

文章编号: 2095-2163(2019)05-0013-05

中图分类号: TN432

文献标志码: A

# 一种补偿阈值电压和迁移率变化的像素电路设计

黄勇, 关肖飞, 张立文, 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:** 本文通过对数据输入阶段的时序进行调整, 改进了一种适用于低温多晶硅薄膜晶体管的电压编程型像素电路, 用来得到稳定的驱动电流。该像素电路由4个开关薄膜晶体管, 1个驱动薄膜晶体管, 2个电容和2条控制线组成。理论分析表明, 该电路不仅能补偿驱动管阈值电压的变化, 而且能补偿驱动管迁移率的变化。仿真结果表明, 驱动管的阈值电压变化 $\pm 0.5\text{ V}$ 时, 驱动电流变化约为9%, 驱动管的迁移率变化 $\pm 30\%$ 时, 驱动电流变化约为6%, 因此, 本电路达到了稳定驱动电流的效果。

**关键词:** 像素电路; 多晶硅薄膜晶体管; 阈值电压; 迁移率

## A pixel circuit to compensate the threshold voltage and mobility variations

HUANG Yong, GUAN Xiaofei, ZHANG Liwen, LI Yuehua, WANG Xinlin, HE Hongyu

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

**[Abstract]** A voltage-programming pixel circuit suitable for low-temperature polysilicon thin film transistors is improved to obtain the stable driving current by adjusting the timing in the data input stage. The pixel circuit consists of four switching thin film transistors, one driving thin film transistor, two capacitors, and two control lines. Theoretical analysis shows that the circuit not only can compensate the threshold voltage variation of the driving transistor, but also can compensate the mobility variation of the driving transistor. The simulation results show that, the driving current variation is about 9% when the threshold voltage variation of the driving transistor is  $\pm 0.5\text{ V}$ , and the variation of the driving current is about 6% when the mobility variation of the driving transistor is  $\pm 30\%$ . Thus, the present circuit can achieve the stable driving current.

**[Key words]** pixel circuit; polysilicon thin film transistor; threshold voltage; mobility

## 0 引言

在高分辨率、中小尺寸显示技术中,低温多晶硅薄膜晶体管得到了广泛的应用。这种晶体管具有迁移率高、驱动能力强等优点<sup>[1]</sup>。但是,在像素电路矩阵中,由于受制造工艺的局限和长时间工作时应力的影响,晶体管的电学特性会表现出不均匀性<sup>[2]</sup>。这种不均匀性一般表现为驱动管阈值电压和迁移率的变化,因此,需要设计合适的像素电路进行补偿。

补偿驱动管阈值电压和迁移率变化的像素电路分为电流编程型和电压编程型<sup>[3]</sup>。

Lee等人<sup>[4]</sup>提出了一种电流编程型像素电路,该电路时序简单,但电流编程型像素电路充放电时间较长,可能会导致数据写入不充分,影响正常显示。

电压编程型像素电路具有充放电时间短的特点,因此,得到了业界的高度重视。文献[5-7]提出了补偿阈值电压和迁移率变化的像素电路,这些电路具有结构简单的优点,但需要增加迁移率补偿阶段,导致时序比较复杂。因而,人们提出了多种不必增加迁移率补偿阶段的方法:文献[8-12]把迁移率的变化转化为栅极电位或源级电位的变化; Yamamoto等人<sup>[13]</sup>调整阈值电压提取阶段的时序; Liao等人<sup>[14]</sup>构造驱动管的镜像; Yi等人<sup>[15]</sup>引入OLED阳极电压; Lin等人<sup>[16]</sup>调整数据输入阶段的时序。上述方法在补偿阈值电压和迁移率的变化方面都有自己的特色。

研究注意到, Yao等人<sup>[17]</sup>提出了一种补偿阈值电压变化的像素电路,但没有涉及迁移率变化的问题,有待进一步完善。

本文对数据输入阶段的时序进行调整,在 Yao

**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)支持; 湖南省自然科学基金(2019JJ40246); 衡阳市科技局科学研究项目(2016KG75); 湖南省研究生科研创新项目资助(CX20190735)。

**作者简介:** 黄勇(1992-),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: 2019-07-05

电路的基础上<sup>[17]</sup>,实现了对阈值电压和迁移率变化的补偿。理论分析和仿真验证结果表明,本电路能够稳定驱动电流,达到了补偿效果。

## 1 像素电路结构和工作原理

### 1.1 像素电路结构

如图1(a)所示,本像素电路由1个驱动薄膜晶体管(TD),4个开关薄膜晶体管( $T_1 \sim T_4$ ),其中 $T_1 \sim T_3$ 为P管, $T_4$ 为N管,2个电容器( $C_1, C_2$ )和2条控制线( $SCAN_1, SCAN_2$ )组成。工作时序如图1(b)所示,可分为3个阶段,分别是:(1)补偿阶段;(2)数据输入阶段;(3)发光阶段。

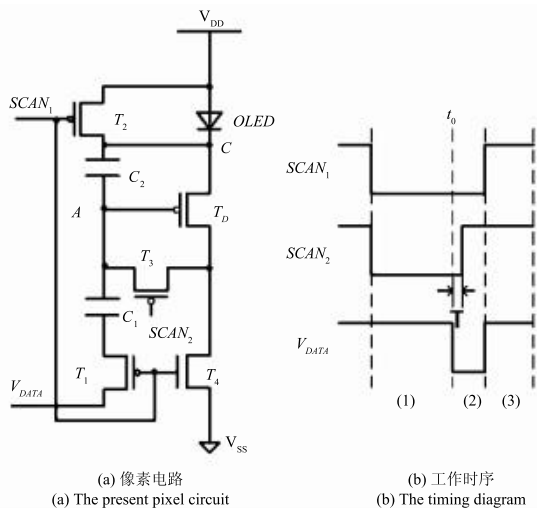


图1 像素电路结构与工作时序

Fig. 1 The present pixel circuit and timing diagram

### 1.2 工作原理

(1)补偿阶段。 $SCAN_1$ 和 $SCAN_2$ 设置为低电平, $V_{DATA}$ 设置为零电位。 $T_2$ 导通,此时C点电位为 $V_{DD}$ 。 $T_3$ 导通, $T_4$ 截止,因此 $T_D$ 为二极管连接且处于导通状态,A点电位逐渐上升,直到 $T_D$ 截止,此时,A点电位不再上升,可表示如下:

$$V_A = V_{DD} - |V_{TH}|, \quad (1)$$

其中, $V_{TH}$ 为驱动管 $T_D$ 的阈值电压。

(2)数据输入阶段。 $SCAN_1$ 保持低电平。 $V_{DATA}$ 变为负电位,进行数据输入。 $SCAN_2$ 首先为低电平,维持时间 $T$ 之后,变为高电平。 $T_2$ 导通,此时C点电位为 $V_{DD}$ 。 $T_D$ 的源栅电压为:

$$V_{SC} = V_C - V_A = V_{DD} - V_A, \quad (2)$$

在 $V_{DATA}$ 从零电位变为负电位的瞬间(定义此时 $t = t_0$ ),根据 $C_1$ 和 $C_2$ 的电荷守恒,A点电位与式(1)相比会增加电荷耦合项,此时,A点的电位为:

$$V_A(t = t_0) = V_{DD} - |V_{TH}| + \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA}, \quad (3)$$

把式(3)代入式(2),得:

$$V_{SC}(t = t_0) = |V_{TH}| - \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA}, \quad (4)$$

当 $t > t_0$ 时, $SCAN_2$ 维持在低电平, $T_D$ 为二极管连接且处于导通状态,A点电位逐渐上升。持续时间 $T$ 之后, $SCAN_2$ 变为高电平,此刻(定义 $t = t_0 + T$ ),A点的电位上升到:

$$V_A(t = t_0 + T) = V_{DD} - |V_{TH}| + \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA} + \Delta V_\mu, \quad (5)$$

其中, $\Delta V_\mu$ 表示A点电位上升的幅度。

把式(5)代入式(2)得:

$$V_{SC}(t = t_0 + T) = |V_{TH}| - \frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA} - \Delta V_\mu, \quad (6)$$

由式(3)和(5)、(4)和(6),得:

$$\Delta V_\mu = V_A(t = t_0 + T) - V_A(t = t_0) = V_{SC}(t = t_0) - V_{SC}(t = t_0 + T), \quad (7)$$

对 $\Delta V_\mu$ 进行具体分析详述如下:

当 $t_0 < t \leq t_0 + T$ 时,由于 $C_1$ 和 $C_2$ 以及 $T_D$ 组成闭合回路,基于电路原理,得:

$$(C_1 + C_2) \frac{dV_{SC}}{dt} + \frac{k}{2}(V_{SC} - |V_{TH}|)^2 = 0, \quad (8)$$

$$k = \mu C_{OX} W/L, \quad (9)$$

其中, $\mu$ 为 $T_D$ 迁移率, $C_{OX}$ 为栅氧层电容, $W$ 和 $L$ 分别为 $T_D$ 的沟道宽度和长度。

对式(8)移项,并积分,得:

$$-\int \frac{dV_{SC}}{(V_{SC} - |V_{TH}|)^2} = \int \frac{k dt}{2(C_1 + C_2)}, \quad (10)$$

式(10)的通解为:

$$V_{SC}(t) = \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}t + G} + |V_{TH}|, \quad (11)$$

其中, $G$ 为待定的常数,其值可由边界条件来确定。

把 $t = t_0$ 代入式(11),得:

$$V_{SC}(t = t_0) = \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}t_0 + G} + |V_{TH}|, \quad (12)$$

式(12)与式(4)进行对比,得到 $G$ 的值,即:

$$G = -\frac{C_1 + C_2}{C_1 V_{DATA}} - \frac{k}{2(C_1 + C_2)}t_0, \quad (13)$$

把式(13)代入式(11),得:

$$V_{SG}(t) = \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}(t - t_0) - \frac{C_1 + C_2}{C_1 V_{DATA}} + |V_{TH}|}, \quad (14)$$

把  $t = t_0 + T$  代入式(14)得:

$$V_{SG}(t = t_0 + T) = \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}T - \frac{C_1 + C_2}{C_1 V_{DATA}} + |V_{TH}|}, \quad (15)$$

把式(4)和式(15)代入式(7),得到  $\Delta V_\mu$  的值:

$$\Delta V_\mu = -\frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA} - \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}T - \frac{C_1 + C_2}{C_1 V_{DATA}}} \quad (16)$$

当  $t > t_0 + T$  时,电路处于稳态,  $C_2$  两端电压会维持在  $V_{SG}(t = t_0 + T)$ ,不会发生变化。

(3)发光阶段。  $SCAN_1$  变为高电平,  $SCAN_2$  保持高电平,  $V_{DATA}$  变为零电位。  $T_1$ 、 $T_2$  和  $T_3$  截止,  $T_4$  导通。  $T_D$  工作在饱和区,驱动  $OLED$  发光,此时  $OLED$  处于导通状态。驱动电流为:

$$I_{OLED} = \frac{k}{2} (V_{SG} - |V_{TH}|)^2, \quad (17)$$

在  $SCAN_1$  由低电平变为高电平的瞬间,  $T_2$  截止,此刻,由于电容  $C_2$  两端的电压  $V_{SG}$  不会突变,其数值仍然为  $V_{SG}(t = t_0 + T)$ ,把式(6)代入式(17),得:

$$I_{OLED} = \frac{k}{2} \left( -\frac{C_1}{C_1 + C_2} V_{DATA} - \Delta V_\mu \right)^2, \quad (18)$$

注意到式(18)与 Yao<sup>[17]</sup> 不同,增加了  $\Delta V_\mu$  项,是由于本文对数据输入阶段的时序进行了调整。

最后,把式(16)求得的  $\Delta V_\mu$  的值代入式(18),得:

$$I_{OLED} = \frac{k}{2} \left( \frac{1}{\frac{k}{2(C_1 + C_2)}t - \left( \frac{C_1 + C_2}{C_2 V_{DATA}} \right)} \right)^2. \quad (19)$$

从式(19)可以看出,  $k$  同时出现在分子和分母中,而由式(9)可知,  $k$  与迁移率  $\mu$  直接相关,因此,式(19)能补偿迁移率的变化。

## 2 仿真结果

本节对图1中的像素电路进行 SPICE 仿真验证。仿真时,像素电路中  $OLED$  的模型是由一个 P 管  $T_{OLED}$  和一个电容  $C_{OLED}$  并联构成。仿真时,用到

的设计参数值见表1。

表1 电路仿真时用到的参数值

Tab. 1 The parameters for the circuit simulation

参数/单位	值
$SCAN_1/V$	-8 ~ 10
$SCAN_2/V$	-8 ~ 10
$V_{DATA}/V$	-5 ~ 0
$V_{DD}/V$	10
$V_{TH}/V$	-1.5
$(W/L)_{TD}/(\mu m/\mu m)$	9/3
$(W/L)_{T_1-T_3}/(\mu m/\mu m)$	3/3
$(W/L)_{T_4}/(\mu m/\mu m)$	12/3
$(W/L)_{TOLED}/(\mu m/\mu m)$	5/16
$C_1/pF$	0.6
$C_2/pF$	0.4
$C_{OLED}/pF$	0.2

当  $V_{DATA} = -2V$  时,  $V_C$ 、 $V_A$ 、 $V_{SG}$  和  $I_{OLED}$  随时间的变化如图2所示。在(2)数据输入阶段,在  $t = t_0$  的瞬间,  $V_A$  下降,  $V_{SG}$  上升。当  $t_0 < t \leq t_0 + T$  时,  $V_A$  逐渐上升,  $V_{SG}$  逐渐下降。当  $t > t_0 + T$  时,  $V_A$  和  $V_{SG}$  的值维持不变。在(3)发光阶段,  $OLED$  处于导通状态,此时产生  $OLED$  电流。上述  $V_C$ 、 $V_A$ 、 $V_{SG}$  和  $I_{OLED}$  随时间的变化结果与上节理论分析相符。

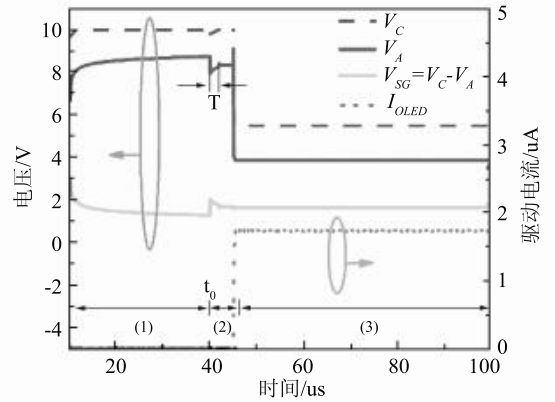


图2 当  $V_{DATA} = -2V$  时,  $V_C$ 、 $V_A$ 、 $V_{SG}$  和  $I_{OLED}$  随时间的变化

Fig. 2  $V_C$ ,  $V_A$ ,  $V_{SG}$  and  $I_{OLED}$  change over time when  $V_{DATA} = -2V$

当  $V_{TH}$  变化时,驱动电流  $I_{OLED}$  随数据电压  $V_{DATA}$  的变化如图3所示。可以看出,  $|V_{DATA}|$  增大,  $I_{OLED}$  增大。当  $V_{TH}$  变化  $\pm 0.5V$  时,  $I_{OLED}$  变化约为 9%,表明本电路能补偿  $T_D$  阈值电压的变化。

当  $\mu$  变化时,驱动电流  $I_{OLED}$  的误差率随数据电压  $V_{DATA}$  的变化如图4所示。当  $T_D$  的迁移率变化  $\pm 30\%$  时,驱动电流变化约为 6%。表明本电路能补偿  $T_D$  迁移率的变化。

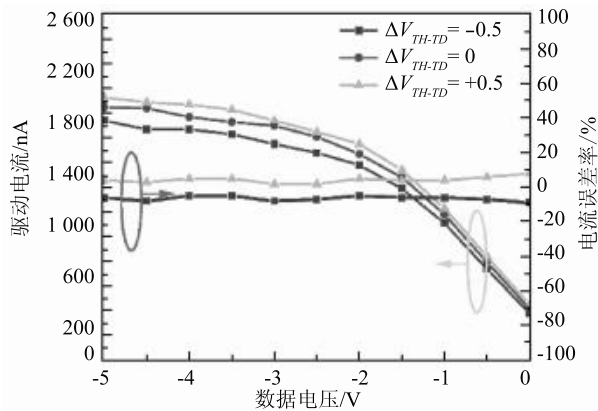


图3 驱动电流  $I_{OLED}$ 、电流误差率随数据电压  $V_{DATA}$  的变化

Fig. 3 The driving current  $I_{OLED}$  and the current error rate varies with  $V_{DATA}$

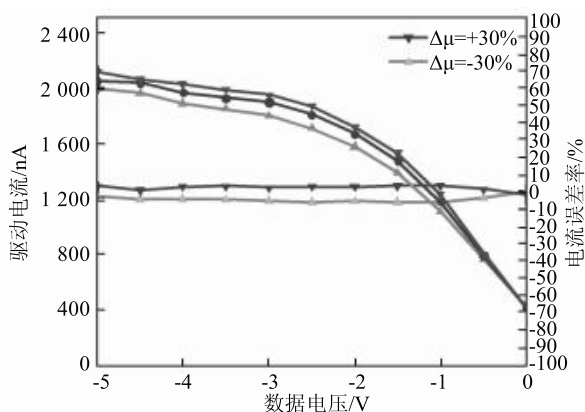


图4 电流误差率随数据电压  $V_{DATA}$  的变化

Fig. 4 The current error rate varies with  $V_{DATA}$

本电路的版图如图5所示,左边为薄膜晶体管、电容、以及控制线。p型薄膜晶体管( $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_D$ )在N阱中,n型薄膜晶体管( $T_4$ )位于 $T_3$ 的下方。右边的长方形为OLED区域。

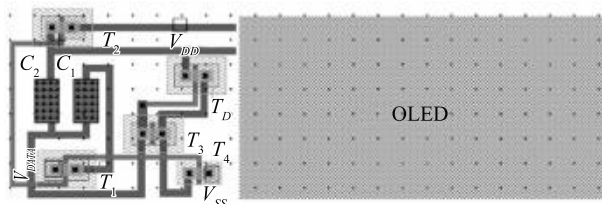


图5 本像素电路的版图

Fig. 5 The layout design of the pixel circuit

### 3 结束语

本文在数据输入阶段,通过对电路时序进行调整,改进了一种电压编程型像素电路,理论分析了补偿阈值电压和迁移率变化的原理,仿真验证结果表明,本电路能有效补偿阈值电压和迁移率的变化,达到了稳定驱动电流的效果。

### 参考文献

- [1] NAM W J, LEE J H, KIM C Y, et al. High-aperture pixel design employing  $V_{DD}$  line elimination for active matrix organic light emitting diode display [J]. Japanese Journal of Applied Physics, 2006, 45(4): 2433-2436.
- [2] 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.
- [3] DAWSON R M A, 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. San Francisco, USA: IEDM, 1998: 32.6.1-32.6.4.
- [4] LEE J H, NAM W J, JUNG S H, et al. A new current scaling pixel circuit for AMOLED [J]. IEEE Electron Device Letters, 2004, 25(5): 280-282.
- [5] PARK Y J, JUNG M H, PARK S H, 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): 03CD01-1-03CD01-5.
- [6] ONOYAMA Y, YAMASHITA J, KITAGAWA H, et al. 0.5-inch XGA Micro-OLED display on a silicon backplane with high-definition technologies [J]. Sid Symposium Digest of Technical Papers, 2012, 43(1): 950-953.
- [7] KANG C K, CHOI B D. A pixel circuit for AMOLED displays compensating for threshold voltage and mobility variation [C] // International Display Workshops 2013. Sapporo, Japan: IDW, 2013: 433-436.
- [8] SONG S J, NAM H. In pixel mobility compensation scheme for AMOLED pixel circuits [J]. Journal of Display Technology, 2015, 11(2): 209-213.
- [9] KIM Y, KANICKI J, LEE H. An a-InGaZnO TFT pixel circuit compensating threshold voltage and mobility variations in AMOLEDs [J]. Journal of Display Technology, 2014, 10(5): 402-406.
- [10] LIAO Zhiqiang, LIN Hesheng, LIU Binjie, et al. Mobility variation and threshold voltage shift immunized amorphous-indium-gallium-zinc-oxide pixel circuit [C] // IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits. HongKong, China: EDSSC, 2016: 255-258.
- [11] YI Shuiping, WU Jixiang, LIAO Congwei, et al. An a-IGZO TFT AMOLED pixel circuit to compensate threshold voltage and mobility variations [C] // International Workshop on Active-Matrix Flat Panel Displays and Devices 2018. Kyoto, Japan: IEEE, 2018: 1-4.
- [12] LIN C L, HUNG C C, CHEN P S, 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.
- [13] YAMAMOTO T, YAMASHITA J, YUMOTO A, et al. Novel pixel circuit and driving method of AM-OLED for mobile application pixel circuit for threshold voltage and mobility compensation with