

상압 플라즈마의 광 방출 스펙트럼 특성조사에 관한 연구

(The Study on Emission Spectrum Characteristics of Atmosphere Pressure Plasma)

박성진*

(Sung-Jin Park)

Abstract

In this study, we aimed to determine the optical properties of the plasma used for the dry cleaning method. The optical properties of the atmospheric pressure plasma device were measured through the degree of ionization of hydrogen or nitrogen gas by ionized atmospheric gas. The degree of ionization of hydrogen or nitrogen is closely associated with surface modification. We observed through our experiments that argon gas, an atmospheric gas, caused an increase in the ionization of nitrogen gas, which has similar ionization energy. This type of increase in nitrogen gas ions is believed to affect surface modification. The results of our study show that the pressure of argon gas and the partial pressure of argon and nitrogen gases lead to different results. This important result shows that argon ions can affect the ionization of nitrogen gas.

Key Words : Atmosphere Pressure Plasma, Dry Cleaner, Surface Treatment

1. 서 론

대기압 플라즈마를 이용한 각종 표면 개질 효과의 이용은 예전에 사용되어 오던 진공상태에서의 처리방법과는 달리 대기압 상태에서 저온상태로 시료를 처리할 수 있어 매우 큰 관심을 보이고 있다. 특히 원가 절감과 공정처리 속도 향상이라는 측면에서 볼 때 산

업계에서 각광받는 기술로 그 응용에 있어 많은 부분으로 확대되고 있다.

특히 산업분야에서 의료분야로 까지 확대되면서 살균, 지혈, 박테리아 제거 등의 목적으로 사용되고 있다 [1-3]. 대기압 상태에서의 RF 전원을 이용한 플라즈마 장치는 분위기 가스의 이온화를 통하여 공정가스를 이온화 시키는 과정을 거치게 된다. 이때 여러 가지 He, Ar, Xe, Kr 등과 같은 비활성기체를 사용하게 되는데 [4-5] 이들 기체들은 낮은 압력과 대기압에서 모두 사용이 가능한 기체들이다 [5-6]. 특히 대기압 상태에서의 낮은 압력에서도 사용이 가능하여 운영비용이 적게 들며, 동작 시 마이크로파 등의 유해 전파의 발생도 적은 이점이 있다. 이러한 플라즈마의 생성은 직류 전원이거나 교류 전원에 의하여 플라즈마 동작 가스들

* 주저자 : 한국폴리텍대학 대구캠퍼스 스마트전기과 초빙교수

* Main author : Department of Smart Electrical Engineering, Daegu campus of KOREA Polytechnic

Tel : 053-560-3163, Fax : 053-560-3251

E-mail : air3726@kopo.ac.kr

접수일자 : 2012년 11월 15일

1차심사 : 2012년 11월 17일

심사완료 : 2012년 12월 26일

이 이온 상태로 되면서 발생되며 주로 방전 매커니즘에 의하여 생성된다[7-10]. 이러한 플라즈마는 여러 산업에 응용되면서 기술의 핵심적인 위치에 놓여있다. 현재는 주로 반도체 집적회로 제작과정에 사용되면서 소자의 고성능화에 중요한 기술로 발전되고 있다[4]. 이런 플라즈마를 사용하는 반도체 제조공정은 FPD(Flat Panel Display), CVD(Chemical Vapor Deposition), Dry Etch에 사용되고 있으며, 최근에 들어 Dry Ashing에 적용하려는 노력을 하고 있다[11].

이와 같은 상압 플라즈마를 에칭이나 박막형성, 표면처리 등에 응용하면 일반적인 화학반응으로는 얻기 힘든 가공처리도 저온 상태에서 가능하기 때문에 플라즈마를 이용한 반도체 공정작업에 많은 연구가 진행되고 있다[6]. 하지만 대기압 상태에서의 플라즈마는 기체의 평균 자유행정(Mean Free Path)이 매우 짧아 전자를 가속시키기 어려워 안정적인 플라즈마를 발생시키기 어렵다는 단점이 있다.

최근에는 교류전원을 이용한 DBD(Dielectric Barrier Discharge)방식[9]의 대기압 플라즈마 생성에 대한 연구가 이루어지고 있으며 본 연구에서도 이러한 기술을 바탕으로 교류전원(13.56MHz)을 이용한 DBD 플라즈마 헤더를 제작하여 그 광특성을 연구하였다.

코로나 방전은 침 전극이나 선, 도체 등에 직류 전원을 가하여 불균일 방전을 일으켜 부분적으로 플라즈마를 발생하는 장치와는 다르게 교류전원을 사용하는 상압 플라즈마의 경우에는 서로 마주보고 있는 전극 사이에 교류전원을 인가하면 전기장에 의하여 공급되는 반응가스 내의 전자는 높은 에너지로 가속되며, 이렇게 가속된 전자는 주위의 산소나 질소 분자들과 충돌하여 이들을 이온화시킨다. 이러한 이온화된 산소분자들은 불안정하여 주위의 전자들과 결합하여 산소 라디칼이 되거나 산소분자와 결합하여 오존이 된다[12-13]. 초기반응에서 이런 산소 라디칼과 오존은 탄화수소고리 끝의 탄소와 수소원자간의 결합을 끊어 표면에 묻어 있는 유기물들을 분해 하는 작용을 한다. 그리고 질소분자들도 분위기 가스가 이온화 되면서 질소분자가 여기되거나 질소원자로 분리되는데 이렇게 여기된 질소분자들도 유기물 잔해들의 연결고리를 해체하여 유기물을 세정하는 역할을 한다. 그리고 코로나 방전을

이용한 플라즈마의 경우에는 발생된 플라즈마의 면적이 크지 않아 넓은 반응면적을 만들 수 없어 산업적으로 사용이 어려우나 DBD 방식을 이용한 방식은 방전시 발생하는 플라즈마의 방향이나 면적의 조절이 용이하여 넓은 산업분야에 활용이 가능하다.

특히 이러한 상압 방식의 플라즈마 발생장치는 세정 효과가 뛰어나 현재 사용되고 있는 습식방법을 대체할 수 있는 유일한 대안으로 제시되고 있다. 이러한 플라즈마 세정은 습식에서 제거하기 어려운 유기물 세정에 탁월한 효과가 있는 것으로 보고되고 있다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구를 위하여 제작된 플라즈마 발생장치는 다음 그림 1과 같다. 실험을 위하여 기존의 플라즈마 장치를 사용하지 않고 전극 간격의 조절이 용이한 새로운 형태의 플라즈마 장치를 개발하였다.

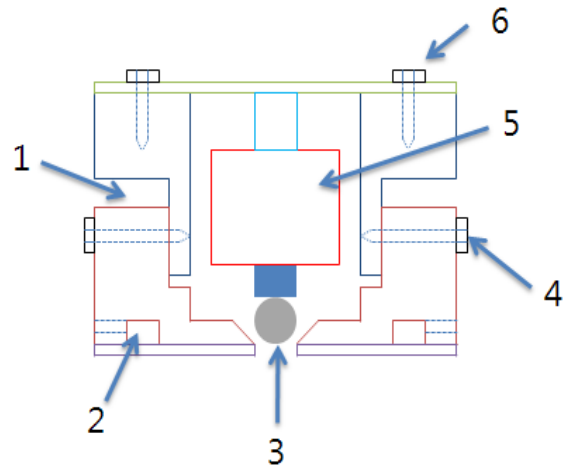


그림 1. 설계된 플라즈마 헤더
Fig. 1. Designed Plasma Head

1. 높이 조절용 공간
2. 가스 완충공간 및 2차 전극
3. 1차 전극
4. 간격 조절용 나사
5. 냉각장치 및 절연체
6. 높이 조절용 나사

그림 1에서 보는바와 같이 1차전극(3)과 2차전극 사이에 가스 공급 홀(2)을 만들어 1차전극과 2차전극 사이에 공급되는 교류 에너지를 받아 공급되는 아르곤 가스가 이온화되도록 구성하였다. 사용된 전극들은 알루미늄을 사용하였으며, 1차전극과 2차전극의 절연체로는 테플론과 세라믹을 사용하였다. 두 절연체에 의한 차이는 미미하였으며, 두 전극의 간격을 2.5mm로 고정하였으며, 3차전극과의 간격은 4mm로 고정하여 실험을 진행하였다.

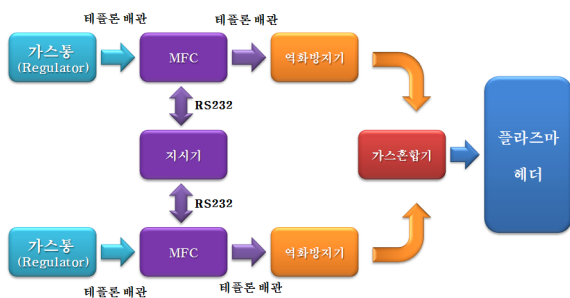


그림 2. 플라즈마 헤더 가스 공급라인 블록도
Fig. 2. Gas line for Plasma Head

그림 2에서는 플라즈마 헤더에 가스를 공급하기 위한 가스공급시스템을 보인 것이다. 사용된 MFC (Mass Flow Controller)는 Kofloc사의 3660모델을 사용하였으며, 이 MFC는 1scm에서 5slm의 가스량을 조절할 수 있는 장치이다.

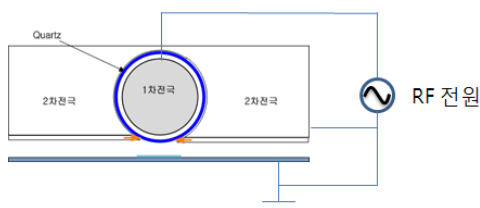


그림 3. 플라즈마 헤더의 전기적 연결도
Fig. 3. Electrical connectivity of the Plasma Head

그림 3에서 보는바와 같이 플라즈마 장치에 교류전원을 인가하기 위하여 교류전원장치(YSR-06MF, 600W, 13.56MHz)를 사용하였으며, 이 전원의 입력전원을 400W까지의 변화시키면서 실험을 진행하였다.

그림 4에서는 대기압 상태에서 플라즈마에서 발생

되는 광 스펙트럼을 측정하기 위하여 광 스펙트로미터를 사용하였으며, 플라즈마 장치와 스펙트로미터 사이에는 광케이블을 사용하였으며 측정 거리는 10cm이다. 사용된 스펙트로미터는 Avantes사의 장비를 사용하였으며, 파장분석 영역은 200nm~1100nm이다. 그림 5는 본 연구를 위하여 구성된 플라즈마 발생장치의 전체 구성도이다.

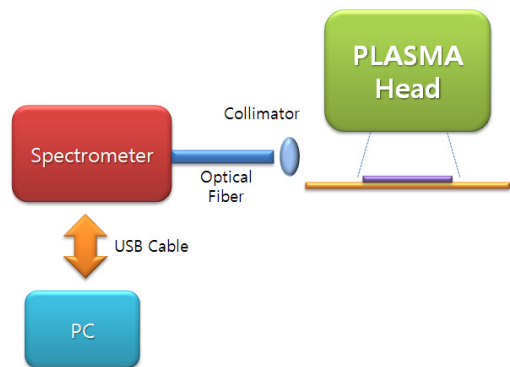


그림 4. 스펙트럼 조사를 위한 장치도
Fig. 4. Installation for Spectrum investigation

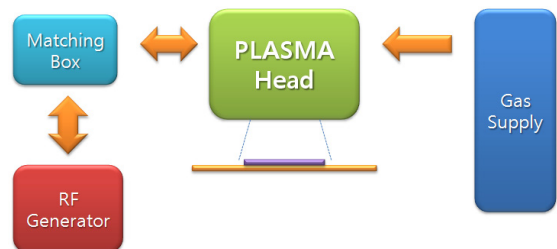


그림 5. 대기압 플라즈마 장치의 블록도
Fig. 5. Block diagram of the atmosphere Plasma device

그림 5에서 보는 바와 같이 플라즈마 헤더에서 발생된 플라즈마는 시료가 놓여있는 3차 전극쪽으로 이온들이 향하는 형태로 발생되게 되며, 이때 공급된 아르곤 가스가 인가되는 교류 에너지에 의하여 이온화된다. 각 기체들의 이온화 에너지는 표 1에 나타내었다.

표 1에서 보는바와 같이 아르곤의 이온화 에너지가 질소나 산소의 이온화 에너지와 비슷하여 아르곤이온에 의한 페닝효과로 질소분자들이 쉽게 이온화 되는 것을 알 수 있다.

표 1. 기체들의 이온화 에너지
Table 1. Ionization energy

기체명	이온화 에너지 (eV)	기체명	이온화 에너지 (eV)
Ar	15.755	Kr	14.0
H	13.6	Xe	12.1
N ₂	15.8	O ₂	12.1
He	24.6	C	11.3

3. 실험결과 및 고찰

앞의 실험 장치들을 이용하여 제작된 대기압 플라즈마 장치의 특성에 대하여 조사하였다. 그림 6은 제작한 대기압 플라즈마에서 방출되는 광 스펙트럼 사진이다.

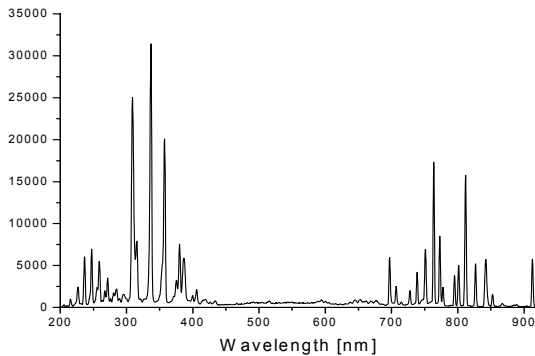


그림 6. 플라즈마의 광 방출 스펙트럼
Fig. 6. Light spectrum of the Plasma

그림 6에서 보는바와 같이 300nm에서 400nm에 걸쳐서 발생하는 스펙트럼이 질소분자(N₂) 여기상태의 광 방출 스펙트럼이며, 700nm에서 850nm까지가 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼이며 이때 인가된 전력은 100W이다.

그림 6에서 아르곤이온의 광 방출 부분을 확대하면 그림 7과 같으며, 그림 7에서 보는 바와 같이 아르곤이온은 696nm, 763nm와 810nm의 주요 광 방출 스펙트럼이 보이는 것을 알 수 있다.

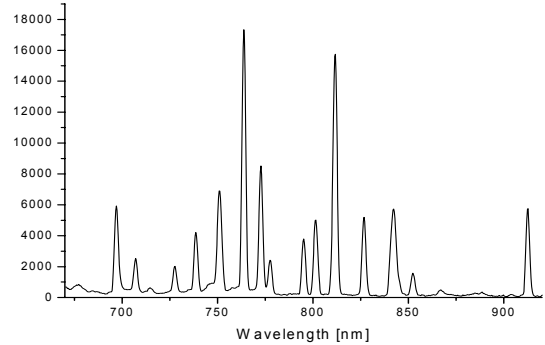


그림 7. 아르곤 이온의 광 방출 스펙트럼
Fig. 7. Emission spectrum of the Ar ions

아르곤이온의 주 스펙트럼들은 그림 7의 제일 큰 강도를 보이는 스펙트럼으로 잘 나타나 있다. 그는 플라즈마 장치의 교류 전원에 의하여 공급된 아르곤 기체가 전리되었다는 것을 보여주고 있다. 그림 8은 아르곤이온에 의하여 전리된 질소분자(N₂)의 광 방출 스펙트럼이다. 그림 7에서 나타난 바와 같이 309nm와 337nm 그리고 357nm에 광 방출 스펙트럼이 선명하게 나타나 있다. 이러한 광 방출 특성은 입력되는 에너지에 따라 점차 크게 나타나는 것을 실험을 통하여 알 수 있었다.

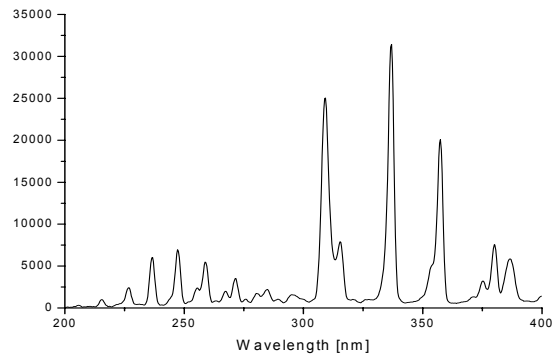


그림 8. 질소가스의 광 방출 스펙트럼
Fig. 8. Emission spectrum of the N₂ ions

실험은 공급되는 아르곤 가스의 압력에 대하여, 아르곤 가스와 질소가스의 분압에 대하여, 그리고 입력되는 에너지에 따라서 실험하였다. 이것은 아르곤이온에 의하여 전리되는 질소이온의 양과 공급되는 아

르곤기체의 양이 질소이온화에 미치는 영향 등에 대해서 연구하기 위함이다.

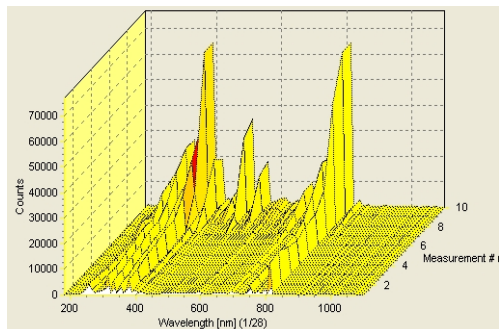


그림 9. 아르곤이온의 광방출 스펙트럼(100W~300W)
Fig. 9. Emission spectrum of the Ar ions (100W~300W)

그림 9는 5SLM의 아르곤 기체에 대하여 입력에너지를 100W에서 200W까지 증가하면서 방출되는 광 스펙트럼을 측정하였다. 그림 9에서 보는 바와 같이 에너지가 커짐에 따라서 방출되는 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼의 크기가 점차로 커지는 것을 알 수 있다. 그리고 아르곤이온이 증가함에 따라 질소이온의 광 방출 크기 또한 커지고 있음을 알 수 있다.

본 연구에서 따로 언급하지 않겠지만 그림 6에는 나타나 있지 않지만 300W 이상의 에너지를 인가할 경우 공기 중에 포함된 산소가 이온화 되어 그 특성 광 스펙트럼이 나타난다. 산소이온의 광 스펙트럼선은 777nm, 557nm 그리고 636nm에서 나타나고 있다.

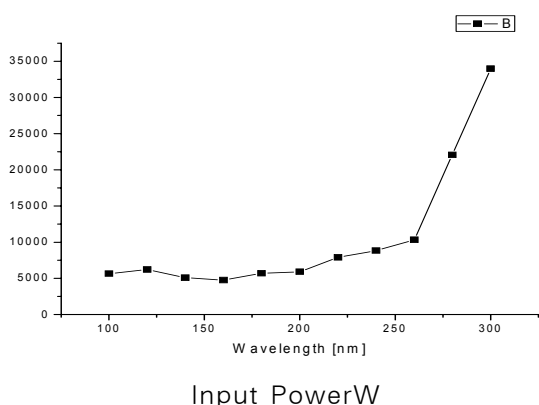


그림 10. 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼(763nm)
Fig. 10. Emission spectrum of the Ar ions(763nm)

럼의 세기를 100W에서 300W까지 에너지를 변경하면 그림 10은 아르곤이온의 대표 스펙트럼 라인인 763nm에서의 광 방출 스펙트럼화해 가면서 측정된 데이터이다.

그림 10의 그래프에서 나타나 있는 것처럼 에너지가 증가함에 따라 방출되는 아르곤이온의 세기도 저차 커지는 것을 알 수 있다. 그림 11은 인가되는 에너지를 100W에서 300W로 증가시키기에 따른 여기상태의 질소분자에 대한 광 방출 스펙트럼의 세기를 측정하였다.

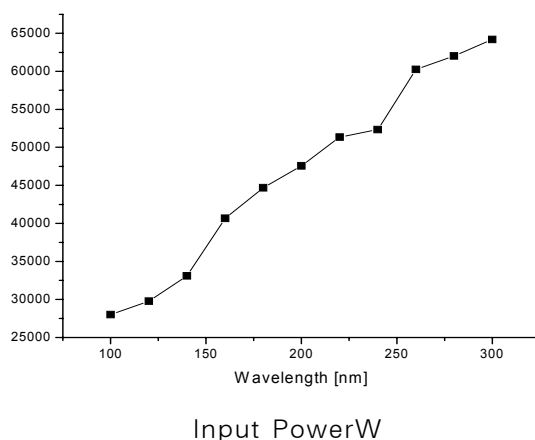


그림 11. 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼 강도 (100~300W)
Fig. 11. Spectrum intensity of the Ar ions (100~300W)

그림 11에서 보는바와 같이 입력 에너지가 커짐에 따라 아르곤이온의 농도가 증가 하듯이 질소이온도 증가하는 것을 알 수 있었다. 이는 전리된 아르곤이온이 질소를 이온화하는데 영향을 주고 있음을 보여주고 있다.

그림 12는 아르곤 기체의 흐름을 2.5slm에서 5slm까지 변화시키면서 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼의 강도를 측정하였다. 그림 12에서 위쪽에 있는 라인인 200W일 때의 데이터 이며 아래쪽의 라인인 100W일 때의 강도를 나타낸 것이다.

그림 12에서 보는바와 같이 공급되는 가스의 양이 커짐에 따라 전리되는 아르곤이온의 양이 많아짐을 알 수 있었으며, 또한 입력 에너지가 적어짐에 따라서도 아르곤이온의 양이 커짐을 알 수 있었다.

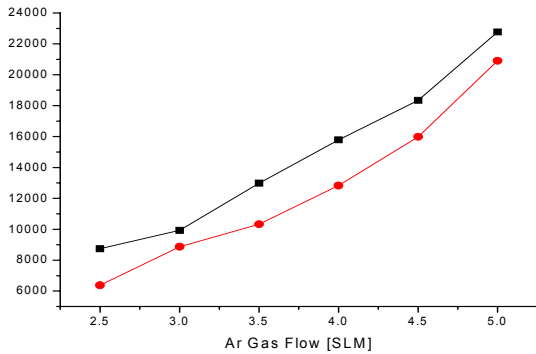


그림 12. 아르곤 가스분압에 따른 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼 강도
 Fig. 12. Spectrum intensity of the Ar ions (Various type of the gas pressure)

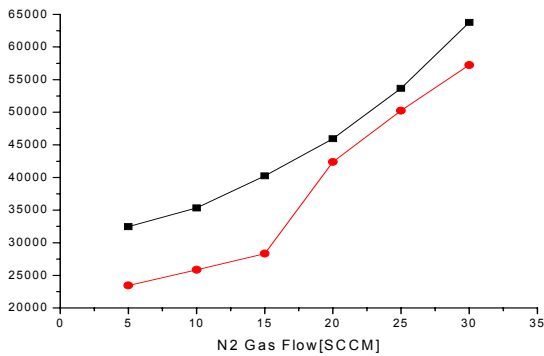


그림 13. 질소가스 분압에 따른 아르곤 가스의 광 방출 스펙트럼 강도
 Fig. 13. Spectrum intensity of the Ar ions (various type of the gas pressure)

그림 13은 아르곤 기체의 흐름을 5slm과 3slm으로 하였을 때 질소가스의 흐름을 5sccm에서 30sccm까지 변화해가면서 질소이온의 광 방출 스펙트럼의 세기를 측정하였다. 그림 13에 나타난 것과 같이 공급하는 질소가스의 양을 증가하는 질소이온의 발생량과 비례하여 나타났다. 그림 13에서 위쪽에 있는 라인인 입력 에너지를 100W로 하였을 때이며, 아래쪽의 라인인 입력 에너지를 200W로 하였을 때이다.

4. 결 론

본 연구에서는 제작된 플라즈마 장치에 대한 광 방

출 특성을 조사하였다. 공급되는 분위기 가스인 아르곤 가스에 의하여 질소가스가 이온화되며, 이때 이온화되는 정도를 방출되는 광의 세기와 비례한다고 생각한다.

그래서 공급되는 아르곤 가스의 양에 대하여, 공급되는 질소가스의 분압에 대하여, 그리고 입력 에너지에 대하여 각각 방출되는 광 스펙트럼의 세기를 조사하였다.

우선 아르곤 가스를 5slm 정도 공급하면서 100W에서 아르곤이온과 질소이온이 발생하는 것을 확인하였다. 아르곤이온의 특성 스펙트럼 라인인 309nm와 337nm 그리고 357nm가 나타났다. 그리고 질소이온의 광 방출 스펙트럼인 309nm와 337nm 그리고 357nm도 같이 나타났다. 위의 결과로 볼 때 아르곤 기체가 이온화되면서 비슷한 전리에너지를 가지고 있는 질소를 이온화시켰다는 것을 알 수 있었다. 분위기 가스인 아르곤 가스의 공급량을 2.5slm에서 5slm까지 변화하면서 아르곤이온의 광 방출 스펙트럼을 측정할 결과 아르곤 가스의 양이 커질수록 전리되는 아르곤기체의 양이 커짐을 알 수 있었다. 아르곤 기체에 혼합하여 공급한 질소기체의 양을 변화해 가면서 조사한 질소이온의 광 방출 스펙트럼의 강도 조사에서는 공급되는 질소가스의 양이 커질수록 전리되는 질소이온의 양이 많아짐을 방출되는 질소이온의 광 스펙트럼의 세기를 통하여 알 수 있었다.

본 연구를 통하여 공급되는 아르곤 가스의 양과 혼합되는 질소가스의 양이 이온화되는 정도에 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 앞으로 제작된 플라즈마 장치를 활용하기 위하여 처리된 시료에 대한 접촉각을 조사함으로써 사용하는 혼합가스의 종류에 따른 친수화와 소수화의 특성이 조사되어야 한다.

표면 개질의 효과는 사용하는 가스의 종류에 따라 그 특성이 다르게 나타나며 그 특성은 표면 개질 후 적용될 공정의 종류에 따라 결정이 될 것이다.

References

[1] M. Laroussi, "Low temperature plasma-based sterilization: Overview and state-of-the-art." Plasma Process. Polym., 2, 391-400, 2005.

- [2] R. Brandenburg, J. Ehlbeck, M. Stieber, Th. von Woedtke, J. Zeymer, O. Schluter, and K. D. Weltmann, "Antimicrobial treatment of heat sensitive materials by means of atmospheric pressure rf-driven plasma jet." *Contrib. Plasma Phys.*, 47, 72-79, 2007.
- [3] K. D. Weltmann, R. Brandenburg, Th. von Woedtke, J. Ehlbeck, R. Foest, M. Stieber, and E. Kindel, "Antimicrobial treatment of heat sensitive products by miniaturized atmospheric pressure plasma jets" *J. Phys. D : Appl. Phys.*, 41, 194008, 2008.
- [4] K. G. Michlewicz, J. J. Uth, J. W. Carnahan, "A Microwave Induced Plasma System for the Maintenance of Moderate Power Plasmas of Helium, Argon, Nitrogen and Air" 40B, 493-499, 1985.
- [5] E. Poussel, J. M. Mermet, D. Deruaz, C. Beaugrand, *Anal. Chem.*, "Evaluation of a microwave-induced plasma as a soft ionization source in mass spectrometry" 60, 923-927, 1988.
- [6] W. L. Shem, R. D. Satzger, *Anal. Chem.*, 63, 1960.
- [7] L. B. Leob, J. M. Meek, 1941.
- [8] Cecchi J. H., In *Handbook of Plasma Technology*, eds. Stephen M. Rossnagel, Jerome J. Cuomo, and William D. Westwood, p.14 Park Ridge, NJ : Noyes publication, 1990.
- [9] Francis G., *Ionization Phenomena in Gases*. London : Butterworths, 1960.
- [10] MacDonald A. D., and S. J. "High Frequency and Microwave Discharges, Chapter 3 in *Gaseous Electronics*", Vol-1 (Academic Press), 1978.
- [11] J.W.Coburn, R.A.Gottscho, D.W.Hess, "On the balance between silylene and silyl radicals in rf glow discharges in silane: The effect on deposition rates of a Si:H" *J. Appl. Phys.*, 62, 2803-2811, 1897.
- [12] H. Conrads and M. Schmidt, "Plasma generation and plasma sources" *Plasma Sources Sci. Technol.*, 9, 441-454, 2000.
- [13] N. St J. Braithwaite and R. N. Franklin, "Reflections on electrical probes" *Plasma Sources Sci. Technol.*, 9, 517-527, 2000.

◇ 저자소개 ◇



박성진 (朴成珍)

1965년 8월 17일생. 1991년 2월 경북대학교 물리학과 졸업. 1993년 2월 경북대학교 일반대학원 석사졸업. 2002년 2월 동 대학원 박사졸업. 현재 한국폴리텍대학 대구캠퍼스 스마트전기과 초빙교수 재직.