

저기압하의 아르곤 가스의 RF 글로우 방전특성

“곽동주* 김두환** 박정후**

* 경성대학교 전기공학과, ** 부산대학교 전기공학과

RF Glow Discharge Characteristics of Argon at Low Gas Pressure

D. J. Kwak* D. H. Kim** C. H. Park**

* Kyungseung University, ** Pusan University

Abstract

In order to study the structure of RF glow discharge driven at 13.56MHz in argon, the discharge voltage, current and phase shift between them will be measured over a wide range of discharge parameters (gas pressure between 1mTorr and 50mTorr with discharge power between 20mW and 200W). In this paper, the dc glow discharge characteristics and plasma parameters of both FTS and CPMS systems are studied experimentally. It is found that for CPMS system discharge is stabilized under wider ranges of magnetic field and pressure than for FTS system. The plasma density and electron temperature of the plasma for these two systems are in the range of $10^{10} \sim 7 \times 10^{11} [\text{cm}^{-3}]$ and $3.5 \sim 6.5 [\text{eV}]$, respectively.

1. 서론

플라즈마 프로세서에 의한 스퍼터링법에 있어 형성된 박막의 부착력 및 강도 특성은 성막시 형성된 방전 플라즈마중의 전자밀도 및 온도의 상태에 크게 의존한다. 즉 기능성 박막의 제 특성을 제어하기 위해서는 박막의 형성을 위한 방전 플라즈마의 물성과 제작된 박막 특성과의 상관관계에 대한 연구가 필요하며, 이와 관련하여 DC, RF, microwave발생 플라즈마의 물성 연구가 일부 연구자들에 의하여 진행되고 있다[1,2]

그러나 방전 플라즈마의 물성은 가스의 종류를 비롯하여 압력조건, 전극간 거리, 전극재질등 방전조건에 따라 크게 변화한다. 특히 스퍼터법에 의한 박막형성의 경우, 발생된 고 에너지의 2차전자의 확산을 억제하기 위하여 magnetron mode의 시스템 동작이 일반적이며 이 경우, 외부자계의 영향으로 산정된 전자 밀도 및 전자 온도의 신뢰성에 많은 문제점이 있다.

이에 본 연구에서는 양질의 박막 제조 및 박막특성의 제어란 관점에서 평행 평판형 전극계를 비롯하여, 특히 보다 고밀도의 플라즈마의 형성을 위하여 제안되고 있는 FTS(Facing Target Sputter) 및 CPMS (Cylindrical Post Magnetron Sputter) 시스템에서의 직류 및 RF 글로우 방전 특성을 비교 연구하고, double probe법에 의한

전자온도 및 밀도를 구하여, 박막형성에 필요한 실험적인 스퍼터 시스템의 선택에 대한 방안을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

그림1에 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 진공조는 SUS304로 직경 270mm, 높이 450mm의 직원통의 형태로 진공조의 외벽에는 자계를 발생하기 위한 전자석 코일을 설치하여, 진공조의 중심 자계가 최대 1000Gauss 까지 가변되도록 하였으며 방전중 진공조내의 온도 상승의 억제 및 코일의 냉각을 위하여 진공조를 수냉벽으로 하였다. 진공조는 10^{-6} Torr 까지 배기한 후 MFC로 Ar을 주입하여 원하는 진공도를 조절하였으며, 이 때 가스 유량은 25SCCM으로 일정하게 유지하였다. 전극은 직경 70mm의 용량성 평행 평판 전극계로 전극 간격은 70mm로 하였다. FTS 전극계의 음극 직경은 50mm이며 음극 사이의 간격은 70mm이다. CPMS전극은 50mm직경의 음극 중심부에 직경 15mm, 길이 70mm의 원주형 스테인리스 전극을 삽입하여 사용하였으며, 모든 전극계에는 이온 증

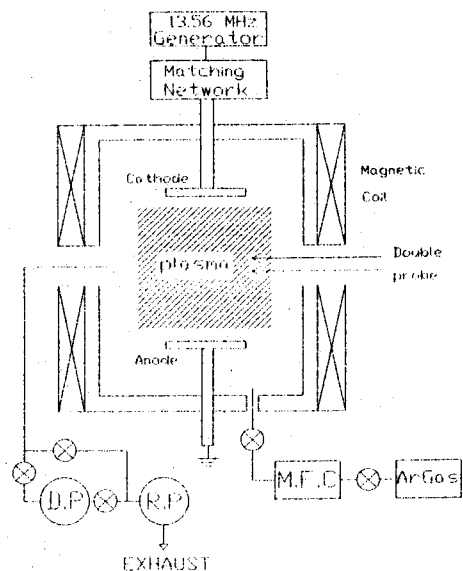


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup

력에 의한 음극의 온도 상승을 억제하기 위하여 냉각수를 공급하였다. 그림2에 FTS 및 CPMS 전극계의 개략도를 나타낸다.

전원 장치로는 DC 및 RF(13.56MHz, 300W) 전력 발생 장치를 사용하였으며, RF의 경우 전압 및 전류는 1000:1의 고압 프루브 및 전류 프루브 시스템을 이용하여 디지털 오실로스코프(TDS 460AS)상의 오실로그램으로 확인하였다.

한편, 형성된 플라즈마 밀도 및 전자온도의 측정에는 자계의 영향을 거의 받지 않는 double probe법을 이용하였다. 즉, 직경 0.25mm, 길이 2mm의 원통형 텅스텐 probe 2개를 플라즈마내에 삽입하여, 외부전원에 의해 전압을 인가할 때 얻어지는 플라즈마와 probe간의 이온전류-전압 특성 곡선으로부터 다음 식에 의해 전자밀도 및 온도를 산정하였다[3].

$$\frac{kT_e}{e} = \frac{\sum I_i}{A_1 \left[\frac{dI_i}{dV_d} \right]_{V_d=0} - A_2 \left[\frac{dI_i}{dV_d} \right]_{\text{포화}}} \quad (1)$$

$$I_0 = KN_e e \left[\frac{kT_e}{m_i} \right]^{1/2} S, \quad (K \approx 0.61) \quad (2)$$

여기서, T_e 및 N_e 는 전자온도 및 밀도이며, k , e , m_i 는 각각 볼츠만 상수, 전기소량, 이온질량을 나타낸다. 또한, S 는 probe 단면적이며, K , A_1 , A_2 는 플라즈마 특성에 관련된 상수로 각각 0.61, 4, 3.28이다. $[dI_i/dV_d]_{V_d=0}$ 와 $[dI_i/dV_d]_{\text{포화}}$ 는 각각 probe 인가전압 $V_d=0$ 및 포화 전류 영역에서 probe 전류 I_i 의 경사를 나타내고, $\sum I_i$ 는 probe에 유입되는 총 이온전류이며 I_0 는 이온 포화전류이다.

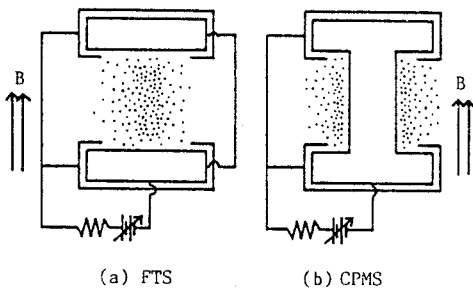


Fig.2 Arrangements of FTS and CPMS systems

3. 실험결과 및 고찰

필자들의 FTS 및 CPMS 전극계의 직류 글로우 방전 특성 연구 결과에 의하면 FTS의 경우, 처음에는 방전전압을 상승시키에 따라 방전전류가 완만하게 증가하나, 이후 일정 전압 영역하에서 방전전류는 거의 일정치를 나타낸 다음 다시 증가하는 경향을 보였다. 그러나 CPMS에서는 방전전류가 포화하는 전압영역은 존재하지 않았

으며, 일정 방전전압하의 전류밀도는 CPMS 전극계의 경우가 FTS에 비해 전반적으로 높았다[4]. 본 연구에서는 우선 FTS 및 CPMS 스퍼터 시스템의 안정 동작 특성에 미치는 자계 및 압력의 영향에 관하여 기술한다.

그림3은 $4\text{mA}/\text{cm}^2$ 의 전류밀도를 일정하게 유지하기 위한 방전전압과 자계와의 관계를 압력을 변수로 나타내고 있다. 그림으로부터 동일한 전류밀도를 얻기 위해서는 주어진 자계 및 압력하에서 FTS 전극계가 보다 높은 방전전압이 필요함을 알 수 있다. 또한 일정 압력하에서 자계가 감소함에 따라 방전전압은 서서히 증가하나, 자계가 일정값 이하로 감소하면 방전전압은 급격히 증가하여 방전은 소멸되고 만다. 방전유지에 필요한 최소자계(임계자계)는 두 전극계 모두 압력이 증가할 수록 감소하며, 예로서 10mTorr의 압력하에서 CPMS 전극계의 임계자계는 70Gauss이고 FTS의 경우는 120Gauss로서, CPMS 전극계의 경우가 낮은 임계자계를 갖게 된다. 한편, 그림4는 방전전류밀도 $4\text{mA}/\text{cm}^2$ 를 일정하게 유지하면서 안정동작을 하는데 필요한 진공조 압력과 자계와의

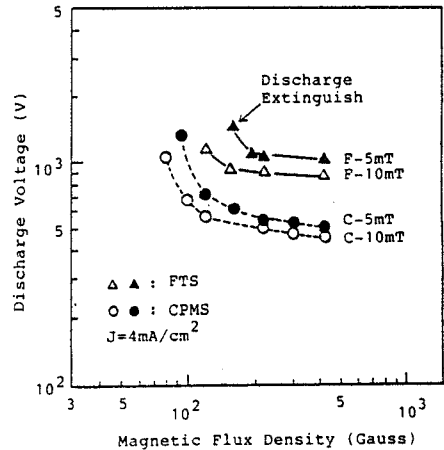


Fig.3 Discharge voltage-magnetic field characteristics

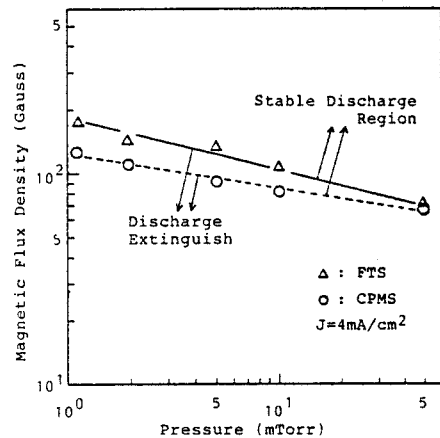


Fig.4 Magnetic field-pressure characteristics at given current density

상관관계를 나타내고 있다. 그림으로부터 FTS 및 CPMS 전극계는 1mTorr의 저압력에서도 안정된 글로우 방전을 유지하여 4mA/cm²의 고전류밀도를 형성함을 알 수 있다. 이 값은 동일한 조건하의 평판 diode방식의 약 10배 정도의 전류밀도로 되므로 두 전극계 모두 고진공도 하에서 박막형성이 가능할 것으로 생각된다. 한편, CPMS 전극계가 보다 낮은 자계 및 압력조건하에서 FTS 전극계와 동일한 전류밀도를 형성할 수 있어, CPMS 전극계가 보다 넓은 자계와 진공도의 범위하에서 스퍼터 시스템의 안정동작이 가능함을 알 수 있다.

그림5는 두 전극계에 대하여 압력 5mTorr, 자계 150G로 일정하게 유지할때, 주어진 방전전압하에서 전자밀도 및 전자온도를 double probe법으로 측정된 결과를 나타내고 있다. 이때 probe는 FTS의 경우 발생된 플라즈마 쿨럼의 중심부에, 그리고 CPMS의 경우에는 원주형 음극표면에 음극 압부가 형성되므로 압부영역을 갖 벗어난 지점에 위치하였다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 주어진 전압하의 전자밀도는 CPMS의 경우가 FTS에 비하여 2배 이상 높으며 전자온도도 평균적으로 약 1 eV 정도 높게 나타났다. 한편, 압력 10mTorr, 전류밀도 2.5mA/cm²의 일정 조건하에서 두 전극계에서 발생된 플라즈마의 공간적 위치에 따른 전자온도 및 밀도의 변화를 그림6에 나타낸다. 그림에 표시된 probe 위치는 FTS 전극계의 경우, 대향 음극사이에서 형성된 플라즈마 중심부로부터의 동경방향의 거리를 나타내며, CPMS 전극계에서는 원주도체 표면으로부터의 거리를 표시한다. 그림으로부터 FTS 전극계의 전자밀도는 플라즈마 중심부에서 멀어질수록 감소하고 있으나, CPMS 전극계의 경우에는 압부영역으로 생각되는 2mm부근에서 전자밀도는 가장 낮으며, 압부영역을 벗어난 지점에서 최대값을 나타낸 이후, 원주형 음극에서 멀어짐에 따라 서서히 감소함을 알 수 있다. 또한 두 전극계의 전자온도는 CPMS 전극계의 압부영역에서 6eV로 가장 높았으며, 그외의 모든

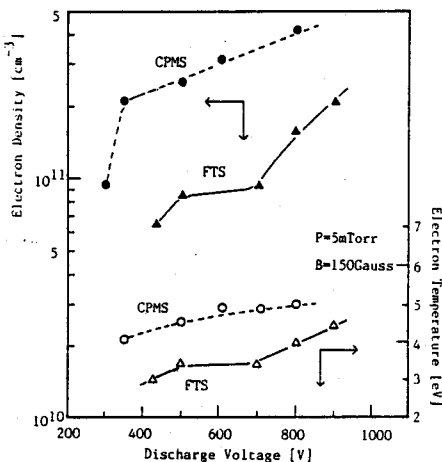


Fig.5 Comparison of plasma parameters for FTS and CPMS systems

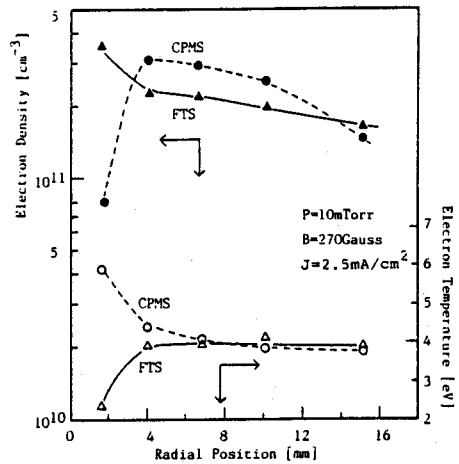


Fig.6 Plasma parameter characteristics as a function of radial position for FTS and CPMS systems

영역에서는 비슷한 값을 보이고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 박막특성의 제어란 관점에서 평형 평판형 전극계 및 FTS, CPMS시스템에서의 직류 및 RF 글로우 방전 특성을 비교 연구하여, 박막형성에 필요한 실효적인 스퍼터 시스템의 선택에 대한 방안을 제시함을 목표로, 우선 직류의 경우에 있어 FTS 및 CPMS시스템의 동작특성에 관한 일부 결과를 보고하였다. 결과를 정리하면 다음과 같으며 앞으로 RF 방전특성에 관하여 연구를 실시할 예정이다.

- 1) CPMS가 FTS보다 넓은 자계와 진공도의 범위하에서 스퍼터 시스템의 안정동작이 가능하며, CPMS의 경우는 FTS 보다 낮은 자계 및 압력조건하에서 동일한 방전 전류를 형성할 수 있다.
- 2) 주어진 전압하에서 CPMS의 전자밀도는 FTS에 비하여 2배 이상 높았으며 전자온도도 평균 약 1eV 정도 높았다. 동일한 전류밀도하의 전자밀도는 CPMS전극계가 압부를 제외한 거의 모든 영역에서 약간 높았으며, 전자온도는 CPMS의 압부영역을 제외한 대부분의 방전 공간에서 비슷한 값을 나타내었다.

참고문헌

1. V. A. Godyak, et al., IEEE Trans. on PS vol. 19, pp.660, 1991
2. L. Z. Ismail, et al., IEEE Trans. on PS vol. 20, pp.57, 1992
3. 堤井信力, プラズマ 基礎工學, 内田老鶴園, pp.159, 1986
4. 곽동주외, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1619, 1994