

文章编号:1007-2780(2018)06-0457-07

## TFT-LCD 技术发展趋势浅析

刘 莎\*, 王 丹, 杨照坤, 冯 翔, 孙 晓, 邱 云, 董 学

(北京京东方显示技术有限公司, 北京 100176)

**摘要:**科技的进步将我们带入了万物互联的(Internet Of Things, IOT)时代,随着人工智能、大数据的发展,我们将逐步从弱人工智能向强人工智能、甚至超级人工智能时代迈进。作为物联网终端信息的出入口,显示装置也将向智能化的方向延伸,即为智能显示。一方面,通过性能指标的提升,确保显示效果无限逼近真实世界,实现“零误差输出”;另一方面,可以感知人类的情感状态并根据人的意愿而自动实时地切换其所呈现的信息,实现“人机互动”。本文将从高画质、低功耗、功能集成等多个角度详细阐述智能化需求趋势下 TFT-LCD 的技术发展趋势并对后续需要重点关注的技术发展方向给出了一些建议,希望以此推进智能显示快速发展,从而满足人工智能时代对显示的新需求。

**关 键 词:** 物联网;智能显示;高画质;低功耗;功能集成

**中图分类号:** TN141.9; TN873.93 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183306.0457

## Key technology trends analysis of TFT-LCD

LIU Sha\*, WANG Dan, YANG Zhao-kun, FENG Xiang, SUN Xiao, QIU Yun, DONG Xue

(Beijing BOE Display Technology Group Co., LTD., Beijing 100176, China)

**Abstract:** The progress of science and technology brings us into the Internet Of Things (IOT) age which is characterized by the interconnectivity of all things. With the development of artificial intelligence and the big data, we will gradually move from junior artificial intelligence to senior artificial intelligence and even super artificial intelligence in the near future. As the terminal information gate of the IOT era, the display devices will also extend to the intelligent direction, which is the intelligent display. On the one hand, through the specifications' promotion of display products, it ensures that the display effect is limitless approaching the real world and achieving "zero error output". On the other hand, we can perceive the emotional state of human beings and automatically switch the information they present in real time according to their wishes, and then realize "human-machine interaction". This article elaborated the development trend of TFT-LCD technology and technology development directions of the future from the high quality, low power consumption, function integration and other aspects, and also summarized some suggestions that need to be focused on, hoping to promote the rapid development of intelligent display, so as to meet the new demands of the era of artificial intelligence display.

收稿日期:2018-02-09;修订日期:2018-04-08.

\* 通信联系人, E-mail: liushan@boe.com.cn

**Key words:** internet of things; intelligent display; high display quality; low power-consumption; functions integration

## 1 引言

从信息技术的产生到互联网,从移动互联网的热潮,再到物联网,以至未来的人工智能时代,科技的进步将渗透到人类生活的每个角落<sup>[1-6]</sup>。对于显示行业而言,以智能手机为中心的控制端来进行互动操作,强调了智能手机作为物联网中心的运算能力,随着物联网拓扑形式的不断完善,装置与装置、装置与人,人与人之间将可以实现直接对话,而非仅仅依赖于现有的 App 容器来进行互动。从以手机为中心的星形结构发展到互联互通的网状结构,需要各种可作为物联网连接节点的装置都具备信息呈现与交互能力。从显示产品的外观形态、显示内容以及显示形式等都将发生颠覆性的变革,现有的显示将向着智能化方式演进,即智能显示。作为人工智能时代的终端载体,智能显示可以感知人类的情感状态并将根据人的意愿而实时地、自动地切换其所呈现的信息如分辨率、刷新率、色域、色深等。从技术实现方面,通过对传感、软件算法、硬件等进行深度集成,从而能把现实世界和虚拟世界连接起来,可以实现人与显示的深度交互。这在一定程度上可以帮助人类摆脱时间和空间的束缚,不断提升创造力,从而进一步提升我们社会的效率。未来的显示行业将需要更多的平台化技术,所谓平台化即为包含多种不同种类的技术,例如算法、图像、光电传感等多种技术集成在一起,从而确保显示终端的特性实现极致化。

## 2 TFT-LCD 宏观环境及竞争力分析

目前的显示行业,在现有的 TFT-LCD 以及 AMOLED 等业内主流的两大显示阵营之外,以三星为代表的 QLED 技术<sup>[7]</sup>以及凭借高效率、高亮度、高可靠性和超快响应等众多优势的 micro-LED 等多种新兴技术也受到越来越多的关注<sup>[8]</sup>。

AMOLED 方面,受限于 FMM(Fine Metal Mask)技术发展,采用蒸镀法制备高 PPI 的 OLED 产品进展相对缓慢。此外,在封装工艺方

面,除了传统封装、玻璃封装方式以外,基于柔性显示产品的封装需求,由美国的 Vitex System 公司开发的 Barix(无机-有机)技术以及日本的 Dam & Fill 封装技术均引起了业内的广泛关注<sup>[9-11]</sup>,但由于在设备精度以及材料性能方面的极高要求,暂未实现大批量应用。

对于 QLED、micro-LED 等新兴技术,目前仍存在一些技术瓶颈。QLED 技术方面,因量子点容易受热量和水分影响,无法实现与自发光 OLED 相同的蒸镀方式,只能研发喷墨打印工艺制程,现仍存在可靠性、效率低、蓝色元件寿命不稳定、溶液制程的研发困难等制约因素。对于 Micro-LED 而言,一方面,大尺寸产品的制作需求,极大地增加了微转移技术的难度;另一方面,由于需要额外增加衬底转移而引起成本的大幅增加,特别是在较大面积应用时,将会面临良率和成本的巨大挑战。

综上所述,在现有的显示技术中,TFT-LCD 凭借其优异的产品性能、完备的材料体系以及成熟的工艺制程,在超高分辨率、大尺寸、触控集成等多个方面仍然具有绝对的领先优势。下文将针对 TFT-LCD 技术在几个性能指标方面的发展趋势进行详细的阐述。

## 3 智能显示的特征及技术趋势

我们在上文中所描述的智能显示,从技术角度分解其应至少具备以下 4 个基本的特征:

(1)从显示的功能层面来说,智能显示需具备再现现实世界自然、真实的特性,满足人们最核心的视觉需求;

(2)作为人机交互的端口,能够实现与人进行无缝隙的互动。未来的社会是信息社会,我们所链接的是真实世界和虚拟世界,其中虚拟世界是巨量的信息以及想象形成的信息化世界,人与人进行互动时需要有更自然、更精确的方式,让人自由地穿梭,我们需要捕捉人的行为和思想,这就需要众多传感器与显示装置进行集成,以确保互动及时性;

(3)显示未来无处不在,随着需求的发展,我

们所熟知的 CPU、GPU 存储器会越来越小,而显示会越来越大,所有器件将面临只有一个终端载体。因此,作为终端的硬件载体,能够实现硬件方案系统的极致化整合;

(4)作为一个极致的系统方案,需要对资源利用最大化。其中主要包括两个方面,一个是空间资源,第二个是能源,所谓空间资源是我们的显示和系统,会越来越薄,达到一个极致的平面,把我们人类有限的空间资源全部释放出来。第二部分是能源,按照现在的显示能耗要求,未来的显示需要对能源进行极致化的利用,以确保有限的资源满足越来越高的人类的需求。

针对上述的技术趋势,未来的 TFT-LCD 技术发展主要是从高画质(特别是高分辨率)、低功耗、功能集成等几个维度上不断地进行性能优化和提升,具体阐述如下。

### 3.1 高画质

#### 3.1.1 高分辨率

大数据时代的来临,信息量将会以每两年翻1倍的速度呈现爆炸式增长,其中,人脑得到的外部信息 83%是通过视觉方式获取,如图 1 所示。

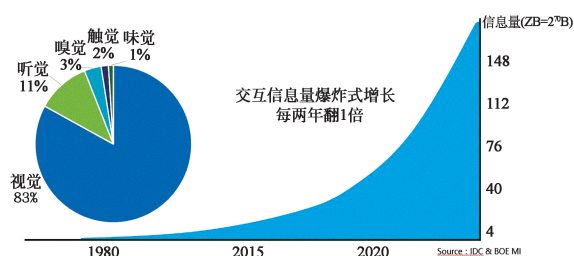


图1 人脑信息获取方式及交互信息量

Fig.1 Human-brain information types and the interaction

因此,面对物联网时代下高吞吐量的数据量,如何迅速地把大量的信息呈现在屏幕上,需要我们的屏幕在输出端有足够的信息量支持,同时满足产品高分辨率,高色域,高对比度,超快速响应的应用需求。其中起到核心主导能力的是分辨率,如图 2 所示,通过对智能手机(Mobile)、平板电脑(TPC)& 笔记本电脑(NB)、显示器(MNT)和电视(TV)等 5 大产品过去 10 年的平均分辨率发展历程分析看出,从手机一直到电视,平均分辨率值是一直在呈现上升趋势,同时随着虚拟显示的带动以及 8K 产业链中编解码及内容相关技术

的逐步成熟,分辨率还将呈现更加快速的增长趋势。

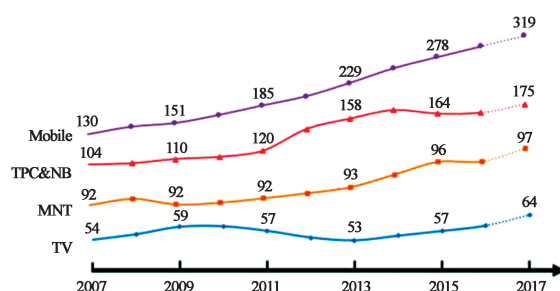


图2 2007~2017 年传统产品别的平均分辨率发展历程

Fig.2 Average PPI history of traditional display products from 2007 to 2017

众所周知的视网膜概念,是人眼睛的物理极限,如图 3 所示。

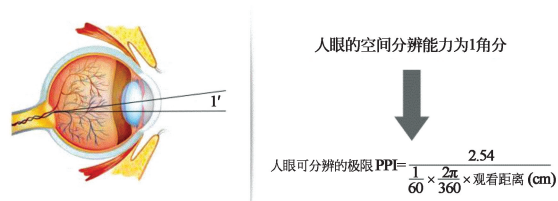


图3 人眼的空间分辨率

Fig.3 Spatial resolution of human eyes

人眼对空间上可以分辨的空间角度极限是  $1'$ ,  $1'$  内的两个点在人眼看出来就是一个点,但是 2D 描述只能对二维有印象,三维是 2D 的重叠,这样无法进行实际描述。从这个公式可以看到,人的空间分辨能力  $1'$  和人实际观看的距离有直接反比关系。

我们针对显示不同距离时,实现 2D 视网膜的基本要求,从 1 m 以上 TV,手机的使用距离是 20~30 cm 水平。

从 2016 年开始 VR、AR 产品应用市场,已经把实际使用距离直接拉近到 10 cm 以内,目前包括 HTC Vive 以及索尼的 Play Station 使用距离均为 7~8 cm,要想实现视网膜的水平,达到的分辨率水平是 1 700~1 800,再进一步把使用距离拉近,比如头戴产品要实现的 PPI 水平需要到一万以上,还有更近的就是隐形眼镜式,如图 4 所示,如果实现视网膜的水平,要达到 8 万多 PPI,这就需要面板厂商持续解决超高 PPI 的问题。

针对近眼显示的需求,超高 PPI 的解决方案是最亟待攻克的技术难题。与 OLED 相比,TFT-LCD 在超高 PPI 显示领域仍具有突出的技术优势。2017 年的 SID 展会上已经展示了 2300 超高 PPI VR 产品,实现了 VR 系统下的视网膜级别,画面极为细腻和流畅,消除纱窗效应,该产品视场角(FOV,Field of View)可以达到  $120^\circ$ ,极大地提升了用户的“沉浸感”。

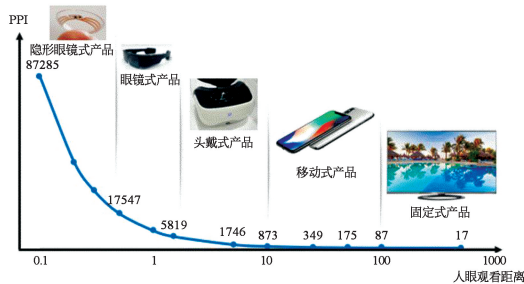


图 4 不同观看距离对产品 PPI 的需求

Fig.4 PPI demand at different view distances

对于近眼显示的需求,除了超高分辨率之外,在支持超高 PPI 的显示面板的系统解决方案方面,如驱动芯片(Driver IC)、转接板(Bridge IC)、SOC(系统板)等资源及技术方面的问题都需要进行全面的攻克。

随着人类需求的不断进步,针对视网膜级别的 2D 显示效果已经不能满足用户的基本需求。3D 显示可以把原有信息实现更精确地传达,裸眼 3D 将会是一个重要的发展方向。目前业内常用的几个裸眼 3D 技术如图 5 所示,第一个是视差式的裸眼 3D,通过向左右眼透射出两幅不同的图像,形成 3D 的场景。目前业内所关注的光场式裸眼 3D 方案,从技术实现的角度来看,一只眼睛里至少投射 3 个视点,才能形成一个聚焦后的人像,这是裸眼 3D 解决眩晕的方案,然而这两个方案有两个必要条件,第一,人眼位置固定不能动,这是违反人类行为的,若要扩大人的行动范围和活动范围,必须把分辨率提升 5 倍或者 10 倍,才可能解决。因此,由于虚拟显示及 3D 显示的需求带动,未来十年或者二十年内分辨率的持续提升都将会是主流的技术趋势。

### 3.1.2 高色域

高画质的显示产品对色域也提出了更高的要求。背板设计方面,MPC 通过引入多色显示单元,从而在 Pointer Gamut 的标准里达到 95%以

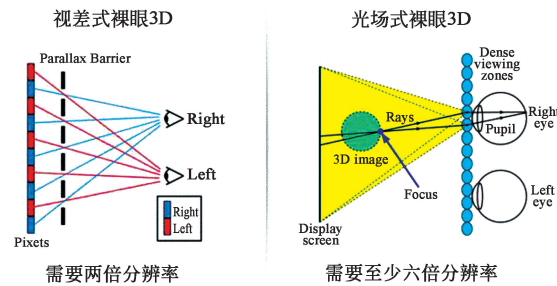


图 5 裸眼 3D 的技术实现方式

Fig.5 Technical solutions of naked-eye 3D

上的覆盖范围<sup>[12]</sup>。QD 技术在显示领域的创新存在机会与挑战<sup>[13-15]</sup>,使用 QD 的 LCD 在色域表现上与 OLED 相当,这项技术是颜色再现最完善的解决方案,目前国内外众多高端电视品牌已经把采用 QD 实现高色域的方案作为产品规格实现的技术标配,核心是提升整个颜色的再现能力。

如图 6 所示,QD 的第一代技术是将 QD 作为显示器件的背光源,通过高纯的背光光谱提升色域的覆盖范围,改善画面品质。下一代将会把 QD 集成到面板里,通过面板设计优化以及与 TFT-LCD 现有的工艺制程实现高效融合,解决显示的低功耗技术难题。与 AMOLED 相比,TFT-LCD 是一种被动型的显示产品,把量子点放置在彩膜内对画质有跃升的效果,这将成为未来 2~3 年主流的发展方向。未来的第三代 QD 技术,将会发展到 QD 用于主动发光。

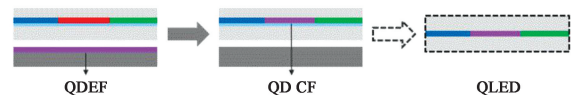


图 6 量子点技术实现高色域的方案

Fig.6 High color-gamut solutions using QD

### 3.1.3 HDR

在画面品质的提升方面,另一个主流技术趋势是 HDR(High-Dynamic Range,高动态范围显示)。HDR 技术利用每个曝光时间相对应最佳细节图像来合成最终的 HDR 图像,能够更好地反映人真实环境中的视觉效果。

目前 HDR 方面核心技术创新方向会集中在背光方案的优化。目前大部分背光方案都是侧入式的,为了实现高光效的 HDR 效果,需要向直下式背光方向推进,因此精细化的背光分区设计,多分区的驱动方案以及工艺制造等都将面临挑战。

### 3.2 低功耗

现有显示产品市场中,智能手机、平板电脑、笔记本电脑等移动显示产品均向着大尺寸、高分辨、全屏显示的方向发展,显示屏幕尺寸的增加对显示产品的低功耗性能造成了巨大的威胁。以 5.99 in(1 in=2.54 cm)FHD 产品为例,显示面板的功耗占整体功耗的比例高达 25% 以上。此外,随着移动网络内容端的资源不断完善,图片及视频质量持续提升,为了确保用户体验,必须不断增强手机的 GPU 性能,这些都是电池能量消耗的主要出口。显示器、电视等中大尺寸显示产品虽然存在外接电源线,不会受到移动显示器件所面临的电池储能有限的困扰,但是也存在能源之星 7.0 以及能源之星 8.0 等一系列的国际化的标准限制,因此,全尺寸系列的显示产品均面临低功耗的技术困境。目前对于功耗降低,大多集中于高透过率的液晶<sup>[16-17]</sup>、偏光片、色阻等新材料的开发。

背板设计方面,RGBW 通过像素设计中加入白色子像素的方式,增加了面板透过率,降低了产品功耗,BV3(Bright View3)是通过岛状的像素排布方式,开口率增加近 50%,同时匹配相关算法实现高分辨率的显示效果。此外,MIP(Memory in Pixel)技术是通过在像素单元中嵌入内存设计<sup>[18]</sup>,主要应用于穿戴等户外显示器件中,大大降低了驱动 IC 由于频繁切换输入信号引起的功耗损失,结合反射式像素设计,实现低功耗。

背板工艺方面,采用高迁移率的氧化物有源层材料,不仅可以增加 TFT 器件开态的电流值,提升器件的驱动能力,增加开口率,同时还可以大大降低关态电流值,可以对应约 30 Hz 低频甚至 1 Hz 超低频的技术需求。2012 年以夏普为代表的各大面板厂都在推广氧化物技术,显示产品方面从智能手机、平板电脑到笔记本电脑,至今大尺寸 TV 等都采用氧化物技术。鉴于此,氧化物技术的普及将对各产品尺寸的显示器件功耗降低起到关键性作用。

对于低功耗,另一个重点的创新方向就是对背光源的优化。显示器件最核心的功能是把更多的有效信息传递给观众,当其处于开启状态时,背光 LED 发出的光透过显示面板把光向各个方向发散。从能源有效利用的角度而言,如果把传递

到人眼信息作为有效能耗,现在的显示能效只有十万分之一的光效。为了提升能源的利用率,需要进一步提升背光的指向,从而改善光的效率。如下图 7 所示,如果把传统显示模式中的出射光通过准直的设计方案,显示光效将会提升一倍以上,如果把出射光以精准指向的显示模式聚到人脸的水平,光效会进一步提升,但是目前业内对于精准指向的显示还尚未研发出成熟方案,需进一步推进。



图7 背光源能耗效率提升创新方向

Fig.7 Innovation direction in energy efficiency improvement area

### 3.3 功能集成

作为物联网终端信息的出入口,显示器件需要集成的功能越来越多。大尺寸产品以电视为例,从最初的 CRT 电视到液晶电视,面板尺寸不断提升,从最初的 32 in、48 in 到 55 in 以至目前的 65 in、75 in。为了迎合消费者对于空间占用最小化的需求,屏幕尺寸增加的同时整机厚度却在不断压缩,因此需要更多的模组端的功能向显示屏内或者系统驱动板两个方向进行集成,从而实现结构简化。

中小尺寸如智能手机方面也存在相同趋势。触控功能方面,从 Add on(外挂式)到 on-cell 再到 hybrid-in-cell 以至目前的 full in-cell。Touch 功能已实现了向显示面板端集成过渡。

模组方面,还包含身份识别、摄像头、天线等功能模块。指纹识别是目前智能手机端常用的身份识别方式,目前的方案仍是以独立的指纹识别模块组装在智能手机模组中。针对业内目前兴起全面屏的技术趋势,必须确保四边边框的最小化,原本位于显示屏下方的指纹模组以及位于手机上方的摄像头都将面临向显示面板端集成。其实现方案有几种,目前主流的是屏下指纹识别,通过超声波等方式进行感测。为了实现更多功能的集成,后续将需要重点研究硅基技术和玻璃基技术完美结合的解决方案。

## 4 结论及建议

当前社会正在由移动互联向万物互联转变,智能显示是未来显示技术发展的核心发展方向。近几年 TFT-LCD 显示技术在高画质、低功耗以及功能集成等方面都呈现了跨越式的发展趋势。由于虚拟显示、裸眼 3D 显示技术的带动,高分辨率将会呈现更加迅速的发展势头。Bright View3 等优化的像素设计方案结合 Oxide 等高性能材料技术的大规模量产应用以及匹配更加高效的背光源设计方案,持续推进能源效率最大化,从而满足日益严苛的低功耗要求。功能集成方面,多种传感器件的集成方案开发以及产业链资源整合的形

势将日趋严峻。多个独立存在的功能器件会朝着微型化、集成化发展方向,并逐步向显示面板端靠近。

综上所述,为了实现本文中所述的智能显示的基本特征,未来需要重点攻克以下几个方向的技术难题。第一是精细制造,以此推进 TFT-LCD 技术分辨率进一步提升;第二是驱动方案,结合新兴的传感技术,拓展应用场景,研发高效的驱动方案以匹配高分辨率的显示产品,全面提升显示产品的智能化;第三个是精细光控,开发具有精准指向的背光源方案,促进有效的光学信息传达,提升光源利用率;第四,功能材料的研发与应用,以促进玻璃基的条件下显示技术与传感技术的高效融合。

## 参 考 文 献:

- [1] 代微. 物联网新时代的来临[J]. 现代商业, 2012(Z1): 52-55.  
DAI H. The coming of the era of Internet of things [J]. *Modern Business*, 2012(Z1): 52-55. (in Chinese)
- [2] FLEUSCH E. What is the internet of Things? an economic perspective [J]. *Management, and Financial Markets*, 2010, 5(2): 125-157.
- [3] GLOVA J, SABOL T, VAJDA V. Business models for the internet of things environment [J]. *Procedia Economics and Finance*, 2014, 15: 1122-1129.
- [4] ATZORI L, IERA A, MORABITO G, *et al.* The social internet of things (SIOT)—— When social networks meet the internet of things: Concept, architecture and network characterization [J]. *Computer Networks*, 2012, 56(16): 3594-3608.
- [5] ZHAO H. Research progress of machine vision technology in artificial intelligence [C]//*2<sup>nd</sup> International Conference on Artificial Intelligence and Engineering Applications (AIEA 2017)*. 2017. DOI: 10.12783/dtcse/aiea2017/14920; 120-127.
- [6] Gibson C. The industrialization of discovery: Leveraging automation and artificial intelligence to achieve discovery at Scale [C]//*BIT's 15<sup>th</sup> Annual Congress of International Drug Discovery Science and Technology (IDDST)*. Osaka, Japan: IDDST, 2017; 134.
- [7] 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*, 2015, 23(11): 523-528.
- [8] PHENIX S J. Display technology trends in digital signage display [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 608-611.
- [9] 刘阳, 张彬祥, 黄楚佳. 柔性 OLED 薄膜封装技术分析 [J]. 光电子技术, 2017, 37(2): 139-145.  
LIU Y, ZHANG B X, HUANG C J. Analysis of thin film encapsulation technology of flexible OLED [J]. *Optoelectronic Technology*, 2017, 37(2): 139-145. (in Chinese).
- [10] LEWIS J S, WEAVER M S. Thin-film permeation-barrier technology for flexible organic light-emitting devices [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 2004, 10(1): 45-57.
- [11] VIDOR F, MEYERS T, HILLERGMANN U. Flexible electronics: integration processes for organic and inorganic semiconductor-based thin-film transistors [J]. *Electronics*, 2015, 4(3): 480-506.
- [12] HSIEH Y F, CHUANG M C, MAO Y, *et al.* Establish a six-primary color display without pixel-distortion and brightness loss [C]//*Proceedings Volume 6911, Emerging Liquid Crystal Technologies III*. San Jose, Califor-

- nia, United States; SPIE, 2008;69110R-1-9.
- [13] MANDERS J R, QIAN L, TITOV A, *et al.* High efficiency and ultra-wide color gamut quantum dot LEDs for next generation display [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2015, 23(11): 523-528.
- [14] BAE W K, LIM J, LEE D, *et al.* R/G/B/natural white light thin colloidal quantum dot - based light - emitting devices [J]. *Advanced Materials*, 2014, 26(37): 6387-6393.
- [15] 齐永莲,王丹,邱云,等.超高色域图案化量子点彩膜的研究[J].液晶与显示,2017,32(3):169-176.
- QI Y L, WANG D, QIU Y, *et al.* Ultra-high color gamut and patterned color filter based on quantum dot photore-sist [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(3): 169-176. (in Chinese)
- [16] ZHAN H M, XU Z, WANG Y P, *et al.* Low-voltage, High transmittance fringe-field switching mode liquid crys-tal for monitor display [J]. *Liquid Crystals*, 2014, 41(6):755-760.
- [17] PARK J W, JUNG J H, LIM Y J, *et al.* Study of Optimal Phase Retardation According to Electrode Structure in the Fringe-Field Switching Mode Using the Negative Liquid Crystal [J]. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 2009, 512: 12-20.
- [18] BAEK M K, LEE K E, LEE S J, *et al.* Memory pixel in 3.7inch VGA transflective TFT -LCD for low power con-sumption [R]. Korea; International Meeting on Information Display 10<sup>th</sup>, 2010.

**作者简介:**刘莎(1984—),女,河北石家庄人,2010 年于浙江大学获得硕士学位,现为京东方显示器件与传感事业群研发中心资深高级研究员,主要从事半导体液晶显示方面的研究。E-mail: liusha@boe.com.cn