

에칭 프로세스를 위한 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마 특성에 관한연구

하장호\*, 전용우, 신용철°, 윤영대\*, 박원주, 이광식, 이동인  
 영남대학교, °영남 이공대학, \* 포항1대학

A Study on the SF<sub>6</sub> Plasma Characteristic for the etching process

Jang-Ho Ha · Yong-Woo Jun · Yong-Chul Shin · Young-Dae Youn · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee

Yeungnam University, ° Yeungnam College of Science and Technology, \* Pohan 1College

Abstract

In this paper, RFICP equipment is designed and manufactured with the aid of high frequency discharge to produce uniform plasma with high density and large diameter. And SF<sub>6</sub> gas is used to investigate plasma characteristics. The electron density and temperature, potential dependence of SF<sub>6</sub> plasma in accordance with its operating pressure, gas flux and input power are measured by the method of Langmuir probe. The etching characteristics of the plasma is researched in accordance with operating pressure, gas flux, input power to apply to Silicon Wafer which is used in the field of semiconductor process.

The proposed RFICP equipment, in this paper, has relatively excellent etching characteristics, and is thought to be element of oxidization-sheath etching facility in semiconductor manufacturing process.

1. 서 론

플라즈마를 이용한 디포지션(deposition) 및 에칭(etching) 기술은 반도체 제조를 비롯한 미세가공 분야와 초정밀 VLSI 생산공정에서의 필수적인 기술요소라 할 수 있다 [1].

특히, 이러한 기술을 만족하기 위한 새로운 플라즈마원이 필요하게 되는데, 저압력에서 고밀도, 대구경으로 플라즈마를 생성하여야 하는 이러한 요구에 따라서 고효율 플라즈마원으로 여러 가지 형태의 플라즈마원이 고안·연구되어 왔다. 이러한 예로는 전자 사이클로트론 공명(Electron Cyclotron Resonance:ECR)플라즈마를 들 수 있고, 헬리콘파 플라즈마(Helicon Wave Plasma :HWP), 그리고, 최근 발표되어지고 있는 고주파 방전에 의한 유도결합 플라즈마(Radio Frequency Inductively Coupled Plasma:RFICP)를 들 수 있다.

ECR 플라즈마와 헬리콘파 플라즈마는 플라즈마를 발생시키기 위하여 외부자장을 사용하기 때문에 플라즈마의 균일도를 조정하기 힘들며 플라즈마의 면적을 증가시키는 것이 용이하지 않고 비용이 많이 든다. 이에 반해 RFICP는 고주파 전류가 방전 가스 중에서 시간변화하는 자장을 만들어 내고, 시간변화하는 자장이 전기장을 생성하여 플라즈마를 생성·유지하게 하고 특히 기판 바로 위에서 플라즈마가 형성되므로 고밀도 플라즈마를 직접 반응에 사용할 수 있고 플라즈마의 직경을 늘리기가 쉬우며 비용이 싸고 설비가 간편하다는 잇점이 있다.

따라서 본 연구에서는 저압력에서 플라즈마의 밀도가 높아 집적회로의 제작에 있어서 널리 활용가능한 플라즈마원으로서 RFICP [10] 장치를 설계·제작하여 반응가스로서 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 가스를 사용하여 플라즈마를 발생시

키고 그 플라즈마의 전자밀도에 대한 입력파워 의존성, 유량의존성, 압력의존성을 랑그뮤어법을 이용하여 측정하였다.

또한 SF<sub>6</sub> / O<sub>2</sub> 가스를 사용하여 그 플라즈마 파라메타에 대한 결과를 토대로 실제 반도체 공정에서 사용되고 있는 실리콘 웨이퍼를 사용하여 에칭공정을 하였고 그에 대한 실리콘 웨이퍼의 에칭율을 검토함으로써, 제작된 RFICP 장치의 반도체 제조공정의 산화막 식각설비로서의 활용이 가능하다는 것을 확인하였다.

2. 측정값과 그평가

압력 30(mTorr), 입력파워 200(W), SF<sub>6</sub> 가스유량 5(sccm)의 조건하에서 푸로우브 전압 V<sub>b</sub> 을 -100 [V] ~ 100 [V] 로 변화 하면서 얻은 푸로우브의 전류-전압 특성곡선에서 푸로우브 전류는 이온전류와 전자전류로 분리할 수 있는데, 이온전류의 값이 수 [μA] 인데 반해, 전자전류는 수 십에서 수 백 [mA] 이므로, 이온전류를 무시하고 푸로우브 전류를 전자전류로 대치할 수 있다.

푸로브 전류를 전자전류로 대치하여 반대수 그래프로 나타낸 전자전류의 특성곡선에서 직선적으로 증가하는 부분의 기울기로 전자온도 Te 를 구하였고, 이를 다음식에 대입하여 전자밀도 Ne를 구하였다.

$$N_e(\text{cm}^{-3}) = 3.73 \times 10^{11} \frac{I_{es}(\text{Amp})}{S(\text{cm}^2)[T_e(\text{eV})]^{1/2}}$$

SF<sub>6</sub> / O<sub>2</sub> 혼합가스를 이용한 에칭을 측정에는 SF<sub>6</sub> 가스에 대한 O<sub>2</sub> 혼합가스의 비율 5(%) 일정하게 하여 측정하였다.

3. 실험장치

본 실험에서 사용한 고주파 유도결합 플라즈마 발생 장치의 개략도를 그림 1에 나타낸다. 플라즈마 발생장치의 기본구성은 크게 나누어 1) 고주파를 발생시키는 고주파 전원(Radio Frequency Power Generator), 플라즈마 및 부하 임피던스와의 매칭을 위한 매칭박스(Matching Box), 2) 방전을 일으켜 플라즈마를 생성하는 진공관, 3) 가스투브와 유량 조절기(Massflow controller : MFC)로 구성되어 진공관에 사용가스를 공급하는 가스부, 4) 로터리 펌프(Rotary Pump : RP)와 터보분자 펌프(Turbo Molecular Pump : TMP)등의 배기부로 이루어진다.

진공관은 길이 400 [mm], 직경 300 [mm]의 스테인레스 스틸제로 설계·제작하였고, 푸로우브 측정법에 적당한 구조로 되어있다. 진공관 내부에는 식각 가공을 행할 때 시료를 고정하는 웨이퍼 홀더(wafer holder)가 있으며, 기판은 상하로 움직일 수 있도록 하였다. 그리고, 진공관 상부에는 안테나 코일을 설치하기 위하여 직경 280 [mm], 두께 25 [mm]의 원판형 석영창을 두었고, 고주파

전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 폭 20 (mm), 두께 0.5 (mm)의 동관을 약간 상으로 20 (mm) 간격으로 5회 감은 코일을 사용하였다.

또한, 고주파 전원에서 발생된 13.56 (MHz)의 고주파는 동축케이블에 의해서 매칭박스를 사이에 두고 안테나 코일에 보내어 진다. 일반적으로 매칭박스와 부하는 가능한 한 가까운 위치로 동축케이블로 접속된다. 본 실험에서는 동축케이블로서 테프론을 사용한 내열 케이블을 사용하였고, 더욱이 안테나 코일에는 코일의 냉각을 위하여 강제공 냉팬을 설치하였다.

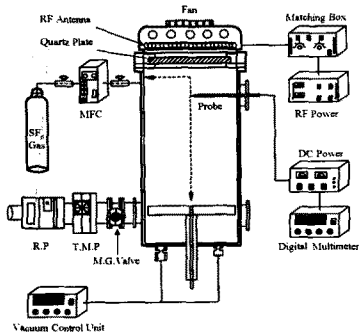


그림 1 플라즈마 발생장치 개략도

플라즈마의 발생방법으로서는 로터리 펌프와 터보분자 펌프를 사용하여, 진공관 내부를  $1.0 \times 10^{-6}$  (Torr) 까지 배기한 후, 유량조절기와 니들 밸브(needle valve)를 사용하여 일정 유량의 SF<sub>6</sub> 가스를 진공관 내로 유입한다. 그 후, 콘트롤 밸브(control valve)로써 진공관 내의 압력을 원하는 값( $10^{-2} \sim 10^{-3}$  Torr)에 일정하게 유지한다. 진공관내 가스압력은 피라니 게이지(Pirani Gauge)와 바라트론 게이지(Baratron Gauge)로써 측정하였다. 그리고 고주파 전원을 매칭박스를 통해 안테나 코일에 인가하여 반사가 있는 경우에도 입사전력의 5 (%) 이내가 되도록 매칭박스를 조정하였다.

측정에 있어서는 직경 0.5 (mm), 길이 3 (mm)의 텅스텐 선으로 된 푸로우브에  $\pm 200$  (V)의 직류가변전원을 인가하여 푸로우브 전압  $V_p$  에 따른 푸로우브 전류  $I_p$  를 Digital Multimeter로 측정하였다.

측정에 사용된 실리콘 웨이퍼는 P-Type, Boron-Dopant, 100-Orient, resistivity (ohm/cm) - 25~45, Thickness( $\mu$ m)-500~550, Diameter(mm) - 99.5 ~ 100.5 를 Photo Resistor(Az1512) 을 사용하여 Spin Coater 4000 (r.p.m)에서 20초간 코팅하여 두께는 1.2 ( $\mu$ m) 로 코팅된 웨이퍼를 사용하였다.

시간에 따라 어느정도 기판을 침식시켰는가를 나타내는 에칭율 측정에는 표면 단차측정기 (surface-profiler)와 전계 방사형 주사전자현미경(FE-SEM)을 사용하여 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

SF<sub>6</sub> 플라즈마의 전자밀도에 대한 입력파워 의존성, 가스유량 의존성, 압력에 대한 의존성과 이 파라메타들에 대한 식각율 계측의 공통된 실험조건으로는 aspect ratio(R/L)를 2로 하였고, SF<sub>6</sub> 가스 유량은 5 (sccm) O<sub>2</sub> 혼합가스의 비를 5 (%) 으로 일정하게 공급하였다. 전자밀도의 입력파워 의존성 계측에 사용된 동작압력은 30 (mTorr)이고, 측정 위치는 플라즈마 중심(r=0, z=3)이다. 여기서 말하는 입력 파워는 RF 전원에서 입력하고 있는 파워이고, 모두가 플라즈마에 흡수되어지

고 있는 것은 아니다. 플라즈마로 흡수되고 있지 않은 파워의 대부분은 케이블에서 소비되고 있다고 생각할 수 있다.

그림 2는 SF<sub>6</sub> 가스 투입유량을 5 (sccm)으로 일정하게 하고 압력 30 (mTorr)에서 입력파워를 100 (W) 에서 400 (W)로 변화시켰을 때의 전자밀도의 입력파워 의존성을 나타낸다.

그림 2에서 보는 바와 같이 전자밀도는 입력파워가 증가할 수록 증가하였고 입력파워 증가할수록 플라즈마 생성 측면에서 보면 전류밀도의 증가를 가져오며 SF<sub>6</sub> 기체의 해리율을 증가시킨다고 생각되어 진다. 또한 전자밀도의 증가는 화학적 반응이 추가 되는 식각공정에서는 입력파워를 조절함으로써 플라즈마의 밀도를 조절할 수 있고 에칭율(etch rate)을 조절할 수 있다는 것을 나타낸다.

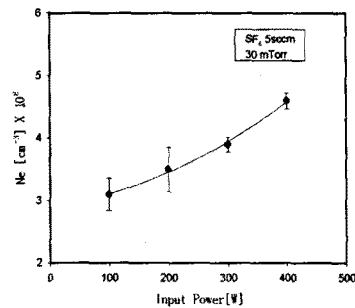


그림 2. SF<sub>6</sub> 플라즈마 전자밀도 입력파워 의존성

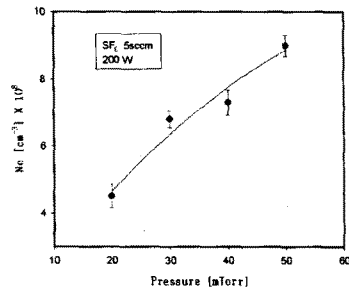


그림 3. SF<sub>6</sub> 플라즈마 전자밀도 압력 의존성

그림 3은 SF<sub>6</sub> 가스 투입유량을 5 (sccm)으로 일정하게 하고 입력파워 200 (W) 에서 압력을 20 (mTorr) 50 (mTorr) 까지 변화시켰을 때의 전자밀도 압력 의존성을 나타낸다.

압력이 증가함에 따라 전자밀도는 기체분자수가 증가하고 기판에 입사하는 전류밀도의 경우 플라즈마 밀도의 증가와 함께 시스템에서의 충돌 및 전하교환 충돌빈도가 증가하기 때문에 밀도는 증가하게 된다. 즉 전자가 충돌할 횟수가 많아지고 전자에너지 분포는 증가하게 되어 플라즈마 밀도는 증가하게 된다.

그림 4는 동작압력 30 (mTorr), 입력파워 200 (W), SF<sub>6</sub> 가스 투입유량을 5 (sccm)에서 20(sccm) 으로 변화시켰을 때의 전자밀도의 유량 의존성을 나타낸다.

그림 4에서 보는 바와 같이 전자밀도의 가스 유량 의존성은 가스 유량이 증가함에 따라 그 값이 증가함을 볼 수 있었다. 유량이 증가하면 SF<sub>6</sub> 기체의 분자가 많아지

기 때문에 해리할 확률이 증가한다. 따라서, 라디칼이 증가하고, 전자충돌빈도의 증가에 의해 플라즈마 밀도가 상승하기 때문이다.

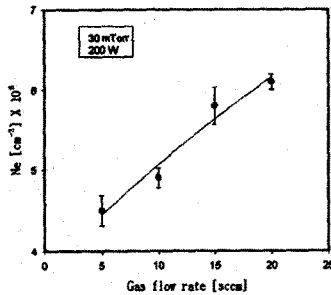


그림 4. SF<sub>6</sub> 플라즈마 전자밀도 유량 의존성

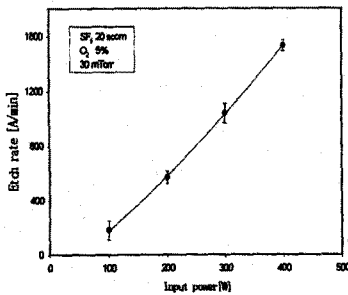


그림 5. SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마 입력파워에 대한 예칭율

그림 5는 SF<sub>6</sub> 가스유량은 5 (sccm), O<sub>2</sub> 가스 5 [%]로 일정하게 공급하고 동작압력 30 [mTorr]에서 입력파워를 100[W]에서 400[W]까지 변화했을 때의 예칭을 나타낸 것이며, 예칭하고자 하는 선풍 100[μF] 입력파워 400[W] 1800 Å의 비교적 우수한 식각률은 얻을 수 있다.

입력파워를 증가할수록 식각률은 거의 선형적으로 증가하고 있다. 입력파워의 증가는 전계의 세기가 강해짐에 따라서 전류밀도가 상승하고 전체적으로 플라즈마 밀도가 상승하게 된다. 이는 가속된 전자에 의해서 SF<sub>6</sub>기체의 해리가 증가하고 Si원자를 물리적으로 떼어 내는 라디칼과 식각에 직접적으로 영향을 미치는 플루오린(F)원자의 생성물의 증가함에 기인한다고 생각되어진다.

그림 6은 SF<sub>6</sub> 가스유량은 5 (sccm) O<sub>2</sub> 가스 5[%]로 일정하게 공급하고 입력파워 200[W]에서 동작압력 20 [mTorr]에서 50 [mTorr] 까지 변화했을 때의 식각률을 나타낸 것이며, 예칭하고자 하는 선풍 100[μF]에서 측정하였다.

압력이 증가할수록 식각률은 입력파워 의존성과 같이 거의 선형적으로 증가하고 있다. 이는 SF<sub>6</sub> 플라즈마의 압력 의존성에서 보여준 것과 같이 압력이 증가할수록 기체분자수가 증가하고 전하교환 충돌빈도가 증가하기 때문에 전자밀도가 증가하여 SF<sub>6</sub> 기체의 해리가 증가하고, 따라서 라디칼의 증가와 식각에 영향을 미치는 플루오린(F)원자의 생성물의 증가함에 기인하고 압력의 증가에 따라 공간전위가 감소하여 이온이나 전자는 바닥

면에 닿기 전에 충돌하여 전리를 증가시켜 이온전류밀도를 증가시킨다. 따라서 F원자나 활성종인 SF<sub>6</sub>의 라디칼의 생성이 증가하여 Si와 F의 화학적인 반응과 라디칼에 의한 물리적인 반응이 동시에 이루어지리라 생각되어진다.

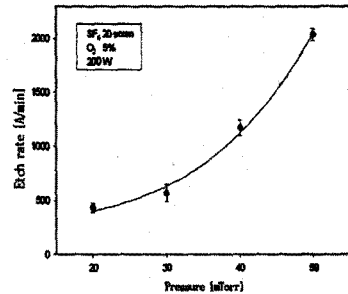


그림 6. SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마 압력에 대한 예칭율

### 3. 결 론

본 연구는 고주파 유도결합 SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마의 제어 파라메타에 따른 전자밀도를 랑그뮤어 푸로우브법으로 측정하고 이를 실리콘 웨이퍼 예칭에 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- [1] SF<sub>6</sub> 플라즈마의 전자밀도에 대한 입력파워와 압력, 가스유량에 대한 의존성은 입력파워와 압력, 가스유량이 증가할수록 전자밀도는 증가하였다.
- [2] SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 플라즈마의 입력파워와 압력에 대한 예칭 의존성은 입력파워와 압력 증가할수록 예칭율도 증가하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Haruo Shindo, Tetsuro Hashimoto, "Si Etching with Low Ion Energy in Low-Pressure Electron Cyclotron Resonance Plasma Generated by Longitudinal and Multipole Magnetic Fields", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 30(4), pp.882, 1991.
- [2] Jes Asmussen, "Electron Cyclotron Resonance Microwave discharges for etching and thin-film deposition", *J. Vac. Technol.*, A7(3), pp.883, 1989
- [3] K. Suzuki, K. Ninomiya, "Radio-frequency biased microwave plasma etching technique", *J. Vac. Sci. Technol.*, B3(4), pp.1025, 1985
- [4] Nobuhiro Jiwari, Takayuki Fukasawa, and Hiroshi Kawakami, "Helicon wave plasma reactor employing single-loop antenna", *J. Vac. Sci. Technol.*, A12(4), pp.1322, 1994
- [5] J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo, "Langmuir probe measurements of a radio frequency induction plasma", *J. Vac. Sci. Technol.*, A11(1), pp.152, 1993
- [6] J. H. Keller, J. C. Foster and M. S. Barnes, "Novel radio-frequency induction plasma processing techniques", *J. Vac. Sci. Technol.*, A11(5), pp.2487, 1993
- [7] 菅井秀郎, "低壓力・高密度 プラズ마의 새로운 展開", *應用物理*, 63권 6호, pp.559, 1994
- [8] J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. S. Whitehair, "Electromagnetic fields in a radio-frequency induction plasma", *J. Vac. Sci. Technol.*, A11(1), pp.147, 1993
- [9] Michael A. Lieberman, Allan J. Lichtenberg, "Principles of Plasma Discharges and Materials Processing", JOHN WILEY & SONS, 1994
- [10] M.T.A saif and N.C MacDonalad, Planarity of Large MEMS, *Journal of Microelectromechanical System*, Vol, No2, 1996, pp.79-97