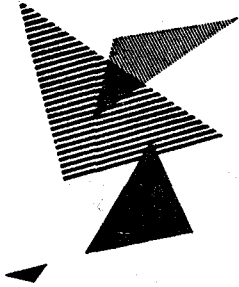


슈퍼클린룸에 있어서의 입자 오염방지와 대책



I. 입자의 침착(沈着)과 정전기의 영향

1. 클린룸에 있어서의 입자의 침착현상

각종 물체 표면에 대한 입자의 침착현상은 클린룸계의 여러 곳에서 볼 수 있다. 초청정공간을 만들어 내는데 가장 중요한 역할을 하는 에어필터(공기여과기)는 섬유의 집합체인데 입자는 각각의 섬유표면에 침착, 포집되어 공기가 깨끗하게 되는 것이다. 또한 클린룸계에는 여러가지 관로(管路)가 배치되어 있는데 이곳을 통과하는 공기나 프로세스가스(process gas)중에 포함되는 입자의 관벽에 대한 침착과 재비산은 오염을 일으키는 원인이 된다. 그위에 클린룸내에서는 현실적으로 작업을 하고 있으므로 발진(發塵)은 피할 수 없고 입자는 공기의 흐름에서 벗어나서 어딘가의 벽에 침착한다. 침착장소가 LSI 등의 미세가공 공정이나 고순도제품의 제조공정으로 되면 직접 제품의 수율이나 품질에 영향을 준다. 한편 액체중의 미립자는 유체저항이 크기 때문에 액체의 흐름을 따라가기 쉬우므로 기체중의 입자에 비해서 용기벽이나 관벽에 침착하기 어려울뿐만이 아니고 부착된 입자도 씻어내는 효과가 있지만 예컨대 입자를 포함하지 않는 초순수로 세척해도 벽면에 물에 녹기 쉬운 물질이 있으면 물속으로 녹아 들어가서 건조된 후에 벽에 석출(析出)되어 오염의 원인으로 되는 일이 있다.

여기서는 운동이 더욱 복잡한 기체중의 미립자에 착안해서 청정화 기술의 기초가 되는 입자의 침착현상을 규명하는 동시에 침착에 극히 큰 영향을 주는 입자와 벽사이의 정전기력에 착안해서 최근 1~2년 사이에 현상의 해명이 급속하게 발전한 웨이퍼로의 입자의 침착에 대해서 설명하고 다시 필자들의 최근의 연구중에서 원형관 내벽에 대한 대전된 입자의 침착과 에어필터에 의한 입자의 정전포집을 정리해서 소개하기로 한다.

2. 입자의 벽에 대한 침착기구와 평면벽에 대한 침착량 추정식

기류중의 입자는 어떤 요인에 의해서 기류에 대해서 상대운동을 일으킨다. 가까운 곳에 벽이 있으면 이 상대운동이 원인이 되어 입자는 벽표면에 도달하여 부착한다. 입자의 벽에 대한 침착의 기구(機構, mechanism)로는 관성, 브라운 확산, 중력침강, 차단 등의 기계적인 요인 이외에 입자 또는 벽이 대전되어 있는 경우에는 정전기 인력이 작용한다. 클린룸내의 입자에 국한해서 생각하면 입자의 크기는 대개 2~3 μm 이하, 기류속도는 50 cm/sec 이하로 생각할 수 있으므로 비대전입자의 침착기구로서 브라운 확산과 중력만을 고려하면 좋다. 일반적으로는 0.1 μm 이하의 입자에 대해서는 양자를 동시에 고려해서 계산해야 한다. 브라운 확산, 중력, 정전기력을 동시에 고

려하는 경우의 단위시간, 단위면적에 대한 침착입자수 Ψ (침착 후력스(flux))는

$$\Psi = -D(\partial n / \partial z) + (V_g + C_c F_e / 3\pi\mu d_p) n \quad (1)$$

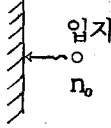
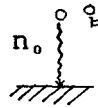
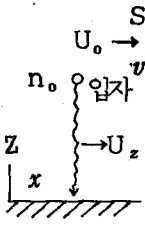

으로 주어진다. 여기서 $D = C_c KT / 3\pi\mu d_p$ 는 입자의 브라운 확산계수, n 은 입자농도, Z 는 입자의 이동방향 거리, $V_g = C_c \rho_p d_p^2 g / 18\mu$ 는 입자의 중력하에서의 최종 침강속도, F_e 는 정전기력, μ 는 공기의 점도, T 는 절대온도, K 는 볼츠만상수 (Boltzmann's constant), C_c 는 커닝햄의 보정계수, ρ_p 는 입자밀도, g 는 중력가속도이다.

입자의 각종 벽에 대한 침착후력스 Ψ 는 입자의 대류확산방정식을 풀어서 얻어진 벽부근의 농도분포로부터 식 (1)을 사용해서 구할 수 있다. 표 1에 정지되거나 또는 흐르고 있는 유체중에서의 입자의 평면벽에 대한 확산 및 중력에 의한 침착후력스 Ψ 의 추정식을 나타낸다.

3. 웨이퍼워로의 입자의 침착과 정전기력의 영향

원판모양의 웨이퍼표면에 대한 입자침착량의 계산은 Liu & Ahn³⁾의 보고(1986년) 이래 각지에서 활발한 연구가 진행되어 금년의 제 9회 Contamination Control 국제회의(9월 27일~29일, 로스앤젤레스)에서도 두개의 Session으로 채택되었다.⁴⁾

표 1. 평면벽에대한 입자침착후력스의 이론식

<p>(1) 수직벽 (정지매체)</p>  $\varphi = n_0 \sqrt{\frac{D}{\pi t}}$ $D = C_c kT / 3\pi\mu d_p$ <p>브라운확산계수</p>	<p>(2) 수평벽 (정지매체)</p>  $\varphi = n_0 \left\{ \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \exp\left(-\frac{V_g^2 t}{4D}\right) + \frac{V_g}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{V_g t}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \right\}$
<p>(3) 수평벽 (수평층류)¹⁾</p> $\varphi = 0.34 D n_0 \left(\frac{U_0}{\nu x}\right)^{1/4} S_c$ <p>$S_c = \nu/D$: 슈미트수 U_0: 공기의동점도</p> 	<p>(4) 수평벽 (수직층류)²⁾</p> $\varphi = \frac{(Dn_0/\delta) \exp[P_e/6 + (\delta+1)^2 + G_r\delta]}{\int_0^\infty \left\{ \exp\left[-\frac{P_e}{6}(H+1)^2 + G_r H\right] \right\} dH}$ <p>$H = (Z-r_p)/r_p, P_e = (4/D)(r_p/R)^3 Ru_0 \bar{\alpha}$ $U_z = -\bar{\alpha} Z^2, G_r = 2(P_p - \rho_f) g r_p^2 / q\mu D$ r_p: 입자반경, $\delta = 0.5 \sim 1 \text{ nm}$</p> 

일본에서도 藤井들⁵⁾ 과 阪田들⁶⁾이 치밀한 계산을 하고 있는데 이들의 결과를 종합하면 Liu & Ahn이 처음에 제안한 결과와 큰 차이가 없고 실험데이터⁷⁾도 거의 이것을 증명하는 결과로 되어 있다. 이하 현단계에서 가장 타당한 것으로 생각되는 침착량 추정결과를 소개하기로 한다.

Liu & Ahn은 Sparrow들이 얻은 나프 타린을 원판위에서 승화시킬때의 물질이동의 실험식^{3),8)}을 웨이퍼위로의 확산 침착에 적용하였다. 지금 가장 표준적인 수직 층류형 클린룸을 생각해보자. 수직하부로 흐르는 기류에 대하여 수평 및 수직으로 놓인

웨이퍼위로의 입자의 브라운 확산에 의한 평균 침착속도 \bar{V}_D 는 각각 다음 식으로 주어진다.⁸⁾

$$\text{수평} : \bar{V}_D = 1.08 \frac{D}{Dw} SC^{1/3} Re^{1/2} \quad (2)$$

$$\text{수직} : \bar{V}_D = 0.379 \frac{D}{Dw} SC^{1/3} Re^{1/2} \quad (3)$$

여기서 $SC = \nu/D$ 는 슈미트수, $Re = uDw/\nu$ 는 웨이퍼직경 Dw 를 기준으로 하는 레이놀즈수로서 모두 무차원수이다. 또한 $\nu = \mu/\rho$ 는 동점도 [m^2/S], ρ 는 공기 밀도 [kg/m^3]이다.

한편 중력에 의한 입자의 침강속도 $V_g =$

$$\text{는 } V_g = C_c \rho_p d_p^2 g / 18\mu \quad (4)$$

그위에 입자가 대전되어 있는 경우 n_p 개의 단위전하 $e [c]$ 를 갖는 대전입자 (전하 $q = n_p e$)는 전기장도 $E [V/m]$ 하에서 정전기인력 (쿠울롱의 힘) $F_e = n_p e E$ 가 작용하므로 유체저항 $R = 3\pi\mu d_p V / C_c$ 와 같게 놓으므로서 정전침강 속도는 $V_e = C_c n_p e E / 3\pi\mu d_p$ 가 된다. 그러나 웨이퍼 표면에서는 일반적으로 전기장도 E 에는 분포가 있으므로 평균치를 \bar{E} 로하면 阪田들⁶⁾에 의하면

$$\begin{aligned} \bar{E} &= \frac{1}{S} \int_S E ds \\ &= \begin{cases} 5.69 V/Dw : \text{도체표면} \\ 3.53 V/Dw : \text{유전체표면} \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

으로 주어진다. 식(5)를 사용하면 웨이퍼표면에서의 평균정전 침강속도 \bar{V}_e 는

$$\bar{V}_e = C_c n_p e \bar{E} / 3\pi\mu d_p \quad (6)$$

가 된다. 결국 브라운 확산, 중력, 정전기

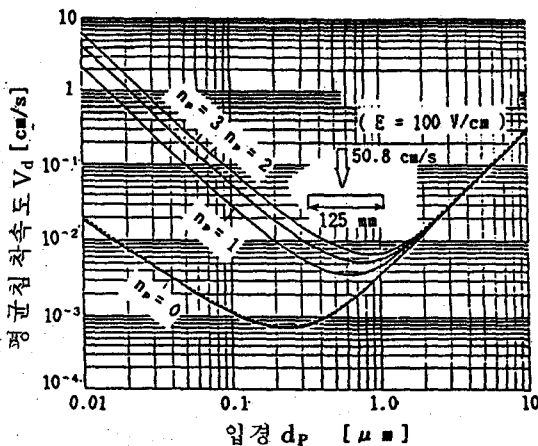


그림 1. 전기장도 $E = 100 V/cm$ 일때의 웨이퍼상에서의 입자침착 속도

력을 모두 고려한 웨이퍼 표면상에서의 평균 입자 침강속도 \bar{V}_d 는 다음 식에 의해서 계산할 수 있다.

$$\bar{V}_d = \bar{V}_p + \bar{V}_g + \bar{V}_e \quad (7)$$

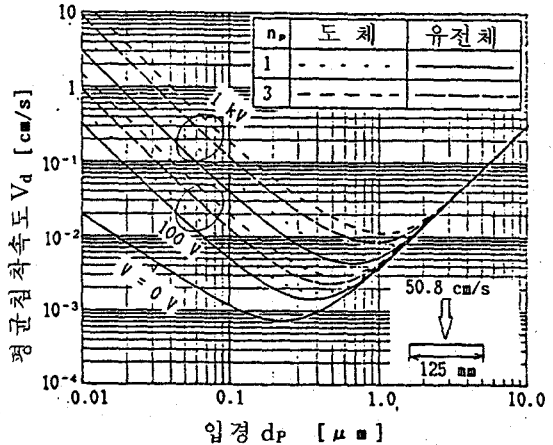


그림 2. 도체 및 유전체 웨이퍼상에서의 입자침착속도

평균 전기장도 $\bar{E} = 100 V/cm$ 를 하고 입자 대전수 n_p 를 지표로 해서 침착속도 V_d 를 입경 (粒徑) d_p 에 대해서 그린 결과를 그림 1에, 식(5)에 따라서 웨이퍼전압 V 를 지표로 해서 그린 결과를 그림 2에 나타낸다.⁶⁾ 두 그림에서 $d_p > 1 \mu m$ 에서는 중력에 의한 침착이 지배적으로 되고 또한 $d_p < 0.5 \mu m$ 에서는 확산 또는 정전기력에 의한 침착이 지배적으로 된다. 특히 이 영역에서는 입자, 웨이퍼 모두 대전되어 있으면 침착속도가 비약적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 두 그림의 $d_p < 0.1 \mu m$ 에 있어서의 $n_p = 0$ 및 $V = 0$ 의 좌측에서 올라가는 선도는 식(2)에 따르지만 藤井들에 의하면 난류확산을 고려하면 일치하고 산란 (散亂)이 없

는 완전충류 상태에서는 1/5 ~ 1/8 정도의 낮은 값을 나타낸다.⁵⁾

이상의 침착속도 추정선의 실험적인 검증은 내외의 연구자에 의해서 활발하게 이루어지기 시작하였다. 藤井들은 레이저 원격 계측의 방법에 의해서⁵⁾ 阪田들은 같은 레이저에 의한 가시화에 의해서⁶⁾ 각각 침착한 입자의 개수를 세는 것에 의해서 침착후력스 Ψ (개/ $m^2 \cdot sec$) 및 부유입자의 농도 N (개/ m^3) 으로부터 다음 식에 의해서 침착속도를 구하였다.

$$V_d = \Psi / N \quad (8)$$

가시화에 의해서 구하고 있으므로 계측방법으로는 가장 신뢰성이 높지만 $0.3 \mu m$ 이상의 입자에 대해서 밖에 검증할 수 없는데에 한계가 있다. 이들의 폴리스티렌 라텍스 (PSL) 에 의한 실험데이터는 이 입경범위에서는 계산결과의 타당성을 거의 증명하고 있다. 필자들은 DMA (Differential Mobility Analyzer) 를 사용해서 전기 이동도의 차이에 따라서 분급 (分級) 한 $0.05 \sim 0.3 \mu m$ 범위의 단분산 로다민 (rhodamine) B 입자를 웨이퍼 표면에 침착시키고 용출한 후 형광분광 광도계에 의해서 측정하는 방법으로 Ψ 를 구해서 V_d 를 입경마다 구하였다. 실험데이터와 전기한 추정선을 비교한 것을 그림 3에 나타낸다.⁷⁾ 실험데이터는 편차가 있지만 추정선의 타당성을 거의 증명하는 것을 알 수 있다.

슈퍼클린룸에 있어서의 입자오염방지와 대책 / 9

이상으로부터 알 수 있는것 같이 웨이퍼 표면에 대한 입자침강량은 입자의 대전상태에 크게 의존한다. 클린룸내의 입자의 대전상태는 입자의 생성과정에 의존하지만 일반적인 대기입자의 대전상태와 거의 같은 것으로 볼 수 있다. 대기중에는 주로 우주선에 의해서 생성하는 $10^2 \sim 10^3$ 개/ cm^3 정도의 정부 (正負) 양극이온이 존재하고 이들이 입자와 충돌을 반복해서 최종적으로는 그림 4에 나타내는 것과 같은 평형대전 상태로 된다. 이것을 보면 모든 입경에 대해서 정부 거의 동등하게 대전되고 입경이 작을수록 비대전 입자의 수가 많아지는 것을 알 수 있

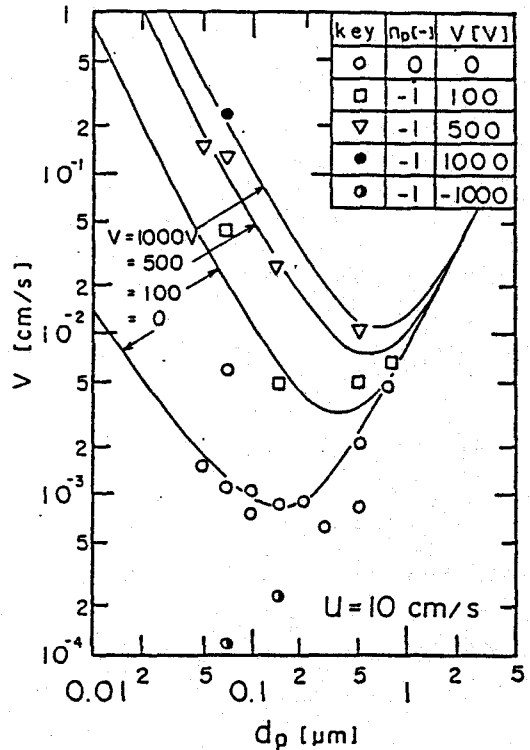


그림 3. 웨이퍼에 일정전압을 인가할때의 대전 비대전 입자의 침착속도

다. 그림 5 에는 평형대전 상태로서 볼츠만 분포를 가정할때의 침착속도 \bar{V}_a 를 나타낸 것으로서 식 (2), (4), (6), (7)을 사용한 계산결과이다.⁶⁾ 실험적으로는 아직 검증되어 있지 않으나 특히 $1 \mu\text{m}$ 이하에서 공기중의 대전입자의 침착의 영향이 큰데 공기중의 이온의 제거가 웨이퍼로의 입자침착을 감소시키기 위한 대책의 하나라고 한다.

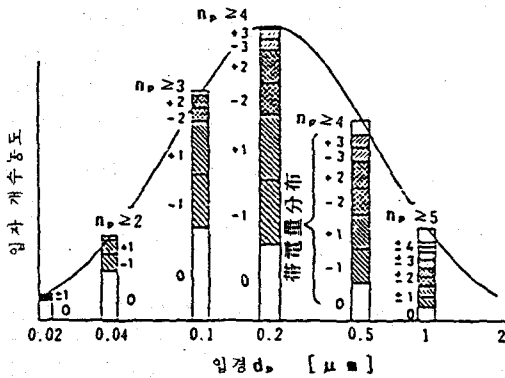


그림 4. 정 및 부의 이온중에서의 입자의 평형대전량 분포

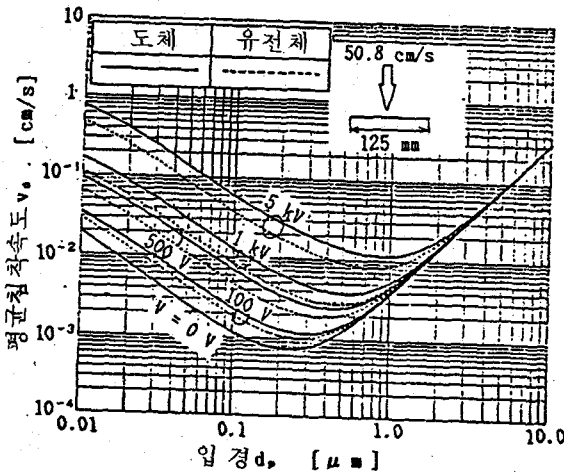


그림 5. Boltzmann 평형대전입자의 웨이퍼상으로의 침착속도

4. 대전입자의 각종재질 벽에 대한 침착 각종 물체 표면에 대한 입자의 침착현상

은 물체의 재질, 특히 표면의 대전상태에 크게 좌우된다. 여기서는 도체 및 유전체로 구성되는 6 종류의 시판되는 원형관내에 비대전 및 대전입자를 통과시켜서 입자의 관벽에 대한 침착량을 측정된 필자들의 최근의 연구 결과⁹⁾를 대략 설명하기로 한다. 사용한 관은 동관, 유리관, 아크릴 (PMMA)관, 염화비닐 (PVC) 관, 폴리카보네이트 (PC) 관 및 폴리에틸렌 (PE) 관이다. 실험장치의 계통도 (flow Chart)를 그림 6에 나타낸다. 먼저 입자발생부에서 NaCl수용액을 분무하고 건조시킨후 DMA로 $0.01 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 범위의 단분산입자로 분급한 후 입자대전량 조정부에서 비대전, 평형대전, 1개대전, 복수개대전 입자로 해서 시험관에 보내준다. 관내벽에 대한 입자침착량은 관의 입구, 출구의 에어로졸농도 C_i, C_o 를 응축핵 계수기 (CNC ; Condensation Nucleus Counter)로 측정해서 얻어진 투과율 $P(C_o/C_i)$ 를 입자 침착속도 V 로 환산해서 간접적으로 구하였다. P 와 V 사이에는 관내를 층류로 흐르는 것으로 가정하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$V^* = V / \bar{u} (2R/3L) \{ 2 - 3(1 - \sqrt{1-p})^{1/2} + (1 - \sqrt{1-p})^{3/2} \} \quad (9)$$

여기서 V^* 는 무차원 침착속도, \bar{u} 는 관내 평균속도, R 은 관내 반경, L 은 관의 길이이다.

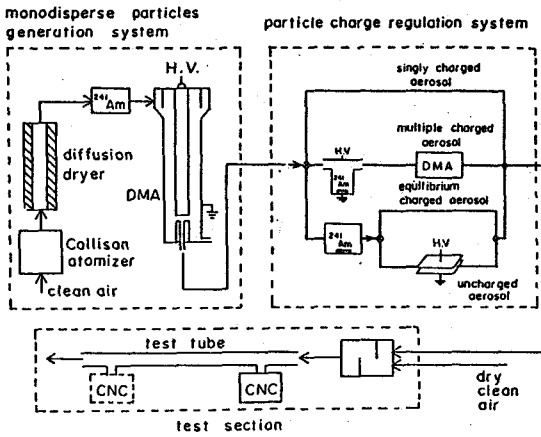


그림 6. 관벽 침착량측정을 위한 실험장치

먼저 동관에 대한 입자투과율 P의 실험 결과를 그림 7에 나타낸다. 도체인 동관의 경우 입자대전 유무에 불구하고 원형관내를 흐르는 에어로졸입자의 확산침착에 관한 다음 Gormley & Kennedy의 식¹⁰⁾과 거의 일치하고 정전기력의 효과는 무시할수 있는 것을 알 수 있다.

$$P = 0.8191 \exp(-3.657\beta) + 0.0975 \exp(-22.3\beta) + 0.0325 \exp(-57\beta) + \dots (\beta \geq 0.0312)$$

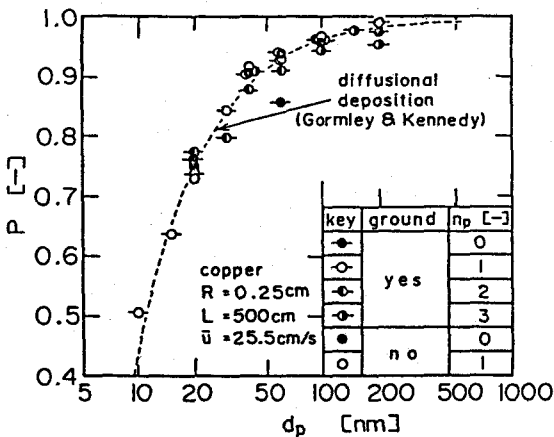


그림 7. 동관벽에 대한 대전입자의 침착

$$P = 1 - 2.56\beta^{2/3} + 1.2\beta + 0.177\beta^{4/3} + \dots (\beta < 0.0312) \quad (10)$$

$$\beta = DL/R^2\bar{u}$$

이에 대해서 도전체의 경우에는 그림 8에 나타내는 것같이 비대전입자 또는 유리관의 투과율은 동관의 경우와 같이 Gormley & Kennedy의 식(과선)에 따르지만 아크릴이나 염화비닐 등의 플라스틱관인 경우 대전입자의 침착량은 아주 많고 또한 관에 금속망을 감고 접지하면 투과율은 한층 낮아지고 입자의 벽에 대한 침착량이 많아지는 것을 알 수 있다.

또한 대기중의 입자와 같이 평형 대전입자(그림 4 참조)를 사용하면 그림 9에 나타내는 것같이 비대전입자보다도 약간 많이 벽에 침착한다. 대전입자의 이와같은 원관내벽에 대한 침착현상은 대전입자와 벽 표면전하와의 사이에 작용하는 쿨롱의 힘으로 설명할 수 있는데 벽의 표면전하 밀

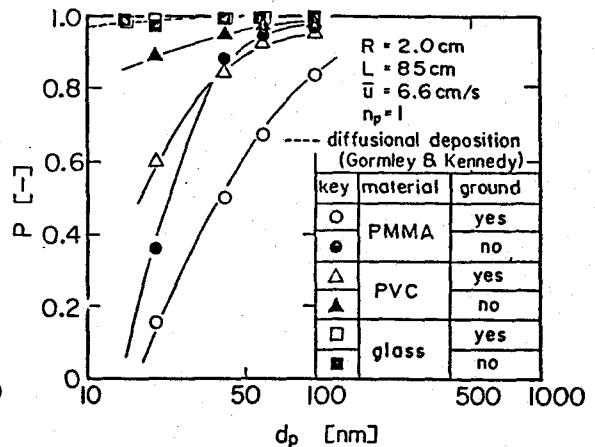


그림 8. 각종 재질관벽에 대한 대전입자의 침착

도 σ [C/m^2]를 적당하게 정하면 모든 데 이타는

$$V^* = K_c \quad (11)$$

의 형태로 정리되는 것을 알 수 있다.

여기서 K_c 는 쿨롱의 힘의 지표라고 하는 무차원의 수로서

$$K_c = C_c n_{pe} \sigma (6 \pi \epsilon_0 \mu d_{pu}) \quad (12)$$

로 표시된다. 여기서 ϵ_0 는 진공유전율이다.

식 (11)과 비슷한 관계식이 평면벽에 대한 침착에 대해서도 성립하는 것으로 생각되는데 이상에서 설명한 것으로부터 입자 침착을 감소시키려면 벽의 재질을 도체로 하거나 도전성의 도료로 접지시키면 좋다.

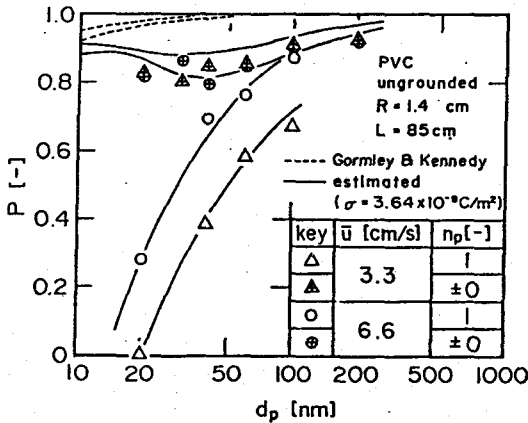


그림 9. 평형대전입자의 염화비닐 관벽에 대한 침착

5. 정전식 에어필터

이제까지의 설명과 달리 에어필터의 경우 집진성능을 향상시키기 위해서 정전기가 적극적으로 이용된다. 표 2에 정전식에

어필터의 각종 형식을 나타낸다. 그중에서도 여분의 설비를 필요로 하지 않는 대전 필터가 주목되고 있고 전하가 섬유내부에서 반영구적인 분극상태에 있는 일렉트렛 필터가 주목되고 있다.

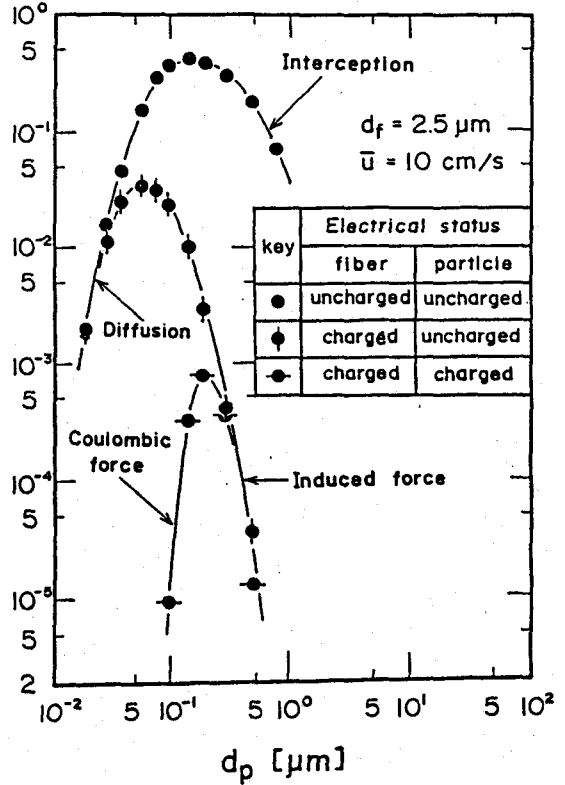


그림 10. 비대전필터의 입자투과율과 이와 같은구조의 일렉트렛필터의 입자투과율의 비교






일렉트렛 필터가 보통의 비대전 필터와 비교해서 어떻게 성능이 개선되었는지를 나타내는 예로서 그림 10의 입자투과율 측정 데이터가 있다. 이것은 섬유직경, 충전율, 두께등이 같고 섬유가 대전되어 있는지 아닌지 그리고 입자가 대전되어 있는지 아닌지에 따라서 집진성능이 개선되는 모습을 나타낸다.

슈퍼클린룸에 있어서의 입자오염방지와 대책 / 13
 래 이 점을 극복할 수 있는 재질이 다른 현
 재는 폴리 프로필렌) 대전필터의 개발이
 바람직하다.

-참고 문헌-

- 1) Levich, V.G.: "Physicochemical Hydrodynamics", Prentice Hall (1962)
- 2) Adamzyk, Z. and van der Ven, T.G.M. : Chem. Eng. Sci., 37, 869 (1982)
- 3) Liu, B.Y.H. and Ahn, K.H.: Proc. of 33rd Annual Technical Meetigs, Inst. of Environmental Sci., San Jose, California, May 4-8 (1987)
- 4) Proceedings of 7th International Symposium on Contamination Control, p.19~42, p.65~92 Los Angeles (1988)
- 5) 藤井修二、謝 国平、金 光映、 : 第6回エアロゾル科学・技術研究討論會論文集, p.28~31 大阪 (1988)
- 6) 阪田総一郎、地鯉鮒悟、井上正憲、吉田隆紀、岡田孝夫 : 同上, p.36~39.大阪 (1988)
- 7) 江見 準、金岡千嘉男、大谷吉生、加藤 薫 : 化学工学協会第21回秋季大会講演要旨集、
- 8) Liu, B.Y.H. and Ahn, K.H.: Aerosol Sci. & Techn., 6, 215 (1987)
- 9) 江見 準、金岡千嘉男、大谷 吉生、藤弥昭一 : エアロゾル研究, 2, p304~311 (1987)
- 10) Gormley, P.G. and Kenedy, M.: Proc. Roy. Irish Acad., 52A, 163 (1949)

표 2. 정전에어휠타의 형식

명 칭	대전상태		형 식
	입 자	섬 유	
대전필터	비대전	대전	 필터
	대전	대전	
유전필터	대전	비대전	
	비대전	외부전계	
	대전	외부전계	

비대전필터에서는 겨우 50% 정도의 포집효율이었던 것이 입자와 섬유가 모두 대전되어 있으면 99% 이상의 포집효율을 나타낸다.

이런 종류의 필터는 유기물질을 포함하는 미스트(mist)가 축적되면 효율이 낮아지는 경향이 있는 것등 문제점은 많지만 장

II. 클린룸의 정전기대책

1. 머리말

반도체공업에 있어서의 초LSI화, 바이오 테크놀로지(bio-technology)의 고도화에 따라서 더욱 고도한 공기청정화 기술이 필수조건으로서 요구되고 있는데 슈퍼클

린룸(ICR, BCR)의 개발은 틀림없이 이와같은 요구조건에 대응하는 것이다. 이미 학문수준에서는 서브미크론디바이스(Sub-micron device) 연구를 위한 극한을 목표로 하는 슈퍼클린룸이 실현되고 있다.

그위에 공기의 고청정화에는 여러가지 요소에 걸친 제어가 필요하고 정전기 대책도

그의 대책이 되는 제어계의 하나이다.

한편 ICR 및 BCR내에는 그의 특성에 따라서 플라스틱재료가 많이 사용되고 있는데 이때 전기절연체인 플라스틱 재료에 대한 도전성부여가 정전기 대책으로서 불가결하다.

이 글에서는 토탈시스템 (total system) 으로서의 정전기대책에 대해서는 관련문헌을 소개하는데 그치고 재료메이커의 관점에서 클린룸의 부재로서의 플라스틱에 대한 도전성부여에 대한 설계개념과 재료특성등을 중심으로 말하려고 한다.

2. 클린룸에 있어서의 정전기대책의 중요성

2-1. 클린룸의 제어대상과 정전기 장해
클린룸은 반도체, 전자, 정밀기기 분야에 대한 ICR, 식품, 의약품, 병원분야에 대한 BCR을 비롯해서 현재의 첨단산업의 분야는 물론이고 최근에는 주변산업으로까지 확대되고 있다. 특히 서브 마이크론 초LSI 제조를 목표로하는 반도체와 관련되는 ICR에서는 정밀화, 품질고급화, 고신뢰성화가 극한까지 요구되고 있고 클린룸에서 제어해야 할 대상항목도 매우 많다.¹⁾ (표1)

표 1. 클린룸에 있어서의 제어대상항목

1. 공기	; 청정도, 기류, 온도, 습도, 성분
2. 건물, 구조체	; 미진동, 자장변동, 정전기, 조도, 거주성, 장치의배치
3. 초고순도가스공급계	; 순도, 미립자, 성분, 압력, 유량, 유속
4. 초순수공급계	; 순도, 미립자, 성분, 유량, 생균, 온도
5. 초고순도약품공급계	; 순도, 미립자, 성분, 유량, 온도
6. 기타 1	; 사람, 물건출입관리, 청소, 세탁
7. 기타 2	; 각종 유틸리티

표 2. 클린룸에서의 정전현상과 그의 장해

<현 상>		<장 해>	
정전부착 (역화현상)	웨이퍼의 대전 벽, 바닥, 기구의대전	...	웨이퍼의 오염 클린룸의 오염
절연파괴 (방전현상)	디바이스자신의 절연파괴 기중방전 전자파잡음 불티	...	칩의 파손 디지털기기 잘못동작 화재

이중 정전기는 공기중의 먼지나 미립자의 부착이나 퇴적을 초래해서 청정도의 향상을 저해할 뿐만이 아니고 ICR에 있어서는 웨이퍼의 오염이나 ESD에 의한 디바이스의 파손, BCR에 있어서는 부유미립자에 부착되어 있는 생균(박테리아, 바이러스 등)의 증식 등 그의 영향은 크다. ICR에 있어서의 정전기장해의 예를 표 2²⁾에 나타내는데 이들은 마찰이나 박리에 기인하는 직접적인 대전, 또는 대전물체로의 접근에 의한 유도대전의 어떤 경우에도 생기는 현상이다.

2-2. 정전기대책의 수단

정전기대책으로는

① 마찰의 감소, ② 가습, ③ 이온나이저(ionizer)에 의한 중화, ④ 어스에 의한 접지누설 등의 수단이 일반적이다.

①에 대해서는 특히 슈퍼 클린룸에 있어서는 매우 신중하게 고려되어 있으나 일정한 속도로 기류가 흐르고 있는한 물리적으로

로 한계가 있고 ②에 대해서는 레지스트의 박리 또는 결로에 의한 오염과 같은 점에 따라서 저습도화를 할 수 밖에 없게 되어 있다.³⁾ ③은 현재 많이 사용되고 있는데 특히 펄스DC가 효과적이다. 그리고 ④에 대해서는 금속등의 도전체에 대해서 충분한 대책이 되어 있다. 현재 인체로부터의 ESD 대책으로는 작업복, 신발, 테이블, 바닥매트 등을 도전화에서 접지하는 방법이 상당히 보급되어 있다. 한편 CR내의 칸막이, 각종 장치부재, 케이스류등에 사용되는 플라스틱에 대해서도 도전성부여에 의한 똑같은 대책이 실시되어야 한다.

3. 플라스틱에 대한 도전성부여

3-1. 도전성부여방법의 비교

플라스틱의 도전화에 관해서는 계면활성제나 도전성재료의 코팅, 도전카본의 혼련 등 예로부터 여러가지의 시도가 되었다. 최근에는 도전성물질의 화인(fine)화, 고기능화가 추진되어 예를 들면 금속산화물의 초

표 3. 도전성 부여방법의 비교

도전성부여방법		성 능				
		도전성	투명성	내구성	가공성	발진성
표면도전형	투명도전재료	◎	○	◎	○	◎
	계면활성제	△	◎	×	○	○
	유리파손	○	○	△	△	○
	도전도료(금속분)	◎	×	◎	○	○
혼련형	카본블랙	◎	×	◎	○	×
	금속충전재	◎	×	◎	○	○

미분이나 금속화합물을 화학흡착시킨 섬유 등, 그의 종류나 형태도 다양하다. 한편 도전성 고분자의 연구도 왕성하게 되고 있으나 성능면에서 아직 연구의 영역을 벗어나지 못하고 앞의 도전성 물질의 복합화에 의한 접근이 주류를 이루고 있다.

현재 시장에 제공되고 있는 도전성 플라스틱에 대해서 그의 성능을 비교해 본다. (표 3) 이중 플라스틱 본래의 특성인 내식성, 2차가공성, 경량, 투명성등을 유지하고 또한 양호한 도전성을 부여할 수 있는 표면도전화 기술에 주목하여 보아야 한다.

3-2. 표면도전화에 있어서의 품질설계 개념.

투명플라스틱 표면에 대한 도전성 부여에 관한 몇가지의 품질설계 요소에 대한 고려 방법을 말하려고 한다.

3-2-1. 도전특성

고도한 대전방지 특성을 발휘시키기 위한 도전성부여 수준의 설정은 매우 중요하다. 일반적으로 대전전하 (Q_ϕ)의 누설에 의한 감쇄특성은 다음 식으로 표시된다.

$$Q = Q_\phi \cdot \text{EXP}(-t/\tau) \quad \text{다만 } \tau = C \cdot R$$

여기서 t : 경과시간 (sec), τ :완화시간 상수 (sec), Q_ϕ : 초기전하량 (C), C : 정전용량 (F), Q : t 초후의 전하량 (C), R :고유저항 (Ω).

대전체의 감쇄는 R , 즉 표면 고유저항

에 의존하는 것으로 생각된다. 우리들은 코로나방전에 의한 10KV를 인가(印加)할 때 (V_ϕ) 및 방전을 중단하고 10초 후의 대전전압 ($V_{1\phi}$)의 비에 대하여 여러가지의 표면 고유저항을 갖는 샘플을 작성해서 측정하였다. (그림 1)

표면 고유저항을 $10^8 \Omega/\square$ 이하로 억제하면 접지누설에 의한 정전기 대책이 가능한 것을 나타낸다. 그렇지만 고유저항이 심하게 적어지면 도전체의 형상등에 따라서 불평등전계를 만들어서 코로나방전을 발생하기 쉽게하고 그 에너지가 커지면 예를들면 VLSI의 정전과괴를 초래하는 이차적인 장애의 원인이 될 가능성도 있으므로 도전성

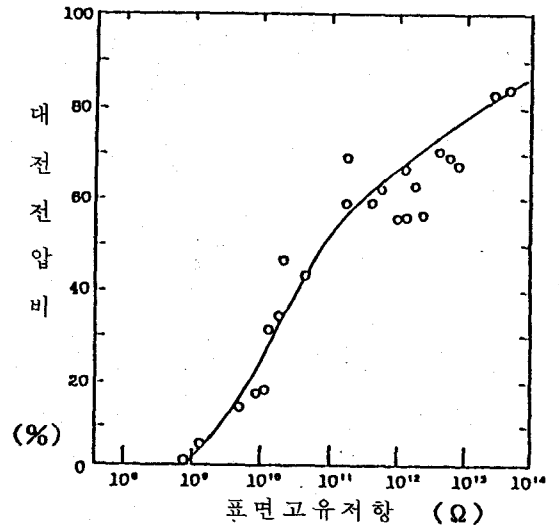


그림 1. 표면고유저항과 제전특성의 관계 부여수준의 설정에 있어서는 이점을 충분히 고려해야 한다.

일반적으로는 감전사고 방지라고 하는 점

도 고려해서 $10^5 \sim 10^8 \Omega / \square$ 가 좋다고 한다. 그위에 제전메카니즘으로는 습도의존성이 없는 전자전도형을 갖는 것이 극히 유효하다.

3-2-2. 광학특성

투명플라스틱의 특성을 될수 있으면 유지하기 위해서는 도전물질을 가시광선 이하 ($0.3 \mu m$ 이하)의 초미립자로 하거나 그물눈 모양으로 부분적으로 배치시키는 것이 좋다. 또한 자외선에 대한 내성도 중요하다.

3-2-3. 기타의 부여해야 할 특성

플라스틱 표면에 대한 도전성부여의 품질 설계에 있어서 고려해야 할 특성은 다음과

같다.

- 기재가 되는 플라스틱과의 밀착성이 좋을 것.
- 약품 (알코올등)에 대해서 열화가 적을 것.
- 마찰에 대해서 발진성이 낮을 것.

3-3. 표면도전 플라스틱의 성능

앞에서 말한 품질 설계에 따른 표면도전 플라스틱의 성능에 대해서 1983년에 우리들이 개발한 「에스롱DC 플레이트」(이하 「DC 플레이트」라고 한다)를 대표적인 예로 채택하기로 한다.

표 4. DC 플레이트의 기본물성

항 목	단 위	PVC 플레이트	DC 플레이트	시 험 방 법
연필경도	-	H	왼쪽과같다.	JIS-K-5400
전광선투과율	%	80 ~ 85	75 ~ 80	ASTM-D-1003
담 가 (曇價)	%	3 ~ 5	5 ~ 10	ASTM-D-1003
표면고유저항	Ω / \square	10^{14}	$10^6 \sim 10^7$	ASTM-D-257
인장강도	kg/cm ²	550 ~ 570	왼쪽과같다.	ASTM-D-638
연신율	%	70 ~ 80	"	ASTM-D-638
굴곡강도	kg/cm ²	950 ~ 970	"	ASTM-D-790
살피충격강도	kg-cm/cm ²	3 ~ 5	"	ASTM-D-256
열변형온도	℃	63	"	ASTM-D-648
연소성	-	자기소화성	"	ASTM-D-635

3-3-1. DC 플레이트의 구조와 성능

DC 플레이트는 초미립화된 금속산화물을

양호하게 분산시킨 도전도료를 기재플라스틱에 정밀 도포한 것이다.

1) 기본물성

표 4에 경질 PVC플레이트(이하「투명 PVC플레이트」라고 한다)를 기재로서 사용한 경우의 물성을 정리하여 보았다. 기재와의 대비결과 투명성이 약간 저하되는것 이외에는 기재와 동등하였다.

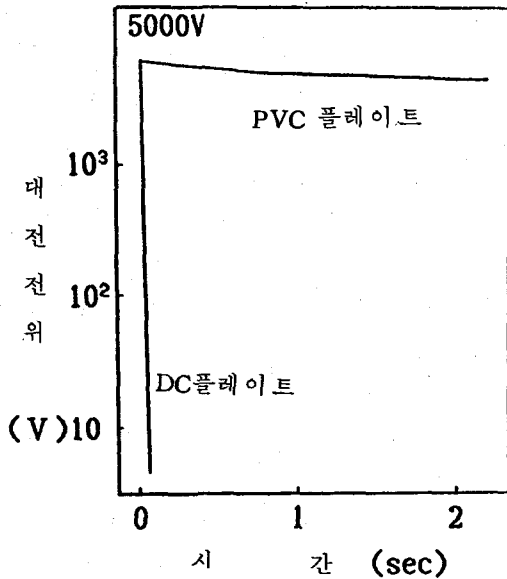


그림 2. 제전특성(스태틱디케이메타)

2) 제전특성

그림 2에 스태틱 디케이메타 (FTMS101 C, Method 4046에 준거)를 사용하여 5,000 V 강제대전시킨 후에 접지를 하고 나서의 감쇄시간을 측정 한 결과를 나타낸다. 그의 평가방법은 MIL, EIA에도 채용되고 있다.

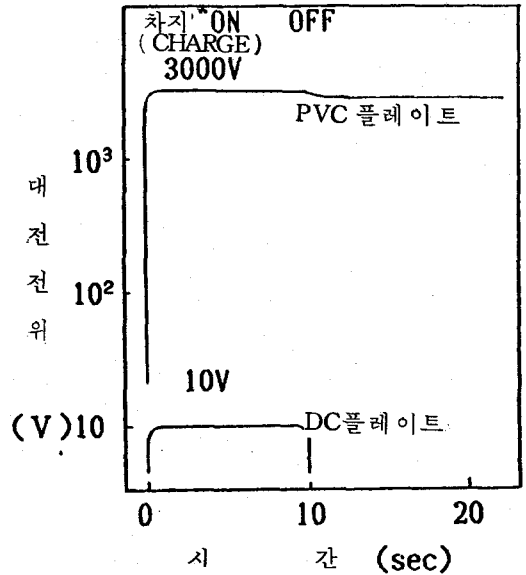


그림 3. 제전특성(스태틱 오네스트메타)

또한 그림 3에는 스태틱 오네스트메타 (JIS L 1094에 준거)를 사용해서 접지 상태에서 10KV의 코로나 방전을 10초동안 인가할 때의 대전전위와 인가정지후의 감쇄시간을 측정 한 결과를 나타낸다.

어떤 그래프로부터도 아주 양호한 제전 성능이 관찰되어 접지누설에 의한 정전기대책이 확실하게 되는 것을 나타내고 있다.

3) 내구성

클린룸내에서는 항상 형광등의 조사(照射)

를 받으므로 그 속에 포함되는 자외선에 폭로되어 있다. 일반적으로 유기물은 자외선에 약하므로 열화를 초래한다. 그림 4에 웨이드메타를 사용한 자외선열화의 촉진시험에 의한 표면저항 및 투명성의 변화를 나타낸다. 광원으로는 수은등을 사용하고 시험편의 수광량은 $11.2 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{hr}$ 로 설정하였는데 1,000hr의 조사로 50cm 떨어진 형광등으로부터의 자외선 에너지로 환산해서 4년분에 상당한다. 그래프로부터 알

수 있는 것 같이 1,000 hr 조사후에도 초기 성능을 유지하였다.

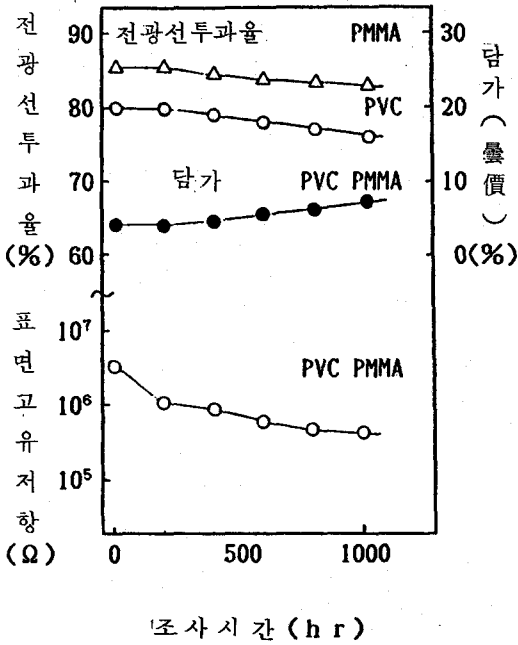


그림 4. DC 플레이트의 내자외선성

또한 클린룸의 내장재는 진공펌프등의 발열원측에서 사용되는 것도 있다. 우리들은 내열성의 평가로서 $-5^{\circ}\text{C} \times 15 \text{분} \leftrightarrow 60$

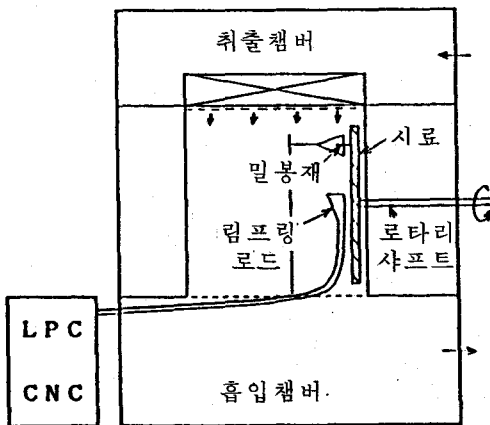


그림 5. 발진시험장치 개략도

$^{\circ}\text{C} \times 15 \text{분}$ 의 싸이클로 100 싸이클의 열충격 시험을 실시하였다. 그 결과 초기치로부터의 성능저하는 전혀 없었다.

4) 발진성

클린룸에서 사용하는 재료는 그 자신이 발열원이 되지 말아야 한다. 그런데 플레이트표면의 마찰에 의한 발열성의 평가를 동경공업대학에서 실시하였다. 그 측정방법의 대략을 그림 5에 나타낸다. Class (등급) 10으로 관리되는 실험부스를 사용해서 처리하지 않은 투명 PVC 플레이트와 비교해서 실시하였다. 시험은 $250 \times 250 \text{ mm}$ 의 시료를 모터로부터 실험부스내로 넣은 회전샤프트 끝에 설치하고 $180 \text{ r} \cdot \text{p} \cdot \text{m}$ 의 회전속도에서 고정된 마모재와 마찰시켜서 발진시켰다. 시료채취는 마찰부분 바로 밑에서 하였는데 비닐파이프에서 흡인해서 $0.5 \mu\text{m}$ 이상의 입자는 LPC, $0.2 \mu\text{m}$ 이하의 입자는 CNC로 각각 측정하였다. (표 5)

표로부터 네오프렌 고무와의 마찰에서 미처리된 투명 PVC 플레이트는 높은 발진이 있었으나 DC 플레이트는 발진량이 극히 적어서 배경 (back ground) 과의 의미있는 차이는 없었다. 이와 같은 경향은 실리콘 고무와의 마찰에서도 같았다.

3-3-2. DC 플레이트의 용도

현재 ICR의 웨이퍼 프로세스를 중심으로 파티션 (partition · 칸막이) 을 비롯해서 창문, 카바재료, 클린벤치, 드리찬, 덕트, 커튼등 여러가지 용도에 사용되고

표 5. 발진시험결과

시 료	밀 봉 재	평균발진량 (개 / 분)		
		0.5 ~ μm	0.005 ~ 0.2 μm	
DC 플레이트	네오프렌	5 mm	1.15	4.68
		10 mm	1.20	6.68
	실 리 콘	5 mm	0.90	7.34
		10 mm	1.40	5.77
PVC 플레이트	네오프렌	5 mm	657.70	49.21
		10 mm	161.00	12.33
	실 리 콘	5 mm	12.30	5.16
		10 mm	1.75	7.10
배 경			1.65	6.95

있다. 그위에 동북대학 전기통신연구소의 슈퍼클린룸에서는 토탈클린의 시책의 하나로써 유틸리티용의 PVC덕트, PVC 클린 파이프나 바닥 및 천정내의 철골등에 DC 플레이트에 사용하고 있는 도전도료로 도장해서 정전기 대책에 공헌하였다.

4. 정전기대책의 효과

클린룸에 있어서의 정전기대책의 효과에 관한 정량적인 평가데이터의 보고는 적으나 다음에 동북대학 전기통신연구소의 연구보고⁴⁾를 중심으로 요약하여 본다. 1986년에 완성한 동북대학 전기통신연구소의 슈퍼클린룸은 극한까지의 공기청정화를 실현시킨 세계최고급의 설비이다.

당연한 것이지만 정전기대책도 중요한 제어요소로서 도입되고 있고 모든 먼지를 부

유분진으로서 필터에서 포집한다고 하는 설계개념에 따라서

① 클린에어에 접촉하는 면(벽, 바닥, 천정, 각종 배관류, 조명기구등)은 모두 도전재료로 하고 접지한다.

② 클린룸내면의 면저항은 모두 $10^6 \Omega / \square$ 이하, 그리고 바닥 밑 클린펄트나 리턴에어(환기)스페이스 및 천정부의 면저항도 $10^9 \Omega / \square$ 이하로 한다.

③ 방진복이나 방진화는 카본오염을 충분히 고려한후에 정전기대책을 충분하게 실시해서 어떤 상태에서도 대전전위가 20~30 V이하가 되도록 억제한다.

등의 대책이 실시되었다.

그림 6은 완성후의 습도 45%RH 정도의 상태하에서의 클린룸내면의 대전전위를 나타낸 것인데 모두 6V이하로 억제되었다.

— 참 고 문 헌 —

- 1) 大見忠弘, 御子柴直夫: 東北大学電気通信研究所 超微細電子回路実験施設研究報告 1号「スーパークリーンルーム技術特集」 APR.1968
- 2) 西岡利晃: 静電気学会誌, 12,4(1988)
- 3), 4), 5) 前出の1) に同じ

Ⅲ. 클린룸내의 공기 이온화에 의한 제전(除電)시스템에 대해서

1. 머리말

최근 반도체 제조용 슈퍼클린룸에서는 반도체소자의 집적도가 급속하게 고밀도화하는데 따라서 정전기제어는 LSI의 수율향상을 위한 환경제어의 중요한 요소로 되어가고 있다.¹⁾

이 글에서는 정전기제어 기술의 하나인 공기이온화에 의한 제전시스템에 대해서 말하려고 한다. 먼저 반도체제조용 슈퍼클린룸에 있어서의 정전기대전의 현상과 그의 장해에 대해서 그리고 다음에 공기 이온화시스템과 그의 종류, 그리고 도체에 대한 공기 이온화시스템의 제전효과와 부도체에 대한 제전효과에 대해서 말하고 후반에 공기 이온화시스템의 방전전극으로부터의 발진 문제에 대해서 말하기로 한다.

2. 반도체제조용 클린룸에 있어서의 정전기대전과 그의 장해

반도체제조용 클린룸은 일반적으로 저습도(40~45% RH)이고 또한 웨이퍼의 반

송이나 취급에 있어서는 발진을 방지하기 위해서 실리콘벨트에 의한 반송이나 내마모성의 플라스틱을 피복한 진공척(chuck) 등에 의한 취급을 하고있는데²⁾ 웨이퍼가 전기적으로 절연되어 극히 대전되기 쉬운 환경이다. 실제로 웨이퍼는 Developer 나 Rinser Dryer 등의 프로세스 장치내에서 수천볼트로 대전되는것으로 보고되어 있다.³⁾

반도체제조용 클린룸에 있어서의 정전기장해는 주로 다음에 기재하는것과 같은 내용이다.

(1) 역학현상에 의한 장해

먼지의 부착에 의한 웨이퍼상의 LSI의 품질불량

(2) 방전현상에 의한 장해

- 방전에 의한 웨이퍼상의 LSI나 반도체소자의 정전파괴
- 방전시에 방사되는 불규칙한 전자파에 의한 전자회로를 내장하는 제조장치나 컴퓨터의 잘못된 동작
- 전격(電擊)에 의한 작업자의 작업능률 저하

특히 현재 웨이퍼의 먼지부착에 의한 오염이 문제로 되어있다. 웨이퍼상으로의 미립자의 부착시의 정전기의 영향에 대해서

습도를 25 % RH 정도까지 저하시켜도 그의 대전전위는 약간 증가하는 정도이다.

이와같은 정전기대책이 「약 1,000 m³ 속

슈퍼클린룸에 있어서의 입자오염방지와 대책 / 21
에 0.17 μm 입경이상의 먼지가 1개」라고 하는 초청정공간의 실현에 직접, 간접으로 공헌하였다.

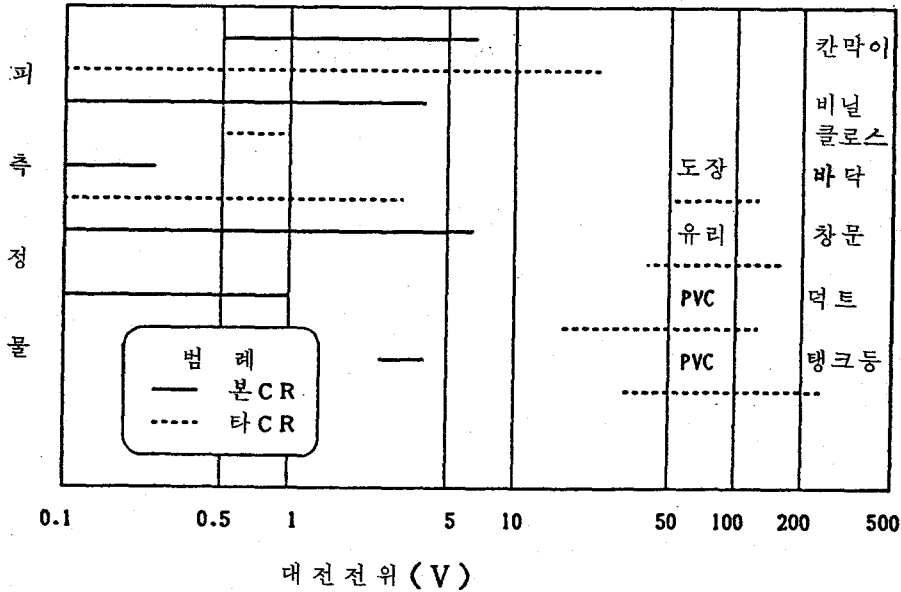


그림 6. 클린룸내면의 대전전위

그위에 그 결과는 클린룸내면의 대전 방지 구조가 완전하면 클린룸내 공기의 온도 제어를 느슨하게 할 수 있다는 가능성을 나타내고 있다. 예를들면 습도의 제어가 50 % RH 이하이면 좋은 것으로 되며 외기조건에 알맞는 습도설정이 가능하게 되고 클린룸 운전원의 대폭적인 감원에도 정전기(대전방지) 대책은 효과적이라고 하는 주목할만한 보고⁵⁾가 있다.

5. 맺 는 말

클린룸의 정전기 대책에 대해서 말하였으나 그 효과에 대해서 여러가지 사례에 따

른 설명이 부족한 점을 양해하기 바란다.

정전기 대책의 중요성은 고청정 클린룸의 수요증가와 함께 높아지고 있는데 공업적으로는 수율의 향상, 기기나 장치의 잘못된 동작의 방지 등 유형의 효과를 가져올 것으로 확신한다.

그위에 앞으로 토탈시스템으로서의 정전기대책의 필요성이 정량적으로 파악되는 것이 필요하고 그중에서도 특히 메이커와 사용자와의 원활한 정보교환에 의한 사용재료에 대한 고성능화, 고순도화 요구를 상호 이해하는 것이 더욱 중요할 것으로 생각한다.

는 이론과 실험의 양면에서 연구가 되어있다.^{4~7)} 침착속도로 평가하면 정전기력이 작용하는 경우 정전기력이 관여하지 않는 경우(중력침강, 브라운확산)에 비해서 침착속도가 대개 10~100 배나 빨라진다는 것이 보고되어 있다. 판전등⁷⁾은 입자의 침착기구를 시뮬레이션(simulation)하므로서 웨이퍼(125mm)가 기류와 직교하여 놓여있는 경우 웨이퍼의 표면전위는 10V이하에서 정전기에 의한 침착속도는 브라운확산과 중력침강에 의한 침강속도보다 늦어지는것으로 보고되어 있다.

또한 소자의 정전과파에 관해서는 소자의 종류에 따라서 편차가 있으나 대개 30~100V에서 파괴된다고 보고되어 있다.⁸⁾

3. 공기 이온화시스템과 그 종류

정전기대책의 방법은 크게나누면 대전체를 접지하여 전하를 속히 누설시키는 방법

과 공기이온에 의해서 대전체상의 전하를 중화하는 방법이 있다. 공기이온에 의해서 정전하를 중화하는 방법은 이온발생기에서 코로나방전을 일으켜서 정부의 공기이온을 발생시키고 실내기류에 의해서 이온을 반송하여 대전체를 중화하는 방법이다.

공기이온화 시스템은 코로나 방전전압을 인가하는 방법에 따라서 Pulsed-DC, DC, AC시스템으로 크게 나눌 수 있다.

그림 1은 실제로 시험한 각종 공기이온화 시스템의 개요를 나타낸다.

Pulsed DC시스템은 정과 부의 일대(一對)의 전극에 각각 정과 부의 직류전압을 일정한 시간간격으로 교대로 인가하는 시스템이다. DC시스템은 정과 부의 직류전압을 항상 인가하는 시스템이다. AC시스템은 한개의 전극에 교류전압을 인가하여 한개의 전극에서 정과 부의 이온을 50/60 HZ로 발생시키는 시스템이다.

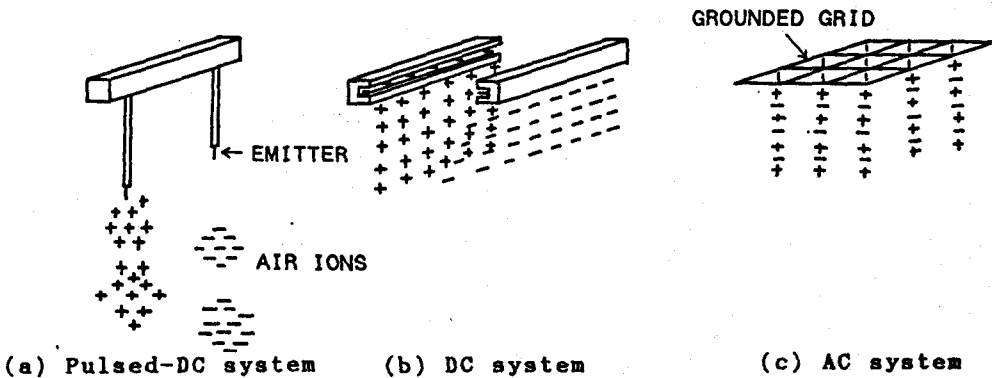


Fig. 1 Schematic diagram of typical air ionization systems.

4. 공기이온화에 의한 제전시스템의 유효성에 대해서⁹⁾

4-1. 도체에 의한 제전효과

공기이온화 시스템의 평가방법은 현재까지는 특별한 규정은 없다. 이 글에서는 일반적으로 사용하는 전기적으로 절연된 금속 플레이트의 표면전위를 측정하는 방법을 채

용하였다.¹⁰⁻¹²⁾ 평가를 위한 측정장치를 그림 2에 나타낸다. 이 장치는 30×30 cm의 알루미늄판을 5cm의 간격으로 고정하고 상부판을 절연하고 하부판을 접지해서 콘덴서(계산상 대략 15 pF)로 한것으로서 이 콘덴서내에 표면전위계의 프로브(probe)를 삽입한 것이다.

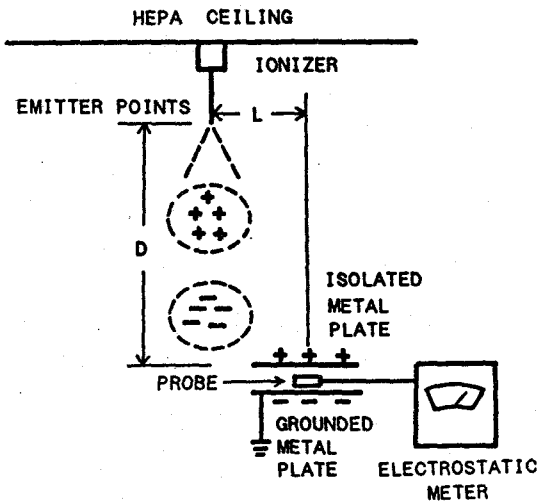


Fig.2 Experimental set-up for evaluation of neutralization efficiency. D and L denote the vertical and horizontal distances of metal plates from emitter points.

공기이온화 시스템을 0.1 μ m·class 10의 전면층류형 클린룸의 필터밑에 설치하고 측정장치를 이온라이저의 방전전극으로부터 수직거리 D, 수평거리 L(DC, AC시스템에서는 수평거리 L은 금속플레이트 주변 맨 끝의 전극과 금속플레이트 중심까지의 거리를 나타낸다.)의 위치에 설치하고. 풍속 0.24 m/s의 이온흐름중에서 절연된 금속플레이트를 직류전원으로 +3KV (또는 -3KV)

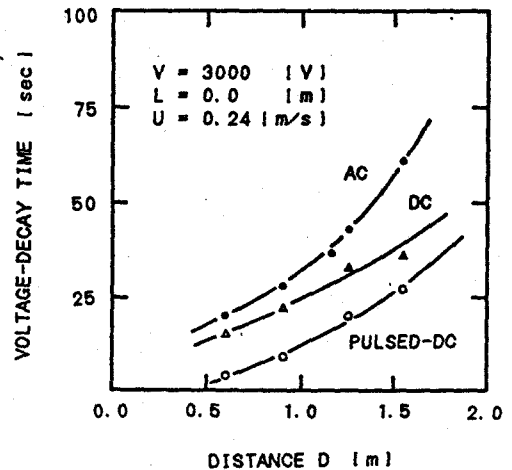


Fig.3 Positive voltage-decay time versus vertical distance D from emitter points. Starting voltage V is set to be 3000[V]. L=0.0[m], U=0.24[m/s].

로 대전시키고 그후 그의 금속플레이트의 전위가 감쇄되어 평형에 도달할때까지의 시간(전위감쇄 시간)을 측정하였다. Pulsed DC, DC시스템은 풍속 0.24 m/s, L=0.0 m, D=1.25 m의 조건하에서 20~30초동안에 ± 50 V이하로 전위가 감쇄되도록 조정되어 있다. 그림 3, 그림 4는 상술한 장치를 사용해서 수직방향과 수평방향의 전위감쇄 시간의 분포를 측정한 결과이다. 각

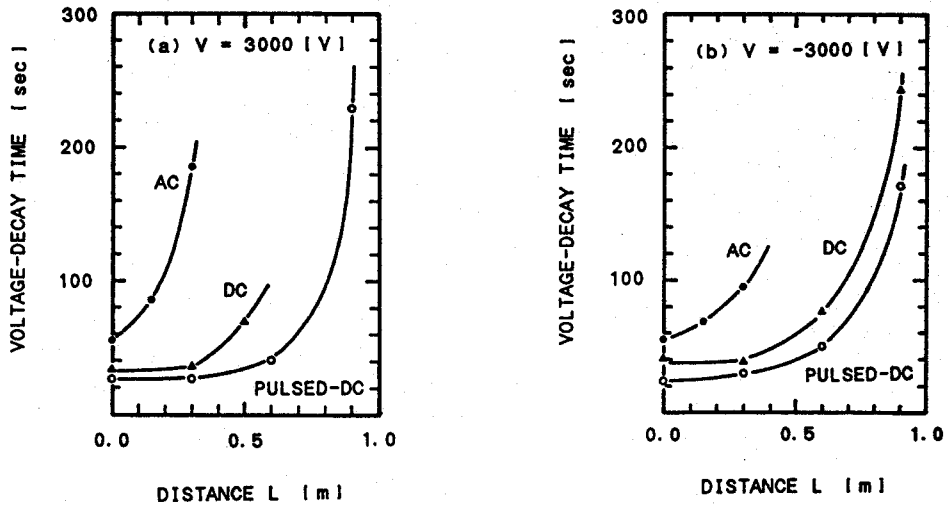


Fig.4 Decay time of positive and negative voltages of a metal plate measured as a function of horizontal distance L. Starting voltages are (a) 3000[V] and (b) -3000[V]. D is fixed to be 1.25[m]. U=0.24[m/s].

각의 시스템 모두 적당한 위치에 설치하므로써 20~30 초 사이에 대전한 금속플레이트를 중화시킬수 있는것을 나타낸다. 다만 수직거리에 대해서 차지바란스 (charge balance) 를 측정해보면 (그림 5) AC

시스템에서는 전극으로부터 1.25 m 떨어진 측정점에서도 +100 V 정도까지 금속플레이트가 대전되었다. 이온농도 (ISI AIDM 101) 를 측정하면 그림 6 에 나타내는것 같이 정의 이온이 상당히 많은것을 알 수 있다.

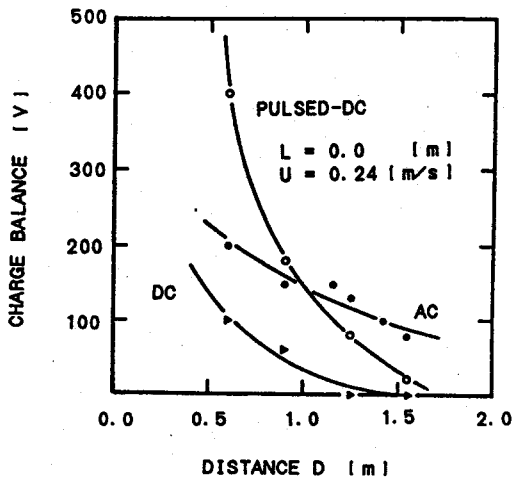


Fig.5 Charge balance observed as a function of vertical distance D. Starting voltage of a metal plate is set to be 0.0[V]. L is fixed to be 0.0[m]. U=0.24[m/s].

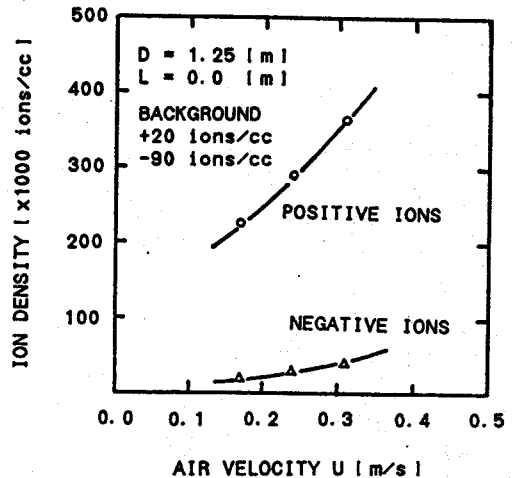
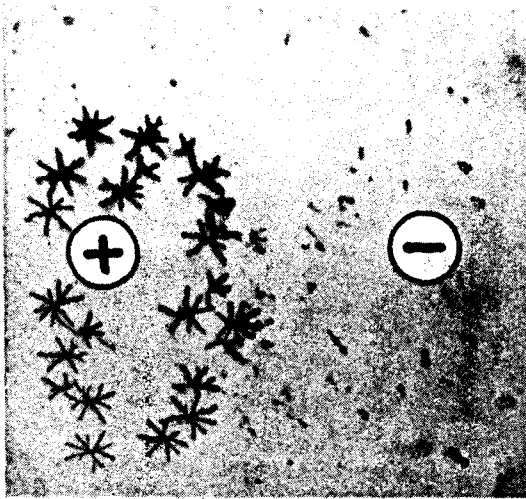


Fig.6 Ion density versus downflow air velocity under AC system.

4 -2. 부도체에 대한 제전효과

부도체에 대한 제전효과를 평가하는 일반적인 방법은 없다. 이 글에서는 공기이온에 의한 부도체 (아크릴판 $1.3 \times 10^{14} \Omega m$) 상의 정전하의 완화상태를 더스트 휘규어 (dust figure) 법¹³⁾에 의해서 가시화해서 평가하였다.

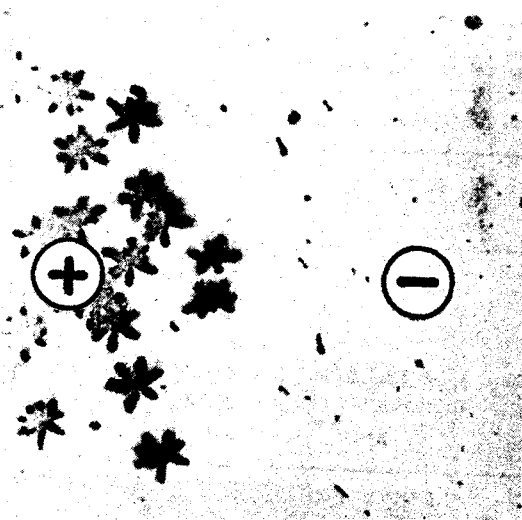
시료 (Sample) 표면에 정과 부의 직류 전원으로 정과 부의 스태틱마크 (Static mark) 를 하고 이온라이저의 밑에 일정한 시간 폭로한후 유황 90%와 광명단 (Pb_3O_4) 10%의 혼합분말을 살포해서 스태틱마크의 완화상태를 가시화하였다. 그림 7 (a)는 전처리후의 정과 부의 가시화된 스태



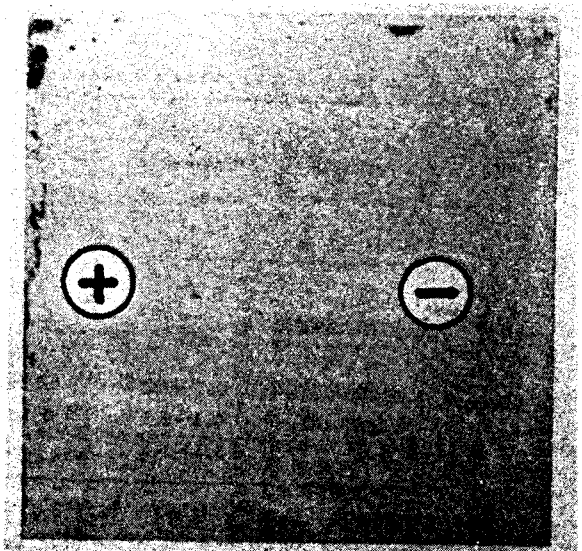
(a) Starting pattern of $t=0$ [min].



(c) Exposure time $t=2$ [min] under pulsed-DC system.



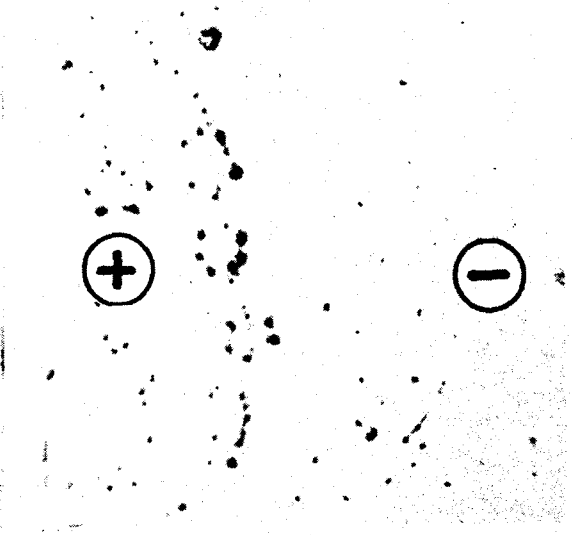
(b) Exposure time $t=1$ [min] under pulsed-DC system.



(d) Exposure time $t=30$ [min] under pulsed-DC system.



(e) Exposure time $t=2[\text{min}]$
under DC system.



(f) Exposure time $t=2[\text{min}]$
under AC system.

Fig.7 Relaxation of positive and negative charge pattern on an insulator plate visualized by a dust figure method. Points of positive and negative charge are respectively given on the left and right halves of the plate by using needle electrode.

텍마크이다. 그림 7 (b), (c), (d)는 Pulsed DC시스템의 아래쪽 $D=1.25\text{ m}$, $L=0.0$ 인 위치에서 이온화된 0.24 m/sec 의 기류에 각각 1, 2, 30분간 폭로한후의 스태텍마크의 완화상태이다. 30분후에는 스태텍마크는 전혀 남아있지 않으나 관찰시야의 직경이 $3\sim 7\text{ mm}$ 인 표면전계 (MONROE MODEL 244)로 아크릴판위의 임의의 점을 측정하면 $\pm 50\text{ V}$ 정도의 전위편차가 남아있다. 또한 그림 7 (e), (f)는 각각 DC, AC시스템밑에 2분동안 폭로한후의 스태텍마크의 상태를 나타낸다.

5. 공기이온화 시스템에서의 발진문제¹⁴⁾

5-1. 공기이온화 시스템에서의 발진량의 측정

공기이온화 시스템에서의 발진문제는 이미 B.Y.H, Liu et al.¹⁵⁾, M Blitshteyn et al.¹⁶⁾, R.P. Donovan et al.¹⁷⁾에 의해서 지적되었다. 이 글에서는 $0.1\ \mu\text{m}$ class 10의 슈퍼클린룸내에서 각 시스템으로부터의 발진량을 측정하였다. (표 1)

어떤 시스템에서나 $0.1\ \mu\text{m}$ 이상의 입자가 상당수 발생하는것을 알 수 있다.

5-2. 먼지의 생성에 대해서

그러나 시스템의 전극으로부터의 먼지 발생기구는 현재까지는 충분히 밝혀져 있지않다. 이 글에서는 위에서 말한 클린룸내에서 Pulsed-DC 시스템을 105시간 사용하고 정과 부의 전극자신과 그위에 부착한 물질의 주사 전자현미경 (SEM)에 의한 관찰과 X선분석 (SEM/EDX)을 하였다.

Table 1 Particulate concentration from ionization systems.

Particle Detector	Particle Diameter Range (μm)	Particulate Concentration (particles/cft)		
		Pulsed-DC System	AC System	DC System
CNC (TSI 3020)	0.03(μm)	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

(Note)

Sampling Point: D=1.25(m), L=0.0(m) (See Fig.3).

Air Velocity of Uniform Downflow: U=0.31(m/s).

Air Cleanliness of Clean Room: $0.1 \mu\text{m}$ Class 10 (0.4 ± 0.2 particles/cft).

그림 8은 정의 전극위에 부착, 퇴적된 물질의 SEM사진이다. 이와같은 입자가 수목상(樹木狀)으로 성장하는 현상은 전기 집진기의 방전전극에서도 볼 수 있다. 이것을 일반적으로 방전선 비대현상¹⁸⁾이라고 한다. 또한 수목상으로 되는 현상은 수주옥(數珠玉)형성¹⁸⁾이라고 한다. 그림 9에 나타내는것같이 방전전극 주위의 불평등 전계 중에 중성(分極) 입자가 놓이면 그레디언트(gradient) 힘에 의해서 전계가 강한(집중되는) 방향으로 흡인되어 전극위에 부착, 퇴적한다.

또한 수주옥상의 부착물은 SEM/EDX 분석에 의하면 중요한 원소는 S₁(76~88W%), 과 Al인것을 알 수 있다. (그림 10) 이들 원소는 S₁O₂나 Al₂O₃의 화합물로 되어 존재하는 것으로 추정된다. 또한 분석결과는 대기 에어로졸의 SEX/EDX분석의 결과와

경향이 비슷하다.¹⁹⁾

그림 11은 사용하지 않은 전극과 단속적(斷續的)으로 약 2000 시간 사용한후 초음파세척해서 퇴적물을 제거한 정과 부의 전극인데 정의 전극에서는 전극상으로 물질이 퇴적할뿐만이 아니고 전극자신도 비산한것을 알 수 있다. 이 상태는 정이온의 물리적인 스패터링(spattering)에 의한것으로 생각된다. 일반적으로 스패터링은 부의 전극에 전자에 비해서 비교적 큰 정이온이 충돌해서 전극의 금속원자를 넘어트리는 현상인데²⁰⁾ 정의 전극에서도 전자가 유입할때에 정극주위에 발생한 정이온이 전기적인 반발력에 의해서 터져서 정극에 충돌하여 부극과 같이 스패터링이 일어나는것으로 생각된다.

5 -3. 발전량의 경시변화

그림 12는 단속적으로 약 2000 시간 사용

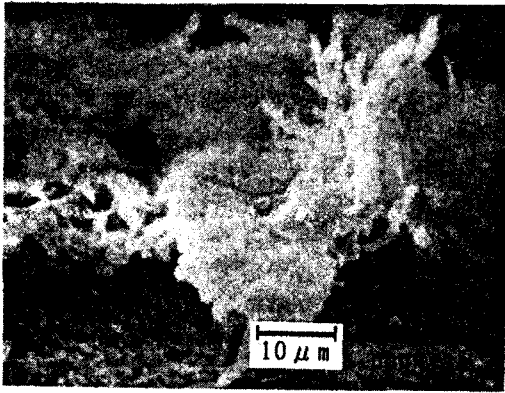


Fig.8 Pearl chains formed on a needle electrode under gradient force in external electric field. Magnification 1000 X.

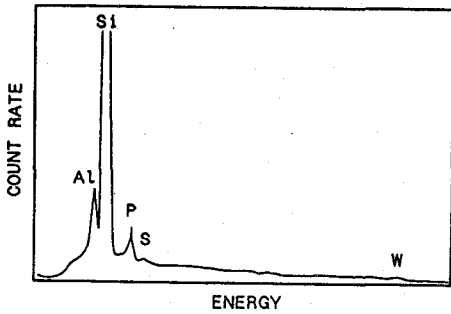


Fig.10 Results of SEM/EDX analysis of deposits on a needle electrode of pulsed-DC system.

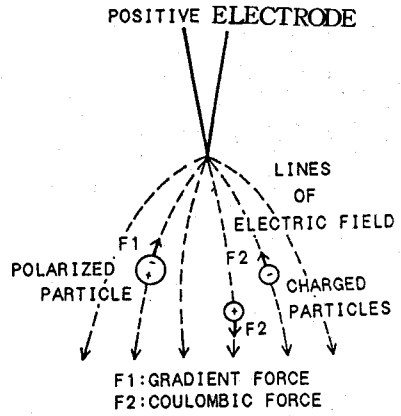
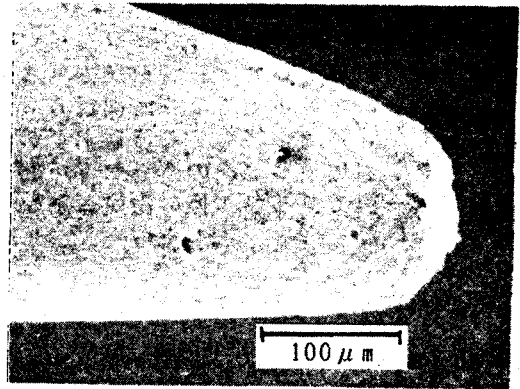
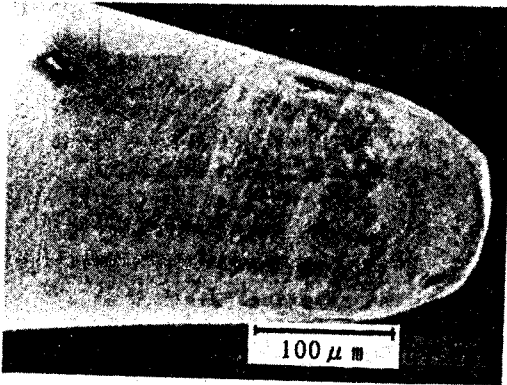


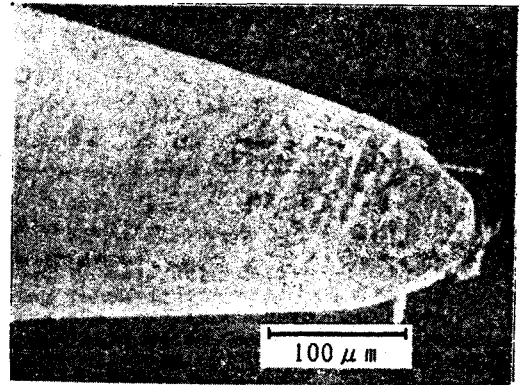
Fig.9 The collection of neutral particles under gradient force in non-uniform electric field.



(b) Ultrasonic-cleaned positive electrode.



(a) Unused electrode.



(c) Ultrasonic-cleaned negative electrode.

Fig.11 Erosion of needle electrodes made of thoriated tungsten after about 2000 hours operation. Magnification 175 X.

한 Pulsed DC시스템의 전극으로부터의 발진량의 경시변화를 정극의 바로 밑 5cm의 위치에서 측정된 결과이다. 측정은 0.1 μ m class 10의 슈퍼클린룸내 (온도 23 $^{\circ}$ C, 풍속 0.3m/sec)에서 TSI CNC 3020을 사용해서 하였다. 전극은 주사용 증류수(약 폼회석 용해용)로 10분간 초음파세척(38kHz)해서 사용하였다.

전극을 세척한후 약 70시간은 50개/cft (>0.03 μ m) 이하이지만 70시간을 지나면 먼지의 돌발적인 재비산 (burst)이 일어났다. 일단 재비산이 발생하면 다음번의 재비산이 일어나는 시간은 특정(特定)할 수 없다. 이것은 경시변화 측정의 예인데 다른 측정에 있어서도 정성적으로 같은 경향을 나타내었다.

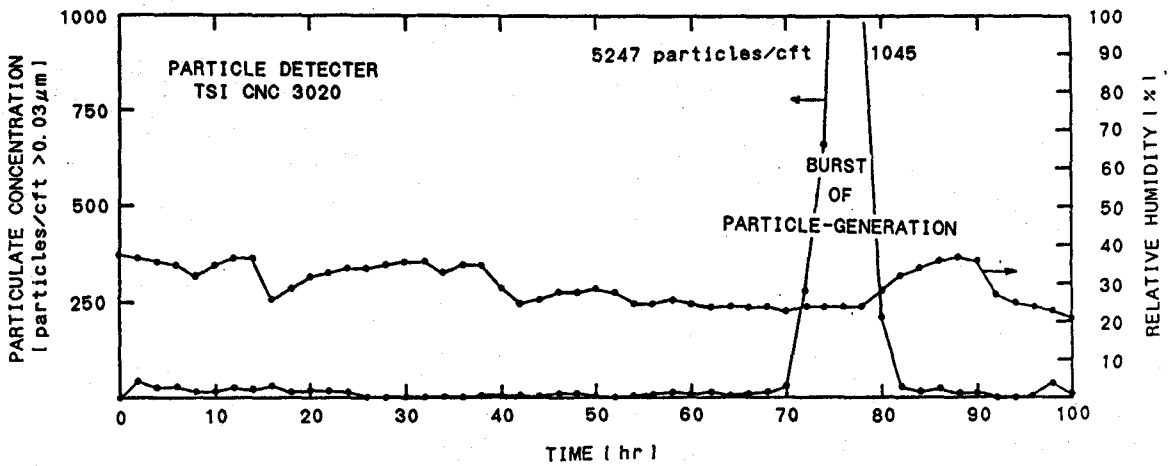


Fig.12 Transition with time of particulate concentration from an ultrasonic-cleaned positive electrode of pulsed-DC system. The sampling point is at a position of 0.05[m] below a positive electrode. The velocity of uniform airflow is set up to be 0.31[m/s]. The air cleanliness of clean room is the class 10 of particulate size 0.1 μ m and larger.

5-4. 습도의 발진특성에 대한 영향

그림 13은 습도의 발진특성에 대한 영향을 나타낸다. 측정은 발진량의 경시변화 측정과 같은 조건하에서 하였다. 발진량은 시작으로부터 재비산이 일어나기 전까지의 평균치이고 그림 13의 에러바 (error bar)는 통계적인 오차를 나타낸다. 또한 습도는 평균치와 최대, 최소를 나타낸다. 저습도의 영역에서는 발진량은 습도와함께 증가한다.

고습도의 영역에서는 습도의 증가와함께 감소한다. 그림 13으로부터 발진량은 대개 30% RH 이하 또는 55% RH 이상에서는 25개/cft 이하이고 최대라도 50개/cft이다. 또한 전극과 입자 또는 입자와 입자사이에 작용하는 부착력과 발진량의 관계에 대해서는 별도의 기회에 논하기로 한다.

5-5. 세척방법의 차이에따른 발진특성에 대한 영향

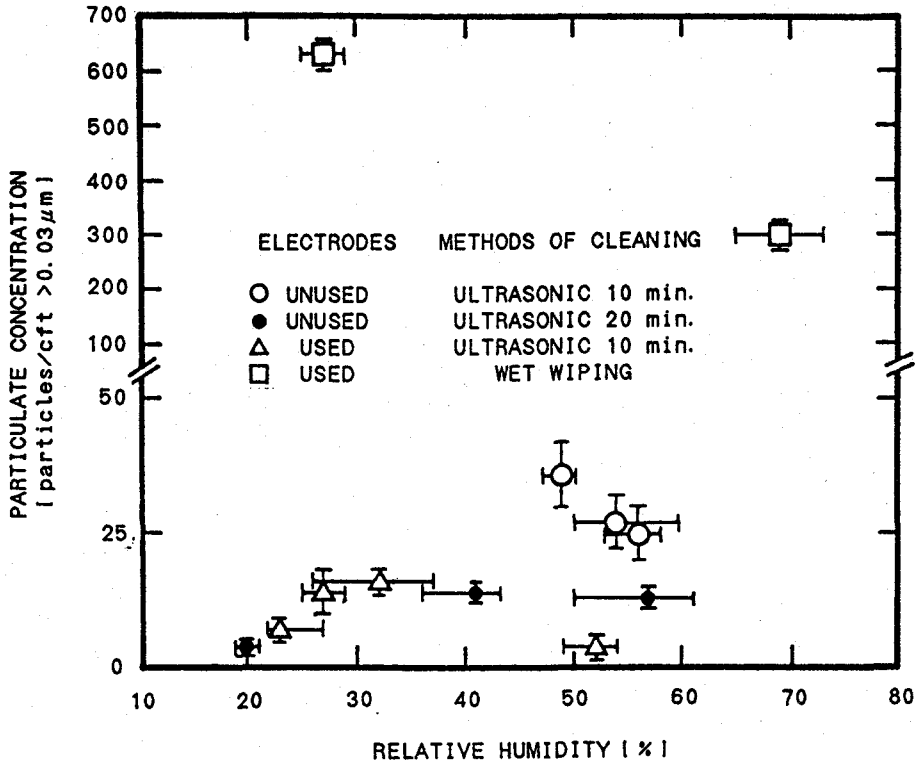


Fig.13 Relationship between particulate concentration from a positive electrode of pulsed-DC system and relative humidity in super clean room. These data of particulate concentration don't involve the data in the period of 110 minutes from starting operation of this system and the data from causing a burst of particle-generation.

방전전극을 초음파세척하는 경우에는 시작할때부터 발진의 재비산이 일어나기 전까지는 50 개 / cft ($>0.03 \mu m$) 이하였으나 알코올을 적신 무진와이퍼 (wiper) 로 닦아낸 경우에는 그림 14 에 나타내는것과 같이 시작할때부터 10 분사이에 100 개 / 0.1 cft ($>0.03 \mu m$) 정도의 발진이 있고 재비산이 일어날때까지의 발진량으로는 그림 13 에 나타내는것같이 초음파세척한 경우에 비해서 대개 20 배나 많다.

그림 15 (a)는 105 시간이 지난 부극의 상

태에서 그림 15 (b), (c) 는 각각 10 분간 초음파세척한 경우와 알코올을 적신 와이퍼로 씻어낸 경우의 전극의 상태를 나타낸다. 엄밀하게 말하면 씻어내는 방법에 따라서 다르지만 무진와이퍼의 경우에는 전극상에 부착한 먼지를 충분히 제거할 수 없는것을 알 수 있다.

6. 맺는말

이상 공기이온화에 의한 제전시스템의 효과와 그의 문제점에 대해서 설명하였다.

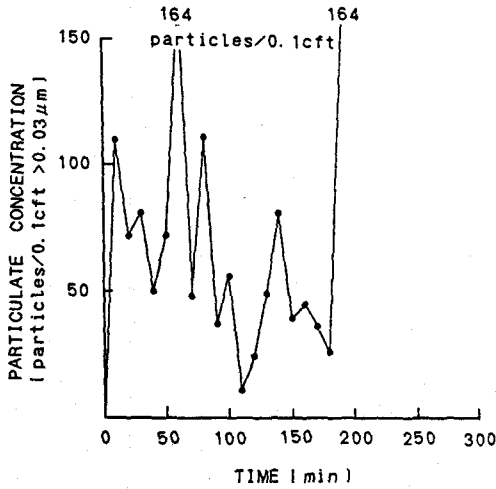
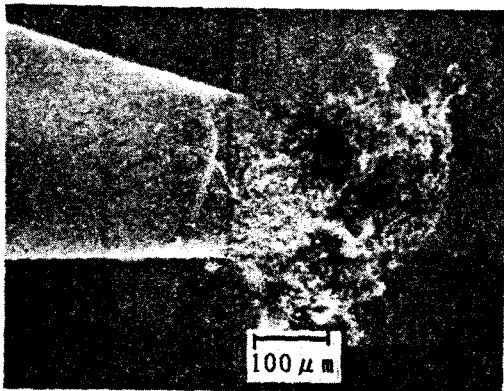
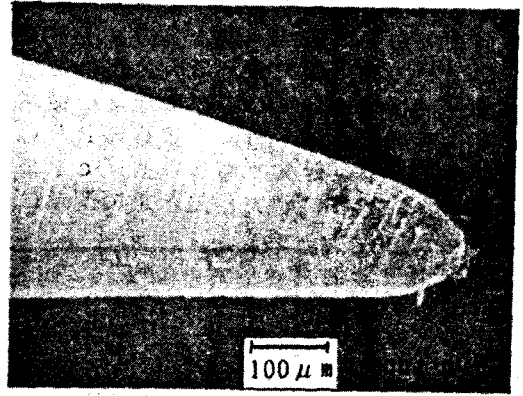


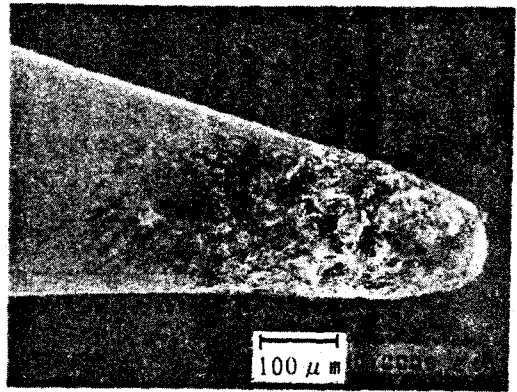
Fig.14 Particulate concentration from a negative electrode wiped with alcoholic low particulate paper.



(a) Negative electrode after 105 hours operation.



(b) Ultrasonic-cleaned electrode.



(c) Electrode wiped with alcoholic low particulate paper.

Fig.15 Comparison of different cleaning methods of particle removal from the surface of a negative electrode after 105 hours operation. Magnification 100 X.

최근의 연구에서 정전기가 웨이퍼표면의 오염에 증대한 영향을 주는것이 밝혀졌는데 현재까지는 다른 이차적인 문제를 일으키지 않고 효과적으로 제전하는 방법은 없는것이다.

이 글에서는 전극을 초음파세척해서 일정

한 기간 저발전상태에서 사용할 수 있는것을 나타내었는데 본질적인 해결책은 되지 못한다. 먼지오염 제어의 관점에서 반도체 제조기술의 발전에 대응하기 위해서 발전이 없는 제전시스템의 개발이 바람직하다.

- 참고 문헌 -

- 1) C. M. Osburn, R. P. Donovan, Henry Berger, G. W. Jones; The Effects of Contamination on Semiconductor Manufacturing Yield, the Journal of Environmental Sciences, p.45 (March/April, 1988).
- 2) 板倉秀明、阿部東彦; L S I工場自動化、リアライズ社、P.140 (1986).
- 3) R. Wilson; Nuclear Air Ionization for Contamination Control, Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES, p.466 (May, 1987).
- 4) B. Y. H. Liu, B. Fardi, K. H. Ahn; Deposition of Charged and Uncharged Aerosol Particles on Semiconductor wafers, Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES, p.461 (May, 1987).
- 5) R. P. Donovan, A. C. Clayton, D. S. Ensor; The Dependence of Particle Deposition Velocity on Surface Potential, Proceeding of 33rd Annual Technical Meeting of the IES, p.473 (May, 1987).
- 6) 藤井修二、謝 国平、金光映; 整流型クリーンルーム内における粒子沈着モデル、第7回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、p.17 (1988).
- 7) 阪田総一郎、岡田孝夫; ウェハ表面へのエアロゾル超微粒子の付着、第7回 空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、p.21 (1988).
- 8) 東都 正; 静電気制御 半導体工業における汚染防除技術、フジテクノシステム p.123 (1983).
- 9) M. Suzuki, H. Matsuhashi, T. Izumoto; Effectiveness of Air Ionization Systems in Clean Rooms, Proceeding of 34th Annual Technical Meeting of the IES, p.405 (May, 1988).
- 10) D. Dunn; A Quantitative Description of a Room Ionization System, Micro-contamination, p.60 (Nov., 1985).
- 11) K. Dillenbeck; Selection of Air Ionization with the Cleanroom, Proceeding of 32nd Annual Technical Meeting of the IES, p.387 (May, 1986).
- 12) M. Blitshteyn, S. E. Shelton; Assessing the Effectiveness of Cleanroom Ionization System, Microcontamination, p.46 (March, 1985).
- 13) Y. Toriyama; Dust Figure of Surface Discharge and its Application, Kinokuniya Book store, (1961)
- 14) 鈴木政典、唐木千岳、松橋秀明、山路幸郎; スーパークリーンルームにおける空気イオン化システムからの発塵特性について、第7回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究会予稿集、p.225 (1988).
- 15) B. Y. H. Liu, D. Y. H. Pui, W. O. Kinstly, W. G. Fisher; Characterization of Electronic Ionizers for Clean Rooms, presented at the 31st Annual Technical Meeting of the IES, (April/May 1985).
- 16) M. Blitshteyn, S. Shelton, Contamination and Erosion of Cleanroom Air Ionizer Emitters, Microcontamination, p.28 (August, 1985).
- 17) R. P. Donovan, P. A. Lawless, D. D. Smith; Polarity Dependence of Electrode Erosion under DC Corona Discharge, Microcontamination, p.38 (May, 1986).
- 18) 増田閃一; 静電気ハンドブック、静電気学会編、オーム社、p.259 (1981).
- 19) 宮坂恵子、溝口次夫、切力正行、金沢五寿雄、土器屋由起子; SEM/EDXによる大気エアロゾルの成分分析、第3回 エアロゾル科学・技術研究討論会、p.34(August, 1985).
- 20) 高分子学会編; 静電気ハンドブック、地人書館、p.262 (1985).