

硅基OLED数字型像素驱动电路MOS管尺寸对数据写入的影响

徐勇, 祁鹏赫, 黄苒, 赵博华, 刘梦新

引用本文:

徐勇, 祁鹏赫, 黄苒, 等. 硅基OLED数字型像素驱动电路MOS管尺寸对数据写入的影响[J]. 液晶与显示, 2021, 36(5): 680–686.
XU Yong, QI Peng-he, HUANG Ran, et al. Influence of MOS transistor size on data writing in digital driving pixel circuit of OLED-on-silicon[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2021, 36(5): 680–686.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0357>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

一种驱动MOS管工作在饱和区的硅基OLED微显示像素电路

Pixel circuit for OLED-on-silicon microdisplay using a driving MOS transistor operated in saturation region
液晶与显示. 2016, 31(1): 97–103 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163101.0097>

2T1C像素电路的AM OLED数字驱动方法研究

Digital driving method for AM OLED with pixel circuit of 2T1C
液晶与显示. 2015, 30(4): 655–659 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153004.0655>

硅基OLED微显示的数模融合驱动电路设计

Design of digital analog hybrid driving circuit for OLED-on-silicon microdisplay
液晶与显示. 2017, 32(12): 973–980 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173212.0973>

一种支持OLED亮度补偿的电流型PWM像素驱动电路

Current PWM pixel driving circuit with OLED luminance compensation
液晶与显示. 2016, 31(6): 563–568 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20163106.0563>

基于低温多晶硅-氧化物半导体混合集成的薄膜晶体管显示背板技术

TFT display backplane technology based on low-temperature polysilicon-oxide semiconductor hybrid integration
液晶与显示. 2021, 36(3): 420–431 <https://doi.org/10.37188/CJLCD.2020-0268>

文章编号:1007-2780(2021)05-0680-07

硅基 OLED 数字型像素驱动电路 MOS 管尺寸对数据写入的影响

徐 勇^{1,2}, 祁鹏赫², 黄 苒¹, 赵博华^{1*}, 刘梦新¹

(1.中国科学院大学,北京 100049;

2.中国科学院 微电子研究所,北京 100029;

3.中国科学院 硅器件技术重点实验室,北京 100029)

摘要:以传统的 6T SRAM(5T+1MOS 驱动管)结构硅基 OLED 像素电路为例,分析了开关管尺寸对数据写入的影响。提出了一种新型数字型硅基 OLED 像素电路,用 5T(4T+1MOS 驱动管)实现与 6T SRAM(5T+1MOS 驱动管)结构相同的功能。另外新型的像素电路与传统的 SRAM 结构相比,其数据写入不受开关管尺寸的影响,可以采用最小尺寸的开关管。基于 SMIC 0.18 μm 1.8 V/5 V 混合信号工艺设计,通过仿真得出 6T SRAM 结构像素电路能正常写入的开关管最小尺寸为 540 nm/600 nm,像素单元版图面积为 4.3 $\mu\text{m}\times 4.3 \mu\text{m}$;新型 5T 结构像素电路中的开关管尺寸可以为工艺最小尺寸,即 300 nm/600 nm,版图面积为 3.91 $\mu\text{m}\times 3.91 \mu\text{m}$,相比之下单个像素单元版图面积缩小了 17.3%。

关键词:硅基 OLED; 像素电路; SRAM; 数字驱动; 开关管尺寸

中图分类号:TP394.1;TN27 **文献标识码:**A **doi:**10.37188/CJLCD.2020-0357

Influence of MOS transistor size on data writing in digital driving pixel circuit of OLED-on-silicon

XU Yong^{1,2}, QI Peng-he², HUANG Ran¹, ZHAO Bo-hua^{1*}, LIU Meng-xin¹

(1. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

2. Institute of Microelectronics of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

3. Key Laboratory of Science and Technology on Silicon Devices,

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The traditional 6T SRAM (5T and a driving MOS transistor) OLED-on-silicon pixel circuit is taken as an example to analyze the influence of switch size on data writing. A novel digital OLED-on-silicon pixel circuit is proposed, which uses 5T (4T and a driving MOS transistor) to achieve the same function as 6T SRAM (5T and a driving MOS transistor). In addition, compared with the traditional SRAM structure, the data writing of the new pixel circuit is not affected by the switch size, and the smallest switch size can be used. Based on SMIC 0.18 μm 1.8 V/5 V mixed signal process design, the simulation results show that the minimum size of the switch in 6T SRAM pixel circuit is 540 nm/

收稿日期:2021-01-04;修订日期:2021-01-18.

* 通信联系人, E-mail: zhaobohua@ime.ac.cn

600 nm, and the pixel unit layout area is $4.3 \mu\text{m} \times 4.3 \mu\text{m}$. The switch in new 5T pixel circuit can be the minimum size of the process, that is, $300 \text{ nm} / 600 \text{ nm}$, and the layout area is $3.91 \mu\text{m} \times 3.91 \mu\text{m}$. In contrast, the area of a single pixel unit layout is reduced by 17.3%.

Key words: OLED-on-silicon; pixel circuit; SRAM; digital driving; switch size

1 引言

作为获取信息的主要途径,显示领域得到了人们广泛的关注。微显示领域作为显示领域其中的一个大的分支,特别是硅基 OLED 微显示器件,具有快速的光学响应时间(微秒级)、高对比度、低功耗、宽视角、主动发光、发光效率高等优点^[1],因此特别适合应用于虚拟现实(VR)和增强现实(AR)等近眼显示。像素阵列可以通过标准的 CMOS 工艺在单晶硅衬底上实现,与多晶硅(p-Si)或者非晶硅(a-Si)衬底技术相比,它能够实现更高的像素密度(PPI)^[2]。同时,基于 CMOS 工艺可以把外围驱动电路、时序控制器和 DC-DC 转换器等集成到一个芯片上^[3-4]。

目前微显示像素单元的尺寸都小于 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$,而 OLED 器件的发光电流与显示面积成正比^[5],因此 OLED 器件的工作电流非常小,通常只有几十 pA 到几十 nA,所以很难实现精确控制像素电流。如果控制驱动晶体管工作在饱和区,为了实现小电流驱动,需要驱动晶体管的宽长比很小,即沟道长度 L 很大,这不符合高分辨率需要的小像素面积要求。传统的解决方案是使驱动晶体管工作在亚阈值区域^[6],驱动晶体管的沟道长度 L 可以被缩小到常规尺寸,但是工作在亚阈值区域的驱动晶体管的电流容易受到阈值电压的变化影响,导致像素发光均匀性变差,虽然文献[7-8]通过对阈值电压采样解决了阈值电压失配问题,但是这种驱动方案时序比较复杂、增加了功耗同时增加了像素电路的面积。

由于模拟结构的像素单元需要保持电容,因此像素尺寸很难继续微小化,为此数字驱动的方式得到了采用^[9]。数字驱动控制灰阶一般使用脉冲宽度调制(PWM)或脉冲密度调制(PDM)^[10]。基于数字驱动方法主要有 3 个优点:第一,数字驱动电路比较简单,因为列驱动电路使用移位寄存器而不使用 DAC^[11];第二,数字像素驱动电路一般采用 PWM 方法,通过控制占空比的大小来控制

像素单元发光时间,大部分 MOS 管作为开关工作,对 MOS 管的尺寸要求较小,像素单元面积可以做到更小;第三,数字驱动的像素电路只有“0”和“1”两种状态,能实现更高的对比度。

本文详细分析了开关管尺寸对 6T SRAM 结构像素电路数据写入的影响,通过理论计算和仿真确定了数据正常写入需要的合适开关管尺寸。在此基础上,本文还提出了一种新型数字型硅基 OLED 像素电路,在实现相同功能的情况下比传统的基于 SRAM 结构像素电路少一个 MOS 管,并且开关管可以使用工艺最小尺寸,从而减小了像素电路单元面积,更满足微显示芯片高分辨率、高 PPI 的要求。

2 数字驱动的硅基 OLED 像素电路结构及其仿真分析

2.1 传统的 SRAM 结构像素电路及其工作原理

传统的 SRAM 结构像素电路如图 1 所示,其中 T2、T4、T6 为 PMOS, T1、T3、T5 为 NMOS, OLED 为发光单元。T1 管作为开关管,其栅极接扫描信号 SCAN,漏端或源端接数据输入信号 V_{DATA} ; T2、T3、T4、T5 构成锁存结构,作用是在

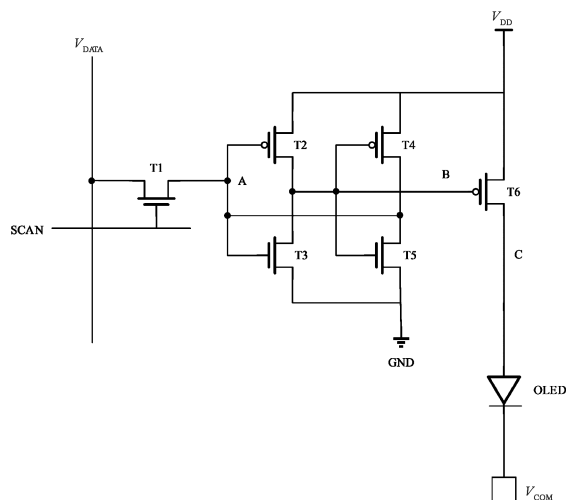


图 1 SRAM 结构像素电路图

Fig.1 Diagram of SRAM structure pixel circuit

当开关管关闭时,把电路原来的状态锁存起来; T6 管是驱动管,当 T6 的栅端是低电平时,驱动管打开,驱动电流流过 OLED,使发光单元发光; OLED 阳极接驱动管的漏级,阴极接像素单元的共阴极 V_{COM} 。

图 2 所示为 SRAM 结构像素电路工作时序图,分为写“1”阶段和写“0”阶段。 I_{T6} 为流过 OLED 的电流。

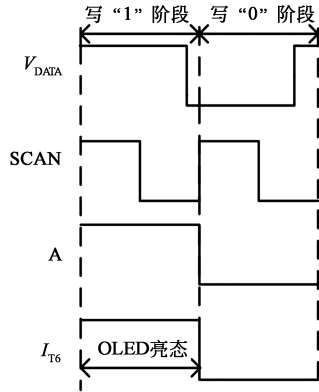


图 2 SRAM 结构像素电路时序图

Fig.2 Sequence diagram of SRAM structure pixel circuit

(1) 写“1”阶段

V_{DATA} 为高电平,SCAN 信号为高电平。T1、T3、T4、T6 处于开启状态,T2、T5 处于关闭状态。因为 NMOS 作为开关管时传输高电平存在阈值损失,即 A 点电压在 T1 管开启的一瞬间小于 V_{DD} ,但是在经过反相器传输后上升到 V_{DD} 。此时 B 点的电压为低电平,驱动管 T6 打开,C 点的电压为高电平,OLED 发光。

V_{DATA} 为高电平,SCAN 为低电平。T1 管关闭,但是此时电路通过 SRAM 结构把“1”这个状态存储在电路中,使得 A 点电压仍为高电平,B 点电压为低电平,驱动管 T6 打开,C 点的电压为高电平,OLED 发光。

(2) 写“0”阶段

V_{DATA} 为低电平,SCAN 为高电平。T1、T2、T5 处于开启状态,T3、T4、T6 处于关闭状态。A 点的电压为低电平,B 点的电平为高电平,驱动管 T6 关闭,C 点的电压为 0,OLED 不发光。

V_{DATA} 为低电平,SCAN 为低电平。T1 管关闭,同理 SRAM 结构把“0”这个状态存储在电路中,使得 A 点电压为低电平,B 点电压为高电平,驱动管 T6 关闭,C 点的电压为 0,OLED 不发光。

下面分析像素电路在正常工作时对开关管 T1 尺寸的要求。

当 $V_{DATA} = 0$ V、SCAN = 5 V 时,T2、T5 导通,T3、T4 关闭,T2 和 T5 工作在线性区 ($|V_{GS} - V_{TH}| > |V_{DS}|$)。

当 $V_{DATA} = 5$ V、SCAN = 5 V 时,T3、T4 导通,T2、T5 关闭,T3 和 T4 也工作在线性区 ($|V_{GS} - V_{TH}| > |V_{DS}|$)。

I. 当电路状态从低电平“0”变成高电平“1”时,开关管 T1 处于饱和区 ($V_{GS} - V_{TH} < V_{DS}$),流过 T1 的电流为:

$$I_1 = \frac{1}{2} K'_n \left(\frac{W}{L} \right)_1 (V_{GS1} - V_{THn})^2, \quad (1)$$

其中: K'_n 为 n 管的工艺跨导参数且 $K'_n = \mu_n C_{ox}$, μ_n 为电子迁移率, C_{ox} 为栅氧的单位面积电容, $\left(\frac{W}{L} \right)_1$ 为 T1 管的宽长比, $V_{GS1} = V_{DD} - V_A$, V_{THn} 为 T1 管的阈值电压。

电流流向为 V_{DD} -T1-T5-GND,为了使电路能够正常工作,需要满足:

$$V_{T5D} > V_{IH}, \quad (2)$$

其中: V_{T5D} 为 T5 管的漏端电压, V_{IH} 为反相器可接受的高电压点,由图 3 可知该值为 2.278 V。由于电路中是 SRAM 结构而不是单一的一个反相器,且 SRAM 结构内部存在一个正反馈,所以输入即使小于 V_{IH} 也可使数据正常写入,由图 4 可以看出当输入大于两条曲线的交点即 V_M 点就可满足要求 ($V_A > V_M = 1.945$ V)。

此时 T5 管处于线性区,流过 T5 管的电流为:

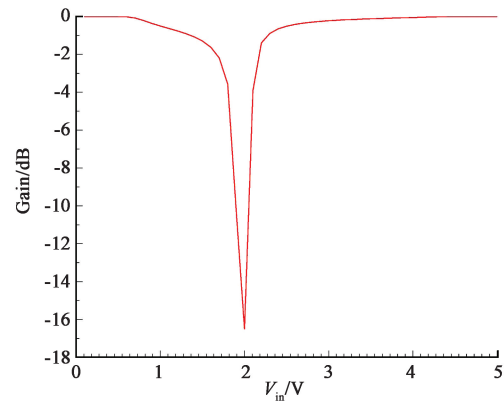


图 3 反相器的电压增益

Fig.3 Voltage gain of inverter

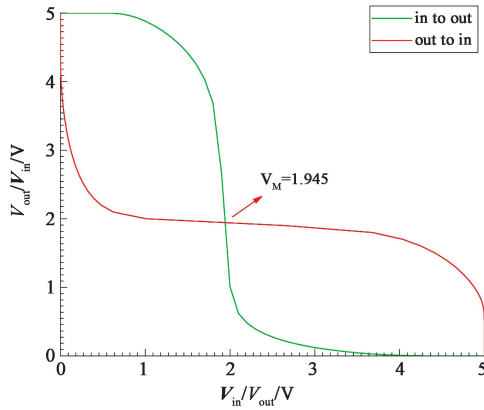


图4 SRAM 的电压传输特性

Fig.4 Voltage transmission characteristics of SRAM

$$I_5 = K'_n \left(\frac{W}{L} \right)_5 \left[(V_{GS5} - V_{THn}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right], \quad (3)$$

其中: V_{GS5} 为 T5 管的栅源电压, $V_{DS} = V_A$ 。

由式(1)=式(3)可得:

$$\left(\frac{W}{L} \right)_1 = \frac{2 \cdot \left(\frac{W}{L} \right)_5 \cdot [(V_{GS5} - V_{THn}) V_A - \frac{1}{2} V_A^2]}{(V_{GS1} - V_{THn})^2}, \quad (4)$$

其中: $\left(\frac{W}{L} \right)_5 = 300 \text{ nm}/600 \text{ nm}$ 。公式(4)中,因变量为 $\left(\frac{W}{L} \right)_1$,自变量为 V_A ,对 V_A 求导发现 $\left(\frac{W}{L} \right)_1$ 在 $V_A \in (0, V_{DD} - V_{THn})$ 上单调递增,由于 $V_A > 1.945 \text{ V}$,所以 $\left(\frac{W}{L} \right)_1 \geq 1.158$,即 $W/L \geq 695 \text{ nm}/600 \text{ nm}$ 。

实际电路仿真发现,由于电路在写“1”的瞬间还会有小电流流经 T5 管,电流路径是 V_{DD} -T4-T5,导致 $I_5 > I_1$,所以实际电路中 T1 管的 W/L 还要更小一点,把 T1 管的 W 设为变量,输出 A 点的电压值,仿真时间设为 $10 \mu\text{s}$,电路仿真图如图 5 所示。可以发现当 $W < 540 \text{ nm}$ 时,由于此时 $V_A < V_M$,电路不能正常写“1”;当 $W \geq 540 \text{ nm}$ 时,

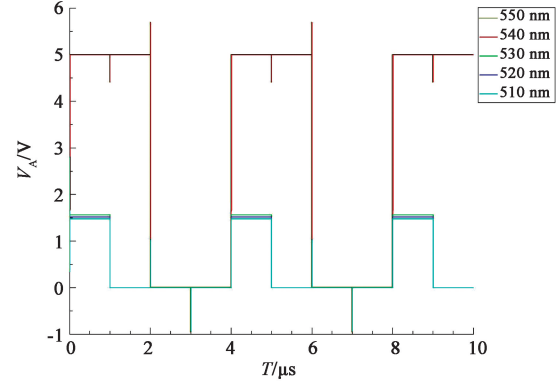


图5 不同 T1 管 W 值时 A 点的电压

Fig.5 V_A with different W value of T1 transistor

数据就可以正常写入。

II.当电路状态从高电平“1”变成低电平“0”时,开关管 T1 处于线性区 ($V_{GS} - V_{TH} > V_{DS}$),流过 T1 的电流为

$$I'_1 = K'_n \left(\frac{W}{L} \right)_1 \cdot [(V_{GS} - V_{THn}) V_A - \frac{1}{2} V_A^2], \quad (5)$$

电流流向为 V_{DD} -T4-T1-GND,为了使电路能够正常工作,需要满足:

$$V_{T4D} < V_{IL}, \quad (6)$$

其中: V_{T4D} 为 T4 管的漏端电压, V_{IL} 为反相器可接受的低电压点,由图 3 可知该值为 1.361 V 。同理由图 4 得知此时第一个反相器的输入应小于 1.945 V ,即 $V_A < 1.945 \text{ V}$ 。

此时, T4 管处于线性区,流过 T4 管的电流为:

$$I_4 = K'_p \left(\frac{W}{L} \right)_4 \left[(|V_{GS} - V_{THp}|) |V_{DS4}| - \frac{1}{2} V_{DS4}^2 \right], \quad (7)$$

其中: K'_p 为 p 管的工艺跨导参数且 $K'_p = \mu_p C_{ox}$, μ_p 为空穴的迁移率, V_{THp} 为 PMOS 管的阈值电压, $V_{DS4} = V_A - V_{DD}$ 。

由式(5)=式(7)可得:

$$\left(\frac{W}{L} \right)_1 = \frac{K'_p \left(\frac{W}{L} \right)_4 \cdot [(|V_{GS} - V_{THp}|) (V_{DD} - V_A) - \frac{1}{2} (V_{DD} - V_A)^2]}{K'_n [(V_{GS} - V_{THn}) V_A - \frac{1}{2} V_A^2]}, \quad (8)$$

其中: $\left(\frac{W}{L} \right)_4 = 300 \text{ nm}/500 \text{ nm}$ 。公式(8)中,因变量为 $\left(\frac{W}{L} \right)_1$,自变量为 V_A ,对 V_A 求导发现, $\left(\frac{W}{L} \right)_1$

在 $V_A \in (0, V_{GS} - V_{THn})$ 上单调递减,由于 $V_A < 1.945 \text{ V}$,所以 $\left(\frac{W}{L} \right)_1 \geq 0.202$,即最小尺寸(300

nm/600 nm)也能满足要求。

综合 I 和 II 可得,为了使电路正常工作,在最小反相器尺寸下,开关管 T1 的尺寸需要大于等于 540 nm/600 nm。

图 6 所示为 6T SRAM 结构像素电路的版图。是基于 SMIC 0.18 μm CMOS 工艺的 5 V 高压器件制作的。每个像素电路的面积为 $4.3 \mu\text{m} \times 4.3 \mu\text{m}$ 。

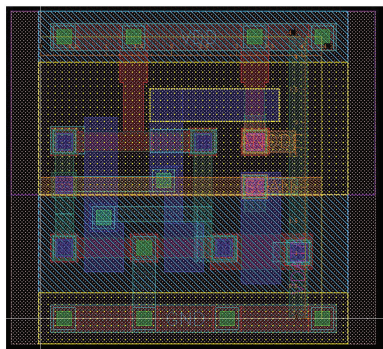


图 6 6T SRAM 结构像素电路版图

Fig.6 Pixel circuit layout of 6T SRAM structure

2.2 新型像素电路及其工作原理

新型像素电路结构如图 7 所示,其中 T1、T3、T5 为 NMOS, T2、T4 为 PMOS, OLED 为发光单元。T1 和 T5 作为开关管, T2 和 T3 构成反相器, T4 作为驱动管。A 点是 T1 的源端、T5 的漏端以及反相器的输入端, B 点是反相器的输出端和 T4 的栅端, C 点是 T4 的漏端、T5 的源端以

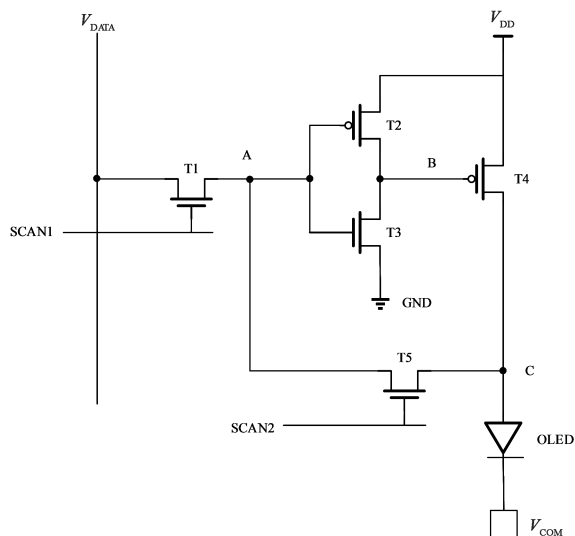


图 7 新型像素电路图

Fig.7 Novel pixel circuit diagram

及 OLED 的阳极。T1 的栅端接 SCAN1,漏端接数据信号 VDATA, T5 的栅端接 SCAN2,且 SCAN1 和 SCAN2 的电平是相反的。

图 8 所示是新型像素电路工作时序图,下面将对图 7 所示新型像素电路的工作过程进行详细描述。 I_{T4} 代表流过 OLED 的电流。

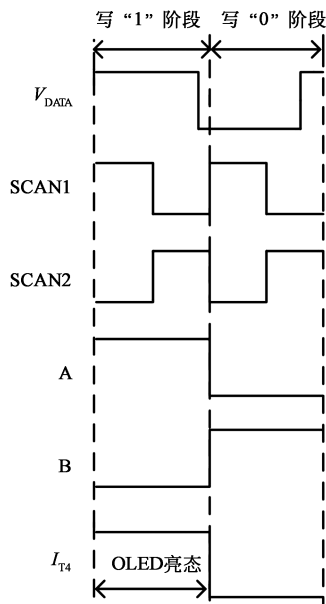


图 8 新型像素电路时序图

Fig.8 Sequence diagram of novel pixel circuit

当 VDATA 和 SCAN1 处于高电平“1”, SCAN2 处于低电平“0”时,开关管 T1 打开。由于 N 管传输高电平“1”存在阈值损失,所以此时 A 点为高电平,电压略低于 V_{DD} ,反相器输出端 B 点为低电平,则驱动管 T4 工作在线性区为 OLED 提供发光电流, C 点为高电平。此时开关管 T5 关闭,不影响电路工作状态。SCAN1 为低电平“0”,SCAN2 为高电平“1”时,开关管 T1 关闭, T5 打开, C 点的高电平传输至 A 点, A 点也为高电平, A 点的高电平被维持。

当 VDATA 和 SCAN2 处于低电平“0”, SCAN1 处于高电平“1”时,开关管 T1 打开,低电平被传输到反相器输入 A 点,反相器的输出和驱动管 T4 的栅端 B 点为高电平, T4 管处于截止区, C 点电压为低电平, OLED 不发光。SCAN1 为低电平“0”,SCAN2 为高电平“1”时,开关管 T1 关闭, T5 打开, C 点的低电平传输至 A 点, A 点也为低电平, A 点的低电平被维持。

反相器和开关管 T5 相当于利用 OLED 在发

光时阳极的高电平和在不发光时阳极的低电平,对开关管 T1 传输点 A 点的电压提供反馈,代替 6T 电路中首尾环形相连的两级反相器构成的双稳态电路对数据进行锁存,使 OLED 在发光阶段流过的电流是恒定的。

由于电路在开关管 T5 打开时把 C 点的电压直接传输到 A 点,环路是断开的,使得 A 点的电压很容易就满足反相器的 V_{IH} 或 V_{IL} 要求,所以开关管 T1 可以使用最小尺寸(300 nm/600 nm),这进一步缩小了像素电路的面积。图 9 为新型像素电路中 T1 管不同 W 值时 A 点的电压仿真结果图,由仿真图可以看出新型像素电路正常写入不受开关管尺寸的影响。

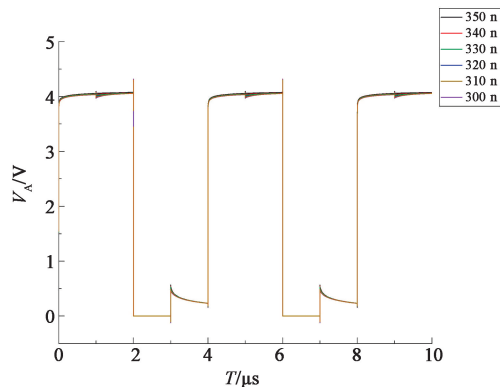


图 9 T1 管不同 W 值时 A 点的电压

Fig.9 V_A with different W value of T1 transistor

图 10 所示为该电路的版图。每个像素电路的面积为 $3.91\ \mu\text{m} \times 3.91\ \mu\text{m}$ 。

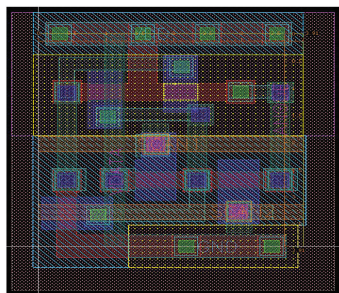


图 10 新型像素电路版图

Fig.10 Novel pixel circuit layout

参 考 文 献:

[1] WEN J Y, LAM H M, LI C L, *et al.* Design of a peripheral-circuit-compensation adjustable-gamma-voltage driving chip for OLED-on-silicon microdisplay [C]//*Proceedings of 2019 IEEE International Conference on Electron Devices and Solid-State Circuits (EDSSC)*. Xian, China: IEEE, 2019: 1-3.

表 1 是 5T 结构像素电路和 6T SRAM 结构像素电路对比的结果。从表中可以看出 5T 结构像素电路性能更优。

表 1 两种像素电路对比		
Tab.1 Comparison of two pixel circuits		
	6T SRAM	5T
管子 参数	T1 540 nm/600 nm	T1 300 nm/600 nm
	T2 300 nm/500 nm	T2 300 nm/500 nm
	T3 300 nm/600 nm	T3 300 nm/600 nm
	T4 300 nm/500 nm	T4 300 nm/500 nm
	T5 300 nm/600 nm	T5 300 nm/600 nm
	T6 300 nm/600 nm	
版图 面积	$4.3\ \mu\text{m} \times 4.3\ \mu\text{m}$	$3.91\ \mu\text{m} \times 3.91\ \mu\text{m}$
优点	环路稳定	版图面积小;数据正常写入不受开关管尺寸影响
缺点	数据正常写入受开关管尺寸影响;像素面积较大	需要额外的一个扫描信号

3 结 论

本文介绍了 6T SRAM 结构像素电路和新型 5T 结构像素电路的工作过程,详细分析了开关管尺寸对数据正常写入的影响。同时基于 SMIC 0.18 μm 混合信号 1.8 V/5 V 工艺,对两种结构的像素电路进行了仿真验证和版图绘制。结果表明,6T SRAM 结构像素电路为完成正常的数据写入对开关管有最小宽长比要求,电路仿真时开关管的尺寸需要大于等于 540 nm/600 nm,而新型的 5T 结构像素电路中的开关管可以是工艺最小尺寸,且版图面积较小,仅为 6T SRAM 结构像素电路的 82.7%,因此其更适合应用于高 PPI 的微显示芯片中。

- [2] HUO X X, LIAO C W, ZHANG M, *et al.* A pixel circuit with wide data voltage range for OLED_oS Microdisplays with high uniformity [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2019, 66(11): 4798-4804.
- [3] HONG S W, KWAK B C, NA J S, *et al.* Simple pixel circuits for high resolution and high image quality organic light emitting diode-on-silicon microdisplays with wide data voltage range [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2016, 24(2): 110-116.
- [4] 黄振兴, 黄蓁, 赵博华, 等. 应用于硅基 OLED 微显示器的分段可调伽马校正[J]. 液晶与显示, 2020, 35(8): 825-830. HUANG Z X, HUANG R, ZHAO B H, *et al.* Gamma correction with adjustable segmentation for OLED-on-silicon microdisplay [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(8): 825-830. (in Chinese)
- [5] NA Y S, KWON O K. Silicon-based 0.69-inch AMOEL microdisplay with integrated driver circuits [J]. *Journal of Information Display*, 2002, 3(3): 35-43.
- [6] 戴爽, 谢彬彬, 陈鑫, 等. 一种驱动 MOS 管工作在饱和区的硅基 OLED 微显示像素电路[J]. 液晶与显示, 2016, 31(1): 97-103. DAI S, XIE B B, CHEN X, *et al.* Pixel circuit for OLED-on-silicon microdisplay using a driving MOS transistor operated in saturation region [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(1): 97-103. (in Chinese)
- [7] NA J S, HONG S K, KWON O K. A 4410-ppi resolution pixel circuit for high luminance uniformity of OLED_oS microdisplays [J]. *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, 2019, 7: 1026-1032.
- [8] LIU B J, DING D D, ZHOU T Y, *et al.* A novel pixel circuit providing expanded input voltage range for OLED_oS microdisplays [J]. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 2017, 48(1): 1438-1441.
- [9] 陈弈星, 夏军, 孙伟锋, 等. 高分辨率高帧率硅基液晶(LCoS)显示芯片与驱动[J]. 微纳电子与智能制造, 2020, 2(2): 88-95. CEHN Y X, XIA J, SUN W F, *et al.* High resolution and high framerate LCoS display and driver [J]. *Micro/nano Electronics and Intelligent Manufacturing*, 2020, 2(2): 88-95. (in Chinese)
- [10] JI Y, RAN F, XU H G, *et al.* A digitally driven pixel circuit with current compensation for AMOLED microdisplays [J]. *Journal of the Society for Information Display*, 2014, 22(9): 465-472.
- [11] CHEN W D, JI Y, MU T Z, *et al.* Atomized scan method for high-definition silicon-based OLED microdisplays [J]. *IEEE Transactions on Electron Devices*, 2020, 67(10): 4293-4299.

作者简介:



徐 勇(1996—),男,安徽合肥人,硕士研究生,2018 年于安徽大学获得学士学位,主要从事微显示驱动芯片的学习与研究。E-mail: xuyong@ime.ac.cn



赵博华(1988—),男,湖南邵东人,博士,2013 年于中国科学院微电子研究所获得博士学位,主要从事数模混合芯片设计,研究方向为微显示驱动芯片的设计与研发。E-mail: zhaobohua@ime.ac.cn