

글로우 방전 플라즈마 진단 특성

(The Characteristics of Glow Discharge Plasma Diagnosis)

우성훈
(경운대학교)

Sung-Hun Woo
(Kyungwoon University)

Abstract

We have studied on plasma diagnosis, characteristics of the glow discharge at the several different conditions of pressure, discharge current, and such. The discharge onset voltage and onset current decreased as pressure increase, the general trend was nearly in agreement with the left regions of Paschen's curve. As normal glow discharge, discharge voltage was constant according to discharge current.

1. 서론

플라즈마 기술은 다양한 재료의 증착 및 표면처리에 유용하게 사용되고 있다. 이 기술은 플라즈마 상태에서의 높은 에너지의 입자 및 라디칼 활성종이 어떤 재료의 표면에 물리 및 화학적 반응에 의해 에너지를 재료의 표면에 전달, 표면을 원하는 특성으로 바꾸거나 신 물질을 코팅하는 용도로 주로 사용되고 있다. 주 응용 분야는 반도체, LCD, PCB 제작공정, 카본제거, 오염물 제거, 표면활성화, 에칭, 고분자 가교결합 등이다. 예전에는 화학약품에 의한 습식공정이 주로 이 용도로 사용되었으나 최근 첨단제조 공법의 등장, 새로운 소재의 출현, 고밀도 고집적화 추세, 그리고 환경적인 전자부품의 제조 공법의 요구에 따라 플라즈마 기술이 이를 대체하고 있다.

플라즈마는 수만도 정도의 온도와 $10^9 \sim 10^{10}$ [/cm³]의 밀도를 갖는 저온 글로우 방전 플라즈마와 수천만도 이상의 온도와 $10^{13} \sim 10^{14}$ [/cm³]의 밀도를 갖는 초고온 플라즈마로 구분된다. 이중 공업적으로 이용이 활발한 플라즈마는 저온 글로우 방전 플라즈마로서 신소재 합성, 금속표면처리, 환경정화 등 응용분야가 점점 더 확대되고 있으며, 이에 따라 다양한 플라즈마의 생성 및 제어, 측정기술, 플라즈마의 특성을 측정하는 플라즈마 진단법의 개발이 연구되고 있다.

본 연구에서는 넓은 면적의 균일한 플라즈마를 생성할 수 있는 저온 글로우 방전 시스템을 제작하여, 글로우 방전 특성 및 플라즈마 특성에 관한 연구를 수행하였다.

2. 글로우 방전 장치 및 특성

2.1 글로우 방전부

글로우 방전은 그림 1에서 보이는 것처럼 두께 4[mm], 직경 300[mm] 링 형태의 양극을 가운데 두고 길이 90 [mm], 내경 470[mm]의 진공 챔버 사이에 고전압을 인가함으로써 발생되어진다. 글로우 방전의 경우에 있어서 본 연구에서 채택한 링(ring) 아노드(anode) 타입은 전자의 수명이 일반 평판형의 전극구조에 비해서 상대적으로 길어지는 특성이 있기 때문에 전자의 충돌전리가 활발해지며 수[A]의 방전전류를 흘릴 수 있다.

스테인레스 스틸로 만들어진 실린더 타입의 진공 챔버는 접지되어 있으며, 글로우 방전의 음극을 구성한다. 챔버에서 내부 그리드(cathode)는 접지전극으로 글로우 방전의 음극 역할을 한다. 플라즈마는 헬륨 이온의 일부분을 통과시킬수 있는 내부 그리드에 의해 차폐되어진다. 내부 그리드는 산업분야에 응용시 플라즈마 내의 이온과 전자가 가속되어 통과할 수 있도록 홀 타입의 전극을 사용하였으며, 내부 그리드의 유효 단면적은 약 80[%] 이다.

글로우 방전은 수 ~ 수십[mtorr]의 헬륨가스로 채워진 챔버 내부에서 링 타입 아노드와 챔버 외벽사이에 전압을 인가함으로써 발생하며, 이때 방전개시 및 플라즈마 여기를 위해 공급되는 전압은 챔버에 대해 정극성을 가진다. 헬륨 가스는 니들 밸브를 통하여 챔버 속으로 작은 유속으로 흐르고 있으며 챔버속의 불순물을 최소화하기 위하여 로타리 펌프로 순환 되어진후, 챔버는 분당 처리용량 600[l]의 터보분자 펌프(ATP

Series)에 의해 수[mtorr]로 펌프되어진다. 작업 가스 압력은 절대 압력 변환기(MKS Baratron Type 622A)의 Baratron gauge와 컨트롤 시스템(MKS Type 146C Cluster Gauge)을 가지고 측정하였다.

전원의 2차전압은 슬라이더스의 가변전압에 따라 선형적으로 1,100[V]까지 변화되어진다.

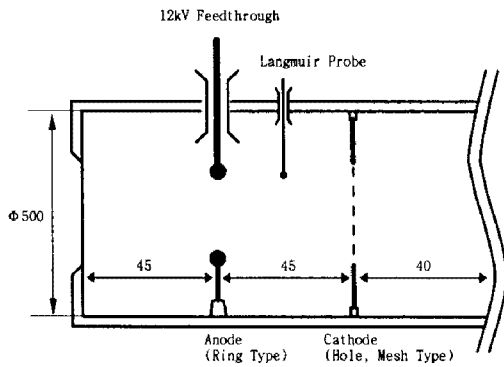


그림 1. 글로우 방전부 개략도
Fig. 1. Schematic of glow discharge part

2.2 글로우 방전 특성

그림 2는 아노드와 챔버 또는 아노드와 내부 그리드 사이의 전극거리 45[mm]에서 압력에 대한 방전개시 / 소멸 전압 및 전류를 나타내고 있다. 이때 방전개시전압으로서 방전이 일어나기 시작할 때의 출력전압을 측정하였으며, 동시에 방전전류도 측정 하였다.

방전개시전압과 방전개시전류는 압력 증가에 따라 감소하며, 방전은 적어도 50[mtorr] 이상의 압력에서 쉽게 개시하기 시작한다는 것을 알 수 있다.

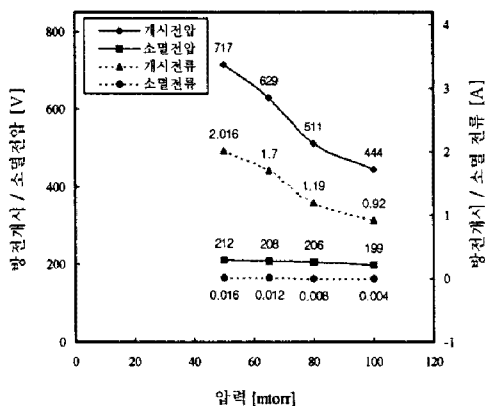


그림 2. 압력에 대한 방전개시 / 소멸 전압 및 전류
Fig. 2. Discharge onset / offset voltage and current versus pressure

그림 3은 압력의 변화에 따른 방전전류에 대한 방전전압을 나타내고 있다. 산업분야 응용을 위하여 방전개시 후 압력을 낮게 유지하였으며, 압력이 낮아짐에 따라 글로우 방전이 소멸되는 것을 방지하기 위하여 출력

전압을 서서히 증가하였으며 그때 유지되는 방전전류에 대한 방전전압을 측정하였다.

이때, 압력이 10[mtorr] 이상으로 될수록 방전을 유지할 수 있는 전압이 낮아져 상대적으로 더 높은 방전전류를 얻을 수 있었다. 압력이 5[mtorr] 정도로 낮은 경우에는 출력전압의 증가로 인한 전원장치의 한계로 인하여 방전전류의 범위가 제한되지만 안정된 글로우 방전 유지 및 향후 산업분야 응용에 바람직하다고 할 수 있다.

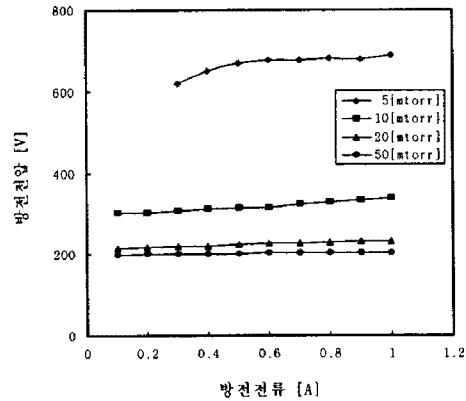


그림 3. 압력의 변화에 따른 방전전류에 대한 방전전압
Fig. 3. Discharge voltage versus discharge current as a function of pressure

그림 2와 그림 3으로부터 본 연구에서 사용하고 있는 글로우 방전 시스템의 방전영역은 Paschen 곡선의 왼쪽 영역임을 알 수 있었고, 또한, 방전전압이 방전전류에 관계없이 일정한 정규 글로우 상태를 알 수 있었다.

또한 헬륨가스 글로우 방전의 두 전극 사이의 공간은 거의 플라즈마 상태인 양광주로서 보라색 글로우로 채워져 있음을 발광 상태로 확인할 수 있었다.

3. 플라즈마 진단장치 및 특성

3.1 플라즈마 진단 프로브

플라즈마의 진단은 대상으로 되는 플라즈마가 어떤 특징을 가지는 플라즈마인가를 조사하는 것이다. 플라즈마의 특성으로서 플라즈마 파라메타가 사용되어지는 데, 플라즈마의 밀도를 나타내는 전자밀도(N_e)와 이온 밀도(N_i) 및 입자의 에너지 상태를 나타내는 전자온도(T_e), 이온온도(T_i) 등이 있다. 플라즈마 파라메타의 차이에 의해 플라즈마의 성질과 행동이 다르므로 플라즈마 실험을 하는데 있어서 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서 사용한 푸로우브법은 탐침법 또는 탐극

법이라고도 하며, Langmuir가 개발한 단탐침법(single probe method)이 각종 푸로우브의 원형으로 지금도 유용하게 많이 사용되고 있다.

본 연구에서 제작한 Langmuir probe 타입인 단탐침법으로, probe는 중심으로부터 벽까지 쉽게 움직이도록 되어있다.

Probe의 금속 부분은 텅스텐(W), 몰리브덴(Mo) 또는 플래티늄(Pt)과 같은 용융점이 높은 금속을 사용하여 표면적의 계산이나 이론적 해석에 편리한 평판, 원통, 구형 등으로 만든다. 또한 절연체는 고온에서 화학작용을 일으키지 않는 고순도 알루미늄과 같이 진공상태가 가능한 세라믹 또는 석영이 사용된다.

텅스텐으로 만든 tip 부분은 플라즈마에 노출시키고, 지지부분은 유리 등으로 피복 절연하였다. probe는 전기적으로 절연되어 봉합(seal) 되어진 부분을 통하여 플라즈마 속으로 삽입되어졌다.

플라즈마에 노출된 원통형 probe의 tip은 10[mm]의 길이와 0.5[mm]의 직경이다. probe는 전계 변화, 그로 인한 입자분포와 에너지의 변화에 의해 주로 플라즈마에 영향을 미친다. 이 교란의 크기는 probe의 치수와 플라즈마의 특성에 의존한다.

3.2 플라즈마 진단 특성

연구에서는 single Langmuir probe를 사용하여 글로우 방전에서 플라즈마 밀도와 전자온도를 측정하였다.

그림 4는 헬륨 가스압력 5[mtorr], 글로우 방전전류 0.5[A]를 가지는 글로우 방전에서 플라즈마 밀도를 나타내고 있다. 플라즈마 밀도는 플라즈마 영역의 중심에서 4.44×10^{10} [/cm³] 으로 높게 나타났으며, 외벽 위치에서는 최소 2.81×10^{10} [/cm³] 으로 나타났지만, 비교적 균일한 분포를 보이고 있다.

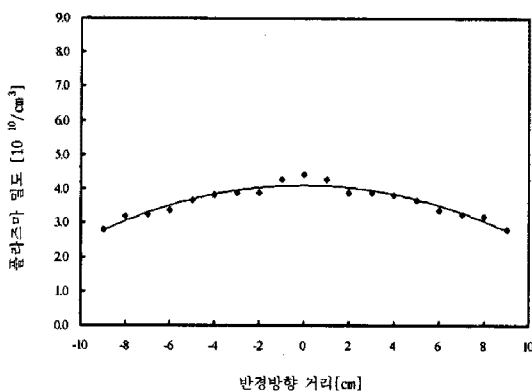


그림 4. 글로우 방전의 플라즈마 밀도
Fig. 4. Plasma density in the glow discharge

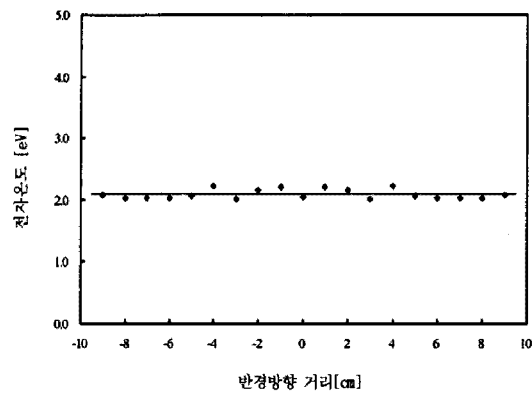


그림 5. 글로우 방전의 전자온도
Fig. 5. Electron temperature in the glow discharge

이러한 차이는 이온과 전자가 재결합하여 소실되는 경우로써 벽면의 경우가 공간에 비해 충돌의 기회가 많으며 중화를 일으킬 확률이 크기 때문이다. 즉, 공간에서 재결합이 행해지는 경우는 적고 오히려 벽면에서 확산이 일어나서 표면 재결합으로 인한 이온과 전자의 소실 확률이 크기 때문이다.

글로우 방전영역의 전자온도는 대략 2[eV]로써 그림 5에 보이고 있다. 전자온도는 글로우 방전영역의 반경방향 분포에 있어서 거의 일정하다.

4. 결론

넓은 면적의 균일한 플라즈마를 생성할 수 있는 글로우 방전 시스템에 관한 연구를 수행하였으며, 글로우 방전 특성 및 플라즈마 특성에 관한 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 글로우 방전의 방전개시전압 및 방전개시전류는 압력의 증가에 따라 감소하였으며, 방전영역은 Paschen 곡선의 왼쪽영역에 해당함을 알 수 있었다. 또한, 방전은 적어도 50[mtorr] 이상의 압력에서 쉽게 개시하기 시작 한다는 것을 알 수가 있었다.

둘째, 헬륨가스 압력별로 방전전류에 대한 방전전압을 측정하였으며, 이때, 동일한 압력 하에서의 방전전압은 방전전류에 관계없이 일정한 정규 글로우 상태임을 알 수 있었다.

압력이 10[mtorr] 이상으로 될수록 방전을 유지할 수 있는 전압이 낮아져 상대적으로 더 높은 방전전류를 얻을 수 있었다. 압력이 5[mtorr] 정도로 낮은 경우에는 출력전압의 증가로 인한 전원장치의 한계로 인하여 방전전류의 범위가 제한되지만 안정된 글로우 방전 유지 및 향후 산업분야 응용에 바람직하다고 할 수 있다.

셋째, 헬륨가스 글로우 방전의 두 전극 사이의 공간

은 거의 플라즈마 상태인 양광주로서 보라색 글로우로 채워져 있음을 발광 형태로서 확인할 수 있었다.

넷째, 플라즈마 밀도는 비교적 균일한 분포를 보이고 있었고, 전자온도도 거의 일정함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] S.H. Woo, H.S. Lee, M. Abroyan. " A Study on the Generation of Low Energy Large Aperture Electron Beam ", The 9th Asian Conference on Electrical Discharge(ACED '98), B1-1, November 9~11, Bangung, Indonesia, 1998.
- [2] C.H. Cho, S.H. Woo "Development of a Low Energy Large Area Electron Beam Generator" CA of APFA & APPTC '99, Seoul, Korea, July 4~7, pp.20, 1999.
- [3] Abroyan M. A., Uspenskii N. A., and Fedyakov V. P., "Prib. Tekh. Eksp.", No.4, pp.24~27, 1984.
- [4] McCluer, "Low Pressure Glow Discharge", APPL. Phys. Lett., No.6, pp.233, 1963.
- [5] A. von Engel, "Ionized Gases", American Institute of Physics Press, 1993.