

文章编号:1007-2780(2013)04-0534-05

针对 OLED 衰退补偿的电流 PWM 像素驱动电路研究

冉 峰¹, 储 楚^{1*}, 季 渊¹, 王 勇¹, 邹 荣²

(1. 上海大学 微电子研究与开发中心, 上海 200072, E-mail: chuck881111@hotmail.com;

2. 上海大学 材料科学与工程学院, 上海 200072)

摘 要: 有机发光二极管(OLED)微显示器在长时间显示高亮、高对比度的静态画面之后会产生像素衰退不同, 发光亮度衰减存在较大差异, 更新画面后存在残影现象。为此, 提出了一种电流 PWM 像素驱动电路对 OLED 像素衰退做出一定的补偿。文章介绍了电流 PWM 像素驱动电路的结构及其工作原理, 分析了电流 PWM 像素驱动电路对 OLED 像素衰退补偿原理。通过实验得出该电路结构中提高 OLED 衰退补偿效果的几个主要因素。在像素衰退差异在 30 MΩ 以下时, 电流 PWM 驱动电路的像素衰退率只有传统驱动电路的 50%。

关 键 词: OLED; 衰退补偿; 电流 PWM 像素驱动电路; 残影; 饱和深度

中图分类号: TN27 文献标识码: A DOI: 10.3788/YJYXS20132804.0534

Current PWM Pixel Driving Circuit for OLED Recession Compensation

RAN Feng¹, CHU Chu^{1*}, JI Yuan¹, WANG Yong¹, ZOU Rong²

(1. Microelectronic R&D Center, Shanghai University, Shanghai 200072, China, E-mail: chuck881111@hotmail.com;

2. School of Material Science and Engineering College, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper aims to solve some existing problems in OLED micro display—when showing highlighting static images with a high contrast ratio for very long time, the OLED micro display presents quite different phenomena in the process of pixel and brightness recession, and when the images are updated, sticking appear on the micro display—through making some compensation for the pixel recession on the OLED micro display in the current PWM pixel driving circuit. In the paper, a brief introduction of the structure and theoretical analysis of the working principles of the driving circuit are given. It introduces the principle of OLED pixel recession and compensation in the driving circuit, and analyzes the relations between the recession and compensation process and some parameters in the circuit through trials and errors in the experiment. The conclusion that shows when the difference of the pixel recession is below 30 MΩ, the ratio of pixel recession in the current PWM driving circuit is only 50% of the traditional driving circuit.

Key words: OLED; recession compensation; current PWM pixel driving circuit; sticking; saturation depth

收稿日期: 2013-02-28; 修订日期: 2013-04-09

作者简介: 冉峰(1954—), 男, 山东济宁人, 教授, 主要从事智能信息与集成电子系统, 高清晰度平板显示与应用集成技术等方面的研究。

* 通信联系人, E-mail: dream_shu@126.com

1 引 言

目前,OLED 微显示器的主要应用集中于非晶硅和 TFT 基板的常规尺寸显示器^[1],若将 OLED 制作于单晶硅^[2]上可获得更小的像素和更高的系统集成度,该显示器被称为硅基 OLED 微显示器^[3]。eMagin 公司最先开发了硅基 OLED 微显示器^[4]。英国的 MED(MicroEmissive Displays)^[5],德国的 Fraunhofer IPMS^[6],法国的 Microoled^[7] 和中国的 Olightek^[8] 公司也对 OLED 微显示器作出了相关研究贡献。市面上,大部分的 OLED 像素驱动电路以模拟驱动方式控制^[9],数字驱动方式^[10]较少,与模拟方式相比,数字方式能够进一步提高显示分辨率和灰度。当 OLED 像素长期静态高对比度显示,会发现发光亮度参差不齐,产生亮度衰退,影响了显示屏的使用寿命。因此本文设计了一种电流 PWM 像素驱动电路,该电路结构能够结合分形扫描算法^[11-12]采用数字控制方式驱动,并对 OLED 像素衰退有明显的补偿作用,提高了 OLED 显示屏的使用寿命。

2 电路设计与分析

2.1 衰退现象

传统像素驱动电路(如图 1 所示),在 OLED 长时间高对比度发光之后会产生残影现象,如图 2 所示。在 OLED 像素大小为 $15\ \mu\text{m}\times5\ \mu\text{m}$,经实测,在 OLED 两端电压 6 V 时,导通电阻约为 $177.8\ \text{M}\Omega$,因此可将像素衰退等效为在 OLED 器件中串入一个衰退电阻 R_{oled} 。OLED 长时间使用之后衰退电阻 R_{oled} 会逐渐增大。在没有对 OLED

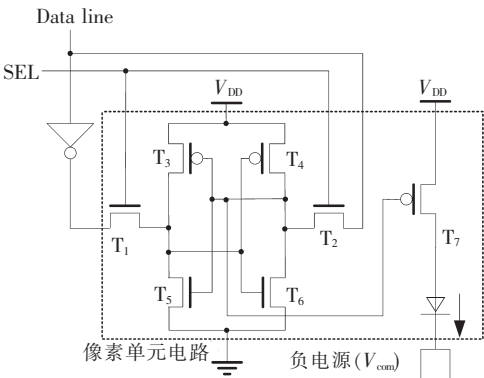


图 1 传统像素驱动电路
Fig. 1 Traditional pixel driving circuit

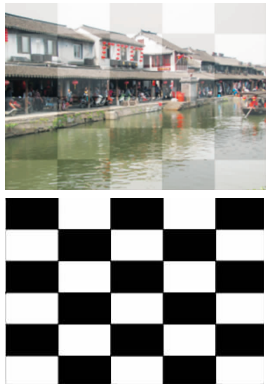


图 2 OLED 显示器的残影现象(左:带有残影的图像,右:残影).
Fig. 2 Sticking phenomenon of OLED display

衰退补偿的情况下,像素单元在长时间高对比度发光之后,容易出现视觉上的残影现象。

2.2 电流 PWM 像素驱动电路结构

为了补偿 OLED 衰退特性,本驱动电路结构采用 PWM 驱动方式和电流源型驱动电路相结合,得到一种电流 PWM 像素驱动电路。

如图 3 所示,左边的虚线框为像素单元电路, $T_1\sim T_6$ 构成 SRAM 结构, T_7 作为开关管, T_8 作为驱动管。当 SEL 信号有效时,Data line 信号传输至开关管 T_7 的栅极,控制开关管的导通或关闭,当开关管打开时,OLED 在驱动管 T_8 与负电源共同作用下点亮,亮度可由右边虚线框的参考电流产生电路控制。参考电流产生电路由 5 个 MOS 管组成,可通过对像素点阵列划分模块,一个参考电流产生电路可驱动多个像素单元,因此功耗不高。当开关管关闭时,OLED 发光亮度几乎为零;当 SEL 信号无效时,SRAM 将之前的 Data line 信号锁存,开关管的状态不变,OLED 保持之前的工作状态。右边的虚线框为参考电流产生电路, $T_8\sim T_{13}$ 构成共源共栅电流镜。根据电流镜原理可得:

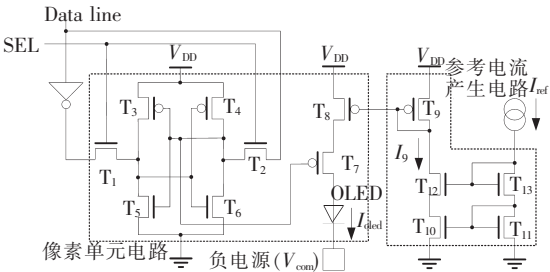


图 3 电流 PWM 像素驱动电路
Fig. 3 Current PWM pixel driving circuit

$$\frac{I_{oled}}{I_{ref}} = \left(\frac{W_8/L_8}{W_9/L_9}\right) \cdot \left(\frac{W_{10}/L_{10}}{W_{11}/L_{11}}\right) \cdot \left(\frac{V_{GS8} - V_{T_{T8}}}{V_{GS9} - V_{T_{T9}}}\right)^2 \cdot \left(\frac{V_{GS10} - V_{T_{T10}}}{V_{GS11} - V_{T_{T11}}}\right)^2 \cdot \left[\frac{(1 + \lambda_8 V_{DS8})K'_8}{(1 + \lambda_9 V_{DS9})K'_9}\right] \cdot \left[\frac{(1 + \lambda_{10} V_{DS10})K'_{10}}{(1 + \lambda_{11} V_{DS11})K'_{11}}\right]$$

(1)

若认为 $T_8 \sim T_{13}$ 的晶体管特性相等 ($V_{G_{T_8}} \sim V_{G_{T_{13}}}$ 相等、 $K'_8 \sim K'_{13}$ 相等), 且忽略沟道长度调制效应, 则:

$$\frac{I_{oled}}{I_{ref}} = \left(\frac{W_8/L_8}{W_9/L_9}\right) \cdot \left(\frac{W_{10}/L_{10}}{W_{11}/L_{11}}\right)$$

(2)

调节 I_{ref} 以及 $T_8 \sim T_{13}$ 的宽长比, 可使 T_8 的输出电流 I_{oled} 符合 OLED 像素范围。

2.3 衰退补偿原理

电流 PWM 像素驱动电路对 OLED 衰退有明显的补偿作用, 电流参考产生电路中的驱动管 T_8 工作于饱和状态, 将其电流饱和方程重写:

$$I_{DS} = \frac{\mu_n C_{ox}}{2} \cdot \frac{W}{L} \cdot (V_{GS} - V_T)^2 = 0.5k(V_{GS} - V_T)^2$$

(3)

当 OLED 像素衰退之后, 栅极电压保持不变, 为了保持 I_{oled} 不变, 必然要提高 OLED 的驱动

电压, 驱动管 T_8 的源漏电压降低, 使像素衰退得到一定的补偿。将 V_{GS} 分解为阈值电压 V_T 和超出阈值电压的部分, 并将超出部分定义为过驱动电压, 用 V_{OD} 表示 (PMOS 为 $|V_{OD}|$), 则有:

$$|V_{OD}| = |V_{GS} - V_T| = \sqrt{\frac{2I_{DS}}{K'(W/L)}}$$

(4)

将晶体管的饱和深度 V_{SD} 定义为:

$$V_{SD} = |V_{DS}| - |V_{OD}|$$

(5)

表 1 列出了衰退电阻 R_{oled} 为 0~100 MΩ 时, 开关管 T_7 处于开通状态时驱动管 T_8 的静态工作情况, ΔI_D 表示 I_{oled} 的衰退程度, 定义为 I_{oled} 的衰退幅值与未衰退值 (R_{oled} 为 0 时 I_{oled} 的值) 的比值。饱和深度对衰退补偿特性具有重要意义, 饱和深度越大, 输出电流也越稳定, OLED 衰退补偿的效果也越好。

表 1 电流 PWM 像素驱动电路的驱动晶体管 T_8 的静态工作点
Table 1 Static working point of current PWM pixel driving circuit driver transistor T_8

$R_{oled}/M\Omega$	I_{oled}/nA	$V_{D_{T8}}/V$	$R_{S_{T8}}/V$	$V_{DS_{T8}}/V$	$V_{GS_{T8}}/V$	$V_{OD_{T8}}/V$	$V_{SD_{T8}}/V$	$\Delta I_D/\%$
0	20.84	2.833	3.3	0.467	22.41	0.109	0.358	0
10	19.67	2.979	3.3	0.321	16.32	0.109	0.212	5.61
20	18.61	3.106	3.3	0.194	10.42	0.109	0.085	10.70
30	17.45	3.202	3.3	0.098	5.62	0.109	-0.011	16.27
50	14.52	3.253	3.3	0.047	3.24	0.109	-0.062	30.33
100	10.18	3.275	3.3	0.025	2.46	0.109	-0.084	51.15

2.4 衰退补偿效果

电流 PWM 像素驱动电路与传统像素驱动电路相比, 其衰退特性曲线对比如图 4。对于电流 PWM 驱动电路, 当输出电流为 20 nA 情况下, R_{oled} 为 10 MΩ 时, ΔI_D 为 5.61%; R_{oled} 为 20 MΩ 时, ΔI_D 为 10.7%; R_{oled} 为 30 MΩ 时, ΔI_D 为 16.27%; 相对于传统 SRAM 驱动电路, 在相同输出电流的情况下, $R_{oled} > 30$ MΩ 时, ΔI_D 均大于 40%, V_{com} 越低, ΔI_D 越大, 可见, 电流 PWM 驱动电路的 I_{oled} 衰退程度较小, 而不具有补偿功能的像素驱动电路随 R_{oled} 增大的衰退非常明显, 当像素衰退差异在 30 MΩ 以下时, 电流 PWM 驱动电

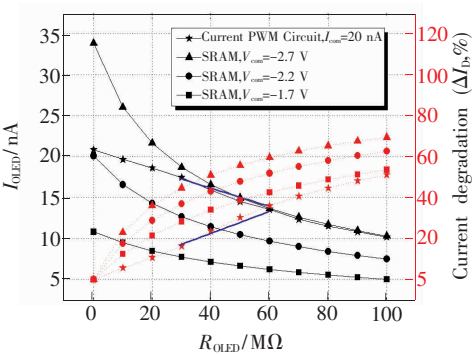


图 4 电流 PWM 驱动电路与传统驱动电路 OLED 像素衰退补偿比较

Fig. 4 Pixel recession compensation comparison

路的 ΔI_D 只有传统驱动电路的 50%。从图 3 中还可以发现,当 $R_{oled} > 30 \text{ M}\Omega$ 时, I_{oled} 和 ΔI_D 都有一个非线性跳变(蓝直线为线性延伸),由表 1 可知,此时 T_8 的饱和深度开始小于 0,工作区变为线性区,补偿效果下降,因此需要进一步提升补偿效果,例如改变 I_{ref} 和 V_{com} 。

3 提高衰退补偿的主要因素

3.1 改变 I_{ref} 和 V_{com}

当 I_{ref} 为 10 nA、20 nA 和 30 nA 时,通过电流镜的复制可以提高通过 I_{oled} 的电流值。但是随着 I_{ref} 的增加驱动管 T_8 的栅极电压随之下降,其过驱动电压 V_{OD} 随之下降,饱和深度也随之下降了,所以为了得到更好的 OLED 衰退特性需要降低 I_{ref} 的值,通过 OLED 的电流尽可能小些。

在保持 I_{ref} 不变的情况下改变负电源的 V_{com} 的大小, V_{com} 越低, ΔI_D 将变得更小(如图 5)。当 I_{ref} 为 10 nA、 V_{com} 为 -3.2 V 时,其 ΔI_D 在 R_{oled} 为 40 M Ω 时超过 10%,在 R_{oled} 为 100 M Ω 时达到 23.3%,而 I_{ref} 不变而 V_{com} 为 -4.9 V 时,其 ΔI_D 始终不超过 2.3%,当 V_{com} 降低时, B 点和 C 点的电压也随之降低,因此增大了 T_7 的 V_{DS} , 提高了 T_7 的饱和深度,因而可提供更多的补偿空间。但是,降低 V_{com} 也提高了对晶体管的耐压要求,例如,当 V_{com} 为 -3.2 V 时, T_7 关闭时 $|V_{DS,T_7}|$ 为 3.245 V,采用 3.3 V 工艺即可,而当 V_{com} 为 -4.9 V 时, T_7 关闭时 $|V_{DS,T_7}|$ 达到 4.93 V,因此必须采用 5 V 工艺。

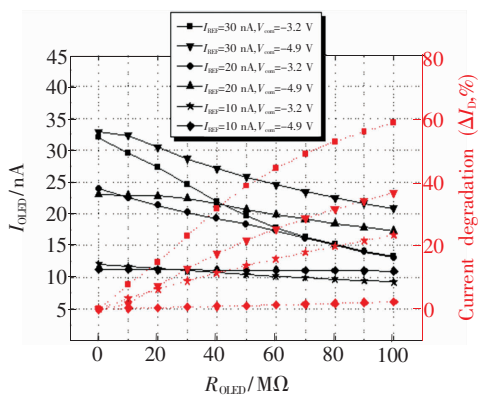


图 5 I_{ref} 和 V_{com} 在不同条件下的衰退补偿比较

Fig. 5 Different conditions comparison of I_{ref} and V_{com}

3.2 改变驱动管宽长比

在以上分析中,驱动晶体管 T_8 的宽长比

W_8/L_8 均取 $0.35 \mu\text{m}$ 工艺的最小值 $0.5 \mu\text{m}/0.35 \mu\text{m}$,若改变 W_3/L_3 ,则结果将进一步改善。考虑 V_{com} 分别为 -3.2 V 和 -4.9 V 两种情况,当 W_8/L_8 分别为 $0.5 \mu\text{m}/0.35 \mu\text{m}$ 、 $5.0 \mu\text{m}/0.5 \mu\text{m}$ 和 $0.5 \mu\text{m}/5.0 \mu\text{m}$, I_{ref} 分别为 10 nA、20 nA、30 nA 时,电流 PWM 驱动电路 I_{oled} - R_{oled} 和 ΔI_D - R_{oled} 关系的仿真结果如图 6 所示。当 W_3/L_3 为 $5.0 \mu\text{m}/0.5 \mu\text{m}$ 时,各种情况的输出电流都将增大,而 I_{oled} 的衰退程度 ΔI_D 也增大,相反,当 W_8/L_8 为 $0.5 \mu\text{m}/5.0 \mu\text{m}$ 时,各种情况的输出电流都将减小, ΔI_D 也将减小,说明 T_3 的宽长比越小,衰退补偿越好。

4 实验结果

通过之前的实验分析,增大 I_{ref} 会减小 OLED 的衰退补偿特性;降低 V_{com} 会增大 OLED 的衰退补偿特性;将驱动管 T_8 的宽长比降低,有利于增加衰退补偿特性;可以通过有效调节 3 个参数,得到适合 OLED 像素发光亮度的电流值,与传统驱动电路相比,拥有明显的衰退补偿效果。传统驱动电路和衰退特性较好情况下的电流 PWM 驱动电路在衰退电阻 R_{oled} 分别为 0、20 M Ω 、100 M Ω 时,电流衰退仿真对比如图 6 所示。在 R_{oled} 逐渐增大之后通过 OLED 的电流波形仿真如图 7 所示。在没有衰退的情况下,电流 PWM 像素驱动与传统驱动通过 OLED 36.17% 和 69.53%。OLED 显示屏在高亮、高对比度静态画面显示之后衰退极其明显。电流 PWM 像素驱动方式通过 OLED 的电流大小为 33.43 nA 和 24.46 nA,像素衰退率为 1.24% 和 28.43%。对于 OLED 显示屏衰退有明显的改善。

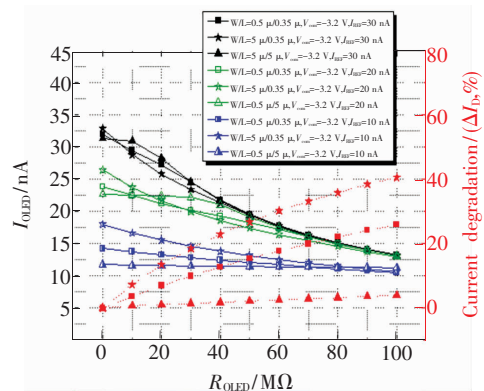


图 6 电流 PWM 驱动电路与传统驱动电路 OLED 像素衰退补偿比较

Fig. 6 Pixel recession compensation comparison

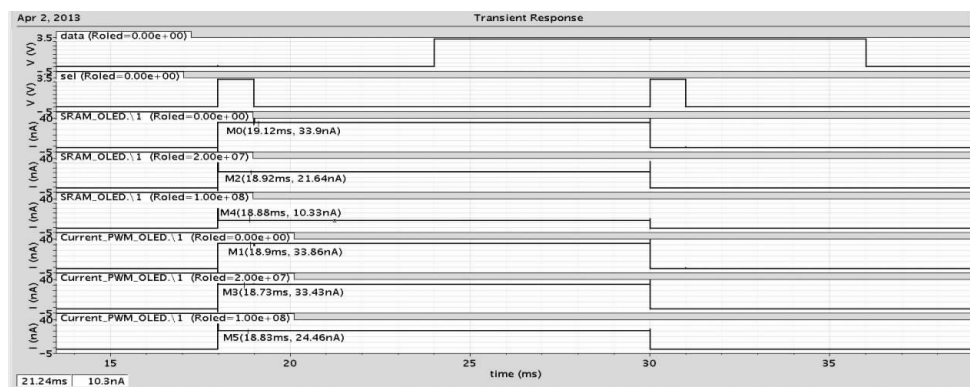


图 7 电流 PWM 像素驱动电路与传统像素驱动电路在不同 R_{oled} 时 I_{oled} 值的对比

Fig. 7 I_{oled} value comparison of current PWM pixel driving circuit and traditional pixel driving circuit in different R_{oled}

5 结 论

将 OLED 制作于单晶硅上获得更小的像素和更高的系统集成度,结合分形扫描算法采用数字控制方式驱动,进一步提高显示分辨率和灰度。采用电流 PWM 像素驱动结构,降低了 OLED 长时

间工作在高对比度静态画面之后存在的残影现象,使 OLED 显示屏使用寿命有大幅度提高。从测试数据看出,当像素衰退差异在 $30\text{ M}\Omega$ 以下时,电流 PWM 驱动电路的像素衰退率只有传统驱动电路的 50%,有一定推广和实用价值。

参 考 文 献:

- [1] Aruga S. High temperature poly-Si TFT LCD for projection [C]//*International Display Manufacturing Conference*, Taipei, China; SID, 2002: 551-556.
- [2] Prache O. Active matrix molecular OLED microdisplays[J]. *Displays*, 2001, 22(2): 49-56.
- [3] Ghosh A P, Ali T A, Khayrullin I, et al. Recent advances in small molecule OLED-on-silicon microdisplays [C]//*Organic Light Emitting Materials and Devices XIII*, San Diego, CA, United States: The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2009.
- [4] Levy G B, Evans W, Ebner J, et al. An 852×600 pixel OLED-on-silicon color microdisplay using CMOS subthreshold-voltage-scaling current drivers [J]. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2002, 37: 1879-1889.
- [5] Kelly G, Woodburn R, Underwood I, et al. A full-color QVGA microdisplay using light-emitting-polymer on CMOS [C]//*IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, New York; IEEE, 2006, (1-3): 760-763.
- [6] Richter B, Vogel U, Herold R, et al. Bidirectional OLED microdisplay: Combining display and image sensor functionality into a monolithic CMOS chip [C]//*Solid-State Circuits Conference - Digest of Technical Papers (ISSCC)*, San Francisco USA; IEEE, 2011: 314-316.
- [7] Gohri V, Hofmann S, Reineke S, et al. White top-emitting organic light-emitting diodes employing a heterostructure of down-conversion layers [J]. *Organic Electronics*, 2011, 12: 2126-2130.
- [8] Xu M H, Ran F, Chen Z J. A novel OLED controller with fractal scan scheme [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2010, 26(6): 570-575.
- [9] 尹盛, 江博, 李喜峰. 17.8 cm 彩色 AMOLED 驱动模块的研制[J]. *液晶与显示*, 2012, 27(3): 347-351.
- [10] 刘健, 谢文法. 1OLED 器件光电性能集成测试系统研制[J]. *液晶与显示*, 2012, 28(1): 132-137.
- [11] 徐美华, 陈章进, 冉峰, 等. 平板显示系统的最优扫描结构及分形模型[J]. *电子学报*, 2006, 34(8): 1376-1380.
- [12] Ji Y, Ran F, Ji W G, et al. Optimal scan strategy for mega-pixel and kilo-gray-level OLED-on-silicon microdisplay [J]. *Applied Optics*, 2012, 51(17): 3731-3743.