

Dielectric-Barrier Discharge 대기압 플라즈마 Jet의 전기-광학적 특성 및 응용

하창승*, 손지한*, 박차수**, 김동현*, 이해준*, 이호준*
 부산대학교 전자전기공학과*, 동의과학대학 전기과**

Electrical and optical characterization of DBD atmospheric pressure plasma and it's applications

Chang-Seung Ha*, Ji-Han Son*, Cha-Soo Park**, Dong-Hyun Kim*, Hae June Lee*, Ho-Jun Lee*
 Department of Electrical Engineering, Pusan National University*, Dong-Eui Institute of Technology**

Abstract - SiO₂ 상압 증착을 위해서 Dielectric-Barrier Diacharge를 이용한 대기압 플라즈마 Jet 상압 증착 시스템을 개발하였으며, 제작된 플라즈마에 대한 전기-광학적 특성을 분석하였다. 플라즈마 Jet은 방전 구동 gas와 증착을 위한 후합 gas가 나오는 stainless-steel관과 유리관 그리고 외부전극으로 구성되어있다. 구동 주파수는 수십 kHz대 이고 인가전압은 1~2 kV_{rms} 이다. 본 연구에서는 ICCD 고속 카메라를 이용하여 플라즈마의 형상을 관찰하였고, OES 분석을 통해 radical들의 분석과 rotational temperature 측정을 하였다. Driving gas인 He은 1~5 SLM의 유속으로 흘러주었으며 발생된 플라즈마의 온도는 조건에 따라서 400~850 K 이다.

그림 1(a)는 플라즈마 발생장치의 구성을 보여준다. 전극역할을 하는 Stainless-steel관을 통해서 구동gas 및 목적에 따라 혼합gas가 나온다. DBD 방전을 이용하기 위해서 전극사이에 유리관을 두었으며 유리관 외부에 전극을 두었다. 유리관의 내경은 4.1 mm이고 stainless-steel 내부전극의 외경은 4 mm이다. 유리관 내부에 있는 stainless-steel 전극은 축 방향으로 움직일 수 있어서 외부 전극이나 유리관의 내경에 따라 전극위치 조절이 가능하다. 그림 1(b)는 He gas를 주입하였을 때 발생된 플라즈마의 모습이다. 외부로 나오는 플라즈마 plume의 길이는 내부 stainless-steel 전극의 축방향 위치에 따라 영향을 받는다. 즉, 전체의 영향을 받는다.

1. 서 론

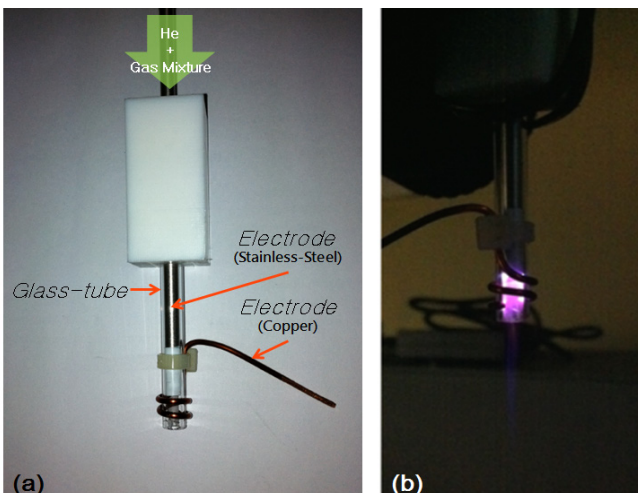
대기압 플라즈마는 트랜지스터와같은 반도체소자 및 전력전자부품의 발전과 함께 최근 수십년동안 발전과 개선이 이루어져왔다[1]. 다양한 전원장치를 이용하여 대기압에서 아크방전으로의 전이 없이 glow 방전이 유지되는 다양한 방법이 제안되었으며, pulse 전원과 sinusoidal 전원을 이용한 대기압 플라즈마 발생방법이 주류를 이루고 있다[2,3]. 전원부의 발전과 함께 대기압 플라즈마의 제어범위가 확대되면서 최근에는 산업계 및 의료분야와같은 다양한 응용분야에 대기압 플라즈마가 적용되고 있다[4,5].

본 연구에서는 산업계에 널리 사용되는 CCFL(Cold Cathode Fluorescent Lamp)구동회로를 이용하여 플라즈마를 형성하여 전기광학적 특성을 관찰하였고 그 특성을 바탕으로 SiO₂ 박막을 상압에서 증착하는 연구를 수행하였다. 플라즈마의 전원은 1~2 kV_{rms}의 교류전원이 사용되었으며 주파수는 50~100 kHz 이다. 구동 gas는 He이고, DBD(Dielectric-Barrier Discharge)를 이용하기위하여 전극부 맞은편에 유리관을 도입하였다. ICCD Camera를 이용하여 플라즈마의 형상을 측정하였으며, OES 장비로 플라즈마의 온도측정 및 방전특성을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

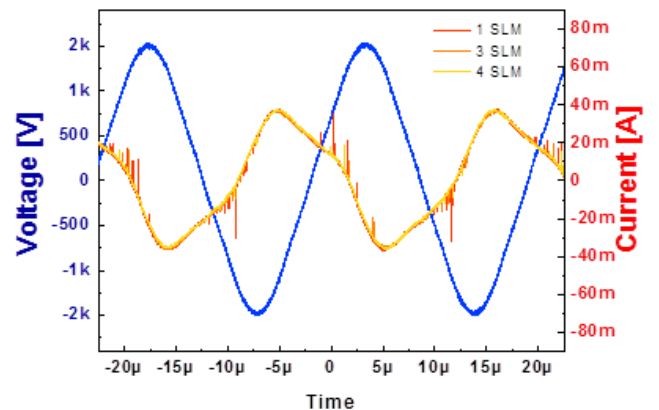
그림 1은 본 연구에서 사용된 플라즈마 Jet 발생장치의 구성 및 He 구동시 발생된 플라즈마의 형상을 보여준다.



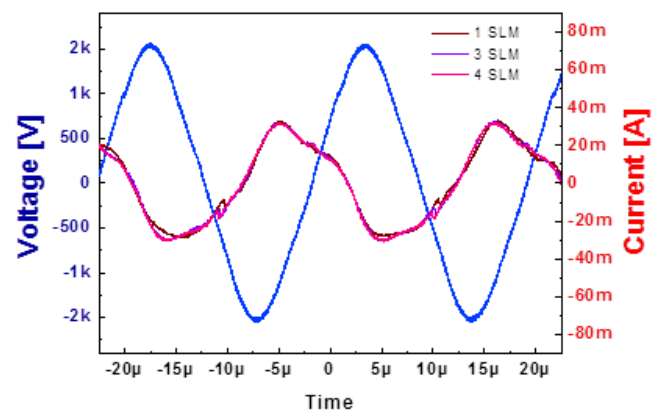
<그림 1> 대기압 플라즈마 발생장치의 개요도 및 플라즈마 형상

2.2 실험 결과

He를 구동가스로 플라즈마를 발생시킬 경우 대기압 플라즈마는 비교적 낮은 전압에서 안정적으로 발생된다. Gas flow에 따라서 플라즈마의 전류·전압 파형을 측정하였고 그림 2에 나타내었다. 전극과 전극사이에 인가된 전압은 파란색 선으로 나타내었고 Gas flow에 따라 측정된 전류는 빨강, 주황, 노랑으로 나타내었다. 전압은 1 kV_{rms} 이고 주파수는 50 kHz이다. He Gas flow가 1 SLM(Standard Liter Per Minute)에서 5 SLM으로 변할 때, 인가전압은 변화없이 유지되었다.



(a) 유리관 내경이 4.1 mm인 경우

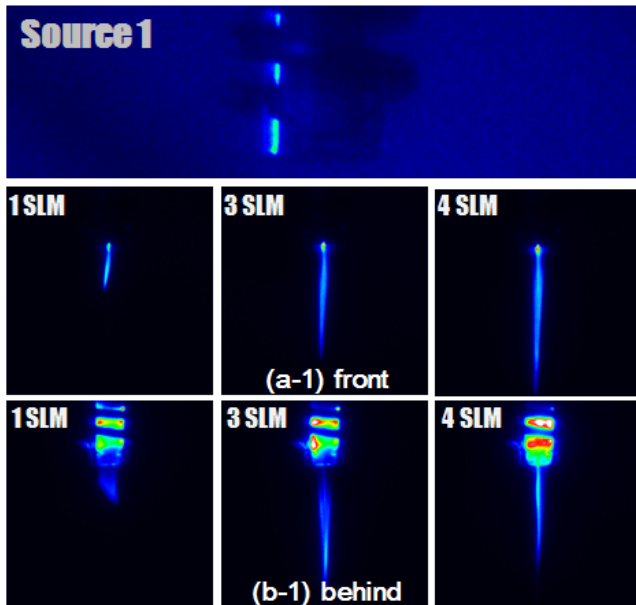


(b) 유리관 내경이 8 mm인 경우

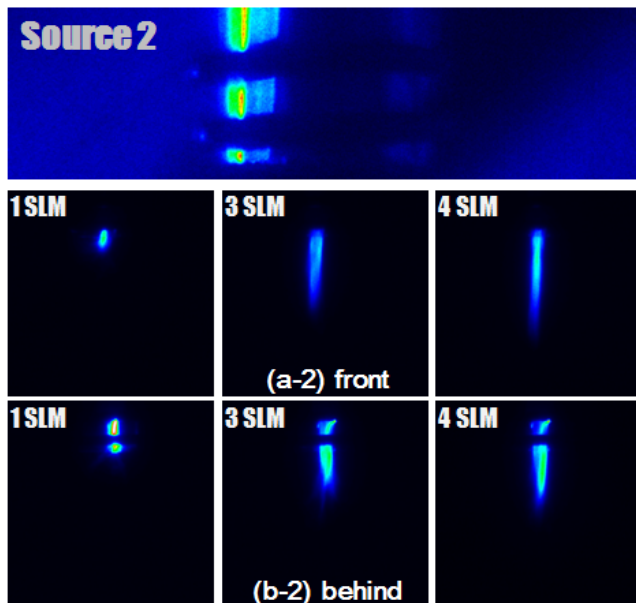
<그림 2> Gas Flow 및 유리관 내경에 따른 전류·전압 파형

Gas flow의 변화에 따라 전류는 큰 차이가 없으나, glow의 세기가 약해짐에 따라 불안정 전류가 세지고 방전시기가 앞당겨지게 된다. 이는 flow가 약해지면서 flow에 의한 플라즈마의 열손실(convection heat loss)이 작아지면서 상승된 플라즈마 온도에 기인한다[6]. 방전측면에서 볼 때, 전극의 형상은 비대칭형이기 때문에 플라즈마를 마주보는 방전전극의 방전면적이 다르다. 따라서 방전 시 방전전류역시 비대칭으로 나타난다. 그림 2(a)의 경우 유리관의 내경이 4.1 인 경우이고, 그림 2(b)는 유리관 내경이 8 mm인 경우이다. 외부전극의 면적이 상대적으로 커지면서 전극이 비대칭성이 더욱 커지면서 방전전류의 왜곡이 심화되었다.

플라즈마 plume의 길이는 flow 세기에 영향을 받는다. flow에 의하여 플라즈마가 밀려 나가기도 하지만, He기체와 N₂기체의 penning ionization 효과도 동반된다[7]. 그림 3은 He gas flow의 세기, 내부 전극의 위치, 유리관의 내경에 따라 플라즈마 형상을 측정된 ICCD image이다. 유리관의 내경이 커질수록 전계는 약화되기 때문에 플라즈마의 세기는 약화된다. 따라서 그림 3의 (a)와 (b)를 비교할 경우 지름이 작은 (a)의 플라즈마 intensity가 높다. 하지만 더 유리관의 내경이 커진만큼 플라즈마는 넓게 나온다. 따라서 플라즈마의 응용에 있어 uniformity를 향상시키고 싶은 경우 유리관의 내경을 넓히는 방향으로 가야한다.



(a) 유리관 내경이 4.1 mm인 경우



(b) 유리관 내경이 8 mm인 경우

<그림 3> 내부전극의 위치, Gas Flow, 유리관 내경에 따른 ICCD image

Stainless-steel 내부전극의 위치를 축방향으로 움직일 경우 전계의 세기와 방향이 바뀌기 때문에 플라즈마 형상 및 세기에 영향을 미친다. 본 연구에서는 내부전극의 위치를 외부전극의 앞부분(그림 3 (a), front)에 위치시킨 경우와 외부전극의 뒷부분(그림 3 (b), behind)에 위치시킨 경우로 나누어 image를 측정하였다. 전극을 앞부분으로 위치시킬 경우 전계가 He flow 영역과 무관한 부분에 집중되기 때문에 플라즈마의 세기는 비교적 약하다. 반면에 그림 3.(b)와 같이 내부전극이 외부전극 뒷부분에 위치할 경우 전계세기가 He flow 영역내에서 집중되기 때문에 플라즈마는 효율적으로 생성되고 비교적 intensity가 높은 플라즈마가 형성된다.

3. 결 론

본 연구에서는 교류전원을 이용하여 He 구동gas 내에서 대기압 플라즈마를 발생시켰으며, 전기적, 광학적 특성을 분석하였다. 발생된 플라즈마는 stainless-steel 내부전극의 축방향 위치에 따라 영향을 받았으며 이는 전계의 방향과 세기에 기인한다. SiO₂ 상압 증착과 같은 응용에 사용할 경우, 플라즈마의 intensity를 높이기 위해서는 유리관의 내경을 줄일 필요가 있고, 플라즈마 및 증착 spot의 uniformity가 중요할 경우 유리관의 내경을 크게하여야 한다. Gas flow의 경우 본 연구의 영역에서는 flow가 셀수록 플라즈마의 intensity도 함께 증가하였다. 하지만 convection heat loss가 증가하여 플라즈마의 온도는 떨어지면서 증착율이 떨어지는 문제가 발생한다. 따라서 응용 범위 및 플라즈마 발생 source에 따라서 적절한 optimization point를 찾아야 한다. 플라즈마의 전원을 바꾸거나 구조를 변경하여 기중 방전이 가능해지면 System 자체비용이 저렴할 뿐만 아니라 유지비 또한 낮아지기 때문에 더욱 다양한 영역에서 응용이 가능할 것으로 본다.

<감사의 글>

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임. (2011-0004827)

[참 고 문 헌]

- [1] Andras Kuthi, Peter Gabrielson, Matthew R. Behrend, P. Thomas Vernier, and Martin A. Gundersen, "Nanosecond Pulse Generator Using Fast Recovery Diodes for Cell Electromanipulation", *IEEE Trans. Plasma Sci.*, Vol. 33, No. t, 1192-1197, August 2005
- [2] 최준영, 이호준, 김동현, 이해준, 박정후, "서브마이크로 펄스 전압과 형을 이용한 대기압 저온 마이크로 플라즈마 소스 개발", *Trans KIEE.*, Vol 56, No. 10, 1802-1806, OCT 2007
- [3] Jaeyoung Park, I. Henins, H. W. Hermann, G. S. Selwyn, J. Y. Jeong, R. F. Hicks, D. Shim, and C. S. Chang, "An atmospheric pressure plasma source", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 76, No. 3, 288-290, January 2000
- [4] Lorenzo Mangolini and Uwe Kortshagen, "Plasma-Assisted Synthesis of Silicon Nanocrystal Inks", *Adv. Mater.*, 19, 2513-2519, 2007
- [5] 윤현진, 손채화, 김규천, 이해준, "침형 상압 마이크로 플라즈마 장치에서 발생하는 세포 사멸에 미치는 효과", *Trans KIEE.*, Vol 57, No. 12, 2249-2254, DEC 2008
- [6] 심충환, 김현규, 김윤기, 조성용, 박차수, 김동현, 이해준, 이호준, 박정후, "방전 시간과 주위 온도변화에 따른 AC-PDP의 방전 특성 변화 분석", *2009년도 대한전기학회 하계 학술대회 논문집*, 1429-1430, July 2009
- [7] Chang-Seung Ha, Joon-Young Choi, Dong-Hyun Kim, Chung-Hoo Park, Hae June Lee, and Ho-Jun Lee, "Properties of dielectric-barrier free atmospheric pressure microplasma driven by submicrosecond dc pulse voltage", *Appl. Phys. Lett.*, 95, 061502, 2009