

Effective Ionic Wind Generation of a Surface Discharge Type Ionic Air Pump

鄭在勝* · 文在德†
(Jae-Seung Jung · Jae-Duk Moon)

Abstract - The ionic air pump can be used towards the thermal management of micro-electronic devices, since the size of pump can be reduced to micrometer orders. In addition, an air pump allows air flow control and generation with low noise and no moving parts. These ideal characteristics of the pump give rise to variety applications. However, all of these applications would benefit from maximizing the flow velocities of the pumps. In this study a surface discharge type air pump, with a third electrode, has been investigated by focusing on elevating the wind velocity and efficiency. As a result, the enhanced ionic wind velocity could be obtained with the third electrode of the proposed air pump.

Key Words : Thermal management of micro-electronic device, Ionic wind, Surface discharge, Third electrode

1. 서 론

정보화 시대에 따른 전자 통신기기의 고성능화와 초소형화에 따라 이들의 발열 밀도는 이미 태양표면 정도에 이르고 있다 [1,2]. 따라서 초소형 전자소자의 효과적인 냉각이 매우 필요한 실정이나, 종래의 전기 송풍기는 냉각 효율이 매우 낮을 뿐[3,4]만 아니라 기계적 회전부분 때문에 수명과 초소형화에 심각한 한계가 있다[2].

코로나 방전에 의한 전계중의 이온 이동력을 정전송풍기의 동력으로 사용하는 연구가 최근 수행되고 있다[5,6]. 이와 같은 경우 대개는 짐대 평판 방전을 채용하고 있기 때문에 코로나 방전특성은 우수하나 높은 전계를 생성 시킬 수 없어서 고속의 풍속을 얻을 수 없는 문제점이 있다[2,5,6]. 연면방전은 그 구조상 측면 풍을 일으키기 때문에 특별히 평판상의 유속 제어 목적으로 많이 연구되고 있다[7]. 그러나 평판형 연면 방전형은 침방전형에 비해 연면상에서 매우 강력한 방전을 얻을 수 있기 때문[7,8]에 강력한 이온풍의 발생이 가능하다. 또한 평판형의 경우, 반도체 웨이퍼로 초소형화 할 수 있는 장점도 가지고 있으나[2], 이를 이용한 이온풍장치에 대한 연구는 발표되지 않고 있다[5-7].

한편 선대 평판형 코로나 발생장치의 제3전극이 코로나 방전강도를 향상시킬 뿐 아니라 방전효율도 크게 증가시킬 수 있음이 최근 보고되었으나[9], 이것을 이온풍 발생장치용 코로나 방전장치로 적용된 보고는 아직 없다[5-8].

본 연구는, 전자소자 방열용 송풍장치로서 사용 가능성을 갖는 연면 방전형 이온풍 발생장치개발을 위한 기초 연구로

서, 연면 방전장치에 제3의 전극을 부설하여 이온풍속의 향상 가능성을 실험적으로 연구 검토한 결과 보고이다.

2. 실험 장치 및 방법

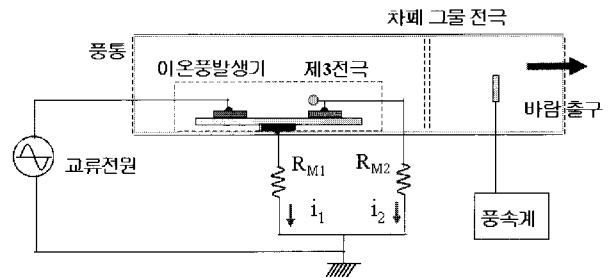


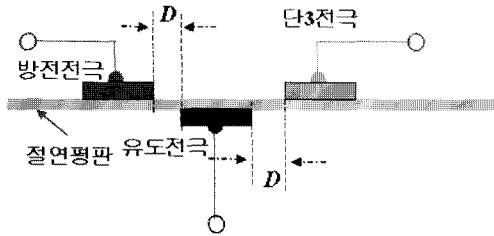
그림 1 실험장치 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

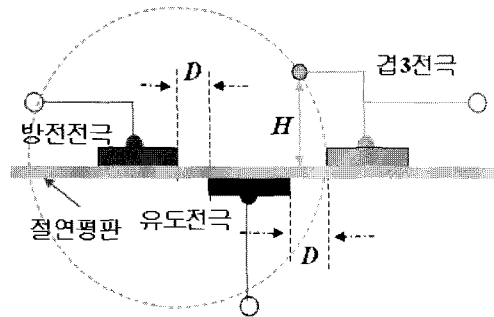
그림 1은 본 실험장치 개략도를 나타낸 것으로, 실험용 풍동(acrylic wind chamber, 30*30*60cm³)안에 제3전극이 부설된 연면 방전형 이온풍 발생장치와, 교류 고전압 전원, 방전 전류 및 고전압 측정부, 그리고, 전자 차폐그물전극과 이온풍속 측정장치로 구성하였다. 이온풍 발생장치는 방전전극, 유도전극 그리고 제3전극으로 구성하였으며, 모두 같은 크기의 평판(stainless, 길이 30mm, 폭 10mm, 두께 0.7mm)을 사용하여 절연평판(ceramic, 30mm*40mm, 두께 0.7mm)의 상측과 하측에 각각 밀착하였다. 선상 제3전극(stainless wire, 길이 30mm, 직경 0.18mm)은 평판상 제3전극의 위에 설치하였다. 그리고 풍속계는 제3전극 20mm 뒤쪽에 설치하였고, 풍속계 보호용 차폐그물전극(stainless mesh, 40*40cm², 두께 0.7mm)을 풍속계 앞단 10mm 떨어진 지점에 설치하였다.

* 正 會 員 : 慶北大 大學院 電子電氣컴퓨터學部 博士課程
† 교신저자, 正會員 : 慶北大 電子電氣컴퓨터學部 教授 · 工博
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr
接受日字 : 2008年 7月 2日
最終完了 : 2008年 8月 7日

전원은 교류 고전압을 사용하였고, 방전전류와 전압은 전압계(DVM, Fluke, 179), 고전압 분압기(HP, high-volt probe, 1,000:1, Tektronix, P6015A), 그리고, 측정저항(R_{M1}, R_{M2})을 사용하여 측정하였다. 본 실험에서는 전압과 전류는 모두 실효치(root mean square)로 나타내었고, 이온풍속은 풍속계(AM, anemometer, Climomaster 6511)를 사용하여 측정하였으며, 모든 실험값은 5번씩 측정하여 평균값으로 나타내었다.



(a) 단3전극 형상



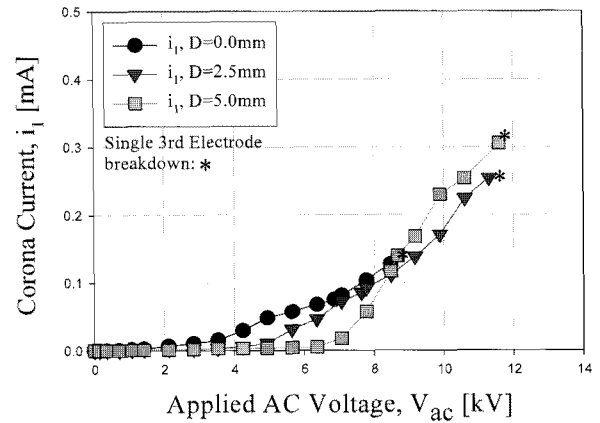
(b) 겹3전극 형상

그림 2 제3전극 형상과 연면 방전형 이온풍 발생장치 개략도.
Fig. 2 Schematic diagram of the Surface Discharge Type Ionic Wind Generator with the third electrode.

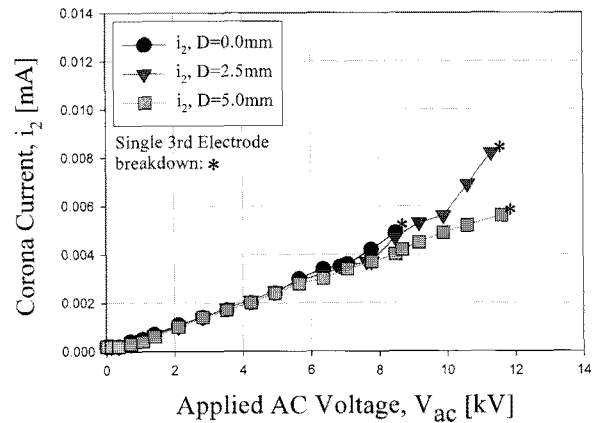
그림 2는 연면 방전형 이온풍 발생장치와 제3전극의 형상을 나타낸 것이다. 통상의 연면 방전 장치에서 방전전극과 유도전극 사이의 교류 고전압이 인가되면, 방전전극에서 생성된 이온들은 절연판 하측의 유도전극을 향하여 정전력에 의해 이동하게 되므로, 절연판상의 수평방향으로의 이온풍은 약하게 된다. 본 실험에서는 단3전극과 겹3전극을 절연판상에 설치함으로써, 방전전극에서 생성된 이온들을 각각 수평방향과 수직방향으로 유도하여, 유도전극의 후측에서 강한 이온풍을 얻을 수 있는지를 검토하고자 하였다. 제3전극은 평판상(stainless 판, 길이 30mm, 폭 10mm, 두께 0.7mm)과 선상(stainless 선, 길이 30mm, 직경 0.25mm)의 2종류, 즉, 평판상 제3전극을 적용한 단3전극과, 평판상과 선상을 동시에 갖춘 겹3전극을 제안하여 실험하였다. 선상 제3전극은 방전전극 우측 끝단을 원점으로 하는 동일 거리(원주상)에 설치하고, 평판상 제3전극의 상측으로의 높이(H)로 표시하고, $H=0.0\sim 10.0\text{mm}$ 로 가변하였다. 이때 방전전극과 유도전극

간, 그리고, 평판상 제3전극과 유도전극간의 거리(D)는 동일하며, D는 0.0~5.0mm로 가변 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰



(a) 코로나 방전 주전류(i_1)



(b) 단3전극상의 이온전류(i_2)

그림 3 방전전극과 유도전극의 간격변화에 따른 전압-전류 특성.

Fig. 3 $V-I$ characteristics as a function of the interelectrode distance.

그림 3은 단3전극이 부설된 연면 방전형 이온풍 발생장치에서 방전전극과 유도전극간의 간격(D)를 변화시켰을 때의 전압-전류($V-I$)특성을 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 방전전극과 유도전극사이의 연면 방전전류(주전류, i_1)는 연면 방전 개시전압(V_C)에서 흐르기 시작하여 서서히 증가하고, 마침내 절연파괴(절연파괴전압, V_B)에서 이르는 전형적인 장벽방전 특성을 보여준다[9]. i_1 의 크기는 D의 변화에 영향을 크게 받으며, V_C 부근에서의 i_1 의 크기는 $D=0.0\text{mm} > D=2.5\text{mm} > D=5.0\text{mm}$ 의 순서이나, 최대전압일 때의 i_1 의 크기는 $D=5.0\text{mm} > D=2.5\text{mm} > D=0.0\text{mm}$ 의 순서로서 D가 클수록 큰 방전전류가 흐름을 보여 주었다. 통상의 연면 방전장

치에서의 전류는 방전전류와 변위전류의 합으로 나타난다. 이때 변위전류는, D 가 작을수록 전극간의 정전용량이 더 커지기 때문에, 그림 3 (a)의 $D=0.0\text{mm}$ 와 $D=2.5\text{mm}$ 에서와 같이 기울기가 작고 거의 직선적으로 증가하게 되는 것으로 사료된다. 그러나 D 가 $D=5\text{mm}$ 로 커지면 변위전류 분은 작아지나, 전극간격(gap spacing)이 크기 때문에 인가전압이 높아지면 코로나 방전전류분이 상대적으로 더 커지게 되고, 인가전압이 8.5kV 이상에서는 $D=0.0\text{mm}$ 나 $D=2.5\text{mm}$ 의 전류(변위전류+방전전류)보다 더 큰 방전전류가 흐르게 되는 것을 보여준다. 한편 그림 3(b)의 제3전극쪽으로 흐르는 전류(이온전류, i_2)의 대부분은 장벽의 표면상을 흐르는 누설전류($8.5\text{kV}/4\mu\text{A}=2.13\text{G}\Omega$)이고, D 의 변화에 따른 각각의 V_C 상에서 $2\sim 3\mu\text{A}$ 의 이온전류가 흐름을 보여준다. 이는 전체 방전 주전류의 1~2%로서 매우 적으나, 이는 제3전극의 이온을 받아들이는 대향단면적($0.7*30\text{mm}^2$)이 매우 작기 때문이다.

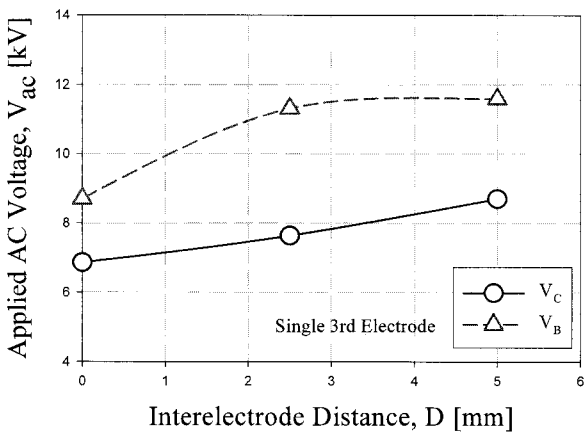


그림 4 방전전극과 유도전극의 간격변화에 따른 방전개시전압과 절연파괴전압 특성.

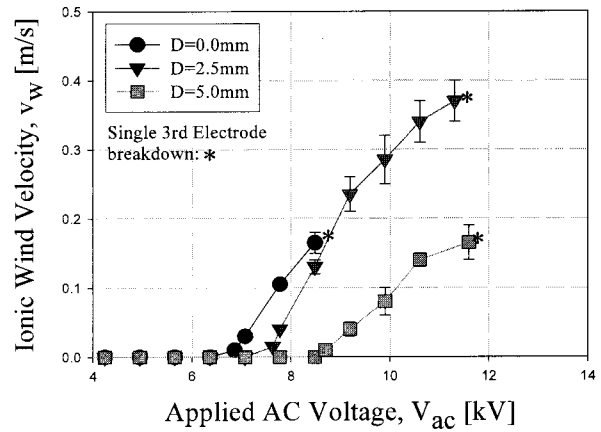
Fig. 4 Corona onset and breakdown voltage characteristics as the function of the interelectrode distance.

그림 4는 방전전극과 유도전극의 간격(D)변화에 따른 코로나 개시전압(V_C)과 절연파괴전압(V_B) 특성을 나타낸 것이다. V_C 와 V_B 의 크기는 D 의 증가에 따라 증가함을 보여주었다. 이는 방전개시와 절연파괴 현상을 일으키기 위한 각각의 임계전계가 이론적으로 $E_C=V_C/D$ 및 $E_B=V_B/D$ 로 주어져서 방전전극과 유도전극간의 간격에 반비례하기 때문이다. 다만 V_B 의 경우는 $D=2.5\text{mm}$ 이상에서 증가분이 작아져서 포화하는 경향을 보여 주었다.

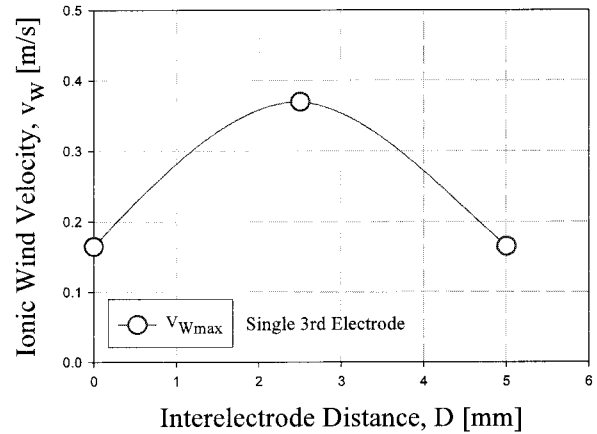
그림 5는 단3전극이 부설된 연면 방전형 이온풍 발생장치에서 D 를 변화시켰을 때의 이온풍속(v_w)- 인가전압(V_{ac}) 특성과 최대풍속 특성을 나타낸 것이다. 이온풍은 V_C 에서 발생하기 시작하여 인가전압이 높아질수록 서서히 증가하다가 V_B 에서 종료됨을 보여준다. 이온풍속은 D 의 변화에 따라 큰 변화를 보여주며, $D=2.5\text{mm}$ 때 최대 풍속을 가짐을 보여준다.

풍속은 이온의 이동속도에 1차 비례하며, $v_I=kE$ (여기서, v_w : 이온풍 속도, k : 이온의 이동도(mobility), E : 수평전계)로

주어진다. 여기서 이론적으로 $E=V_{ac}/D$ 이므로, v_I 는 V_{ac} 가 높을수록 D 가 작을수록 높은 풍속을 얻게 되며, 최대값이 $D=2.5\text{mm}$ 에 주어짐을 보여준다. 따라서 인가전압이 11.3kV 이고, $D=2.5\text{mm}$ 때 이온풍속은 0.37m/s 로 최대값을 가짐을 보여준다.



(a) v_w - D 특성

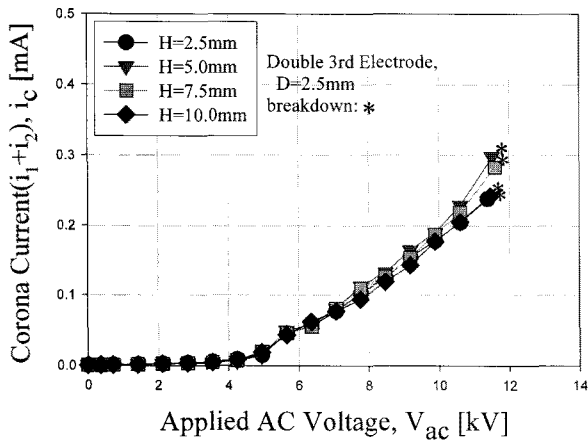


(b) v_{Wmax} - D 특성

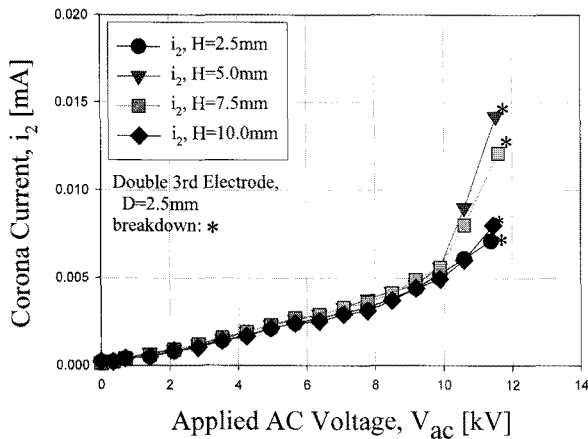
그림 5 방전전극과 유도전극의 간격변화에 따른 이온풍속-전압 특성.

Fig. 5 Ionic wind velocity characteristics as a function of the interelectrode distance.

전술했듯이 제3전극의 형상이 평판형인 경우, 이온이동 방향에 대한 제3전극의 대향단면적이 너무 적어서 이온의 진행에 효과적인 제어가 되지 못했다. 한편 면적을 크게 하면 이온제어는 유효하나, 이온풍의 진로를 막게 되므로 적정형상의 제3전극이 필요하게 된다. 본 연구에서 그림 2(b)와 같이, 선상 제3전극을 평판상 제3전극 상측에 부설함으로써, 평판과 선간이 등전위가 되어 결보기 제어면적이 매우 크질 뿐만 아니라, 이온풍의 진로방해도 없는 매우 효과적일 것으로 판단하고 이하 이를 실험적으로 검토하였다.



(a) 코로나 방전 전체 전류(주전류 i_1 + 이온전류 i_2)

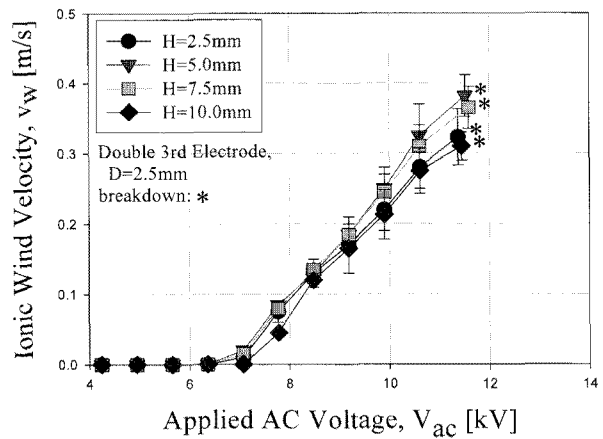


(b) 겹3전극상의 이온전류(i_2)

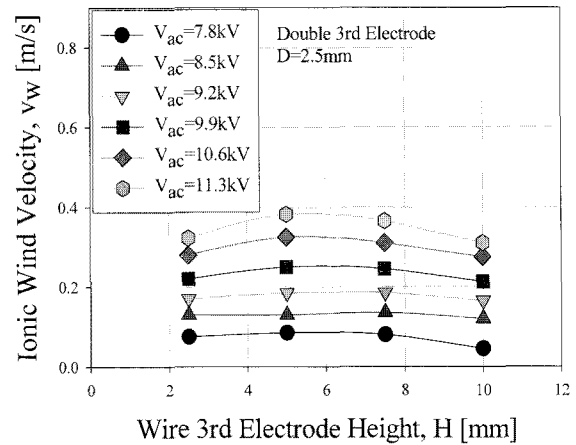
그림 6 선상 제3전극의 높이 변화에 따른 전압-전류 특성
Fig. 6 $V-I$ characteristics as a function of the height of wire-type third electrode.

그림 6은 선상 제3전극을 평판상 제3전극 상층에 부설하여 평판과 선간을 등전위가 되게 한 겹3전극이 부설된 연면 방전형 이온풍 발생장치의 선상 제3전극의 높이(H)의 변화에 따른 $V-I$ 특성을 나타낸 것이다. H 의 변화에 따른 $V-I$ 특성은 전형적인 장벽방전특성을 보여주며, 방전전류(i_1)는 H 의 위치에 따라 큰 영향을 받지 않으나, 이온전류(i_2)의 크기는 매우 큰 영향을 받는 것을 보여준다. 특히 $H=5.0\text{mm}$ 일 때, 그 영향이 가장 크게 나타나며, 이는 선상 제3전극이 부설되지 않은 그림 3 (b)에 비해 2배정도로 매우 큰 이온전류가 제3전극을 통해 흐름을 보여준다. 반면에 $H=2.5$ 또는 10.0mm 인 경우에는 겹3전극의 효과가 거의 나타나지 않아 단3전극의 경우와 유사한 결과가 나타난다. 제3전극에서 측정되는 전류는 대부분 이온들의 이동으로 인하여 나타나는 것이므로, H 가 작은 경우에는 절연판의 표면저항이 이온들의 이동에 장애가 되며, H 가 큰 경우에는 이온들이 상층의 선상 및 하층의 판상 제3전극간으로 이동하는 빠져나가는 양이 증대되므로 측정되는 전류가 감소되는 것으로 사료된다.

이상의 그림 3과 6으로부터 D 와 H 를 변화시킴으로 방전 전극의 코로나 방전을 활성화시킬 수 있음과 방전전극으로부터의 이온의 방향을 용이하게 바꿀 수 있음을 보여준다. 이는 제안한 장치가 송풍기로 사용할 경우 매우 유용하게 적용할 수 있는 특성이라고 사료 된다[5,8].



(a) H 변화에 따른 $V-I$ 특성



(b) V_p 와 H 변화에 따른 이온풍속 특성

그림 7 겹3전극형의 선상 제3전극의 높이 변화에 따른 이온풍속 특성.

Fig. 7 Ionic wind velocity characteristics as a function of the height of wire-type third electrode and the different applied voltage.

그림 7은 겹3전극이 부설된 연면 방전형 이온풍 발생장치에서 H 를 변화시켰을 때의 이온풍속-인가전압 특성을 나타낸 것이다. 그림 7(a)에서와 같이 이온풍속은 H 의 변화에 따라 큰 영향을 받는 것과 그림 7(b)에서와 같이 적정 값을 가짐을 보여준다.

통상의 연면 방전 장치에서 방전전극에서 생성된 이온은 방전전극에서 발생하여 유도전극으로 이동해 가게 되며, 이때 이동방향은 유도전극의 위치에 따라 결정된다[9]. 본 실험에서는 단3전극과 겹3전극으로 각각 수평방향과 수직방향으로 이온들을 유도되어, 단3전극의 경우 이온은 하층으로

이동하게 되어 하측 풍속을 증가시키게 된다. 겹3전극형의 경우, 이온은 상측의 선상 및 하측의 판상 제3전극간으로 이동하게 되어 중층의 풍속을 향상시킬 수 있게 된다. 이때 H 가 커짐에 따라 풍향이 위쪽으로 이동하게 되므로 H 에는 적정 값이 존재하며, 그 값은 $H=5.0\text{mm}$ 부근임을 그림 7(b)는 보여준다. 따라서 $V_{ac}=11.3\text{kV}$, $D=2.5\text{mm}$, $H=5.0\text{mm}$ 일 때 이온풍속은 0.38m/s 로 최대값을 가지며, 이는 $D=0.0\text{mm}$ 인 경우에 얻을 수 있는 최대 풍속 값인 0.17m/s 에 비해 2.24배의 높은 값의 풍속을 얻을 수 있음을 보여준다.

3. 결 론

본 연구는 반도체 소자 방열용 연면 방전형 이온풍 발생 장치 개발을 위한 기초 연구로서, 연면 방전장치에 제3의 전극을 부설하여 이온풍속의 향상 가능성을 실험적으로 검토한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

이온풍속은 방전전극과 유도전극간의 거리(D)와 제3전극의 높이(H)에 매우 큰 영향을 받으며, D 와 H 에는 적정 값이 있음을 보여 주었다. 즉 D 가 0.0mm 에서 2.5mm 로 변화하였을 때, 최대풍속은 0.17m/s 에서 0.37m/s 로 2.18배 증가하였고, 선상 제3전극이 평판상 제3전극의 상측에 부설된 겹3전극의 경우, $H=5.0\text{mm}$ 일 때에 최대풍속이 0.38m/s 로 2.24배로 증가하였다.

이상의 결과로부터 연면 방전형 이온풍 발생장치에 제3의 전극을 부설하면 이온풍속의 향상이 가능함을 실험적으로 확인되었으며, 또한 이온풍 송풍장치로서 유효하게 적용될 수도 있음을 보여 주었다.

참 고 문 헌

[1] B. Komeili, J.S. Chang, G.D. Harvel, C.Y. Ching, "Electrohydrodynamically Enhanced Capillary Evaporator", International Symposium on New Plasma and Electrical Discharge Applications and on Dielectric Materials, pp. 111-116, August, 2007.

[2] F. Yang, N.E. Jewell-Larsen, D.L. Brown, K. Pendergrass, D.A. Parker, I.A. Krichtafovitch, A.V. Mamishev, "Corona driven air propulsion for cooling of electronics", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 1-4, August 2003.

[3] PC Power and Cooling, Inc., "Rotary fan efficiency for Intel processor fan", January 2002.

[4] F. Pollak, "New Micro-architecture Challenges in the Coming Generation of CMOS Process Technologies", Micro 32, 1999.

[5] R. Mestiri, R. Hadaji, S.B. Nasrallah, "The electrical discharge as a source of a mechanical energy", Desalination, Vol. 220, No. 1-3, pp. 468-475, March 2008.

[6] M. Rickard, D. Dunn-Rankin, F. Weinberg, F. Carleton, "Maximizing ion-driven gas flows", Journal of Electrostatics, Vol. 64, No. 6, pp. 368-376, June 2006.

[7] G. Tuochard, "Plasma actuators for aeronautics applications - State of art review", International Journal of Plasma Environmental Science and Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 1-25, March 2008.

[8] E. Moreau, G. Touchard, "Enhancing the mechanical efficiency of electric wind in corona discharge", Journal of Electrostatics, Vol. 66, No. 1-2, pp. 39-44, January 2008.

[9] J. Moon, J. Jung, S. Gum, "The Effect of a Strip-type Third Electrode of a Wire-Plate Type Nonthermal Plasma Reactor on Corona Discharge and Ozone Generation Characteristics", International Journal of Plasma Environmental Science and Technology, Vol. 2, No. 1, pp. 26-33, March 2008.

저 자 소 개



정재승 (鄭在勝)

1978년 4월 14일생. 2004년 경북대학교 공대 전자전기공학부 졸업. 2007년 동 대학원 전기공학과 졸업(공석). 현재 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학과 박사과정.

Tel : 053-940-8601

Fax : 053-950-5508

E-mail : bucstual@empal.com



문재덕 (文在德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대학교 사범대학 과학교육과(물리전공) 졸업(이학사). 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(공석). 1982년 日本東京大學 대학원 전기공학전문과정 졸업(공박). 현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 교수.

Tel : 053-950-560

Fax : 053-950-5508

E-mail : jdmoon@knu.ac.kr