

## Cl<sub>2</sub>/Ar 플라즈마에서 ZrO<sub>2</sub> 박막에 첨가된 가스의 식각속도 효과 The Etch rate Effect of Additive Gas In ZrO<sub>2</sub> Thin Film Using Cl<sub>2</sub>/Ar Plasma

우종창\*, 김동표, 엄두승, 김창일  
중앙대학교, 전자전기공학부

**초 록:** 본 연구에서는 ZrO<sub>2</sub> 박막을 고밀도 플라즈마를 이용하여, Cl<sub>2</sub>/Ar 가스 혼합비에 식각하였으며, 또한 O<sub>2</sub> 가스를 첨가하여 식각속도를 향상시키는 실험 하였다. 빛 방출 분석(Optical Emission Spectroscopy: OES)을 이용하여, 플라즈마 진단과 식각특성과의 관계를 분석하였다. OES 결과로부터 Cl<sub>2</sub> 첨가비를 75%까지는 증가시킴에 따라 식각속도가 증가하였고, 그 후에 Ar 이온이 첨가되지 않아 식각속도가 감소하였다. ZrO<sub>2</sub> 박막의 최고 식각속도는 75%의 Cl<sub>2</sub>/(Cl<sub>2</sub>+Ar)에서 400 W의 Source 전력, 100 W의 Bias 전력, 공정 압력은 10 mTorr, 기판 온도는 45 °C로 고정시켰을 때 92.6 nm/min이었다. 이 조건에서 ZrO<sub>2</sub> 박막과 SiO<sub>2</sub>의 선택비는 2.29이었다.

### 1. 서 론

현재 CMOS 소자의 크기가 100 nm이하의 크기가 되면서 짧은 채널효과 (short-channel effect)와 같은 소자의 소형화에 따른 문제점이 점점 심각하게 노출되기 시작하였으며 종래에 사용되어온 소자 구조 및 제작 기술만으로는 집적도나 소자 동작 특성 개선에 있어 한계에 부딪치게 되었다.[1]

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 단위 면적당 집적도가 높아지는 특성에 의해 가능한 것이다. 즉, 고유전율을 가지는 단순 산화물 박막은 Si와의 계면 안전성이 기존의 SiO<sub>2</sub> 보다 현저히 떨어지는 동시에 차세대 게이트용 절연막으로서 재료 개발 및 공정 개발이 절대적으로 미흡하다. 그 중에서 식각조건에서 일괄공정으로 처리할 때 발생할 수 있는 selectivity, 상이한 재료에 대한 식각속도의 차이 등의 문제에 대한 연구는 아직 이루어지고 있지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Cl<sub>2</sub>/Ar 가스 혼합비 및 식각 변수들과 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각특성의 관계에 대하여 조사하였다 [2].

### 2. 본 론

#### 2.1 실험

본 실험에 사용된 기판은 0.85 ~ 1.15 Ω·cm의 비저항을 갖는 p형, 12인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. ZrO<sub>2</sub> 박막은 ALD(atomic layer deposition) 장비를 이용하여 박막을 증착하였다. 이와 같이 준비된 ZrO<sub>2</sub> 박막의 플라즈마 식각은 그림 1에서 보는 고밀도 플라즈마 식각 시스템에서 Cl<sub>2</sub>/Ar 가스를 이용하여 식각을 진행하였다. 이 때의 공정변수는 표 1에 나타내었다. 식각속도는 Surface profiler (KLA Tencor, Alpha-step 300)를 사용 하였다.

표 1. 공정변수

공정변수	실험범위	단위
소스전력	400	W
바이어스 전력	100	W
압력	10	mTorr
기판온도	45	°C

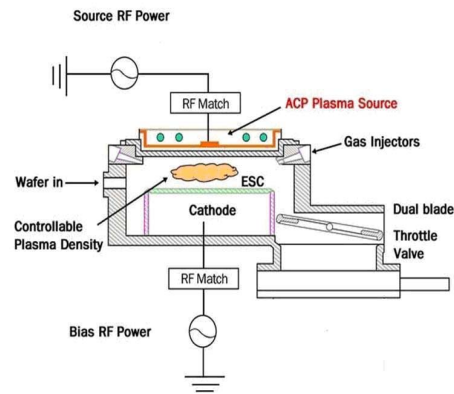


그림 1. 고밀도 플라즈마 식각 시스템 개략도

#### 2.2 결과 및 고찰

그림 2는 Cl<sub>2</sub>/Ar 가스 혼합비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각 속도와 SiO<sub>2</sub> 대한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 선택비들을 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 Source 전력과 Bias 전력은 각각 400 W, 100 W 이었으며, 공정 압력은 10 mTorr 이다. Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25)의 조건에서 92.6 nm/min의 최고 식각 속도를 보였으며, 이때의 SiO<sub>2</sub> 대한 선택비는 2.29 이었다. 이러한 결과로 볼 때, ZrO<sub>2</sub> 박막이 Cl 라디칼과의 결합에 의한 화학적 식각과 Ar 이온에 의한 물리적 스퍼터링이 같이 적용이 되었을 때 효과적으로 식각 되어지는 것을 알 수 있었다. ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각은 Cl 라디칼과의 화학반응과 Ar 이온 충격에 의한 물리적인 스퍼터링으로 ZrO<sub>2</sub>는 Cl와 결합할 수 있도록 Zr-O 결합을 끊는 역할뿐만 아니라 비휘발성 식각 부산물의 시료 표면에서 탈착을 도와 식각속도 증가에 기여하게 된다.

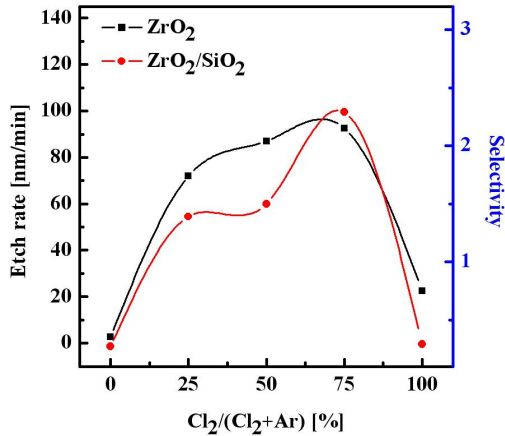


그림 2. Cl<sub>2</sub>/Ar 가스 혼합비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

그림 3에서 Cl<sub>2</sub> 혼합비가 증가함에 따라 Ar intensity가 감소하고 F intensity가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 Cl<sub>2</sub>의 혼합비가 증가하면서 Ar 원자의 상대적인 밀도가 감소함에 따라 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 그러나 그림 4에서의 Cl<sub>2</sub> 혼합비의 증가에 따라 Ar 원자에 의한 물리적 식각 효과는 감소하고, Cl 원자나 라디칼에 의한 화학적 식각 효과는 증가할 것으로 보인다. ZrO<sub>2</sub> 박막은 물리적 또는 화학적 식각 어느 하나만 있어서는 되는 것이 아니고 두 효과가 조화를 이루었을 때 식각속도가 최대 됨을 알 수 있다.

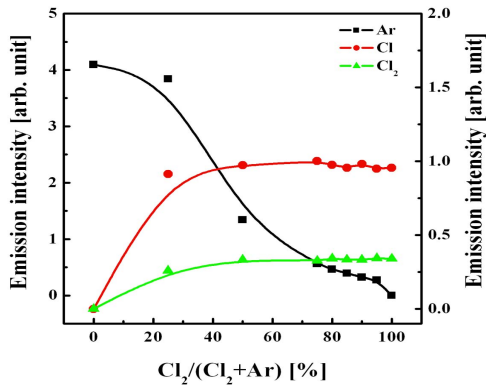


그림 4. Cl<sub>2</sub>/Ar 플라즈마에서 Ar과 Cl, Cl<sub>2</sub> 원자에 대한 광 방출 세기

그림 4은 Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 최적의 가스 혼합비에 O<sub>2</sub>를 첨가하면서 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 그림 2에서와 조건과 같다. O<sub>2</sub> 가스를 첨가함에 있어서 식각속도는 감소하였다. 이러한 결과는 O<sub>2</sub> 가스 첨가함에 따라 C 라디칼과의 화학반응이 일어나다 보니 부피 밀도가 증가하여 감소하는 경향을 보이는 것이다. 이것은 플라즈마 진단의 뒷받침이 되는 것이다.

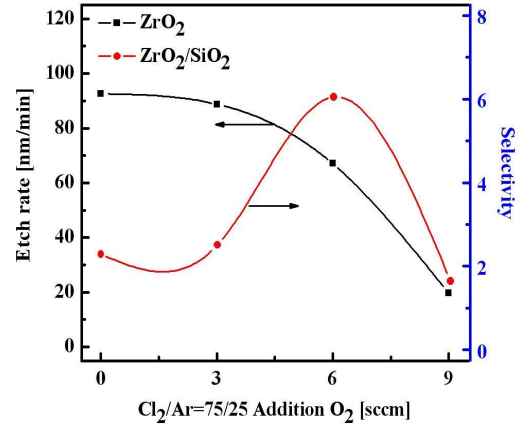


그림 4. Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 가스 혼합비에 O<sub>2</sub> 첨가비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

그림 5은 Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 최적의 가스 혼합비에 N<sub>2</sub>를 첨가하면서 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 그림 2에서와 조건과 같다. N<sub>2</sub> 가스를 첨가함에 있어서 식각속도는 증가하다가 3 sccm 이상에서 감소하였다. 이러한 결과는 N<sub>2</sub> 가스 첨가함에 따라 라디칼과의 화학반응이 일어나다 보니 부피 밀도가 증가하여 감소하는 경향을 보이는 것이다. 이것은 플라즈마 진단의 뒷받침이 되는 것이다.

그림 6은 Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 최적의 가스 혼합비에 He를 첨가하면서 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이때의 공정 조건은 그림 2에서와 조건과 같다. He 가스를 첨가함에 있어서 식각속도는 증가하다가 6 sccm 이상에서 감소하였다. 이러한 결과는 He 가스 첨가함에 따라 라디칼과의 화학반응이 일어나다 보니 부피 밀도가 증가하여 감소하는 경향을 보이는 것이다. 이것은 플라즈마 진단의 뒷받침이 되는 것이다.

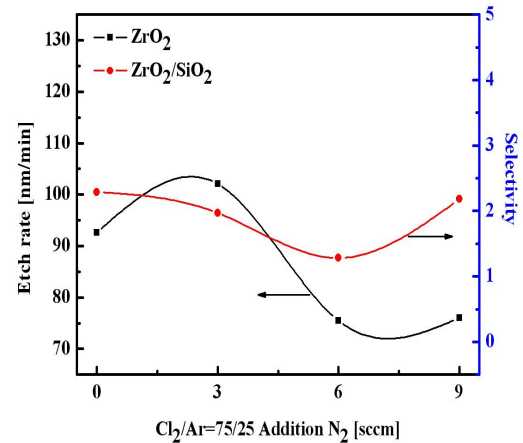


그림 5. Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 가스 혼합비에 O<sub>2</sub> 첨가비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

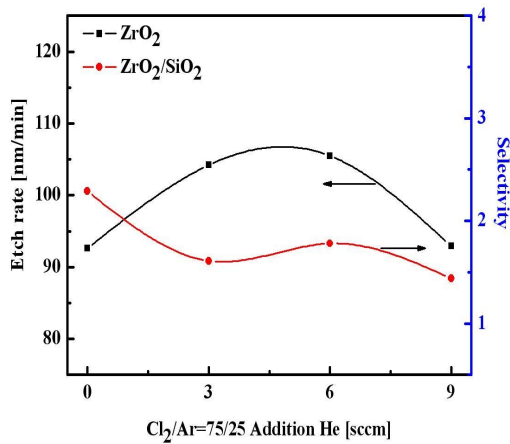


그림 6. Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 가스 혼합비에 O<sub>2</sub> 첨가비에 따른 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각속도와 SiO<sub>2</sub>에 대한 선택비

### 3. 결 론

본 논문에서는 유도결합 플라즈마를 사용하여 ZrO<sub>2</sub> 박막을 식각하였다. Cl<sub>2</sub>/Ar 플라즈마를 이용한 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각에서는 Cl<sub>2</sub> 가스의 농도가 증가될수록 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각 속도가 증가하였다. Cl<sub>2</sub>(75%)/Ar(25%) 조건에서 ZrO<sub>2</sub>의 최대 식각속도는 92.6 nm/min이었으며 SiO<sub>2</sub>에 대한 식각 선택비는 2.29 이었다. Cl<sub>2</sub>/Ar 플라즈마 상태에서 ZrO<sub>2</sub> 박막의 식각은 Cl 이온의 화학적 반응에 의해 Zr-O 결합이 끊어지고 Cl, Ar 라디칼에 의한 시료 표면에서의 화학 반응에 의해 식각이 된다. 또한 라디칼과 시료와의 반응으로 인한 비휘발성의 식각 부산물을 Ar 이온의 스퍼터링에 의해서 시료 표면에서 효과적으로 탈착시킬 때 식각 반응은 활발히 일어나게 되어 식각속도의 증가가 야기 되었다.

### 참 고 문 헌

- [1] M. K. Bera, S. Charabarty, S. Saha, D. Paramanik, S. Varma, S. Bhattacharya, and 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**, pp 183-187, 2006.
- [2] L. Sha, and 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.