

노출전극 대기압 저온 마이크로 플라즈마의 개발 및 전기광학적 특성

하창승, 송인철, 임왕선, 김동현, 이해준, 이호준, 박정후
부산대학교 전자전기공학과

Electro-optical characteristics of low temperature atmospheric pressure micro plasma using dielectric-free parallel electrodes

Chang-Seung Ha, In-Chung Song, Wang-Sun Lim, Dong-Hyun Kim, Hae June Lee, Ho-Jun Lee, and Chung-Hoo Park
Dept. of Electrical Engineering, Pusan National University

Abstract - 대기압 플라즈마를 발생시키는 것은 종래의 저기압 플라즈마를 발생시키는 것보다 대단히 어렵다. 하지만, 대기압 플라즈마는 진공장치가 필요없고, 제작방식이 비교적 간편하며 살균, 의료, 표면처리 등 다양한 응용이 가능해서 그 잠재력이 매우 크다. 본 연구에서는 유전체가 없는 두 전극사이에서 대기압 저온 마이크로 플라즈마를 발생시켰으며, submicrosecond pulse 파형으로 glow discharge를 유지할 수 있었다. 플라즈마 소스의 전극 간격은 200[μ m]이고 방전개시전압은 약 450~600[V]이다. 플라즈마를 발생시키기 위한 feeding gas는 He 100%이다. 본 연구에서 개발된 대기압 플라즈마는 소비전력이 2[W]미만으로 온도는 조건에 따라 40 $^{\circ}$ C미만으로 발생 가능하다. 또한 스펙트럼분석시 777nm인 산소원자의 peak이 다른 원자 혹은 분자들의 peak보다 월등히 높다.

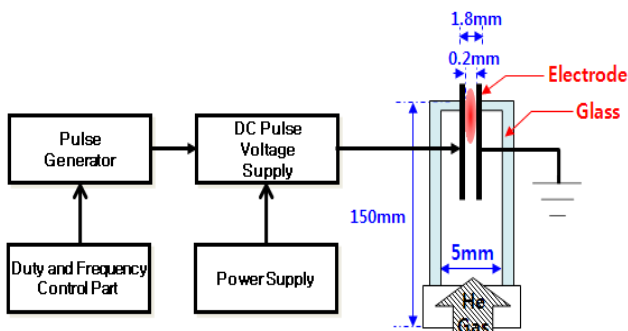
1. 서론

대기압 플라즈마의 제어는 기존의 진공플라즈마에 비해 매우 어렵지만, 대기압 플라즈마를 사용할 경우 진공장비 및 진공유지 비용의 절감과, 그 응용의 다양성으로 인하여 큰 주목을 받고 있다. 대기압 플라즈마로 각종 재료 및 물질을 처리할 경우 진공 플라즈마와 같은 효과를 볼 수 있는 동시에 간단한 시스템, 환경문제 해결 등의 이점이 발생한다. 대기압 플라즈마 기술 중에서 소형 플라즈마는 의료, 세척, 살균, 특정부위의 표면개질 또는 표면제거 및 절단 등의 응용분야로 연구가 활발히 진행되고 있다. 소형 플라즈마의 소스들은 주로 DBD(Dielectric Barrier Discharge) 구조로 구동 전원은 RF 전원을 사용한다.

본 연구에서는 기존의 방식과 달리 대기압 하에서 수백ns의 간격을 가지는 두 개의 노출된 금속전극에 펄스전압을 인가하여 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 지속적으로 발생시키는 방법을 제안하고 구동전원 특성 및 플라즈마의 전기, 광학적 특성에 관한 연구를 행하였다.

2. 실험방법

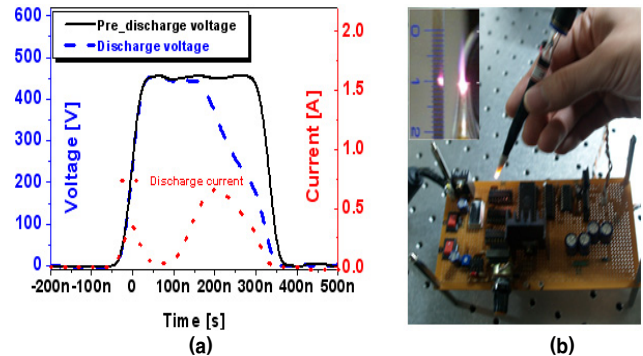
그림 1은 Point source type APPJ(Atmospheric Pressure Plasma Jet)[1-2]의 시스템 및 소스의 개략도이다. 방전시 DC pulse supply로부터 pulse 전압을 받는 전극이 anode가 되고, ground 전극은 cathode가 된다. 전극의 간격은 0.2[mm]이고 feeding gas는 초고순도 Helium 100%이다. 본 연구에서 플라즈마 jet의 방전개시전압은 약 450 ~ 600[V]이고, 구동주파수는 5 ~ 60[kHz]이다.



〈그림 1〉 Point source type APPJ의 시스템 및 소스의 개략도

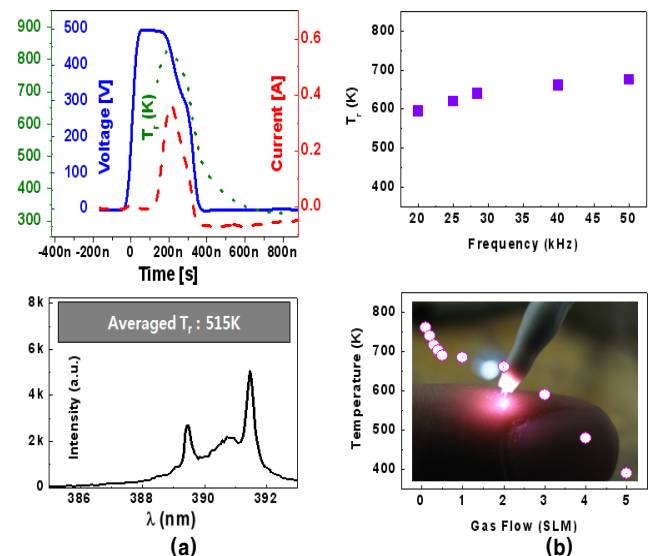
전극이 노출(Dielectric-free)된 source는 방전시 arc mode로 전이되기 매우 쉽다. DBD type의 source는 전극사이에 덮인 유전체로 인해 방전시 전류가 제한되어 glow discharge가 유지될 수 있지만, 그런 안전장치가

없는 노출전극의 source는 다른 방법으로 전류를 제한시켜야 한다. 본 연구에서는 350[ns]의 극히 짧은 pulse width를 통하여 방전시 arc mode 전이를 제한하였다. 그림 2(a)는 전극에 전압이 인가될 때의 전압 및 전류이다. 검은색 실선은 방전전에 인가된 전압으로 왜곡이 없이 DC 500[V] pulse voltage로 인가된다. 파란색 dashed line은 방전후 왜곡된 전압파형으로 방전시 전극사이에 흐르는 과전류가 switching 소자의 왜곡을 야기시켰음을 보여준다. 소비전력은 약 1W 정도이다. 적색 dot line은 방전시 전류파형이다. 첫 번째 peak은 displacement current이고, 두 번째 peak이 방전될 때의 전류이다. 그림 2(b)는 본 연구에서 제작된 구동회로이다. DC 18V를 인가하는 adapter를 뺀 전체 System 사진으로, 본 연구의 구동방식이 매우 간편하고 경제적인 방법임을 보여준다.



〈그림 2〉 대기압/저온 플라즈마의 방전전류에 의한 DC 펄스전압의 왜곡현상과 APPJ System의 구동회로 및 source

3. 실험 결과 및 고찰



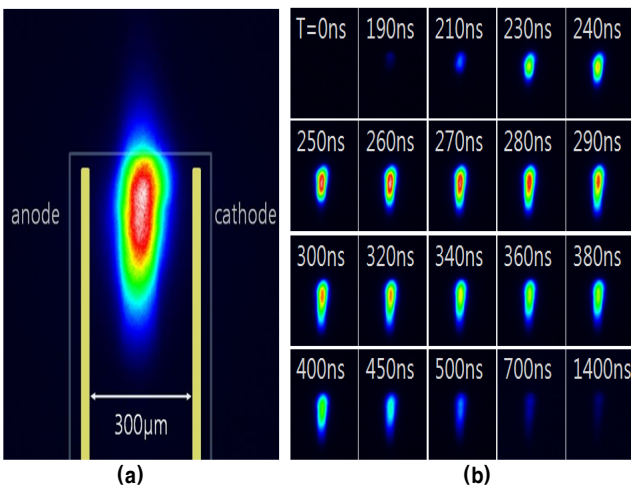
〈그림 3〉 대기압/저온 플라즈마의 Rotational Temperature 측정

플라즈마는 그 특성으로 인해 진단이 대단히 까다롭다. 플라즈마 밀도, 온도와 같은 특성을 측정하기 위해 탐침을 이용해 직접 측정하게되

면, 탐침에 의해서 플라즈마의 특성이 변하게 된다. 따라서 플라즈마를 진단할 경우에는 직접적인 측정보다는 간접적인 방법으로 측정한다. 본 연구에서는 N_2 의 rotational temperature(T_r)를 이용해 플라즈마의 중성 기체 온도를 간접적으로 측정하였다 [3-4].

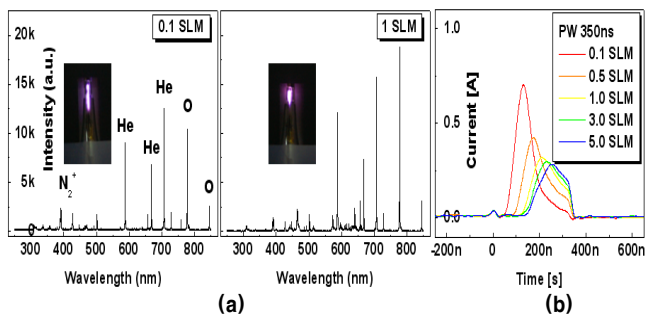
그림 3은 본 연구에서 측정된 T_r 이다. 그림 3(a)는 500[V] DC pulse, 40[kHz], 1[SLM] gas flow에서 측정된 플라즈마의 T_r 이다. 방전시 온도는 800[K] 까지 증가하지만, 플라즈마의 평균적인 온도는 515[K]임을 보여준다. 그림 3(b)는 frequency 및 gas flow를 변화시켰을 경우 변화하는 T_r 을 이다. 본 연구의 대기압/저온 마이크로 플라즈마는 조건에 따라 300[K] 까지 낮출 수 있으므로, bio technology의 응용가능성 또한 매우 크다. 그림에서와 같이 실제 손가락에 플라즈마를 발생시켜도 아무런 이상 없이 지속적이고 안정적으로 발생되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 ICCD 고속카메라로 촬영한 것이다. 촬영시 APPJ source의 gap 간격은 0.3[mm]이다. 그림 4(a)는 gas flow 30SLM에서 촬영된 shutter mode 사진으로 노출시간은 10[ms]이고 gain은 1이다. 플라즈마가 cathode쪽으로 밀집현상이 나타나며, 노출된 전극 끝 부분에서 밀도가 높음이 확인된다. 이는 전극 끝에서 전계가 집중되기 때문이다. 그림 4(b)는 5[SLM], accumulation numbers 7000인 조건에서 촬영된 gatemode 사진들이다. 전압이 인가되는 순간을 0ns로 기준하여 촬영하였다. 방전은 노출된 전극 끝에서 시작되어 아래쪽으로 퍼지고, 방전이 끝나고 난 350ns 이후에도 플라즈마는 지속된다. 이는 He metastable 입자들이 지속적으로 산소원자들을 생성시키기 때문인 것으로 보인다.



〈그림 4〉 대기압/저온 플라즈마의 ICCD image

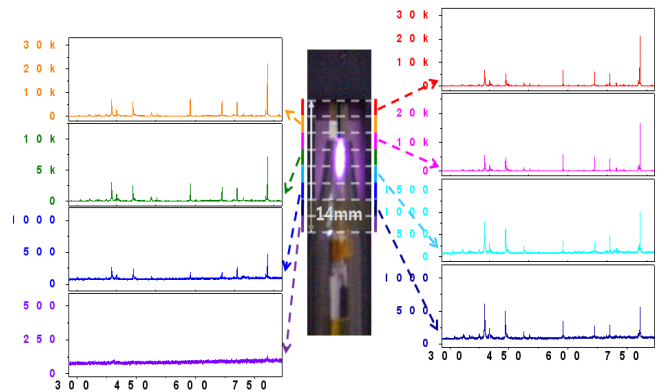
그림 5는 대기압 /저온 마이크로 플라즈마의 Emission spectrum이다. 777nm의 peak가 다른 과장대보다 높은것은 산소원자가 He, N_2 에 비해 많이 발생됨을 의미한다. 산소원자는 표면특성 변화 및 박테리아의 비활성에 큰 영향을 끼치는 것으로 알려져 있다 [5]. 또한 gas flow에 따라 산소원자 발생량이 크게 변화한다. 그림 5(b)는 gas flow가 증가할수록 방전개시가 늦어지고, 전류가 감소함을 보여준다. APPJ에서 gas flow가 증가하면 Helium 중성기체 밀도가 증가하게 된다. 중성입자들의 증가는 electron avalanche의 방해를 의미하므로 방전개시 시점은 늦어지게 된다. 또한 electron avalanche가 힘들게 되므로 플라즈마는 좁게 퍼지고 따라서 방전면적은 감소하여 전류는 감소한다.



〈그림 5〉 500V DC pulse voltage에서의 Emission Spectrum

그림 6은 위치에 따른 Emission spectrum 분석이다. 여기서 777nm를 주목하면, 대기와 접촉되는 전극끝부분에서 급격히 증가함을 확인할 수

있다. 이는 산소원자가 전극 끝에서 발생됨을 의미하고, 따라서 산소원자는 공기중의 O_2 가 플라즈마에 의해 분해되면서 발생하였다는 것으로 귀결된다.



〈그림 6〉 위치에 따른 대기압/저온 플라즈마의 Emission Spectrum

4. 결 론

본 연구에서는 350ns의 펄스 전압을 이용하여 노출된 전극에서 대기압/저온 마이크로 플라즈마를 개발하여 구동전원 특성 및 플라즈마의 전기, 광학적 특성에 관한 연구를 행하였다. 개발된 플라즈마 source는 간격이 0.2mm인 두 개의 금속전극으로 금속전극이 대기에 노출되어 있는 point source type이다. 초고순도 Helium 가스를 이용하여 플라즈마를 발생시켰으며, 전압 및 gas flow를 조정하여 plasma 제어가 가능하다. 평균 소비전력은 약 1W 급으로 소형화가 가능하며, 소비전력이 작기 때문에 휴대화, 무선화가 가능할 것으로 본다. 또한 본 연구의 플라즈마 Emission spectrum에서 산소원자의 발생량은 He과 N_2 에 비해 상대적으로 높은 특성을 나타낸다.

[참 고 문 헌]

- [1] 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., 2001, Volume 89, Issue 1, pp. 20-28
- [2] 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, v.26 no.6, pp.1685-1694, 1998
- [3] G Gardet et al., "Evaluation of the rotational temperature in N_2 discharges using low-resolution spectroscopy", Meas. Sci. Technol. 11(2000) 333-341
- [4] K Sahli, et al., "Temperature measurements in oxygen negative glow using a synthetic low-resolution spectrum", Meas. Sci. Technol. 4 (1993) 685-688
- [5] M. Moravej, X. Yang, R. F. Hicks, J. Penelon, and S. E. Babayan: "A radio-frequency nonequilibrium atmospheric pressure plasma operating with argon and oxygen", J. Appl. Phys. 99, 093305 (2006).