

文章编号: 2095-2163(2020)10-0127-04

中图分类号: TN432

文献标志码: A

一种电压编程型 AMOLED 像素电路设计

张立文, 曾涌韬, 关肖飞, 李月华, 王新林, 何红宇

(超快微纳技术与激光先进制造湖南省重点实验室(南华大学), 湖南 衡阳 421001)

摘要: 本文改进了一种由5个薄膜晶体管和二电容(5T2C)构成的电压编程型 AMOLED 像素驱动电路, 用来补偿驱动晶体管的阈值电压和迁移率漂移对 OLED 驱动电流的影响。通过对电容布局和数据输入阶段时序进行优化, 产生一个与驱动晶体管迁移率成正相关的电位变化量, 用来补偿迁移率的漂移。仿真结果表明, 驱动管阈值电压改变 ± 0.5 V 时, 驱动电流变化的误差率约为4%; 驱动管的迁移率改变 $\pm 30\%$ 时, 驱动电流的误差率范围为3%~9%。因此, 本电路能有效补偿 OLED 的驱动电流, 解决了 AMOLED 显示中发光不均匀的问题。

关键词: 像素电路; 电压编程; 阈值电压; 迁移率; OLED 退化

A voltage programming pixel circuit for AMOLED display

ZHANG Liwen, ZENG Yongtao, GUAN Xiaofei, LI Yuehua, WANG Xinlin, HE Hongyu

(Hunan Province Key Laboratory for Ultra-Fast Micro-Nano Technology and Laser Advanced Manufacture, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China)

[Abstract] The voltage programming pixel circuit with 5 thin-film transistors and 2 capacitors (5T2C) is improved to compensate the effect of the driving transistor's threshold voltage and mobility shifts for AMOLED display. Optimizing the capacitor placement and the data input period's timing, the voltage variation proportional to the transistor's mobility is generated, the voltage variation can compensate the mobility shift. The simulation results show that, when the driving transistor's threshold voltage changes ± 0.5 V, the error rate of the driving current is about 4%; when the driving transistor's mobility changes 30%, the error rate of the driving current ranges from 3% to 9%. Therefore, the circuit can compensate the OLED's driving current, effectively, and solve the lighting no uniformity problem in the AMOLED display.

[Key words] Pixel circuit; Voltage program; Threshold voltage; Mobility; OLED degradation

0 引言

有源矩阵有机发光二极管 (AMOLED) 已逐步取代传统的液晶显示 (LCD), 成为下一代显示的主流技术^[1]。目前, AMOLED 像素电路所使用的晶体管主要分为3种类型: 非晶硅薄膜晶体管、低温多晶硅薄膜晶体管和铟镓锌金属氧化物晶体管。与其它两种晶体管相比, 低温多晶硅薄膜晶体管具备高迁移率和稳定性的特点, 因此在像素电路中得到了广泛的应用^[2-3]。但是, 工艺局限性导致的不均匀性, 长时间工作下电应力的影响, 都会导致驱动晶体管(驱动管)阈值电压($V_{TH,TD}$)和迁移率(μ)漂移, 引起 OLED 的驱动电流变化。因此, 有必要设计像素驱动电路来补偿上述因素的影响, 稳定 OLED 的驱动电流。

现已报导的像素驱动电路主要分为两种: 电压编程型和电流编程型^[6-7]。与电流编程型相比, 电

压编程型具有对比度高、充电时间快、更适用于高分辨率显示等优点。因此, 电压编程型像素驱动电路已成为像素电路设计的主流^[8-13]。

早期的电压编程型像素驱动电路仅能补偿驱动管阈值电压的漂移。后来的电路既能补偿驱动管阈值电压漂移, 又能补偿驱动管迁移率的漂移。为此许多研究者提出了自己的思路: 文献[14-16]利用在数据输入阶段引入电位变化量, 提高驱动管栅极电位或降低源极电位, 以实现驱动管迁移率漂移的补偿; 文献[17]推导出了上述电位变化量的具体表达式; 文献[18-19]在电路中引入镜像结构; 文献[20]对数据输入阶段的时序进行调整, 使驱动管提前开启或关闭, 以引入电位变化量。文献[21]中提出的5T2C电路, 虽然能有效补偿驱动管阈值电压的漂移, 但不能补偿驱动管迁移率的漂移。因此, 本文在文献[21]的基础上, 通过优化电容的布局, 调

基金项目: 超快微纳技术与激光先进制造湖南省重点实验室(2018TP1041); 湖南省自然科学基金(2019JJ40246); 衡阳市科技局科学研究项目(2016KG75)。

作者简介: 张立文(1995-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 集成电路设计; 李月华(1974-), 女, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 嵌入式系统控制、集成电路设计。

收稿日期: 2020-05-15

整数据输入阶段的时序,实现了驱动管迁移率漂移的补偿。

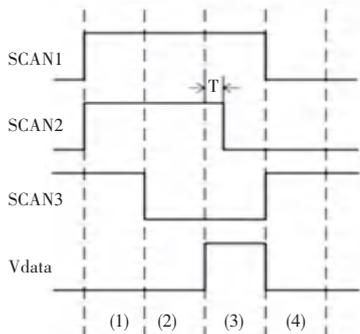


图1 电路工作时序

Fig. 1 Circuit timing diagram

1 像素电路结构与原理

像素电路的结构如图2所示。

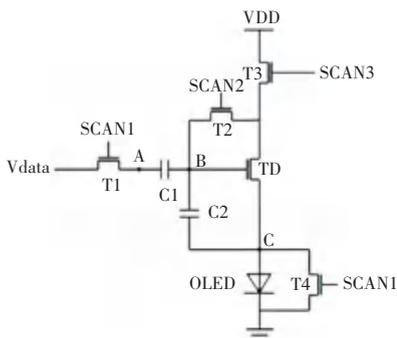


图2 像素电路结构

Fig. 2 The proposed pixel circuit

电路由5个N型低温多晶硅薄膜晶体管和二个电容C1、C2构成。T1~T4为开关管,TD为驱动管。SCAN1~SCAN3为扫描信号线,Vdata为数据输入线。电路的工作时序如图2所示,共分为4个阶段:重置阶段、补偿阶段、数据输入阶段、发射阶段。对各阶段电路的工作原理分析如下:

(1) 重置阶段。SCAN1~SCAN3均为高电平时,T1~T4处于导通状态。数据电位Vdata为低电平,其值为Vdata_L。由于T1管导通,因此A点电位和数据电位Vdata相同,即Vdata_L。T4管处于导通状态时,C点与接地端相连,C点为零电位。电源电位VDD通过T2、T3管给B点充电至VDD。

驱动管TD产生的驱动电流IOLED通过T4流向接地端,不会流经OLED,因此OLED不会发光。

(2) 补偿阶段。SCAN1、SCAN2保持高电平,T1、T2、T4保持导通状态。SCAN3变为低电平,T3管截止。Vdata保持低电平Vdata_L,C点保持零电位。本阶段,驱动管TD初始时导通且处于二极管连接状态,B点逐渐放电,电位下降至VTH_TD,此后TD截

止。

由于T4管导通,本阶段OLED不会发光。

(3) 数据输入阶段。SCAN1保持高电平,T1、T4保持导通状态。SCAN3保持低电平,T3保持截止状态。

在进入数据输入阶段的瞬间(t=0时刻),Vdata变为高电平Vdata_H。该变化量经T1传递至A点后,再经C1和C2耦合,使B点电位瞬间升高,此时B点电位为:

$$V_B = V_{TH_TD} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times (V_{data_H} - V_{data_L}). \quad (1)$$

当0 < t < T时,SCAN2保持高电平,T2导通。因此,驱动管TD导通且处于二极管连接状态,B点放电,电位逐渐降低。驱动管的迁移率越大,电流越大,B点放电速度越快,电位降低越快。在此期间,B点电位降低了ΔVμ,该电位变化量与驱动管TD的迁移率μ成正相关。

在t ≥ T时,SCAN2变为低电平,T2截止,驱动管TD电流为零,B点电位不再降低。此时B点电位为:

$$V_B = V_{TH_TD} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times (V_{data_H} - V_{data_L}) - \Delta V\mu. \quad (2)$$

在本阶段,由于T4保持导通状态,C点保持零电位。C2两端的电压为:

$$V_{C2} = V_B - V_C = V_{TH_TD} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \times (V_{data_H} - V_{data_L}) - \Delta V\mu. \quad (3)$$

由于T4管导通,本阶段OLED不会发光。

(4) 发射阶段。SCAN3变为高电平,T3导通。SCAN1变为低电平,T1和T4截止。SCAN2保持低电平,T2保持截止状态。T4截止,C点电位由零电位瞬间升高VTH_OLED。由于C2两端的电压值不能突变,保持Vc2,B点电位也瞬间升高VTH_OLED。驱动管TD导通,其栅源电压VGS等于Vc2,TD驱动OLED发光。OLED的驱动电流公式为:

$$I_{OLED} = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_{TH_TD})^2, \quad (4)$$

$$V_{GS} = V_{C2}. \quad (5)$$

将式(3)代入式(5),再将式(5)代入式(4),得到OLED的驱动电流为:

$$I_{OLED} = \frac{k}{2} \left[\frac{C_2}{C_1 + C_2} \times (V_{data_H} - V_{data_L}) - \Delta V\mu \right]^2. \quad (6)$$

其中,k=μCoxW/L。Cox为栅氧层的电容,W/L

为驱动管 TD 沟道的宽长比, k 与驱动管 TD 的迁移率 μ 成正比相关。

由式(6)可以看出, I_{OLED} 与驱动管 TD 的阈值电压 V_{TH_TD} 无关, 说明该电路能补偿阈值电压 V_{TH_TD} 漂移。 k 和 $\Delta V\mu$ 均与驱动管 TD 的迁移率 μ 成正比相关, 说明该电路能补偿迁移率 μ 的漂移。

2 仿真结果分析

本节将对本文所提出的电路进行 SPICE 仿真。仿真电路中, OLED 的模型由一个 N 型薄膜晶体管 T_{OLED} 和一个电容 C_{OLED} 并联代替。仿真时, 用到的器件参数与施加的电压见表 1。

表 1 器件参数与施加的电压

Tab. 1 Device parameters and applied voltage

参数名称	参数值
T1 ~ T4	5 $\mu\text{m}/25 \mu\text{m}$
TD	50 $\mu\text{m}/2 \mu\text{m}$
T_{OLED}	5 $\mu/2.5 \mu\text{m}$
C1	0.6 pF
C2	0.2 pF
C_{OLED}	0.3 pF
V_{TH_TD}	2 V
V_{OLED}	15 V
VDD	5 ~ 10 V
Vdata	5 ~ 10 V
Scan1 ~ 2	-10 ~ 15 V
Scan3	-10 ~ 30 V
Scan4	-10 ~ 25 V

在不同 V_{TH_TD} 时, B 点的电位 V_B 随时间的变化情况如图 3 所示。在第 3)、4) 阶段, 当 V_{TH_TD} 增大或减小 0.5 V 时, V_B 大约增大或减小 0.5 V, 验证了式(2)的正确性。

在不同 V_{TH_TD} 时, OLED 的驱动电流 I_{OLED} 及其误差随 V_{data_L} 的变化情况如图 4 所示。 I_{OLED} 随着 V_{data_L} 的增大而减小, 验证了式(6)的正确性。当 V_{TH_TD} 增大或减小 0.5 V 时, I_{OLED} 的误差率约为 4%, 表明电路能有效补偿 V_{TH_TD} 的漂移对 I_{OLED} 的影响。

在不同 μ 时, OLED 的驱动电流 I_{OLED} 及其误差随 V_{data_L} 的变化情况如图 5 所示。 I_{OLED} 随着 V_{data_L} 的增大而减小, 验证了式(6)的正确性。当 μ 增大或减小 30% 时, I_{OLED} 的误差率范围约为 3% ~ 9%, 表明电路能有效补偿 μ 的漂移对 I_{OLED} 的影响。本电路与文献[24]中的电路相比, 优化了电容布局。使得在数据输入阶段, 电容 C1 与驱动管 TD 的栅极隔开, 数据电平 V_{data} 的细微波动就不会影响到 $\Delta V\mu$,

因而实现了对迁移率漂移的补偿。

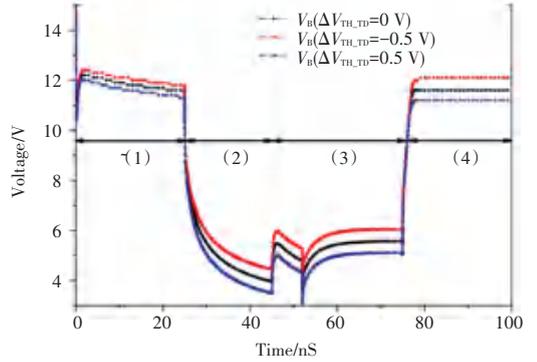


图 3 不同 V_{TH_TD} 时, V_B 随时间的变化

Fig. 3 V_B changes with time with different V_{TH_TD}

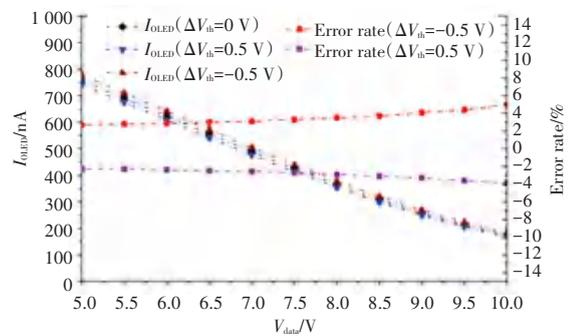


图 4 不同 V_{TH_TD} 时, I_{OLED} 及其误差随 V_{data_L} 的变化

Fig. 4 I_{OLED} and its error change with V_{data_L} with different V_{TH_TD}

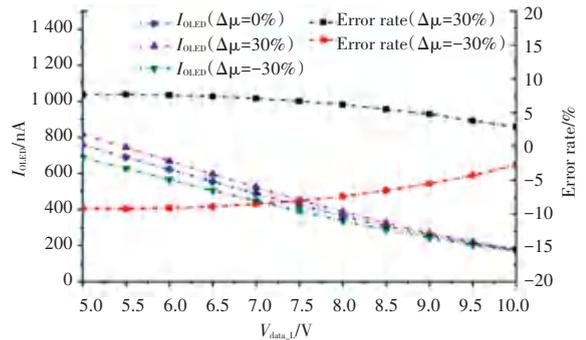


图 5 不同 μ 时, I_{OLED} 及其误差随 V_{data_L} 的变化

Fig. 5 I_{OLED} and its error change with V_{data_L} with different μ

本电路的版图结构如图 6 所示。左边为 5 个 N 型晶体管及二个电容, 右边为 OLED。

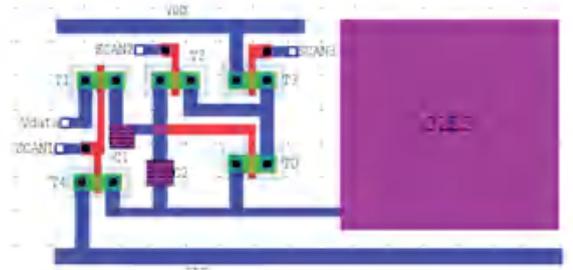


图 6 电路的版图

Fig. 6 The layout design of proposed circuit

3 结束语

本文改进了一种电压编程型像素补偿电路,相比于未经改进的电路结构,增加了新的补偿功能,即对驱动晶体管的迁移率漂移问题进行补偿。本文所提电路通过对电容布局和数据输入阶段时序进行优化,产生一个与驱动晶体管迁移率成正相关的电位变化量,用来补偿迁移率的漂移。SPICE 仿真结果表明,驱动管的阈值电压改变 ± 0.5 V 时,驱动电流变化的误差率约为 4%;驱动管的迁移率改变 $\pm 30\%$ 时,驱动电流的误差率范围为 3%–9%,补偿效果较好,验证了电路设计的正确性和可行性。在此基础上绘制了电路的版图,为后续电路的实物化做好了铺垫。

参考文献

- [1] STEWART M, HOWELL R S, PIRES L, et al. Polysilicon VGA active matrix OLED displays—technology and performance [C]// International Electron Devices Meeting. Technical Digest, San Francisco, CA, USA: IEEE, 1998: 871–874.
- [2] KIM Y, KIM Y, Lee H, et al. A novel p-type LTPS TFT pixel circuit compensating for threshold voltage and mobility variations [J]. Journal of Display Technology, 2014, 10(12): 995–1000.
- [3] JUNG S H, NAM W J, HAN M K. A new voltage-modulated AMOLED pixel design compensating for threshold voltage variation in poly-Si TFTs [J]. IEEE Electron Device Letters, 2004, 33(10): 690–692.
- [4] MAEDA S, MAEGAWA S, IPPOSHI T, et al. Mechanism of negative-bias temperature instability in polycrystalline silicon thin film transistors [J]. Journal of Applied Physics, 1994, 76(12): 8160–8166.
- [5] URAOKA Y, HATAYAMA T, FUYUKI T, et al. Reliability of low temperature poly-silicon TFTs under inverter operation [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2001, 48(10): 2370–2374.
- [6] DAWSON R M, SHEN Z, FURST D A, et al. The impact of the transient response of organic light emitting diodes on the design of active matrix OLED displays [C]// International Electron Devices Meeting. Technical Digest, San Francisco, USA: IEEE 1998: 875–878.
- [7] NATHAN A, CHAJI G, ASHTIANI S J, et al. Driving schemes for a-Si and LTPS AMOLED displays [J]. Journal of Display Technology, 2005, 1(2): 267–277.
- [8] KIMURA M, YUDASAKA I, KANBE S, et al. Low-temperature polysilicon thin-film transistor driving with integrated driver for high-resolution light emitting polymer display [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 1999, 46(12): 2282–2288.
- [9] GOH J, JANG J, CHO K, et al. A new a-Si:H thin-film transistor pixel circuit for active-matrix organic light-emitting diodes [J]. IEEE Electron Device Letters, 2003, 24(9): 583–585.
- [10] LIN C, TSAI T, CHEN Y, et al. A novel voltage-feedback pixel circuit for AMOLED displays [J]. Journal of Display Technology, 2008, 4(1): 54–60.
- [11] YONGWEN Z, WENBIN C. A new LTPS TFT AC pixel circuit for an AMOLED [J]. Journal of Semiconductors, 2013, 34(1): 015009.
- [12] WANG M, CHEN P, LIN C, et al. Novel a-IGZO pixel circuit adopting external circuit for use in 3-D AMOLED displays [C]// 23rd International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, AM-FPD 2016. Kyoto, Japan: 2016: 69–71.
- [13] RJOURB A, TARAWNEH B, ALGHSON R, et al. Active matrix organic light emitting diode displays (AMOLED) new pixel design [J]. Microelectronic Engineering, 2019: 42–52.
- [14] PARK Y, JUNG M, PARK S, et al. Voltage-programming-based pixel circuit to compensate for threshold voltage and mobility using natural capacitance of organic light-emitting diode [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2010, 49(3).
- [15] LIN C, HUNH C, CHEN P, et al. New voltage-programmed AMOLED pixel circuit to compensate for nonuniform Electrical Characteristics of LTPS TFTs and Voltage Drop in Power Line [J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2014, 61(7): 2454–2458.
- [16] YI S, HUO X, LIAO C, et al. An a-IGZO TFT pixel circuit for AMOLED display systems with compensation for mobility and threshold voltage variations [C]// IEEE International Conference on Electron Devices and Solid State Circuits (EDSSC), Shenzhen, China: IEEE 2018.
- [17] YI S, WU J, LIAO C, et al. An a-IGZO TFT AMOLED pixel circuit to compensate threshold voltage and mobility variations [C]// 25th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices, AM-FPD 2018. Kyoto, Japan: IEEE 2018.
- [18] KIM Y, KANICKJ J, LEE H, et al. An a-InGaZnO TFT pixel circuit compensating threshold voltage and mobility variations in AMOLEDs [J]. Journal of Display Technology, 2014, 10(5): 402–406.
- [19] LIAO C, DENG W, SONG D, et al. Mirrored OLED pixel circuit for threshold voltage and mobility compensation with IGZO TFTs [J]. Microelectronics Journal, 2015, 46(10): 923–927.
- [20] LIN C C, LAI P C, DENG M Y. New Pixel Circuit to Improve Current Uniformity for High-Resolution AMOLED Displays [J]. SID symposium digest of technical papers, 2015, 46(1): 1297–1300.
- [21] LIN C, LIU Y, LEE C, et al. A-InGaZnO active-matrix organic LED pixel periodically detecting thin-film transistor threshold voltage once for multiple frames [J]. IEEE Electron Device Letters, 2015, 36(11): 1166–1168.