

실리콘 산화막을 이용한 초소형 비열플라즈마 발생장치의 방전 및 오존발생특성

강정훈^{*}·태흥식·문재덕
경북대학교 공과대학 전기공학과

Discharge and Ozone Generation Characteristics of a Micro-Size Nonthermal Plasma Generator Using Silicon Oxide Film

Jeong-Hoon Kang^{*}, Heung-Sik Tae and Jae-Duk Moon
Dept. of Electrical Engg., Kyungpook Nat'l Univ.

Abstract : A micro-size nonthermal plasma generator, using a SiO₂ film as a dielectric barrier, has been studied experimentally for a high frequency ac voltage in 2LPM oxygen gas fed. The SiO₂ film as a micro-size dielectric barrier was made by the wet oxidation of n-type Si wafer(220 μ m).

It can be generated ozone, as a nonthermal plasma intensity parameter, at very low level of applied voltage about 1[kV] by using the micro-size dielectric barrier. As a result, in case that have no air gap spacing i.e. surface discharge case shows relatively higher ozone concentration rather than that case of the micro-airgap spacing.

1. 서론

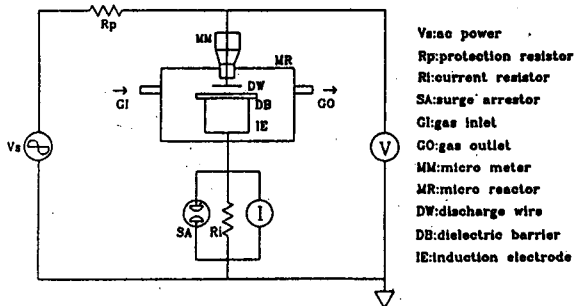
최근 대기오염 문제가 갈수록 심각해짐에 따라 이에 대한 대책과 다양한 연구가 선진 각국에서 수행되고 있으며 [1, 2], 그 중 비열플라즈마의 전기물리화학적 작용을 이용하여 가스상 대기오염 물질인 NO_x, SO_x, VOCs 등을 효과적으로 제거하는 기술[3-9]이 크게 각광을 받고 있다.

비열플라즈마의 발생방법으로는 고주파 또는 펄스전압을 이용한 직접방전[2, 3], 유전체 장벽방전[4, 5], 강유전체 층을 이용하는 간접방전[6, 7] 등이 있다. 그러나, 대부분의 비열플라즈마 발생장치에 인가되는 전압은 수 kV 이상이며, 이로 인해 전원장치 제작 상에 있어서의 기술적 및 경제적인 측면상 효과적이지 못하다.

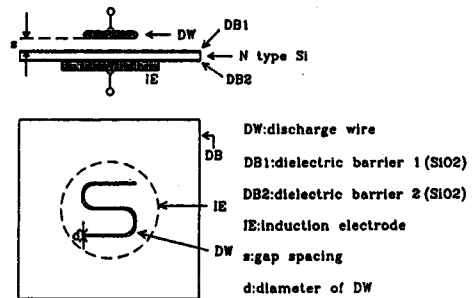
본 논문은 초소형 비열플라즈마 발생장치 개발을 위한 기초연구로서, 수 μ m 정도로 만들어진 SiO₂ 막을 이용하여 매우 낮은 교류전압에서도 비열플라즈마가 발생하는 마이크로 크기의 유전체 장벽형 비열플라즈마 발생장치를 제작하여 마이크로 크기의 방전공간 공격에 따른 장치의 특성을 실험적으로 연구검토한 결과이다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험에 사용된 초소형 비열플라즈마 발생장치와 실험장치의 개략도이다. 비열플라즈마 발생장치는 그림과 같이 봉형의 유도전극(SUS 304, 5.25[mm] diameter) 위에 SiO₂ 유전체 장벽(2 μ m thick, 1 μ m thick double



(a) experimental setup



(b) plasma reactor

Fig. 1. Schematic diagram of experimental setup and configuration of plasma reactor

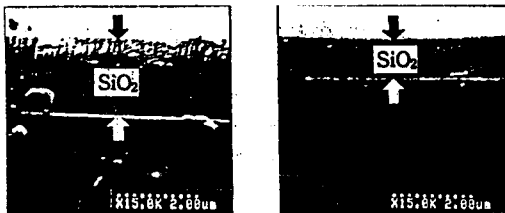


Fig. 2. Scanning electron microscopic image of SiO₂ dielectric barrier

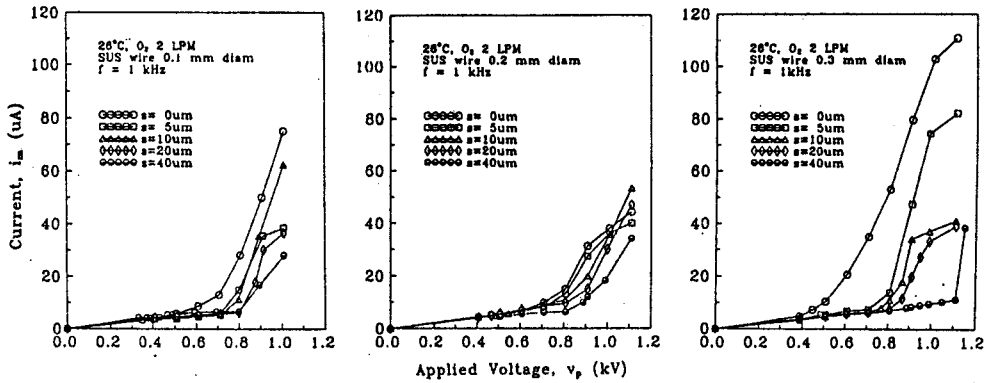


Fig. 3. i_m - v_p characteristics of the plasma reactor as a function of gap spacing and discharge wire diameter

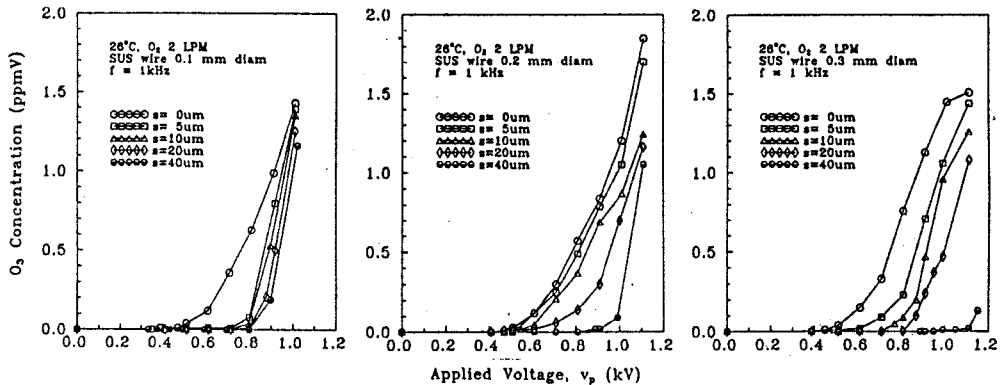


Fig. 4. O_3 - v_p characteristics of the plasma reactor as a function of gap spacing and discharge wire diameter

barrier, $1 \times 1 [cm]$ 을 설치하고 그 위에 스텐레스 선(0.1, 0.2, 0.3 [mm] diam)을 "S"자 모양으로 만들어 방전선전극으로 하였다. 본 SiO_2 유전체 막은 n-type Si 기판을 습식 열산화(wet oxidation)시켜 제작하였다.

마이크로 크기 방전공간 공격의 미세 조절을 위해 마이크로 미터를 사용하여 0~40[μm]의 공격에서 실험을 수행하였다.

본 비열플라즈마 발생장치에는 1[kHz]의 정현파 전압을 인가하였고, 전류 및 전압은 고주파 고전압 프로브(Hameg Model HZ58)와 축적형 오실로스코프(Philips Model PM3392)를 사용하여 측정하였다. 발생 오존의 측정은 오존모니터(Dasibi Model 1108)를 사용하였다.

인입 기체로는 공업용 산소(2LPM)를 사용하였으며, 온습도는 특별히 조절하지 않고, 모든 장치는 전자차폐된 철제함 내에 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 실험에 사용한 습식 열산화에 의해 만들어진 SiO_2 유전체 장벽의 SEM 사진으로서 SiO_2 와 Si는 사진 내의 백색 선으로 구분된다. 원래의 Si 기판의 두께는 220 [μm]였고, 습식 열산화를 통해 기판의 양쪽 표면에 각각 2 [μm], 1 [μm]의 SiO_2 막이 형성되었음을 보여준다.

그림 3은 직경 0.1, 0.2, 0.3 [mm] 각각의 방전선전극에서 인가전압의 증가에 따른 전류-전압특성을 방전공간 공격을 변수로 하여 나타낸 것이며, 방전공간 공격이 커질 수

록 방전전류는 작아짐을 알 수 있다. 방전의 초기에는 침대평판과 같은 불평등전계 방전과 유사한 특성을 보이고 있으나 전면 방전으로는 진전하지 않음을 알 수 있다. 즉, 인가전압이 증가함에 따라 방전전류는 증가하나 어느 시점 이후부터는 그 기울기가 완만해져 포화되는 특성을 나타낸다. 이는 방전공간의 방전의 단계가 암전류, 변위전류, 국소 부분방전을 거쳐 전면방전으로 진전하지는 못함을 의미하며 유전체장벽이 방전전류를 제한하는 것에 기인한 것으로 사료된다.

그림 4는 직경 0.1, 0.2, 0.3 [mm] 각각의 방전선전극에서 인가전압의 증가에 따른 오존발생특성을 방전공간 공격을 변수로 하여 구한 것이다. 최적의 오존발생을 위해서는 적정 방전공간 공격이 필요하나[10], 여기서는 방전공간 공격이 커질수록 발생오존량은 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 본 실험과 같이 방전공간 공격이 극히 작은 경우 오히려 연면방전으로 인한 오존발생이 더 큼을 보여주는 것이다.

그림 5는 각각의 방전선전극에 대하여 방전공간 공격을 변화시켰을 때의 코로나 개시 전압을 나타낸 것이다. 방전선전극의 직경이 가늘수록 코로나의 개시전압이 낮은 것을 알 수 있는데, 이는 직경이 가늘수록 선전극 상의 전계가 불평등 전계가 되기 때문이다.

그림 6은 비열플라즈마 발생장치에 1[kV]의 일정 교류전압을 인가했을 경우의 방전공간 공격에 따른 오존 발생 특성을 나타낸 것이다. 위에서 언급한 바 있으나, 방전공간

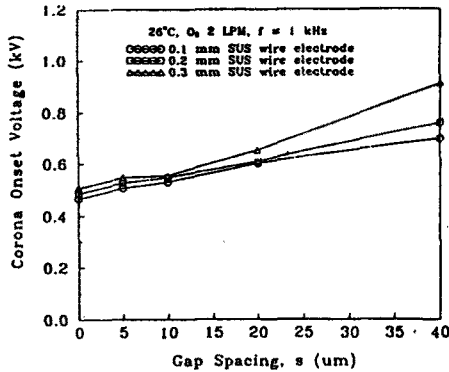


Fig. 5. Corona onset voltages of 3 kinds of discharge wires as a function of gap spacing

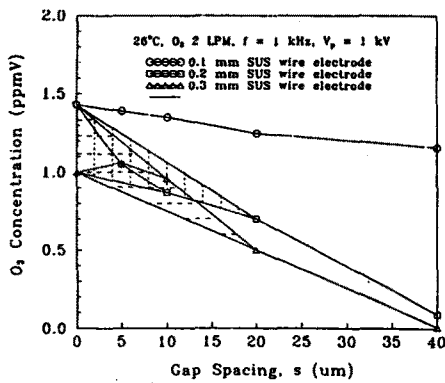


Fig. 6. Ozone generation of 3 kinds of discharge wires as a function of gap spacing

공격이 커질수록 발생오존량이 감소하는 것은, 최적의 오존발생을 위해서는 적정 방전공간 공격이 필요하나[10], 본 실험과 같이 방전공간 공격이 극히 작은 경우 오히려 연면 방전으로 인한 오존발생이 더 름을 보여주는 것이다. 그리고, 방전 전극이 0.2[mm] 일 때와 0.3[mm]인 경우 방전공간 공격이 작은 0~20[um]의 공격에서 발생오존량의 변동이 발생한 것은 1[kV] 정도의 전압이 인가된 경우 마이크로 방전이 매우 불안정했기 때문인 것으로 생각된다.

4. 결론

초소형 비열플라즈마 발생장치 개발을 위한 기초연구로서 실리콘 기판을 습식 열산화시켜 만들어진 SiO₂ 막을 유전체 장벽으로 한 비열플라즈마 발생장치를 제작하여, 교류전압을 인가하여 방전공간 공격에 따른 비열플라즈마 발생장치의 특성을 실험적으로 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 마이크로 크기의 방전공격과 마이크로 크기의 유전체 장벽을 갖는 마이크로 크기의 비열 플라즈마 발생장치를 Si 웨이퍼 산화층을 이용하여 제작하였다.
2. 마이크로 크기의 방전에 있어서 마이크로 크기의 유전

체 장벽의 두께를 얇게 함으로써 1[kV] 이하로 매우 낮은 인가전압에서 비열플라즈마를 발생시킬 수 있었다.

3. 방전선전극과 SiO₂ 막 간에 마이크로 크기의 방전공간 공격을 설정하여 그 공격을 마이크로 미터로 정밀 변화시킨 결과 마이크로 방전공간을 갖는 경우 보다 선전극이 SiO₂ 막에 부착된 연면방전의 경우가 오존발생이 더욱 많음을 보여 주었다.

사사

본 연구는 한국전력공사 지원 기초전력공학공동 연구소의 전력기술 기초연구의 결과입니다.

참고문헌

- [1] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge Univ, England U.K., pp. 1-8, Sept. 21-25, 1992.
- [2] M. Rea and K. Yan, Energization of Pulse Corona Induced Chemical Processes, NATO ASI Series G34, Part A, Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, pp. 191-204, 1993.
- [3] A. Chakrabarti, A. Mizuno, K. Shimizu, T. Makuok and S. Furuta, "Gas Cleaning with Semi-Wet type Plasma Reactor", *IEEE Trans. on IA*, Vol. 31, No. 3, pp. 500-506, 1995.
- [4] S. Masuda, S. Hosokawa, X-L Tu, K. Sakakibara, S. Kitoh and S. Sakai, "Destruction of Gaseous Pollutants by Surface-Induced Plasma Chemical Process(SPCS)", *IEEE Trans. on IA*, Vol. 29, No. 4, pp. 781-786, 1993.
- [5] S. K. Dhali and I. Sardja, "Dielectric-barrier Discharge from Processing of NO_x/SO_x", *J. Appl. Phys.*, Vol. 69, pp. 6319-6324, 1991.
- [6] T. Yamamoto, K. Ramanathan, P. A. Lawless, D. S. Ensor, J. R. Newsome, N. Planks and G. H. Ramsey, "Control of Volatile Organic Compounds by an AC Energized Ferroelectric Pellet Reactor and Pulsed Corona Reactor", *IEEE Trans. on IA*, Vol. 28, pp. 528-534, 1992.
- [7] Jae-Duk Moon, Sang-Taek Geum and Mu-Sang Lee, "Plasma Generation Using a Ferroelectric Ball Discharge", Int'l Session, 日本静電気學會 講演論文集 '95, pp. 9-14, 1995. 10.
- [8] U. Kogelschatz, B. Eliasson and M. Hirth, "Ozone Generation from Oxygen and Air : Discharge Physics and Reaction Mechanisms", 8th Ozone World Congress, Zürich, Switzerland, pp. 1-10, 1987.
- [9] Kazuo Shimizu, "Gas Cleaning Utilizing Discharge Plasma", Ph.D Dissertation, Toyohashi Univ of Technology, Japan, pp. 141-149, 1996. 3.
- [10] 崔再九, 文在德, "電極沿面放電과 誘電체障壁放電을 共用的 高效率 오존發生", 대한전기학회 하계학술대회는문집, pp. 1410-1412, 1995. 7.