

## 산화막 식각에 적용된 E-ICP효과와 형상단면비교

### Oxide etching characteristics and Etched Profiles by the Enhanced Inductive Coupled Plasma

조수범\*, 송호영\*, 박세근\*, 오범환\*  
(Soo-Beom Cho\*, Ho-Young Song\*, Se-Geun Park\*, Beom-hoan O\*)

#### Abstract

The etch rate of SiO<sub>2</sub> in Enhanced - Inductive Coupled Plasma (E-ICP) and CW-ICP systems are investigated. As addition of O<sub>2</sub> to CF<sub>4</sub> gas increases oxide etch rate, E-ICP etching shows the highest etch rate (about 6000Å) at an optimized condition with 30% O<sub>2</sub> in CF<sub>4</sub> 70Hz at the modulation frequency of 70Hz. E-ICP also shows better etch profile than CW-ICP.

**Key Words(중요용어) :** Oxide(산화막), Etching(식각), ICP(유도결합플라즈마), Etched Profile(식각형상)

#### 1. 서 론

반도체 공정에 있어 직접도를 높이기 위한 미세 선폭화와 생산성증대를 위한 대면적화의 추세에 따라 플라즈마를 이용한 건식식각의 중요성은 날로 증대되고 있다. 이러한 패턴사이즈의 급격한 감소는 식각되는 산화막과 마스크 그리고 실리콘과의 높은 선택비와 우수한 식각 프로파일 뿐만 아니라 식각공정중 소자의 손상을 최소화하기 위해 전자온도를 효과적으로 제어하기 위한 Inductively Coupled Plasma(ICP), Electron Cyclotron Resonance(ECR), Surface Wave Plasma(SWP), Helicon, Ultra High frequency plasma(UHF)등의 플라즈마소스들과 새로운 개념의 공정방법들이 개발되고 있다<sup>1)</sup>. 이중 ICP는 비교적 장비의 구조가 간단할 뿐만 아니라 저압에서 매우 높은 이온밀도를 얻을 수 있어 대표적인 저압고밀도 플라즈마소스로써 많이 연구되어왔다. 따라서 이러한 ICP의 특성을 향상시키고 차세대 플라즈마소스로 사용하기 위한 방법으로 안테나의 크기와 모양 그리고

전원과의 연결방식을 재 설계하거나 자기장의 인가 등이 거론되어왔다<sup>2)</sup>. 이중 영구자석을 통해 자기장을 인가하거나, 직류전류 인가를 통한 약한 축방향의 자기장인가와 같은 경우는 플라즈마의 밀도증가를 통해 식각율은 높일 수 있었으나 균일도 향상 측면에는 한계가 있는 것으로 보여진다<sup>2)</sup>. 본 연구에서는 Inductive Coupled Plasma(ICP)에 헬륨홀츠타입의 코일을 설치하고 교류와 직류를 조합하는 방식으로 축방향의 약한 시변자장을 인가하여 플라즈마의 특성을 대폭 향상시키고 이를 산화막식각에 활용하였다. CF<sub>4</sub>가스가 사용된 본 실험에서 ICP의 각 공정변수에 따른 식각율의 변화를 측정하였고, O<sub>2</sub> 분압에 따른 산화막 식각특성과 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>에서 ICP와 E-ICP의 식각특성을 비교하였다. 아울러 미세패턴 식각실험과 SEM분석을 통하여 E-ICP의 식각형상 단면을 E-ICP와 비교하였다.

#### 2. 본 론

##### 2-1. 실험장치의 구성

그림1은 E-ICP챔버의 구성도이다. 본 연구에서

\* : 인하대학교 전자 전기 컴퓨터공학부 반도체 전공  
(인천광역시 남구 용현동 253 인하대학교,  
FAX : 032-875-5882, email : obh@inha.ac.kr)

는 ICP에 축방향의 균일한 자기장을 인가하기 위하여 헬륨홀츠타입의 코일을 ICP챔버측에 설치하고 이때 상부코일에는 교류를 인가하고 하부코일은 직류를 인가하였으며 이때 인가되는 직류·교류전류의 크기는 1.53A로 일정하게 유지하였고 이를 통해 축방향의 약한 자기장(15gauss미만)이 인가되게 된다. 이렇게 직류와 교류 전류를 조합하는 방식은 전자파의 투과깊이를 훨씬 깊게 하여 플라즈마 밀도를 증가시켜 높은 식각율을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 전자온도를 낮추고 아울러 높은 균일도까지 얻을 수 있는 효과가 있다고 알려져 있다.<sup>3, 4)</sup>

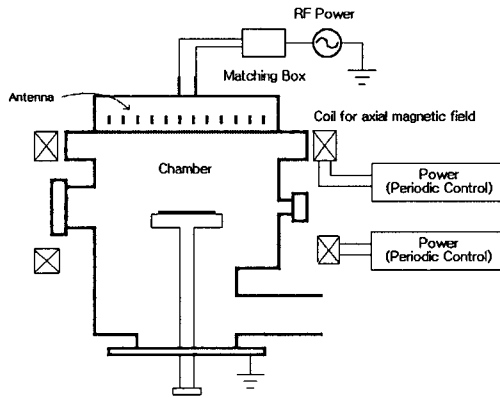


그림1. E-ICP의 개념도

### 2-2. 식각에 사용된 산화막

본 실험에서는 산화막의 식각특성을 측정하기 위하여 아래와 같은 테스트패턴이 사용되었으며 Si기판 위에 PECVD로 증착된 산화막(BPSG)과 그 위에 약 1 $\mu$ m로 도포된 감광제가 마스크로 사용되었다.

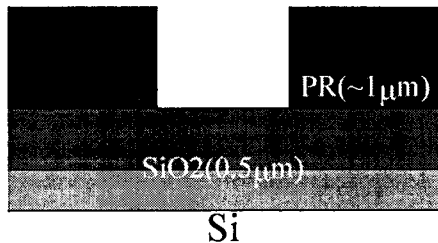


그림 2. Test structure for SiO<sub>2</sub> etching

## 3. 실험결과

### 3-1. 압력에 따른 식각특성변화

압력에 따른 식각특성을 분석하기 위해 5mtorr에서 30mtorr로 압력을 변화시키면서 산화막식각율을 측정하였다. 그림3에서 보듯 5mtorr에서 가장 낮은 식각율이 얻어졌고, 10mtorr, 20mtorr, 30mtorr에서는 거의 비슷한 식각율이 측정되었다.

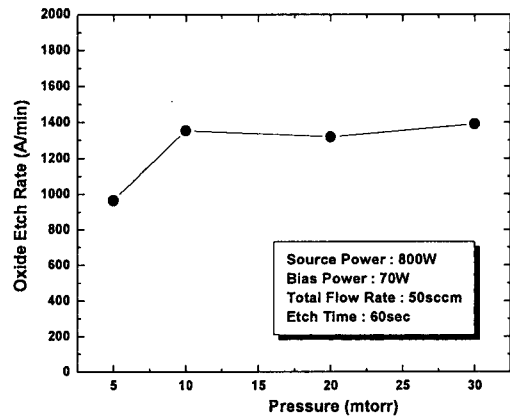


그림3. 압력의 변화에 따른 산화막식각특성

### 3-2. 입력전력에 따른 식각특성변화

통상적으로 입력전력의 증가는 플라즈마 밀도 및 이온전류밀도의 증가와 중성기체의 해리율을 증가시켜 라디칼의 밀도를 증가시키는 영향을 주는 것을 알려져있다. 그림4는 입력전력에 따른 산화막의 식각특성을 측정한 그래프이다. 600W에서부터 1200W까지 입력전력의 증가에 따라 산화막의 식각율이 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

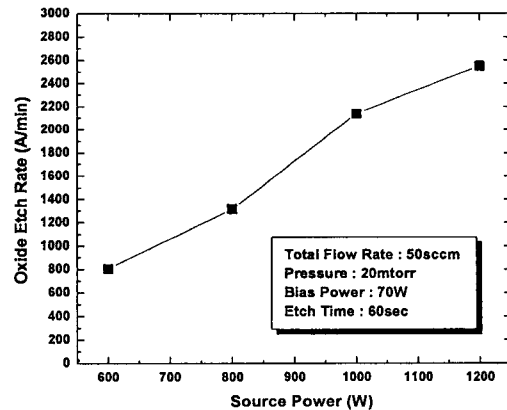


그림4. 입력전력에 따른 산화막식각특성변화

### 3-3. 바이어스파워에 따른 식각특성

그림5에서는 인가 바이어스전력에 따른 산화막 식각특성의 변화를 측정된 결과이다. 바이어스전력이 0W인경우는 산화막의 식각이 전혀 일어나지 않고 오히려 산화막표면에 fluorocarbon polymer가 약 200Å 정도 증착되었다. 0W에서 50W로 바이어스전력을 인가하면 급격하게 산화막식각이 증가하였고 150W에서의 식각율은 오히려 100W의 바이어스전력에서의 식각율 보다 약간 떨어지는 식각율이 측정되었다.

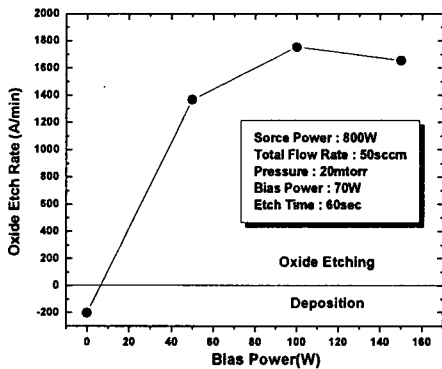


그림 5. 바이어스전력에 따른 식각특성변화

### 3-4. E-ICP의 산화막 식각특성

그림6에서는 CF<sub>4</sub>에서 ICP와 E-ICP의 산화막 식각율을 비교하였다. ICP는 E-ICP에 비해 낮은 식각속도를 보였고, E-ICP의 경우 인가 주파수의 증가에 따라 점차 식각속도가 증가하여 80Hz에서 가장 식각속도가 높게 나타났으며 100Hz에서는 다소 떨어지는 경향이 나타났다. 주파수에 따른 이러한 식각 경향은 20mtorr에서 측정된 실험결과<sup>3)</sup>와 유사하였으며 저압인 5mtorr에서 측정된 식각율이 전반적으로 낮았다.

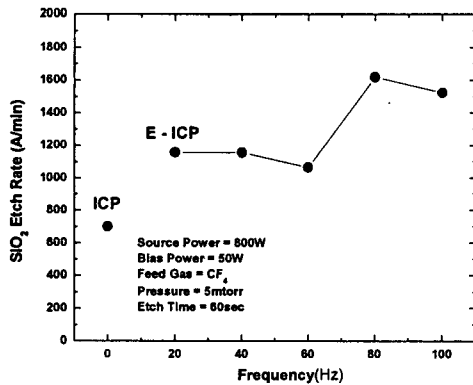


그림 6. E-ICP의 산화막 식각특성

### 3-5. O<sub>2</sub> 분압에 따른 산화막 식각특성

통상적으로 산화막 및 실리콘 식각공정에서 O<sub>2</sub>의 첨가는 F atom의 상대적인 비율을 높여 산화막 및 실리콘의 식각율을 높여주는 영향을 하지만 반면에 Si과의 선택비의 감소를 초래하는 영향이 있는 것으로 알려져있다.<sup>5)</sup> 본 실험에는 ICP에서 O<sub>2</sub>의 분압에 따른 산화막의 식각율의 변화를 측정하였다.

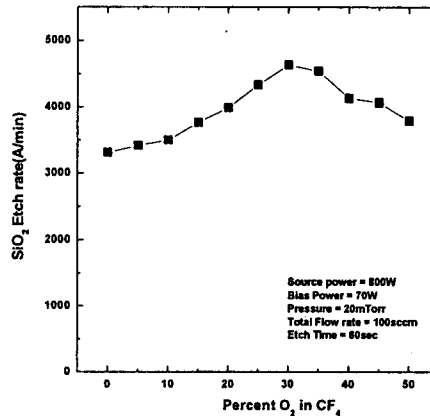


그림7 O<sub>2</sub>분압에 따른 산화막 식각율변화

그림7에서 볼 수 있듯이 CF<sub>4</sub>에서 O<sub>2</sub>의 분압증가에 따라 식각속도가 점차 증가하고 30%에서 최대의 식각율이 측정되었다. 그림8에서 최대의 식각율이 얻어졌던 O<sub>2</sub>의 분압으로 고정시키고 E-ICP의 주파수를 변화시키면서 산화막 식각율의 변화를 측정하였다.

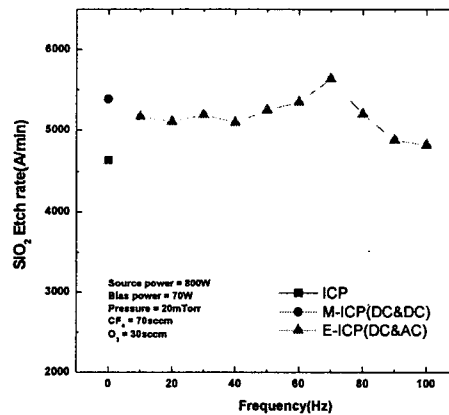


그림8. E-ICP의 산화막 식각특성

측정결과 자기장이 인가되지 않은 ICP의 경우 가장 낮은 식각율을 보인 반면 M-ICP 방식, 즉 직

류전류만을 사용하여 정지자계(static magnetic field)를 인가하는 방식과 시변자계를 인가하는 E-ICP에서는 5000A/min이상의 비교적 높은 식각율이 얻어졌다. 특히 E-ICP의 경우 최적화된 주파수 70Hz에서 M-ICP방보다 높은 식각속도(약 6000 A/min정도)가 얻어졌다.

### 3-6. 미세패턴 식각특성비교

미세패턴 식각특성을 비교하기 위하여 동일한 조건하에서 시행된 ICP와 E-ICP의 SEM측정결과를 그림9a, 9b에서 비교하였다. PR의 식각이 비교적 큰 CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 가스중에서의 식각이라 다소 경사진 기울기(taped slope)를 보였지만 E-ICP는 ICP에 비해서 식각패턴의 기울기가 개선되었으며 ICP에서 보이는 microtrench와 같은 미세패턴의 식각공정시 발생 가능한 문제들이 효과적으로 예방되고 있음을 확인하였다.

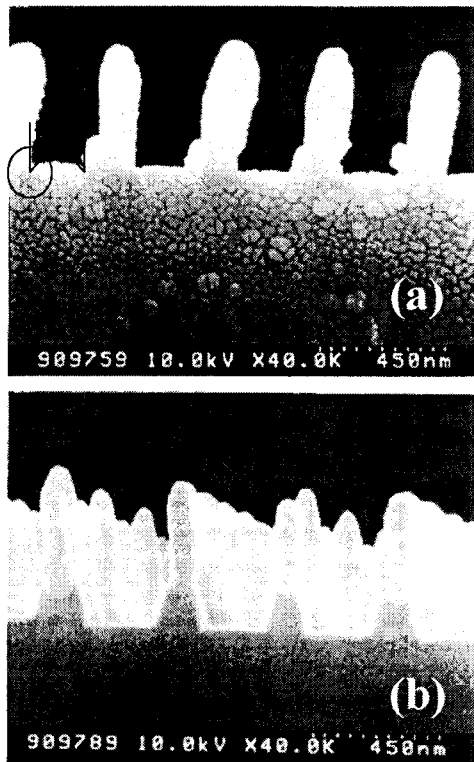


그림 9a. ICP의 미세패턴 식각결과  
그림 9b. E-ICP의 미세패턴 식각결과

## 4. 결론

CF<sub>4</sub>가스를 사용한 산화막식각실험에서 각 공정 변수와 첨가가스인 O<sub>2</sub>의 분압에 따른 식각특성의 변화를 측정하였고, CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub>에서 ICP와 E-ICP의 식각특성을 비교하였다. 측정결과, E-ICP의 경우 첨가가스의 종류와 분압과 무관하게 ICP에 비해 높은 산화막식각율을 보였으며, 최적화된 E-ICP의 조건하에서 약 6000Å의 높은 식각율을 얻을 수 있었다. 아울러 미세패턴식각실험과 SEM분석을 통해 E-ICP방법을 통해 ICP에 비해 향상된 식각프로파일을 얻음과 동시에 미세패턴시 발생가능한 문제점들이 효과적으로 제어할수있음을 확인하였다.

## 참고문헌

- [1] Oleg A. Popov "High density plasma source", ch1&2, Noyes Publication.
- [2] Ho-Jun Lee et al. "Effects of magnetic field on oxide etching characteristics in planar type radio frequency inductive coupled plasma" J. Vac. Sci. Tech. A. 14(3), P1007, 1996
- [3] Beom-hoan O, Jae-Seong Jeong, and Se-Geun Park, "Improvement of ICP Plasma with Periodic Control of Axial Magnetic Field", Surface & Coating Technology P116. 1999
- [4] 정재성, 김철식, 김철호, 박세근, 오범환, "축방향 자기장의 주기적 단속을 이용한 유도결합형 플라즈마 식각장비의 고품위플라즈마형성", 전자공학회지, Vol.21, No 2, P589~593, 1998.
- [5] K. H. R. Kirmse et al., "SiO<sub>2</sub> to Si selectivity mechanism in high density fluorocarbon plasma etching", J. Vac. Sci Tech B. Vol 14(2) P710, 1996.
- [6] L. M. Ephrath et al, 'Selective Etching of Silicon Dioxide using Reactive Ion Etching With CF<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>' J. Electrochem. Soc. 126(8), P1419, 1979