

On The Etching Mechanism of ZrO₂ Thin Films in Inductively Coupled BCl₃/Ar Plasma

Mansu Kim¹⁾, Hee Sung Jung¹⁾ Nam-Ki Min¹⁾, Hyun Woo Lee²⁾,
and Kwang-Ho Kwon¹⁾

Dept. of Control and Instrumentation Engineering, Korea University, Jochiwon, Chungnam,
339-700¹⁾

Dept. of Computer and Applied Physics, Hanseo University, Haemi-myun, Seosan-City,
Chungnam, 356-706²⁾

Abstract BCl₃/Ar ICP 플라즈마를 이용한 ZrO₂ 박막의 식각 메카니즘이 실험 결과와 모델링을 통해 연구되었다. Ar 가스의 증가에 따라, ZrO₂의 식각 속도는 선형 변화의 경향을 보이지 않았고, Ar의 약 30% - 35%에서 41.4nm/min의 최대의 속도를 나타내었다. Langmuir probe 측정과 plasma 모델링 결과로부터, BCl₃/Ar 가스 혼합비가 플라즈마 파라미터와 active species의 형성에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다. 한편 surface kinetics 모델링 결과로부터, ZrO₂의 식각 속도는 ion-assisted chemical reaction mechanism에 의해 결정됨을 확인하였다.

Key Words : ZrO₂, etch rate, dissociation, ionization, etch mechanism

1. 서론

ZrO₂와 같이 고유전율 물질이 0.1μm이하의 CMOS 기술에서 게이트 유전 물질로 SiO₂를 대신하여 큰 관심을 끌고 있다.[1-2] ZrO₂ 박막에 대한 이방성 건식 식각 공정의 개발은 정밀한 패턴 형성 뿐만 아니라 sub-micron 소자를 구현하기 위하여 풀어야 할 중요한 문제이다.

본 연구에 있어, 주된 플라즈마 파라미터로는 BCl₃/Ar 가스비 변화를 선택하였으며, ZrO₂ 박막의 식각 메카니즘을 해석하기 위하여 plasma chemistry 및 surface kinetics model이 개발되었다.

2. 실험 및 모델링

ZrO₂ 박막은 PEALD(Plasma Enhanced Atomic Layer)방법에 의해 150°C에서 Si(100)위에 130-nm 두께로 증착되었다. 또한 ZrO₂/Si의 선택비를 알아보기 위해 Si(100) 기판을 사용하였다.

식각 실험은 BCl₃/Ar 가스를 이용하여 ICP에서 행하여 졌다. 그림 1 에 본 실험에 사용된 ICP 식각 장비의 개략도를 나타내었다.

식각 공정 동안 기판의 온도는 17°C로 유지되었고, 식각 조건은 총 가스량 60sccm, 공정압력 4 mTorr, ICP power 500W, 그리고 bias power 100W였다. 식각된 ZrO₂ 시료의 크기는 2×2cm²였다.

식각 속도와 선택비를 측정하기 위하여 ZrO₂과 Si의 식각된 깊이를 surface profiler(α-step 500, Tencor)를 사용하였다.

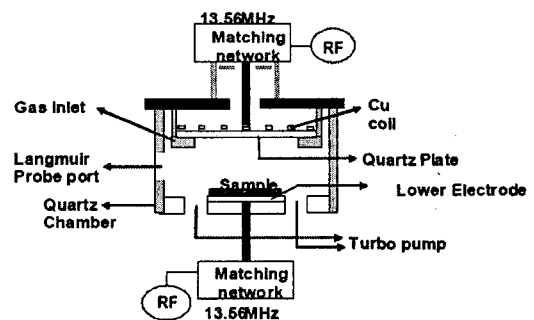


그림 1. ICP etcher의 개략도

플라즈마 특성(이온 밀도, 플라즈마 온도 등)은 Double Langmuir Probe system을 이용하여 측정되었다. 로 해석 하였다.

Plasma active species의 밀도와 flux에 관한 데이터를 추출하기 위하여, 본 연구에서는 Maxwellian electron energy distribution function (EEDF) 및 volume kinetics에 대하여 quasi-stationary approximation을 갖는 a simplified global (0-dimensional) model을 이용하였다. 또한 본 모델에서는 기존에 보고된 몇몇 결과들을 고려하였다. 첫째, BCl₃의 경우, ICP

plasma에서 형성되는 주요 neutral ground-state dissociation products는 Cl과 BCl₂이며, 둘째, Cl 원소의 주요 원은 BCl₃ 분자의 electron impact dissociation이며, 셋째, 주요 음 이온은 Cl⁻이며, 마지막으로, 주요 양이온은 BCl₂⁺ 및 Cl⁺이다. 표 1에 본 모델에서 고려된 주요 반응 과정을 나타내었다.

표 1. BCl₃/Ar 플라즈마 시뮬레이션을 위한 반응

Process	ϵ_0 (eV)	Rate coefficient ^{a)}
BCl ₃ +e→BCl ₂ +Cl+e	4.61	$1.27 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-10886/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl+2Cl+e	8.65	$2.14 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-9765/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl ₂ +Cl+2e	12.6	$7.54 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-150110/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl+2Cl+2e	20.02	$2.39 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-237490/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl ₂ +Cl+2e	23.45	$5.81 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-266700/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl ₂ +Cl ⁻	0.14	$2.18 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-10749/T_e)$
BCl ₃ +e→BCl ₂ +2e	10.1	$1.03 \times 10^{-21} T_e^{-2.202} \exp(-122160/T_e)$
Ar+e→Ar+2e	15.76	$7.07 \times 10^{-21} T_e^{-2.457} \exp(-187120/T_e)$
Cl+e→Cl+2e	13.5	$5.09 \times 10^{-21} T_e^{-2.457} \exp(-155900/T_e)$
Cl+n(BCl ₃ ⁺ , Cl ⁺ , Ar ⁺)→n+Cl	-	1×10^{-21}
Ar ⁺ , Cl ⁺ , BCl ₃ ⁺ →wall	-	γ_0/d_p
Cl→wall	-	$\gamma(Cl) \sim 0.05$
BCl ₂ →wall	-	$\gamma(BCl_2) \sim 0.05$

되었다. 본 연구를 통해 Langmuir probe 측정과 plasma 모델링 결과로부터, BCl₃/Ar 가스 혼합비가 플라즈마 파라미터와 active species의 형성에 미치는 영향이 검토될 것이다. 한편 surface kinetics 모델링 결과로부터, ZrO₂의 식각 속도가 chemical 및 physical pathway에 의해 결정됨을 보여 줄 것이다.

참고 문헌

- [1] S. J. Yun, J. W. Lim, and J. H. Lee, Electrochem. Solid-State Lett. 8 (2005) F47.
- [2] C. Lee and M. A. Lieberman, J. Vac. Sci. Technol. A 13 (1995) 368.
- [3] P. N. Wainman, M. A. Lieberman, A. J. Lichtenberg, R. A. Stewart, and C. Lee, J. Vac. Sci. Technol. A 13 (1995) 2464
- [4] M. V. Malyshev and V. M. Donnelly, J. Appl. Phys. 87 (2000) 1642.

3. 결과 및 검토

그림 2에서는 BCl₃/Ar 가스비 변화의 따른 ZrO₂ 식각 속도를 나타내었다. 실험으로부터 Ar이 증가함에 따라 ZrO₂의 식각 속도의 선형 변화를 하지 않음을 알 수 있고, Ar이 30 - 35%일 때 41.4nm/min의 최대값을 보인다. Ar의 비가 16 - 83%일 때 ZrO₂ 식각 속도가 조금씩 감소하였고 순수한 Ar 플라즈마에서는 식각 속도가 0.65nm/min로 떨어졌다.

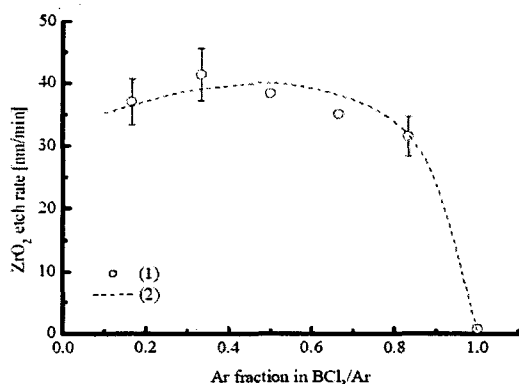


그림 2. Ar 가스 혼합비에 따른 ZrO₂ 식각 속도 변화

4. 결론

BCl₃/Ar ICP 플라즈마를 이용한 ZrO₂ 박막의 식각 메커니즘이 실험 결과와 모델링을 통해 연구