

ICP设备光刻胶灰化工艺中膜层残留的改善

查甫德, 徐纯洁, 李根范, 张木, 崔立加, 冯耀耀, 朱梅花, 杨增乾, 刘增利, 陈正伟, 郑载润

引用本文:

查甫德, 徐纯洁, 李根范, 等. ICP设备光刻胶灰化工艺中膜层残留的改善[J]. 液晶与显示, 2020, 35(12): 1264–1269.

ZHA Fu-de, XU Chun-jie, LI Gen-fan, et al. Preventing method of film residue in PR ashing process based on ICP etcher[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(12): 1264–1269.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1264>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

铜工艺阵列基板上数据线和公共电极不可见的短路原因分析及改善

Research and improvement of data line and common line invisible short in copper process array substrate

液晶与显示. 2020, 35(10): 1036–1043 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203510.1036>

电子纸的2W2D工艺改善研究

Improvement of 2W2D method on electronic paper

液晶与显示. 2020, 35(4): 306–314 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203504.0306>

8光罩BCE结构IGZO–TFT的钝化层通孔柱状不良的改善

Columnar defect in the hole of BCE structured IGZO–TFT in 8–mask process

液晶与显示. 2020, 35(12): 1234–1239 <https://doi.org/10.37188/YJYXS20203512.1234>

TFT–LCD四角发黑Mura的研究与改善

Research and improvement of dark corner Mura in TFT–LCD

液晶与显示. 2020, 35(2): 122–127 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0122>

基于以顶层ITO为像素电极设计的产品工艺优化

Process optimization based on products of pixel top design

液晶与显示. 2020, 35(3): 219–226 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0219>

文章编号:1007-2780(2020)12-1264-06

ICP 设备光刻胶灰化工艺中膜层 残留的改善

查甫德*, 徐纯洁, 李根范, 张 木, 崔立加, 冯耀耀,
朱梅花, 杨增乾, 刘增利, 陈正伟, 郑载润
(合肥鑫晟光电科技有限公司, 安徽 合肥 230011)

摘要:为改善 TFT 特性,采用感应耦合等离子体(ICP)设备进行 4-Mask 光刻胶(PR)灰化工艺,光刻胶剥离后源/漏数据线边缘、TFT 沟道和其他像素区出现了线性的 a-Si 膜层残留。本文研究了光刻胶灰化工艺条件对 a-Si 膜层残留的影响,结果表明:压力、偏压射频功率是产生膜层残留的主要因素, O_2 用量为次要因素。通过光刻胶灰化工艺优化得出了改善膜层残留的条件:压力 ≥ 2.66 Pa,源极功率:偏压功率 $\geq 3:1$, $q_v(SF_6):q_v(O_2)\geq 1:60$,对感应耦合等离子体设备在光刻胶灰化工艺中的进一步应用具有非常重要的意义。

关 键 词: 感应耦合等离子体;灰化;膜层残留;物理刻蚀;氧化

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:**10.37188/YJYXS20203512.1264

Preventing method of film residue in PR ashing process based on ICP etcher

ZHA Fu-de*, XU Chun-jie, LI Gen-fan, ZHANG Mu, CUI Li-jia, FENG Yao-yao,
ZHU Mei-hua, YAN Zeng-qian, LIU Zeng-li, CHEN Zheng-wei, ZHENG Zai-run

(HeFei XinSheng Optoelectronics Technology Co., Ltd., Hefei 230011, China)

Abstract: In order to improve the characteristics of TFT, 4-mask PR ashing process was carried out by inductively coupled plasma etcher. After PR strip, linear a-Si film residue appeared on the edge of source/drain data line, TFT channel and other pixel area. The effect of PR ashing conditions on a-Si film residue was studied. The results show that the pressure and Bias RF power are the main factors to produce the film residue, and the amount of O_2 is the secondary factor. By adjusting the PR ashing recipe, the optimal condition for preventing film residue is obtained: Pressure ≥ 2.66 Pa, Source power: Bias power $\geq 3:1$, $q_v(SF_6):q_v(O_2)\geq 1:60$. The research of inductive coupling plasma etcher in PR ashing process has very important significance for the further application.

Key words: inductively coupled plasma; ashing; film residue; physical etch; oxidation

收稿日期:2020-03-19;修订日期:2020-08-09.

* 通信联系人, E-mail:zhafude@boe.com.cn

1 引言

在 TFT-LCD 显示领域,4-Mask 半色调工艺利用光栅的部分透光性,将光刻胶不完全曝光,将形成源/漏数据线的金属层源漏电极层(SD)掩膜和形成 TFT 开关的有源层掩膜合并为一道 SDT 掩膜,在一次金属层刻蚀(1st Wet Etch)和有源层刻蚀(Act Etch)后通过光刻胶灰化工艺刻蚀沟道内的光刻胶,再通过二次金属刻蚀(2nd Wet Etch)和 n^+ 刻蚀形成 TFT 开关。4-Mask 半色调工艺在保证品质的同时减少了工艺流程,不仅提高了生产效率,而且降低了生产成本^[1-2],在 TFT 制程中得到了广泛应用。光刻胶灰化工艺主要通过干法刻蚀设备进行,作为 4-Mask 的核心工艺之一,与半色调一起决定 TFT 沟道的均一性,进而影响 TFT 特性和产品的品质^[3-5]。随着 TFT-LCD 显示技术的不断发展,产品的分辨率不断提高,对 TFT 沟道均一性的要求也越来越高^[6]。本文主要研究采用感应耦合等离子体(Inductively Coupled Plasma, ICP)^[7-8]干法刻蚀设备提升光刻胶灰化工艺以改善 TFT 特性。

干法刻蚀是利用辉光放电的方式产生等离子体,对材料进行刻蚀,分为物理刻蚀和化学刻蚀。物理刻蚀是通过电场加速离子对基板表面膜层的撞击,将膜层表面的原子溅射出来,以离子能量的损失为代价达到刻蚀目的,反应集中在电场方向上进行,具有各向异性;化学刻蚀是反应等离子体在放电过程中产生许多离子和化学活性中性物质即自由基,与 Si、SiO₂ 发生化学反应,这种反应由于自由基不带电荷只进行自由运动,所以具有各向同性^[7]。干法刻蚀设备根据刻蚀模式不同可分为:等离子体刻蚀(Plasma Etch, PE)、反应离子刻蚀(Reactive Ion Etch, RIE)、增强型等离子体耦合刻蚀(Enhanced Capacitive Coupled Plasma, ECCP)和 ICP。不同模式的等离子体刻蚀设备表现出不同的物理作用和化学作用^[9-10]。ICP 设备采用线圈作为上部电极,连接射频电源,利用其诱导电场使电子朝水平方向振动,能够产生高密度的等离子体,使干法刻蚀的物理刻蚀作用表现得更为突出。下部电极连接偏压射频,可以独立控制等离子体的强度,吸引离子冲撞基板。ICP 设备与其他模式的刻蚀设备相比具有刻蚀率高、大面积均一性好、稳定性好等特点

点^[11-12]。京东方 8.5 代线为改善 TFT 特性,提升产品品质,采用性能较优的 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺, TFT 沟道均一性有显著改善,但与此同时产生了 SD 线边缘 α -Si 膜层残留异常,发生率约为 2%,影响产品良率。本文对产生这一异常现象的原因进行了分析,并提出相应的解决方法。

2 实验

2.1 现象和成份分析

采用 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺改善沟道均一性时发现,源漏电极层线边缘、TFT 沟道和像素的其他区域均出现线状的膜层不良。为确认膜层异常发生工序,分别在 2nd 湿刻后、 n^+ 刻蚀后和光刻胶剥离后进行 PI 测试和 SEM 测试,如图 1 所示,2nd 湿刻后 PI 和 SEM 图片未见异常, n^+ 刻蚀后和光刻胶剥离后 PI 和 SEM 图片均可见线状膜层不良,疑似膜层残留。

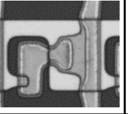
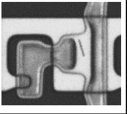
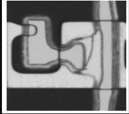
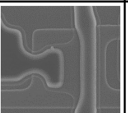
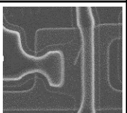
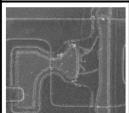
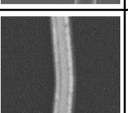
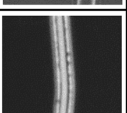
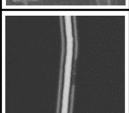
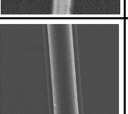
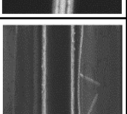
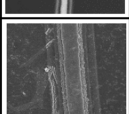
位置	测试	2nd湿刻后	n^+ 刻蚀后	SD+Strip 后
TFT 沟道	PI			
	SEM			
SD Line	PI			
	SEM			

图 1 二次金属刻蚀、 n^+ 刻蚀和 PR 剥离后 PI 和 SEM 图片。

Fig.1 PI and SEM images after 2nd WE, n^+ Etch and PR strip.

图 2 为光刻胶剥离后聚焦离子束(Focused Ion Beam, FIB)分析,圆点处为源漏电极层线边缘膜层残留测试位置。表 1 为 FIB 测试结果。从图 2 和表 1 可以看出,残留膜层主要成份为 Si,推测为 α -Si 残留,个别样品有少量 Al,推测源漏电极层线边缘金属特性发生变化,导致其在二次金属刻蚀时不能充分反应去除掉。

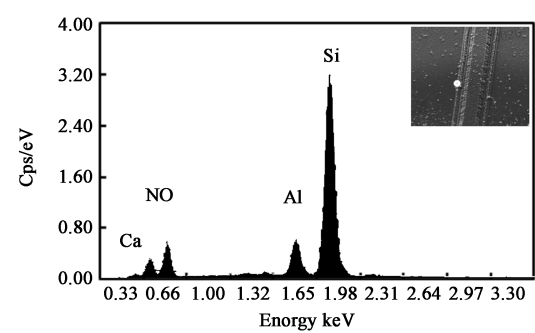


图 2 SD 线边缘 FIB 分析

Fig.2 FIB analysis of the edge of SD line

表 1 SD 线边缘 FIB 分析

Tab.1 FIB analysis of the edge of SD line

Element	Weight (质量分数/%)	Atomic (原子数分数/%)
Ca	0.01	0.01
N	2.17	4.13
O	3.71	6.17
Al	11.08	10.94
Si	83.03	78.75

为确定膜层异常发生工序,在一次金属刻蚀后、有源层和光刻胶灰化刻蚀后、二次金属刻蚀后、n⁺刻蚀和光刻胶剥离后分别切片进行 SEM 分析,如图 3 所示。可以看出在光刻胶剥离后 b 位置出现膜层残留,对应有源层和光刻胶

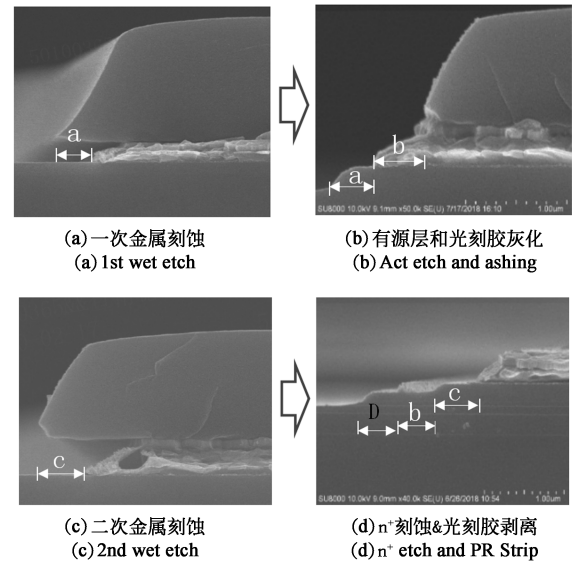


图 3 相关工序 SEM 分析

Fig.3 SEM analysis of related process

灰化刻蚀后的源漏电极层台阶位置,a、c 位置正常,推测有源层和光刻胶灰化工艺导致的源漏电极层线边缘膜层残留可能性较大。有源层刻蚀时,源漏电极层台阶上方有光刻胶遮挡,等离子体对源漏电极层台阶影响较小。光刻胶灰化工艺时,光刻胶被刻蚀,源漏电极层台阶裸露,等离子体对源漏电极层台阶影响较大。推测源漏电极层线边缘金属在 PR 胶灰化时特性发生了变化,导致其在二次金属刻蚀时不能被充分反应去除掉,残留的线状膜层导致 n⁺刻蚀时源漏电极层线边缘的 a-Si 刻蚀被阻挡,产生 a-Si 膜层残留,残留的线状膜层掉落在 TFT 沟道内和其他像素区导致对应区域的膜层刻蚀被阻挡,产生线状膜层残留。

2.2 实验

实验中采用的是 G8.5 ICP 设备,由东京电子 (TEL) 制造,玻璃基板尺寸为 2 200 mm×2 500 mm,基板厚度为 0.5 mm。为改善 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺产生的膜层残留,设计了 6 组实验,分别从压力、射频功率和气体比例 3 个方面对光刻胶灰化工艺进行测试,和目前正在使用主要条件进行对比,测试条件如表 2 所示。测试方法:完成一次金属刻蚀和有源层刻蚀的基板,分别按测试条件完成光刻胶灰化工艺,然后依次进行二次金属刻蚀、n⁺刻蚀和光刻胶剥离,完成后测试 PI 观察源漏电极层线边缘、沟道和像素区有无膜层残留发生。图 4 为源漏电极层线边缘膜层残留等级划分,图 4(a)无残留,图 4(b)~(f)膜层残留等级依次加重:Lv1~Lv5,膜层残留位置已使用白色线条标出。

表 2 测试条件

Tab.2 Test conditions

条件	Press/ Pa	Source power/ Bias power /kW	$q_v(\text{SF}_6)/q_v(\text{O}_2)/$ (mL·min ⁻¹)	膜层残留 等级
Main	1.33	22/18	50/6 000	Lv5
1	2.66	22/18	50/6 000	Lv4
2	3.99	22/18	50/6 000	Lv3
3	1.33	22/18	50/4 000	Lv5
4	1.33	22/18	50/3 000	Lv4
5	1.33	27/13	50/3 000	Lv3
6	1.33	30/10	50/3 000	Lv2

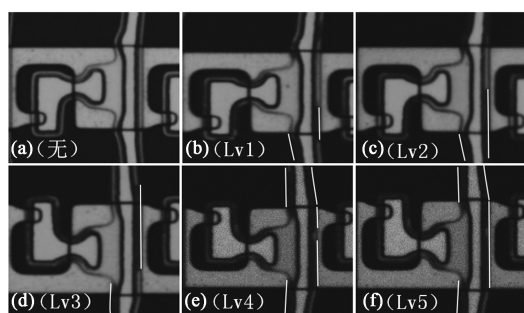


图 4 膜层残留等级

Fig.4 Film residue level

从表 2 PI 的测试结果可以看出:主要条件与 1、3、4 条件中源漏电极层线边缘膜层残留严重,条件 2、5、6 中源漏电极层线边缘膜层残留轻微。图 5 为实验结果分析:(I)对比主要条件与 1、2 条件,随着压力升高,膜层残留等级减轻较为明显;(II)对比主要条件与 3、4 条件,随着 O_2 比例降低,膜层残留等级轻微减轻;(III)对比 4、5、6 条件,随着低压射频功率降低,膜层残留等级减轻较为明显。从以上测试结果可以得出:压力、偏压射频功率对膜层残留影响较大,为主要影响因素; O_2 比例对膜层残留影响相对较小,为次要影响因素。压力升高、偏压射频功率降低和 O_2 比例降低对膜层残留均有改善效果。

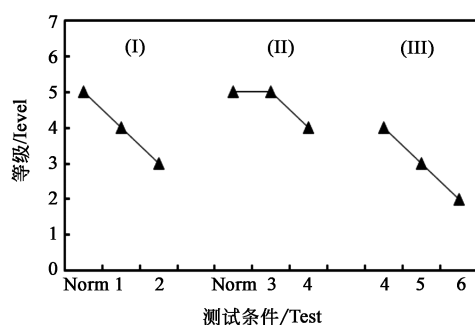


图 5 PI 测试结果

Fig.5 PI test result

为解决 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺产生的膜层残留问题,采用压力升高、偏压射频功率降低和 O_2 比例降低组合条件进行测试,设计如表 3 所示 7、8、9 三组优化条件进行测试,结果均无膜层残留发生,结合表 2 的测试结果可以得出改善膜层残留的条件:压力 ≥ 2.66 Pa,源极功率:偏压功率 $\geq 3:1$, $q_v(SF_6):q_v(O_2) \geq 1:60$ 。

表 3 测试条件

Tab.3 Test conditions

条件	Press/ Pa	Source power/ Bias power /kW	$q_v(SF_6)/q_v(O_2)/$ (mL · min ⁻¹)	膜层残留 等级
7	2.66	30/10	50/3 000	Lv0
8	3.99	30/10	50/3 000	Lv0
9	2.66	30/10	100/4 000	Lv0

3 结果与讨论

采用 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺,主要条件有源漏电极层线边缘膜层残留发生,通过实验测试得出与压力、偏压射频功率和 O_2 比例有关。一方面主要条件压力低,等离子体浓度低,碰撞几率减小,运动自由程增加,通过电场加速获得的能量高,物理刻蚀较强,同时偏压射频功率高,加速电压增大,反应产生的离子和自由基能量增加,物理刻蚀能力进一步增强,对源漏电极层线边缘金属产生较大的损伤;另一方面主要条件 O_2 比例高,反应产生的氧离子浓度相对较高,氧化能力强,易与源漏电极层线边缘的金属反应产生氧化。受到等离子体损伤和氧离子氧化的共同影响,源漏电极层线边缘金属特性发生了变化,在二次金属刻蚀时不能被完全反应去掉,产生线状的膜层残留。 n^+ 刻蚀时,残留的膜层阻挡源漏电极层线边缘的 a-Si 被刻蚀,产生 a-Si 膜层残留,残留的线状膜层掉落在 TFT 沟道和像素区,导致沟道内的 a-Si 和像素区 SiN_x 刻蚀被阻挡,产生线状膜层残留。图 6 为推测的膜层残留产生机理。提升光刻胶灰化工艺压力、降低偏压射频功率比例

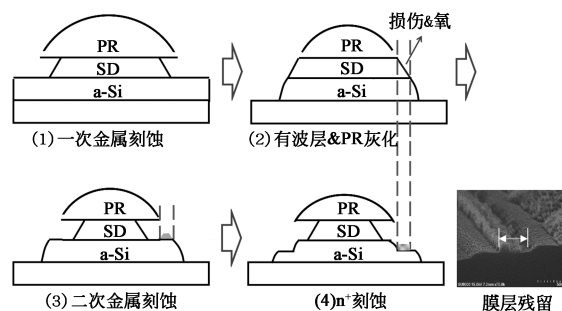


图 6 SD 线边缘膜层残留形成机理

Fig.6 Formation mechanism of film residue on the edge of SD line

和 O_2 比例,光刻胶灰化工艺的物理刻蚀能力和氧化能力相应减弱,对 SD 线边缘金属的损伤减小,氧化减弱,膜层残留有明显改善;采用 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺时,满足条件:压力 ≥ 2.66 Pa,源极功率:偏压功率 $\geq 3:1$, $q_v(SF_6):q_v(O_2) \geq 1:60$,无膜层残留发生。

4 结 论

为改善 ICP 设备进行 4-Mask 光刻胶灰化工艺产生的 a-Si 膜层残留不良,通过实验分析得出灰化

工艺的压力、偏压射频功率和 O_2 比例对 a-Si 膜层残留均有影响,提升压力、降低偏压射频功率,可以降低灰化工艺的物理刻蚀能力,减少等离子体对源漏电极层线边缘金属的损伤,同时减少 O_2 的比例可以降低氧离子浓度,减少等离子体对源漏电极层金属的氧化,a-Si 膜层残留不良逐步减轻,改善效果明显。在此基础上对光刻胶灰化工艺进一步优化得出,满足条件:压力 ≥ 2.66 Pa,源极功率:偏压射频功率 $\geq 3:1$, $q_v(SF_6):q_v(O_2) \geq 1:60$,无膜层残留发生,可以采用 ICP 设备进行光刻胶灰化工艺改善 TFT 特性,提升产品的品质。

参 考 文 献:

- [1] 张光明,刘杰,徐守宇,等.改善 4-Mask 工艺 Al 腐蚀的方法[J].液晶与显示,2013,28(2):224-227.
ZHANG G M, LIU J, XU S Y, *et al.* Preventing method of Al corrosion for applying improved 4-Mask [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2013, 28(2): 224-227. (in Chinese)
- [2] 刘翔,王章涛,崔祥彦,等.薄膜晶体管阵列四次光刻工艺中光刻胶灰化工艺的研究[J].液晶与显示,2008,23(2):183-187.
LIU X, WANG Z T, CUI X Y, *et al.* Ashing process of photoresist in four-mask fabrication of thin film transistors [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(2): 183-187. (in Chinese)
- [3] 王亮,王文青,李鑫,等.增强型等离子体耦合干法刻蚀条件对 PR 胶灰化的影响[J].液晶与显示,2012,27(2):204-207.
WANG L, WANG W Q, LI X, *et al.* Effects of PR ashing in process of enhanced capacitive coupled plasma etch [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(2): 204-207. (in Chinese)
- [4] 白金超,张光明,郭总杰,等.各膜层对光刻胶灰化的影响[J].液晶与显示,2015,30(4):616-620.
BAI J C, ZHANG G M, GUO Z J, *et al.* Effect of film layer on photoresist ashing [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2015, 30(4): 616-620. (in Chinese)
- [5] 徐大林,丁欣,侯智,等. O_2/SF_6 气氛下光刻胶灰化反应的机理研究[J].真空科学与技术学报,2012,32(12):1109-1113.
XU D L, DING X, HOU Z, *et al.* Ashing mechanism of photo-resist in oxygen-sulfur hexafluoride mixtures [J]. *Chinese Journal of Vacuum Science and Technology*, 2012, 32(12): 1109-1113. (in Chinese)
- [6] 张玉虎,岳浩,王军帽,等.TFT 光刻 D1CD 均一性改善优化[J].液晶与显示,2016,31(10):929-935.
ZHANG Y H, YUE H, WANG J M, *et al.* Improvement of uniformity of TFT lithography D1CD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(10): 929-935. (in Chinese)
- [7] 郑志霞,冯勇建,张春权.ICP 刻蚀技术研究[J].厦门大学学报:自然科学版,2004,43(S1):365-368.
ZHENG Z X, FENG Y J, ZHANG C Q. Etching technique of inductive couple plasmas [J]. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2004, 43(S1): 365-368. (in Chinese)
- [8] 徐纯洁,张福刚,崔立加,等.感应耦合等离子体干法刻蚀中光刻胶异常变性的改善[J].液晶与显示,2017,32(4):265-268.
XU C J, ZHANG F G, CUI L J, *et al.* Improvement of photoresist abnormal degeneration in inductively coupled plasma etch [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(4): 265-268. (in Chinese)
- [9] 王晨飞.半导体工艺中的新型刻蚀技术—ICP[J].红外,2005(1):17-22.
WANG C F. New etching technology in semiconductor process—ICP [J]. *Infrared*, 2005(1): 17-22. (in Chinese)
- [10] 魏育才. CF_4 和 O_2 等离子体刻蚀改善氮化硅薄膜形貌研究[J].集成电路应用,2019,36(7):40-43.
WEI Y C. Study on silicon nitride shape profile improvement by CF_4 and O_2 plasma etching [J]. *Application of*

- IC, 2019, 36(7): 40-43. (in Chinese)
- [11] 姚刚,石文兰.ICP 技术在化合物半导体器件制备中的应用[J].半导体技术,2007,32(6):474-485,485.
YAO G, SHI W L. Application of ICP etching in the fabrication of compound semiconductor device [J]. *Semiconductor Technology*, 2007, 32(6): 474-485, 485. (in Chinese)
- [12] 樊中朝,余金中,陈少武.ICP 刻蚀技术及其在光电子器件制作中的应用[J].微细加工技术,2003(2):21-28.
FAN Z C, YU J Z, CHEN S W. Inductively coupled plasma etching technology and its application in optoelectronic devices fabrication [J]. *Microfabrication Technology*, 2003(2): 21-28. (in Chinese)

作者简介:



查甫德(1986—),男,安徽铜陵人,硕士,工程师,2012 年于华东理工大学获得硕士学位,主要从事 TFT-LCD 显示技术中的干法刻蚀技术研究。E-mail:zhafude@boe.com.cn