

文章编号:1007-2780(2014)05-0674-07

过孔刻蚀工艺优化对过孔尺寸减小的研究

李田生, 陈旭, 谢振宇, 徐少颖, 闵泰烨, 张学智
(北京京东方光电科技有限公司, 北京 100176)

摘要: 为了适应 TFT-LCD 小型化与窄边框化以及在面板布线精细化的趋势, 提高工艺设计富裕量以及增加面板的实际利用率, 之前做过钝化层沉积工艺优化来减小液晶面板阵列工艺中连接像素电极与漏极的过孔尺寸的研究。本文在此基础上进行过孔刻蚀工艺的优化, 从而最终达到进一步减小过孔尺寸实现 TFT-LCD 小型化与窄边框化的趋势。通过设计实验考察了影响过孔大小刻蚀主要影响因素(功率、压强、气体比率、刻蚀速率选择比)。实验结果表明, 在薄膜沉积优化的基础上可使过孔的尺寸再降低 10%~20%。对其进行了良率检测与工艺稳定性评价, 最终获得了过孔尺寸减小的方案, 并成功导入到产品生产中, 从而提高了产品品质。

关键词: 钝化层; 刻蚀; 过孔

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20142905.0674

Improvement research of via hole minimized by via hole etch conditions

LI Tian-sheng, CHEN Xu, XIE Zhen-yu, XU Shao-ying, MIN Tai-ye, ZHANG Xue-zhi

(Beijing BOE Optoelectronics Technology Co., Ltd, Beijing 100176, China)

Abstract: In order to follow with the trend of miniaturization narrow frame and fine wiring structure, the TFT-LCD tends to develop for large margin of design and high real substrate utilization rate. The passivation layer deposit parameters were changed to decrease the size of via hole which connected the pixel electrode and drain electrode were studied on the previous articles. In this paper, based on the previous data, via hole etch process optimization were studied, and finally to get further improvement in hole size to meet the trend of miniaturization and narrow frame on TFT-LCD panel. The main parameters (power, pressure, gas ratio, etch rate ratio) to minimize via hole by etching process through the experiments design were studied. A solution to further minimize the via hole size about 10%~20% which referred to previous study was found. The array yield test and process stability test were evaluated. Finally, one better solution to minimize via hole size was obtained and applied into mass production. Therefore, the products quality was improved also.

Key words: passivation layer; etch; via hole

收稿日期: 2014-01-01; 修订日期: 2014-02-15.

基金项目: via hole minimize(No. 10S_VHM)

* 通信联系人, E-mail: litiansheng@boe.com.cn

1 引言

对于 TFT-LCD 产品,目前窄边框的产品已经渐成主流^[1-2],但目前针对窄边框产品最大的瓶颈是外围布线的精密程度。通常过孔尺寸的大小往往是考察布线精密程度的主要因素之一,关于过孔缩减方面的研究一直都在进行^[3-4],如何制备更小的过孔是目前面临的重要问题。

目前窄边框的产品尤其受到青睐,而过孔减小技术又是窄边框产品的必要手段之一,所以如何能在不改变产品结构或者产生其他问题基础上将过孔的尺寸做的足够小是亟待解决的问题。之前本人做过研究通过钝化层(PVX)沉积工艺优化使液晶面板阵列工艺中连接像素电极与漏极的过孔(VIA)尺寸降低 20%~30%,而本文的目的是通过优化过孔刻蚀工艺使最终过孔再减小 10%~20%。故本文首先分析了最终影响过孔尺寸的刻蚀工艺参数,刻蚀过程中的功率、压强、气体比率等因素,并在后续过程完成后对产品进行产品良率与过孔尺寸稳定性的测试,最终达到过孔缩减的目的并成功导入产品生产,为窄边框产品的布线更精密边框更窄提供技术基础。

2 实验方法

使用 SE-1300 DRY ETCH System 进行薄膜晶体管钝化层(SiN_x)的刻蚀。玻璃基板尺寸是 1 100 mm×1 300 mm,刻蚀腔体本底真空小于 4.0 Pa,刻蚀组分由 SF_6 、 O_2 、He 气体生成, SF_6 的流量为 0.012~0.014 m^3/h , O_2 的流量为 0.018~0.03 m^3/h ,He 的流量为 0.021~0.033 m^3/h 。在对膜层进行刻蚀过程中功率为 2 000~8 000 W,温度为 20~100 $^{\circ}\text{C}$,气压为 133~533 Pa。图 1 为现有薄膜晶体管的结构图,起到开关作用的沟道就形成在有源层上面,故要对有源层进行刻蚀后才能形成硅岛,过孔的作用是连接像素电极与源极达到信号传递的作用。图 2 为现有干法刻蚀设备的图片,主要由载体装载位置单元、传送机器人、装载腔体、传送腔体、刻蚀腔体等部分组成,玻璃载体经过产线的搬运机器人搬运到载体装载位置单元由传送机器人将玻璃载体放入到装载腔体中形成负压,当达到与传送腔体相同

的真空条件后将玻璃送入刻蚀腔体中进行反应刻蚀,刻蚀完成后在在传送腔体中降温升压最后放回玻璃装载载体,这一系列的动作都在控制单元的程序下进行,干法刻蚀设备同时具备多个刻蚀腔体,这样在某个腔体出现问题的时候,可以不影响生产的进行。图 3 为干法刻蚀设备反应腔体的截面图,包括上部电极、下部电极、基板等部件构成,在反应腔体中,影响刻蚀条件的因素很多主要包括腔内温度、压强、功率和气体比率以及气体流量等相关因素。

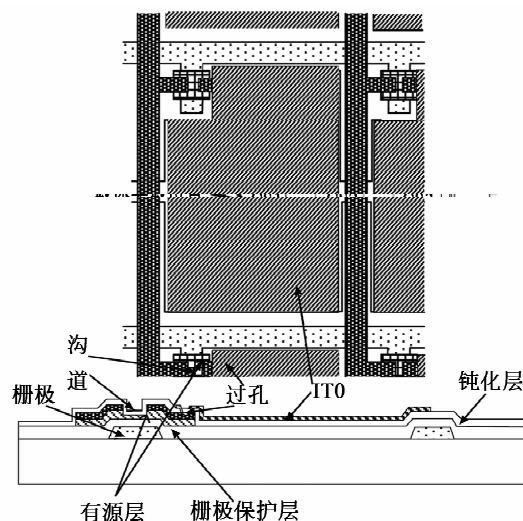


图1 现有薄膜晶体管结构图

Fig.1 Normal structure of TFT-LCD

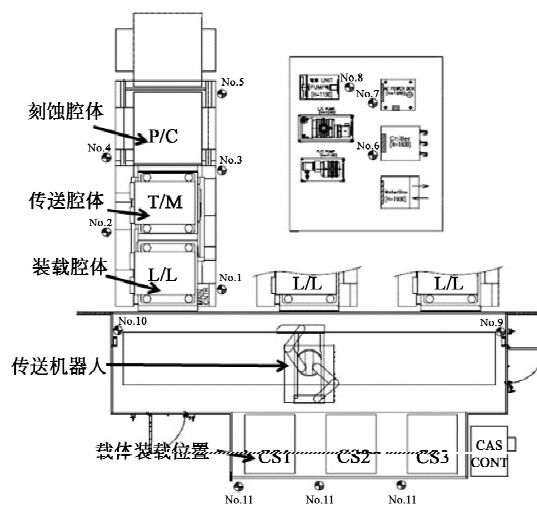


图2 干法刻蚀设备

Fig.2 Instrument of DRY ETCH

关于干法刻蚀中刻蚀钝化层(SiN_x)的机理,很多文章都有详细的介绍^[5-8],主要的原理是在活性等离子体刻蚀模式下和电场作用下,存在于电场中的电子被电极电场加速运动并与反应气体分子发生撞击,反应气体激发或电离,产生活性基团和离子,通常称之为活性等离子体,在刻蚀中的活性离子在电极电场的作用下,高速冲撞位于下极板上面的基板进行刻蚀,如图 3 所示。刻蚀过程中主要反应方程如下:

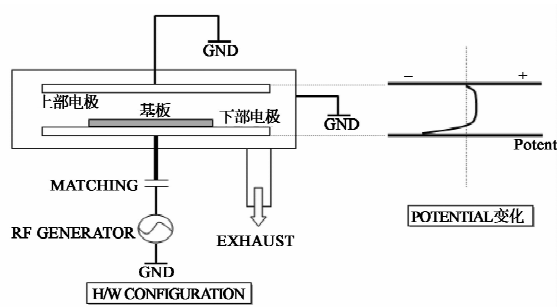
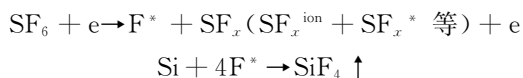


图 3 干法刻蚀设备刻蚀腔体截面图

Fig. 3 Cross section of react chamber in DRY ETCH

由上可知在活性等离子体刻蚀模式下六氟化硫经过电子的碰撞产生带电氟离子和活性离子团最终经过极板间的电荷吸引垂直轰击或者活性离子团直接与表面组分发生化学反应生成四氟化硅析出,至此反应完全。

实验的样品采用 Corning Eagle XG 10K TFT Glass,玻璃载体厚度为 0.5 mm,尺寸为 1 100 mm×1 300 mm,在刻蚀钝化层之前,玻璃载体上已形成栅极、栅极钝化层、有源层、沟道、源漏极等图形。刻蚀采用真空腔体单张连续方式,完成后在测试设备上关键尺寸、宏观、微观以及扫描电子显微镜测试,优化工艺后的基板按照一般的 TFT 工艺流程形成薄膜晶体管,最后进行良率测试。

3 实验结果与分析

当过孔刻蚀的时候,纵向的刻蚀主要取决于活性离子轰击,等离子体刻蚀辅助。而横向刻蚀主要以等离子体刻蚀为主,如图 4 所示,当反应体

系中有增加等离子体刻蚀强度的诱导因素时横向刻蚀速率增加明显,横向刻蚀速率增加导致横向刻蚀长度增加,同时纵向的等离子体刻蚀也在增加,但由于纵向刻蚀速率主要取决于离子轰击所以表现不很明显。故通过分析可知影响最终过孔尺寸的刻蚀因素很多,但是主要由刻蚀功率、压强、气体比率决定,同时还要考虑刻蚀速率选择比因素。对于刻蚀功率的影响来说,功率越大刻蚀的终点时间越短,过孔横向刻蚀时间越短,横向刻蚀长度越小,但是对纵向刻蚀破坏性更强。对于刻蚀过程中压强来说,种种迹象表明压强是影响刻蚀选择比的主要因素,但同时也是影响横向刻蚀长度的主要因素,压强减小分子密度降低,活性离子和分子碰撞减少,有利于纵向刻蚀而减慢横向刻蚀,而同时终点时间减少,横向刻蚀长度减小。对于气体比率来说,目前针对过孔刻蚀采用的气体主要是六氟化硫、氧气和氩气,六氟化硫为主要刻蚀气体,是形成等离子体和活性离子的主要来源,当六氟化硫气体减小时有效等离子体和活性离子浓度降低,纵向和横向刻蚀速率同时减小,但同时由于终点时间会增加,导致横向刻蚀时间增加这样对减小过孔横向刻蚀长度不利,所以气体比率的减少不一定会导致最终过孔横向刻蚀长度的减小。而对于刻蚀速率选择比通常为栅极保护层(GI)/底层金属刻蚀速率的比例,如图 4 和图 5 所示,正常条件小 L1 保持在底层金属厚度的 1/3 左右为宜,但如果栅极保护层/底层金属刻蚀速率选择比过小就会导致图 5 中 L1 的大小接近金属层的厚度,导致断层,从而产生不良。

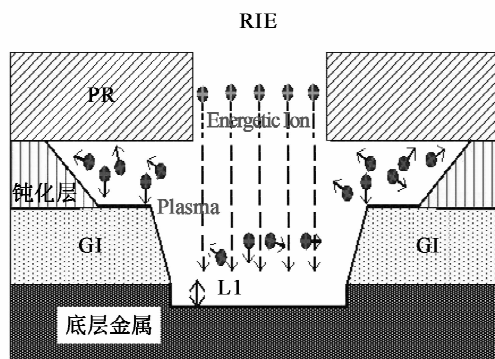


图 4 活性等离子体过孔刻蚀示意图

Fig. 4 Image of via hole RIE mode etching process

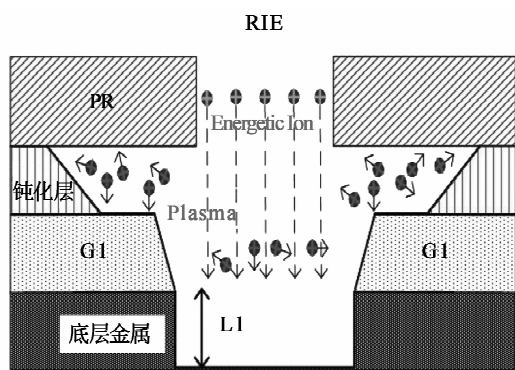


图5 选择比过小导致过刻示意图

Fig. 5 Image of over etched by etch rate different between G1 & Metal

综上所述,如何开发减小最终过孔的刻蚀条件就要综合考虑刻蚀功率、压强、气体比率和刻蚀速率选择比,找到各种因素的优化点最终实现过孔尺寸的最终减小。

3.1 刻蚀功率影响

如前所述功率的提升能有效的减小过孔的横向刻蚀长度也就是最终过孔的尺寸,但无限制的升高会考虑其它问题比如设备的承受能力以及纵向刻蚀速率过快也就是刻蚀速率选择比(相邻两层)的问题,如果刻蚀速率选择比过低就会导致底层膜层被刻穿从而产生不良,故针对刻蚀功率的优化势在必行。

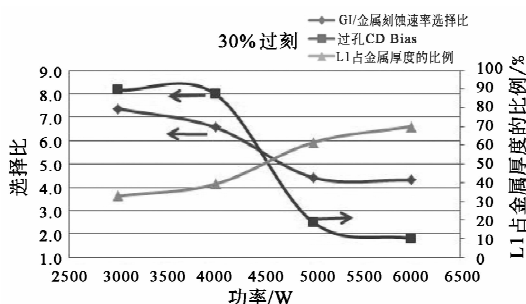


图6 功率对选择比和L1的影响

Fig. 6 Influence of power and selectivity to L1

针对刻蚀功率的考察条件如图6所示,通过分析可知,当功率变化从3 000~6 000 W时,GI/金属刻蚀速率选择比和过孔的横向刻蚀长度都在逐渐减小,分别从3 000 W的7.4和8.16下降至6 000 W的4.3和1.8,虽然过孔的尺寸减小非常显著但同样在此条件下直接导致在相同的过刻率(30%)的情况下L1非常大,当功率为6 000 W

的时候L1为金属层厚度的70%如图7所示,可知金属剩余为100 nm左右且过孔中间位置已经被刻穿,远远超出可接受的范围,后续沉积金属后会产生断线不良,所以功率应选择不超过5 000 W为宜。

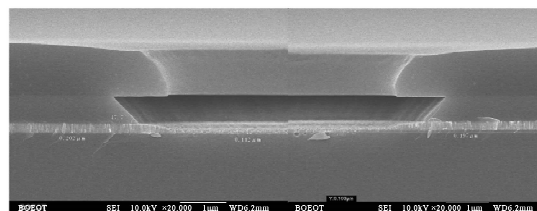


图7 高功率条件下过孔截面图

Fig. 7 Image of via hole cross section by high power condition

3.2 刻蚀压强影响

如前所述刻蚀过程的压强的变化会影响等离子体的浓度从而影响刻蚀速率,并最终影响过孔的尺寸,通过实验的设计如表1所示,通过表1的数据可知,当压强增加后刻蚀速率选择比也在增加,而由于具有相同的过刻率导致刻蚀时间不尽相同从而导致L1的大小基本相同,3个条件过刻厚度可接受,但通过考察最终过孔的大小发现当压强增大到表1-No. 3条件时候虽然选择比和过刻都可接受但过孔尺寸出现急速上升的趋势,并最终达到8.0的数值,这在正常生产中不可接受,故应对压强维持在表1-No. 2条件进行优化与考察,以其得出最终降低过孔尺寸的解决方案。

表1 考察压强对过孔尺寸的影响

Tab. 1 Influence of pressure to via hole size

No.	压强 (mT)	GI/金属 选择比	L1占 比例/%	横向刻蚀 长度
1	低	4.4	53.5	3.8
2	中	6.1	43.6	5.0
3	高	7.1	32.2	8.0

* 注:其他条件相同

3.3 刻蚀气体比率影响

在过孔的刻蚀过程中常用的气体组分多为六氟化硫、氧气和氦气的组合,六氟化硫气体主要的作用为提供刻蚀离子源,氧气的加入目的是增加刻蚀速率,带走反应生成物,而氦气的加入主要是为了使刻蚀组分混合更加均匀,同时充当缓冲剂避

免局部刻蚀速率过快的作用,本文针对刻蚀气体比率的考察主要是优化六氟化硫气体在整个气体组分中的比率从而达到降低横向刻蚀速率缩小过孔的目的。

表 2 六氟化硫气体比率对过孔尺寸的影响

Tab. 1 Influence of SF₆ gas ratio to via hole size

No.	SF ₆ (含量)	GI/金属 选择比	L1 占 比例/%	横向刻蚀 长度
1	低	6.6	37.3	4.7
2	中	6.0	40.9	5.3
3	高	5.1	57.0	7.2

* 注:其他条件相同

表 2 为针对六氟化硫气体比率进行的试验结果,通过上表可知当增加六氟化硫气体流量后发现栅极保护层/金属刻蚀速率选择比下降,但总体下降不明显从 6.6 下降到 5.1,而 L1 占底层金属膜层的比例和过孔横向刻蚀长度在逐渐增加,主要的原因因为试验中气体流量的改变不是非常大,而六氟化硫气体流量的升高直接导致底层金属膜层的刻蚀速率明显提升,虽然栅极保护层的刻蚀速率也在增加,但两者的提升程度有差别导致选择比变化,在相同的过刻率的条件下由于金属刻蚀速率增加导致 L1 占底层金属膜层的比例在逐渐增加,同时由于六氟化硫气体比率的增加直接导致栅极保护层的横向刻蚀速率增加,虽然纵向刻蚀速率也在同时增加导致刻蚀时间的减少,但总体来说时间减少的幅度远远小于横向刻蚀速率增加的幅度最终导致过孔横向刻蚀长度的增加。从表 2 中可以看出当六氟化硫流量达到最高状态时 L1 所占比例为 57%,同时横向刻蚀长度为最大的 7.2,故此条件不可接受,综合工艺条件时可考虑 No. 1-2 条件进行后续优化。

3.4 综合工艺制备的过孔

通过以上的分析可知如表 3 所示的结果,随着 SF₆ 气体比率的下降、刻蚀功率的升高以及压强的降低,过孔膜层的刻蚀速率、选择比、过孔尺寸的横向刻蚀长度和刻蚀时间的变化趋势如表内所示,故综合条件确定减小过孔的最优方向为:SF₆ 气体比率的降低、刻蚀功率的升高以及压强的降低,但由于其他工艺的限制,可考虑优化两个参数,用一个参数的变化来尽量减少其他工艺条件的制约。

表 3 综合因素对过孔尺寸的影响

Tab. 1 Influence of comprehensive factors to via hole

刻蚀条件	刻蚀速率	选择比	横向刻蚀长度	刻蚀时间
SF ₆ 比率下降	下降	下降	下降	上升
Power 升高	上升	下降	下降	下降
Pressure 降低	下降	下降	下降	上升

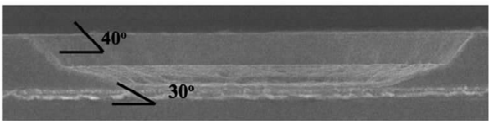
综合工艺条件后所得结果如表 4 所示,从表中可以发现与正常条件相比综合条件下得刻蚀速率偏高,这就导致膜层间的选择比降低,在不影响产品品质的情况达到过孔尺寸的最小化,为标准的 55%左右,而刻蚀时间的缩短更有利于生产的进行,从而达到本文当初设定之要求。

表 4 综合工艺条件与正常条件工艺对比

Tab. 4 Via hole condition v. s. normal condition

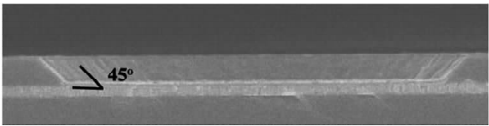
刻蚀条件	刻蚀速率	选择比	横向刻蚀长度	刻蚀时间
正常条件	标准	标准	标准	标准
综合优化工艺	偏高	偏低	55%标准	偏小

综合工艺条件后虽然过孔尺寸得到大幅度的减小,但是新工艺应用在产品中要考察刻蚀完成后的过孔形貌以及后续良率是否发生变化,故针对以上提出的问题制作扫描电子显微镜样品进行过孔形貌的确认。



(a) 栅极线上的过孔

(a) Via hole on gate



(b) 数据线上的过孔

(b) Via hole on data

图 8 综合新工艺条件下过孔截面图

Fig. 8 Cross section of via hole using comprehensive conditions

图 8 为综合优化工艺后刻蚀完成的过孔截面图,图 8(a)为栅极线上的过孔截面图,图 8(b)为数据线上的过孔截面图,这两种过孔都是在过孔刻蚀步骤同时形成的从图中可以看出当用 30%

过刻时间刻蚀后发现过孔的坡度角较好,没有因为应用新的刻蚀条件所导致的顶层倒角不良的发生,且钝化层的角度都远小于 70° 的临界值,而L1的长度通过图8(b)的过孔截面图测量后得知L1的长度在50 nm以下,远远低于膜层的1/3,最重要的是过孔的横向刻蚀长度达到了标准条件下过孔尺寸的55%甚至更小,缩小了多于40%的尺寸,达到本文的目的。

图8为综合优化工艺后刻蚀完成的过孔截面图,图8(a)为栅极线上的过孔截面图,图8(b)为数据线上的过孔截面图,这两种过孔都是在过孔刻蚀步骤同时形成的从图中可以看出当用30%过刻时间刻蚀后发现过孔的坡度角较好,且无顶层倒角不良的发生,且钝化层的角度都远小于 70° 的临界值,而L1的长度通过图8(b)的结果可知基本可以忽略不计最重要的是过孔的横向刻蚀

长度达到了标准条件的55%甚至更小,缩小了40%的尺寸,达到本文的目的。

3.5 优化工艺后产品的良率与工艺稳定性

图9为优化工艺完成后抽取1月份至7月份半年时间验证产品良率与过孔尺寸稳定性的总结性图示,从图中可以看出在此期间产品的良率都维持在95%以上,同其它型号的良率相当,且过孔的尺寸维持在原有过孔尺寸的50%以上也就是说利用综合工艺后过孔尺寸缩小了40%以上,且工艺稳定性很好,可以进行后续产品的规模性导入,从而达到本文最初要求。

4 结 论

在薄膜优化基础之上通过进一步研究过孔刻蚀工艺来达到减小过孔尺寸的目的,结果表明:通过优化刻蚀工艺中功率、压强和气体比率并综合考虑刻蚀速率、选择比与过刻时间等因素找到三者结合的最优点,从而通过牺牲部分的选择比的条件下实现了过孔的缩小,相比原有工艺来说刻蚀工艺优化后能减小过孔尺寸10%~20%,如果附加之前研究过的薄膜沉积条件,现在能过孔的尺寸降低30%~40%甚至更高,且后续产品良率与工艺稳定性非常好,最终达到初始设计水平甚至优于设计水平,在不影响产品品质的同时为窄边框的产品提供了技术工艺基础,为后续产品的更新换代提供实际应用与数据基础。

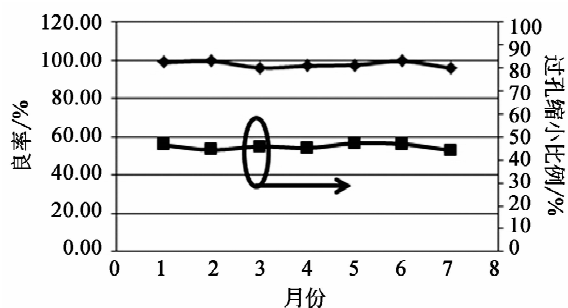


图9 综合工艺条件下产品良率与过孔尺寸图

Fig. 9 Image of test yield and via hole size using comprehensive conditions

参 考 文 献:

- [1] 友达新世代移动显示器技术 2011 日本国际平面显示器展中首度亮相[J]. 现代显示, 2011(11):38.
The new generation mobile display technology of AUO debut in 2011 Japan's international exhibition flat panel display [J]. *Advanced Display*, 2011(11):38. (in Chinese)
- [2] 友达于日本国际平面显示器展展出多元应用创新显示技术[J]. 现代显示, 2011(11):39-40.
Multiple display technology application innovation of AUO show in Japan's international exhibition flat panel display [J]. *Advanced Display*, 2011(11):39-40. (in Chinese)
- [3] 董杰, 金相起, 朴范求, 等. a-Si TFT LCD 过孔尺寸的缩减[J]. 液晶与显示, 2008, 23(6):688-691.
Dong J, Jin X Q, Piao F Q, et al. Via hole reduction for a-Si TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(6):688-691. (in Chinese)
- [4] 李田生, 谢振宇, 张文余, 等. 钝化层沉积工艺对过孔尺寸减小的研究[J]. 液晶与显示, 2012, 27(4):493-498.
Li T S, Xie Z Y, Zhang W Y, et al. Improvement research of VIA hole minimize by passivation layer deposit conditions [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(4):493-498. (in Chinese)
- [5] 王晓光, 朱晓明, 尹廷昭, 等. 等离子体刻蚀工艺的优化研究[J]. 中国新技术新产品, 2010 (14):22.

- Wang X G, Zhu X M, Yin Y Z, *et al.* Improvement research of plasma etch [J]. *Chinese China New Technologies and Products*, 2010(14):22. (in Chinese)
- [6] 王刚, 李威, 李平, 等. 基于 CF₄/Ar 高密度感应耦合等离子体的 BZN 薄膜的刻蚀工艺研究[J]. 材料导报, 2012, 26(18):1-3, 13.
- Wang G, Li W, Li P, *et al.* High density inductively coupled plasma etching of BZN thin film by CF₄/Ar [J]. *Material Technology*, 2012, 26(18):1-3, 13. (in Chinese)
- [7] 赵瑜, 江洵, 李成焱, 等. 二氧化硅纳米颗粒的反应离子刻蚀及其在硅纳米针尖制备中的应用[J]. 纳米技术与精密工程, 2009, 7(6):515-518.
- Zhao Y, Jiang X, Li C G, *et al.* RIE of SiO₂ Nanoparticles and its application in preparation of silicon nanopillar array [J]. *Nanotechnology and Precision Engineering*, 2009, 7(6):515-518. (in Chinese)
- [8] 赵飞, 党元兰. 金薄膜的反应离子刻蚀工艺研究[J]. 电子工艺技术, 2012, 33(1):53-56.
- Zhao F, Dang Y L. Study on reactive ion etching technology of Au thin film [J]. *Electronics Process Technology*, 2012, 33(1):53-56. (in Chinese)

作者简介: 李田生(1984—), 男, 辽宁葫芦岛人, 硕士研究生, 研究员, 主要从事 TFT-LCD 产品及技术开发工作。E-mail: litiansheng@boe.com.cn