

RF 글로우 방전에서의 플라즈마 밀도의 분포에 대한 연구

김기현, 황주원, 민병돈, 김상식
고려대학교 전기공학과

A study for the distribution of plasma density in RF glow discharge

Kihyun Keem, Joowon Hwang, Byeongdon Min, Sangsig Kim
Electrical Engineering, Korea University

Abstract

In this study we attempted to diagnose the distribution of nitrogen plasma density generated using PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition). The distribution of plasma density formed in a PECVD chamber were measured by DLP2000. The experiment results showed that the plasma density is related to RF power and gas flow rate. As RF power gets higher, the plasma density linearly increased. And the experimental results revealed that a pressure in chamber affects plasma density.

Key Words : plasma, density, RF discharge

2. 실험

1. 서론

플라즈마는 RIE, Implanter, ALD, MBE, ECR, PECVD 등의 여러 가지의 공정에서 사용되고 있다. 플라즈마를 이용한 장비는 저온공정이 가능하므로 주로 사용된다.

플라즈마를 형성하는 전자와 이온의 수는 공정을 하는데 있어서 중요한 영향을 가진다. 전자는 중성가스나 이온과 충돌하여 여기, 해리, 이온화, 재결합 등의 반응을 한다. 전기장이나 자기장 등의 외부에너지에 의해 충분한 에너지를 받은 전자들은 중성가스와 충돌하여 이온화시키는데 이는 플라즈마 형성에 중요한 역할을 한다. 또한 PECVD의 경우, 박막형성에 기여하는 라디칼들을 생성하는데 전자가 큰 기여를 한다. 플라즈마 밀도의 증가는 라디칼의 증가를 나타내어서 박막의 증착율을 증가시킨다.[1][2]

그러므로 플라즈마의 특성을 연구함으로써 박막의 특성을 연구할 수 있고, 더욱 정확한 공정이나 더욱 많은 분야에 응용할 수 있다.

플라즈마에 노출된 팁에 양의 전압을 가하여 주면, 이에 응답하여 전자가 팁과 충돌하여 프루브에 전류가 흐르게 되고, 음의 전압을 가하여 주면 양이온이 전류를 흐르게 한다. 이때, 프루브에 일정 전압이상을 가하여 주면 팁의 표면적의 한계가 있으므로 전자나 이온에 의한 전류는 포화하게 된다. 이러한 포화전류와 음의 전압에서 양의 전압으로 변화될 때 발생하는 current-voltage 곡선을 이용하여 전자온도와 플라즈마 밀도가 결정된다. 전자온도와 플라즈마 밀도는 다음의 식들에 의해 계산된다.[3][4]

$$I = I_S \tanh\left(\frac{eV}{2k_B T_e}\right)$$

$$I_S = 0.6 n_p e A \sqrt{\frac{T_e}{M_i}}$$

여기서 I는 프루브에 인가되는 전압에 대하여 변화하는 전류이고, I_S는 이온포화전류이고, V는 프루브에 인가되는 전압이고, K_B는 볼츠만 상수이고, T_e는 전자의 온도이다. n_p는 플라즈마 밀도이고, A는 프루브의 단면적, e는 전자의 전하량, M은 이온의 질량이다.

PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)의 방전 형태는 RF 전압에 의해 방전되는 CCP(Capacitively Coupled Plasma) 방전이다. RF 주파수는 13.56 MHz가 사용되고, 전극 사이의 간격은 40 mm이다.

플라즈마 밀도를 측정하기 위하여 DLP2000(Double Langmuir Probe)이 사용되었다. 더블 프루브는 싱글 프루브보다 플라즈마의 간섭을 덜 받기 때문에 정확한 플라즈마 변수를 측정할 수 있다. 측정에 사용된 팁의 길이는 10 mm이고, 팁의 직경은 0.5 mm이며, 팁의 재질은 텅스텐이다. 이온에 의한 스퍼터링 효과를 줄이기 위해 텅스텐을 사용하였다.

질소 플라즈마를 형성시키고, 팁을 전극 사이의 중앙에 위치시켜 측정하였다. 이동거리는 240 mm이고, 측정위치 사이의 간격은 15 mm 이었다. 플라즈마 밀도의 분포가 RF 파워와 질소의 유량을 변화시킴에 따라서 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

전자와 중성가스의 충돌로 인해 이온화 반응이 발생한다. 이러한 반응으로 형성되는 이온의 수가 Langmuir probe를 통해 측정되었다. 그림 1은 RF 파워 변화에 따라서 측정된 플라즈마 밀도의 분포를 보여준다.

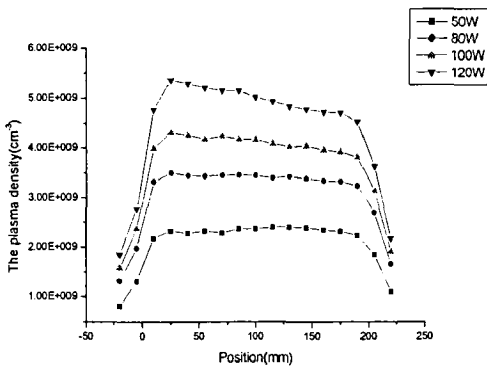


그림 1. RF 파워변화에 따라서 측정된 플라즈마 밀도의 분포(유량 20 sccm, 300 mtorr)

그림 1을 통하여 RF 파워가 증가함에 따라서 플라즈마의 밀도는 증가하게 됨을 알 수 있다. 또한

RF 파워가 증가함에 따라서 플라즈마의 밀도가 점점 균일해지지 않는 것을 알 수 있다. 이는 RF 파워에 의해서 전자구름이 반응로 내에 일정한 주기를 가지고 수직방향으로 진동하게 되는데, RF 파워가 높으면 높을수록 전자의 수가 증가하게 됨으로 전자구름의 진동이 심해지기 때문이다.

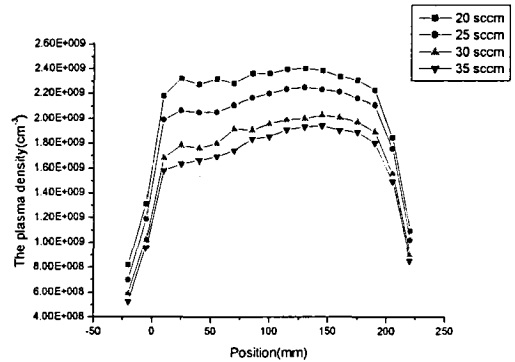


그림 2. 유량을 변화시킴에 따라서 측정된 플라즈마 밀도의 분포(RF 파워 50 W, 300 mtorr)

그림 2는 가스 유량의 변화에 따라서 측정된 플라즈마 밀도의 분포를 보여준다. 가스 유량이 증가하면 반응로 내에 입자의 수가 증가하게 됨으로 전자와 중성가스 간에 충돌 횟수 또한 증가하게 된다. 또한 전자의 평균자유행로가 감소하게 되고 RF 파워는 고정되어 있으므로 전자의 소멸율이 증가 하게 된다.

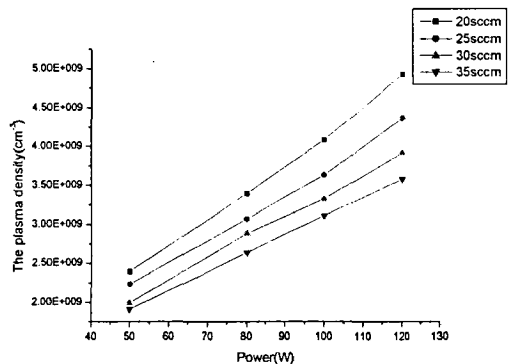


그림 3. RF 파워와 유량을 변화시킴에 따라서 측정된 플라즈마 밀도의 변화

그림 3은 110 mm에서 RF 파워와 가스 유량의 변화에 대한 플라즈마의 밀도 변화를 보여준다. 이를 통해 플라즈마 밀도가 RF 파워에 선형적으로 비례함을 알 수 있다.

4. 결 론

Langmuir probe 실험을 통하여 플라즈마 밀도가 RF 파워와 가스 유량에 대하여 선형적인 관계를 갖는다는 것을 알 수 있다. 고정된 압력에서 RF 파워의 증가는 반응로 내에 이온과 전자의 수를 증가시키고, 고정된 RF 파워에서 가스 유량의 증가는 반응로 내에 입자의 수가 증가하게 되므로 RF 전압에 의해 가속되는 전자는 이온화반응을 시킬 수 있는 충분한 에너지를 갖지 못하게 되어 반응로 내에 이온이 감소하게 된다. 또한 RF 전압에 의해 충분한 에너지를 받지 못한 전자는 이온과의 충돌로 인해 쉽게 재결합된다.

참고 문헌

- [1] M. A. Lieberman, "Principles of plasma discharges and material processing", John Wiley & Sons, 1994.
- [2] D. L. Moores, "Electron collisions with very highly charged ions-Relativistic calculations", Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., vol. 98, p. 122, 1995.
- [3] D. Voulot, "Characterisation of an RF atomic nitrogen plasma source", Journal of Crystal Growth, vol. 201, p. 399, 1999.
- [4] N. Hershkowitz, "How Langmuir Probes Work", in Plasma Diagnostics, Edited by O. Auciello and D. L. Flamm, Academic Press, 1989.