

IGZO TFT 阈值电压均一性及稳定性研究

赵 辉*, 王艳昌, 华 涛

(南京京东方显示技术有限公司, 南京 210033)

摘 要: 调查和研究了现有 IGZO 薄膜制备工艺, 改善了成膜均一性及稳定性, 进一步稳定了阈值电压, 提升了器件稳定性。首先, 通过调整 IGZO 成膜设备掩膜版的位置, 改善基板边缘 IGZO 膜厚偏薄的状况, 提升整面基板阈值电压的均一性; 然后, 通过分析磁控溅射成膜中磁铁摆动角度的调整对 IGZO 成膜均一性的影响, 确定最优的成膜方式, 有效改善阈值电压分布。最后, 针对不同氧分压成膜条件, 结合残余气体分析, 进一步分析研究成膜过程中气体组分, 尤其氧气对阈值电压稳定性的影响。研究发现, 改善基板边缘及整面 IGZO 膜厚的均一性, 可有效提升 TFT 器件阈值电压的均一性; 控制 IGZO 成膜过程中氧分压波动, 可提高阈值电压的稳定性。

关键词: 氧化铟镓锌成膜; 阈值电压; 均一性; 稳定性

中图分类号: TN949.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2023)04-0351-04

Investigation and Research on Threshold Voltage in IGZO TFT Process

ZHAO Hui, WANG Yanchang, HUA Tao

(Nanjing BOE Display Technology Co., Ltd., Nanjing 210033, CHN)

Abstract: As the active layer of TFT, the quality of the IGZO film is very important. IGZO deposition process was investigated and studied to improve the uniformity and stability of the V_{th} in IGZO TFT process. Firstly, the position of the glass was adjusted to ensure that it was in the middle of the mask. The effect of the angle on the improvement of the uniformity of the thickness of the IGZO film was analyzed to ensure the best magnet swing angle. Finally, the stability of the V_{th} in the IGZO TFT was ensured by controlling the oxygen pressure in the IGZO process.

Key words: IGZO film; feedthrough voltage; uniformity; stability

引 言

随着人们生活水平的提升, 科学技术水平的发展, 尤其随着手机、电视等智能显示产品的普及和

广泛应用, 人们对显示产品的性能要求也越来越高。而薄膜晶体管 (Thin Film Transistor, TFT) 作为显示产品的核心元件, 其性能对显示效果起到了决定性作用^[1]。以氧化铟镓锌 (IGZO) 为导电沟道

收稿日期: 2023-02-27

作者简介: 赵 辉 (1982—), 男, 硕士, 研究方向为薄膜晶体管液晶显示技术以及工艺制造; (E-mail: zhchhy@126.com)

王艳昌 (1983—), 男, 硕士, 研究方向为物理气相沉积成膜技术及工艺研究;

华 涛 (1987—), 男, 研究方向为化学气相沉积成膜技术及工艺研究。

* 通讯作者

的 TFT 器件,因其具有较高的载流子迁移率、可见光透明、均匀性好、低制备温度及可制于柔性衬底等优点,在显示产品的应用及进一步开发提升中越来越受到青睐^[2]。在 IGZO TFT 中,IGZO 薄膜通过物理磁控溅射的方法制备,其薄膜的性能对 TFT 器件性能起到关键性作用^[3]。

物理磁控溅射是在真空环境下,利用直流电源进行放电,将腔室中的制程气体(通常为氩气)电离为氩离子和电子,形成等离子体(Plasma),通过电场和磁场的作用,被加速的氩离子轰击靶材,将靶材表面的粒子溅出,沉积到基板表面而形成薄膜。磁场的作用为改变电子的运动方向以延长电子的运动轨迹,增加电子平均自由路径,增加碰撞次数,进而提高溅射成膜速率。

1 现状概况

TFT 器件的性能通常通过阈值电压(V_{TH})、载流子场效应迁移率(μ_n)、电流开关比(I_{on}/I_{off})等来进行判定^[4]。

阈值电压 V_{TH} 是指能够使 TFT 的导电沟道处于开启状态所需的最小栅压。因 TFT 主要由半导体有源层、绝缘层和金属电极等不同薄膜组成,其阈值电压的主要影响因素为有源层内部的杂质和缺陷、金属半导体的功函数,栅极绝缘层的电容大小,有源层与绝缘层之间的界面接触等。

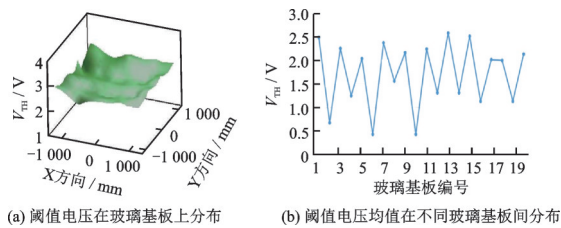


图 1 阈值电压分布

Fig.1 V_{TH} map

作为 IGZO TFT 的关键有源层,IGZO 薄膜的成膜工艺与 TFT 器件的 V_{TH} 关系密切。IGZO 薄膜的膜厚与成膜气氛是影响 TFT 阈值电压的主要因素^[5-6]。如图 1 所示,IGZO TFT 的阈值电压目前主要存在基板面内的均一性及基板间的稳定性问题: 1). 阈值电压的面内分布存在基板边缘偏高的现象,这主要受 IGZO 成膜基板边缘膜厚偏薄影响; 2). 不同基板间阈值电压值存在较大的波动性,因 IGZO 成膜过程中腔室气氛波动影响 IGZO 膜质,进而造成阈值电压值波动。

2 阈值电压均一性优化

有源层 IGZO 薄膜的厚度是影响 TFT 性能的关键因素之一。当 IGZO 薄膜较薄时,本来用作导电沟道的电子被两表面态捕获,因此需要施加正向的栅极电压以获得导电沟道,而薄膜越薄,需要施加的正向电压越大;当 IGZO 薄膜变厚时,IGZO 层内的自由电荷数量增多,表面态逐渐被填充,因此获得导电沟道需要施加的正向栅极电压减小;当 IGZO 膜足够大时,表面态可能被全部填充,部分剩余的自由电荷在栅极负压下仍可在氧化硅(SiO_2)/IGZO 界面处形成导电沟道,使 TFT 的阈值电压朝负方向移动。因此随着 IGZO 薄膜厚度的增加, TFT 的阈值电压由正向负方向移动,并逐渐由增强型($V_{TH} > 0$)变为耗尽型($V_{TH} < 0$)^[7]。

目前存在两种 IGZO 成膜方式设备,一种采用动态成膜方式,均一性较好,异物较差;一种采用静态成膜方式,均一性较差,异物较优。文章在静态成膜方式设备基础上,以不需设备改造及保证成膜异物为前提,提出两种调整基板边缘 IGZO 膜厚的方法,有效改善 IGZO 膜厚分布。

2.1 掩膜版相对位置调整

在磁控溅射成膜过程中,靶材及基板附近的腔室壁上会附着 IGZO 膜。为了保证成膜腔室环境的清洁,在靶材及基板附近的腔室壁上安装掩膜版(Mask),并对其定期进行更换和清洗。

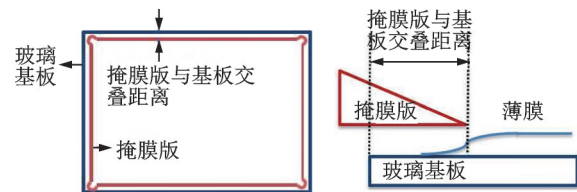


图 2 掩膜版-基板位置图

Fig.2 Mask-glass position

基板附近的掩膜版与基板边缘会存在部分重叠(Mask Overlap),如图 2 所示。由于阴影效应,基板边缘的成膜膜厚呈递增趋势,至距边 15 mm 处(成膜保证区)可达到目标膜厚的 95%。

当基板传送至成膜位置时,若基板与掩膜版的相对位置发生倾斜或偏移,部分角落或边缘重叠过大,会造成部分区域 IGZO 膜厚偏薄或偏厚,进而影响阈值电压的均一性。图 3 所示即基板与掩膜版的相对位置发生错位的示意图。

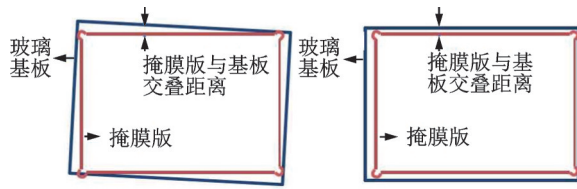


图3 掩膜版-基板相对错位图

Fig.3 Mask-glass position

为了预防成膜过程中基板与掩膜版的相对位置发生错位,在定期开腔更换掩膜版后,对基板与掩膜版的相对位置进行确认及调整,使基板与掩膜版两侧的掩膜版与基板交叠距离偏差 $<0.5\text{ mm}$,以保证阈值电压的均一性。

2.2 磁场分布调整

在IGZO成膜过程中,磁场的施加使电子在阴极靶材表面做螺旋状运动,延长了电子的平均自由路径,增加了电子和气体的碰撞次数,从而提高了溅射成膜速率。磁场的强度、分布可以控制基板区域成膜速率,因此可以通过对磁场进行区域布局,然后对磁场各项参数进行调控,进而控制成膜区域成膜速率及成膜均一性。

采用旋转靶材制备IGZO薄膜时,磁铁的摆动角度决定了磁场强度的分布,进而影响等离子体(Plasma)浓度分布。如图4所示,磁铁摆动范围内等离子体浓度最高,对应位置成膜速率相应较快,因此对应区域IGZO膜厚亦较厚。

针对基板边缘IGZO膜厚偏薄的问题,将基板边缘对应磁铁的摆动角度减小40%,如图5所示,使其等离子体分布相对集中,成膜速率相应加快,从而改善边缘膜厚,优化阈值电压的均一性。

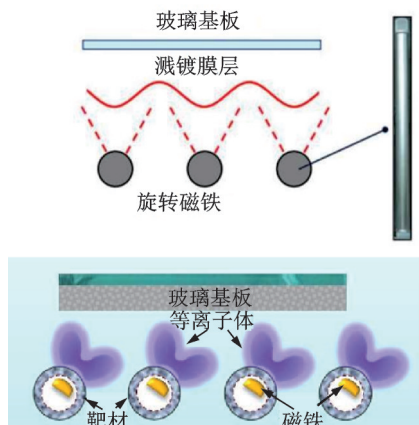


图4 等离子体分布图示

Fig.4 Plasma distribution

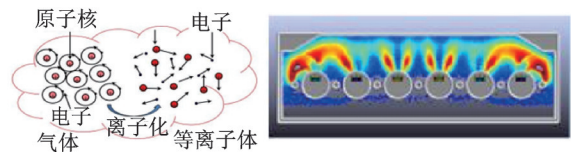


图5 优化后等离子体分布图示

Fig.5 Schematic of optimized plasma distribution

3 稳定性优化

IGZO TFT的器件性能与有源层IGZO成膜过程中的氧分压密切相关。随着IGZO成膜氧分压的增大,器件的阈值电压向正方向移动,这是由于氧空位是IGZO薄膜导电的媒介。随着氧分压的增大,氧空位逐渐减少,有源层中载流子变少,导致有源层导电性变差。换言之,在IGZO TFT的有源层中,随着氧分压的增大,作为浅能级施主中心的氧空位浓度降低,补偿受主之后剩下的电子作为沟道的载流子,其浓度也会降低,因此,氧分压比较高时,器件的阈值电压向正方向移动^[10]。

IGZO成膜的制程气体为氩氧混合气体,其中氧气占通入总气体的百分比即IGZO成膜的氧分压。成膜过程中真空腔室的部分机构出现泄漏,导致大气进入真空腔室也会影响IGZO成膜的氧分压,从而使TFT的阈值电压升高。

不同氧分压成膜条件下,TFT阈值电压受IGZO成膜氧气氛波动的程度也不尽相同。如图6所示,低/高氧分压-1为正常低/高氧分压成膜条件,低/高氧分压-2为氧气氛波动时低/高氧分压成膜条件,高氧分压成膜条件下,氧气氛波动时, V_{TH} 整体水平飘高的更高,波动性也更大。为保证TFT V_{TH} 稳定性,需尽量选用低氧分压成膜条件,同时使用残余气体分析仪(RGA)对腔室氧分压进行实时监控,使IGZO成膜氧气氛处于相对稳定的水平。

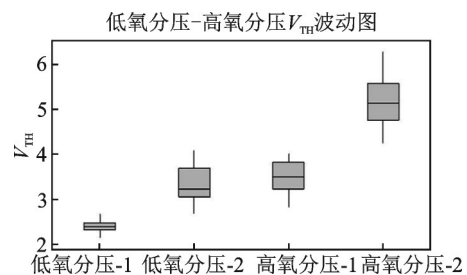


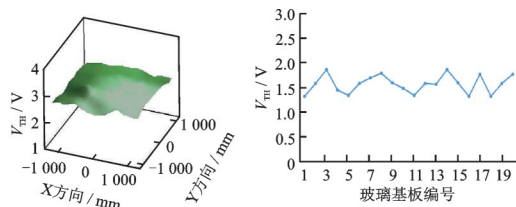
图6 不同氧分压阈值电压波动图

Fig.6 V_{TH} fluctuation of different oxygen partial pressures

4 效果总结

通过掩膜版位置调整及磁铁分布优化,增强基

板边缘位置 IGZO 成膜等离子体浓度,从而增加 IGZO 膜厚,有效改善了 IGZO 膜厚均一性;实时监控腔室氧分压,确保成膜氧分压稳定,进而保证 TFT V_{TH} 的稳定性。经过一系列优化改善, V_{TH} 的均一性及稳定性得到明显改善,如图 7 所示。



(a) 优化后阈值电压在玻璃基板上分布 (b) 优化后阈值电压均值在不同玻璃基板间分布

图 7 优化后阈值电压分布

Fig.7 Optimized V_{TH} map

5 结 论

文章对 IGZO 成膜过程中影响 TFT 阈值电压的因素进行研究,提出优化 IGZO TFT 阈值电压均一性及稳定性的方法。通过调整掩膜版的相对位置及基板边缘磁铁摆动角度,改善基板边缘 IGZO 膜厚偏薄的问题,优化面内 TFT 阈值电压的均一性;通过控制 IGZO 成膜过程中氧气的含量及其稳定性,保证 TFT 阈值电压的稳定性。为了确保基板面内 IGZO 膜厚的均一性,需保证基板两侧的掩膜版与基板交叠距离偏差 < 0.5 mm,同时基板边缘对应磁铁的摆动角度需减小 40%;IGZO 成膜使用低氧分压成膜条件,同时实时监控腔室氧气分压可有效改善 TFT 阈值电压的稳定性。研究结果显示,以上优化对策使 IGZO TFT 阈值电压的均一性及稳定性得到明显改善。

参 考 文 献

[1] 陶家顺. IGZO TFT 详解[J]. 光电子技术, 2016, 12(4):

217-230.

- [2] 徐 阳, 闫金波, 蓝东鑫, 等. 基于 IGZO 的 249 cm 8K4K 液晶面板技术[J]. 光电子技术, 2019, 12(2): 127-130, 136.
- [3] 陶家顺, 刘 翔. 保护层对背沟道刻蚀型金属氧化物 IGZO TFT 性能的研究[J]. 光电子技术, 2020, 40(4): 4.
- [4] 廖燕平, 宋勇志, 邵喜斌, 等. 薄膜晶体管液晶显示器显示原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
- [5] Chen W T, Lo S Y, Kao S C, et al. Oxygen-dependent instability and annealing/passivation effects in amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors [J]. Electron Device Letters, IEEE, 2011, 32(11): 1552-1554.
- [6] Yun M G, Kim S H, Ahn C H, et al. Effects of channel thickness on electrical properties and stability of zinc tin oxide thin-film transistors [J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2013, 46(47): 475106.
- [7] Wang Y, Sun X W, Goh G K L, et al. Influence of channel layer thickness on the electrical performances of inkjet-printed In-Ga-Zn oxide thin-film transistors[J]. IEEE Trans. Electron Device, 2011, 58(2): 480-485.
- [8] Chen J, Wang L, Su X Q, et al. Pulsed laser deposited InGaZnO thin film on silica glass[J]. Non-Cryst. Solids, 2012, 358(17): 2466-2469.
- [9] Mativenga Mallory, Dong Han Kang, Gi Lee Ung, et al. Study of mechanism of stress-induced threshold voltage shift and recovery in top-gate amorphous InGaZnO₄ thin-film transistors with source and drain offsets[J]. Solid State Communications, 2012, 152(18): 1739-1743.
- [10] Nomura K, Ohta H, Takagi A, et al. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors[J]. Nature, 2004, 432: 488-492.
- [11] Yabuta H, Sano M, Abe K, et al. High-mobility thin-film transistor with amorphous InGaZnO₄ channel fabricated by room temperature rf-magnetron sputtering [J]. Appl. Phys. Lett, 2006, 89(11): 112123-112123-3.
- [12] 马群刚. TFT-LCD 原理与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [13] 谷至华. 薄膜晶体管(TFT)阵列制造技术[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2007.
- [14] Quirk M, Serda J, 韩郑生译. 半导体制造技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.