

고주파 유도방전 플라즈마의 푸로우브법에 의한 계측

박 성근[✉], 박 상윤, 하 장호, 박 원주, 이 광식, 이 동인
영남대학교 전기전자 공학부

A Measurements of Radio-Frequency Induction Discharge Plasma using probe method

Sung-Gun Park, Sang-Yun Park, Chang-Ho Ha, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee
School of Electrical and Electronic Engineering, Yeungnam University

Abstract - Electron temperature and electron density were measured in a radio-frequency inductively coupled plasma (RFICP) using a probe measurements. Measurement was conducted in an argon discharge for pressures from 10 [mTorr] to 40 [mTorr] and input rf power from 100 [W] to 800 [W], Ar flow rate from 5 [sccm] to 30 [sccm]. Spatial distribution electron temperature and electron density were measured for discharge with same aspect ratio ($R/L=2$). Electron temperature and electron density were discovered depending on both pressure and power, Ar flow rate. Electron density was increased with increasing input power and increasing pressure, increasing Ar flow rate. Radial distribution of the electron density was peaked in the plasma center. Normal distribution of the electron density was peaked in the center between quartz plate and substrate. From these results, We found out the generation mechanism of Radio-Frequency Inductively Coupled Plasma.

1. 서 론

최근, 반도체 산업에서의 플라즈마 프로세서의 이용이 점점 더 크게 되므로서, 웨이퍼의 미세화와 대면적화도 급속도로 진행되고 있다. 그러므로, 저압력에서 보다 넓은 면적의 균등한 플라즈마를 생성할 수 있는 새로운 고효율 플라즈마원의 연구·개발이 필요하게 되었다.

새로운 고효율 플라즈마원은 1) 고밀도($>10^{10}$ [cm⁻³]) 플라즈마를 생성하는 것과, 2) 대구경(직경 > 0.2 [m])의 균일한 플라즈마를 생성, 3) 저압력($10^2 \sim 10^3$ [Torr])에서 플라즈마를 생성하여야 하는데, 이러한 조건을 만족하는 플라즈마원으로서 지금까지 고안되고 연구되어 왔던 플라즈마원은 전자 사이클로트론 공명(ECR) 플라즈마와 헬리온파 플라즈마(HWP), 그리고 최근에 연구되어지고 있는 유도결합 플라즈마(ICP)^{[1]-[3]} 등이 있다.

고주파 유도결합 플라즈마(RFICP)원은 지금까

지 널리 사용되어 왔던 용량결합형 플라즈마(CCP) 원과 비교하여^[4] 1) 동작압력이 비교적 낮은 반면, 2) 높은 플라즈마 밀도를 가지고, 3) 플라즈마를 생성하는 진공관 내에 방전용의 전극을 갖지 않으므로, 전극의 스퍼터링 현상 등에 의한 플라즈마 중으로의 불순물의 혼입이 작다. 4) 그리고, ECR이나 HW 플라즈마원과 비교하여 작동원리에서 강력한 외부 자장을 이용하지 않으므로, 플라즈마 균일도와 플라즈마 면적을 증가시키는 것이 용이하고, 5) 장치적인 구조에 제약이 작다. 6) 그리고, 기판 바로 위에서 플라즈마가 형성되므로 플라즈마를 직접 반응에 사용할 수 있는 장점을 가지므로, 차세대 프로세서용 플라즈마의 장치로서 유망하다고 생각할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 향후 행하여지게 될 플라즈마 프로세서의 효율화, 최적화를 도모하기 위해서, 우선 RFICP 원을 직접 설계·제작하고, 방전 메카니즘을 체계적으로 이해하기 위하여 전자온도, 전자밀도의 플라즈마 파라메타를 푸로우브법^{[5], [6]}을 이용하여 계측하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

본 실험에 사용한 고주파 유도결합 플라즈마 발생장치의 개략도를 그림 1에 나타낸다. 진공관은 길이 400 [mm], 직경 300 [mm]의 SUS 304로 설계·제작하였고, 푸로우브 측정법에 적당한 구조로 되어있다. 진공관 내부에는 박막 가공을 행할 때 시료를 고정하는 웨이퍼 홀더(wafer holder)가 있으며, 기판은 상하로 움직일 수 있도록 하였다. 그리고, 진공관 상부에는 안테나 코일을 설치하기 위하여 직경 280 [mm], 두께 25 [mm]의 원판형 석영창을 두었고, 고주파 전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 폭 20 [mm], 두께 0.5 [mm]의 동판을 와편상으로 20 [mm] 간격으로 5회 감은 코일을 사용하였다.

플라즈마의 발생방법으로서는 로터리 펌프와 터보분자 펌프를 사용하여, 진공관 내부를 1.0×10^{-6}

[Torr] 까지 배기한 후, 유량조절기와 니들 벨브(needle valve)를 사용하여 일정 유량의 고순도 아르곤 가스(순도 99.999 [%])를 진공관 내로 유입한다. 그 후, 콘트롤 벨브(control valve)로써 진공관 내의 압력을 원하는 값($10^{-2} \sim 10^{-3}$ [Torr])에 일정하게 유지한다. 진공관내 가스압력을 피라니 게이지(Pirani Gauge)와 바라토론 게이지(Baratron Gauge)로서 측정하였다. 그리고, 고주파 전원을 매칭박스를 통해 안데나 코일에 인가하여 플라즈마를 발생시킨다. 이 때에 반사전력은 0 으로 되는 것을 확인하고, 반사가 있는 경우에도 입사전력의 5 [%] 이내가 되도록 매칭박스를 조정하였다.

측정에 있어서는 직경 0.5 [mm], 길이 3 [mm]의 텅스텐 선으로 된 푸로우브에 ± 200 [V]의 직류가변전원을 인가하여, 푸로우브 전압에 따른 푸로우브 전류를 X-Y 레코드로서 측정하였다.

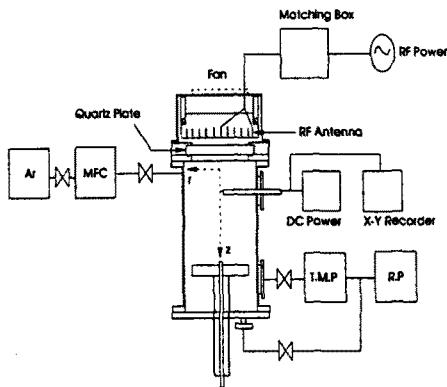


그림 1. 플라즈마 발생장치 개략도

3. 실험결과 및 고찰

전자온도, 전자밀도의 입력파워 의존성과 동작 압력 의존성, 반경방향 공간분포 및 축방향 공간분포 계측의 공통된 실험조건으로서는 아스펙트 비(aspect ratio ; R/L)를 2 로 하였고, 아르곤 가스 유량은 5 [scm]으로 안정하게 공급하였다. 그리고, Ar 가스유량과 아스펙트 비 의존성은 30 [mTorr], 600 [W]에서 실험을 행하였다.

전자온도와 전자밀도의 입력파워 의존성 계측에 사용된 동작압력은 20 [mTorr]이고, 측정 위치는 플라즈마 중심부($r=0$, $z=3$)이다. 입력파워를 100 [W]에서 800 [W]까지 변화시켰을 때의 전자온도 및 전자밀도의 측정결과를 그림 2에 나타내었다.

동작압력을 10 [mTorr]에서 40 [mTorr]의 범위로 변화시키며 플라즈마 파라메타의 압력 의존성을 계측하였다. 측정의 위치는 플라즈마 중심부($r=0$, $z=3$)로 하였고, 입력 파워는 600 [W]로, 그림 3에 그 측정결과를 나타내었다.

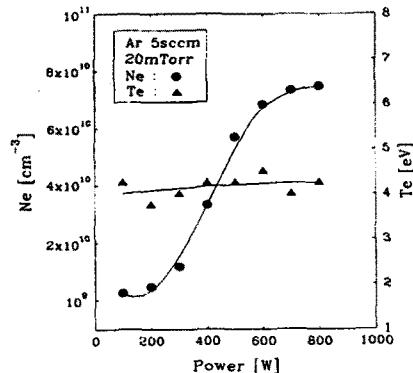


그림 2. 전자온도 및 전자밀도의 입력파워 의존성

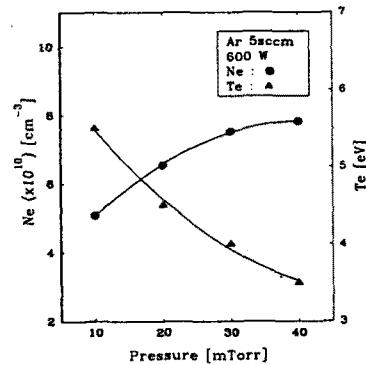


그림 3. 전자온도 및 전자밀도의 압력 의존성

푸로우브를 진공관에 수평방향으로 삽입하여 플라즈마 반경방향으로 그 위치를 변화시켜 가면서, 플라즈마 각 파라메타의 공간분포를 측정하였다. 플라즈마의 반경방향의 크기는 석영창의 크기가 직경 280 [mm] 이므로 $R=140$ [mm] 까지이다. 이 실험의 조건으로서 압력은 30 [mTorr], 입력파워는 600 [W]이며, 축방향의 측정위치는 $L/2$ (L 은 석영창에서 기판까지의 거리), 즉 석영창에서 35 [mm] 떨어진 플라즈마 중심단면이다. 그림 4에 전자온도와 전자밀도의 반경방향 공간분포의 측정결과를 나타내었다. 그림에서 $r=0$ 측이 플라즈마 중심부이고, $r=14$ 측이 플라즈마 주변부이다.

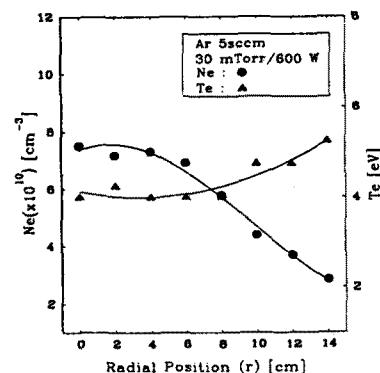


그림 4. 전자온도 및 전자밀도의 반경방향 공간분포

그림 5에 전자온도 및 전자밀도의 축방향 공간분포의 측정결과를 나타낸다. 푸로우브의 반경방향 위치는 $r=0$, 즉 플라즈마 중심부에 두고, 석영창($z=0$)에서 기판($z=7$) 부근까지 푸로우브의 위치를 변화시키면서, 플라즈마 각 파라메타의 축방향 공간분포를 측정하였다.

그림 6은 아스펙트 비가 2이고, 동작압력 30 [mTorr], 입력파워 600 [W]로 하여 실험한 플라즈마 파라메타의 아르곤 가스유량 의존성을 나타낸 것이다.

그림 7은 동작압력을 30 [mTorr]로 하고, 입력파워를 600 [W], 아르곤 가스유량 25 [sccm]으로 하여 실험한 플라즈마 파라메타의 아스펙트 비 의존성을 나타낸 그래프로서, 측정은 각각의 아스펙트 비에 따라 푸로우브의 위치를 가변시키면서 플라즈마의 중심부에서 행하였다.

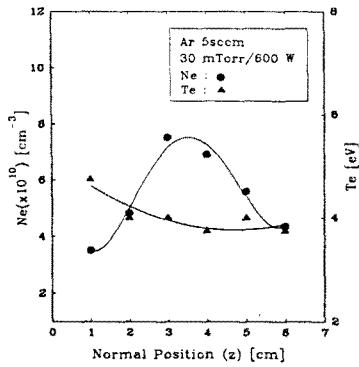


그림 5. 전자온도 및 전자밀도의 축방향 공간분포

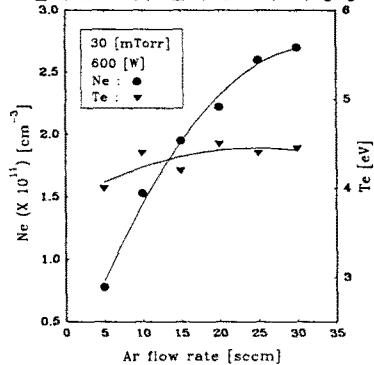


그림 6. 전자온도 및 전자밀도의 Ar 가스유량 의존성

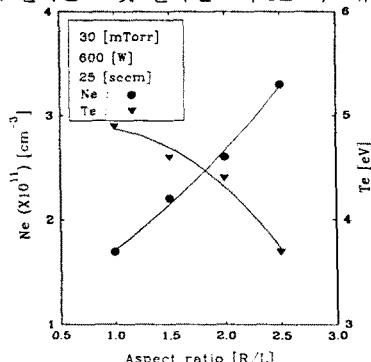


그림 7. 전자온도 및 전자밀도의 아스펙트 비 의존성

4. 결 론

본 연구에서는, 고주파 유도결합 플라즈마원의 장치를 직접 설계·제작하여, 플라즈마 제어 파라메타에 따른 각각의 전자온도와 전자밀도를 랑그밀리 푸로우브법을 이용하여 측정하였다. 이하에 실험에서 얻어진 결과를 나타낸다.

(1) 전자온도의 입력파워에 대한 의존성은 볼 수 없지만, 전자밀도는 입력 파워가 증가할수록 직선적으로 증가하다가 600 [W] 부근에서 포화되어지는 것을 볼 수 있었다.

(2) 동작 가스압력에 따른 전자온도는 압력이 낮을수록 높은 값을 가지고, 전자밀도는 압력이 증가함에 따라 그 값이 증가하였다.

(3) 전자온도의 반경방향 공간분포는 거의 플랫하지만, 플라즈마 주변부에서 약간 상승함을 볼 수 있었고, 전자밀도의 반경방향 공간분포는 플라즈마 중심부에서 주변부로 갈 수록 감소함을 알 수 있었다.

(4) 전자온도의 축방향 공간분포는 거의 플랫하지만, 석영창 부근에서 약간 높은 값을 나타내고, 전자밀도는 석영창과 기판홀더사이의 플라즈마 중심에서 최대가 되고, 주변부로 갈 수록 낮아짐을 알 수 있었다.

(5) 전자온도의 아르곤 가스유량에 대한 의존성은 볼 수가 없었고, 전자밀도는 가스유량이 증가함에 따라 그 값이 증가함을 볼 수 있었다.

(6) 아스펙트 비가 증가함에 따라 전자온도는 낮아졌고, 전자밀도는 증가하였다.

이상의 결론에서 RFICP 플라즈마의 생성기구를 파악할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Hopwood, C. R. Guarneri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo, "Langmuir probe measurements of a radio frequency induction plasma", J. Vac. Sci. Technol., A11(1), pp.152, 1993
- [2] J. H. Keller, J. C. Foster and M. S. Barnes, "Novel radio-frequency induction plasma processing techniques", J. Vac. Sci. Technol., A11(5), pp.2487, 1993
- [3] 菅井秀郎, "低圧力・高密度 プラズマの新しい展開", 應用物理, 63권 6호, pp.559, 1994
- [4] J. Amorim, H. S. Maciel and J. P. Sudano, "High-density plasma mode of an inductively coupled radio frequency discharge", J. Vac. Sci. Technol., B, 9(2), pp.362, 1991
- [5] 堤井信力, プラズマ基礎工學, 内田老鶴園, 1995
- [6] B. E. Cherrington, "The Use of Electrostatic Probes for Plasma Diagnostics - A Review", Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2(2), pp.113, 1982