

정전 탐침법과 유체시뮬레이션을 이용한 DC플라즈마 특성 연구

Analysis of DC Plasma using Electrostatic Probe and Fluid Simulation

손 의 정* · 김 동 현* · 이 호 준†
 (Eui-Jeong Son · Dong-Hyun Kim · Ho-Jun Lee)

Abstract - Using a parallel plate DC plasma system was prepared. Using this equipment, we investigated the basic discharge characteristics of DC argon plasma in terms of electron density, temperature, voltage and current waveforms and plasma potential. The effects of the electrode gap distance, input voltage, ballast resistance and pressure were measured using electrostatic probe. Plasma simulation using fluid approximation has been performed. External circuit effects was included in the simulation. Measured and calculated current voltage characteristics show similar tendencies.

Key Words : DC plasma, Electrostatic probe, Fluid simulation

1. 서 론

저온 플라즈마 중 하나인 DC Glow방전은 물리적인 연구로부터 반도체 공정장비에 이르기까지 많은 분야에 사용되고 있다. 플라즈마를 생성하기 위한 방법 중에 DC 플라즈마는 오래 전부터 사용되었다. 시간적으로 변하지 않는 직류 전압을 인가하여 플라즈마를 만드는 방법으로서 높은 압력부터 낮은 압력조건에서 플라즈마가 생성되는 다양한 방전 모드가 있다. 그리고 DC 플라즈마 생성할 때 과전류가 흐르는 것을 방지하여야 지속적으로 DC Glow 방전을 유지할 수 있다. 본 연구에서는 수 mTorr의 낮은 압력에서 Argon gas를 사용하여 방전을 하였으며, 외부에 발라스트 저항을 이용하여 전류를 제한하여 지속적인 방전을 유지하였다. 평행 평판형 전극을 사용한 진공 챔버 내에서 전극간격, 입력 전압, 발라스트 저항, 압력 등을 변경하여 방전전압, 전류 특성을 분석하였다. 플라즈마 응용공정 특성에 많은 영향을 미칠 수 있는 전자온도, 밀도 및 플라즈마전위를 정전 탐침을 이용하여 측정 및 계산하였고 그 결과를 drift-diffusion 근사에 의한 유체시뮬레이션을 통한 계산 결과와 비교분석하였다.

2. 실험구성 및 실험방법

그림 1은 평행 평판형 전극을 가지는 진공 챔버와 실험을 하기 위한 전체적인 개요도이다. 챔버 크기는 201mm × 303mm이고, 전극간격은 최소 수 mm에서 최대 100mm까

지 변경할 수 있다. 전극의 직경은 120mm이며 재질은 Stainless steel 이다. 음극주위를 유전체로 보호하여 음극과 챔버 벽면사이에 방전이 일어나지 않도록 하였다. 챔버 왼쪽에 Gas주입구와 하단부에 진공을 유지하기 위한 펌핑 포트가 있다. 방전에는 Ar gas를 사용하였으며, 초기진공을 1mTorr로 맞춰서 실험을 진행하였다. 플라즈마를 생성하기 위한 DC전압과 과전류를 막기 위한 발라스트 저항을 직렬로 연결하였다. 실험 조건은 압력 100mTorr에서 1Torr, 전극간격 10mm부터 100mm, 입력전압은 약 200V 부터 480V 까지 인가하였으며, 발라스트 저항은 100Ω에서 10kΩ까지 다양한 저항을 사용하였다. 압력은 가스유량을 30sccm으로 일정하게 유지한 상태에서 메인 밸브를 사용하여 조절하였다. 그리고 쉽게 제작이 가능한 정전 탐침(그림 2)을 챔버 내부에 삽입한 후 탐침에 시간에 따라 선형적으로 변하는 삼각

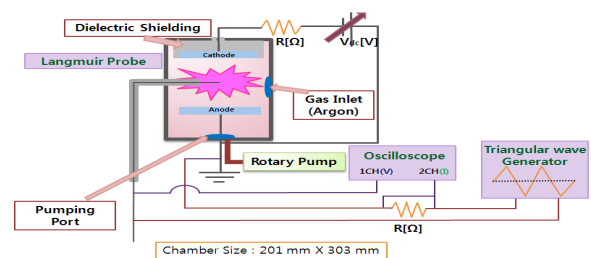


그림 1 DC 플라즈마 장치 개요도
 Fig. 1 schematic diagram of DC plasma device

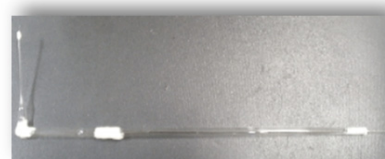


그림 2 정전탐침
 Fig. 2 Electrostatic probe

† Corresponding Author : Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Korea.

E-mail: hedo@pusan.ac.kr

* Dept. of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, Korea.

Received : February 20, 2014; Accepted : September 26, 2014

파신호를 인가하여 탐침에 인가하는 전압과 탐침에 흐르는 전류인 V-I Curve를 측정 한 후 자연로그를 취하는 방법을 사용하여 플라즈마 변수를 계산하였다[1-2].

3. 결과 및 고찰

3.1 전압과 발라스트 저항에 따른 전기적 특성

압력이 100mTorr, 300mTorr, 500mTorr일 때 인가 전압을 방전개시전압으로부터 480V까지로 변경하여 실험하였다. 그리고 발라스트 저항을 100Ω, 250Ω, 1kΩ, 2kΩ, 10kΩ 총 5가지의 저항을 선별하여 전류를 측정 한 그래프 및 그것을 토대로 계산한 전력 그래프를 그림 3에 나타내었다. 압력이 증가할수록 플라즈마 밀도가 증가하고 그에 따라 쉬스 두께가 짧아지고, 상대적으로 양광주 영역이 늘어나게 된다. 그 결과로 압력이 높은 조건에서 낮은 플라즈마 저항을 가짐을 알 수 있었다. 동일한 압력조건에서 발라스트 저항이 감소함에 따라 방전전류가 증가함을 실험적으로 확인할 수 있었다. 즉, 플라즈마의 저항이 작아져서 전류가 증가하는 것을 확인할 수 있었으며 동일한 발라스트 저항일 때 전류도 점점 증가하는 것을 알 수 있었다. 전력은 발라스트 저항에서 소비한 전력을 제외한 플라즈마에서 소비하는 전력을 나타낸 그래프이다. 육안관찰에서 가장 높은 발라스트 저항 값 하에서도 방전이 전체 전극영역을 차지하여 실험조건 내에서는 모든 방전이 비정규 글로우 영역임을 유추할 수 있었는데 이는 전류증가에 따라 방전전압이 증가하는 전류전압 특성곡선과 잘 일치 하였다. 전류제한저항을 더욱 큰 값으로 하는 경우 전극의 직경이 전극간격보다 큰 본 실험 장치에서는 안정적인 플라즈마를 유지하기 힘들었고, 결과적으로 정규 글로우 방전모드를 얻을 수 없었다.

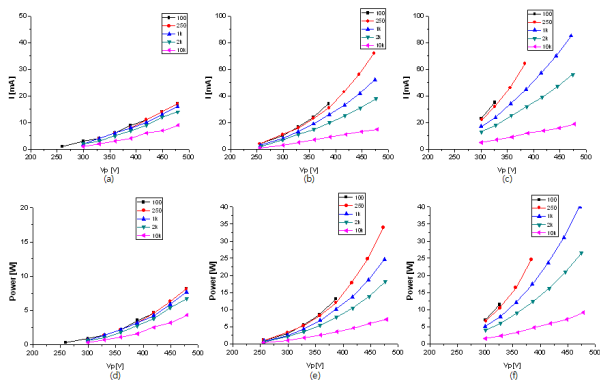


그림 3 전압과 발라스트 저항에 따른 전기적 특성
(a) 압력 100mTorr (b) 압력 300mTorr (c) 압력 500mTorr - 전류 (d) 압력 100mTorr (e) 압력 300mTorr (f) 압력 500mTorr - 전력

Fig. 3 Electrical Characteristic according to voltage and ballast resistance
(a) Pressure 100mTorr (b) Pressure 300mTorr (c) Pressure 500mTorr - Current, (d) Pressure 100mTorr (e) Pressure 300mTorr (f) Pressure 500mTorr - Power

3.2 전극간격과 압력에 따른 방전 특성

그림 4는 입력전압은 480V로 고정된 상태에서의 전극간격과 압력에 따른 플라즈마 형상이다. 우선 DC방전 영역의 음극 암부, 부 글로우를 육안으로 확인 할 수 있었다. 압력이 증가할수록 챔버 내부에 존재하는 중성기체들이 많이 존재 하므로 그 만큼 충돌을 많이 하게 된다. 즉, 전자는 충분히 에너지를 얻지 못하게 되고, 평균자유행거리가 짧아지게 된다. 그 결과 방전형상을 살펴보면 쉬스의 두께가 점점 짧아지는 것을 확인할 수 있었다. 앞서 언급한 바와 같이 음극표면 전체에서 플라즈마가 생성되었으며 전극간격을 증가시키더라도 가장 밝은 영역인 부 글로우까지의 영역은 큰 변화가 없었는데 이는, 고전적인 DC 방전이론에서 예측되는 특성과 잘 일치하였다.

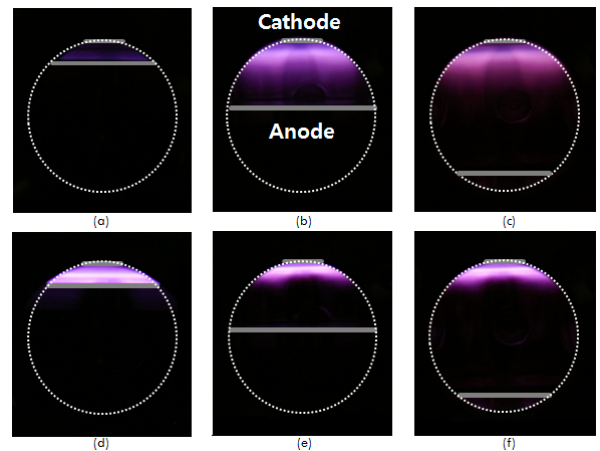


그림 4 전극간격과 압력에 따른 플라즈마 형상
(a) 전극간격 1cm, 압력 100mTorr (b) 전극간격 5cm, 압력 100mTorr (c) 전극간격 10cm, 압력 100mTorr (d) 전극간격 1cm, 압력 500mTorr (e) 전극간격 5cm, 압력 500mTorr (f) 전극간격 10cm, 압력 500mTorr

Fig. 4 Discharge Image according to gap size and pressure
(a) Gap size 1cm, Pressure 100mTorr (b) Gap size 5cm, Pressure 100mTorr (c) Gap size 10cm, Pressure 100mTorr (d) Gap size 1cm, Pressure 500mTorr (e) Gap size 5cm, Pressure 500mTorr (f) Gap size 10cm, Pressure 500mTorr

그림 5(a)는 전극간격과 압력에 따른 방전개시 전압을 나타낸다. 압력이 증가할수록 전극간격 3cm, 5cm, 7cm, 10cm에서는 방전개시전압이 거의 선형적으로 증가하였으며, 그와 반대로 1cm에서는 점점 감소하는 경향을 보였다. 그림 5(b)에서는 그림 5(a)의 결과를 이용하여 Paschen curve를 나타내었다. 전극간격이 1cm일 때 전자-중성입자의 충돌횟수가 작아서 방전개시전압이 상승하는 Pd(minimum) 포인트의 왼쪽에서 방전개시전압 그룹을 형성하게 되고, 나머지의 전극간격일 경우에는 Pd(minimum) 포인트의 오른쪽 부분에서 방전개시전압이 형성하는 것을 실험적으로 확인 하였다. Paschen curve에서 Pd의 minimum 포인트는 방전에 필요한 최소한의 전압을 의미하지만 이 포인트는 사용하는 Gas의

종류에 따라 다르다.[3] 본 실험 장치에서 얻어진 Ar 플라즈마의 최소방전전압과 Pd 값은 각각 215V, 0.5Torr·cm였다.

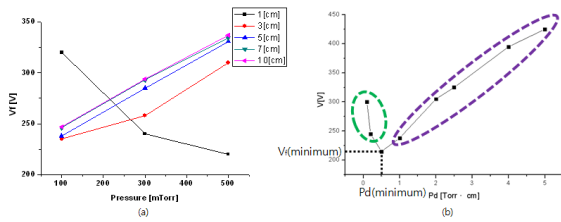


그림 5 전극간격과 압력에 따른 방전개시전압 및 Paschen curve

Fig. 5 Breakdown voltage and Paschen curve according to gap size and pressure

3.3 정전 탐침을 이용한 플라즈마 변수 측정

그림 6은 탐침 두께를 직경 500 μ m를 사용하고 발라스트 저항은 10k Ω , 전극간격은 3cm, Argon gas 30sccm일 때 전극간격 중심에서 측정된 결과이다. 정전탐침은 저온 플라즈마 진단에 일반적으로 사용되는 형태로서 탐침반경이 Debye length보다 크다는 조건을 만족하는 Thin sheath probe를 사용하였다.[4] 압력이 증가할수록 평균자유행정거리가 짧아져서 그만큼 전자가 가속되지 못하기 때문에 상대적으로 전자온도가 낮았다. 대부분의 저온 플라즈마 장치에서 관측되는 전자온도경향과 다르지 않음을 알 수 있었다.

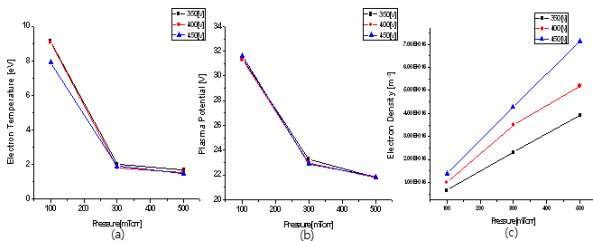


그림 6 압력에 따른 플라즈마 변수(center)
(a) 전자온도 (b) 플라즈마전위 (c) 전자밀도

Fig. 6 Plasma parameter according to pressure(center)

(a) Electron Temperature (b) Plasma Potential (c) Electron Density

플라즈마전위는 기본적으로 전자와 이온의 손실률이 동일하게 유지되는 조건에서 결정되므로 전자온도가 증가함에 따라 증가하게 된다. 압력증가에 따른 플라즈마전위의 감소는 이를 잘 보여주고 있다. 전류전압특성곡선에서 확인한 경향과 동일하게 압력증가와 함께 플라즈마 밀도가 증가함을 확인 할 수 있었다.

그림 7은 음극으로부터 5mm간격씩 위치를 변경하여 총 5point를 측정된 결과이다. 입력 전압은 450V로 고정된 상태에서 실험하였다. 음극표면에서 방출된 전자는 음극 쉬스에 형성된 강한 전계 때문에 음극 암부 끝에서 최대에너지를 가진다. 음극에 가까울수록 전자온도가 증가하는 실험 결과는 이를 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 육안으로 관

찰된 음극암부의 위치는 약 5mm 지점이었다. 전극간격의 중심(15mm)에서 전자밀도가 높게 형성되는 것을 확인 하였으며, 이 지점을 부 글로벌이라고 예상 할 수 있다.[5] DC방전의 영역이 위와 같이 구성되는 것을 실험을 통하여 확인 할 수 있었다.

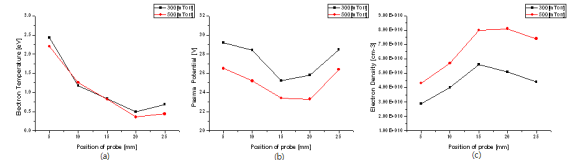


그림 7 탐침 위치에 따른 플라즈마 변수(z-방향)

(a) 전자온도 (b) 플라즈마전위 (c) 전자밀도

Fig. 7 Plasma parameter according to position of probe (z-direction)

(a) Electron Temperature (b) Plasma Potential (c) Electron Density

3.4 압력과 발라스트 저항에 따른 플라즈마 변수 분포(유체시뮬레이션)

그림 8은 계산에 사용된 방전장치의 구조이다. 전극크기 및 챔버의 길이는 실제 실험에 사용된 크기와 동일하며, 2로 표기된 영역은 유전체를 표시한다.

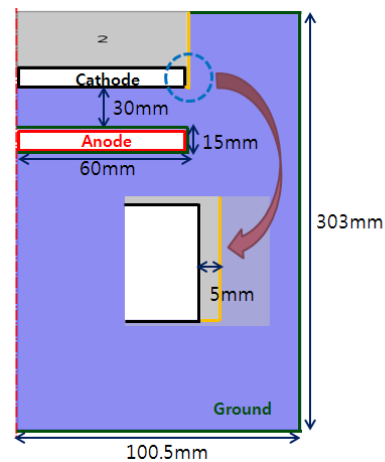


그림 8 Modeling Geometry

Fig. 8 Modeling Geometry

그리고 양극과 챔버 벽면은 Ground로 하였으며, 그림 1과 동일하게 과전류를 방지하기 위하여 음극에 발라스트 저항을 연결하고 전압을 인가하였다. 축 방향에 대칭인 영역을 아래에 나타낸 지배방정식을 사용하여 계산하였다.

전자밀도에 관한 보존 방정식 :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_e = R_e - (u \cdot \nabla) n_e \quad (1)$$

드리프트-확산 방정식 :

$$\Gamma_e = -(\mu_e \cdot E) n_e - D_e \cdot \nabla n_e \quad (2)$$

에너지 보존 방정식 :

$$\frac{\partial n_e}{\partial t} + \nabla \cdot \Gamma_e + E \cdot \Gamma_e = S_{en} - (u \cdot \nabla) n_e + (Q + Q_{gen})/q \quad (3)$$

에너지 유속 : $\Gamma_e = -(\mu_{en} \cdot E)n_e - D_{en} \cdot \nabla n_e \quad (4)$

Poisson 방정식 : $\nabla^2 V = -\frac{\rho_v}{\epsilon_0} \quad (5)$

Einstein relation : $D_e = \mu_e T_e, \mu_e = \left(\frac{3}{5}\right)\mu_e, D_e = \mu_e T_e \quad (6)$

$n_e [1/m^3]$: 전자밀도, $n_e [V/m^3]$: 전자에너지밀도

$R_e [1/(m^3 \cdot s)]$: 전자비율, $I [1/(m^2 \cdot s)]$: 유속

$E [V/m]$: 전기장, $D_e [m^2/s]$: 전자확산계수

$D_{en} [m^2/s]$: 전자에너지확산계수, $\mu_e [m^2/V \cdot s]$: 전자이동도

$\mu_{en} [m^2/(V \cdot s)]$: 전자에너지이동도, $u [m/s]$: 속도

플라즈마 내의 입자 변화를 계산하기 위하여 전자밀도에 관한 보존 방정식과 에너지 보존 방정식을 통하여 전자밀도와 전자 평균 에너지를 구하고, 전자온도는 전자 평균 에너지에 의해 구해지며, Poisson 방정식을 사용하여 Electric field 및 potential을 계산하였다. 또한 전자의 확산계수, 에너지의 이동도, 에너지의 확산계수는 Einstein relation에 의해 계산되어진다. 그리고 표 1과 표 2는 방전영역에서 일어나는 화학반응식 및 표면에서 발생하는 종들을 나타낸 표이며, 총 7가지 화학반응식과 3가지 표면반응을 사용하여 계산하였다.

표 1 화학반응식

Table 1 Chemical reaction

Reaction	Formula
1	$e + Ar \rightarrow e + Ar$
2	$e + Ar \rightarrow e + Ars$
3	$e + Ars \rightarrow e + Ar$
4	$e + Ar \rightarrow 2e + Ar^+$
5	$e + Ars \rightarrow 2e + Ar^+$
6	$Ars + Ars \rightarrow e + Ar + Ar^+$
7	$Ars + Ar \rightarrow Ar + Ar$

표 2 표면반응

Table 2 Surface reaction

Reaction	Formula
1	$Ar^+ \rightarrow Ar(\text{Cathode})$
2	$Ar^+ \rightarrow Ar(\text{Ground})$
3	$Ars \rightarrow Ar(\text{All Boundary})$

Species (e, Ar, Ars, Ar⁺)

그림 9과 그림 10은 유체 시뮬레이션으로 얻어진 전자온도 및 플라즈마전위에 관한 결과이다. 다른 조건은 이전과 동일하며, 입력전압을 450V로 고정하고, 압력을 100mTorr, 500mTorr, 발라스트 저항을 10kΩ, 1kΩ으로 했을 때의 전자온도 및 플라즈마전위를 나타낸 결과이다. 압력이 증가할수록 실험결과와 동일하게 전자온도 및 플라즈마전위는 감소하는 것을 확인하였다. 그리고 발라스트 저항을 작게 변경했을 시 입력전압은 일정하므로 전체전류는 증가하게 되고, 전압분배법칙에 의해 상대적으로 부하(플라즈마공간)에 전

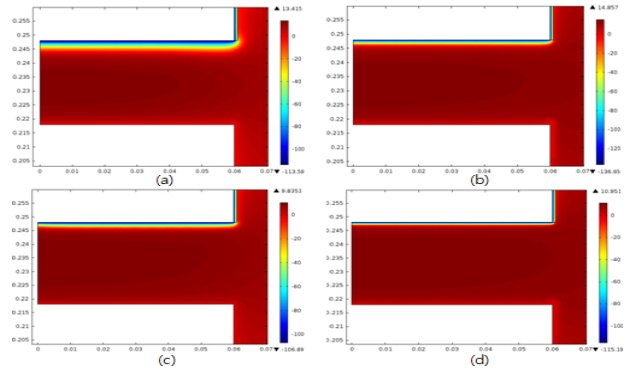


그림 9 압력과 발라스트 저항에 따른 전자온도

(a) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (b) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ (c) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (d) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ

Fig. 9 Electron temperature according to ballast resistance

(a) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure :100mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (b) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 100mTorr, Ballast resistance : 1kΩ (c) Voltage: 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (d) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 1kΩ

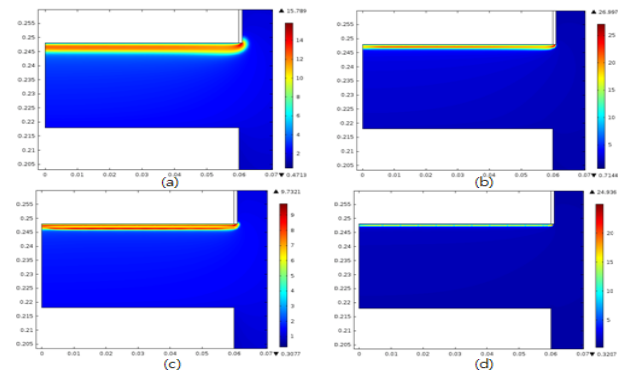


그림 10 압력과 발라스트 저항에 따른 플라즈마전위

(a) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (b) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ (c) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (d) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ

Fig. 10 Electron potential according to ballast resistance

(a) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure :100mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (b) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 100mTorr, Ballast resistance : 1kΩ (c) Voltage: 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (d) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 1kΩ

압강하가 크다. 아래의 식을 통해서 쉬스 두께와 전류와의 상관관계를 보면 제곱에 반비례 하는 것을 알 수 있다. 즉, 발라스트 저항이 작아질수록 쉬스 두께는 얇아지는 것을 확인할 수 있었다.

$$J_0 = \frac{4}{9} \epsilon_0 \left(\frac{2e}{M} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{V_0^{\frac{3}{2}}}{s^2} \quad (7)$$

$J_0[A/m^2]$: 전류밀도, $V_0[V]$: 쉬스전압, $s[m]$: 쉬스두께

그림 11은 이전과 동일한 조건에서 전자밀도분포를 나타낸 그림이다.

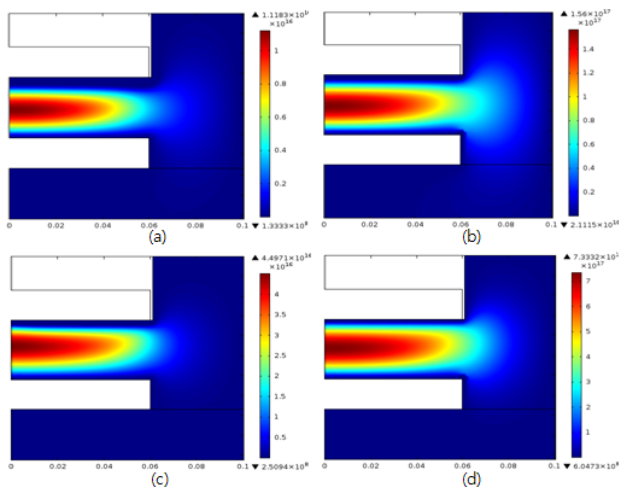


그림 11 압력과 발라스트 저항에 따른 전자밀도
 (a) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (b) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 100mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ (c) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 10kΩ (d) 전압 : 450V, 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr, 발라스트 저항 : 1kΩ

Fig. 11 Electron density according to ballast resistance
 (a) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 100mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (b) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 100mTorr, Ballast resistance : 1kΩ (c) Voltage: 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 10kΩ (d) Voltage : 450V, Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr, Ballast resistance : 1kΩ

전자밀도는 전류에 비례하며, 발라스트 저항을 작게 할수록 높은 Sheath Potential로 인해 충분히 가속된 전자들이 방전 공간 내에 존재하는 중성기체분자와 충돌해서 전리작용이 활발해 지면 입자 수는 증가하게 되고 따라서 전자밀도는 증가하게 된다. 그리고 압력이 낮아 질수록 방전영역이 넓게 확산 되는 것을 확인할 수 있었으며, 챔버 중심에서 전자밀도가 높게 나오는 경향성을 보였다. 전자밀도의 분포는 $10^{10} \sim 10^{11}/cm^3$ 정도를 가진다.

3.5 유체 시뮬레이션과 비교 분석

그림 12은 인가전압은 350V, 450V이고, 압력 100mTorr, 500mTorr일 때의 공정에 중요한 플라즈마 변수 중 하나인 전자밀도(챔버 중심기준)를 비교한 그림이다. 검은색 실선이 발라스트 저항 10kΩ 일 때의 실험 결과 값이고 나머지는 유체 시뮬레이션 결과 값이다. 발라스트 저항이 작아지고 입력 전압이 증가 할수록 전자밀도는 전류에 비례하기 때문에 증가한다. 실험으로 측정된 값과 시뮬레이션 결과는 유사한 경향성을 보여주었다.

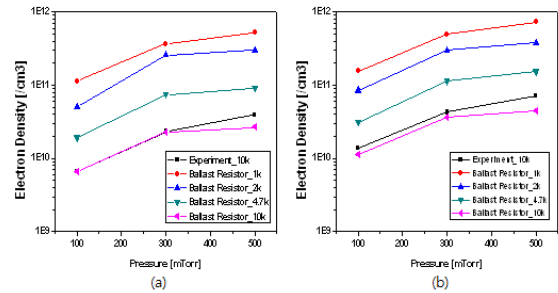


그림 12 압력과 인가전압에 따른 전자밀도 비교(center)
 (a) 전압 : 350V, 전극간격 : 3cm (b) 전압 : 400V, 전극간격 : 3cm

Fig. 12 Comparison of electron density according to pressure and input voltage(center)
 (a) Voltage : 350V, Gap size: 3cm
 (b) Voltage : 400V, Gap size: 3cm

그림 13는 z방향에서의 전자밀도 분포를 비교한 그림이다. 발라스트 저항은 10kΩ, 전극간격 3cm, 입력전압은 450V로 고정했을 때 300mTorr와 500mTorr일 때의 결과이다.

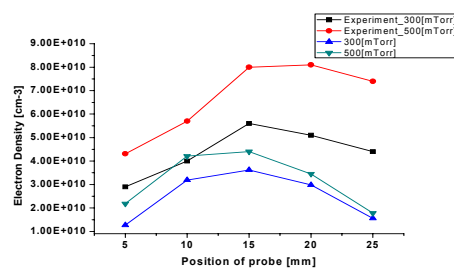


그림 13 압력에 인가전압에 따른 전자밀도 비교(z-방향)
Fig. 13 Comparison of electron density according to pressure and input voltage(z-direction)

전자밀도 분포는 실험한 결과 값이 유체 시뮬레이션 한 결과보다 낮게 분포하였지만 동일한 경향성을 갖는 것을 확인하였다. 챔버 중심 부근에서 전자밀도 분포가 peak point를 갖는 것을 확인할 수 있었다. 그림 14의 플라즈마 육안으로는 약 5mm~15mm 사이에서 제일 밝게 보이며, 위와 같은 조건일 때 전자밀도의 분포는 $10^{10}/cm^3$ 정도를 가진다.

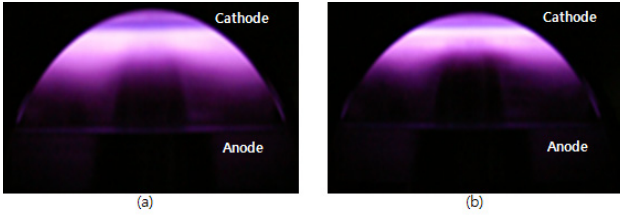


그림 14 압력과 인가전압에 따른 전자밀도 비교를 위한 플라즈마 형상

(a) 전극간격 : 3cm, 압력 : 300mTorr

(b) 전극간격 : 3cm, 압력 : 500mTorr

Fig. 14 Discharge Image according to pressure and input voltage for comparison of electron density

(a) Gap size : 3cm, Pressure : 300mTorr

(b) Gap size : 3cm, Pressure : 500mTorr

4. 결 론

본 연구에서는 평행 평판형 전극을 사용하여 압력, 전압, 발라스트 저항, 전극간격에 따른 DC 플라즈마 방전특성을 확인하였다. 정전 탐침을 사용하여 V-I Curve를 측정하고, 플라즈마 변수를 계산하였다. 그리고 유체 시뮬레이션하고, 그 결과를 비교분석 하였다.

전극간격 및 압력에 따라 방전 영역의 변화를 육안으로 확인할 수 있었으며, 방전개시 전압은 215V~325V로 측정되었다. 압력이 증가할수록 전자밀도는 증가 하였으며, 전자온도 및 플라즈마 전위는 감소하였다. 또한 발라스트 저항이 증가함에 따라 부하에 흐르는 전체전류는 감소하여 전자밀도도 감소하는 것을 확인하였다. 그리고 압력이 증가할수록 음극영역에 약한 전기장에 의해 그만큼 전자들은 가속되지 못하므로 평균자유 행정거리는 짧아지고 쉬스 두께는 얇아지는 것을 확인 할 수 있었다. 정전 탐침 위치에 따라 플라즈마 변수를 측정 한 결과, 각각의 방전영역의 위치를 비교 할 수 있었다.

유체 시뮬레이션을 통하여 발라스트 저항에 따라 방전특성을 확인하였다. 발라스트 저항을 작게 하였을 때, 입력전압은 일정하므로 전체전류는 증가하게 되고, 전압분배법칙에 의해 상대적으로 플라즈마에 걸리는 전압강하가 크다. 그에 비례하여 대부분의 전압강하도 쉬스에 발생하게 된다. 즉, 발라스트 저항을 작게 하였을 때 쉬스 두께는 감소한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 동일한 조건에서 측정 한 실험 값과 유체 시뮬레이션의 전자밀도 분포를 갭 간격이 3cm 인 경우에 대해 비교했을 때, 압력 및 전압이 증가함에 따른 경향성이 거의 일치하였으며 챔버의 중심에서 밀도 최고점이 나타났다. 이 경우는 pd 값이 비교적 작은 경우로써 양 광주가 없는 Obstructed Discharge 환경임을 알 수 있었다.

감사의 글

“본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성 사업으로 수행된 연구결과임 (No. 2013H1B8A2032267).”

References

- [1] C.Corbella, E.Pascual, M.A.Gomez, M.C.Polo, J.Garcia-Cespedes, J.L. Andujar, jar, E.Bertran “Characterization of diamond-like carbon thin films produced by pulsed-DC low pressure plasma monitored by a Langmuir probe in time-resolved mode” *Diamond & Related Materials*, 14, 3-7, 1062 - 1066 (2005)
- [2] D.J. Ball, “Plasma Diagnostics and Energy Transport of a dc Discharge Used for Sputtering”, *J. Appl. Phys*, 43, 7, 3047 (1972)
- [3] Michael A. Lieberman and Allan J. Lichtenberg, “principles of plasma discharges and materials processing”, 547, (2005)
- [4] Alfred Grill, “Cold Plasma in Materials Fabrication : From Fundamentals to Applications”, 157, (1994)
- [5] Yuri P. Raizer, “Gas Discharge Physics” 169~174, (1991)

저 자 소 개



손 의 정(Eui-Jeong Son)

1986년 6월 2일생. 2005년 동의대학교 공대 전기공학과 졸업. 2012년 부산대학교 대학원 공대 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사과정.

Tel : 051-510-1544

Fax : 051-510-1498

E-mail : vhxmwkd2@naver.com



김 동 현(Dong-Hyun Kim)

1961년 1월 9일생. 1984년 부산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 부산대학교 PDP연구소 연구원.

Tel : 051-510-1544

Fax : 051-510-1498

E-mail : dhkim11@pusan.ac.kr



이 호 준(Ho-Jun Lee)

1966년 10월 14일생. 1989년 서울대학교 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학부과 졸업(공학). 현재 부산대학교 공대 전자전기컴퓨터공학과 정교수.

Tel : 051-510-2301

Fax : 051-513-0212

E-mail : hedo@pusan.ac.kr