

클린룸내 화학적 오염원의 측정/분석 기술

김 광 영 · 유 승 교

(주) 에 이 스텝
대 표 이 사 / 이 사

1. 머리 말

반도체 산업을 구성하는 가장 중요한 요소중 하나가 제조 공정 과정의 청정도 관리임은 너무나도 잘 아는 주지의 사실이다. 그래서 반도체 생산공정의 대부분은 클린룸내에서 이루어지며, 클린룸의 청정도 유지가 생산 수율에 직접적인 관계를 보인다. 특히 차세대 반도체를 생산하기 위한 청정도 기준은 더욱 엄격해지고 있는 실정이다. 이전 저용량 메모리 반도체의 생산 공정에서는 Particle(미립자)의 관리가 주요 대상이었으나, 점차 고용량 메모리로의 발전이 이루어지면서 입자 수준의 관리로는 충분하지 않으며, 분자상 오염원 즉, nm 사이즈의 가스상 오염원들에 대한 측정과 규제가 절실히 필요하게 되었다. 향후 GIGA급 메모리 반도체의 생산을 위해서는 분자상 오염원의 농도를 1 ppb 이하인 ppt 수준까지도 측정할 수 있는 측정기술과 제어가 필요하다. 그러나 분자상 오염물질의 경우 그 종류의 다양성과 물질적 특성을 정확히 파악하는데 어려움이 있으므로,

이에 대한 측정 및 제어 기술에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야할 것으로 생각된다.

본 기고에서는 고청정도의 클린룸 설계 및 환경조성에 꼭 반영되어야 할 오염원 제어 부분과 매우 밀접한 관계가 있는 클린룸 오염원에 대한 일반적 정보를 몇 부분으로 나누어 설명하고자 한다. 1) 반도체 메모리 향상에 따른 반도체 공장의 클린룸 청정도 발전 내용, 2) 클린룸 오염원의 종류 및 영향, 3) 오염원의 측정 기술, 4) 실제 적용사례 등에 대하여 간단히 소개하고, 국내·외 기술 현황과 극미량 분자상 오염원까지 측정이 가능한 세계적 국내 기술과 측정기기를 소개하고자 한다.

2 반도체 메모리 향상에 따른 청정도 발전 추세

저용량 메모리 64 MD 이하의 생산에 있어서는 Particle 수준의 관리로도 생산수율 관리가 충분하였으나, 64 MD 이상에서는 관리 Particle의 크기와 단위부피당 숫자의 기준도 낮아질 뿐만 아니라, 분자 수준의 가스 오염물질도 관리의 대상으로 대두되었다.

일반적으로 Particle 발생의 주요 원인은 외기와 클린룸내 발생 요인으로 나눌 수 있으며, 외기에 의한 Particle 영향은 필터설치에 의하여 제어가 가능하며, 클린룸내 발생 요인은 사람과 생산장비 및 설비에 의한 요인으로 나눌 수 있다. 또한 이들 입자들의 오염 거동은 Wafer에 부착하여 국소적으로 배선이상, 저항 증가, 막절연 및 막내압 불량 등의 문제를 발생시킬 수 있으나, 클린룸의 공기청정도 향상과 개선을 통하여 문제를 해결할 수 있다.

생산 반도체의 메모리 용량에 따른 클린룸내 입자 제어 기준을 64M DRAM을 기준으로 나누어 본다면, 64M 이하의 메모리 생산에서 가스중 입자의 제한 기준은 0.05 μm 크기의 입자가 1개/ ft^3 이며, Wafer상 허용 입자의 농도는 0.02개/ cm^3 이고, Lithography 선폭은 0.25 μm 이상으로 허용금속 오염은 1×10^{10} atoms/ cm^2 이다. 그러나 64M 이상(256M or GIGA급)의 메모리 반도체 생산을 위한 기준은 훨씬 더 엄격하여, 0.01 μm 크기의 입자가 1개/ ft^3 이고, Wafer상 허용 오염 역시 0.002개

/ cm^3 , Lithography 선폭 0.15 μm 이하, 허용금속 오염은 5×10^9 atoms/ cm^2 정도이다. 클린룸 제어방식 또한 Open Cassette 방식을 이용한 전공간 제어 방식에서 국소환경제어 모듈화와 Clean Tube를 이용한 Wafer 공정 공간만의 고청정 관리 방식으로 전환되고 있다.

고 메모리의 반도체 생산으로 옮겨 오면서 Lithography 선폭의 미세화와 생산공정에 사용되는 관리 대상 오염원의 주된 항목은 입자 관리가 중점 사항이었으나, 고 메모리 반도체 생산으로 발전하면서 Lithography의 선폭 미세화와 생산공정시 사용되는 화학제에 의한 분자상 오염물질 제어 방향으로 바뀌고 있다. 분자상 오염원의 제어는 클린룸 공기청정도 향상과 더불어 Chemical Filter 설치 및 유기가스 제어필터 설치 등으로 상당한 개선이 가능하나, 다양한 오염 물질의 영향을 정확히 파악하는 데는 어려움이 있다.

여기서 입자 오염과 화학적 오염의 차이와 특성을 비교하여 보면, 입자오염의 경우 0.05 ~ 10 μm 의 크기를 가지고 있으며, 광학 현미

표 1. 생산 메모리 향상에 따른 클린룸 발전 동향

년 도	95~96	97~99	00~02	03~05	06~10
메모리 용량 (DRAM)	16M	64M	256M~1G	4G	16G
선폭 (μm)	0.35	0.25	0.2~0.18	0.13	0.10
관리 Particle Size (μm)	0.1	0.07	0.05	0.02	0.01
미진동변이 (μm)	0.45	0.35	0.25	0.15	
Wafer Metal 오염	1×10^{10} atoms/ cm^2		5×10^9 atoms/ cm^2		
Clean Room 방식	<ul style="list-style-type: none"> - Open Cassette System - Total Area Clean Process - Control of Particle 		<ul style="list-style-type: none"> - Mini Environment + Ultra Modular + Clean Tube System - Clean Local Area of Wafer - Control of Molecular Contamination 		

경이나 SEM(Scanning Electron Microscope) 등으로 검사가 가능하고, 정전기력이나 van der Waals 인력에 의한 결합으로 부착하여 주로 점결함을 유발 시킨다.

이에 대한 Wafer 상의 제거 방법은 초음파 세정과 SC1 세정 등이 사용되며, 평가 방법으로는 기체, 액체 표면 측정기 및 XMA 원소감정 등을 적용한다. 반면, 화학적 오염은 그 크기가 1/1000배 이하로 작은 0.001 ~ 0.0001 μ m 이고, 오염원 자체의 크기가 작기 때문에 외관

검사 자체는 매우 어렵고, Wafer 상의 접촉성 또한 화학흡착, 이온, 산화 및 환원반응과 같은 화학반응으로 이루어지기 때문에 세정에도 어려움이 있다. 화학적 오염에 의한 불량은 Wafer 표면 전반에 나타나며, 전류 Leak나 접촉 불량 등의 형태로 나타난다. 분자상 오염원의 제어는 클린룸 공기청정도 향상과 Chemical Filter 설치 및 유기필터설치 등으로 상당한 개선이 가능하며, 입자 오염과 화학적 오염의 차이를 표 2에 간단히 정리하였다.

표 2. 입자 오염과 화학적 오염의 차이

년 도	입자오염	화학적 오염
Size	10 ~ 0.05 μ m	0.001 ~ 0.0001 μ m
외관검사	광학 현미경, SEM	어려움
Wafer 접착성	정전기력, van der Waals force	화학흡착, 이온반응, 산화, 환원반응
Gas or Chemical 이용 제거방법	Filter법	증류, 흡착, 이온결합, 세정반응
Wafer 상의 제거방법	초음파 세정, SC1 세정	화학적 용해세정(오염종류별)
평가방법	기체, 액체, 표면측정기, XMA 원소 감정	화학분석법(ICP, AAS, ICG,.....)
Device의 영향	오염불량, Pinhole, Pattern Short-Open	오염불량, Leak 전류,접착불량
불량 형태	주로 Point 결함	주로 Surface 결함

3. 반도체 제조에서 각종 오염원의 영향

3.1 주요 오염원의 발생원인

3.1.1 Particle(입자): 외기와 실내에서 발생될 수 있으며, 실내 발생요인으로는 사람과 생산장비 특히 진공펌프류와 같은 운동량이 많은 기기들에서 주로 발생된다. 또한 발생된 입자

는 가스류 오염원과 반응하여 Mist류로 Wafer 상에 부착하여 배선이상을 유발시킬 수 있다.

3.1.2 Boron (B_2O_3 입자, BF_3 가스): HEPA 필터의 재질인 BPSG와 HF의 반응을 통하여 BF_3 ($BPSG + HF \rightarrow BF_3$) 발생이 가능하며, 이는 Wafer상에서 P 반전 이상이나 V_{th} 이상을 나타낸다.

3.1.3 무기가스: HF, HCl, Cl_2 , Br_2 , SO_2 , NO,

NO₂ 및 PH₃ 등의 산성 무기가스들이 주요 오염원이며, 이들은 외기와 화학제재 약품에 의한 실내 발생이 주요인이다. 일반적으로 금속, 자기 디스크 등에 작용하여 Al/Cu 배선 이상, 도금 이상 및 Au 후면 금속 부식을 일으켜 이물(Haze)을 발생시킬 수 있다.

3.1.4 암모니아 가스(NH₃): 암모니아 가스는 외기와 실내에 의해 생기며, NH₄OH-H₂O, TMAH 등과의 가수분해로 나타나며, 암모니아 가스 그 자체의 직접적 오염 보다는 반도체 공정상에서 많이 사용되어지는 산성류 화학제와의 반응을 통한 이상 발생이 매우 심각하다.

표 3. 클린룸내 오염원인과 그 영향

대상항목	발생원인 생성반응	오염작용형태	오염의 영향	대 책
입자	외기 실내 가스-입자 변환	- Wafer에 부착 10 ⁸ ~ 10 ¹¹ atoms/cm ²	배선 이상	대상입자 Level Class 개선
Inorganic Gas	외기 실내발생(약품 등)	일반적 오염: 금속, 자기디스크	Al/Cu 배선, 도금이상 Au Back Metal 이상	청정화
Boron(B ₂ O ₃), BF ₃ Gas	B in HEPA+BF ₃ BPSG 재료/ 박막 Etching B ₂ H ₆ 등 BPSG+HF -> BF ₃	Wafer 상 오염	P 반전 이상 Vth 이상	활성탄 및 이온교환 Chemical filter 제거
NH ₃ Gas	NH ₄ OH-H ₂ O ₂ (TMAH 등) 가수분해 NH ₄ ⁺	화학 증폭형 PR H ⁺ 와 반응	Lithography 불량	
HMDS Gas	- 공기중에서 가수분해 - 용액흡수시 분해 Wafer 표면 친유성 변화	PR 표면의 경화 T-top 현상 Lithography 불량(Lens 오염)		Chemical Filter 제거 Non-Sealant C/R
Siloxane	- Sealant 중합축매 -> Oligomer 발생	Wafer 부착	이물(Haze)	
Phthalate Gas	Filter 점점 가소제	Wafer 부착	유기물의 일반적 장애 SiC 생성?	
Phthalate Gas, 인(가수분해성) Gas	- 건축재료, 난연제 - PSG 원료/부발생물 (R ₃ P, PH ₃ , PF ₃ , PF ₅)	Wafer 부착		
Organic Gas	외기 실내발생	Wafer 상에 순간적 1분자층 이하로 흡착		오존산화 실내공기와 차단
H ₂ S, COS(C=O=S)	외기		금속 표면색 변화	

특히, 화학 증폭형(Photoresistor) 공정에서 H^+ 와의 반응을 통한 표면 경화 T-top 현상을 나타내어 Lithography 불량을 일으킨다.

3.1.5 Siloxane: 실리콘계 Sealant의 분해촉진제로부터 중합촉매 반응을 통하여 Oligomer를 발생하고, Wafer 표면에 부착하여 이물을 형성한다.

3.1.6 Phthalate 증기: 필터와 건축자재의 난연제로부터 배출되며, R_3P , PH_3 , PF_3 , PF_5 등의 부발생물을 생성하여, 유기물의 일반적 장애인 표면반응을 통한 넓은 영역에서의 전기적 특성상실과 같은 문제를 발생시킨다.

3.1.7 유기가스: 클린룸내에서 발생하는 유기 가스는 매우 다양하여 각 성분에 대한 정확한 정보 접근이 매우 어렵다. 이들은 순간적으로 Wafer 표면에 흡착하여 1 분자층 이하의 막을 형성하거나 반응을 일으켜 Wafer 표면의 전기적 특성을 잃게 만든후 사라지므로, 물질 규명에 매우 어려움이 많다. 현재까지 반도체 생산에 심각한 문제를 야기시키는 유기화합물은 20여가지 정도 알려져 있으며, 그중 아민류(RNH_2 , R_2NH , R_3N) 화합물들이 주요 제어 대상이다.

3.1.8 H_2S , $COS(O=C=S)$: 이들 가스의 주요 발생원은 외기이며, 금속과 반응하여 금속표면의 색을 변화시킨다.

이상과 같은 클린룸내 불순물의 발생원인과 영향을 표 3에 정리하였다.

4. 오염원의 측정기술

4. 1 오염물의 농도

4.1.1 기체중 물질

(1) 분진(입자상태의 물질)의 농도

1) 절대적 표시와 상대적 표시

기체중에 부유하고 있는 분진(입자상태의 물질)의 농도 표시법은 절대적 표시와 상대적 표시로 대별된다.

a) 절대적 표시

(가) 입자갯수농도(개/cm³): 일정용적의 기체중에 부유하고 있는 분진(입자상태의 물질)의 수를 단위 부피당 개수로 나타낸 것

(나) 질량농도(mg/cm³, $\mu\text{g}/\text{m}^3$): 일정 용적의 기체중에 부유하고 있는 분진(입자상태의 물질)의 양을 단위부피당 질량으로 나타낸 것

b) 상대적 표시

기체중에 부유하고 있는 분진(입자상태의 물질)의 입자수 농도 또는 질량농도와 상대적 관계에 있는 양을 측정하여, 그 농도와 직접적으로 관계가 있는 지수로 나타낸다.

2) 강하분진량 (g/100m²/월) 또는 (t/km²/월)

대기중에 부유하고 있는 물질중 입자 자신의 중력 또는 비에 의해 강하하는 불순물, 즉 강하분진을 강하분진계(Deposit Gauge)로 측정함으로써, 1개월간 100m² 또는 1km²에 강하하는 분진의 질량(gram 또는 ton) 단위로 표시된다.

(2) 가스상태 물질(기체)의 농도

1) 농도 표시법

기체중에 존재하는 가스상태 물질의 농도는 다음과 같이 표시한다.

a) percent(%) 농도: 100분율로 나타내는 기체의 용적비로 100 cm³ 중의 1 cm³이다.

b) part per million(ppm) 농도: 100만 분율의 기체 용적비로 기체 1m³ 중의 1 cm³이다.

c) part per billion(ppb) 농도: 10억분의 1의 농도로 1 ppm의 1/1000에 해당하는 농도이다.

d) part per trillion(ppt) 농도: 1조분의 1의 농도로 1 ppb의 1/1000에 해당하는 농도이다.

2) 가스상 물질의 용적과 중량

분자량이 M인 물질이 완전히 기화하면, M (g)의 물질은 0°C, 760 mmHg에서 22.4 L의 용적을 차지하며, 온도와 압력의 변화에 따라 그 변화량은 다음과 같이 나타난다.

$$M = 22.4 \times \frac{(273 + t)}{273} \times \frac{760}{P^*} \text{ (g)}$$

$P^* = P - W$ 이고, W(mmHg)는 수증기압이다.

3) ppm과 mg/m³의 관계

표준압력(760mmHg)하 공기중에서 분자량 M인 물질 1cm³의 질량은 다음과 같다.

$$0^\circ\text{C} \text{ 에서 기체 } 1 \text{ cm}^3 = M / 22.4 \text{ (mg)}$$

$$25^\circ\text{C} \text{ 에서 기체 } 1 \text{ cm}^3 = M / 22.45 \text{ (mg)}$$

또한 일반적으로 가스나 유해기체의 농도는 25°C, 760 mmHg 기준하에서 ppm 또는 mg/m³으로 나타내며, 분자량이 M인 물질의 ppm과 mg/m³의 관계는 다음과 같다.

$$1(\text{ppm}) = 1(\text{mg}/\text{m}^3) \times (24.45 / M)$$

4. 2 오염물의 측정기술

4. 2. 1 대표적 Particle(입자) 측정기

(1) 총합 측정기

1) 디지털 분진계

부유입자 총량에 대한 광산란을 광전류로 바꾸고 증폭하여 디지털로 값을 나타내며, 입자 농도는 1분당 Count(CPM)로 표시한다.

2) β-선 흡수식 질량계(Beta Attenuation

Mass Sensor)

β 방사선이 물질을 투과할 때 감소하는 현상을 이용하여 측정하며,

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

여기서, I₀는 입사 방사능의 강도, μ는 질량에 의한 방사능 흡수상수이며, x는 단위 면적당의 무게이다.

3) 수정발진식 질량계(Quartz Crystal Microbalance)

수정진동자의 공진 주파수가 포집된 입자의 무게 변화량에 선형적으로 감소하는 원리를 이용하며,

$$\Delta f = \frac{f^2}{\rho NA} \Delta m$$

여기서 f : 기본진동수

Δf : 진동수 변화량

Δm : 부착 입자의 진동

ρ : 수정 진동자의 밀도 (2.65 g/cm³)

N : AT Cut 진동자의 진동상수 (1.66 MHz/mm)

A : 수정 진동자의 전극면적

4) 다단 임팩터(Cascade Impactor)

다단의 유로에서 흡입되는 입자가 노즐 jet에서 빠른 속도로 이동하면 충돌면 근처에서 유로가 급격히 바뀌게 되고, 이때 입자의 관성에 의해 입자는 유로에서 벗어나면서 일정한 관성력 이상의 입자가 충돌면에 충돌되어 포집된다.

(2) 단일입자 측정기

1) 광학 입자계수기(Optical Particle Counter): 가장 보편적으로 사용하며, 이는 입자를 포함한 공기 jet속에 한 방향에서 조사한 빛에

의해서 생기는 입자 하나하나의 광산란을 전압 값으로 측정하여 신호의 높이와 개수에서 입자를 크기별로 자동 계산할 수 있도록 한 장치이다(0.3 μm 이상).

2) 공기역학적 입자계수기(Aerodynamic Particle Counter): 입자 가속노즐과 광학 산란 장치의 조합에 의한 입자의 공기 역학적 크기 측정장치(0.5 ~ 15 μm).

3) 응축핵 계수기(Condensation Nuclei Counter)

입자 주위에 증기(물, 알코올, 글리세린 등)를 응축시켜 큰 입자로 성장시킨 후 광학적 방법으로 입자의 개수를 측정한다(0.002 ~ 1.0 μm).

4) DMPS(Differential Mobility Particle Sizer)/SMPS(Scanning Mobility Particle Sizer)

이 장치는 방사능에 노출하여 전기적으로 중화된 입자를 사용하여 입자 크기별로 분류해 내는 장치인 DMA(Differential Mobility Analyzer)와 응축핵 계수기(CNC)를 통합한 장치이다.

4. 2. 2 오염가스 측정기

현재 클린룸 환경에서 주된 관리 대상이 되는 가스상 오염물질은 암모니아와 산성 무기가스 및 유기가스들이다. 먼저 저농도 암모니아를 실시간 측정 분석할 수 있는 측정기와 무기가스들에 대한 측정기 및 향후 주된 관리 대상이 될 유기가스 측정기에 대하여 소개하고자 한다.

(1) 암모니아 측정기

1) 암모니아 가스 분석기(Ammonia Gas Analyzer)

암모니아는 특별한 흡수 파장을 가지지 못하여 분광학적 방법으로는 직접 측정하기가 매우 어려우나, 화학 발광법을 이용하여 얻어진 $\text{N}_2(\text{NO} + \text{NO}_2 + \text{NH}_3)$ 에서 $\text{NO}_2(\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2 + \text{h}\nu)$ 를 쉐 값으로부터 간접적으로 NH_3 의 농도를 얻는 방법을 사용하고 있으며, 실 측정치의 보정을 위해서는 표준 암모니아 가스 발생기를 이용한 Calibration을 주기적으로 행하고 있다(0 ~ 100 ppm 또는 0 ~ 200 mg/m^3).

2) 이온이동도법 측정기(Ion Mobility Spectrometry)

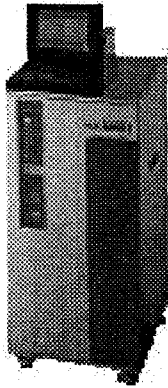
방사선원이나 이온화원을 사용하여 흡입시료를 이온화시키고 균일전기장이 형성된 이온 이동도관을 통과시켜 이온의 질량에 따른 이동 속도차로 물질을 분석하는 방법이다. 이는 비교적 미량분석이 가능하나 정성분석이 어려운 단점이 있다.

3) 확산 스크러버를 이용한 형광분석법과 이온선택성 전극방식 분석법

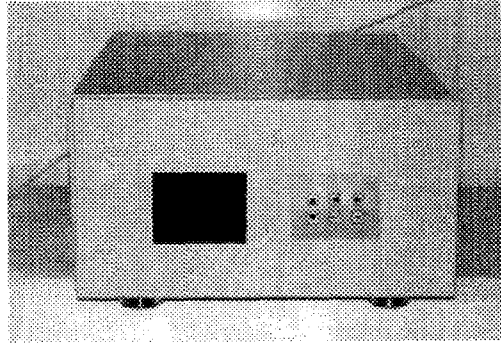
다공성 PTFE 관이나 GoreTex관을 이용하여 흡입된 공기를 물과 접촉시켜 암모니아 가스가 물에 충분히 용해되도록 함으로써 용해된 암모늄 이온을 이온 크로마토그래피로 측정하는 방법이다. 이는 비교적 낮은 측정 하한을 가질 수는 있으나 측정시간이 길고, 기기의 유지 관리가 어려운 단점을 가지고 있다.

4) 냉각 응축방식과 IC(Ion Chromatography) 및 ISE(Ion Selective Electrode)를 이용한 측정법

이 기기는 두가지 검출기를 동시에 장착함으로써 암모니아와 무기산성 가스를 동시에 측정



(a)



(b)

그림 1 확산 스크러버를 이용한 암모니아 분석기
(a)형광법 측정기, (b)이온 선택성 전극방식 측정기

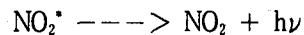
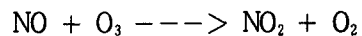
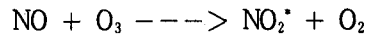
할 수 있는 멀티 가스 측정기로서 고효율 농축 시스템인 냉각 응축방식을 채택하고 있다. 특히 대기중 고용해성 기체 성분인 암모니아의 경우 매우 정확한 농도를 측정할 수 있을 뿐만 아니라 0.05 ppb까지 측정할 수 있으며, 현재까지 반도체 클린룸에 적용되고 있는 측정기중 가장 신뢰성 있는 Air 환경 측정 장비로 인정 받고 있다. 그러나 이러한 측정 방식에서도 대기 가스 성분중 물에 대한 용해성분에 한하여 적용 가능하다는 한계가 있다.

(2) 무기가스 측정기

1) 화학발광법(Chemiluminescence)을 이용한 NO 및 NO₂ 측정기

이 방식은 NO가 O₃와 반응하여 NO₂를 생성하는 경우에 생기는 화학발광이 NO의 농도와 직선관계에 있는 사실을 이용한다. 반응은 아

래와 같으며,



O₃와 반응하여 여기된 NO₂*가 빛 에너지 hν를 방출하면서 바닥상태로 될 때의 에너지를 광 증폭기를 이용하여 검출한다.

2) 형광법(Fluorescence)을 이용한 SO₂ 측정기
이 방식은 SO₂가 자외선을 흡수하여 생기는 여기상태의 SO₂*에서 발생하는 형광을 검출하여, 그 강도로부터 SO₂의 농도를 구하는 방법이다. SO₂ 분자에 자외선을 조사하면, 다음과 같은 3가지의 파장영역에서 흡수가 일어난다.

i) 340 nm ~ 390 nm

ii) 250 nm ~ 320 nm

iii) 190 nm ~ 230 nm

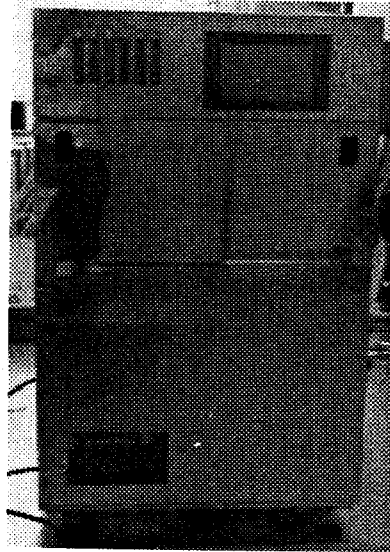


그림 2 국내에서 개발된 응축 냉각방식을 이용한 암모니아 및 무기가스 측정기의 실물
(현재 반도체 공장의 클린룸 환경 모니터링에 적용되고 있는 모델임)

그러나 i), ii) 영역의 파장에서는 Quenching 현상이 많이 일어나기 때문에, SO_2 를 검출하기 위해서는 일반적으로 iii)번 파장영역을 사용하여 측정한다.

3) 이온 크로마토그래피를 이용한 무기산성 가스(F, Cl, Br, NO_2 , SO_2 , PO_4) 측정기

이 방식은 측정 대상 가스 기체를 확산 스크리버나 응축관을 통하여 물에 흡수 농축시키고, 이온화된 기체성분을 이온 크로마토그래피를 이용하여 측정한다. 측정농도는 매우 낮은 수준(20 ppt)까지도 가능하나, 측정가스의 한계와 농도가 측정대상 가스의 용해도에 의존하는 한계가 있다.

(3) 유기가스 측정기

반도체 공장의 클린룸내에서 발생하는 유기 가스는 그 종류가 너무 많고 각 성분 가스가 공정에 미치는 영향 또한 정확히 알기는 어려

운 실정이다. 그러나 고 메모리 반도체의 생산을 위한 고청정도 유지 조건에서는 분자상 오염원의 조절 및 제어가 매우 중요한 대상이 되기 때문에, 이에 대한 적극적 대처가 필수적이며, 필요 수요에 대한 예측이 계속 요구되고 있다.

1) 총 유기가스 측정기(Total Hydrocarbon Analyzer)

현재는 유기가스 각 성분에 대한 측정 분석보다는 총 유기가스 개념으로 통합하여 농도를 제어하는 시스템이 일부 적용되고 있으나, 선별적 정성 관리에 어려움이 있다. 이 방법은 수소 불꽃 이온화 검출기(Flammable Ionization Detector)를 이용하여 포화 탄화수소류와 불포화 탄화수소류를 연소시킨 후 발생하는 C^+ 이온의 흐름을 미량 전류 측정기로 검출하여 정량하는 방법이다.

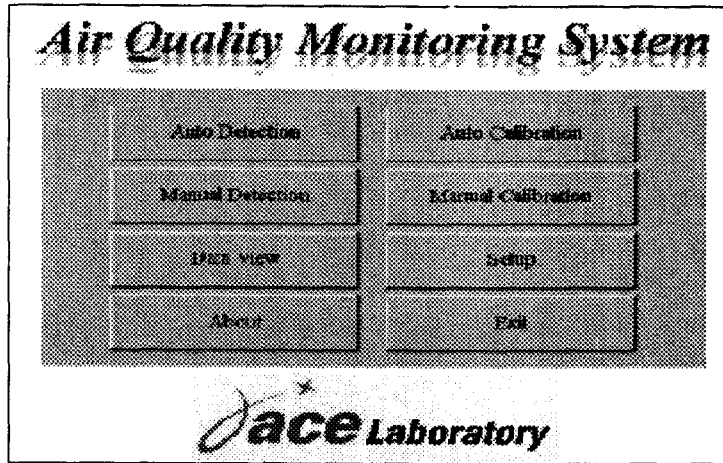


그림 3 국산화된 멀티가스 모니터링 장비의 운영 프로그램 초기화면

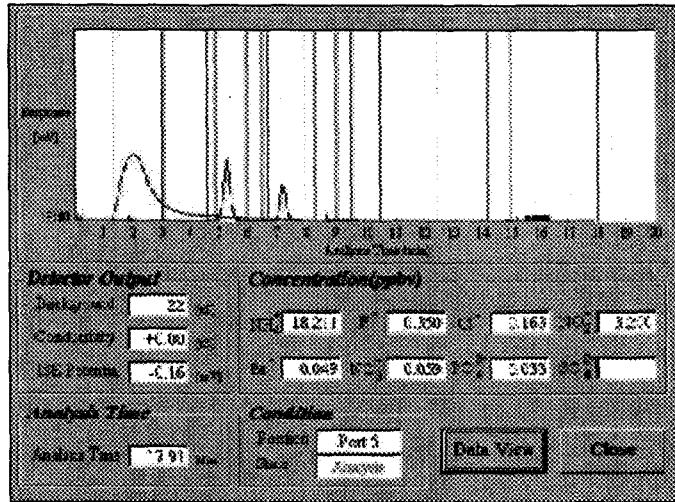


그림 4 클린룸내 암모니아 및 무기 산성 가스의 실시간 분석 그래프

2) 이온 이동도법 측정기

이온 이동도법을 이용한 유기화합물 측정기는 현재 매우 제한적인 성분(예: NMP)에 대해서만이 적용이 가능하며, 질량분석기와 함께 구성할 경우 보다 많은 유기 화합물들에 대해

서도 적용이 가능하다. 측정 원리는 암모니아 가스 측정의 경우와 동일하게 측정 대상물질을 이온화 시킨 후 정전압이 형성된 이온 이동도관을 통한 분리로 특정 시간대에서 나타나는 측정 대상물질을 분석 목표로 하여 정량할 수

표 4. 미량 무기가스 측정 분석법

방식 비교항목	임핀저 + IC	확산스크러바 + 형광법	확산스크러바 + IC	냉각응축법+ISE 냉각응축법+IC	IMS
측정하한(pptv)	100	100	100	10	1000
분 석 성 분	NH ₄ ⁺ , SO _x , NO _x , F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , PO ₄ ³⁻ 등	NH ₄ ⁺	NH ₄ ⁺ , 음이온	NH ₄ ⁺ , SO _x , NO _x , F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , PO ₄ ³⁻ 등	NH ₃ , Amine, F, Cl 등
측정소요시간	3 ~ 12 시간	30분	35 ~ 90분	20분	1분
장 치 크 기	300×300×300	480×550×1150	860×730×1060	700×530×1422	650×500×1,000
기 술 생 산 국	-	에이스 램 (한국)	Yokogawa (일본)	에이스 램 (한국)	Molecular Ana- lytics(미국)
차 이 점 비 교	-샘플링, 분석 장 시간 소요 -수동분석으로 불 편 -측정하한이 높 고, 오차가 큼	-측정하한이 낮음 -유지보수의 어려움	-샘플링, 분석 장 시간 소요 -조건부 여러 성 분의 동시분석 가능 -측정하한이 높음	-측정 분석 시간 이 비교적 짧음 -양이온(1가지) 음이온(8가지) 동시분석 가능 -측정하한이 낮음	-측정 분석시간이 빠름 -여러 샘플의 동 시 측정 불가 -측정하한이 높음

* I C : Ion Chromatography
ISE : Ion Selective Electrode
IMS : Ion Mobility Spectrometry

있다. 그러나 유기물질의 경우 비슷한 분자량을 가진 물질이 매우 다양하게 많이 존재하기 때문에 분리하기가 쉽지 않아 현재로서는 측정 가능한 물질에 대하여 매우 제한적인 단점을 가지고 있다.

(4) 향후 개발 대상 측정 기술

1) 비행시간-질량 측정기(Time of Flight-Mass Spectrometry)

이 방법은 현재 실험실 수준에서는 가스상의 반응을 연구하는데 많이 사용하고 있으나, 고진공을 사용하여야 하는 단점이 있다. 최근 질량계의 소형화와 저진공에서도 고분해능을 가

질 수 있는 시스템이 개발중에 있다. 측정원리는 주입되는 시료 공기를 레이저나 전자총으로 이온화시키고 전기장하에서 가속함으로써 이온의 이동 속도차로부터 얻어지는 질량 분석기의 질량 검출 등으로 정성 및 정량분석이 가능하고 비교적 광범위한 가스류에 적용 가능하다.

2) 이온 이동도-질량 측정기(Ion Mobility Spectrometry-Mass Spectrometry)

앞서 이온 이동도법에 대해서는 언급한 바와 같으며, 이온이동도 측정기에 소형 질량분석기를 통합하여 시스템을 구성하면 정성 및 정량

표 5. 미량 유기가스 측정법

방식 비교항목	GC-MS	THA	IMS	TOF-MS
측정하한(ppb)	10	50	10	1
분석 성분	유기성분 전반	탄화수소화합물	NH ₄ ⁺ , NMP	NH ₄ ⁺ 및 유기성분 전반
측정소요시간	1시간	1분	1분	1분
장치 크기	매우 큼	482×220×614	500×500×240	400×600×250
기술 생산국	미국, 일본, 독일 등	미국, 일본 등	미국	한국(개발중)
차이점 비교	-샘플링, 분석 장시간 소요 -장비가 고가 -기기 사이즈가 큼 -기기 유지관리가 어 려움 -여러 유기물질의 정 성 정량분석 가능	-측정하한이 높음 -탄화수소에 대한 정량분석만 가능 -측정분석 시간이 짧음 -유지보수가 간단	-분석 물질의 선택폭 이 좁음 -정성분석이 어렵고 정량만 가능 -이온화원으로 방사선 물질사용 -분석 시간이 짧음	-측정 하한이 낮음 -여러 유기물질의 측 정분석 가능 -측정분석 시간이 짧음 -진공하 측정

* GC-MS : Gas Chromatography-Mass Spectrometry
 THA : Total Hydrocarbon Analyzer
 IMS : Ion Mobility Spectrometry
 TOF-MS : Time of Flight-Mass Spectrometry

분석을 동시에 할 수 있는 매우 유용한 측정
 기기가 될 수 있을 것으로 생각된다.

3) 표면오염 측정기

Wafer 표면에 있어서의 오염은 흡착 기체와
 표면간의 물리적 또는 화학적 흡착에 따라 다
 른 결과로 나타나기 때문에 일반적인 측정 방
 법을 확립하기가 매우 어렵다. 향후 수정으로
 만들어진 chamber나 고진공 SUS chamber 속
 에서 표면을 가열하여 흡착물질을 탈착시키고,
 탈착된 기체를 기체 크로마토그래피-질량 측
 정기(GC-MS)로 분석 측정하는 기술이 고려

되고 있다.

5. 맺음말

이상에서 간단히 소개한 바와 같이 청정 클
 린룸의 환경은 반도체 생산 수율과 직접적으로
 관련있는 매우 중요한 부분이며, 향후 반도체
 산업뿐만 아니라 LCD, Hard Disk, 유전공학 등
 지식 기술산업과 정밀산업 분야 등에 있어서도
 중요하다. 그러므로 오염원을 알아내고 기준농
 도를 설정하여 제어할 수 있게 하는 오염원 분
 석 측정 기술은 일반 대기 환경뿐만 아니라 클

린룸 환경의 유지확보에도 필수적 요구 기술이며, 이는 첨단 산업의 기술이 고도화할 수록 더욱 극한의 농도까지도 측정 가능하고, 정확도 역시 매우 높은 수준으로의 기술 요구가 더욱 절실한 실정이다.

- 참고 문헌 -

1. D.A. Kinkead, 1996, "Airborn Molecular Contamination: A Roadmap for the 0.25 μm Generation", Semiconductor International, pp. 231-238.
2. D.A. Kinkead, 1994, "Molecular Contaminants: Problems and Solutions", Proceedings; Institute of Environmental Sciences, pp. 231-366.
3. N. Kagi, S. Fuji, K. Yuasa, K. Tanaka, and N. Yabumoto, 1998, "Evaluation of Organic Contaminants on SI Wafer Surfaces in Controlled Environment", Proceedings; Institute of Environmental Sciences and Technology, pp. 569-574.
4. K. Takeda, T. Nonakada, Y. Sakamoto, T. Taira, K. Hirono, T. Fujimoto, N. Suwa, and K. Otsuta, 1998, "Evaluation of Organic Contamination in Cleanroom and Desorption onto Wafer Surface", Proceedings; Institute of Environmental Sciences and Technology, pp. 556-561.
5. 배귀남, "GIGA급 반도체 클린룸내 입자관리", 공기청정기술, 12권, 1호, 한국공기청정 연구조합, pp. 28-39, 1999.
6. T. Fujimoto, 1999, "Contaminants in Semiconductor Manufacturing Environments", Aerosol 연구, pp. 19-26.
7. M. Camenzind, 1999, "Airborne Molecular Contamination in Semoconductor & Disk Drive Cleanrooms", Cleanroom West 99 Seminar, pp. 28-89.