

[IV~14]

회로 모델을 통한 ICP 방전의 전자가열 이론

윤 남식, 최 회환*, 김 성식*, 김 병철, 양 장규, 홍 재식, 황 순모, 이 경수, 최 덕인

기초과학지원연구소, *한국과학기술원

근래들어, 대구경화 추세에 따라 차세대 반도체 식각장치로 유력시 되는 Inductively Coupled Plasma (ICP) 장치에 대한 실험 및 이론적인 연구가 활발하다. ICP 장치는 외부자기장이 필요없고, 구조가 간단하며 기판으로 입사되는 이온의 에너지가 가열원과 무관하게 조절가능한 점 등의 장점을 가지고 있어서 반도체 제작용체의 많은 관심을 받고 있지만 가장 기본적이라고 할 수 있는 전자가열이론이 아직 잘 정립되어 있지 않은 관계로 방전현상에 대한 물리적인 이해에 많은 어려움이 있는 상황이므로, 기존의 방전현상에 대한 물리적인 이해를 제공하고 새로운 장비제작시의 지침이 될 만한 이론의 정립이 절실하게 요구되고 있는 상황이다. 최근의 몇 가지 연구결과에 비추어 보면, 전자기파와 입자사이의 비충돌 상호작용이 낮은 압력 방전을 유지하는 기본적인 현상이라고 생각 되며 전자가열이론은 이러한 비국소 가열현상을 포함하여야 한다.

본 연구에서는 회로 모델을 통해 플라즈마의 저항 및 인덕턴스를 구함으로써, 주어진 안테나 전류에 대해서 플라즈마가 흡수한 power가 여러 가지 공정 및 장치변수의 함수로 얻어졌다. 플라즈마의 임피던스는 이차원 파동방정식의 해로부터 결정되었으며 impedance matching network를 포함하면 RF power로 부터 안테나에 흐르는 전류가 결정될 수 있음을 보였다.

ICP 장치의 개략도와 본 이론에서 가정한 좌표계는 그림 1과 같다.

일단 주어진 안테나 전류를 원(原)으로 하는 파동 방정식을

풀어서 전자기파를 결정한다. 이때 플라즈마는 비국소

컨덕턴스를 갖는 선형물질로 표현 되며, 플라즈마의

컨덕턴스는 선형화된 볼츠만식으로 부터 결정된다.

이때 sheath 포텐셜에 의해 갇힌 전자들의 되튀김이

고려되어야 한다. 이러한 전자들의 되튀김은 동등한

주기적인 무한 공간을 고려함으로써 해결 되었다.

구해진 전자기파로 부터 다음과 같은 관계식에 의해

플라즈마가 흡수한 파워와 플라즈마의 임피던스가

결정된다.

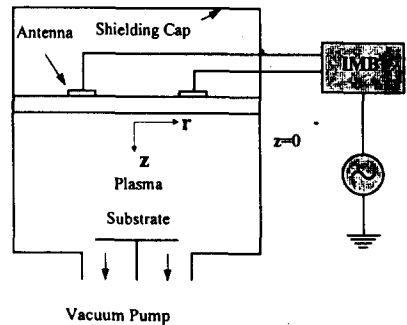


그림 1 ICP 장치의 개략도

$$R_p = \frac{2}{|A|^2} \text{Re} \left(- \int S \cdot nda \right) = R_p(n_p, T_e, \omega, \nu, R, L_p, L_s, r_c, z_c)$$

여기에서, R_p 는 플라즈마의 저항이고, I 는 안테나 전류, S 는 포인팅 벡터이다.

계산된 플라즈마 저항은 9 개의 변수들로 표현됨을 알 수 있는데 여기서 9 개의 변수들이 의미하는 양들은 차례대로 플라즈마 밀도, 전자 온도, 전자기파의 각진동수, 전자의 중성가스 입자와의 충돌 주파수, 장치 반경, 플라즈마 길이, shielding cap의 길이, 안테나의 위치등이다.

결과의 한 예로서, 간단한 구조의 안테나를 가정한 상황에서 전자의 충돌 주파수에 대한 플라즈마 저항의 의존성이 그림 2에 나타나 있다. 점선은 비교적 계산이 간단한 충돌극한에서의 값이다.

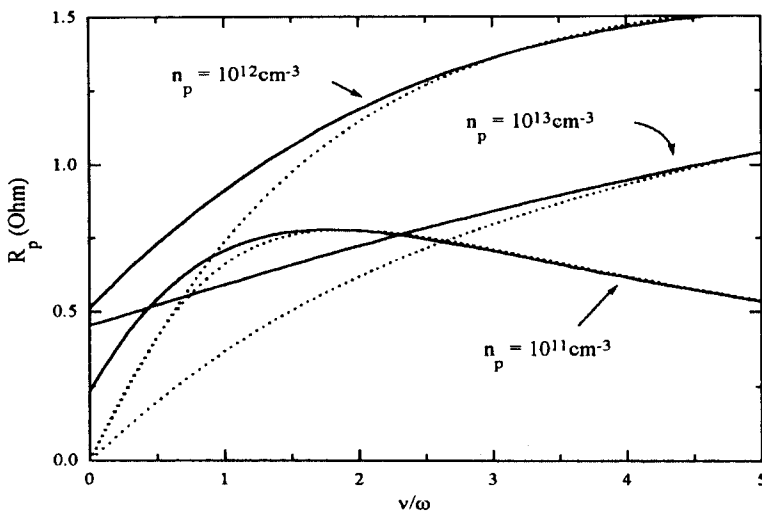


그림 2 플라즈마 저항의 전자충돌 주파수에 대한 의존성

만약에 impedance matching network를 회로 모델에서 고려한다면, 보통의 정규회로라는 가정 하에 안테나 전류는 다시 다음과 같은 RF power의 함수로 표시된다.

$$I_c = [1 + i\sqrt{R_0/R - 1}] \sqrt{2P_{RF}/R_0}$$

여기에서 R 은 파동방정식으로 부터 계산 되어야 할 전체 load 임피던스이다.

요약하면, 평면형 ICP 장치의 전자가열에 대한 회로모델이 정립되었다. 정립된 회로 모델은 전자기파와 전자사이의 비국소 가열 효과를 포함하고 있으며, 계산된 플라즈마 임피던스는 여러 가지 공정 및 장비 변수들에 의해 표현 된다. 이러한 전자가열 이론은 비단 본 연구에서 고려된 평면형 ICP 장치 뿐이 아니라, 원통코일형 ICP 장치 및 Helicon 장치에 대해서도 적용 가능하며, 그러한 일들이 현재 활발하게 진행되고 있다.