상압 마이크로 글로우 방전 분사 소자

김강일[1], 홍용철[2], 김근영[1], 양상식[1]
아주대학교 정보통신대학 전자공학부[1], 국가 핵융합 연구소 응용기술개발부[2]

Atmospheric Micro Glow Plasma-jet Device

Kangil Kim[1], Geunyoung Kim[1], Yong Cheol Hong[2], Sang Sik Yang[1]
Division of electrical & Computer Engineering, College of Information Technology, Ajou University[1],
Division of Applied Technology Research Group, National Fusion Research Institute[2]

Abstract - This paper presents an atmospheric micro glow plasma-jet device. The device consists of four components; a thin Ni anode, a porous alumina insulater, a stainless steel cathode and an aluminum case. The Ni anode is fabricated using micromachining technology. The anode has 10 holes, of which the hole diameter and the depth are 250 ㎛ and 60 ㎛, respectively. The discharge test is performed in nitrogen gas at atmospheric pressure for 20 kHz AC bias. The breakdown voltage is 3.5 kV at gas flow rate of 4 L/min and the the plasma-jet is blown out to ambient at 5.5 kV. In order to verify the characteristics of plasma, the current and the voltage of device are measured. The maximum temperature of plasma is 37 ℃. The plasma is well generated and stable at high voltage.

1. 서 론

물질의 제 4 상태라고 불리는 플라즈마는 이온화된 입자들의 집합체로 양전하를 가지는 이온과 음전하를 가지는 전자로 구성되어 있다. 플라즈마를 산업적으로 이용하기 위하여 여러 가지 플라즈마 발생장치들이 연구되어 왔다. 플라즈마는 크게 고온 플라즈마와 저온 플라즈마로 나뉜다. 저온 플라즈마인 글로우 방전은 진공상태에서 생성되어서 반도체 공정 장비와 물질의 표면처리 등과 관련된 여러 산업분야에 적용되어 왔다. 최근에는 글로우 방전을 여러 용도에 적용하기 위하여 진공상태가 아닌 상압에서 글로우 방전을 생성시키는 연구가 진행되고 있다[1-2]. 상압에서 생성된 글로우 방전은 불안정하여 고온 플라즈마인 아크 방전으로 전환되는 GAT(glow to arc transition)가이 일어나기 쉽다. GAT를 막기 위해서는 전극이 가열되는 현상을 막아야 한다[3]. 전극의 가열을 막아 상압에서 안정적으로 글로우 방전을 생성시키는 방전 방식으로 중공음극형태의 방전 방식이 가장 효과적이다. 중공음극 형태의 방전 방식은 기체가 전극을 따라 지나가면서 자연적으로 전극이 냉각되기 때문이다. 중공음극 방전은 플라즈마가 발생되는 구멍의 크기가 작아지면 높은 압력에서 방전이 개시되는 특징을 가지고 있다.

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 사용하여 상압에서 글로우 방전을 생성시킬 수 있는 소자를 제안하고 제작하였으며 그 특성을 측정하였다.

2. 마이크로 플라즈마 분사 소자의 구조

소자의 구조는 플라즈마가 분사되는 양극, 양극과 음극을 절연시키는 유전층, 그리고 가스가 유입되는 음극과 알루미늄 케이스로 구성된다. 소자의 단면 개략도는 그림 1과 같다. 양극은 니켈을 전해 도금하여 제작하고 두께는 60 ㎛ 이다. 플라즈마가 분사되는 구멍의 지름은 250 ㎛ 이고 개수는 10 개 이다. 유전층은 양극과 음극을 절연하는 동시에 가스가 통과할 수 있는 다공성 알루미나로 제작된다. 양극과 음극 사이의 유전층 두께는 1mm 이다. 음극은 외경이 1.8 mm이고 내경이 1.3 mm인 스테인리스강 튜브를 사용한다. 방전실험 동안 안전을 위하여 음극을 석영 튜브 안에 넣어서 주변 환경으로부터 절연한다. 음극을 통해 유입된 기체가 다공성 알루미나를 지나면서 옆쪽으로 새는 것을 막기 위하여 다공성 알루미나의 옆면을 PTFE 테이프로 감싸서 알루미늄 케이스에 넣는다. 제작된 마이크로 플라즈마 분사 소자의 모습은 그림 2와 같다.

3. 플라즈마 방전실험의 준비

플라즈마 방전실험은 대기압에서 질소가스를 사용하여 실시한다. 소자에 들어가는 기체의 유량은 4 L/min 이고 소자에 인가한 전원은 20 kHz의 교류를 사용한다. 플라즈마 방전실험을 위한 실험 장치도의 개략도는 그림 3과 같다. 교류 전압 조정기를 통하여 전압을 조절하며 전압 조정기에서 출력되는 전압은 상용 단상 변압기를 통하여 증폭되어 소자에 인가된다. 소자에서 분사되는 플라즈마가 글로우 방전인지 알아보기 위하여 소자로부터 1 cm 떨어진 거리에서 알루미늄 박막의 온도변화를 비접촉 적외선 온도계를 사용하여 10 분 동안 온도를 측정한다. 플라즈마의 전기적 특성을 알아보기 위하여 방전이 일어나는 동안 소자의 전압과 전류를 측정한다. 전압은 오실로스코프에 Tektronix 社의 고전압 측정 프로브인 P6015A(1000:1)를 연결하여 측정하고 전류는 교류 클램프 전류 측정기를 사용하여 측정한다.

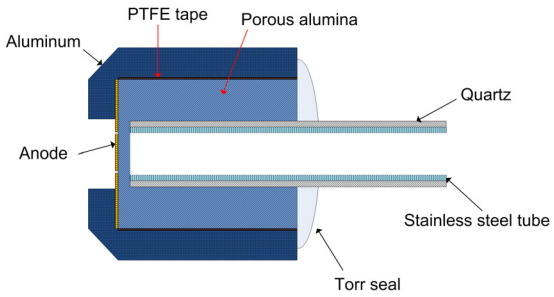


그림 1. 소자의 단면 개략도.

그림 2. 제작된 마이크로 플라즈마 분사 소자.

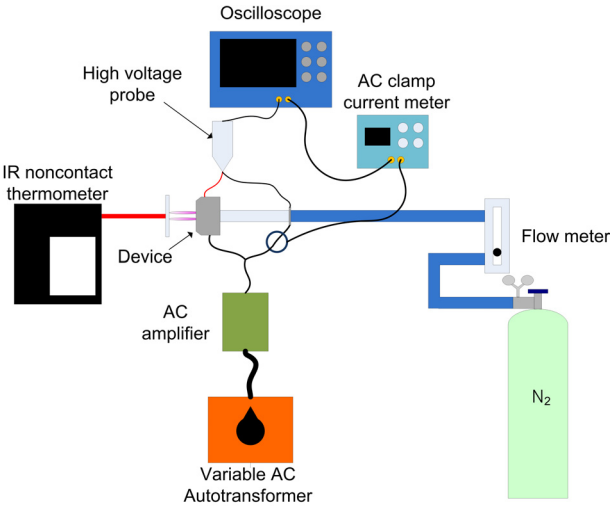
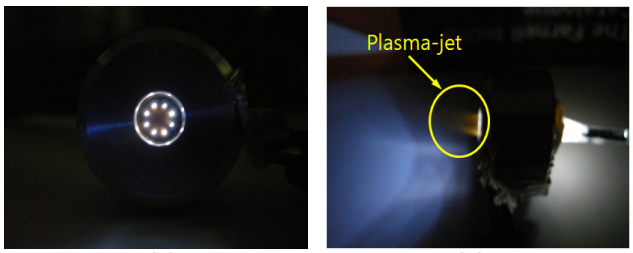


그림 3. 플라즈마 방전실험 장치도.

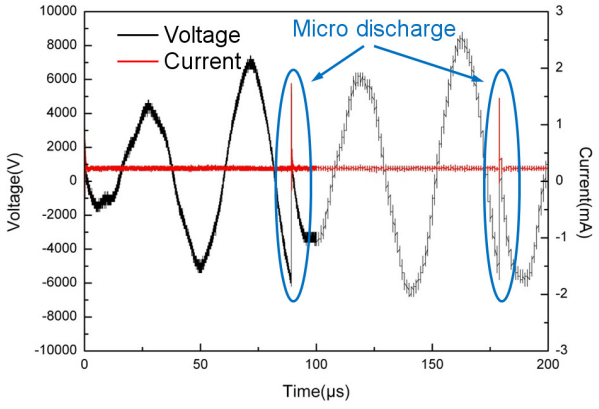
4. 플라즈마 방전실험의 결과

소자에 인가한 전압이 3.5 kV일 때 방전이 시작되었지만 플라즈마가 소자의 양극 쪽으로 분사되지 않고 방전이 불안정함을 관찰할 수 있다. 인가전압을 5.5 kV까지 증가하였을 때 소자의 양극 쪽으로 플라즈마가 분사되기 시작한다. 13.5 kV까지 인가전압을 높이며 관찰한 결과 7.5kV부터 비교적 안정적으로 플라즈마가 분사됨을 알 수 있다. 그림 4는 소자에 인가되는 전압이 7.5 kV일 때 소자에서 플라즈마가 분사되는 사진이다. 플라즈마의 전기적 특성을 알아보기 위하여 소자에 인가되는 전압이 3.5 kV, 5.5 kV, 7.5 kV, 9.5 kV일 때 전압과 전류를 측정하였다. 그림 5는 각 인가전압에서 측정한 전압과 전류 값의 결과이다. 그림 5에서 동그라미로 표시된 부분이 방전이 일어날 때이다. 결과에서 보이듯이 인가되는 전압이 높아질수록 방전이 많이 일어남을 알 수 있다. 특히 9.5 kV일 때는 주기적으로 안정적인 방전이 일어남을 알 수 있다. 방전이 개시된 후 소자에 인가하는 전압을 높일수록 플라즈마가 균일해지고 안정한 것을 확인할 수 있다. 그러나 9.5 kV 이상의 인가전압에서는 플라즈마가 분사되는 동안 양극에 손상이 생기는 것이 방전실험 후 확인되었다. 따라서 비교적 안정적인 플라즈마가 분사되면서 전극에 손상이 가지 않으려면 소자에 인가하는 전압을 7.5 kV에서 9.5 kV 사이로 조절해야 함을 알 수 있다. 그림 6은 분사된 플라즈마가 글로우 방전인지 알아보기 위하여 온도를 측정한 결과이다. 7.5 kV일 때 측정된 최고 온도가 37 ℃로 측정되었다. 따라서 본 논문에서 제시한 소자를 통하여 분사되는 플라즈마가 글로우 방전임을 알 수 있다.

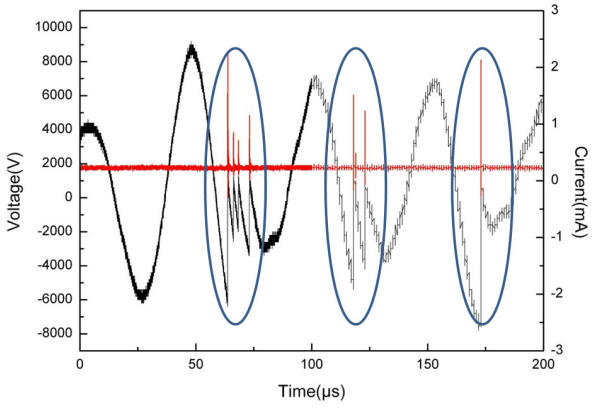


(a) (b)

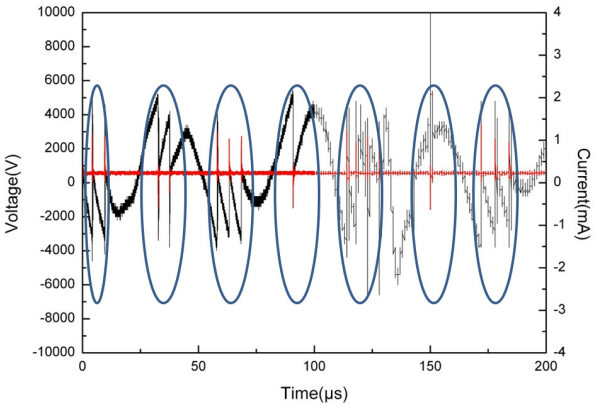
그림 4. 소자의 인가전압이 5.5 kV일 때 플라즈마 분사 사진. (a) 정면, (b) 측면



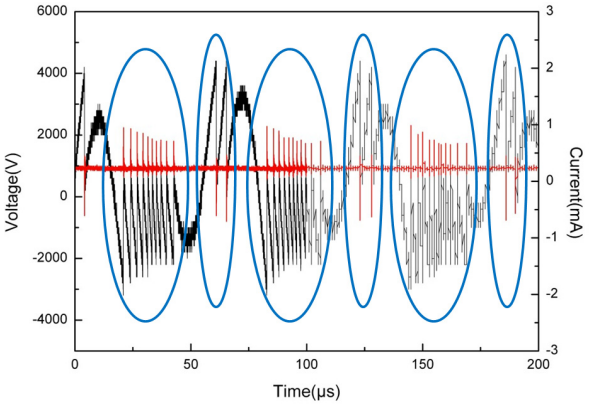
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 소자의 인가전압에 따른 전압/전류 특성. (a) 3.4 kV, (b)5.5 kV, (c) 7.5 kV, (d) 9.5 kV

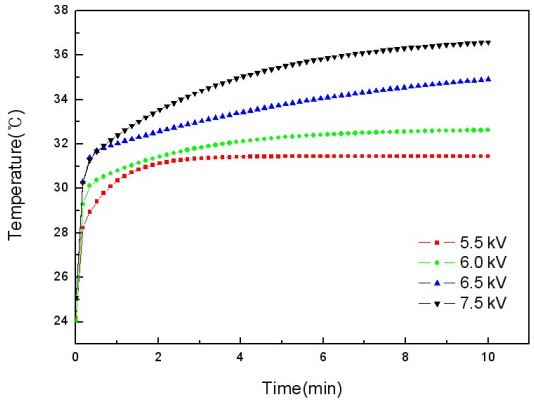


그림 6. 분사되는 플라즈마의 온도.

5. 결 론

본 논문에서는 마이크로머시닝 기술을 사용하여 상압에서 글로우 방전을 생성시키고 분사하는 소자를 제작하고 측정하였다. 제작된 소자는 상압에서 질소가스를 사용하여 플라즈마를 성공적으로 분사하였으며 분사되는 플라즈마의 온도를 측정한 결과 글로우 방전임을 확인할 수 있었다. 또한 소자의 방전 특성을 알아보기 위하여 전압 전류를 측정한 결과 소자에 인가하는 전압이 임계전압 이하의 범위에서 고전압일수록 소자의 손상 없이 균일하고 안정적인 방전이 생성됨을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

[1] R. Foest et al., “Microplasmas, an emerging field of low-temperature plasma science and technology”, International Journal of Mass Spectrometry, Vol. 248, pp. 81-102, 2006

[2] Yong Cheol Hong et al., "Atmospheric pressure nitrogen plasma jet: Observation of striated multilayer discharge patterns", Appl. Phys. Lett., Vol. 93, 051504, 2008

[3] David Staack et al., “Charaterization of a dc atmospheric pressure normal glow discharge”, Plasma Source Sci. Technol, Vol. 14, pp. 700-711, 2005