

유도 결합형 SF<sub>6</sub>플라즈마 특성에 관한연구

하장호 · 전용우 · 송현직 · 박원주 · 이광식 · 이동민 ·  
영남대학교

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

Jang-Ho Ha · Yong-Woo Jun · Hyun-Jig Song · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee

Yeungnam University

**Abstract** This paper represents the characteristic analysis 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. 서 론

1970년대 초기, 처음으로 플라즈마가 디바이스(device) 제조에 사용된 이후, 플라즈마를 이용한 디포지션(deposition) 및 에칭(etching) 기술은 반도체 제조 등 미세 가공 분야와 정밀도를 요구하는 VLSI 를 생산하는 있어서 핵심을 이루고 있는 공정이다[9]. 반도체 생산에 있어서 여러 가지 재료를 보다 높은 안정성과 향상된 집적도를 갖도록 초미세한 형태로 가공할 필요가 있고, 동시에 생산성 향상을 위한 대형화도 필요로 한다. 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].

고밀도 플라즈마 공정장비는 공정률을 유지하기 위해 고밀도의 이온, 전자와 라디칼(radical)들을 발생시켜야하고 대면적 기판의 공정을 위해 직경이 20cm 이상되는 균일한 플라즈마를 발생시켜야하며 이온의 에너지가 낮고 제어가능하며 반응실의 스퍼터링이나 입자의 생성에 의한 오염이 없어야 한다.

현재 개발 또는 연구되고 있는 고밀도 플라즈마원은 크게 나누어 RF영역에서 ICP(Inductively Coupled Plasma), 자장하에서 고유 mode를 발진시키는 HWP(Helicon Wave Plasma), Micro-wave 영역에서 ECR(Electron Cyclotron Resonance Plasma)등을 들수가 있는데 대부분 plasma 발생을 위한 power와 bias를 독립적으로 인가하므로 어느정도 이온에너지 조절이 가능하다. 그중에서도 ICP는 집적회로의 제작에 있어서 가장 널리 사용되는 플라즈마원이다.[10]

본 연구에서는 본 연구실에서 직접 설계 제작한 ICP 실험장치를 이용하여 미세화에 절실히 요구되는 높은 선택도와 에칭율, noncorrosive, nontoxic을 모두 만족한다고 알려진 SF<sub>6</sub>가스를 사용하여 기본적인 특성을 조사하고, 반도체제작에 필수적으로 요구되는 산화막 식각에 응용하고자 한다.

2. 실험방법 및 장치

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 임피던스와 매칭을 위한 매칭박스(Matching Box), 2) 방전을 일으켜 플라즈마를 생성하는 진공관, 3) 가스튜브와 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, 푸로브 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 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 매칭박스와 부하는 가능한 한 가까운 위치로 동축케이블로 접속된다. 본 실험에서는 동축케이블로서 테프론을 사용한 내열 케이블을 사용하였고, 더욱이 안테나 코일에는 코일의 냉각을 위하여 강제공냉팬을 설치하였다.

플라즈마의 발생방법으로서는 로터리 펌프와 터보분자 펌프를 사용하여, 진공관 내부를 1.0×10<sup>-6</sup> [Torr] 까지 배기 한 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<sup>-2</sup>~10<sup>-3</sup> [Torr])에 일정하게 유지한다. 진공관내 가스 압력은 피라니 게이지(Pirani Gauge)와 바라토론 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 푸로브에 ± 200 [V]의 직류가변전원을 인가하여 푸로브 전압 V<sub>p</sub>에 따른 푸로브 전류 I<sub>p</sub>를 Digital Muiltmeter로 측정하였다.

식각율 측정에는 선평이 30(μm)인 마스크를 사용하여 Photo Lithography (광사진 식각) 공정을 하였고 사용된 실리콘 웨이퍼는 P-Type,Boron - Dopant

.100-Orient, resistivity (ohm/cm) - 5~45, Thickness ( $\mu\text{m}$ ) - 50  
 0~550, Diameter (mm) - 99.5 ~ 100.5 를 Photo  
 Resistor (Az1512) 을 사용하여 Spin Coater 4000 (r.p.m)  
 에서 20초간 코팅 하여 두께는 1.2 ( $\mu\text{m}$ ) 로 코팅된 웨  
 이퍼를 사용하였다.

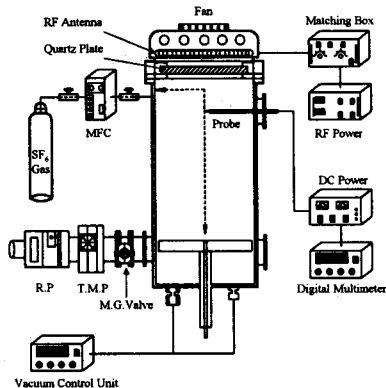


그림 1 플라즈마 발생장치 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of Plasma Generation device

### 3. 실험결과 및 고찰

전자전류의 특성곡선으로부터 직선적으로 증가하는 부분의 기울기로 전자온도를 구하였고, 이를 실험식에 대입하여 전자밀도를 구하였다.

전자온도, 전자밀도의 입력파워 의존성과 가스유량과 입력파워에 대한 식각깊이 계측의 공통된 실험조건으로는 aspect ratio(R/L)를 2로 하였고,  $\text{SF}_6$  가스 유량은 5 [sccm]과 10 [sccm]으로 일정하게 공급하였다. 전자온도와 전자밀도의 입력파워 의존성 계측에 사용된 동작압력은 100 [mTorr]이고, 측정 위치는 플라즈마 중심( $r=0, z=3$ )이다. 여기에서 말하는 입력파워는 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 전자온도를 그림 2에 나타낸다.

그림 2에서 보는 바와 같이 입력파워가 증가함에 따라서 전자온도는 극히 완만하게 증가하는 경향을 나타내고 있다.

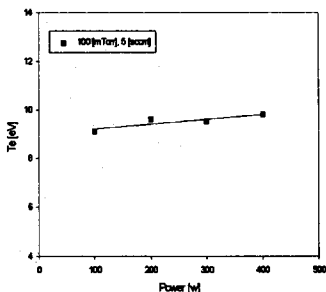


그림 2. 전자온도의 입력파워 의존성  
 Fig. 2. The Input power dependence of electron temperature

그림 3은 입력파워를 100 [W] 에서 400 [W]  $\text{SF}_6$  가스 유량 5 [sccm]과 10 [sccm]으로 변화시켰을 때의 전자밀도를 나타내고 있다. 입력파워가 증가할수록 전자의 밀도는 증가하였다. 화학적 반응이 추가 되는 식각공정에서는 입력파워를 조절함으로써 플라즈마의 밀도를 조절할 수 있고 식각율(etch rate)을 조절할 수 있다는 것을 나타낸다.

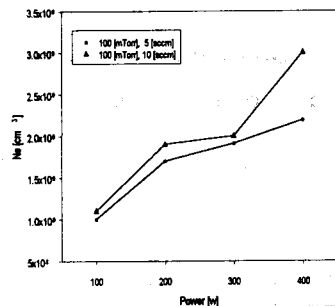


그림 3. 전자밀도 입력파워 의존성  
 Fig. 3. The input dependence of electron density

그림 4는 입력파워를 100 [W] 에서 400 [W]  $\text{SF}_6$  가스 유량을 5 [sccm]과 10 [sccm]으로 변화시켰을 때의 식각율 [A/min]을 나타낸다. 입력파워가 증가할수록 식각율이 증가됨을 볼 수 있었고 가스유량에 있어서는 10 [sccm]일 때가 5 [sccm]일 때보다 높은 식각율을 얻을 수 있었다.

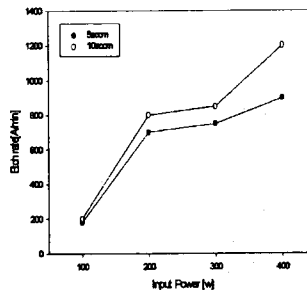


그림 4. 입력파워에 대한 에칭율  
 Fig. 4. The etch rate with input power

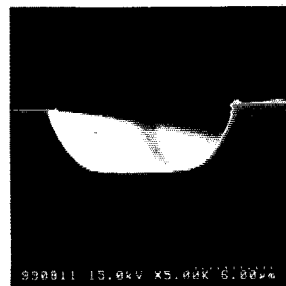


그림 5. 100 [mTorr], 5 [sccm], 200 [W]  
 10 [min], SEM 사진  
 Fig. 5. SEM Picture, 100 [mTorr], 5 [sccm],  
 200 [W] 10 [min]

그림 5는 입력파워를 200 [W]  $\text{SF}_6$  가스 유량 5 [sccm], 10 [min]에서의 식각깊이를 SEM 사진으로 나타내고 있고 식각깊이는 0.34 [ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]로 측정되었으며 비교적 우수한 식각을 나타내고 있다.

## 결 론

본 연구에서는, 고주파 유도결합 SF<sub>6</sub>플라즈마의 제어 파라메타에 따른 전자온도와 전자밀도를 랑그뮤어 푸로브법을 이용한 측정과 식각공정에서의 얻어진 에칭율에서 다음과 같은 결론을 얻을수 있었다.

[1] 고주파 유도결합 SF<sub>6</sub>플라즈마의 전자온도에 대한 입력파워 의존성은 볼수 없지만, 전자밀도는 입력 파워와 가스유량이 증가할수록 증가 되었다.

[2] 입력파워에 대한 에칭율은 입력파워가 증가할수록 증가되었다.

[3] 가스유량에 대한 에칭율은 가스유량이 증가할수록 증가되었다.

(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 ( $\mu\text{m}$ )로서 에칭율은 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, "低壓力・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] R. D. Mansano, P. Verdonck, H. S. Maciel, M. Massi, Anisotropic inductively coupled plasma etching of silicon with pure SF<sub>6</sub>, Thin Solid films pp. 343-344, 1999