

文章编号:1007-2780(2018)01-0038-05

液晶显示器侧视角发红机理分析及改善

万冀豫*, 冯 贺, 汪 栋, 张思凯, 杨同华, 陈 南,

宋勇志, 李升玄, 张 亮, 邵喜斌

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

摘要: 针对于液晶显示器出现的侧视角发红不良, 本文从定性及定量角度进行机理分析。初步实验定性确定影响侧视角发红的主要因素为材料 R_{th} 和颜料颗粒分布。定量分析方面, 通过对 R_{th} 、膜层厚度、上偏振片偏振方向与主观察方向的夹角(A-UPMO)、透过光主波长 4 个方面的分析, 得到侧视角不良程度的理论计算公式。根据上述结论, 通过减小 R_{th} , 减薄膜层厚度以及缩小 A-UPMO 可以有效改善不良程度。给出通常情况下, 新材料开发过程中 Red/Green/Blue R_{th} 的阈值分别为 6.0 nm/5.4 nm/4.0 nm, 为未来新材料开发及不良改善提供有益的参考。

关 键 词: 侧视角; 位相差; 液晶显示; 光学分析

中图分类号: TN 873.93 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183301.0038

Mechanism analysis and improvement of reddish side-view on LCD

WAN Ji-yu*, FENG He, WANG Dong, ZHANG Si-kai, YANG Tong-Hua,

CHEN Nan, SONG Yong-zhi, LI Sheng-xuan, ZHANG Liang, SHAO Xi-bin

(BOE Display Technology Co., Ltd, Beijing 100176, China)

Abstract: The mechanism of side-view reddish in LCD is analyzed by the qualitative and quantitative side in this paper. The qualitative result shows that the main factors which influence the side-view reddish are R_{th} and pigment particle distribution of the material. In the quantitative analysis, the theoretical formula which can simulate the level of side-view reddish is obtained by analyzing R_{th} , thickness of the film, angle between upper polarizer's polarization direction and main observation direction (A-UPMO) and the main wavelength of the transmitted light. According to the above conclusions, side-view reddish can be improved effectively by reducing R_{th} , thinning film thickness and reducing the A-UPMO. In general, the threshold of R_{th} for Red/ Green/ Blue material each is 6.0 nm / 5.4 nm / 4.0 nm. The research will give guiding theory for new material development and issue improvement in the future.

Key words: side view; R_{th} ; LCD; optical analysis

收稿日期: 2017-07-13; 修订日期: 2017-08-27.

* 通信联系人, E-mail: wanjiyu@boe.com.cn

1 引言

薄膜晶体管液晶显示器是目前平面显示器的主流。薄膜晶体管液晶显示器的面板包括平行设置的薄膜晶体管阵列基板和彩色滤光片基板以及两者之间的液晶层,其中彩膜基板具有使成像图像彩色化的功能。随着显示技术的发展,高透过率、大尺寸、低功耗、低成本成为未来发展方向^[1-4]。作为显色核心的彩色光阻剂(Color photo resistance,下称 CR)需要进行新的改进,在着色力、透过率方面进行提升。在新材料开发过程中,会出现之前材料未曾出现的特性变化,对于这些特性变化会引起何种不良,需要根据新的现象进行分析与评估。

2 不良现象

采用 D 社 BDN-SC001R 红色阻在某型号产品上进行测试时,L0 画面下侧视角出现漏光发红现象,随着观察角度 θ 增加发红现象逐渐严重,正视角下无此不良。使用该 CR 在另外几款显示器产品上进行测试,发现侧视角发红现象与上偏振片 POL 的偏振方向与观察方向相关。当观察方向与 POL 平行时,侧视角发红现象明显;当观察方向与 POL 方向垂直时,无此不良现象。通过对比该新 CR 的各项参数,仅发现其位相差(R_{th})与常规材料存在显著差异。

3 实验结果及分析

3.1 定性分析

显示行业中定义 $R_{th} = [(N_x + N_y)/2 - N_z] \times d^{[5-7]}$,其中 N_x, N_y, N_z 分别为 x, y, z 三个方向上的折射率, d 为测试膜层的厚度。当光线沿 z 轴方向入射时,由于 z 轴为主光轴方向,不会发生双折射现象,光线出射仍然是线偏振光。当光线与 z 轴成一定角度入射时,由于 $N_x N_y \neq N_z$,因此会出现双折射现象,在这里表现为旋光效应,出射光变为椭圆偏振光。当入射光线在 xy 平面内时,由于光强度在 z 轴方向的分量为 0,因此出射光线依然为线偏振光,仅与原偏振光存在固定位相差。

采用日立 SU3500 扫描电子显微镜对 CR 膜层表面进行观察,颜料呈针状晶型结构(如图 1),预示折膜层内部颜料颗粒按 z 轴平行方向分布。当光学沿与 z 轴成一定夹角的方向入射时,出射光为椭圆偏振光,造成红色漏光。当沿垂直方向观察时,由于出射光线仍为线偏振光,可以通过调整液晶的偏振电压,改变照射到 CR 上的入射光的初始相位,消除漏光。

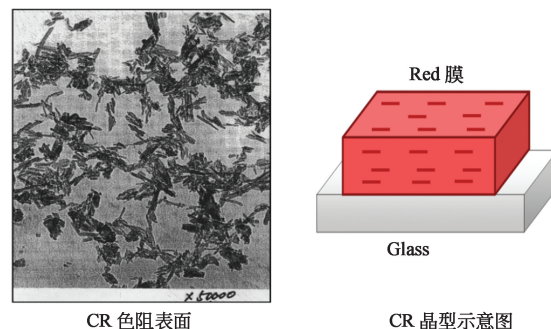


图 1 新 CR 材料表面分析

Fig.1 Surface analysis of new CR material

显示器中背光源中发出圆偏振光,经过 TFT 侧 POL 起偏变为线偏振光。线偏振光经过 TFT 基板,液晶,均不会产生偏振状态的改变(如图 2 所示)。正常状态下,CR 的 $R_{th} < 3 \text{ nm}$, $N_x \approx N_y \approx N_z$,折射率不存在显著差异,旋光效应不明显,透射光学被上偏振片完全遮挡。使用新 CR 时,由于 $R_{th} > 20 \text{ nm}$,即 $N_x \approx N_y > N_z$, z 轴方向的折射率明显小于 xy 方向,因此 z 轴方向的光强出现明显滞后,出现明显的旋光效应,上偏振片不再能完全将透射光遮挡,于是侧视角发红被观测到。

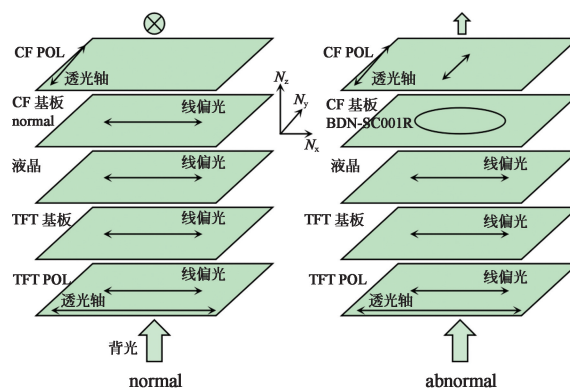


图 2 侧视角发红原理示意图

Fig.2 Diagram of side-view reddish Mura

根据以上定性分析,侧视角发红的相关因素为材料本身特性与结构,改善方案如表 1 所示。

表 1 侧视角红色漏光现象原因与对策

Tab.1 Causes and solution of reddish side-view

	特性	结构
影响因素	颜料自身 R_{th} 过大	颜料颗粒面内 同向分布
改善方向	减小颜料 R_{th}	颜料颗粒面内 随机分布
改善方案	寻找新材料, 更新分子结构	更新表面活性剂

3.2 定量分析

由于 CR 材料颜料开发过程中需要考虑色度,稳定性,可分散性,溶剂匹配性等因素,因此材料开发周期长,输出结果不稳定。表面活性剂的开发,同样没有现成理论,仅依靠研究者根据自身经验进行匹配,因此本文对于此不良进行了更进一步的定量分析。

考虑到线偏振光入射到 CR 下表面,为分析方便,考虑单一波长的光入射到 CR 下表面。由于对称性,仅考虑其电矢量情况^[8]。此光波可以表示为:

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \cos(kz_0 - \omega t_0 + \varphi_0), \quad (1)$$

其中: $\mathbf{E}_0$ 入射光波振幅, ω 为入射光的时间角频率,是光速 c 和波长 λ 的函数

$$\omega = 2\pi c / \lambda, \quad (2)$$

k 为传播数,数值上等于空间频率的 2π 倍,正负号表征传播方向

$$k = \pm 2\pi c / \lambda, \quad (3)$$

z_0 为传播方向上的位置, φ_0 为初始相位, t_0 为初始时间变量。光线入射示意图如图 3, 光线与垂直方向法线(z 方向)成 θ 角。上 Pol 偏振方向记为 $\mathbf{P}$, 代表透光偏振方向的单位矢量。 $\mathbf{k}$ 为光波传播方向的单位矢量。CR 层的厚度记为 THK。由于 $N_x = N_y$, xy 平面的折射率可以记为 N , 相应的三维问题可以简化为 z 和 x 组成的二维问题^[9]。由 R_{th} 公式可得

$$n = N_z - N = R_{th} * d, \quad (4)$$

入射光线可以分解成沿 z 轴的 $\mathbf{E}_z$ 和沿 x 轴的 $\mathbf{E}_x$ 分量如式(5), $\mathbf{x}$ 为 x 方向的单位矢量, z

为 z 方向的单位矢量

$$\begin{cases} \mathbf{E}_{0x} = \sin\theta * E_0 \cos(kz_0 - \omega t_0 + \varphi_0) * \mathbf{x} \\ \mathbf{E}_{0z} = \cos\theta * E_0 \cos(kz_0 - \omega t_0 + \varphi_0) * \mathbf{z} \end{cases}, \quad (5)$$

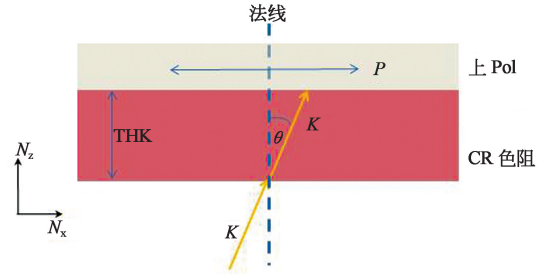


图 3 侧视角发红光路示意图

Fig.3 Optical figure of reddish side-view

光线经过 CR 后,可以表示为式(6),其中 z 、 t 、 φ 和式(5)中意义相同,仅变更为光线通过 CR 后的对应值, $\Delta\delta$ 为在 xy 平面内传播的 $\mathbf{E}_x$ 与沿 z 轴传播的 $\mathbf{E}_z$ 产生的相位差

$$\begin{cases} \mathbf{E}_x = \sin\theta * E_0 \cos(kz - \omega t + \varphi) * \mathbf{x} \\ \mathbf{E}_z = \cos\theta * E_0 \cos(kz - \omega t + \varphi + \Delta\delta) * \mathbf{z} \end{cases}, \quad (6)$$

经过上偏振片出射的光强可以表示为式(7), β 为 $\mathbf{x}$ 与 $\mathbf{P}$ 方向的夹角。因 $\mathbf{z}$ 与 $\mathbf{P}$ 方向垂直,可得 $\mathbf{z} \cdot \mathbf{P} \equiv 0$ 。

$$\begin{cases} \mathbf{E}_z \cdot \mathbf{P} \equiv 0 \\ \mathbf{E}_x \cdot \mathbf{P} = \sin\theta * E_0 \cos(kz - \omega t + \varphi + \Delta\delta) * \cos\beta \end{cases}, \quad (7)$$

根据式(7)所示,当光线沿一定角度 θ 入射时,只需要讨论 $\mathbf{E}_x$ 即可。当光线沿上偏振片法线方向出射时, $\theta=0$ 因此无光线射出平面。当光线沿一定角度 θ 入射, x 、 z 不存在相位差即 $\Delta\delta=0$ 时,未发生色偏及漏光现象,因此可以假定

$$\sin\theta * E_0 \cos(kz - \omega t + \varphi + \Delta\delta) \equiv 0, \quad (8)$$

$$\text{即 } kz - \omega t + \varphi = \frac{\pi}{2}, \text{ 可以通过适当选取 } \varphi \text{ 完}$$

成,不影响分析的结果。

当 $\mathbf{E}_x$ 在 xy 平面内传播,其折射率为 N_x , 沿 z 轴传播的 $\mathbf{E}_z$ 产生一个相位差,记为 $\Delta\delta$, 根据相位差公式

$$\Delta\delta = k * L * \Delta n, \quad (9)$$

其中: L 为光线传播的距离,根据图 3 几何关系,可得

$$L = \frac{\text{THK}}{\cos\theta}, \quad (10)$$

式(3),式(10)带入式(9)得

$$\Delta\delta = \frac{2\pi * \text{THK} * R_{th}}{d * \lambda * \cos\theta}. \quad (11)$$

结合式(7),式(8),式(11)可得出射光标量方程为

$$\begin{aligned} E_x \cdot P &= \sin\theta * E_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \delta\right) * \cos\beta = \\ &- E_0 * \sin\theta * \sin\left(\frac{2\pi * \text{THK} * R_{th}}{d * \lambda * \cos\theta}\right) * \cos\beta, \end{aligned} \quad (12)$$

出射光能量 Φ 可以表示为

$$\begin{aligned} \Phi &= E_0^2 * \sin^2\theta * \sin^2\left(\frac{2\pi * \text{THK} * R_{th}}{d * \lambda * \cos\theta}\right) * \\ &\cos^2\beta = f(\text{THK}, R_{th}, \lambda, \theta, \beta) * E_0^2. \end{aligned} \quad (13)$$

由于通常关心的是 $\theta \leq 80^\circ$ 的视角内显示效果^[10], $\cos\theta$ 不会太小,可以简单的分析,随着 $\text{THK} \uparrow, R_{th} \uparrow, \lambda \downarrow, \beta \uparrow$, 色偏的值也越大。当开发 CR 确定时,透过主波长 λ 已经确定,无法变更;如前所述低 R_{th} 材料开发周期长,输出结果不稳定;可以考虑的改善方向为。

(1)减小 CR 的膜厚,即增加颜料浓度,增强 CR 着色力。

(2)减小 β 值,即改变 Pol 在可视方向上的角度,使 Pol 的方向垂直于观察方向。

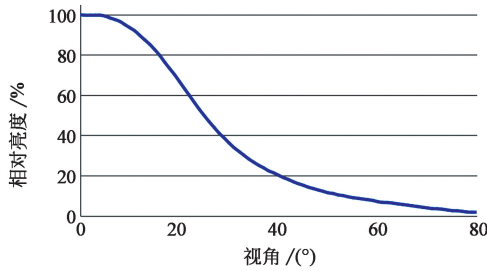


图4 漏光强度与视角曲线

Fig.4 Relative brightness-angle of view curve

由于 $f(\text{THK}, R_{th}, \lambda, \theta)$ 为关于 θ 的超越方程,无法采用常规方法分析,因此采用数值方法进行分析。以我司采用的这款 BDN-SC001R 红色光阻为例, R_{th} 为 24 nm,通常膜厚 2.4 μm ,主波长 $\lambda = 610 \text{ nm}$,结合亮度视角经验曲线(如图4),以屏幕亮度 300 cd/m^2 (L255 灰阶)为例,得到视角与漏光绝对亮度的关系(如图5)。当光强超过 1 nit 时,人眼可以分辨出颜色,因此定义 1 cd/m^2 为阈值,当漏光大于 1 cd/m^2 时,即发生漏光。由图5可得,当视角大于 11° 时,就会发

生可以观察到的漏光,且随着视角的增大,漏光逐渐明显。当角度增大到 78° 时会有一明显的下降,之后又重新上升。在此过程中,漏光强度均明显大于 1 cd/m^2 ,所以漏光明显,与实际观察结果相符。

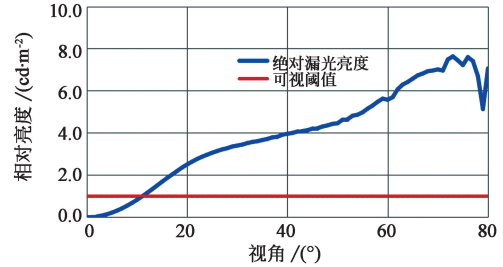


图5 漏光强度与视角曲线

Fig.5 Light-leaking intensity-angle of view curve of Red

根据式(13)分析,在屏幕亮度 300 cd/m^2 (L255 灰阶)、膜厚 2.4 μm 、Pol 透光方向与观察方向同向时,不同主波长的光对应 R_{th} 的情况,得到 Red/Green/Blue 三种颜色的 R_{th} 阈值(如图6所示)。Red 主波长 610 nm,当 $R_{th} = 6.0 \text{ nm}$ 时,漏光强度 Φ 在 $0 \sim 80^\circ$ 的范围内均满足小于 1 cd/m^2 ,且在 80° 时在阈值附近,满足临界条件。同理 Green(主波长 550 nm) R_{th} 阈值为 5.4 nm, Blue(主波长 400 nm) R_{th} 阈值为 4.0 nm。

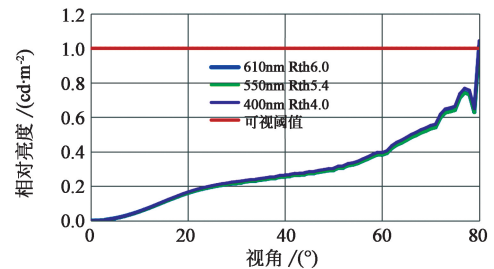


图6 三基色漏光强度与视角曲线

Fig.6 Light-leaking intensity - Angle of view curve of three primary colours

4 结 论

本文针对在新材料开发过程中出现的侧视角发红现象进行定性分析,并通过扫描电子显微镜观测材料表面形貌,给出材料的改进方案。根据波动光学理论,对侧视角发红的现象进行定量分

析,计算得出侧视角显示不良的直接相关因素为 R_{th} 、膜层厚度、上偏振片与观察方向的夹角、材料通过的主波长,得出侧视角漏光强度公式 $\Phi = f(\text{THK}, R_{th}, \lambda, \theta, \beta) * E_0^2$ 。据此给出不良改善的可行方向:减薄膜层厚度,缩小上偏振片偏振方向

与观察方向的夹角。推论得出 RGB 三种 CR 材料开发过程中 R_{th} 在膜层厚度 $2.4 \mu\text{m}$ 、亮度 300 cd/m^2 (L255 灰阶)时的阈值 $6.0 \text{ nm}/5.4 \text{ nm}/4.0 \text{ nm}$ 。同时对新材料开发以及产品开发过程中的其他不良改善提供有益的参考。

参 考 文 献:

- [1] AKAHANE K, SHIBATA Y, ISHINABE T, *et al.* 67-3: wide-viewing-angle band-pass reflective polarizer for wide-color-gamut LCDs [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 988-991.
- [2] MANDERS J R, QIAN L, TITOV A, *et al.* High efficiency and ultra-wide color gamut quantum dot LEDs for next generation displays [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2016, 23(11): 523-528.
- [3] 廖燕平,宋勇志,邵喜斌,等.薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2016:14-33.
LIAO Y P, SONG Y Z, SHAO X B, *et al.* *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2016: 14-33.
- [4] 王菲菲,邵喜斌.负型液晶在 ADS 广视角技术中的应用[J].液晶与显示,2016,31(8):760-767.
WANG F F, SHAO X B. Application of negative LC in ADS wide view technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(8): 760-767. (in Chinese)
- [5] 久保伸夫,葛原宪康.偏振片和显示装置:中国,200410092573.8[P].2008-05-28.
KUBO N, KUZUHARA N. Polarizing plate and display: China, 200410092573.8 [P]. 2008-05-28.
- [6] 朴求铉.一种液晶显示装置及其制造方法,中国,201210502007.4[P].2013-03-20.
PIAO Q X. Liquid crystal display device and manufacturing method thereof: China, 201210502007.4 [P]. 2013-03-20.
- [7] ISHIKAWA Y, KURATA T. Liquid crystal display device, United States: US2009/0059134 A1 [P]. 2009-05-05.
- [8] 范希智.物料光线[M].北京:清华大学出版社,2016:114-121.
FAN X Z. *Physical* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2016: 114-121.
- [9] 范树海,李国华.单轴晶体几个特征光学面的定量推导新方法[J].曲阜师范大学学报,2000,26(4):46-48.
FAN S H, LI G H. A new method to deduce some characteristic faces of uniaxial crystal [J]. *Journal of Qufu Normal University*, 2000, 26(4): 46-48. (in Chinese)
- [10] 丁沫沂,仲雪飞,程婷,等.LCD 视角的主观视觉感知评价方法[J].电子器件,2008,31(5):1425-1428.
DING S Y, ZHONG X F, CHENG T, *et al.* Perceptual evaluation method for the viewing angle of LCD [J]. *Chinese Journal of Electron Devices*, 2008, 31(5): 1425-1428. (in Chinese)

作者简介:万冀豫(1984—),男,河北衡水人,硕士研究生,工程师,主要从事 TFT-LCD 彩膜材料及工艺研发工作。E-mail: wanjiyu@boe.com.cn