

文章编号:1007-2780(2017)07-0533-05

## 氮化硅的 ECCP 刻蚀特性研究

白金超\*,王 静,赵 磊,张益存,郭会斌,曲泓铭,宋勇志,张 亮

(北京京东方显示技术有限公司,北京 100176)

**摘要:**本文对氮化硅的增强电容耦合等离子刻蚀进行研究,为氮化硅刻蚀工艺的优化提供参考。针对  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  气体体系,通过设计实验考察了功率、压强、气体比、氦气等对刻蚀速率和均一性的影响,并对结果进行机理分析和讨论。实验结果表明:功率越大,刻蚀速率越大,与源极射频电力相比,偏置射频电力对刻蚀速率的影响更为显著;压强增大,刻蚀速率增大,但压强增大到一定程度后,刻蚀速率基本不变,刻蚀均匀性随着压强增大而变差;在保证  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  总流量保持不变下, $\text{O}_2$  的比例增大,刻蚀速率先增大后减小,刻蚀均匀性逐步变好;He 的添加可以改善刻蚀均匀性,但 He 的添加量过多时,会造成刻蚀速率降低。

**关键词:**氮化硅;增强电容耦合等离子刻蚀;刻蚀速率

**中图分类号:**TN141.9 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20173210.0533

## Etching characteristics of silicon nitride by ECCP

BAI Jin-chao\*, WANG Jing, ZHAO Lei, ZHANG Yi-cun, GUO Hui-bin,

QU Hong-ming, SONG Yong-zhi, ZHANG Liang

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

**Abstract:** In order to optimize etching process of silicon nitride ( $\text{SiN}_x$ ), the enhanced capacitive coupled plasma etching (ECCP) of silicon nitride was researched. With  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  as etch gas, the effects of main parameters such as power, pressure, gas rate and He gas on etch rate and uniformity has been studied, and the mechanism of test result was analysed. The results show that power increases, etch rate increases, and compared with the source RF power, the effect of the bias RF power on the etch rate is more significant; pressure increases, the etch rate increases, but the pressure increases to a certain extent, the etch rate is basically the same, the etch uniformity becomes worse with the increase of pressure; under the condition that the total flow rate of  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  is kept constant, the proportion of  $\text{O}_2$  increases, the etch rate increases and then decreases, and the etch uniformity is gradually getting better; the addition of He can improve the etch uniformity, but when the amount of He is too much, it will cause the reduction of the etch rate.

**Key words:** silicon nitride; enhanced capacitive coupled plasma etching; etch rate

收稿日期:2016-05-04;修订日期:2016-08-10.

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

## 1 引言

在显示行业,氮化硅常被用作绝缘层和表面钝化层<sup>[1]</sup>。随着氮化硅的广泛应用,氮化硅的刻蚀工艺成为近年来研究的热点,其中较多文献针对氮化硅的反应离子刻蚀工艺进行了研究<sup>[2-4]</sup>。

为了适应显示行业向高世代线发展的趋势,干法刻蚀逐渐由反应离子刻蚀向增强电容耦合等离子体(Enhanced Capacitive Coupled Plasma, ECCP)刻蚀转变。但是,对氮化硅 ECCP 刻蚀工艺的研究报告较少。

本文针对氮化硅 ECCP 刻蚀工艺,刻蚀气体选用六氟化硫+氧气( $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ ),实验考察了关键参数对刻蚀特性的影响,为氮化硅 ECCP 刻蚀工艺优化提供技术基础。

## 2 实验方法

### 2.1 ECCP 原理介绍

ECCP 模式刻蚀设备原理示意图如图 1,上部电极和反应腔接地,下部电极上加能产生 13.56 MHz 高频电力的源极射频(Source RF)和 3.2 MHz 高频电力的偏置射频(Bias RF)。与反应离子刻蚀模式显著不同是在下部电极上增加了一个低频偏置射频,增大了自偏压,从而增大了等离子体与基板的距离,减少了大型基板异常放电现象。

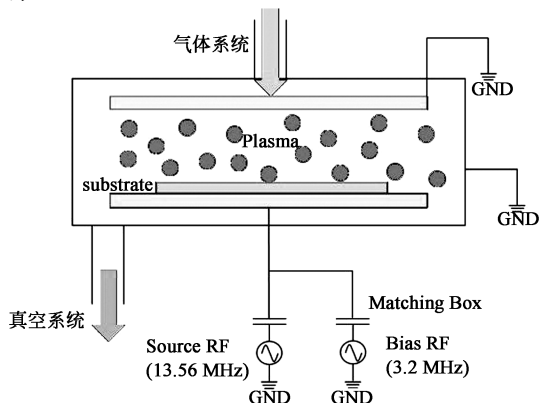
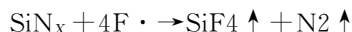
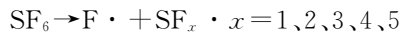


图 1 ECCP 刻蚀设备原理示意图

Fig.1 Image of ECCP dry etch system

在 ECCP 刻蚀模式中活性基团和离子起主要作用,离子在电极电场的作用下垂直轰击基板进行物理刻蚀,活性基团直接与表面组分发生化学反应进行刻蚀<sup>[5]</sup>。采用  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  作为刻蚀气体,氮化硅的 ECCP 刻蚀模式主要反应过程为<sup>[2]</sup>:



$\text{F} \cdot$ 、 $\text{SF}_x \cdot$  表示化学反应性高的活性基。真空系统将反应生成物  $\text{SiF}_4$ 、 $\text{N}_2$  等挥发性气体抽离反应腔室,从而完成对氮化硅的刻蚀。

### 2.2 样品制备和测试

采用康宁公司尺寸为 2.5 m × 2.2 m、厚度 0.5 mm 的 Eagle-XG 10K 玻璃做为实验基板。在玻璃基板上通过等离子增强型化学气相沉积氮化硅膜层,然后通过光刻工艺形成相应图案。使用 ECCP 模式的 ADE-2500DC DRY ETCH 设备进行氮化硅干法刻蚀。

本文实验分别研究了功率、压强、 $\text{SF}_6/\text{O}_2$  流量比例、He 对刻蚀速率的影响。具体参数如下,其中 1 mT = 0.133 Pa, 1 sccm =  $6 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{h}$ 。

(1)功率对刻蚀速率的影响。相同的压强和  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量情况下,对源极/偏置高频电力分别为 7 000 W/7 000 W、7 000 W/9 000 W、9 000 W/7 000 W 的情况进行研究。

(2)压强对刻蚀速率的影响。相同的功率和  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量情况下,对压强分别是 100 mT、120 mT、140 mT 的情况进行研究。

(3)气体比例对刻蚀速率的影响。相同的功率和压强下,保持  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$  气体流量总量不变,改变  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  的比例,对  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  比例分别为 5 : 1、1 : 1、1 : 2、1 : 3 的情况进行研究。

(4)He 对刻蚀速率的影响。相同的功率、压强和  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量情况下,对 He 通入量分别为 0、1 000 sccm、2 000 sccm 的情况进行研究。

样品刻蚀后去除光刻胶,用探针台阶仪均匀分散测量玻璃基板上 18 个点位氮化硅膜厚的段差值,求出平均值,进而计算出刻蚀速率和均匀性。均匀性是指所有测试点膜厚段差值的最大值减去最小值,然后除以二倍的所有测量值的平均值,其数值越小,表明刻蚀均匀性越好。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 功率对刻蚀速率的影响

图2为不同源极/偏置射频功率的刻蚀速率测试结果。由图2可知,在其他刻蚀条件不变下,功率越大,氮化硅的刻蚀速率越大,其中偏置射频功率由7 000 W增大到9 000 W比源极射频功率由7 000 W增大到9 000 W对刻蚀速率的影响更大,同时源极射频功率增大,刻蚀均匀性变差。

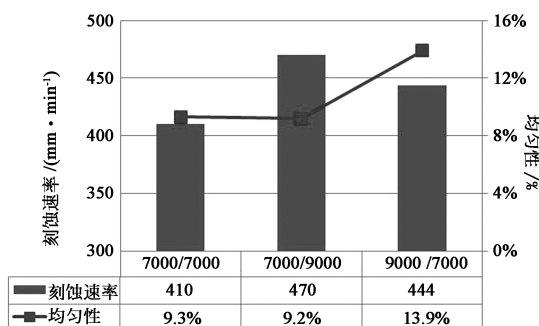


图2 不同源极/偏置射频功率的刻蚀速率测试结果

Fig.2 Etch rate of different Source/Bias RF power

ECCP刻蚀模式,源极射频独立控制等离子体密度,偏置射频独立控制离子轰击强度<sup>[6]</sup>。增大源极射频功率,等离子体密度增大,则氟活性基数量增多,从而增强化学刻蚀作用。增大偏置射频功率,离子轰击强度增大,从而增强了物理轰击刻蚀作用,同时物理轰击还能促进化学刻蚀。故偏置射频功率增大比源极射频功率增大对刻蚀速率的影响大,说明偏置射频功率增大所增强物理轰击刻蚀作用大于源极射频功率增大所增强的化学刻蚀作用。

由上分析可知,源极射频功率增大,主要增强了化学刻蚀作用,偏置射频功率增大主要增强了物理刻蚀作用。由于物理刻蚀不会对刻蚀均匀性造成显著影响,化学刻蚀是造成刻蚀不均的主要来源<sup>[5]</sup>。所以源极射频功率增大,增强了化学刻蚀作用,加大刻蚀不均一性,刻蚀均匀性变差。

#### 3.2 压强对刻蚀速率的影响

图3为不同压强的刻蚀速率测试结果。由图3可知,在其他刻蚀条件不变下,压强由100 mT增大到120 mT,刻蚀速率升高,均匀性变差,压强由120 mT增大到140 mT时,刻蚀速率基本

不变,均匀性略微变差。

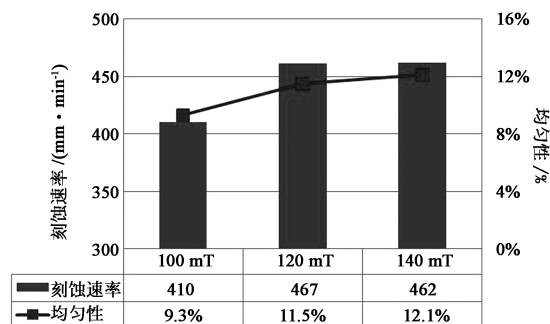


图3 不同压强的刻蚀速率测试结果

Fig.3 Etch rate of different pressure

随着压强升高,氟活性基的浓度增加,增强了化学刻蚀作用,所以刻蚀速率升高。但是随着压强升高,等离子体浓度升高,离子碰撞几率增大,能量损失增大,使离子能量减小,从而减弱物理刻蚀作用,同时压强增大,导致刻蚀产物排出反应腔室的速度降低,也会导致刻蚀速率下降。当压强增大到一定程度,氟活性基的浓度增加,减弱的物理刻蚀抵消提高的化学刻蚀,故刻蚀速率变化不大。所以压强由120 mT增大到140 mT时,刻蚀速率基本不变。压强越低,使反应气体排出反应腔室的速度越高,则氟活性基的流速越快,使氟活性基在腔室内的分布更均匀,导致刻蚀均匀性越好,故刻蚀均匀性随着压强增大而变差。

#### 3.3 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 气体比例对刻蚀速率的影响

图4为相同的功率和压强下,保持SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>气体流量总量不变,改变SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>气体比例的刻蚀速率测试结果。由图4可知,SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>的气体比例由5:1到1:1时,刻蚀速率升高,气体比例由1:1到1:3时刻蚀速率降低,即随着氧气比例的增大,刻蚀速率先升高后降低,但是均匀性一

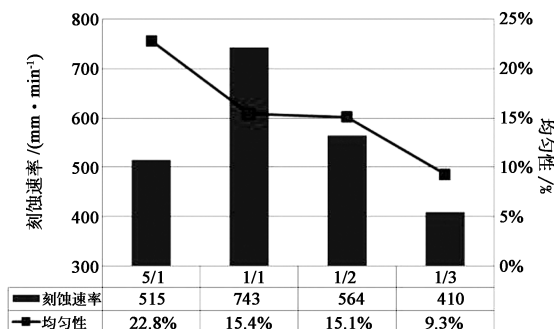
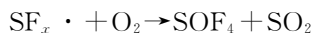


图4 不同SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub>气体比例的刻蚀速率测试结果

Fig.4 Etch rate of different SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> gas rate

直逐渐变好。

$\text{SF}_6/\text{O}_2$  的气体比例由 5 : 1 到 1 : 1 时,刻蚀速率显著升高,说明加入  $\text{O}_2$  对氮化硅刻蚀有显著的促进作用。 $\text{O}_2$  加入到  $\text{SF}_6$  反应气体中,会发生下列反应:



避免  $\text{SF}_x \cdot$  与  $\text{F} \cdot$  复合反应,使氟活性基比例上升,从而促进刻蚀速率升高。

$\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体比例由 1 : 1 到 1 : 3 时,刻蚀速率降低,说明在  $\text{O}_2$  增加到某一值后,则对氮化硅的刻蚀起着阻碍作用。这可以认为随着  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  比例的降低, $\text{SF}_6$  的含量越来越低, $\text{O}_2$  的含量越来越高,导致氟活性基的数量降低,从而导致刻蚀速率降低。

在相同的功率和压强下,保持  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量总量不变,随着  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  比例的降低, $\text{O}_2$  的含量越来越高,对  $\text{SF}_6$  起到了稀释的作用,使氟活性基分布的更均匀,导致刻蚀均匀性逐渐变好。

### 3.4 He 对刻蚀速率的影响

图 5 为相同的功率、压强和  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量情况下,He 通入量分别为 0、1 000 sccm、2 000 sccm 时的刻蚀速率测试结果。由图 5 可知,与不通入 He 相比,当 He 通入量为 1 000 sccm 时,刻蚀速率基本保持不变,当 He 通入量为 2 000 sccm 时,刻蚀速率明显降低,但是刻蚀均匀性变好。

He 是惰性气体,不参加氮化硅刻蚀反应。在功率、压强和  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  气体流量保持不变下,增加少量 He,对活性基和离子的浓度影响不大,故刻蚀速率基本不变。He 继续增大,对活性基和离子起到稀释作用,同时,压强不变下,气体从反

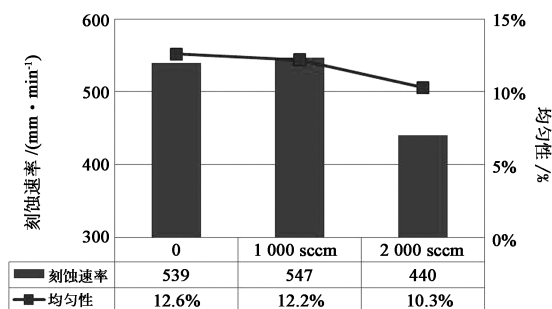


图 5 He 流量对刻蚀速率测试结果

Fig.5 Etch rate of different He glow

应腔体抽走的速率会加快,活性基和离子来不及反应就被抽走,相当于降低了活性基和离子的浓度和数量,所以刻蚀速率显著降低。同时由于 He 的稀释作用,以及气体流速的增大,使活性基和离子的分布更均匀,从而刻蚀均匀性变得更好。

## 4 结 论

针对氮化硅的 ECCP 刻蚀工艺,选用  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  体系作为主要刻蚀气体,在保证其他刻蚀条件一定情况下,分别研究了压强、功率、气体比、氦气等因素对刻蚀速率的影响,结果表明:功率越大,刻蚀速率越大,与源极射频电力相比,偏置射频电力对刻蚀速率的影响更为显著;压强增大,刻蚀速率增大,但压强增大到一定程度后,刻蚀速率基本不变,刻蚀均匀性随着压强增大而变差;在保证  $\text{SF}_6/\text{O}_2$  总流量保持不变下, $\text{O}_2$  的比例增大,刻蚀速率先增大后减小,刻蚀均匀性逐步变好;He 的添加可以改善刻蚀均匀性,但 He 的添加量过多时,会造成刻蚀速率降低。

## 参 考 文 献:

- [1] 吴清鑫,陈光红,于映,等.PECVD 法生长氮化硅工艺的研究[J].功能材料,2007,38(5):703-705.  
WU Q X, CHEN G H, YU Y, et al. The study on technology for the silicon nitride thin films by PECVD [J]. *Journal of Functional Materials*, 2007, 38(5): 703-705. (in Chinese)
- [2] 苟君,吴志明,太惠玲,等.氮化硅的反应离子刻蚀研究[J].电子器件,2009,32(5):864-866.  
GOU J, WU Z M, TAI H L, et al. Study on the reactive ion etching of  $\text{Si}_3\text{N}_4$  [J]. *Advanced Chinese Journal of Electron Devices*, 2009, 32 (5): 864-866. (in Chinese)
- [3] 王晓光,朱晓明,尹延昭.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. Improvement research of plasma etch [J]. *China New Technologies and Prod-*

ucts, 2010(14): 22. (in Chinese)

- [4] 李田生,陈旭,谢振宇,等.过孔刻蚀工艺优化对过孔尺寸减小的研究[J].液晶与显示,2014,29(5):674-680.  
LIU T S, CHEN X, XIE Z Y, *et al.* Improvement research of via hole minimized by via hole etch conditions [J].  
*Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(5): 674-680. (in Chinese)
- [5] 谢晓强,戴旭涵,赵小林,等.反应离子刻蚀中的边缘效应及其补偿办法[J].真空电子技术,2005(2):41-44.  
XIE X Q, DAI X H, ZHAO X L, *et al.* The edge effect in high power RIE and compensatory approach [J]. *Vacuum Electronics*, 2005(2): 41-44. (in Chinese)

作者简介:白金超(1983—),男,河南南阳人,硕士研究生,毕业于南开大学,主要从事 TFT-LCD 工艺研究。E-mail: bai-jinchao@boe.com.cn