

연X선 Ionizer에 의한 대전물체의 제전특성에 관한 연구

A Study of De-electrification Characteristics of Charged Body
By Soft X-Ray Ionizer

이 동 훈*

Dong-Hoon Lee

(1998년 2월 19일 접수, 1998년 8월 21일 채택)

ABSTRACT

The technology for neutralizing static electricity by soft X-ray radiation has been newly developed. This technology involves ionization of gas molecules in the vicinity of a charged substrate to generate ions and electrons to reduce electrostatic potential. The ULSI device substrate and liquid crystal display substrate tend to get charged instantly to a high potential level when they are handled in the manufacturing process. Soft X-ray radiation is adequate in air or O₂ gas at atmospheric pressure. This newly developed neutralization method is effective to be superior to the conventional technique, i.e., an ionizer by using corona discharge, in every aspect. The new method features excellent neutralization capability and is able to completely reduce electrostatic potential to 0 V within a short time. Moreover, this is a very clean antistatic technology free from particle generation, ozone generation, and electromagnetic noise, which are problems in using the corona discharge ionizer.

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

된다¹⁾. 즉 크린룸 중에서 대전물체가 존재하면 분진이 흡인되어 부착되기 때문에 오염의 원인이 된다. 게다가 정전기는 단순하게 오염만의 문제에 머물지 않고, 크린룸 중에서 세정용 가연성 유기용제가 사용되면 정전기방전으로 인해 화재·폭발을 유발하는 원인이 되는 일도 있다.

* 부경대학교 산업시스템·안전공학부

또한 마이크로 일렉트로닉스기기, 컴퓨터지원기기등도 정전기방전으로 인한 전자기 노이즈가 오동작을 불러 일으키는 원인이 되기도 한다²³⁾ 대전물체의 형상, 이동속도 및 전기 저항율에 따라서 정전기의 발생량이나 대전량도 달라지기 때문에 목적에 적합한 제전기를 선정해야 하고 또한 제전기의 설치방법이 적합해야 최적의 제전효과를 얻을 수 있다⁴⁾. 현재 정전기를 제거하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있는 Corona 방전식 Ionizer는 클린룸 중에서 가동하면 전극으로부터 금속성 미립자가 많이 발생하여 반도체 수율저하를 일으키거나 제전기로부터 오존이 발생하여 오존의 반응성으로 인하여 반도체 자체에 나쁜 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 제전기로부터 분진이나 오존 발생을 최소화할 수 있는 연X선의 공기전리현상을 이용한 연X선 Ionizer의 제전특성을 실험하여 반도체공정에서 제전의 최적화를 구축하는데 그 목적이 있다. 연X선 Ionizer의 효율성을 입증하여 반도체 제조나 TFT-LCD 제조등의 클린룸 공정에서 정전기로 인한 소자의 오염 및 정전기방전으로 인한 소자의 파괴 및 열화 등의 손실을 최소화 시킴으로써 관련 산업분야에 충분히 기여할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 연X선 Ionizer의 국산화 개발을 위한 기초자료를 제공할 수 있으리라고 사료된다.

2. 이론적 배경

2.1 연X선 Ionizer의 내부구조

연X선은 방사선의 일종이다. 물질투과성에 따라서 X선을 구분하면 얇은 공기층에 의해서도 쉽게 흡수되는 투과성이 낮은 것을 연X선이라 하고, 윈트겐 등에 사용하는 투과성이 높은 것을 경X선이라 한다. 연X선의 에너지는 경X선에 비해 수십분의 일 정도로 낮고, 직접조사에 의한 영향은 훨씬 적다. 연X선의 파장은 수Å~수백Å이고, 경X선은 0.01Å~1Å이다. Fig. 1은 X선의 발생원리를 나타내고 있다. Fig. 1에서 보듯이 X선은 가속된 전자가 금속 Target에 충돌하면 발생하는 것이므로, 전자를 발생하는 필라멘트와 전자가 충돌되는 금속 Target로 된 X선

관과 전자를 고속으로 가속시키는 고전압발생장치로 되어 있다. 이때 X선은 Be 창을 통하여 모든 방향으로 방사된다⁵⁾.

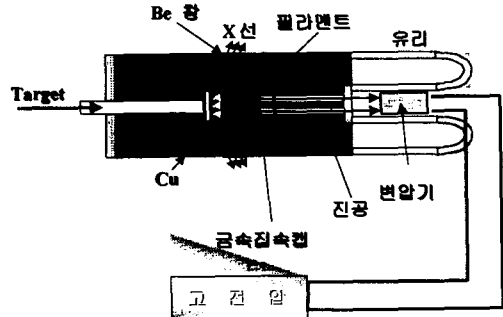


Fig. 1 Inner configuration of X-ray generator

2.2 연X선 Ionizer의 제전원리

Fig. 2는 연X선 Ionizer의 제전에 필요한 \pm Ion의 발생메커니즘을 설명한 것이다. 연X선 Ionizer의 특징은 고농도의 \pm Ion을 생성할 수 있기 때문에 상당히 단시간내에서 제전이 가능하고 또한 잔류대전전위를 항상 0V로 유지할 수 있을 뿐만 아니라, 대기압 상태의 불활성가스 분위기 중에서도 제전이 가능하다는 것이다^{6,7)}. N_2 , Ar 분위기 중에서 종래의 Corona방전식 Ionizer를 사용했을 경우, N_2 , Ar의 이온화에너지가 15.3 eV(N_2)로 높고, 또한 N_2 , Ar의 가스순도가 높을 경우는 이온생성이 어려워진다. 따라서 연X선 Ionizer는 에너지가 높은 빛을 조사하기 때문에 직접 가스분자를 이온화하여 불활성가스 중에서도 제전을 가능하게 한다. 연X선은 에너지가 높기 때문에 공기 분위가중의 가스분자를 이온화할 때 오존(O_3)은 생성되지 않고 산소분자는 신속히 $O_2^+ + e^-$, $O^+ + e^-$ 등의 이온으로 전리해 다른 가스분자 이온과 함께 제전에 기여한다. 그러나 기체의 광흡수율은 빛의 파장이 짧아짐에 따라 저하된다. 연X선의 광흡수율은 $1/10^3 \sim 1/10^5$ 로써 감압하에서는 광자를 흡수하는 가스분자의 양이 적으므로 연X선에 의한 Ion생성은 극히 감소한다. 따라서 연X Ionizer는 대기압(760Torr)하의 분위기에서 효과를 충분히 발휘할 수 있다.

연X선 Ionizer는 파장 1.3Å 이상의 연X선을

사용하고 있다. 이 과정은 빛의 에너지가 높기 때문에 가스분자를 직접 이온화한다. 또한 광자 흡수에 의해 전리된 전자는 높은 운동에너지를 얻으므로 Fig. 2와 같이 가속된 전자에 의해 전자사태를 유발한다. 이때 전리된 전자는 부Ion이 되기 쉬운 분자(CO₂, NO₂ 등)와 결합해서 부Ion이 된다.

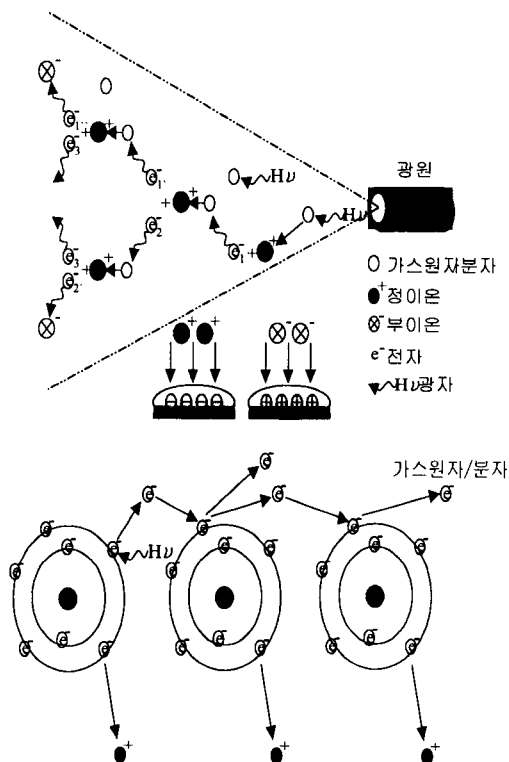


Fig. 2 Ion appearance principles of soft X-ray ionizer

3. 실험장치 및 방법

본 실험은 연X선 Ionizer와 대전물체사이의 설치거리 및 각도의 변화에 따른 제전특성을 얻기 위해 측면에서 조사하는 방법과 상부에서 조사하는 방법의 2가지로 하였다. 설치거리는 500 mm, 750mm, 1000mm, 1250mm 및 1500mm로 하였고, 조사각도는 좌우 45°로 설정하였다. 또 피대전체로는 Charge Plate Monitor (Static Control Service A354, Japan)를 사용하였고, 이때의 대전전위는 최대 ±5kV까지 조절되도록

하였다. 대전완화시간의 측정은 이온완화계 (Ion Decay Meter A354)로, Ion전류는 이온전류측정기(Simco Ionometer ICM-2, Japan)로, 발전특성은 Particle 측정기(Micro LPC-210)로 측정하였다. 또 본 실험은 정전기의 환경 변화에 따라 민감한 영향을 받기 때문에 항온항습실 온도 20 °C±2°C, 습도 40%±2% RH내에서 모든 실험 및 측정을 하였으며 재현성을 확인하기 위해 평균 3회 이상 측정하였다.

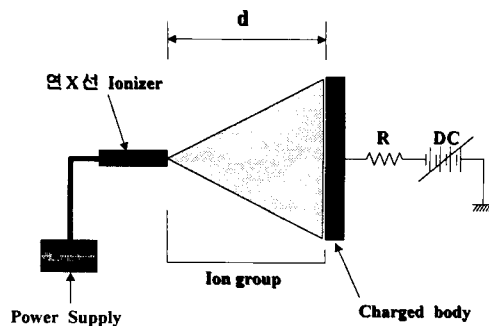


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

4. 실험결과 및 고찰

4.1 설치거리의 변화에 따른 대전완화특성

Fig. 4는 대전물체와 연X선 Ionizer와의 이격거리(d)의 변화에 따른 대전물체의 대전완화특성 시간(τ)을 조사한 것이다. 이때 대전물체의 대전전압은 ±5kV로, d는 각각 500, 750, 1000, 1200 및 1500mm로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 d=750mm까지는 +5kV 및 -5kV로 대전된 물체의 대전완화시간(τ)이 거의 일치하나, d ≥ 750mm로 이격되면 正으로 대전된 물체의 τ 가 負로 대전된 물체의 τ -보다 다소 빠름을 알 수 있다. 이는 생성된 Ion의 이동속도 및 대전물체와의 정전흡인력 특성에 기인한 것으로 써, 부 Ion(전자)의 이동속도가 正 Ion의 이동속도에 비해서 다소 빠르기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 반도체 제조공정에서는 반도체 소자의 정전기 내성(대전전위: 200V이하, 대전완화시간 5초이내)을 고려하면 연X선 Ionizer의 설치거리는 750mm이내일 때가 최적의 제전효과

를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

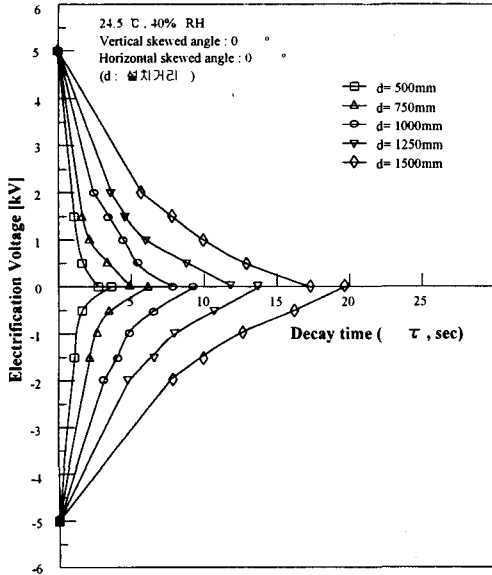


Fig. 4 Decay time characteristics as a function of distance between soft X-ionizer and charged body

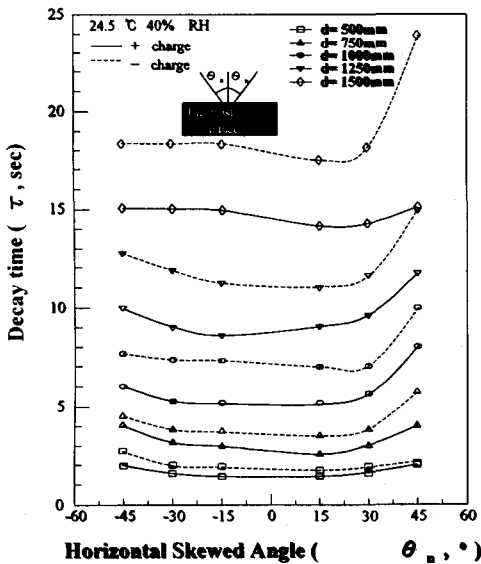


Fig. 5 Decay time characteristics as a function of horizontal skewed angle

4.2 수직·수평 설치각도의 변화에 따른 대전완화특성

Fig. 5는 제전기의 설치거리를 각각 500, 750, 1000, 1200 및 1500mm로 변화시키고, 제전기의 수평방향의 설치각도(θ_h)를 0° 에서 45° 까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간 특성을 실험한 것이고, Fig. 6은 동일한 조건에서 수직방향의 설치각도(θ_v)를 0° 에서 45° 까지 변화시켰을 때 대전물체의 대전완화시간 특성을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 θ_h 의 변화에 따라서는 대전완화시간 특성의 변화가 거의 없음을 알 수 있으나, Fig. 6에서 보듯이 θ_v 의 변화에 대해서는 $\pm 30^\circ$ 이내에서는 0° 일 때와 비교해서 대전완화시간에는 큰 차이가 나타나지 않으나, $\theta_v \geq 30^\circ$ 이 되면 대전완화시간이 약 20%~30%이상 증가함을 알 수 있다. 이는 대전물체의 단위면적당 제전에 유효한 Ion 밀도가 수평각도의 변화보다는 수직각도가 증가할수록 감소하여서 대전완화시간이 증가하기 때문이다.

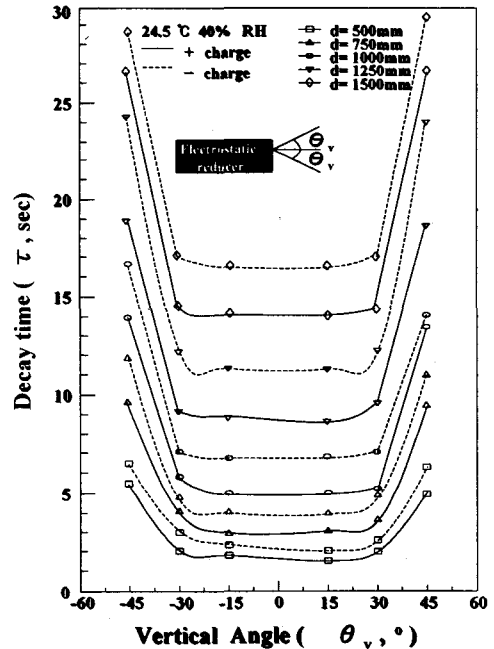


Fig. 6 Decay time characteristics as a function of vertical skewed angle

4.3 도전성 차폐막 효과에 따른 대전완화특성 앞에서 실험한 제전기의 성능을 최대한 증가

시키기 위하여 도전성 비닐($10^{10} \Omega \cdot m$)로 된 차폐막으로 피제전지역 주위를 차폐하였을 때 대전 완화특성시간에 미치는 영향을 검토하였다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 차폐막을 설치하였을 때의 τ 는 차폐막을 설치하지 않았을 때의 τ 에 비해서 약 10%~20%이상 빠름을 알 수 있다. 이는 차폐막을 설치하므로써 연X선 Ionizer에서 생성된 Ion 중에서 다른 무한한 공간으로 날아가 버릴 수 있는 Ion을 차폐할 수 있으므로 대전물체의 제전에 유효한 Ion밀도를 증가할 수 있을 뿐만 아니라, 주위의 다른 대전물체로부터 정전유도에 의한 차폐효과가 부가되었기 때문으로 생각된다. 따라서 반도체제조공정 중에서 특히 정전기 대책이 필요한 국부지역에는 도전성 비닐로 차폐막을 설치하는 것이 바람직하다고 사료된다.

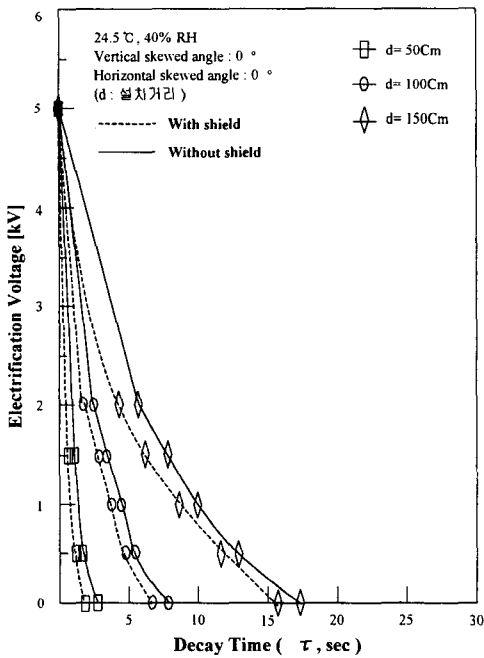


Fig. 7 The De-electrification effect of conductive shield

4.4 연X선 Ionizer의 Ion전류특성

Fig. 8은 연X선 Ionizer의 설치거리의 변화에 따른 유효 Ion전류특성을 조사한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 설치거리가 증가할수록 Ion 전류가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 설치거

리가 증가할수록 Ionizer에서 생성된 正 및 負 Ion의 재결합율이 증가하였기 때문으로 생각된다. 정전기를 제전할 수 있는 Ion전류는 반도체 제조공정에서는 15 nA/cm이상이 되도록 일본의 산업안전연구소의 규정(交流電壓印加式除電器의性能 및 試驗方法)에 언급되어 있다⁶⁾. 따라서 실험결과로 미루어 볼 때 Ionizer의 설치거리는 75mm 이내가 바람직함을 알 수 있다.

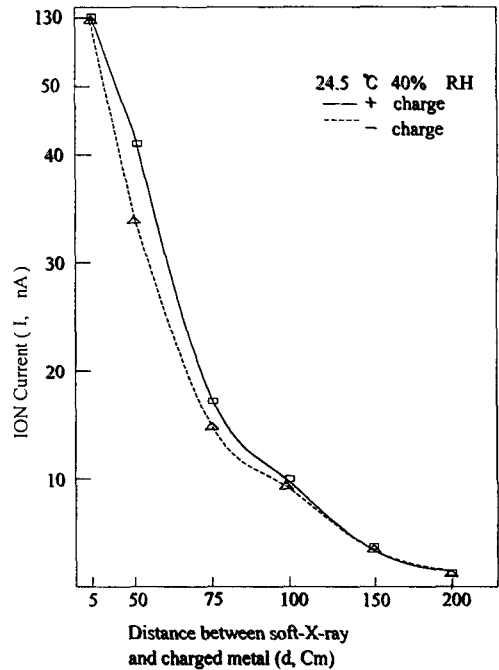


Fig. 8 Ion current characteristics as a function of distance between soft X-ionizer and charged body

4.5 Ion Blower와 연X선제전기의 발진특성

Corona방전식 Ionizer의 코로나 방전전극으로부터의 분진생성메커니즘은 현재까지 명확하지 않다. B.Y.H. Liu⁶⁾는 이 메커니즘을 正 Ion에 의한 正極금속의 비산과 공기중 불순물의 氣中에서의 화학반응에 의해 석출되는 물질의 堆積과 再飛散이라고 보고하고 있다. 또 M. Blitshsteyn⁷⁾은 X선 분석(SEM/EPX)을 통해서 전기력에 의해 전극(SiO₂)에 포집된다고 보고하고 있다. Fig. 9는 正 전극상에 부착, 퇴적된 물질의 SEM 사진이다. Fig. 9에서 보듯이 두께 1 μ m

정도의 방전선 비대현상으로 인하여 나무가지 형태로 성장한 분진부착물이 관찰되었다.



Fig. 9 SEM photograph of attached particles on the electrode

Ionizer(20/20H, Japan)와 연X선 Ionizer를 0.1 μm class 10의 클린룸내에서 Corona방전식 Ionizer와 연X선 Ionizer로 부터 발진량을 조사하였다. 온도는 78.7°F이고, 습도는 20% RH \pm 2% RH, Corona방전식 Ionizer의 풍속은 4m/sec로 정하였다. 그 결과는 다음의 Table 1과 같다.

Table 1 Corona방전식 Ionizer와 연X선 Ionizer에서의 발진량 (개/cft)

상태	Corona 방전식 Ionizer/연X선 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
Switch On	88/0	95/0	63/0	47/0	33/0	14/0	10/0	5/0
Switch 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

Table 1에서 알 수 있듯이 Corona방전식 Ionizer는 스위치를 켤 때 다량의 분진이 발생하였으나, 작동 중일 때와 스위치를 끌 때는 미량의 분진이 발생하였다. 그러나 작동중일 때 충격(0.49 kg·m/sec²)을 가하면 스위치를 켤때 보

다도 더 많은 분진이 발생함을 알 수 있다. 반면 연X선 Ionizer는 전극구조를 갖고 있지 않는 구조이기 때문에 발진의 영향은 거의 없었다.

5. 결론

- 1) 연X선 제전기는 대전물체와 적절한 설치거리를 선택하여야 하는데 실험결과 설치거리는 최소 d=750mm이내이어야 유효한 제전능력을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.
- 2) 제전기의 설치각도는 수평각도의 변화에는 큰 차이가 없으나, 수직각도 변화시에는 제전 효율에 영향을 미치기 때문에 적합한 설치각도는 $\pm 30^\circ$ 이내로 하여야 한다는 것이 바람직함을 알 수 있었다.
- 3) 제전지역을 도전성 비닐로써 차폐막을 설치한 경우는 설치하지 않는 경우에 비해 제전능력이 10~20%정도 증가함을 알 수 있었다.
- 4) 정전기를 제전할 수 있는 Ion전류는 15 nA/cm 이상이 되도록 설치거리를 750mm이내로 하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있었다.
- 5) 기존의 Corona방전식 Ionizer의 emitter부분에 Ion 충돌 현상으로 인해 금속미립자가 발생하므로 반도체나 TFT-LCD 제조공정에서는 Particle 오염의 문제로 인해 부적합함을 알 수 있었다. 그러나 연X선 Ionizer는 미립자나 분진의 오염이 생기지 않은 것으로 이와 같은 공정에 적합하다고 할 수 있다.

참고 문헌

- 1) 靜電氣學會編, “靜電氣ハンドブック”, オーム社, 1981.
- 2) 阪田称一郎他, “コンタホ-ションコントロール研究”, 第7回空氣清淨大會論稿集, 1988.
- 3) 靜電氣學會誌, “クリーンルーム技術特輯号”, Vol. 12, No. 4, 1988.
- 4) 이동훈, “정전기안전관리시스템에 관한 연구”, 부경대산업과학기술연구소, 1995.
- 5) 李相南, 光學, 부경대학교, p. 94, 1987.
- 6) B.Y.H. Liu, D.Y.H. Pui., W.O. Kinstly and W.G. Fisher, “Characterization of Electro-

- nic Ionizers for clean room", 1985.
- 7) M. Blitshteyn, S. Shelton, "Contamination and Erosion of Cleanroom Air Ionizer Emitters", Microcontamination, 1985.
- 8) 日本労働省産業安全研究所, "靜電氣用品構造基準", 1991.
-