

## 청정환경용 정전기 제거장치 개발

정종혁, 우동식\*  
경운대학교 항공정보통신공학과

### The development of the Ionizer using clean room

Jong-Hyeog Jeong, Dong Sik Woo\*

Department of Aviation Information and Communications Engineering, Kyungwoon University

**요약** 전압 인가식 제전방식이 반도체나 디스플레이 산업에는 가장 많이 사용되고 있지만, 방전에 의한 주변 미세 먼지의 흡착 및 전극핀의 오염으로 불량 발생의 원인을 제공하므로, 주기적인 관리 비용이 발생하게 된다. 전극핀의 오염 문제는 코로나 방전으로 인하여, 주변 공기의 미세한 입자를 축적함으로 생성된다. Fuzz ball의 생성은 전극핀의 마모를 촉진 시키고, 또한 정전기 제거 장치의 성능을 저하시킨다. 오염물 제거 방법은 수동 브러쉬 및 자동 브러쉬를 이용하여 기계적인 세척 방법이 효과적이지만, 추가적인 기계부품이나 사용자의 관리를 요구한다. 일부의 경우에는 이미터에 축적된 오염물이 웨이퍼나 제품에 전이될 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 제전기의 외부로 돌출되는 전극핀을 없애고, 이온탱크 내부에 위치한 텅스텐 전극선을 이용하여 주위 기체 분자를 직접 이온화할 수 있는 청정 환경에 적합한 정전기 제거 장치를 개발하였다. 한국기계연구원에서 시험인증한 결과, 오염 입자는 평균 0.7572 particles/ft<sup>3</sup>이고, 제전 시간은 2초 이하이며, 잔류 전위는 7.6V로 만족할 만한 결과를 얻었다.

**Abstract** Although the voltage-applied discharge method is most widely used in the semiconductor and display industries, periodic management costs are incurred because the method causes defects due to the absorption of ambient fine dust and causes emitter tip contamination due to the discharge. The emitter tip contamination problem is caused by the accumulation of fine particles in ambient air due to the corona discharge of the ionizer. Fuzzy ball generation accelerates the wear of the emitter tip and deteriorates the performance of the ionizer. Although a mechanical cleaning method using a manual brush or an automatic brush is effective for contaminant removal, it requires management of additional mechanical parts by the user. In some cases, contaminants accumulated in the emitter may be transferred to the wafer or product. In order to solve this problem, we developed an ionizer for a clean environment that can remove the pencil-type emitter tip and directly ionize the surrounding gas molecules using the tungsten wire located inside the ion tank. As a result of testing and certification by the Korea Institute of Machinery and Materials, the average concentration was 0.7572 particles/ft<sup>3</sup>, the decay time was less than two seconds, and the ion valance was 7.6 V, which is satisfactory.

**Keywords** : Clean room, Emitter, Fuzz ball, Ionizer, Tensuten wire.

### 1. 서론

일반적으로 제전장치는 전압 인가식 제전장치, 자기 방전식 제전장치, 방사선 조사식 제전장치로 구분되어진다.

현재, 가장 널리 사용되어지는 전압 인가식 제전장치는 침상전극을 제전전극으로 이용하여 고전압을 인가하여 코로나 방전이 발생되면서 필요한 이온을 생성시켜 대전물체의 전하를 중화한다[1-3]. 이 방식은 제전능력이 우수하며, 기종이 다양하여 응용범위가 넓은 장점을

본 논문은 중소기업청 산학연공동기술개발사업(C0212587)과 경운대학교 학술연구비에 의하여 수행되었음.

\*Corresponding Author : Dong Sik Woo(Kyungwoon Univ.)

Tel: +82-54-479-1311 email: dswoo@ikw.ac.kr

Received September 22, 2017

Revised (1st November 9, 2017, 2nd November 29, 2017)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

지니고 있어 교류식, 교류 펄스식, 직류식, 직류 펄스식 제전기들이 제품화되어 사용되고 있다[4]. 그러나 다른 방식에 비해 습도에 의한 영향이 상대적으로 높으며, Gas 및 증기가 가연성 물질을 포함하는 위험 환경에서는 사용이 제한적이다.

전압 인가식 제전방식이 반도체나 디스플레이 산업에는 가장 많이 사용되고 있지만, 방전에 의한 주변 미세 먼지에 흡착 및 전극핀의 오염으로 불량 발생의 원인을 제공하므로, 주기적인 관리 비용이 발생하게 된다.[5-8]

전극핀의 오염 문제는 정전기 제거 장치가 코로나 방전으로 인하여, 주변 공기의 미세한 입자를 축적함으로 생성된다. 그림 1은 전극핀의 부식으로 인한 마모를 나타내고, 그림 2는 백화 현상을 나타낸다. 그림 2와 같은 Fuzz ball 생성은 전극핀의 마모를 촉진 시키고, 또한 정전기 제거 장치의 성능을 저하시킨다[9,10].

오염물 제거 방법은 수동 브러쉬 및 자동 브러쉬를 이용하여 기계적인 세척 방법이 효과적이지만, 추가적인 기계부품이나 사용자의 관리를 요구한다[11,12]. 일부의 경우에는 이미터에 축적된 오염물이 웨이퍼나 제품에 전이될 수도 있다[10].

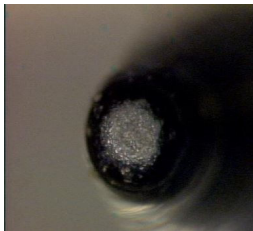


Fig. 1. Pitting of a corona ionizer's needle electrode



Fig. 2. Corona needle electrode with fuzz ball

따라서 본 논문에서는 기존 바(bar)형태의 정전기 제거장치의 외부로 돌출되는 전극핀을 없애고, 텅스텐 도체선을 이용하여 주위 기체 분자를 직접 이온화할 수 있는 청정 환경에 적합한 정전기 제거 장치를 개발하였다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 전극 오염 최소화 구조

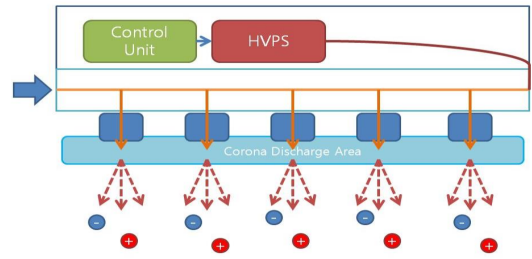


Fig. 3. Conventional structure

그림 3과 같은 바형태의 코로나 방전식 제전기의 일반적인 구조는 이온 발생 전극이 외부 대기에 노출되어 있어, 전극핀 오염에 직접적으로 원인이 될 수 있는 물질(습기, 미세 먼지)에 영향을 받게 된다.

제안한 시스템은 그림 4와 같이 제품의 내부에 전극선이 위치하게 된다. 코로나 방전의 영역이 기존 바형태의 제품과의 차별성을 가진다. 이온탱크 내부에 위치한 전극이 외부 대기와 노출 영역을 최소화하여 전극의 오염 및 마모를 방지하기 위한 구조 및 고전압 발생기와 제어 유니트로 구성된다.

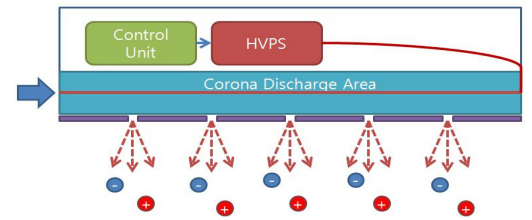


Fig. 4. Structure of the proposed system

이온탱크는 관 형상으로 이루어지며, 그 중앙에 전극으로 사용될 전극용 도체선(0.1mm이하)이 위치하게 된다. 코로나 방전을 이용하여 관내에서 양, 음이온을 생성하고, 발생된 이온은 관 노즐을 통과하여 외부 대상물에 도달하여 정전기를 제거하게 된다. 또한 이온 발생 장소에는 Cleaning Air가 입력되므로 전극선 오염에 영향을 최소화 시키도록 하였다.

### 2.2 이온탱크 설계 구조

이온탱크는 이온이 발생하는 영역에서는 Sus관, 고전압과 연결 및 공기 입력을 받기 위한 모듈은 Teflon 재질로 제작하였다.

Sus Pipe관, 텅스텐 도체선 그리고 전극 고정 모듈로 구성된 Ion Tank는 그림 5와 같이 구성된다. 그림 6은 제작된 실물 사진이다.



Fig. 5. Ion Tank (Nozzle) Assembly Chart

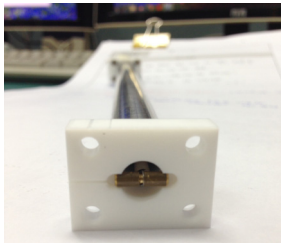


Fig. 6. Ion Tank Photos

### 2.3 고전압 발생 장치

기존의 Pulsed-AC 방식에서는 고전압 발생 장치의 출력 발생 주기는 60Hz를 넘지 못한다. 제안된 제전 장치에 적용한 Pulsed-AC는 고전압 발생 주기를 200~400Hz까지 적용할 수 있도록 설계하였다. 고전압 파형이 1ms이내에서 발생되고 소멸된다.



Fig. 7. Comparison of size of high-pressure equipment (Above: developed, below: conventional high pressure device)

본 연구에서는 승압회로를 사용하지 않고, FET회로를 구성하여 기존의 Pulsed-AC 고압 장치보다 소형화하였다.

## 3. 시제품 제작 및 성능 평가

### 3.1 시제품 개발 목표

- (1) 소형 경량의 High Voltage Unit 개발  
고전압 발생 주기 200~400Hz
- (2) 텅스텐 와이어를 전극으로 사용하는 새로운 형태의 Ion tank 구조 개발
- (3) 전체 시스템에 적합한 하드웨어 개발
- (4) 오염 입자 : 1 Particles/ft<sup>3</sup> 이내
- (5) 제전 시간(decay time): 3.0초 이내
- (6) 잔류전위(Ion Balance) : ±10.0V 이내



Fig. 8. Prototype production Photos

그림 8에서 아래쪽 부분에는 Ion Tank가 위치하게 된다. 그림 8은 시제품을 시험 측정하기 위한 사진이다. 제품의 외부는 ABS재질로 구성되며, 위쪽 부분에는 제어 보드 및 고전압 발생 장치가 위치하게 된다.

### 3.2 제전시간(Decay Time) 계측

Trek 158 CPM(Charge Plate Monitor)을 이용하여, ESD STM 3.1-2000의 기준 계측 방법을 이용하여 각각의 위치에서 성능을 계측하였다. TP 1, 2, 3은 제전기에서 아래쪽으로 150mm 지점, TP 4, 5, 6은 제전기의 아래쪽 위치이며, TP 7, 8, 9는 위쪽 150mm 위치이다. 측정 거리는 300mm, 600mm 이고, 공기압 입력은 0.05MPa, 0.1MPa, 0.2MPa으로 설정하여 계측하였다. 그림 10과 같이 각각의 TP(Test Point)에 따라 제작된 시제품의 성능을 계측하였다.

그림 11은 측정 거리는 300mm, 600mm 이고, 공기압 입력은 0.05MPa일 때 계측한 결과이다. 공기압 입력 크기에 따른 제전시간은 그 차이가 나타났으며, TP에 따른 차이는 그림처럼 제전기의 아래쪽 TP 4, 5, 6에서 성능이 우수하게 나타났다. 또한, 공기압 입력이 증가할수록, Decay Time의 성능 및 분포가 좋게 나왔다.

Sus관에 이온이 분출하는 노즐에 따라 다양한 분포를 형성할 수 있는 방법이 존재할 수 있다. 제전 바에 중앙 위치에서는 양쪽보다 제전시간이 양호한 데이터를 확보할 수 있었다. 양쪽에서 제전시간의 특성을 보완하기 위해서는 노즐 위치를 제전기의 중앙보다 밀도를 증가시킬 경우, 제전기의 모든 위치에서 성능을 개선할 것으로 예상된다.

### 3.3 잔류전위(Ion Balance) 유지 성능 계측

그림 9는 CPM(Charge Plate Monitor)을 이용하여, 제안된 바형 제전기의 Ion balance voltage의 swing 전압을 측정하였다. 좌측은 +1.0 ~ -2.9V(3.9Vpk), 우측은 +4.4 ~ -1.0V(5.4Vpk)를 나타내고 있다.

그림 12에 제작된 제품을 측정 거리 및 입력 공기량은 300mm, 2.0kgf/cm<sup>2</sup>로 설정해서, 30일간 계측한 데이터의 그래프를 나타내었다. 잔류전위 유지 특성은 평균이 7.6V 이내로 개발 목표인 10V 이내를 만족함을 알 수 있다.

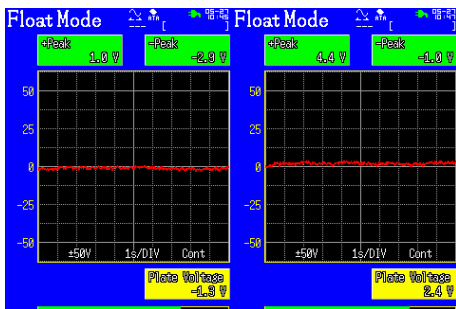


Fig. 9. Ion Balance (Offset Voltage)

### 3.4 제전시간(Decay Time) 유지 성능 계측

그림 13은 제전시간에 대한 계측 자료이다. 개발 목표치는 3초 이내이지만, 최초의 제전시간은 약 2초 이내로 계측되었으며, 테스트 기간의 마지막에서도 그 성능이 유지되고 있다. 제전시간의 성능 저하는 대부분 이온 발생 전극의 오염이 그 원인이라고 할 수 있다. 물론, 고전압 발생 장치의 성능 저하로 인하여 전극에서 발생하는 Ion의 발생량 감소가 원인일 수도 있다. 이번 성능 계측에서는 고전압 발생 장치의 성능 저하가 없다고 가정하면, 이온 발생 전극의 오염이 제전시간의 영향을 미치는 큰 요인이라고 할 수 있다. 계측된 결과, 제전시간의 변화가 없다는 것은 이온탱크 내부에 위치한 전극선에는

오염이 거의 발생하지 않았다고 예상할 수 있다.

### 3.5 전극의 대기 노출 오염 결과

이온탱크 프레임 내부에 위치한 이온 발생 전극선은 외부 대기와 차단된 효과로 인하여 오염상태는 확실히 개선되었음을 알 수 있었다.

그림 14는 전극선이 오염되기 전 최초의 상태를 촬영한 사진이다. 그림 15는 일반 대기 환경에서 30일간 사용된 전극선의 오염 상태에 대한 사진이다.

그림 16은 전극선이 오염되기 전 최초의 상태를 촬영한 사진이다. 그림 17은 일반 대기 환경에서 사용된 전극선에 대한 사진이다. 일반 대기 환경에서 사용한 전극선에는 미세한 오염입자로 오염되었음을 알 수 있다. 그러나, 이온탱크 내부의 전극 선은 초기상태와 육안으로 구별하기에 힘든 정도로 거의 차이가 없었다.

## 4. 결론

코로나 방전 방식의 정전기 제거장치를 사용하던 업체들은 전극선의 오염으로 발생하는 문제로 인해 사용에 있어 많은 제약이 있었다.

본 연구에서는 기존에 사용하고 있는 코로나 방전식 정전기 제거장치에서 발생하는 전극선의 오염 문제를 해결하기 위한 청정환경용 정전기 제거 장치를 개발하는 것이었다.

개발된 정전기 제거 장치의 가장 큰 장점은 외부로 돌출된 전극선을 제거하고, 이온탱크 내부에 텅스텐 전극선을 사용하여 코로나 방전을 발생시켰고, 이로 인해 정전기 제거장치의 전극선의 오염을 최소화하는 결과를 얻었다.

또한, 한국기계연구원에서 측정 및 시험인증(성적서:KIMM-15-0496)한 결과, 오염 입자는 평균 0.7572 Particles/ft<sup>3</sup>이고, 제전 시간은 2초로 만족할 만한 결과를 얻었다.

따라서 정전기 제거장치가 사용되는 산업의 생산성 향상에 큰 효과를 기대할 수 있으며, 정전기 방지 대책의 관리 향상에 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다.

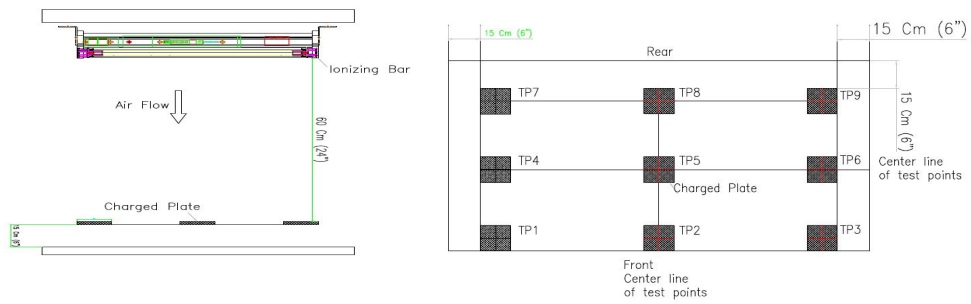


Fig. 10. Configuration and TP(Test Point) location for performance measurement



Fig. 11. Decay time distribution with air pressure input = 0.05MPa, measuring distance (a) 300mm, (b) 600mm

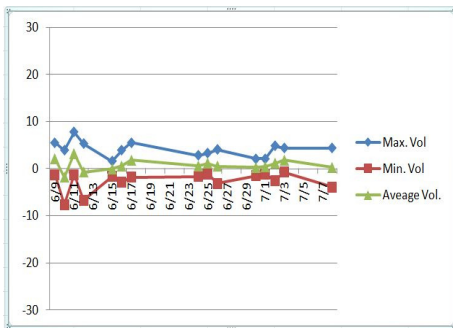


Fig. 12. 30days Ion Balance

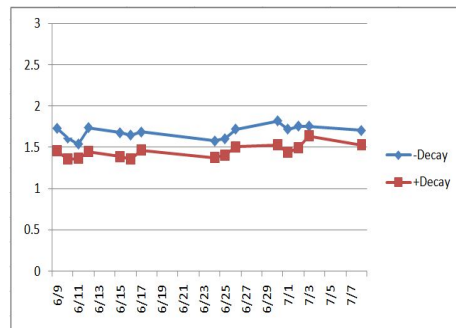


Fig. 13. 30days Decay Time

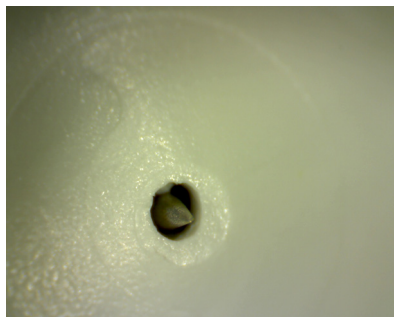


Fig. 14. Initial state electrode pin

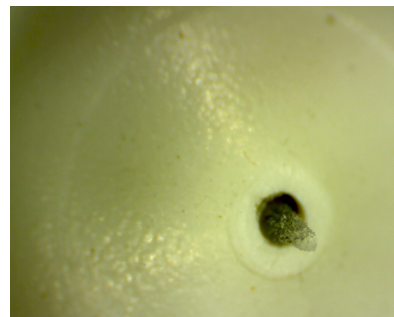


Fig. 15. Atmospheric exposure (30days)

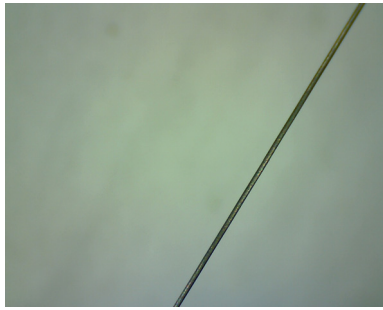


Fig. 16. Initial state tensuten wire

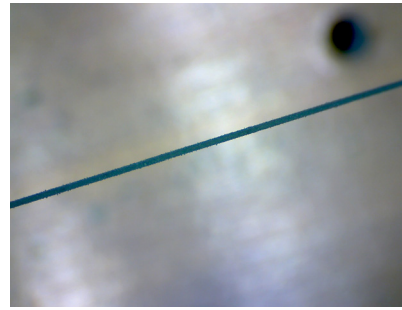


Fig. 17. Atmospheric exposure (30 days)

## References

- [1] Sakata S, Okada T : Contamination-Free Ionizer for Super Clean Rooms, 1991.
- [2] Adachi T, Kawasaki M, Nakabayashi H: The Behavior of Dust Particle in Electrostatic Precipitation, 1979.
- [3] M. Goldman, A. Goldman and R. S. Sigmond, "The corona discharge, its properties and specific uses", *Pure & Appl. Chem.*, vol. 57, no. 9, pp. 1353-1362, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1351/pac198557091353>
- [4] Arnold Steinman, "The Physics of Charge Neutralization by Air Ions", *Compliance Engineering* 23, no. 1, 2006.
- [5] Ohmi T, Inaba H and Takenami T : Research on adhesion of particles to charged wafers critical in contamination control, 1989.
- [6] Inaba H, Ohmi T, Takenami T, et al., "Evaluation of Wind Velocity, Airstream Distribution, and Dust Scattering," in *Proceedings of 8th Symposium on ULSI Ultra Clean Technology: Submicron ULSI Process Technology II*, Tokyo, pp. 245-290, 1989.
- [7] Ohmi T, "Ultraclean Technology: ULSI Proceeding's Crucial Factor," *Microcontamination*, pp. 49-58, 1988.
- [8] Nojima H, Nishikawa K: Air Purification Technology Using Ions Generated by Discharge Plasma at Atmospheric Pressure, 2002.
- [9] Larry Levit and Douglas Beyer, "Generating Air Ionization With No Contaminating Particles", [www.electrostatics.org/images/2011\\_A3.pdf](http://www.electrostatics.org/images/2011_A3.pdf)
- [10] Simco Ion Application Note, Principles of Sheath Technology and Low Maintenance Ionizer, <http://www.novxcorp.com/documents/technical/TS-005nozzles.pdf>
- [11] Okano Kazuo, Posadas Arnel, "Particle Generation of Ceramic Emitters for Cleanroom Air Ionizers", *EOS/ESD Symposium*, pp. 287-291, 1997.
- [12] Noll Charles G., Lawless Philip A., "Comparison of Germanium and Silicon Needles as Emitter Electrodes for Air Ionizers", *EOS/ESD Symposium*, pp. 195-204, 1997.

### 정 종 혁(Jong-Hyeog Jeong)

[정회원]



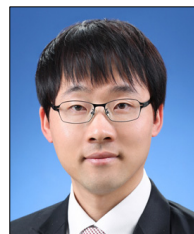
- 1994년 2월 : 동아대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 2000년 2월 : 부경대학교 조교/시간강사
- 2000년 3월 ~ 현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수

<관심분야>

고전압회로, 반도체공학, 초고주파회로, 해양교통신

### 우 동 식(Dong Sik Woo)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 : 경북대학교 일반대학원 전자공학과 (공학박사)
- 2009년 10월 ~ 2013년 11월 : 이엠와이즈통신(주) 선임연구원
- 2016년 1월 ~ 2016년 8월 : 경북테크노파크 무선전력전송기술센터 선임연구원
- 2016년 9월 ~ 현재 : 경운대학교 항공정보통신공학과 교수

<관심분야>

무선통신 시스템, 광대역 안테나, 레이더, 무선전력전송