

# 常压射频激励低温冷等离子体刻蚀光刻胶

赵玲利 李海江 王守国 叶甜春

(中国科学院微电子研究所, 北京 100010)

**摘要:** 介绍了一种新型的常压射频激励低温冷等离子体喷射装置,利用电流和电压探针研究了该等离子体的放电特性,利用热电偶研究了喷射出的等离子体束流温度,得到其放电与传统的真空中电容耦合放电具有一致的特性.利用该等离子体装置在大气压下对 AZ9918 光刻胶进行了干法刻蚀实验,用电镜观察了刻蚀留胶前后硅表面的效果,研究了放电等离子体功率以及衬底温度对刻蚀速率的影响,在放电功率为 300W 时,得到刻蚀速率接近 500nm/min.

**关键词:** 大气压; 冷等离子体; 光刻胶; 刻蚀

**PACC:** 5275; 5280; 9410F

**中图分类号:** TN305.7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4177(2005)03-0613-05

## 1 引言

在微电子器件的制造过程中,刻蚀光刻胶占有很重要的地位,根据统计有三分之一的工艺都要用到光刻胶刻蚀.目前,光刻胶的刻蚀主要有两种方法:第一种是湿法:如用 3 号液(硫酸 双氧水 水)加热;用丙酮浸泡以及使用专用的光刻胶刻蚀溶液(remover)和其他一些有机溶剂刻蚀等.到目前为止尽管湿法刻蚀仍为普遍采用的方法,但湿法刻蚀光刻胶存在难以控制、刻蚀不彻底(总有残胶)、需要反复刻蚀等缺点,尤其是湿法刻蚀所带来的废酸池的处理和大量的去离子水的使用,给环境保护和节约能源造成了极大的困难.第二种刻蚀胶的方法是等离子体干法刻蚀,它是利用氧在等离子体中所产生的活性氧与光刻胶发生反应生成二氧化碳和水,使光刻胶被去除.干法刻蚀胶能对高温烘烤过的胶,显影后的底胶,以及铝电极和带胶大剂量离子注入过的胶进行刻蚀,这显然是湿法所做不到的.但用干法刻蚀光刻胶,过去都是在真空室里进行的<sup>[1~3]</sup>,操作过程复杂,时间长,相对成本也较高.1995 年,日本 Koinuma<sup>[4]</sup>和 Yoshiki 等<sup>[5]</sup>教授分别利用他们所研制的设备在大气压下开始进行刻蚀光刻胶的研究,获得刻蚀速率为每分钟几个微米,该类设备的成功研制可以满足有选择的去胶,就是把需要去掉的地

方去掉,而需要留下的胶要保持完好,显然采用湿法刻蚀就难以满足这个要求.近几年,以美国 LOS Alamos 国家实验室为代表的新型常压低温冷等离子体喷枪设备的研制成功<sup>[6~10]</sup>,大大提高了设备的放电功率和束流喷口的直径,这将对微电子制造过程中刻蚀光刻胶的工艺带来新的变革.

本文介绍我们最近研制的一种新型常压射频激励低温冷等离子体刻蚀胶装置,该等离子体装置可在常压下实现稳定均匀放电,能喷射出低温冷等离子体束流,与日本 Koinuma 教授所研制的等离子体设备比较,该等离子体设备的喷口直径增加了 5 倍,放电功率提高到 200W,因此可以实现对光刻胶的较大面积刻蚀.此外,我们所研制的等离子体发生器,载入气体不但可以采用氦气,而且还可以采用氩气,大大降低了装置的运行成本.我们分别用电探针和热电偶测量了该等离子体装置的电特性和温度特性,并以 AZ9918 光刻胶为实验样品进行了干法刻蚀的相关工艺研究.

## 2 实验装置

常压射频激励低温冷等离子体装置是由射频电源、等离子体发生器和气路等组成,如图 1 所示.它是由一个不锈钢制成的圆柱形的内电极和一个由不锈钢制成的圆筒形外电极构成,内电极与射频电源

连接,外电极与地连接,内外电极通过绝缘材料相互绝缘,在内外电极之间形成圆筒形的放电区间,该放电区间长为 120mm,喷口直径为 25mm,在喷口处采用了特殊设计,使喷出喷口的等离子体均匀一致,如图 2 所示.射频电源的频率为 13.56MHz,最大输出功率为 600W.引入到电极之间的气体被击穿电离后形成冷等离子体,通过喷口向外喷射.图 2 为射频激励低温冷等离子体喷射到一个 100mm 硅片上的照片.

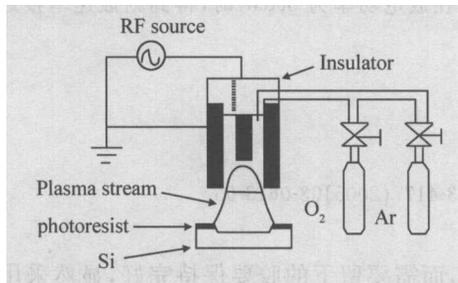


图 1 常压射频激励低温冷等离子体刻蚀胶装置原理示意图  
Fig.1 Schematic diagram of the atmospheric pressure RF-excited cold plasma apparatus for etching photoresist

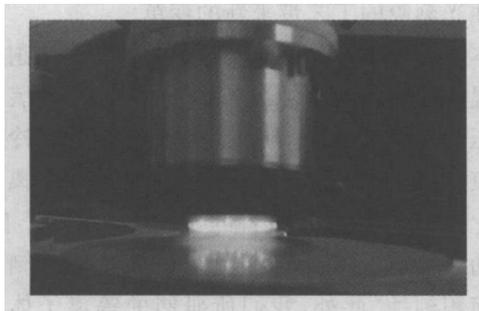


图 2 常压低温冷等离子体喷射到 100mm 硅片上的照片 放电参数为:氩气进气量为 20L/min,氧气进气量为 50sccm,射频输入功率为 200W,反射功率为 0.

Fig.2 Photograph of the atmospheric pressure cold plasma stream ejected on a 100mm silicon wafer

### 3 实验

#### 3.1 放电特性

采用电压探针(Tektronix P6015A,带宽为 75MHz)、电流探针(Tektronix 011-0106-00,带宽为 20MHz)、数字示波器(Tektronix TDS210,采样频率为 1G/s,带宽为 60MHz)和计算机数据采集系统

测量了等离子体的放电特性.图 3 是 Ar/O<sub>2</sub> 等离子体放电时的电流和电压波形,放电参数为:氩气进气量为 20L/min,氧气进气量为 50sccm,射频输入功率为 200W,反射功率为 0.由图 3 可以看出,电压和电流随时间的变化是正弦波曲线,电压峰值接近 300V,电流峰值接近 2.5A.由图 3 曲线所对应的实验数据,可以进一步推算出电压和电流的相位差接近  $\pi/2$ ,这表明该常压低温冷等离子体主要是电容耦合产生的放电,这与真空室电容耦合放电所产生的等离子体的电特性基本一致.

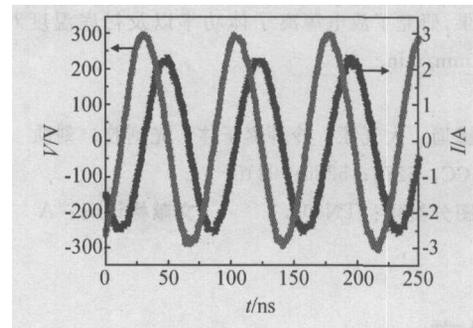


图 3 电流和电压随时间变化波形曲线 放电参数:氩气进气量为 20L/min,氧气进气量为 50sccm,射频输入功率为 200W,反射功率为 0.

Fig.3 Current and voltage versus time wave forms  
The discharge parameters are: the argon flow rate is 20L/min, the oxygen flow rate is 50sccm, the forward input power is 200W, and the reflected power is 0W.

#### 3.2 温度特性

在距离喷口 5mm 的位置,沿垂直束流喷出的方向,采用热电偶测量了等离子体束流内的温度分布.图 4 横坐标代表垂直束流方向的位置,0 点是束流中心位置,放电参数为:氩气进气量为 20L/min,氧气进气量为 50sccm,射频输入功率为 300W,反射功率为 0.图 4 温度分布表明束流中心的最高温度仅为 160℃,这种低温冷等离子体束流不会对硅衬底造成任何热损伤.需要说明的是:该束流温度的径向分布是在喷口前无硅衬底时的测量结果,当把涂有光刻胶的硅衬底放到喷口前时(一般是离开喷口 5mm),由于硅衬底本身良好的热传导特性,因此在硅衬底上的温度分布是一致的,在刻蚀光刻胶的过程中不会在硅衬底上带来径向的温度梯度分布,刻蚀光刻胶的速率主要取决于束流中活性粒子的浓度.美国 LOS ALAMOS 实验室对常压低温冷等离子体喷枪的研究也表明<sup>[10]</sup>,喷射出的冷等离子体束

流中只是含有大量的活性原子、分子和基团,束流中电子温度范围只是 2 ~ 4eV,无离子存在. 因此这种常压冷等离子体束流不会像真空等离子体那样会对器件表面造成离子损伤.

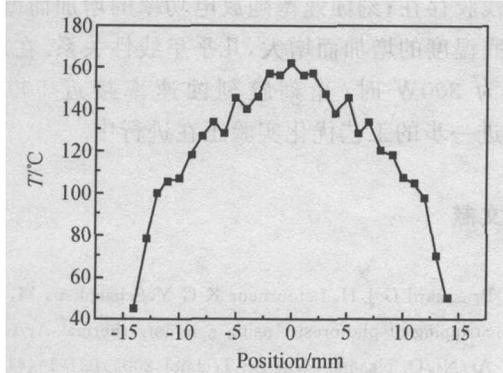


图 4 等离子体束流温度特性曲线 放电参数:氩气进气量为 20L/min,氧气进气量为 50sccm,射频输入功率为 300W,反射功率为 0.

Fig. 4 Temperature curve of the stream The discharge parameters are:the argon flow rate is 20L/min, the oxygen flow rate is 50sccm,the forward input power is 300W,and the reflected power is 0W.

### 3.3 光刻胶刻蚀

首先研究用等离子体喷枪对留胶(选用 AZ9918 光刻胶)刻蚀后的效果,其实验步骤如下: (1)涂胶:用国产甩胶机,设定甩胶速度为 3000r/min,甩胶时间为 1min,在干净的硅片上涂一层 AZ9918 光刻胶,然后在 90 °下烘 20min,得到厚度为 1.2μm 的胶层. (2)曝光:用国产光刻机曝光,曝光时间为 50s. (3)显影:用 1 : 6(原显影液 : 水)显影,显影时间为 1min. (4)刻蚀硅:用国产反应离子刻蚀机,用胶掩蔽刻蚀硅,刻蚀功率为 100W, SF<sub>6</sub> 流量为 60sccm,时间为 2min,这时留胶厚度为 500nm,图 5(a)是留胶后的电镜照片. (5)刻蚀胶:把带有留胶的硅片放到离开等离子束流喷口 5mm 的位置,用常压冷等离子束流刻蚀留胶,放电参数:入射功率为 300W,反射功率为 0,氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,等离子体刻蚀时间为 2min. 图 5(b)是留胶被等离子体束流刻蚀后的电镜照片,比较图 5(a)和(b)可以看出,在(b)上留胶已全部去除干净,并且没有残胶存在.

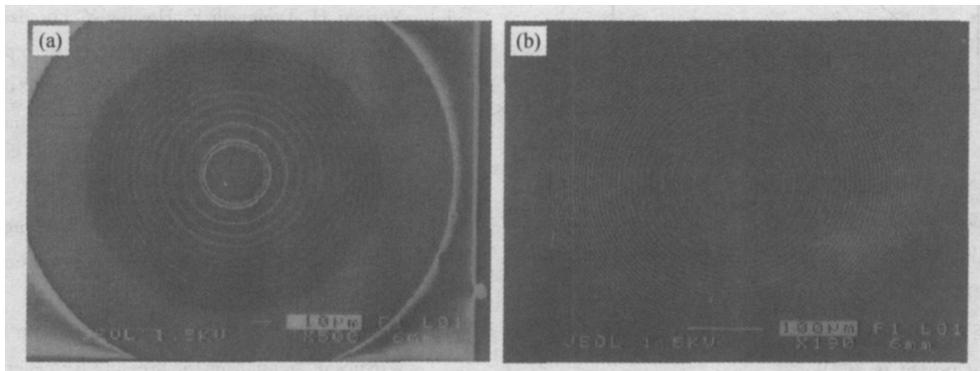


图 5 光刻胶刻蚀前有留胶(a)和刻蚀后无留胶(b)的硅表面的电镜照片 放电参数:氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,入射功率为 300W,反射功率为 0W.

Fig. 5 SEM images of the silicon surfaces before etching photoresist (a) and after etching photoresist (b) The discharge parameters are :the argon flow rate is 5L/min,the oxygen flow rate os 25sccm,the forward input power is 300W ,the reflected power is 0W.

进一步利用该冷等离子体装置研究了放电功率以及衬底温度对刻蚀胶的速率的影响. 利用薄膜厚度仪测量刻蚀前后胶的厚度,从而推算出刻蚀速率. 图 6 是刻蚀速率随入射功率的变化关系,放电参数:氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,硅衬底温度为 87 °. 可以看出,刻蚀速率与入射功率是成正比变化的,这进一步表明,在一定的进气量时,入射

功率越大,在等离子体束流中所产生的活性成分越多. 图 7 是刻蚀速率与衬底温度的关系,放电参数:氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,入射功率为 300W. 由图 7 看出,刻蚀速率不但与等离子体中的活性物质有关,而且与硅衬底自身的温度有关,刻蚀速率随温度线性增加,但对 AZ9918 光刻胶来说,当衬底温度超过 200 °时,胶就碳化了,因此对该系

列光学光刻胶,去胶时还需要控制好温度.

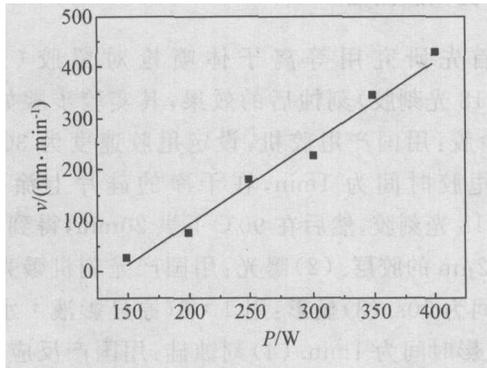


图 6 刻蚀速率与功率的关系 放电参数:氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,硅衬底温度为 87 .

Fig. 6 Etching rate as a function of input power The discharge parameters are: the argon flow rate is 5L/min, the oxygen flow rate is 25sccm, the temperature of the silicon wafer is 87 .

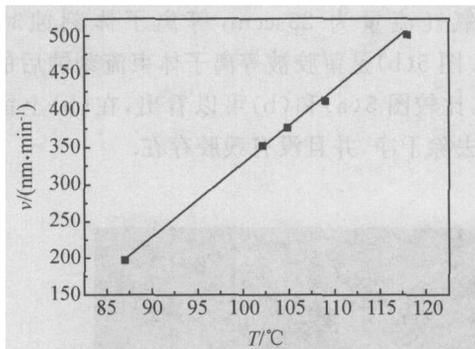


图 7 刻蚀速率与衬底温度的关系 放电参数:氩气流量为 5L/min,氧气流量为 25sccm,入射功率为 300W.

Fig. 7 Etching rate as a function of temperature of the substrate The discharge parameters are: the argon flow rate is 5L/min, the oxygen flow rate is 25sccm, the forward input power is 300W.

## 4 结论

新型的常压射频激励低温冷等离子体喷射装置具有类似真空室电容耦合等离子体的放电模式,能喷射出均匀的低温冷氩氧等离子体束流. 对氩氧等

离子体的束流温度测量证明该等离子体束流的温度较低,不会对刻蚀的硅衬底有任何热损伤;对 AZ9918 光刻胶刻蚀前后的电镜实验表明,刻蚀后没有残胶存在;刻蚀速率随放电功率的增加而增大,随衬底温度的增加而增大,几乎呈线性关系. 在放电功率为 300W 时,光刻胶刻蚀速率接近 500nm/min,进一步的工艺优化实验正在进行中.

## 参考文献

- [ 1 ] Brussaard G J H, Letourneur K G Y, Schaepkens M, et al. Stripping of photoresist using a remote thermal Ar/O<sub>2</sub> and Ar/N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> plasma. *J Vac Sci Technol*, 2003, B21(1): 61
- [ 2 ] Metselaar W J, Kuznetsov V I, Zhidkov A G. Photoresist stripping in afterglow of Ar-O<sub>2</sub> microwave plasma. *J Appl Phys*, 1994, 75(10): 4910
- [ 3 ] Aoki K, Uekusa S, Yamauchi T, et al. Evaluation of oxygen plasma damage in GaAs exposed to a surface-wave plasma source developed for the ashing process. *Jpn J Appl Phys*, 2001, A40(9): 5438
- [ 4 ] Inomata K, Koinuma H. Open air photoresist ashing by a cold plasma torch: Catalytic effect of cathode material. *Appl Phys Lett*, 1995, 66(17): 2188
- [ 5 ] Yoshiki H, Taniguchi K, Horiike Y. Localized removal of a photoresist by atmospheric pressure micro-plasma jet using RF corona discharge. *Jpn J Appl Phys*, 2002, 41(9): 5797
- [ 6 ] Jeong J Y, Babayan S E, Tu V J, et al. Etching materials with an atmospheric-pressure plasma jet. *Plasma Sources Sci Technol*, 1998, 7(3): 282
- [ 7 ] Jeong J Y, Babayan S E, J Park, et al. Etching polyimide with a nonequilibrium atmospheric-pressure plasma jet. *J Vac Sci Technol*, 1999, A17(5): 2581
- [ 8 ] Wang Shouguo, Li Haijiang, Ye Tianchun, et al. Basic characteristics of an atmospheric pressure RF generated plasma jet. *Chinese Physics*, 2004, 13: 1906
- [ 9 ] Wang Shouguo, Gathen V, Döbele H F. Discharge comparison of nonequilibrium atmospheric pressure Ar/O<sub>2</sub> and He/O<sub>2</sub> plasma jets. *Appl Phys Lett*, 2003, 83(13): 3272
- [ 10 ] Jeong J Y, Park J, Henins I, et al. Reaction chemistry in the afterglow of an oxygen-helium, atmospheric-pressure plasma. *J Phys Chem*, 2000, A104(34): 8027

## Ashing Photoresist Using an Atmospheric Pressure RF-Excited Cold Plasma

Zhao Lingli, Li Haijiang, Wang Shouguo, and Ye Tianchun

*(Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100010, China)*

**Abstract :** The construction of a novel atmospheric pressure radio-frequency excited plasma apparatus is illustrated. This apparatus can eject low temperature cold plasma stream. Its discharge characteristics are studied with a current and a voltage probe. A thermal couple is utilized to measure the temperature of the jet stream. One kind of photoresist-AZ9918 is etched with the plasma stream at ambient environment. Configuration on the surface of silicon wafers is studied with SEM. The effect of the forward input power and the substrate temperature on the etching rate of photoresist is studied. A maximum etching rate of nearly 500nm/ min is observed when the forward power is 300W.

**Key words :** atmospheric pressure ; cold plasma ; photoresist ; etching

**PACC :** 5275 ; 5280 ; 9410F

**Article ID :** 0253-4177(2005)03-0613-05