

<연구논문>

## ECR 플라즈마의 식각 공정변수에 관한 연구\*

안무선 · 지철목 · 김영진 · 윤송현 · 유가선

화인 반도체기술(주) 부설연구소  
(1991년 11월 20일 접수)

### A Study on the Characteristics of Poly-Si Etching- Process Parameter Using ECR Plasma

M.S. Ahn, C.M. Ji, Y.J. Kim, J.S. Liou, and S. H. Yoon

*Fine Semitech Co., Ltd./R & D Center*  
(Received November 20, 1991)

**요 약**—16M/64M DRAM 제조공정에 적용할 수 있는 ECR 방식의 플라즈마 etcher를 개발하여 Poly-Si 식각공정에 적용하였다. 공정압력, 사용가스 및 초고주파 전력의 공정변수 변화에 따른 Poly-Si의 식각율 및 선택비 변화를 조사하였다. 초고주파의 전력이 증가할수록 식각율과 Oxide에 대한 선택비가 증가하는 경향을 보였으며 6 mT의 공정압력에서 최적치를 보였다. 공정가스  $SF_6/SF_6 + Cl_2$ 의 값이 증가할수록 식각율 및 선택비의 감소가 있었으며 이는 최적 공정변수를 찾지 못하였기 때문으로 분석된다.

**Abstract**—The ECR(Electron Cyclotron Resonance) plasma etcher was developed for process of manufacturing 16M/64M DRAM and applied to poly-Si etching process. The etching rate and selectivity of poly-Si were investigated by changing the process factor of pressure gas and microwave power. The increasing power of microwave will have the trend of increasing the etching rate and selectivity of Oxide, and have suitable value process pressure at 6 mTorr. The increasing value of process gas  $SF_6/SF_6 + Cl_2$  will cause the decrease of etching rate and selectivity, this is because the best process factor is not found.

## 1. 서 론

RF 플라즈마를 이용한 반도체 식각기술은 현재 반도체 제조공정의 핵심기술로서 사용되고 있다. 그러나 16M DRAM급 이상의 초고집적 반도체의 0.5  $\mu m$  이하의 형상식각을 만족시키기에는 점차로 어려움이 가중되고 있다. 특히 미세형상의 이방성식각은 그 한계를 드러내고 있으며 이에 대한 대안으로 ECR

(Electron Cyclotron Resonance) 방식의 플라즈마에 의한 식각방식이 활발히 연구되고 있는 추세이다. 현재 반도체 선진국인 일본에서는 우수한 반도체 제조업체가 ECR방식을 채택하고 있으며 그 추세는 점차로 증가하고 있다.

1984년도에 64 K DRAM 제조를 시작으로 한국의 고집적 반도체 산업도 눈부신 발전을 거듭하여 미국, 일본 등의 반도체 선진국들의 경계대상이 될 정도로 괄목할 만한 성장을 해왔다. 그러나 장비기술의 낙후로 모든 장비를 선진국에서 수입하여 반도체 제조공정에 적용시켜 왔고 그 결과 반도체 제조에 있어서

\*본 연구는 과학기술처, 상공부, 체신부에서 공동으로 시행한 '고집적 반도체 기술(차세대 기억소자) 개발' 사업중 'ECR Etcher 장비 개발' 과제의 일환으로 수행되었음.

기반 기술이라 할 수 있는 장비 제조기술의 선진국 종속화가 심화되어 가고 있다.

특히 ECR 플라즈마를 이용한 반도체 식각은 1) 낮은 공정압력으로 인한 기관의 저 손상 및 오염의 극소화, 2) 고이온화에 의한 고밀도 플라즈마 형성 및, 3) 초미세 이방성식각을 실현할 수 있는 차세대 식각장치로 인식되고 있으며 이미 개발완료 단계에 있는 반도체 선진국에서는 이의 무기화 추세도 나타나고 있어 반도체 장비 제조기술 기반이 취약한 국내 현실에 미루어 이러한 장치 기술의 개발이 매우 시급한 실정이다.

본 연구에서는 당사에서 제작한 ECR 식각장비를 이용하여 N<sub>2</sub> 플라즈마에서의 초고주파의 전달 효율 특성을 조사하였으며 이를 토대로 Poly-Si의 식각변수로 예상되는 압력, 공정가스, 초고주파 전력의 변화에 따른 식각특성에 대하여 논의하였다.

## 2. 공정이론

이방성 식각을 형성하기 위해서는 기관에 수직으로 입사하는 입자가 존재하는 상태가 되어야 한다. 높은 기체압력(10 mT~100 mT)에서 방전을 일으키는 RIE 플라즈마 방식에서는 입사 이온의 운동에너지를 1 keV 이상 증가시켜야 이방성 식각이 가능하다. 그러나 기관소재의 유리(displacement) 에너지 Ed (crystal silicon의 경우 12.9 eV)[1]가 입사이온의 운동에너지에 비해 매우 작기 때문에 이에 의한 기관 손상 및 오염을 피할 수가 없다[2].

입사이온의 역학은 다음과 같다. 기관도 전기적으로 절연되어 있으므로 기관으로의 총전류는 0(zero)이 되어야 하며 따라서 기관은 floating potential하에 있고 기관 표면에도 이온 sheath가 형성된다. Floating potential을  $V_f$ , 이온 sheath를  $d_{is}$ 라 하면

$$V_f = \frac{kT_e}{2q_e} \ln \left( \frac{2m_e}{2m_i} \right) \quad (1)$$

$$d_{is} = \frac{2^{5/4}}{3} \left( \frac{i_{io}}{k_0} \right)^{-1/2} \left( \frac{m_i}{q_e} \right)^{-1/4} (-V_f)^{3/4} \quad (2)$$

로 주어진다. 여기에서  $m_e$ 는 전자질량,  $q_e$ 는 기본전기전하,  $i_{io}$ 는 이온포화 전류밀도이고  $k_0$ 는 진공에서의 유전상수이다. 이온포화 전류밀도  $i_{so}$ 는

$$i_{so} = q_e n_p \left( \frac{kT_e}{em_i} \right) \quad (3)$$

로 주어진다. 이온의 평균 자유행로  $\lambda_n$ 는 중성 입자와의 충돌에 의하여 정의되는데 0.5 mT의 압력하에서 약 10 cm 정도가 되며 이는 기체 압력에 반비례한다.

이온은 플라즈마내를 열에너지  $kT_e \ll |q_e V_f|$ 를 가지고 움직인다. 압력이 1 mT 이하이면  $\lambda_n$ 는  $d_{is}$ 보다 훨씬 커지게 되므로 이온 sheath내에서 충돌없이 전장방향으로 가속되며 전장은 기관표면에 수직하므로 이온은 수직하게 입사하게 된다. 반면에 압력이 100 mT 정도로 증가하면  $\lambda_n$ 가  $d_{is}$ 와 거의 같아지게 되어 이러한 조건에서는 이온들이 sheath내에서 중성 입자와 충돌하게 되어 기관표면에 random하게 입사한다.

중성 입자의 경우 floating potential 및 이온 sheath에 영향을 받지 않으므로 이 경우에 대한 별도의 고찰이 있어야 한다. 이온과 중성 입자가 식각에 미치는 영향에 대한 연구[3]의 결과에 따르면 약 1 mT 이하의 기체압력에서는 중성입자가 식각에 미치는 영향이 거의 없으나 10 mT 이상의 기체압력하에서는 이온에 의한 식각과 차이가 없었다. 즉 10 mT 이상의 압력에서는 중성 입자의 등방성 입사에 따른 등방성 식각이 일어나므로 이방성 식각의 실현이 불가능하게 된다.

## 3. 실험장치

본 연구에서 사용한 ECR 플라즈마 발생장치는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 플라즈마 발생실을 중심으로 하여 초고주파 공급장치, 가스주입장치, 자장코일, 냉각장치 및 반응실로 구성되어 있다. 초고주파는 주파수 2.45 GHz의 S-Band파로서 마그네트론에서 발생되어 CMP284 사각도파관을 통하여 플라즈마 발생실로 공급된다. 초고주파와 플라즈마의 임피던스 조절은 three stub tuner로 하게 되어 있으며 반사된 초고주파 전력은 방향성 정합기(directional coupler)로 측정하도록 되어 있다. 플라즈마 발생실은 일종의 원형 도파관 cavity로서 도파관과의 연결부위에는 초고주파를 잘 통과시키는 석영판을 설치하여 발생실내 진공도를 유지하도록 하였다.

플라즈마 발생실 주위를 둘러싸고 있는 자기장 형성 코일은 플라즈마 발생실에 공급된 2.45 GHz의 초고

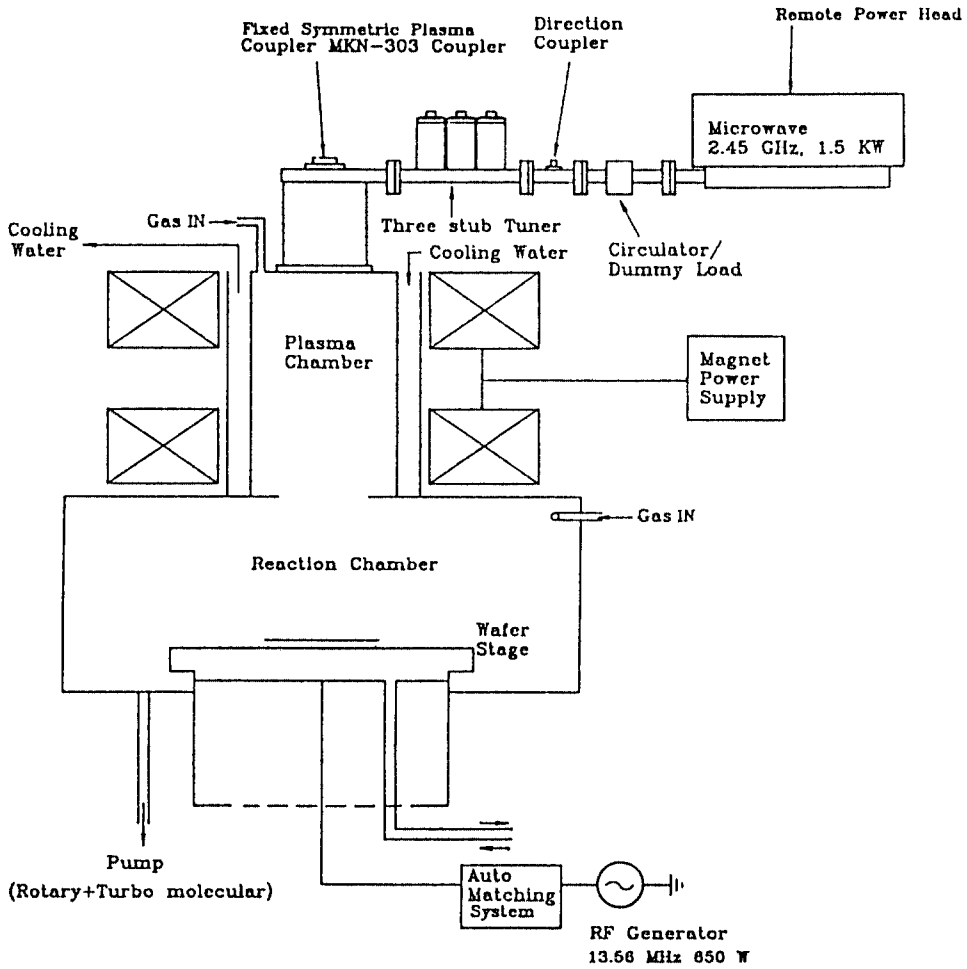


Fig. 1. ECR 플라즈마 발생장치 도식도.

주파에 대해, 전자가 자기장을 중심으로 회전 운동하는 주기와 공진(Electron Cyclotron Resonance)을 일으킬 수 있는 조건 이상으로 자계를 형성시켜서, 초고주파의 전기장으로부터 전자는 에너지를 공급받아 공급된 가스를 이온화시켜 방전을 발생시킨다. 또한, 자기장은 전자의 실효 평균이동 거리를 전자가 자기장 주위를 회전하는 회전반경(gyroradius)으로 감소시켜 발생된 전자의 확산을 줄여주며, 따라서 DC나 RF방전에 비해 중성 가스의 밀도대 플라즈마의 밀도의 비를 증가시켜준다.

플라즈마 발생실에서 발생된 플라즈마는 반응실로 유입되며, 웨이퍼가 놓이는 시편대 위로 도달하는 이온의 에너지를 조절하기 위해 시편대에 RF 전력을

인가하여 RF 전력으로부터 발생되는 플라즈마와 시편대 간의 sheath 전압으로 이온을 가속화시킨다. 시편대는 감광박 패턴을 갖는 반도체 기판처럼 매우 낮은 열저항을 갖는 화합물반도체상에 고품위 박막을 증착할 경우 냉각수를 흘려 시편의 온도상승을 방지하고, 또한 온도를 일정하게 유지시킴으로 식각공정의 재현성을 증가시킬 수 있다.

#### 4. 실험방법 및 고찰

4.1. 자장 변화에 따른 초고주파의 반사전력 변화  
모든 다른 변수들을 고정시켜 놓고 두 자장코일의 전류를 변화시켜 가면서 초고주파의 반사전력의 변

**Table 1.** 자장(코일에 인가된 전류)에 따른 초고주파의 입사전력과 반사전력

$I_{upp}(A)$	$I_{lower}(A)$	입사전력	반사전력
185	125	1280	3
160	110	1236	4
125	125	1085	391
110	125	1050	394
80	110	479	399

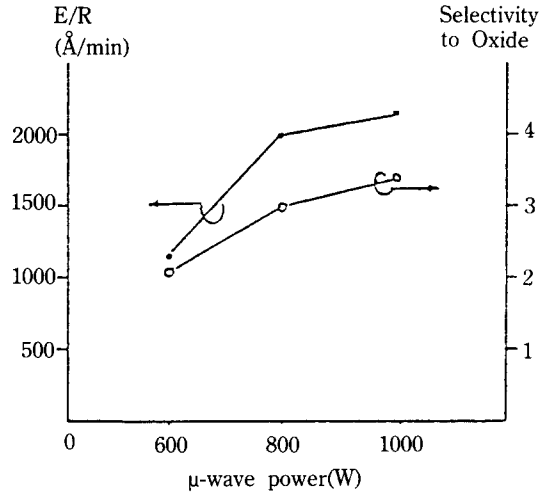
**Table 2.** 1200 W 초고주파의 입사전력에 따른 반사전력의 변화

입사전력 ( W )	반사전력(W)
1220	6
1120	46
1000	50
900	52
900 이하	아주 불안정

화를 조사하였다. 상단 자장코일에 흐르는 전류가 아래쪽보다 클 때에는 반사전력이 상당히 적어지는데 이는 초고주파 유입창 부분에서 높은 자장이 인가되게 되어 whistler mode 이론에 의해 입사된 파를 효과적으로 투과하여 공명점( $B=875\text{ G}$ ) 부분에서 대부분이 흡수되었기 때문으로 풀이된다. 따라서 이 때의 플라즈마는 매우 안정되어 있고 높은 밀도를 갖게 된다. 두 자장코일에 인가된 전류가 낮거나 역전된 경우에는 초고주파의 반사가 많아지게 되고 플라즈마 상태도 불안정하게 되는데 이는 초고주파 유입창 부근의 자장이 높지 않아 효율적 투과가 이루어지지 않았기 때문인 것으로 생각된다.  $N_2$  가스량 5 SCCM 반응로내 압력 2.1 mTorr, 초고주파 전력 1,300 W의 환경에서의 자장의 변화에 따른 반사전력의 변화를 Table 1에 나타내었다.

**4.2. 초고주파 전력변화에 따른  $N_2$  플라즈마 상태변화**

정상적인 공정조건하에서  $N_2$  플라즈마는 낮은 초고주파 전력에서 매우 불안정하였다. 안정된  $N_2$  플라즈마는 초고주파가 900 W 이상되는 영역에서 얻어졌으며 전력이 증가할수록 반사전력이 감소되어 더욱 안정됨을 볼 수 있었다. 900 W 이하에서는 플라즈마의



**Fig. 2.** 초고주파 전력증가에 따른 식각율.

상태가 불안정하였을 뿐만 아니라 반사전력도 매우 불안정하여 일정한 값을 갖지 않았다. 이는 초고주파의 부하로서 작용하는 플라즈마 밀도가 불안함을 의미한다.

두 자장코일의 전류가 각각 160 A와 110 A, 초고주파 전력 1200 W, 압력 2.1 mT,  $N_2$  가스량 5 SCCM일 때 초고주파에 대한 반사전력의 변화를 Table 2에 나타내었다.

$N_2$  가스를 이용한 플라즈마 형성에 있어서 안정된 플라즈마를 형성하기 위해서는 초고주파의 전력이 900 W 이상이 되어야 함을 알았다. Ar 플라즈마에서는 낮은 초고주파 전력에서도 안정된 플라즈마를 얻고 있으며 이러한 차이는 두 원소의 이온화 및 진공 해리도 차이에 기인된 것으로 여겨진다.

**4.3. Poly-Si 식각 공정변수 변화에 따른 식각율 및 선택비 변화**

본 ECR 식각장비는 플라즈마 발생실과 반응로를 포함한 부피가 38 l이며 공정에 사용되는 가스로  $Cl_2$ ,  $SF_6$ ,  $O_2$ , He 등이 있다. Poly-Si 식각의 주된 가스로는 이온충격 효과에서 높은 반응성과 지향성을 나타내는 chlorine( $Cl_2$ )이 주로 사용되었으며, 이에  $SF_6$  가스를 첨가함으로써 신뢰성이 높은 식각이 가능한지를 조사하였다. 또한 산화막과의 선택비를 개선하기 위해  $O_2$ 를 반응실로 도입하여 실험하였다.

초고주파의 전력 600~1200 W, RF 전력 0~30 W,

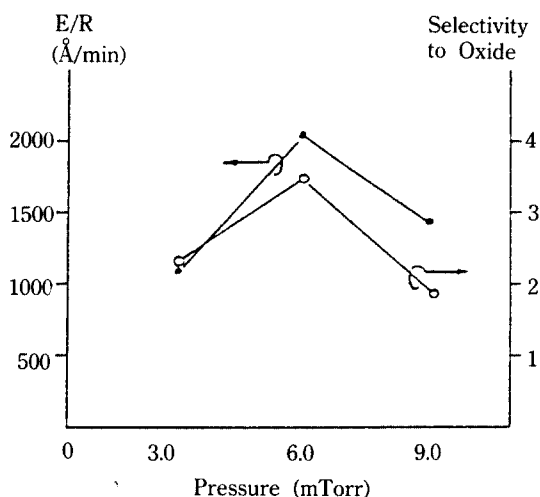


Fig. 3. 공정압력에 따른 식각율

공정압력 1~20 mT 등으로 이들 변수들을 변화시키며 식각 경향을 조사하였다. 이에 대한 웨이퍼의 준비로서 Poly-Si 400 Å ( $10 \pm 2.12 \Omega/m$ ), thermal oxide 6000 Å를 준비하였다.

전체적인 공정적용의 특징은 초고주파 전력이 증가할수록 Poly-Si의 식각율이 증가하는 것을 볼 수 있으며(Fig. 2), 6 mT의 압력에서 가장 큰 식각율을 얻을 수 있었다(Fig. 3). 또한 SF<sub>6</sub>의 비율이 적어질수록 식각율이 커졌는데 이는 아직 만족할만한 식각 범위를 찾지 못한데서 기인한 것이라고 여겨진다(Fig. 4). 전체적으로 Poly-Si의 산화막에 대한 선택비는 2~3정도로 매우 낮게 나타났으며 이는 모든 변수에 대한 최적조건을 찾아내지 못하였기 때문으로 앞으로 최적 식각조건을 찾아 내어야 할 것이다. Poly-Si의 PR에 대한 선택비도 1.5 정도이나 앞으로 좀더 나은 결과를 얻을 수 있을 것으로 보여진다.

전체적으로 지금까지 공정시험을 한 결과 몇 가지 특징은 Cl<sub>2</sub> 가스만으로는 식각율이 저조했으며 SF<sub>6</sub>를 첨가했을 경우에 식각율 2000 Å 이상을 달성할 수 있었다. 5~8 mT 부근에서 플라즈마가 전체적으로 안정되며, 이 온화한 분위기에서 PR의 burring을 방지하고 uniformity를 향상시킬 수 있었다. 또한 압력이나 DC bias를 조절하여 가시적으로 1 mm 이하의 sheath를 형성할 때 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 이는 sheath 내에서의 낮은 전자밀도가 PR에 열적 손상을 적게 미치기 때문이 아닌가 추측된다. SF<sub>6</sub>+Cl<sub>2</sub>

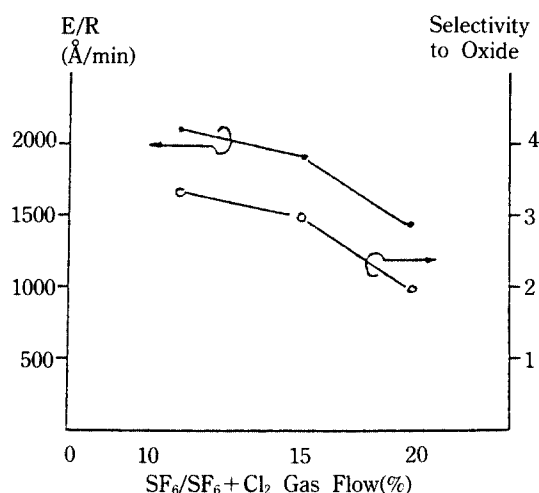


Fig. 4. SF<sub>6</sub>/SF<sub>6</sub>+Cl<sub>2</sub> 가스량에 따른 식각율.

분위기에서 He를 첨가하였을 때 플라즈마의 에너지가 높아지게 되어 PR burning의 주요 원인이 되었다. Cl<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>를 etchant로 사용하는 식각법에 비해서 O<sub>2</sub> 대신 SF<sub>6</sub>를 가하였을 때 비록 초고주파를 조정 시키기는 매우 어려웠으나 높은 식각율과 안정된 플라즈마의 분위기를 얻을 수 있었다.

## 5. 결 론

N<sub>2</sub> 플라즈마를 이용하여 두 자장코일의 전류를 변화시켜 가면서 초고주파의 반사전력의 변화를 조사하였다. 상단 자장코일에 흐르는 전류가 하단코일쪽보다 클 때에는 입사되는 파를 효과적으로 투과시켜 반사파를 줄일 수 있음을 알았다. 그리고 N<sub>2</sub> 가스를 이용한 플라즈마 형성에 있어서 안정된 플라즈마를 형성하기 위해서는 초고주파의 전력이 900 W 이상이 되어야 했고, Ar 플라즈마에서는 낮은 초고주파 전력에서 안정된 플라즈마를 얻었으며 이러한 차이는 두 원소의 이원화 및 진공해리도 차이에 기인된 것으로 여겨진다.

Poly-Si을 식각하기 위해 여러 가지 가스가 사용되었으나 높은 반응성과 지향성을 나타내는 Cl<sub>2</sub>가 사용되었으며, 식각율을 높이기 위해 SF<sub>6</sub>를 첨가하여 2000 Å 이상의 식각율을 달성하였다. 그리고 5~8 mT 부근에서 플라즈마가 전체적으로 안정되었으며, 이 온화한 분위기에서 PR의 burring을 방지하고 unifor-

mity를 향상시킬 수 있었다. Poly-Si의 산화막에 대한 선택비는 전체적으로 낮았으며 이는 모든 변수에 대한 최적조건을 찾지 못했기 때문이며 앞으로 최적 식각 조건을 찾아내야 할 것이다.

### 참고문헌

1. G. Carter and J. S. Colligon, "Ion Bombardment of Solids" (Heineman Educational Books Ltd., London, 1968) p. 214
2. L. M. Ephrath, D. J. Dimaria and F. L. Pesavento, *J. Electrochem. Soc.*, **128**, 2415 (1981).
3. Keizo Suzuki, Shigerum Nishimatsu, Ken Ninomiya and Sadayuki Okudaria, Central Research Laboratory, Hitachi Ltd., Kokubunji, Tokyo 185, Japan.