

## C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>/O<sub>2</sub> 공정기체와 E-ICP를 이용한 산화막 식각

송호영, 조수범, 이종근\*, 오범환, 박세근

인하대학교 전자 전기 컴퓨터공학부

\* 부천대학 전자과

Tel : 032-860-7768 / Fax : 032-875-5882

### SiO<sub>2</sub> Etching in C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> Plasma by E-ICP

Ho-Young Song, Soo-Beom Jo, Jong Geun Lee\*, Beom-Hoan O, Se-Geun Park

Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University

\* Department of Electronics, Bucheon College

sohoyo@hanmail.net

#### Abstract

Novel Enhanced Inductively Coupled Plasma is applied to etch SiO<sub>2</sub>. Effect of O<sub>2</sub> or Ar addition to C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> gas is monitored by Optical Emission Spectroscopy and Quadrupole Mass Spectrometer. It is found that Ar or O<sub>2</sub> dilution to C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> increases F emission intensity and decreases CF<sub>2</sub> intensity. However, the ac frequency to the Helmholtz coil decreases the F intensity and thus increases CF<sub>2</sub>/F ratio. By adjusting the ac frequency, the optimum etch rate and PR to SiO<sub>2</sub> selectivity can be obtained in E-ICP.

#### I. 서론

ULSI 제작공정의 고집적화에 따라 contact hole 종횡비(Aspect-ratio)가 증가되고 있으며 감광제(Photo-resist)의 두께 또한 감소되고 있다. Contact hole 식각공정은 높은 식각율과 감광제 또는 silicon과의 선택비를 개선하기 위해 탄화불소기체를 기본으로 한 플라즈마가 주로 사용되어지고 있다[1][2]. 그러 기존의 ECR이나 ICP같은 고밀도 플라즈마 소스의 경우에는 반응기체의 해리율이 너무 높아 SiO<sub>2</sub>의 선택적 식각이 어렵다는 단점을 가지고 있다[3][4][5]. 최근에는 이러한 문제를 해결하기 위해 C/F 비가 CF<sub>4</sub> 보다 높은 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 기체를 기본으로 하고 H<sub>2</sub>나 CO, O<sub>2</sub>, 과 같은 기체를 첨가하거나 RIE방식을 채택하여 F와

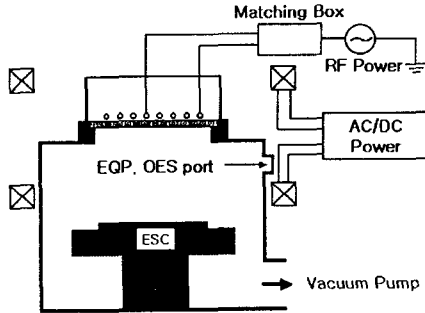
CF<sub>x</sub>와의 비를 조절하는 방법이 사용되어지고 있다 [6][7].

본 연구에서는 ICP 소스에 축방향으로 주기적인 약자장을 인가하는 새로운 개념의 고밀도 플라즈마 소스인 enhanced-inductively coupled Plasma(E-ICP)를 이용하여 산화막식각 실험을 수행하였다[8][9]. 공정기체 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>에 Ar과 O<sub>2</sub>가스를 첨가함에 따른 플라즈마의 특성변화 및 식각특성 변화를 살펴보았으며, 주기적 약자장의 주파수에 따른 플라즈마 내의 활성종의 변화와 contact hole의 식각 결과를 관찰하였다.

#### II. 플라즈마 특성

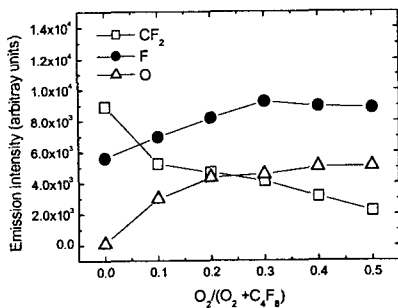
(그림 1)은 본 연구에 사용되어진 E-ICP의 장비모식도이다. Optical emission spectroscopy(OES)와 quadrupole mass spectrometer(QMS)가 설치되어 있으며, 기판의 온도를 조절, 유지하기 위해 electrostatic chuck(ESC)를 채택하였다. 반응기 외부에 주기적인 축방향 자장을 인가하기 위한 Helmholtz 코일에 전류원이 연결되어 있으며, 반응기는 인가된 자장에 의해 자화되지 않도록 anodized 알루미늄을 사용하였다. Helmholtz 코일의 지름은 580 mm이고 중앙부에서 10 ~ 15 gauss의 세기를 얻을 수 있도록 구성하였다. 플라즈마의 형성과 DC bias를 조절하기 위한 전력원은 13.56 MHz의 RF를 사용하였다. 소스용 안테나는 4 turn의 ICP형의 평판 나선형 구조이며 저항손실을 최소화하여 전력전달 효율을 높이기 위해 무산소 구리에

은도금을 하였고 내부에 냉각수가 흐를 수 있는 관 형을 채택하였다.



[그림 1] E-ICP의 장비 모식도.

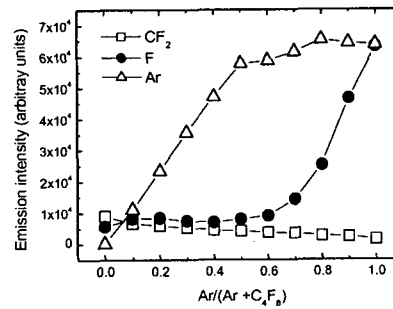
본 연구에서는 주 공정기체로  $C_4F_8$ 을 사용하였다. 종전에 주로 사용하던 공정기체인  $CF_4$ 에 비하여 C/F 비가 높기 때문에  $CF_x(x=1, 2)$  형성을 용이하게 하여 감광제와의 선택적인 식각이 개선될 수 있기 때문이다. 또한  $O_2$ 를 첨가하면 F 원자의 생성률이 증가한다. 본 연구에서는 (그림 2)와 같이 산소의 분압을 바꾸며 산화막의 식각원인  $F(3s^2P-3p^2P^0$  transition at 703.7 nm)와 탄화유기물(Carbonized polymer)을 형성하는  $CF_2(259$  nm)를 OES로 관찰하였다. 산소의 분압이 증가하면 F의 emission intensity가 점차 증가하고  $CF_2$ 의 세기는 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. 분압이 0.3을 넘어서면 F의 세기도 감소하는 경향을 보이는데 이것은 F의 공급원인  $C_4F_8$ 의 상대적 감소와 산소의 증가에 의한 전자온도의 감소에 기인한 것으로 보여진다.



[그림 2]  $O_2$  분압에 따른 OES emission intensity 변화.

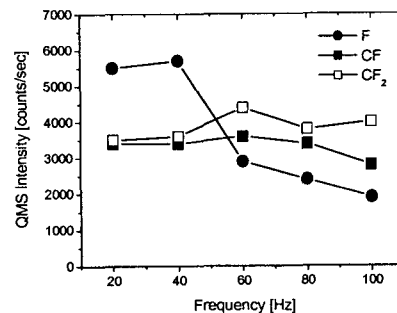
$C_4F_8$  공정기체에 Ar을 첨가하면 큰 중횡비 공정이 있어서 매우 유용하다는 사실은 실험적으로는 많이 알려져 있지만 그 정확한 효과는 아직 이해되지 못하고

있다[6]. 따라서 본 실험에서는 Ar의 분압에 따라 F와  $CF_2$ 를 측정하였고 그 영향을 살펴보았다. (그림 3)에서 보듯이 F는 Ar의 분압이 0.6을 넘어서면 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으며  $CF_2$ 의 세기는 점차 감소하는 경향을 나타내기는 하지만 매우 작은 크기임을 알 수 있었다. Ar의 첨가는 전자평균온도(Te)를 3.2 eV에서 3.6 eV(분압 0.7에서)로 증가시키는 효과를 나타냄으로서 플라즈마의 밀도를 높이는 효과를 나타내며 이로 인해 F의 양이 증가하는 것으로 보여진다. 그러나  $CF_2$  라디칼의 경우  $CF_2$ 를 형성하는 해리반응이 비교적 낮은 문턱 에너지( $E_{th} \approx 5$  eV)를 가지므로 전자온도의 증가가 큰 영향을 주지 못하며  $C_4F_8$  공정기체의 분압 감소에 의해 점차로 감소하는 경향을 나타내는 것으로 보여진다.



[그림 3] Ar 분압에 따른 OES emission intensity.

(그림 4)는 E-ICP에서 축방향 약자장을 형성하는 Helmholtz 코일에 흐르는 전류의 주파수 변화에 따른 생성종들의 변화를 QMA를 통하여 관찰한 것이다. 주파수의 변화에 따라 F의 경우는 매우 민감하게 변화하고 있지만  $CF$ 나  $CF_2$ 의 경우는 큰 변화를 보이지 않고 있음을 알 수 있었다. 중요한 점은 주파수에 따라 활성종의 상대비를 조절할 수 있다는 관찰이다.



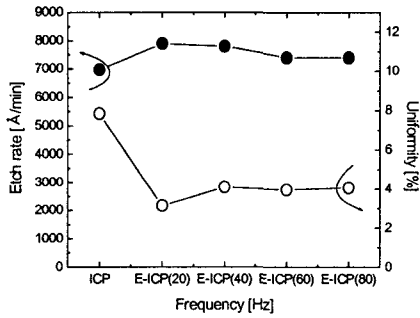
[그림 4] E-ICP에서의 QMS intensity 변화.

### III. 산화막 식각

본 식각 실험에서는 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub>을 기본 공정기체로 사용하였으며 여기에 폴리머 형성을 돕기 위해 7 %의 CH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>와 5 %의 O<sub>2</sub>, 70 %의 Ar을 첨가하여 산화막 식각공정을 수행하였다. 공정 압력은 15 mTorr이며 source power는 2 KW, bias power는 1.5 KW이다.

전형적인 ICP, 즉 E-ICP system에 자장을 인가하지 않은 경우와 E-ICP에서의 주파수 변화에 따른 산화막 식각률과 균일도의 변화를 관찰하였으며 그 결과가 (그림 5)에 나타나 있다.

E-ICP의 경우 모든 주파수에서 전형적인 ICP에 비해 높은 식각률과 균일도를 나타냈다. 특히 20 Hz에서는 7900 A/min의 높은 식각률과 3.1 %의 균일도를 얻을 수 있었다.



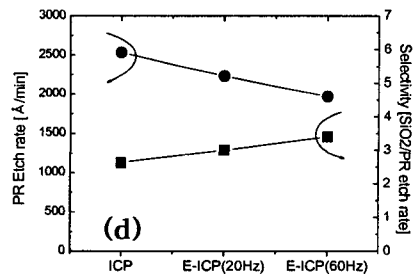
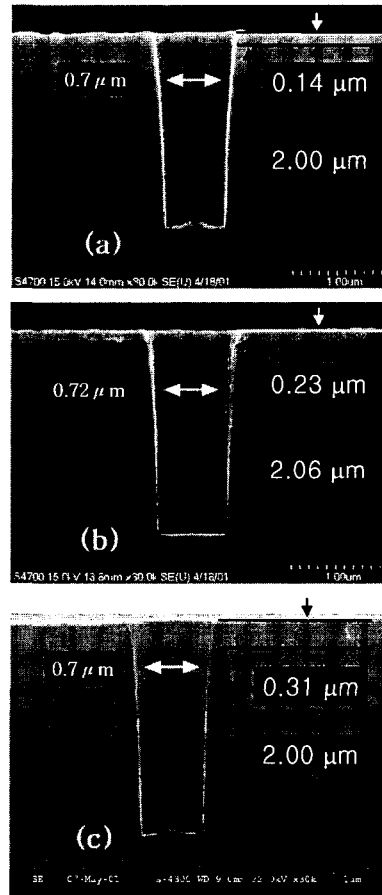
[그림 5] E-ICP에서의 산화막 식각률과 균일도.

앞서 설명한 것과 같이 소자의 크기 감소에 따라 산화막 식각에 있어서 감광제와의 선택비는 매우 중요시되고 있다. 따라서 본 실험에서는 E-ICP를 통하여 산화막과 감광제의 선택비를 개선하려 하였다.

본 실험을 위하여 200 mm 실리콘 기판위에 산화막을 2 μm / 감광제를 1 μm의 두께로 적층하였으며, 0.3 ~ 1.0 μm의 contact hole 패턴이 형성되어 있다. 각 조건에서의 공정결과를 비교하기 위하여 모두 동일하게 3분간 식각을 진행하였다.

(그림 6)은 식각후 0.7 μm의 contact hole을 SEM 촬영한 것이며, (a)는 전형적인 ICP를 이용해 식각한 결과이고 (b), (c)는 E-ICP 20, 60 Hz에서의 식각 결과이다. Contact hole의 식각결과 또한 20 Hz에서 가장 높은 식각률을 보이고 있음을 알 수 있었으며, 다른 조건에 비하여 hole의 폭이 조금 넓어졌음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 적은 폴리머 형성 때문에 hole의 벽면보호가 잘 이루어지지 않았기 때문인 것으로 사료되어진다. E-ICP 60 Hz(그림 6-c)의 경우 ICP와

비슷한 식각특성을 나타내고 있지만 감광제에 대한 선택비가 매우 개선된 결과를 보여주고 있다. 주파수에 따른 감광제 제거율과 선택비의 변화를 (d)에 나타내었다. E-ICP 60 Hz에서 6800 A/min의 높은 산화막 식각률과 3.5 : 1 정도의 감광제에 대한 선택비를 얻을 수 있었다.



[그림 6] Contact hole 식각결과(SEM).

#### IV. 결론

C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 공정기체에 O<sub>2</sub>를 첨가하면 F 원자의 농도를 증가시키고 CF<sub>2</sub> 라디칼은 감소시키는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Ar의 첨가는 CF<sub>2</sub> 라디칼에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보여지며, Ar이 공정기체의 60 % 이상으로 첨가되면 F이 급격하게 증가함을 알 수 있었다.

유도결합형 플라즈마(ICP)에 Helmholtz 코일을 통하여 주기적인 축방향 자장을 인가하는 E-ICP를 이용하여 산화막 식각공정을 수행하였으며 식각율의 증가와 선택비 개선을 얻었다. 패턴이 형성되지 않은 기판에 있어서는 7900 Å/min의 높은 식각률과 3.1 %의 균일도를 얻을 수 있었으며, contact hole 식각에 있어서는 6800 Å/min의 높은 산화막 식각률과 3.5 : 1 정도의 감광제에 대한 선택비를 얻을 수 있었다.

C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 플라즈마에 O<sub>2</sub> 또는 Ar과 같은 첨가가스를 넣거나 E-ICP의 주파수 변화를 통하여 생성종의 상대적비의 조절이 가능함을 알 수 있었으며, E-ICP를 통하여 보다 개선된 산화막 식각특성을 얻을 수 있었다.

#### Acknowledgments

본 연구의 일부는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-30100 -003-3) 지원으로 수행되었음.

#### 참고문헌

[1] Kunihide Tachbana, Hideaki Kamisugi and Takeshi Kawasaki, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 38, 4367 (1999).

[2] Kungen Teii, Masaru Hori, Masafumi Ito. and Toshio Gto, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 18, 1 (2000).

[3] M.F. Doemling, N. R. Rugger, J. M. Cool and G. S. Oehlein, J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 16, 1998 (1998).

[4] Xi Li, marc Schaeapkens, and Gottlieb S. Oehrlein, J.Vac. Sci. Technol. A, Vol. 17, 2438 (1999).

[5] Michinari Yamanaka, Shigenori Hayashi,

Masafumi Kubota and Hideo Nakagawa, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 37, 2343 (1998).

[6] Toshiki Nakano, J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 17, 686 (1999).

[7] C. J. Mogab, A. C. Adams, and D. L. Flamm, J. Appl. Phys., Vol. 49, 3796 (1978).

[8] S.-B. Cho, H.-Y. Song, S.-G. Park, and B.-H. O, J.Vac. Sci. Technol. A, vol. 19, to be published (2001).

[9] 조수범, 송호영, 오범환, 오진성, 최창주, 김진웅, 제 8회 한국반도체학술대회 논문집, 611 (2001).