

## 연X선 Ionizer에 의한 대전물체의 제전특성에 관한 연구

신중현, 류상민, 이동훈\*

부경대학교 산업대학원, 부경대학교 안전공학과 교수\*

### 1. 서 론

오늘날 정전기에 의한 미립자 오염은 반도체 공정의 미세화기술에 대해 큰 장애가 되는 것은 물론이거니와 약간의 미립자에 의한 오염이라 하더라도 제품의 특성에 악영향을 주는 원인이 된다.<sup>1)</sup> 정전기는 공기청정화 기술의 하나로써 응용되고 있는 반면 크린룸 중에서 대전물체가 존재하면 이것에 분진이 흡인되어 부착하기 때문에 오염의 원인이 되기도 한다. 게다가 정전기는 단순하게 오염에만의 문제에 머물지 않고, 크린룸 중에서 세정용 가연성 유기용제가 사용되면 정전기방전으로 인해 이것이 화재·폭발을 유발하는 원인이 되는 일도 있다. 또한 마이크로 일렉트로닉스기기, 컴퓨터지원기기등이 취급되고 있으면 정전기방전으로 인한 전자기 노이즈가 그들의 오동작을 불러 일으키는 원인이 되기도 한다.<sup>2,3)</sup> 그리고 최근에 같은 제조업종이라도 대전물체의 형상, 이동속도 및 전기적 저항율에 따라서 정전기의 발생량이나 대전량도 달라지기 때문에 목적에 맞는 제전기를 선정해야 하고 설치방법 또한 적절치 못하면 최적의 제전효과를 얻을 수 없다.<sup>4)</sup> 현재 정전기를 제거하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있는 Corona방전을 이용한 Ionizer를 Clean Room중에서 가동하면 금속미립자가 많이 발생하여 반도체 등에 수율의 저하를 일으키거나 오존의 농도가 높아져서 오존에 반응성(살균력, 탈색력)을 보이는등 반도체 제조등에는 좋지 않다.<sup>5)</sup> 따라서 본 연구에서는 분진이나 오존 발생이 최소화되는 연X선의 공기전리현상을 이용한 Ionizer의 특성을 조사하였다. 즉 설치거리의 변화에 따른 대전 완화 특성, Ion 전류 특성, 설치각도의 변화에 따른 대전 완화 특성, 차폐막효과, 발진특성 등을 실험하여 연X선 Ionizer의 효율성을 입증하여 반도체 제조공정이나 TFT-LCD 공정등의 Clean room공정의 정전기로 인한 오염 및 방전으로 인한 반도체 파괴, 반도체 열화등의 손실을 최소화 시킴으로써 관련 산업분야에 충분히 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

### 2. 이론적 배경

#### 2-1. 연X선 Ionizer의 특징 및 제전원리

연X선이란, 방사선의 일종이다. 물질투과성에 따라서 X선을 적정하게 구분할 때, 얇은 공기층에 의해서도 쉽게 흡수되는 투과성이 낮은 것을 연X선이라 하고 린트젠등에 사용하는 투과성이 높은 것을 경X선이라 한다. 연X

선의 에너지는 경X선에 비해 수십분의 일 정도로 낮고, 직접조사에 의한 영향은 훨씬 적다. 전자기파에서 X선은 그 파장이 대략  $1 \times 10^{-9} \text{m}$ 에서  $6 \times 10^{-12} \text{m}$ 까지이다. 여기서 연X선의 파장은 수Å ~ 수백Å이고 경X선은 0.01Å ~ 1Å이다. 그림 1는 X선의 발생원리를 나타내고 있다. 그림 1에서 보듯이 X선은 고속인 전자가 금속 Target에 충돌하면 발생하는 것이므로 X선 발생장치에는 전자를 발생하는 필라멘트와 전자가 충돌하는 금속 Target이 들어 있는 X선관구와 전자를 고속으로 가속시키는 고전압발생장치로 되어 있다. 이때 X선은 이 충돌한 점에서 발생하여 모든 방향으로 방사된다.<sup>6)</sup>

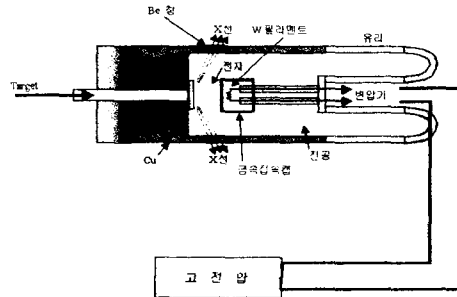


그림 1 X선발생장치의 내부구조도

## 2-2. Corona 방전식 Ionizer(Ion-Blower)의 발전특성

전압인가식제전기의 코로나 방전전극으로부터의 분진생성기구는 현재까지 명확하지 않다. B.Y.H. Liu<sup>7)</sup>는 正 이온의 spattering에 의한 正極금속의 비산과 공기중의 불순물의 氣中에서의 화학반응에 의해 석출되는 물질의 堆積과 再飛散이라고 보고하고 있다. 또 M.Blitshteyn<sup>8)</sup>은 X선 분석(SEM/EPX)을 통해서 전기력에 의해 전극상(SiO<sub>2</sub>)에 포집된다고 보고하고 있다. 게다가 R.P.Donvan<sup>9)</sup>은 正極의 부식은 화학반응을 수반하는 spattering이라고 보고하고 있다. 그림 2는 正 전극상에 부착, 퇴적된 물질의 SEM 사진이다. 두께 1 μm정도의 나무가지 형태로 성장한 부착물이 관찰되었다. 이것을 放電線肥大現象이라고 부르고 있다.

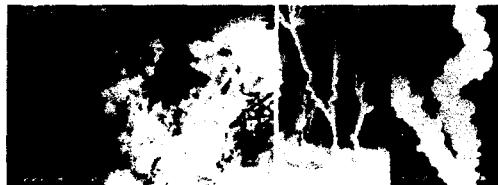


그림 2 방전전극에 형성된 부착물의 SEM사진

### 3. 실험장치 및 방법

본 실험은 연X선에 대한 설치거리와 각도에 변화에 따른 제전특성을 얻기 위해 측면에서 조사하는 방법과 상부에서 조사하는 방법의 2가지로 하였고, 설치거리는 50cm, 75cm, 100cm, 125cm, 150cm로 하였고 조사각도는 좌우로 45°로 하였다. 또 피대전체로는 charge plate moniter(static control service A354, japan)를 사용하였고 대전전위는  $\pm 5KV \sim \pm 0.5KV$ 로 조절되도록 하였다. 대전완화시간은 이온완화계(Ion Decay meter), 이온전류는 이온전류측정기(Simco Ionometer ICM-2, japan), 발진에 대한 분진은 Particle 측정기(Micro LPC-210)로 측정하였다. 또 본 실험은 정전기의 환경 여건 변화에 따라 상당히 민감한 영향을 받기 때문에 항온항습기를 가동하여 온도  $20^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ , 습도  $40\%RH \pm 2\%RH$  상태에서 각종 실험 및 측정하였으며, 재현성을 확인하기 위해 평균 3회 이상 측정하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

#### 4-1. 설치거리의 변화에 따른 대전완화특성

그림 3에서 알 수 있듯이 모의 대전물체를  $\pm 5KV$ 로 대전시켰을 때  $d=75cm$ 까지는  $+5KV$  및  $-5KV$ 로 대전된 물체의 완화시간( $\tau$ )가 거의 일치하나,  $d > 75cm$ 이상으로 이격되면  $\tau$ 으로 대전물체  $\tau+$ 가  $\tau-$ 보다 다소 빠르게 완화됨을 알 수 있다. 이는 생성된 ion의 이동속도 및 대전물체와의 정전흡인력 특성에 기인한 것으로써, 부ion의 이동속도가 正ion의 이동속도에 비해서 다소 빠르기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 반도체 제조공정에서는 대전전위를 반도체 내성전압을 고려하여 적어도  $\pm 200V$ 이하를 5초이내 유지하여야 하므로 연X선 ionizer의 설치거리는 750mm 이내일 때가 최적의 제전효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

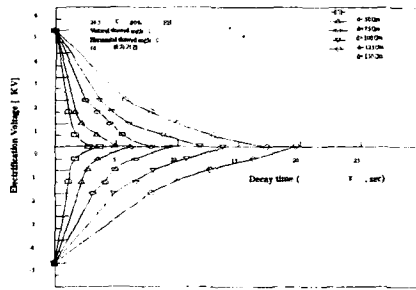


그림 3 연X선 Ionizer와 충전물체사이의 거리변화에 따른 제전시간

#### 4-2. 수직·수평 설치각도의 변화에 따른 대전완화특성

그림 4는 제전기의 설치거리를 50cm에서 150cm까지 변화시키고, 제전기의 수

평방향의 설치각도( $\theta_n$ )을  $0^\circ$ 에서  $45^\circ$ 까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간특성과 동일한 조건에서 제전기의 수평방향의 설치각도( $\theta_n$ )는 일정하게 하게 하고, 수직방향의 설치각도( $\theta_v$ )를  $0^\circ$ 에서  $45^\circ$ 까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간특성을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이  $\theta_n$ 이  $\pm 30^\circ$ 이내에서는  $\theta_n$ 이  $0^\circ$ 일때와 비교해서 대전완화시간에는 큰 차이가 나타나지 않으나,  $30^\circ$ 이상의 수평각도를 갖을 경우에는 대전완화시간이 약 20%~30%이상 증가함을 알 수 있고 수직각도를 갖을 경우에 대전완화시간이 100%이상 증가함을 알 수 있다. 이는 대전물체의 단위면적당 제전에 유효한 이온밀도가 수평각도가 증가할수록 감소하여서 대전완화시간이 증가하기 때문이다.

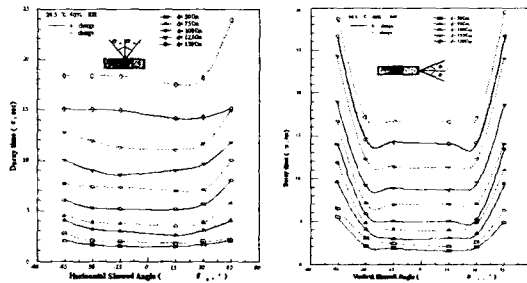


그림 4 수평·수직각의 변화에 따른 제전시간특성

#### 4-3. 도전성 차폐막 효과에 따른 대전완화특성

앞에서 실험한 제전기의 성능을 최대한 배가 시키기 위하여 피제전지역 주위를 최소한의 면적으로 도전성 비닐로 된 차폐막으로 차폐하였을 때 대전완화특성 시간에 미치는 영향을 검토하였다. 그림5에서 알 수 있듯이 차폐막을 설치하였을 때의  $\tau$ 는 차폐막을 설치하지 않았을 때의  $\tau$ 에 비해서 약 10%~20%이상 빠름을 알 수 있다. 이는 차폐막을 설치함으로써 연X선 Ionizer에서 생성된 ion중에서 대전물체의 제전에 유효한 ion이외에도 다른 무한한 공간으로 날아가버릴 수 있는 비유리한 ion의 차폐를 할 수 있을 뿐만아니라, 주위의 다른 대전물체로부터 정전유도에 의한 차폐효과가 부가되었기 때문으로 생각된다. 따라서 반도체제조공정 중에서 특히 정전기 대책이 필요한 국부지역에는 차폐막을 설치하는 것이 바람직하다고 사료된다.

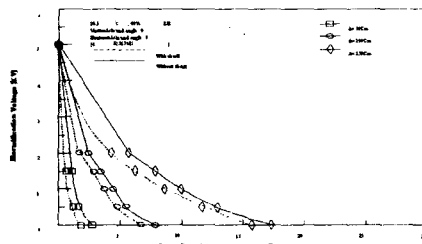


그림 5 도전성 차폐막의 영향

#### 4-4. 연X선 Ionizer의 ion전류특성

그림 6은 연X선제전기의 설치거리의 변화에 따른 유효제전전류특성을 조사한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 설치거리가 증가할수록 ion전류가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 설치거리가 증가할수록 ionizer에서 생성된 正 및 負ion의 재결합율이 증가하였기 때문으로 생각된다.

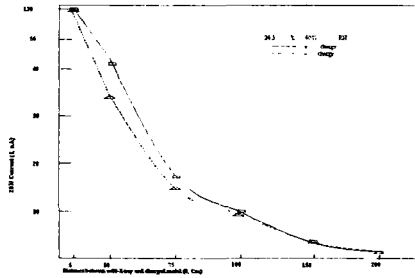


그림 6 연X선 ionizer와 ion측정기의 거리변화에 관한 이온전류특성

#### 4-5. Ion Blower와 연X선제전기의 발진특성

거의 완벽하게 세정된 Ion Blower와 연X선제전기를 Clean Room에서 발진 특성을 조사했다. 종래의 Ion Blower는 0.1  $\mu$ m Class 10의 Clean Room내에서 공기 ion화 system으로부터 발진량을 조사했다. 온도는 78.7°F이고 습도는 20%RH  $\pm$  2%RH, 제전기의 풍속은 4m/sec였다. 충격치는 0.49kg  $\cdot$  m/sec<sup>2</sup>이다. 그 결과는 다음의 표 1과 같다.

표 1 Clean room내의 발진량(개/cft)

	Corona 방전식 Ionizer/soft-X-ray-Ionizer							
	0.2/0	0.3/0	0.5/0	0.7/0	1.0/0	2.0/0	3.0/0	5.0/0
Swith on	88/0	95/0	63/0	47/0	33/0	14/0	10/0	5/0
Swith off	2/0	1/0	1/0	1/0	1/0	0/0	0/0	0/0
켜둔상태	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
충격을 주었을 때	455/0	388/0	249/0	119/0	144/0	56/0	16/0	8/0

표에 보듯이 Corona 방전식 Ionizer는 스위치를 켤 때 다량의 분진이 발생하였고 오래동안 켜둔상태로 놓아두었을 때와 스위치를 끌 때는 소량의 분진이 발생하였다. 그러나 켜둔상태로 두고 제전기에 충격을 주었을 때는 스위치를 켤 때보다도 많은 분진이 발생하였다. 하지만 연X선제전기는 전극을 가지고 있지 않는 구조로 인해 발진의 영향은 거의 없었다. 따라서 반도체나 TFT-LCD 제조공정등에서 Corona방전식 ionizer 주위의 진동이나 충격으로 인해 반도체나 TFT-LCD등의 제품에 이와 같은 분진의 영향으로 수율저하나 파괴등을 초래할 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

- 1) 대전물체의 대전상태에 따라서 적절한 설치거리를 선택하여야 하는데 실험결과 제전기의 설치거리는 최소  $d = 75\text{cm}$ 이내이어야 유효한 제전능력을 얻을 수 있었다.
- 2) 제전기의 설치각도에 따라서 제전효율의 차이가 있기 때문에 적합한 설치각도는  $\pm 30^\circ$  이내로 하여야 한다는 것이 바람직함을 알 수 있었다.
- 3) 제전지역을 도전성 비닐로써 차폐막을 설치한 경우에 설치하지 않는 경우에 비해 제전능력이 10 ~ 20%정도 증가함을 알 수 있었다.
- 4) 정전기를 제전할 수 있는 이온전류는 반도체 제조 공정이나 TFT-LCD 공정에서  $0.1\mu\text{m}/\text{cm}$ 이상으로 규정하고 있다. 따라서 실험결과로써  $75\text{cm}$  ( $0.98\mu\text{m}/\text{cm}$ ) 이내로 하는 것이 바람직하다는 것을 알았다.
- 5) 반도체나 TFT-LCD 공정에선 Particle의 오염이 심각한 문제로 대두되고 있다. 기존의 Ion Blower의 emitter 부분에 spattering 현상으로 인해  $0.1\mu\text{m}$ 이하의 금속 미립자가 발생하므로 이와같은 공정에선 부적합하다고 볼 수 있다. 그러나 이번 실험으로 연X선제전장치는 미립자나 분진의 오염이 생기지 않은 것으로 이와 같은 공정에 적합하다고 볼 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. 靜電氣學會編j:靜電氣ハンドブック, オーム社 (1981).
2. 阪田称一郎他:第7回空氣清淨とコンタホーションコントロール研究大會論稿集(1988).
3. 靜電氣學會誌, リーナム技術特輯号 12,4 (1988).
4. 이 동훈, 정전기안전관리시스템에 관한 연구, 산업과학기술연구소 (1995).
5. 이 동훈, 電氣安全工學, 부경대학교출판부, PP. 197-220 (1990).
6. 李相南, 光學, 부경대학교, PP 94 (1987).
7. B.Y.H. Liu, D.Y.H.Pui, W.O. Kinstly and W.G. Fisher :  
Characterization of Electronic Ionizers for clean room(April/May, 1985).
8. M. Blitshteyn, S.Shelton : Contamination and Erosion of Cleanroom Air Ionizer Emitters : Microcontamination, (August, 1985)28.
9. R.P. Donovan, P.A. Lawless and D.D. Smith : Polarity Dependence of Electrode Erosion under DC corona Discharge : Microcontamination, (May, 1986)38.