

E-ICP에 의한 산화막 식각특성

조수범, 송호영, 박세근, 오범환
인하대학교 전자 전기 컴퓨터공학부
반도체 전공
Tel: 032)860-7438/Fax: 032)875-5882

Oxide etching characteristics of Enhanced Inductively Coupled Plasma

Institute of Semiconductor and Thin Film Technology, Inha university, Incheon, Korea
Soo-Beom Cho, Ho-Young Song, Se-Geun Park, Beom-hoan O
E-mail: obh@inha.ac.kr

Abstract

We investigated the etch rate of SiO₂ in E-ICP, ICP system and the addition gas (O₂, H₂) effect on SiO₂ etch characteristics. In all conditions, E-ICP shows higher etch rate than ICP.

Small amount of O₂ addition increase F atom and O^{*} concentration. at optimized condition (30% O₂ in CF₄, 70Hz) E-ICP system shows highest etch rate (about 6000Å). H₂ addition in CF₄ plasma make abrupt decrease Si etch rate and moderate decrease SiO₂ etch rate.

서론

반도체 공정에 있어 직접도를 높이기 위한 미세선폭화와 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 ICP(Inductively Coupled Plasma), ECR(Electron Cyclotron Resonance), SWP(Surface Wave Plasma), Helicon, Helical Resonance,

UHF(Ultra High frequency plasma)등의 플라즈마소스들과 새로운 개념의 공정방법들이 개발되고 있다^[1]. 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^[2]. 이중 영구자석을 통해 자기장을 인가하거나, 직류전류를 인가를 통한 약한 축방향의 자기장인가와 같은 경우는 플라즈마밀도증가를 통해 식각율은 높일 수 있는 효과를 얻을 수 있었으나 균일도 향상 측면에는 한계가 있는 것을 보여준다^[2]. 본 연구에서는 ICP(inductive coupled plasma)에 헬륨홀츠타입의 코일을 설치하고 교류와 직류를 조합하는 방식으로 축방향의 약한 시변자장을 인가하여 플라즈마의 특성을 대폭 향상 시키고 이를 산화막식각에 활용하였고 CF₄가스와 이에 첨가되는 가스(O₂, H₂)에 따른 산화막의 식각특성 변화를 측정하였다.

본론

실험방법

1. 실험장치의 구성

그림1은 E-ICP챔버의 구성도이다. 본 연구에서는

ICP에 축방향의 균일한 자기장을 인가하기 위하여 헬륨홀츠타입의 코일을 ICP챔버측에 설치하고 이때 상부 코일에는 교류를 인가하고 하부코일은 직류를 인가하였으며 이때 인가되는 직류·교류전류의 크기는 1.53A로 일정하게 유지하였고 이를 통해 축방향의 약한 자기장(15G미만)이 인가되게 된다. 이렇게 직류와 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 발표한바 있다 [3, 4].

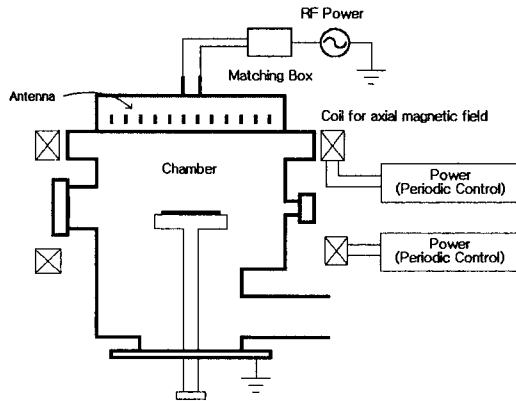


그림1 E-ICP의 개념도

2. 식각에 사용된 산화막

본 실험에서는 산화막의 식각특성을 측정하기 위하여 아래와 같은 테스트패턴이 사용되었으며 Si기판위에 PECVD로 성장된 산화막(BPSG)과 그 위에 약 1 μ m로 도포된 감광제가 마스크로 사용되었다.

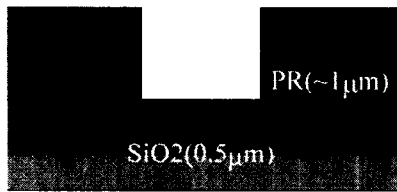


그림 2. SiO₂ pattern

실험결과

1. E-ICP의 산화막식각특성

그림3 에서는 첨가가스가 없는 CF₄에서 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^[3]와 유사하였으며 저압인 5mtorr에서 측정된 식각율이 전반적으로 낮았다.

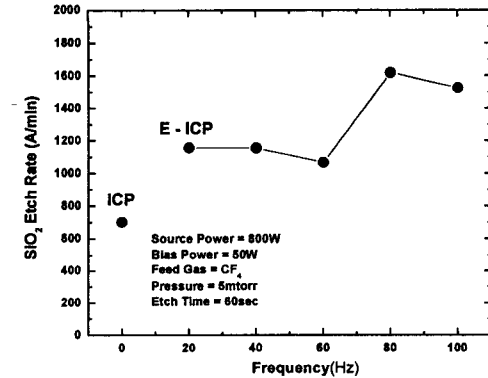


그림3 주파수에 따른 E-ICP의 식각특성변화

2. O₂ 분압에 따른 산화막 식각특성변화

통상적으로 산화막 및 실리콘 식각공정에서 O₂의 첨가는 F atom의 상대적인 비율을 높여 산화막 및 실리콘의 식각율을 높여주는 영향을 하지만 반면에 Si과의 선택비의 감소를 초래하는 영향이 있는 것으로 알려져 있다.^[5] 본 실험에는 ICP에서 O₂의 분압에 따른 산화막의 식각율의 변화를 측정하였다.

그림 4에서 볼 수 있듯이 CF₄에서 O₂의 분압증가에 따라 식각속도가 점차 증가하고 30%에서 최대의 식각율이 측정되었다.

이러한 식각실험의 경향과 산화막 및 실리콘의 식각종(echant)인 F과 감광제의 주된 식각종인 O*의 크기와의 관계를 분석하기 위해 O₂분압에 따른 OES(Optical Emission Spectroscopy)측정을 하였다. 측정결과 그림5에서 보듯 최대의 식각율이 얻어졌던 O₂가 30%치환된 경우에 F가 최대로 생성됨을 알 수 있었고 반면 감광제의 주된 식각종인 O*의 비율은 산소의 분압에 따라 계속적으로 증가하는 현상을 발견하였다.

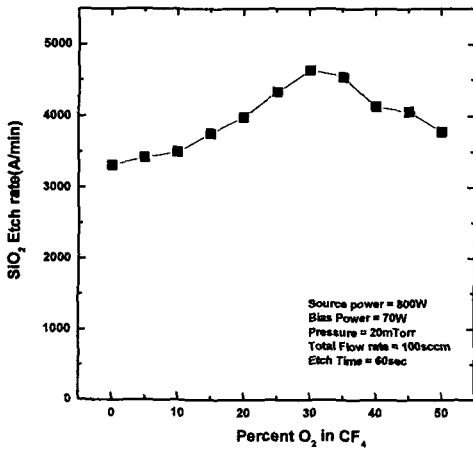


그림 4 O₂의 분압에 따른 산화막식각특성

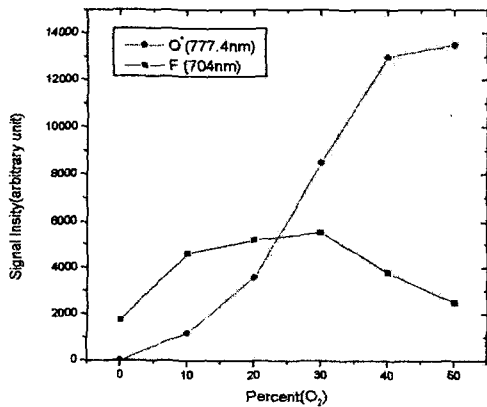


그림 5 O₂의 분압에 따른 OES 측정결과

그림6 은 CF₄/O₂에서 ICP와 E-ICP의 식각특성을 비교하였다. 그림4에서 최대의 식각율이 얻어졌던 O₂의 분압으로 고정시키고 E-ICP의 주파수를 변화시키면서 산화막 식각율의 변화를 측정하였다.

측정결과 자기장이 인가되지 않은 ICP의 경우 가장 낮은 식각율을 보인 반면 M-ICP 방식, 즉 직류전류를 사용하여 정자계(static magnetic field)를 인가하는 방식과 시변자계를 인가하는 E-ICP에서는 5000Å/min 이상의 비교적 높은 식각율이 얻어졌다. 특히 E-ICP의 경우 최적화된 주파수 70Hz에서 M-ICP방식보다 높은 식각속도(약 6000Å/min정도)가 얻어졌다. 위와

같은 CF₄/O₂에서 주파수에 따른 E-ICP식각율의 변화는 80Hz에서 최대의 식각율이 얻어졌던 CF₄만의 식각율의 변화곡선[그림3]과 상당히 유사함을 알 수 있다.

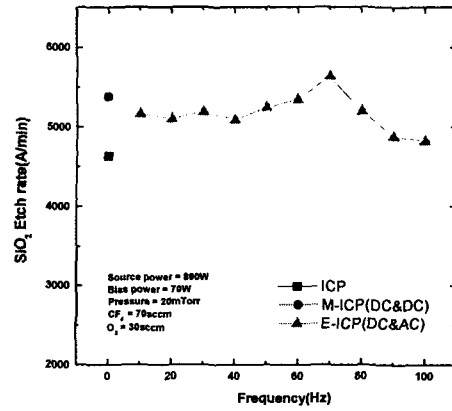


그림 6 주파수에 따른 E-ICP 식각특성

3. H₂의 분압에 따른 산화막 식각특성

산화막식각을 하는 경우 수소의 치환의 영향은 다음과 같이 분석이 가능한데, HF를 통해 Si의 식각종인 F를 제거하는 효과와 fluorocarbon polymer의 형성을 통한 폴리머의 증착과 이를 통한 선택비향상의 측면으로써 분석 가능하다.^[6]

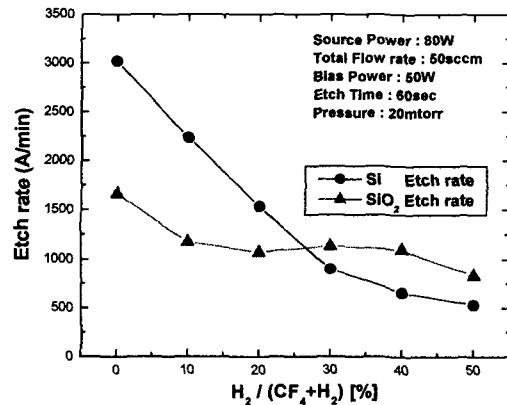


그림 7 산소의 첨가에 식각특성변화

위의 그래프는 H₂의 분압에 따른 산화막과 실리콘의 식각율의 변화를 측정된 실험결과이다. H₂의 첨가에 따라 실리콘의 식각율은 급격하게 감소하여 H₂가 50%치환된 경우는 최초 H₂ 첨가되기 전에 약 3000Å/min이었던 실리콘의 식각율이 600Å/min이하로 급격

히 감소하는 반면, 산화막의 경우는 전반적으로 식각율이 감소하는 경향은 보이지만 1200Å/min이상의 식각율을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 또한 H₂의 분압이 커짐에 따라 식각된 실리콘 위의 표면이 거칠어지는 것으로 보아 H₂의 첨가에 따라 HF의 형성을 통한 실리콘과 산화막 식각율의 감소와 더불어 폴리머의 형성이 촉진되는 것으로 보여진다.

그림8에서는 바이어스파워를 50W에서 70W로 올리고 그림 7과 동일한 조건에서 H₂의 분압에 따른 E-ICP와 ICP의 식각특성의 변화를 측정된 결과이다 80Hz의 주파수로 설정된 E-ICP에서 모든 H₂에 분압에 대해서 높은 식각율을 보여주었고, 그림7과 달리 20%의 H₂가 치환이 되었을 때 가장 높은 식각율이 측정되었고 그 이후로는 급격하게 감소하는 산화막의 식각율이 측정되었다.

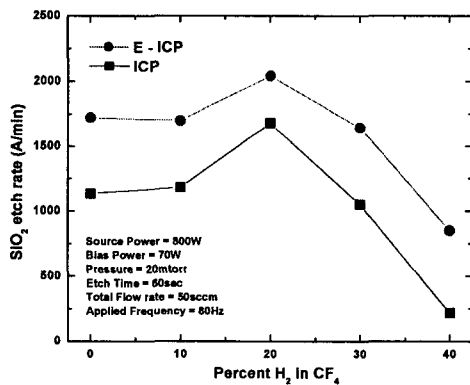


그림 8 H₂의 분압에 따른 E-ICP와 ICP의 식각특성

결론

본 연구에서는 CF₄가스를 사용한 산화막식각에서 E-ICP와 ICP의 식각특성 및 첨가가스인 O₂와 H₂의 분압에 따른 산화막의 식각특성을 측정하였다.

E-ICP의 경우 첨가가스의 종류와 분압과 무관하게 ICP에 비해 월등히 높은 산화막식각율을 보였으며, 최적화된 E-ICP의 조건하에서 약 6000Å의 높은 식각율을 얻을수 있었다. OES를 통한 플라즈마진단결과, 가장 높은 식각율이 얻어졌던 O₂의 분압과, F atom의 양이 최대가 되는 산소의 분압이 일치하였으며, O₂ 분압의 증가에 따라 감광제의 주된 식각종인 O⁺의 양이 증가하는 경향을 측정하여었다.

H₂의 경우, H₂의 분압에 따라 산화막의 식각율은 완만하게 감소한 반면 실리콘의 식각율은 급격하게 감소하여, 실리콘과의 높은 선택비를 얻을 수 있는 첨가가스임을 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) 1007 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, in press, 1999.
- [4] 정재성, 김철식, 김철호, 박세근, 오범환, "축방향 자기장의 주기적 단속을 이용한 유도결합형 플라즈마 식각장비의 고품위플라즈마형성", 전자공학회지, Vol.21, No 2, pp.589~593, 1998.
- [5] K. H. R. Kirmse et al., "SiO₂ to Si selectivity mechanism in high density fluorocarbon plasma etching", J. Vac. Sci Technol. 1995
- [6] L. M. Ephrath et al, 'Selective Etching of Silicon Dioxide using Reactive Ion Etching With CF₄-H₂' J. Electrochem. Soc. 126(8), 1419, 1979