

文章编号:1007-2780(2018)09-0717-08

阵列基板栅极制程的 Cu 腐蚀研究

刘 丹*, 秦 刚, 王任远, 吕俊君, 饶 毅, 周 禹, 王百强,
李 路, 蔡卫超, 刘 涛, 李晨雨, 陈国良
(重庆京东方光电科技有限公司 光刻工程部, 重庆 400700)

摘要:在大尺寸液晶显示器的薄膜晶体管(Thin Film Transistor, 简称 TFT)TFT 工艺技术中, Cu 正逐步取代 Al 作为电极材料。与 Al 电极制程相比, 在进行栅极(Gate)制程时 Cu 容易发生腐蚀, 这会降低产品良率。本文结合 ADS (Advanced Super Demension Switch)显示模式下 0+4 掩模板(mask)技术的 Gate 刻蚀制程和 1+4 掩膜版技术 Gate 光刻胶(Photo Resist, 简称 PR)剥离制程的 Cu 腐蚀现象进行分析, 结合实验验证, 确定 Cu 腐蚀原因, 最终提出改善方案。实验结果表明: 0+4mask 技术的 Gate 制程中, ITO 刻蚀液所含的 HNO_3 会使 MoNb/Cu 结构电极的 Cu 发生电化学腐蚀; 将电极结构更改为单 Cu 层则可以避免电化学腐蚀。在 1+4mask 技术的 PR 剥离(strip)制程中, 基板经历的剥离时间长或进行多次剥离或在剥离设备中停留, 均会引起 Cu 腐蚀; 增加剥离区间与水区间空气帘(Air Curtain)吹气量、增加 TFT 基板在过渡区间(H_2O 与剥离液接触的区间)的传输速度, 管控剥离液使用时间等措施可以缓解 Cu 腐蚀。

关 键 词: Cu 电极; Cu 腐蚀; 电化学效应; 刻蚀工艺; 剥离工艺

中图分类号: TP394.1; TH691.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183309.0717

Cu corrosion of array substrate in gate process

LIU Dan*, QIN Gang, WANG Ren-yuan, LV Jun-jun, RAO Yi, ZHOU Yu,
WANG Bai-qiang, LI Lu, CAI Wei-chao, LIU Tao, LI Chen-yu, CHEN Guo-liang

(Photo-Etch Engineering Dept., Chongqing BOE Optoelectronics Technology CO., LTD.,
Chongqing 400700, China)

Abstract: In the large-size TFT process technology, Cu gradually replaces Al as the electrode material. However, compared with Al electrode, Cu is more prone to corrode in Gate process reducing product yield. In this paper, Cu corrosion in Gate etch process of 0+4 mask technology and Gate strip process of 1+4 mask technology is analyzed when it comes to ADS display mode. Combined with experimental verification, the reason of Cu corrosion is determined. Finally, improvement programs are proposed. Experiment results show: In Gate etch process of 0+4 mask technology, HNO_3 contained in the ITO etchant will lead to galvanic corrosion of Cu in MoNb/Cu structured electrode. The galvanic corrosion can be avoided if the electrode structure is modified to a single Cu structure. In Gate strip process of 1+4 mask technology, Cu corrosion may be induced if the TFT substrate is stripped for a long time or repeatedly stripped or stayed in strip device for a long time. Increasing the blow rate

收稿日期: 2018-04-23; 修订日期: 2018-05-15.

* 通信联系人, E-mail: liudan_cq@boe.com.cn

of AC(Air Curtain) between strip zone and show zone, increasing the transfer speed of TFT substrate in transition zone(the section where H_2O is in contact with stripper), controlling the use time of stripper can relieve Cu corrosion.

Key words: Cu electrode; Cu corrosion; Galvanic effect; etch process; strip process

1 引言

TFT-LCD 经过近十年发展已形成较大规模,已成为目前平板显示的主流技术,该技术在医疗、教育、交通、家电等行业广泛使用,并朝大尺寸方向发展^[1]。为避免大尺寸薄膜晶体管液晶显示器(TFT-LCD)的 RC 延迟风险,需采用低电阻率的金属制作电极。与 Al 相比,Cu 具有的电导率高、导热性好、热膨胀系数小、熔点高等优势,且高频性能和抗电迁移率良好^[2-3]。鉴于上述优势,在大尺寸 TFT 领域,Cu 正逐步取代 Al 作为电极材料。然而 Cu 的粘附性差,沉积后容易脱落;同时,Cu 的扩散能力强,与 Si 反应生成副产物,这会损伤器件性能甚至引起失效^[3-5]。为改善 Cu 粘附性和防止 Cu 扩散,在进行 Cu 镀膜之前需要沉积缓冲层,MoNb、Mo、Ti、Ta 均可作为缓冲层^[6]。MoNb 缓冲层的主体材料是 Mo。在湿法刻蚀中,Cu 刻蚀液有 H_2O_2 体系和 H_3PO_4 体系^[7-8]。在 H_2O_2 体系刻蚀液中, H_2O_2 做氧化剂,先将 Cu 氧化为 CuO,再将 CuO 溶解为 Cu^{2+} , H_2O_2 在 Cu 刻蚀过程中既体现氧化性又体现出酸性。MoNb 缓冲层被 H_2O_2 氧化为 MoO_3 和 Nb_2O_5 ,此类氧化物在 F-作用下形成可溶性络合物。Cu 的标准电势高于 Mo,故 MoNb/Cu 结构电极在刻蚀液中形成以 Mo 做阳极的原电池,此种电化学效应可能导致底层 Mo 加速腐蚀进而导致电极图形异常。故 H_2O_2 体系 Cu 刻蚀液中加入特定的添加剂抑制 Mo/Cu 界面的电化效应。

Gate 刻蚀完成后需进行光刻胶剥离,Gate 电极上的 PR 采用剥离液(stripper)进行湿法剥离。在剥离过程中,剥离液逐渐穿透 PR,内部浸透的 PR 被不断溶解,最终内部 PR 被全部溶解,同时最外层的 PR 膨胀并从粘附的 Gate 电极上脱落。在 Cu 工艺 TFT 的 Gate 制程中,Gate 电极在刻蚀和 PR 剥离时容易发生腐蚀,腐蚀造成良率损失。结合 TFT 量产条件和相关文献报道情况来看,Cu 腐蚀的原因主要有以下方面: Cu 在酸性

环境中会被腐蚀,形成 CuO 和 Cu_2O 等腐蚀产物,且酸性程度越强腐蚀速率越快^[9]。碱性环境下的 OH-可与 Cu 发生电化学腐蚀,Cu 表面形成腐蚀产物 Cu_2O , Cu_2O 在进一步腐蚀和相关环境作用下可形成 $Cu(OH)_2$ 或 CuO^[10-12]。Cu 与 H_2O 也可发生反应,形成 $Cu(OH)_2$ 等腐蚀产物^[13-14]。

本文研究了 Cu 工艺 TFT 工艺技术中 0+4 mask Gate 刻蚀制程和 1+4 mask Gate strip 制程中的 Cu 腐蚀情况,结合腐蚀现象分析腐蚀原因和机理,最终针对 Cu 腐蚀提出改善措施。

2 实验

2.1 0+4 mask 技术 Gate 制程及其测试

0+4 mask 技术 Gate 制程如图 1 所示,掩膜板(mask)上有缝隙和半透膜,光可完全通过缝隙照射在 PR(图中右边部分红色标记)上,诱发 PR 发生光化学反应,发生光化学反应的 PR 在后续工序被显影液溶解;与此同时,由于半透膜的吸收作用,光只能部分通过半透膜,由于透过的光照强度减弱,PR 发生的光化学反应强度也减弱,经过显影后,该处的 PR 表现为厚度减薄。完成光刻后,进行第一次 Gate 刻蚀和 ITO 刻蚀;然后进行半透膜处 PR 的挥化(Ashing),将此处的 PR 去除;PR 挥化完成后进行第二次 Gate 刻蚀,将原 Ashing 处 PR 下方的 Gate 膜层进行刻蚀;第二次 Gate 刻蚀完成后,最后进行 PR 的剥离。在 0+4 mask 技术中,Gate 电极材料是 Cu,故刻蚀采用 Cu 刻蚀液,ITO 刻蚀则采用专用的 ITO 刻蚀液。在进行 ITO 刻蚀时,ITO 刻蚀液会接触 Gate 电极的截面,对 Gate 电极造成腐蚀,此种腐蚀不可避免。

尝试通过调整 Gate 电极膜层结构来减小 ITO 刻蚀液对 Gate 电极的腐蚀:按照 TFT-LCD 8.5 代线的工艺制程,依次在玻璃基板上采用磁控溅射方式依次沉积 ITO、MoNb 合金层、Cu,此组记为 S1;在玻璃基板上依次沉积 ITO、Cu,

此组记为 S2; ITO 作为公共电极, MoNb/Cu 或 Cu 作为栅极。成膜完成后, 将 S1 和 S2 样品按照图示的 0+4 mask 技术进行 Gate 制程。S1 和 S2 完成 Gate 制程后, 采用光学图形检测设备 (Pattern Inspection, 简称 PI) 测试 S1 和 S2 的电极形状, 评估 Gate 膜层结构对 Gate 腐蚀的影响。同时, 按照 TFT 量产条件, 分别在玻璃基板上制备 MoNb/Cu 电极和 Cu 电极, 分别记作 S3 和 S4, 采用 ITO 刻蚀液按照 TFT 的量产 ITO 刻蚀条件对 S3 和 S4 进行腐蚀, 并设置不同的腐蚀时间, 最后采用电子显微镜 SEM 对经历 ITO 刻蚀液腐蚀的 S3 和 S4 样品采用进行微观测试, 通过测量膜层的厚度随刻蚀时间的变化来评估两种样品在 ITO 刻蚀液喷淋下的腐蚀速率差异。

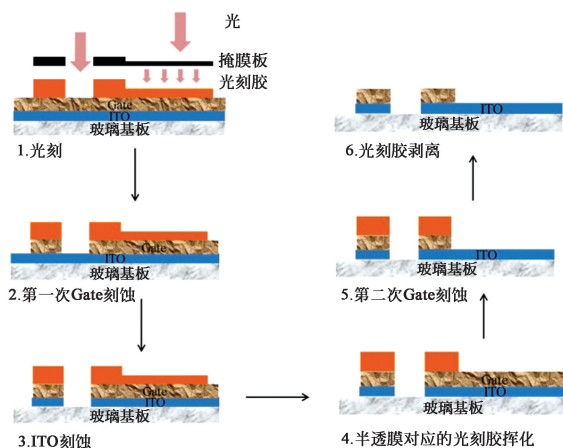


图1 0+4 Mask 技术的 Gate 电极工艺制程

Fig.1 Process flow of Gate electrode in 0+4 Mask technology

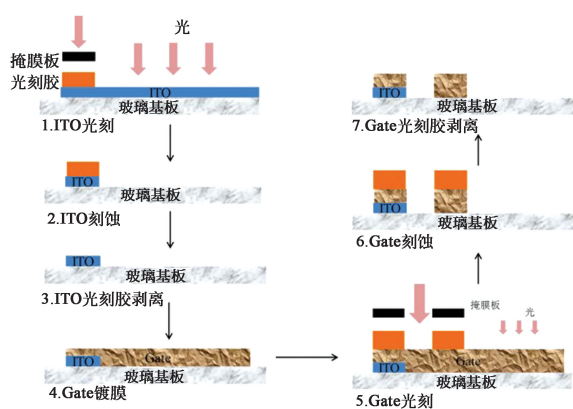


图2 1+4 Mask 技术的 Gate 电极工艺制程

Fig.2 Process flow of Gate electrode in 1+4 Mask technology

2.2 1+4 mask 技术 Gate Stripe 制程及其测试

如表 1 所示, 区块二对应 1+4 mask 技术光刻胶剥离制程的 Cu 腐蚀验证。S5~S11 样品的工艺制程均相同, 按照 TFT-LCD 8.5 代线 1+4 mask 工艺制程, 依次完成公共电极 ITO 成膜、光刻胶涂覆与光刻、ITO 刻蚀、光刻胶剥离, 然后在有公共电极 ITO 的玻璃基板上进行 MoNb/Cu 结构薄膜沉积、光刻胶涂覆与光刻、Cu 刻蚀。在进行光刻胶剥离时, S5 采用量产剥离条件, S6 和 S7 的剥离时间逐步增加, 用 S5~S7 的对比试验探究 PR 剥离时间对 Cu 腐蚀的影响。S8~S11 分别在剥离设备的不同区间停留的时间, 将停留样品测试 SEM, 通过对比 Cu 样品的腐蚀程度, 确定剥离设备的腐蚀源。

表1 Cu 腐蚀实验条件

Tab.1 Experimental split for Cu corrosion

试验区块	测试目的	样品编号
0+4 mask Gate 制程	Gate 膜层结构对 Cu 腐蚀的影响	S1、S2
	ITO 刻蚀液对不同结构膜层腐蚀差异	S3、S4
1+4 mask Gate Strip 制程	Strip 时间与 Cu 腐蚀的关系	S5、S6、S7
	Strip 制程不同区间停留与 Cu 腐蚀关系	S8~S11

3 结果与讨论

3.1 0+4 mask 技术 Gate 刻蚀中的 Cu 腐蚀

采用 0+4 mask 技术验证的 S1 和 S2 的 Gate 电极形状如图所示: 1 根较细的 Common 线和 2 根 Gate 线。ITO/MoNb/Cu 结构的 S1 出现了 Cu 腐蚀, 从图 3 中可看出, 部分 Gate 电极已经缺失, 露出 Gate 下面的 ITO。而 ITO/Cu 结构的 S2 电极形状完整。S1 Gate 电极的 SEM 测试结果如图 4 所示, Gate 电极被腐蚀, 截面不规则, Cu 膜层呈现出顶部缺失或陡峭的形貌, 而 MoNb 层则相对完整。

将 ITO 刻蚀液对 Cu 膜层腐蚀的数据进行汇总, Cu 膜厚与腐蚀时间的关系见图 5。从图 5 中可以看出, 随着 ITO 刻蚀液腐蚀时间的延长, Cu

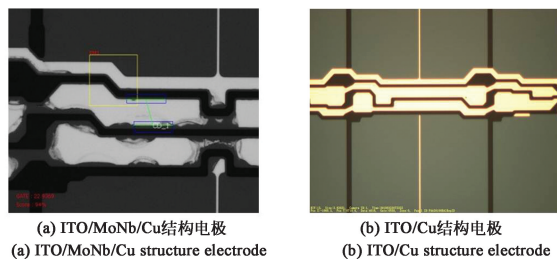


图 3 不同结构膜层经过 0+4mask Gate 制程后的 PI 测试图像

Fig.3 Optical image of Gate pattern in different film structure experienced 0+4 Mask process

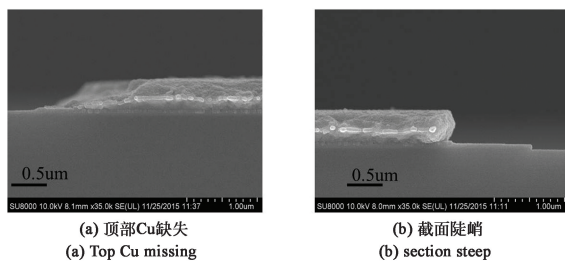


图 4 ITO/MoNb/Cu 电极腐蚀的 SEM 形貌

Fig.4 Microscopic morphology of ITO/MoNb/Cu structured electrode by SEM test

膜厚逐渐减小。MoNb/Cu 结构的腐蚀速率 0.024 nm/s, 单 Cu 的腐蚀速率 0.014 nm/s, MoNb/Cu 结构的腐蚀速率更快。

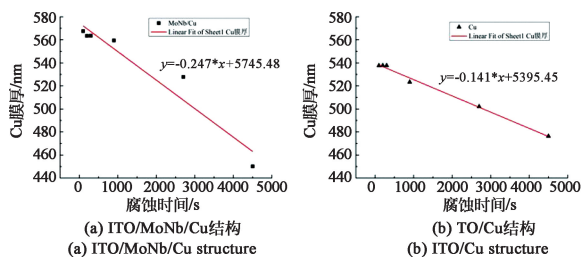


图 5 0+4 mask 技术不同结构 Gate 电极在 ITO 刻蚀液中的腐蚀速率

Fig.5 Etch rate of different structure Gate electrode in ITO etchant by 0+4 mask technology

MoNb 合金层的主要成分是 Mo, Cu 的标准电势 0.337, Mo 的标准电势 0.20。当 Cu 与 Mo 接触, 在刻蚀液环境中形成原电池, Mo 因电势低而作为原电池阳极。阳极发电化学腐蚀, 故容易形成 Mo undercut。然而 HNO_3 会降低 Cu 电势而增加 Mo 电势, 最终使得极性发生反转, Cu 做阳极。故 MoNb/Cu 结构电极在 HNO_3 环境中,

Cu 会发生电化学腐蚀^[7]。此种情况下 Cu 的电化学腐蚀示意图如图 4 所示: Cu/MoNb 膜层与 HNO_3 溶液构成闭合回路, 形成原电池, Cu 作为阳极而被腐蚀。ITO 刻蚀液的主要成分是 HNO_3 , 由于 HNO_3 的作用, 使得 0+4 mask Gate 制程中 MoNb/Cu 结构膜层在 ITO 刻蚀阶段会发生 Cu 的电化学腐蚀。0+4 mask 技术制备的 TFT 器件均是底栅结构, 栅极下方是 ITO 层而没有 Si 等有源层, 无需担心 Cu 扩散至有源层而恶化器件性能。因此, 可以将 ITO 层视作缓冲层, 将栅极的 MoNb/Cu 结构变更为单 Cu 层, ITO 层既做公共电极又做 Cu 的缓冲层, 如此可以避免 Cu 的电化学腐蚀。

3.2 Strip 时间与中 Cu 腐蚀关系

光刻胶剥离过程中遇到的 Cu 腐蚀如图 6 所示, Cu 腐蚀发生在 MoNb 层和 Cu 交界处, 最终形成 Cu undercut, 以 Cu undercut 长度 (图 6 中箭头示意) 来衡量此类 Cu 腐蚀的程度。

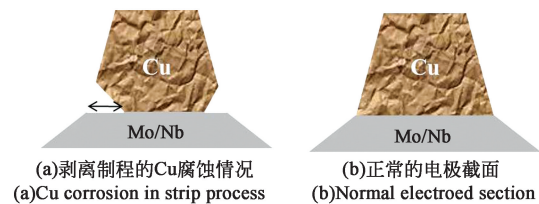


图 6 剥离制程中的 Cu 腐蚀示意图

Fig.6 Diagram of Cu erosion in strip process

如图 7 所示, 剥离时间分为 A、B、C 三项, 且 $A < B < C$ 。Cu 膜层, 经历剥离时间越长, undercut 越严重。剥离制程中的剥离液属碱性, 氢氧根 (OH^-) 会造成 Cu 腐蚀。Cu 电极经历的剥离时间越长, Cu 受到的腐蚀时间也越长, 腐蚀亦越严重。

在 1+4 mask 技术的 Gate 制程中, 栅极 (Gate) 线和 Common 线属于同一 Cu 膜层, Gate 线下方是玻璃基板, 而 Common 线下方是 Common 电极 (ITO 电极)。将不同剥离时间下 Gate 线和 Common 线的 undercut 长度统计汇总, 以区间图形式绘制于图 8, 区间顶部代表最大腐蚀量, 区间底部代表最小腐蚀量, 数据则表示腐蚀的平均程度。从图中趋势可看出, Gate 电极剥离时间越长, Cu 腐蚀越严重且 Common 线处的腐蚀比 Gate 线更严重。

对于 1+4 mask 的 Gate 电极而言, Gate 电

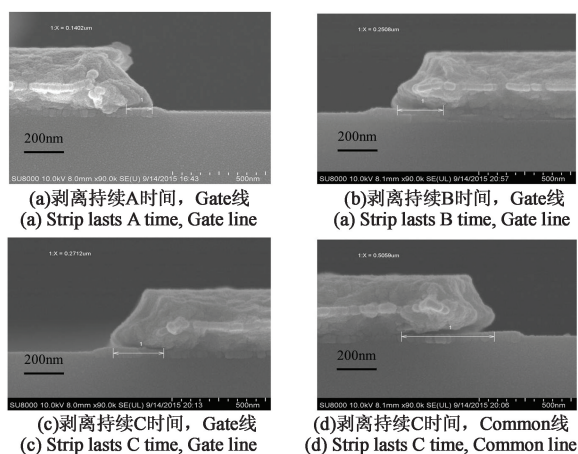


图7 不同剥离时间下Cu腐蚀SEM形貌

Fig.7 Microscopic morphology of Cu erosion during different strip time by SEM test

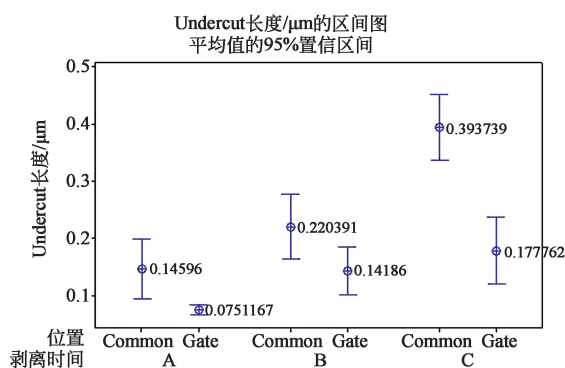


图8 Cu腐蚀与剥离时间的关系示意图

Fig.8 Relationship between Cu erosion and strip time

极由1根Common线和2个Gate线组成,在strip腐蚀中Common线的Cu腐蚀更加严重。Gate线和Common线截面示意图如图9所示。MoNb/Cu结构电极在strip过程中产生了电化学腐蚀,Cu作为阳极而加速腐蚀。Common线处,MoNb下面有ITO;ITO经过退火后,其所含的 In^{3+} 和 Sn^{4+} 已达最高化合价,无法被氧化,故ITO只能做阴极;Common处存在MoNb和ITO双层阴极,双阴极结构会导致腐蚀电流增加,故Common处的Cu腐蚀更加严重。

剥离液会对Cu电极造成腐蚀,因此,同一条件下的Gate膜层,在满足光刻胶剥离的前提下,应尽量减少剥离时间。量产环境下,如果玻璃基板在PR光刻过程中遇到异常,基板上的PR会被剥离液全部剥离,然后再涂覆PR进行光刻,光刻完成后依次进行刻蚀、PR剥离,TFT行业称此

过程为rework。一道rework过程,Cu膜层会经历两次光刻胶剥离,如果光刻工艺继续异常就会继续rework,每增加一次rework,也就增加一次剥离,Cu也就增加一次腐蚀。因此,在量产条件下,需严格控制rework的次数。此外,对于Gate线设计得较细的产品,需更加严格地管控剥离时间和rework次数。

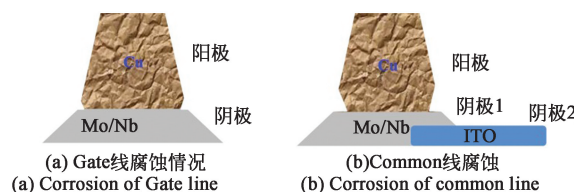


图9 Gate线和Common线的原电池极性示意图

Fig.9 Illustration of original battery polarity of Gate line and Common line

3.3 Strip不同区间停留与中Cu腐蚀关系

在进行光刻胶湿法剥离制程时,如果剥离设备发生报警,基板会在剥离设备内停留,此时设备内的药液会继续喷淋,这也会诱发Cu腐蚀。剥离设备结构示意图如图10所示,strip1~strip4是剥离区间,SWR2~SWR7是清洗区间,SWR1则是剥离区间与水区间的过渡区域,AK是干燥区间。TFT玻璃基板进入strip1区间,在strip1~4区间进行光刻胶剥离:PR胶在strip1~4区间被软化、浸透、溶解(PR的溶解主要在Strip1进行,Strip1~Strip4区间内的PR浓度逐步减小)。随后,TFT基板进入水区间,基板上的剥离液被 H_2O 冲走。基板清洗完毕后,基板经过风刀(Air Knife,简称AK),AK吹出过滤的洁净空气将基板上的水吹走,达到干燥的目的。将TFT基板在不同区间进行停留D时间,通过不同区间停留的Cu腐蚀程度(undercut长度)来确定剥离设备停留的腐蚀源。



图10 Strip设备示意图

Fig.10 Illustration of strip equipment

如图11所示,以Cu电极的undercut长度为对比依据,不同区间的腐蚀严重程度依次是 $\text{SWR1} > \text{SWR7} > \text{strip1} > \text{strip4}$ 。SWR1区间是

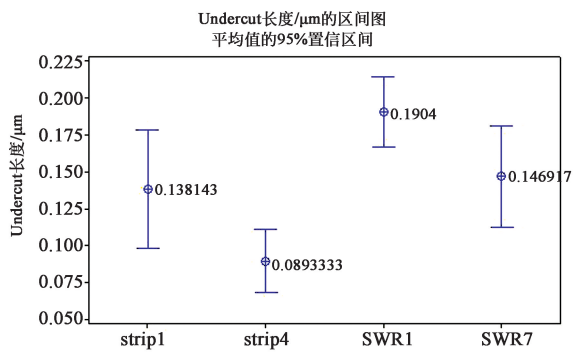


图 11 Cu 腐蚀与剥离设备中不同区间的关系

Fig. 11 Relationship between Cu erosion and different units of strip equipment

剥离区间和水区间的过渡区, TFT 基板由 strip4 区间传输至 SWR1 区间时, 剥离液会附着于 TFT 基板上被带至水区间, 剥离液含有乙醇胺, 乙醇胺与 H_2O 结合会析出 OH^- [15-16], OH^- 造成 Cu 腐蚀。SWR1 区间停留下的 Cu 腐蚀如图 12 所示, 与 MoNb 接触的 Cu 已经完全被腐蚀, 形成了空洞。Strip4 和 SWR1 区间有空气帘 (Air Curtain, 简称 AC) 间隔, AC 吹出过滤的空气将玻璃基板上的剥离液刮下, 确保剥离液留在剥离区间。在保证工艺稳定的条件下, 增加 AC 的吹气量, 减少玻璃基板上剥离液的带出量, 可以减少 SWR1 处 OH^- 的生成, 进而减缓 Cu 腐蚀; 同时, 增加 SWR1 的传输速度, 减少玻璃基板在 SWR1 的传输时间, 即减小腐蚀时间, 也可以减缓 Cu 腐蚀。基板传输至 SWR7 时, 已被清洗干净, SWR7 区间喷淋纯 H_2O 。基板在 SWR7 停留, Cu 与 H_2O 会发生反应生成 H_2 和腐蚀产物 $Cu(OH)_2$ 。因此, 在 SWR7 区间的 H_2O 喷淋下, Cu 电极被腐蚀, 形成 undercut。剥离液呈碱性, Cu 在碱性环境中会被腐蚀。故基板在 Strip1 和 strip4 区间停留, 均诱发 Cu 腐蚀。Strip1 区间停留对应的 Cu 情况如图 13 所示, 腐蚀导致 Cu undercut 形成, undercut 形成后 Cu 和 MoNb 缓冲层的粘附恶化。因湿法剥离的传输机制, 大部分光刻胶在 strip1 区间被剥离溶解, 故 strip1 区间的 PR 浓度高于 strip4, 且 strip1 对应的 Cu 腐蚀比 strip4 更严重, 可以确定 PR 含量越高的剥离液对 Cu 的腐蚀越严重。在正常量产条件下, 随着流片数量的增加, 剥离液中的 PR 含量会逐渐增加, 其剥离液对 Cu 的腐蚀能力亦会逐渐加强; 为避免因 PR 浓

度过高诱发的 Cu 腐蚀, strip1 区间剥离液的使用寿命应当被严格控制, 当剥离液的使用时间到达寿命后, 应立即更换新的剥离液。

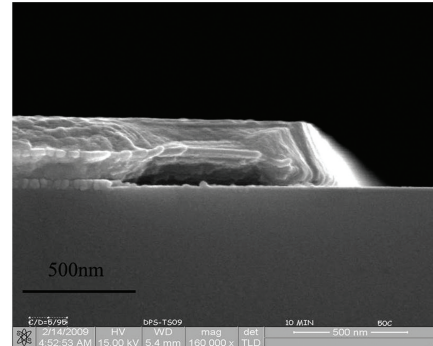
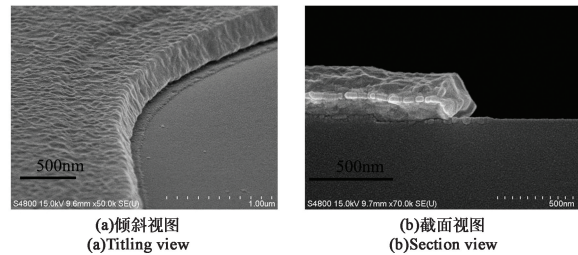


图 12 剥离设备 SWR1 区间停留对应的 Cu 腐蚀

Fig. 12 Cu erosion of TFT substrate staying at SWR1 chamber of Strip equipment for a long time

图 13 Strip1 区间停留对应的 Cu 的腐蚀 SEM 形貌
Fig. 13 Microscopic morphology of Cu erosion staying at Strip1 chamber of strip

综上所述, 可以确定在剥离设备中, 剥离区间、SWR1 区间、水区间均可诱发 Cu 腐蚀, 且严重程度为 $SWR1 > SWR7 > strip1 > strip4$ 。如果 TFT 基板在剥离设备中停留, 就会有 Cu 腐蚀的风险。因此, 确保剥离设备正常运转, 减少玻璃基板在剥离设备停留的概率便可缓解 Cu 腐蚀。同时, 适度增加 strip4 和 SWR1 之间 AC 的吹气量、增加 SWR1 区间传输速度、控制 strip1 区间剥离液使用寿命等措施, 均可以有效缓解 Cu 腐蚀。

4 结 论

通过分析和实验结果可知, Cu 结论如下:

(1) 在 0+4 mask 技术的 Gate 制程中, 进程进行至 ITO 刻蚀时, ITO 刻蚀液所含的 HNO_3 会使 MoNb/Cu 结构发生电化学反应, 导致 Cu 做阳

极被氧化,形成 Cu 腐蚀,最终造成 Gate 线断路、Gate 截面塌陷或陡峭。将 Gate 膜层由 MoNb/Cu 更换为单 Cu,即可消除电化学腐蚀;

(2)在 1+4 mask 技术的 Gate 剥离工艺制程中,因剥离液呈碱性,故其会导致 Cu 腐蚀。剥离时间越长或剥离的次数越多,Cu 腐蚀越严重。腐蚀位于 Cu 与 MoNb 交界位置,最终形成 Cu undercut。管控光刻胶的剥离时间,减少因光刻工艺异常而进行的 rework 次数,可以缓解 Cu 腐蚀。

(3)在 Gate strip 制程中,剥离液、水、剥离液

与水的混合液均对 Cu 有腐蚀。玻璃基板在剥离区间或水区间停留,均有 Cu 腐蚀的风险,其腐蚀形貌是 Cu undercut 形式。基板在剥离与水区间的过渡区域 SWR1 停留,Cu 腐蚀最严重。增加剥离区间与水区间 AC 的吹气量,进而减少剥离液带出量,减少剥离液与水反应洗出 OH⁻,最终缓解 Cu 腐蚀;同时,增加 SWR1 区间的传输速度,进而减少基板在 SWR1 区间的腐蚀时间,亦可缓解 Cu 腐蚀。管控剥离设备 strip1 区间剥离液使用时间,亦可缓解 Cu 腐蚀。

参 考 文 献:

- [1] 刘耀,陈曦,张小祥,等.薄膜晶体管液晶显示器阵列工艺最终关键尺寸测试方法研究[J].液晶与显示,2015,30(5): 784-789.
LIU Y, CHEN X, ZHANG X X, *et al.* Final critical dimension measuring method about TFT-LCD array process [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(5): 784-789. (in Chinese)
- [2] 吴桂芳,宋学平,刘勇,等.衬底温度对溅射硅基铜膜(Cu/Si)应力的影响研究[J].安徽大学学报:自然科学版,2004, 28(3):27-32.
WU G F, SONG X P, LIU Y, *et al.* Effects of substrate temperature on the stress properties of sputtering Cu film on Si wafer [J]. *Journal of Anhui University: Natural Science Edition*, 2004, 28(3): 27-32. (in Chinese)
- [3] 王新建.溅射铜和铜合金薄膜的微观结构与性能——铜互连技术的基础研究[D].上海:上海交通大学,2009.
WANG X J. Microstructure and properties of sputtered copper and copper alloy thin films-the fundamental study of copper-interconnection technique [D]. Shanghai: Shanghai Jiao Tong University, 2009. (in Chinese)
- [4] 刘彬,刘静,吴振宇,等.铜互连电迁移失效的研究与进展[J].微电子器件与技术,2007,44(4):211-216.
LIU B, LIU J, WU Z Y, *et al.* Research and development of the Cu interconnect and its electromigration failure [J]. *Microelectronic Device & Technology*, 2007, 44(4): 211-216. (in Chinese)
- [5] KA J, CHO E N, LEE M J, *et al.* Electrode metal penetration of amorphous indium gallium zinc oxide semiconductor thin film transistors [J]. *Current Applied Physics*, 2015, 15(6): 675-678.
- [6] LEE S H, PARK I S, SEO B H, *et al.* Effect of sputtering parameters on the adhesion force of copper/molybdenum metal on polymer substrate [J]. *Current Applied Physics*, 2011, 11(S5): S12-S15.
- [7] SEO B H, LEE S H, PARK I S, *et al.* Effect of nitric acid on wet etching behavior of Cu/Mo for TFT application [J]. *Current Applied Physics*, 2011, 11(S1): S262-S265.
- [8] SEO B H, LEE S H, PARK I S, *et al.* Effect of acetic acid on wet patterning of copper/molybdenum thin films in phosphoric acid solution [J]. *The Solid Films*, 2011, 519(20): 6806-6809.
- [9] 伍远辉,刘天模,孙成,等.酸雨作用下酸性土壤酸化过程中铜的腐蚀行为[J].四川大学学报:工程科学版,2010,42 (1):119-125.
WU Y H, LIU T M, SUN C, *et al.* Corrosion behaviors of copper in acidic soil acidified with simulated acid rain [J]. *Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition*, 2010, 42(1): 119-125. (in Chinese)
- [10] 何建波,李学良,林建新.浓碱溶液中铜阳极产物的阴极还原行为研究 I. Cu(I)产物的阴极还原[J].化学学报, 1997,55(11):1103-1107.
HE J B, LI X L, LIN X J. Investigation on electro-reduction behaviour of copper anodic products in concentrated NaOH solutions I. Electro-reduction Cu(I) products [J]. *Acta Chimica Sinica*, 1997, 55(11): 1103-1107. (in Chinese)
- [11] 何建波,陈涵禾,林建新.浓碱溶液中铜阳极产物的阴极还原行为研究 II. Cu(II)产物的阴极还原[J].电化学,

- 1997, 3(3): 297-301.
- HE J B, CHEN H H, LIN J X. Investigation on electro-reduction behaviour of copper anodic products in concentrated NaOH solutions II. Electro-reduction Cu(II) products [J]. *Electrochemistry*, 1997, 3(3): 297-301. (in Chinese)
- [12] 何建波, 林建新. 铜在碱性溶液中阳极过程的研究[J]. 高等学校化学学报, 1996, 17(2): 290-293.
- HE J B, LIN J X. A study of anodic process of copper in NaOH solution [J]. *Chemical Journal of Chinese Universities*, 1996, 17(2): 290-293. (in Chinese)
- [13] HULTQUIST G, GRAHAM M J, KODRAO, *et al.* Corrosion of copper in distilled water without O₂ and the detection of produced hydrogen [J]. *Corrosion Science*, 2015, 95: 162-167.
- [14] HULTQUIST G. Why copper may be able to corrode in pure water [J]. *Corrosion Science*, 2015, 93: 327-329.
- [15] 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.
- LIAO Y P, SONG Z Y, SHAO X B, *et al.* *Thin Film Transistor Liquid Crystal Display* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2016. (in Chinese)
- [16] 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.
- GU Z H. *Thin Film Transistor (TFT) array manufacturing technology* [M]. Shanghai: Fudan University Press, 2007. (in Chinese)

作者简介: 刘丹(1988—)男, 重庆忠县人, 硕士研究生, 高级工程师, 2014 年于四川大学取得硕士学位, 从事光刻、湿法腐蚀等方面工作。E-mail: liudan_cq@boe.com.cn