

## 유도 결합형 SF<sub>6</sub>플라즈마 특성에 관한연구

(A Study on the Characteristic of the Inductively Coupled SF<sub>6</sub> Plasma)

하장호<sup>\*</sup> · 전용우 · 최상태<sup>\*\*</sup> · 신용철<sup>\*\*\*</sup> · 박원주 · 이광식 · 이동인 · 도대호<sup>\*\*\*\*</sup>

(영남대학교<sup>\*</sup>, 경주대학교<sup>\*\*</sup>, 영남이공대학<sup>\*\*\*</sup> 포항1대학 전기과)

Jang-Ho Ha<sup>\*</sup> · Yong-Woo Jun · Sang-Tae Choi<sup>\*\*</sup> · Yong-Chul Shin<sup>\*\*\*</sup> · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee · Dae-Ho Do<sup>\*\*\*\*</sup>

(Yeungnam University, Kyong-Ju University<sup>\*\*</sup>, Yeungnam College<sup>\*\*\*</sup> Pohang College)

### Abstract

This paper represents the characteristic analyses for the etching in SF<sub>6</sub> plasma and the plasma itself, based on the specific knowledges on the discharge mechanism of SF<sub>6</sub> plasma which is widely used for the applications of dry etching, using Radio Frequency Inductively Coupled Plasma (RFICP) by measuring electron density, electron temperature then observing their relationship to find the effect of discharge mechanism of SF<sub>6</sub> plasma to the etching in contrast to the existing method of finding optimal discharge condition by heuristic.

### 1. 서론

1970년대 초기, 처음으로 플라즈마가 디바이스(device) 제조에 사용된 이후, 플라즈마를 이용한 디포지션(deposition) 및 에칭(etching) 기술은 반도체 제조 등 미세가공 분야와 정밀도를 요구하는 VLSI를 생산하는 있어서 핵심을 이루고 있는 공정이다[9]. 반도체 생산에 있어서는 여러 가지 재료를 보다 높은 안정성과 향상된 집적도를 갖도록 초미세한 형태로 가공할 필요가 있고, 동시에 생산성 향상을 위한 대형화도 필요로 한다. 플라즈마 프로세서는 현재로서는 이와 같은 요구에 응할 수 있는 유용한 기술로서, 산업발전을 위해서 없어서는 안되는 기술이다.

이러한 요구들 중에서 미세화와 대면적화가 급속도로 진행됨으로서, 저압력에서 보다 넓은 면적의 균등한 플라즈마를 생성할 수 있는 새로운 고효율 플라즈마원(Plasma Source)의 연구개발이 필요하게 되었다[1][8]. 고주파 유도결합 플라즈마(RFICP)원은 최근에서야 연구되어온 것으로서, 고주파 전류가 방전 가스 중에서 시간변화하는 자장을 만들어 내고, 시간변화하는 자장이 전기장을 생성하여 플라즈마를 생성·유지하게 된다. 특히 집적회로에 사용되는 반도체 소자와 회로는 점점 고밀도 추세에 있고 정밀도를 요구하는 VLSI를 생산하기 위해서는 기본적인 소자설계기술뿐만 아니라 디바이스의 구

성에 필요한 여러가지 성질을 갖는 박막의 제조 및 정확한 에칭공정이 필수적으로 따르게 된다. 에칭공정은 지금까지 화학약품을 이용한 습식 방법이 주로 사용되고 왔으나 최근 집적도가 증가 하면서 플라즈마를 이용한 건식방법으로 점차 전환하고 있는 추세이다[10][11]. 이에 따라 건식 식각 분야에서는 플라즈마의 정밀한 제어에 대한 요구에 부응하여 플라즈마에 의한 결합의 최소화등이 중요한 문제로 대두되고 있고 국내의 경우 재료적인 연구에만 약간의 진전이 있을뿐 공정 자체에 대한 연구는 아주 미진한 상태이다. 반도체를 생산하는 기업체들은 고가의 외제장비를 수입하여 제품을 생산하고 있으나 공정자체에 대한 기초연구 부족과 연구인력의 부족으로 응용 및 신공정 개발이 불가능한 상태이다. 따라서 산화막 식각에 적합한 저압 고밀도 플라즈마의 최적화된 식각메카니즘 연구가 절실한 상태이다.

### 2. 측정값과 평가

압력 100[mTorr], 입력파워 100[W], SF<sub>6</sub> 가스유량 5[sccm]의 조건하에서 푸로우브 전압 V<sub>p</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 대체할 수 있다.

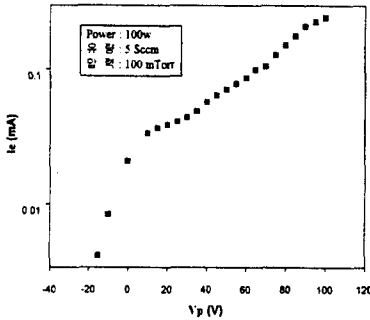


그림 1 전자전류 특성곡선  
Fig. 1 The Characteristic Curve of Electron Current

그림1 은 푸로브 전류를 전자전류로 대체하여 반대수 그래프로 나타낸 전자전류의 특성곡선에서 직선적으로 증가하는 부분의 기울기로 전자온도  $T_e$  를 구하였고, 이를 다음식에 대입하여 전자밀도  $N_e$ 를 구하였다.

$$N_e(\text{cm}^{-3}) = 3.73 \times 10^{11} \frac{I_{e0}(\text{Amp})}{S(\text{cm}^2)[T_e(\text{eV})]^{1/2}}$$

### 3. 실험방법

본 실험에서 사용한 고주파 유도결합 플라즈마 발생장치의 개략도를 그림 2에 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) 가스분배와 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 박막 가공을 행할 때 시료를 고정하는 웨이퍼 홀더(wafer holder)가 있으며, 기관은 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 동판을 와권상으로 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 매칭박스 와 부하는 가능한 한 가까운 위치로 동축케이블로 접속된다. 본 실험에서는 동축케이블로서 테프론을 사용한 내열 케이블을 사용하였고, 더욱이 안테나 코일에는 코일과 케이블의 냉각을 위하여 강제공냉팬을 설치하였다.

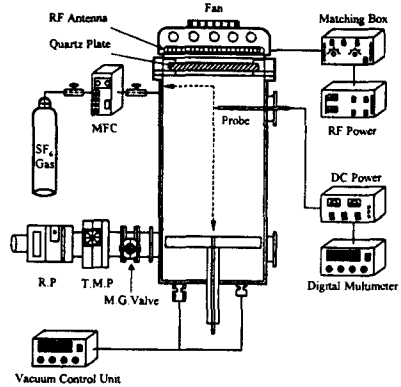


그림 2 플라즈마 발생장치 개략도  
Fig. 2 Schematic diagram of Plasma Generation device

플라즈마의 발생방법으로는 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  $\text{SF}_6$  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)로서 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 직류가 변전원을 인가하여 푸로우브 전압  $V_p$  에 따른 푸로우브 전류  $I_p$ 를 Digital Multimeter로 측정하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

전자온도, 입력파워 의존성 측정의 실험조건으로서는 아스펙트 비(aspect ratio ; R/L)를 2로 하였고, SF<sub>6</sub> 가스 유량은 5[sccm]으로 안정하게 공급하였다. 아래에 그 실험결과에 대해서 기술한다.

전자온도 입력파워 의존성 측정에 사용된 동작압력은 100 [mTorr]이고, 측정 위치는 플라즈마 중심부(r=0, z=3)이다. 여기에서 말하는 입력 파워는 RF 전원에서 입력하고 있는 파워이고, 모두가 플라즈마에 흡수되어지고 있는 것은 아니다. 플라즈마로 흡수되고 있지 않은 파워의 대부분은 케이블에서 소비되고 있다고 생각할 수 있다.

입력파워를 100[W]에서 400[W]까지 변화시켰을 때의 전자온도 측정결과를 그림3에 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 전자온도는 입력파워에 대해 의존성을 볼 수가 없었다. 그림4는 입력파워를 100[W]에서 400[W]까지 변화시켰을 때의 전자밀도 측정결과를 나타낸다. 입력파워가 증가함에 따라 전자밀도의 크기도 증가하였다. 이는 화학적 반응이 주가 되는 에칭 공정에서 입력파워를 조절함으로써 플라즈마 전자밀도를 조절할 수 있고, 따라서 에칭율(etching rate)을 조절할 수 있다는 것을 보여준다.

그림5는 실리콘 웨이퍼를 압력 100[mTorr], SF<sub>6</sub> 가스유량 5[sccm], 입력파워 100[W]에서 10분간 에칭된 웨이퍼를 SEM (Scanning electron microscopy) 사진으로 나타내고 있다. 에칭에 사용된 웨이퍼는 Type ( P형 , Boron ), Resistivity 25 ~45 [ohm/cm] , Thickness 500~ 550 [μm] , Diameter 99.5 ~100.5 [mm]를 사용하였다. 에칭된 깊이는 3.4 (μm)로서 에칭율은 0.34 [μm/min]이었다.

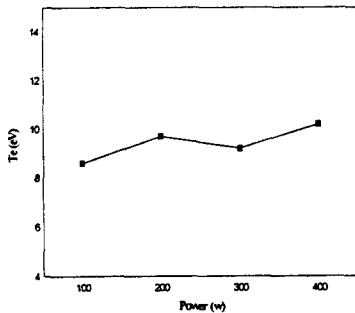


그림 3 전자온도 의 입력파워 의존성  
Fig. 3 The input RF power dependence of electron temperature

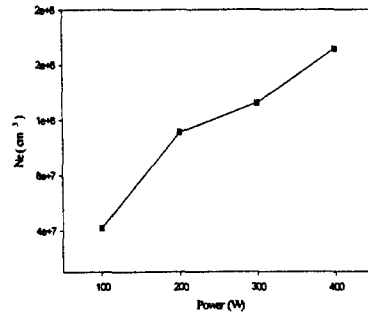


그림 4 전자밀도 의 입력파워 의존성  
Fig. 4 The input RF power dependence of electron density

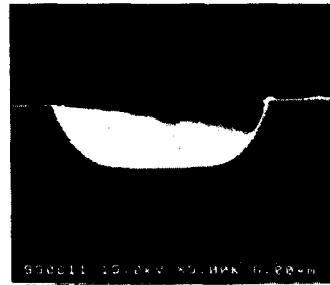


그림 5 100(w),5(sccm),100(mTorr),10(분) 실리콘 에칭  
Fig. 5 Etched Silicon after 10 min process with 5sccm SF<sub>6</sub> flow, 100mTorr and 100w Power

#### 5. 결론

본 연구에서는, 고주파 유도결합 플라즈마원의 장치를 직접 설계·제작하여, SF<sub>6</sub>플라즈마의 제어 파라메타에 따른 전자온도와 전자밀도를 랑그뮤어 푸로 우브법을 이용하여 측정하였고 에칭 실험에서 얻어진 결과를 나타낸다.

- (1) 고주파 유도결합 SF<sub>6</sub>플라즈마의 전자온도에 대한 입력파워 의존성은 볼 수 없지만, 전자밀도는 입력 파워가 증가할수록 증가 했다.
- (2) 입력 파워 100[W], SF<sub>6</sub> 가스유량 5[sccm], 압력 100[mTorr], 10 [분]에서 에칭된 실리콘 웨이퍼의 SEM 사진에서 에칭된 깊이는 3.4 (μm)로서 에칭

율은 0.34 [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ] 이었다.

#### 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, "低圧力・高密度 プラズマの新しい展開", 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 MacDondald, Planarity of Large MEMS, Journal of Microelectromechanical System, Vol, No2, 1996, pp.79-97
- [11] Dennis M.Manos , Daniel L . Plasma Etching Academic Press, 1989. pp 92-104