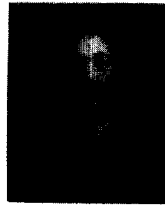


차세대 클린룸 기술과 공기질 제어

Next Generation Cleanroom Technology and Air Quality Control

김 광 영
K. Y. Kim
(주)신성기술연구소



- 1956년생
- 실내공기환경 전공으로 클린룸, 공기정화기술, 공조 및 환경기기 개발 등에 관심을 가지고 있다.

1. 서론

LSI 집적회로기술의 발전은 매우 빠르며 라이프타임도 점점 짧아지고 있다. 현재는 16MDRAM이 양산되고 있으며, 64MDRAM의 양산준비와 함께 256MDRAM의 요소 기술개발에 박차가 가해지고 있다.

이러한 최첨단의 디바이스에 있어서의 최소 패턴 선폭은 64MDRAM에서는 $0.35\mu\text{m}$, 256MDRAM에서는 $0.25\mu\text{m}$, 1GDRAM에서는 $0.1\mu\text{m}$ 로 예측되고 있다. 또한 적층되는 실리콘산화막등의 박막두께는 8nm 이하로서 최첨단의 초미세가공기술을 구사하지 않으면 안된다. 이러한 초미세가공기술을 주변기술로서 지원하고 있는 것이 클린룸 기술이다. 종래 클린룸 기술은 미세입자의 제어에만 노력해왔지만, 차세대 클린룸 기술에서는 미세입자뿐만 아니라 클린룸내에 확산되는 미량의 이온, 유기미스트 및 산성·알칼리성 가스까지도 계면과 피막에 영향을 미쳐서 수율과 신뢰성에 직접적으로 관련이 되기 때문에 ppb레벨

에서 제어 되어야 한다.

차세대 클린룸의 형태는, 디바이스 제조공정의 복잡·다양화에 따른 개별적, 종합적 제어와 생산플로의 관리상의 종합자동화(CIM)에 대응해야 한다. 표1에 1MDRAM과 1GDRAM의 비교를, 표2에 차세대 클린룸 환경조건을, 표3에 클린룸내의 케미컬오염물질의 개요를 나타낸다.¹⁾

본고에서는 차세대 클린룸의 환경조건과 공기질제어에 관한 기술의 현주소와 향후의 과제를 소개한다.

표 1 1MDRAM과 1GDRAM의 비교

	1MDRAM	1GDRAM
패턴 사이즈	$1\mu\text{m}$	$0.1\mu\text{m}$
칩 면적	45mm^2	$300\sim 350\text{mm}^2$
1메모리 셀의 면적	$25\mu\text{m}^2$	$0.25\mu\text{m}^2$
양산시의 웨이퍼 사이즈	$4\sim 5\phi$	$12\sim 15\phi$

표 2 차세대 클린룸의 환경조건

항 목	요 구 기 준
청 정 도	프로세스 에어리아 : > Class 0.1 (입자경 0.05 μ m) 서비스 에어리아 : > Class 100 (입자경 0.1 μ m)
온 습 도	클린룸 온도 : 23 $^{\circ}$ C \pm 5 $^{\circ}$ C (평면분포) 23 $^{\circ}$ C \pm 0.2 $^{\circ}$ C (시간분포) 습도 : 45%RH \pm 3%RH (시간분포) 씨벌 챔버 온도 : 설정치 \pm 0.02 $^{\circ}$ C (평면분포) 설정치 \pm 0.01 $^{\circ}$ C (시간분포) 습도 : 설정치 \pm 1%RH (시간분포)
압 력	클린룸과 일반실 : +1.5~3.0mmAq 절대압력 : -
기 류	실단면속도 : 0.25~0.3m/s \pm 20% 일방향류 영역 필터취출속도 : 0.3~0.35m/s \pm 20% 편류각도 : 14 $^{\circ}$ 이내
정 전 기	웨이퍼 대전 : 5V 이하 바닥 : 10 5 Ω ~10 8 Ω 벽체 : 10 8 Ω 이하
전 자 계	EB 장치영역 : 1mG 이하 일반에어리어 : -
진 동	Photo, SEM영역 : 0.2 μ m이하(3~50Hz) 일반에어리아 : 0.5 μ m이하(3~50Hz)
소 음	60dB(A)이하
이 온 · 중 금 속 · 가 스	ppb레벨

표 3 케미컬 오염물질의 개요

발 생 구 분	케 미 컬 오 염 물 질	발 생 원 인
반도체제조용 약품, 가스	F $^-$, Cl $^-$, SO $_4^{2-}$, NO $_2^-$, NO $_3^-$, PO $_4^{3-}$	배기덕트, 드래프트, 배관누설, 드라이�칭-CVD장치로부터의 누설
외기	NO $_x^-$, SO $_x^{2-}$, Cl $^-$	외기에 존재하는 불순물 및 공해적인 요인에 의한
인간활동	NH $_4^+$, Cl $^-$, Na $^+$, K $^+$	호흡
치구	F $^-$, CnHm	카세트치구 및 웨이퍼수납재로부터의 휘발
공장의 건재	붕소화합물, 유기P 화합물	HEPA필터, 건재로부터 휘발

2. 클린룸내의 공기오염과 문제점

통상, 반도체 제조상에 있어서의 입자의 관리대상 입경은 디바이스 패턴사이즈의 1/10이라고 이야기 되고 있다. 따라서 256MDRAM에서는 $0.025\mu\text{m}$, 1GDRAM에서는 $0.01\mu\text{m}$ 입경의 입자까지 제어될 필요가 있다. 이미 Fed. Std. 209E에서는 $0.02\mu\text{m}$ 입경의 Ultra Fine Particle의 계측법에 대해 상세하게 규정하고 있다.

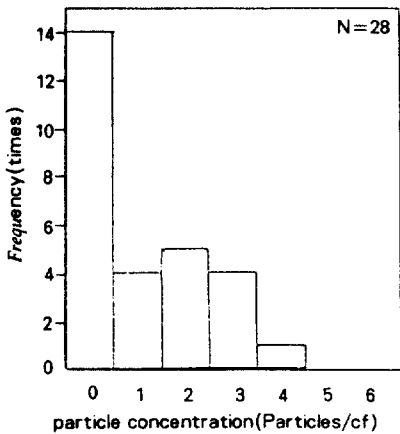


그림 1 슈퍼클린룸내에서의 초미세입자 (3nm)의 농도분포

슈퍼 클린룸내의 ULPA필터의 취출청정공기중에 3nm사이즈의 미립자가 1ft^3 중에 수개정도가 응축핵 측정기(Condensation Nucleus Counter ; CNC)에 의해 측정되었으며, Ionizer의 코로나 방전에 의해 수화물의 초미립자가 생성된다는 연구보고도 있다(그림 1, 2). ULPA필터는 $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ 의 DOP입자에 대해 99.9999% 이상의 효율을 가지고 있으나, 클린룸에서 처리대상이 되는 외기의 농도가 ULPA필터의 포집효율 이상으로 높으면 초미세입자가 클린룸내로 유입될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

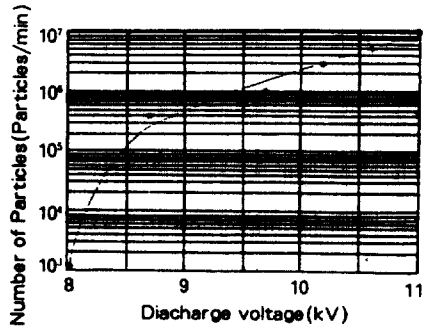


그림 2 Ionizer의 코로나방전의 인가전압과 초미세입자 발생과의 상관관계

클린룸내의 2차 생성입자(Gas to Particle)는 아직 제어대상의 사이즈 범위에는 들지 않지만 입자중에 함유된 성분자체가 유기물오염 및 중금속오염의 관점상에서는 문제가 될 수 있다.

클린룸내의 관리대상 입경이 $0.05\mu\text{m}$ 이하일 경우에는, 측정장치로서 CNC를 들 수 있다. 지금의 레이저광원을 이용한 광산란 입자계수기로서는 카타로그상 $0.05\mu\text{m}$ 가 한계이다. Fed. Std. 209E에서 새롭게 제시되고 있는 Ultra Fine Particle의 계측방법에서는, 사용하는 CNC의 계수효율을 입경에 따라 규정하고 있으며, 이러한 측정기의 신뢰성 향상은 시급한 과제라고 할 수 있다.

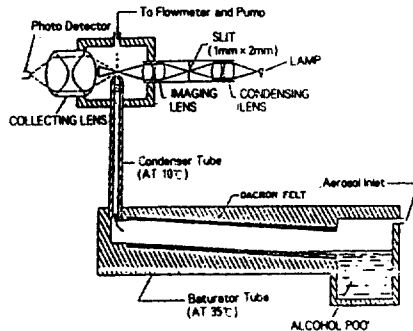


그림 3 응축핵측정기(CNC)의 개략도

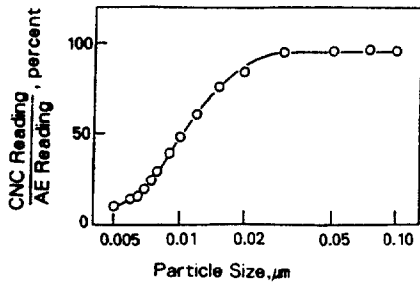


그림 4 응축핵측정기(CNC)의 계측효율

현재 시판되고 있는 CNC의 흡인유량은 2.83 l/min로 최소가측입경은 0.05 μm로, 증기 연속혼합방식의 것이 주로 사용되고 있다. 최근에 흡인유량이 14 l/min, 28 l/min의 대유량의 것도 소개되고 있으나 아직 국내에 보급된 것은 없다. 그림 3, 4에 CNC의 개략도 및 계측효율을 나타낸다.

최근 반도체 제조 환경상의 유해가스(산성가스, 유기물질, 금속이온)의 디바이스에 대한 영향등에 관해 관심이 증대되고 있으며, 제거에 대한 대책이 긴요한 실정이다. 가스狀, 입자狀, Mist狀등의 화학물질은 단선, 쇼트선의 결함원인이 되는 입자와 함께 Silicon Wafer 표면과 막형성후의 계면에 영향을 미쳐 수율 및 신뢰성과 직접적인 관련이 있다.

화학물질은 종래의 HEPA, ULPA필터로 제거되지 않으며, 종류와 성상에 따라 제거방법이 달라지기 때문에 그것등을 정확히 파악하는 것이 중요하다.

그림 5에 클린룸내의 실리콘웨이퍼의 SiO₂ 표면의 접촉각 변화를 나타낸다. 이러한 가스상물질의 웨이퍼 표면에서의 흡착은 자연산화막의 성장제어, CVD막의 표면이상성장방지등에 중요한 팩터로 작용되리라 사료된다.

최근에는 반도체 프로세스 화학물질로 사용되는 HF에 의해 클린룸 에어필터의 여재인 Glass Fiber가 부식되어 BF₃가 발생되어 반도체 디바이스의 P전환 불량등의 악영향을 미친다는 연구 보고가 있다. 유도결합 플라즈마 질량분석계(ICP/MS)로 측정한 클린룸 중

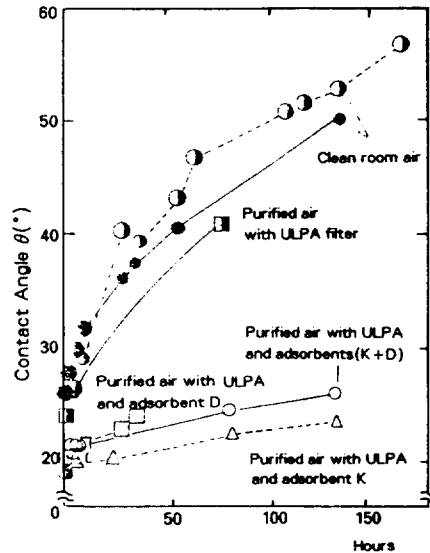


그림 5 클린룸내의 실리콘웨이퍼 표면상의 D.I.Water의 접촉각

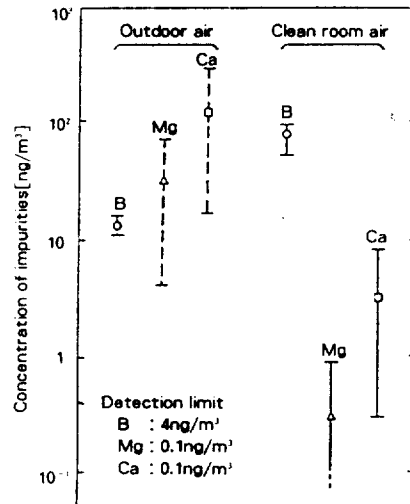


그림 6 외기와 클린룸내 공기중의 금속이온의 농도비교

의 붕소농도는 50~100ng/m³으로 외기보다 매우 높다고 보고하고 있다(그림 6). 또 ULPA필터의 사용년수에 비례해서 붕소농도

가 높은 것을 확인했으며, ULPA필터가 붕소 발생원의 하나라고 보고하고 있다(그림 7).

클린룸 환경중의 가동 이온으로서 암모니아 (NH_3)가스가 화학증폭형 포토 레지스트의 선 폭에 영향을 준다는 보고도 있으며(그림 8), Wet Station등의 D.I. Water에 용해되어 전 기저항성을 낮춘다는 지적도 있다.²⁾

클린룸중의 NO_x , SO_2 , HCl , H_2S 등의 케미칼 이온물질을 제어하기 위해 이온 크로마토그래피를 이용해서 그 성상을 해석하고 있다. 인편저에 의한 용액포집과 필터포집을 비교해 보면 클린룸에서는 NO_3^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_2^- 의 이온이 가스 또는 미소입자로서 존재하는 경우가 많으며, 종래의 HEPA필터의 여과메카니즘으로는 완전하게 제거할 수 없다는 보고도 있다(그림 9).

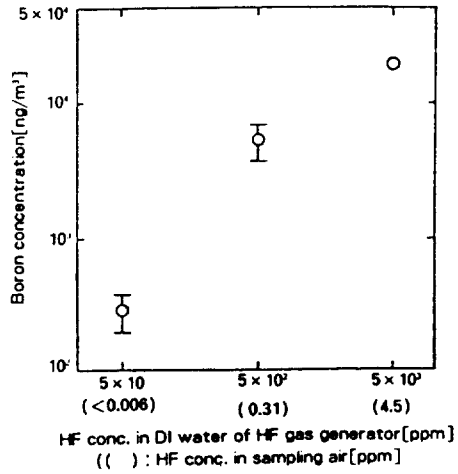


그림 7 HF 농도에 따른 ULPA 필터로부터의 붕소 발생농도

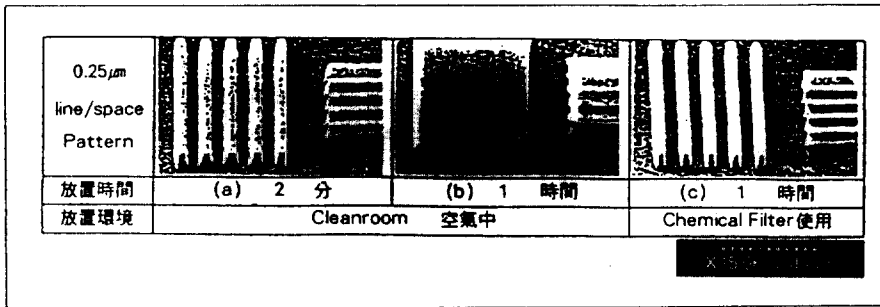


그림 8 암모니아(NH_3)의 Photo Resist에 대한 영향평가

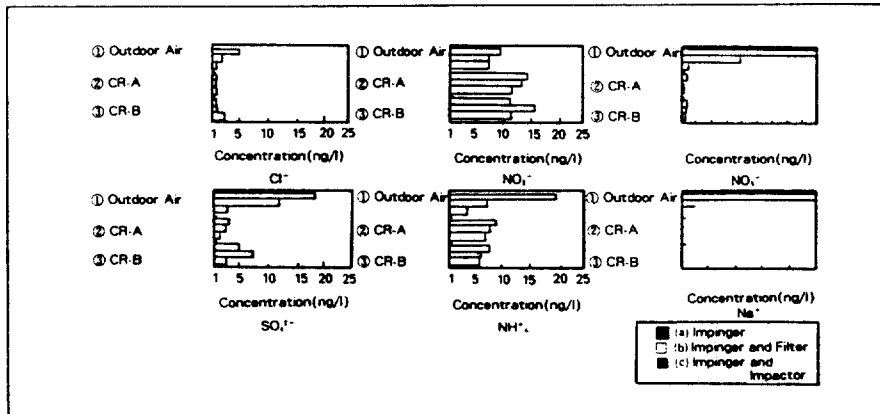


그림 9 샘플링방법에 따른 가스상물질의 농도비교

가스물질이 클린룸중의 수분에 의해 응축해서 액상 또는 고체상의 상변화에 의해 입자를 생성하는 경우도 있기 때문에 가스상물질의 존재에 의한 입자발생의 위험성도 지적되고 있다(그림 10).

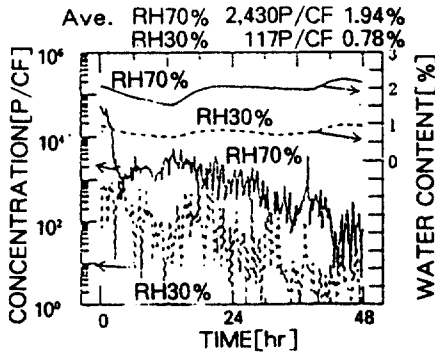


그림 10 클린룸내의 습도와 초미세입자의 생성농도와와의 관계

프로세스에 사용되는 재료로부터의 발진 영향 및 필터하방의 미량의 공기중의 원소농도를 하전입자여기X선방사선분석법(PIXE)으로 평가한 사례도 있다.

특히 Sputter의 메탈재료가 챔버내로부터 격리된 클린룸의 공기중에서 검출되고 있으며, 또 HEPA필터의 바로 밑에서도 Si등의 원소가 검출되고 있다. 각 프로세스에 있어서의 금속원소에 의한 웨이퍼 오염레벨을 측정 한 결과에서는 이온주입, 금속박막형성, 포토 리소그래피, 에칭공정에서 Fe와 Ni의 오염레벨이 높다고 하는 보고가 있다.

클린룸 공기중의 유기물 오염에 관해서는, 대기압이온화질량분석계(APIMS)로 정량적으로 조사한 보고가 있다. 클린룸 공기중에 10~50ppb의 아세톤이 측정되었으며, 그것의 반정도는 작업자의 호흡과 피부로부터 발생된 가스에 기인되는 것으로 보고 있다(그림 11).

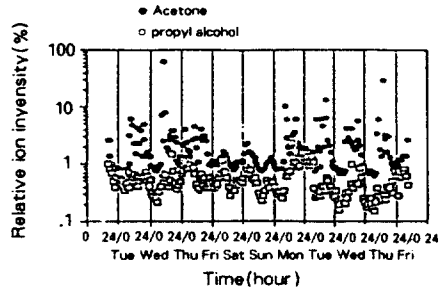


그림 11 클린룸내에 있어서의 아세톤과 프로필렌알코올의 상대이온강도 변화

HEPA필터로부터 발생하는 DOP는 0.1ppb정도로서, 향후에 허용농도가 엄격해졌을시에는 그 영향을 무시할 수 없는 가능성도 지적되고 있다(그림 12). 클린룸의 Sealant로부터 실로 카산등의 저분자유기가스의 발생에 대해서도 주목되고 있다.

이상의 유기물의 디바이스에 대한 영향에 관해서는 아직 명확하지 않는 점도 많으며, 분석·평가방법을 포함해서 향후의 과제로 남기고 싶다.

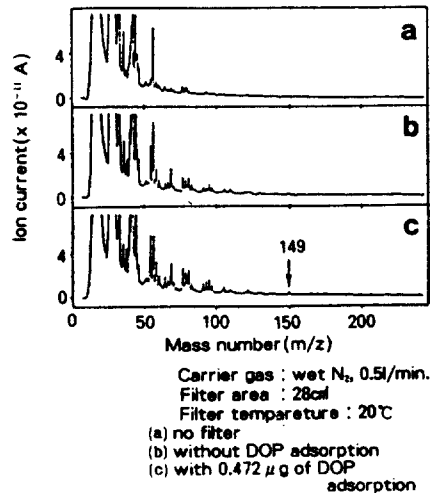


그림 12 클린룸 HEPA 필터로부터의 유기물질 농도측정

3. 클린룸내의 공기질 제어기술

그림 13과 같이 클린룸에서의 가스상 오염물질의 제어를 목적으로 하는 케미컬필터의 적용에 관해서는, 외조기에서는 부직포타입이나 페렛트상태(알맹이상태)의 것을 적용하는 것이 일반적이며, 클린룸의 리텐에어와 FFU(Fan Filter Unit) 등에서의 적용에는 부직포타입 혹은 압력손실이 낮은 허니컴타입의 것이 바람직하다.

케미컬필터의 대표적인 것은 물리적 흡착에 의한 활성탄을 들 수 있지만, 클린룸에서와 같이 가스농도가 낮은 ppb레벨이 되면 흡착효율이 급격히 떨어지며, 수명도 짧아지고 또한 탈착에 의한 재발산의 역작용의 염려가 있어서 상당한 주의가 요구된다. 최근에는 전보³⁾에서 필자가 소개한 상온상압에서의 연면방전에 의한 플라즈마 화학처리기술과 산화·환원의 중화반응을 이용한 화학흡착방식의 케미컬필터가 클린룸 뿐만 아니라 특수공조분야에 일부 적용되고 있으나, 화학반응에 의한 2차

생성물과 화학흡착된 물질의 재발산, 케미컬필터 자체의 화학적성분 등에 의한 악영향 등에 관한 문제점들이 제기되고 있는 실정이다.

이에 반해, 클린룸내에 미량으로 존재하는 산성·염기성 화학오염물질 등을 고효율로 제거하며, 단위 중량당 수명(가스처리량)이 길며, 상기의 문제점을 해결한 H사의 이온교환방식의 케미컬필터를 아래에 소개한다.⁴⁾

그림 14에 필터를 구성하는 부직포의 제조원리를 나타낸다. 필터를 구성하는 섬유(폴리오레핀계의 기존의 고분자화합물, 이하 기재 폴리머라고 칭함)에 방사선을 조사해서, 화학기(Radical)를 생성시킨다. 다음에 화학기에 모노마를 반응시킴으로서, 화학기를 기점으로 해서 모노마의 중합체가 형성된다. 이 방법은 모노마가 그래프트와 같은 모양으로 형성된다고 하여 그래프트중합이라고도 부른다. 방사선 그래프트중합은 섬유·직포·부직포·펠트 등의 기존의 성형체의 형상과 특성을 해치지 않고 이온교환기 등의 새로운 기능을 부가시킬 수 있는 우수한 기술이다.

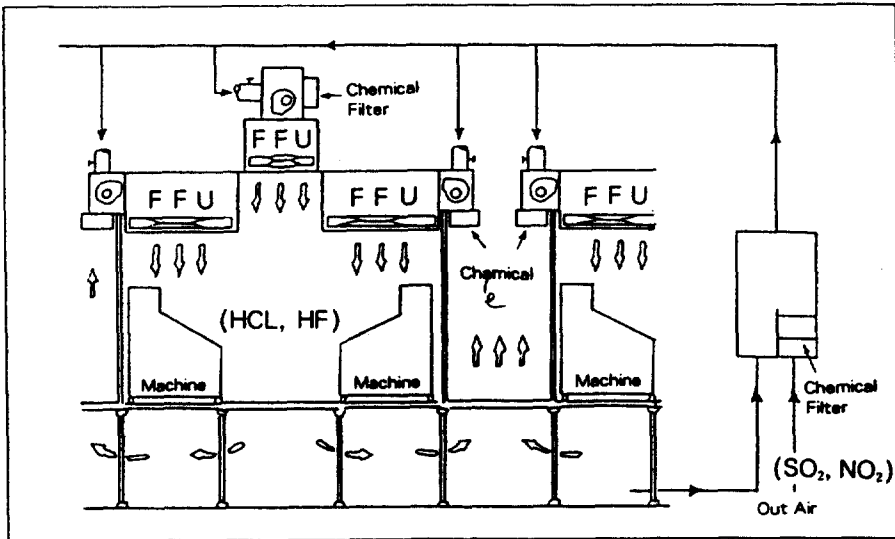


그림 13 케미컬필터의 클린룸에의 적용 개요도

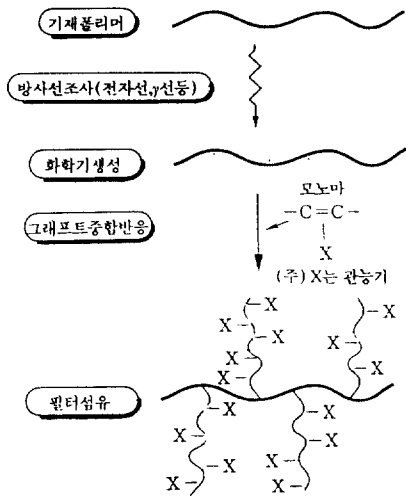
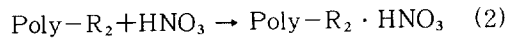
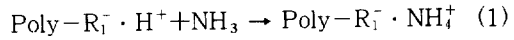


그림 14 이온교환방식의 케미컬필터의 제조원리

이와같이 이온교환체는 그 특징적인 제조법에 의해 불순물 함량이 매우 낮으며 그림 15와 같은 이온교환기에 의한 화학흡착기구를 이용하기 때문에 흡착성분의 재비산이 없다. 그리고 이온교환체는 이온교환기의 밀도가 높고 비표면적이 크기 때문에 반응속도가 매우 빠르다. 그 때문에 저농도(ppm레벨)에서도 가스물질의 제거능력이 우수하다.

그림 16에 필터의 전자현미경 사진을 나타내며, 공극율은 약 80% 정도이다 표 4에 필터의 종류와 제거대상 가스물질을 나타낸다. 반도체용 클린룸에서는 약산성 Cation포와 약염기성 Anion포의 조합이 이용되고 있다. 그림 17, 18, 19에 대표적인 염기성가스인 NH₃, 산성가스의 HCl, HF의 제거효율을 나타낸다. 측정조건은 온도 25~26℃, 습도 50~60%RH이며, 필터는 평막 1매이다. 결과에서 알 수 있듯이, 제거효율은 가스물질의 농도, 필터의 통과속도에 관계없이 일정하다.

그림 20에 필터의 통과풍속과 압력손실의 관계를 나타낸다. 측정조건은 필터를 3매 적



Poly : 기재폴리머

R₁ · H⁺ : 강산성 Cation교환기(H형)

R₂ : 약염기성 Anion교환기(유리염기성)

그림 15 이온교환기구

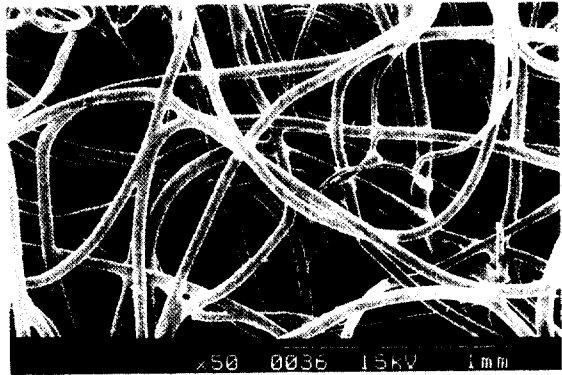


그림 16 케미컬필터의 여재(부직포) SEM사진

층했으며, 70, 150, 300mm의 두께로 절곡한 상태이다. 그림에서 알 수 있듯이 동형상의 ULPA, HEPA 필터와 비교하면, 압력손실이 1/10 정도이다.

표 4 이온교환부직포 케미컬필터의 종류

종 류	이온 교환기	제 거 대 상 가 스
강산성 Cation포	설펀기	NH ₃ , Na ⁺ , K ⁺ , etc.
약산성 Cation포	카르보닐기	NH ₃ , Na ⁺ , K ⁺ , etc.
강염기성 Anion포	4급 암모늄기	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , HF, etc.
약염기성 Anion포	3급 아마노기	HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ , HF, etc.

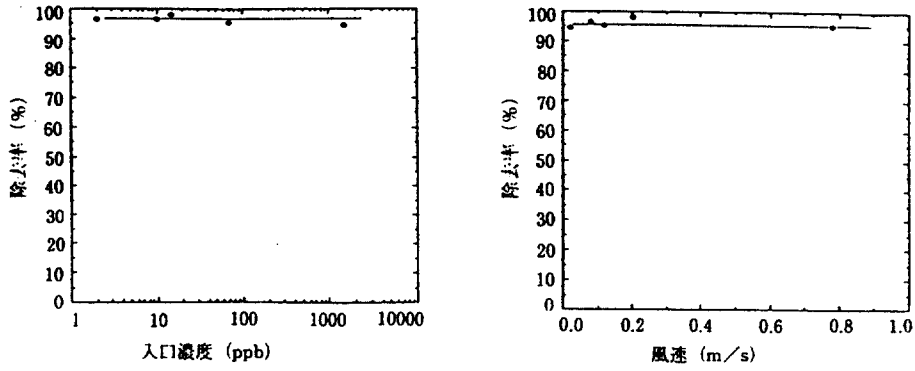


그림 17 NH₃ 제거성능 (강산성 Cation 섬유)

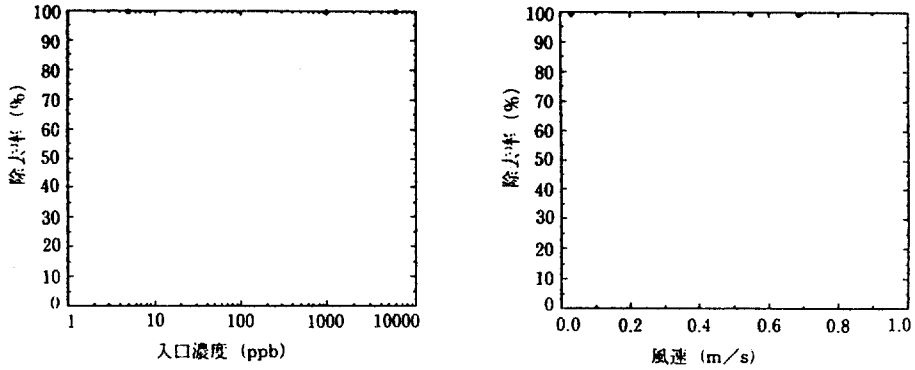


그림 18 HCl 제거성능 (약염기성 Anion 섬유)

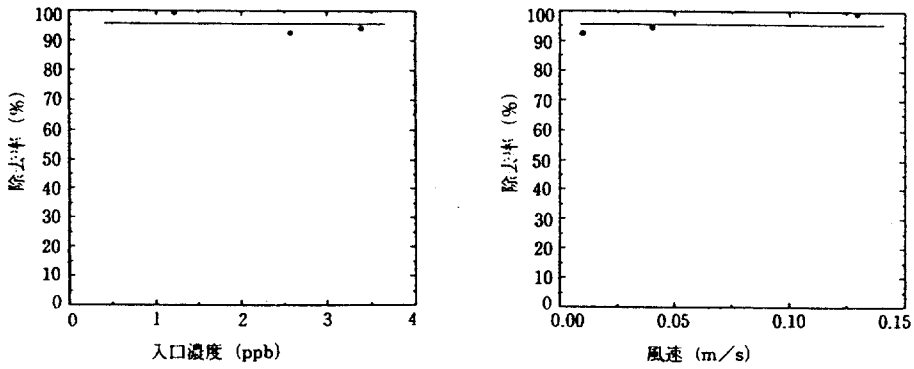
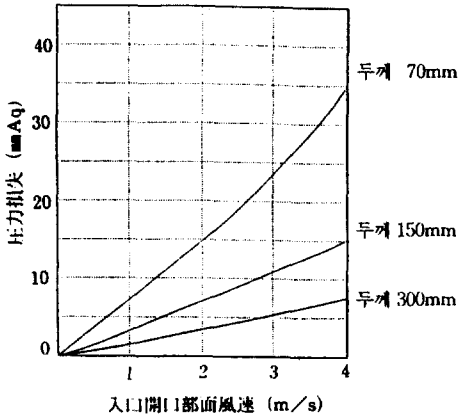


그림 19 HF 제거성능 (약염기성 Anion 섬유)



- 세퍼레이터높이 5mm
- 이온교환부직포막 3매적층
- 절곡형

그림 20 케미컬필터의 압력손실

4. 차세대 클린룸 기술

짧은 LSI의 라이프사이클과 막대한 초기투자비 부담에 따른 코스트저감은 매우 절실한 과제이다. 클린룸에 있어서 코스트 저감책의 가장 대표적인 예는 FFU를 이용한 국소순환 시스템을 들 수 있다. 이방식은 수년전부터 각 분야에 도입되고 있으며, 종래의 공조방식과 대형축류 Fan을 이용한 방식에 비해 공기반송동력의 저감에 있어서는 매우 유효한 방식으로 평가되고 있다. 그러나, 공조방식의 기술혁신에 의한 코스트 저감보다는 더욱 중요한 것은 클린룸의 청정공간의 국소화(한정화)라고 생각된다. 즉 넓은 반도체공장 중에서 정말로 Class 10이상의 청정도를 필요로 하고 있는 부분의 집약화와 그것 이외 부분의 차별화가 절대적으로 필요하다.

지금까지의 국소청정화 개념을 정리해 보면, 구미에서 이야기되고 있는 Mini-Environments, Micro-Environments, 일본 동북대학의 Closed Manufacturing System 등이 있다. 이러한 시스템에 대응하기 위한 비접촉 질소기류반송, X선·자외선 조사에 의

한 정전기제어기술 등의 요소기술은 이미 연구개발이 진행되고 있다. 국소공간마다의 제조공정상의 환경조건을 각각 독립적으로 제어하면서, 프로세스간을 연결하는 클린튜브, 비접촉반송기구에 의해 외부환경과 완전히 단절된 Process Net Work을 실현하면 쾌적성면에서도 이상적인 작업환경을 확보하는 것이 가능하게 된다.

상기의 국소시스템이 과연 순조롭게 실제 제조공장에 적용가능하는지에 관해서는 의문의 여지가 많다. 제조공정에 필요한 Flexibility와 유지보수성의 관점에서 보면, 제안된 시스템대로는 실용화에 상당히 많은 문제를 안고 있다. 현재 최첨단이라고 말하는 라인에서도, 장치에 따라서는 그 청정도와 프로세스 조건을 안정화 하기 위해 상당시간 클린닝과 유지보수가 필요로 하게 된다. 이러한 이유 때문에 10여년 전에 개발된 SMIF시스템의 실제 적용이 곤란했다.

오염제어의 관점에서는 단지 폐쇄공간을 만들어서 좋을런지에 대해서는 여러문제가 있다. 제어대상이 되는 공간이 작게되면, 시스템 내부에서 물리화학프로세스와 장치요소에 기인하는 오염요인이 보다 밀접하게 되어 오염을 증대시킬 수 있다. 종래의 클린룸시스템에서는 오염물질의 확산에 의한 희석효과가 기대되지만, 국소폐쇄공간에서는 발생된 오염물질이 국소공간에 한정되기 때문에 오염을 촉진시킬 수 있다. 단 하나 중요한 것은 종래는 제어대상이 입자였던 것이 차세대 클린룸에서는 제어대상이 가스상 물질이 되는 것이다. 일반적으로 입자오염은 한정된 발생원에 기인되는 것에 반해, 가스상 오염물질은 시스템의 구성재료등과 같이 여러 발생원에 기인하기 때문이다. 제어대상 공간의 용적이 작게 되면, 상대적으로 오염가능한 표면적의 비율이 크게 되는 것에 유의할 필요가 있다.

이상과 같은 국소청정화 시스템이 갖는 문제점에 대한 향후의 기술적인 대응에 대해 아래 기술한다. 국소적인 제어대상 공간을 완전한 폐쇄공간으로 하지않고 시스템의 외부와

공간적인 연관을 가지면서 환기하는 방식으로 개선하는 것이 바람직하다. 시스템내외의 환경을 기류제어에 의해서 단절시켜, 시스템의 주위 환경조건을 몇단계로 구분한 클린룸 구성이 바람직하다. 운전비 면에서도, 주위 환경조건을 위해서는 종래의 난류형 클린룸에 가까운 형태의 공조·환기방식을 채용하는 것이 타당하리라 본다. 따라서, 각부분의 환기·공조능력의 상세한 예측·평가수단의 확립은 국소공간의 격리에 대해서도 시스템주변의 환경제어에 관해서도 중요한 기술과제이다.

독립된 국소공간을 연결해서 프로세스 네트워크를 구성하기 위해서는, 시스템과 제조장치와의 인터페이스, 시스템내의 국소공간간의 인터페이스 등이 중요한 기술과제가 된다. 전술한 바와 같이 반송기구 등의 개개의 요소기술은 이미 개발이 선행되고 있지만, 문제는 이러한 요소기술을 어떻게 재구축을 해야 유기적인 기능을 가지는 시스템으로 연결시킬 수 있는냐에 있다. 각각의 국소공간에서 환경조건을 독립적으로 제어한다는 것은 질소분위기, 저압챔버, 고정도 온·습도 제어챔버 등의 공간단위가 공존하는 것을 의미하는 것이다.

이러한 국소공간을 네트워크로해서 연결시켜 가기 위해서는, 반송계와 제조장치 내부를 포함한 웨이퍼 경로 전체를 청정도레벨을 기준으로 해서 평가하는 것이 필요로 한다. 그러기 위해서는 Fed. Std. 209E 등의 관련규격에서 입자외에도 공기중의 청정도 클래스를 표면청정도, 가스상 물질의 청정도로 종합적으로 평가할 수 있는 기준확립이 급선무이다. 각각의 국소공간, 제조장치내부에서의 온·습도, 압력, 가스상물질성분 등이 크게 다르기 때문에 오염메카니즘, 흡착메카니즘을 해명하는 것이 더욱 중요하게 된다.

5. 결 론

이상, 차세대 클린룸에 있어서의 초미세입자의 생성과 평가 기술, 가스상 물질의 클린룸내의 실태와 제거기술, 차세대 클린룸시스템

의 개념과 기술상의 문제점과 향후 과제 등에 관해 서술했다.

특히 반도체분야에서 클린룸기술은 반도체 제조기술과 더불어 전환기를 맞고 있다. 2,000년대에 꿈이 아닌 현실로서 다가오는 Gbit 반도체시대에는 프로세스기술 및 장치, 자동화 방식과 클린시스템이 불가분의 관계가 되며, 기술면에서나 경제적인면에서도 새로운 발상 전환이 요구되고 있다.

지금까지의 클린룸시스템을 Open Manufacturing System이라고 불렀으며, 가까운 장래에는 Closed Manufacturing System이라고 불리는 시스템으로 이행해서 가리라 생각되며, 이 경우 클린룸이라고 하기 보다는 웨이퍼를 중심으로한 클린환경시스템으로서의 개념으로 발전시켜 나아가야만 한다. 그리고 이러한 시스템이 완성되었을 때에야 말로 이상적인 클린화 전자동화공장이 실현될 것이다.

참고문헌

- 1) 清田省吾, 1994, “半導體製造CR內 Chemical 汚染の現状”, Clean Technology, Vol.4, No.10, pp.35-40
- 2) 齊木 篤, 1994, “Cleanroom 空氣中の微量 Ammonia の除去”, Clean Technology, Vol.4, No.10, pp.41-44
- 3) 김광영, 1993, “유해가스 제거장치-저온 플라즈마 화학처리 및 Chemical Filter방식을 중심으로-”, 공기조화·냉동공학, Vol. 22, No.6, pp.398-410
- 4) 河津秀雄, 1994, “Ion 交換不織布 Chemical Filter”, Clean Technology, Vol.4, No.10, pp.45-47
- 5) 鈴木 道夫, 1994, “Cleanroom の現状と未來”, 冷凍, Vol.69, No.802, pp.1-6
- 6) 김광영, 1994, “차세대 클린룸기술 동향 및 전망”, (주)신성엔지니어링 기술사보(한길), 여름호, pp.6-13