

자화된 플라즈마의 특성 및 식각에의 응용

°신 경섭, 이 호준, 황 기웅
서울 대학교 공과대학 전기공학과

The characteristics of Magnetized plasma and its applications to Etching

Kyoung Sop Shin, Ho Jun Lee, Ki Woong Whang
Department of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract

The effects of the magnetic field and gas pressure on the etching characteristics were investigated in the axial magnetic field enhanced RIE system. This system has many advantages compared with the conventional RIE system : the capability of operating at low pressure, low self-bias voltage, high electron density and high etch rate in the low pressure, but also has disadvantages such as the nonuniformity of plasma density which intensifies as the magnitude of magnetic field increases. To overcome this problem we made some grooved anode and tried to find the optimal pressure and B-field strength.

I. 서론

집적회로의 고밀도화에 따라 좁은 선폭에 비해 깊은 contact hole, via hole 또는 trench 등을 식각할 수 있는 plasma source가 요구되고 있다. 이때 개구의 크기가 감소함에 따라 식각속도가 감소하게 되는 microloading effect가 문제인데, 낮은 공정압력 하에서는 이를 해결할 수 있음이 알려져 있다.⁽¹⁾ MERIE(Magnetron Enhanced RIE), ECR 식각 장비, Helicon etcher 등은 낮은 중성기체 압력에서도 높은 이온화율을 갖는 장비로서 각광을 받고 있다. 이중 MERIE의 경우 substrate에 평행한 자장을 걸어주므로 wafer에서 방출된 2차 전자가 sheath에서의 전장과 수직인 자장에 의해 한쪽쪽으로 움직여서 국부적으로 밀도가 높은 플라즈마가 생겨서 egde로 갈 수록 gate 산화막에 damage를 유발하기도 한다.⁽²⁾ 본 논문에서는 진극에 수직인 방향의 magnetic field를 가하여 하전입자의 wall 방향의 diffusion loss를 줄임으로써 얻어지는 효과를 B-field의 세기 및 chamber pressure에 따라 조사하였다. Plasma 밀도의 증가와 self-bias voltage의 감소를 볼 수 있었고, 공간적으로 불균일한 plasma 밀도를 개선하기 위하여 grooved anode를 적용 그 효과를 살펴보았다.

II. 실험장치 및 결과

1. 실험장치

아래 그림1과 같은 원통형의 반응실에 평판구조의 전극을 갖고 전자석 두개를 위 아래로 배치한 실험장치를 설계, 제작하였다. 두 평판은 지름 150mm이고 아래평판, 즉 cathode에는 돌레에 shield를 두고 있다. RF는 13.56MHz가 사용되었으며, 배기는 Turbo Molecular Pump (400 l/sec)와 back pumping 용으로 Rotary Pump (2400 l/min)를 사용하였다. Chamber 및 진극의 재료는 비자성체인 SUS316을 사용하였다.

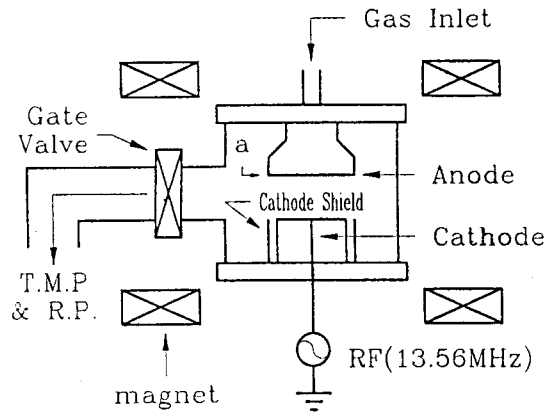


그림 1. System 개략도

2. 실험결과

2.1. Langmuir probe 실험

실험에 사용된 probe는 반경 0.15mm의 tungsten wire로 제작한 cylindrical probe로서 tip 끝의 길이는 8mm로 하였다. 실험은 전극간격 5.5cm, Ar 30scm, RF 100W에서 압력과 자장의 세기를 변수로 하여 수행하였다. Probe tip의 방향은 자장과 수직으로 향하게 하여 자장에 의한 free flux의 제한을 최대한 줄이고자 하였다. Probe 실험에서 얻고자하는 바는 전장과 평행한 자장을 인가하여 radial 방향으로의 확산계수 $D_r = D / (1 + \omega^2 \tau^2)$ ($\omega = eB/m$; cyclotron freq. τ : collision time)가 줄게하고 이러한 confine 효과에 의해 plasma density가 얼마나 증가하였는가를 보는 것이었다. 그림2, 그림3을보면 자장에 의한 density 증가가 보이고 있는데,

저압에서 그 효과가 더 뚜렷이 나타나고 있다. 압력이 낮을 때 collision time의 증가로 확산계수가 더 큰 폭으로 줄기 때문이다. 또한 자장의 세기가 큰 경우 center에서 먼 side로 갈수록 density가 오히려 더 높았는데, 이는 anode 옆면 (그림1의 a)에서 생긴 sheath 전장의 방향과 자장이 수직이 되어 $\vec{E} \times \vec{B}$ drift force에 의해 confine된 전자들이 edge에서 고밀도의 plasma를 발생시키기때문인 것으로 사료된다.

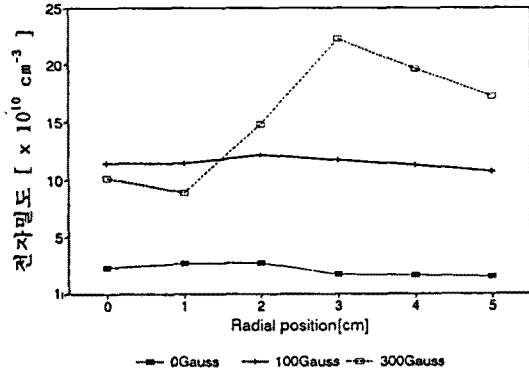


그림 2. Electron density (10 mTorr)

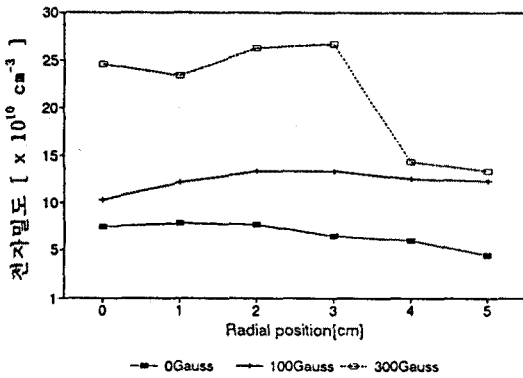


그림 3. Electron density (100 mTorr)

2.2. Etching 실험

CF₄ 30 sccm, RF power 200W, 전극간격 5.5 cm에서 Si 기판위에 thermal oxidation으로 성장시킨 SiO₂막(두께:6000 Å)을 2분 동안 식각하였다. 식각 후 남은 SiO₂막의 두께는 nanospec으로 측정하여 etch rate를 구했다. 100mTorr보다는 10mTorr에서 자장에 의한 etch rate의 증가가 현저히 나타났고, 자장이 강할 수록 불균일하게 식각되었다. 이러한 nonuniformity는 앞에서 살펴보았듯이 anode side에서의 $\vec{E} \times \vec{B}$ drift force때문으로 보인다. 이를 개선하기 위한 노력으로 grooved anode(폭 15mm, 깊이 15mm)를 제작했다. 그림 4에서 보듯이 b면에서의 전장의 방향과 자장이 수직이 되게 함으로써 edge에서만 존재하던 $\vec{E} \times \vec{B}$ force를 anode center에서도 만들어 준 것이다.

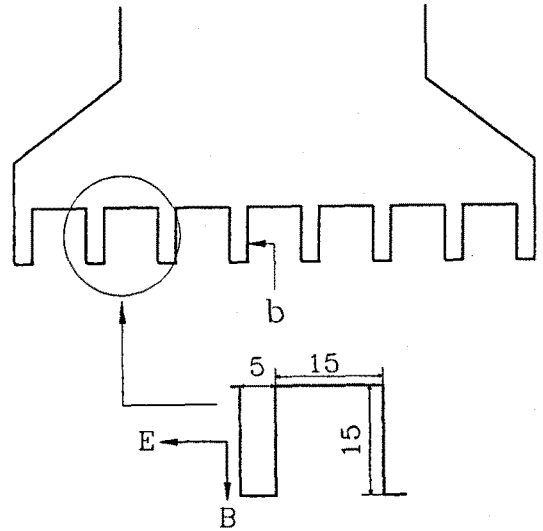


그림 4. Grooved anode

그림5, 그림6에서 보듯이 grooved anode를 사용했을 때 center에서 etch rate가 증가하였다. Grooved anode가 없을 때에도 10mTorr에서는 50가우스, 100mTorr에서는 100가우스일 때 비교적 개선된 식각특성을 얻었다.

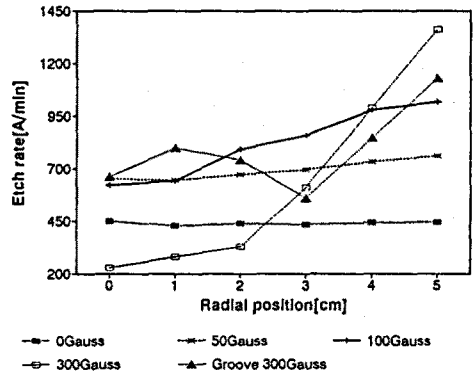


그림 5. SiO₂ etch rate (10 mTorr)

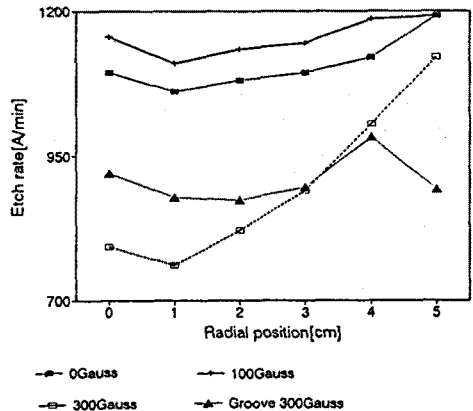


그림 6. SiO₂ etch rate (100 mTorr)

2.3.Self-bias voltage 측정

그림7에서 보듯이 자장이 있을 때 self-bias voltage가 낮게 나타났다. 일반적으로 sheath의 두께는 λ_D (Debye length ; $(\epsilon_0 k T_e / n_e e^2)^{1/2}$)의 수 배에 해당한다.⁽³⁾ 따라서 자장에 의한 n_e 의 증가는 λ_D 의 감소를 가져오고 이는 sheath 두께의 감소를 의미한다. Child-Langmuir space charge limited current eq.($V \propto X^{4/3}$)에서 보듯이⁽⁴⁾ sheath 두께(X)의 감소는 self-bias voltage를 낮아지게 한다. 그밖에도 자장이 가해졌을 때 플라즈마가 confine되므로 anode area 대 cathode area의 비가 1에 가까워지서 self-bias voltage가 낮아지게 되는 것이다.⁽⁵⁾

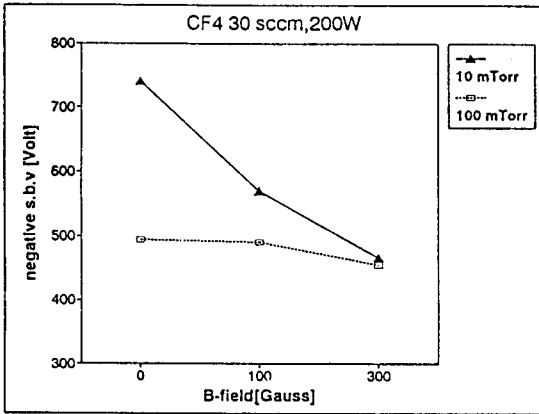


그림 7. Self-bias voltage

III. 결론

Volumic B-field를 이용하여 electron을 confine시키는 mechanism을 이용하여 새로운 식각장비를 제작하였는데 자장이 인가됨에 따라 electron density가 증가하고 etch rate도 높아졌으며 특히 낮은 압력하에서 그 효과가 뚜렷이 나타났다. 그러나, 장비의 구조상 강한 자장이 인가되었을 때 anode의 edge에서 이와 수직인 sheath 전장을 피할 수 없었으며, 이러한 $\vec{E} \times \vec{B}$ drift force에 의해 confine된 전자들 때문에 edge에서 오히려 더 높은 식각율을 보였다. 자장이 셀수록 nonuniformity가 심하였고 저압에서 더 뚜렷하였다. 이의 해결을 위해 grooved anode를 제작하여 anode center에서도 $\vec{E} \times \vec{B}$ drift force를 생기게 하였다. 10 mTorr에서는 50가우스, 100 mTorr에서는 100가우스일 때 etch rate가 증가하면서도 uniform한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- 1) D.Chin, S.H.Dhong and Long, J. Electrochem. Soc. 132, pp1705, 1985
- 2) 신 형철, "Spatial Distributions of Thin Oxide Charging in Reactive Ion Etcher and MERIE etcher", IEEE, vol14, No2, pp1-3, Feb, 1993
- 3) I.H. Hutchinson, "Principles of plasma diagnostics", Cambridge univ. press, p61
- 4) B.Chapman, "Glow Discharge Process", John Wiley and Sons, 1980
- 5) 한 해욱, "The effects of Surface Magnetic Field on RIE", 서울대학교 석사 학위 논문, 1988