

[III-1]

전자 회전 공명 플라즈마 발생 장치에서의 CF₄ 방전시 Appearance Mass Spectrometry 와 Actinometry를 통한 플루오로카본 래디칼과 플루오린 원자의 거동에 관한 연구

도현호, 김 정훈, **이 석현, *황 기웅

서울대학교 공과대학 전기공학과
**인하대학교 공과대학 전기공학과
*서울대학교 반도체 공동 연구소

요약

전자 회전 공명 플라즈마 발생 장치에서 CF₄를 방전시켰을 때 각종 플루오로카본 래디칼의 절대적, 상대적 밀도 변화를 수소 첨가율, 마이크로웨이브 전력, 동작 압력 그리고 축방향에 따라 Appearance Mass Spectrometry (AMS)를 통해 조사하였으며, 플루오린 원자의 상대적 밀도 변화를 알기위한 방법으로는 Actinometry 법을 사용하였다. 수소첨가에 따른 CF₂ 래디칼의 거동을 Actinometry와 AMS로 살펴봤을 때 서로 일치하는 경향을 얻었으며 마이크로웨이브 전력 500W, 압력 7.5 mTorr에서 CF₃ 와 CF₂ 래디칼의 밀도가 CF에 비해 높았으며 각각 $2 \times 10^{13}/\text{cm}^3$, $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 의 값을 가졌다. 수소를 첨가함에 따라 플루오린 원자와 CF₃ 의 밀도는 감소하는 반면 CF₂ 와 CF의 밀도는 현저히 증가하여 수소가 40% 첨가된 경우 CF₂ 의 밀도가 CF₃ 보다 커짐을 확인하였다. 또한, CF₂ 가 증가하면서 C₂F₄의 존재가 확인 되었으며, 수소가 30% 첨가된 경우 축 방향을 따라 C₂F₄ 래디칼만이 증가하였고 플루오린 원자는 감소하는 반면 다른 CF_x (x=1-3) 래디칼은 거의 변화가 없었다. 이러한 실험 결과를 토대로 CF₄+H₂ 플라즈마를 이용한 산화막 식각 특성이 설명되었다.

1. 서론

근년 들어 전자 회전 공명 플라즈마와 같은 각종 저압, 고밀도 플라즈마 소스들이 반도체 공정에 의 이용 목적으로 활발히 연구되고 있다. 그런데, 이러한 소스들을 이용한 식각장치로 고집적회로를 제조할 때 산화막 식각 공정에서 실리콘에 대한 산화막의 낮은 식각 선택도가 문제가 되고 있고, 최근에는 이를 해결하기 위한 여러가지 방법이 제시되고 있다. 그러나, 선택도 뿐만 아니라 산화막 식각시 생기는 많은 문제점들을 해결하기 위해서는 산화막 식각시에 사용되는 플루오로카본 가스가 방전될 때 생기는 각종 플루오로카본 래디칼 및 플루오린 원자의 항방울 제대로 알아야만 올바른 접근이 가능하다고 할 수 있다. 특히, 플루오로카본 래디칼의 절대량을 알 수 있는 방법으로 최근에 IR Laser 흡수 분광법, AMS 법 등이 제시되고 있는데, 본 논문에서는 AMS와 Actinometry 법을 통해 전자 회전 공명 장치에서의 CF₄ 가스 방전시 생기는 각종 플루오로카본 래디칼과 플루오린 원자의 거동을 조사하여 그 거동 메커니즘을 고찰하고 이를 통하여 식각 특성을 설명하고자 한다.

2. 본론

Actinometry 법을 사용하기 위해 소량(5%) 의 Ar 을 actinometer로 사용하였다. Ar을

actinometer로 사용하는 경우 어떤 원자나 분자의 상대적 밀도를 구하기 위해서는 몇가지 제약조건이 있는데 그 중 가장 주요한 것이 Ar과 상대적인 밀도를 구하기 위한 종 사이의 excitation cross-section 이 비슷해야 한다는 것이다. 본 연구에서는 수소 첨가에 따른 CF₂ 래디칼의 밀도 변화 향방을 Actinometry 와 AMS 법으로 비교한 경우 그 경향이 일치함을 알 수 있었으며, 따라서 실제 실험에서 조사된 CF₂ 여기종과 Ar 여기종의 excitation threshold energy가 약 9eV [Ar*(750.4 nm)의 excitation threshold는 13.5eV, CF₂* (251.9 nm)의 excitation threshold는 4.5eV] 차이남에도 불구하고 수소첨가의 효과에 대해서는 Actinometry 법으로도 래디칼의 상대적인 변화를 살피는 것이 유효함을 확인하였다. AMS 법으로는 분석하고자 하는 래디칼의 절대 ionization cross-section 데이터가 확보되어 있는 한에서 특정 래디칼의 절대 밀도까지도 알 수 있는데, 전자 회전 공명 장치에서 CF₄를 마이크로웨이브 전력 500W, 압력 7.5 mTorr 에서 방전시켰을 경우 CF, CF₂, CF₃ 가 각각 $1 \times 10^{12}/\text{cm}^3$, $1 \times 10^{13}/\text{cm}^3$, $2 \times 10^{13}/\text{cm}^3$ 정도의 값을 가졌다. 수소를 첨가시킴에 따라 CF, CF₂ 래디칼의 밀도는 첨가율 40% 까지 증가함이 관찰되었으나 CF₃는 감소하였다. 또한, CF₂의 증가로 인한 C₂F₄의 증가가 관찰되었으며 F 원자는 감소하는 경향을 보였다. 이는 수소를 첨가함에 따라 F scavenging 과 F abstraction 이 동시에 일어나는 것이라 여겨진다. CF₄에 수소를 30% 첨가시킨 후 압력을 2.5 - 10 mTorr 까지 변화시키면 모든 플루오로카본 래디칼의 밀도는 증가하고 플루오린 원자의 밀도는 감소하였다. 또한, CF₄에 수소를 30% 첨가시킨 경우 전자 회전 공명 현상이 일어나는 곳으로부터 래디칼을 추출하는 sampling probe가 멀어질수록 C₂F₄ 래디칼만이 증가하고 다른 CF_x (x=1-3) 래디칼들은 큰 변화가 없었으며 F 원자의 상대적 밀도는 감소하였다. 결국, 축방향으로 downstream하는 영역에서는 래디칼간의 계절합 반응이 지배적이며 F 원자의 손실은 F 원자의 전자 친화도에 기인하는 것이라 여겨진다. 그러나, 수소 첨가율, 압력 그리고 ECR layer와 기판사이의 거리를 변화시켜도 실리콘에 대한 산화막의 식각 선택도는 2를 넘지 않았는데 이는 결국 지나친 해리로 인한 F 원자의 과다한 생성 그리고 높은 이온화율 때문이라 사료된다.

3. 결론

전자 회전 공명 플라즈마 발생 장치에서 CF₄를 방전시켰을 때 각종 플루오로카본 래디칼의 절대적, 상대적 밀도 변화와 플루오린 원자의 거동을 수소 첨가율, 마이크로웨이브 전력, 동작 압력 그리고 축방향에 따라 AMS와 Actinometry 법으로 조사하였다. 수소첨가에 따른 CF₂ 래디칼의 거동을 Actinometry와 AMS로 살펴봤을 때 서로 일치하는 경향을 얻었으며 수소를 첨가함에 따라 플루오린 원자와 CF₃의 밀도는 감소하는 반면 CF₂와 CF의 밀도는 현저히 증가하여 수소가 40% 첨가된 경우 CF₂의 밀도가 CF₃보다 커짐을 확인하였다. 또한, CF₂가 증가하면서 C₂F₄의 존재가 확인 되었으며, 수소가 30% 첨가된 경우 축방향을 따라 C₂F₄ 래디칼만이 증가하였고 플루오린 원자는 감소하는 반면 다른 CF_x (x=1-3) 래디칼은 변화가 없었다. 그러나, 실제 식각 결과는 이러한 래디칼과 F 원자의 변화에도 불구하고 실리콘에 대한 산화막의 식각 선택도가 2를 넘지 않았으며 이는 F 원자의 과다 생성과 높은 이온화율 때문이라 여겨진다.

- 참고 문헌 -

- [1] L.D.B Kiss et al., *J. Appl. Phys.* 71(7), 3186 (1992)
- [2] H.Sugai et al., *J. Vac. Sci. Technol.* A(10), 1193 (1992)