

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2022.01.008

硅基 OLED 驱动芯片温度反馈 PWM 电路设计

邱 伟^{1,2}, 秦昌兵^{1,2*}, 朱会成^{1,2}, 徐亭亭^{1,2}, 张白雪^{1,2}

(1. 中国电子科技集团公司第五十五研究所, 南京 210016; 2. 南京国兆光电科技有限公司, 南京 211100)

摘 要: 提出了一种可用于硅基 OLED 驱动芯片的温度反馈 PWM 调节电路。该电路能够根据温度变化自动对 OLED 阵列上的共阴极电压进行 PWM 调制, 从而实现温度变化时, 保持 OLED 微显示器屏幕亮度和灰阶特性不变。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, 当温度从 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 变化至 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 屏幕亮度与灰阶特征保持不变。研究解决了 OLED 微显示器屏幕亮度随温度变化, 传统共阴极电压调节方案会改变 OLED 的灰阶特性的问题。

关键词: 硅基有机发光二极管; 微显示; 温度反馈脉宽调制

中图分类号: TN873 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2022)01-0036-05

A Temperature Feedback PWM Circuit Design for Silicon-based OLED Driving Chip

QIU Wei^{1,2}, QIN Changbing^{1,2}, ZHU Huicheng^{1,2}, XU Tingting^{1,2}, ZHANG Baixue^{1,2}

(1. The 55th Research Institute of China Electronic Technology Group Corporation, Nanjing 210016, CHN; 2. Nanjing Guozhao Photoelectric Technology Co., Ltd., Nanjing 211100, CHN)

Abstract: A temperature feedback PWM adjustment circuit has been proposed. The circuit could automatically pulse width modulate the common cathode voltage according to temperature changes, so as to maintain the brightness and gray-scale characteristics of the OLED screen with the temperature changing. The circuit used 0.18 μm 1P6M mixed-signal technology to complete the circuit design and tape-out verification. Simulation and test results showed that when the temperature changed from $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, the screen brightness and grayscale characteristics remained unchanged. In the end, the problem about the brightness of the OLED screen changing with temperature, and the traditional solution changing the gray-scale characteristics were solved.

Key words: OLEDs; microdisplay; temperature feedback pulse width modulation

收稿日期: 2021-08-25

作者简介: 邱 伟 (1997—), 男, 硕士, 主要研究方向为基于硅基 OLED 的自适应温度补偿电路;

(E-mail: 774234900@qq.com)

秦昌兵 (1988—), 男, 硕士, 高级工程师, 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)

朱会成 (1995—), 男, 硕士, 助理工程师, 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。

*通讯作者

引言

硅基OLED微显示技术是近年来快速发展的新型技术之一,该技术以单晶硅半导体为有源驱动背板,将有机电致发光器件蒸镀其上,在电场驱动下,通过载流子注入与复合产生可见光^[1-2]。与其他显示技术相比,硅基OLED微显示技术更容易实现高像素密度和高集成度,且具有低功耗、工作温度宽等优点,是未来可穿戴显示设备的最佳选择之一^[3-5]。

由于OLED器件发光依赖于有机载流子的迁移与复合,而半导体中载流子浓度与温度相关,导致载流子迁移具有明显的温度特性。因此,OLED器件的*I-V*特性也受到温度影响,尤其是在较低和较高温下,载流子浓度变化较大,OLED发光亮度会有明显波动。为解决这一问题,使OLED微显示器在宽温度范围内保持亮度一致性,目前普遍采用的方案是改变OLED器件共阴极电压(V_{com})大小,以调节器件发光亮度。这种方案的缺点是改变 V_{com} 的大小会引起OLED发光的伽马(GAMMA)特性改变,从而导致屏幕灰阶特性变化,影响显示效果。

文中介绍了一种基于温度反馈的利用脉宽对 V_{com} 进行调制(Pulse Width Modulation, PWM)的电路方案,能够固定 V_{com} 电压值,避免屏幕灰阶特性变化。该方案可以根据温度的变化自动改变 V_{com} 电压占空比,从而调节每个像素单元的发光时长,达到在宽温度范围内维持OLED显示亮度一致性的目的。

1 OLED器件发光亮度的温度特性

OLED器件发光依靠半导体材料中载流子的迁移与复合,在外加电场作用下,阳极产生的空穴和阴极产生的电子会分别迁移至发光层,在发光层相遇时产生可见光。OLED器件发光强度与驱动电流成正比。然而,半导体材料的载流子密度受温度影响,若固定驱动电压,温度变化时,OLED器件的驱动电流大小也随之变化,从而导致器件发光亮度变化^[6-7]。

为得知OLED器件发光亮度与温度关系,测试多组不同温度下OLED微显示器亮度,并使用Matlab对所得数据进行拟合,得到如下指数函数模型:

$$L = L_0 \times m^{T-T_0} \quad (1)$$

其中, L 表示温度为 T 时的微显示器亮度, L_0 表示常温下的微显示器亮度, T_0 表示常温温度, m 为指数函数模型的参数,且 $m > 1$ 。

为使不同温度下OLED微显示屏发光亮度保持一致,目前多数方案是通过改变OLED器件的共阴极电压来控制流过其电流大小。然而,当共阴极电压发生改变,受MOS管*I-V*曲线非线性以及体效应影响,屏幕灰阶特性发生变化,导致显示效果明显变差。

如图1所示,当 V_{com} 电压由-4 V变为-5 V时,OLED微显示屏的灰阶特性发生改变。

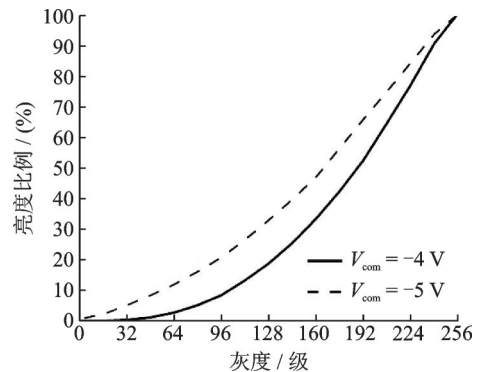


图1 屏幕在不同 V_{com} 下灰阶特性曲线

Fig.1 Gray-scale characteristic curves under different V_{com} voltages

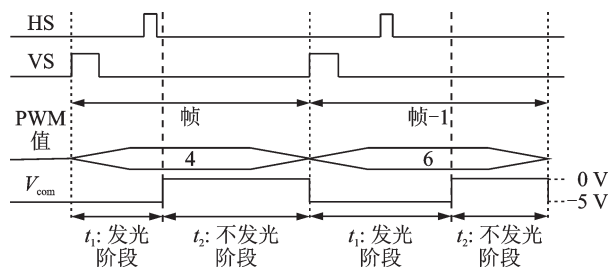
2 基于温度反馈的 V_{com} PWM调亮电路方法

2.1 V_{com} PWM调亮原理

由于亮度是光强辐射在人眼视网膜上的强度与作用时间的积分,因此,要使人眼感知的OLED微显示屏亮度不同,可以选择保持OLED器件发光强度不变,而改变其发光时间。基于此原理,可以将 V_{com} 电压设计为幅度一致而占空比不同的脉宽信号,以实现对其发光时间控制^[8]。

图2是OLED微显示芯片 V_{com} 电压用PWM进行调制的信号时序图。当 V_{com} 电压为低电平时,微显示屏发光,当 V_{com} 电压为高电平时,微显示屏不发光。

如图2时序所示,VS为帧同步信号,每一帧的开始,VS为高电平,此时读取PWM值,控制当前一帧时间内 V_{com} 的占空比。第 n 行像素在高电平时读

图2 V_{com} PWM时序示意图Fig.2 Diagram of V_{com} PWM sequence

取数据,并在 V_{com} 为低电平时发光显示,直到下一个高电平时再读取新的数据。可以看出,每一行像素在一帧内的发光时间均为 t_1 ,因此,调整 V_{com} 占空比,即改变 PWM 值可以控制屏幕显示亮度。

2.2 温度反馈 PWM 稳亮原理

PWM 调亮方案能够解决调节 V_{com} 导致屏幕灰阶特性变化的问题,为使屏幕亮度调节更加智能化,提出了温度反馈 PWM 稳亮方案,该方案以 PWM 调亮原理为基础,能够根据温度变化自动调节 V_{com} 占空比。

已知 OLED 微显示器亮度与温度变化满足公式(1),为使微显示器在全温范围内保持亮度 L_0 ,调节 OLED 器件发光时间即 V_{com} 电压脉宽的推导过程如下:

设一帧时间为 t_v ,温度为 T 时 OLED 器件在一帧时间内发光时间为 t ,那么温度为 T 时 OLED 器件在一帧时间内平均发光亮度为 L' :

$$L' = L_0 \times m^{T-T_0} \times \frac{t}{t_v} \quad (2)$$

设常温下 OLED 器件在一帧时间内发光时间为 t_0 ,那么常温下 OLED 器件在一帧时间内平均发光亮度为:

$$L'' = L_0 \times \frac{t_0}{t_v} \quad (3)$$

由公式(2)和(3)可以得出:为了使 OLED 器件在温度 T 时保持常温亮度,即 $L' = L''$,则温度 T 时, OLED 器件在一帧时间内发光时间为:

$$t = t_0 \times m^{T_0-T} \quad (4)$$

以微显示器一行时间为单位时间将发光时间 t 量化为发光时间级数,即 V_{com} 脉宽,控制 OLED 器件共阴极电压 V_{com} 打开的时间。常温下的 V_{com} 脉宽用 pwm_base 表示,则公式(4)可以转换为如下形式:

$$pwm_{(T)} = pwm_base \times m^{T_0-T} \quad (5)$$

其中, $pwm_{(T)}$ 表示温度为 T 时的 V_{com} 脉宽。

得到 V_{com} 脉宽与温度的关系表达式后,需要通过实际测试数据与计算拟合确定公式中的 m 的表达式。然而,实验过程中发现 m 的表达式过于复杂,需要大量测试数据,不利于应用。因此,采用分段线性近似的方法对式(5)进行拟合,极大地减少了测试数据量和计算量,同时也简化了电路实现。

该方法首先根据不同温度下 OLED 微显示屏亮度变化程度对温度区间进行划分,然后选择易于计算的一次函数对各区间进行拟合,再利用测试数据计算出各区间斜率,即可得到发光时间调制函数。由于使用一次函数进行拟合,每个区间仅需要两组测试数据即可计算出区间斜率,并得到该区间函数表达式,简化了测试数据和计算步骤。同时,该方法可以根据实际情况灵活进行区间划分,以得到最优效果。

本设计中,将 0°C 以下每 16°C 分为一个温度区间, 0°C 以上每 32°C 分为一个温度区间,常温将其所在的温度区间再分为两个温度区间。

计算每个温度区间端点对应的 V_{com} 脉宽和每个温度区间的 V_{com} 脉宽与温度之间的斜率,小于常温的温度区间以右端点为基准,大于常温的温度区间以左端点为基准,得到发光时间调制函数的分段线性拟合函数:

$$pwm_{(T)} = \begin{cases} pwm_base_{(i)} + |k_{(i)}| \times \Delta T & T < temp_base \\ pwm_base_{(i)} - |k_{(i)}| \times \Delta T & T > temp_base \end{cases} \quad (6)$$

其中, $pwm_{(T)}$ 表示第 i 个温度区间内温度为 T 时的 V_{com} 脉宽; $pwm_base_{(i)}$ 表示第 i 个温度区间作为基准的 V_{com} 脉宽; $k_{(i)}$ 表示第 i 个温度区间的斜率; ΔT 表示第 i 个温度区间内温度 T 与基准的温度差,其中 $\Delta T > 0$; $temp_base$ 表示常温。

图3是本设计得到的发光时间调制函数的分段线性拟合曲线图,其中横坐标表示温度读数,可以用于对驱动芯片的实际温度进行量化和标定,如 $temp_base=74$ 表示常温 25°C 的温度读数;纵坐标表示一帧时间内的 V_{com} 脉宽,其范围可以根据微显示器的视频信号分辨率进行调整,如图3中的 pwm_base 表示常温 25°C 下的 V_{com} 脉宽。 $pwm_a \sim pwm_f$ 为各温度区间端点的 V_{com} 脉宽, $k_1 \sim k_6$ 为各温度区间的斜率。

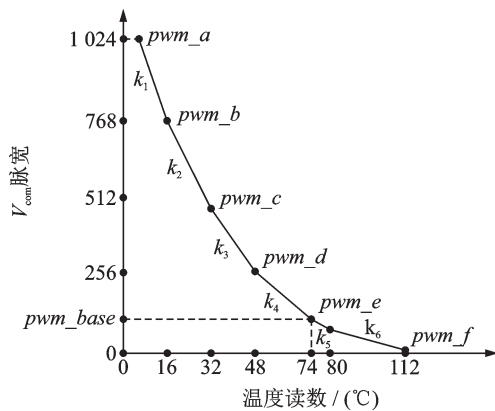


图3 调制函数分段线性拟合图

Fig.3 Modulation function linear fitting plot

2.3 基于温度反馈的PWM调节电路设计

文中设计的基于温度反馈的PWM调节电路如图4所示,OLED微显示器驱动芯片内含温度检测模块,能够实时检测驱动芯片温度,并将检测到的温度转化为8位数字码并由I2C接口送入占空比产生电路。占空比产生电路是将上一节得到的发光时间调制函数通过Verilog代码实现,并转化为数字电路得到的电路模块,且已集成在芯片中。将8位温度数字码送入占空比产生电路后,该模块即可将对应温度下OLED器件 V_{com} 脉宽以脉宽调制(PWM)波形输出,并作为 V_{com} 电压开关波形,控制共阴极电压 V_{com} 在一帧时间内的打开时间。由此,就能够实现OLED微显示器在较宽温度范围内保持亮度一致性的目的。

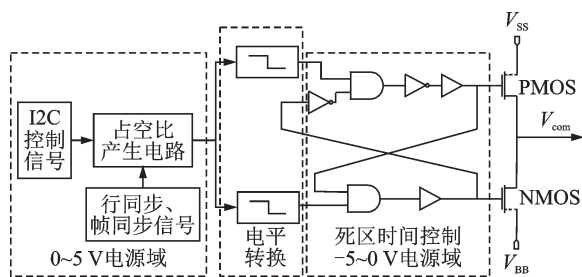


图4 温度反馈PWM电路结构图

Fig.4 Structural diagram of temperature feedback PWM circuit

3 测试结果

文章设计的基于温度反馈的PWM电路在OLED微显示器上进行了应用,测试结果如下图所示。首先,确定常温下的 V_{com} 脉宽以及温度反馈曲线在不同温度区间内的斜率,然后,在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内对芯片亮度进行测试。

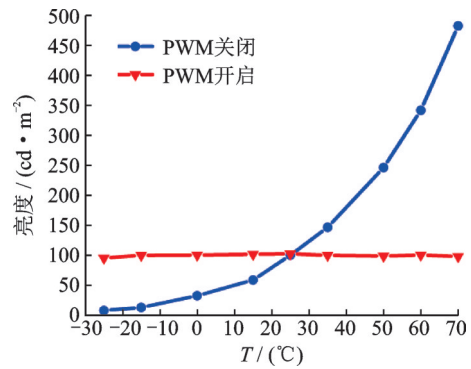
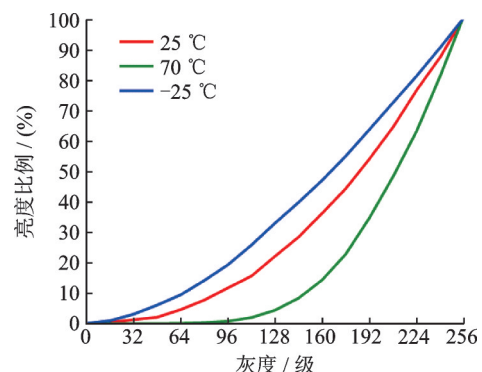


图5 不同温度下OLED屏幕亮度测试结果

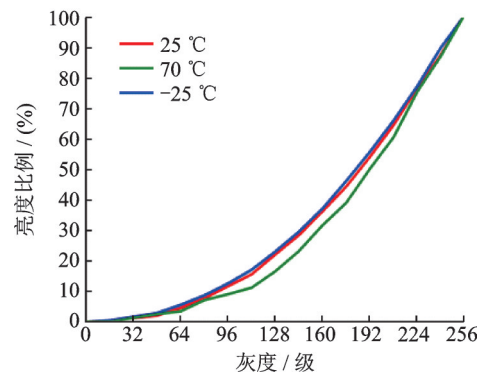
Fig.5 Test results of OLED screen brightness at different temperatures

由上图可知在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 区间内,当PWM调亮电路关闭时,该OLED微显示器亮度与常温下差距最大可达 380 cd/m^2 ,当PWM调亮电路开启时,该OLED微显示器亮度与常温下亮度差小于 4.57 cd/m^2 。

在 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,对采用 V_{com} 调亮方式和PWM调亮方式的OLED屏幕灰阶分别进行测试,得到结果如图6。可以看出,采用PWM调亮方式,不同温度下屏幕的灰阶一致性明显优于采用 V_{com} 调亮方式。



(a) 采用 V_{com} 调亮时测试曲线



(b) 采用PWM调亮时测试曲线

图6 不同温度下灰阶测试曲线

Fig.6 Grayscale test curves at different temperatures

4 总 结

文章提出了一种可用于硅基 OLED 驱动芯片的温度反馈 PWM 调节电路。该电路能够实时检测当前温度变化,并根据检测结果产生对应的 PWM 波形,以调制加在 OLED 阵列上的共阴极电压,从而在温度变化时,保持 OLED 微显示器屏幕亮度和灰阶特性不变。电路采用 $0.18\ \mu\text{m}$ 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,当温度从 $-25\ ^\circ\text{C}$ 至 $70\ ^\circ\text{C}$ 变化时,屏幕亮度与灰阶特征保持不变。

参 考 文 献

- [1] 张白雪,秦昌兵,任健雄,等.一种高分辨率硅基 OLED 驱动芯片设计[J].光电子技术,2016,36(4):265-269.
 [2] 田定宝.硅基有源 OLED 驱动电路的研究与设计[D].合肥:合

肥工业大学,2008.

- [3] Prache O. Full-color SVGA+ OLED-on-silicon microdisplay [J]. Journal of the SID, 2002, 10(2): 133-138.
 [4] Celii F G, Jacobs S J, Kim T S. Organic LED structure with improved efficiency[C].Lasers and Electro-Optics Society Annual Meeting, LEOS97 10th Annual Meeting, Conference Proceedings, IEEE, San Francisco, CA, 1997, 1:366-367.
 [5] Wartenberg Philipp, Buljan Marina, Richter Bernd, et al. High frame-rate 1" WUXGA OLED microdisplay and advanced free-form optics for ultra-compact VR headsets [J]. SID Digest, 2018, 40(5): 514-517.
 [6] 张雷,吴华夏,胡骏涛.一种 OLED 显示参数温度自适应设计[J].光电工程,2011,38(2):127-131.
 [7] Jongwoon-Park, Kawakami Yoichi. Temperature dependent dynamic behaviors of organic light-emitting diode [J]. Journal of Display Technology, 2006, 2(1):333-340.
 [8] 张春燕,陈文栋,季渊,等.基于 OLED 微显示器的原子扫描控制器设计[J].液晶与显示,2019,34(4):396-402.



(上接第 35 页)

参 考 文 献

- [1] Sun Guiqing, Li Qihu, Zhang Bin. Acoustic vector sensor signal processing[J]. Chinese Journal of Acoustics, 2006, 1:491-498.
 [2] 孟洲,胡永明,熊水东,等.全保偏光纤水听器阵列[J].中国激光,2002, 29(5):415~417.
 [3] 陈伟.远程干涉型光纤传感系统非线性效应影响及其抑制技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2013.
 [4] 胡永明,孟洲,熊水东,等.干涉型全保偏光纤水听器阵列研制[J].声学学报,2003, 28(2):155-158.
 [5] 熊水东,罗洪,胡永明,等.干涉型保偏光纤微振动矢量传感器研究[J].中国激光,2004, 31(7):843-847.
 [6] Kirkendall C K, Dandridge A. Overview of high performance fibre-optic sensing [J]. Journal of Physics D-applied Physics, 2004, 37(18):197-216.
 [7] Kersey A D, Marrone M J, Dandridge A. Observation of input-polarization-induced phase noise in interferometric fiber-optic sensors[J]. Optics Letters, 1988, 13(10):847.
 [8] Jaroszewicz L R, Marc P. Inline fiber-optic polarization analyzers for sensor application [J]. Sensors Journal IEEE, 2003, 3(1):71-79.
 [9] 吴悦峰,肖浩,张松伟,等.基于法拉第旋转镜的 Michelson 干涉仪偏振相位噪声研究[J].光电子·激光,2008, 19(11):1446-1449.
 [10] 梁迅.光纤水听器系统噪声分析及抑制技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2008.

- [11] 孟洲.基于光频调制 PGC 解调的光纤水听器阵列技术研究[D].长沙:国防科学技术大学,2003.
 [12] Tsai C D, Huang H H, Tsao S L, et al. Error reduction of referenced intensity-based optical fibre sensor by adaptive noise canceller[J]. Electronics Letters, 2002, 33(11):982-983.
 [13] Ho H P, Lo K C, Fong W L, et al. Passive phase demodulation and laser-noise compensation scheme for fibre interferometers. [J]. Electronics Letters, 2000, 36(16):1362-1363.
 [14] 吴晓冬,陈军,陈哲敏.一种新型温度自适应光纤光栅动态传感系统[J].强激光与粒子束,2005, 17(12):1773-1777.
 [15] Kersey A D, Berkoff T A. Passive laser phase noise suppression technique for fiber interferometers[J]. Fiber Optic and Laser Sensors VIII, 1991, 1367: 310-318.
 [16] 牛嗣亮,廖毅,饶伟,等.干涉型光纤法布里-珀罗传感系统抗噪方法的实验研究[J].光学学报,2012, 32(1):52-56.
 [17] 申爽,唐祯安,李彤.基于自适应噪声抵消的光电二极管阵列探测器[J].光电子·激光,2006, 17(5):573-577.
 [18] 吴艳群,罗洪,胡正良,等.光纤矢量水听器系统本底噪声的自适应抵消[J].中国激光,2011, 8(3):154-158.
 [19] 曹春燕,吴艳群,熊水东,等.光纤水听器系统光纤传输噪声的自适应消除[J].光电工程,2012, 39(10):83-88.
 [20] 钟秋文.光纤海底地震检波系统低频噪声自适应消除技术[D].长沙:国防科技大学,2017.
 [21] Cai Yunfei, Yu Zhihua, Mo Daili, et al. Noise reduction with adaptive filtering scheme on interferometric fiber optic hydrophone[J]. Optik, 2020, 211:164648.
 [22] 何振亚.自适应信号处理[M].北京:科学出版社,2002.