

클린룸용 Air Filter의 미량가스 측정 및 분석 사례

김 정 호
한 국 캠 브 리 지 필 터 (주)
이 사

1. 머리말

클린룸, 특히 LSI 및 LCD의 생산용 클린룸에 있어서는 입자오염에 의한 불량률이 크지만, 공기중의 분자상 오염물질(Airborne Molecular Contaminants = AMC)로 인한 오염의 불량도 점차 커지고 있다. 최근의 실제적 상황을 소개하고자 한다. AMC의 발생문제가 해결된 Air

Filter를 소개하여 AMC의 오염에 의한 불량문제를 해결하고자 한다.

2. 클린룸에 있어서 입자상 물질과 가스상 물질의 농도

기존 클린룸에 있어서의 입자상 물질과 가스상 물질의 농도는 다음 그림 1과 같이 표시된다. 그림 1에는 Boron과 유기물의 농도가 나타

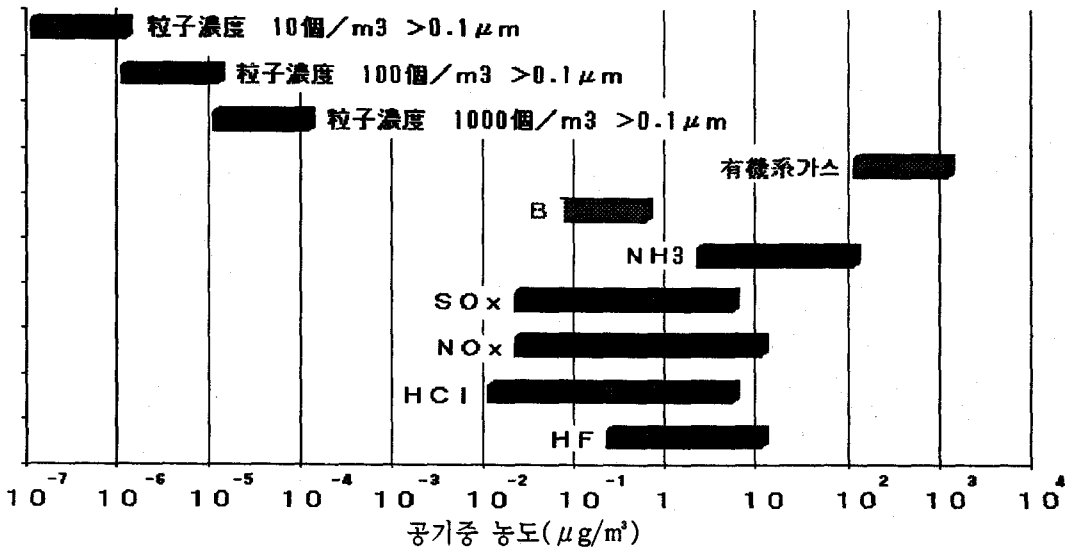


그림 1 클린룸의 공기질

나 있다. 클린룸중의 가스상 물질의 농도는 입자상 물질의 농도와 비교할 때 극히 작게 나타나 있다. 여기에서 가스의 원천은 외기 중의 것과 기타의 것으로 구분된다. 기타의 것은 클린룸의 바닥재, 벽체, 천장 등의 구성자재 및 생산공정에서 발생하는 것 등으로 추정된다. 그리고 입자상 물질을 제거하기 위하여 사용하는 HEPA, ULPA Filter에서도 가스상의 물질이 발생되고 있다.

입자상 물질은 HEPA, ULPA Filter에 의하여 효과적으로 제거되지만, 가스상 물질은 물리흡착, 화학흡착의 원리를 이용한 Chemical Filter에 의하여 제거가 가능하게 되었다. Chemical Filter와 ULPA Filter의 병행사용으로 가스상 물질과 입자상 물질의 제거가 가능하게 되었다. Chemical Filter로부터의 입자오염을 피하기 위하여서는 Chemical Filter의 하부에 ULPA Filter를 설치할 필요가 있게 되었다. ULPA Filter로부터 가스상의 오염물질이 발생할 경우에는 가스상의 오염물질의 제어가 안 된다. 그

래서 가스상 오염물질 발생의 문제가 없는 GIGA Filter Series를 개발하게 되었다.

3. Air Filter의 구성재료로부터 발생하는 가스상 물질

3. 1 Air Filter의 구조

Air Filter는 그림 2에 표시한 Mini-pleat Type Filter와 그림 3에 표시한 Separator Type Filter로 대별된다. 어느 쪽이든 여재는 절곡한 구조이며, 공기는 여재를 통과할 때 입자상 물질이 여과된다. Mini-pleat Type은 여재에 실처럼 수지를 미세하게 밀착시켜 공기의 흐름을 유도하고, Separator Type은 절곡한 여재 사이에 Seat를 콜게이트로 가공한 Separator를 삽입하여 공기의 흐름을 유도한다.

Mini-pleat Type Filter는 여재의 절곡된 간격의 미세함이 가능하므로 가볍고 부피가 작은 장점이 있다. 제조장치 등 클린부스 등에 용이하게 사용된다. 또한 Separator Type은 절곡폭

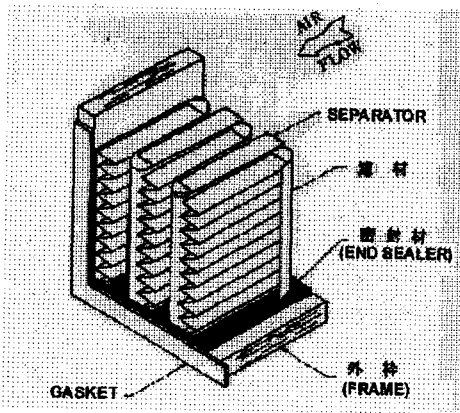


그림 2 Mini-pleat Type Filter

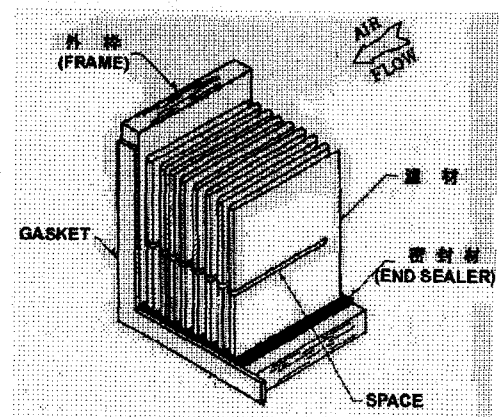


그림 3 Separator Type Filter

이 깊어 耐壓性이 우수한 구조이므로 大風量處理가 필요한 외조기 등 난류방식의 클린룸에 용이하게 사용된다. Separator Type은 Filter의 출구측 풍속분포의 균일성이 우수하므로, 특히 Laminar Flow가 요하는데 용이하게 사용된다. 이외에 여재 자체에 엠보싱된 여재를 절곡한 Filter도 있는데 엠보싱 부분의 미세균열의 문제로 입자누설의 위험성이 있으므로 Final Filter로는 사용되지 않는다.

3. 2 Air Filter의 구성재료

Air Filter를 구성하는 외곽틀, 여재, Separ-

ator, Space, 밀봉제, Gasket 등의 재료는 내열성, 耐食性, 耐藥品性 등의 요구에 따라 각종 재질이 결정된다. 그 예를 표 1에 나타내고 있다.

LSI 및 LCD 제조의 클린룸, 제조장치 등에는 통상 Glass Fiber 또는 PTFE의 여재, 알루미늄 Separator 또는 Hot-melt Space를 사용한 Filter Pack을 알루미늄제의 외곽틀에 우레탄 접착제로 밀봉한 Filter를 사용한다. 이들의 구성재료별 Filter Unit당 구성비율은 표 2에 나타나 있다.

표 1. Filter 구성재료의 재질

部材	Frame	濾材	Separator
材質	☆ Plywood ☆ 도금강판 ☆ 알루미늄 ☆ 스테인레스 ☆ 발포 PVC	☆ Glass 섬유 부직포 ☆ Polypropylene 정전 부직포 ☆ PTFE 멤브레인	☆ 종이 ☆ 알루미늄 ☆ Polypropylene ☆ Polyester ☆ 스테인레스
部材	Space	密封材	Gasket
材質	☆ Glass 실 ☆ Glass 섬유 부직포 ☆ Hot-melt 수지 - Polyamide(황갈색) - EVA(백색)	☆ 우레탄수지 ☆ 네오프렌고무 ☆ 에폭시수지 ☆ 실리콘 ☆ 세라믹	☆ 네오프렌고무 ☆ 우레탄고무 ☆ 실리콘고무 ☆ 불소고무 ☆ EPDM

중량은 외곽틀이 크면 커지고, 여과되는 공기접촉면적은 여재의 압력손실과 상관된다. H610mm×W1220mm의 Filter Unit 1개당 여재의 절곡된 면적은 24~26m²이고 여재를 구성하고 있는 Glass Fiber의 표면적은 3,000m² 이상

이 된다.

3. 3 Air Filter의 구성재료로부터 발생되는 가스상 물질

- 1) Boron

표 2. Air Filter의 주요 구성재료별 구성비

Separator Type(150 ^D)				Filter Type	Mini-pleat Type(65 ^D)			
重量		暴露面積		比率의 基準	重量		暴露面積	
g	%	m ²	%	單位 部材	g	%	m ²	%
2100	22	26 (≒3500)	30 (98)	濾材 (Glass 纖維)	1900	34	24 (≒3250)	79 (99.8)
2400	25	60	69 (1.7)	Separator (알루미늄)	—	—	—	—
—	—	—	—	Space (폴리아마이드)	950	17	5.7	19 (0.2)
860	8.8	0.36	0.41	End Seal (우레탄樹脂)	380	6.8	0.16	0.53
15	0.15	0.004	0.005	Side Seal (클로로프렌고무)	15	0.27	0.004	0.01
4300	44	0.72	0.83	Frame (알루미늄)	2300	41	0.34	1.1
70	0.72	0.02	0.02	Gasket (EPDM)	70	1.2	0.02	0.07

Air Filter의 구성재료로부터 발생되는 가스상 물질의 대표적 물질은 여재에서 발생하는 Boron이다. Boron은 Air Filter의 여재에 사용된 Borosilicate Glass Fiber에 B₂O₃가 10% 전후 함유되어 있다. 웨이퍼 세척에 사용되는 HF 증기와 반응하여 BF₃를 발생하게 된다. 또한 HF 등의 부식성 가스가 없는 경우는 공기중의 수분과 반응하여 Boron 가스가 발생하게 된다.

통상 클린룸의 분위기로 HF 증기가 없는 경우에도 ULPA Filter의 사용 초기에는 150~500ng/m³ 정도의 Boron 가스가 발생된다. Boron 가스의 발생은 서서히 감소되어 수개월 및 1년 정도 후에는 50~150ng/m³로 감소하여

안정된다. 일단 HF와 한 번 반응하면 HF가 없는 분위기 속에서도 고농도의 Boron이 계속하여 방출된다.

2) 인(燐)

유기인은 플라스틱의 可塑劑 및 난연제 등에 함유되어 있고 광범위하게 사용되어져 클린룸 중에도 종종 검출되고 있다. Air Filter의 구성재료중 우레탄 접착제는 난연제로서의 유기화합물이 많이 함유되어 있어, 1992년도에 미국에서 문제가 발생된 적이 있다. 또한 난연제로서 유기인이 첨가되지 않은 우레탄 접착제도 있다. 이소시아나산염(Isocyanate)을 합성하기 위하여 첨가한 촉매제 및 안정제에 유기인 합성

물이 함유된 경우도 있으므로 주의가 요한다.

3) 유기물

Filter의 밀봉제 및 Space에 사용된 접착제는 유기물이 있다. 또한 Glass Fiber 여재도 Binder에 5~7%의 유기물이 함유되어 있다. 이들의 유기물은 기능성을 유지하기 위하여 첨가하

고, 산화방지제, 가스제를 함유하게 되어 여기에서 Out-gas가 나와 Filter에서 검출된다. 유기물을 구성하는 성분自身도 사용중에 가스화되어 나오는 경우가 있다. 그림 4에 Air Filter의 구성재료에서 발생하는 주요한 가스성분을 정리하였다.

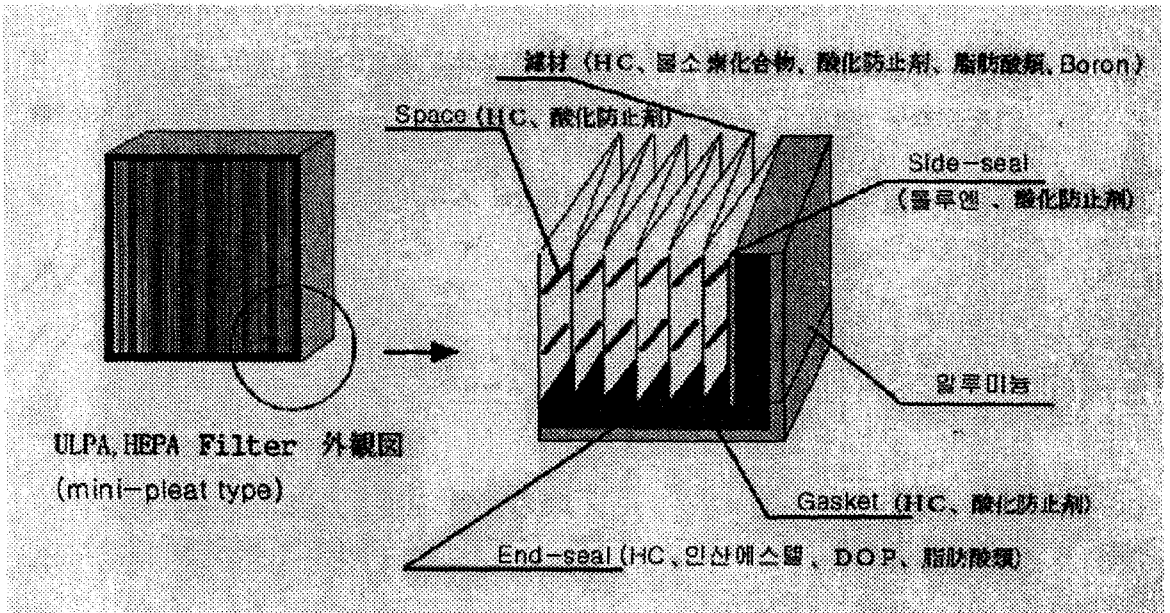


그림 4 Air Filter의 구성재료와 발생물질

4. GIGA Filter Series

4. 1 가스상 오염물질의 低減手法

1) Boron의 제어

Air Filter에 있어서 Boron 제어 방법은 지금까지

가) Polypropylene Electric 여재

나) Glass Fiber + Coating제 여재

다) Boronless Glass Fiber 여재

라) PTFE 여재

등이 제안되어 사용되어 왔다.

가)의 방법은 Boron은 Zero 상태로 억제되나 유기섬유를 사용하였기 때문에 유기물의 발생이 많아 결점이 계속 남게 되고, Electric 전하가 사용중에 서서히 소실되어 포집효율 저하의

문제가 발생되고 있다.

나)의 방법은 Coating제를 Fiber에 균일하게 Coating하는 어려움이 있고, Coating되지 않은 부분도 있어 서서히 Boron이 발생하는 문제가 있다.

다)의 방법은 당초 고순도 실리카 마이크로 파이바를 사용하여 제품화를 시행하였으나, 수급의 어려움 및 고가이므로 실제로는 사용되지 않고 있다. 종래 Air Filter용 Glass Fiber에 B₂O₃를 첨가한 이유는 Air Filter 여재의 섬유가 미세하면 압력손실이 증가되어 포집효율이 높다. Glass의 융점을 저하시켜, 미세한 긴섬유를 생산하기 위함이었다. GIGA Master 및 Glass GIGA에 사용한 Glass 섬유는 B₂O₃ 기능을 다른

성분으로 보충하여 개발한 Glass Fiber 섬유를 사용한다. B₂O₃ 함량은 0.15% 이하로서 1/70이하의 Level로 제어하였다.

라) PTFE GIGA에 사용하는 PTFE 여재는 Boron의 함유가 없으며, 또한 다른 약품이 침투되어도 문제가 없도록 만전을 기하였다. PTFE의 여재 자신은 유연하므로 Pleating 가공성을 위하여 보충제로서 유기섬유의 부직포를 사용하였다. 화재에 약하며 연소시 유독한 불소화합물 발생의 공포감이 있다. 어떠한 광범위한 분야에서의 사용 가능 추천은 불가능하다. 다행히도 Glass Fiber의 여재와 비교하면 섬유경이 미세하고 저압력손실 ULPA Filter의 제작이 가능하다. 저압력손실 및 소형화가 요

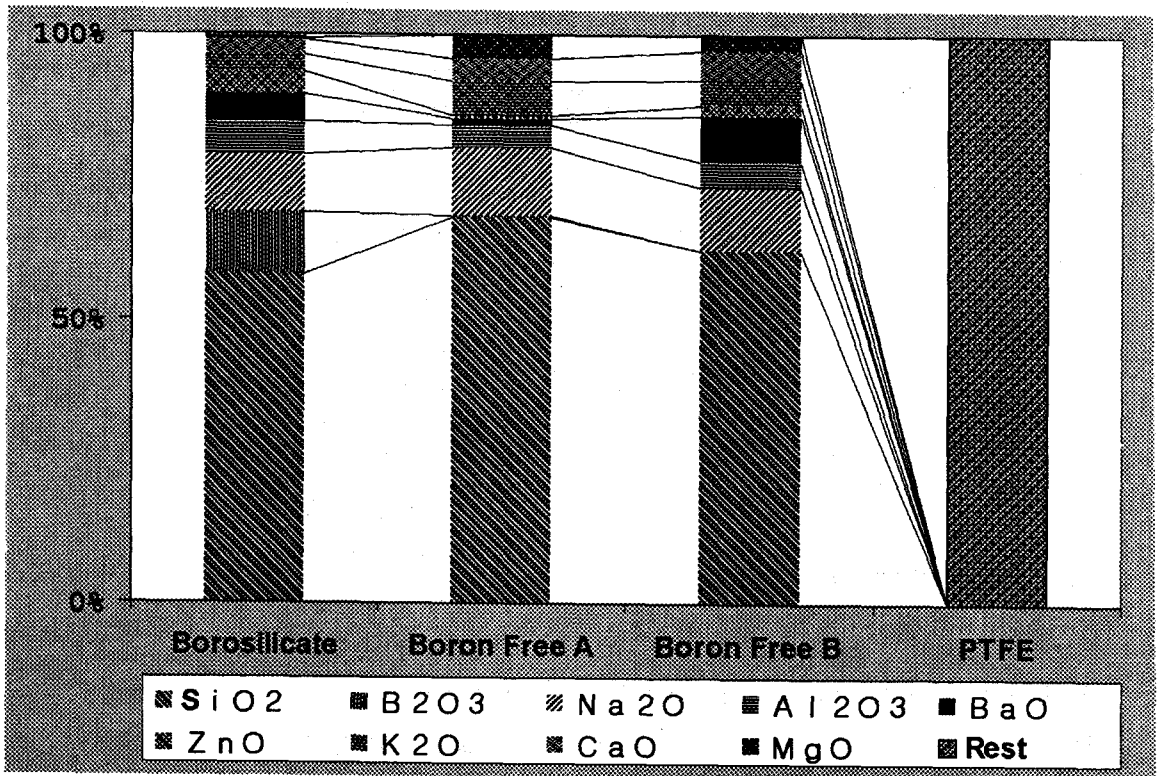


그림 5 Fiber Composition

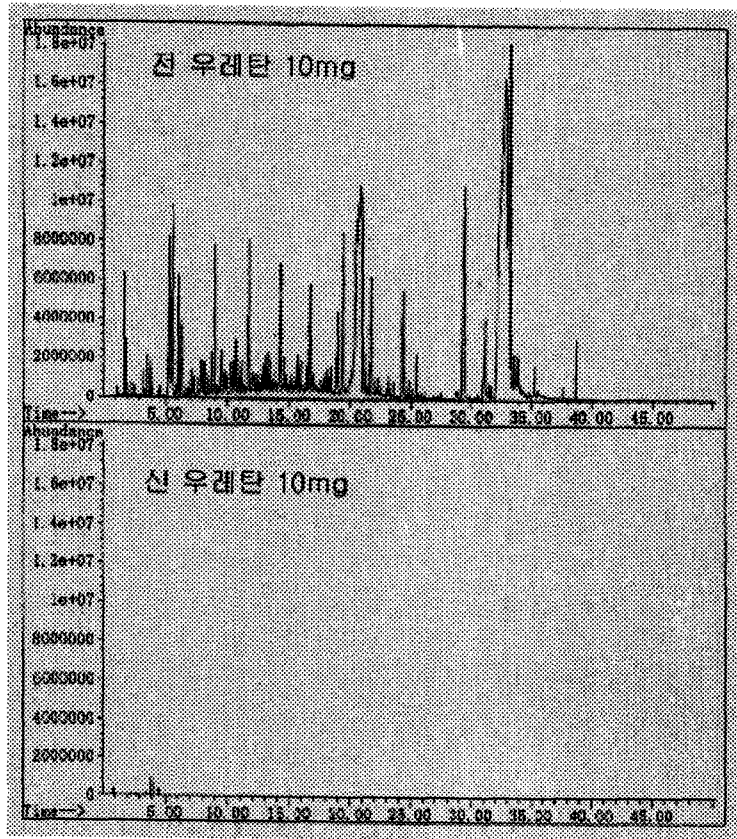


그림 6 End Sealer의 분석비교

구되는 제조장치용의 Filter로는 최적이다. 그림 5는 종래의 Filter와 GIGA Filter Series에 사용된 여재의 함유성분을 나타내고 있다.

2) 유기물의 제어

유기인과 초기의 각종 유기물은 전술한 Filter의 구성재료에 다량 함유되어 있고 유기체의 가스상 물질을 발생시키고 있다. 유기체의 가스성분은 고농도로 공기중에 존재하여도 웨이퍼에는 거의 흡착되지 않는 성분이며 공기중의 농도가 저하되어도 선택적으로 웨이퍼에 흡착되는 성분이 있다.

표 3. 우레탄수지 개량의 효과

가열발생가스	개량전	개량후
Total	100	1.60
인산에스테르	100	N.D
BHT(산화방지제)	100	0.44
프탈산에스테르	100	0.48
실록산류	100	N.D

이들은 우레탄수지 밀봉제, Hot-melt Space, Glass 여재의 Binder, PTFE 여재의 보충제, Separator의 표면처리제 등에서 웨이퍼에 흡착

되기 쉬운 성분을 적극 제거하고, 기능상 나쁜 영향이 적은 대체품을 사용하는 방법으로 하여 웨이퍼에 흡착되는 유기물을 감소시키는데 성공하였다. 그림 6과 표 3에 개량된 우레탄수지의 가스상 물질을 나타내고 있다.

유기물에 있어서 특히 영향이 큰 것은 산화방지제, 실록산, 인산에스테르, 프탈산에스테르

의 감소로 인한 효과가 크다.

4. 2 低減의 效果

Boron 및 유기물의 低減效果를 알기 위하여 그림 7에 표시한 장치로 Filter로부터 발생하는 Boron 가스 및 유기물을 측정하였다.

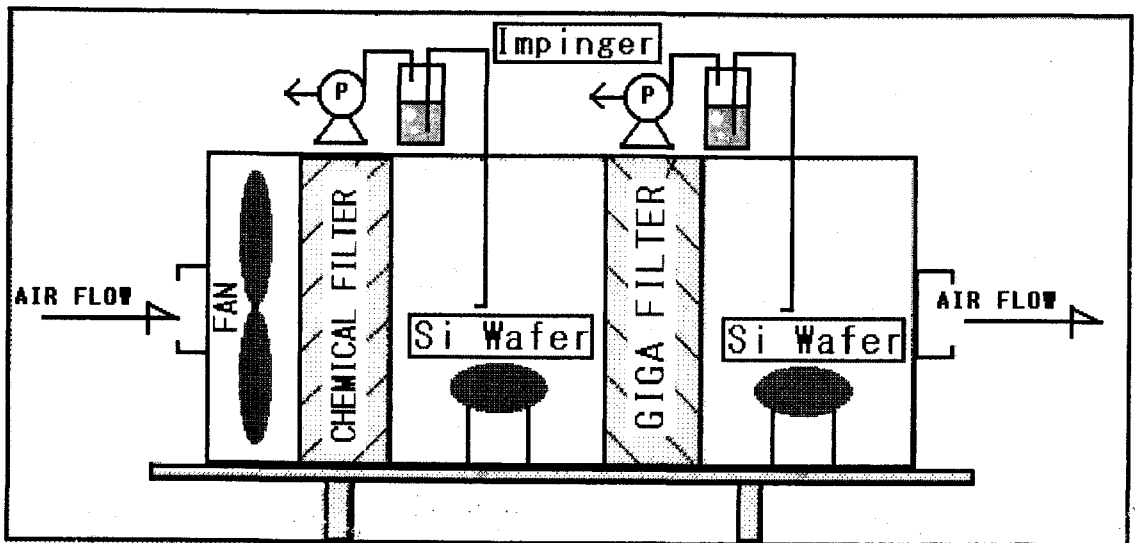


그림 7 Filter로부터 발생되는 Boron 가스 측정장치

1) Boron의 발생량

그림 8은 Air Filter로부터 발생하는 Boron 가스 발생량의 Data를 나타낸다.

이 Data는 그림 7에서 표시한 실험장치를 이용하여 H610×W610의 Filter에 0.4m/sec의 바람을 통과시키면서 Filter 상류와 하류의 공기를 Impinger中의 초순수에 샘플링하여 ICP-MS로 분석하여 Filter에서 발생하는 Boron가스를 측정하는 것이다. 종래 Filter의 Boron 발생량은 340ng/m³임에 비하여 GIGA Filter Series로

부터 발생하는 Boron 가스 발생량은 5ng/m³이하로 검정되었다.

2) 유기물의 발생량

그림 9에 그림 7의 시험장치중에서 24시간 방치한 후 웨이퍼의 산화막에 흡착된 유기물을 TD-GC-MS로 분석한 결과이다.

GIGA Master, Glass GIGA, PTFE GIGA의 다른 점은 여재가 다르고, 그 외의 재료는 전부 동일한 것을 사용하였다. 여재의 영향이 대단히 큼을 알 수 있었다.

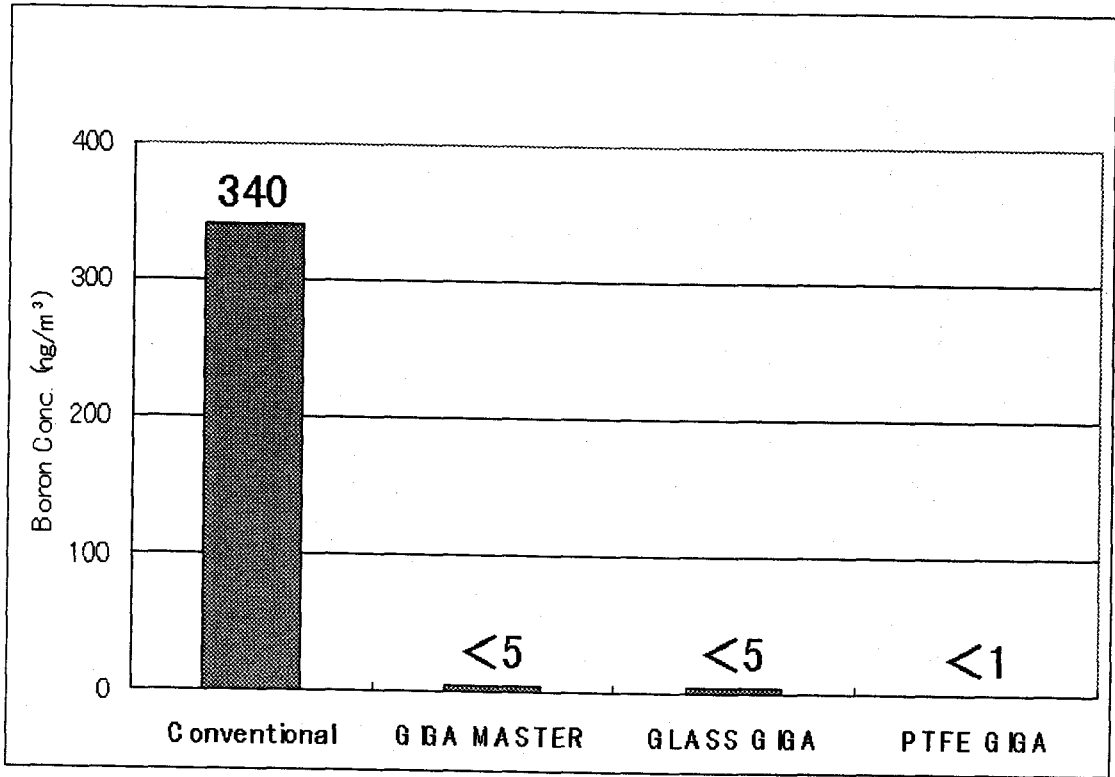


그림 8 Boron Generation Rate

5. Chemical Filter

클린룸의 건축에 있어 건축자재로부터의 Out-gas가 제어되어야 한다. 클린룸으로 도입하는 각종 장비로부터의 Out-gas도 제어되어야 한다. GIGA Filter Series의 성능이 제대로 발휘하기 위해서는 기존 클린룸은 Chemical Filter를 설치하여 사용할 필요가 있다. Chemical Filter는 활성탄 Pallet, 활성탄소섬유, 제오라이트 등의 Base에 NH_3 등의 알카리계의 가스를 제거하는 경우에는 H_3PO_4 를, SO_x , NO_x 등의

산성가스를 제거할 경우에는 K_2CO_3 , $CaCO_3$, $KMnO_4$ 등을 침착한 것이 일반적으로 사용된다.

또한, 이온교환섬유, 이온교환수지로 산성가스, 알카리성 가스를 제거하는 것도 있다. 산계 또는 알카리계 가스의 제거는 화학흡착으로 한다. 화학반응에 의거 가스가 흡착제에 고정화되므로 일반적으로 재방출의 문제가 없다. 유기계의 가스는 물리흡착에 의거 제거되므로 재방출에 주의하여야 한다. Chemical Filter와 GIGA Filter Series의 Filter를 결합시켜 설치하

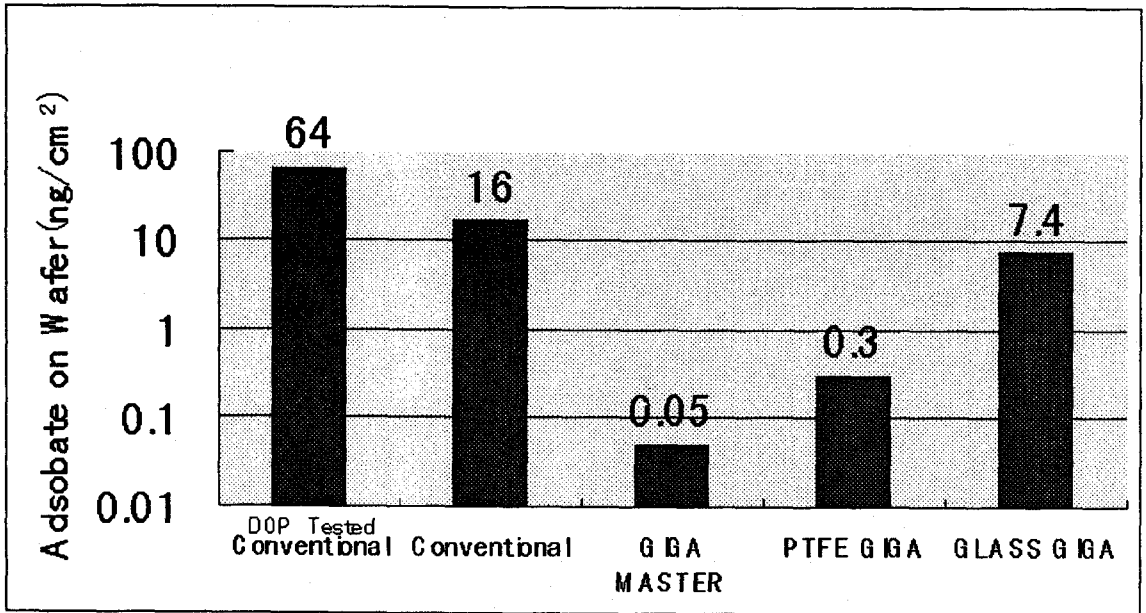


그림 9 Total Organic Adsorbate on Silicon Wafer

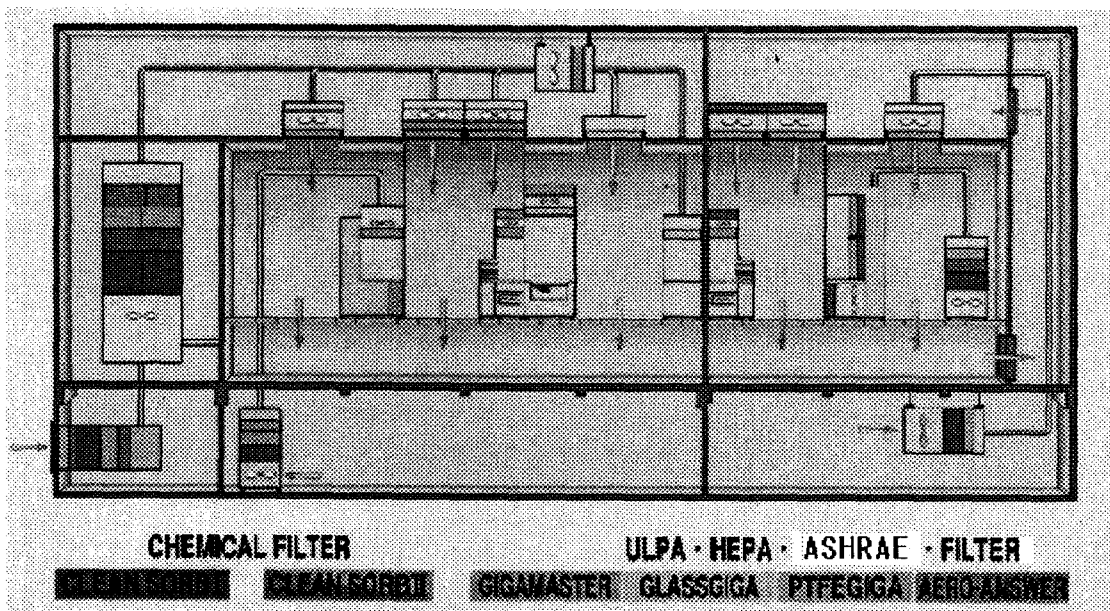


그림 10 Application

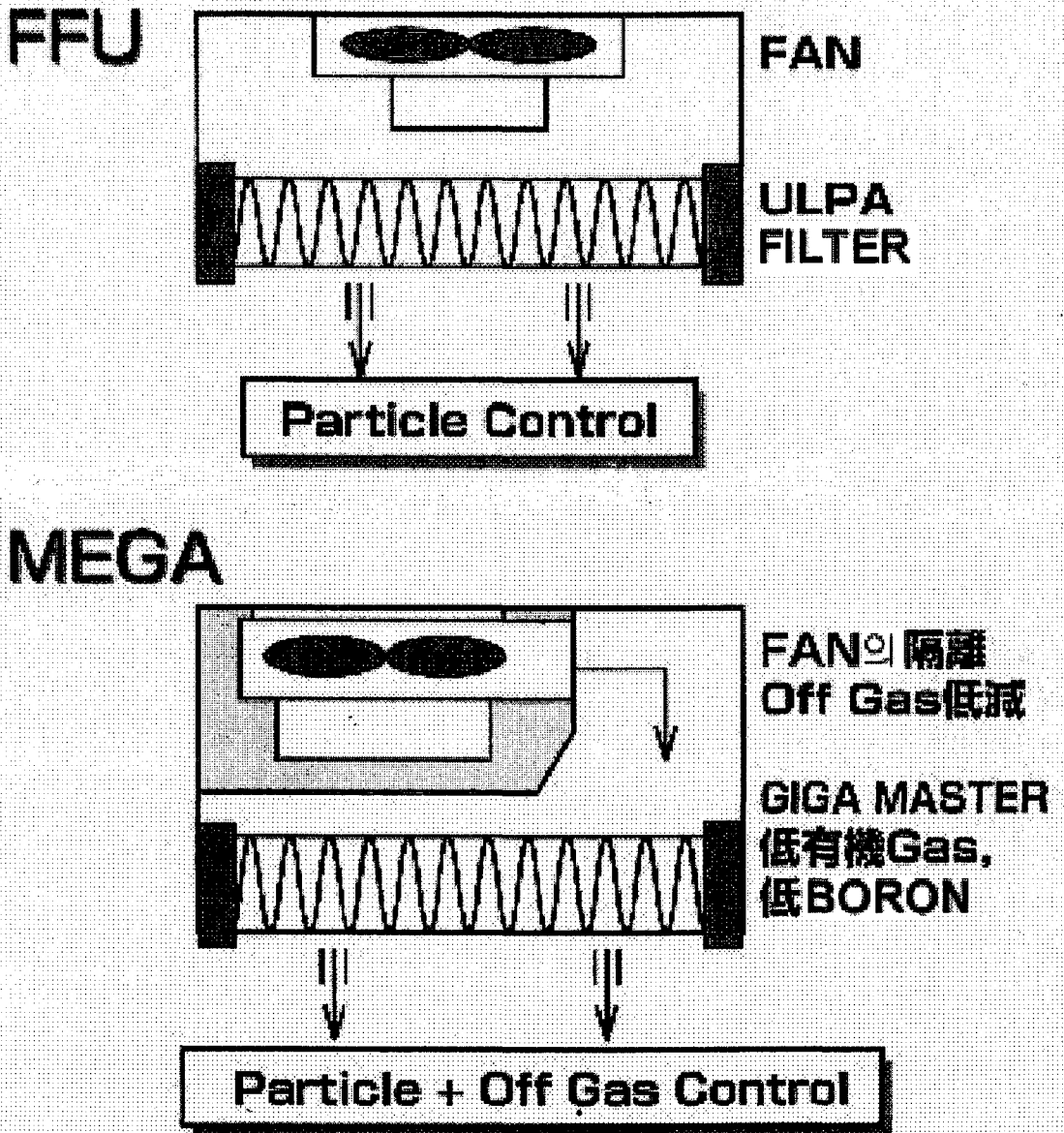


그림 11 Mini Environment Off-gas 대응 FFU

므로써 공기가 유입됨과 동시에 입자상 물질, 가스상 물질이 감소된다. Filter로부터 Out-gas가 감소되므로 결과적으로 Chemical Filter의 수명이 연장된다. 그림 10은 Chemical Filter와 GIGA Filter Series를 결합하여 설치한 사례를 나타내고 있다.

6. FFU(Fan Filter Unit)

局所的 청정공기가 필요한 경우 製造裝置 内の 청정화는 GIGA Filter Series와 Chemical Filter를 결합한 FFU가 유효하다. 그렇지만 Fan의 모터, 制御基盤, 軸受의 구리스, 케이싱의 塗裝 등은 유기가스의 발생원이 되며, 그 예는 그림 11에 표시되어 있고, 공기의 흐름으로부터 Fan을 격리하는 방법이 고려되어야 한다.

7. 맺음말

클린룸내의 분자상 오염물질(AMCs)의 제어는 아직 초기단계에 있다. 클린룸에 사용하는 재료의 선정을 우선하고 Chemical Filter를 사용하여 청정한 환경을 만든다 하여도 사용하는 제조장치에 설치하는 Filter가 인산에스테르,

프탈산에스테르를 대량 함유하고 있는 경우가 종종 있다. 또한 Filter의 원재료, 제조환경에도 각종 오염요인이 내재하고 있다. 이러한 오염요인을 제거하여 안정한 품질의 GIGA Filter Series를 개발하였으며, 계속하여 요구되는 성능을 만족할 수 있도록 노력할 것이다.

- 참고 문헌 -

- 1) 齊木篤, 반도체 프로세스 환경에 있어서 化學汚染과 그 對策, pp. 13, 리아라이즈社 (1997).
- 2) 若山惠英 et al., "분자오염물질의 발생이 적은 ULPA Filter", 제 17회 공기청정과 콘타미네이션콘트롤 연구대회예고집, pp. 181-184(1999).
- 3) 다키자와 清一, Aerosol 연구, 3(4), 297-299(1993).
- 4) 呂俊民 et al., 제 13회 공기청정과 콘타미네이션콘트롤 연구대회예고집, pp. 169-172 (1995).
- 5) Mori, E. J. Dowdy, J. D. and Shive, L. W., Microcontamination, November(1992).