

유도결합 플라즈마에서 두 안테나의 구조에 따른 특성 연구

김진성, 방진영, 이효창, 정진욱
한양대학교 전기공학과

A comparison study of plasma characteristics between two antennas in Inductively Coupled Plasma(ICP)

Kim jinseong, Bang jinyoung, Lee hyochang, chung cjinwook
Hanyang University < 글씨체 신명 세나루 >

Abstract - 유도결합 플라즈마(ICP)에서 안테나의 특정부분에 유도자기장을 보장 또는 상쇄 시키는 형태의 두 안테나를 고안하였다. 플라즈마 밀도와 전자온도, 플라즈마 전위, 전자에너지 분포함수 등의 플라즈마 파라미터들로 그 특성을 비교 하였다.

1. 서 론

오늘날 플라즈마는 웨이퍼의 식각, 클리닝, 박막 증착 등의 반도체 산업뿐만 아니라 생의학, 폐기물 처리, 자동차 등 다양한 분야에 널리 쓰이고 있다[1, 2]. 이러한 플라즈마를 이용하는 공정을 '플라즈마 공정(또는 처리)'라고 하며, 대표적인 플라즈마 원으로는 Capacitively Coupled Plasmas(CCP), Inductively Coupled Plasmas(ICP), Helicon, Electron Cyclotron Resonance(ECR) 등이 있다. 이 중 유도결합 플라즈마(ICP)는 대면적화가 쉽고, 비교적 간단하며 별도의 부가적인 장치를 필요로 하지 않기 때문에 고밀도 플라즈마원으로 널리 이용되고 있다.

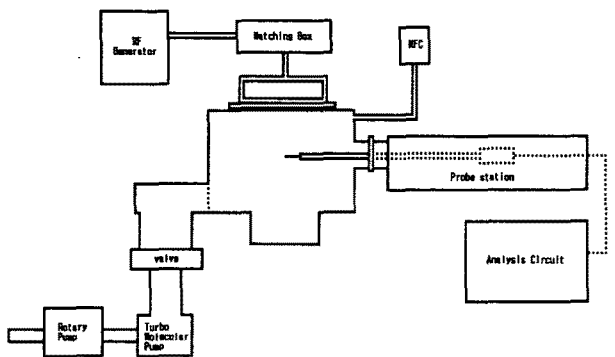
유도결합 플라즈마(ICP)의 특징은 전극이 필요 없고 낮은 압력에서도 상대적으로 고밀도의 플라즈마를 발생시킬 수 있으며, 이온의 밀도와 에너지를 독립적으로 제어 할 수 있다. 반면, 안테나의 인덕턴스가 커서 높은 전압이 인가되어 스퍼터링 현상이 발생하며, 안테나 고유의 임피던스로 인한 플라즈마 발생효율이 낮아지는 단점이 있다[1, 3].

이러한 문제점을 극복하고자 기존의 일반적인 안테나 시스템을 벗어나 좀더 새로운 형태의 안테나를 고안하였다. 안테나에 인가되는 전류의 방향에 따라 형성되는 유도자기장을 보장 또는 상쇄시킴에 따라 플라즈마 밀도의 변화를 살펴보았다. 안테나 사이에 유도자기장을 보강한 형태의 안테나는 특정조건인 챔버에서 낮은 쪽의 밀도를 상승시킬 수 있다. 따라서 챔버 전체에서의 플라즈마 밀도의 균일화가 가능해 짐에 따라 반도체 공정 및 웨이퍼의 대형화에 이바지 할 수 있을 것으로 보인다.

2. 본 론

2.1 실험장치

2.1.1 챔버 및 주변장치

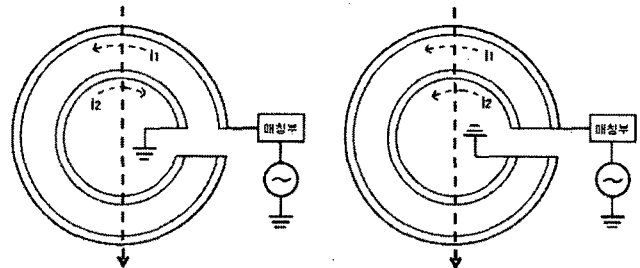


<그림 1> 플라즈마 발생 및 진단장치 개략도

그림 1은 플라즈마 발생 장치와 진단장치의 개략도이다. 원통형의 챔버로 내경 400 [mm], 높이 250 [mm], 두께 50 [mm]의 알루미늄으로 제작되었다. 챔버의 윗부분에는 직경 420 [mm]의 Dielectric Quartz Window가 있고, 그 위에 안테나를 설치하였다.

로터리 펌프(Oil-sealed rotary vacuum pump)를 이용하여 초벌배기하고, 터보펌프(turbo molecular pump)로 챔버 내의 고진공 상태로 유지시켰다. 가스 유입구는 챔버의 옆쪽 벽면에 위치해 있고, MFC를 이용하여 챔버 내부로 Ar 가스를 유입시켜 5~50 [mTorr]까지의 압력을 변화시켰다. RF 발생기를 이용하여 13.56Mhz의 파워를 공급하고, Matching Box의 진공가 변속전기를 이용하여 임피던스를 matching시켜 파워를 전달했다.

2.1.2 안테나



<그림 2> Two-turn 형태의 안테나
(좌) open형 안테나, (우) close형 안테나

그림 2는 유도 자기장의 보장 또는 상쇄를 고려한 two-turn 안테나이다. 5 [mm] 구리관으로 제작된 두 안테나는 기본적인 구조와 크기가 동일하고, 직경은 외부안테나 290 [mm], 내부안테나 240 [mm]으로 제작하였다. 그림의 (좌)측 open형 안테나는 외부 안테나의 한쪽 끝부분과 내부 안테나의 다른 한쪽 끝부분과 연결시켜, 안테나를 따라 흐르는 전류가 서로 반대 방향이 되도록 하였다. 따라서 두 안테나 사이에서 유도자기장이 보강되어 유도자기장의 세기가 가장 강하며, 안테나의 다른 부분은 상대적으로 그 세기가 약하다.

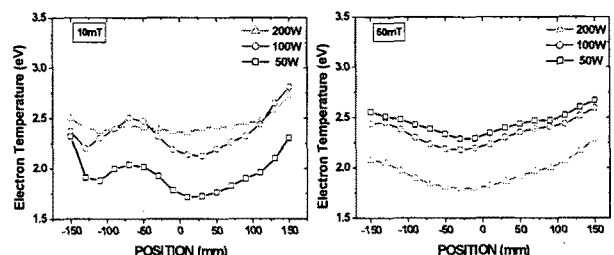
그림의 (우)측 close형 안테나는 내부 안테나와 외부 안테나의 양쪽 끝을 각각 연결시켜 안테나에 인가되는 전류의 방향이 동일하게 되도록 하였다. 두 안테나 사이에서 형성되는 유도자기장은 전류의 방향에 의해 서로 상쇄되고 그 세기가 줄어들고, 안테나의 안쪽과 바깥쪽에 형성되는 유도자기장은 상대적으로 강한 특성을 가지게 된다.

2.1.3 진단장치

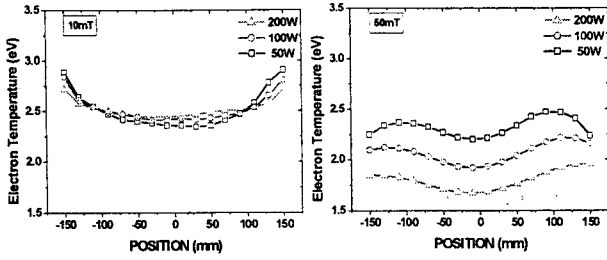
실험에 쓰인 진단장치는 Single Langmuir Probe (SLP)로써, 전압 인가 시 탐침에 흐르는 전류를 전압으로 표시하여 I-V 특성곡선을 구한다. 전자의 속도 분포를 맥스웰 분포로 가정하고, I-V 곡선에서 전자온도(Te), 플라즈마 밀도(Ni), 플라즈마 전위(Vp) 값 등을 산출하였다. Probe body는 세라믹 튜브를 사용했으며, 팁은 지름 0.1 [mm], 길이 10 [mm]의 텅스텐을 사용하였다. RF 플라즈마 섭동이 탐침에 주는 왜곡을 막기 위하여 팁의 끝부분에 텅스텐으로 제작한 링 모양의 RF 보상 probe를 장착하였다.

2.2 실험방법 및 결과

Single Langmuir Probe(SLP)를 이용하여 안테나로부터 70 [mm] 떨어진 지점에서 그림 2의 화살표 방향으로 플라즈마 파라미터를 측정하였다. SLP를 20 [mm]씩 이동시켜 총 16번 포인트의 데이터를 얻었고, 외부 안테나와 내부안테나 사이의 거리는 55 [mm] 이다. 그래프에서 가로축 0의 위치가 안테나의 중앙부가 된다. 안테나에는 Matching Box를 거쳐 50~200W가 인가되고, 10mT와 50mT의 두 압력에서 Ar가스를 이용하여 실험하였다.

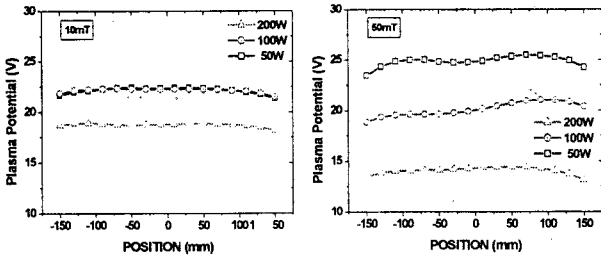


<그림 3> open 형 안테나의 전자온도

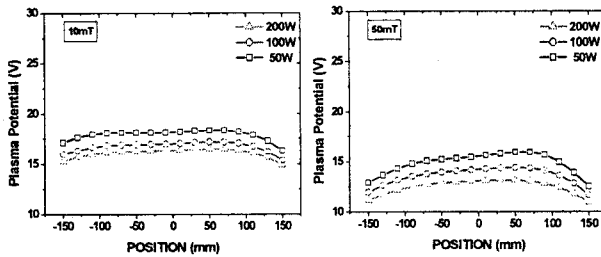


〈그림 4〉 close 형 안테나의 전자온도

그림 3과 4는 각 안테나에서의 전자온도를 구한 그래프이다. open형 안테나의 전자온도는 약 1.7~2.3 eV의 값을 가진다. 낮은 압력에서 전자온도가 불룩하게 솟은 부분은 안테나에 걸리는 전위차가 가장 큰 부분으로 Capacitive coupling에 의한 효과로 보여진다. close형 안테나는 낮은 압력에서 2.5~2.9eV로 파워의 변화에 관계없이 대체적으로 높고 일정한 값을 가지며 높은 압력에서의 전자온도는 안테나 사이에서 높게 나타났다. 이것은 실제로 챔버 내의 전자를 가속시키는 유도전기장이 강하게 작용했다는 사실을 알 수 있다. 공통적으로 낮은 압력에서는 파워가 증가함에 따라 전자온도가 올라가고, 높은 압력에서는 반대의 양상을 보인다. ICP 플라즈마의 일반적인 현상으로 전자의 평균자유행로 길이에 따라 전자가 가속을 받을 수 있는 에너지의 크기가 결정되는데, 상대적으로 낮은 압력에서의 전자는 다른 입자들 간의 충돌가능성이 적기 때문에 그만큼 가속 받을 수 있는 에너지가 크다. 이러한 전자온도는 플라즈마 전위를 결정하게 된다.

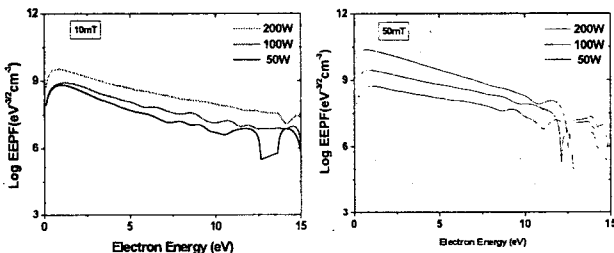


〈그림 5〉 open 형 안테나의 플라즈마 전위

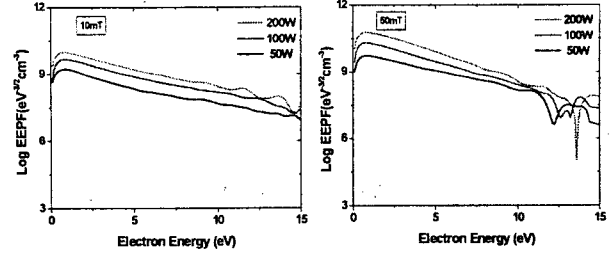


〈그림 6〉 close 형 안테나의 플라즈마 전위

그림 5와 6은 각 안테나에서의 플라즈마 전위를 구한 그래프이다. close형 안테나보다 open형 안테나에서 전반적인 Vp값이 높게 나타나는 양상을 보이는데, 이것은 플라즈마와의 커플링 계수와 안테나 임피던스에 관련이 있다. 이러한 플라즈마 전위(Vp)의 형성과정을 살펴보면 먼저 운동성이 좋은 전자가 챔버 벽 쪽으로 도달하여 ambipolar field를 유도하고, 이온은 그러한 힘에 의해 끌려가게 된다. 이렇게 운동성이 좋은 전자와 벨크 쪽 이온 사이의 전위차가 플라즈마 전위가 결정되고 결국, 플라즈마 밀도를 결정하게 된다.

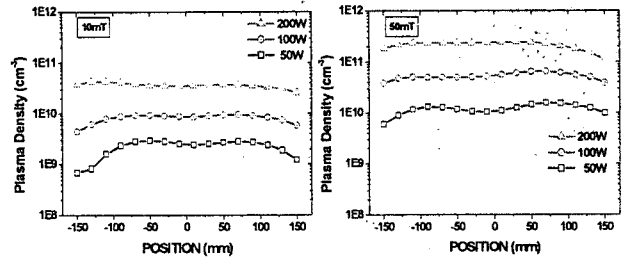


〈그림 7〉 open 형 안테나의 전자에너지 확률분포함수

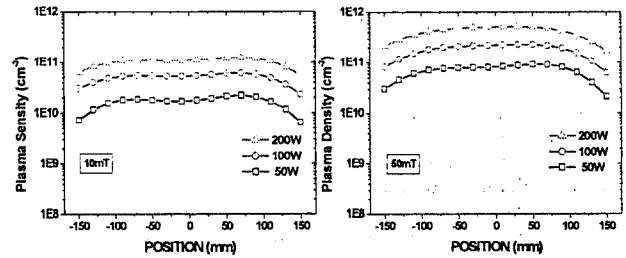


〈그림 8〉 close 형 안테나의 전자에너지 확률분포함수

파워가 증가함에 따라 플라즈마 전위가 낮아지는 현상은 안테나와 플라즈마 사이의 결합률이 높아져 파워를 올릴수록 전자가 에너지를 더 많이 받게 된다. 이렇게 에너지가 큰 전자는 중성자를 여기 또는 이온화 시키는 등 에너지를 소비하게 되어 평균적인 전자온도가 낮아져 결과적으로 플라즈마 전위를 낮추게 된다. 그림 7과 8은 각 안테나에서의 전자 에너지 분포함수(EEPF)를 나타낸 것이다. 그래프에서 전자에너지의 값이 12~15eV 이상에서는 Probe에 포집되는 전자의 수가 극도로 적기 때문에 신뢰할 만한 값이라 보기 어렵다. Close형 안테나가 open형 안테나 보다 높은 영역의 전자에너지 분포가 많은 것으로 나타난다. EEPF에서 높은 영역의 에너지의 기울기 역수는 전자온도를 의미하는데, 기울기가 낮을수록 전자온도가 높다는 것을 알 수 있다.



〈그림 9〉 open 형 안테나의 플라즈마 밀도



〈그림 10〉 close 형 안테나의 플라즈마 밀도

그림 9와 10은 각 안테나의 플라즈마 밀도를 나타낸 것이다. close형 안테나의 밀도가 전반적으로 더 높게 나타나고, open형 안테나는 높은 압력, 낮은 파워에서 밀도가 불룩하게 솟은 부분이 두드러지는 특성을 보인다. 이것은 안테나 구조에서 유도자기장이 보장되는 부분으로 낮은 압력에서는 diffusion 효과와 Capacitive Coupling으로 그 효과가 미비하였다. 뿐만 아니라 플라즈마 밀도의 uniformity를 10~20% 향상시켰다.

3. 결론

안테나 사이에서 유도자기장이 상쇄되는 형태의 안테나는 상대적으로 높은 밀도를 갖으나 밀도가 불균일하다. 반면 유도자기장이 보장되는 형태의 안테나는 유도자기장이 강한 부분에서 밀도가 높게 나타나 챔버의 특정부분의 밀도를 상승시킬 수 있음을 확인했고, 결과적으로 밀도의 Uniformity를 향상시킬 수 있다.

〈참고문헌〉

- [1] Alfred Grill, "Cold plasma in material fabrication from fundamentals to applications", John Wiley & Sons, Inc, 2003, pp.1-28, 107-109
- [2] M.A Liberman and A. J. Lichtenberg, "Principles of plasma discharge and materials processing", Wiley, New York, 1994, pp.1-44
- [3] V.A Godyak, R. B. Ptířka, and B.M. Alexandrobich, "Experimental setup and electrical characteristics of an inductively coupled plasma", 1998
- [4] John H Keller, "Inductive plasma for plasma processing", 1996
- [5] R. B. Piejak, V.A. Godyak, and B.M. Alexandro bich, "A simple analysis of an inductive RF discharge", 1992