

一种用于硅基 OLED 驱动芯片的 PWM 电路设计

秦昌兵^{1,2}, 陈启宏^{1,2}, 徐亭亭^{1,2}, 张白雪^{1,2}, 杨建兵^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016; 2. 国家平板显示工程技术研究中心, 南京 210016)

摘要: 为改善传统模拟驱动方式在调亮时会改变 OLED 灰阶特性的现象, 提出了一种可用于硅基 OLED 驱动芯片的脉宽调制电路(Pulse Width Modulation, PWM)电路。该电路对加在 OLED 阵列上的共阴极电压进行 PWM 调制, 从而达到在调节亮度时灰阶特性不变的目的。电路采用 0.18 μm 1P6M 混合信号工艺完成了电路设计和流片验证。仿真和测试结果表明, 当亮度从 100 cd/m^2 调节到 500 cd/m^2 时, 灰阶特征得到了明显的改善。

关键词: 硅基有机发光二极管; 微显示; 脉宽调制电路(PWM)

中图分类号: TN312^{+.8}; TN432 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2020)01-0044-04

Design of a PWM Circuit for Silicon-based OLED Driving Chip

QIN Changbing^{1,2}, CHEN Qihong^{1,2}, XU Tingting^{1,2}, ZHANG Baixue^{1,2}, YANG Jianbing^{1,2}

(1. *The 55th Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN*; 2. *National Flat Panel Display Engineering Technology Research Center, Nanjing 210016, CHN*)

Abstract: In order to improve the gray-scale characteristics when the traditional analog driving scheme is dimmed, a PWM circuit for silicon-based OLED driving chip has been presented. The circuit could modulate the common cathode voltage applied to the OLED array with PWM, so as to achieve the same gray scale characteristics when adjusting brightness. The circuit was designed and verified by the 0.18 μm mix-signal 1P6M CMOS process. Simulation and test results show that when the brightness is adjusted from 100 cd/m^2 to 500 cd/m^2 , the gray-scale characteristics could be significantly improved.

Key words: OLEDs; microdisplay; Pulse Width Modulation(PWM)

引 言

硅基 OLED 微显示技术是一种将主动发光型显示器件有机电致发光二极管做在低成本低功耗的 CMOS 硅片上的技术^[1-2], 它结合了成熟的半导体工艺

制造技术和新型 OLED 显示技术的优点, 可以实现高分辨率、高对比度、低功耗、低成本的微型化显示^[2-5]。

硅基 OLED 的驱动方式可分为模拟驱动和数字驱动两种, 数字驱动方式亮度均匀性高, 灰阶特征稳定, 但外围电路复杂, 发光效率低, 应用成本

收稿日期: 2019-09-27

作者简介: 秦昌兵(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事数模混合信号及硅基微显示驱动等领域的集成电路研究(E-mail: qin_chang_bing@163.com)

陈启宏(1991—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事数模混合信号及硅基微显示驱动等领域的集成电路研究;

徐亭亭(1992—), 女, 硕士, 工程师, 主要从事数模混合信号及硅基微显示驱动等领域的集成电路研究。

高^[6];模拟驱动方式发光效率高,集成度高,外围电路简单,是目前主流的驱动方式。模拟驱动方式通过控制像素驱动管的栅极电压来控制流过OLED器件的电流大小,产生相应的灰阶。亮度调节则是通过改变共阴极电压幅值来实现,由于MOS管本身非线性的 $I-V$ 特性和衬偏效应带来的阈值电压的变化,流过OLED的电流在变化前后不成比例,屏幕灰阶特性也随之发生变化,严重影响显示效果。

文章介绍了一种将共阴极电压(V_{com})用脉宽进行调制的电路方案,该电路将 V_{com} 电压幅值固定,通过改变 V_{com} 电压占空比,调节每个像素单元的开、关时间,达到调节硅基OLED显示亮度的目的。由于OLED的开启电压一般在3~5V之间,为扩大亮度调节范围, V_{com} 一般设计为负压,因此设计了可对负压进行调制的PWM电路。文章第一部分介绍了硅基OLED微显示驱动芯片的控制架构,第二部分介绍了 V_{com} 电压PWM调亮原理和电路设计,第三部分是芯片测试结果,最后第四部分是总结。

1 OLED微显示驱动芯片系统结构

传统模拟驱动方式的系统架构如图1所示,芯片内集成了数字视频信号接口及解码、 T_{con} 、数字视频信号处理、DAC、行列驱动、像素阵列等模块。芯片接收数字信号,通过内部的数模转换电路转换成模拟电压,再将模拟电压通过主动寻址电路依次送到各个像素驱动电路上,像素驱动电路将电压转换成电流流过OLED器件,使器件开始发光,通过调节共阴极电压 V_{com} 的大小,调节显示器的亮度^[3]。

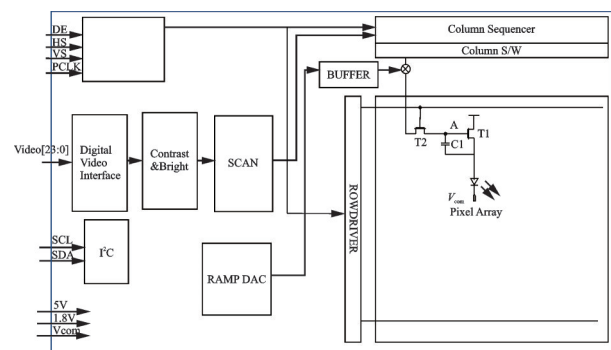


图1 OLED微显示驱动芯片系统架构图
Fig.1 Diagram of OLED microdisplay system

2 V_{com} PWM调亮电路方法

硅基OLED模拟驱动方式一般通过调节 V_{com} 电压的大小来进行亮度调节。图2所示为 $V_{com} = -2V$

和 $-3V$ 时像素驱动管T1的 $I-V$ 特性曲线。

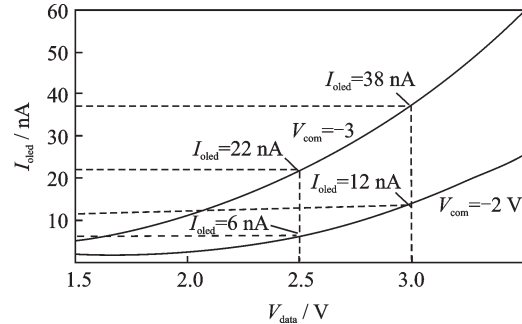


图2 像素电路在不同 V_{com} 电压下的 $I-V$ 仿真
Fig.2 Simulation results of pixel circuits with different V_{com}

由图2可以看出相同驱动电压下, $V_{com} = -2V$ 和 $V_{com} = -3V$ 时的电流已经完全不成比例,因此OLED屏的灰阶特性也截然不同。

2.1 V_{com} PWM调亮原理

众所周知,发光器件的强度与时间决定了人眼对亮度的感知,人眼感受到的实际亮度是单位时间内发光器件的亮度及其发光时间的积分^[6-7]。根据硅基OLED的发光特性,可以认为当 $V_{com} = 0V$ 时,OLED器件处于关闭状态,当 $V_{com} = -5V$ 时,OLED器件处于最大发光亮度状态。图3是OLED微显示芯片 V_{com} 电压用PWM进行调制的信号时序图。

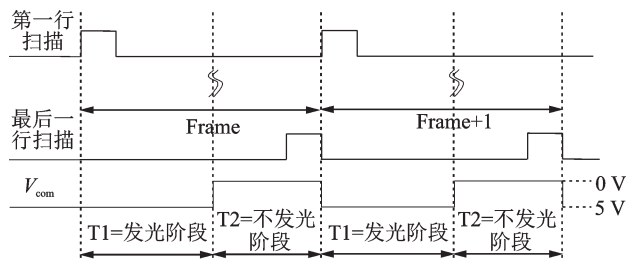


图3 V_{com} PWM时序示意图
Fig.3 Diagram of V_{com} PWM sequence

每帧内像素阵列包含2个工作段,以第一行和最后一行像素为例,工作于T1阶段时, $V_{com} = -5V$,所有像素单元开始发光,第一行像素发光时间 $T_{on} = T1$,当扫描到最后一行时,最后一行所有像素在下一帧同样发光T1时间;当工作于T2阶段时,第一行像素被关闭T2时间,直至下一帧到来时刷新数据并继续开始发光,最后一行像素在下一帧的T2阶段也被关闭同样时间。因此可以认为每一行像素在单位一帧时间内都发光T1时间,其发光占空比保持一致,调节该占空比的大小就可以调节屏幕

实际出光亮度的大小。而且因为实际亮度和电流是脉冲亮度和脉冲电流的平均值,屏幕的灰阶特征都等比例变化。

2.2 V_{com} PWM 电路设计和仿真

文章所设计的 V_{com} PWM 电路如图 4 所示, I^2C 模块输入占空比大小指令, 占空比产生电路产生与帧同步的占空比信号, 电平转换电路将占空比信号从 0~5 V 之间的逻辑电平转换为 -5~0 V 之间的负电平, 负逻辑电平通过死区时间控制电路整形后, 接到功率管 PMOS 和 NMOS 的栅极, 对 V_{SS} 和 V_{BB} 进行切换, 产生周期性的 V_{com} 电压信号。

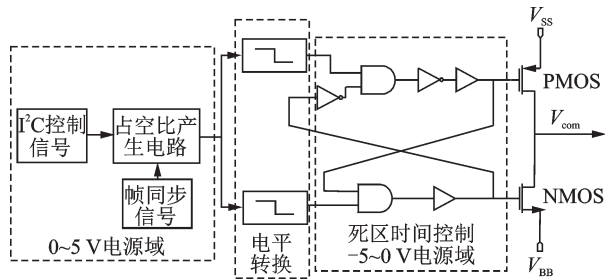


图 4 V_{com} PWM 电路架构示意图

Fig.4 Diagram of V_{com} PWM circuit architecture

文章提出的电平转换电路的结构如图 5 所示:

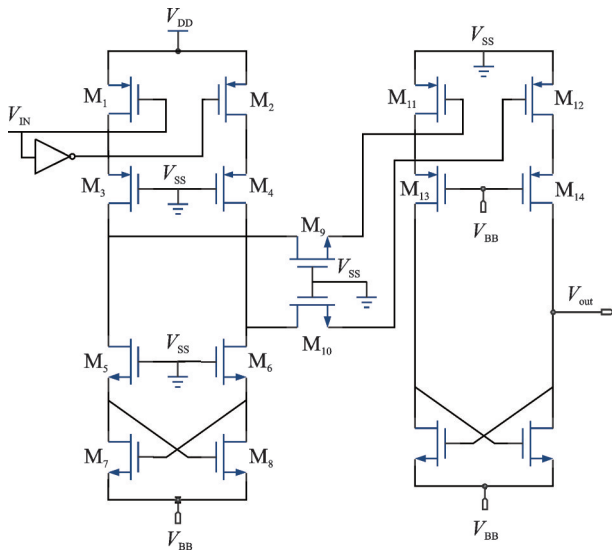


图 5 负压电平位移电路结构

Fig.5 Circuit of negative voltage level-shift

负压电平位移电路如图 5 所示, 该电路由 2 级共源共栅结构组成, 其中 V_{IN} 为输入信号, V_{DD} 为正电压电源, V_{SS} 为地, V_{BB} 为负电压电源, V_{OUT} 为电路输出信号。MOS 管 M1~M8 组成了第一级电路, 可将输入信号的电压摆幅由 0~ V_{DD} 转换为 V_{BB} ~ V_{DD} ,

M11~M16 组成了第二级位移电路, 可将前级信号摆幅由 V_{BB} ~ V_{DD} 转换为 V_{BB} ~0。

该位移电路采用共源共栅结构的目的是通过对共源共栅管施加合适的偏置电压以减小正负压电平转换过程中的高压应力^[8]。具体来说, M3 和 M4 的栅极被偏置在 0, 可以将 M1 管和 M2 管源漏两端最大电压由 $V_{DD} + V_{BB}$ 减小到 $V_{DD} - V_{THP}$, 其中 V_{THP} 为 PMOS 管的阈值电压, 即 M1 和 M2 两端最大电压从 10 V 减小到了 4.2 V 左右; 同理 M5 和 M6 的栅极被偏置在 0 V, 也起到了对 M3 和 M4 的保护作用, 可将 M3 和 M4 源漏两端的最大电压从 $V_{DD} + V_{BB}$ 减小到 $V_{BB} - V_{THN}$, 其中 V_{THN} 是 NMOS 管的阈值电压。第一级和第二级之间通过一对 NMOS 管 M9 和 M10 互联, NMOS 管的栅极偏置到 0 V, 可以将 M11 和 M12 的栅漏电压从 $V_{DD} + V_{BB} - V_{THP}$ 减小到 $|V_{BB} - V_{THP}| - V_{THN}$ 。

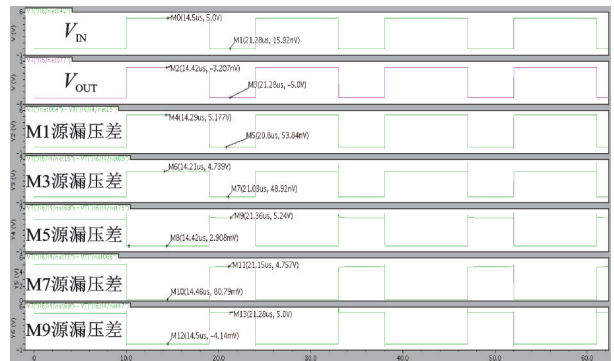


图 6 电平位移电路各节点电压仿真结果

Fig.6 Simulation results of voltage at each node of level-shift circuit

电平位移电路各节点的仿真结果如上图所示, 输入信号 V_{IN} 电平为 0~5 V, 输出信号 V_{OUT} 电平为 -5~0 V, 其中 M1、M3、M5、M7 和 M9 管的源漏端的压差在电压转换过程中均未有过电压应力的情况出现。

根据对硅基 OLED 屏在 $V_{com}=0$ V 和 -5 V 时消耗的最大功耗计算, 功率管 PMOS 和 NMOS 的 W/L 分别设计为 2 000/0.5 和 1 000/0.5。由于尺寸较大, 受栅极电压上升下降时延的影响, PMOS 和 NMOS 轮流导通时容易出现同时导通的情况, 此时瞬态电流较大, 不仅浪费功耗, 且容易造成器件烧坏, 因此需要设计死区时间控制电路。死区时间控制电路如图 7 所示, 将 PMOS 管和 NMOS 管的上升下降时延反馈到前级输入, 当一管完全关闭时, 另一管的控制信号才开始跳变。P 管和 N 管栅极信号的仿真结果如图 7 所示。可以看出, 只有其中一个

管子完全关闭时,才会打开另一个管子,两管不会同时导通。

负压PWM电路的整体仿真结果如图8所示, V_{com} 电压在-5 V和0 V之间周期性跳变,当占空比为40 %和60 %时, V_{com} 等效电压分别为-2 V和-3 V,此时流过OLED的电流成比例增加,因此OLED屏的灰阶特性可保持不变。

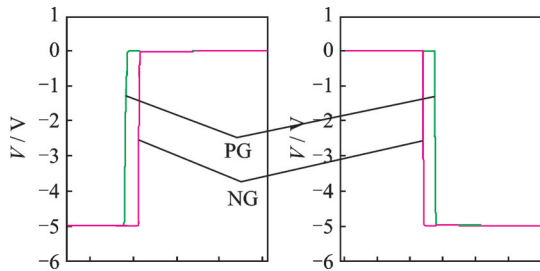


图7 PMOS管和NMOS管栅极电压上升下降时间仿真
Fig.7 Rising and falling time simulation results of gate voltage for PMOS and NMOS

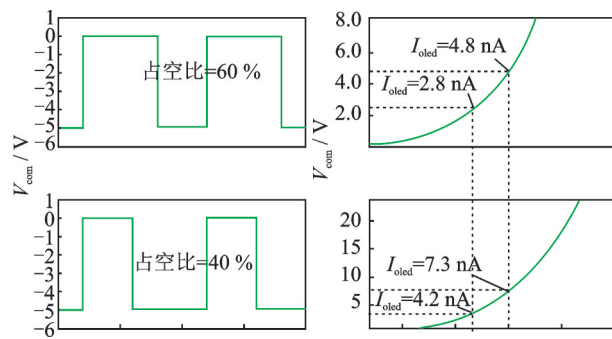


图8 不同 V_{com} 占空比电压下像素电流仿真结果
Fig.8 Simulation results of pixel current under different V_{com} duty cycle

设计的 V_{com} PWM电路的版图如图9所示。

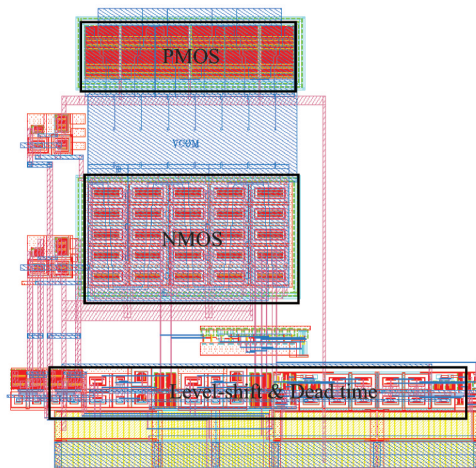
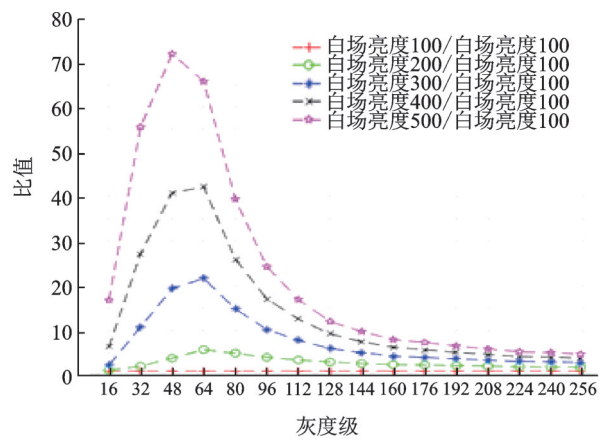


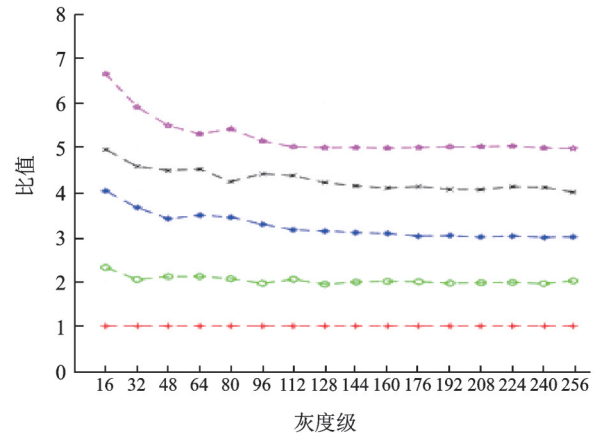
图9 V_{com} PWM模块整体版图
Fig.9 V_{com} PWM layout

3 测试结果

文章提出的PWM调亮电路在某彩色硅基OLED微显示器上进行了应用,为了方便地观察白场亮度分别为500 cd/m²、400 cd/m²、300 cd/m²、200 cd/m²以及100 cd/m²时在不同灰阶下的比例关系,将各白场亮度下的灰阶亮度都与100 cd/m²亮度时的灰阶亮度进行比较,两种调亮方式的测试结果如图10所示。



(a) V_{com} 电压调节



(b) V_{com} PWM方式调节

图10 硅基OLED屏不同调亮方式下的灰阶特征表现
Fig.10 Gray-scale characteristics of OLEDoS with different brightness adjusting modes

从图中可以看出,通过 V_{com} 电压幅值调亮时,灰阶特征完全不成比例,500 cd/m²时,比值甚至从5变化到70以上;通过PWM方式调亮时,不同亮度下各级灰阶特征基本按比例变化,灰阶特征改善明显。

4 总结

提出了一种可用于硅基 (下转第51页)