

## Cl-based 유도결합 플라즈마의 전자에너지 분포함수

김관하, 김창일, 김동표\*, 강영록\*  
 중앙대학교, (주)케이디지 엔지니어링\*

### Electron energy distribution functions in an inductively coupled Cl-based plasma

Gwan-Ha Kim, Chang-Il Kim, Dong-Pyo Kim\* and Young-Rog Kang\*  
 ChungAng Univ., KDG ENGINEERING CO. LTD.\*

**Abstract :** Electron energy distribution functions and plasma parameters such as electron temperature ( $T_e$ ) and electron density ( $n_e$ ) in low-pressure Cl-based plasmas have been measured. As the  $Cl_2/Ar$  gas mixing ratio, the  $BCl_3$  gas addition and the process pressure increases, the electron energy probability and the electron temperature decreases. In case of source power increases, electron energy probability increases, whereas the electron temperature was not related.

**Key Words :** Cl-based plasma, Inductively coupled plasma, Electron energy distribution functions

#### 1. 서론

Ar 플라즈마는 electro-positive 가스 플라즈마로써 준안정 상태(meta-stable state)를 가지고 있어서 발생이 아주 용이하지만 실제로 공정에 많이 사용되는 F, Cl 등이 포함된 electro-negative 가스 플라즈마의 경우에 전자온도가 낮은 경우에 electron attachment 과정에 의해서 F, Cl 등을 형성하는 것은 자주 언급되고 있는 사항이지만 quadrupole mass spectrometer로 직접 측정하면 아주 낮은 농도 밖에 관측되지 않는 경우도 있어 데이터의 해석에 약간의 수정이 가해져야 한다. Langmuir probe를 이용하여 전자온도, 이온전류밀도, 전자밀도, 이온밀도 등의 플라즈마 특성을 파악하려할 때 측정은 단순한 과정을 보이지만 데이터 해석에 어려움이 따르고 있다. 더구나 플라즈마의 특성을 나타 내는 많은 변수와 반도체 공정을 연계하여 식각 또는 증착 공정에서 메커니즘을 규명하는 것에는 많은 어려움이 따른다. [1-3] 반도체 공정에서 많이 사용되고 있는 capacitively coupled plasma (CCP)와 inductively coupled plasma (ICP) 시스템 중 CCP의 경우 반응로 내의 플라즈마의 거동이 많은 부분 규명이 되어지고 있으나 ICP의 경우에는 pure Ar 플라즈마와 fluorine 계열에서 진단이 이루어지고 있으나 chlorine 계열 가스에서는 연구가 미진한 실정이다. [4, 5]

본 연구에서는 유도결합 플라즈마 시스템에서 식각 및 증착 공정 등의 반응 메커니즘을 규명하고자 Langmuir probe를 이용하여 플라즈마의 특성을 가장 잘 나타내주는 전자에너지 분포함수를 연구하고자 하였다.

#### 2. 실험

유도결합 플라즈마 시스템에서 반응로는 SUS 재질로 되어 있으며 별개의 13.56 MHz의 RF 전력을 유도 코일 전력과 직류 바이어스 전력으로 사용할 수 있다. 상부에 공냉(air-cooling)되는 3.5회의 나선형 구리 코일을 안테나로 사용하였고 코일과 반응로를 분리시키는 24 mm 두께의 석영창과 하부 전극과의 거리는 65 mm이다. 반응로

측면의 포트를 이용하여 Langmuir probe를 반응로 내로 삽입하였으며 프로브 팁과 하부 전극과의 거리는 10 mm 이었다. Langmuir probe는 HIDDEN 사의 ESPION 제품이며 전자에너지 분포함수 해석 시 ESPION 제품에 포함되어 있는 소프트웨어를 사용하였으며 소프트웨어에서 전자에너지 분포함수를 계산할 때 Druyvesteynian method가 사용되었다.

#### 3. 결과 및 고찰

그림 1은  $Cl_2/Ar$  가스 혼합비에 따른 전자에너지 분포함수를 나타낸다. 실험은  $Cl_2/Ar$ 의 가스 혼합비를 변화 시키면서 진행하였으며 소스 파워는 700 W, 공정압력은 15 mTorr 이다. 일반적으로 반응가스가 높은 이온화 에너지를 가지는 경우 높은 전자온도를 보이며 낮은 전자밀도를 보이게 된다고 하나 본 실험에서는  $Cl_2$ 의 비율이 높아짐에 따라 전자온도는 감소하나 전자밀도 또한 같이 감소함을 볼 수 있었다. 이는 위 전자에너지분포함수에서도 확인할 수 있으며 전자온도가 감소함에 따라 증착성 및 라디칼을 이온화 하는데 필요한 전자에너지가 부족하게 됨에 따라 이온화율이 감소하기 때문이라고 사료된다.

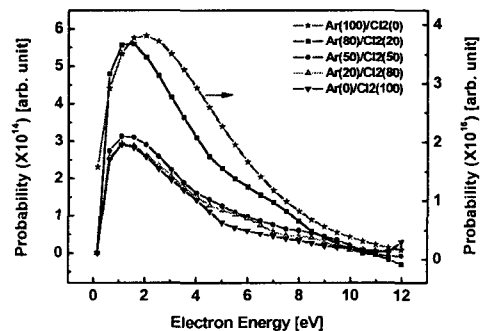


그림 1.  $Cl_2/Ar$  가스 혼합비에 따른 전자에너지 분포함수

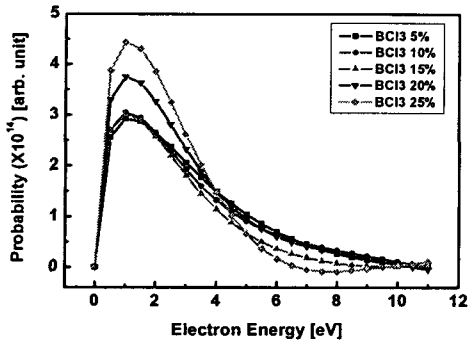


그림 2.  $\text{Cl}_2/\text{Ar}$  가스에  $\text{BCl}_3$  가스 첨가에 따른 전자에너지 분포함수

그림 2는  $\text{Cl}_2/\text{Ar}=2/8$  가스 혼합비에  $\text{BCl}_3$  가스 첨가에 따른 전자에너지 분포함수의 변화를 나타낸다. 실험은  $\text{Cl}_2/\text{Ar}=2/8$ 에  $\text{BCl}_3$ 를 5%에서 25%까지 첨가하면서 진행되었고 소스파워는 700 W, 공정 압력은 15 mTorr 이다.  $\text{BCl}_3$  가스를 첨가함에 따라 평균 전자온도는 감소하는 경향을 보이며 probability는 증가하는 경향을 보인다.

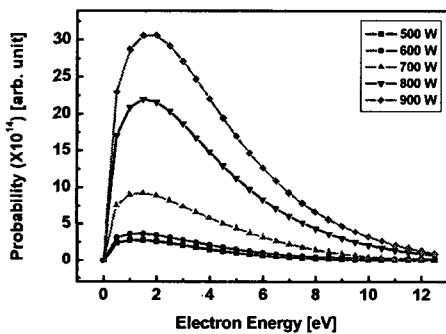


그림 3. 소스 파워에 따른 전자에너지 분포함수

그림 3은 소스 파워에 따른 전자에너지 분포함수를 나타낸다. 공정 조건은  $\text{Cl}_2/\text{Ar}=2/8$ , 20 sccm, 15 mTorr의 공정 압력이다. 소스 파워에 따른 전자 온도의 변화는 상관관계가 없는 경향을 보였으며 전자밀도는  $4.4 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ 에서  $2.0 \times 10^{11} / \text{cm}^3$ 으로 증가하는 경향을 보였다. 위 전자에너지 분포함수에서도 평균전자온도는 전자에너지분포함수에서 보는 바와 같이 소스 파워에 상관없으며 전자에너지 probability는 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 소스파워가 증가함에 따라 이온화율이 증가하여 전자 및 이온이 증가하지만 가스의 혼합비가 고정되어 있기 때문에 이온화 에너지는 변화하지 않기 때문이라고 사료된다.

그림 4는 공정 압력에 따른 전자에너지 분포함수를 나타낸다. 공정 조건은  $\text{Cl}_2/\text{Ar}=2/8$ 의 가스 혼합비, 700 W의 소스 파워, 20 sccm의 가스 유량이다. G. Franz [4] 등에 따르면 압력이 증가함에 따라 전자온도는 감소하고 전자

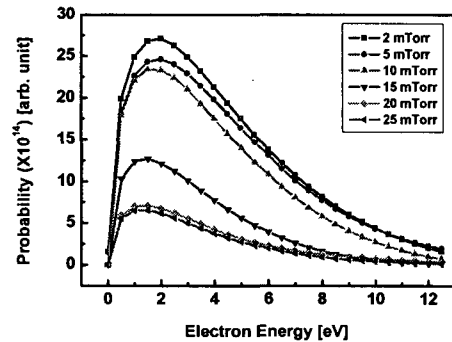


그림 4. 공정 압력에 따른 전자에너지 분포함수

밀도는 증가한다고 알려져 왔다. 본 실험에서도 같은 경향을 보였으나 전자에너지 분포함수에서는 압력이 증가하여도 전자가 가지는 에너지가 감소하는 경향을 보였다. 이는 식각 공정 등에서 압력이 증가함에 따라 식각률이 감소하는 경향과 같이 생각할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

본 연구에서 Ar 가스의 혼합비가 증가하고  $\text{BCl}_3$  가스의 첨가가 많아지며 소스파워와 공정압력이 증가할 수록 전자에너지분포함수의 probability는 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 Ar의 혼합비가 클 경우 전자온도가 높아 중성자 및 라디칼의 이온화를 돕기 때문이라 생각된다. 공정 압력이 감소하는 경우 또한 마찬가지로 소스파워와 전자온도는 상관관계가 없는 것으로 보인다.

#### 참고 문헌

- [1] M. V. V. S. Rao, S. P. Sharma, B. A. Cruden, and M. Meyyappan, "Langmuir probe and mass spectrometric measurements in inductively coupled  $\text{CF}_4$  plasmas", Plasma Sources Sci. Technol., Vol. 11, No. 1, p. 69, 2002.
- [2] A. K. Quick, R. T. S. Chen, and N. Hershkowitz, "Etch rate and plasma density radial uniformity measurements in a cusped field helicon plasma etcher", J. Vac. Sci. Technol., A 14, No. 3, p. 1041, 1996.
- [3] Y. Ra, S. G. Bradley, and C. H. Chen, "Etching of aluminum alloys in the transformer-coupled plasma etcher", J. Vac. Sci. Technol., A 12, No. 4, p. 1328, 1994.
- [4] G. Franz, "Comprehensive analysis of chlorine-containing capacitively coupled plasmas", J. Vac. Sci. Technol., A 23, No. 3, p. 369, 2005.
- [5] V. A. Godyak, R. B. Piejak, and B. M. Alexandrovich, "Electron energy distribution function measurements and plasma parameters in inductively coupled plasma", Plasma Sources Sci. Technol., Vol. 11, No. 2, p. 525, 2002.