

## 고밀도 플라즈마를 이용한 $ZrO_2$ 박막의 식각특성 연구

우종창, 김상기, 구진근, 장영수, 강진영  
한국전자통신연구원, 충남대학교 기계공학과

### The etch characteristics of $ZrO_2$ thin films by using high density plasma

Jong-Chang Woo, Sang-Gi Kim, Jin-Gun Koo, Myoung-Soo Jang<sup>1</sup>, Jin Yeong Kang  
Electronics and Telecommunications Research Institute, School of Mechanical Engineering, Chung-Nam National University<sup>1</sup>

**Abstract :** The etching characteristics of Zirconium Oxide ( $ZrO_2$ ) and etch selectivity of  $ZrO_2$  to Si in  $HBr/SF_6$  plasma were investigated. It was found that  $ZrO_2$  etch rate shows a non-monotonic behavior with increasing both  $HBr$  fraction in  $SF_6$  plasma, Source power, Bias Power, gas pressure. The maximum  $ZrO_2$  etch rate of 54.8 nm/min was obtained for  $HBr(25\%)/SF_6(75\%)$  gas mixture. From these data, the suggestions on the  $ZrO_2$  etch characteristics were made.

**Key Words :** Etch,  $ZrO_2$ , High density plasma

### 1. 서 론

현재 CMOS 소자의 크기가 80 nm이하의 크기가 되면서 짧은 채널효과 (short-channel effect)와 같은 소자의 소형화에 따른 문제점이 점점 심각하게 노출되기 시작하였으며 종래에 사용되어온 소자구조 및 제작 기술만으로는 집적도나 소자 동작 특성 개선에 있어 한계에 부딪치게 되었다. 실리콘 집적회로기술의 발전에 따라 지속적인 성능의 개선이 비용의 절감 소비전력의 감소와 함께 실현되어 왔다. 이러한 실리콘 반도체 기술의 혁신은 반도체 소자의 특성 즉, 소형화에 따라서 고속도 저소비 저 전력화되며 성능 당 비용의 절감과 단위면적당 집적도가 높아지는 특성에 의해 가능한 것이다. 즉, 고유전율을 가지는 단순 산화물 박막은 Si과의 계면 안정성이 기존의  $SiO_2$  보다 현저히 떨어지는 동시에 차세대 게이트용 절연막으로서 재료 개발 및 공정 개발이 절대적으로 미흡하다. 그 중에서 식각조건에서 일괄공정으로 처리할 때에 발생할 수 있는 selectivity, 상이한 재료에 대한 식각속도의 차이 등의 문제에 대한 연구는 아직 이루어지고 있지 못한 실정이다.[1-2]

따라서 본 연구에서는  $HBr/SF_6$  가스 혼합비 및 식각 변수들과  $ZrO_2$  박막의 식각특성의 관계에 대하여 조사하였다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 기판은 0.85 ~ 1.15  $\Omega \cdot cm$ 의 비저항을 갖는 p형, 12인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.  $ZrO_2$  박막은 ALD(atomic layer deposition) 장비를 이용하여 박막을 증착하였다. 이와 같이 준비된  $ZrO_2$  박막의 플라즈마 식각은 그림 1에서 보는 고밀도 플라즈마 식각 시스템에서  $HBr/SF_6$  가스를 이용하여 식각을 진행하였다. 이때 공정변수로는 Source 전력을 400 W, Bias 전력은 100 W, 반응로 압력은 10 mTorr, 기판 온도는 45 $^{\circ}C$ 로

고정시켰다. 식각속도는 Surface profiler (KLA Tencor, Alpha-step 300)를 사용 하였다.

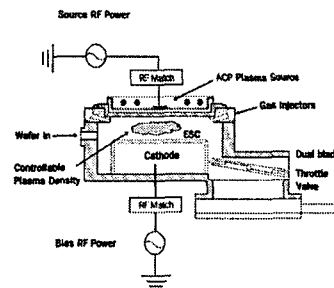


그림 1. 고밀도 플라즈마 식각 시스템 개략도

### 3. 결과 및 고찰

그림 2는  $HBr/SF_6$  가스 혼합비에 따른  $ZrO_2$  박막의 식각 속도와 Si 대한  $ZrO_2$  박막의 선택비율을 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 Source 전력과 Bias 전력은 각각 400 W, 100 W 이었으며, 공정 압력은 10 mTorr 이다.  $HBr(25\%)/SF_6(75\%)$ 의 조건에서 54.8 nm/min의 최고 식각 속도를 보였으며, 이때의 Si 대한 선택비는 1.95 이었다. 이러한 결과로 볼 때,  $ZrO_2$  박막이 F 라디칼과의 결합에 의한 화학적 식각과 H 이온에 의한 물리적 스퍼터링이 같이 적용이 되었을 때 효과적으로 식각 되어지는 것을 알 수 있었다.  $ZrO_2$  박막의 식각은 F 라디칼과의 화학반응과 H 이온 충격에 의한 물리적인 스퍼터링으로  $ZrO_2$ 는 F와 결합할 수 있도록 Zr-O 결합을 끊는 역할뿐만 아니라 비휘발성 식각 부산물의 시료 표면에서 탈착을 도와 식각속도 증가에 기여하게 된다.

그림 3에서 나타난 것과 같이, Source 전력이 다른  $ZrO_2$  박막의 식각속도와 Si에 대한 선택비를 나타 낸 것이다. 이 때 Source 전력은 200 W ~ 600 W로 변화시키고, 가스 혼합비는  $HBr(25\%)/SF_6(75\%)$ , Bias 전력은 100 W, 반응로 압력은 10 mTorr로 고정하였다. Source 전력이 증가 할수록 식각속도는 증가하며, 식각속도는

600 W일 때 81.6 nm/min 로 가장 높았다. Si에 대한 선택비는 2.19 이었다. Source 전력이 증가 할수록 라디칼과 이온이 증가하게 되어 플라즈마 내의 활성종과 ZrO<sub>2</sub> 박막 표면과의 활발한 물리적인 스퍼터링으로 인해 식각 속도가 증가된 것이다.

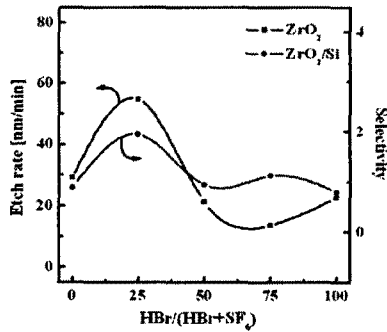


그림 2. HBr/SF<sub>6</sub> 가스혼합비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도 및 식각 선택비

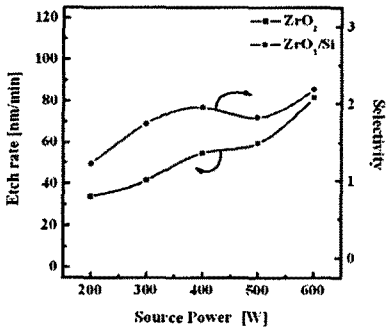


그림 3. Source 전력에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 Si에 대한 선택비

그림 4은 Bias 전력에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각 속도와 Si에 대한 선택비들을 나타낸 것이다. Bias 전력은 10 W ~ 200 W로 변화 시켰다. Source 전력은 400 W, 가스 혼합비는 HBr(25%)/SF<sub>6</sub>(75%), 공정 압력은 10 mTorr로 고정하였다. 그림 4에서 나타난 것과 같이 Bias 전력이 증가 할수록 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도는 증가하고, 식각속도는 200 W일 때 78.8 nm/min로 가장 높았다. Bias 전력이 증가하면 H 이온들이 웨이퍼로 향하는 운동 에너지가 증가하게 되고, 물리적인 스퍼터링 효과를 더욱 크게 한다.

그림 5은 공정 압력에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 Si에 대한 선택비를 나타낸 것이다. 압력은 6 ~ 14 mTorr로 변화 시켰다. Source 전력은 400 W, 가스 혼합비는 HBr(25%)/SF<sub>6</sub>(75%), Bias 전력은 100 W로 고정하였다. ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도는 공정 압력이 낮아질수록 감소하고, 역시 ZrO<sub>2</sub> 박막과 Si와의 선택비도 감소하였다. 14 mTorr이하에서 공정 압력이 감소함에 따라 H 이온의 평균자유행정이 증가하게 되고, 이로 인해 H 이온의 에너지가 증가하게 된다. 따라서 박막 표면에서 H 이온에 의한 충격 에너지가 증가하게 되고, 이는 H 이온에 의한 물리적 식각 현상의 증가로 이어진다. 그러나 공정 압력이 낮아지게 되면, 절대적인 라디칼 밀도의 감소에 의한 화학

적 반응의 감소로 인하여 식각 속도가 감소된다.

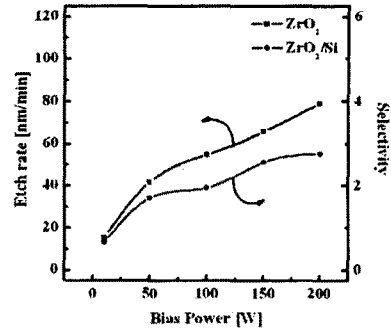


그림 4. Bias 전력에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 Si에 대한 선택비

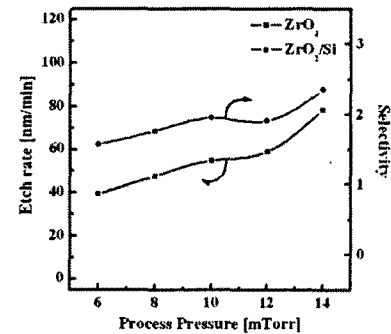


그림 5. Process Pressure에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 Si에 대한 선택비

#### 4. 결론

본 논문에서는 유도결합 플라즈마를 사용하여 ZrO<sub>2</sub> 박막을 식각하였다. HBr/SF<sub>6</sub> 플라즈마를 이용한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각에서는 SF<sub>6</sub> 가스의 농도가 증가될수록 그리고 RF 전력과 공정 압력이 증가할수록 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각 속도가 증가하였다. HBr(25%)/SF<sub>6</sub>(75%) 조건에서 ZrO<sub>2</sub>의 최대 식각속도는 54.8 Å/min이었으며 Si에 대한 식각 선택비는 1.95 이었다. HBr/SF<sub>6</sub> 플라즈마 상태에서 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각은 H 이온의 물리적인 스퍼터링에 의해 Zr-O 결합이 끊어지고 Sr, F 라디칼에 의한 시료 표면에서의 화학 반응에 의해 식각이 된다. 또한 라디칼과 시료와의 반응으로 인한 비휘발성의 식각 부산물을 H 이온의 스퍼터링에 의해서 시료 표면에서 효과적으로 탈착시킬 때 식각 반응은 활발히 일어나게 되어 식각속도의 증가가 야기되었다.

#### 참고 문헌

- [1] M. K. Bera, S. Charaborty, S. Saha, D. Paramanik, S. Varma, S. Bhattacharya, C. K. Maiti, "High frequency characterization and continuum modeling of ultrathin high-k (ZrO<sub>2</sub>) gate dielectrics on strained-Si", Thin Solid Films, 504, p 183, 2006.
- [2] L. Sha, J. P. Chang, "Plasma etching selectivity of ZrO<sub>2</sub> to Si in BCl<sub>3</sub>/Cl<sub>2</sub> plasmas", J. Vac. Sci. Tech. A, 21, 6, p 1915, 2003.