

文章编号: 1007-2780(2012)01-0038-05

有机薄膜晶体管阵列面向电子纸像素设计

汪梅林¹, 张其国¹, 郑永亮², 秦永亮²,
郭晓东², 潭 莉², 朱棋锋¹, 韩学斌², 申剑锋¹

(1. 中国科学院 上海高等研究院 新型显示技术研究中心, 上海 201203, E-mail: wangml@casail.com;

2. 上海中科联和显示技术有限公司, 上海 201203)

摘 要: 讨论了有机薄膜晶体管(Organic Thin Film Transistor, OTFT) 作为开关器件来驱动电子纸的像素设计, 特别是像素电路结构、HSPICE 模拟用模型参数和像素平面结构。讨论了有机薄膜晶体管制造过程, 并用 HSPICE 模拟分析了有机薄膜晶体管结构和存贮电容大小对像素波形的影响, 结果表明 TFT 结构的选择依赖于存贮电容的大小。

关 键 词: 电子纸; 有机薄膜晶体管; 像素设计

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20122701.0038

Pixel Design of Organic Thin Film Transistor Array

WANG Mei-lin¹, ZHANG Qi-guo¹, ZHENG Yong-liang², QIN Yong-liang²,
GUO Xiao-dong², TIAN Li², ZHU Qi-feng¹, HAN Xue-bin², SHEN Jian-feng¹

(1. New Display Technology Research Center, Shanghai Advanced Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201203, China, E-mail: wangml@casail.com;

2. Shanghai CASAIL Display Technology Co. Ltd., Shanghai 201203, China)

Abstract: As a switch device of the pixel, the Organic Thin Film Transistor (OTFT) has good IDS-VGS curve. This paper describes the pixel circuit, model parameter for HSPICE simulation and the pixel layout. In order to verify the influence of storage capacitor and TFT structure on the pixel waveform, the pixel waveform was simulated by HSPICE. The OTFT process is studied in this paper. Result shows that OTFT structure is selected according to the storage capacitor for different products. The OTFT process is suitable for flexible display.

Key words: e-paper; organic thin film transistor; pixel design

1 引 言

电子纸(Electronic Papers, E-paper), 是一种类似纸的新一代显示装置。它最大的特点是可以实现纸一样的显示效果, 甚至可以像纸一样折叠扭曲。目前, 国际上有许多厂商正在进行电子纸

相关技术的研发, 出现了如电泳显示技术、胆固醇液晶显示技术与电润湿显示技术等群雄争霸的局面, 并且各自取得了许多激动人心的成果^[1-5]。目前市场上的电子书大多采用非晶硅薄膜晶体管阵列面板作为背板, 由于非晶硅工艺加工温度高, 不能实现柔性显示。而有机薄膜晶体管(Organic

收稿日期: 2011-09-14; 修订日期: 2011-11-27

基金项目: 上海市科委科研项目(No. 10dz1100300)

作者简介: 汪梅林(1974—), 青海湟中人, 大学本科, 工程师, 主要从事液晶显示器面板设计及 TFT 工艺研究。

Thin Film Transistor, OTFT)的作用与非晶硅薄膜晶体管相同,主要区别在于其核心材料采用有机半导体,与同样作为平板显示基板材料的 a-Si TFT、低温多晶硅 LTPS TFT 相比,OTFT 具有制作工艺简单、成本低、质量轻、携带方便及对器件进行适度的扭曲或弯曲时,器件的电特性并没有显著改变的优点。其良好的柔韧性克服了非晶硅不能实现柔性显示的缺点,进一步拓宽了有机晶体管的使用范围^[6]。基于以上原因,目前世界上许多知名的企业都在积极进行 OTFT 的研发和试制工作,目前积极参与 OTFT 显示技术研发的公司主要有美国朗讯科技、3M、IBM、荷兰飞利浦、日本索尼、日本 NHK、英国塑料逻辑、韩国三星、台湾工研院和中国科学院长春应化所等。针对电子纸而言,如果采用 OTFT 背板来驱动电子纸,会大大拓宽电子纸的市场应用范围^[7-9]。

有源矩阵驱动电泳显示器件的灰度实现有两种基本方法:一种是固定脉冲宽度,调整电压幅值来实现不同的灰度显示;另外一种固定脉冲幅值,调整脉冲宽度来实现灰度显示。这两种方法都可以达到灰度显示的目的,但是前一种方法需要多级电压的驱动芯片支持,这会增加驱动电路的复杂性和成本;后一种方法只需要通过控制驱动的脉冲持续时间即可,成本较低。目前的电泳显示器件的灰度实现方法大多采用时间调制法^[10]。有机薄膜晶体管阵列在采用时间调制法时,同一栅线上的相邻像素在显示不同灰度时,由于栅极电压的脉冲时间相同,只能通过栅脉冲多次扫描,数据线写入不同电压的方式来实现。最终显示画面对应的灰度是几次充电和保持累加的效果;电泳膜的材料电阻率为 $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$,比液晶的电阻率要小 $2 \sim 3$ 个数量级,液晶漏电引起的电压降比较明显,需用大的存贮电容和小的 TFT 宽长比来保持像素电压^[11-12];而电泳膜的驱动电压为 15 V,是液晶材料的 3 倍左右,小的存贮电容和大的有机薄膜晶体管宽长比更容易充满。因此像素设计中,存贮电容和 TFT 结构的设计尤为关键^[13]。本文给出了有机薄膜晶体管的转移特性曲线、像素电路结构和像素模型参数。并在此基础上采用 HSPICE 模拟了存贮电容和 TFT 结构对像素电压波形的影响,完成了 $4.8 \text{ cm}(1.9 \text{ in})$ 有机薄膜晶体管阵列背板的设计并简要说明了面

板阵列的加工工艺。

2 像素电路结构

2.1 有机薄膜晶体管的转移特性曲线

图 1 是在 2.5 代 TFT-LCD 生产线上制备的传统的低栅、刻蚀阻挡型有机薄膜晶体管的转移特性曲线,其中 $W/L=35\text{ }\mu\text{m}/10\text{ }\mu\text{m}$, $V_{\text{DS}}=-40\text{ V}$, 导电类型为 p 型, $V_{\text{GS}}=-7\text{ V}$ 时, $I_{\text{DS}}<10^{-9}\text{ A}$, 薄膜晶体管关闭, $V_{\text{GS}}=-25\text{ V}$ 时, $I_{\text{DS}}>10^{-5}\text{ A}$, 薄膜晶体管打开, 开关比为 10^4 , 多数载流子为空穴, 迁移率可达到 $0.9\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。

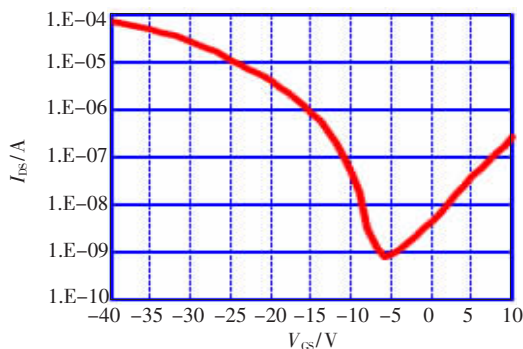


图 1 有机薄膜晶体管转移特性曲线, $W/L=35\ \mu\text{m}/10\ \mu\text{m}$
($V_{\text{DS}}=-40\ \text{V}$).

Fig. 1 IDS-VGS of OTFT with $W/L = 35 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$
($V_{\text{DS}} = -40 \text{ V}$)

2.2 像素的电路结构和模型参数

本文用图 2 所示的像素电路结构和表 1 所示的模型参数作为像素设计和 HSPICE 模拟的基础,其电阻值和电容值见表 1,OTFT 采用 HSPICE 中的 LEVEL 62 p-Si TFT 模型来表示,器件参数值从实测数据中提取。

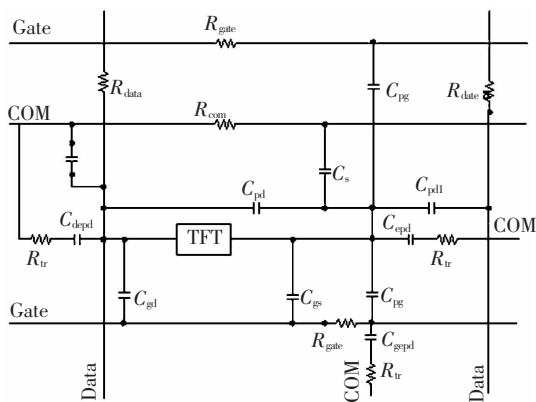


图 2 像素电路结构

Fig. 2 Pixel circuit

表 1 图 2 所示的像素电路结构中 HSPICE 模拟用的参数

参数	描 述	结果
TFT	有机薄膜晶体管	--
$R_{\text{gate}}(\Omega)$	栅线电阻	8
$R_{\text{data}}(\Omega)$	数据线电阻	8
$R_{\text{tr}}(\Omega)$	电泳膜的 ITO 电阻	30
$R_{\text{com}}(\Omega)$	COM 电阻	2
$C_s(\text{F})$	存储电容	--
$C_{\text{epd}}(\text{F})$	像素和电泳膜 ITO 的电容	1.49E-13
$C_{\text{depd}}(\text{F})$	数据线和电泳膜 ITO 的电容	6.20E-15
$C_{\text{gepd}}(\text{F})$	栅线和电泳膜 ITO 之间电容	7.71E-15
$C_{\text{gs}}(\text{F})$	栅极和源极交叠电容	1.34E-13
$C_{\text{gd}}(\text{F})$	栅极和漏极交叠电容	1.01E-13
$C_{\text{dc}}(\text{F})$	栅线和 COM 线的交叠电容	1.92E-14
$C_{\text{pg}}(\text{F})$	栅线和像素电极的耦合电容	1.20E-13
$C_{\text{pd}}(\text{F})$	数据线和像素电极的耦合电容	1.20E-13

3 模拟结果

3.1 TFT 结构的选择

TFT 结构要考虑像素充电、保持和跳变电压等因素,图 3 是通过 HSPICE 模拟得到的具有相同宽长比的单栅和双栅 TFT 在不同大小的存储

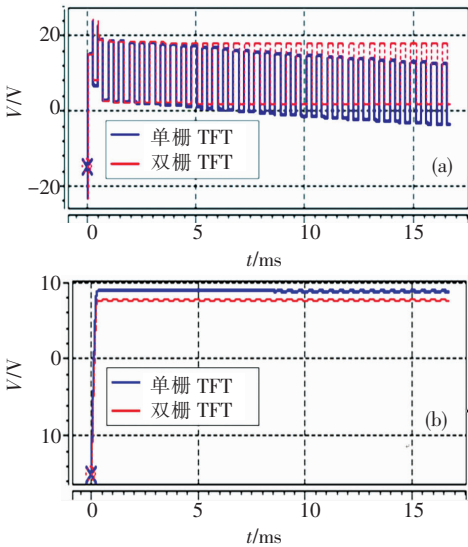


图 3 不同存储电容下,相同宽长比的单栅和双栅 TFT 的像素波形图。(a) $C_{\text{st}}=0.01 \text{ pF}$;(b) $C_{\text{st}}=80 \text{ pF}$ 。

Fig. 3 Pixel waveform of single gate and double gate with same W/L .

电容下的像素波形,其中单栅 TFT 的宽长比为 $20 \mu\text{m}/20 \mu\text{m}$ 。双栅 TFT 是两个宽长比分别为 $20 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$ 的 TFT 串接。图 3(a)是存储电容为 0.01 pF 时的像素波形,从图中看出,存储电容较小时,像素电压都有大的波动,但双栅 TFT 的像素保持的更好,而单栅 TFT 的像素有明显的漏电。图 3(b)是存储电容为 80 pF 时的像素波形图,可以看出,存储电容比较大时,像素电压比较平稳,单栅 TFT 更容易充满。从模拟结果看,TFT 结构取决于存储电容的大小。

3.2 存储电容的选择

图 4 是宽长比为 $20 \mu\text{m}/10 \mu\text{m}$ 的双栅 TFT 在不同大小存储电容下的像素波形图,曲线(a)、(b)、(c)、(d)对应的存储电容依次为 80 pF , 40 pF , 2.5 pF 和 0.75 pF 。存储电容为 80 pF 时,像素电压不到 15 V ;存储电容为 40 pF 时,像素电压接近 15 V ;存储电容为 2.5 pF 时,像素电压达到 15 V ,但随着数据线电压脉冲波动,在 0.75 pF 时,波动度大于 5 V ,影响图像的正常显示。所以在 TFT 结构确定的情况下,要选择合适的存储电容值。

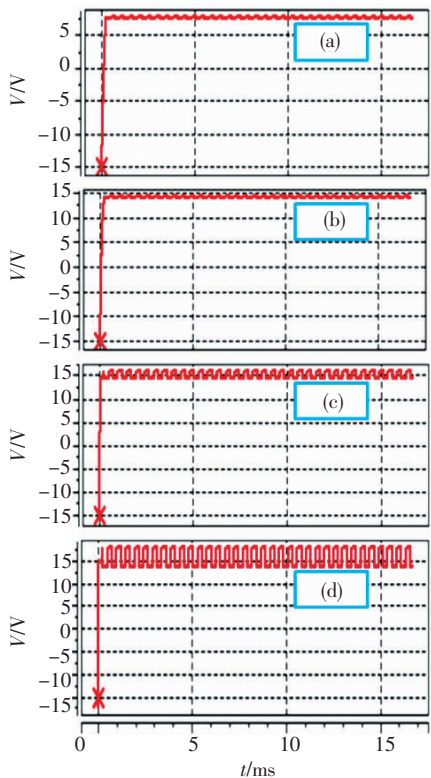


图 4 存储电容对像素波形图的影响
Fig. 4 Pixel waveform with different C_{st}

4 实际产品设计

表 2 是根据上述的模拟结果设计的一款 4.8 cm(1.9 in)电子书的显示参数,其中 TFT 选用双栅结构,宽长比为 30 μm /10 μm ,存贮电容大小为 40 pF。图 5 是像素波形模拟结果,像素电压能达到 15 V,而且能够平稳保持。

表 2 4.8 cm(1.9 in)电子书的显示参数
Table 2 Display parameters of 4.8 cm(1.9 in)

项目	设计值
显示尺寸	4.8 cm(1.9 in)
分辨率	64×64
像素尺寸	533.25 μm ×533.25 μm
TFT 结构	双栅
宽长比	30 μm /10 μm
存贮电容	40 pF
开口率	75%
发光模式	反射外界光
对比度	6:1

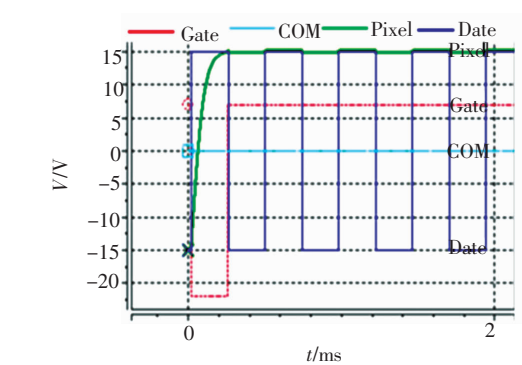


图 5 像素波形图的模拟结果
Fig. 5 Simulation result of the pixel waveform

图 6 是一个像素是平面结构图,TFT 采用双栅结构,共公电极覆盖整个像素区域。制作过程如下:首先在玻璃基板上溅射 200 nm 的 MoW 薄膜形成栅极,化学气相沉积 300 nm 的 SiN_x 绝缘层,溅射 200 nm 厚的 MoW 薄膜形成数据线,之

后依次旋涂 200 nm 的有机膜作为绝缘栅的平坦层;接着采用热蒸发生长方式先沉积一层较薄的 p-6P 作为诱导层,然后再沉积一层较厚的小分子有机半导体充当晶体管的有源层,接着在有机半导体上沉积 20 nm 的金,并通过光刻工艺形成半导体图形。其中,有机半导体薄膜生长是采用弱外延生长机理,通过控制成膜温度使有机半导体薄膜的外延分子和有序分子层之间的作用力弱于外延分子层之间的作用力,从而导致有机半导体分子在有序分子层表面以站立的方式有序生长,分子间 π - π 作用较大的晶体方向在薄膜平面内有序取向,最终生长的有机薄膜具有类似单晶的高迁移率性质,整个成膜温度控制在 200 $^{\circ}\text{C}$ 以内;最后磁控溅射 ITO 形成像素电极, SiN_x 形成保护层。

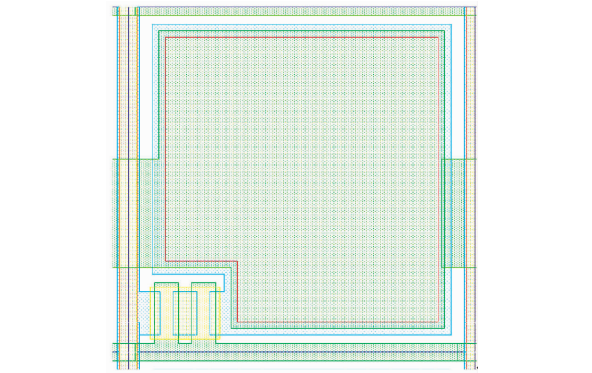


图 6 有机薄膜晶体管阵列的单个像素平面图
Fig. 6 Layout of OTFT pixel

5 结 论

用有机小分子材料作为半导体层的薄膜晶体管,开关比达到 10^4 ,迁移率达到 $0.9 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$; TFT 结构的选择要依存贮电容的大小而定,对于一些高分辨率的显示产品中,存贮电容较小,双栅 TFT 容易保持像素电压;而对于一些低分辨率的显示产品中,存贮电容可以做到很大,单栅 TFT 更容易充满,而且弱取向外延生长的有机小分子膜具有类似单晶的高迁移率性质,成膜温度低,适合在柔性基板上加工。

参 考 文 献:

[1] 耿卫东,刘会刚,商广辉. MEMS 显示技术[J]. 液晶与显示, 2008, 23(2):230-234.
[2] 孙志文,谢二庆,韩卫华,等. 电润湿的研究进展[J]. 液晶与显示, 2008, 23(3):387-392.

[3] 赵晓鹏,郭慧林,王建平. 电子墨水与电子纸[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005;26-29.

[4] Rogers J A, Bao Z N, Baldwin K, *et al.* Paper-like electronic displays: Large-area rubber-stamped plastic sheets of electronics and microencapsulated electrophoretic inks [J]. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 2001, 98(9):4835-4840.

[5] Fang X J, Yang H, Wu G, *et al.* Preparation and characterization of low density polystyrene/ TiO₂ core shell particles for electronic paper application [J]. *Current Appl. Phys.*, 2009,(9):755-759.

[6] 闫东航. OTFT 将成为下一代平板显示核心技术 [J]. 技术纵横, 2008,(2):79-81.

[7] 廖燕平,王军. 有机薄膜晶体管及其集成电路[J]. 现代显示, 2007,(78):7-14.

[8] Dodabalapur A, Katz H E, Torsi L,*et al.* Organic field-effect bipolar transistors [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996,68 (8):1108-1110.

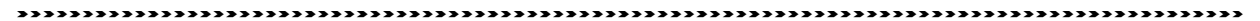
[9] Chesterfield R J, Newman C R, Pappenfus T M, *et al.* High electron mobility and ambipolar transport in organic thin-film transistors based on a π -stacking quinoidal terthiophene [J]. *Frisbie. Adv. Mater.*, 2003,(15):1278-1282.

[10] 李晓. 微胶囊电泳显示驱动技术研究 [D]. 中山大学学位论文, 2008;4-5.

[11] 杨澎,荆海,付国柱,等. a-si 双栅 TFT 对电泳显示器响应速度的改善[J]. 液晶与显示,2007,22(5):565-571.

[12] Henzen A, Pitt M, Yasui M, *et al.* Development of active matrix electronic ink displays for smart handheld applications[C]//*IDW'02 Digest*, Hiroshima, Japan:IMID,2002;227-320.

[13] 李文波,徐征,张卓,等. 微胶囊电泳显示与 TFT-LCD 之比较分析[J]. 液晶与显示, 2010, 25(4):576-581.



欢迎订阅 2012 年《液晶与显示》

《液晶与显示》是中国最早创办的液晶学科专业期刊,也是中国液晶学科和显示技术领域中的唯一的综合性专业学术期刊。它由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国物理学会液晶分会和中国光学光电子行业协会液晶分会主办,科学出版社出版。

《液晶与显示》以创新性、综合性、实用性为办刊特色,内容丰富,涵盖面广,信息量大,可读性强,既是启迪科技人员开拓新思路的参考期刊,又是从事液晶和显示技术研究与开发的广大科技人员、大专院校师生及相关领域的科技工作者进行学术交流的论坛,也是图书、情报等部门必不可少的信息来源。

《液晶与显示》为双月刊,国内定价 40.00 元,全年 240.00 元,国内外公开发行。国内邮发代号:12—203,国内读者可在当地邮局订阅;也可通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅(地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号,邮编 300385),本刊的代号为:5074。国外读者可通过中国国际图书贸易总公司订阅(地址:北京 399 信箱,邮编:100044),国外发行代号:4868BM。同时,《液晶与显示》编辑部将竭诚为广大读者服务,随时办理订阅。

地 址:长春市东南湖大路 3888 号 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	
《液晶与显示》编辑部	邮 编:130033
电 话:0431-86176059 0431-84613406	传 真:0431-84627061
E-mail: yjxs@ciomp. ac. cn; yjyxs@126. com	http://www. yjyxs. com