

文章编号:1007-2780(2019)06-0564-06

# IGZO-TFT 钝化层三元复合结构过孔刻蚀

田茂坤\*, 董晓楠, 黄中浩, 王 骏, 王思江, 赵永亮, 闵泰烨,

袁剑峰, 孙未来, 谌 伟, 王 恺, 吴 旭

(重庆京东方光电科技有限公司, 重庆 400700)

**摘要:** IGZO-TFT 钝化层设计三元复合过孔结构, 出现了 20% 过孔相关不良。本文以  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  为反应气体, 采用控制变量法, 从功率、气体成分和比例、压力等方面对氧化物 TFT 钝化层的电感耦合等离子体刻蚀机理进行研究。当钝化层为  $\text{SiO}_2$  或  $\text{SiN}_x$  单组分时, 氧气可以促进刻蚀反应; 随着  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  比例增加, 刻蚀速率先增大后趋于稳定, 并且当  $\text{CF}_4/\text{O}_2 = 15/8$  时, 刻蚀速率和均一性达到最优; 与源功率相比, 提高偏压功率在提升刻蚀速率中起主导作用, 同时均一性控制在 15% 以内; 当压力在 4 Pa 以内时, 刻蚀速率随着压力的降低而增加。据此分析, 对复合结构  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  的刻蚀过程进行优化, 得到了形貌规整、无残留物的过孔, 过孔相关不良得到 100% 改善。

**关键词:** 氧化物 TFT; 三元复合结构; 钝化层; 过孔刻蚀

**中图分类号:** TN321+.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20193406.0564

## Ternary composites of passivation layer for hole plasma etching of IGZO-TFT

TIAN Mao-kun\*, DONG Xiao-nan, HUANG Zhong-hao, WANG Jun, WANG Si-jiang,  
ZHAO Yong-liang, MIN Tai-ye, YUAN Jian-feng, SUN Lei-lai, CHEN Wei, WANG Kai, WU Xu

(Chongqing BOE Optoelectronics Technology Co., LTD, Chongqing 400700, China)

**Abstract:** For ternary composite *via*-hole in passivation layer, 20% relevant defection happened in IGZO TFT manufaction. In this paper, the inductively coupled plasma etching mechanism of the oxide TFT passivation was investigated. Combined the reaction gas  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  with the control variable method, the impact of power, gas composition, gas ratio and pressure on the project was studied. When the passivation is a single component of  $\text{SiO}_2$  or  $\text{SiN}_x$ , adding oxygen to the reaction gas can promote the etching process. The etching rate and uniformity increase with the ratio of  $\text{CF}_4/\text{O}_2$ . Further, the optimum indexes achieve at  $\text{CF}_4/\text{O}_2 = 15/8$ . Compared with the source power, the bias power plays a leading role in increasing the etch rate, while the uniformity is controlled within 15%. The etching rate improves with the decrease of the pressure, within the limit of 4 Pa. Based on this, the etching processes of the composite structure  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ ,  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  are optimized. Ultimately, the well-formed, residue-free *via*-holes are obtained and the bad issue occurred in the *via*-hole is completely improved, which provide theoretical guidance for favorable electrical contact with

收稿日期: 2018-12-06; 修订日期: 2019-04-24.

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

the oxide TFT devices.

**Key words:** IGZO-TFT; ternary composites; passivation; hole etching

## 1 引言

当今显示领域主流技术有液晶显示(Liquid Crystal Displays, LCDs)和有机发光二极管(Organic Light Emitting Diodes, OLEDs)。其中薄膜晶体管(Thin Film Transistor, TFT)是这些显示产品的基础元件。目前 TFT 主要包括非晶硅 TFT、多晶硅 TFT 和铟镓锌氧化物(Indium Gallium Zinc Oxide, IGZO) TFT。其中 IGZO TFT 以其迁移率高、工艺温度低、透光率高、关态电流小等优异性能而备受市场关注,因此成为下一代显示行业的优选基础元件<sup>[1]</sup>。

IGZO TFT 在实际工业生产过程中采用传统的底栅结构,涉及的膜层结构从下往上分别是:栅极、绝缘层( $\text{SiN}_x$  &  $\text{SiO}_2$ )、IGZO、源漏极、钝化层 1( $\text{SiO}_2$ )、公共电极、钝化层 2( $\text{SiN}_x$ )、像素电极。相对于非晶硅 TFT,钝化层增加了  $\text{SiO}_2$  为 IGZO 提供氧分压,用以确保 TFT 特性,因此钝化层过孔刻蚀膜层结构分别为钝化层 2( $\text{SiN}_x$ )、钝化层 1( $\text{SiO}_2$ )和绝缘层( $\text{SiN}_x$  &  $\text{SiO}_2$ ),涉及两种不同膜层结构,在过孔刻蚀过程中易出现过孔形貌异常,导致过孔连接异常无法导通,出现 20% 过孔相关不良。本文对此种  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构的过孔刻蚀进行了研究。

本文以  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$  单组分为基础,研究气体组分、功率、压力对刻蚀速率和均一性的影响。随后对  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合组分的过孔刻蚀进行了研究。

## 2 实验

采用重庆京东方液晶面板 G8.5 代线生产平台,使用  $2\,200\text{ mm} \times 2\,500\text{ mm}$  的 Corning 玻璃作为实验基板,玻璃厚度为 0.5 mm。实验所涉及的膜层结构从下往上分别为栅极(Gate)、氮化硅( $\text{SiN}_x$ )、二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、氮化硅( $\text{SiN}_x$ )和正性光刻胶(PR)。

实验在玻璃表面采用磁控溅射沉积金属作为器件的栅电极(MoNb/Cu),然后采取 PECVD 方

法在固定的工艺条件下,每张玻璃在栅极上生成二氧化硅、氮化硅薄膜,以电感耦合等离子体刻蚀系统(ICP)作为刻蚀设备,研究刻蚀设备功率、气体组分、腔室气体压力对氮化硅、氧化硅单组分以及混合组分的刻蚀速率、均一性以及过孔形貌的影响。 $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构如图 1 所示。

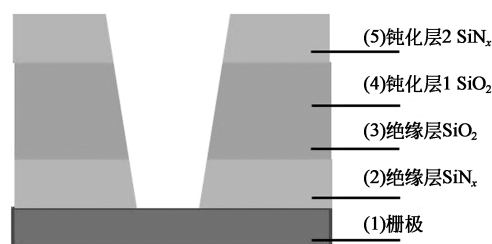


图 1  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构示意图

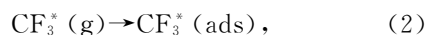
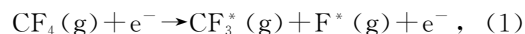
Fig.1  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  ternary composite structure diagram

## 3 结果与讨论

### 3.1 ICP 模式对单层氮化硅、氧化硅的刻蚀

ICP 模式通过电感耦合产生交变的电磁场,引起气体辉光放电,产生活性自由基、亚稳态粒子、原子等等离子体,通过吸附在膜层表面,与膜层表面的原子发生化学反应;同时高能离子对膜层表面进行物理轰击,生成可挥发性物质,并由排气口排出,在化学和物理的共同作用下达刻蚀目的<sup>[2-4]</sup>。本文以氮化硅、氧化硅为研究对象,探讨了气体组分、气体比例、功率、压强等参数对其刻蚀速率和均一性的影响。

图 2 为 3 组不同样品中气体组分对氮化硅刻蚀速率和均一性的影响,实验数据来自每组样品 35 个测试点位的均值及均一性。由图 2 可以得出,在其他刻蚀条件不变的情况下,刻蚀气体组分中新增  $\text{O}_2$ ,可以显著提高刻蚀速率,同时改善刻蚀刻蚀均一性。3 组实验结果趋势基本一致,均一性波动范围为  $\pm 2\%$ 。其刻蚀的主要反应过程为:



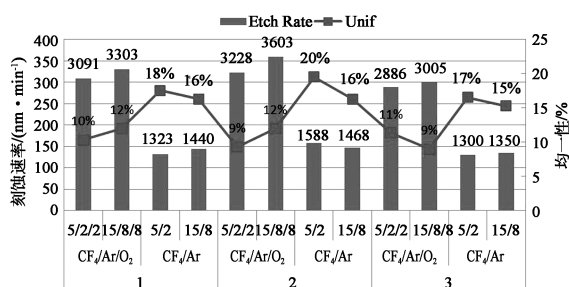
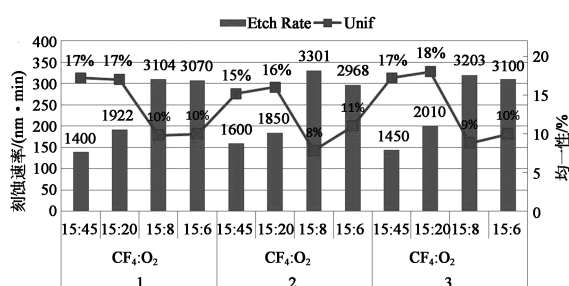


图 2 气体组分对氮化硅刻蚀速率和均一性的影响

Fig.2 Influence of gas composition on the silicon nitride etching rate and uniformity

图 3 CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> 比例对氮化硅刻蚀速率和均一性的影响Fig.3 Influence of CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> ratio on the silicon nitride etching rate and uniformity

在刻蚀气体组分中不含 O<sub>2</sub> 时, CF<sub>4</sub> 与氮化硅反应生成碳化物, 不易排出反应腔室, 会附在反应物表面阻碍刻蚀的进行, 从而降低刻蚀速率, 恶化均一性。在刻蚀气体组分中加入 O<sub>2</sub>, 刻蚀过程中生成的碳化物与 O<sub>2</sub> 发生反应, 生成 CO<sub>2</sub>、CO 等气体, 经泵抽出反应腔室, 促进了刻蚀反应的进行, 提升了刻蚀速率并改善了均一性。

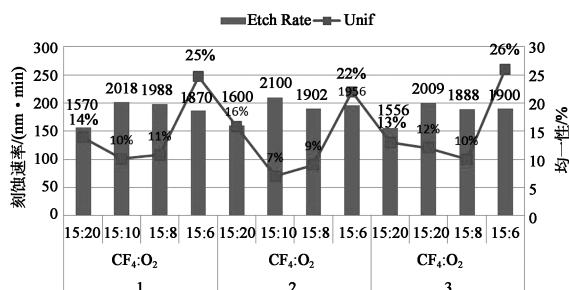
图 4 CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> 比例对氧化硅刻蚀速率和均一性的影响Fig.4 Influence of CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> ratio on the silicon oxide etching rate and uniformity

图 3 和图 4 分别为 3 组不同样品中 CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> 比例对氮化硅、氧化硅刻蚀速率和均一性的影响, 实验数据来自每组样品 35 个测试点位的均值及均一性。由图 3 和图 4 可以得出, 在其他刻蚀条件不变的情况下, 随着 CF<sub>4</sub> 比例的增加, 刻蚀速率先增加后趋于稳定, 其中刻蚀均一性氮化硅逐渐变好, 氧化硅先变好后变差。随着 CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> 比例增加, CF<sub>3</sub><sup>\*</sup>(ads) 比例逐渐增加, 参与反应的自由基增加, 氮化硅和氧化硅刻蚀速率加快, 整体呈现出先增大后稳定的趋势, 并且当 CF<sub>4</sub> : O<sub>2</sub> 比例达到 15 : 8 时, 刻蚀速率和均一性水平最优, 样品之间变化趋势一致, 均一性波动范围为 ±2%。其中氧化硅均一性逐渐变差怀疑是 CF<sub>3</sub><sup>\*</sup>(ads) 自由基数量增加, 因此自由基之间碰撞增加导致分布不均引起均一性变差。其刻蚀的主要反应过程如式 (1)、(2)、(4) 所示。

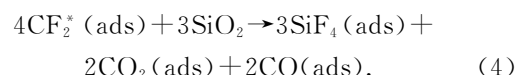


图 5 和图 6 分别为 3 组不同样品中, 功率对氮化硅、氧化硅刻蚀速率和均一性的影响, 实验数据来自每组样品 35 个测试点位的均值及均一性。由图 5 和图 6 可以得出, 在其他刻蚀条件不变的情况下, 源功率的调整对氮化硅刻蚀速率和均一性无明显影响, 氧化硅随着源功率降低, 刻蚀速率有所降低, 均一性相对变好。随着偏压功率的降低, 氮化硅刻蚀速率呈现降低趋势, 但均一性逐渐变好, 氧化硅刻蚀速率下降明显, 均一性逐渐变差, 样品之间变化趋势一致, 均一性波动范围约 ±2%。由此可知, CF<sub>4</sub> 对氮化硅和氧化硅刻蚀过程中, 刻蚀速率主要由偏压功率决定, 即主要以物理刻蚀为主。这是由于功率的降低导致等离子体的浓度会降低, 同时等离子体的能量变小, 通过碰撞形成的自由基减少。因此化学和物理刻蚀都会降低, 导致刻蚀速率降低<sup>[5]</sup>。

图 7 为 3 组不同样品中, 压力对氧化硅刻蚀速率和均一性的影响, 实验数据来自每组样品 35 个测试点位的均值及均一性。由图 7 可以得出, 在其他刻蚀条件不变的情况下, 随着压力降低, 刻蚀速率升高, 样品之间变化趋势基本一致, 均一性波动范围约为 ±2%。可以理解为压力降低时, 离子平均自由程变大, 降低了刻蚀离子及活性基之间的碰撞, 提高了刻蚀的方向性, 改善了刻蚀均一性。

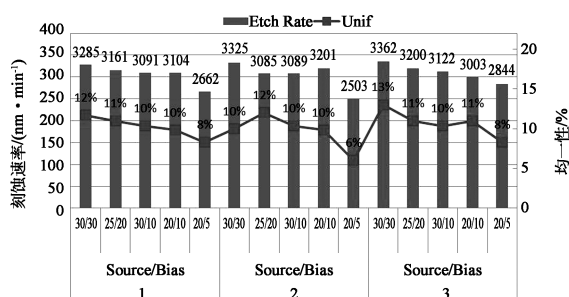


图 5 功率对氮化硅刻蚀速率和均一性的影响

Fig.5 Influence of power on the silicon nitride etching rate and uniformity

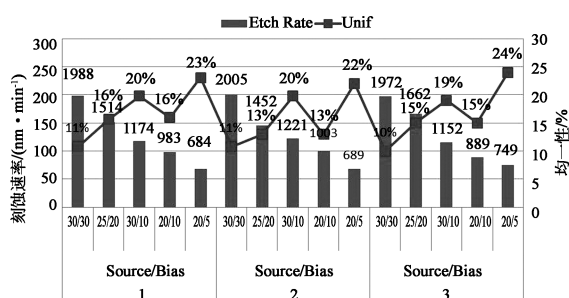


图 6 功率对氧化硅刻蚀速率和均一性的影响

Fig.6 Influence of power on the silicon oxide etching rate and uniformity

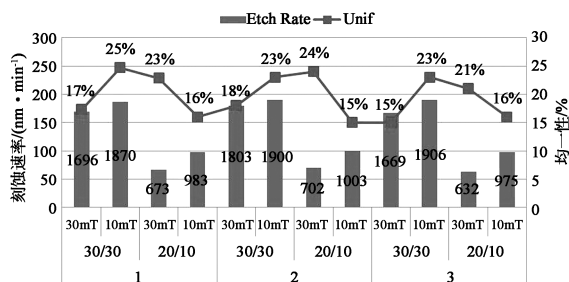


图 7 压力对氧化硅刻蚀速率和均一性的影响

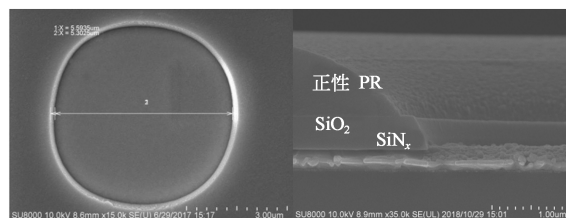
Fig.7 Influence of pressure on the silicon oxide etching rate and uniformity

### 3.2 ICP 模式对 $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$ 复合结构刻蚀形貌研究

在 ICP 刻蚀模式下,利用  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$  单组分研究结果对其复合结构刻蚀形貌进行研究,主要对  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  二组分复合结构进行分析,然后应用于  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构。

图 8 为  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  复合结构刻蚀后的形貌(图片由每组 13 个样品中任意选 1 张)。由图 8 可以

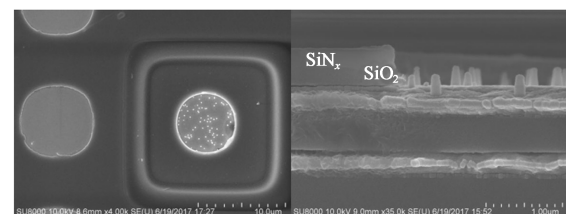
得出,在  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  复合结构使用单组分相同刻蚀条件(功率 25 kW/20 kW,  $\text{CF}_4:\text{O}_2=15:8$ ,压力 4 Pa),过孔表面形貌规整,未发现残留物。



(a) 刻蚀后过孔 TOP 形貌 (b) 刻蚀后过孔截面形貌  
(a) TOP morphology (b) Cross section morphology

图 8  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  复合结构刻蚀后的形貌Fig.8  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  composite structure morphology after etching

图 9 为  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构刻蚀后的形貌(图片由每组 13 个样品中任意选 1 张)。由图 9 可以得出,在  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构采用单组分相同刻蚀条件,由 SEM 图片可知,孔内出现柱状残留物,柱状残留物高度与  $\text{SiO}_2$  厚度接近,疑似  $\text{SiO}_2$  残留,其发生原因可能是  $\text{CF}_4$  与  $\text{SiN}_x$  反应过程中,生成的中间产物附着在  $\text{SiO}_2$  膜层表面,阻碍了  $\text{CF}_3^*(\text{ads})$  对  $\text{SiO}_2$  的刻蚀作用<sup>[06]</sup>。其反应方程式见式(1)~(5)。



(a) 刻蚀后 TOP 形貌 (b) 刻蚀后截面形貌  
(a) TOP morphology (b) Cross section morphology

图 9  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构刻蚀后的形貌Fig.9  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  composite structure morphology after etching

图 10 为刻蚀调整后的  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构刻蚀形貌(图片由每组 13 个样品中任意选 1 张),由图 10 可以得出,在  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构采用不同的单组分刻蚀条件:Top  $\text{SiN}_x$  采用  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  气体组分, $\text{SiO}_2$  采用  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  气体组分,由 SEM 图可知,孔内柱状残留物得到改善,因  $\text{SF}_6$  与  $\text{SiN}_x$  反应过程中生成物易被泵抽出排出腔室,即在  $\text{SiO}_2$  刻蚀过程中不存在刻蚀的生成物,柱状残留

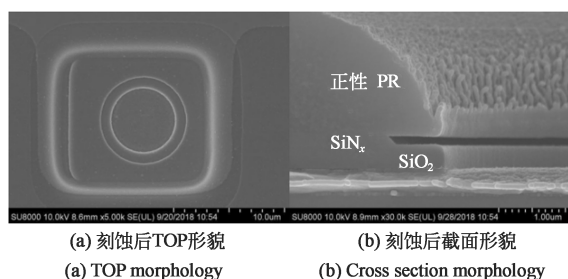


图 10 刻蚀调整后的  $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  复合结构刻蚀后的形貌

Fig.10  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  composite structure morphology after etching adjustment

物得到改善。

图 11 为  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构刻蚀后的形貌(图片由每组 13 个样品中任意选 1 张)。通过对  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  二元组分刻蚀形貌进行分析,得到最优二元组分刻蚀条件:Top  $\text{SiN}_x$  采用  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ 、Bottom  $\text{SiN}_x$  & Middle  $\text{SiO}_2$  采用  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  气体组分,然后应用于  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/$

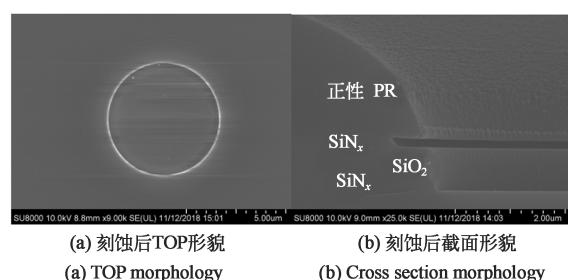


图 11  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构刻蚀后的形貌

Fig.11  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  composite structure morphology after etching

$\text{SiN}_x$  三元复合过孔结构,得到形貌规整的过孔(图 11),过孔相关不良得到 100%改善。

## 4 结 论

本文针对 IGZO TFT 三元复合结构钝化层过孔刻蚀进行研究,利用电感耦合等离子体刻蚀设备(ICP 模式)分析功率、气体组分,压力对  $\text{SiN}_x$ 、 $\text{SiO}_2$  单组分刻蚀速率和均一性的影响;然后利用单组分最优结果对  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  二元复合结构形貌的影响进行分析;最后把二元复合结构最优结果应用在  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  三元复合结构中。实验结果表明:氧气的存在可以促进氮化硅的刻蚀作用,刻蚀速率提升 65%,均一性提升 30%。刻蚀速率随着  $\text{CF}_4:\text{O}_2$  比例增加先增大后趋于稳定,并且当  $\text{CF}_4:\text{O}_2$  比例为 15:8 时刻蚀速率和均一性达到最优。偏压功率在提升刻蚀速率中起主导作用,功率的增加会提升氮化硅和氧化硅刻蚀速率,同时均一性控制在 15%以内。当压力在 4 Pa 以内时,氧化硅刻蚀速率随着压力的降低而增加;在单组分相同最优刻蚀条件下,二元复合结构  $\text{SiN}_x/\text{SiO}_2$  过孔形貌规整、孔内无残留物。 $\text{SiO}_2/\text{SiN}_x$  孔内出现柱状残留物,当刻蚀条件改为 Top  $\text{SiN}_x$  采用  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ 、 $\text{SiO}_2$  采用  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  气体组分时,孔内柱状残留物得到改善。利用二元复合结构验证结果:Top  $\text{SiN}_x$  采用  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ 、Bottom  $\text{SiN}_x$  & Middle  $\text{SiO}_2$  采用  $\text{CF}_4 + \text{O}_2$  气体组分应用于三元复合结构钝化层过孔刻蚀,结果过孔形貌规整,孔内无残留物,过孔相关不良得到 100%改善。

## 参 考 文 献:

- [1] 王妹.非晶 IGZO 薄膜晶体管背沟道表面修饰及器件特性研究[D].宁波:中国科学院宁波材料技术与工程研究所,2016.  
WANG M. Back-channel surface decoration in a-IGZO TFTs and the investigations on the device characteristics [D]. Ningbo: Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences, 2016. (in Chinese)
- [2] 斯蒂芬·A·坎贝尔.微电子制造科学原理与工程技术[M].2版.曾莹,译.北京:电子工业出版社,2003.  
CAMPBELL S A. *The Science and Engineering of Microelectronic Fabrication* [M]. 2nd ed. ZENG B, trans. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003. (in Chinese)
- [3] 杜文涛,曾志刚,胡志宇.氧化硅 RIE 刻蚀工艺研究[J].半导体光电,2014,35(1):57-60.  
DUW T, ZENG Z G, HU Z Y. Study on Reactive Ion Etching of  $\text{SiO}_2$  [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2014, 35(1): 57-60. (in Chinese)

- [4] 张锦,冯伯儒,杜春雷,等.反应离子刻蚀工艺因素研究[J].光电工程,1997,24(S1):47-52.  
ZHANG J, FENG B R, DU C L, *et al.* Research on the technological factors for the reactive ion etching [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 1997, 24(S1): 47-52. (in Chinese)
- [5] 曲鹏程,唐代飞,向鹏飞,等.氮化硅等离子体刻蚀工艺研究[J].电子科技,2017,30(8):153-155.  
QU P C, TANG D F, XIANG P F, *et al.* Study on plasma etching process of silicon nitride [J]. *Electronic Science and Technology*, 2017, 30(8): 153-155. (in Chinese)
- [6] 胡俊鹏,张贵生,周春来.采用  $\text{CF}_4\text{-H}_2$  等离子体干法刻蚀  $\text{SiO}_2$  [J].微细加工技术,1985(2):33-36.  
HU J P, ZHANG G S, ZHOU C L. Dry etch using  $\text{CF}_4\text{-H}_2$  plasma,  $\text{SiO}_2$  [J]. *Microfabrication Technology*, 1985 (2): 33-36. (in Chinese)

#### 作者简介:



田茂坤(1986—),男,重庆黔江人,学士,2012年于哈尔滨理工大学取得学士学位,主要从事 TFT 方面的研究。E-mail: tianmaokun@boe.com.cn