

클린룸공정에서의 정전기 측정방법

이 재 근, 박 경 덕

부산대학교 / 기계공학부

1. 서 론

클린룸(Clean Room) 내에서 마찰, 박리, 유동 등의 원인으로 정전기(Static Electricity)가 발생되면 제품 표면에 오염 입자가 부착하여 제품의 불량률 초래하고, 또한 정전기에 의해 제조 공정내의 장비가 오동작을 일으킬 수 있다. 반도체 디바이스 및 TFT-LCD가 소형화, 박형화됨에 따라 정전기 현상이 전기 전자 산업에 있어서 큰 문제점이 되고 있다. 이러한 정전기를 효과적으로 제어하여 정전기에 기인하는 여러 문제를 해결하기 위해서는 정전기의 생성 매커니즘을 이해하고, 그 적절한 대책 방법을 강구해야만 한다. 본 자료에서는 클린룸의 운용에 있어서의 클린룸에 정전기 현황 파악, 상품화된 여러 가지 측정기를 이용한 정전기 측정 방법을 자세하게 기술하고자 한다.

2. 정전기 개요

2.1 정전기 발생

정전기를 엄밀히 정의한다면 “공간의 모든

장소에 있어서 전하의 이동이 없는 전기”라고 규정할 수 있다. 그러나 대부분의 정전 현상, 정전기 응용 또는 정전기 장·재해에 있어서는 거의 예외없이 다소의 전하이동, 즉 전류가 흐르고 있다. 그럼에도 불구하고 우리가 이 경우 정전기라고 하는 말을 사용하는 이유는 전하의 이동이 있어도 그것에 의한 자체의 효과가 전체의 효과에 비해서 무시할 정도로 적기 때문이다.

모든 물체를 구성하고 있는 원자 및 분자들은 양전기와 음전기로 평형 상태를 이루고 있어 전기적인 중성 상태로 외부에 대한 전기적 현상은 나타나지 않고 있다. 그러나 물체가 마찰되거나 박리, 충돌, 유동, 파괴, 분출 등에 의해 전자가 어느 한쪽으로부터 다른 방향으로 이동함으로써 축적되어 발생한다고 할 수 있다. 이 때 전자가 증가 하는 쪽이 (-), 감소하는 쪽이 (+)가 된다. 정전기 발생은 물체가 불순물을 함유하거나, 표면에 수분이나 기름 등에 오염되었을 때는 산화부식에 의해 정전기가 발생한다. 또한 접촉 면적이 클수록 발생량도 크게 되며, 접촉 분리가 처음으로 일어났을 때 재해 발생 확률도 최대로 나타난다.

2.2 정전기 장해

(1) 정전기에 의한 입자의 흡착

정전기가 발생하게 되면 주위에 정전기 전계가 형성되어 물체를 끌어당기게 된다. 이러한 현상은 플라스틱 제품을 마찰시킨 후 담뱃재에 가까이 대게 되면 간단히 확인할 수 있는 것이다. 그림 2.1에서처럼 반도체 웨이퍼(Wafer)에 있어서 웨이퍼가 대전되지 않은 경우에는 입자가 바로 위로부터 낙하하여도 부착하지 않으나, 웨이퍼(Wafer)가 대전된 경우에는 유도 정전기에 의해 입자가 표면에 부착하게 되는 것을 알 수 있다. 일단 웨이퍼 위에 입자가 흡착하여 버리면, 기류에 의한 힘과 중력만으로는 제거하기가 대단히 어렵다. 또 웨이퍼 위에 입자가 흡착하면 정전기력 뿐만 아니라 반데르발스(Van Der Waals) 흡인력 등도 작용한다는 것을 유의해야 한다.

(2) 디바이스 정전 파괴

겨울철에 자동차의 문을 여닫으면서 전기적 쇼크를 받는 수가 있는데 이것은 인체에 축적된 정전하가 금속제 문에 급격히 이동함으로써 일어나는 현상이다. 이같은 현상이 디바이스에 대하여 발생하게 되면 절연층이 파괴되고, 패턴이 단선되어 디바이스의 불량이나 특성열화의 원인이 된다. 그림 2.2는 정전기에 의한 디바이스가 파괴된 SEM 사진인데 정전 파괴는 그 원인 해석이 어렵고, 또 제품 출하 후에 고장이 발생하게 되면 엄청난 사고를 일으킬 수 있으므로 그 방지 대책이 중요시되고 있다.

(3) 측정기의 오동작

입자 흡착이나 디바이스의 정전 파괴 이외에도 정전기는 각종 문제를 야기시킨다. 전계의 영향으로 검사 장치 위의 디바이스 배열

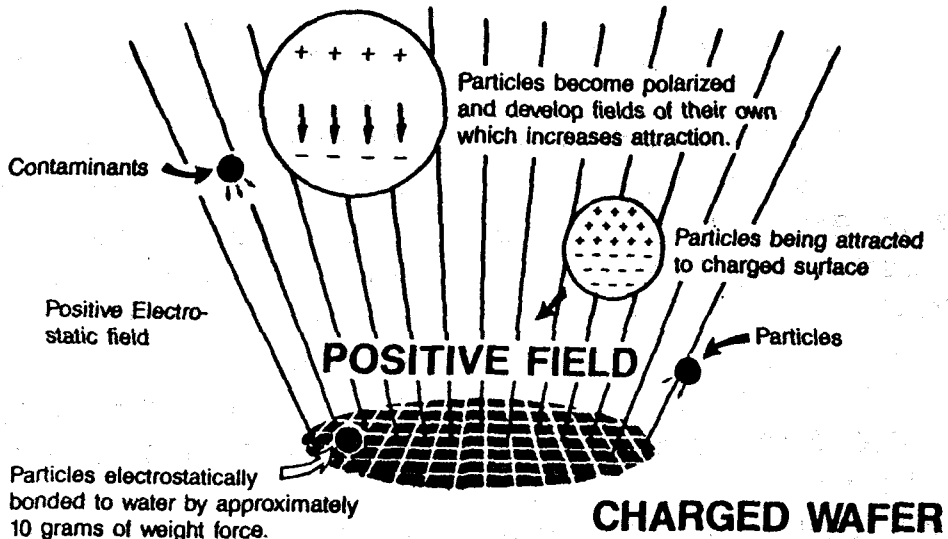
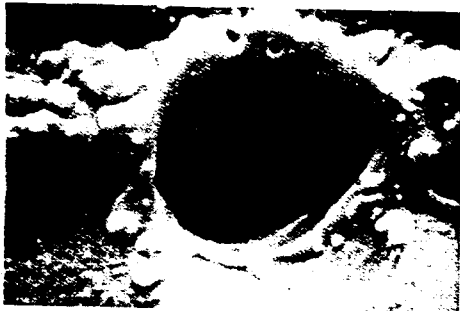


그림 2.1 대전된 웨이퍼 주변의 입자 유동



200x



5000x

그림 2.2 반도체 칩의 정전파괴 모습

이 어긋나게 되고, 방전시의 노이즈에 의해 장비에 오동작이 발생한다. 따라서 정전기 제어는 각각의 문제에 따라 일시적인 대책을 행하는 것보다 총체적인 대책을 행하는 것이 효과적이다.

(4) 화재, 폭발

화재, 폭발은 정전기 방전 현상에 의한 결과로 가연성 물질이 연소되어 일어나는 현상이다. 만약, 정전기 방전이 일어났다 하더라도 그 방전 에너지가 가연성 물질의 최소 착화 에너지보다 작을 경우에는 화재, 폭발은

일어나지 않는다. 화재, 폭발은 대전 물체가 도체일 경우에는 방전시 거의 모든 전하가 일시에 방출되므로 축적되어 있던 정전기 에너지가 최소 착화 에너지와 같을 때 화재, 폭발이 일어난다고 보면, 이 에너지가 가지는 대전 전위 또는 대전 전하량을 실측에 의해서 구할 수 있다. 반면 대전 물체가 부도체인 경우에는 방전시 축적된 모든 에너지가 일시에 전부 방전되지 않기 때문에 화재 및 폭발에 대한 일반적인 지표를 제시할 수 없으므로 과거의 자료를 조사하여 실측을 통한 계속적인 감시를 통해 화재, 폭발의 추이를 예측하여 이의 발생을 억제하도록 노력해야 한다.

2.3 정전기 제거 방법

정전기를 제거하기 위한 기본적인 방법은 전하 완화 경로의 도전성을 좋게 하는 것으로 구체적으로 접지, 가습법과 자기방전식 제전기, 방사선식 제전기, 이온나이저(Ionizer) 등의 제전기를 사용하는 방법, 그리고 각종 대전방지제를 사용하는 것이다. 접지법은 대전체를 접지시킴으로써 과잉 전자를 풀어 주는 것으로 대전체가 도체일 경우 정전기 제어에 있어서 가장 기본적이며 효과가 좋은 방법이다. 그러나 대전체가 부도체일 경우 효과가 없다. 더구나 정전 파괴가 문제되는 디바이스의 주위에 접지법을 행한다는 것은 오히려 급격한 전하이동을 일으킬 가능성이 있으므로 세심한 주의가 필요하다. 가습법은 환경 내의 습도를 높임으로써, 물질 표면에 흡착되는 수분층을 전하완화경로로 이용하는 방법이다. 이는 실내 환경의 전역에 대해 정

전기 제어가 가능하지만 결로나 녹 등의 문제가 일어나므로 습도 제어에 충분한 주의가 필요하다. 자기방전법은 대전체의 가까이에 전극을 설치해 전위차에 의한 코로나 방전을 일으키는 현상이다. 하지만 이 방법은 일정한 전위 이하가 되면 코로나 방전이 일어나지 않으므로 사용에 있어 그 한계가 있다. 방사선식 제전기는 방사선의 공기 전리 작용을 이용하여 제전에 필요한 이온을 만드는 제전기로, 방사선 발생 물질로 반감기가 길고 전리 능력이 큰 α 또는 β 선을 사용한다. 이 제전기는 방사성 동위 원소를 내장하고 있으므로 취급하는데 있어서 세심한 주의가 필요하다.

이오나이저는 금속 전극에 고전압을 인가하여 코로나 방전을 일으킴으로써 공기 이온을 발생시켜 환경 내에 플러스와 마이너스의 공기 이온을 공급해 전하 완화 경로로서 공기의 전도성을 높이는 방법이다. 이 방법은 도전체 및 절연체를 비롯하여 클린룸 전역에 대해 유효하지만 전극으로부터의 발전이나 공기 이온의 부산물로서 오존 발생 등의 문제가 생길 수 있다. 대전방지제는 고분자 물질, 종이, 탄화수소계의 액체 등 고유 저항이 큰 것에 첨가해서 이들의 도전성을 향상시키기 위해 사용하는 물질이다. 대전방지제는 외부로부터 추가하는 외부용과 내부에 이겨 넣어 섞는 내부용으로 대별된다. 외부용은 세척, 기계적 마찰 등에 쉽게 이탈해 버리므로 효과가 일시적인 반면 내부용은 장기간 사용할 수 있다. 대전방지제의 대부분은 공기중의 수분을 흡착함으로써 물체의 도전성을 향상시키는 것이므로 저습도가 되면 효과가 감소하기 때문에 그 점에 대해서도 유의해야만

한다.

3. 측정에 필요한 정전기학 이론

물체가 다른 물체와 마찰함에 따라 전기를 띄는 것을 ‘대전한다’고 말하며 대전한 물체를 ‘대전체’라 한다. 대전에 의하여 얻은 전기를 전하라 하며 이동하지 않은 정지한 전기라는 의미로서 일반적으로 정전기라 부르고 있다. 전하(전기량)의 기호는 Q 또는 q 로 나타내며 단위는 쿨롱[C]을 사용한다. 전하에는 양전하와 음전하가 있으며 같은 종류의 전하 사이에는 반발력, 다른 종류의 전하 사이에는 흡인력이 작용한다. 최소 전하량은 전자(음)와 양자(양)의 전하이고 $e \approx 1.60 \times 10^{-19}$ [C]이다. 1초 사이에 1C의 전하가 통과할 때 이것을 1A의 전류라 한다. 전하의 공간적인 분포가 시간과 더불어 변화하지 않을 경우 그 전하를 정전하(Static Charge) 또는 정전기라고도 한다.

우선 대전된 도체구가 자유 공간에 놓여 있는 경우를 생각하면 도체구는 점전하로 근사되며 전기장은 그림 3.1에서 보는 것처럼 균등하게 방사선 모양으로 대치된다. 또한 등전위면은 같은 중심을 갖는 원이 되므로 이를 식으로 나타내면

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} \quad (3.2)$$

식 (3.2)에서 보듯이 거리 $r = \infty$ 인 경우 전위가 0이 되면 이점이 기준 전위값이 된다. 보통 전위의 측정은 계기의 두 리이드를

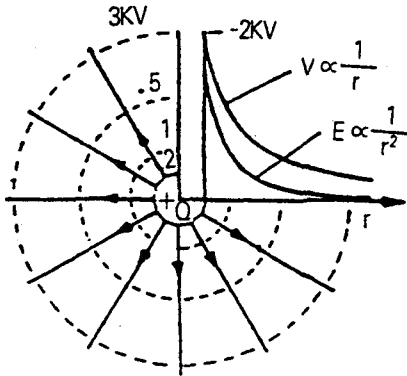


그림 3.1 점전하의 전기장 분포

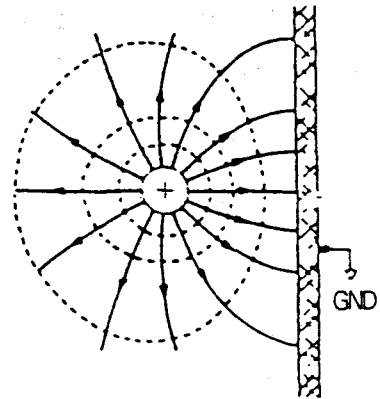


그림 3.2 접지면이 있을 때 점전하의 전기장의 모양

측정하고자 하는 두 포인트에 접촉시켜 하는데 이 때 한 점은 일반적으로 접지, 혹은 공통 단자로 한다. 그렇지 않은 때에는 두 점 사이의 전위차는 검출되지만 각 포인트의 절대 전위는 알 수 없는 것이다. 일반적으로 정전 자기학에서는 접지면의 전위를 0으로 한다. 실제 측정 기기에서는 흔히 이 점이 간과되고 있기 때문에 틀릴 수 있으며 확실한 접지선이 없는 경우, 그리고 파워 라인에 연결되는 내부 접지선 등의 여러 경우가 있다.

위에서 논한 점전하의 전기장의 형세는 근처에 접지면이 놓이는 경우에 바뀐다는 것을 염두해야 한다. 그림 3.2에서 보인 전기장의 변화를 주목해서 살펴보면 점전하라도 근처의 전자기적 왜곡에 의하여 그 양상이 변하여 식 (3.1), (3.2)는 맞지 않게 된다. 다시 말하면, 측정시에 측정하고자 하는 전계 및 전위 등의 물리량이 무엇이며 전기장의 양상이 결정되어야만 하는 것이다. 그림 3.2에서 대전된 구가 도체가 아닌 부도체이면 양상은 다시 달라지고 접지면의 근접 정도에 따라 매우 복잡한 계산을 해야만 측정하고자 하는

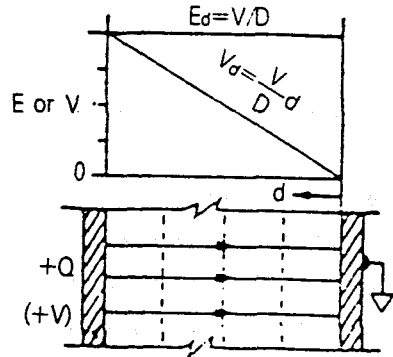


그림 3.3 평행판의 전기장 분포

물리량을 추정할 수 있다. 즉, 단순히 메타로 재는 것은 무의미한 일이다. 절연체나 플라스틱 박스가 이런 예다. 위의 접지면을 구에 아주 가까이 근접시켜 구면과 평면이 거의 평행하게 되면 그림 3.3처럼 평행판 콘덴서와 비슷하게 전기장이 분포되어 거리에 따라 선형적으로 변한다.

$$E_d = \frac{V}{D} \tag{3.3}$$

$$V_d = \frac{V \cdot d}{D} \tag{3.4}$$

이런 경우에 전기장은 거리에 따라 r^2 으로 변하는 것이 아니라 일정하게 된다. 측정시에는 전기장의 원인의 수를 결정하는 문제와 전기장의 유형을 결정하는 것이 어렵고 오차가 발생하기 쉽다.

4. 정전기 측정 방법

4.1 정전기 측정기(Static Fieldmeters)

정전기 측정기(Fieldmeter)는 전위계(Electrometer)형, 방사능 센서(Radioactive Sensor)형, 그리고 변조 정전 용량(Modulated Capacitor) 혹은 AC 캐리어(AC carrier)형의 세 가지 기본 형태가 있다. 정전위 측정기의 선정에 있어서 안정성, 정확도, 크기, 비용, 사용법은 고려되어야만 한다. 휴대용 전위계형은 보정을 위해서 분권 커패시턴스(Shunt Capacitor)와 전기 용량이 연결된 DC 증폭기형이어야 한다. 모든 증폭기는 일정량의 전류를 끌어들이기 때문에 전위계형 정전위 측정기에서 측정된 전위는 측정시간에 비례하는 편차를 가지게 된다. 이 문제를 바로잡기 위해서 분권 커패시턴스(Shunt Capacitor)가 주기적으로 전위가 0으로 방전될 필요가 있다. 그리고 미세한 전류가 공기 이온들로부터 DC 증폭기 입구로 흘러서 엄청난 편차를 유발할 수 있기 때문에 전위계형 필드미터는 이온화된 환경에서는 사용되어질 수 없다. 이 계측기의 장점은 저가이고 크기가 작고 간편해서 손쉽고 빠른 측정을 할 수 있다는 것이다.

다음은 방사능 센서를 사용하는 형태이다. 이 센서는 주변의 공기를 이온화시킨다.이 계

측기가 전기장에 노출되면 전기장의 크기에 비례해서 전류가 흐르게 된다. 이것은 매우 간단하고 안정된 DC 계측기이다. 그러나 방사능 물질에 대한 공포와 방사능 물질의 반감기 때문에 매년 제조회사에서 방사능 물질을 교체해야 한다는 점이 단점으로 남는다.

AC 캐리어형은 가장 보편화된 고효율의 계측기로 AC 신호는 전기장에 있는 픽업 프로브의 정전 용량을 변조함으로써 생성된다. 여기에는 보통 하나 내지 두 가지 방법을 사용한다. 첫 번째는 장시간 측정용으로 정전위 측정기의 콘덴서를 변조하는 것이다(그림 4.1 참조). 이것은 전기장에 수직으로 진동하는 전극을 사용한다. 좋은 진폭 변조의 안정성을 유지하기 위해서 안정된 상태를 유지해야 한다. 이것은 진폭 변조의 변화로 인해 생기는 변수들의 보정을 최소화하는 피드백 기술을 사용함으로써 얻을 수 있다. 이 계측기는 1~2in³의 크기를 갖는 작은 크기로 만들 수 있으므로 극히 적은 전력이 필요하다. 일반적으로 반응속도는 0.5초이다. 두 번째 AC 캐리어형 정전위 측정기는 전기장을 가르는 회전자와 전극의 역할을 하는 고정자를 사용하는 형태로 디자인과 원리가 간단하다. 단점으로는 크기가 크고 모터 수명에 한계가 있다는 것이다. 반응속도는 회전자의 회전속도에 따라 다르다.

상품화된 정전위 측정기는 SIMCO사의 모델 'FM-300'과 'SS-2X'(그림 4.2), Static Control Service사, Ion System사의 모델 'Nilstat 775'등이 있으며 가격은 1백만원 내외이며 소형으로 사용하기 간편하다.

4.2 Charge Plate Monitor

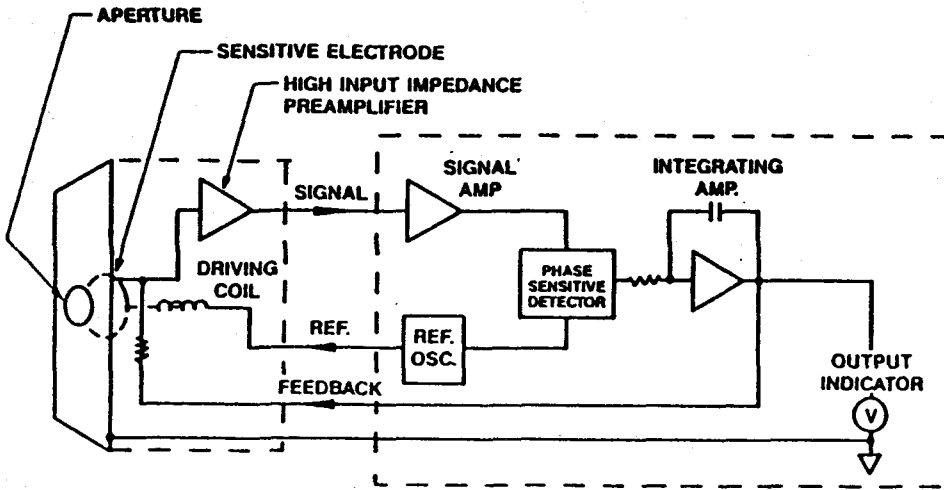


그림 4.1 정전위 측정기의 블록 다이어그램(Block Diagram)

정전기 측정기 FM-300형

규격 : 67 × 110 × 32mm

중량 : 0.2kg

측정범위 : 0~50kv

대전량을 Digital로 표시. 대전량에 따라서 측정 Range는 Alarm과 함께 자동적으로 바뀌짐. 응답속도 1초이하.(특허)



정전기 측정기 SS-2X형

규격 : 137 × 183 × 77mm

중량 : 0.63kg

측정범위 : 0~200kv

0~4,000kv/M

경량으로 콤팩트하며 Solid한 설계. 전위(V)와 전계(kV/M)을 동시에 읽을 수 있다.

직독식 대형 Meter를 장비.

(UL.방폭규격인정품)

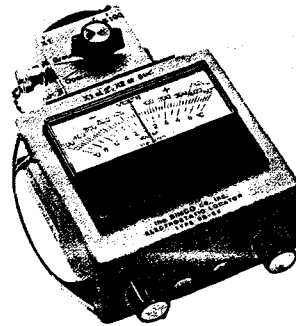


그림 4.2 SIMCO사의 정전위 측정기 모델

이온을 생성하는 어떤 장치나 시스템을 안정성을 보장하기 위해서 시험과 계측이 선행되어야 한다. Charge Plate Monitor는 이온화 장비의 이온 균형(Ion Balance)과 완화 시간(Static Neutralization Times)을 시험하기 위해 디자인된 계측기이다. 이것은 플러스와 마이너스의 고전압 공급기에 연결되어진 일정한 크기와 공간의 금속판 고전압 릴레이(Relay)의 연결을 통해서 고전압 전원 공급기의 플러스와 마이너스에 접촉된 접지의 공간으로 이루어져 있다. 그리고 그 금속판은 접촉되지 않은 필드미터(일반적으로 AC Carrier Type)에 의해 표시된다. 이온 균형은 공기 이온으로부터 격리된 금속판으로 전해진 전압의 모니터링을 체크함으로써 이루어진다. 하지만 금속판에 나타난 전압은 양이온과 음이온의 순수 전위차이고 실제 이온의 양은 알 수 없다. 그 금속판 또한 내부 전원 공급기와 그 금속판이 중화하는데 걸리는 시간의 타이밍에 의해 결정되는 양과 음의 완화 시간에 의해 대전될 수 있다. 접지에 대해서 그 금속판의 정전 용량은 고려되어야만 하고, 높은 용량은 보다 많은 에너지를 축적할 것이고 따라서 길어질 완화 시간 동안 많은 이온이 이온화되어질 것이다.

만약 대전판과 접지간의 거리가 일정하게 유지되고 외부 커패시턴스가 가해지지 않는다면 금속판의 면적이 변하더라도 완화 시간에는 별 영향을 주지 않는다. 그러나 이것은 일상적으로 그 판에 부가시켜 주는 스위칭 릴레이들과 개방 접촉할 때는 아니다. 구해진 완화 시간을 다른 Charge Plate Monitor들과 비교할 때 그 정전 용량, 판면적, 접지와와의 거리, 그리고 판 모서리들의 반경은 그

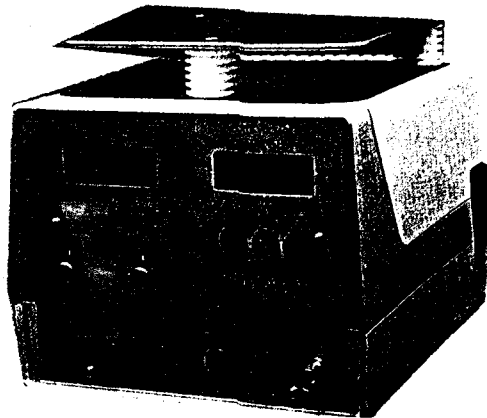
결과들에 영향을 줄 수 있도록 고려되어야 한다.

IES(Institute of Environmental Sciences)는 Charge Plate Monitor의 공업 기준을 세웠으며 이온라이저의 성능 시험의 기준과 방법을 마련했다. 그 기준은 대전판 크기를 지상에서 1인치 떨어지고 총 정전 용량이 20pf인 6×6인치가 되어야 한다고 명기한다. 대전판이 5kV로 대전되어서 그 대전량의 10%인 500V로 대전 전위가 완화되는 시간을 완화시간이라고 한다.

상품화된 Charge Plate Monitor 생산업체는 Ion Systems사와 Static Control Services사가 있다. 그림 4.3에서는 Static Control Services사의 모델 'TI 7000'의 모습과 자세한 규격을 나타낸 것이다.

4.3 이온카운터(Ion Counter)

공기 중 일정한 부피 내의 이온수는 공기 이온 카운터로 측정된다. 그림 4.4와 그림 4.5는 공기 이온 카운터의 모습과 원리를 나타낸 것으로 이 계측기는 공기의 1cm³ 내의 이온 밀집도를 측정하는 것인데, 용적 측정의 방법은 이온을 극성과 이동성의 크기에 따라 분별한다. 내부 송풍기(Blower)는 주변 공기를 주어진 비율로 계측기 내부의 직사각형으로 결합된 평행한 콜렉터 판들의 연결을 관통시키도록 한다. 콜렉터 판 상호간은 DC 전류가 부과된 추가 판들의 연속인데, 극판들의 전위차는 콜렉터 판의 이온들이 그 전계에 들어갈 때 같은 극성의 이온들의 굴절력을 적용하는 전계를 형성한다. 이온들이 가까운 콜렉터 판으로 굴절할 때 이온들의 전위를



Specifications

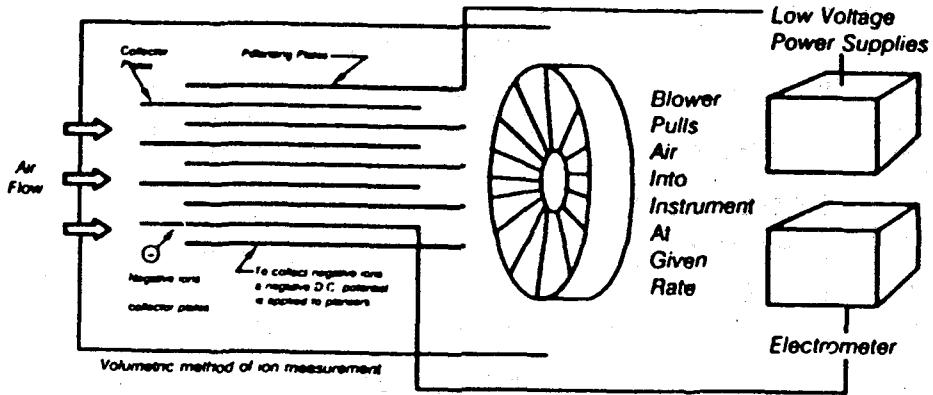
Power supply	$\pm 1000v / \pm 5000v$ charging of isolated plate available adjustable 0 to $\pm 5000v$
Electrostatic Fieldmeter Range	Switch selectable, 0 to $\pm 7500v$ 0 to $\pm 2000v$
Accuracy	Better than 2%
Drift	Less than 0.4% per hour non-cumulative after 10 minutes stabilization
Speed of Response	Less than 100m sec/ 10% ~ 90% full scale either range
Bandwidth	60 Hz
Output	Divide input by 1000
Timer	Full scale 999.9 sec (> 16 min.), 0.1 sec resolution
Power requirements	110 to 120 VAC/220 to 240 VAC. 50/60Hz as required.
Size and Weight	Height 6-3/4", Width 6-3/4", Depth 9-1/2" (172mm x 172mm x 241mm) 5 lbs. (2.3Kg)

그림 4.3 Static Control Service사의 Charge Plate Monitor 제품(TI 7000)



Courtesy of Static Control Services, Inc.

그림 4.4 공기 이온 가운터(Air Ion Counter) 모습



The concentration or number of ions per cubic centimeter is determined by the following equation which converts the electrometer reading into ion concentration:

$$N = \frac{I}{qVA}$$

Where N = number of ions cm^3
 I = ion current (electrometer reading), amperes
 q = charge on one ion, coulombs (1.6×10^{-19})
 v = velocity of air flow through the collector (cm sec)
 A = effective entrance area of the collection plates (cm^2)

그림 4.5 공기 이온 카운터의 측정원리

콜렉터 판에 넘긴다 많은 이온들로부터 넘겨 받은 그 대전 전위의 합은 매우 민감한 전위 계로 측정할 수 있을 정도의 미세한 전류를 만든다. 그 전류는 계측기의 표시판으로 읽혀지는 ion/cm^3 로 바뀌지게 된다. 여기에는 여러 가지 다른 변형이 있지만 이 다른 방법들도 기본적으로 주어진 공기비 대 전자의 수를 측정하고 이것을 공기중 이온 농도(ion/cm^3)로 변환하는 방법이다. 이온카운터 생산 업체는 Ion System사, Static Control Services 사, Dan Science사(모델 83-1001A) 등이 있으며 최대 및 최소 이온 측정 농도와 분해능을 구매시 유의해야 한다.

4.4 표면 저항 측정기(Surface Resistivity Meter)

표면 저항 계측은 Surface Resistivity Meter를 사용해서 얻어지고 이 표면 저항은 Ω/m^2 로 표시된다. 물체는 그 표면 저항의 크기에 따라 Conductive($10^5\Omega/sq$ 이하), Static Dissipative($10^5\Omega/sq \sim 10^9\Omega/sq$), Antistatic($10^9\Omega/sq \sim 10^{14}\Omega/sq$)의 세 가지 종류로 나뉜다(표 4.1). 측정 방법은 여러 형태의 방법이 사용 가능하지만 전압을 두 평행한 레일 하나에 적용하고 두 레일간의 전류의 흐름을 나머지 한 Rail에서 알아내어서 그 표면의 저항을 구하는 방법을 주로 사용

표 4.1. 정전기에 연관된 도체·부도체의 구분

(a) 저항율 ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$)

10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}
도체	중간도체			절연체							
절연가능한 물체	불완전하지만 접지가능한 물체			접지 불가능 물체							

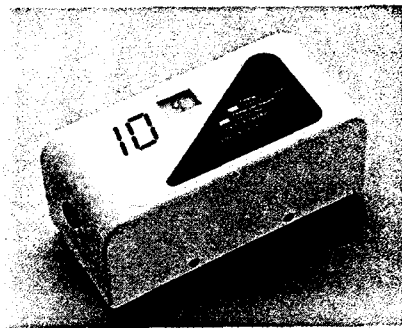
(b) 표면저항 (Ω)

10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^{10}	10^{11}	10^{12}	10^{13}	10^{14}	10^{15}
비대전성물질				중간물질			정전성물질				
전하제거가 가능				불완전하지만 전하제거가 가능한 물체			전하제거가 불가능				

한다. 그리고 ASTM Standard D257은 사용될 레일의 무게와 레일이나 동심원들에 대해서 적용 가능한 수식을 정의하고 있다. 그림 4.6은 SIMCO사의 모델 'ST-3'형 표면저항계로 Montrol Electronics사에서 판매하고 있다.

4.5 Ion Balance Meter

Ion Balance Meter는 주변의 이온 균형을 조사하는데 쓰이는 측정기로써 이온비를 측정할 때 Charge Plate Monitor보다 정밀하게 측정할 수 있다. 이 측정기는 Picoamp Meter에 부착된 전극으로 구성되어 있다. 그리고, 계측시 이온비의 차이에 비례하는 이온의 흐름을 생성하는 센서로부터 전자가 주어지거나 제거된다. 그림 4.7은 SIMCO사의 이온균



표면저항계 ST-3형
 규격 : 153×71×78mm
 중량 : 1.15kg
 측정범위 : $10^4 \sim 10^{12} \Omega/\text{sq}$ 또는 Ω
 피측정물의 위에 놓는것 만으로 도전성 대전방지소재, 제품의 표면저항치를 간단하게 측정하며 전극부터 접지까지의 총대전기저항의 측정도 가능.

그림 4.6 SIMCO사의 표면 저항계(ST-3형)



ES-2형 Static Analyzer

규격 : 304 × 102 × 267mm

중량 : 7.3kg

정전기제거장치 성능의 측정, 제전기의 이온 Balance의 판정등. 각종정전기대책 상품의 Test 장치.(EOS/ESD STD. 적합품)

그림 4.7 SIMCO사의 이온 밸런스(Ion Balance) 측정기

형을 측정하는 Ion Balance Meter 모습이다.

4.6 정전 용량 측정

정전하는 정전기가 대전되어 있는 물체를 절연된 금속 폐곡면으로 둘러싸게 되면 폐곡면의 내측 표면 및 외측 표면에 각각 대전 물체와 등량, 역극성의 전하 및 등량 동극성의 전하가 정전유도되므로 금속 폐곡면의 외측 전하를 측정함으로써 구할 수 있다. 또 대전 물체의 전하 Q에 동등한 금속 폐곡면의 외측 전하는 금속 폐곡면의 전위를 V, 대전 정전 용량을 C로 하면 쿨롱의 법칙에 따라 다음 식으로 산출할 수 있다.

$$Q = CV \quad (4.1)$$

앞에서의 금속 폐곡면은 대전 물체를 충분히 둘러싼다면 일부분에 개관구부가 있어도 무방하며 전하의 측정에는 패러디 게이지(Faraday Gauge)라고 불리는 절연된 금속 용기가 사용된다.

그림 4.8은 에어로졸 연구에 이용되고 있는 패러디 게이지 원리의 에어로졸 전위계이

다. 이것은 그림에서처럼 전위계의 필터로 구성된다. 필터에 의해 수집된 대전입자는 전류를 만들고 이 전류는 이 전위계로 측정된다(Whitby 1976). 패러디 게이지로 측정되는 전류 I는 다음과 같다.

$$I = (c_a^+ - c_a^-)Q = C_p Q \quad (4.2)$$

여기서 Q는 샘플 공기의 유량이고, c_a^+ 와 c_a^- 는 각각 양과 음의 대전 농도, C_p 는 입자의 순수대전 농도이다. 패러디 컵에 수집된 전하는 가우스법칙에 의해 유도된 전하이므로 필터가 전도성 물질로 이루어질 필요는 없다. 에어로졸 전위계는 특히 단극의 대전입자 즉 대전입자가 양 혹은 음의 대전입자에 상당하는 순수 전하 농도를 가진 입자의 전위를 측정하는 데 사용된다.

4.7 방전 특성 측정

정전기 방전에서 전형적인 것은 대전 물체와 이에 근접해 있는 접지 물체와의 방전이며, 이 방전은 착화 및 전격으로 발전될 가능성을 가지고 있다. 대전 물체와 접지 도체 사

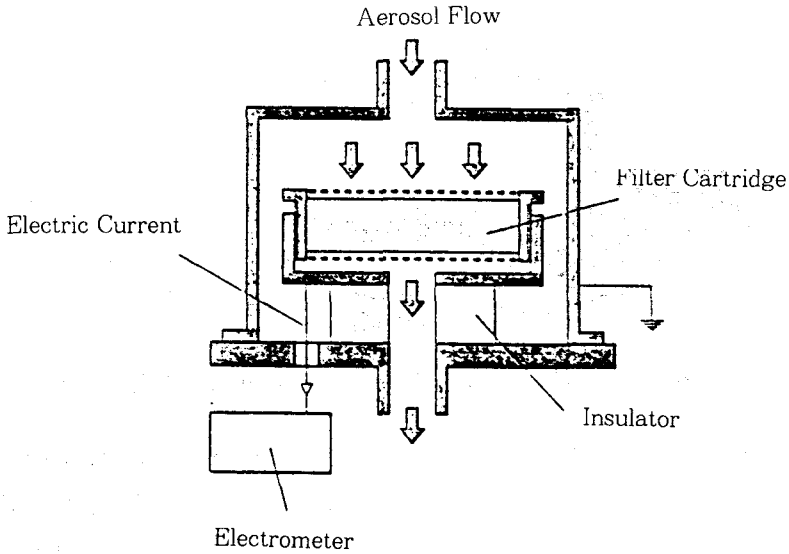


그림 4.8 정전용량 측정기기(Aerosol Electrometer)

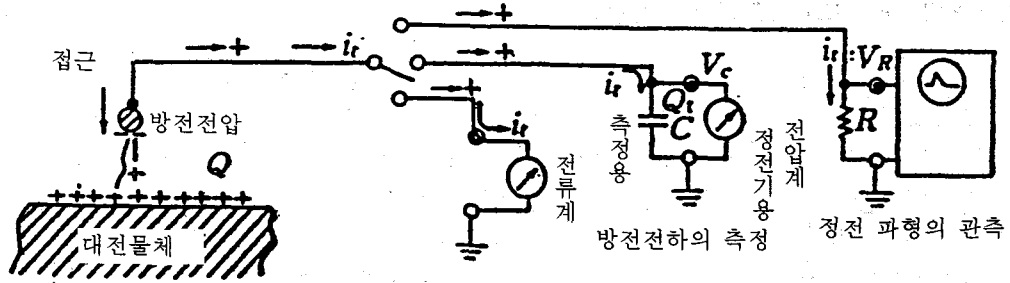
이에서 방전이 일어나면 방전 전하가 대지로 이동하므로 근접 도체(이하 “방전 전극”이라 한다)를 전류계 등의 각종 측정기를 사이에 두고 접지하여 두면 각종의 방전 특성을 측정할 수 있다. 코로나 방전과 같이 연속해서 일어나는 방전 특성은 직류 전류계를 사용하면 평균 방전 전류가 구하여진다.

Streamer 방전, 불꽃 방전 등의 간헐적인 방전 특성은 방전 전하를 커패시터에 축적하여 그 전위를 측정하면 방전 전하의 시간적 분량이 구하여진다. 또 방전 1회에 대한 방전 전하도 측정할 수 있다. 방전 특성은 저항을 통하여 방전 전하를 대지로 이동시켜 이것을 오실로스코프로 관찰하면 순시 방전 전류, 방전 파형, 방전의 종류 등 방전 특성에 관한 것들이 구하여진다.

방전 특성을 측정하기 위한 측정기는 그림 4.9와 같이 전류계, 정전기용 전압계, 오실로

스코프 등으로 구성되어 있다. 직류 전류계는 $10^{-9} \sim 10^{-3}A$ 정도의 측정 범위를 가진 것을 사용한다. 측정용 커패시터는 정전기용 커패시터를 사용하고 그 전압은 정전 전압계로 읽는다. 여기에서 커패시터의 정전 용량은 측정 전압이 10V 이하의 값으로 되는 것을 사용한다. 방전 파형의 관찰 등에 사용하는 저항은 오실로스코프에도 관계되지만 가능한 작은 것이 바람직하며 $100k\Omega$ 이하로 한다. 또 오실로스코프는 광대역인 것을 사용한다.

측정 방법은 그림 4.9에 나타내듯이 대전 물체에 방전 전극을 점차 접근시켜 방전을 일으켜 이때의 평균 방전 전류, 방전 전하 또는 방전 전류 파형 등을 그림 4.9와 같은 방법에 의하여 측정한다. 여기에서 방전이 일어났을 때의 방전 전극과 대전 물체와의 거리 및 방전 직전, 직후의 표면 전위 등은 동시에 측정하는 것이 바람직하다. 방전 전극은 측정



평균방전 전류의 측정

그림 4.9 방전의 측정

표 4.2. 정전기 관련 측정기기 회사

회 사	연 락 처	국내 대리점
SIMCO	658 日本神戸市東灘區住吉南町1丁目12-12 Tel : (81)078-851-9880 Fax : (81)078-851-7066	성지상사 Tel : 02-271-2677/8
Ion Systems, Inc.	2546 Tenth Street, Berkeley, California 94710, U.S.A. Tel : (1)510/548-3640 Fax : (1)510/548-0417	
SCS	870 Reaserch Dr., Bldg. #9 Palm Springs, CA 92262 U.S.A. Tel : (1)619-325-3211 Fax : (1)619-322-2073	
DAN 과학	192 日本東京都八王子市大和田町 1-9-2 Tel : (81)0426-46-1311	석영상사 Tel : 02-275-3782
TSI	500 Cardigan Road P.O.Box 64394 St. Paul, MN 55164 U.S.A. Tel : (1)612-483-0900 Fax : (1)612-481-1220	ABC 무역 Tel : 02-576-3161

의 목적에 따라 적당한 형상의 도체를 선택하여야 하지만 방전 전극은 일반적으로 금속의 계전극 또는 직경 1~30mm의 금속구 전극을 사용한다. 단, 계전기의 방전 특성을 조사할 때에는 계전 전극을 방전 전극으로 한다. 평균 방전 전류를 측정할 경우에는 측정기의 손상 방지를 위해 측정 중에 불꽃 방전을 일으킨다. 정전기 관련 측정기기 회사의 연락처는 표 4.2와 같다.

5. 측정 예와 고찰

5.1 반도체와 TFT-LCD 공정에서 정전기 측정예

표 5.1은 실제의 IC나 LCD의 생산공정에서 측정한 정전기의 일례이다. IC 공정에서는 웨이퍼가 액체와 접촉하는 공장에서 큰 대전이 일어나며, 테프론 카세트나 장치커버

표 5.1. 반도체와 TFT-ICD 공정에서의 정전기

IC 제조 공정		LCD 제조 공정	
세정후의 테프론 카세트	-4~20kV	Rubbing시의 기판	-2~20kV
Spin dry 후의 테프론 카세트	-8~35kV	Rubbing Roller	+1.2kV
Spin dry 후의 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	-1~2V
Spinner cover	+11kV	Air Knife 건조후의 기판	-2~20V
이온 주입기 cover	-17kV		
Air shower 후의 무진복	-0.2~4V		
식각공정	-2~2kV		

등 주변 물체가 웨이퍼 이상으로 대전되어 입자 흡착의 큰 원인이 되는 것을 알 수 있다.

5.2 Alternating Current Ionizer

알루미늄 판에 막대 저항을 통하여 10 μ J (2kV)로 대전시킨 후 이온기를 켜 놓은 상태에서 저항을 떼면 방전이 시작된다. 감쇄시간은 표준규격에 맞아야 하고 100V 이내로 조정되어야 한다. 그림 5.1은 그 결과이다. -의 전압이 +의 전압보다 감쇄시간이 오래 걸리는 것으로 나타났다. 또한 이온기의 한쪽 전극으로 치우쳐 기판을 가까이 근접시키면 오히려 해로운 것으로 나타났다. 교류 정화기와 마찬가지로 Nuclear 타입을 시험한 결과 그림 5.2를 얻었다. 그림에서 보는 것처럼 +쪽으로 약간의 불균형이 존재하지만 50V를 넘지 않는다. +쪽의 치우침은 He Ion으로 인한 것으로 보이지만 시간적으로는 변하는 이유는 밝혀지지 않았다.

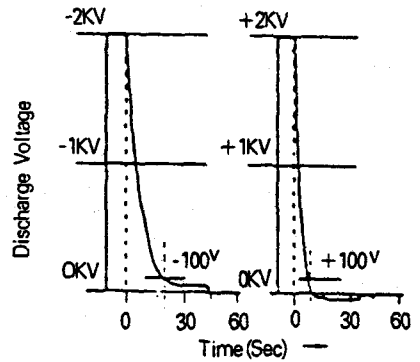


그림 5.1 이온 정화기의 측정

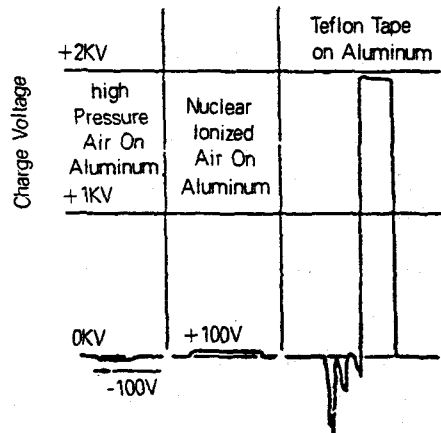


그림 5.2 접촉성 대전 실험

5.3 고압력 공기 분사

고압력으로 분출되는 공기는 물체 표면을 대전시키는 것으로 알려져 있었는데 실제로 먼지 입자가 있는 경우는 대전이 일어난다. 그 예로 Sand-Blaster를 들 수 있으며 용재를 증발시키거나 Piezoelectric 현상을 일으키는 경우를 들 수 있다. 이를 제외하고는 공기 분자가 충돌에 의하여 이온화되어야 하는데 kV 정도의 고전장이 필요하다. 그러나 CO₂ 등의 가스는 수증기를 얻게 하며 이 때는 정전기가 발생될 수 있다. 그림 5.2에서 작업장의 공기나 건조한 질소 라인에 행한 실험 결과를 보인다. 90 lbs/in²의 압력의 공기 흐름 속에 알루미늄 판을 놓고 측정한 결과 아주 미미한 대전이 일어났고, 이것도 작업자의 의복이 대전된 이유인 것으로 분석된다. 결국 공기의 흐름이 전전을 유발할 것을 우려 이온기를 배치해야 한다는 발상은 그 속에 이온화된 먼지 입자를 제거해야 할 때를 제외하고는 정당하다고 할 이유가 없는 것이다.

5.4 테프론 테이프

테프론 자체는 공기 흐름에 접촉성 전전을 일으키지는 않지만 손이나 알루미늄에 접촉되면 심각한 전전을 일으킨다. 그림 5.2에는 12인치, 길이에 4인치 폭의 테이프를 가지고 한 실험 결과이다. 첫 번째 피이크는 알루미늄 판 위에 1/4 인치로 근접시켰다 제거한 것이며, 두 번째는 모서리에 접촉시켰다가 멀리 한 경우, 세 번째는 모서리에 접촉시킨 채로 3인치 미끄러져 얻은 전압이다. 테이프의 양면을 알루미늄 판 위에 여러번 미끄러뜨리

면 판의 전압은 +, 0, -의 여러 값을 가질 수 있다. 여기에는 알루미늄 판이 테이프의 반대 극성과 중화되는 효과와 상호간의 접촉성 대전의 효과가 작용되는 것이다. 이상의 결과로 알 수 있듯이 접촉성 대전(Trib-charging)은 예측할 수 없는 현상이다.

5.5 Heat Gun

그림 5.3에서 보는 것처럼 Heat Gun은 약간의 정전기를 발생시키는 것으로 나타났고 그 크기는 Gun의 와트 수에 따르고 있다. 또 표면에 따라 대전되는 정도가 틀리게 됨이 밝혀졌다.

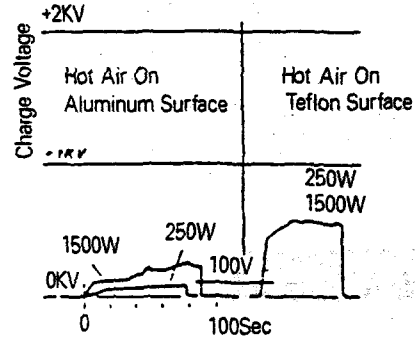


그림 5.3 더운 공기의 접촉성 대전 실험

6. 결 론

전기 전자 산업은 물론 기타 생산 현장에 있어서 정전기 제어의 중요성이 점점 더 높아진다는 것은 목과할 수 없는 사실이다. 그러나 정전기에 수반되는 현상은 재현성을 얻기가 어려우므로 간단하게 효과적인 대책을 수행하는 것은 대단히 곤란하다. 따라서 효과적인 정전기 제어를 위해서는 정전기에 취약한 공정과약이 매우 중요하고 이론적인 연구

와 동시에 사용자, 공조 설비업체가 협력하여 실제적인 측정을 통해 분석하는 것이 필요하며, 정전기 관련 측정장비를 제대로 이해하고 용도에 맞게 적절히 사용하여 반복적인 측정과 측정 환경 조건을 토대로 정전기 관련 데이터 베이스화하여야 한다.

- 참고 문헌 -

1. Ion Systems, Inc., NilStat ; A higher technology of static control for higher productivity, 1987.
2. McCraty, R., "Electrostatics in Clean Room", in Handbook of Contamination Control in Microelectronics, ed. Donald L. Tolliver, pp. 153~184., New Jergey : Noyes Publications., 1988.
3. Simco Japan SIMCO 정전기대책상품, 1994.
4. Static Control Services INC., Ionization and the Semiconductor Industry. 1991.
5. TSI Incorporated., Particle Technology, 1987. .
6. Whitby, K.T., "Single Particle Optical Counter : Principles and Applications", In Fine Particle ; Aerosol Generation, Measermnt, Sampling and Analysis, ed. B.Y.H. Liu, pp. 581~624., New York : Academic Press., 1976.
7. Willeke, K. and Paul A. Baron, Aerosol Measurement : Principles Techniques and Applications, New York : Van Nostrand Reinhold. 1992.
8. 김광영, TFT-LCD 제조공정에서의 정전기 문제와 이온나이저에 의한 대책, 공기청정기술 제7권 제3호(1994).
9. 한국산업기술학회, 정전기 장해(ESD) 원인 분석과 시험 측정, 1995.
10. 株式会社 ダン科學, 공기 이온카운터 Model : 83-1001B 技術資料.

투고 환영

계간 「공기청정기술」지는 클린룸 업계의 발전을 위하여 보다 많은 클린룸 관련 기술자 여러분의 투고를 기다리고 있습니다.

각종 기술자료를 보내주시면 엄선하여 본 연구조합 기술지에 게재하여 드리고 소정의 고료를 보내드리겠습니다. 또한 본 기술지는 95년도부터는 "업계동정"란을 신설하여 업계의 단신을 수시로 접수, 게재코저하오니 우리 모두의 업계를 가꾼다는 마음으로 사소한 소식이라도 송부하여 주시기 바랍니다.