

# Boron Clean Filter의 개발 현황

김 정 호  
한국캠브리지필터(주)  
공 장 장 (이 사)

## 1. 머리말

반도체 생산용 클린룸의 제어대상 오염물질은 반도체의 집적도가 높아감에 따라 더욱 증가되고 입자오염에서 분자오염으로 확대되고 있다. 기존필터(Micro Glass Fiber Filter)를 사용한 클린룸과 Boron Clean Filter를 사용한 클린룸에서의 Boron의 함량은 크게 차이가 나며 반도체의 결함율도 현저하게 차이가 있다는 것이 보고되고 있다. 그러므로 Boron( $\text{BF}_3$  Gas) 농도의 저감대책이 시급한 실정이다. 또한 장소에 따라 농도의 차이는 있지만 대기중의 Boron Gas 제거 대책도 필요한 실정이다.

## 2. 기존필터의 Boron에 의한 문제점

기존필터(Micro Glass Fiber Filter)는 Borosilicate Glass의 여재(濾紙)를 절곡하여 생산하고 있으며, 이 Borosilicate Glass에는 특히  $\text{B}_2\text{O}_3$  성분이 약 10퍼센트 이상 함유되어 있으므로 강산과 반응하면 Boron Gas( $\text{BF}_3$ )가

발생되는 문제점이 있다.  $\text{B}_2\text{O}_3$ 는 Borosilicate Glass Fiber의 표면에 있으므로 산분위기에 쉽게 반응하여 Boron Gas가 다량 방출하게 되는 문제점이 있다.

그림 1은 ULPA와 HEPA를 시차별로 설치하여 Boron Gas 방출량을 3년간 측정한 결과이다. 클린룸에 ULPA를 설치한 후 가동한 결과 가동초기에는 약  $300\text{ng}/\text{m}^3$  이상 방출되며, 약 250일 이상 경과후에는  $10\sim 50\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 안정된다. 그후 HEPA를 설치하여 가동한 결과 초기의 짧은 기간동안  $150\sim 200\text{ng}/\text{m}^3$  정도 방출된 후, 다시  $10\sim 50\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 안정됨을 알수 있다. 이 그래프에서  $\text{B}_2\text{O}_3$ 가 섬유외 표면에 분포되어 있음이 입증된다.

그림 2는 클린룸의 에어 순환계 전체의 각 필터별 Boron농도 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 외기중에도 Boron Gas가 있음을 나타내고 있으며 외기중의 Boron Gas는 Chemical Filter로 일부 제거 가능함을 알수 있다. 또한 실내공기는 HEPA 및 ULPA를 통과하여 클린룸에 유입되면서 크게 증가한 후 시간이 경과될수록 감소하고 안정되어짐을 알

수 있다. 이 그림에서도 역시 기존필터 (Micro Glass Fiber Filter)는 Boron Gas 방출

량에 있어서 허용 한계치의 관리가 필요하다.

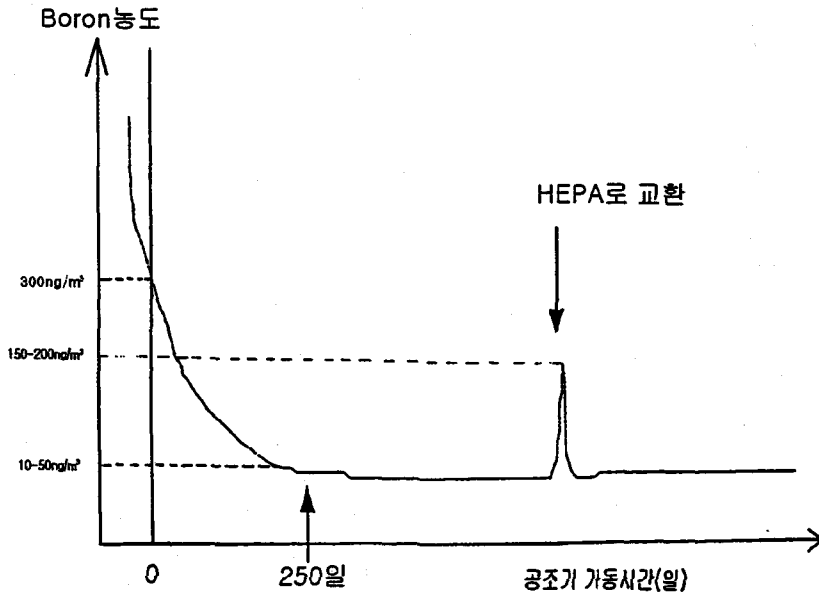


그림 1 기존필터를 사용한 클린룸의 시간경과별 Boron Gas 방출량 변화(3년간)

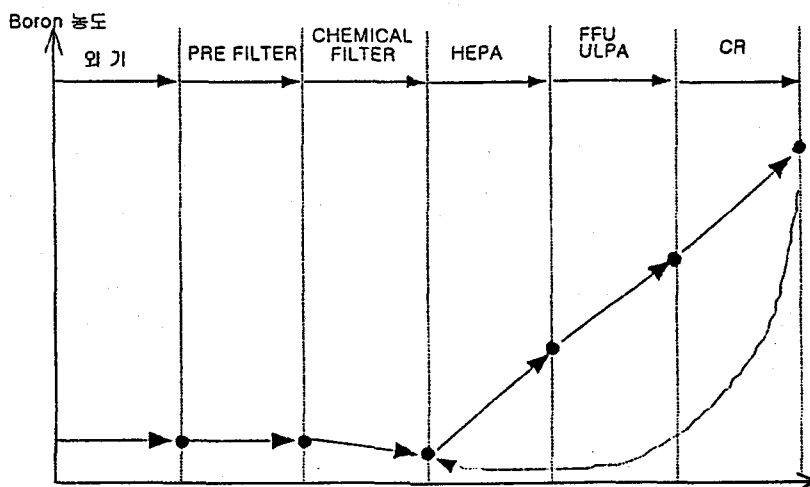


그림 2 외기에서부터 공기조화기, FFU를 경유하여 클린룸에 이르는 공조경로에의 Boron농도의 변화

클린룸의 공기중에 HF가 1ng/ℓ가 존재할 경우 그 공기가 HEPA를 경유하면 0.1ng/ℓ의 Boron Gas가 방출된다. 또한 방치된 웨이퍼 표면에 Boron의 농도를 10 atoms/cm<sup>2</sup> 이하로 유지시키려면 분위기 중의 Boron 농도를 0.001ng/ℓ 이하로 관리하여야 한다. 다시 말하면 HF의 농도는 0.01ng/ℓ 이하로 관리하여야 한다. 그러므로 반도체의 집적도(256MEGA-DRAM 이상)가 높아지면 오염

도(입자 및 Chemical 성분)의 관리도 향상되어야 한다. 64MEGA-DRAM 생산라인에서도 Boron 농도 증가(0.1ng/ℓ)에 의한 Wafer의 결함(Fail)이 발생되고 있는 실정이다. 또한 기존필터(Micro Glass Fiber Filter)는 클린룸의 상대습도가 증가하면 Boron 방출량도 증가하므로 항온 항습 관리도 매우 중요하다. 표 1은 클린룸에서 필터별 습도변화에 따른 Boron 방출량을 나타내고 있다.

표 1. 클린룸에서의 필터별 상대습도 변화에 따른 Boron 발생 현황

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

No	항목 필터	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
					1	중고성능	A사	Glass여재	0.037	-	-	0.138	0.056
2	초고성능HEPA	"	"	0.016	0.011	-	0.130	0.077	0.030	0.330	0.154	0.037	
3	초고성능저압손HEPA	"	"	-	-	-	0.116	0.047	0.014	-	-	-	
4	초초고성능ULPA	"	"	0.016	0.012	-	0.082	0.051	0.014	0.227	0.122	0.030	
5	초초초고성능UULPA	"	"	0.036	0.019	-	0.088	0.037	0.018	-	-	-	
6	초초초고성능저압손UULPA	"	"	0.012	-	-	0.060	0.035	0.021	-	-	-	
7	"	"	"	0.032	0.018	-	0.087	0.042	0.016	-	-	-	

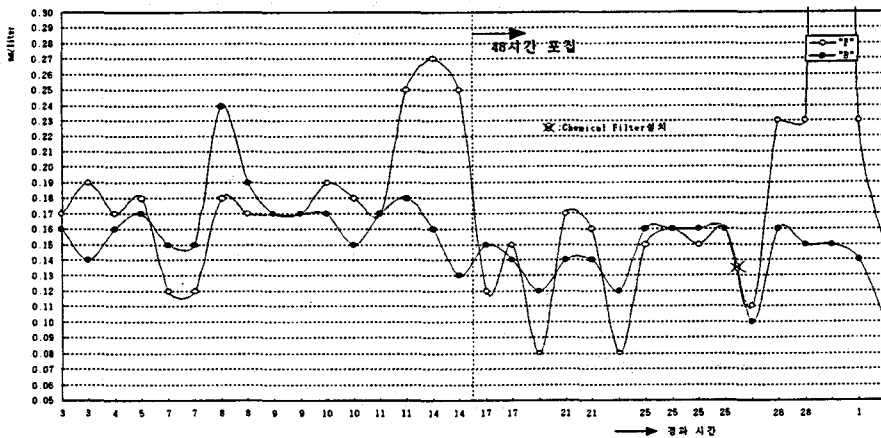


그림 3 초고집적도 반도체 생산용 클린룸에 있어서의 F & B의 농도 변화

또한 그림 3과 같이 초고집적도 반도체 생산용 클린룸에 있어서 F(플루오르 : Fluorine : 불소)의 농도변화에 따라 Boron의 농도가 비례하여 변화하는 것을 알 수 있다. 그러므로 Boron 농도를 감소시키는 대책은 첫째로 F의 농도를 줄여야 하고 둘째로 Boron Clean Filter를 사용하여 Boron 농도를 줄여야 한다.

### 3. Boron Clean Filter의 개발 내역

#### 3.1 개요

ULSI 제조공정 내에서, 클린룸 공기는 미세한 입자로 된 불순물 뿐만 아니라, 미량의 금속성 불순물을 제거하는 것도 점점 더 요구되어지고 있다. 외기는 불순물(Na, Fe, Cu, Zn, Al 등) 등을 상당히 포함하고 있고 이들 불순물은 ULSI Chip에서 절연박막의 유전파괴(Dielectric Breakpoint of Thin Insulating Film), pn 접합부결함(pn Junction Leakage), p형 반전(p Inversion) 등을 야기시킨다. 이들 불순물의 농도는 클린룸 에어의 입자농도와 정비례 관계에 있다. 이들 불순물은 ULPA나 HEPA Filter와 같은 향상된 Air Filter에 의하여 제거되어 질 수 있다. 그러나 p Inversion을 유발시키는 다른 유해한 성분인 Boron(B)은 앞에서 언급한 바와같이 클린룸 에어에서 ULPA Filter의 여재로 사용되고 있는 Borosilicate( $B_2O_3$ ) Glass Fiber가 클린룸 내에서 HF산 증기 때문에 부식되어,  $BF_3$  Gas로서 발생된다고 보고되어 있다.

최근 반도체 1G급 이상의 클린룸에 사용되는 필터는 Boron Gas 방출량이 감소조정된 필터를 사용하여야 반도체의 결함율을 감소시킬 수 있다. 기존의 Glass Fiber 여재를 사

용한 필터에서 방출되는 Boron Gas량과 Boron Gas가 조정된 여재를 사용한 필터에서 방출되는 Boron Gas량을 비교하면 후자가 현저히 감소되어 반도체의 결함율이 현저히 감소함을 알 수 있다.

이러한 Boron 환경은 Memory Size가 증가할 수록 치명적인 요소로 작용할 수 있기 때문에 당사에서는 Boron 발생을 감소시키기 위한 Filter개발을 추진하였다. 산분위기에 의한 Media의 Boron 발생량을 측정하기 위한 장치를 구비하여 ULPA Media로부터 어떻게, 또 얼마의 Boron이 생성되는가에 대한 실험을 실시하고, Media 제조업체와 상호기술 Data 교환을 통하여 차세대 Up-Grade된 Filter를 개발하였다. 그러므로 당사의 Boron Clean 필터를 차세대 클린룸에 적용하여 초고집적도(1G급 이상)의 반도체 개발을 가능케 하고 있다.

#### 3.2 종류 및 성능

Boron Clean Filter를 개발하기 전에 먼저 개발 대상 필터들 간의 일반적인 특성을 분석한 결과 표 2와 같이 그 성능을 파악하게 되었다. 이 표에 나타난 바와 같이 Boron Clean Filter가 가장 포집효율이 높고 Boron 방출량도 기준치 이하로 가능하며 가격도 가장 저렴함을 알게 되어 개발 및 상품화 시키기로 하였다.

개발 대상인 Boron Clean Filter의 Boron Gas 발생량 현황 및 목표치는 다음 표 3과 같이 허용기준치인  $15ng/m^3$  이하이다.

또한 Boron Clean Filter의 사양은 표 4와 같이 1G DRAM 이상의 반도체를 생산할 수 있는 포집효율( $0.12\sim 0.17\mu m : 99.999999\%$  이상)을 보증한다.

표 2. 종류별 성능 현황

종 류 항 목	기존필터 (Borosilicate Glass Media)	PTFE 필터	Polypro- Pylene 필터	Chelate제 Coating 필터	Boron Clean Filter(Low Bo- ron Borosilicate Glass Media)
포집효율 (0.12~0.17 $\mu$ m)%	99.99999이상 가능	99.99999이상 불가능	99.99999이상 불가능	99.99999이상 가능	99.99999이상 가능
Boron 제거 또는 감소 대책	대책없음	Boron 성분 완전제거	Boron 성분 완전제거	Chelate제로 여재표면을 코팅	Low Boron 여재로 생산
함유 불순물	B, Na, Al, Ca, K, Zn, Ba, Mg, Fe, P 등 함유	미량의 Si, Na 등 함유	P 함유	기존 Borosilicate Glass의 불순물을 Chelate제로 코팅 시켜 방출을 억제 시킴	Low Boron 여재 로서 불순물이 Trace이므로 무시가능
연소성	불연성	첨가제는 일부 가연성 존재	가연성	불연성	불연성
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 함량 (무게 : %)	11 이상	0	0	11 이상 (표면을 코팅하여 방출억제)	0.11 이하
Boron 농도 관리 기준치 : ng/m <sup>3</sup>	20 이하	"	"	"	"
Boron 방출량 : ng/m <sup>3</sup>	200~300 이상 (불합격)	0(합격)	0(합격)	20 이하 (한계치에서 통과)	15 이하 (합격)
수명	반영구적	반영구적	반영구적	약 1~2년	반영구적
가격	저가	초고가	고가	중고가	중저가

표 3. Boron Gas 발생량 현황 및 목표치

비 교	Boron 발생량	Boron 허용기준치	사 용 여 재
개발전	300ng/m <sup>3</sup> 이상	15ng/m <sup>3</sup> 이하	Glass Fiber 여재
개발후	15ng/m <sup>3</sup> 이하		Boron Clean 여재

표 4. Boron Clean Filter의 사양

Type	Efficiency (0.12~ 0.17 $\mu$ m)	Separator Type			Mini Pleat Type				
		Model NO	풍속 m/sec	풍량 CMM	압손 mmAq	Model NO	풍속 m/sec	풍량 CMM	압손 mmAq
Boron Clean ULPA	99.99995% 이상 (대처리형)	2LBA -572.1167.120HB Packed Media Depth(95mm)	0.35	15	12	2T -572.1167.100HB Packed Media Depth(72mm)	0.35	15	12
	99.999999% 이상 (초고효율형)	2LBA -572.1167.150BG Packed Media Depth(132mm)	0.5	21	15	2T -572.1167.120BG Packed Media Depth(105mm)	0.5	21	15

표 5. Boron Clean Filter의 자재 사양

항 목	기존 Filter	Boron Clean Filter	비 고
사용자재			
1) Media	Glass Fiber	Boron Clean 여재	* Boron Clean 여재 : 최신 개발품
2) Frame	Aluminium + Alumite 처리	Aluminum + Epoxy 코팅처리 (내산형 Frame)	
3) Separator	① Paper Separator ② Aluminium + Alumite 처리	① Paper Separator ② Aluminum + Epoxy 코팅 처리(내산형 Separator)	
4) Sealant	① Eng Sealing : Urethane (내산형 Sealant) ② Side Sealing : DB-103 (Synthetic Rubber, 내산형 Sealant)	① End Sealing : Urethane (내산형 Sealant) ② Side Sealing : DB-103 (Synthetic Rubber, 내산형 Sealant)	* 유기 Off-Gas량 측정결과(표6참조)
3) Hot Melt	① 에틸렌중공합수지 ② Polyamide (내산성 Hot Melt)	① 에틸렌중공합수지 ② Polyamide (내산성 Hot Melt)	* 에틸렌중공합수지 : 상온용(80 $^{\circ}$ C 이하) * Polyamide : 고온용 (100 $^{\circ}$ C 이하)

Boron Clean Filter의 자재 사양은 다음 표 5와 같이 Boron Clean 여재와 유기 Off-Gas 발생량이 거의 없는 접착제를 사용한다.

그리고 표 6은 접착제의 유기 Off-Gas 발생량을 측정한 Data이다.

표 6. End-Sealing용 접착제의 유기 Off-Gas(低磷 Type)량 측정현황

항 목	기존 Urethane 수지	변경 Urethane 수지	비 고
Peak 총면적	100	1.6	
TBP류	100	ND	Bithionol(C <sub>12</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>4</sub> O <sub>2</sub> S)
BHT류	100	0.44	Butylated Hydroxytoluene(C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O)
DOP류	100	0.48	Diocyl Phthalate(C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub> )
Siloxane류	100	ND	H <sub>3</sub> SiO(-H <sub>2</sub> SiO) <sub>n</sub> -SiH <sub>3</sub>

\* GC-MS로 측정한 결과 기존과 변경분은 큰 차이가 있다. 상기표의 DATA는 기존 Urethane수지에서 Off-Gas를 100으로 했을 때의 값임(ND : No Detected)

### 3.3 효과

Boron Clean Filter의 Media 실험장치 및 원리는 그림 4와 같다.

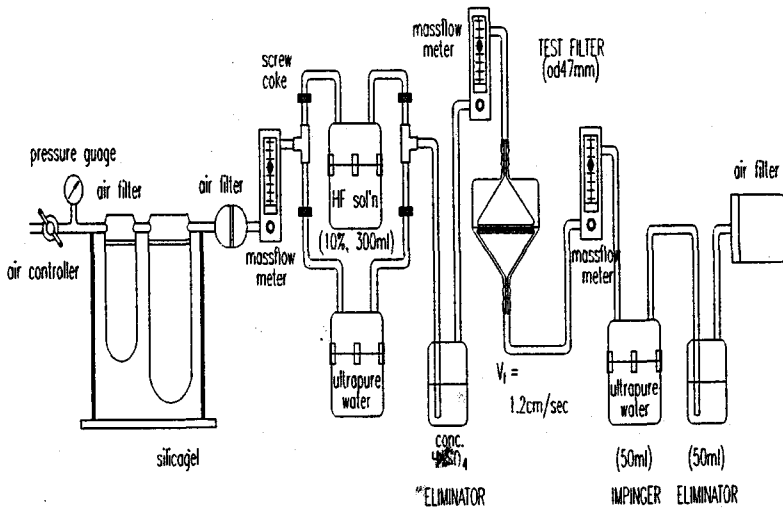
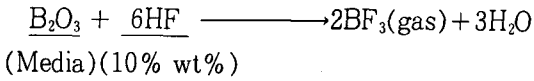


그림 4 Boron Clean Filter의 Media 실험장치 및 원리

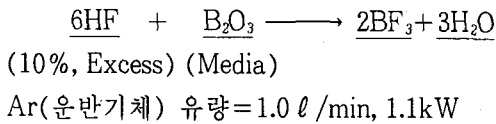
3.5hr, Ar(1 lpm)



또한 Boron Gas 발생량 시험결과는 다음과 같다.

- 실험목적 : 일반 Media(ULPA)와 Boron Clean Media의 Boron 발생량 비교분석
- 실험조건
  - 10wt% HF 용액
- 시료
  - Boron Clean Media
  - 일반 Media(ULPA)
- 실험장비 : ICP-MS

① 장치에서 발생한 BF<sub>3</sub> Gas가 ICP-MS로 100% 주입된다고 가정한다.



② 표준용액(Nebulization)

$$\text{Boron } 10\text{ng/ml} \longrightarrow 100,000\text{cps}$$

(count per second)

시료용액 주입효율=2%

$$\begin{aligned} \therefore \text{Net Boron 주입량} \\ &= 10\text{ng/ml} \times 1.0\text{ml/min} \times 0.02 \\ &= 0.2\text{ng/min} \end{aligned}$$

즉, 0.2ng/min의 Boron이 주입되면 ICP-MS는 실험 Graph에 100,000cps를 나타낸다.

③ 실험 Graph에서 일반 Media(ULPA)는 최대 102,000cps를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \therefore \text{표준용액(Nebulization)과 비교하면} \\ 0.2\text{ng/min} : 100,000\text{cps} = x\text{ng/min} : 102,000\text{cps} \end{aligned}$$

즉 0.204ng/min의 Net Boron이 ICP-MS로 주입된다.

$$\begin{aligned} \therefore 0.204\text{ng/min} \div 1.0\text{ l/min} &= 0.204\text{ng/l} \\ &= 204\text{ng/m}^3 \end{aligned}$$

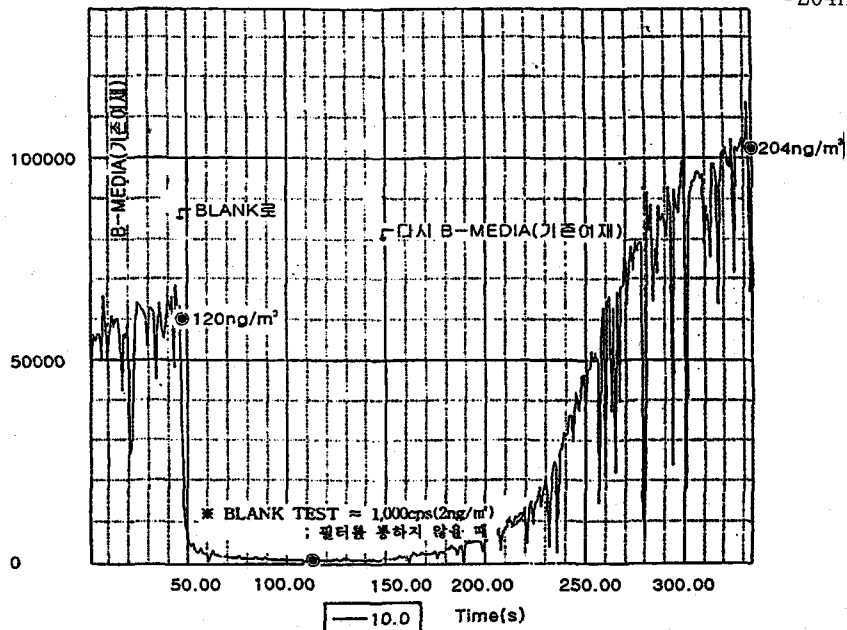


그림 5 기준 ULPA여재의 분석결과



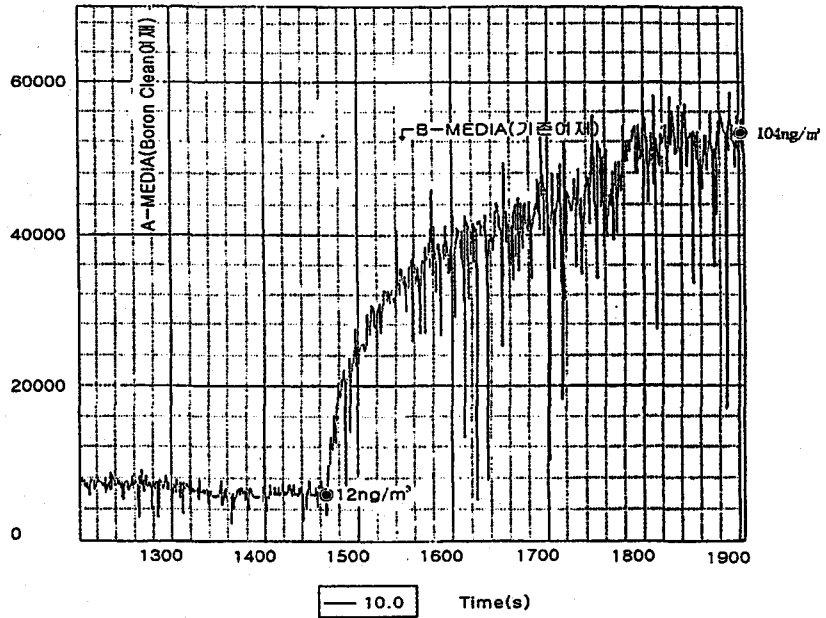
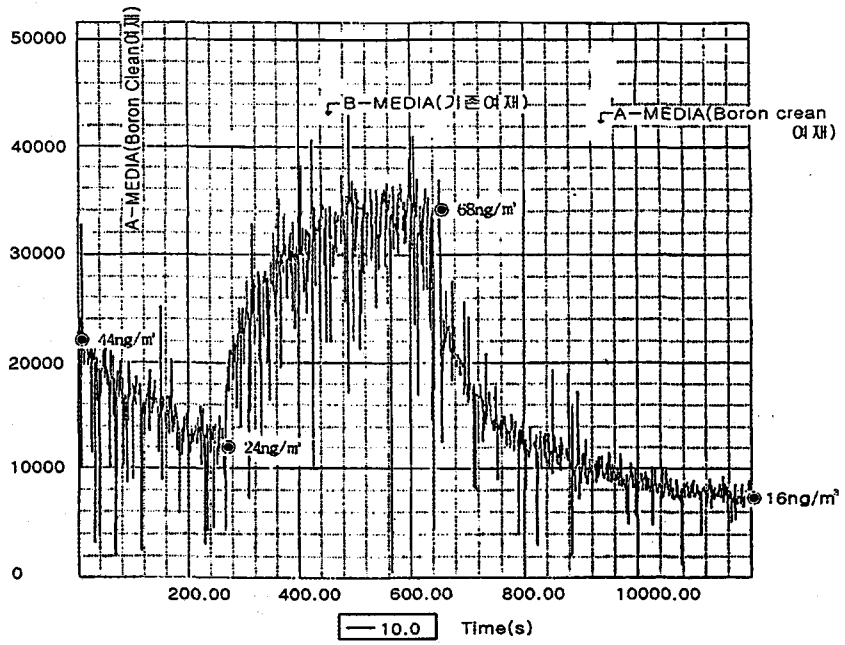


그림 6 Boron Clean 여재의 분석결과

④ 실험 Graph에서 Boron Clean Media는 6,000cps를 나타낸다.

∴ 표준용액(Nebulization)과 비교하면  
 $0.2\text{ng}/\text{min} : 100,000\text{cps} = \times\text{ng}/\text{min} : 6,000\text{cps}$

즉,  $0.012\text{ng}/\text{min}$ 의 Net Boron이 ICP-MS로 주입된다.

∴  $0.012\text{ng}/\text{min} \div 1.0 \ell / \text{min} = 0.012\text{ng} / \ell = 12\text{ng}/\text{m}^3$

⑤ 따라서 일반 Media(ULPA)와 Boron Clean Media의 Boron 발생량비는 약 17 : 1이다.

⑥ 실험 Graph에서 일반 Media(ULPA)는 Boron 발생량이 점차 증가하면서 안정되지만 Boron Clean Media는 Boron 발생량이 점차 줄어들면서 안정화된다.

분석절차 : 즉시 신호 표시 그래프 선택 원소 파일 :

측정 원소수 : 1.000000

총 측정 시간(분) : 10.000000

X축 : 시간(초)

Y축 : 감도(Counts/sec)

상기의 실험결과 ULPA용 기존 Borosilicate glass여재는  $204\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 안정되었고 Boron Clean 여재는  $12\text{ng}/\text{m}^3$ 으로 안정되는 좋은 결과를 얻게 되었다. 그 이유는 ULPA용 기존 Borosilicate glass 여재에 비하여 Boron Clean 여재는  $\text{B}_2\text{O}_3$ 성분이 약 1/100로 감소된 여재이기 때문이다.

#### 4. 맺음말

64M DRAM 이상의 반도체를 생산하는 클린룸에서의 Boron Gas 허용 농도는  $20\text{ng}/\text{m}^3$  이하임이 실험 결과 밝혀졌다. Boron Gas 허

표 7. ULPA용 기존 Borosilicate Glass 여재와 Boron Clean 여재의 성분 비교 현황

Oxide (산화물)	Nominal Weight(%)	
	Borosilicate Glass Media	Boron Clean Media
$\text{SiO}_2$	58.3	70.4
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5.8	3.4
$\text{B}_2\text{O}_3$	11.3	0.11
$\text{Na}_2\text{O}$	10.1	10.4
$\text{K}_2\text{O}$	2.9	5.1
$\text{CaO}$	1.8	6.0
$\text{MgO}$	0.3	3.2
$\text{BaO}$	5.0	0.04
$\text{ZnO}$	4.0	0.7

용 농도가  $20\text{ng}/\text{m}^3$  이하가 되면 Boron Gas로 인한 반도체의 결함은 발생되지 않는다는 결론이다. 즉 기존 필터에 비하여 Boron 농도가 약 1/10~1/20로 감소되면 결함에는 영향이 없다는 것이다. 당사의 경우  $12\text{ng}/\text{m}^3$  이하로 개발되어 매우 좋은 효과를 얻게 되었다. 이 결과 256M DRAM 이상의 반도체 생산에 크게 기여하리라 본다.

#### - 참고문헌 -

1. 한국캠브리지필터(주)의 Air Filter Manual
2. 미국 H&V CO의 여재 Manual
3. 한국캠브리지필터(주)의 접착제 仕様書
4. A Study of Boron Contamination in Clean Room (日立 Plant 建設) 논문
5. 12th International Symposium on Contamination Control(Proceeding : p.111~116), OCT.10~14. 1994.