

# 자화주파수에 따른 플라즈마 및 산화막식각특성에 관한 연구

김진우, 조수범, 박세근, 오범환  
인하대학교 정보통신공학부

Tel: 032)860-7438 / Fax: 032)875-5882

## Magnetization Frequency Dependence of Enhanced Inductively Coupled Plasma and Etching Characteristics

Institute of Semiconductor and Thin Film Technology, Inha university, Incheon, Korea  
Chin-Woo Kim, Soo-Beom Jo, Se-Geun Park, Beom-hoan O  
E-mail: obh@inha.ac.kr

### Abstract

The semiconductor's design rule becomes more stringent, hence the silicon-dioxide etching technique is important issue. In this work we compared the etching characteristics of different three types of plasma source, Normal ICP, magnetized ICP and E-ICP™. The E-ICP™ source shows higher etch rate at lower pressure and this is advantageous for the fine pattern process. The etching characteristics were varied with external magnetic field frequency at E-ICP and this is examined with Nanospec™ and SEM. We designed Langmuir probe system for time resolved diagnosis. Ion density of E-ICP is varying periodically with the applied external magnetic field frequency.

### 1. 서론

초미세구조를 지니는 차세대 반도체소자의 제조공정에 있어 식각공정은 매우 중요하다. 특히 소자의 집적도가 급속하게 증가함에 따라 종횡비(aspect ratio)가 커지게 되고, Mask Photoresist 및 Si, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>과 같은 하부층에 대한 높은 선택비를 유지하는데 많은 어려움이 있다. 이에 차세대 플라즈마소스의 개발과 새로운 공정기술에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>[1][2][3]</sup>. 고밀도 플라즈마 소스는 저압에서도 높은 플라즈마의 밀도를 유지하며 기판에 입사하는 이온의 에너지를 독립적으로 조절 가능하여 높은 종횡비(aspect ratio)를 가지는 패턴의 식각에 용이하다. 현재 금속, 폴리실리콘의 식각공정에 고밀도플라즈마소스를 적용하여 기존의 Capacitively Coupled Plasma (CCP) 타입의 Reactive Ion Etch (RIE)에 비해 매우 우수한 결과를 보여주고 있다. 하지만 이러한 고밀도플라즈마소스를 이용한 산화막식각의 경우는 식각가스의 과도한 해리와 높은 전자온도로 인해 photoresist 및 하부층과의 선택비 유지에 많은 문제점이

있는 것으로 보고되고 있다<sup>[4]</sup>.

본 연구에서는 고밀도 플라즈마 소스중 구조가 비교적 간단하면서도 특성이 우수한 Inductively Coupled Plasma (ICP)에 그림1과 같이 저주파수의 시변 약 자기장을 축방향으로 인가하는 Enhanced-ICP (E-ICP) system을 이용하여 산화막식각을 실행하였고 이 결과를 기존의 ICP와 Magnetized-ICP(M-ICP)의 결과와 비교, 분석하였다. 아울러 E-ICP 플라즈마의 특성을 효과적으로 분석하기 위하여 시분할 측정가능한 Langmuir probe를 고안하여 시간에 따른 플라즈마 특성변화를 측정하였다.

### 2. 본론

#### 실험방법

##### 1. 실험장치의 구성

그림1은 본 실험에서 사용된 E-ICP챔버의 개념도이다. ICP에 축방향의 균일한 자기장을 인가하기 위하여 헬름홀츠타입의 코일을 ICP 챔버측에 설치하고 이때 상부코일에는 교류를 인가하고 하부코일은 직류를 인가하였으며 이때 인가되는 직류·교류전류의 크기는 1.7A로 일정하게 유지하였고 이를 통해 축방향의 15G미만의 약한 자기장이 인가되게 된다.

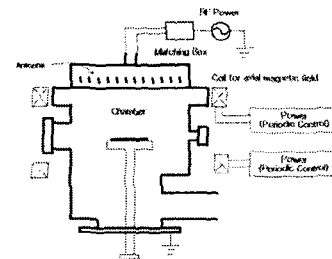


그림 1. E-ICP장치의 개념도

위와 같이 적류와 교류를 전류를 조합하는 방식은 전자파의 투과깊이를 훨씬 깊게 하여 플라즈마밀도를 증가시켜 높은 식각율을 얻을 수 있을 뿐만 아니라, 전자온도를 낮추고 아울러 높은 균일도까지 얻을수 있는 효과가 있음을 발표한다 있다<sup>[4][5]</sup>. 산화막식각실험에서는 식각가스로 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>가스가 사용하였으며 식각에 사용된 Test Wafer는 그림2와 같다. Test pattern A 식각후 식각율은 Nanospec™ 을 이용하여 측정하였고 0.35 $\mu$ m, 1.0 $\mu$ m Contact Hole 식각프로파일을 주사전자현미경 (SEM, Hitachi S4300) 을 이용하여 분석하였다.

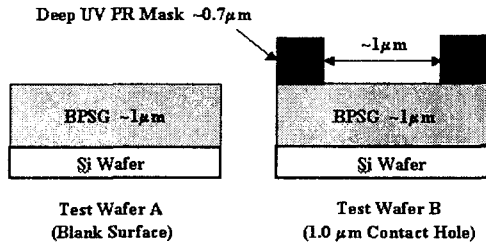


그림 2. 식각실험에 사용된 Test Wafer

**실험 결과**

**1. 자화주파수, 공정압력에 따른 산화막 식각특성**

**1-1. 자화주파수에 따른 산화막식각율 (E-ICP)**

그림3은 Test Wafer A 를 이용하여 자화주파수에 따른 E-ICP의 산화막식각율을 측정된 결과이다. 압력에 따른 식각율의 변화를 측정하기 위하여 10mTorr, 20mTorr로 나누어 실험하였다. E-ICP의 경우 모든 자화주파수에서 ICP에 비해 높은 식각율이 측정되었고 10Hz근방에서 가장 식각율이 높은 것으로 측정되었으며 이는 CF<sub>4</sub>에서 80Hz 근방에서 식각율이 가장 높았던 실험결과<sup>[6]</sup>와 비교하여 볼 때 식각가스에 따라 최고의 식각율이 얻어지는 특정 주파수가 달라짐을 알 수 있었다. 식각실험에서 확인되었던 E-ICP의 높은 산화막식각율은 촉방향 자기장을 인가를 통해서 전자파투과효율이 증대와 이로 인한 플라즈마 밀도증가로 기인한 것이다.

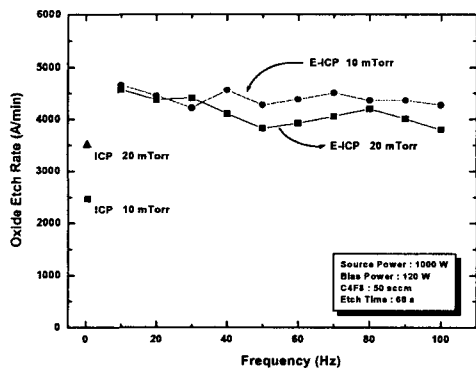


그림 3. E-ICP의 산화막식각율

Source Power : 1 kW, Bias Power : 120 W,  
C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> : 50 sccm, E-ICP Freq : 10 Hz, Etch Time : 60 s

**1-2. 압력에 따른 산화막식각율**

초미세패턴의 식각을 위해서는 기판에 입사하는 이온의 산란을 최소화할 수 있는 저압공정이 매우 유리하다. ICP의 경우 20 mTorr에서 식각율이 10 mTorr에 비해 높은 것으로 측정되었으며 이는 상대적으로 저압에서 낮은 플라즈마밀도에 의한 결과로 분석이 가능하다. 하지만 E-ICP의 경우 저압인 10mTorr에서 높은 식각율이 측정되었어 “E-ICP효과”가 효과가 저압에서 현저하게 나타나는 것으로 사료된다.

**2. Ar첨가 및 인가자기장에 따른 산화막식각특성**

**2-1. Ar 첨가에 따른 산화막식각율**

실제 산화막식각공정시에는 다량의 Ar가스를 첨가하여 사용하는데 이는 Ar치환을 통한 이온밀도의 증가를 통한 식각율의 증대와 미세패턴에서의 과도한 Polymer증착을 제어함으로써 비등방적인 식각프로파일을 얻기위함이다<sup>[7]</sup>. 그림4는 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>가스에 치환되는 Ar, O<sub>2</sub>의 치환 분압에 따른 산화막식각율을 측정된 결과이다. Ar이 60% 치환된 경우 가장 식각율이 높았으며 그 이상의 Ar이 치환된 경우는 오히려 산화막식각율이 감소하였다. O<sub>2</sub> 역시 60%근방에서 산화막식각율이 증가하였으나 20% 이상의 치환시에는 급격한 PR Mask의 loss가 관측되었다. 그림5는 Ar이 60% 치환된 경우 식각프로파일을 분석하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 Ar치환에 따라 식각율이 증가하였나 PR과의 선택비가 극히 낮아졌고, 이로 인하여 Contact hole 입구 부분의 Critical Dimension (CD) loss가 상당부분 커졌으며 측면에 Microtrench 현상이 심하게 나타났다.

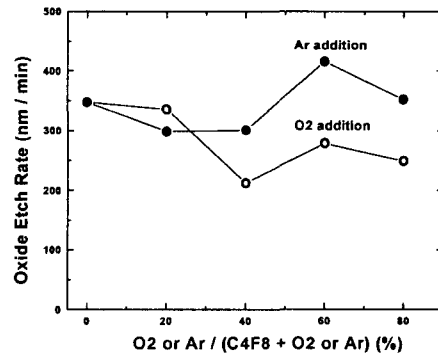


그림 4. Ar, O<sub>2</sub> 치환분압에 따른 산화막식각율

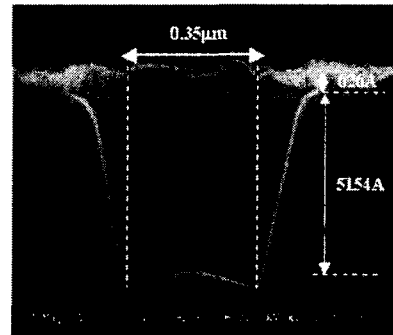


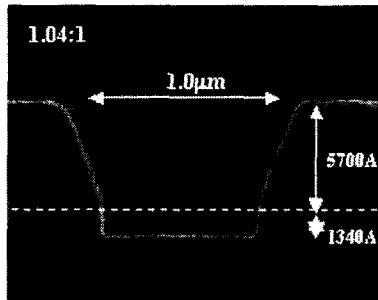
그림 5. Ar 60% 치환된 경우 식각프로파일

2-2. 인가자기장의 영향

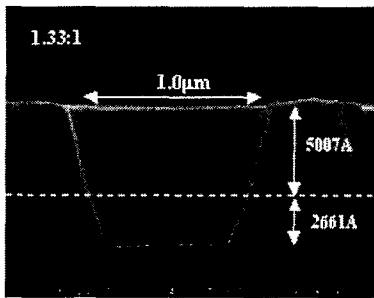
기판온도(10℃)와 각 공정변수를 동일하게 설정하고 공정 챔버에 인가되는 인가자기장의 형태에 따른 산화막식각특성을 분석하기 위하여 자기장이 인가되지않은 ICP (그림 6-a), 인가자기장을 시변조절하는 E-ICP (그림 6-b), 축방향의 정지 자기장(Static Magnetic Field)이 인가되는 M-ICP (그림 6-c)의 결과와 비교하였다. 그림 6은 1μm contact hole pattern을 식각한 결과를 SEM으로 분석한 결과이다. 플라즈마 밀도가 가장 높은 M-ICP에서 가장 높은 식각율과 PR과의 선택비가 측정되었고 그리고 ICP의 두배정도의 식각율이 E-ICP에서 측정되었고, ICP에서 가장 낮은 식각율이 측정되었다. 이러한 경향은 CF<sub>4</sub>를 이용한 Contact Hole Etching 실험에서도 보여준 결과와 동일한 경향성<sup>[6]</sup>을 보여준다. 분석결과 인가자기장에 따라 식각을 뿐만아니라 tapering angle에도 영향을 주는 것으로 측정되었으며 이는 PR 및 Contact hole에 증착되는 fluorocarbon polymer의 특성과 기판에 입사하는 이온의 거동이 인가자기장에 따라 달라지는 것으로 분석이 가능하다.

Plasma Source	ICP	E-ICP	M-ICP
Etch Rate (A/min)	1340	2661	4330
PR Selectivity	1.04:1	1.33:1	1.44:1
Taper angle (°)	88	73	70

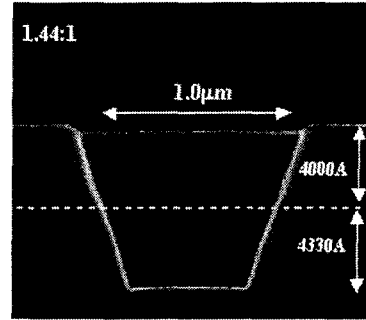
표 1. Summary of Contact Hole Etching Results



(a) ICP 식각결과



(b) E-ICP 식각결과



(c) M-ICP 식각결과

그림 6. Contact hole Etch Profile

3. 시분할측정장치 제작 및 측정결과

3. 1 시분할측정장치 및 측정방식

E-ICP는 수십 Hz의 자화주파수에 따라 빠른 속도로 플라즈마특성이 변하므로 시평균화된 기존의 측정방식으로는 플라즈마의 평균적인 특성만을 얻기 때문에 E-ICP의 특성을 진단하기에는 부적합하다. 각각 시간에 따라 변화는 E-ICP의 특성을 관찰하기 위해서는 매우 빠른 속도로 I-V 곡선을 얻어내어 시분할된 측정 방법이 요구된다. 이에 본 실험에서는 매우 빠른 속도로 I-V 곡선을 얻어내어 시분할된 측정방법이 요구된다. 이에 본 연구에서는 시분할측정방식을 고안하여 이를 이용하여 E-ICP플라즈마를 진단하였다. 그림7은 시분할측정장치의 개념도이며 그림8은 완성된 시분할측정장치이다.

Fuaction Generator에서 출력되는 톱니파 신호를 BOP를 통해 증폭시켜 Langmuir probe에 인가하고 그에 따른 플라즈마 current를 사용하여 수 msec의 주기로 I-V 곡선을 얻어 낼 수 있었다. 증폭하여 Probe에 인가된 signal의 Vpp은 120V 이다.

3. 2 측정결과

그림9는 자화주파수를 20Hz로 설정하고 그에 따른 이온밀도와 전자온도의 변화를 측정 한 결과이다. 그림에서 확인 할 수 있듯이 Normal ICP의 경우 시간에 따라 플라즈마특성이 거의 일정하였으나, 시분할측정된 E-ICP의 경우 인가된 자화주파수와 동일한 주기로 이온밀도가 주기적으로 변화하였고, ON state에서는 ICP보다 높은 이온밀도를 보였고, OFF State에서는 ICP와 거의 동일하거나 약간 낮은 크기의 이온밀도가 측정되었다. 전자온도의 경우 노이즈성분으로 인하여 분석상에 많은 어려움이 있었으나 Random한 변화를 보이는 ICP에 비해 E-ICP는 주기적인 변화를 보임을 확인 할 수 있었다.

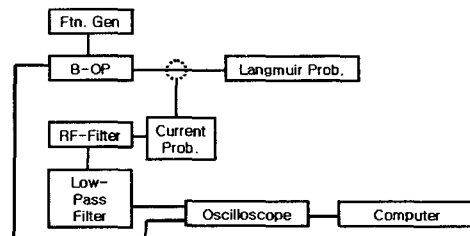


그림 7. 시분할측정장치의 개념도

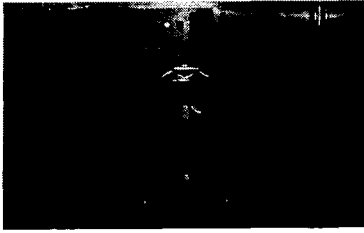


그림 8 제작된 시분할측정장치

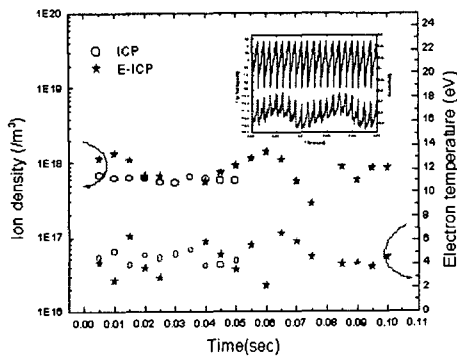


그림 9 시분할측정결과

Gas flow rate : Ar 20 scccm, Pressure : 20 mTorr,  
Source Power : 800 W, E-ICP Freq : 20 Hz

### 결론

본 연구에서는 ICP 챔버에 인가되는 축방향자기장을 시변조절하는 E-ICP의 공정압력 및 자화주파수에 따른 산화막식각특성과 플라즈마특성을 분석하였고 기존의 ICP와 M-ICP의 식각결과와 비교하였다. 자체고안된 시분할측정시스템을 이용하여 플라즈마 진단결과, 시간에 따라 거의 일정한 플라즈마특성을 보이는 ICP와 달리 E-ICP는 자화주파수에 따라 이온밀도와 전자온도가 주기적으로 변화하였다. 이러한 진단결과를 토대로 산화막식각에 적용시킨결과, ON State 에서 보여주었던 높은 이온밀도와 식각가스에 부합하는 특성 주파수에는 ICP에 비해 우수한 식각특성이 얻어짐을 확인하였고 E-ICP효과는 저압에서 현저하게 나타나는 것으로 측정되었다. 아울러 Ar, O<sub>2</sub>의 치환분압에 따른 산화막식각특성을 측정하였다. Ar 60% 치환을 통해 가장 높은 산화막식각율과 비등방적인 프로파일이 얻어졌으나 PR선택비가 감소와 contact hole의 측벽에 Microtrench가 발생하였다.

### 참고문헌

- [1] T. Tsukada, et al, "SiO<sub>2</sub> Etching using high density plasma source. Thin Solid Films 341 (1999) 84
- [2] Seiji Samukawa. et al, "Reduction of Plasma induced damage in an inductively Coupled plasma using pulsed source power" J. Vac. Sci. Technol B 18(2), 834, 2000
- [3] Oleg A. Popov "High Density Plasma Source",

ch1&2, Noyes Publication

[4] Beom-hoan O, Jae-Seong Jeong, and Se-Geun Park, "Improvement of ICP Plasma with Periodic Control of Axial Magnetic Field", Surface & Coating Technology, 752, 1999.

[5] 정재성, 김철식, 김철호, 박세근, 오범환, "축방향 자기장의 주기적 단속을 이용한 유도결합형 플라즈마 식각장비의 고품위플라즈마형성", 전자공학회지, Vol.21, No 2, pp.589~593, 1998.

[6] S.-B. Cho et al., "Improved Etch Characteristics of SiO<sub>2</sub> by the Enhanced Inductively Coupled Plasma", J. Vac. Sci Technol. A 2001. In Press

[7] W. Chen et al., "SiO<sub>2</sub> etching in magnetic neutral loop discharge plasma", J. Vac. Sci Technol. A 16(3) 1594. 1998