

# 基于 IGZO 薄膜晶体管的高可靠性 时分驱动 GOA 电路

周刘飞<sup>1</sup>, 邵贤杰<sup>2</sup>, 王海宏<sup>2</sup>, 王保平<sup>1</sup>

(1. 东南大学电子科学与工程学院, 江苏南京 210096; 2. 南京京东方显示技术有限公司研发部, 江苏南京 210033)

**摘要:** 本文提出一种新颖的基于 IGZO (Indium Gallium Zinc Oxide) 薄膜晶体管的双向扫描集成栅极驱动 (Gate Driver on Array, GOA) 电路, 特别适用于 in-cell 触控显示. 本文提出的 GOA 电路采用时分驱动方式 (Time-Division Driving Method, TDDM) 实现高报点率的 in-cell 触控, 并防止触控信号失真. 该 GOA 电路支持扫描-暂停-重启模式, 即输出几十个连续的显示寻址扫描脉冲后, 栅极驱动输出暂停以执行触控探测. 在触控探测期间, GOA 电路中的 Touch 控制单元开始工作, 使所有栅极输出低电位以消除显示驱动信号对触控的干扰. 此外, 本文提出的 GOA 电路采用双低电平维持 (Low Level Maintaining, LLM) 模块, 能有效抑制 LLM 晶体管的阈值电压漂移. 电学模拟结果表明, 本文提出的 GOA 电路无论工作于正向还是反向扫描, 均能产生均匀的输出波形, 并且停坑级的输出波形与正常级波形一致. 采用 IGZO 晶体管制作了 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板以验证本文提出的 GOA 电路, 支持 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率. 此外, 借助工艺与设计优化, 进一步提高 GOA 电路在恶劣环境下的使用寿命, 成功通过高温高湿 (85 °C/85%) 操作 500 h 的可靠性测试.

**关键词:** IGZO 薄膜晶体管; 集成栅极驱动; 时分驱动法; 可靠性; 阈值电压漂移; 内置触控

**中图分类号:** TN321.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2023)12-3463-10

**电子学报 URL:** <http://www.ejournal.org.cn>

**DOI:** 10.12263/DZXB.20230367

## Highly Reliable Gate Driver on Array Circuit Using Time-Division Driving Method Base on IGZO Thin Film Transistor

ZHOU Liu-fei<sup>1</sup>, SHAO Xian-jie<sup>2</sup>, WANG Hai-hong<sup>2</sup>, WANG Bao-ping<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Science and Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. Research and Development Department, Nanjing BOE Display Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210033, China)

**Abstract:** This paper presents a novel bidirectional gate driver on array (GOA) circuit based on IGZO (Indium Gallium Zinc Oxide) thin film transistor (TFT), especially for use in in-cell touch displays. The proposed GOA circuit exploits the time-division driving method (TDDM) to implement the in-cell touch panels with a high report rate and prevent the distortion of touch signals. This GOA circuit can operate in a scanning-pausing-restarting mode, i.e., after outputting dozens of continuous scanning pulses of display addressing, the gate driver outputs pause for touch sensing periods. During the time interval for touch operation, touch control unit of proposed GOA is started to work, so that all gate lines will output low potential in order to eliminate interferences from display driving signals. Moreover, the proposed GOA utilizes dual low-level maintaining (LLM) units to suppress threshold voltage shift of LLM TFTs. The operation principle of the GOA is described in detail. The simulated results illustrate that the proposed GOA circuit generates uniform output waveforms regardless of whether the circuit operates in forward or backward scanning, and output waveform in touch holding stage is almost identical to that in normal stage. We fabricated 10.4 inches in-cell touch display panel using IGZO TFT to assess the proposed GOA, and 90 Hz display with 180 Hz touch reporting rate can be perfectly supported. Moreover, the lifetime of GOA circuit under harsh environment is further improved with process and design optimization, the reliability test such as operation at high temperature and humidity (85 °C/85%) 500 hours has been successfully passed.

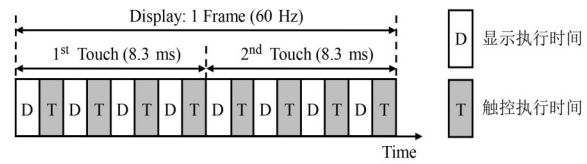
**Key words:** IGZO thin film transistor; gate driver on array; time division driving method; reliability; threshold voltage shift; in-cell touch

## 1 引言

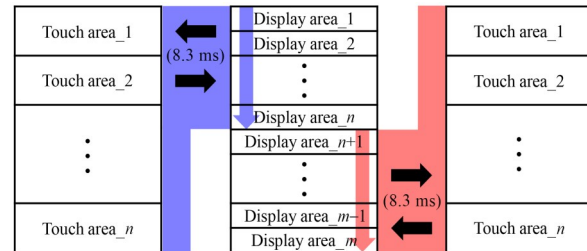
近年来,触控屏已成为各类信息显示(如手机、平板电脑和笔记本电脑)的主流界面,使人机交互更加顺畅、自由和直接. 最先进的 in-cell 自容式触控技术更受关注,因为其将触控电极集成于显示单元内部,实现最轻薄化、高集成度、高透过率、低成本化等<sup>[1-3]</sup>. 然而, in-cell 触控显示的像素电极、公共电极和触控 Sensor 均位于同一 TFT 基板上,触控线与显示信号线(栅极线和数据线)密集交叉,形成许多寄生电容. 当显示信号在触控侦测操作期间摆动时,触控信号可能会由于寄生电容的耦合效应而失真,导致触控系统信噪比(Signal to Noise Ratio, SNR)的降低. 为解决这个问题, Lee 等人<sup>[4]</sup>提出了缩短一帧的总扫描时间,利用剩余时间执行触控侦测的驱动方法,然而该方法的显示刷新率与触控报点率相等,因此触控侦测的精度受到限制. Kim 等人<sup>[5]</sup>提出了时分驱动方法(Time Division Driving Method, TDDM),该方法在一帧内执行多次触控侦测以更精准地确定触摸位置与轨迹,实现触控报点率达到 120 Hz,为显示刷新率的两倍.

TDDM 如图 1 所示, in-cell 触控显示屏的显示与触控分别被划分为  $m$  与  $n$  个分区,其空间分区与时间分区是一一对应关系,即图 1(b)中的 Display\_1 分区同时代表空间分区 1 与时间分区 1, Display\_2 分区等依次类推. 首先 Display\_1 分区刷新该区域的画面显示,然后 Touch\_1 分区执行该区域的触控侦测;以相同的方式, Display\_2 至 Display\_n 分区与 Touch\_2 至 Touch\_n 分区,依次交替操作; Touch\_n 分区触控侦测执行后, Display\_{n+1} 至 Display\_m 分区与 Touch\_1 至 Touch\_n 分区,再依次交替操作. 因此,当整个显示区域(Display\_1 至 Display\_m 分区)被操作 1 遍时,整个触控区域(Touch\_1 至 Touch\_n 分区)被操作 2 遍.

薄膜晶体管集成栅极驱动(Gate driver on array, GOA)已成为高分辨率窄边框显示面板的主流技术<sup>[6,7]</sup>,外围栅极驱动器的集成,增强了显示器的紧凑性,且简化了模组流程以降低成本. 尽管 GOA 技术已经被广泛应用于各类薄膜晶体管液晶显示(Thin Film Transistor-Liquid Crystal Display, TFT-LCD)产品,但是支持时分驱动的 in-cell 触控 GOA 设计仍然具有挑战性. 对于传统 LCD(Liquid Crystal Display)显示,GOA 驱动为整个显示帧提供连续的行扫描脉冲<sup>[8,9]</sup>. 相反,对于时分驱动 in-cell 触控显示,则需要不连续的行扫描脉冲<sup>[10]</sup>. 这是由于在触控期间,GOA 所有级输出需保持低电位(VGL),以最大限度地减少显示驱动信号对触控侦测的干扰. 此外,为获得更好的显示品质并减少触控侦测相关的显示问题,优选的触控操作均匀分布于显示帧内<sup>[11,12]</sup>,而不是在显示帧的末端,如图 1 所示.



(a) 时序示意图



(b) 60 Hz 显示刷新率与 120 Hz 触控报点率的操作过程

图 1 时分驱动的显示触控示意图

通俗地讲,支持时分驱动 TDDM 的 GOA 电路,被要求工作在扫描-暂停-重启模式,即输出数 10 个连续的显示寻址扫描脉冲后,GOA 输出暂停并执行触控侦测. 完成触控侦测后,GOA 重新启动以继续进行显示寻址,因此重新启动电荷在触控周期内需良好地保持. 目前,支持该模式的 GOA 电路主要有 2 种类型. Moon 等人<sup>[13]</sup>报道了第 1 种类型,当显示扫描暂停用以触控侦测时,重启电荷由缓冲晶体管的栅极保持而无泄漏. 然而,虽然这种 GOA 电路结构简洁,TFT 数量少,但是该 GOA 仅适用于低温多晶硅(Low Temperature Poly Silicon, LTPS)薄膜晶体管,因为触控侦测过程中,与普通级的其他缓冲晶体管相比,用于存储重启电荷的缓冲晶体管承受数倍时间的正电压偏置. 若采用非晶硅(amorphous-Silicon, a-Si)薄膜晶体管,该类型的 GOA 电路在长期可靠性测试,易发生 GOA 输出波形及显示亮度的不均匀性<sup>[14]</sup>. Lin 等人<sup>[15,16]</sup>报道了第 2 种类型的基于 a-Si 晶体管的 GOA 电路,通过增加额外的电容来存储重启电荷. 该 GOA 电路的优点是由于缓冲晶体管在触控侦测期间均被关闭,所有缓冲晶体管的电压偏置条件几乎相同;但是存在额外的电容和相关的驱动 TFT 使 GOA 电路复杂化的缺点. 此外,双向扫描的栅极驱动功能对扩展显示应用场景是必要的,然而,同时实现具有双向扫描与重启电荷保持功能的 in-cell 触控显示 GOA 电路并不容易<sup>[17,18]</sup>.

2004 年, Nomura 等人提出非晶 IGZO (Indium Gallium Zinc Oxide, IGZO) 可用作半导体沟道材料. IGZO 薄膜晶体管凭借其优异特性,如高迁移率(大于  $8 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ )、低漏电流(小于  $10^{-12} \text{ A}$ )、低亚阈值摆幅(小于  $0.3 \text{ V}/\text{dec}$ )、高均一性(G8.5 代线)等,引起人们对它的极大研究兴趣<sup>[19]</sup>. IGZO 薄膜晶体管的这些优势也

促进了该半导体技术的飞速发展,IGZO 已成为新一代显示应用的驱动背板,满足了消费者对超高清、超高刷与超低功耗的迫切需求<sup>[20]</sup>. 同时,学术界与产业界针对 IGZO 集成栅极驱动技术都进行了诸多研究,针对 IGZO 薄膜晶体管长期工作状态下的阈值电压(Threshold Voltage,  $V_{TH}$ )漂移问题<sup>[21-24]</sup>,提出多种优化的 GOA 电路设计方案,并将它们成功应用于高分辨率高刷新率显示<sup>[25-27]</sup>. 然而,应用于 in-cell 触控显示并且支持时分驱动的 IGZO GOA 电路少有报道. 本文提出了基于 IGZO 薄膜晶体管的 in-cell 触控显示用 GOA 电路,并且支持双向扫描与时分驱动功能. 该 GOA 电路设计了 Touch 控制模块,工作于扫描-暂停-重启模式,避免显示驱动对触控信号的干扰,提高了 in-cell 触控侦测的信噪比. 此外,本文提出的 GOA 电路采用双维持模块交替工作,有效抑制了晶体管  $V_{TH}$  漂移. 首先,本文详细介绍了该 GOA 电路的工作原理及步骤,并进行了相关电学仿真;其次,采用本文提出的 IGZO GOA 电路,成功驱动了 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板,实现了 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率;最后,针对最严苛的可靠性测试(高温 85 °C、湿度 85%)发生的 GOA 输出异常,本文分析了不良发生机理,并提出了更优化的工艺与设计方案.

## 2 In-cell 触控显示

图 2(a)是本文的 in-cell 触控显示面板的示意图,使用触控与显示驱动器集成(Touch and Display Driver

Integration, TDDI),同时实现 LCD 显示驱动与 Touch 侦测. 将常规的边缘场开关(Fringe Field Switching, FFS)模式 LCD 显示的 Com 电极均匀分割为多数个小块,并分别由各自的 Sense 线引出至 TDDI-IC. 其中,每一个 Com 分块均为一个触控 Sensor,实现多点自容式触控. 这些金属制成的 Sense 线,不会影响 LCD 显示性能和触控 Sensor 尺寸,由于其位于分块 Com 电极下方且在像素的黑矩阵区域内. 本文 10.4 英寸 LCD 面板集成的触控 Sensor 数量为 1 440 个(30×48),每个 Sensor 尺寸为 4.512 mm×4.7 mm, Sensor 之间的间隙为 5 μm,触控 Sensor 的小尺寸化与小间隙化,有利于实现高精度的位置侦测. 此外,本文提出的 GOA 电路支持正反双向扫描,如图 2(a)所示,GOA 从上往下扫描传输为正向扫描,GOA 从下往上扫描传输为反向扫描.

图 2(b)显示了本文提出的 in-cell 触控 FFS 像素版图,较之常规的 FFS 像素,增加了 Sense 线与 Sense 孔, Sense 线平行于 Source 线设置,触控 Sensor 由分块的 Com 电极构成, Sense 孔用于导通连接 Sense 线与触控 Sensor. 图 2(c)是 in-cell 触控 FFS 像素的截面示意图. 本文采用背沟道刻蚀型(Back Channel Etch, BCE)IGZO 薄膜晶体管,具有高迁移率、大开态电流、小寄生电容等优点,提升了 GOA 与像素驱动能力,有利于实现 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率. Sense 线与 Source 线由同一层金属制作,省去了一些 in-cell 触控显示所需的

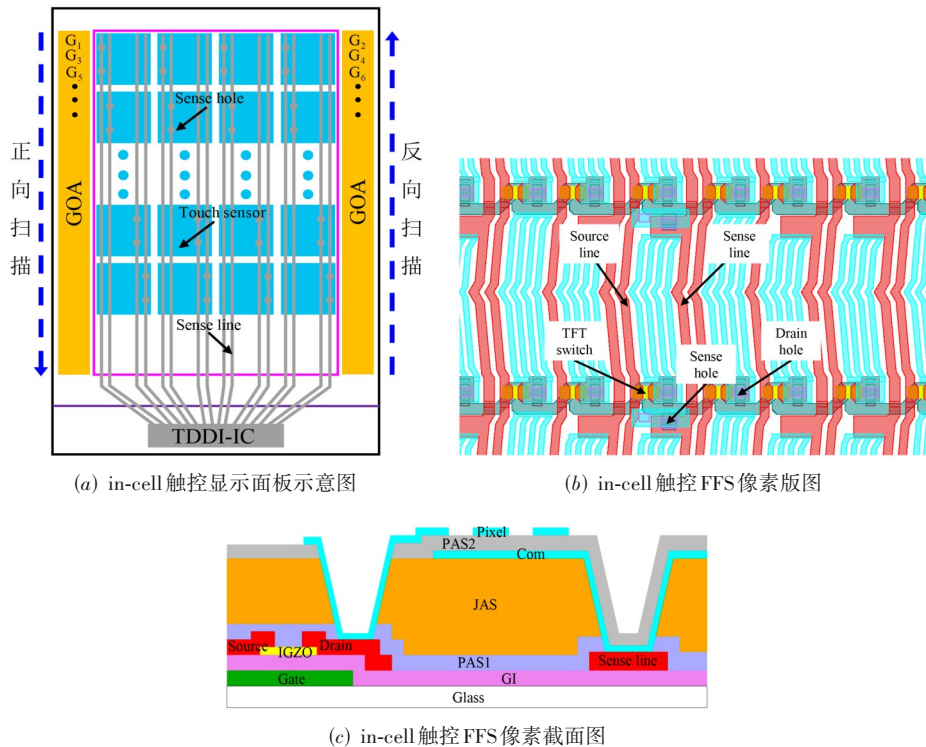


图2 本文的 in-cell 触控显示架构

第三金属层和绝缘层. 有机绝缘层 JAS 用于增加像素的开口率, 并减少寄生电容, 以提高显示质量和触控性能. 如图 2(c) 所示, 本文的 in-cell 触控显示像素的主要工艺流程如下: 制作 Ti/Cu 金属(膜厚 35/300 nm)的栅极 Gate; 采用  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  (膜厚 355/55 nm) 制作栅极绝缘层 GI, 定义 GI 通孔; 制作 IGZO (膜厚 85 nm) 沟道层; 制作 MoNb/Cu 金属(膜厚 35/300 nm)的源漏极与 Sense 线等; 采用  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  (膜厚 300/50 nm) 制作第一钝化层 PAS1; 制作有机绝缘层 JAS(膜厚 2 300 nm), 定义 JAS 通孔; 采用 ITO(膜厚 70 nm)制作公共电极 Com; 采用  $\text{SiN}_x$  (膜厚 200 nm) 制作第二钝化层 PAS2, 定义 PAS 通孔; 采用 ITO(膜厚 70 nm)制作像素电极 Pixel.

### 3 时分驱动 GOA 电路

本文提出一种基于 IGZO 薄膜晶体管的时分驱动 GOA 电路, 实现 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率. 提出的 GOA 电路工作于扫描-暂停-重启模式, 即输出数十个连续的显示寻址扫描脉冲后, GOA 输出暂停以用于执行触控侦测, 随后 GOA 重新启动继续输出连续的扫描脉冲信号, 每帧 GOA 输出多次暂停用于执行

多次触控以实现高报点率. 图 3 显示了 IGZO 时分驱动 GOA 电路的级联框图, 由于 IGZO TFT 的高迁移率特性, 采用单边驱动以减小 GOA 电路版图面积, 实现更窄边框. 左侧 GOA 驱动单数级 Gate, 右侧 GOA 驱动偶数级 Gate, 使用 CK1~CK8 共计 8 个时钟信号. 值得一提的是, 已有报道的时分驱动 GOA 电路, 一类是基于 LTPS 薄膜晶体管, 如文献[11, 13], 另一类是基于 a-Si 薄膜晶体管, 如文献[15~17]. LTPS GOA 的优势是由于 TFT 电子迁移率高, GOA 电路版图面积小且功耗低, 且易于实现高刷新率与高报点率; 然而存在由于 TFT 工艺复杂且器件均一性较差的劣势, 导致生产成本高且难以制作于大尺寸的高世代线. a-Si GOA 的优势是 TFT 工艺简单, 易量产于高世代线且成本低, 但是 a-Si 电子迁移率低, 导致 GOA 电路占用面积大且功耗较高, 较难实现高刷新率与高报点率. IGZO 薄膜晶体管具有高迁移率、低漏电流的器件特性, 同时保持了工艺简单、均一性好、大尺寸化的制造优势, 因此本文提出的 IGZO 时分驱动 GOA 电路版图面积小且功耗低, 同时支持高刷新率与高报点率, 并且可量产于 G8.5 高世代线.

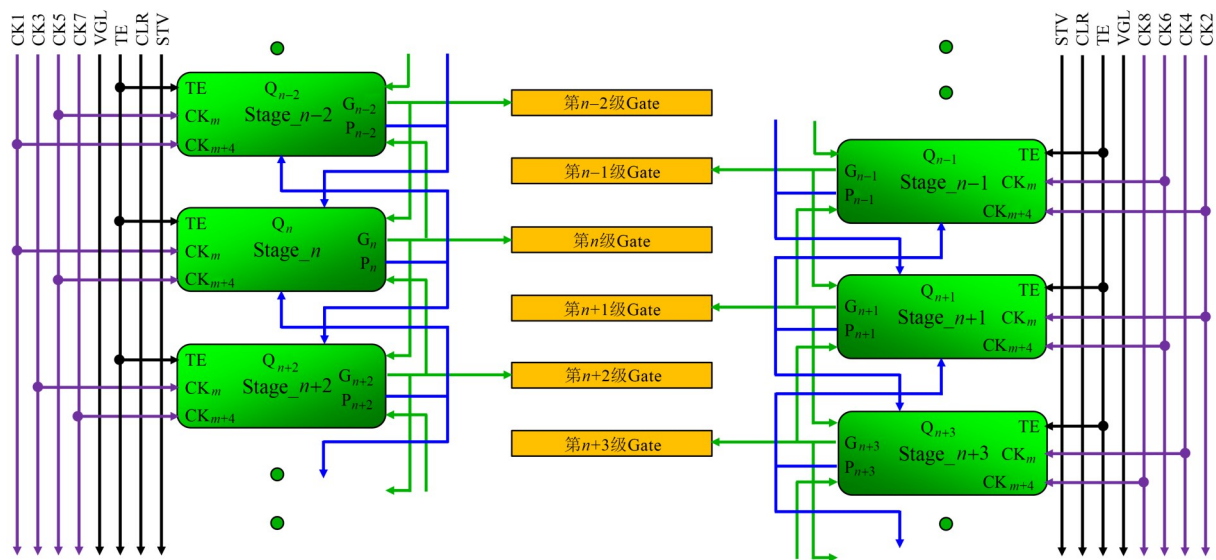
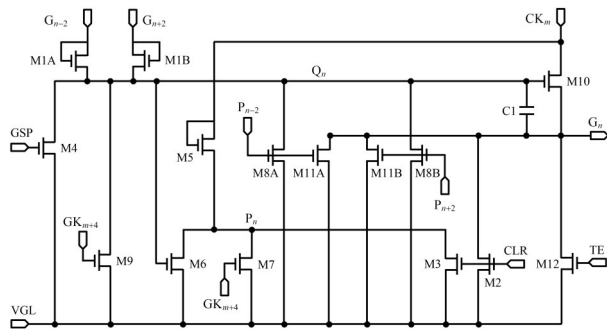


图3 IGZO时分驱动GOA电路的级联框图

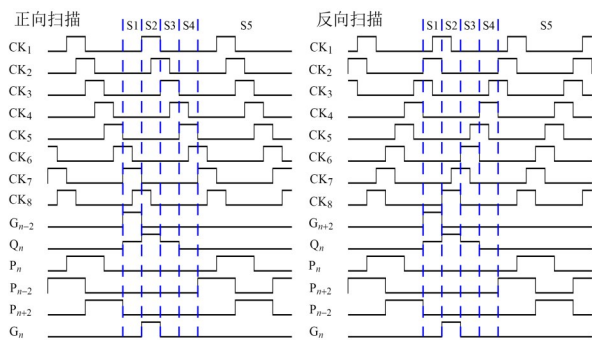
本文提出的 IGZO 时分驱动 GOA 电路支持双向扫描, 且具有双维持模块, 如图 4(a) 所示, 共计包含 15 个 TFT 与 1 个自举电容 C1, 可分为 7 个模块: (1) 上拉控制模块 M1A 与 M1B (M1A 用于正向扫描, M1B 用于反向扫描); (2) 上拉模块 M10; (3) 下拉模块 M9; (4) 反相器 M5/M6; (5) 双低电平维持模块, M8A/M11A 构成 A 组, M8B/M11B 构成 B 组, A/B 两组低电平维持模块交替工作; (6) 清空模块 M2/M3/M4; (7) Touch 控制模块 M12.  $G_n$  是 GOA 电路的第  $n$  级 Gate 输出,  $Q_n$  用于打开 M10 对

$G_n$  进行上拉与下拉, 从而生成 Gate 脉冲信号. 图 4(b) 显示了提出的 GOA 电路正向与反向扫描的相应时序图. 结合图 4(a) 和 (b), 以 in-cell 触控显示面板为正向扫描时  $G_n$  (第  $n$  级 Gate 输出) 为例, 该 GOA 电路的操作可分为以下 5 个阶段: (1)  $Q_n$  上拉阶段,  $G_{n-2}$  输出高电平时, M1A 打开,  $Q_n$  充入高电平电压, 因此 M10 打开, CK<sub>1</sub> 为低,  $G_n$  输出低电平; (2)  $G_n$  上拉阶段, CK<sub>1</sub> 由低电平变为高电平, 此时 M10 处于打开状态, 使  $G_n$  输出高电平, 且  $Q_n$  由于 C1 耦合效应自举至更高电位, 这加速  $G_n$  上拉至

VGH; (3)  $G_n$  下拉阶段,  $CK_1$  由高电平变为低电平, 此时  $Q_n$  仍为高电平, 因此  $G_n$  输出低电平 VGL; (4)  $Q_n$  下拉阶段, 当  $CK_5$  由低电平变为高电平, M9 打开, 将  $Q_n$  由高电平拉低为低电平; (5)  $Q_n$  与  $G_n$  维持阶段, 此时维持模块的晶体管 M8A/M11A 与 M8B/M11B 交替被打开, 将  $Q_n/G_n$  维持于 VGL, 避免信号波动. 此外, 当 in-cell 触控显示面板为反向扫描时, 首先,  $G_{n+2}$  输出高电平, 在  $Q_n$  上拉阶段打开 M1B, 使  $Q_n$  充入高电平. 接下来, 反向扫描的操作与上述正向扫描的操作类似, 仅 CK 波形不同, 如图 4(b) 所示.



(a) 原理图



(b) 时序图

图 4 提出的 IGZO 时分驱动 GOA 电路

本文创新性地提出一种新颖的双低电平维持模块, 利用 GOA 自身输出信号  $P_{n-2}$  与  $P_{n+2}$  分别控制 M8A/M11A 与 M8B/M11B, 交替维持  $G_n/Q_n$  于低电平 VGL, 此设计无须增加额外的外置输入信号及驱动晶体管. 传统 GOA 的低电平维持 (Low Level Maintaining, LLM) 晶体管长期处于正偏压状态, 导致  $V_{TH}$  偏移严重, 从而影响 GOA 电路的使用寿命. 本文提出的双维持模块交替工作, LLM 晶体管始终处于双极性脉冲偏压 (Bipolar Pulse Bias, BPB) 状态, 有效抑制晶体管的  $V_{TH}$  漂移, 提升 GOA 电路寿命. 如图 4(b) 中的 S5 阶段,  $P_{n-2}$  与  $P_{n+2}$  交替输出高电平, 将  $Q_n/G_n$  维持于 VGL. 当  $P_{n-2}$  为 VGH、 $P_{n+2}$  为 VGL 时, M8A/M11A 打开并处于正电压偏置, M8B/M11B 关闭并处于负电压偏置. 当  $P_{n-2}$  为 VGL、 $P_{n+2}$  为 VGH 时, M8A/M11A 关闭并处于负电压偏置,

M8B/M11B 打开并处于正电压偏置. 因此, M8A/M11A 与 M8B/M11B 交替打开, 且均处于双极性脉冲偏置状态. 负电压偏置的补偿效应, 减缓了 LLM 晶体管  $V_{TH}$  的正向漂移, 因此可以有效抑制  $V_{TH}$  漂移.

图 5 显示了本文时分驱动 GOA 电路输入与输出信号的时序波形. 如图 5 所示,  $G_{n-1}/G_n/G_{n+1}$  的 VGH 高电平, 分别由  $CK_8/CK_1/CK_2$  产生, 依此类推.  $G_{n-1}$  与  $G_{n+6}$  分别是触控停坑级之前与之后的正常级,  $Q_{n-1}$  与  $Q_{n+6}$  的高电平时间为 23.4  $\mu$ s. 从  $G_n$  至  $G_{n+5}$  是触控停坑级, 因此从  $Q_n$  至  $Q_{n+5}$  的高电平时间需要再延长 180  $\mu$ s (用于触控侦测的时间). 在触控侦测期间, 所有 CK 信号 ( $CK_1 \sim CK_8$ ) 的摆动都会暂停, 且保持为 VGL 电位, 以防止寄生电容耦合效应引起的触控信号失真. 在触控侦测期间,  $G_{n-1}$  和  $G_{n+6}$  级的 Q 节点保持在 VGL 电位, 但它们的 P 节点不能保证为 VGH, 由于所有 CK 信号都被下拉到 VGL 导致 M5 不能打开, 因此, 此时  $G_{n-1}$  与  $G_{n+6}$  处于非正常维持状态. 为确保所有级 GOA 在触控侦测期间均能输出稳定的 VGL 电位, 本文提出的 GOA 电路设计了 Touch 控制模块. 如图 4(a) 所示, M12 的栅极连接触控使能信号 (Touch Enable signal, TE), M12 的源极/漏极分别连接 VGL/ $G_n$ . TE 信号在触控侦测期间为 VGH 高电平, 在其他时间为 VGL 低电平, 如图 5 所示. 以此方式, 在触控侦测期间 TE 为高电平, 所有级 GOA 的 M12 被打开, 保证所有级  $G_n$  输出稳定的 VGL 电位.

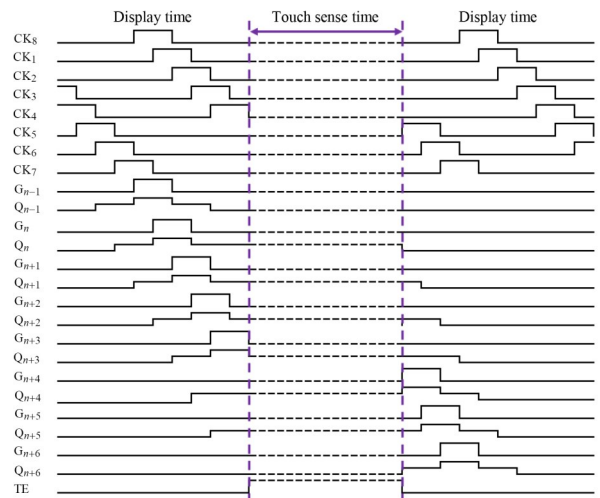


图 5 时分驱动 GOA 电路输入与输出信号的时序波形

## 4 结果与讨论

### 4.1 GOA 电路模拟

首先, 使用半导体测试仪 Agilent B1500A 量测了 G8.5 代线 (玻璃基板尺寸为 2 500 mm $\times$ 2 200 mm) 制作的 BCE 型 IGZO 薄膜晶体管特性曲线, 再通过 Utmost 软件拟合与萃取 IGZO 器件模型, 以用于 GOA 电路的模拟. 图 6 显示了本文 IGZO TFT 量测与拟合的转移特性

( $I_{DS}-V_{GS}$ ) 曲线, 晶体管  $W/L=10/5 \mu\text{m}$ ,  $V_{DS}$  设置为 12.1 V. 阈值电压  $V_{TH}$ 、迁移率、亚阈值摆幅分别为 2.7 V,  $9.5 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ,  $0.24 \text{ V/dec}$ . 针对 10.4 英寸 FHD+ (分辨率为 1 200RGB $\times$ 2 000) in-cell 触控显示面板, 整体 GOA 电路共驱动 2 000 行栅极, 采用单边 GOA 驱动, LCD 左侧的 GOA 电路驱动 1 000 级奇数行, 右侧的 GOA 电路驱动 1 000 级偶数行. 图 7 显示了包含两级 GOA 电路的版图设计, 每级 GOA 版图面积仅为  $470 \mu\text{m}\times 225.6 \mu\text{m}$ , 这得益于 IGZO 薄膜晶体管高迁移率的优秀特性. 例如, 本文 IGZO GOA 电路中最大尺寸的 M10 晶体管  $W$  取值为  $700 \mu\text{m}$ , 然而采用 a-Si 薄膜晶体管  $W$  取值则需要  $1\ 300 \mu\text{m}$  以上.

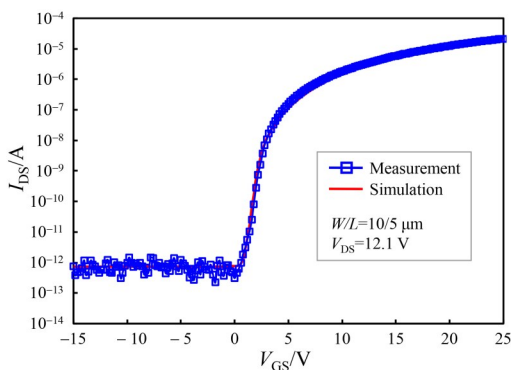


图 6 量测与拟合的 IGZO TFT 转移特性曲线

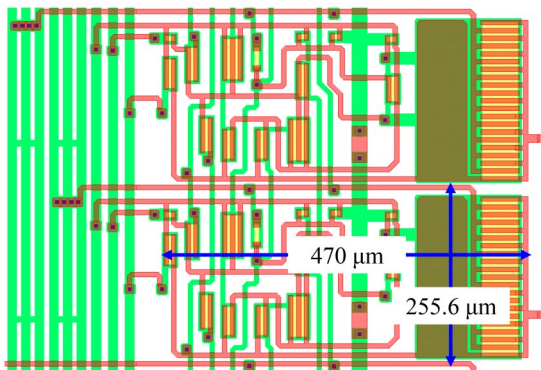


图 7 提出的 IGZO GOA 电路版图设计

使用 Gateway 软件建模仿真了提出的时分驱动 IGZO GOA 电路的运行情况, 基于 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率, 1H 时间设置为  $3.9 \mu\text{s}$ .  $CK_1\sim CK_8$  的频率为 90 Hz,  $CK$  信号的高电平脉宽 2H 时间为  $7.8 \mu\text{s}$ , 低电平 6H 时间为  $23.4 \mu\text{s}$ , 电压摆动为  $18 \text{ V}/-12 \text{ V}$ . 每条栅极负载的电阻与电容分别为  $2.76 \text{ k}\Omega$  与  $72.85 \text{ pF}$ . 此外, 由于采用时分驱动 TDDM, 整个显示一帧被划分为 17 个显示分区与 8 个触控分区, 每个显示分区时间为  $480 \mu\text{s}$ , 每个触控分区时间为  $180 \mu\text{s}$ . 该  $180 \mu\text{s}$  即为显示扫描暂停并用于触控侦测的时间间隔, 每帧显示执行 16 次触控, 因此 GOA 输出暂停 16 次.

仿真实验验证了 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板 GOA 电路双向扫描生成的 Gate 波形. 如图 8(a) 所示, 当正向扫描时,  $G_{169}, G_{171}, G_{173}, G_{175}$  连续输出扫描脉冲波形,  $G_{175}$  与  $G_{177}$  之间暂停  $180 \mu\text{s}$  用于执行触控操作, 然后  $G_{177}, G_{179}, G_{181}, G_{183}$  连续输出扫描脉冲波形. 反之, 如图 8(b) 所示, 当反向扫描时,  $G_{183}, G_{181}, G_{179}, G_{177}$  连续输出扫描脉冲波形,  $G_{177}$  与  $G_{175}$  之间暂停  $180 \mu\text{s}$  用于执行触控操作, 然后  $G_{175}, G_{173}, G_{171}, G_{169}$  连续输出扫描脉冲波形. 因此, in-cell 触控显示面板为正向或反向扫描时, 提出的 IGZO 时分驱动 GOA 电路均能执行连续的扫描-暂停-重启模式.

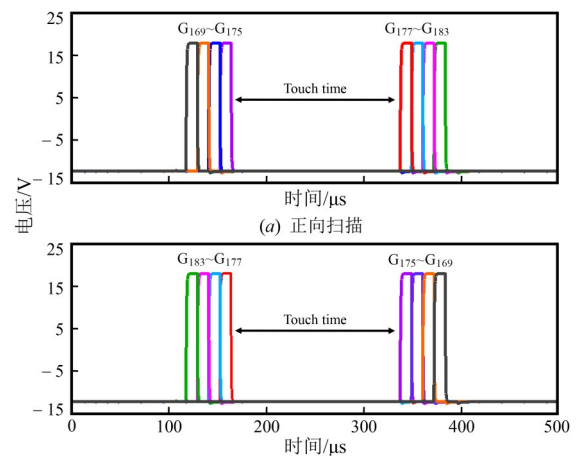


图 8 GOA 电路双向扫描生成的 Gate 波形

图 9 显示了存储重启电荷的 M10 缓冲晶体管  $V_{TH}$  漂移, 模拟得出的正常级  $G_{169}$  与停坑级  $G_{179}$  的  $Q_n/G_n$  节点输出波形. 如图 9(a) 所示, 当  $V_{TH}$  为初始值 (3 V) 时, 正常级  $Q_{169}$  (实线标示) 三段式高电平电压为: 首先上拉至  $V_1=14.6 \text{ V}$ , 然后自举至  $V_2=35.9 \text{ V}$ , 再下降至  $V_3=14.2 \text{ V}$ . 正常级  $G_{169}$  (实线标示) 高电平脉冲的上升时间 (Rising Time,  $T_r$ ) 与下降时间 (Falling Time,  $T_f$ ) 分别为  $1.64 \mu\text{s}$  与  $1.26 \mu\text{s}$ . 停坑级  $Q_{179}$  (虚线标示) 三段式电压  $V_1, V_2, V_3$  分别为  $14.6 \text{ V}, 35.9 \text{ V}, 14.2 \text{ V}$ , 停坑级  $G_{179}$  (虚线标示) 高电平  $T_r$  和  $T_f$  分别为  $1.64 \mu\text{s}, 1.26 \mu\text{s}$ . 停坑级  $Q_{179}$  的  $V_1$  时间, 比正常级  $Q_{169}$  多  $180 \mu\text{s}$ , 此  $180 \mu\text{s}$  等于 GOA 输出暂停用于触控的时间间隔,  $G_{179}$  与  $G_{169}$  的输出波形一致, 即两者的  $T_r$  和  $T_f$  分别相等. 图 9(b) 和 (c) 分别显示了  $V_{TH}$  漂移  $6 \text{ V} (\Delta V_{TH}=6 \text{ V})$  与  $V_{TH}$  漂移  $8 \text{ V} (\Delta V_{TH}=8 \text{ V})$ , 正常级  $G_{169}$  与停坑级  $G_{179}$  的  $Q_n/G_n$  输出波形.  $\Delta V_{TH}=6 \text{ V}$  时,  $G_{169}$  与  $G_{179}$  的  $T_r$  和  $T_f$  均分别为  $2.88 \mu\text{s}$  和  $1.82 \mu\text{s}$ ;  $\Delta V_{TH}=8 \text{ V}$  时,  $G_{169}$  与  $G_{179}$  的  $T_r$  和  $T_f$  均分别为  $3.52 \mu\text{s}$  和  $2.04 \mu\text{s}$ , Gate 脉冲 VGH 电压均能达到  $18 \text{ V}$ .

## 4.2 GOA 电路可靠性

为验证本文提出的支持时分驱动与双向扫描的 GOA 电路, 在 G8.5 高世代线采用 BCE 型 IGZO 晶体管制

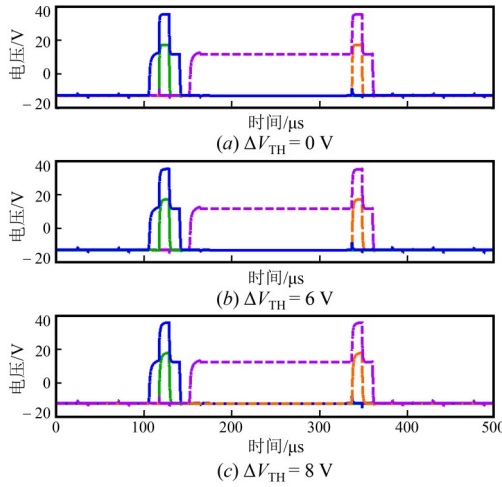


图9 正常级与停坑级的Qn/Gn节点输出波形

作该电路并集成于 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板,重点验证 GOA 电路的可靠性. 如图 10(a)所示,传统 GOA 电路上拉控制模块的 U2D 和 D2U 为直流 DC 信号,存在直流电压偏置晶体管  $V_{TH}$  偏移严重,导致 GOA 可靠性输出异常的问题. 本文提出的 GOA 电路的上拉控制模块,取消了 U2D 和 D2U 信号,采用栅源极连接的二极管结构并输入  $G_{n-2}$  和  $G_{n+2}$  脉冲电压信号,如图 10(b)所示. GOA 所有晶体管均不存在直流电压偏置的情况,并且处于正电压偏置时间均不超过 50%,如此提升 GOA 电路的可靠性. 另外,如图 11 所示,对比传统 GOA 的单低电平维持模块,本文的 GOA 电路采用双低电平维持模

块交替工作,有效抑制 LLM 晶体管的  $V_{TH}$  漂移,增强维持能力从而提升 GOA 电路寿命.

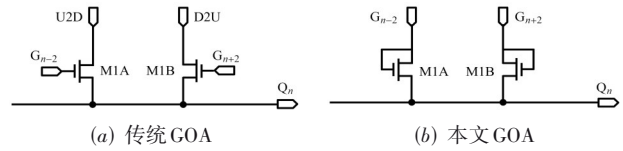


图 10 上拉控制模块的原理图

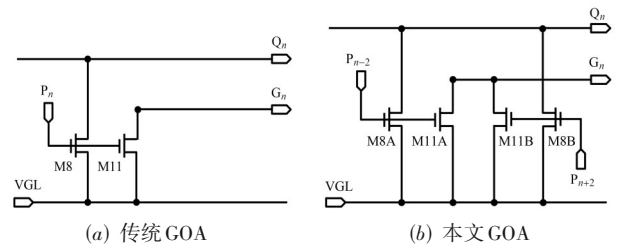


图 11 低电平维持模块的原理图

采用图 4 所示 IGZO 时分驱动 GOA 电路制作的 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板,通过高温高湿 (60 °C/90%) 操作 500 h 的可靠性测试. 然而,更严苛的验证条件下,高温高湿 (85 °C/85%) 操作 360 h 后,发生如图 12 所示的重影或横线不良. 原因为 LCD 单侧某级 GOA 发生异常,例如奇数行正常显示,偶数行从异常起始位置开始,错误写入后  $n$  行的显示信号,因此下半屏偶数行画面错位形成重影. 并且静置较长时间后,不良现象可以减轻或消失.

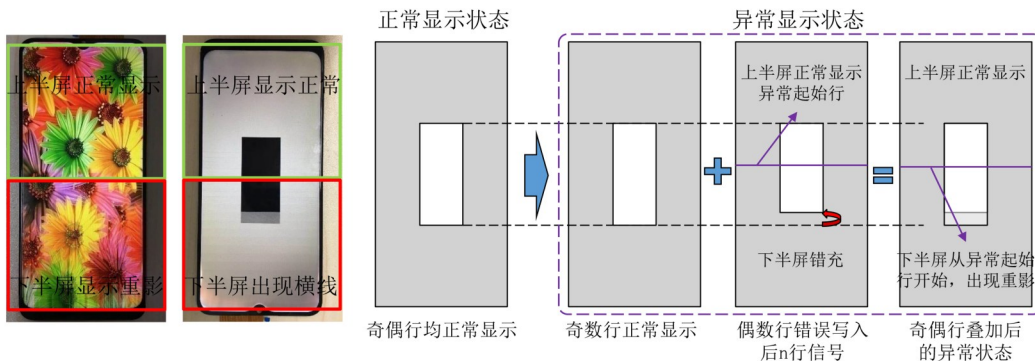


图 12 GOA 可靠性不良的现象与原因说明

使用 Tektronix DPO4104B 示波器量测的异常位置的 Gate 波形如图 13 所示, Gate 信号高电平脉冲之后,未能维持 VGL 低电平,连续输出多个错误的高电平脉冲. 该异常显示行的像素,原本应该充入第 1 个脉冲时间的数据线电压,但是由于错误脉冲,实际写入了最后一个脉冲时间的数据线电压,因此发生重影或横线不良. 进一步分析 Gate 信号异常原因: GOA 电路中负责下拉的晶体管  $V_{TH}$  正向漂移,下拉/维持能力不足,导致 GOA 输

出多个错误脉冲. (1) 下拉模块 M9 正电压偏置较长,  $V_{TH}$  正向漂移严重, M9 不能在  $G_n$  输出高电平脉冲后下拉  $Q_n$  至 VGL, 随之 M6 不能完全关闭导致  $P_n$  与 VGL 之间存在漏电,因此  $P_n$  无法上拉至 VGH, 维持模块不能正常工作. (2) 维持模块 M8/M11 不能正常打开,未清空的  $Q_n$  失去维持,因此 M10 在  $G_n$  输出正常脉冲后仍一直打开,导致  $G_n$  出现多余的错误脉冲. 此外,长时间静置后异常减轻或消失的原因: M9 等 TFT 特性在静置(非操作)

状态下,逐渐回复至GOA电路正常工作允许的Margin范围内,GOA输出异常得以改善或恢复.

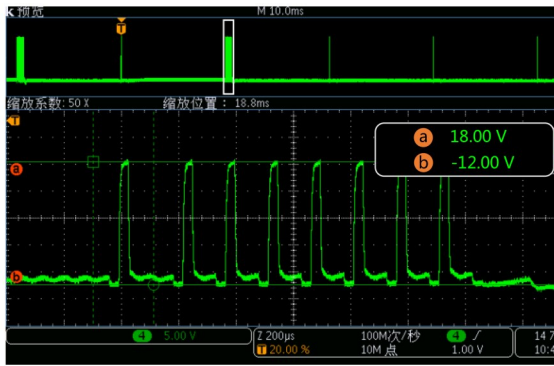


图 13 量测的异常位置的 Gate 波形

较之高温高湿(60 °C/90%),高温高湿(85 °C/85%)测试条件的温度更高,  $V_{TH}$  正向漂移加剧,更易发生GOA电路异常. 为进一步提升GOA可靠性,需降低M9

晶体管的  $V_{TH}$  正向漂移值.  $V_{TH}$  正向漂移的原理说明如下:当IGZO晶体管处于正偏压温度应力(Positive Bias Temperature Stress, PBTS),电子在有源层/栅绝缘层界面或栅绝缘层内被捕获,会排斥沟道内的电子,导致  $V_{TH}$  正向漂移,且在高温下,捕获电子的发生概率大大增加,  $V_{TH}$  正向漂移加剧劣化,因此需讨论从工艺与设计方面改善  $V_{TH}$  漂移问题. 对于BCE型IGZO晶体管,影响  $V_{TH}$  的工艺因素较多,主要有IGZO膜厚、氧气浓度、成膜功率、退火温度、GI与PAS1膜厚与膜质等,本文仅以IGZO膜厚举例说明. 将制作的M9晶体管进行PBTS测试, Stress条件为  $V_{GS}=25\text{ V}$ 、温度  $60\text{ }^\circ\text{C}$ 、时间  $7\ 200\text{ s}$ ; 然后撤销PBTS,进行回复测试  $7\ 200\text{ s}$ . 如图14所示,随着IGZO膜厚增加,PBTS时  $V_{TH}$  漂移速度减缓,并且静置时  $V_{TH}$  回复加快. IGZO厚度由  $85\text{ nm}$  增至  $95\text{ nm}$ , PBTS持续  $7\ 200\text{ s}$ ,  $V_{TH}$  漂移值由  $2.59\text{ V}$  降低至  $1.72\text{ V}$ , 回复率由  $3.5\%$  提高至  $11.6\%$ .

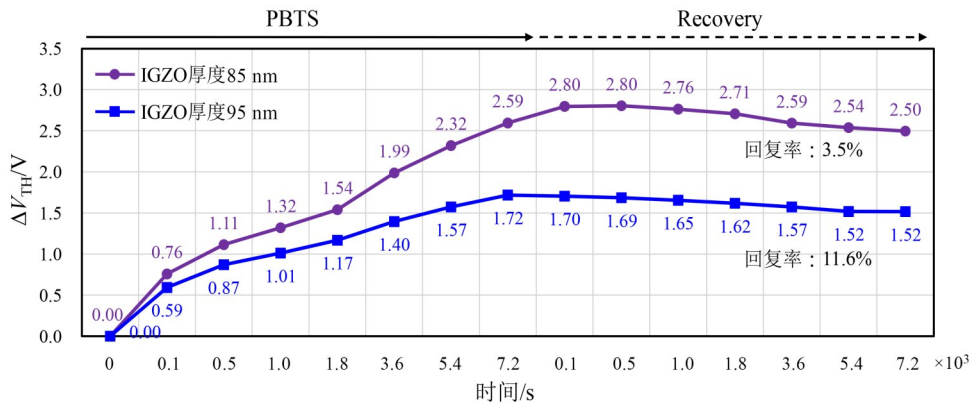


图 14 PBTS测试与回复的  $V_{TH}$  漂移值

另外,从减小GOA工作时M9晶体管处于PBTS时间着手,降低  $V_{TH}$  漂移值. 如图4(a)所示, M9的  $V_{GS}$  电压由时钟信号CK控制, CK信号是周期性信号, 正电压时间由占空比决定. 通过软件设定将CK信号从前文所述“2H 高电平+6H 低电平”, 变更为“1H 高电平+7H 低电

平”, M9的正偏压时间比例从  $25\%$  减小到  $12.5\%$ . 实验发现, 仍不能通过高温高湿( $85\text{ }^\circ\text{C}/85\%$ )操作  $500\text{ h}$  的可靠性测试, 因此需要进一步减小M9的正偏压时间. 如图15所示, 提出了改进的16T1C GOA电路, M9由CK变更为 Gate 信号控制, 大幅度减小M9的正偏压时间比例

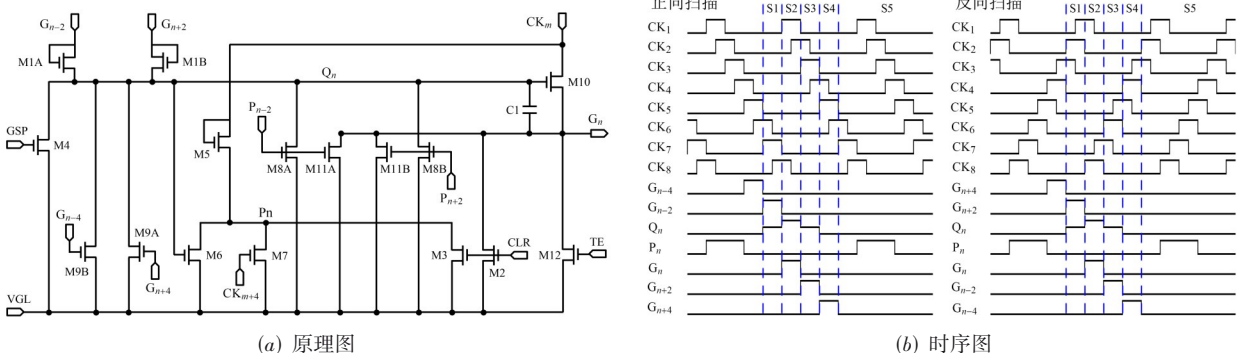


图 15 改进的IGZO时分驱动GOA电路

从 25% 减小为 0.07%。为支持双向扫描功能,将图 4(a) 中的 M9 变更设计为 M9A 与 M9B 两颗 TFT,其栅极分别连接  $G_{n+4}$  与  $G_{n-4}$ 。结合图 15(a) 和 (b),当 in-cell 触控显示面板为正向扫描时,  $Q_n$  上拉阶段,  $G_{n-2}$  输出高电平打开 M1A, 将  $Q_n$  由低电平上拉为高电平;  $Q_n$  下拉阶段,  $G_{n+4}$  输出高电平打开 M9A, 将  $Q_n$  由高电平下拉为低电平, 因此 M1A/M9A 组合控制  $Q_n$  的上拉/下拉。当 in-cell 触控显示面板为反向扫描时,  $Q_n$  上拉阶段,  $G_{n+2}$  输出高电平打开 M1B, 将  $Q_n$  由低电平上拉为高电平;  $Q_n$  下拉阶段,  $G_{n-4}$  输出高电平打开 M9B, 将  $Q_n$  由高电平下拉为低电平, 因此 M1B/M9B 组合控制  $Q_n$  的上拉/下拉。除  $Q_n$  下拉阶段之外, 其他 GOA 工作阶段均与图 4 所述一致。采用图 15 所示改进的 IGZO 时分驱动 GOA 电路, 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板成功通过高温高湿 (60 °C/90%) 操作 1 000 h、与高温高湿 (85 °C/85%) 操作 500 h 的可靠性测试, GOA 输出波形及 LCD 显示均正常。

## 5 结论

本文提出了一种新颖的 in-cell 触控显示用 IGZO 薄膜晶体管时分驱动 GOA 电路, 实现了 90 Hz 显示刷新率与 180 Hz 触控报点率, 并且支持正向与反向扫描。本文提出的时分驱动 GOA 电路执行扫描-暂停-重启模式, 每帧 GOA 输出多次暂停用于执行多次触控以实现高报点率。在触控侦测期间, 所有 CK 信号的摆动暂停, 以防止寄生电容耦合效应引起的触控信号失真, 本文的 GOA 电路通过 Touch 控制模块, 使所有级 GOA 在触控期间, 均能输出稳定的 VGL 电位。此外, 提出的 GOA 采用双低电平维持模块, 有效抑制 LLM 晶体管的  $V_{TH}$  偏移; 低占空比的  $Q_n$  上拉/下拉驱动信号, 降低  $Q_n$  上拉/下拉晶体管的  $V_{TH}$  漂移, 因此提升了 GOA 电路的可靠性。本文详细介绍了该 IGZO GOA 电路的工作原理及步骤; 通过 Gateway 软件建模仿真, 验证了所提 GOA 电路工作于正向与反向扫描时, 均能执行扫描-暂停-重启模式, 并且存储重启电荷的缓冲晶体管具有较大的  $V_{TH}$  漂移冗余度; 将该 GOA 电路应用于驱动 10.4 英寸 in-cell 触控显示面板, 研究分析了相关可靠性问题, 并且提出工艺与设计优化, 通过高温高湿 (60 °C/90%) 操作 1 000 h、高温高湿 (85 °C/85%) 操作 500 h 的严苛可靠性测试。因此, 本文提出的时分驱动 IGZO GOA 电路适用于高报点率的 in-cell 触控显示, 未来可推广应用于手机、平板、笔记本、显示器等各类平板显示产品。

## 参考文献

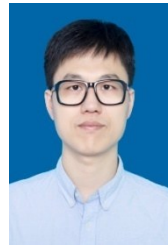
- [1] JUN J H, KIM B J, SHIN S K, et al. In-cell self-capacitive-type mobile touch system and embedded readout circuit in display driver IC[J]. Journal of Display Technology, 2016, 12(12): 1613-1622.
- [2] KIM H, MIN B W. Automotive electromagnetic compatibility standard specific pulse driving method for advanced in-cell touch sensor[J]. IEEE Sensors Journal, 2021, 21(6): 7825-7832.
- [3] OUYANG C L, LIU D, HE K, et al. Recent advances in touch sensors for flexible displays[J]. IEEE Open Journal of Nanotechnology, 2023, 4: 36-46.
- [4] LEE Y J, KIM S Y, LEE S Y. Display device with integrated touch screen and method of driving the same: US20140320427[P]. 2014-10-30.
- [5] KIM C, LEE D S, KIM J H, et al. 60.2: Invited paper: Advanced In-cell touch technology for large sized liquid crystal displays[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2015, 46(1): 895-898.
- [6] ZHENG G T, LIU P T, DU C H, et al. High-reliability gate driver on array using noise sharing of precharging node for thin film transistor-liquid crystal display application[J]. Journal of the Society for Information Display, 2020, 28(12): 965-978.
- [7] IWASE Y, TAGAWA A, TAKEUCHI Y, et al. 53-1: Distinguished Student Paper: A novel low power gate driver architecture for large 8K 120Hz LCD display employing IGZO technology[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2018, 49(1): 698-701.
- [8] KIM J S, BYUN J W, JANG J H, et al. A high-reliability carry-free gate driver for flexible displays using a-IGZO TFTs[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2018, 65(8): 3269-3276.
- [9] OH J, JUNG K M, JUNG E K, et al. Novel driving methods of gate driver for enhancement- and depletion-mode oxide TFTs[J]. IEEE Journal of the Electron Devices Society, 2020, 8: 67-73.
- [10] CHEN F H, CHANG C H, TU C D, et al. 9-4: Simple gate driver circuit with inserted stage for In-cell touch TFT-LCD applications[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2017, 48(1): 105-107.
- [11] SEO J, NAM H. Low power and low noise shift register for In-cell touch display applications[J]. IEEE Journal of the Electron Devices Society, 2018, 6: 726-732.
- [12] CHO S W, SO B S, CHO Y S, et al. 9-2: Integrated a-Si gate driver for touchscreen technology known as AIT[J]. SID Symposium Digest of Technical Papers, 2017, 48(1): 98-101.
- [13] MOON S H, HARUHISA I, KIM K, et al. Highly robust integrated gate-driver for In-cell touch TFT-LCD driven in time division driving method[J]. Journal of Display

- Technology, 2016, 12(5): 435-441.
- [14] LIN C L, DENG M Y, WU C E, et al. Gate driver circuit using pre-charge structure and time-division multiplexing driving scheme for active-matrix LCDs integrated with In-cell touch structures[J]. Journal of Display Technology, 2016, 12(11): 1238-1241.
- [15] LIN C L, LAI P C, LAI P C, et al. Bidirectional gate driver circuit using recharging and time-division driving scheme for In-cell touch LCDs[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2018, 65(4): 3585-3591.
- [16] LIN C L, LAI P C, LEE P T, et al. Highly reliable a-Si: H TFT gate driver with precharging structure for In-cell touch AMLCD applications[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2019, 66(4): 1789-1796.
- [17] SHEN S, LIAO C W, YANG J W, et al. Capacitor reused gate driver for compact In-cell touch displays[J]. IEEE Journal of the Electron Devices Society, 2021, 9: 533-538.
- [18] LIN C L, WU C E, CHEN F H, et al. Highly reliable bidirectional a-InGaZnO thin-film transistor gate driver circuit for high-resolution displays[J]. IEEE Transactions on Electron Devices, 2016, 63(6): 2405-2411.
- [19] ZHU Y, HE Y L, JIANG S S, et al. Indium-gallium-zinc-oxide thin-film transistors: Materials, devices, and applications[J]. Journal of Semiconductors, 2021, 42(3): 031101.
- [20] KIM H J, PARK K, KIM H J. High-performance vacuum-processed metal oxide thin-film transistors: A review of recent developments[J]. Journal of the Society for Information Display, 2020, 28(7): 591-622.
- [21] SHIAH Y S, SIM K, SHI Y H, et al. Mobility-stability trade-off in oxide thin-film transistors[J]. Nature Electronics, 2021, 4(11): 800-807.
- [22] MARTINS J, BAHUBALINDRUNI P, ROVISCO A, et al. Bias stress and temperature impact on InGaZnO TFTs and circuits[J]. Materials, 2017, 10(6): 680.
- [23] SHAO J J, SU W C, CHANG T C, et al. Abnormal threshold voltage shift caused by trapped holes under hot-carrier stress in a-IGZO TFTs[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2020, 53(8): 085104.
- [24] ZHOU Y H, LIU F Y, YANG H A, et al. Competition between heating and cooling during dynamic self-heating degradation of amorphous InGaZnO thin-film transistors [J]. Solid-State Electronics, 2022, 195: 108393.
- [25] KIM J H, OH J, PARK K, et al. IGZO TFT gate driver circuit with improved output pulse[J]. IEEE Journal of the Electron Devices Society, 2018, 7: 309-314.
- [26] XUE Y, WANG L J, ZHANG Y, et al. 31-inch 4K flexible display employing gate driver with metal oxide thin-film transistors[J]. IEEE Electron Device Letters, 2021, 42(2): 188-191.
- [27] SHIN H J, KIM T W. Ultra-high-image-density, large-size organic light-emitting device panels based on highly reliable gate driver circuits integrated by using InGaZnO thin-film transistors[J]. IEEE Journal of the Electron Devices Society, 2019, 7: 1109-1113.

### 作者简介



周刘飞 男, 1982年出生, 江苏南通人. 主要研究方向为新型显示与集成驱动技术.  
E-mail: zhouliufeia@163.com



王海宏 男, 1986年出生, 江苏海安人. 主要研究方向为新型显示设计与开发.  
E-mail: wanghaihongscut@163.com



王保平(通讯作者) 男, 1961年出生, 安徽芜湖人. 教授, 博士生导师. 主要研究方向为新型显示与视觉感知.  
E-mail: wbp@seu.edu.cn