

文章编号:1007-2780(2019)04-0347-07

## 降低数据线负载的像素设计

苏秋杰\*,高玉杰,缪应蒙,王永垚,朱 宁,赵重阳,廖燕平,邵喜斌

(北京京东方显示技术有限公司,北京 100176)

**摘要:**在面板设计中,数据线负载较大会引起信号延迟时间长、源 IC 温度过高、功耗上升等不利后果。随着面板尺寸增大以及分辨率升高,数据线负载高造成的不良影响愈加严重。本文提出了一种倒置 U 型的像素 TFT 结构,区别于传统的 U 型 TFT 设计,将像素 TFT 的源极与漏极形状互换,可以降低数据线与栅线的交叠面积,进而降低数据线负载电容。将这种像素设计搭载 23.6HD ADS 产品进行了实验验证,结果表明,采用倒置 U 型 TFT 设计面板的光学参数与传统 U 型设计面板基本一致,数据线负载电容下降 24%,功耗下降 10%,源 IC 温度下降 7.1%。

**关键词:**倒置 U 型;低功耗;低源 IC 温度

**中图分类号:**TN873.93 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193404.0347

## Pixel design for decreasing data load

SU Qiu -jie\*, GAO Yu-jie, MIAO Ying-meng, WANG Yong-yao, ZHU Ning,

ZHAO Chong-yang, LIAO Yan-ping, SHAO Xi-bin

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

**Abstract:** Large data load causes undesirable effects containing long signal delay time, high source IC temperature, high power consumption, etc. These effects become more critical with the increasing panel size and resolution. A kind of inverted U-type TFT distinguished from conventional U-type TFT was proposed in this paper. The layout shape of TFT source and drain was exchanged to decrease the overlay area between data line and gate line. The data load became smaller as to the smaller overlay area. Inverted U-type TFT design was applied to a 598 mm (23.6 in) HD ADS half panel. It achieved similar optical parameters with conventional U-type TFT panel. Data capacity decreased by 24%, power consumption decreased by 10%, and source IC temperature decreased by 7.1% compared with conventional U-type TFT panel.

**Key words:** inverted U-type; low power consumption; low source IC temperature

收稿日期:2018-10-18;修订日期:2019-03-05.

基金项目:北京市委首都科技领军人才培养工程应用技术研究项目(No.201807)

Supported by Beijing Science and Technology Commission Capital Science and Technology Leader Training Engineering Application Technology Research and Development Project (No: 201807)

\* 通信联系人, E-mail: suqiu jie@boe.com.cn

## 1 引言

液晶显示(LCD)技术具有轻薄化、低功耗、无辐射、低成本等诸多优点,已成为目前主流的显示技术,在各类显示产品中均有应用<sup>[1]</sup>,在这些电子显示设备中,屏幕显示系统消耗了大部分能量<sup>[2]</sup>。中小尺寸液晶显示设备因其具有移动作业需要,对面板功耗要求一直比较严苛;大尺寸面板方面,随着市场对高端显示产品需求的攀升,各大面板厂商陆续推出 1 651 mm(65 in)及以上的大尺寸液晶面板,在制程和工艺条件不变的情况下,面板数据线负载会随着面板尺寸变大而增长;高分辨率及高刷新频率产品,如 TV 8K、UHD 120 Hz,已经在各大展会亮相,是未来显示技术发展的必然趋势。然而,大尺寸、高分辨率会引起面板信号线负载增大,信号延迟严重以及功耗上升,不仅影响画面品质而且会带来诸如数据线 IC 温度过高等不容忽视的问题。

面板厂商和科研机构针对降低显示设备功耗提出了很多改善方法,现有的低功耗设计包括 PCBA 最佳设计、应用于高分辨率产品的低功耗 FPGA 设计、高效率的驱动 IC、面板驱动方式、背光、新接口设计以及面板与后端系统的优化搭配等<sup>[3-7]</sup>。

液晶面板内的驱动信号线主要包括控制显示区 TFT 开启的栅极线以及提供画面数据的数据线,其中数据线负载是影响面板功耗的主要因素之一<sup>[5]</sup>。本文提出了一种降低面板功耗的设计,从减小面板数据线负载入手,进而降低面板功耗。本文设计了一种倒置 U 型的像素区 TFT(Thin film Transistor, 薄膜晶体管),搭载 23.6 HD ADS 产品验证了这种倒置 U 型 TFT 设计,基于 a-Si 工艺,采用 4mask 掩模板,与常规的 U 型 TFT 设计面板进行对比,测试结果表明,此种设计使数据线负载电容下降 24%,功耗下降 10%,源 IC 温度下降 7.1%。不需要变更工艺制程,也无需增加掩模板数量,且不增加成本,为大尺寸、高分辨产品功耗降低提供了良好技术积累。

## 2 倒置 U 型 TFT 设计

### 2.1 传统像素 TFT 设计-U 型

薄膜晶体管(Thin film transistor, TFT)是 TFT-LCD 面板的重要组成部分。较为常见的 TFT 平面布局如图 1(a)所示,一个 TFT 包含 3 个端子,栅极(Gate),源极(Source)和漏极(Drain);有源层(Active)为半导体材料;漏极与数据线相连;TFT 漏极形状一般为 U 字型,这种 U 型设计能够在有限的面积内实现更大 TFT 宽长比,本文称之为 U 型 TFT, TFT 的截面图如图 1(b)所示,最底层金属为栅极,之后沉积栅绝缘层( $\text{SiN}_x$  或  $\text{SiO}_2$ ),然后做出有源层,源漏之间的电子在有源层中发生迁移,之后做出源极和漏极金属层,此图示仅代表 TFT 制作工艺流程。TFT 具有开关特性,通过在 3 个端施加电压控制源极与漏极之间的电流,从而将 TFT 打开与关闭<sup>[8]</sup>。

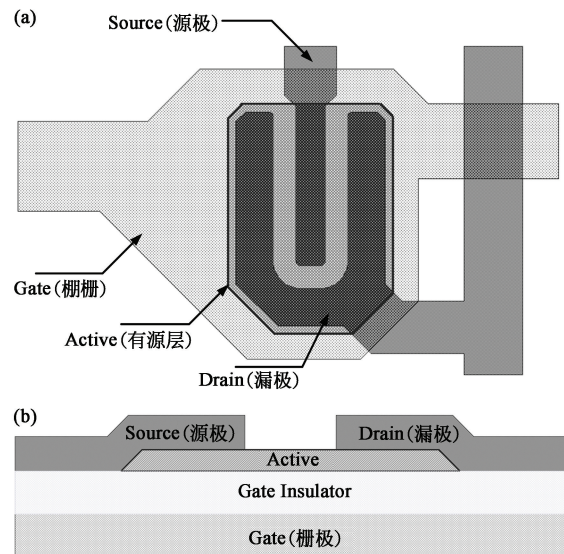


图 1 (a)U 型 TFT 平面图;(b)TFT 截面图。

Fig.1 (a) Top view of U-type TFT; (b) Section view of U-type TFT.

### 2.2 负载与功耗

把电能转换成其他形式能的装置叫做负载,液晶面板的负载主要指驱动信号线负载以及数据信号线负载。数据信号线上负载包括电容  $C$  和电阻  $R$  两部分。电阻  $R$  主要为数据线金属走线的电阻,本文不做具体阐述;数据线负载电容  $C$

主要源于数据线与栅极、公共电极、像素电极间的电容,会随数据线传输电平信号的切换进行充放电,这个过程会有电流产生,电流流经数据线电阻,消耗电能,功耗与数据线负载电容  $C$  呈正比,即负载电容越大,功耗越高;负载电容越小,功耗越低。

电容  $C$  主要包括金属电极间产生的交叠电容  $C_{\text{overlay}}$  以及金属电极间存在的边缘电场电容  $C_{\text{fringe}}$ ,如图2所示。

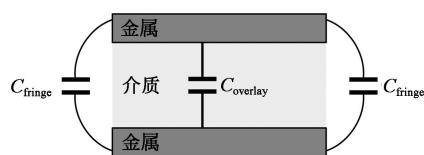


图2 电容  $C$  截面  
Fig.2 Section view of  $C$

平行板交叠电容  $C_{\text{overlay}}$  计算公式见公式(1), (侧向电容值主要依靠3D电容模拟软件获得)

$$C_{\text{overlay}} = \frac{\epsilon S}{4\pi k d}, \quad (1)$$

其中:  $\epsilon$  为介质介电常数,  $S$  为两个金属电极的交叠面积,  $\pi$  为圆周率,  $k$  为静电常数,  $d$  为两个金属电极之间介质的厚度。传统的U型TFT设计,数据线与栅线的交叠电容是数据线电容的重要组成部分,栅极与数据线的交叠面积  $S$  如图3中所示,由公式(1)可知,电容  $C$  与交叠面积  $S$  大小成正比。

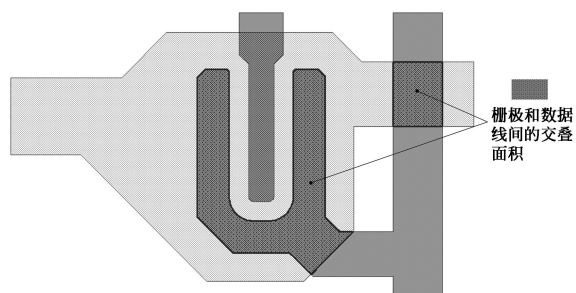


图3 U型TFT数据线与栅线的交叠面积  
Fig.3 Overlay area between data line and gate line of U-type TFT

### 2.3 新型TFT设计-倒置U型

本文设计了一种倒置U型的像素TFT,平面图如图4(a)所示,将TFT中面积较大的U型金属作为源极,而面积较小的“舌头”金属作为漏

极,与数据线相连,此种设计减小了数据线和栅极之间的交叠面积,交叠面积示意图如图4(b)所示,通过降低数据线负载电容来降低面板功耗。

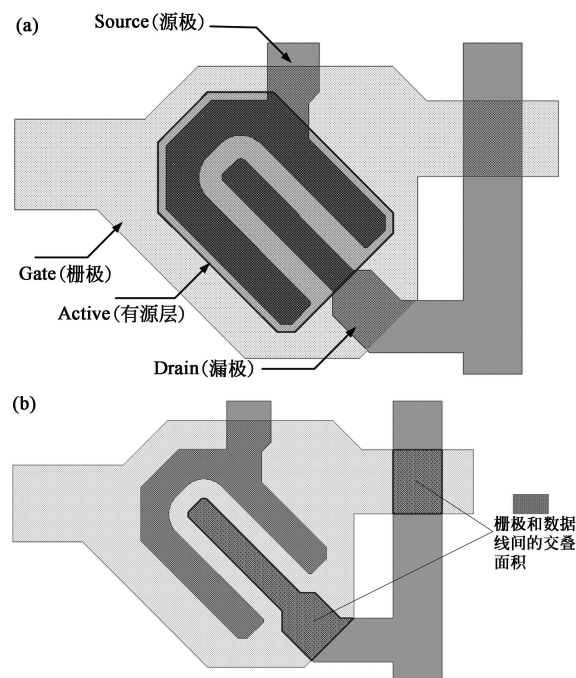


图4 (a)倒置U型TFT平面图;(b)倒置U型栅极与漏极的交叠面积。

Fig.4 (a)Top view of inverted U-type TFT; (b) Overlay area between data line and gate line of U-type TFT.

## 3 结果与讨论

### 3.1 实验样品介绍

为验证倒置U型TFT设计对面板性能的实际影响,我们采用a-Si,4mask工艺流程,将倒置U型TFT设计搭载在598 mm(23.6 in)双栅ADS产品上进行了实验验证,为节约验证面板占用空间,实现资源集约化利用,在不影响验证效果的前提下,实验设计的每个面板尺寸相当于598 mm(23.6 in)的一半(下文称之为23.6HD Half),分辨率为1366×384,帧频为60 Hz,像素大小为381.75  $\mu\text{m}$ ×381.75  $\mu\text{m}$ ,像素区域TFT宽长比  $W/L=42 \mu\text{m}/3.5 \mu\text{m}$ ,采用双栅设计,每一行像素的充电时间为10.4  $\mu\text{s}$ 。将常规的TFT设计与倒置U型的TFT设计分别应用在两块面板中,除像素区TFT布局方式不同之外,两块面板的其他设计完全相同。通过对两种面板的负载、

功耗、IC 温度、flicker 等性能参数的测试,对比分析出倒置 U 型 TFT 设计的优劣。分别取采用常规 TFT 设计的面板与采用倒置 U 型 TFT 设计的面板,在相同的测试条件下进行各项参数的实验测试,包括光学参数测试,数据线负载测试,源 IC 温度及功耗测试,flicker 及残像测试,以下实验数据均在常温测试条件下得到。

图 5 为搭载倒置 U 型面板的实物图,图中点屏画面为绿画面。



图 5 倒置 U 型面板点屏图片  
Fig.5 Picture of inverted U-type TFT panel

图 6 为采用常规 U 型 TFT 设计(a)与倒置 U 型 TFT 设计(b)的像素光学显微镜照片。

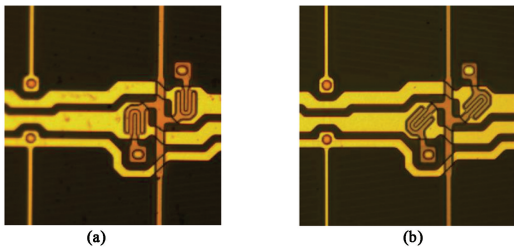


图 6 U 型 TFT(a)与倒置 U 型 TFT(b)的光学显微镜图片  
Fig.6 Optical microscope picture of U-type TFT(a) and inverted U-type TFT(b)

3.2 光学参数测试

选取常规 U 型 TFT 设计以及倒置 U 型 TFT 设计的面板各 3 片,搭载相同的背光源,采用 FPMS 65(光度色度分布测量系统)设备,对样品的色度、亮度、对比度,可视角度等光学参数进行测量,测量结果见表 1(表中所列为每种样品 3 片的平均值)。

由表 1 结果对比可以看出,采用倒置 U 型 TFT 设计的面板光学参数与采用常规 TFT 设计的面板光学参数基本一致。

3.3 数据线负载测试

前文提到倒置 U 型 TFT 设计主要通过减小

表 1 样品的光学参数对比

Tab.1 Optical data contrast of the samples

| 测试项目                         | U 型 TFT | 倒置 U 型 TFT |
|------------------------------|---------|------------|
| 色域(NTSC)/ %                  | 72.2    | 72.1       |
| 色温/K                         | 6 967   | 6 881      |
| 最大亮度/(cd · m <sup>-2</sup> ) | 327     | 326        |
| 最小亮度/(cd · m <sup>-2</sup> ) | 0.268   | 0.261      |
| 对比度                          | 1 250   | 1 206      |
| 视角/(°)                       | 85      | 85         |
| 响应时间 $T_r + T_d/\mu s$       | 20.58   | 20.91      |

数据线 with 栅线之间的交叠面积来减小交叠电容。我们分别利用华大九天软件模拟了两种面板一整条数据线的电阻值,利用 Techwiz3D 软件模拟了两种面板一整条数据线的电容值,对比结果如表 2 数据线负载模拟值所示。

表 2 数据线负载模拟值

Tab.2 Data load simulation result

| 模拟值        | U 型 TFT       | 倒置 U 型 TFT |
|------------|---------------|------------|
| $R/\Omega$ | 1 951         | 1 951      |
| $C/pF$     | 69(Reference) | 50(↓ 27%)  |

从软件模拟的负载结果来看,两种面板的负载电阻值一致,倒置 U 型 TFT 面板的负载电容值相较于常规 TFT 面板下降了 27%。

一整条数据线上的负载均匀分布在每个像素中,若将整条数据线上的电阻和电容分别分为  $N$  个单元,即每个单元的电阻为  $R_n = R/N$ ,  $C_n = C/N$ ,则该条信号线上的信号延迟时间为  $\tau = N(N+1)R_nC_n/2^{[9]}$ ,信号延迟时间与  $RC$  乘积成正比,数据线上的负载  $RC$  会造成数据信号传输延迟,数据线在 PCB 远端与近端均存在信号延迟,而两端的延迟时间差值则是由负载  $RC$  造成的。采用 Tektronix 示波器测试了两种面板的数据线在 PCB 近端与远端的信号延迟时间,延迟时间取数据信号脉冲下降沿由 90%下降到 10%所需要的时间,以此下降时间来反推负载情况。分别得到常规 TFT 面板与倒置 U 型 TFT 面板的 PCB 近端与远端延迟差值  $T_1$  与  $T_2$ ,  $T_1$  与  $T_2$  的比值即为两种面板数据线负载的比值。表 3 为实测数据线

表3 实测数据线信号延迟

Tab.3 Data delay measurement result

| 实测值           | 信号延迟/ $\mu\text{s}$ |       |             |
|---------------|---------------------|-------|-------------|
|               | 近端                  | 远端    | 远端-近端       |
| U型 TFT 面板     | 0.652               | 0.736 | 0.084(Ref.) |
| 倒置 U 型 TFT 面板 | 0.526               | 0.59  | 0.064(↓24%) |

信号延迟时间。

由表3可知常规 TFT 面板负载造成的信号延迟时间为  $0.084\ \mu\text{s}$ , 而倒置 U 型 TFT 面板造成的信号延迟时间为  $0.064\ \mu\text{s}$ , 倒置 U 型负载造成的信号延迟时间下降了 24%, 可以认为倒置型 TFT 面板数据线负载实际值下降了 24%, 与负载模拟结果下降 27% 非常接近。因此, 我们可以得出, 应用于 23.6 HD Half 产品上的宽长比为 42/3.5 的 TFT, 采用倒置 U 型方式设计, 使数据线的负载 RC 下降了 20% 以上, 两种面板的数据线电阻基本相等, 因此负载的下降主要原因是负载电容减小。

### 3.4 源 IC 温度以及功耗测试

23.6HD Half 面板采用 2 颗 1 026 channel 的源 IC 驱动, 在重载画面灰阶 255 下, 两种面板分别取 2 片样品, 待源 IC 温度稳定后, 使用 FLTR T420 热成像仪测量源 IC 温度, 同时测量重载画面(灰阶 255)下整个面板的功耗(不含背光)。结果见表 4 源 IC 温度和功耗测量, 由表可知, 倒置 U 型 TFT 面板源 IC 温度均值较常规 TFT 设计下降 7.1%, 功耗下降 10%。

表4 源 IC 温度和功耗测量

Tab.4 Source IC temperature &amp; power measurement

| 温度 & 功耗               | U 型 TFT 面板  |      | 倒置 U 型 TFT 面板 |      |
|-----------------------|-------------|------|---------------|------|
| @灰阶 255               | 样品 1        | 样品 2 | 样品 1          | 样品 2 |
| 1 <sup>st</sup> IC/°C | 67.2        | 66.6 | 61            | 63.3 |
| 2 <sup>nd</sup> IC/°C | 67.2        | 66.8 | 61            | 63.3 |
| 平均温度/°C               | 66.95(Ref.) |      | 62.15(↓7.1%)  |      |
| 功耗/W                  | 2.52(Ref.)  |      | 2.256(↓10%)   |      |

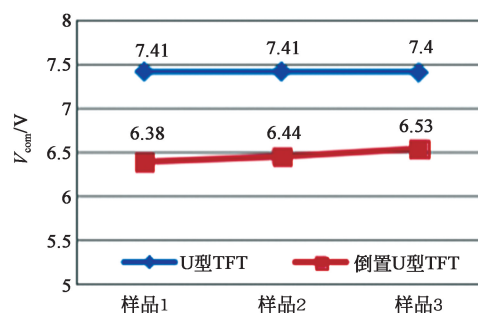
### 3.5 闪烁漂移测试

一般地, 液晶显示器在正常工作时, 为防止液晶老化, 数据线提供的像素电压极性以公共电

极  $V_{\text{com}}$  电压为中心周期性变化, 当正负极性电压绝对值不等时, 在特定画面下会出现闪烁, 称之为 flicker 现象<sup>[10]</sup>。倒置 U 型 TFT 通过将 TFT 源漏极互换使 TFT 漏极与栅极交叠电容降低, 实现了数据线负载电容降低, 但是 TFT 栅极与源极的电容  $C_{\text{gs}}$  会增加, 当栅极电压由高电平跳变到低电平时, 电容的耦合作用会使像素电极电压也发生向下的跳变, 跳变幅度为  $\Delta V_p$ , 见公式(2), 其中  $C_{\text{gs}}$  为栅源电容,  $V_{\text{GH}}$  为栅极高电平,  $V_{\text{GL}}$  为栅极低电平,  $C_{\text{st}}$  为公共电极与像素电极间的存储电容,  $C_{\text{lc}}$  为一个像素对应的液晶电容。

$$\Delta V_p = \frac{C_{\text{gs}}(V_{\text{GH}} - V_{\text{GL}})}{C_{\text{gs}} + C_{\text{st}} + C_{\text{lc}}} \quad (2)$$

由公式(2)可以看出, 较大的  $C_{\text{gs}}$  值会导致栅极电压向下跳变时, 像素电极电压向下跳变幅度  $\Delta V_p$  也更大, 即倒置 U 型 TFT 设计相较 U 型 TFT 设计有更大的像素电压跳变值。考虑到  $C_{\text{gs}}$  的这种耦合效应, 为使面板的闪烁值最小, 倒置 U 型 TFT 面板  $V_{\text{com}}$  电压相对于常规 TFT 设计面板应该继续下调, 以保证正负极性相对于  $V_{\text{com}}$  的电压差相等。在闪烁画面下, 用色彩分析仪(CA310)观察闪烁值, 将  $V_{\text{com}}$  电压调节至闪烁值最小。取 U 型 TFT 面板与倒置 U 型 TFT 面板各 3 片, 分别调节闪烁值至最优, 对应的  $V_{\text{com}}$  电压如图 7 所示。

图7 闪烁值最小时对应的  $V_{\text{com}}$  电压Fig.7 Voltage of  $V_{\text{com}}$  when flicker is lowest

本文中的 23.6HD Half 面板采用常规 TFT 设计时, 3 片样品  $V_{\text{com}}$  电压分别调节至 7.41, 7.41, 7.4 V 时闪烁最小; 采用倒置 U 型 TFT 设计时, 3 片样品  $V_{\text{com}}$  电压分别调节至 6.38, 6.44, 6.53 V 时闪烁最小, 平均值较常规 TFT 设计的面板下调 0.957 V。

在面板使用过程中, 闪烁值会随着时间漂移。

本文分别测试了两种面板在 60 min 内的闪烁漂移情况。测试方法为: 0 min 时, 调节  $V_{\text{com}}$  电压, 使闪烁至最小, 之后每隔 1 min, 记下闪烁漂移数据。各取 3 片样品, 得到如图 8 所示的闪烁漂移曲线。

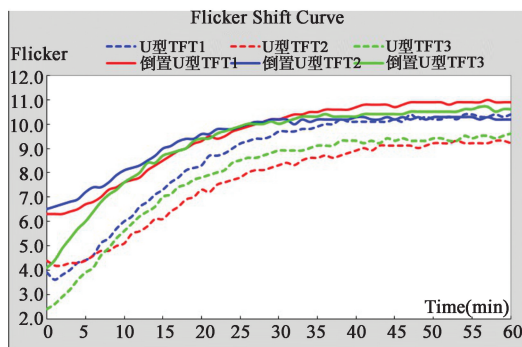


图 8 U 型和倒置 U 型面板的闪烁漂移曲线  
Fig.8 Flicker shift curve of U-type and inverted U-type panel

60 min 后, 两种面板均存在一定程度漂移, 且漂移程度基本一致, 漂移后的闪烁值仍满足面板设计要求。

## 4 结 论

本文介绍了一种 AA 区倒置 U 型 TFT 设计, 通过将原有的 U 型 TFT 源极和漏极金属形状互换, 实现了漏极与栅极交叠面积减小, 相当于数据线与栅线间的交叠电容减小, 降低了数据线的负载。搭载 23.6HD ADS Half 产品对这种设计进行了验证, 并与 U 型 TFT 设计进行了对比, 实验结果表明, 倒置 U 型设计负载降低了 24%, 源 IC 温度降低 7.1%, 功耗降低 10%; 通过  $V_{\text{com}}$  调节, 倒置 U 型的闪烁满足 Spec 要求, 并且 60 min 内的闪烁漂移量与 U 型 TFT 面板水平相当; 倒置 U 型 TFT 面板的光学参数测试结果与 U 型 TFT 面板基本一致, 在不变更工艺条件, 不增加成本的前提下, 实现了数据线信号延迟时间减小, 源 IC 温度降低, 面板功耗降低。该研究为大尺寸, 低功耗, 高分辨产品提供了设计参考及改善方向。

## 参 考 文 献:

- [1] UKAI Y. TFT-LCDs as the future leading role in FPD [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2013, 44(1): 28-31.
- [2] 庄衍坚. TFT-LCD 与 OLED 图像显示降低功耗方法的研究与实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.  
ZHUANG Y S. The research and design of the method for reducing power consumption in displaying images in TFT-LCD and OLED [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [3] 雷博琳, 郭小军, 司秉玉, 等. 浅谈低功耗液晶显示屏的设计技术[J]. 现代显示, 2013(6): 37-42.  
LEI B L, GUO X J, SI B Y, et al. Low power consumption design for LCD panel [J]. *Advanced Display*, 2013 (6): 37-42. (in Chinese)
- [4] RAN D, QI Z. A display system for 8K  $\times$  4K using low-cost FPGA devices [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 102-104.
- [5] 张斌, 解宇, 刘陈曦, 等. 基于液晶显示屏的低功耗驱动技术[J]. 液晶与显示, 2016, 31(3): 290-294.  
ZHANG B, XIE Y, LIU C X, et al. Low power driver method based on TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(3): 290-294. (in Chinese)
- [6] 刘文江. 低功耗 AMOLED 像素电路与驱动方法的研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2015.  
LIU W J. Research on low power AMOLED pixel circles and driving method [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2015. (in Chinese)
- [7] 刘莎, 王丹, 杨照坤, 等. TFT-LCD 技术发展趋势浅析[J]. 液晶与显示, 2018, 33(6): 457-463.  
LIU S, WANG D, YANG Z K, et al. Key technology trends analysis of TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2018, 33(6): 457-463. (in Chinese)
- [8] 戴亚翔. TFT LCD 面板的驱动与设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2008: 36-37.  
DAI Y X. *Design and Operation of TFT LCD Panels* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008: 36-37. (in Chinese)
- [9] PILLAGE L T, ROHRER R A. The essence of AWE [J]. *IEEE Circuits and Devices Magazine*, 1994: 12-19.

- [10] 冯兰,侯清娜,王峥,等.影响 ADS 面板闪烁漂移的因素研究[J].液晶与显示,2015,30(5):807-812.  
FENG L, HOU Q N, WANG Z, *et al.* Influence factors on flicker shift for ADS LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(5): 807-812. (in Chinese)

作者简介:



苏秋杰(1988—),女,天津人,硕士,2014 年于天津大学电子与信息工程学院获得硕士学位,现任北京京东方显示技术有限公司高级研究员,主要从事 LCD 显示技术方面的研究。E-mail: suqiu-jie@boe.com.cn