

文章编号:1007-2780(2014)01-0083-05

一种新型硅基 OLED 微显示像素电路

张新华, 陈文彬*

(电子科技大学 光电信息学院, 四川 成都 610054)

摘要:在硅基 OLED 微显示器中,为了解决很小的像素驱动电流的难题,论文提出了一种像素电路。此像素电路由 2 个 PMOS、2 个 NMOS、1 个存储电容、1 个 OLED 和 4 根信号线组成。并且利用 HSPICE 基于 TSMC 0.35 μm CMOS 5 V 工艺的参数进行了仿真验证。在此像素电路中,当 OLED 发光时流过 OLED 的电流是恒定的,并且通过控制 OLED 的发光时间来实现不同的灰度。此像素电路完全由数字信号控制,能实现精确的灰度调节。通过 6 个子场,实现了 21 级灰度,进而论证了实现 64 级灰度(0~63)的可能性。当 OLED 发光时,流过的恒定电流是 35.3 nA。

关键词:微显示; OLED; 像素电路; 时间比率灰度

中图分类号:TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20142901.0083

Novel pixel circuit for OLED-on-silicon micro-display

ZHANG Xin-hua, CHEN Wen-bin*

(School of Optoelectronic Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: In OLED-on-silicon micro-display, how to realize a small pixel driving current is the pixel circuit's difficulty. To solve this issue, a novel pixel circuit is presented in this paper. The pixel circuit is composed of two PMOS, two NMOS, one storage capacitor, one OLED and four signal lines. This circuit is verified by HSPICE basing on TSMC 0.35 μm CMOS 5 V process. In this circuit, the current flowing through the OLED is constant when OLED is light-emitting and grayscale modulation is realized by controlling the OLED light-emitting time. This pixel circuit is fully controlled by digital signal and can achieve precise grayscale. In this paper, 21 grayscale is achieved by six sub-frames. And then 64 grayscales (from 0 to 63) can be achieved by changing signals timing. When OLED is light-emitting, the constant current is 35.3 nA.

Key words: micro-display; OLED; pixel circuit; time ratio grayscale

1 引言

硅基 OLED 微显示器是指把 OLED 制作在

硅片上的一种显示器^[1],利用了成熟的 CMOS 工艺,在单晶硅片上制作驱动电路,并结合 OLED 视角大、响应速度、功耗低、全固态等优点,既可应用于个人娱乐设备,又可应用于飞行员的头盔显

收稿日期:2013-07-19;修订日期:2013-12-28.

基金项目:四川省应用基础研究项目(No. 2010JY0003)

* 通信联系人, E-mail: chenwb@uestc.edu.cn

示器等^[2]。OLED 微显示器的尺寸一般小于 1.5 cm(0.6 in)^[3],而显示器的分辨率却可以达到 SXVGA (1 280×1 024)的水平^[4]。与以 TFT 为背板的 AMOLED 显示器件相比,其像素面积要小得多,流过像素的电流也很小,大约在几百皮安到几十纳安之间^[3]。

如何实现 OLED 微显示像素驱动电路所需的小电流是设计像素驱动电路的重点和难点。为了解决这个问题,提出了以下几个方案:

(1)亚阈值电压调节电流法^[3],在目前的 IC 工艺下,MOS 管的亚阈工作特性一致性差,导致显示的均匀性存在问题,对电路的设计和工艺要求高;

(2)源极跟随结构法^[5],此方法的缺点是电路结构复杂;

(3)增加分流 MOS 法^[6],其缺点是造成 MOS 管支路电流的浪费,增加了系统功耗。

本文提出了一种新型的像素电路。OLED 只处于两种状态:发光或者不发光,并且当 OLED 发光时流过 OLED 的电流是恒定的。灰度调节是通过时间比率灰度法实现的,即通过控制 OLED 的发光时间来实现不同的灰度等级,发光时间的长短决定了灰度等级的高低^[7]。此像素电路结构简单、完全是由数字信号控制、发光时流过 OLED 的电流是恒定的并且不随 MOS 的阈值电压变化而改变。

2 像素电路及工作过程

像素电路结构如图 1 所示,其中 P_1 、 P_2 为 PMOS, N_1 、 N_2 为 NMOS, C_s 为存储电容, OLED 为发光单元。 P_1 和 N_1 构成反相器, P_2 和 N_2 作

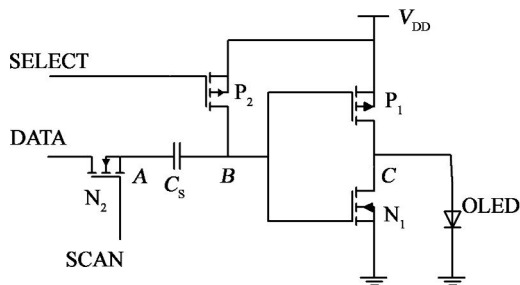


图 1 像素电路原理图

Fig. 1 Schematic of the pixel circuit

为开关。A 点是 C_s 的左端, B 点是 C_s 的右端和反相器的输入端, C 点是反相器的输出端、 P_1 的漏极以及 OLED 的阳极。

由反相器的特性可知,如果 V_B (B 点的电压) 足够小,则可使 N_1 关断、 P_1 导通。此时相当于 V_{DD} 经过 P_1 来驱动 OLED,会有一个恒定的电流流过,使得 OLED 发光。

如果 V_B 足够大,则可使 P_1 关断、 N_1 导通,此时 C 点通过 N_1 接地,没有电流流过 OLED, OLED 不发光。

此电路可以实现恒定的电流流过 OLED,灰度的实现是通过控制 OLED 的发光时间实现的。在本论文中,将一帧信号分为 6 个子场。如果在某一子场中, OLED 可以发光,则此子场称为开启子场。如果在某一子场中, OLED 始终不发光,则此子场称为关闭子场。图 2 是开启子场中各信号的时序图,图 3 是关闭子场中各信号的时序图。从图中可以看出,所有的信号均为数字信号。

下面对两种情况进行说明:

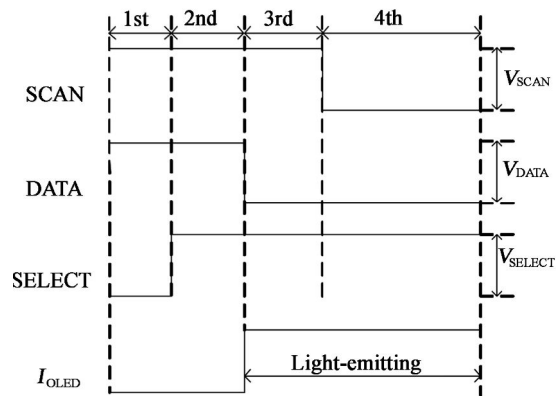


图 2 开启子场中各信号时序图

Fig. 2 Signals timing diagram (on-state sub-frame)

(1) 开启子场

第一阶段:SCAN 信号处于高电平, SELECT 信号处于低电平, DATA 信号处于高电平。 N_2 和 P_2 均处于开启状态。A 点的电压为 V_{DATA} , B 点的电压为 V_{DD} , 电容两端的电压为 $V_{DD} - V_{DATA}$ 。由于 B 点处于高电平, P_1 处于关闭状态, N_1 处于开启状态。C 点的电压为 0, OLED 不发光;

第二阶段:SCAN 信号仍然处于高电平, SELECT 信号变为高电平, DATA 信号仍然处于高电平。 N_2 仍然处于开启状态, P_2 处于关闭状态。

B 点悬空,由于 A 点电压仍然为 V_{DATA} ,所以 B 点电压仍然为 V_{DD} 。P₁ 处于关闭状态,N₁ 处于开启状态。C 点的电压为 0,OLED 不发光;

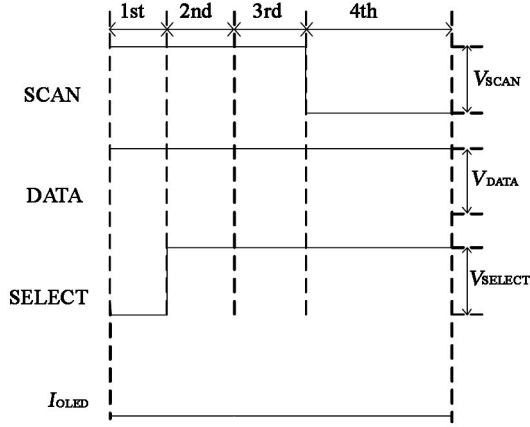


图 3 关闭子场中各信号时序图

Fig. 3 Signals timing diagram (off-state sub-frame)

第三阶段:SCAN 信号仍然处于高电平,SELECT 信号仍然处于高电平,DATA 变为低电平。N₂ 仍然处于开启状态,P₂ 处于关闭状态。B 点悬空,由于 A 点电压变为 0,所以 B 点电压变为 $V_{\text{DD}} - V_{\text{DATA}}$ 。并使得此电压使 P₁ 处于开启状态,N₁ 处于关闭状态。C 点的电压为 V_{DD} ,OLED 发光;

第四阶段:SCAN 信号变为低电平,SELECT 信号仍然处于高电平。N₂ 和 P₂ 均关闭状态。A 点和 B 点均悬空,A 点电压保持在 0,所以 B 点保持在 $V_{\text{DD}} - V_{\text{DATA}}$ 。此电压使 P₁ 处于开启状态,N₁ 处于关闭状态。C 点的电压仍然为 V_{DD} ,OLED 继续发光。

(2) 关闭子场

关闭子场中,在第三阶段,由于 DATA 信号电压没有发生变化,即不能把 B 点的电压拉低,B 点的电压仍维持在 V_{DD} ,C 点的电压为 0,OLED 不发光。进入第四阶段后,此状态仍然不变。

如果需要的灰度等级数目为 n ($n=2^k$),那么一帧信号需要分为 k 个子场 SF1, SF2, SF3, ..., SF_k。如果帧周期是 T ,那么各个子场对应的时间为:

$$t_{\text{SF1}} = \frac{T}{2^k - 1}, t_{\text{SF2}} = \frac{2T}{2^k - 1}, \dots, t_{\text{SFk}} = \frac{2^{k-1}T}{2^k - 1}, \quad (1)$$

在本文中, $n=64$, $T=20 \text{ ms}$ 。

需要注意的是,即使在开启子场的第一和第

二阶段,OLED 也是不发光的,但是这段不发光的时间小于每一行的扫描时间,如图 3 所示。对于一个 SVGA(600×800)的微显示器,设开启子场中 OLED 的发光时间为 $t_{\text{L-SFi}}$,不发光时间为 $t_{\text{NL-SFi}}$,所以有:

$$\frac{t_{\text{NL-SFi}}}{t_{\text{SFi}}} < \frac{1}{600}, \frac{t_{\text{L-SFi}}}{t_{\text{SFi}}} > \frac{599}{600} (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6). \quad (2)$$

只要在每一个开启子场中 $\frac{t_{\text{L-SFi}}}{t_{\text{SFi}}}$ 是恒定的,那么便可以实现精确的灰度调节。这是因为只要此值是恒定的,那么开启子场组合后确定的发光是成比例的。表 1 是开启子场、发光时间和灰度等级的关系。在表 1 中, $\frac{t_{\text{L-SFi}}}{t_{\text{SFi}}} = \frac{1}{2} \frac{297}{400}^\circ$ 。

表 1 开启子场,发光时间,灰度等级的关系

Tab. 1 Relationship of on-state sub-frame, light-emitting time and grayscale

开启子场	发光时间/ms	灰度等级
None	0	0
SF1	0.317	1
SF2	0.634	2
SF2, SF1	1.268	3
SF3	0.630	4
SF3, SF1	1.585	5
⋮	⋮	⋮
SF6	10.146	32
⋮	⋮	⋮
All	19.975	63

3 仿真及分析

由于仿真软件中没有 OLED 模型,我们使用一个二极管 D 和一个电容 C 的并联来代替 OLED^[8]。我们使用的 OLED 的 I-B-V 特性曲线如图 4 所示,其中亚像素面积为 $10 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ 。

二极管主要的模型参数是:反向饱和电流密度 $I_s = 35 \mu\text{A}/\text{cm}^2$,发射系数 $n = 33.20$,串联电阻 $R_s = 0$,level = 1。并联电容 $C = 25 \text{ nF}/\text{cm}^2 \times 300 \mu\text{m}^2 = 0.075 \text{ pF}$ ^[8]。

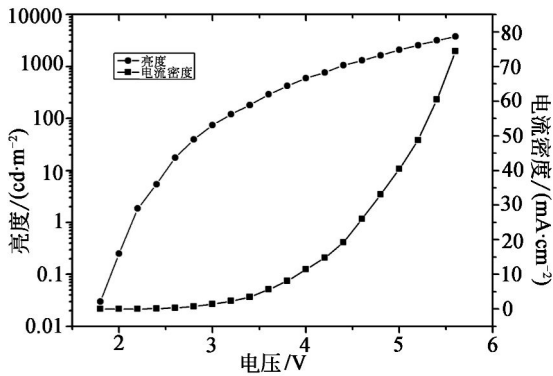


图 4 OLED 的 I-B-V 特性曲线图

Fig. 4 OLED luminance and I-V characteristics

表 2 主要仿真参数

Tab. 1 Main simulation parameters

参数	说明	值
V_{DD}	电源电压	5 V
V_{SCAN}	SCAN 电压	6 V
V_{DATA}	DATA 电压	5 V
V_{SELET}	SELECT 电压	5 V
W/L	宽长比	5 μm /0.5 μm

对于帧周期为 20 ms, 子场 SF6 的时间最长为 10.158 ms。存储电容 C_s 应该在这段时间内保持住电压, 有公式 $t = RC = VC_s / I$ 得到 $C_s = tI / V$ 。p 型晶体管的关态电流的大小为 pA 级别, 电压为 5 V, 所以存储电容 $C_s = 0.5$ pF。氧化层的厚度为 125 nm, 电容所需的面积为:

$$S = \frac{C_s \times t_{ox}}{\epsilon_r \times \epsilon_0} = \frac{0.5 \text{ pF} \times 125 \text{ nm}}{3.9 \times 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}} = 180 \mu\text{m}^2. \quad (3)$$

考虑到亚像素面积为 $300 \mu\text{m}^2$, 这样大小的电容是能够实现的。

该仿真是基于 TSMC 的 0.35 μm CMOS 5 V 工艺, 利用 Hspice 的 level=49 模型来完成的。表 2 是仿真用的主要参数。

图 5 是 21 级灰度的仿真结果, 对于 21 级灰度, OLED 在第 1, 3, 5 子场是开启子场, 第 2, 4, 6 子场是关闭子场。并且 OLED 发光时流过 OLED 的电流是恒定的。原因如下:

当 OLED 发光时, N_1 处于关闭状态, P_1 处于导通状态, B 点处于低电平, C 点处于高电平, P_1 处于线性区。流过 OLED 的电流等于流过 P_1 的电流:

$$I_{OLED} = |K_P[(V_{GS} - V_{THP})V_{DS} - V_{DS}^2]| = I_s \left[\exp \frac{V_D}{nKT/q} - 1 \right]. \quad (4)$$

OLED 是高阻器件, 当 I_{OLED} 为 nA 级时, P_1 的漏极和源极之间的电压 V_{DS} 小于 10^{-8} V, 即使 P_1 的阈值电压由于衬底偏置效应和温度效应在一定范围内变化时^[9], V_{DS} 仍然是小于 10^{-8} V。也就是说阈值电压变化时 P_1 的漏极电压 (OLED 的阳极电压) 的变化小于 10^{-7} V, 这样小的电压变化对 OLED 的电流的影响可以忽略不计。

通过分析, 可以看出只需改变各信号的时序, 便可实现不同的开启子场的组合, 所以 64 级灰度 (0~63) 即可以实现。当 OLED 发光时, 流过 OLED 的电流为 35.3 nA, 电流密度为 11.8 mA/cm², 对应的亮度为 1500 cd/m²。

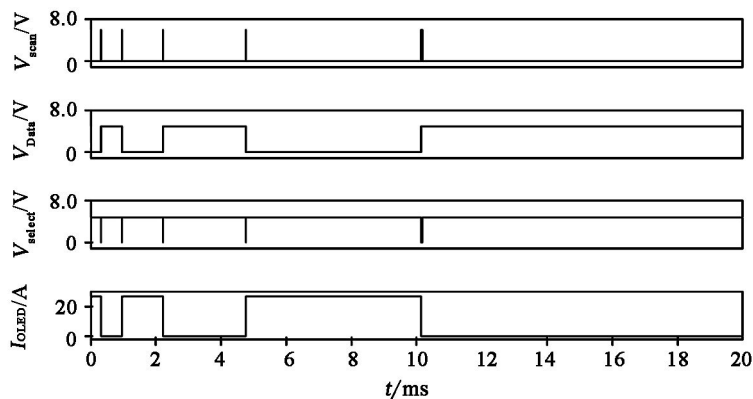


图 5 21 级灰度的信号时序图和 OLED 的发光时间

Fig. 5 Signals timing diagram and OLED emitting time of 21 grayscale

4 结 论

提出了一种用于硅基 OLED 微显示用的像素驱动电路,通过分子场扫描的方法来控制 OLED

的发光时间,进而实现不同的灰度等级。并且在像素电路中,OLED 发光时流过的电流是恒定的,并且对阈值电压的变化不敏感。相对于传统的硅基 OLED 的像素驱动电路,此方案结构简单、易于实现、完全由数字信号控制,能实现精确的灰度调节。

参 考 文 献:

- [1] Howard W E, Prache O F. Microdispalys based upon organic light-emitting diode [J]. *IBM Journal of Research and Development*, 2001, 45(1):115-127.
- [2] Liu Y Y, Geng W D, Dai Y P. OLED-on-silicon chip with new pixel circuit [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2012, 19(5):1276-1282.
- [3] Levy G B, Evans W, Ebner J, et al. An 852×600 pixel OLED-on-silicon color microdisplay using CMOS sub-threshold-voltage-scaling current drivers [J]. *IEEE Journal of solid-State Circuits*, 2002, 37(12): 1879-1888.
- [4] Ghosh A P, Ali T A, Khayrullin I, et al. Recent advances in small molecule OLED-on-silicon microdisplays [J]. *Proc. SPIE*, 2009, 7415: 74150Q(1-11).
- [5] Kwak Bong-Choon, Lim Han-Sin, Kwon Oh-Kyong. Organic light-emitting diode-on-silicon pixel circuit using the source follower structure with active load for microdisplays [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 2010, 49(3): 03CD05(1-5).
- [6] Huang R, Wang X H, Wang W B. Design of a 16 gray scales 320×240 pixels OLED-on-silicon driving circuit [J]. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2009, 30(1): 015010(1-4).
- [7] Kimura M, Hara Y J, Hara H, et al. Classification of driving methods for TFT-OLED and novel proposal using time ratio grayscale and current uniformization [J]. *IEICE Trans. Elec*, 2005, 88(11): 2043-2050.
- [8] Dawson R M A, Shen Z, Furst D A. The impact of the transient response of organic light emitting diodes on the design of active matrix OLED displays [J]. *IEDM Technology Digest*, 1998, 32(6): 875-878.
- [9] 吴建辉. CMOS 模拟集成电路分析与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2011: 13-17.
Wu J H. *Analysis and Design of Analog CMOS Integrated Circuits* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011: 13-17. (in Chinese)

作者简介: 张新华(1988—), 男, 山东潍坊人, 硕士, 研究方向为硅基 OLED 微显示驱动技术。E-mail: zhangxhemail@126.com