

研究与试制

DOI:10.19453/j.cnki.1005-488x.2023.02.011

TFT-IGZO 工艺制程中 TFT 特性研究与改善

赵 辉, 华 涛, 王艳昌

(南京京东方显示技术有限公司, 南京 210033)

摘 要: 分析了 IGZO-TFT 器件的基本特性及电性不稳定性影响因素。对有源保护层薄膜性能与 TFT 电学特性的依存关系给出了合理解释, 并通过实验验证优化了有源保护层制备手法, 解决了因有源保护层 SiO₂ 致密性引起的 TFT 开关阈值电压左向偏移显示不良问题; 同时还基于 IGZO-TFT 总结了 PECVD SiO₂ 薄膜特性与沉积各重要因素间的关系。

关键词: 薄膜晶体管; 铟镓锌氧化物; 电流电压特性曲线; 二氧化硅薄膜; 显示不良

中图分类号: TN949.12 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-488X(2023)02-0173-04

The Research and Improvement of TFT Characteristics in TFT-IGZO Process

ZHAO Hui, HUA Tao, WANG Yanchang

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

Abstract: IGZO TFT is a typical representative of metal oxide TFT. The basic characteristics of IGZO-TFT devices and the influencing factors of electrical instability were analyzed. In the study of influencing factors, a reasonable explanation was given for the dependence between the film performance of the active protective layer and the electrical properties of TFT. And the preparation method of the active protective layer was optimized through experimental verification, which could solve the problem of poor display of left shift of TFT switch threshold voltage caused by the density of the active protective layer SiO₂. At the same time, the relationship between the characteristics of PECVD SiO₂ films and the important factors of deposition based on IGZO-TFT was also summarized.

Key words: TFT; IGZO; current-voltage characteristic curve; SiO₂ film; poor display

引 言

液晶面板是液晶显示器的重要部件, 占据了整个产品七成以上的成本, 其特性会直接影响到显示器的功耗、可视角、对比度、色彩还原度等功能参数和显示效果。目前液晶显示产品都朝着轻、薄、低

功耗、高刷新率、超高分辨率、高色彩还原的目标发展。而 IGZO(氧化铟镓锌)器件相对非晶硅(α -Si)器件的电子迁移率高 25 倍左右, 因此可提高像素电极充放电速率, 结合其他设计, 产品刷新率具备提升 5 倍以上能力, 实现高刷新率产品发展的需求。对比 LTPS(低温多晶硅)技术, IGZO 技术具有更高

收稿日期: 2023-01-04

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.cn)

华 涛(1987—), 男, 研究方向为化学气相沉积成膜技术及工艺研究;

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。

的良品率并适合高世代线生产。IGZO 显示器的高透光率、良好的均匀性和稳定性、高分辨率和高刷新率可满足办公、游戏、娱乐以及内容创作等任意领域用户需求,为用户带来视觉层面上更高端的享受体验^[1]。

不论是 α -Si 材料还是金属氧化物材料或是多晶硅材料,其器件的品质关键便是薄膜晶体管(TFT, Thin film transistor)的性能。TFT 性能主要体现在其电流电压特性的稳定性上。当其稳定性差时,通常会使 TFT 开关时效性发生偏差甚至完全失效,从而导致特性异常,相关产品不良,主要表现为需要亮点时显示黑点、或需要黑点时显示亮点,当特性偏移发生在产品外围电路时,会导致产品线不良发生。

特性偏移除与半导体材料性能相关外,与其有源保护层的性能也存在强相关性。业界针对氧化物半导体一般采用 SiO_2 工艺进行绝缘隔离^[2]。文中对 SiO_2 的性能进行调查和研究,系统性的针对 SiO_2 保护性能的提升进行定量分析,总结 SiO_2 对 IGZO 电流电压特性稳定性改善的方案与机理,对改善 IGZO 显示面板品质具有重要意义。

1 机理分析

经过对大量产品不良的观察分析,产品点、线不良主要呈现两种形态:其一,导体层或绝缘层异常。当绝缘层异物或生产过程中的工艺不良导致绝缘膜破损,绝缘功能失效,使源极和漏极之间或源漏极与栅极或像素电极之间发生短接;当导体层异物造成破损不良,会直接导致 TFT 线路断路,从而使 TFT 开关功能失效导致产品显示异常^[3]。因其发生原因相对明确且调查相对简单,这种情形不在文中论述范围。其二,半导体层(有源层)异常。实际产品不良分析中主要体现为半导体层特性偏移,如图 1 所示。

在产品点亮过程中,源漏极短路检查画面下可

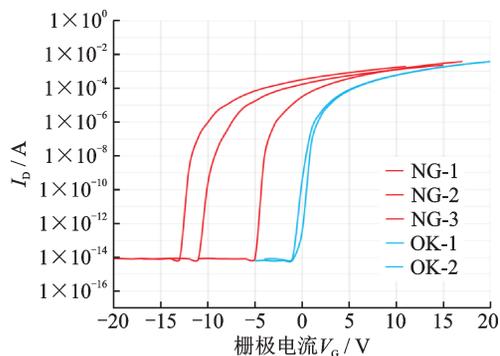


图 1 半导体特性偏移

Fig.1 The schematic of characteristic shift

见亮点聚集,像素及灰阶画面下可见黑点聚集,图 2 所示为灰阶画面下聚集情况。灰阶画面下电性调节确认,栅极最高电压下调,正常区域像素关断,异常区域像素仍处于开启状态无法正常关闭;栅极最低电压上调,异常区域及正常区域均像素关断,由此可见异常区域 TFT 开关存在异常:阈值电压 (V_{th})左向偏移,即 TFT 电流电压特性异常。



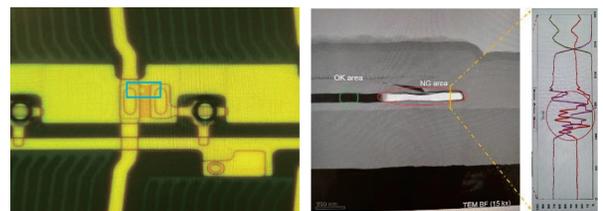
图 2 点灯下亮点异常

Fig.2 Abnormal bright spot with light on

2 试验方案

TFT 工艺中,半导体材料金属氧化物薄膜品质相对固定。研究和分析发现半导体层的特性不良集中发生在半导体层完成后的工艺生产中,主要为半导体保护层生产时及后续导体层金属刻蚀工艺中^[4]。

利用电子显微镜进行分析,发现亮点异常发生时对应半导体层均伴随有异常圆点(图 3(a)),切片解析对应圆点位置,发现 IGZO 沟道图形完整,膜层不存在塌陷现象;圆形区域元素分析未见 IGZO 相关元素。由此分析 IGZO 膜层是在后续工序中自边缘开始向内被腐蚀,最终只残留沟道形状而实际膜层消失(图 3(b))。



(a) 半导体异常点 (b) 切片解析分析半导体异常腐蚀

图 3 半导体异常点及切片分析

Fig.3 The abnormal spot of semiconductor and FIB analysis

利用特性检查装置对 TFT 基板各区域电性进行量测,并将正常区与异常区的 V_{th} 值进行对比分析,发现半导体层存在异常腐蚀时,其电流电压特性曲线均发生左偏现象。 V_{th} 左偏致使在关态电压下,TFT 无法关闭,需求黑点时仍为亮点状态。

据此分析,相关亮点不良的原因是半导体层腐蚀半导体特性发生了变化。追踪分析 TFT 制作工

艺流程,半导体层腐蚀发生在源漏极(SD)刻蚀后,源漏极刻蚀液中的氢氟酸(HF)对半导体层产生腐蚀效果。

有源保护层(SiO_2)为PECVD方法制备,使用硅烷(SiH_4)和笑气(N_2O)在等离子体状态下反应形成。反应气体气相分离和离子化发生时,这些分子将分解成多种成份:离子、原子以及活性基团(激发态),高能物质(主要是原子团,原子团具有高黏附系数,被吸收后容易沿表面迁移,这两个因素可以产生优异的膜一致性)在衬底吸附,吸附后在衬底沿表面迁移,新键形成,膜生长^[5]。总体来说,PECVD工艺因为淀积反应广泛而复杂,成膜过程为附着成膜,过程中可能导致 SiO_2 晶体中形成孔洞或在以后的热循环中剥落,形成不良。

为探究 SiO_2 薄膜的源漏极刻蚀液隔绝能力,对 SiO_2 进行了耐酸性验证。验证方式为:在源漏极金属表面沉积一层固定厚度 SiO_2 薄膜,将样品放置于源漏极刻蚀液中浸润10 min,使用电子显微镜观察浸润前后源漏极金属表面腐蚀程度。实验发现,浸润后源漏极金属表面出现针孔状腐蚀,如图4所示,氟离子浓度降低到1 250 ppm时,未发现金属腐蚀,随着源漏极蚀刻液氟离子浓度增加,金属破损数量明显增加。由此可以得出结论:在实际生产过程中,源漏极刻蚀液通过 SiO_2 薄膜孔洞渗透至半导体层,渗入的源漏极刻蚀液中的氢氟酸将IGZO腐蚀,IGZO沟道因腐蚀影响,半导体电流电压特性向负方向偏移,最终导致亮点异常。

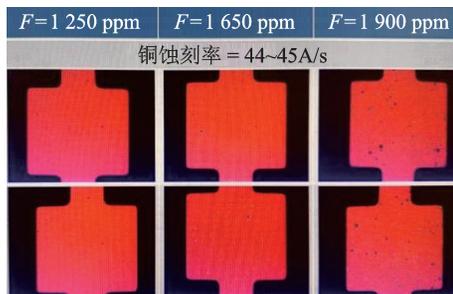


图4 SiO_2 耐酸性测试:泡酸后Cu膜腐蚀状况

Fig.4 Acid resistance test of SiO_2 : Corrosion status of Cu film after acid soaking

分析上述试验结果可知,改善IGZO腐蚀情况可以通过改善 SiO_2 薄膜孔洞实现。为深入分析 SiO_2 薄膜孔洞情况,通过湿法腐蚀率(Wet etch rate,简称WER)进行量化分析。WER是表征 SiO_2 晶格结构完整程度的一个重要参数^[6]。WER的检测方法是:将沉积好薄膜的硅片浸入氢氟酸药液中,经过一段时间的腐蚀后,计算薄膜厚度的变化量与腐蚀时间的比值。

3 试验结果及结论

图5所示为不同成膜速率的 SiO_2 薄膜与湿法腐蚀率趋势。可以看出, SiO_2 成膜速率越低,湿法腐蚀率越低,对应孔洞数量越少。因此,在PECVD工艺中,减少 SiO_2 孔洞可通过降低 SiO_2 成膜速率来实现,其中射频功率、成膜压力、气体流量、成膜温度是影响成膜速率的重要因素。

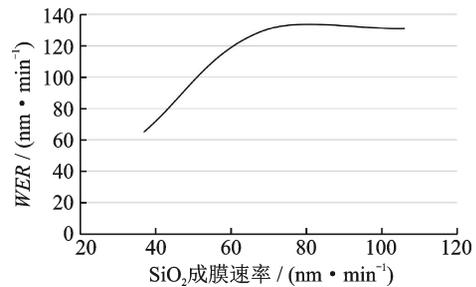


图5 WER与成膜速率间关系

Fig.5 Relations between the etching rate and WER

通过DOE实验验证发现,降低射频功率(15.3 kW)和成膜压力(147 Pa),可在保证 SiO_2 成膜均一性和折射率前提下降低成膜速率^[7]。提高成膜压力条件(147 Pa), SiO_2 成膜速率下降更明显,图6所示为 SiO_2 成膜速率和因子趋势关系,通过关键因子DOE分析,对全因子2水平进行验证得出。

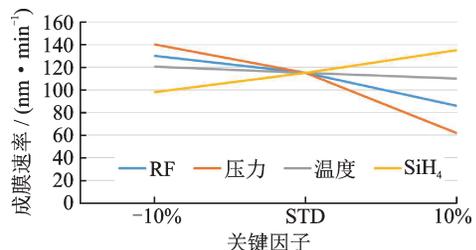
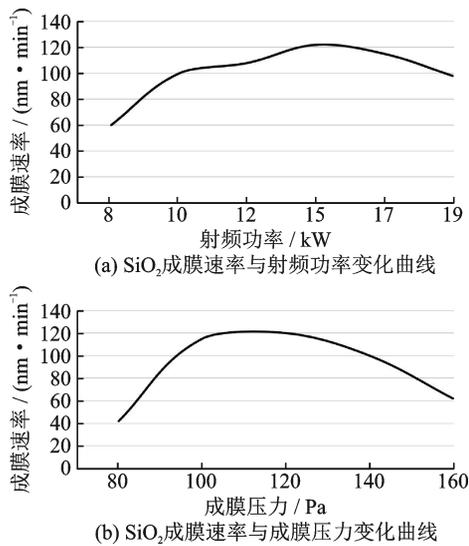


图6 成膜因子与成膜速率间关系

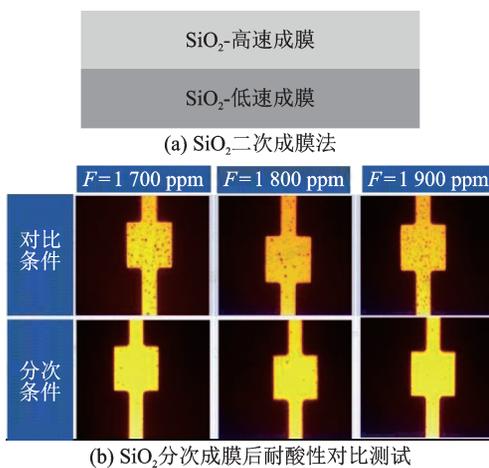
Fig.6 Relationship between factor of deposition and deposition rate

由图7(a)和图7(b)可见,随着射频功率、成膜压力增加,成膜速率有先增加后平缓,最后降低的趋势。实际生产中射频功率和成膜压力均处于成膜速率降低参数区间,即射频功率15 kW~17 kW,成膜压力120 Pa~187 Pa(此趋势因成膜工艺参数不同而处于不同区间,需参照实际趋势状况)。增加射频功率对成膜设备内的各部件的耐击穿电压性能要求更苛刻,故实际操作采用提高成膜压力的方法^[7](根据实际工艺可以射频功率为方向研究)。

由于PECVD成膜特性,成膜过程 SiO_2 晶体中孔洞无法完全避免^[8],为防止孔洞造成药液渗透腐

图 7 SiO₂成膜速率与相关因子变化曲线Fig.7 Variation curves of SiO₂ film deposition rate and related factors

蚀,可采用二次成膜法,即沉积两层保护层:上层膜沉积时将下层膜孔洞封堵,同时上下膜层孔洞错位,防止孔洞贯通渗透刻蚀液^[9]。具体做法为:SiO₂成膜采用二次成膜法(底层采用低速成膜,上层采用高速成膜),一方面提升整体致密性,一方面预防孔洞贯通。^[10-11]

图 8 SiO₂分次成膜法及耐酸性对比结果Fig.8 Two-step deposition of SiO₂ and the comparison results of acid resistance

结合改善对策,提高 SiO₂成膜压力,同时变更 SiO₂成膜方法进行分步成膜,因半导体异常腐蚀导致的亮点不良显著降低,如图 9 所示。

4 总结及展望

从工艺角度分析了 IGZO 电性异常造成亮点不

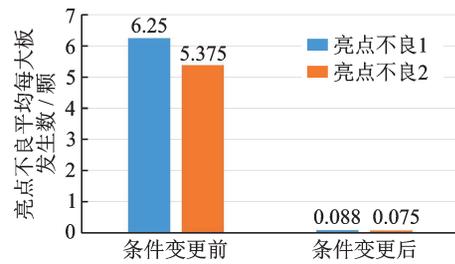


图 9 不良改善实际效果

Fig.9 Effect diagram of adverse improvement

良的根本原因,通过电性分析与不良品的电子显微镜及切片分析观察,发现有源保护层 SiO₂薄膜性能的不足。在实验验证 PECVD SiO₂薄膜特性与成膜各重要因素间关系的基础上通过设计实验得出不不良改善方法,即 SiO₂成膜采用二次成膜法,底层采用高成膜压力成膜,提高致密性,上层采用高速成膜,封堵孔洞。以科学的方法提出其性能改善的研究方向和思路,对 IGZO 材料和 TFT 相关领域的不不良改善与工艺研究具有一定的参考意义。

参 考 文 献

- [1] Kamiya Toshio, Nomura Kenji, Hosono Hideo. Present status of amorphous In-Ga-Zn-O thin-film transistors[J]. Science and Technology of Advanced Materials, 2010, 11(4):044305.
- [2] 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.
- [3] Liu P T, Chou Y T, Teng F H. Ambient stability enhancement of thin-film transistor with InGaZnO capped with InGaZnO: N bilayer stack channel layers[J]. IEEE Electron Device Letters, 2011, 32(10):1397-1399.
- [4] 刘翔,张盛东,薛建设,等.高性能金属铟镓锌氧化物 TFT 的研究[J].真空科学与技术,2014,34(2):130-133.
- [5] Li Dongling, Shang Zhengguo, Wen Zhiyu, et al. Silicon dioxide film deposited by plasma enhanced chemical vapor deposition at low temperature[J]. Nanotechnology and Precision Engineering, 2013, 11(2):185-190.
- [6] 梁庆,苑伟政,虞益挺,等.牺牲层刻蚀实验的在线观察与研究[J].纳米技术与精密工程,2007,5(3):4.
- [7] 龙长林,吴限,陈国钦,等.PECVD 法制备 SiO₂膜均匀性研究[J].激光与红外,2021,51(10):1348-1351.
- [8] 何乐年,徐进,王德苗.等离子体气相沉积非晶 SiO₂薄膜的特性研究[J].真空科学与技术,2000,20(4):247-250.
- [9] 刘键,胡跃明,冷兴龙,等.等离子增强化学气相沉积法低温生长 SiO_x薄膜的针孔缺陷修复[J].电子与封装,2020,20(1):50-55.
- [10] Cobianu C, Pavelescu C. An etch-rate study of thermally annealed LTCVD SiO₂ films as a function of initial deposition conditions [J]. Journal of Materials Science Letters, 1984, 11: 979-982.
- [11] 付海时,彭昊,张晓东,等.H扩散掺杂源漏的自对准顶栅 a-IGZO TFT 制备工艺研究[J],光电子技术,2019,39(1):5.