

文章编号:1007-2780(2019)02-0119-06

ECCP 干法刻蚀条件下的 TFT 基板绝缘层 过孔腐蚀的改善

邱鑫茂¹, 伍 蓉^{1*}, 付婉霞¹, 吴洪江¹, 王宝强¹,陈 曦¹, 李梁梁¹, 刘 耀¹, 林鸿涛², 廖加敏¹

(1.福州京东方光电科技有限公司,福建 福州 350300;

2.北京京东方显示技术有限公司,北京 100176)

摘要:过孔搭接失效一直是 TFT-LCD 行业中重点改善的不良之一。为了解决该不良,本文分析了不同刻蚀模式(ICP 和 ECCP)对过孔形貌的影响,利用四因子法研究 ECCP 模式刻蚀参数(压力、偏置/源极射频功率及 O_2/SF_6 气体比例)对刻蚀速率和均一性的影响,并得出 ECCP 过孔改善的最佳刻蚀参数。结果表明:ECCP 模式下,氮化硅刻蚀过程中物理轰击对 GI 截面的下沿与 Cu 接触区域形成损伤后产生的缺陷,是诱发过孔腐蚀的主要因素,ICP 模式无腐蚀。反应腔压力增大刻蚀速率增大,均一性下降;偏置射频功率增大,速率增大,均一性提高;源极射频功率增大,速率变化小,均一性下降; O_2/SF_6 气体比例对速率影响小, O_2 含量越高,均一性越高。为达到 PR 胶保护 GI 下沿截面的目的,反应压力增大到 1.7 Pa,偏置射频功率减小到 30 kW,源极功率增加到 30 kW, O_2/SF_6 气体保持比例 1:1 后,增加了氮化硅的刻蚀量,减小 PR 胶的内缩量,避免物理溅射表面损伤;同时刻蚀速率达到 750 nm/s,均一性达到 10%,腐蚀发生率为 10%~0,使 ECCP 刻蚀模式对过孔的腐蚀影响得到有效解决。

关 键 词:ECCP 模式;过孔刻蚀;腐蚀改善

中图分类号:TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20193402.0119

Improvement of via-hole corrosion in TFT substrate insulation under ECCP dry etching condition

QIU Xin-mao¹, WU Rong^{1*}, FU Wan-xia¹, WU Hong-jiang¹, WANG Bao-qiang¹,CHEN Xi¹, LI Liang-lai¹, LIU Yao¹, LIN Hong-tao², LIAO Jia-min¹

(1. Fuzhou BOE Photoelectric Technology Co. Ltd, Fuzhou 350300, China;

2. Beijing BOE Display Technology Co. Ltd, Beijing 100176, China)

Abstract: The invalidation of via-hole connect is one of the major issues in TFT-LCD industry. To solve out this issue, the influence of different via-hole etch mode (ICP and ECCP) was analyzed; the effects of ECCP mode etching parameters (chamber pressure, bias/source RF power and O_2/SF_6 gas ratio) on the etching rate and homogeneity were investigated by the four factor method, and the optimum etching parameters of the ECCP over hole improvement were obtained. The results show that the physical bombardment in the etching process of silicon nitride under the ECCP mode is the main

收稿日期:2018-08-29;修订日期:2018-12-07.

* 通信联系人, E-mail: wurong20@163.com

factor to induce the corrosion of the pores in the lower edge of the GI section and the contact area of the Cu, which doesn't happen under ICP mode. The etch rate increases with the increasing of chamber pressure, and the uniformity decreases. The rate increases with the increasing of source and bias power, the uniformity increases with source power and decreases with bias power. The impact of ratio gas (O_2/SF_6) on etching rate is very small, and the higher the O_2 content, the better the homogeneity. In order to achieve the purpose of protecting the lower section of GI with photoresist (PR), the reaction pressure is increased to 1.7 Pa, the bias RF power is reduced by 30 kW, the source RF power is increased by 30 kW and the O_2/SF_6 gas is kept to 1 : 1, which increase the etching amount of silicon nitride, and the internal shrinkage of the PR glue is reduced, which avoid the surface damage of the sputtering. Under this etching parameters, the etching rate is 750 nm/s, the uniformity is 10%, and the corrosion rate is from 10% to 0. The corrosion of the via-hole under ECCP etching mode is solved effectively.

Key words: ECCP mode; via-hole etching; corrosion improvement

1 引言

平板显示行业正处于高速发展和充分竞争的时代,其中薄膜晶体管液晶显示技术具有可制备大尺寸、高分辨率、高色域、低功率、窄边框显示产品的特点。在以家用电视为代表的大尺寸趋势下,TFT 液晶显示正在向高世代线发展。

为了增大可视角度,人们提出边缘电场开关薄膜晶体管(ADS)技术。通过减小 Mask 使用次数,节约生产成本,目前具有量产实绩的阵列基板光刻 Mask 为采用 5Mask。过孔搭接失效一直是 Array 基板制作成品率受限的影响因素之一。搭接失效通常由过孔刻蚀缺陷引起,如 GI 和 PVX 的截面形貌异常导致其覆盖上的 ITO 接触电阻过大;刻蚀不均;物理刻蚀对 Gate 金属损伤,该损伤将在后续工艺流程和信赖测试中逐步体现。

目前刻蚀后形貌的研究主要集中在单一膜层的实验分析,刘丹等人进行了 Mo/Al/Mo 结构电极的坡度角和关键尺寸差的研究^[1];姜晓辉等人进行了栅绝缘层(GI)过孔刻蚀形貌的研究^[2];范学丽等人以 Al 金属层为研究对象,进行提高湿法刻蚀 FICD 均一性的研究^[3]。

针对双膜层及刻蚀基底(Gate)的全面分析少有研究。本文通过实验得到刻蚀速率快、均一性优的刻蚀参数;进一步,为减少刻蚀物理溅射对 GI 与 Gate 接触面的损伤,通过减小 PR 的刻蚀比,达到 PR 对正下方接触面的保护作用。

2 实验

5Mask 制作工艺如图 1 所示,依次形成像素透明电极 ITO 图案,栅极图案,SD 图案,接触过孔图案和公共透明电极图案。

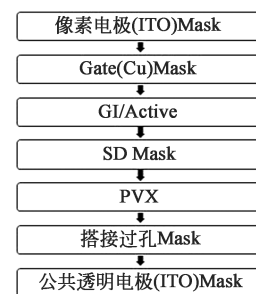


图 1 ADS-TFT 工艺流程

Fig.1 Process flow of ADS-TFT

借助福州京东方液晶面板 8.5 代线生产平台,使用 2 200 mm×2 500 mm Corning 玻璃,玻璃厚度为 0.5 mm。如图 2 所示,实验所涉及膜层

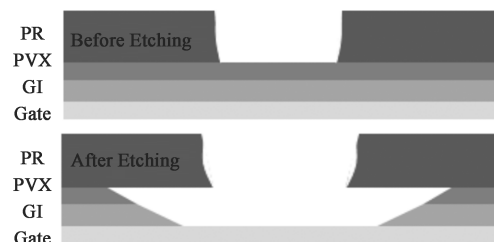
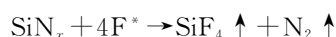


图 2 过孔形貌(刻蚀前后)

Fig.2 Morphology of via-hole before and after etching

从下到上为 Gate 层 MoNb/Cu(双层金属)、栅绝缘层 GI SiN_x 、钝化层 PVX(SiN_x)和正性 PR。经过 ECCP 模式(Enhanced Capacitive coupled Plasma)刻蚀形成图 2 过孔形貌。

该模式下电极有两个电源,其中源极电源用来解离气体产生等离子体,偏置电源主要用来调节等离子体形态以加强离子轰击。反应气体为 SF_6 、 O_2 、He 混合气体,刻蚀的主要反应过程为^[4]:



2.1 过孔腐蚀机理

通过对比福州京东方 8.5 代线普通产品的良率数据来看,在其他工艺相同的情况下 ECCP 刻蚀模式下的过孔更容易发生腐蚀,腐蚀比例达到 10%,但 ICP 发生率为 0,究其原因发现 ECCP 和 ICP 刻蚀后的孔形貌有较大的差距,如图 3 所示。

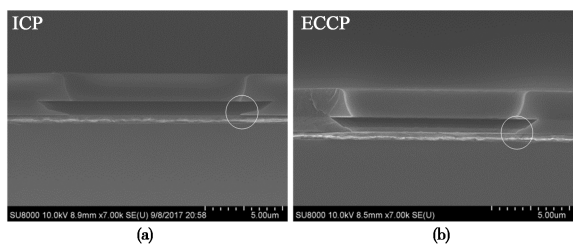


图 3 ICP(a)和 ECCP(b)刻蚀模式下的过孔截面形貌

Fig.3 Cross of via-hole in ICP(a) and ECCP(b) etching mode

同时通过原子力显微镜扫描发现用 ICP 模式刻蚀后的孔表面粗糙度 R_a 为 5.08 nm,小于用 ECCP 模式刻蚀后的孔表面粗糙度 6.07 nm,说明 ECCP 模式下刻蚀的表面凹凸不平,缺陷更多,如图 4 所示。

在 ICP 刻蚀模式下,根据孔的上表面 CD 测试数据来看,ICP 的 CD bias(曝光后 CD 与刻蚀后 CD 的差值)比 ECCP 刻蚀模式大,即横向物理刻蚀速率相对 ECCP 刻蚀模式来看大于纵向化学刻蚀速率。刻蚀过孔时,氮化硅横向内缩量大于 PR 内缩量,使得 PR 可以很好地保护 GI 的截面,GI 下沿截面坡度角较好,控制在 30° 左右。GI 截面的下沿与 Cu 接触部分受到保护后,被轰击的作用减少,GI 截面下沿缺陷少,不容易造成剥离液残留。如果剥离液残留,在后续的点亮加电

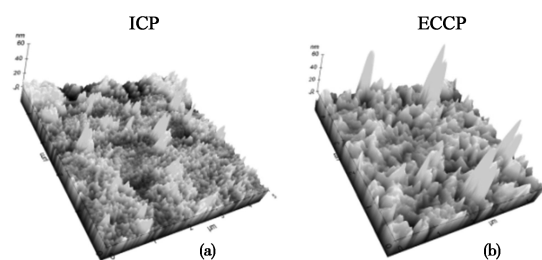


图 4 ICP(a)和 ECCP(b)刻蚀模式下的过孔表面粗糙度

Fig.4 Roughness of via-hole surface in ICP(a) and ECCP(b) etching mode

过程中容易发生电化学腐蚀,从而导致显示异常。

而 ECCP 刻蚀模式下,PR 胶刻蚀速率较大,内缩量较大,刻蚀过孔的下沿退缩量较小,低于或近乎等于 PR 的刻蚀量,导致 GI 截面的下沿与 Cu 接触部分没有得到 PR 胶的良好保护,GI 下沿截面坡度角较大,部分接近 90° 。在刻蚀过程中受到严重的轰击,容易造成缺陷,这种缺陷会使得该处容易造成剥离液残留,不易清洗掉和 ITO 搭接不良。因为在 TFT 基板制造过程中存在碱性液体(剥离液)、反应金属 Cu、钝化金属 ITO,具备了发生电化学腐蚀的基本条件,加电后发生电化学反应。ITO 搭接部分电阻较大,在加电时局部温度较高,反应主要为 $\text{Cu} > \text{Cu(II)} > \text{CuO}$ 。电化学反应形成的 Cu 腐蚀形貌如图 5 所示^[5]。

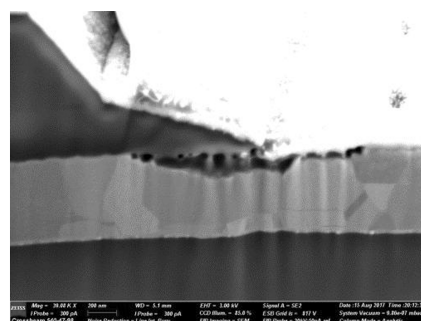
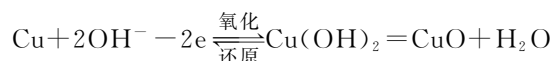


图 5 ECCP 刻蚀模式下过孔 Cu 腐蚀现象

Fig.5 Appearance of Cu corrosion in via-hole in ECCP etching mode

综上所述可知,为了使得 PR 可以更好地保护 GI 下沿截面,需要增加横向化学刻蚀速率,降低纵向物理刻蚀速率,同时减少 PR 的内缩量。

2.2 ECCP 刻蚀模式影响因子分析

本文通过 DOE 实验,研究 ECCP 刻蚀因子对刻蚀实验研究反应腔室气压、 O_2/SF_6 气体比例、源极功率 (Source Power) 和偏置功率 (Bias Power) 对纵向刻蚀速率和横向刻蚀速率、刻蚀均一性的影响。实验初始变量如表 1。

表 1 四因子变量表

Tab.1 Parameters of four factor analysis method

Press/Pa	O_2/SF_6 比例	Source Power/kW	Bias Power/kW
0.9	1 : 1	16	30
1.3	1 : 2	20	50
1.7	2 : 1	30	75

2.2.1 压力对 ECCP 刻蚀速率和均一性的影响

图 6 为不同压力下的刻蚀速率测试结果,由图 6 可知,在其他刻蚀条件不变的情况下,压强由 7 mt 上升到 1.7 Pa,刻蚀速率升高,但是均一性相比低压强有变差趋势,随着压力上升,氟活性基团的浓度增加,增强了化学刻蚀反应速率,所以刻蚀速率上升。随着压力增加,等离子体浓度升高,离子碰撞几率增加,能量损失增加,使得离子能量减少,从而减弱物理刻蚀作用。但是增强的化学刻蚀速率量大于降低的物理刻蚀量,所以整体的刻蚀速率上升。同时在 1.3 Pa 增加到 1.7 Pa 后,刻蚀速率增加量明显减少,是因为当压强增加到一定程度时,刻蚀生成物排出反应腔室的速率降低,也会导致刻蚀速率下降,从而使得压力增加到 13.3 Pa 后再增加压力,刻蚀速率上升较慢。所以压力增加有利于化学刻蚀。

此外,压力越高,使得反应气体排出反应腔室的速度越慢,则氟活性基团的流速越慢,使得氟活

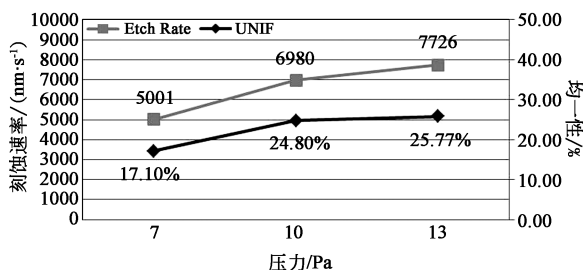


图 6 刻蚀速率、均一性随压力的变化。

Fig.6 Etching rate and uniformity changing with press

性基团在腔室内的分布更为不均匀,导致刻蚀均一性变差。

2.2.2 偏置功率和源极功率对 ECCP 刻蚀速率和均一性的影响

偏置射频功率独立控制离子轰击强度,功率增加,增强了物理轰击纵向刻蚀,化学横向刻蚀减弱,总体上刻蚀速率有所增加;源极射频功率独立控制等离子密度,源极射频功率增加,氟活性基数量增加,化学刻蚀作用占比增大,物理刻蚀作用占比减小,总体上刻蚀速率基本不变。在 ECCP 刻蚀模式,相对于物理刻蚀,化学刻蚀是影响均一性的主要因素,化学刻蚀速率增加,刻蚀均一性变差。

如图 7 所示,随着偏置射频由 16 kW 增加到 30 kW,刻蚀速率由 623.3 nm/s 增加到 695 nm/s,均一性由 24.4% 提升到 19.8%;源极功率由 30 kW 增大到 75 kW,刻蚀速率基本不变,但均一性由 20.4% 变差到 23.9%。

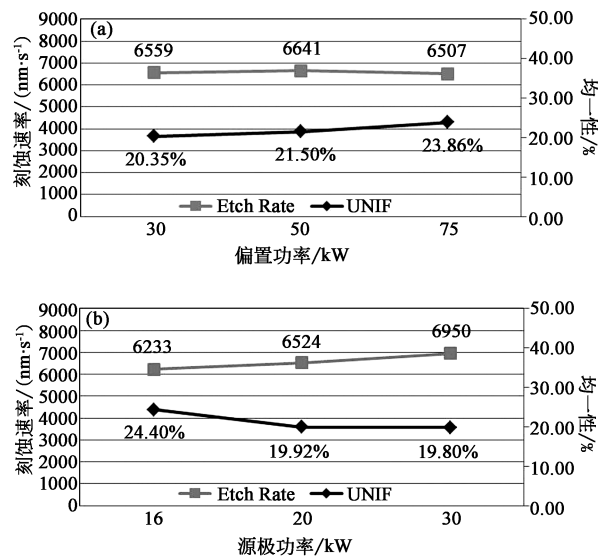


图 7 刻蚀速率、均一性随偏置功率(a)和源极功率(b)的变化。

Fig.7 Etching rate and uniformity vs. bias power(a) and source power(b)

2.2.3 O_2/SF_6 比例对 ECCP 刻蚀速率和均一性影响

图 8 为相同功率和压强下,保持 O_2/SF_6 的总体流量不变,改变 O_2/SF_6 比例的刻蚀速率和刻蚀均一性结果,随着 O_2/SF_6 比例由 2 : 1 减少到 1 : 1再到 1 : 2,氧气比例的减少,刻蚀速率先降

低后增加,但均一性一直降低。

O_2/SF_6 比例由 2:1 减少到 1:1 时,刻蚀速率降低,说明氧气对氮化硅的刻蚀有显著的促进作用,氧气加入到 SF_6 反应气体中后,会与 SF 活性基团结合,从而减少了 SF 基团与氟活性基团的反应,使得氟活性基团的比例上升,从而促进刻蚀反应。因为氧气对 PR 有灰化作用,当氧气含量减少时,氧气大部分量与 PR 进行反应,使得 PR 内缩量增大,消耗更多的氧气量,同时 SF_6 其他量增加,氟活性基团数量也增加,从而增强了化学刻蚀反应。

在相同的功率和压强下,保持 O_2/SF_6 气体流量总量不变,随着 O_2/SF_6 比例的增加, O_2 的含量越来越高,对 SF_6 起到了稀释的作用,使氟活性基分布更为均匀,导致刻蚀均一性逐渐变好。

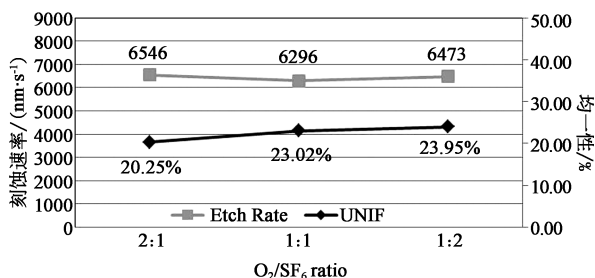


图8 刻蚀速率、均一性随 O_2/SF_6 比例的变化。

Fig.8 Etching rate and uniformity vs. O_2/SF_6 ratio

2.3 ECCP 刻蚀模式对过孔腐蚀改善

通过对过孔腐蚀机理和 ECCP 刻蚀模式影响因子的分析,为了使得 PR 可以更好地保护 GI 下沿截面,需要增加横向化学刻蚀速率,降低纵向物理刻蚀速率以及减少 PR 内缩量。本文通过增加刻蚀压力,增加化学刻蚀,通过减少偏置射频功率降低物理刻蚀作用,同时原有的其他比例成分上保持不变,以保证 PR 与氧气反应速率不变,PR 的形貌以及内缩量不受影响,主要是增加氮化硅的刻蚀量,以达到 PR 保护 GI 下沿截面的目的。

通过调整后,反应压力增大到 1.7 Pa,偏置射频功率降低到 30 kW, O_2/SF_6 气体保持比例 1:1 后,ECCP 刻蚀后的过孔形貌基本与 ICP 刻蚀后的形貌相当,GI 下沿截面基本平缓,坡度角维持在 30° 左右。PR 胶下沿到 GI 下沿有一定的距离,达到 $0.5 \mu m$,使得 PR 可更好地保护 GI 下沿截面与 Cu 接触的截面。通过原子力显微镜扫描

改善后的孔表面,表面粗糙度维持在 Ra 为 $3.92 nm$,并且因过孔腐蚀发生的线不良基本无发生。该条件下刻蚀速率达到 $750 nm/s$,刻蚀均一性达到 10% 以下,基本满足量产需求。通过增加反应压力和降低偏置射频功率,ECCP 刻蚀模式对过孔的腐蚀影响得到有效解决。

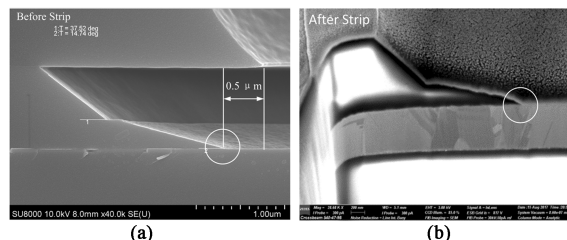


图9 改善前(a)后(b)的 ECCP 刻蚀模式下过孔截面形貌度

Fig.9 Improved via-hole cross in ECCP mode before (a) and after(b) PR Strip

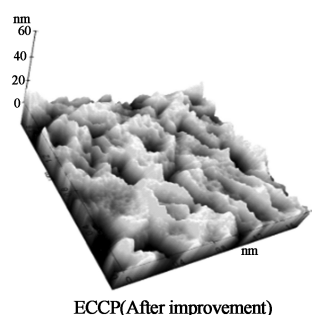


图10 改善后的 ECCP 刻蚀模式下过孔截面形貌

Fig.10 Improved surface of via-hole roughness in ECCP mode

3 结 论

本文研究得出氮化硅刻蚀过程中物理轰击将对 GI 截面的下沿与 Cu 接触区域形成损伤,产生缺陷,PR 剥离液残留,诱发过孔 Cu 腐蚀。为改善 Cu 腐蚀,针对 ECCP 模式,实验研究了反应腔压力、偏置/源极功率和 O_2/SF_6 比例对刻蚀的影响。利用四因子法研究得出:(1)反应腔压力的增大时($0.9 \sim 1.7 Pa$),氟活性基团增加,化学刻蚀反应增大,使刻蚀速率明显增大($500.1 \sim 772.6 nm/s$);压力增大,导致氟活性基团在腔室分布不均匀,使得刻蚀均一性变差($17.1\% \sim 22.2\%$)。(2)偏置射频功率增大带来的物理轰击刻蚀削弱了化学刻蚀作用,均一性提高,偏置功率从 16 kW

提高到 30 kW, 均一性提升(24.5% ~ 19.8%); 源极射频功率增加(30 ~ 75 kW), 化学刻蚀比例增大, 均一性下降(20.35% ~ 23.86%)。 (3) 氧气提升对氮化硅刻蚀具有显著促进作用, 同时含量增加刻蚀均一性提升。 为达到 PR 胶保护下沿截面目的, 优化刻蚀条件为(压力: 1.7 Pa, 偏置/源极

功率: 30/30 kW, O_2/SF_6 : 1 : 1), 刻蚀速率达到 750 nm/s, 刻蚀均一性达到 10%, 同时 GI 下沿截面平缓(坡度角维持在 30°附近), 表面平滑(R_a : 3.92 nm)。 此刻蚀条件无过孔腐蚀引起线不良发生, 解决了 ECCP 刻蚀模式对过孔腐蚀的影响, 满足量产需求。

参 考 文 献:

- [1] 刘丹, 秦刚, 蔡卫超, 等. Mo/Al/Mo 结构电极的坡度角和关键尺寸差研究[J]. 液晶与显示, 2017, 32(11): 877-885.
LIU D, QIN G, CAI W C, *et al.* Profile and critical dimension bias of Mo/Al/Mo electrode [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(11): 877-885. (in Chinese)
- [2] 姜晓辉, 田宗民, 李田生, 等. 栅绝缘层过孔的反应离子刻蚀研究[J]. 真空科学与技术学报, 2014, 34(3): 278-281.
JIANG X H, TIAN Z M, LI T S, *et al.* Through holes etched with reactive ion in gate insulation layer [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2014, 34(3): 278-281. (in Chinese)
- [3] 范学丽, 靖瑞宽, 翁超, 等. 湿法刻蚀 FI CD 均一性的影响因素及提高刻蚀均一性的研究[J]. 液晶与显示, 2016, 31(1): 67-73.
FAN X L, JING R K, WENG C, *et al.* Improvement of etching uniformity and influence factors of wet etching of FI CD uniformity [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(1): 67-73. (in Chinese)
- [4] 白金超, 王静, 赵磊, 等. 氮化硅的 ECCP 刻蚀特性研究[J]. 液晶与显示, 2017, 32(7): 533-537.
BAI J C, WANG J, ZHAO L, *et al.* Etching characteristics of silicon nitride by ECCP [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(7): 533-537. (in Chinese)
- [5] 廖钊, 何晓英. 铜在浓碱溶液中的电化学行为研究[J]. 四川师范学院学报(自然科学版), 1999, 20(3): 241-244.
LIAO F, HE X Y. Investigation on electrochemical behaviour of copper in concentrated alkaline solutions [J]. *Journal of Sichuan Teachers College (Natural Science)*, 1999, 20(3): 241-244. (in Chinese)

作者简介:



邱鑫茂(1991—), 男, 福建上杭人, 京东方高级研究员, 2016 年 6 月毕业于福州大学, 获得光学硕士学位, 研究偏振光学及光学电压传感器, 目前从事 TFT-LCD 行业 Panel 研发工作。E-mail: qiuxinmao@boe.com.cn



伍 蓉(1989—), 女, 广东惠州人, 京东方高级研究员, 2015 年 6 月毕业于浙江大学, 获得化学工程硕士学位, 研究有机高分子材料和 LCD 封装材料, 目前从事 TFT-LCD 行业 Panel 研发制造工作。E-mail: wurong20@163.com