

Electronic Industry에 있어서의 정전기 Control

서론

어떤 원인으로 정전기(Static Electricity)가 발생되면 제품 표면에 Particle이 부착하여 반도체 디바이스가 오염되며, 또한 정전기에 의해 제조 공정내의 장비가 오동작을 일으킬 수 있다. 반도체 디바이스가 소형화, 박형화됨에 따라 정전기에 의한 Trouble이 Electronic Industry에 있어서 큰 문제점이 되고 있는 것은 부인할 수 없는 사실이다. 이러한 정전기를 효과적으로 Control하여 정전기에 기인하는 여러 문제를 해결하기 위해서는, 정전기의 생성 메카니즘을 이해하고, 그 적절한 대책 방법을 강구해야만 한다.

본 자료에서는 Electronic Industry에 있어서의 정전기 문제와 그 대책 방법을 공기이온화 시스템을 중심으로 설명한다.

1. 정전기에 의한 여러 문제점

1-1 정전기에 의한 Particle의 흡착

정전기가 발생하게 되면, 주위에 정전기 전계가 형성되어 물체를 끌어당기게 된다. 이러한 현상은 플라스틱 제품을 마찰시킨 후 담배재에 가까이 대게 되면 간단히 확인할 수 있는 것이다. 반도체 웨이퍼에 있어서 웨이퍼가 대전되지 않은 경우에는 Particle이 바로 위로부터 낙하하여도 부착

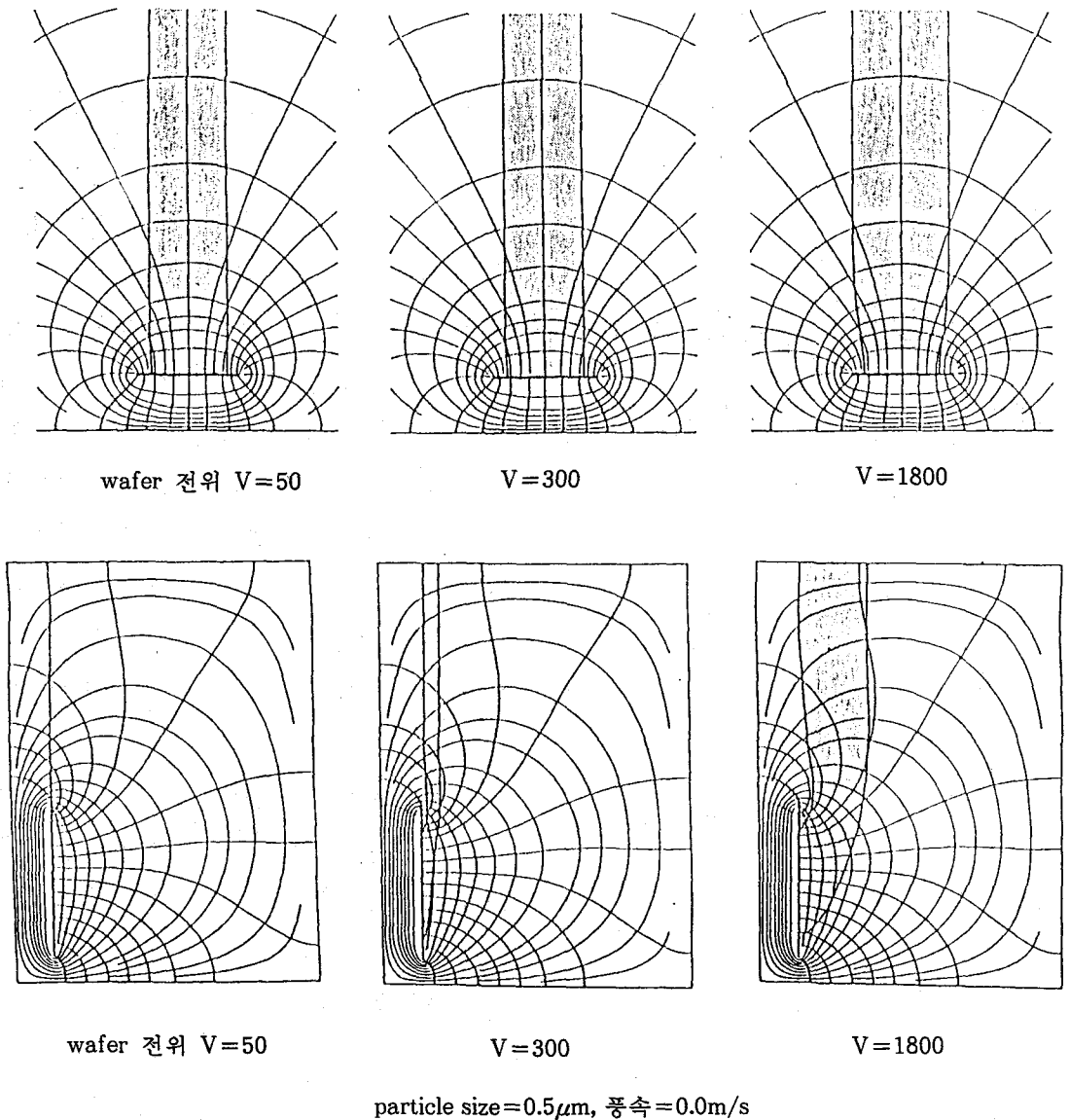


그림 1. particle 부착의 궤적(軌跡)

하지 않으나, Wafer가 대전된 경우에는 정전기에 의해 particle이 표면에 부착하게 되는 것을 알 수 있다.

정전기에 의한 particle 흡착을 방지하기 위해서는, 무풍상태의 경우에 wafer의 정전

전위를 50V이하로 유지할 필요가 있지만 (그림1), 보통 Clean Room내에는 기류가 일정하게 유지되므로 100V 이하로 유지시켜도 된다고 알려져 있다. 단, 정전기 Control 대상은 Wafer뿐만 아니라 Cassette

등 주변 물체도 포함된다는 것에 유의해야 한다.

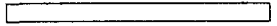
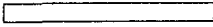



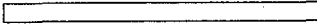

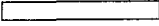

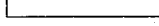



이와같이 하여 wafer표면에 흡착한 particle에 작용하는 힘을 계산하여 압력으로 환산하면, 1kv로 대전된 정전용량 18pF의 4 inches wafer에 직경 1 μ m의 particle이 부착한 경우에는 58500kg/cm²가 된다. 따라서 wafer위에 일단 particle이 흡착하여 버리면, 기류에 의한 힘과 중력만으로는 제거하기가 대단히 어렵게 되는 것을 알 수 있다. 또 wafer위에 particle이 흡착하면 정전기력 뿐만 아니라 van der waals력 등도 작용한다는 것을 유의해야 한다.

1-2. 전하이동에 의한 정전파괴

겨울철에 자동차의 문을 여닫으면서 전기적 쇼크를 받는 수가 있는데, 이것은 인체에 축적된 정전하가 금속제 문에 급격히 이동하므로써 일어나는 현상이다. 이같은 현상이 반도체 디바이스에 대하여 발생하게 되면 절연층이 파괴되고, pattern이 단선되어 디바이스의 불량이나 특성열화의 원인이 된다. 표1은 각종 디바이스의 파괴전압이지만 최근에는 이것 이상으로 정전기에 민감한 디바이스 생산이 이루어지고 있다.

정전파괴는 그 원인해석이 어렵고 또, 제품 출하후에 고장이 발생하게 되면 엄청난

표 1 각종 Device의 파괴전압

Device Type	Range of Susceptibility(Volts)
Bipolar Transistors	380  7000
CMOS	250  3000
ECL	500  1500
Film Registers	300  3000
GaAs FET	100  300
JFET	140  7000
MOSFET	100  200
OP - Amp	100  2500
SAW	150  500
Schottky Diode	300  2500
Schottky TTL	1000  2500
SCR	680  1000
VMOS	30  1800

사고를 일으킬 수 있으므로 그 방지대책이 중요시되고 있다. 그림2는 정전유도와 방전의 관계를 나타낸 것이지만, 이 그림으로부터도 알 수 있듯이 효과적인 정전기 대책을 행하기 위해서는 제품이나 제품에 접촉하는 것뿐만아니라 그 주변 물체도 대상으로 하여 정전기 control을 행해야 하는 것이다.

1-3. 기타 정전기 Trouble

particle 흡착이나 디바이스의 정전과외 이외에도 정전기는 각종 Trouble을 야기시킨다. 전계의 영향으로 검사장치 위의 웨이퍼 Alignment가 어긋나게 되고, 방전시의 노이즈에 의해 장비에 오동작이 발생한다. 따라서 정전기 Control은 각각의 Trouble에 따라 일시적인 대책을 행하는 것보다 Total적인 대책을 행하는 것이 효과적이다.

2. 정전기의 기초지식

2-1. 정전기의 발생

정전기는 접촉, 이탈, 마찰을 비롯하여 각종의 원인으로 발생한다. 이같은 정전기는 고체, 액체, 기체 및 절연체, 도전체, 모두에게서 발생되지만, 대표적인 발생원인 고체의 접촉대전과정을 설명한다.

일반적으로 물질은 같은 양의 플러스와 마이너스 전하를 가져서 전기적으로 중성상태이지만, 두 개의 각기 다른 물질이 접촉하게 되면 접촉면을 통해 “전하이동”이 일어나서 한쪽의 물질은 플러스, 다른 한쪽의 물질은 마이너스의 과잉전하를 얻게 된다. 이 상태에서는 전계가 상호간에만 작용하여 외부에 정전기로서의 영향은 나타나지 않지만, 두개의 물질이 기계적으로 분리되게 되

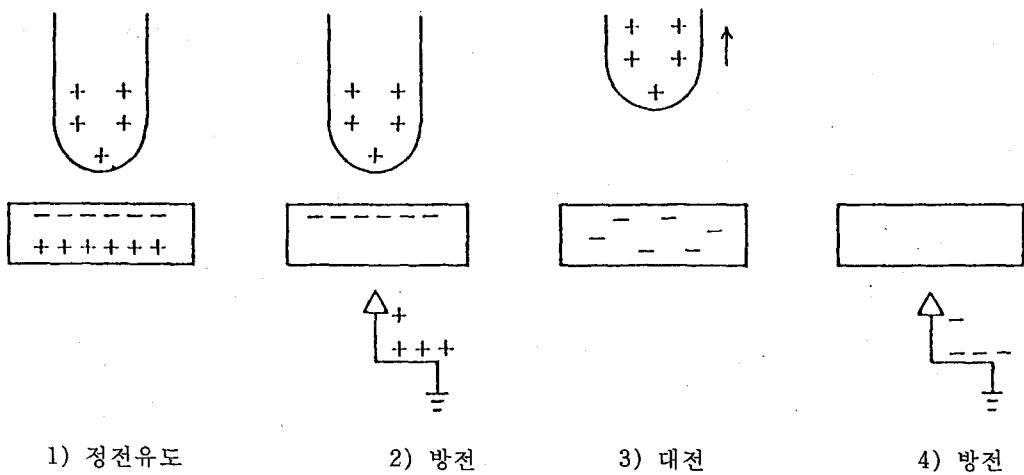


그림 2. 정전유도와 방전

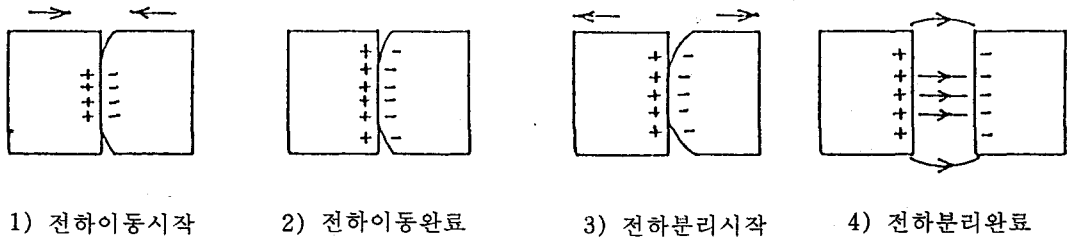


그림 3. 고체의 접촉 대전과정

면, 동시에 과잉전하도 “전하분리”되어 두 개의 물질에 같은 량의 정전기가 발생된다.

(그림3)

이와같이 정전기는 보통 플러스 전하와 마이너스 전하가 같은 량 발생하지만, 실제의 공정에서는 두개 물체의 정전용량이 달라서 한쪽 극성의 정전기가 측정되지 않는 경우가 많다. 또, 물체가 플러스, 마이너스 어느 쪽의 극성으로 대전되는가는 마찰정전기계열(표2)로부터 판단할 수 있다.

2-2. 정전기의 감쇄

발생한 정전기는 어떤 전하경로를 통하여 과잉전하가 완화되어 결국에는 소멸되게 된다. 이러한 전하완화에 필요한 시간을 완화시간 혹은 감쇄시간이라고 한다. 공기중에 절연상태로 존재하는 물체의 초기전위가 1/10까지 감쇄하는데 필요한 시간을 측정하면 외기중에서 약 3시간 정도가 된다. 단, clean room내에는 자연적으로 존재하는 공기이온이 작기 때문에 감쇄시간이 약 8시간 정도이므로 제품이 대전되게 되면

Trouble이 생길 위험이 대단히 높게 된다.

2-3 생산공정에서의 정전기 발생

표3은 실제의 IC나 LCD의 생산공정에서 측정된 정전기의 일례이다. IC 공정에서는 wafer가 액체와 접촉하는 공장에서 큰 대전이 일어나며, 테프론 카세트나 장치커버 등 주변물체가 웨이퍼 이상으로 대전되어 particle 흡착의 큰 원인이 되는 것을 알 수 있다.

LCD공정에서는 대부분의 공정에서 기판 자신이 큰 대전량을 나타낸다. 이것은 Rubbing 등 큰 정전기가 발생하는 공정이 있으면, LCD자체가 전하를 유지하기 좋은 구조로 되어있다는 것이 그 원인이다. 더우기 TFT의 경우는 particle 흡착과 정전파괴의 2개 Trouble이 동시에 발생하므로 효과적인 정전기 Control이 대단히 어렵게 된다.

3. 각종 정전기 Control 기술

표 2 마찰정전기 계열

正(+)	공기 사람의 손 석면 토끼털 유리 운모 나일론 모피 납 비단 알루미늄 종이 면직물 철 나무 호박 硬質 고무 니켈, 구리 주석, 은 금, 백금 유황 아세테이트, rayon 포리에스텔 셀룰로이드 우레탄 포리에틸렌 비닐 실리콘
負(-)	테프론

대전체의 전하를 제거하기 위한 기본적인 방법은 전하완화 경로의 도전성을 좋게 하는 것이며, 구체적인 정전기 대책 방법은 다음과 같이 대별할 수 있다.

3-1. 접지법

대전체를 접지시킴으로써 과잉전자를 풀어주는 방법이다. 이 방법은 올바르게 사용하면 대단히 효과적이지만, 대전체가 도전체일 경우에만 유효하고 절연체에 대해서는 전혀 효과가 없다. 따라서 플라스틱 등에 Carbon을 혼입시켜 도전성을 가지게 하는 것은 이 때문이다. 그러나 clean room내의 모든 물체에 도전성을 지니게 하는 것은 불가능하며, 도전체의 경우에도 항상 접지상태로 유지한다는 것은 어렵기 때문에 접지법은 어디까지나 국부적인 정전기 control 법이다. 접지법을 응용한 대표적인 제품으로는 wrist strap, 도전성 mat, 도전성 건재, 도전성 작업화 등을 들 수 있다. 더구나 정전파괴가 문제되는 디바이스의 주위에 접지법을 행한다는 것은, 오히려 급격한 전하이동을 일으킬 가능성이 있으므로 세심한 주의가 필요하다.

3-2. 자기방전법

이 방법은 대전체의 아주 가까이에 끝이 뾰족한 전극을 설치하므로써, 전위차에 의한 코로나 방전이 일어나는 현상을 이용한

표 3 제조공정에서의 정전기

IC 제조공정		LCD 제조공정	
세정후의 테프론 카세트	-4~20kv	rubbing시의 기판	-2~20kv
Spin dry 후의 테프론 카세트	-8~35kv	rubbing roller	+1.2kv
웨이퍼	+1.2~4.5kv	전기검사후의 기판	-9kv
developer 처리후의 웨이퍼	+1.5~5.2kv	노광후의 기판	-15~30kv
spinner 처리후의 웨이퍼	+3.2~4.3kv	spacer 확산후의 기판	-1~2kv
spinner cover	+11kv	Air knife 건조후의 기판	-2~20kv
이온 주입기 cover	-17kv		
Air shower후의 무진복	-0.2~4kv		
식각공정	-2~2kv		

것이다. 대표적인 제품으로는 제전 브러쉬나 도전성 섬유를 짜넣은 천(布) 등을 들 수 있다. 자기방전법은 일정의 전위이하가 되면 코로나 방전이 일어나지 않으므로 그 한계가 있다. 이 방법도 접지법과 마찬가지로 국부적인 정전기 control법이다.

3-3. 가습법

환경내의 습도를 높임으로써, 물질표면에 흡착되는 수분층을 전하완화경로로 이용하는 방법이다. 이 방법은 전술한 2개의 방법과 달리 clean room내의 전역에 대해서 유효하지만 결로나 녹 등의 문제가 일어나므로 습도 control에 충분한 주의가 필요하다. 그외에 물질에 경계면 활성제를 혼입시켜 표면에 수분을 흡착시키는 방법도 있지만,

오히려 제품오염의 원인이 될 가능성이 있다.

3-4. 이온나이저(공기 이온화법)

환경내에 플러스와 마이너스의 공기이온을 공급하여, 전하완화경로로서 공기의 전도성을 높이는 방법이다.(정전기 전하를 반대 극성의 공기이온으로 중화함). 구체적으로 설명하면 금속전극에 고전압을 인가하여 코로나 방전을 일으킴으로써 공기이온을 발생시키는 것이다. 이 방법은 도전체 및 절연체를 비롯하여 clean room전역에 대해 유효하지만, 전극으로부터의 발전이나 공기이온의 부산물로서 오존 발생 등의 문제가 생길 수 있다.

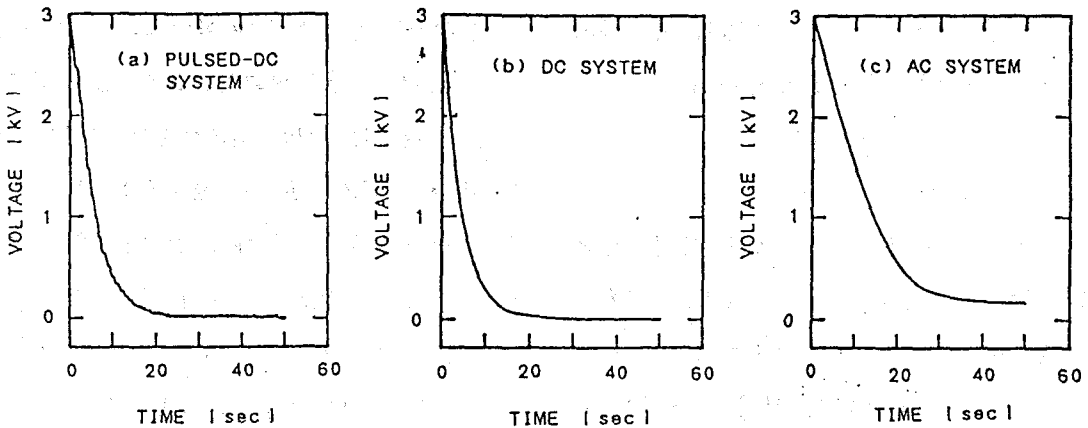
4. Ionizer

4-1. Ionizer의 기초지식

공기이온은 번개 등의 자연현상에 있어서도 발생하며, 외기에는 이같은 공기이온이 공히 $3 \times 10^6 \sim 3 \times 10^8$ 개/ ft^3 정도 존재한다. 그러나 HEPA Filter를 통과한 clean room 내 공기의 경우, 플러스 이온은 1×10^6 개/ ft^3 정도 존재하지만 마이너스 이온은 거의 존재하지 않는다. Ionizer는 이같은 공기이온이 부족한 clean room내에 1×10^9 개/ ft^3 이상의 플러스와 마이너스의 공기이온을 공급하여 공기의 도전성을 높임으로써, 대전체의 제전을 행하는 것을 목적으로 한다.

금속전극에 고전압전류를 흘리면 코로나 방전에 의해 공기이온이 발생하는데, 플러

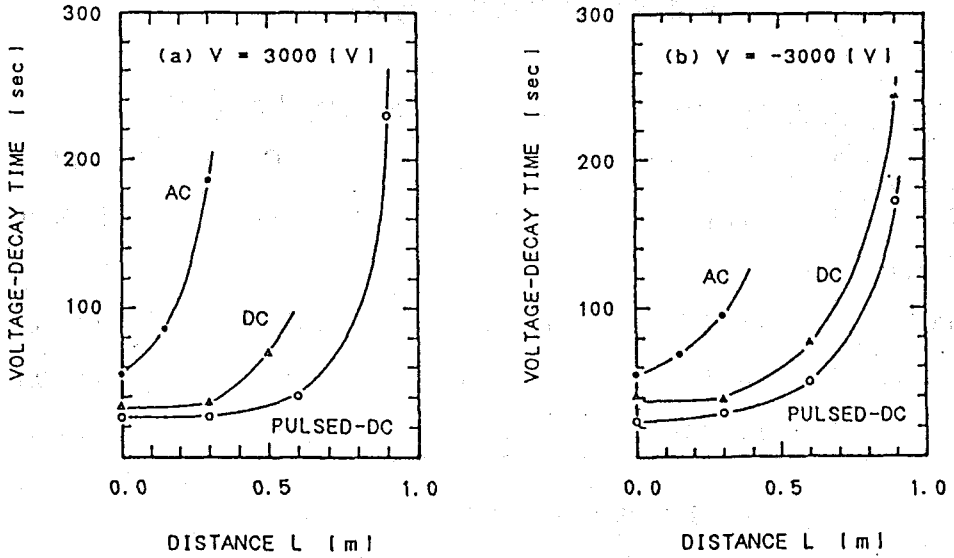
스 전류가 흐를때는 정(正)의 이온이 발생하고 마이너스 전류시에는 부(負)의 공기이온이 발생한다, 이와같이 하여 발생한 공기이온은 정전척력에 의해 금속전극으로부터 멀리까지 확산된 후, clean room내의 기류를 따라 운반된다. 플러스 이온은 양자의 水味物같은 것으로 Hydropneum이온(H_3O^+)과 2~3개의 물분자로 구성된 $0.67\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 의 이동도를 가진다. 한편, 마이너스의 공기이온은 가스분자가 이온화된 것으로 Co_3^- , NO_2^- , N_3^- 등과 수개의 물분자로 구성된 $1.12\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 의 이동도를 가진다. 그리고 공기이온에는 이것들 외에도 대단히 많은 분자로 구성된 큰 이온도 있지만 이동도가 작기 때문에 정전기 control에는 거의 역할을 하지 못한다.



측정위치-이오나이저 바로 아래 1.25m

풍속-0.24m/s

그림 4. 각종 이오나이저의 감쇄시간

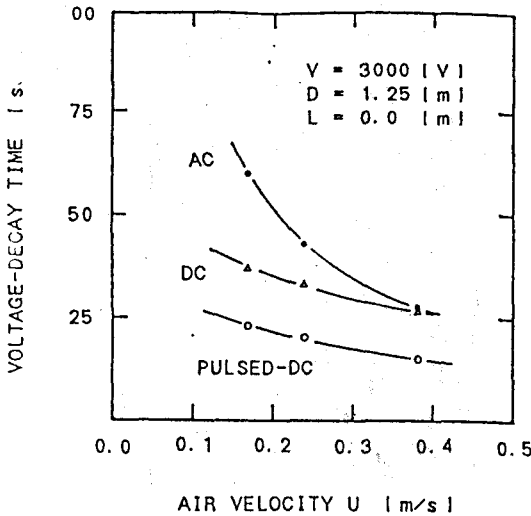


초기전위 $\pm 3000V$

측정위치-이온나이저 바로 아래에서 수평이동

풍속-0.24m/s

그림 5. 각종 이온나이저의 유효범위



초기전압 $\pm 3000V$

측정위치-이온나이저 바로 아래 1.25m

그림 6. 각종 이온나이저의 감쇄시간과 풍속

4-2. 각종 이온나이저

보통, 이온나이저는 전극에 고전압을 공급하는 방식에 따라 AC방식, DC방식, Pulse DC방식의 3종류로 대별된다. 그림 4~6 및 표4는 이같은 대표적인 이온나이저의 성능을 clean room내에서 같은 조건으로 비교한 것이다. 또 이온나이저에 있어서 가장 중요한 요소인, 부도체에 대한 제전효과를 아크릴을 판을 사용하여 particle figure 법으로 관찰한 결과가 그림7이다. 이 결과로부터 Electronic Industry에서 사용할 경우 pulse DC방식의 이온나이저가 가장 효과적이라는 것을 알 수 있다.

표 4 각종 이온াই저의 발전량

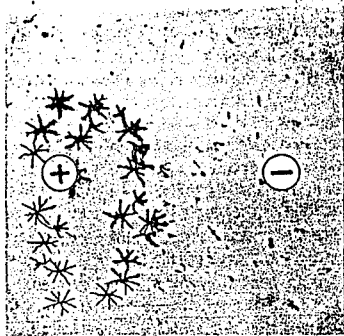
측 정 기 기	particle 크기 (μm)	particle 갯수(개/ ft^3)		
		pulse DC	AC	DC
CNC (TSI 3020)	0.03	1240	1920	1.3×10^5
LPC (PMS 101)	0.1~0.3	0.3 ± 0.5	-0.3 ± 0.2	0.4 ± 0.2
	0.3~0.5	0.2 ± 0.1	0	0.1 ± 0.1
	0.5~1.0	0	0	0.1 ± 0.1

측정위치-이온াই저 바로 아래 1.25m

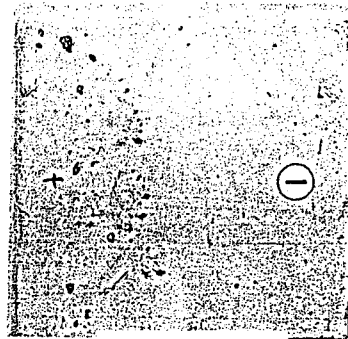
풍속-0.31m/s

측정환경-0.1 μm class 10 (0.4 ± 0.2 개/ ft^3)

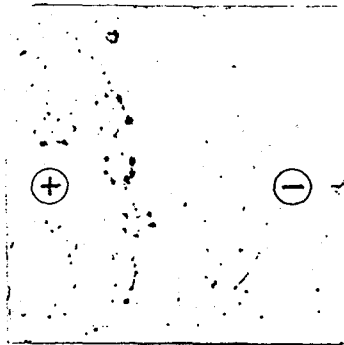
(注 : pulse DC 이온াই저의 전극은 텅스텐)



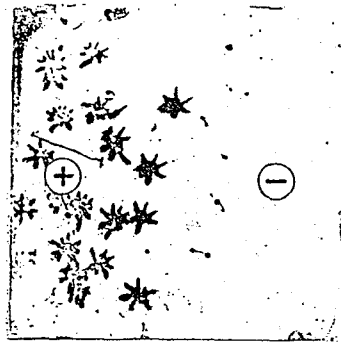
초기 상태



pulse DC 방식



DC방식



AC방식

노출시간 : 2분

그림 7. 각종 이온াই저의 부도체 제전효과

4-3. 이온라이저의 효과

이온라이저를 올바르게 사용하기 위해서는 이온라이저로부터 발생한 공기이온을 대상영역에 효과적으로 공급시켜야 한다. 또, 공급된 공기이온은 적절한 양 및 적정의 플러스, 마이너스 Ion Balance를 갖추어야 한다. 이같은 목적을 달성하기 위해서는 clean room내의 기류를 고려하여 설치위치를 결정하고, 사용목적에 적합한 조정을 행

해야 한다. 표5는 이온라이저를 사용하여 particle 흡착방지를 행한 결과로서, 올바르게 사용된 이온라이저는 생산성 향상에 대단히 효과적임을 알 수 있다.

표6은 Air Shower후의 무진복을 Tumbler에 회전시켜 배기중의 particle갯수를 측정 한 결과로서, 기류의 세기와 비교하여 정전기력이 얼마나 큰가를 알 수 있다.

표 5 이온라이저의 효과(1)

웨이퍼의 전위(V)	대 전 입 자					무 대 전 입 자	
	0	500	1000	2000	4000	0	4000
20분간 흡착한 입자의 갯수(개)	7	11	28	46	69	3	57

측정면적 9cm²

입자반경 1.0μm

풍속 0.3m/s

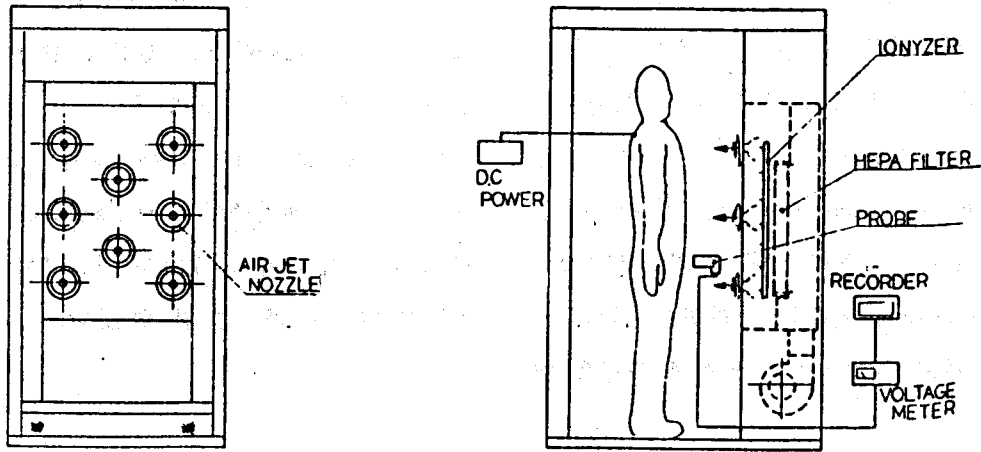
5. 결론

금후 전자산업에 있어서 정전기 control의 중요성이 점점 더 높아진다는 것은 묵과할 수 없는 사실이다. 그러나 정전기에 수반되는 현상은 재현성을 얻기가 어려우므로 간단하게 효과적인 대책을 수행하는 것은 대단히 곤란하다. 그러므로 효과적인 정전기 control을 행하기 위해서는 금후부터라

도 이론적인 연구를 행하고, 동시에 User, 공조설비 Maker, 제조설비 Maker 및 정전기 대책 Maker가 협력하여 실제적인 연구를 이행하는 것이 필요불가결하다고 사료된다.

끝으로, 참고사항으로 이온라이저가 사용되고 있는 대표적인 공정(표7)과 이온라이저의 성능을 평가하기 위한 항목(표8)을 나타낸다.

표 6 이온라이저의 효과(1)



입자크기 및 조건		15m/s	23m/s	30m/s
20.3	Air Shower만	248	121	72
	이온라이저 사용	39	35	40
20.5	Air shower만	178	72	54
	이온라이저 사용	31	26	34

무진복의 대전량 · 5kv

표 7 이온라이저가 사용되는 대표적인 공정

- 웨이퍼 제조공정**
- 세정
 - 열처리
 - 경면감사
 - 사광검사
 - 카세트세정
 - 카세트건조

- IC 전공정**
- 세정
 - coater
 - 노광장치
 - 확산로
 - CVD
 - 이온주입
 - 마스크세정
 - 사광검사

- IC 후공정**
- 본딩
 - 마아킹
 - 검사

LCD 제조공정
세정
coater
성막
경화히터
rubbing
스페이서 확산
셀 인쇄
스크라이버
검사

Print 기판
부품탑재
검사

기 타
편광필름
광디스크
하드디스크
CD
디스크드라이브
비디오테이프

표 8 이온나이저의 평가항목

항 목	내 용
이 온 공 급 량	<p>제전대상 영역에 공급되는 이온량</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 제전효과를 얻을 수 있는 충분한 량인가? 2) 과도한 이온 공급에 의한 디바이스의 파괴는 없는가? 3) 이온발생기와 대상 영역과의 거리 및 풍속에 의한 조정이 가능한가?
이 온 밸 런 스	<p>제전영역에 공급되는 플러스와 마이너스의 이온량</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 플러스와 마이너스의 이온량이 동등한가? 2) 이온 불균형에 의한 디바이스의 파괴는 없는가? 3) 이온발생기와 대상 영역과의 거리 및 풍속에 의한 조정이 가능한가?
감 쇠 시 간	<p>대전된 금속판이 초기전위의 1/10까지 감쇄하는데 걸리는 시간</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 감쇄시간이 충분히 짧은가? 2) 대전극성에 좌우되지 않는가?

항 목	내 용
안 정 성	이온공급량, 이온밸런스, 감쇄시간이 오랫동안 안정한가?
유 효 범 위	이온발생기 1대당의 커버 영역 1) 이온공급량, 이온밸런스, 감쇄시간 2) 예정영역 면적에 대한 이온 발생기의 필요댓수
제 전 효 과	제전대상물의 정전기 제전시간과 잔류전위 1) 제전시간이 충분히 짧은가? 2) 잔류전위는 충분히 낮은가? 3) 이온이 대상물에 공급되고 있는가? 4) 대상물이 이동할 경우, 이온 발생기 유효범위내에서 제전되는가?
부 착 방 지 효 과	대상물의 표면에 부착하는 particle의 감소율 1) 대상영역내에 정전기력에 의한 particle이 부착하고 있는가?
파 괴 방 지 효 과	정전기에 의한 디바이스 파괴의 감소율 1) 대전을 방지하는가? 전하이동을 방지하는가? 2) 전하이동에 수반되어 발생하는 노이즈가 감소하고 있는가?
분 진 발 생 량	전극으로부터 재비산하는 분진의 량과 입자크기 및 성분 1) 부착방지효과와의 비교
오 존 발 생 량	코로나방전에 따라 전극에서 발생하는 오존 농도 1) 농도안전기준 0.01ppm 이하인가?
노 이 즈 레 벨	코로나 방전에 따라 전극에서 발생하는 정전 노이즈레벨 1) 주변정치에 악영향을 끼치지 않는가?
안 전 성	사용상의 안전성 1) 고전압 감전의 위험성은 없는가?
설 치	이온발생기 및 배선의 설치방법 1) 이온발생기의 추가 및 시스템 layout변경이 용이한가? 2) 발전재료의 사용 및 먼지가 쌓이는 것은 없는가?
maintenance	전극의 cleaning 및 교환에 요하는 노력 1) cleaning 및 교환의 빈도 2) 전극의 수명