

# SMIF System과 Clean Room System

최 재 홍  
삼 성 전 자 (주) 반 도 체  
Clean Room 기 술 / 부 장

## 1. 머리말

최근 전세계 반도체업계에서는 Mini-Environment, Micro-Environment라고 불리는 개념의 클린룸 System이 등장하여 적극적인 검토가 성행하고 있지만 우리나라에서는 이런 개념이 근본적인 Clean Room Technology를 개선할 수 있는 방안이라고 한마디로 표현하기는 힘들다.

이러한 상황의 바탕에는 오염제어의 국소화를 둘러싼 가능성과 기술적인 한계에 대하여 구체적으로 검토되거나 적용된 사례가 적기 때문이며 또한, 우리나라의 반도체 산업의 기본 바탕이 DRAM위주의 양산성과 대량생산성을 반드시 확보해야하는 구조로 되어 있기 때문에 Isolation기술, Interface기술, 정전기 대책등 Mini환경을 지향한 요소기술개발에 집중하기 보다는 선진사의 경향을 보고 Risk를 최소화하려는 자세를 취하고 있기 때문이다.

본고에서는 Mini-Environment을 적용한 실제의 실험예를 중심으로 오염제어기술의 국소화와 향후 300mm Wafer FAB을 대비한

기술과제 및 이런 요소기술을 응용한 장래의 Clean Room System의 고찰에 대해 검토한다.

## 2. 반도체 제조에서의 오염관리와 국소환경

과거 오염제어는 입자오염에 대한 대책을 중심으로 논의되어 왔지만 ULSI오염제어의 향후를 생각해 보면 입자이외의 광범위한 오염요인에 대해 고찰해 볼 필요가 있다.

과거부터 Leak전류, 내압불량, Threshold변동과 Carrier Life Time의 저하등 특성불량으로는 나트륨과 중금속등의 Chemical 오염이 깊게 관련되어 있다고 알려져 있다. 최근에는 이것과 더불어 자연산화막, 분자상 흡착물 문제가 활발히 논의되어 왔다. 특히 Diff., Etching등을 중심으로 하는 물리화학 Process에서의 반응생성물에 의한 오염, 자연산화막을 포함한 GAS, 분자상 물질에 의한 오염 대책의 필요성은 그 본래와 반응, 흡착과정에 관한 원리가 밝혀지지 않은 것도 있지만 대다수 DRAM Maker들은 Device의 미세화에 따른 이 같은 문제를 해결하기 위하여 고심하고 있다.

이에 대한 여러가지 오염제어를 위한 방안이 수립되고 시행되고 있지만 반도체 제조공장이 점차 대형화되어 가는 추세로 볼때에 과거와 같은 Clean Room System으로는 투자 및 운영 Cost의 거대화라는 장벽에 부딪히게 마련이다.

예를 들어 분자상 오염물질의 제어를 위한 Chemical Filter의 설치는 현재와 같은 Conventional Clean Room에의 적용은 엄청난 초기투자 및 운영 Cost가 요구된다.

따라서, 반도체 제조 Process의 Clean화를 달성하는데 제조Cost 문제를 분리할 수가 없게 된다. 수율확보를 포함한 제조 Line의 투자액 감소 즉 저 Cost화가 금후 오염제어기술에 관해서도 큰 영향력을 가진 Key Word로 될것이다. 이미  $0.14\sim 0.18\mu\text{m}$  Mosfet에서 Gbite DRAM제조는 기술적으로 가능하다고 말해지지만 양산까지의 기술개발을 포함한 투자액이 회수될 수 없을 만큼의 투자부담은 사업자체의 가능성마저도 위협받을 수 있다고 일부 지적되고 있다.

따라서, Device가공기술의 미세화에 대한 저 Cost화 대책은 단순한 국소청정화의 기술적인 발전이나 개념의 전환, 또 고집적 Device의 수율확보 뿐만 아니라 반도체산업의 존폐를 가늠하는 중요한 요인으로써 작용할 수 있다는 분석이 가능하게 된다.

또한, Clean Room System의 국소청정화와 병행하여 Process의 수율확보를 위한 대책으로 Insitu-Monitoring, Insitu-Cleaning의 필요성이 언급되고 있으며 제조장치의 Cluster Tool화가 제시되어야 한다. 여러 Process Flow를 1대의 장치에서 하는 Cluster Tool에서는 Wafer Handler절감, 공통화가 가능함과

동시에 제조분위기 변화에 따르는 Process 제어 정도향상과 국소정정화의 능동적인 효과가 기대된다.

이에 따라 Clean Room의 구성요소에 관해서도 Process마다 공조, 송풍계통의 분리등 Concept에 기인한 국소화가 필요해질 것이다.

그리고 Clean Room에 대한 초기투자 Cost 뿐만아니라 운전 Cost에 관한 고찰이 중요하다. 왜냐하면 반도체 제품의 Cost구성을 보면 Line 첫가동후 초년도에는 제조장치관련 Cost가 제품 Cost의 대부분을 점유하지만 감가상각에 의해 2년이후 장치관련 Cost는 대폭 감소한다. 반대로 Clean Room등 건설관련 투자의 감가상각 기간은 장기에 해당되기 때문에 2년이후 건설관련 Cost의 1/4정도를 점유하게 된다.

Clean Room 관련 설비Cost 및 운전Cost는 청정도 즉, Clean Class에 의해 크게 다르지만 요구성능이 높아짐에 따라 필요해지는 Cost는 Linear하게 증가하게 된다.

특히 Class M2.5(Fed. Std. 209E에 의한다)의 경우 3~4년간의 운전 Cost로 같은 규격의 Clean Room을 새롭게 준공할 수 있을 정도이다. 그 이유는 청정도가 높은 Clean Room에서는 유달리 송풍동력으로 소비되는 전력Cost가 커짐을 알 수 있다.

차세대 반도체 Device제조를 위한 현상태의 전면수직층류방식을 그대로 Scale up해가면 막대한 환기 송풍량 즉 운전 Cost가 필요하게 되며 이는 반도체 제조 Cost의 상승으로 이어지게 되는 것이다.

따라서, 청정공간 국소화를 현실화할 수 있다면 Process별 오염제어가 가능함과 동시

에 운전 Cost 저하도 기대할 수 있다.

국소청정화에는 복수의 공조, 송풍 계통이 필요하는 등 초기투자 증대로 예측되지만 각 Process에서의 요구성능에 맞춰 운전관리가 가능하게 되면 종래방식과 비교하여 외기부하량을 저하하는 것도 가능하다.

표1에서와 같이 SMIF System를 이용해 국

소적인 청정도와 온.습도 제어를 독립시킬 경우 공조, 송풍계의 제어공간 국소화로 운전 Cost를 대폭 저하할 수 있는 것을 알 수 있다. 환기송풍량이 큰 고청정도 Clean Room에 같은 Concept이 응용된다면 그 경제적 효과는 절대적일 것이다.

표 1. SMIF System과 Conventional System과의 Cost비교표

\*대상 FAB; - . Clean Room면적 : 5,400㎡(1,600평)  
 - . 생산장비수 : 800대  
 - . Wafer생산량 : 25,000매/월(8")

(단위 : 백만원)

항 목		C/R Type	Class 1 Ball Room	Minienvironment Class (With Class 1000)		비 고
				SYS Ceiling	Unit FFU	
초 기 투 자	- .Cln Room SYS.		27,000	26,460	25,920	
	- .Mechanical SYS.		72,900	71,820	70,200	
	- .Electrical SYS.		15,120	14,580	14,580	
	- .SMIF SYS.		-	\$ 65,000/Unit	\$ 70,000/Unit	
	합 계 (지 수)		115,020(100)	112,860(99)	110,700(96)	
운 전 C O S T	- .Air Circulation Energy (Fan 동력)		2,213KwH 765/Year	1,106KwH 382/Year	533KwH 191/Year	
	- .Chiller Operation Eng. (Chiller 동력)		2,225KwH 269/Year	1,113KwH 135/Year	556KwH 67/Year	연평균 Peak 부하의 35%
	합 계 (지 수)		1,034/Year (100)	517/Year (50)	258/Year (25)	

\* FAB Line건설시 초기에는 생산장비 관련 Cost가 상당히 높지만 감가상각이 진행되어 2~3년이 경과되면 반대로 Clean Room 관련 Cost와 운전동력비가 비례적으로 상승하게 된다(전체 Cost의 25% 점유). 특히 M2.5(Class 10 2.1μm)의 경우 3~4년간의 운전 Cost로 같은 규격의 Clean Room을 새롭게 준공할 수 있을 것이다.

- \* 기타 Saving효과 : 1) Gowning Cost Reduction  
 2) Gowning Time Loss Reduction  
 3) Clean Class Recovery Time Reduction

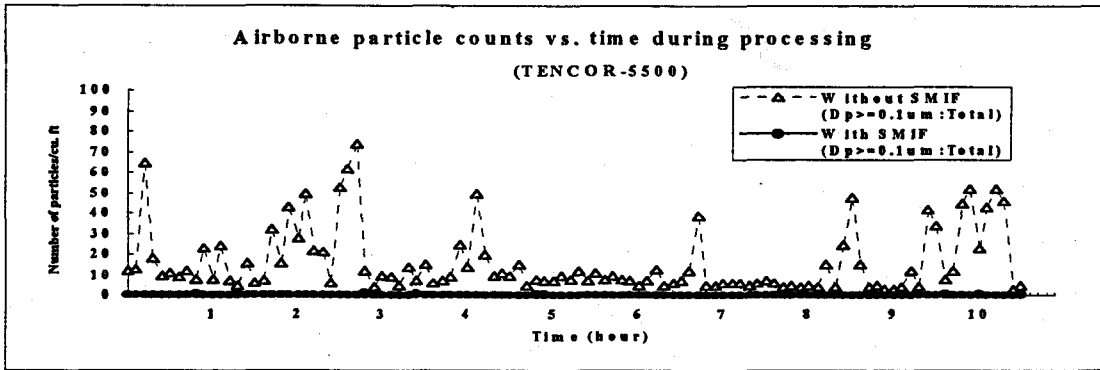
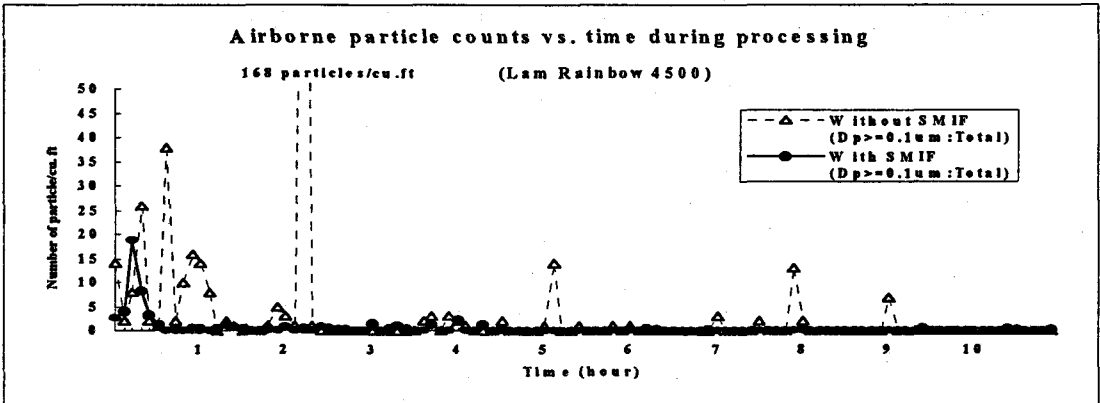
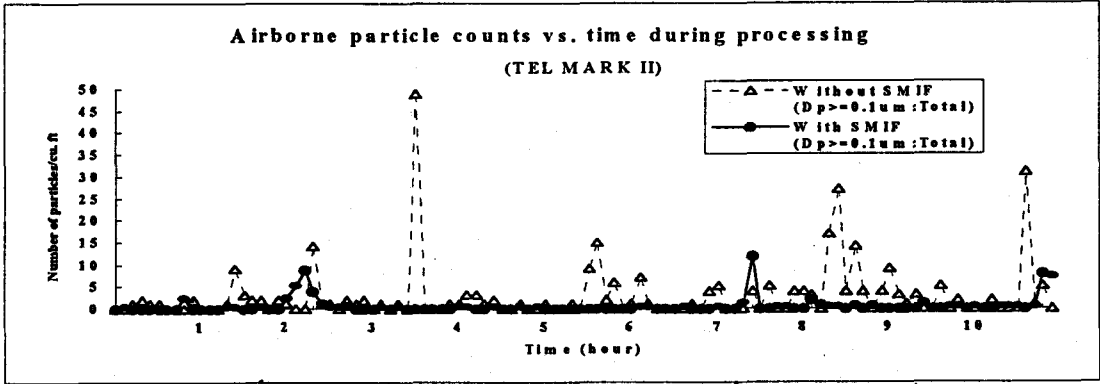


그림 1 Conventional과 SMIF간의 Wafer Level 청정도 비교

### 3. Clean Room환경의 Isolation기술

환경제어공간을 주변으로부터 분리하기 위해서는 완전한 폐쇄공간 혹은 밀폐공간으로 하는 것이 가장 효과적이다.

폐쇄공간으로 Fan Filter Unit를 설치해 국소 전면수직층류방식으로 하면 입자오염을 피할 수 있다. SMIF System에서는 주변환경을 Class 1000으로 하고 국소환경 내부를 Class 0.1~1으로 구성하는 것이 일반적이며 Wafer의 I/O을 위해 개구를 설치하더라도 SMIF내부의 압력과 기류가 유지되면(완벽한 제어가 된다면) I/O을 포함해 완전한 폐쇄공간을 구성하는 방식(Clean Tunnel등)으로 얻을 수 있는 고청정도 확보가 가능해지게 된다.

SMIF(Standard Mechanical Interface : Asyst Technologies Inc.의 등록상표)System을 보다 자세히 살펴보면 폐쇄구조에 의한 Isolation기술을 사용하여 외부환경과의 분리라는 의미에서 효과적임을 알 수 있다.

#### 1) Clean Room환경에서의 실험

일반적으로 Conventional Clean Room의 경우 Room환경 즉 Clean Class는 원하는 Level로 유지되나 실제로 제조Process의 불량을 일으키는 Wafer Level에서의 청정도는 여러가지의 외적인 영향에 의하여 원하는 Class를 얻지 못하는 경우가 많다.

실제로 Class 1인 Clean Room에서 Wafer Level의 Particle을 측정하여 보면 많게는 수백개(0.1 $\mu$ m이상)에서 수개가 발견되는 것을 알 수 있다.(그림 1참조)

이것에 대한 원인중에는 생산장비, 재료작업자등에 의한 것이 주류를 이루고 있으며

이들중 Clean Room환경에서 제어해야만 하는 것중 작업자의 행동과 Smock등에서 발생하는 인자가 있다.

#### 2) Wafer Storage실험

앞서와 같이 Clean Room내의 청정공간 측면에서의 실험을 보다 Wafer Level로 접근시키기 위하여 PWP Data를 이용하여 SMIF의 효과를 분석해 본 결과를 비교하여 보자.

제1실험에서는 그림2에서와 같이 Bare wafer를 생산설비의 Loader/Unloader부에 각각 30회씩 Access한 후 Surface Scanner로 Particle의 증가를 Check하였고 제2실험에서는 Bare Wafer를 Wafer보관 Box에 넣어 24시간 방치후 Particle의 증감을 Check하였다.

2가지의 실험결과 Wafer상의 Particle 증가는 SMIF를 사용한 경우에 현저히 감소하였으며 이는 Isolation의 효과를 단적으로 증명하는 것이다.(실험의 경우 주변 청정도는 0.3 $\mu$ m Class 1000 임 그림 3 참조)

따라서 주변의 Class를 낮은 상태로 유지하면서 효과적으로 청정도를 제어하는 방식이 바로 Isolation Tech. 인 SMIF방식인 것이며 이로 인하여 Clean Room전체를 고청정공간으로 유지하는 종래의 방식보다 더 나은 Class를 얻을 수 있는 것이다.

또한 Particle이외의 오염인자 즉, 화학물질에 의한 오염의 경우도 SMIF를 이용한 Isolation(Inert Gas Charging)이 이용되기도 한다. 자연산화막의 대책으로 OHMI교수는 질소분위기에 의한 Closed Manufacturing System(N<sub>2</sub> Tunnel)을 제안하고 있다.

SMIF Sys Maker인 Asyst사에서도 제어공간내에 질소분위기를 형성하는 SMIF-E Sys를 사용하고 있다.

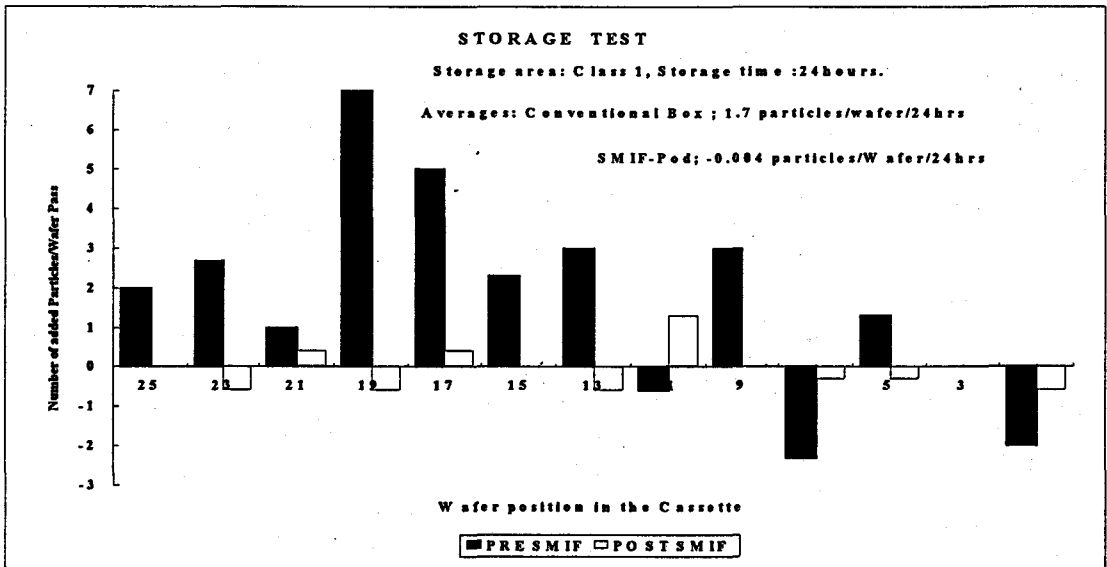
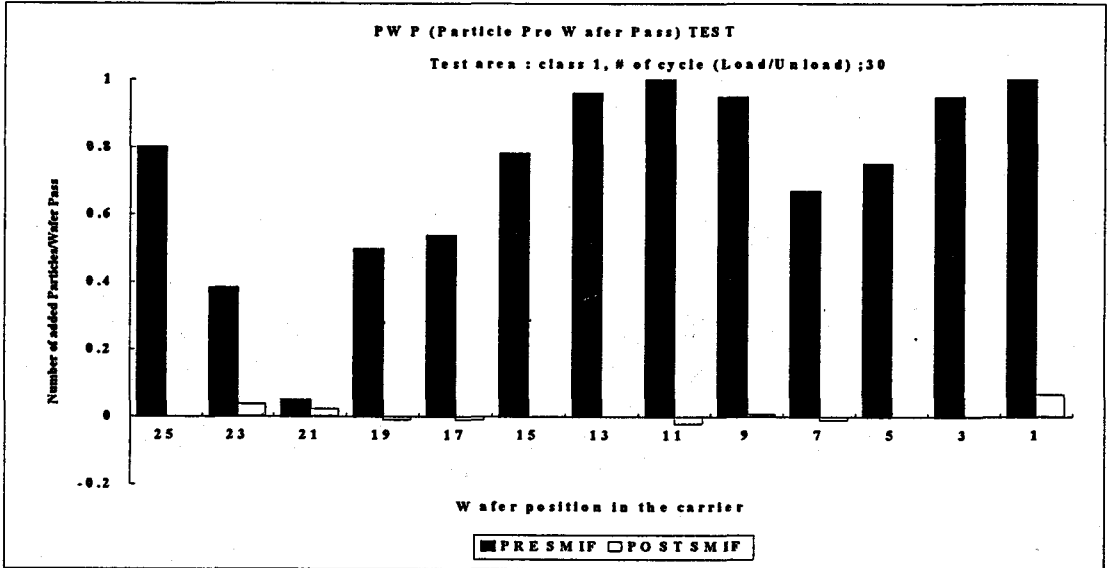
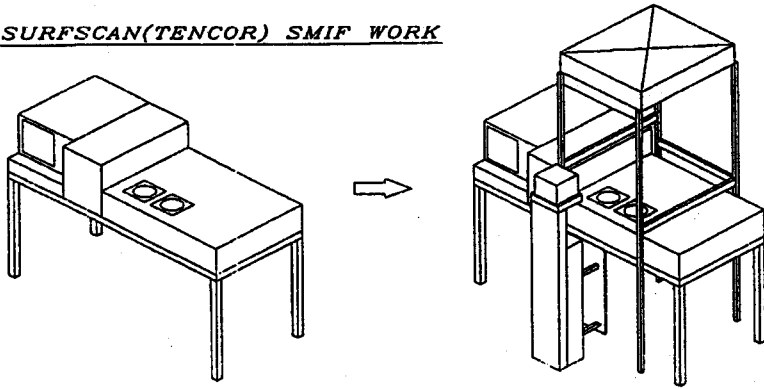
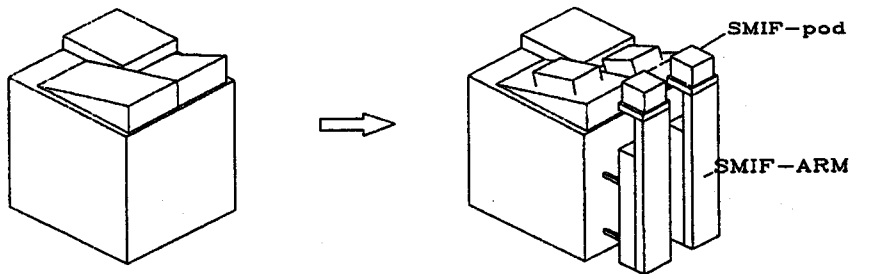


그림 2 Conventional과 SMIF간의 PWP Data비교

SURFSCAN(TENCOR) SMIF WORK



DRY ETCHER(RAINBOW) SMIF WORK



TEL TRACK SMIF WORK

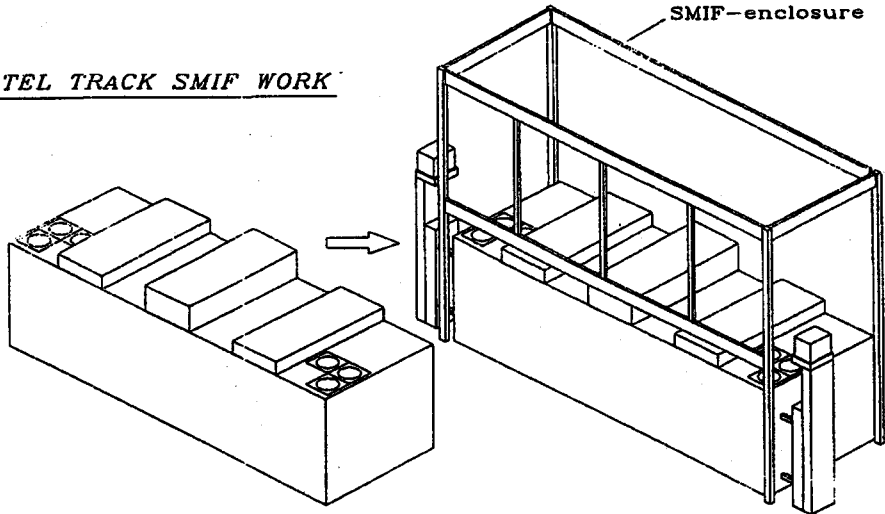


그림 3 SMIF System의 구조

이러한 국소청정공간의 활용 측면에서 일각에서 제시하는 문제점으로는

- (1) 폐쇄공간 내부에서의 오염물질 발생에 관해서는 제어공간 용적에 대한 상대적인 오염 물질농도가 커져서 종래의 방식같은 희석효과를 기대할 수 없다.
- (2) 제어공간의 용적에 대한 상대적인 내부 표면적이 커지기 때문에 폐쇄공간의 구성재료에서 발생하는 방출 GAS의 대책이 필요하다.
- (3) 각종 제조장치에 대응한 Interface기구가 필요하기 때문에 그것을 위해 초기 투자가 필요하다.

등이 있다.

하지만 이러한 경우에는 국소환경 System 자체의 문제에 국한하기 보다는 Wafer오염 측면에서는 Process Tool에 의한 것도 포함되어 있다. 따라서, 이를 위한 해소방안은 계속 연구되고 있고 실제로 극복된 사례도 적지 않다.

그러므로 이러한 Isolation Tech.인 SMIF Sys의 선택에 있어서는 새로운 시도가 갖는 기술적인 문제를 극복하고 Cost Down 및 Process 극한기술의 정복이라는 대명제를 놓고 적극적으로 문제를 해결해 나가는 자세가 중요하며 이를 통하여 반도체제조 회사별로그진 여건등을 고려하여 가장 경쟁력 있는 System을 구축하는 것이 앞으로의 중대한 과제라고 할 수 있다.

#### 4. Mini-Environment와 Conventional Clean Room의 병행

제어공간과의 Wafer Handling은 완전한 폐

쇄장치를 사용하는 방식이외에 반개방식 I/O의 병용도 필요하다고 생각된다. Mini환경을 구성하는 경우 I/O는 장치마다 필요하지만 폐쇄공간적인 방식은 Cost적인 문제와 동시에 Through Put과 Flexibility면에서도 과제가 남는다.

따라서, 생산장비 및 Wafer자동운반장치와의 Interface 및 Wafer Handling Procedure가 과제로 남게된다. 이에 대한 대응책은 반도체 제조회사의 각자의 고유한 생산방식에 의존하는 경향이 있다.

먼저 생산방식에 대하여는 Job Shop 또는 Flow Shop을, Wafer의 Handling을 Batch 또는 Single Wafer를, Wafer반송 System은 Agv/Rail/Sky Hook 등의 방식을 고려하면 이에 대한 Simulation이 가능하다.

미래의 반도체 공장이 완전 자동화가 이룩된다면 최대한의 무인화가 가능한 방식이 채택될 것이지만 아직까지는 이러한 의도는 넘어야 할 고비가 많은 것도 사실이다. 따라서, SMIF를 이용한 Clean Room의 경우도 반드시 Manual Handling이나 이에 준하는 방식이 요구되는 Area가 존재한다는 것을 염두에 두어야 할 것이다.

따라서 제조공정으로 사용하는 System으로는 Maintenance성과 Line증설, 변경에 유연하게 대응할 수 있는 Flexibility를 충분히 고려할 필요가 있다.

제조장치의 일부는 현상태로도 수시간에서 수십시간마다 Cleaning등의 Maintenance를 필요로 한다. 이것에 관해서는 오염원인이 되는 Process중간생성물 반응기구해명과 그 대책등 제조장치 측에서의 접근도 중요하지만 Maintenance를 고려한 기류계획도 현실적



# ISOLATION 1

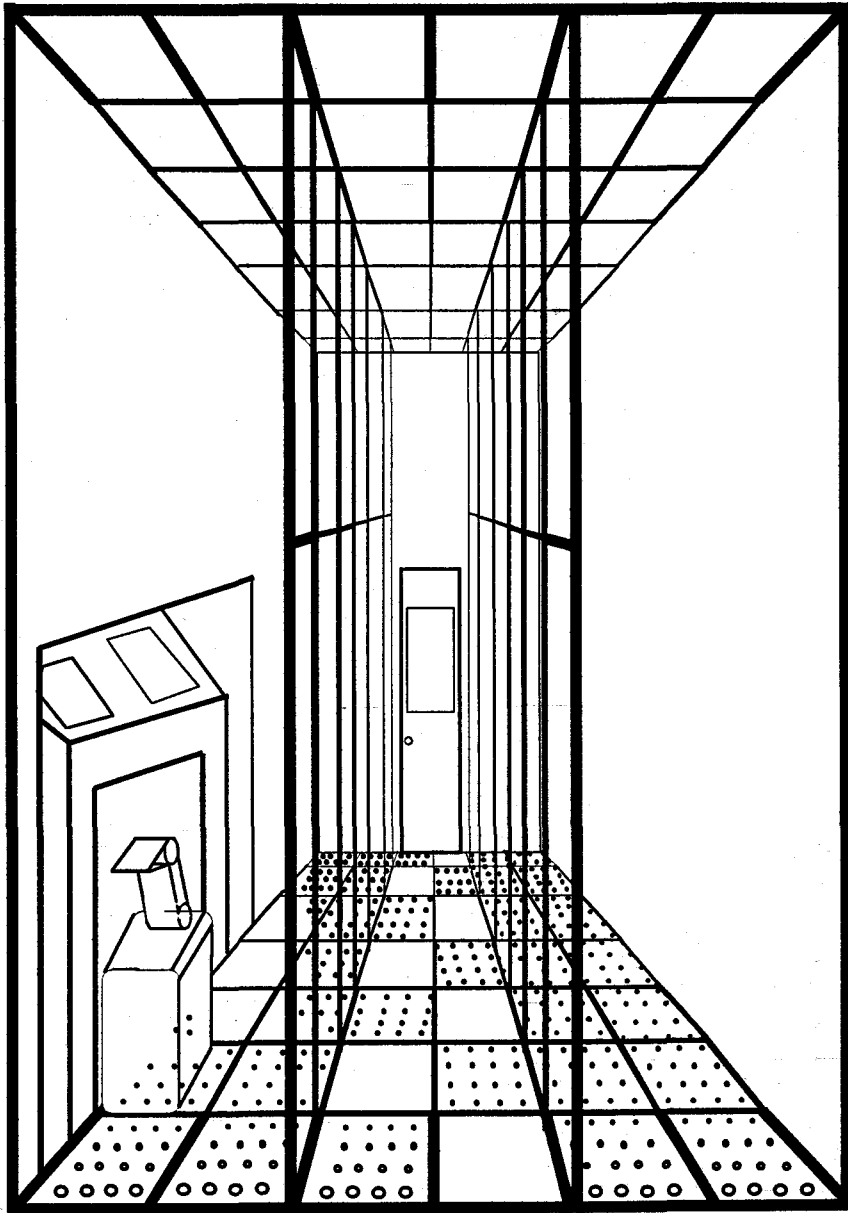


그림 4 Bay Type Isolation

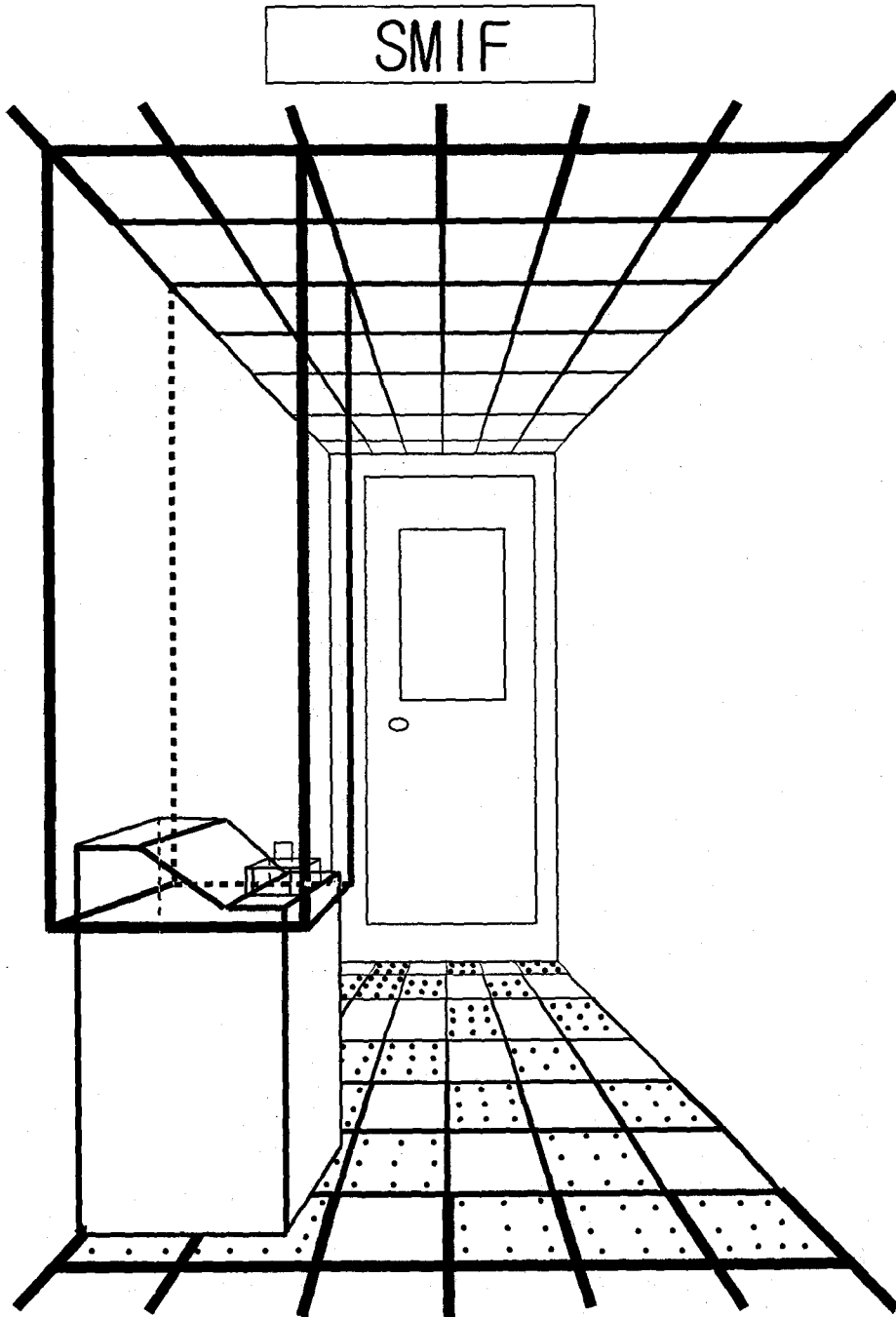


그림 5 SMIF Type

# ISOLATION 2

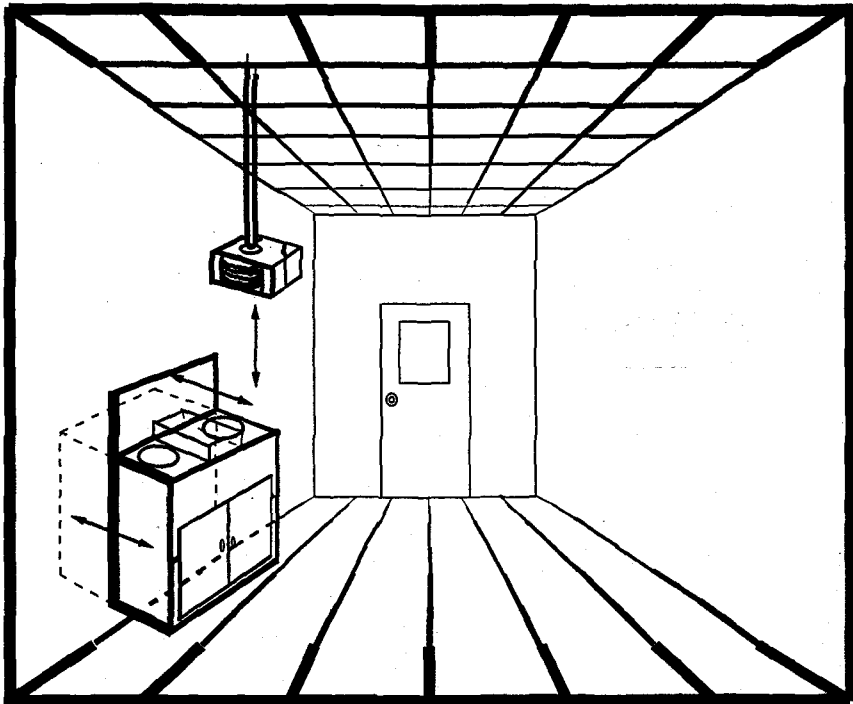
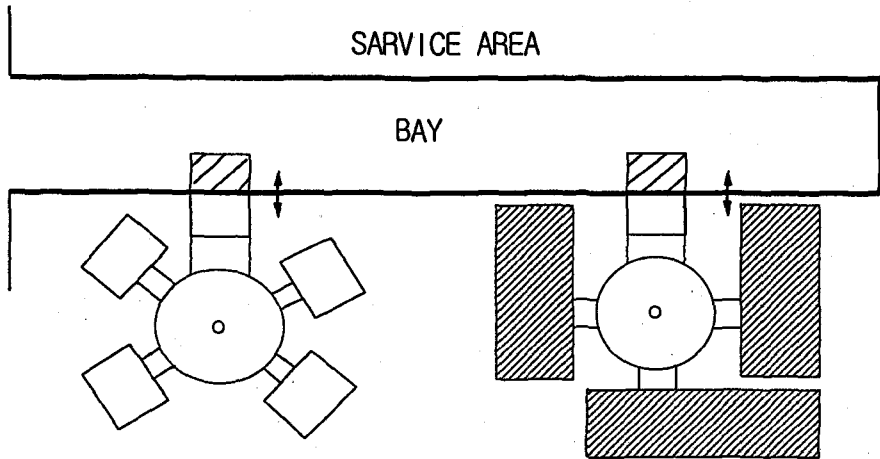


그림 6 Micro-Isolation

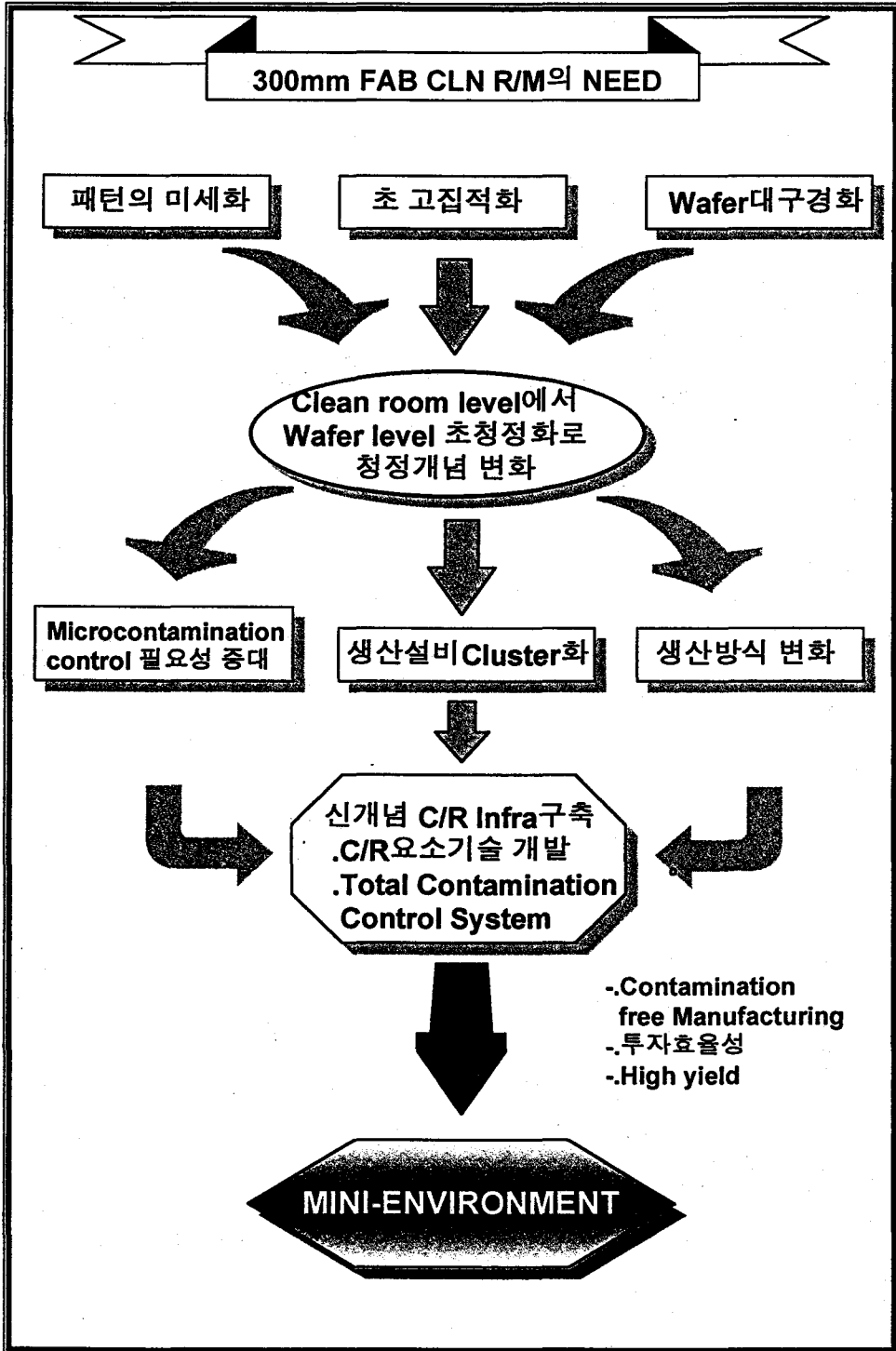


그림 7 300mm FAB Clean Room의 필요성

인 대책으로 중요하다.

FFU를 이용한 Through the Wall 방식의 Clean Room에서는 Maintenance Zone을 Return용 Up Flow영역으로 사용하는 경우도 있지만 장치개방 상태에서 오염을 피하기 위해서는 오히려 역효과이다.

제어공간을 국소화한 경우에는 각각의 영역기류 상태를 개별로 운전관리 할 수 있어야 한다.

장치의 Chamber측 영역은 Maintenance시만 송풍하는 국소공간으로 하는것도 가능할 것이다.

또한, 구조장치 주변에 각각 독립된 폐쇄공간을 또는, 장치간과 공간에 밀폐공간에 의한 Interface기구를 이용해 연결하고 System이외의 분위기를 Isolation한 Process Net Work를 구성할 수 있으면 Amenity면에서도 이상적인 작업공간을 얻을 수가 있다.

이상과 같이 제조공정상의 특화를 주축으로 많은 연구과제가 필요하며 이를 통하여 가장 경제적이고 효율적인 제조 Line이 탄생하게 되는 것이다.

또한, Clean Room Protocol측면에서 보면 온습도가 제어된 Clean Room에서는 방진복과 마스크에 의해 불결감과 함께 독특한 흡수기의 불결감이 있다.

작업자 영역의 분위기를 제조공정과 분리(Isolation)할 수 있으면 제조에 관계되는 작업자와 기술자는 이런 불결감에서 해방된다. 즉, 현재보다 훨씬 Loose한 Clean Room Protocol을 적용하고(이는 작업자의 Clean Room 입실에 빼앗기는 시간과 cost를 단축할 수

있다.) Low Grade의 방진복도 사용을 가능케 하는 이점도 있다.

이상과 같은 기술적인 견해를 바탕으로 Isolation Tech을 이용한 Clean Room의 개념도를 다음의 별첨에 나타내었다. 이것은 다양한 Isolation Tech.의 적용이 가능하다는 것을 단적으로 표현해 주는 것이다.

(그림 4, 그림 5, 그림 6 참조)

## 5. 맺음말

Clean Room의 국소청정화에 대해 반도체 제조환경을 둘러싼 현상과 Mini환경을 지향한 요소기술개발의 현상과 이것을 장래 Clean Room계획에 대해 생각해 보았다(그림 7 참조).

Mini환경을 중심으로 한 국소청정화의 도입에는 종래의 Clean Technology에서 보면 대폭적인 의식전환이 필요하다.

여기에서는 반도체 산업의 기반시설이 되는 Clean Room기술의 전망을 보인 것으로 현실적으로 부딪힐 수 있는 한계기술과 생산현장 적용의 한계를 극복하고 최대의 경쟁력을 갖는 Clean Room을 구현해야 하는 우리의 노력이 절실하다는 것을 느끼게 한다.

또한, 종래의 Clean Room Type에서 과감한 개념의 전환을 요구하고 있으며 이는 반도체 산업 전반에서 이루어지고 있는 Device의 미세화, 대기정화에 따른 최적환경의 구성과 저가격력 확보라는 현실적 과제에 대한 해결을 필요로 한다는 것을 인식해야 할 것이다.

## - 참고문헌 -

1. Clean Technology “막대한 반도체설비투자” 일본공업출판, 1996. 2
2. Asyst Technology사 Presentation자료, 1993. 9
3. VLSI Forum “300mm Wafer시대의 양산공장” (주)도시바, 1994.10
4. 제43회 VLSI Forum “300mm Wafer향한 기술동향과 Cost대책 II” (주)Press Journal, 1996. 6
5. Infab사 Presentation자료, 1995.11
6. Microcontamination “Tech Focus-300mm” 1997. 6

## 뉴스

ISO/TC 209 세미나 개최안내

ISO에서 1993년 5월 공식 설립된 ISO/TC 209(Cleanrooms and Associated Controlled Environments)는 클린룸과 관련된 환경측정 및 유지에 관한 국제기술표준을 제정하기 위한 기술위원회입니다. 금번 ISO/TC 209 총회(1997.10.20~10.21)를 서울에서 개최하게 됨에 따라 그동안 ISO/TC 209에 대한 기술표준화 및 선진국 기술동향을 파악하기 위하여 아래와 같이 세미나를 개최하오니 산·학·연 관련실무자들께서는 참석을 부탁드립니다.

ISO/TC 209 ISO/TC 209

## ■ 세미나 시간표

- 1교시: WG1(공기입자 청정도 기준)
- 2교시: WG2(미생물 오염기준)
- 3교시: WG3(클린룸 측정 및 시정방법기준)
- 4교시: WG4(클린룸 설계 및 건축기준)
- 5교시: WG5(국소청정장치기준)

## ■ 참가신청안내

- 일 시: 1997.10.22(수)
  - 장 소: KOEX 본관 4층 대회의실
  - 세미나 참가비:
    - 조합원: 40,000원/1인
    - 비조합원: 60,000원/1인 ] (점심 및 교재대 포함)
  - 참가대상: 학계, 산업계, 연구소의 Clean Room 관련 기술자 및 학자
  - 신청방법: 세미나의 사전준비와 당일의 혼잡을 피하기 위하여 참가 신청을 미리 접수 하오니 협조바랍니다.
    - ① 신청기한: 1997.10.15(수) (좌석범위내에서 선착순 접수)
    - ② 신청방법: 전화로 신청하시고 세미나 당일 접수 바랍니다.
    - ③ 신청및접수: TEL 02)769~1020 FAX 02)769~1021
- 서울시 영등포구 여의도동 28-1 (전경련회관17층)  
한국공기청정연구조합 우)150-756
- 문의처: 02)769~1020 담당자: 박효경
  - 주 최: 한국공기청정연구조합