

고주파 유도방전 플라즈마 특성에 관한 연구(I)

A Study on the Characteristics of the Radio-Frequency Inductive Discharge Plasma

박 성근^o, 박 상윤, 박 원주, 이 광식, 이 동인
영남대학교 전기공학과
Sung-Gun Park^o, Sang-Yun Park, Won-Zoo Park,
Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee
Department of Electrical Engineering Yeungnam University

Abstract

Electron temperature and electron density were measured in a radio-frequency(rf) inductively coupled plasma using probe measurements. Measurements were made in an argon discharge for pressures from 10 to 100mTorr and input rf power from 100 to 800W. Spatial distribution Electron temperature and electron density were measured for discharge with same aspect ratio. Electron temperature and Electron density were found to depend on both pressure and power. Electron density was creased with increasing pressure, but peaked in a 70mTorr discharge. Radial distribution of the electron density was peaked in the plasma fringes

These results were compared to a simple model of inductively coupled plasmas.

1. 서 론

1970년대 초기, 처음으로 플라즈마가 디바이스(device) 제조에 사용되었다. 그 후, 플라즈마를 이용한 디포지션(deposition) 및 에칭(etching) 기술은 반도체 제조 등 플라즈마 프로세서에 대한 요구는 점점 더 엄청나게 되었다. 그것들 중에서도 중요한 것은 가공하는 크기의 꾸준한 미세화에 대응하기 위한 이온과 중성입자의 에너지 제어이다. 또, 웨이퍼(wafer)의 크기가 8인치, 12인치, 그 이상으로 프로세서 하는 필요성에서 넓은 면적으로 균등한 플라즈마가 필요하다

이러한 요구에 대해서 여러 가지 형태의 플라즈마 원이 고안되고 연구되어왔다. 그것들의 장치로서는 전자 사이클로트론 공명 방전^{1), 2)}, 헬리콘파 방전^{3), 4)}, 저압동작 유도결합 방전^{5), 6)}을 들 수 있다. 저압력에서의 고주파 유도결합(RFI) 방전은 이러한 요구에 잘 부응하는 것으로서, 최근에서야 발전되어왔다. 이 유도결합(RFI) 플라즈마원은 RF 전류가 방전가스 중에 시간변화하는 자장을 만들어 내고, 시간변화하는 자장이 방전을 발생·유지한다. 이 형태의 플라즈마원의 최대 이점은 시스템의 구조가 간단하다는 것이다. 또한 훨씬 낮은 플라즈마 포텐셜을 가지고, 이온에너지를 이온속과는 무관한 것으로 제어할 수 있는 특징을 가진다. 그리고 플라즈마를 생성하는 진공조 내에 방전용의 전극을 갖지 않으므로, 전극의 스퍼터(sputter) 현상 등에 의한 플라즈마 중의 불순물의 발생을 억제할 수 있다.

본 연구에서는 RFI 플라즈마원을 설계·제작하여 플라즈마 파라메타들을 측정하고자 하였다.

측정방법에는 레이저 유기형광(LIF)분광^{7), 8)}, 톨슨 산란 등 여러가지 방법이 있지만, 본 실험에서는 랑그뮤어 프로브법⁹⁾을 이용하여 입력 RF 파워에 따른 전자온도와 전자밀도 및 사용압력에 따른 전자온도, 전자밀도를 측정하고 또, 전자온도 및 전자밀도의 전극 반경방향 공간분포의 측정을 행하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

본 실험에서 사용한 유도결합 플라즈마 발생장치의 개략도를 그림 1에 나타낸다. 플라즈마 장치의 기

본구성은 고주파를 발생시키는 고주파 발생장치, 플라즈마 및 부하 임피던스와 매칭을 위한 매칭박스(matching box), 방전을 일으키는 진공조, 그리고 아르곤 가스를 공급하는 가스부, 로터리 펌프와 터보분자펌프등의 배기부로 이루어진다. 진공조는 길이 400mm, 직경 300mm의 SUS304 스테인레스 스틸제로 설계·제작하였고, 푸로우브 측정법에 적당한 구조로 되어있다. 진공조 내부에는 박막 가공을 행할 때 시료를 고정하는 웨이퍼 홀더가 있으며, 기판은 상하로 움직일 수 있도록 하였다. 진공조 상부는 안테나 코일 설치를 위하여 직경 280mm, 두께 25mm의 원판형 석영창을 설치하였다. RF 전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 폭 15mm, 두께 1mm의 동판을 와권상으로 10mm 간격으로 5회 감은 코일을 챔버 상부에 설치하였다. 또한, 고주파 전원에서 발생된 13.56MHz의 고주파는 동축케이블에 의해서 매칭박스를 사이에 두고 안테나 코일에 보내어진다. 통상 매칭박스와 부하는 가능한 한 가까운 위치로 동축케이블로 접속된다. 본 실험에서는 동축케이블로서 테프론을 사용한 내열 케이블을 사용하였고, 더욱이 안테나에는 코일과 케이블의 냉각을 위하여 강제공냉팬을 설치하였다.

플라즈마의 발생방법으로서는 로터리 펌프와 터보분자 펌프를 사용하여, 진공조 내부를 2.0×10^{-6} Torr 까지 배기한 후, MFC와 니들 밸브를 사용하여 일정 유량(5sccm)의 아르곤 가스를 도입한다. 또한, 콘트롤 밸브로써 압력을 일정하게 유지하였다. 가스 압력은 피라니 게이지와 바라트론 게이지로서 측정하였다. 그리고, 고주파 전원을 매칭박스를 통해 안테나 코일에 인가하여 플라즈마를 발생시켰다. 이 때에 반사전력은 0으로 되는 것을 확인하고, 반사가 있는 경우에도 입사전력의 5% 이내가 되도록 매칭박스를 조정하였다.

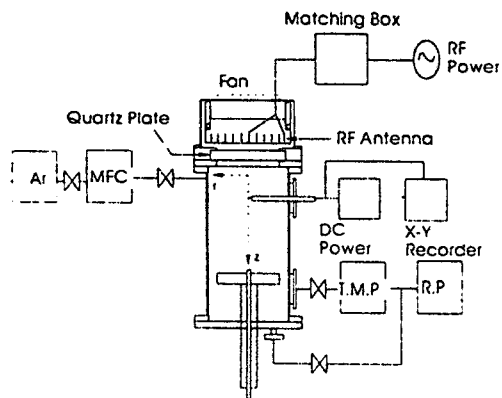


그림 1 플라즈마 발생장치 개략도

Fig.1 Schematic diagram of Plasma Generation device

랑그뮤어 푸로우브법에 의한 측정에서 얻어진 푸로우브 전류(I_p)로부터 전자전류(I_e)를 구하고, 얻어진 전자전류를 반대수 그래프로 플로트하여 그 기울기에서 전자온도(T_e)를 구하였다. 그리고 전자밀도는 식(1)에 의해 구하였다.

$$N_e(\text{cm}^{-3}) = 3.73 \times 10^{11} \frac{I_e(\text{Amp})}{S(\text{cm}^2)[T_e(\text{eV})]^{1/2}} \quad (1)$$

3. 실험결과 및 고찰

파워 의존성과 압력 의존성, 공간분포 측정의 공통된 실험조건으로서는 aspect 비(R/L)가 1.4 이다.

사용된 동작압력은 20mTorr이고, 아르곤 가스 유입량은 5sccm이다. 또 측정된 위치는 플라즈마 중심부이다. 여기에서 말하는 입력 파워는 RF 전원에서 입력하고 있는 파워이고, 모두가 플라즈마에 흡수되어지고 있는 것은 아니다. 플라즈마로 흡수되고 있지 않은 파워의 대부분은 케이블에서 소비되고 있다고 생각할 수 있다. 입력 RF 파워를 100W에서 800W까지 변화시켰을 때의 전자온도 및 전자밀도의 결과를 그림 2와 그림 3에 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 전자온도는 입력 파워에 대해 의존성을 볼 수가 없었지만, 전자밀도에 대해서는 입력 파워가 증가함에 따라 전자밀도의 크기도 직선적으로 증가하다 600W 부근에서 부터는 포화되어지는 경향을 볼 수 있다.

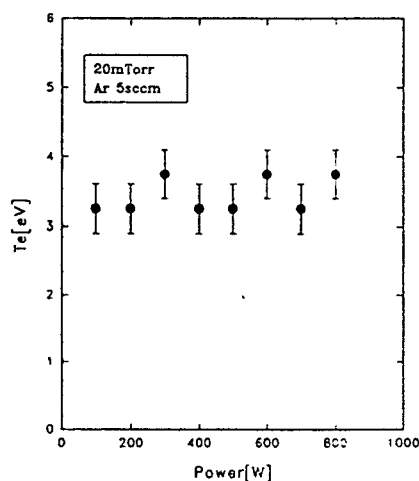


그림 2 전자온도의 입력 파워 의존성

Fig.2 The input RF dependence of electron temperature

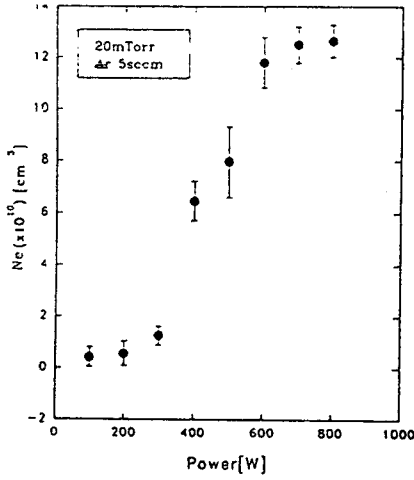


그림 3 전자밀도의 입력 파워 의존성

Fig.3 The input RF dependence of electron density

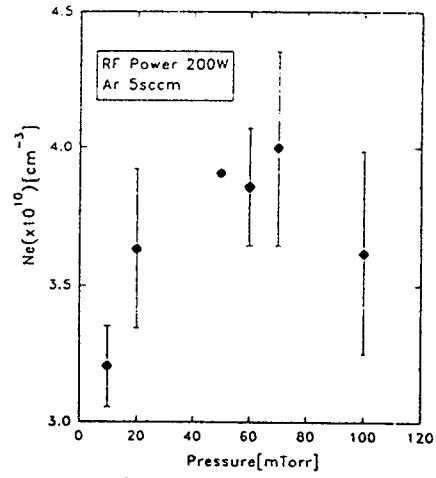


그림 5 전자밀도의 압력 의존성

Fig.5 Pressure dependence of electron density

저압력 동작 유도결합 플라즈마원은 전자 사이클로트론 공명 플라즈마원 등에 비해서 비교적 높은 동작 압력이다. 어떤 RFI 플라즈마원의 동작압력에서 질 좋은 가공을 할 수 있을까라고 하는 것에 대해서는 현재의 시점에서는 아직 토론의 여지가 있다. 여기에서는 10mTorr에서 100mTorr의 범위로 측정하고, 입력 파워는 200W로 하였다. 그림 4와 그림 5에 그 결과를 나타낸다. 그림 4의 전자온도에 관해서는 저압력에서 높은 전자온도값을 나타내지만, 50mTorr 이상이 되면 점점 감소하다가 70~100mTorr 사이에서는 그다지 변화하지 않는다. 그림 5의 전자밀도는 압력이 증가함에 따라 증가하는 경향을 가지다가 70mTorr에서 피크값을 갖는데, 이는 전자온도가 이 부근에서 급격히 감소하는데 따른 피크값으로 보인다.

푸로우브를 플라즈마 반경방향으로 움직이게 하는 것에 의해 전자온도의 반경방향 분포를 측정할 수 있다. 플라즈마내의 반경 방향의 크기는 기판의 크기가 직경 280mm이므로 R=140mm까지이다. 실험의 조건으로서 공통적인 것은 압력 20mTorr, 입력 파워 300W이며 그림 6, 그림 7에 각각 전자온도 및 전자밀도의 반경방향 분포의 측정결과를 나타낸다. 그림에서 0축이 플라즈마 중심부이고, 150축이 플라즈마 주변부이다. 그림 6에서 보듯이 같이 전자온도의 공간분포는 플라즈마의 중심부에서 전자온도가 높게 나타나고, 주변부로 갈수록 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그림 7에서는 전자밀도의 공간분포를 나타낸 것으로 중심부에서 부터 주변부로 갈수록 전자밀도가 증대되는 경향을 볼 수 있다.

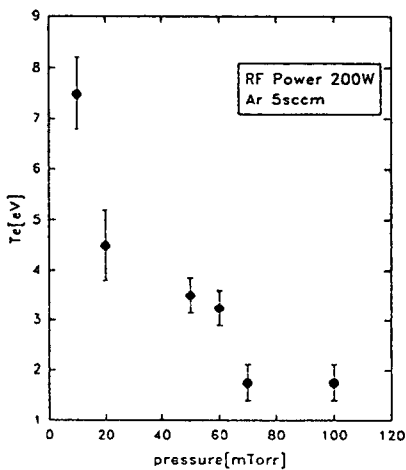


그림 4 전자온도의 압력 의존성

Fig.4 Pressure dependence of electron temperature

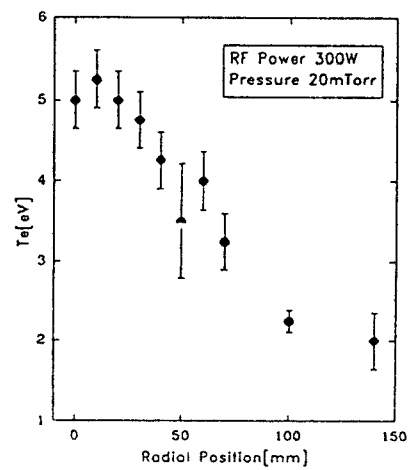


그림 7 전자온도의 반경방향 분포

Fig.7 Radial distributions of electron temperature

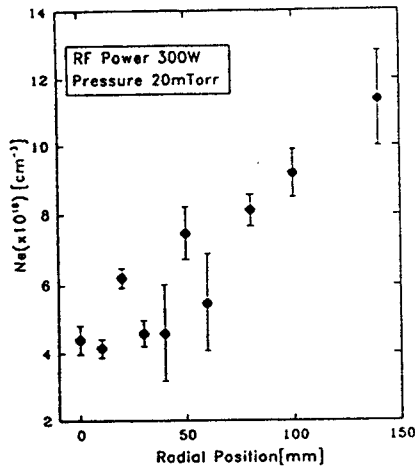


그림 8 전자밀도의 반경방향 분포

Fig.8 Radial distributions of electron density

4. 결 론

본 연구는, 고주파 유도결합형(RFI) 플라즈마 장치를 설계 제작하고, RFI 플라즈마 중의 입력 파워와 가스 압력에 따른 전자온도와 전자밀도 및 전자온도와 전자밀도의 반경방향 공간분포를 측정하기 위하여 랑그뮤어 푸로우브법을 적용하여 정량적으로 조사하였다. 이하에 얻어진 결과를 다음과 같이 나타낸다.

- 1) 전자온도의 입력 파워에 대한 의존성은 볼 수 없지만, 전자밀도는 입력 파워가 증가할 수록 직선적으로 증가하다가 600W 부근에서 포화되어진다.
- 2) 동작 가스압에 따른 전자온도는 20mTorr 이하에서는 높은 전자온도를 가지지만, 50mTorr 이상에서는 감소한다. 전자밀도는 압력이 증가함에 따라 70mTorr에서 피크값을 가진다.
- 3) 전자온도의 공간분포는 플라즈마 중심부에서 주변부로 갈수록 감소되는 것을 알 수 있었고, 전자밀도의 공간분포는 플라즈마 주변부에서 높게됨을 알 수 있었다.

이상의 결론에서 RFI 플라즈마 생성기구를 파악할 수 있었다. 이는 대구경 프로세스용 플라즈마원으로써 설계·제작, 운전함에 있어서 응용할 수 있는 가능성을 보여준다. 금후는 RFI 플라즈마의 중성입자, 에너지 공간분포 등에 관한 측정과 정확한 모델을 세울 필요가 있으며, 이 플라즈마에 대해서 더욱 깊이 이해할 필요가 있다.

5. 참고문헌

- 1)J. Foster : J. Vac. Sci. Technol. A8(5). 3720(1990)

- 2)M. D. Bowden, T. Okamoto : J. Appl. Phys. 73(6) 2732(1993)
- 3)J. Hopwood : Plasma Sources Sci. Technol. 1, 109(1992)
- 4)J. H. Keller, J. C. Foster and M. S. Barnes : J. Vac. Sci. Technol. A11(5), 2487(1993)
- 5)J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo : J. Vac. Sci. Technol. A11(1), 152(1993)
- 6)J. A. O'Neill, M. S. Varnes and J. H. Keller : J. Appl. Phys. 73(4), 1621(1993)
- 7)W. Z. Park : Applied physics Letters 58(22). 2564(1991)
- 8)W. Z. Park : Jpn. J. Appl. Phys. Vol31(9A). 2917(1992)