

DC Pulse 전압을 이용한 DBD 대기압 플라즈마의 특성 분석

이종봉*, 하창승*, 김동현*, 이호준*, 이혜준*
 부산대학교 전자전기공학과*

Properties of dielectric-barrier atmospheric pressure plasma driven by DC pulse voltage

Jong-Bong Lee, Chang-Seung Ha, Dong-Hyun Kim, Ho-Jun Lee, Hae June Lee*
 Department of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract - 본 연구에서는 대기압 하에서 평판형의 금속전극 양단에 펄스전압을 인가하여 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 지속적으로 발생시키는 방법을 제안하고 구동전원 특성 및 플라즈마의 전기, 광학적 특성에 관한 연구를 수행하였다. 또한 Comsol 프로그램을 사용하여 이론적 해석을 하였으며, OES(Optical Emission Spectrometer)를 사용하여 측정 및 분석을 하였다.

1. 서 론

대기압 플라즈마 기술은 진입 장벽이 낮고 유지비가 저렴하며 응용범위가 다양하기 때문에 현재 활발하게 연구되는 분야이다. 종래 진공 플라즈마에 비해 대기압 플라즈마의 발생은 까다롭지만 실제 산업분야에서 사용될 시에는 저렴한 가격, 간편한 시스템 및 환경문제를 해결 하면서도 각종 재료 및 물질의 처리를 진공 플라즈마와 같은 효과를 내는 이상적인 기술이다. 기존의 진공 플라즈마에서는 가격의 경쟁력, 휴대성, 그리고 간편성 등의 문제점으로 인해 적용되지 않았던 새로운 분야에서 응용이 가능한 기술이다 [1-3].

이러한 대기압 플라즈마 기술 중에서 소형 플라즈마 소스는 의료용, 특정부위의 표면개질 또는 표면제거 및 절단 등의 응용분야로 현재 연구가 활발히 진행되고 있으며 APPJ(Atmospheric Pressure Plasma Jet)[3-4], Plasma pencil[5], Plasma needle[6] 등과 같은 장치가 개발되어 있다. 소형 플라즈마 소스들은 주로 DBD(Dielectric Barrier Discharge)나 RF전원을 사용하여 발생시킨다.

DBD 방식은 쌍을 이루는 두 개의 전극 또는 한 개의 전극에만 유전체 장벽을 설치하여 유전분극 현상을 이용하여 전하집적을 통한 역전위 형성으로 방전이 정지되는 즉, 펄스방전으로 되어 아크방전으로 전환되는 것을 막는 방식이다. 이 방식은 균일한 플라즈마를 얻을 수 있으나 플라즈마 밀도가 낮고 유전체 장벽을 우선으로 생각해야하기 때문에 전극 설계 및 장치 설계에 한계가 있으며 방전 주파수가 높아질 경우 stray capacitance로 인해 주위 환경에 영향을 받는 큰 단점이 있다 [7].

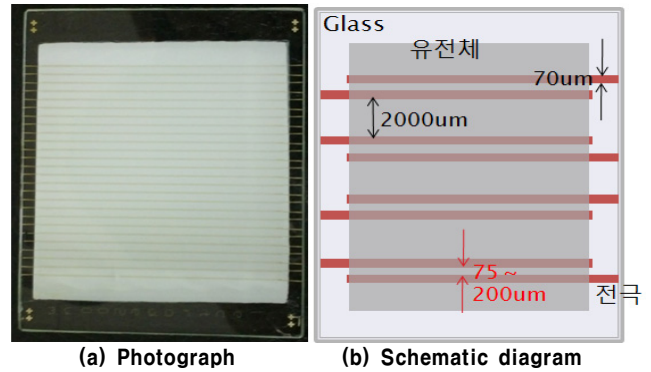
RF 전원을 이용한 방식은 13.56MHz의 고주파 전압이 전극 사이에 인가되어 플라즈마 밀도 등을 향상시키고, 전력이 고주파 전원에 접속되어 임피던스 정합장치를 통해 전극에 공급되면서 효율을 극대화시켜 방전이 발생한다. 이 경우 고주파 에너지로 인해 방전 공간으로부터 방출된 플라즈마의 온도가 증가되어 처리될 대상물이 열에 의해 손상을 받기 때문에 전극설계에 제한을 받게 되며, 고주파 전원 및 임피던스 정합장치를 사용해야 하기 때문에 고가의 설치비가 요구된다. 또한 반응 용기 또는 전극 근처에 임피던스 정합장치를 배치하는 것이 필요하기 때문에 플라즈마 처리장치의 설계 자유도가 감소된다 [6].

따라서 본 연구에서는 대기압 하에서 두 개의 평판형의 금속전극 양단에 펄스전압을 인가하여 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 지속적으로 발생시키는 방법을 제안하고 구동전원 특성 및 플라즈마의 전기, 광학적 특성에 관한 연구를 행하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 실험방법

그림 1의 (a)와 (b)는 평판형 플라즈마 소스의 사진과 개략도를 나타내고 있다. 가로, 세로 각각 7, 9[cm]의 유리판 위에 금속 전극 그리고 그 위에 유전체를 덮은 구조이다. 본 연구에서는 전계세기를 고려하여 전극간격을 각각 75, 100, 150, 200[μm]로 하여 전극간격에 따른 방전특성을 분석하였다.



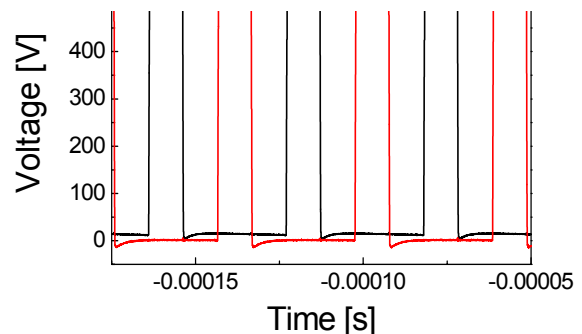
<그림 1> 평판형 플라즈마 소스의 사진과 개략도

플라즈마 발생장치는 duty ratio제어와 주파수제어가 가능한 펄스 발생기(Time98, ASCOM), DC power supply, 그리고 자체 제작한 DC 펄스전압 발생장치와 평판형 플라즈마 소스로 구성되어 있다. 펄스 발생기는 듀티 0~1, 주파수 0~50[MHz]까지 변화 가능하며 DC 펄스전압은 1[kV]까지 출력 가능하다.

본 실험에서는 평판형 플라즈마 소스의 전극 양단에 펄스전압을 인가하고 두 전극사이에 유전체를 사용함으로써 플라즈마가 발생시 점차 증가하는 방전전류를 억제하여 Arc로의 전이를 막고 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 지속적으로 발생시키는 방법을 적용하였다. 인가전압 및 방전전류는 디지털 오실로스코프(Wavesurfer 434, Lecroy)로 측정하였다. OES를 이용하여 플라즈마가 형성될 때 발생하는 빛의 파장을 분석하였다. 실험에서는 OES의 측정부에 빛이 잘 측정될 수 있도록 Panel을 조정하여 측정을 하였으며 가시광선 영역인 200~900[nm]의 파장에서 측정하였다. Emission spectrum은 스펙트로 포토미터(SpectraPro 300i, ARC)로 측정하였다.

2.2 실험결과

그림 2는 직접 제작한 DC 펄스전압 발생장치의 출력파형을 나타내고 있고, 출력전압은 600[V]이지만 1[kV]까지 출력가능하고 주파수는 25[kHz], 그리고 펄스 폭은 10[us]로 하였다. 위의 조건들은 회로 상에서 조정 가능한 값들이고 유전체 전극 두께, 전극 간격, 펄스 폭을 고려하여 공기 중에서 micro 방전 최적화를 목적으로 하였다.



<그림 2> DC 펄스전압 발생장치의 출력 파형

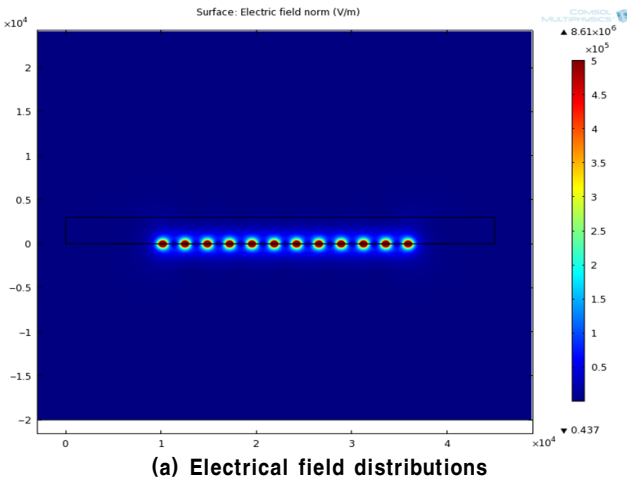
그림 3은 He gas가 주입되는 상태에서 대기압 플라즈마가 평판형 플라즈마 소스에서 발생된 사진이다. 전극 간격이 100 μm 내외이기 때문에 1 kV 근방의 전압에서 플라즈마 발생이 가능하다. 하지만, 전계가 1 MV/m 이상이기 때문에 유전체 절연파괴 현상이 나타날 수 있다. 따라서, 플라즈마 발생 장치를 만들 경우 전극사이에 사용되는 유전체의 특성을 잘 파악하고 유전체의 두께를 주의깊게 고려할 필요가 있다.



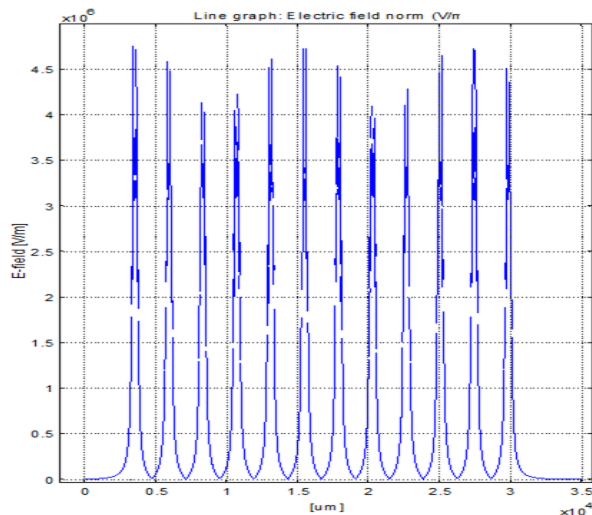
<그림 3> 평판형 플라즈마 소스에서 발생된 플라즈마 사진

그림 4의 (a)는 Comsol simulation 프로그램을 이용하여 Electrical field distributions을 나타낸 것이고, (b)는 유전체 표면에서의 전기장 세기를 나타내었다. 본 연구에서는 유리판 위에 전극이 있고 유전체가 덮여있는 Source를 이차원으로 그려서 해석하였다.

그림 4의 (b)는 유전체 표면에서 전기장 세기를 나타낸다. 전계는 5 MV/m 정도로 이는 공기 중에서도 방전이 가능할 정도의 전기장 세기이다.



(a) Electrical field distributions



(a) 유전체 표면에서의 전기장 세기

<그림 4> 전기장 분포도 및 세기

3. 결 론

본 연구에서는 대기압 하에서 평판형의 금속전극 양단에 펄스전압을 인가하여 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 지속적으로 발생시키는 방법을 제안하고 구동전원 특성 및 플라즈마의 전기, 광학적 특성에 관한 연구를 수행하였다. 또한 Comsol 프로그램을 사용하여 이론적 해석을 하였으며, OES(Optical Emission Spectrometer)를 사용하여 측정 및 분석을 하였다. 또한 유전체 전극 두께, 전극 간격, 펄스 폭을 조정하여 플라즈마 제어가 가능하고 기중에서 micro 방전 최적화를 하였다. 플라즈마 소스의 대형화가 이루어진다면 살균, 의료, 표면처리 등 다양한 분야에 응용이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No.20104010100670)

[참 고 문 헌]

[1] J. R. Roth, "Industrial Plasma Engineering : Applications to Nonthermal Plasma Processing", Institute of physics, Vol.2, pp.37-73, 2001
 [2] K. Schoenbach, R. Barker, S. Liu, "Special issue on nonthermal medical/biological treatments using electromagnetic fields and ionized gases", IEEE transactions on plasma science, Vol.28, No.1, pp.2-5, 2000
 [3] Jaeyoung Park, I. Henins, H. W. Herrmann, and G. S. Selwyn, "Discharge phenomena of an atmospheric pressure radio-frequency capacitive plasma source", J. Appl. Phys., Vol.89, Issue 1, pp.20-28, 2001
 [4] Schutze A., Jeong J. Y., Babayan S. E., Park Jaeyoung, Selwyn G. S., Hicks R. F., "The atmospheric-pressure plasma jet : a review and comparison to other plasma sources", IEEE transactions on plasma science, Vol.26, No.6, pp.1685-1694, 1998
 [5] Janca J., Zajickova L., Kilma M., Slavicek P., "Diagnostics and Application of the High Frequency Plasma Pencil", Plasma chemistry and plasma processing, Vol.21, No.4, pp.565-579, 2001
 [6] E Stoffels, A J Flikweert, W W Stoffels, and G M W Kroesen, "Plasma needle : a non-destructive atmospheric plasma source for fine surface treatment of (bio) materials", Plasma Sources Science and Technology, Vol.11, pp.383-388, 2002
 [7] J. L. Walsh, J. J. Shi, and M. G. Kong, "Contrasting characteristics of pulsed and sinusoidal cold atmospheric plasma jets", Applied Physics Letters, 88, 171501, 2006