

# 차세대 GIGA급 클린룸의 분자오염 제어기술 동향

김 정 호  
한국캠브리지필터(주)/공장장점

## 1. 머리말

반도체 집적도의 발전은 약2~3년의 주기로 세대교체가 이루어지고 있는 반면 공기 속의 분자급 오염도는 날로 가중되고 있으므로 반도체산업 발전에 큰 장애가 되고 있다. 서기 2000~2002년경 256Mega-Dram에서 1Giga-Dram으로 Up-grade가 예상되고 있으므로 분자급오염 제어의 필요성이 절실히 요망되고 있다.

분자급오염원은 외기오염과 내기오염으로 대별되며 양측 모두 오염물질이 다양화 되어 가고 있으며 그 농도도 증가되고 있다. 반도체의 Grade가 상승될수록 선폭(Design Rule)이 작아지므로 분자오염도의 증가에 따라 불량률이 증가될 가능성이 높다. 그러므로 이 문제의 효과적인 해결을 위하여 분자오염 제어기술이 개발되어야 한다.

반도체는 우리 나라 경제의 근간을 이루는 매우 중요한 산업이므로 국가적인 지원 하에

산·학·연의 기술컨소시엄을 통해 우리나라는 독자적으로 개발해 나가야 된다고 본다. 더욱 더 높아지고 있는 선진기술장벽에 대한 대처방안으로서 뿐만 아니라 고부가 가치사업인 클린룸 설계기술과 시공기술의 개발은 반도체 생산의 선진국인 우리나라의 기술수준에 걸 맞는 것이라 할 수 있다.

## 2. 미립자, 금속 및 Dopant(B, P) 분자오염 제어 기술동향

분자의 크기는 그것을 구라고 간주하여 그 직경이  $10^{-8}\text{cm}(0.0001\mu\text{m})$  정도이며 또한 운동이론이 모든 유체에까지 확산되어 가고 있다. 미립자의 오염은 외기오염과 내기오염으로 대별된다.

Giga급 클린룸에서는 1Giga-Dram의 최소선폭  $0.18\mu\text{m}$ 의 1/10인  $0.018\mu\text{m}$ 이하까지 제어되어야 한다.  $0.018\mu\text{m}$ 이하의 미립자는 기름연기류, 바이러스류, 영구히 대기에 떠다

니는 먼지 등이다.

내기중의 미립자는 ULPA Filter(Final Filter)에서 제거되지 않은 미립자와 공정중< 확산(Diffusion), 화학기상증착(CVD), 사진(Photo), 박막(Thin Film), 식각(Etch) 등>에서 발생하는 미립자와 각종 유틸리티에서 발생하는 미립자와 클린룸의 각종 내장재에서 발생하는 미립자와 공정별 작업자로부터 발생하는 미립자 등이 있다.

현재의 반도체 생산성 저하 원인의 70%이

상은 입자이며 미세화가 진행됨에 따라 그 비율이 증가하고 있다. 이러한 상황에서 클린화 기술의 동향은 Nanosize 입자의 포집과 에어필터의 고성능화 클린룸의 국소청정화로 가고 있다.

그림 1에 Dram의 생산과 관련하여 제거되어야 할 입자의 크기와 입자의 수의 관계를 나타내고 있다. 예를 들면 1Giga-Dram의 경우 각 공정에서 0.07 $\mu$ m이상의 부착 미립자 수를 0.2개/cm<sup>2</sup>정도로 감소시켜야 한다.

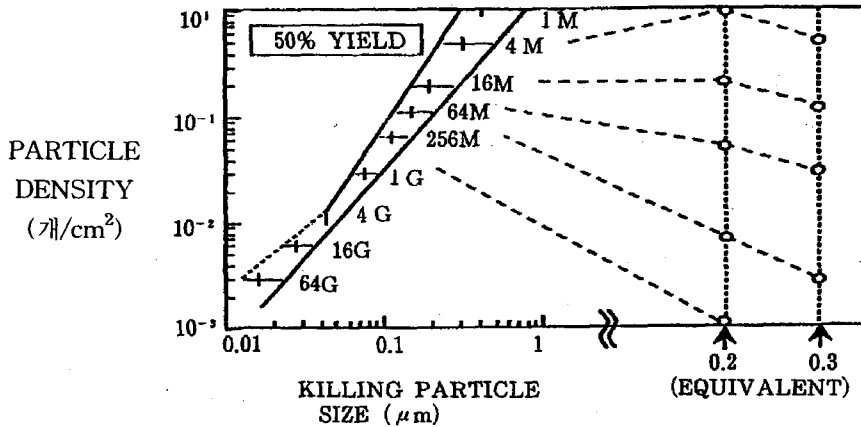


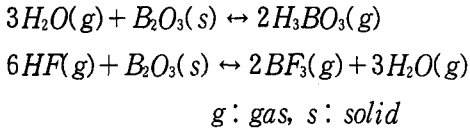
그림 1 반도체 집적도별 제어되어야 할 입경 크기별 입자수

또한, Fe, Ni, Cu 등의 중금속이 Si 기판중에 확산되면 Carrier 수명저하, 접합 Leak 전류증가를 야기시킨다. 또한 이들 중금속오염은 산화유기적층결함을 발생시켜 접합 Leak 전류증가 등의 원인이 된다. 원소에 따라 차이가 있지만 약 10<sup>11</sup>atoms/cm<sup>2</sup>이상의 오염량이 되면 열화가 일어난다. 이러한 금속오염은 치구재, Process장치의 마모재, 반응생성물 등에서 오염되므로 이것 역시 제어되어야

한다.

Dopant는 주로 에어필터 자재 및 벽체 자재에서 오염되는데 주로 보론가스(BF<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) 및 인(P) 등이다. 클린룸의 공기 중에 HF가 존재하면 에어필터의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분과 반응하여 보론가스가 방출되며 또한 클린룸의 공기 중에 수분이 증가되면 수분과 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 반응하여 보론가스가 방출된다. Glass Fiber 여재의 Borosilicate Glass 속에는 약

11%의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 존재하고 있다. 수분 및 HF와 반응하여 보론가스가 방출되는 화학반응은 다음과 같다.



그리고 에어필터의 자재 및 벽체 자재에서

인(P) 성분이 방출되어 IC 디바이스의 전기적 특성을 저하시키고 반도체웨이퍼에 얼룩이 생겨 결함을 야기시킨다. 그림 2는 클린룸의 공기중 F의 농도변화에 비례하여 보론가스의 방출량도 비례함을 나타내며 표 1은 클린룸에서의 필터별 상대습도 변화에 따른 보론가스 발생량을 나타내고 있다.

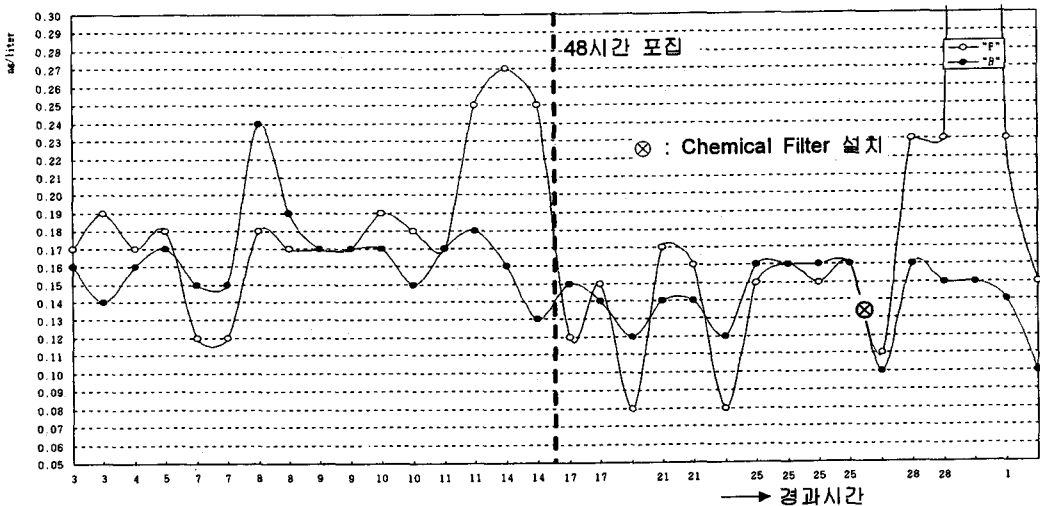


그림 2 초고집적도 반도체 생산용 클린룸에 있어서의 F&B의 농도 변화

표 1. 클린룸에서의 필터별 상대습도 변화에 따른 Boron 발생 현황

(온도 : 25℃, 풍속 : 0.4m/s) (단위 : ng/ℓ - Air)

필터	항목 MAKER	재질	습도 경과일수	20%RH			60%RH			60%RH		
				1日	10日	60日	1日	10日	60日	1日	10日	60日
				중고성능	A社	glass여재	0.037	-	-	0.138	0.056	0.015
초고성능 HEPA	"	"	0.016	0.011	-	0.130	0.077	0.030	0.330	0.154	0.037	
초고성능저압손 HEPA	"	"	-	-	-	0.116	0.047	0.014	-	-	-	

초초고성능 ULPA	"	"	0.016	0.012	-	0.082	0.051	0.014	0.227	0.122	0.030
초초초고성능 UULPA	"	"	0.036	0.019	-	0.088	0.037	0.018	-	-	-
초초초고성능 저압손UULPA	"	"	0.012	-	-	0.060	0.035	0.021	-	-	-
"	"	"	0.032	0.018	-	0.087	0.042	0.016	-	-	-

분자급 미립자(0.0001 $\mu$ m)에서부터 포집이 가장 어려운 미립자인 0.1 $\mu$ m까지 제어되어야 하며 동시에 Dopant(B, P)가 제거된 필터가 개발되어야 한다. Glass Giga Filter와 PTFE Giga Filter의 두 종류로 구분된다. Glass Giga Filter는 특수한 마이크로 Glass fiber를 이용하여 보론가스 발생량을 감소시켜 Giga

급 반도체 생산이 가능토록 한 필터이다.

다음 표 2는 기존 ULPA Filter 대비 Giga급 Filter와의 유기물 및 보론가스 방출량을 대비한 것이다. Giga급 Filter는 접착제(P성분 제거), 가스켓(Out Gas : Zero), 프레임 등 모든 자재를 Giga급에 준한 자재를 사용하여야 한다.

표 2. 기존 ULPA Filter 대비 Giga급 Filter의 유기물 및 보론가스 방출 현황

종 류	기존 ULPA 대비 유기물 방출량	기존 ULPA 대비 보론가스 방출량	평 가
Glass Giga & Master Filter	1/8~1/1000	1/70~1/100	Giga급 반도체 생산에 적합 : 그림 3, 6, 7, 8, 9 참조
PTFE Giga Filter	1/200	0	Giga급 반도체 생산에 적합 : 그림 3, 6, 7, 8, 9참조

미립자의 포집효율은 0.1 $\mu$ m에서 99.999999% 이상 가능하며 압력손실은 0.5m/sec에서 8~20mmAq까지 가능하므로 Giga급 반도체 생산에 적합하다.

그림 3은 필터 하류(Out 방향)의 보론가스

농도를 나타내고 있는데 Giga급 반도체의 생산 가능한 기준치는 10ng/m<sup>3</sup>이하이므로 Giga급 필터는 Giga급 반도체 생산에 적합한 필터로 판단된다.

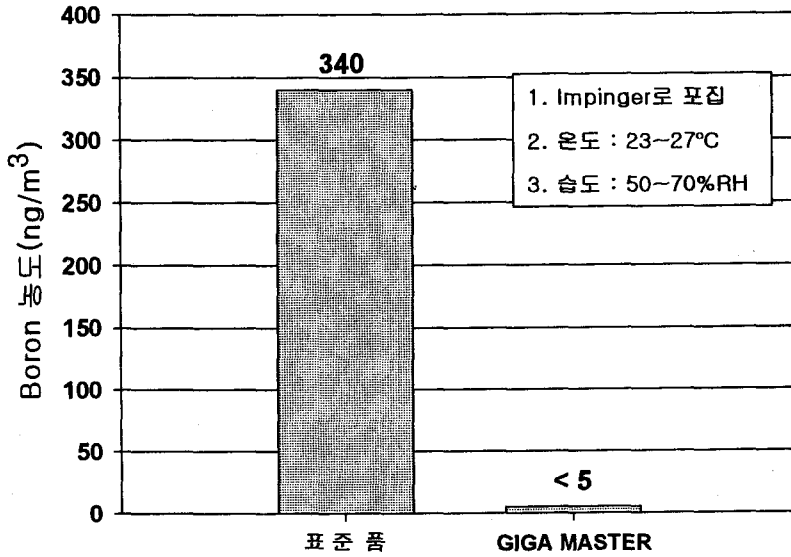


그림 3 각 필터의 Air Out측 보론가스 농도 현황(ICP/MS)

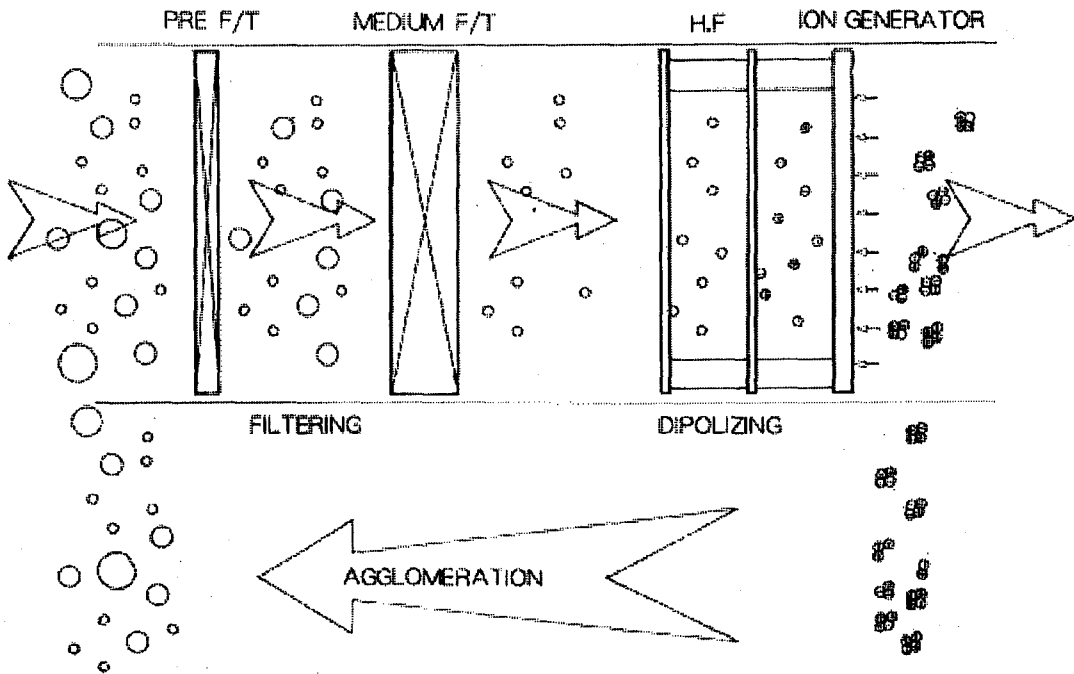


그림 4 PNA System의 작동원리

금속분자인 Fe, Ni, Cu, Mg, Al, Zn 등은 공기중에 나노마이크론급의 입자로 존재하므로 Giga급 Low Boron Filter가 제거한다. 또한 분진중성화 및 응집시스템을 Recycle Air Chamber에 설치하면 나노마이크론급 입자가 쌍극화 현상으로 응집되어 입자가 커지므로

Recycle Air Line중의 Giga급 Low Boron Filter에 의하여 제거된다. 그림 4는 분진중성화 및 응집시스템(PNA : Particle Neutralization & Agglomeration System)의 작동원리도를 나타내고 있다.

### 3. 유기물, 산 및 알칼리성분자오염제어 기술 동향

식각(Etch)공정 전의 Si 기판표면에 유기물 오염이 존재할 경우 균일한 Etching의 진행이 불가능하며 결함발생의 원인이 된다. 또한 유기물오염은 Si 기판표면에 흡착되어 박막제면에 잔류 또는 박막 형성 시에 막중에 혼입되어 디바이스 특성을 열화시킨다.

그림 5는 MOS Gate 형성 공정에 있어서 각 요소 공정간에 Si 기판을 대기 중에 보관할 경우의 영향을 나타낸 것이다. Gate 산화와 Poly-Si 성막간의 대기 중에 보관시 Gate 산화막절연내압이 열화되는 것을 나타낸 것이다. 2차 이온질량분석 및 승온탈리 질량분석의 결과이다. 이의 원인은 작업중의 탈리유기물의 영향이라고 본다.

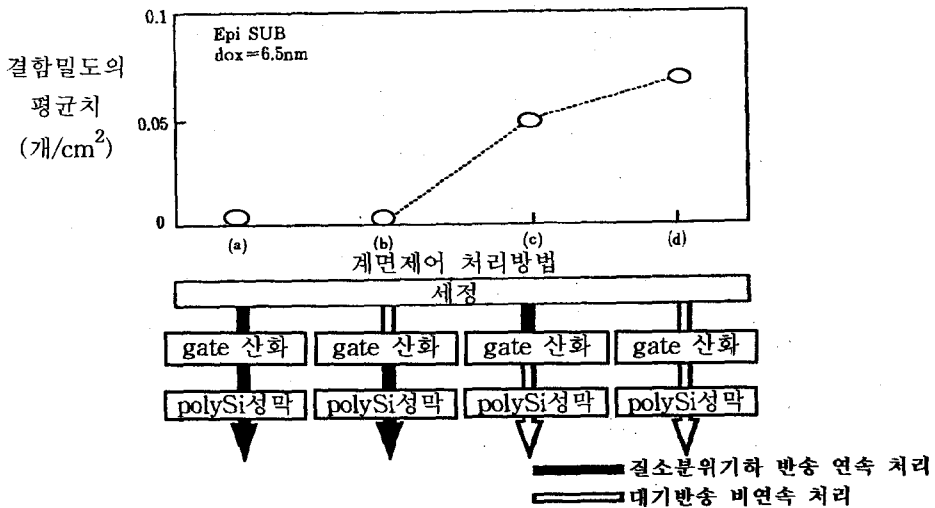


그림 5 MOS Gate 형성공정에 있어서의 분위기오염

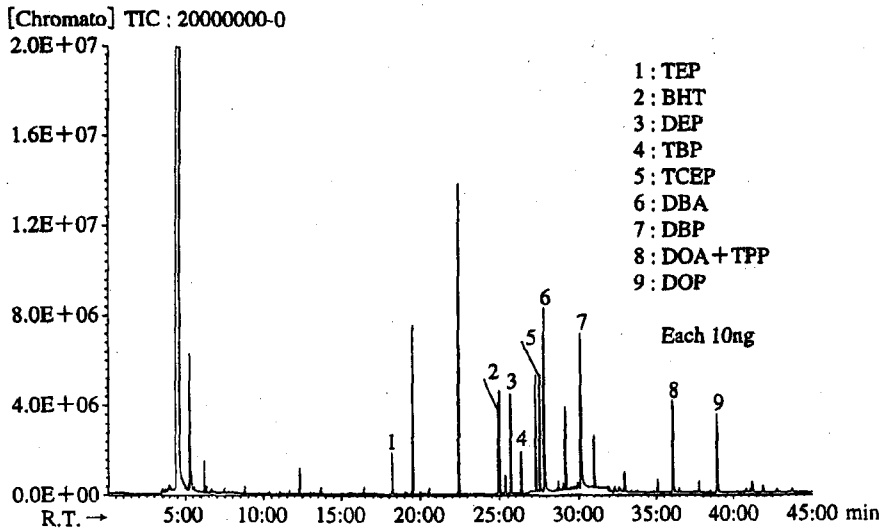


그림 6 표준 사이클 분석예

(GC-MS : JMS-AM || 50, SCAN20~450, 이온화전압 70eV, PM-0.5kV)

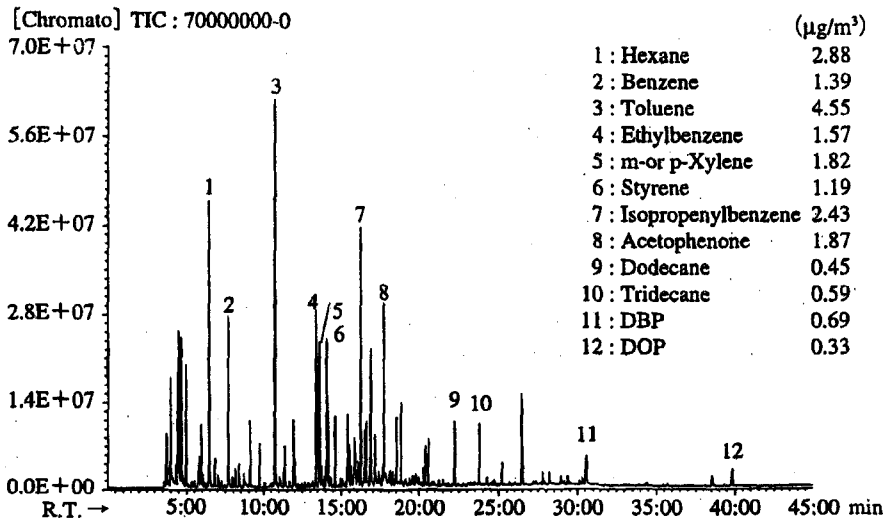


그림 7 클린룸 중 유기물 분석예(GC/MS : 그림 6과 동일조건)

유기물의 오염원과 유기물의 종류는 다양하다. 유기물의 오염원은 외기 중의 휘발성

유기화합물 및 대기 중에서 발생되는 TEP, BHT, DEP, TBP, TECP, DBA, DBP,

DOA±TPP, DOP 등이 있다. 그림 6에 표준 사이클, 그림 7에 클린룸 중의 유기물을 TCT-GC/MS로 분석하여 나타낸 데이터이다. 그림 7의 표준 사이클의 분석 예는 산화 방지제로서는 BHT, 인산에스테르(TEP, TBP, TCEP, TPP), 프탈산에스테르(DBA, DOA) 각 10ng을 분석한 것이다. 클린룸 공기를 10ℓ 포집 하였으며 각각의 성분농도는 1μg/m<sup>3</sup>이 된다. 그림 7의 클린룸 중의 유기물분석 예는 Class100의 클린룸 공기를 10ℓ

포집하여 측정된 것이다.

이러한 유기물 오염은 반도체 웨이퍼에 결정결함, 접합Leak, 산화막절연내압열화 등 여러가지 결함을 일으키므로 반드시 제어되어야 한다.

그림 8은 기존 ULPA 및 Giga급 Filter의 유기물 발생량을 나타내고 있는데 Giga급 반도체 생산에 적합한 유기물 발생량의 기준치는 7.4ng/cm<sup>2</sup>이하이다.

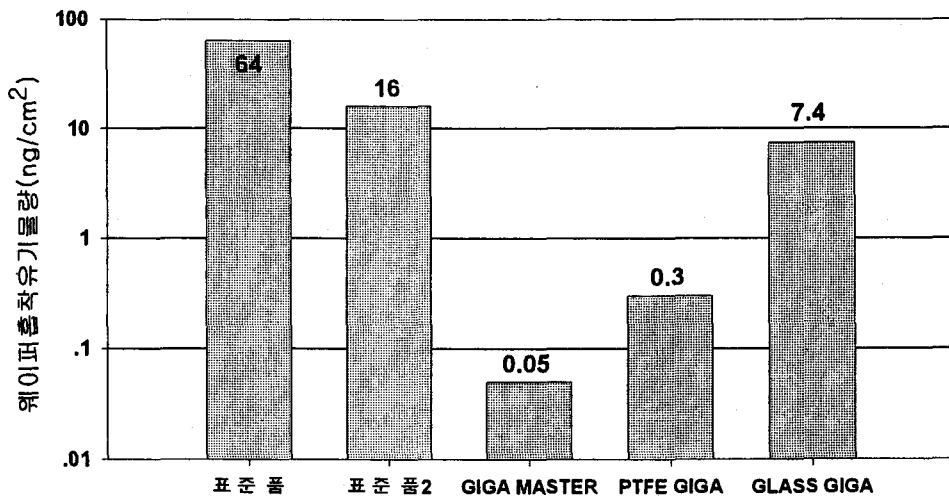


그림 8 각종 필터로부터의 유기물 발생 현황(TD-GC/MS)

그림 9는 필터별 웨이퍼에 부착된 유기물의 양을 나타내고 있다.

산 오염원은 각종 반응생성물, 약액증 입자, 외기 중의 각종 산성오염물질 등이다. 특히 식각(Etch) 공정중의 플루오르화수소(Hydrogen Fluoride)는 강산이므로 필터 등 각종 장비를 산화시켜 제2의 Gas를 발생시

키는 요인이 되고 있다. 외기에서 유입되는 Sulfuric Gas(H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub>), Hydrogen Chloride, NO<sub>x</sub> 등은 디바이스 특성열화의 요인이 되고 있다.

알카리계 오염은 사진(Photo) 공정, 내장재, 외기, 인체, Cleaning Equipment, 콘크리트 등에서 오염되며 발생되는 Gas는 암모니



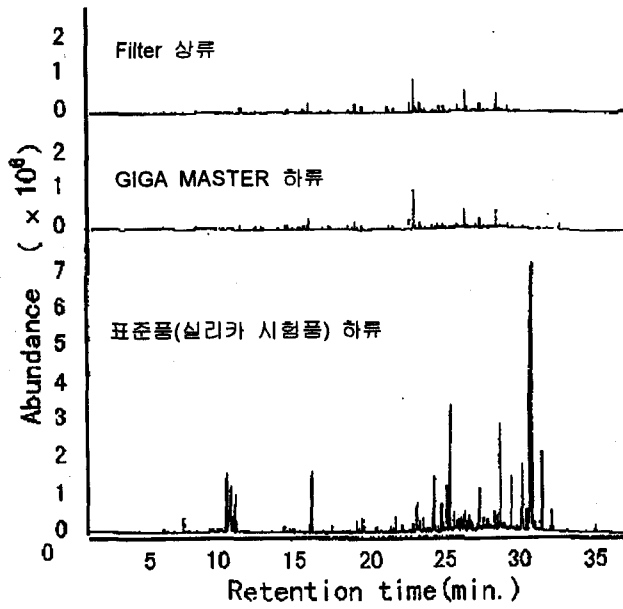
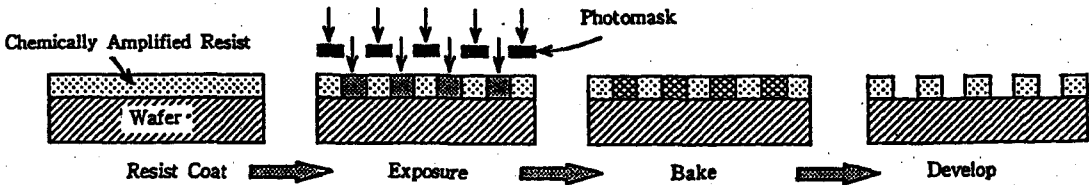
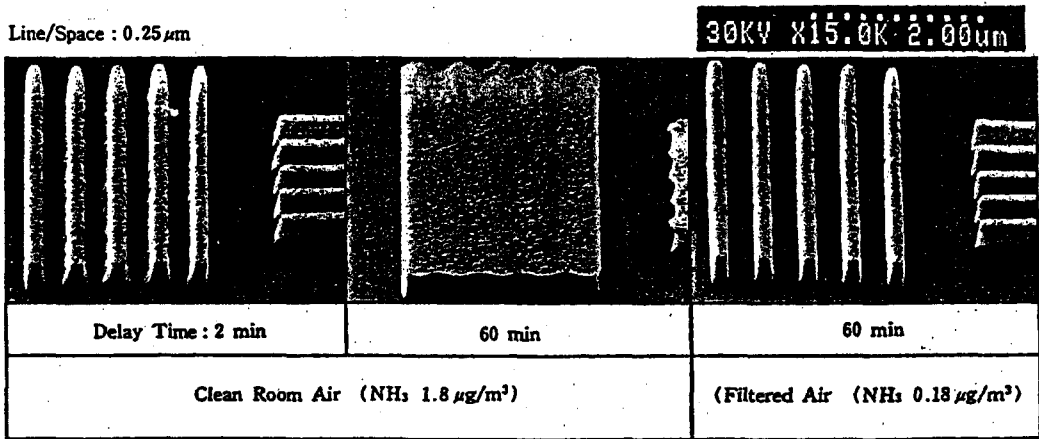


그림 9 웨이퍼에 부착된 유기물의 량(GC/MS)



Exposure : KrF Excimer Exposure System(wave length 0.25  $\mu\text{m}$ )

그림 10 암모니아 농도 감소에 따른 해상성의 영향

아, 아민 등이다. 암모니아는 노광(Exposure) 공정에서 Lens 및 Mirror에 오염점(Cloud)을 일으키고 아민은 내화학작용에 방해를 일으킨다. 그림 10은 암모니아의 농도에 따른 해상성의 영향에 관한 그림이다. 암모니아의 농도가 침착활성탄을 통과한 후 1/10로 감소

됨에 따른 해상성의 영향을 나타내고 있다.

SEMATECH에서 Giga급 반도체 생산가능한 분자오염기준은 그림 11과 같다. 보론가스의 경우 10ng/m<sup>3</sup>이하이면 Giga급 반도체의 생산이 가능하다는 결론이다.

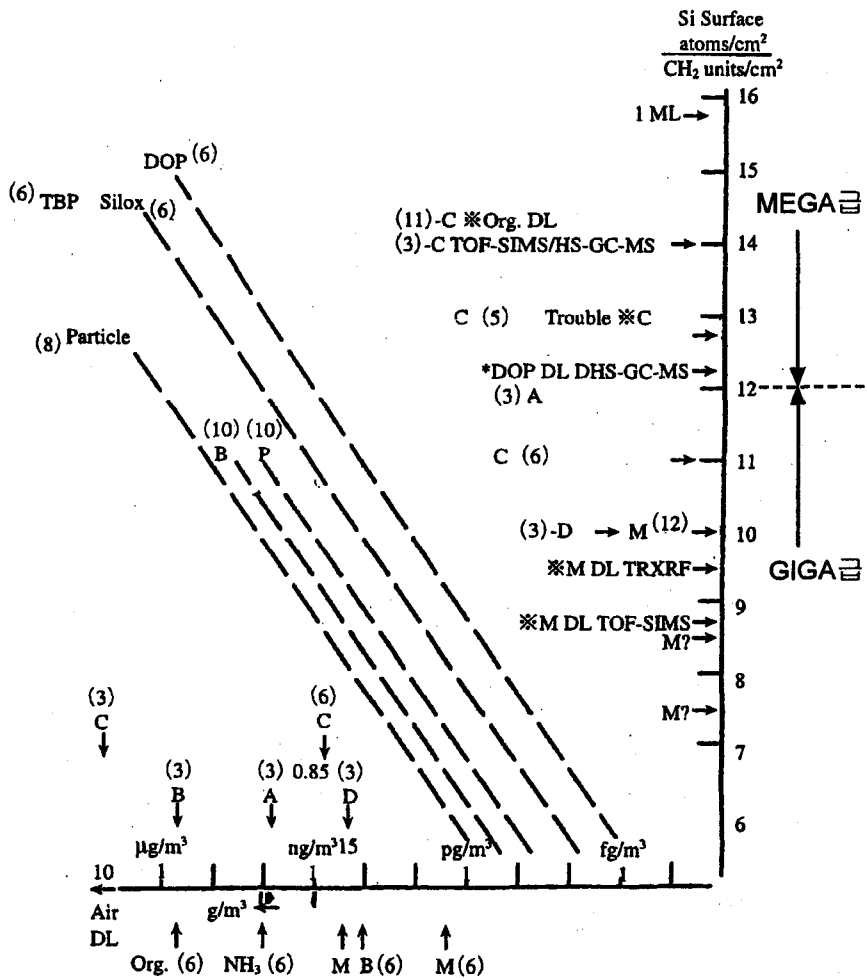


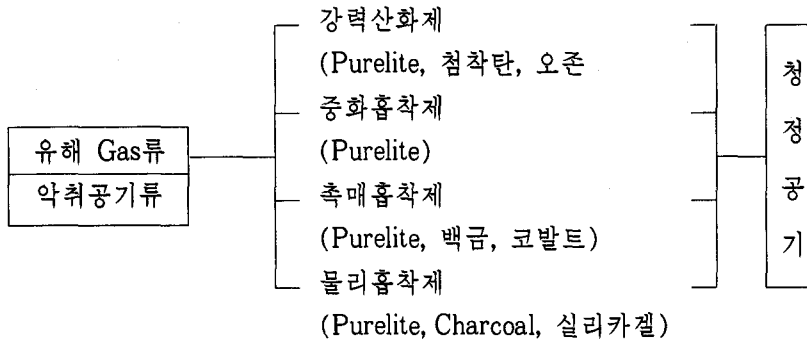
그림 11 Giga급 반도체 생산가능한 분자오염 기준

유기물분자는 외기에서 유입되는 것과 클린

룸 및 공정에서 발생하는 것으로 구분된다.

외기에서 유입되는 유기물은 첫째 활성탄 및 화학흡착제(Purelite)필터로 외기 중의 유기물을 제거하는 기술이다. 그 원리는 다음 표 3과 같다.

표 3. 활성탄 및 화학흡착제필터의 공기청정 원리



활성탄 및 화학흡착제 필터를 사용할 때 각종 유해가스 제거효과는 표 4와 같다.

표 4. 활성탄 및 화학흡착제필터의 유해가스제거 효과

항목 가스명	입	구	출	구	제거율 (%)
	가스농도 (ppm)	냄새강도	가스농도 (ppm)	냄새강도	
유화수소	0.28	3.5	0.0025	<1	99.1
암모니아	1.09	3.0	0.012	<1	98.9
메틸멜캅탄	0.021	4.0	0.00051	<1	97.6
트리메틸아민	0.038	4.0	0.0008	<1	97.9
유화메틸	0.073	4.5	0.0011	<1	98.5
이유화메틸	0.088	4.5	0.0021	<1	97.6
디메틸아민	1.71	4.5	0.029	<1	98.3
락산	0.022	3.5	0.00068	<1	96.9

※ 냄새강도

0 : 냄새없음, 1 : 경미함, 2 : 약함, 3 : 중간, 4 : 강함, 5 : 최강(건디기 힘들)

그림 12는 활성탄 및 화학흡착제필터의 사용 예를 도식화 한 것이다.

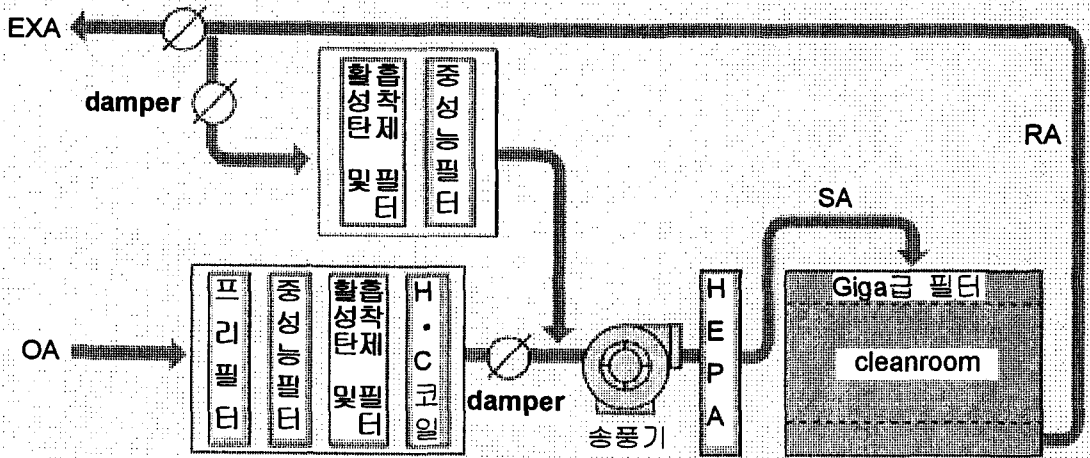


그림 12 활성탄 및 화학흡착제필터의 사용예

둘째 UV-광촉매를 이용한 공기청정기로 외기 중의 유해가스 및 미립자를 제거하는 기술이다. 일반 미세분진의 제거원리는 2단 하전식·전기집진기의 원리와 같이 방전부에서 미세분진에 하전을 띄게 하고, 집진부에서 (+), (-) 정전력에 의하여 하전분진을 제거하도록 되어 있다. 그리고 이 청정기는 UV-광전자 및 Plasma 하전방식으로 오존발

생의 문제를 해결하고 유해가스까지 제거하는 매우 경이적인 공기청정기이다. 집진효율은 ASHRAE 비색법으로 90% 이상이며 유기물 및 유해가스 제거율은 50~90% 이상이며 풍속 2.5m/sec에서 압력손실이 약 10mmAq 이하로서 고효율의 에너지절약형 청정기이다. 자동재생형으로 외기, 지하공간 및 실내 공기정화용으로도 적합하다.

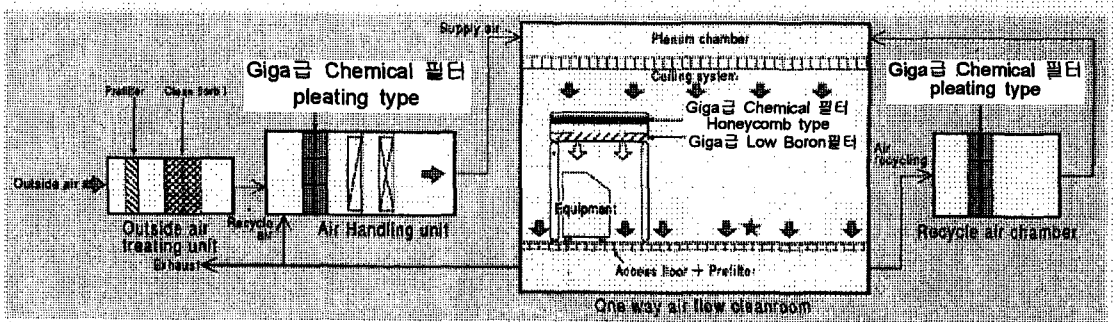


그림 13 섬유상 활성탄케미컬필터의 사용예

클린룸 및 공정에서 발생하는 유기물은 섬유상활성탄 케미컬필터로서 제거가 가능하다.

10~50ppb를 1.0~3.0ppb까지 제거된다. 여재는 Tar Pitch Carbon Fiber이며 Pore의 직경은 20Å이며 제거원리는 물리흡착 및 화학

반응에 의거 제거된다. 그림 13은 섬유상 활성탄 케미컬필터의 사용예를 나타내고 있다.

그림 14는 차세대 Giga급 클린룸 내에 적용되는 Giga급 Low Boron Filter와 Giga급 케미컬필터의 사진이다.

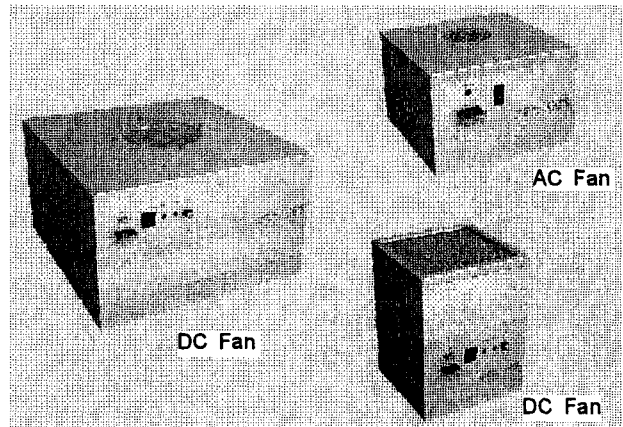
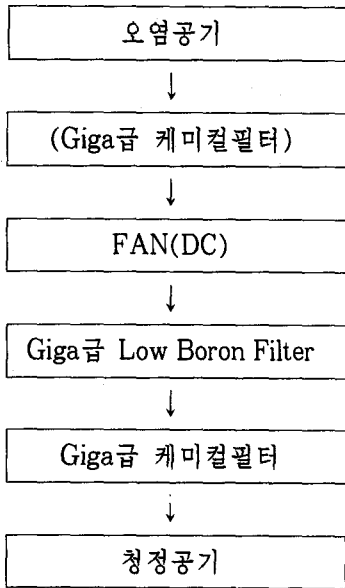


그림 14 Giga급 케미컬필터 및 Low Boron Filter 사용예

산성 및 알카리성분자는 외기에서 유입되는 것과 클린룸 및 공정에서 발생하는 것으로 구분된다. 산성분자는 HF, Sulfur(H<sub>2</sub>S, SO<sub>x</sub> 등)이며, 알카리성분자는 NH<sub>3</sub>이다. 외기 중의 산성 및 알카리성분자는 활성탄 및 화학흡착제필터, UV-광촉매 공기청정기에 의

해 제거된다.

이러한 분자오염은 활성탄 및 화학흡착제필터에 의거 약 90%이상 제거된다. 산 및 알카리성분자가 제거되는 화학반응식은 다음과 같다.

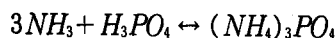
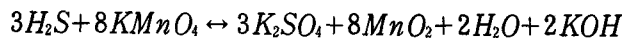
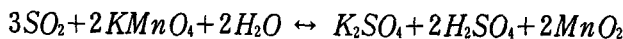


표 5는 Honeycomb Type 화학흡착제필터의 알카리성 오염분자(NH<sub>3</sub>)에 대하여 면풍속별 제거효율(99% 이상)을 나타내고 있다.

표 6. Honeycomb Type 화학흡착제필터의 암모니아가스에 대한 면풍속별 제거효율

면풍속	원(元)가스 NH <sub>3</sub> 의 농도	화학필터 통과후의 NH <sub>3</sub> 의 농도	제거효율
0.3m/sec	186.63ppb	0.34ppb	99.81%
0.4m/sec	163.21ppb	0.38ppb	99.76%
0.5m/sec	127.13ppb	0.16ppb	99.87%
0.6m/sec	130.49ppb	0.18ppb	99.86%

UV-광촉매 공기청정기는 이러한 분자의 고농도(3~15ppm) 오염상태에서는 50~70% 이상 제거되며 저농도(0.001~0.3ppm) 오염 상태에서는 90% 이상 제거된다.

참고가 되길 기대하며 이외의 문제점도 있을 수 있으므로 계속하여 관련분야의 기술자가 모여 의논하고 실험, 실습을 통한 살아 있는 기술을 공동으로 개발하는 계기가 마련되기를 기대한다.

#### 4. 맺음말

Giga급 반도체를 능률적으로 양산하기 위한 한 요소로서의 분자오염제어는 매우 중요한 역할을 한다고 본다. 이 분야의 국제기술 경쟁은 매우 치열하므로 핵심기술의 Know-how는 항상 공개가 매우 어려운 상황이다. 그러므로 이 문제를 해결하기 위해서는 적극적인 Out Sourcing이 필요하며 우리나라도 선진국처럼 관련분야의 기술자가 연합하여 공동연구를 통한 조기 기술개발이 요망되고 있다. 생산현장의 정확한 문제점 파악이 최우선 되어야 하며 문제의 요인이 정확해지면 해결방안은 조기에 찾을 수 있다고 본다. 이번에 소개된 원고는 실무적인 경험을 토대로 얻은 내용을 소개하였으므로 생산현장에

#### -참 고 문 헌-

1. Air Filter Manual(1)(Giga Filter Series & Clean Air Pile System & PNA System & UV-Photocatalytic Air Cleaning System) : Korea & Japan Cambridge Filter Co., Ltd.
2. Air Filter Manual(2)(Purelite & Charcoal Filter Series) : Korea Cambridge Filter & KONDOH Co., Ltd.
3. Air Filter Catalog : Nippon Puretec Co., Ltd.
4. SEMATECH Technology Transfer 95052812A-TR : Forecast of Airborne Molecular Contamination Limits for 0.25

- Micron High Performance Logic Process. JACA
5. Clean Technology 1997.10 8. Air Cleaning Technology 1995(Clean화  
기술에 관한 미립자의 문제 : 일본 가나자와대학교 교수 : Mr. Hitoshi Emi) : Cambridge Filter Korea Co., Ltd.
6. 공기청정 Contamination Control : ISSN 0023-5023 CODEN : KUSEBF : JACA
7. 10~17th Annual Tech. Meeting on Air Cleaning and Contamination Control :

## ❖ 안 내 ❖

### - 제5 회 미소입자 및 에어로졸 측정의 이론과 실습 -

- 대 상 : 환경오염제어 및 반도체 산업 등 에어로졸 관련 분야에 종사하는 기술자
- 기 간 : 1999년 8월 17일~8월 19일(3일간)
- 장 소 : 한국과학기술원
  - 기계공학부 제3세미나실(4102)
  - 실습용 강의실(2202, 2108, 2110)
- 수강료 : - 일반 : 300,000원
  - 학생 : 150,000원
- 강의내용
  1. 에어로졸 및 입자공학의 소개 및 기초원리, 입자공학의 기본개념과 이론, 입자운동학
  2. 에어로졸 및 미소입자의 응용분야 소개, 환경제어, 물질제조 등
  3. 입자의 발생 및 계측장비 원리  
OPC, CPC(CNC), DMA, APS, SMPS, Impactor, VOAG, Aerosol Generation System
  4. 에어로졸 Sampling 및 Transportation
  5. Filtration
  6. 실험
    - 1) OPC Calibration(PSL, Oscilloscope, Atomizer, OPC, etc.)
    - 2) Transportation loss test(Atomizer, DMA, CPC, etc.)
    - 3) Impactor(Atomizer, DMA, CPC, Impactor, etc.)