示效果则会受到影响。外界光强越强,显示画面越不可分辨。我们从测试和理论角度解释了这个现象。

根据实际光线的亮暗差别,小于 1 000 lx 的环境光在此次分析中被定为室内环境,1 000 lx 以上的照度定为室外照度。我们分别对两个不同照度的情况进行分析。

本次测量选择了一款 TN 型液晶显示器,最大亮度为 450 cd/m²。然后将显示器的亮度调节为 300 cd/m² 和 150 cd/m² 分别测试环境光对比度,比较显示器亮度对环境光对比度的影响。

如图 2 所示,在暗室下 TN 型液晶显示器的对比度为 1 050,当外界的环境光增加到 1 000 lx 时,环境光对比度下降到 42。液晶显示器的环境光对比度随着环境光的增强而迅速下降,而室外的照度普遍高于 10 000 lx,因此当液晶显示器在户外使用时可读性很差。

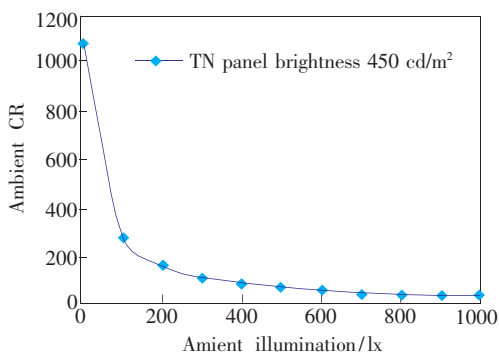


图 2 扭曲向列型液晶显示器的环境光对比度
Fig. 2 TN LCD Ambient CR with different ambient light

图 3 是室内条件下的环境光对比度,TN 液晶显示器 3 种不同面板亮度的测试结果分别用 3 条不同颜色及标示的曲线来表示。在室内照度下 1 000 lx 的环境光下,当显示器亮度为 450 cd/m² 时,环境光对比度为 41;当显示器亮度为 300 cd/m² 时,环境光对比度为 30;但当显示器亮度为 150 cd/m² 时,环境光对比度仅为 16。显示器的亮度越高,则环境光对比度越高,室外可读性越好。

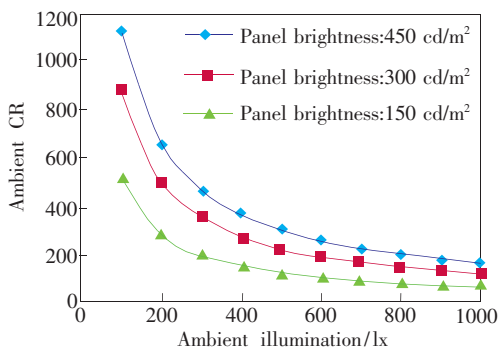


图 3 室内照度下显示器不同亮度时的环境光对比度
Fig. 3 Indoor ambient CR with different panel brightness

透射式液晶显示器的亮度对其室外可读性有很大的影响。图 4 是模拟室外照度下的环境光对比度,测试时照度在 5 000 lx 以上。液晶显示器在室外高照度下的环境光对比度随着环境光的增强而迅速降低。这和我们的理论分析结果是一致

的。这也解释了为什么高亮度的液晶显示器室外可读性好的现象。

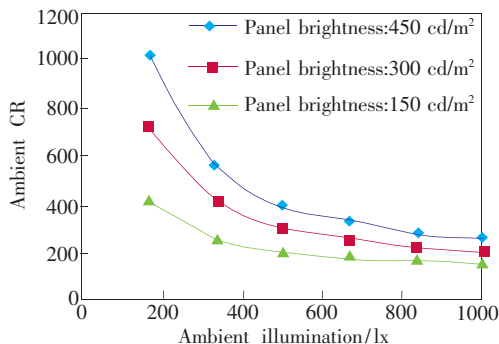


图4 室外照度下显示器不同亮度时的环境光对比度

Fig. 4 Outdoor ambient CR with different panel brightness

综合上述结果可知,由于透射式液晶显示器的自身结构影响,在外界较高环境光的情况下,可读性会变差,提高显示器的亮度可以增加液晶显示器的室外可读性。

3.2 半反半透式液晶显示器的环境光对比度

为了有效利用环境光并且节约背光能量,人们也开发出了反射式的液晶显示器,包括全反式液晶显示器与半反半透式液晶显示器,本次测量选用了一款 25.56 cm(10.1 in)半反半透式液晶显示器。该显示器具有背光源,打开背光源之后显示器可以工作在穿透模式及反射模式下。暗室下测量面板的亮度为 150 cd/m^2 。如果外界光很强,则可以关闭背光源,液晶显示屏将工作在反射模式下。分别测量该显示器在两种不同工作模式下的环境光对比度。

图5是模拟室内条件下的环境光对比度,图中 reflect mode 是背光源关闭时,该液晶显示器工作在反射模式下的环境光对比度,与我们的理论分析一致,反射模式下的环境光对比度是一个常数,不随外界光的变化而变化。背光源开启后该半反半透式液晶显示器的透射区域及反射区域同时工作。背光开启情况下的环境光对比度包含透射区环境光对比度和反射区环境光对比度。与透射型液晶显示器一致,半反半透式液晶显示器的透射区域环境光对比度会随环境光照度的升高而降低。反射区域的环境光对比度不随外界光变化而变化,因此背光开启情况下的环境光对比度会随外界光的升高而降低,但是会高于单纯反射

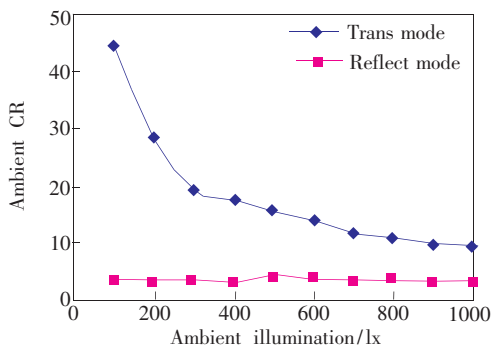


图5 室内照度下半反半透式液晶显示器环境光对比度
Fig. 5 Ambient CR of transfective display indoor

模式的环境光对比度。

图6是模拟室外照度下半反半透式液晶显示器的环境光对比度,半反半透式显示器的透射模式与透射式液晶显示器的性质相同,环境光对比度会随外界的光线增强而变低。当环境光照度大于 $10\ 000 \text{ lx}$ 时,透射区域的环境光对比度趋近于1,透射模式和反射模式的环境光对比度趋于一致。

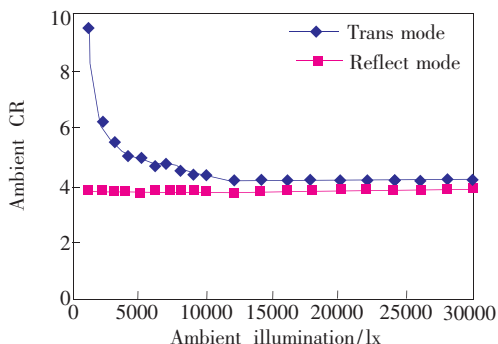


图6 室外照度下半反半透液晶显示器环境光对比度
Fig. 6 Ambient CR of transfective display in outdoor

因此半反半透式液晶显示器的反射模式,环境光对比度是一个常数,外界光增强不影响屏幕的可视性,在开启背光的情况下会进一步增加半反半透屏幕的可视性。这很好地解释了为什么透射式液晶显示器在室外可读性很差,但是半反半透式液晶显示器在室外可读性很好的现象。

图7是透射式 TN 型液晶显示器与半反半透式液晶显示器在室外的显示效果对比图,和我们的理论分析结果一致:透射式液晶显示器由于环境光对比度受到外界光的影响而可视性极差。半反半透式液晶显示器的可视性不受室外强光的影响。

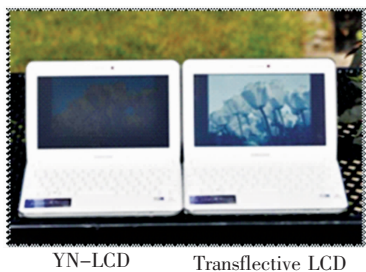


图 7 室外透射式和半反透液晶显示器显示效果

Fig. 7 Transmissive and transflective display in out door

3.3 反射式显示器的环境光对比度

本次测试选用了 4 种反射式屏幕：黑白显示的电子纸，彩色电子纸，微机电干涉仪调制显示屏 (IMOD display)，以及作为参考的白纸。由于反射式显示器只有在有外界光的情况下才适合阅读，因此本次测试主要比较照度比较高的情况。

图 8 是几种不同的反射式显示屏的环境光对比度测试结果。与液晶显示器不同，反射式显示器环境光对比度是一个常数，不随外界光的变化而变化，这就解释了为什么纸质的读物在不同的环境光下都可以很好地阅读。将反射式显示器调节为白画面，可以测量显示器白画面下的反射率，图 9 是几种典型反射式显示器在可见光波段的反

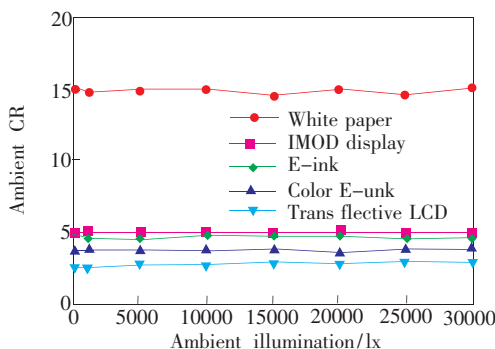


图 8 反射式显示器的环境光对比度

Fig. 8 Ambient CR of reflective display

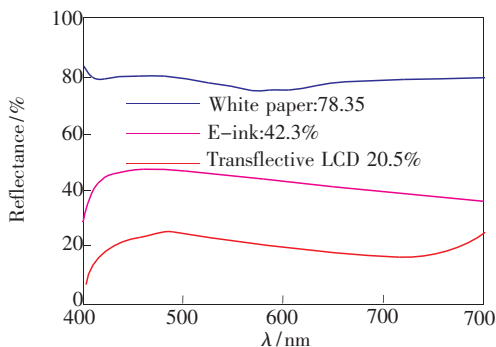


图 9 反射式显示器的表面反射率频谱

Fig. 9 Reflective spectra of reflective display

射率频谱。

综合图 8 与图 9 可以看出反射式显示器的反射率越高，环境光对比度越高，可读性越好。

3.4 OLED 显示器的环境光对比度

目前智能手机显示屏上面会放置触摸屏^[13]，触摸屏和显示屏之间可以使用光学透明胶来消除空气层的影响^[14]，圆偏光片可以有效消除反射光，提高智能手机的室外可读性。本实验主要讨论使用 OLED 的智能手机圆偏光片放置位置对室外可读性的影响。

OLED 屏幕是自发光型显示器，目前广泛应用在智能手机领域，为了有效改善 OLED 金属电极的反射光，OLED 的出光面会用一层圆偏光片来消除反射光。我们选了两款使用 OLED 显示屏幕的手机，OLED 屏幕的结构如图 10 所示，其中 OLED sample 1 的触摸屏上面使用了圆偏光片，OLED sample 2 的 OLED 屏幕上使用了圆偏光片，但触摸屏上没有使用圆偏光片。两款 OLED 手机的最大亮度均为 300 cd/m^2 。

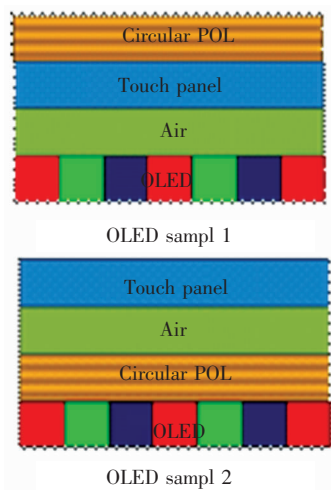


图 10 OLED 样品的结构

Fig. 10 OLED sample structure

图 11 是模拟室内照度的测试结果，虽然圆偏光片能够有效消除 OLED 金属电极的反射光，但是 OLED 屏幕的环境光对比度仍然会随外界光的增强而降低。

综合图 11 和 12 可以看出，在不同的外界光照度下，触摸屏使用圆偏光片的 OLED sample1 环境光对比度要高出很多，以环境光为 1000 lx 的状况为例，触摸屏不用圆偏光片的样品 OLED sample2 环境光对比度为 7，触摸屏使用圆偏光片

的样品 OLED sample1 环境光对比度为 25, 比触摸屏没使用圆偏光片的样品环境光对比度高了 260%。

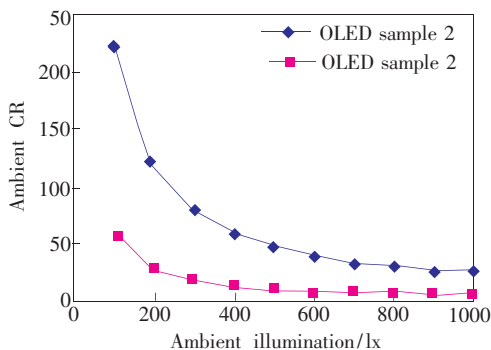


图 11 OLED 室内环境光对比度

Fig. 11 OLED in door ambient CR

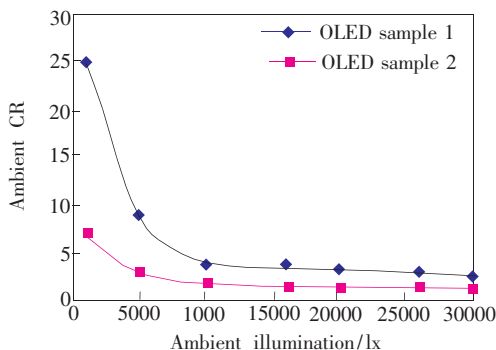


图 12 OLED 室外环境光对比度

Fig. 12 OLED outdoor ambient CR

因此手机的触摸屏使用圆偏光片可以有效地提高阳光下可视性。

4 结 论

使用 NIST 的环境光对比度分析方法对常见的几种显示器的室外可读性进行分析,并找到了不同显示器提高室外可读性的方法:

对透射式液晶显示器而言,最大亮度 450 cd/m^2 的液晶显示器,当外界光超过 1000 lx 时,环境光对比度为 41。但是如果液晶显示器的最大亮度为 150 cd/m^2 ,在 1000 lx 的环境光照度下,环境光对比度只有 16,降低了 60%。因此提高液晶显示器的屏幕亮度可以有效提高液晶显示器的室外可读性。

常见的几种反射式屏幕根据各自的显示原理不同,有不同的反射率及环境光对比度:普通打印纸的反射率为 78%,环境光对比度为 14.8,常用电子书的 E-Ink 屏幕反射率为 42%,环境光对比度为 4.6。半反半透式液晶显示器的反射率只有 20%,环境光对比度为 2.8。半反半透式液晶显示器及其他反射式显示器屏幕的反射率越高,则环境光对比度越高,可视性越好。

对使用触摸屏的设备,使用圆偏光片来减小触摸屏的反射率,可以提高显示屏的室外可读性。

参 考 文 献:

- [1] VESA. Flat panel display measurements standard, VER. 2.0 [S]. Milpitas, USA: Video Electronics Standards Association, 2001:135-152.
- [2] Kelley E F. Proposed diffuse ambient contrast measurement methods for flat panel displays [C]// *National Institute of Standards and Technology Report*, Gaithersburg, USA: NISTIR, 2001:1-6.
- [3] Kelley E F, Penczek J, Boynton P A. Character contrast under uniform ambient conditions [J]. *SID Symposium Digest of Technical Paper*, 2009, 40(1):321-324.
- [4] Kelley E F, Lindfors M, Penczek J. Display daylight ambient contrast measurement methods and daylight readability [J]. *Journal of Society of Information Display*, 2006, 14(11):1019-1030.
- [5] Kelley E F, Penczek J. Scalability of OLED fluorescence in consideration of sunlight-readability reflection measurements [C]// *2004-SID International Symposium Digest of Technical Papers*, Seattle, USA: Society for Information Display, 2004:450-453.
- [6] Kim S, Kelley E F, Penczek J. Sensitivity of display reflection measurements to apparatus geometry [C]// *2002-SID International Symposium Digest of Technical Papers*, Boston, USA: SID, 2002(19-24):140-143.
- [7] Kim S, Kelley E F, Penczek J. Robustness of display reflectance measurements: comparison between BRDF and hemispherical diffuse reflectance [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2009, 40(1):325-327.
- [8] Becker M E. Evaluation and characterization of display reflectance [J]. *Displays*, 1998, 19(1):35-54.

- [9] Downen P. A closer look at flat-panel-display measurement standards and trends[J]. *Information Display*, 2006, 22(1):16-21.
- [10] Tian Y, Mou T S. Research of testing display ambient contrast ratio[C]// *Communication Software and Networks (ICCSN)*, 2011 *IEEE 3rd International Conference*, 西安:IEEE, 2011: 407 - 411.
- [11] 牟同升, 王建平. 亮室条件下的亮度对比度测量新方法 [J]. *电子器件*, 2008, 31(1):377-380.
- [12] 李莉. 平板显示器反射特性, 亮室对比度及可读性的研究[D]. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2010.
- [13] 白石, 王延峰, 黄敏, 等. LCD 触控感应技术发展趋势 [J]. *液晶与显示*, 2010, 25(4):572-575.
- [14] 吴添德, 余雷, 铁斌. 实现 LCD 阳光下可视性的光学设计及实施工艺 [J]. *液晶与显示*, 2013, 28(1):87-91.

《发 光 学 报》

——EI 核心期刊 (物理学类; 无线电电子学、电信技术类)

《发光学报》是中国物理学会发光分会与中国科学院长春光学精密机械与物理研究所共同主办的中国物理学会发光分会的学术会刊。该刊是以发光学、凝聚态物质中的激发过程为专业方向的综合性学术刊物。

《发光学报》于 1980 年创刊, 曾于 1992 年, 1996 年, 2000 年和 2004 年连续四次被《中文核心期刊要目总览》评为“物理学类核心期刊”, 并于 2000 年同时被评为“无线电电子学、电信技术类核心期刊”。2000 年获中国科学院优秀期刊二等奖。现已被《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》和“万方数据资源系统”等列为源期刊。英国《科学文摘》(SA)自 1999 年; 美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》(AJ)自 2000 年; 美国《剑桥科学文摘社网站》自 2002 年; 日本《科技文献速报》(CBST, JICST)自 2003 年已定期收录检索该刊论文; 2008 年被荷兰“Elsevier Bibliographic Databases”确定为源期刊; 2010 年被美国“EI”确定为源期刊。2001 年在国家科技部组织的“中国期刊方阵”的评定中, 《发光学报》被评为“双效期刊”。2002 年获中国科学院 2001~2002 年度科学出版基金“择重”资助。2004 年被选入《中国知识资源总库·中国科技精品库》。本刊内容丰富、信息量大, 主要反映本学科专业领域的科研和技术成就, 及时报道国内外的学术动态, 开展学术讨论和交流, 为提高我国该学科的学术水平服务。

《发光学报》自 2011 年改为月刊, A4 开本, 144 页, 国内外公开发行。国内定价: 40 元, 全年 480 元, 全国各地邮局均可订阅。《发光学报》欢迎广大作者、读者广为利用, 踊跃投稿。

地 址: 长春市东南湖大路 3888 号

《发光学报》编辑部

邮 编: 130033

电 话: (0431)86176862, 84613407

E-mail: fgxbt@126.com

国内统一刊号: CN 22-1116/O4

国际标准刊号: ISSN 1000-7032

国内邮发代号: 12-312

国外发行代号: 4863BM

http://www.fgxb.org