

클린룸시스템의 과거, 현재 그리고 미래

조 상 준

(주) 신성이엔지부설
기술연구소 소장

1. 서 론

인간은 이 지구상에 나타나면서부터 새로운 삶을 추구하려는 부단한 노력으로 세상을 개혁할 만한 수많은 신기술들을 발명해 왔다. 근래에 들어 가장 위대한 또 하나의 발명품이 반도체라고 할 수 있으며, 이것의 도움으로 인간은 놀랄만한 스피드로, 어마어마한 데이터를 이용하여 우리의 생활을 윤택하게 하고 있다. 그러나 한편으로는 오히려 이것에 의하여 인간이 지배되어 버릴지도 모르는 위험에 처해있는지도 모르겠다. 어쨌든 이것의 발명은 경이로운 것이며, 당분간은 인간에게 유리하게, 지속적인 발전을 거듭할 것으로 본다.

우리 나라에서는 1960년대 경공업제품을 수출하면서 클린룸에 대한 인식이 싹트기 시작하였고, 일부 제약회사와 병원의 수술실에 클린룸 설비 전체를 수입하여 만든 바이오 클린룸을 사용하는 정도였다. 이렇게 시작된 우리나라 클린룸 역사는 40년 정도이지만, 70년대의 중공업시대와 80년대의 중화학 공업시대를 거

치면서 이룬 고도 경제성장과, 반도체 산업과 같은 첨단산업의 급속한 신장에 힘입어 현재 국내 클린룸 시장은 2500억 원으로 추정되고 있다. 특히, 80년대 후반부터 국내에서도 1M DRAM 이상의 초고집적도 칩이 개발 양산되면서 초청정 클린룸이 필요하게 되고, 클린룸 산업도 양적, 질적으로 급속한 성장을 이루게 되었다.

이처럼 반도체와 클린룸은 밀접한 관계를 가지고 발전되어 왔는데, 클린룸에 관한 과거의 의미와 현재 그리고 미래에 대해서 검토해 봄으로써 새로운 방향에의 모색이 가능하리라 본다.

2. 클린룸의 정의와 Class

2.1 클린룸이란

클린룸이란 부유분진, 유해가스, 미생물 등 오염물질의 존재를 정해진 규정이하로 제어하는 청정공간으로 일반공조의 한 분야이며, 그 응용분야는 반도체산업, 정밀기계공업, 전자산업, 의약품 제조업, 병원, 식품공업, 생명공학,

항공 우주산업 등 많은 분야에서 필수 설비로서의 용도가 점점 더 증가하고 있다.

이러한 클린룸은 일반적으로 그 용도에 따라서 분진을 제어 대상으로 하는 공업용 클린룸(industrial clean room; ICR)과 미생물을 대상으로 하는 바이오 클린룸(bio-clean room; BCR)으로 대별해 볼 수 있다. 여기서 가장 일반적으로 많이 쓰이는 몇 가지 용어의 의미를 알아본다.

-청정도 관리(contamination control)

한정된 공간, 제품 등의 내부, 표면 혹은 주변을 요구된 청정도로 유지하기 위해서 필요한 조치를 계획하고, 조직하고, 실시하는 것을 말한다.

-산업용 클린룸(industrial clean room)

청정도 관리가 시행되고 있는 한정된 공간. 공기중의 부유 미립자가 한정된 농도 이하로 관리되고 있고, 그 공간에 제공되고 있는 재료,약품, 물 등도 요구된 청정도로 유지되며, 필요에 따라 온도, 습도, 압력 등의 환경조건이 관리되고 있는 공간.

-바이오 클린룸(bio-clean room)

미생물 오염에 관한 청정도 관리가 행해지고 있는 공간. 공기 중에 있는 부유 미생물과 공급되는 재료, 약품, 물 등의 미생물오염 등이 요구된 청정도로 유지되고, 필요에 따라 온도, 습도, 압력 등의 환경조건이 관리되고 있는 공간.

- 청정실/클린룸(clean room)

공기 부유입자의 농도가 명시된 청정도 수준 한계 이내로 제어됨으로써 청정도 관리가 행해지고 있는 실. 필요에 따라 온도, 습도, 실내압, 조도, 소음, 진동 등의 환경조건에 대해서도 그

제어 및 관리가 행하여진다.

-청정작업대/클린벤치(clean work station/clean bench)

공기 부유입자의 농도가 명시된 청정도 수준 한계 이내로 제어함으로써 오염제어가 행해지는 작업대.

-클린부스(clean booth)

설치 위치에 따라 이동이 가능한 수직 층류형의 간이 청정실. 천장에는 청정공기 공급 장치등이 설치되어 있고, 벽면은 비닐 차단막 등으로 되어있다.

-에어샤워(air shower)

작업자의 몸이나 의복에 부착되어 있는 입자 등의 오염물질을 청정한 공기로 강제적으로 불어 날려서 제거하기 위한 장치.

-패스 박스(pass box)

청정도 수준이 다른 청정구역 사이 또는 청정구역과 다른 실과의 사이에 작은 부품이나 기기 등을 반입, 반출할 수 있도록 하는 장치

-준공완료 상태의 청정실(as-built clean room)

설비되어 있지 않는 무인 상태의 청정실, 시공·제작이 완료되어 있으나 생산 설비나 작업자가 없는 상태의 청정실

-비운전 상태의 청정실(at-rest clean room)

설비된 무인상태의 청정실, 제작이 완료되어 생산장비 등이 설치되었지만 작업자가 없는 상태의 청정실

-운전 상태의 청정실(operational clean room)

설비된 유인상태의 청정실, 생산자와 작업자를 포함하고 조업중인 상태의 청정실

-단일 방향류형 청정실(층류형) (unidirectional airflow clean room/laminar airflow clean room)

청정실 또는 청정 작업대 등에서 최종 에어 필터를 통하여 여과된 공기가 일정한 방향으로 평행하게 흐르면서 난류 영역을 최소화하는 유동 형태의 청정실

-비단일 방향류형 청정실(난류형: non-unidirectional airflow clean room/turbulent airflow clean room)

청정실 또는 청정 작업대 등에서 최종 에어 필터를 통하여 여과된 공기가 난류형태로 흐르면서 불균일하고 변칙적인 기류분포를 가지는 유동 형태의 청정실

-수직 층류형 청정실(vertical laminar airflow clean room)

청정실 또는 청정 작업대 등에서 최종 에어 필터를 통하여 여과된 공기가 층류 유동 형태로 천장에서 바닥면을 향해 흐르는 청정실

-수평 층류형 청정실(horizontal laminar airflow clean room)

청정실 또는 청정 작업대 등에서 최종 에어 필터를 통하여 여과된 공기가 층류 유동형태로 한쪽 벽면에서 마주보는 벽면을 향해 흐르는 청정실

최근 반도체 산업은 1999년에 들어 이미 256M DRAM 반도체가 양산에 돌입했으며, 선풍은 0.25 μm 로 미세하고, 이를 생산하는 클린룸에는 0.025 μm 보다 큰 입자오염이 있으면 안 되는 청정도를 유지하고 있어야 한다. 이것은 또 머지않아 집적도가 1G DRAM(선풍은 0.18 m)의 시대에 돌입할 것이고, 4G, 16G, 64G로

고집적화 될 것이기 때문에 클린룸은 반도체에 없어서는 안 되는 기반 시설임에 틀림없으며, 그 사용영역은 점점 더 증가되고 있다(표1참조). 이러한 클린룸이 발전되어가고 있는 반도체 산업에 대해서 어디까지 그 역할을 할 수 있는가 또한 하나의 숙제로 되어 있다.

그러면 여기서 우리에게 가장 밀접한 관계가 있는 일반산업용 클린룸의 청정도에 대해서 좀 더 살펴보기로 하자.

2.2 클린룸의 청정도 평가 방법

(1) 클린룸내의 오염

대기 공간에 부유하는 오염물질은 에어로졸과 하이드로졸 두 가지로 나눌 수 있다. 이 에어로졸은 기체중에 부유하는 고체나 액체상태의 입자를 말하며, 하이드로졸은 액체에 부유하는 고체, 유상액, 기포 등의 입자를 가리킨다. 관심의 대상이 되는 부유입자의 크기는 0.001 μm 에서 100 μm 의 범위이다. 이 중에서 특히 클린룸에서 관심의 대상이 되고 있는 입자의 크기 범위는 0.1 μm 이하이다. 물론 0.1 μm 이상의 입자는 더더욱 존재해서는 안 되는 것이나 이 큰 입자는 제거가 용이하기 때문에 큰 문제는 되지 않는다.

0.1 μm 이하의 입자는 연소나 증기의 응축현상에 의해 발생하는 것으로 클린룸 내에서의 원인은 히터, 과열회로 부품, 과열 전기 모터, 베어링의 기름, 실내조명장치 등이다. 이 입자들은 중력에 의해서 쉽게 침강하지 않고 브라운 확산 등에 의하여 이동하면서 고성능 필터에 의해서 쉽게 제거된다. 그러나 고성능 필터를 통과하고 난 뒤의 클린룸내에서 발생된 입

자는 제거되지 않은 상태로 오랜 시간동안 부유하게 될 수도 있으므로 문제가 되고 있다.

클린룸은 초순수 반응 및 케미컬을 많이 사용한다. 최근 클린룸의 설계기술과 사람에 의한 오염도의 감소 등에 대한 많은 연구로 무진 공간을 유지할 수 있으나, 클린룸내에서 필요작업을 위해 사용하는 초순수 기체 및 물, 케미컬에 의한 오염도가 크게 문제가 되고 있다. 이러한 물질의 오염도에 대한 분석이 필요하다.

그림 1은 반도체 공장의 오염비교를 보인 것으로 입자상 오염에 비해 케미컬의 오염도가 1,000배에서 1,000,000배까지 심하다.

이러한 산업용 클린룸은 위에서 언급한 바와 같이 주로 반도체를 중심으로 발전하고

있는데, 표 1을 보면, 반도체의 집적도는 4배수로 증가되며, 이에 따른 선폭 사이즈는 약 $(1/2)^{0.5}$ 씩 작아지고 있다. 따라서, 제어해야만 하는 분진 오염의 크기는 $\frac{(1/2)^{0.5}}{10}$ 로 작아지고 있다. 물론 이미 분진오염 뿐만 아니라 가스상 오염이 문제화되고 있으며, 지금부터는 오히려 이러한 가스상 오염이 더욱 문제가 될 수 있으리라 본다. 따라서 가스상 오염을 평가할 수 있는 능력을 갖추고 실제적으로 클린룸 내부에서 어떠한 오염이, 어떤 형태로, 어떤 공정에서, 얼마만한 농도로 발생되고, 이 오염이 반도체 제조에 얼마만한 영향을 미치는가 하는 데이터를 확보하지 않으면 클린룸 기술을 선두한다는 것은 말뿐

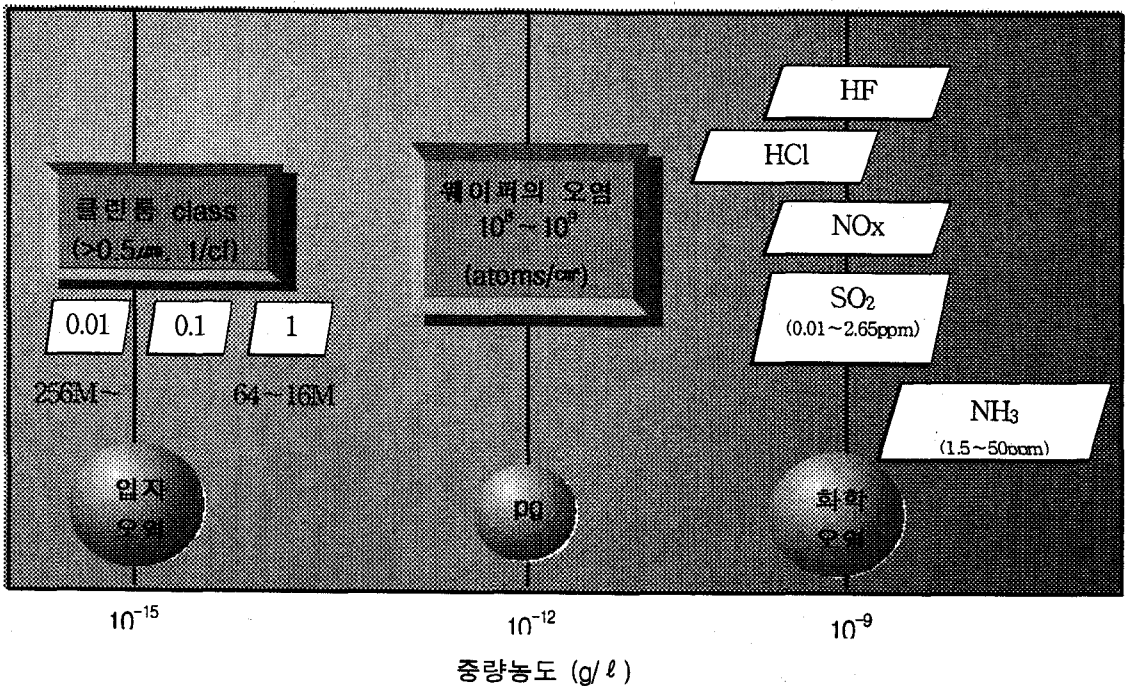


그림 1 반도체 공장의 오염 비교

표 1. 반도체 개발 로드맵과 요구되는 오염 한도

서 기(년)	1997	1999	2001	2003	2006	2009	2012
최소가공 치수(nm)	250	180	150	130	100	70	50
DRAM 비트 수 (생산라인)	64M	256M	1G	1G	4G	16G	64G
Wafer 직경(nm)	200	300	300	300	300	450	450
Gate 산화막 두께 (SiO ₂ 환산:nm)	4-5	3-4	2-3	2-3	1.5-2	<1.5	<1.0
DRAM 게이트 산화막 결합밀도(cm ²)	0.06	0.03	0.026	0.014	0.006	0.003	0.001
로직 게이트 산화막 결합밀도(cm ²)	0.15	0.15	0.11	0.08	0.05	0.04	0.03
파트골 사이즈(nm)	125	90	75	65	50	35	25
파티클 수(cm ²)	0.14	0.088	0.068	0.055	0.038	0.023	0.014
	0.30	0.150	0.100	0.075	0.030	0.015	0.010
	0.30	0.150	0.130	0.100	0.060	0.015	0.030
중금속오염(atoms/cm ²)	2.5×10 ¹⁰	1.3×10 ¹⁰	1×10 ¹⁰	7.5×10 ⁹	5×10 ⁹	<10 ⁹	<10 ⁹
	5×10 ⁹	4×10 ⁹	3×10 ⁹	7.5×10 ¹⁰	1×10 ⁹	<10 ⁹	10 ⁹
	1×10 ¹²	5×10 ¹¹	4×10 ¹¹	7.5×10 ¹¹	1×10 ¹¹	<10 ⁹	<10 ⁹
유기물/폴리머 (C 원자/cm ²)	1×10 ¹⁴	7×10 ¹³	6×10 ¹³	7.5×10 ¹³	3.5×10 ¹³	2.5×10 ¹³	1.8×10 ¹³
잔류산화물(O원자/cm ²)	1×10 ¹⁴	7×10 ¹³	6×10 ¹³	7.5×10 ¹⁴	3.5×10 ¹³	2.5×10 ¹³	1.8×10 ¹³

인 것이 되어버릴 것이다. 또 여기에 클린룸에서 제어되어야 하는 요소기술도 단순히 분진과 미생물에 국한되지 않고, 공기와 물, 약

물중의 불순물, 가스 등과 그 대상공간에 있어서 정전기, 전자파, 진동 등의 환경요소 전반에 확대되고 있다.

표 2. 용도별 클린룸의 청정도

산업분류	용도	청정도	10	100	1,000	10,000	100,000
반도체 공정	결정정제		---	---			
	확산			---			
	에칭공정		---	---			
	위치마추기		---	---			
	표면처리		---	---			
	금속침착		---	---			
	조립, 시험				---	---	
	원료				---		
	연마			---			---

		반제품보관					---
과학기기	가스레이저			---			
	고체레이저		---	---			
	반도체레이저			---			
	레이저메스			---			
	렌즈연마공정			---	---		
	눈금조각			---			
	의학용카메라가공조립			---			
	렌즈마추기 공정			---		---	
	필름제조, 건조			---			
	마이크로필름, 현상, 건조			---		---	
	조립			---			
	도장			---		---	
	시험, 검사			---		---	
시계·정밀기계	전자시계·부품조립			---			
	로켓용부품가공·조립			---			
	인공위성제어장치			---			
	고신뢰부도부품·장치			---	---		
	미니추어 베어링			---			
	조립, 검토회			---			---
전자계산기	전자드럼			---			
	전자테이프			---			
	가공, 조립, 시험, 검사			---	---		
전자기기·전자계측기	브라운관			---			
	고신뢰관			---			
	비지콘			---			
	프린트판			---		---	
	소형리레			---	---		
	정밀전기계기			---			
	부품, 가공, 조립, 검사			---			

표 3. 청정도 평가 방법

	ISO DIS14644 - 1	FED - 209E
단 위	미터법	미터법을 주기, 영국단위명
클 래 스 표 시	0.1 μ m이상 입자수를 10 ^N /m ³ 로 표시하고, ISO Class N으로 표시	0.5 μ m이상 입자수를 10 ^N /m ³ 로 표시하고, ISO Class N으로 표시
Class등급	ISO Class N 1-9; 9단계	SI : M1-7; 13단계 English : 1-100,000; 6단계
샘 플 링 치 및 샘플링 수	$NL = \sqrt{N}$ NL : 최소 샘플링 수 N : 청정실 면적, m ²	단일방향류(a, b 중 작은 수) a : SI단위 : A/2.32 A : 청정실 면적[m ²] 영국단위 : A/25 A : 청정실 면적[ft ²] b : SI단위 : Ax64(10 ^M) 영국단위 : Ax(Nc) A : 입구면적 M : SI단위 Class수 Nc : 청정실의 Class수
샘플링량	각위치 최소 21 이상 한곳인 경우 : 최소 3번 이상	20/Class상향 값

(2) 용도별 클린룸 청정도

클린룸의 청정도는 크린룸 내에서 수행되는

작업의 정도와 용도에 맞는 수준으로 선택되어

야 한다. 과도한 수준의 청정도를 설치 운영하

표 4. FED 209E 규격에 의한 청정도 등급

Class Name*	CLASS LIMITS										
	0.1 μ m		0.2 μ m		0.3 μ m		0.5 μ m		5 μ m		
	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	Vo 1.units	
SI	English	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	(m ³)(ft ³)	
M 1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M 1.5	1	1240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M 2		3500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M 2.5	10	12400	350	265	75.0	1060	30.0	353	10.0	-	-
M 3		35000	991	7570	214	3090	87.5	1000	28.3	-	-
M 3.5	100	-	-	26500	750	10600	300	3530	100	-	-
M 4		-	-	75700	2140	30900	875	10000	283	-	-
M 4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35300	1000	247	7.00
M 5		-	-	-	-	-	-	100000	2830	618	17.5
M 5.5	10000	-	-	-	-	-	-	35300	10000	-	-
M 6		-	-	-	-	-	-	1000000	28300	6180	175
M 6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3530000	100000	24700	700
M 7		-	-	-	-	-	-	10000000	283000	61800	1750

기 위해서는 불필요한 투자비가 소요되기 때문이다. 외국의 사례와 비교해 볼 때, 우리나라의 청정도 수준은 경우에 따라서 과도하게 설계된 부분이 많이 있다. 앞의 표2에 일반적인 용도별 클린룸의 청정도를 나타냈다. 이것은

표 5. ISO등급에 따른 청정도 분류

ISO Classification number(N)	Maximum concentration limits (particles/m ³ of air) for particles equal to and larger than the considered sizes shown below				
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm
ISO CLASS 1	10	2			
ISO CLASS 2	100	24	110	4	
ISO CLASS 3	1,000	237	102	35	8
ISO CLASS 4	10,000	2,370	1,020	352	83
ISO CLASS 5	100,000	23,700	10,200	3,520	832
ISO CLASS 6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320
ISO CLASS 7				352,000	83,200
ISO CLASS 8				3,520,000	832,000
ISO CLASS 9				35,200,000	8,320,000

약간의 차이가 있다. 그러나 그 모두가 미국의 FED-209(A,B,C,D,E)를 기준으로 정해왔으며, 최근에는 국제규격인 ISO로 통일시키기로 하고 작업을 진행 중에 있다.

여기서 ISO규격과 FED-209E를 비교하여 청정도 평가방법을 표3에 나타냈다.

② 클린룸 청정도 평가표

위에서 언급한 바와 같이 청정도 측정방법에 따라 평가된 청정도 등급을 위의 표4 와 5에 각각 나타냈다.

③ 평가방법

가. 클린룸의 성능

청정실 또는 청정구역에 대한 공기 청정도 클래스는 다음과 같은 조건에서 공기 부유입자

일반적인 기준을 보인 것으로 참고치이다.

(3) 청정도의 평가 방법

① 평가방법

클린룸의 청정도 평가 방법은 국제적인 기구에 따라서, 또 국가에 따라서 그 표현방법에

의 농도를 측정함으로써 평가된다. 청정도 평가는 다음 2가지 방법으로 한다.

가) 정규 평가 방법

이 방법은 청정실 공간 전체를 대상으로 청정실내의 평균입자농도에 기초하여 청정도를 평가하는 것으로서, 모든 청정도 클래스의 평가에 사용한다. 청정실내에서는 적당 수의 측정점을 선택하여, 각각의 측정점에서의 평균 농도가 어떤 클래스의 상한 농도 이하이고, 신뢰계수 95%에서 구한 각 측정점의 평균 농도의 평균의 신뢰상한선이 상한 농도 이하인 경우, 청정실은 그 청정도 클래스이다 라고 평가한다.

나) 측차 샘플링 평가 방법

이 방법은 청정실내의 각 측정점별로 공기를

연속 샘플링하여, 입자의 누적 개수가 측차 샘플링 평가 선도에서 정한 신뢰 계수 95% 이상의 범위(이하, 적합 영역이라고 한다)에 들어간 지점에서, 그 측정점은 상한 농도를 만족한다고 하고, 전체 측정점이 어떤 클래스의 상한 농도에 적합한 경우, 청정실은 그 청정도 클래스이다 라고 평가하는 방법이다. 또한, 이 방법은 청정실이 그 청정도 클래스에 적합한지의 여부를 판정하는 방법으로 클래스 M 1,000보다 높은 청정도 클래스의 평가에 사용한다.

나. 공기 부유입자의 계수

공기 부유입자의 농도 측정에 사용되는 방법과 장비는 대상 입자의 크기에 따라서 적절하게 선정한다. 공기 부유입자의 청정도 클래스 표 4, 5 에서 보면 대상 입자크기의 범위는 0.1 ~ 5 μ m이다, 따라서 단일 입자 계수기를 사용하는 것을 원칙으로 한다.

가) 광학 입자 계수기(optical particle

counter)

나) 응축핵 계수기(condensation nucleus counter)

다) 기타 측정 장비

다. 유동에 관한 측정 및 평가 방법

가) 유속 및 균일도

나) 기류의 평행도

다) 오염물의 실내 유입 누설

라) 실내압

마) 환경 조건에 대한 측정 및 평가 방법

바) 온도 시험

사) 습도 시험

아) 소음시험

자) 진동 시험

3. 클린룸 시스템의 변천

Super clean room을 달성하기 위해서 작게는 ULPA filter의 leak 방지를 유도하는 설치

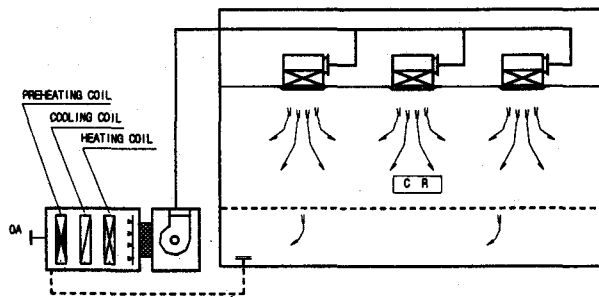


그림 2 HEPA box형 클린룸의 개략도

방법에서 크게는 clean화 설비의 전체 system까지의 고려가 필수적이다. 특히, 오염영역으로부터 청정영역으로의 leakage를 방지하고 공기 기밀도를 유지하는 방법이 중요한 기술이며,

앞으로도 지속적으로 연구해야 될 중요한 항목이라고 생각된다.

본 장에서는 지금까지의 국내 클린룸 system과 ceiling seal system의 기술 현황 및 시공사

례를 소개함으로써 앞으로 super clean화의 적절한 적용에 도움이 되고자 한다.

3.1 난류 방식(Filter Unit+AHU)

Filter unit(HEPA box)를 덕트에 연결하고 클린룸 내의 천장 일부분만에 배치하여 청정한 공기를 분배하는 방식으로 난류형 저급 클린룸에 많이 적용되었다. 또한 국부적으로 고청정도를 요할 때에는 clean bench나, clean booth

를 적용하여 class 100 (at 0.3 μ m)정도를 유지시킬 수 있다. 대개 class 10,000이하의 클린룸 시스템으로 사용된다.

3.2 혼합류 방식

(C.T.M(Clean Tunnel Mould) + AHU)

Bay 형식의 클린룸 시스템으로, 각종 소형 팬을 필터에 설치하고 다양한 형태로 조합한 방식을 말한다. 그 예로 중형 팬과 드라이 코

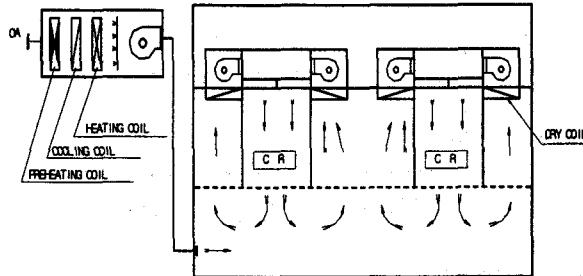


그림 3 CTM+AHU 시스템 개략도

일을 조합한 모듈 팬 유닛 방식을 그림 3에 나타내었다. 본 시스템 구축에 있어서는 아래와 같은 이점이 있다.

- ① 사람과 Wafer Loader부와의 격리가 용이
- ② 각 공기 청정도의 grade를 구분할 수도 있다.
- ③ 각 Zone의 구분이 용이
- ④ 팬 인버터 방식의 채용에 의한 에너지 절약이 가능

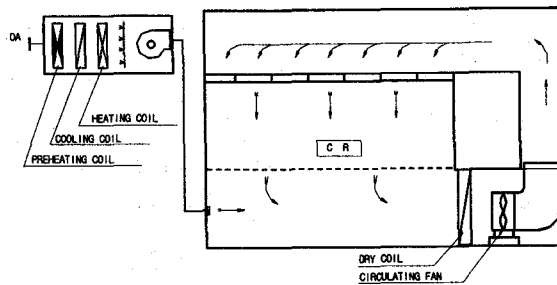


그림 4 Ceiling Seal System 형 클린룸의 개략도

⑤ 청정도 회복이 우수하다.

국내에 CTM이 처음 소개된 것은 1983 년도 부터이며, 완전 국산화가 된 것은 1987년도 이 다. 중규모 반도체 line에서 CTM을 이용한 clean room system이 가장 많이 적용된 기간으 로는 1887 ~1990 년도까지이며, 이때가 국내 전체 CTM system 수요의 60%를 상위한다고

생각된다. (class 10~ 100 at 0.3 μ m)

3.3 층류 방식

층류 방식에는 수평 층류형과 수직 층류형이 있다. 이 차이는 형식에서 알 수 있듯이 기류 의 흐름 방향에 따른 구분이다. 그림 4, 5는 수 직 층류형을 보인 것이며, 수평 층류형은 기류

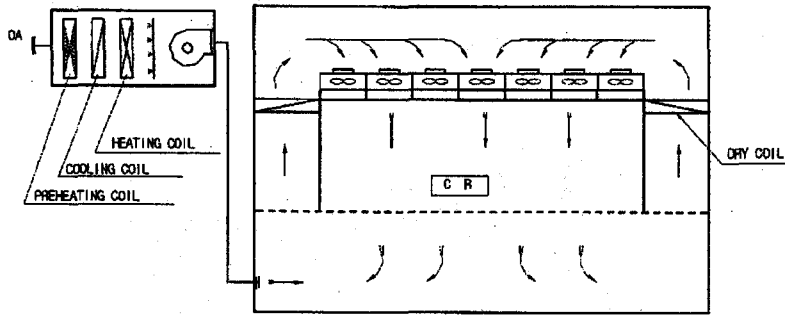


그림 5 FFU 방식의 클린룸 개략도

가 측면 벽면에서 나와 반대편 측면벽으로 유 입되는 형식이다. 이 수평 층류형은 병원의 수 술실 등에서 사용되었으나, 현재는 이 병원 수 술실도 수직 층류형이나 난류형을 사용하는 경 우도 있다.

(1) Ceiling Seal System

1988년도 들어오면서 super clean화와 대규 모 클린룸이 요구되어 종래에 사용하던 CTM 방식으로는 flexibility에 어려움이 있게 되었다. 따라서 전체 line을 제어하고 많은 순환공기의 처리가 요구되면서 ceiling seal system 방식이 도입되었다(CLASS 1~100 at 0.12 μ m). 이 방식 이 반도체 제조공장 등과 같은 초정밀산업에서 일반적으로 가장 많이 사용되고 있는 시스템으 로 청정도는 우수하나 그 만큼 건설비와 운전 비는 많이 소요된다.

(2) FFU System

1992년도에 들어오면서 반도체 공장에서 적 용되는 super clean room은 대형 순환 fan을 사용한 중앙 처리방식의 전면 수직 층류에서 소형 fan filter unit를 이용한 개별방식의 수직 층류형으로 변했다. 이러한 클린룸 시스템의 변화는 초 VLSI 제조 환경에 요구되는 성능을 만족시키기 위해 기존의 CTM 방식과 ceiling seal system 방식의 장점을 취합하고 단점을 보완한 매우 우수한 clean room system으로 (class 1~100 at 0.5 μ m~0.12 μ m) 현재 super 클 린룸의 주종을 이루고 있다.

당초, FFU(팬 필터 유닛)방식은 소음, 정압 등의 종합 효율 및 가격면에서 문제가 있어 이 전의 중형 팬을 사용한 모듈 팬 유닛 방식(클 린벤치 방식을 포함)을 채용하였다. 그런데 최

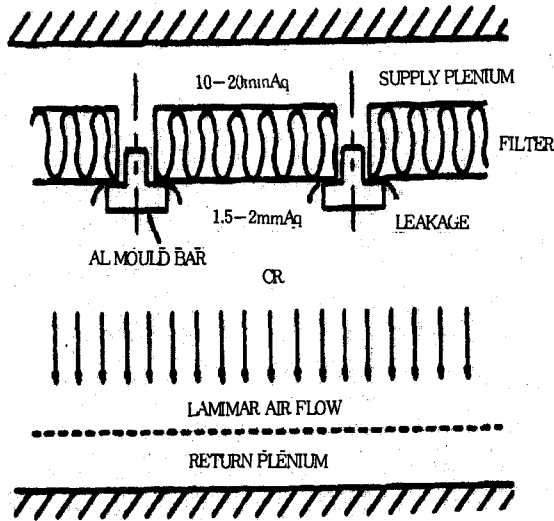


그림 6 Ceiling seal system 방식의 공기누설 특성

근, FFU의 현저한 개량으로 종합효율, 가격 문제가 개선되었기 때문에, 시공성, Flexibility에서 우수한 FFU 방식이 유리해져 채용사례가 증가하고 있다.

이러한 두 가지 종류형 클린룸은 검토의 관점에 따라서 차이가 있을 수 있으나, 기술적인 면

에서만 검토해 보면 다음과 같은 차이가 있다.

Ceiling seal system 방식은 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 천장의 상부(supply plenum)가 10~20 mmAq 정도의 정압을 유지하고 있는 반면, filter 하면인 클린룸 내부는 1.5~2.0 mmAq 정도의 정압을 유지하기 때문에,

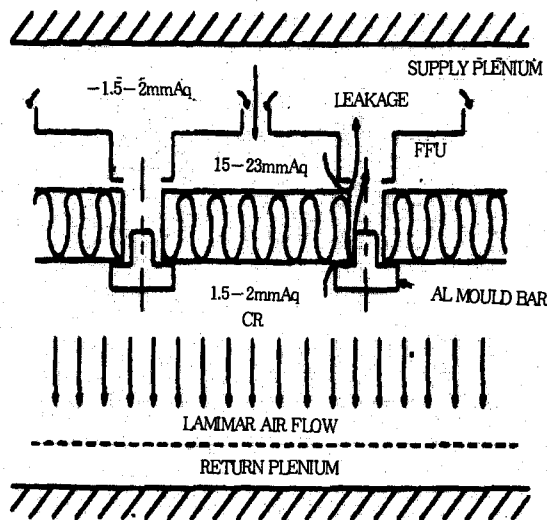


그림 7 FFU 방식의 공기누설 특성

만약의 경우 AL mould bar 부분에서 누설이 발생할 경우에는 필터를 통과하지 않은 오염된 공기가 클린룸 내부로 침입할 가능성이 크다고 할 수 있다.

이에 반해, FFU 방식에서는 그림7에서 알 수 있는 바와 같이, 천장의 상부(supply plenum)가 -1.5 ~ -2.0 mmAq 정도의 부압을 유지하고, FFU내부와 필터사이는 10 ~

23mmAq의 정압을 유지하고 있는 반면, filter 하면인 클린룸 내부는 1.5 ~ 2.0 mmAq 정도의 정압을 유지하기 때문에, 만약의 경우 Al mould bar 부분에서 누설이 발생할 경우에는 클린룸 내부에서 천장위로, FFU 내부로부터 천장내로 공기가 누설되기 때문에, 오염된 공기가 클린룸 내부로 침입할 가능성이 없는 안정된 시스템이라고 할 수 있다.

표 6. 클린룸 시스템의 비교

	CTM 방식		ceiling seal system 방식		FFU 방식	
	유지용이	◎	유지용이	◎	유지용이	◎
온도제어	라인마다 드라이코일 제어가능	◎	드라이코일 일괄제어, 라인마다 제어하기는 어려움	○	드라이코일 일괄제어. 라인마다 제어하기 어려움	○
시스템 천정프레임에서의 리크	누설의 가능성이 있음	△	누설의 가능성이 있음	△	누설의 가능성이 없음	◎
유지보수성	팬 유지보수 약간 어려움	○	팬 유지보수는 용이	◎	FFU 분산장치로 인해 약간 어려움	○
생산장치의 유지보수성	service area upflow에서 바닥양생의 어려움	○	용이	◎	용이	◎
팬 고장시의 영향	Zone 마다의 풍량감소(팬 대수에 의함)	○	풍량 대폭 감소(팬 대수에 의함)	△	국소적인 영향	◎
설치 Space	Return Space : 불필요	◎	Fan Silencer, Return Space : 필요	△	Return Space : 필요	△
Flexibility	챔버 패널 위치변경 어려움	△	필터 위치 : 변경 가능	◎	FFU설치 : 변경 가능	◎
Initial Cost	지수 : 100	◎	지수 : 105	○	지수 : 105	○
Running Cost	순환풍량작음 : 100	◎	순환풍량 많음, 팬정압 큼 : 120	△	순환풍량 큼 : 110	○
시공성 · 공기	챔버 패널시공이 어려움	○	Silencer 및 팬 시공이 어려움	○	용이	◎
단위풍량당 소비전력 (W/CMM)	6.1	◎	17.5	△	5.7~7 (기의 10mmAq)	◎

3.4 클린룸 시스템의 비교

위에서 ceiling seal system 방식과 FFU 방식의 누설에 관련된 비교를 하였으나, 표 6에는 클린룸 시스템을 종합적으로 비교한 것을 기재하였다. 종합해 보면, FFU 방식이 여러 가지로 유리함을 알 수 있다. 다만, CTM 방식은 부분적인 층류방식으로 청정도의 class에 있어서 다른 두 가지 방법에 떨어지기 때문에 같이 비교한다는 것은 무리가 있음은 참고하여야 할 것이다.

3.5 SMIF(Standard Mechanical Interface) 시스템

(1) 시스템 개요

지금까지 검토한 바와 같이 반도체산업의 눈부신 발달로 집적도의 상승은 입자상 오염의 제어에서 가스상 오염제어의 필요성이 대두되었고, 이에 따라 지금까지 사용하고 있는 클린룸의 청정도를 더 높은 수준으로 유지하지 않으면 안 되었다. 즉, 더 높은 청정도를 확보하

기 위해서 고가의 자재를 사용하여야 하며, 공기의 청정도를 더 높게 확보하여야 한다. 따라서 클린룸의 건설비와 운전비의 상승이 동반되고 이는 반도체의 생산원가에 직결되는 어려움에 직면하게 되었다. 게다가 세계적인 자유경쟁을 통한 반도체의 공급과잉으로 가격하락에 따라 원가절감의 당위성이 대두되었으며, 이의 해결방안으로 제안된 300mm 웨이퍼의 사용은 생산장비의 가격상승을 유도하였다. 이렇듯 여러 가지 일련의 기술적 진보가 또 다른 새로운 문제점을 야기시키는 단계에서 하나의 해결책으로 검토되고 개발된 것이 SMIF 시스템이다. 물론, 기술적으로 이 시스템이 완벽한 해결책은 되지 못하고 있으나, 세계 여러 나라에서 그 사용을 적극적으로 검토하고 있으며, 아직까지는 가능성이 있는 방법으로 인정받고 있다고 할 수 있다.

이 방법은 종래의 대형 실 방식의 클린룸에서 건설비나 유지관리의 운전비 저감을 위해서 필요한 부분만을 고 청정지역으로 하는 국소화 시스템이다. 국소 클린화를 생각한 로컬 클린

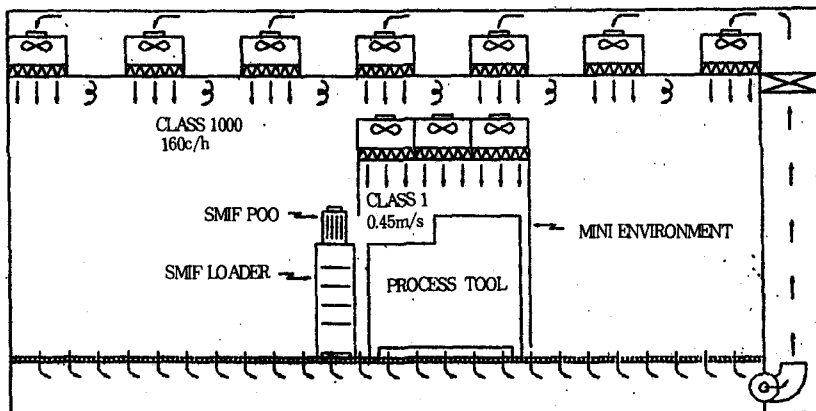


그림 8 SMIF system의 개념도

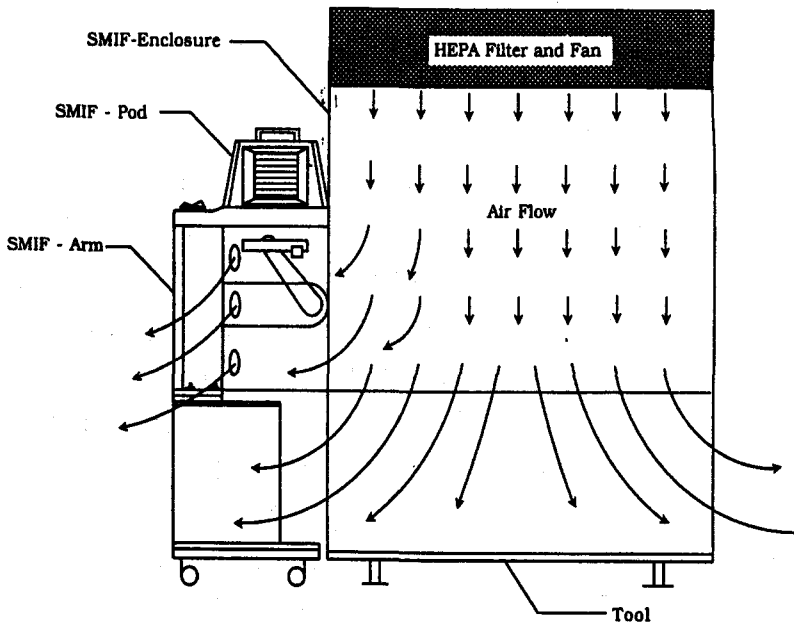


그림 9 SMIF system의 구조와 공기흐름도

화 방식이나, 제조 프로세스 주변의 국소 환경 제어를 생각하는 경우 제조장치의 로드, 언로드를 포함한 인터페이스 주변 클린화는 말할 필요도 없으며, 제조장치 유지보수 시의 장치 주변환경의 클린화가 중요하다.

제조장치 인터페이스 대응의 국소 환경제어는 SMIF, FOUP 등을 포함한 폐쇄회로를 국소 공간에서 구성한 경우로 공간 내에 공급되는 공기는 ULPA 및 케미컬 필터를 거쳐서 공기 중 불순물 농도를 ppt 수준으로 제어해야 한다. 그림 8에 SMIF 구성에 대한 생각을, 그림 9에 SMIF 시스템의 구성을 나타냈다. 그림 8에서 반도체의 생산공정이 이루어지는 process tool을 감싸는 SMIF 내는 class 1로 유지하며, 그

밖의 주위는 class 1000 정도의 청정도를 유지함으로써 클린룸의 단위 면적당 건설단가를 절감하고, 또 청정도를 유지함에 있어 운전비의 절감을 유도하려는 시스템이다. 그림 9에는 SMIF 시스템의 구성을 보인 것으로 청정장치로 고성능 필터인 HEPA 혹은 ULPA 필터를 사용하며, 주위와의 격리를 위한 SMIF-enclosure, 웨이퍼의 운송을 위한 SMIF-pod, 웨이퍼를 loading, un-loading하기 위한 SMIF-arm으로 구성된다. 물론 SMIF 내부는 수직층류를 유지하며, 외부로부터의 오염의 침입을 막기 위하여 정압을 유지하며, 만약 내부의 압력이 떨어졌을 경우에도 이를 감지하여 순간적으로 압력을 정압의 상태로 유지시키는 시스템을 갖춰야 한다.

표 7. SMIF System의 성능평가 방법

평가항목	목표사항	평가방법
Flow Velocity	0~0.6m/s (±10%)	- 평가개요 : 유속의 크기 및 균일도 평가 - 평가장비 : 유속계(TSI Tri-Sense Meter, 0.03~25.4m/s) - 평가부위 : 청정필터면에서 아래방향으로 5~10cm 되는 높이, - 평가방법 : 평가부위의 높이에서 균일하고, 일정한 간격으로 구획하여 속도의 크기 및 균일성을 평가한다.(오차율 : ±5%)
Differential Pressure	≥2.0mmAq	- 평가개요 : 외압에 대한 내부 양압평가 - 평가장비 : 차압측정계(Dwyer Instrument Inc., 부르돈형, 0~6mmAq) - 평가부위 : 시스템 내부 및 외부 - 평가방법 : 0~0.6m/s의 기류속도의 범위 안에서 평가부위의 압력차를 측정하여 평가한다.
Cleanliness	Better than Class1 @ 0.1μm	- 평가개요 : System 내부의 청정도 평가 - 평가장비 : 입자카운터(TSI 3753A OPC (≥0.3μm), PMS LASAIR 510 (≥0.3μm), SMPS(TSI 3934, 0.01~1μm)) - 평가부위 : 웨이퍼 작동높이로부터 윗방향으로 10cm되는 위치 - 평가방법 : 0~0.6m/s의 기류속도와 0.125mmAq이상의 차압제어 안에서 FED-STD 209D 규정에 따라 Cubic Feet 체적 당 0.1μm이상의 부유 입자농도를 측정하여 Cleanliness를 평가한다.
IR (Isolation Ratio)	>1000	- 평가개요 : 외부의 대기로부터 시스템 청정한 공간을 보존하고 있는 힘의 크기인 IR 평가 $IR = \frac{\text{Particle Concentration in the Dirty Chamber (\#/ft}^3)}{\text{Particle Concentration in the Clean Chamber (\#/ft}^3)}$ If IR → ∞ : Perfect Isolation IR → 0 : Poor Isolation - 평가장비 : 입자카운터 SMPS(TSI 3934, 0.01~1μm) - 평가부위 : 1) 외부-System 외부 2) 내부-웨이퍼 작동높이로부터 윗 방향으로 10cm되는 위치 - 센서측정구 위치 : 바닥으로부터 110cm 위치 - 평가방법 : 0~0.6m/s의 기류속도와 0.125mmAq이상의 차압제어 안에서 System외부와 내부 오염농도 측정
Recovery Time	<30seconds	- 평가개요 : 오염상태에서 청정도를 회복하는 성능평가 - 평가장비 : 입자카운터(TSI 3753A OPC (≥0.3μm), PMS LASAIR 510 (≥0.3μm)), Stop Watch - 평가부위 : 시스템 내부 - 평가방법 : 1) 청정공기 공급장치가 운전될 때의 청정도를 측정하여 Background의 청정도로 판단한다. 2) 청정공기 공급장치의 운전을 정지시킨 후, 부유입자농도를 측정하고 시간에 따라 입자농도의 변화를 측정하여 표준 Background의 청정도를 회복할 때까지 소요되는 시간을 기록한다.
Static Charge	<±200V	- 평가개요 : 웨이퍼에 입자부착 원인이 되는 표면 정전기 평가 - 평가장비 : 정전기 측정장치(Hugle Electronics Inc. 204 디지털형, 0~19.99kV) - 평가부위 : Wafer, Cassette, 시스템 내외부 - 평가방법 : 측정표면으로부터 1 inch(25mm)의 거리에서 측정

평가항목	목표사항	평 가 방 법
Flow Visualization	Analysis of Flow Pattern	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : 유동장 유동패턴 및 정체점 여부 평가 - 평가장비 : Smoke 발생기, 레이저(30mW) 광원, Camera - 평가부위 : 시스템 내부 - 평가방법 : 웨이퍼의 Static 및 Full Motion 조건하에서 상면 및 측면의 90도 각도에서 촬영
Temperature & RH	66°F~75°F ±0.5°F RH35%~50%±1.0%	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : System 내부의 분위기 성능평가 - 평가장비 : 온습도계(TSI Tri-Sense Meter, -190~1000°C, 0~100%) - 평가부위 : 시스템 내부 - 평가방법 : 시스템의 Static 및 Motion 조건하에서 연속적으로 온도 및 습도를 평가한다.
Acoustic Noise Level	≤53dB	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : 시스템 소음도 평가 - 평가장비 : 소음계(Sound Level Analyzer, CEL Instrument Ltd., CEL 573) - 평가부위 : 시스템 내외부 - 평가방법 : 웨이퍼의 Full Motion 조건하에서 평가부위에 근접하여 마이크로폰을 통한 소음 감지.
Mechanical Vibration	<3.1 μm/sec	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : 시스템 진동도 평가 - 평가장비 : 레이저 진동 측정기(Polytec OFV352 Sensor, OFV2601 Vibrometer Controller, Scientific Atlanta SA390 FFT Analyzer, ≥ μm/s) - 평가부위 : 시스템 내외부 - 평가방법 : 웨이퍼의 Full Motion 조건하에서 평가부위에 가속도계를 통한 주파수 감지
PWP (Particle per Wafer per Pass)	<0.05 @ 0.1 μm	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : 시스템 동작시, SMIF시스템 자체 내에서 발생하는 오염상태를 평가하는 지수로서, 웨이퍼 표면 부착입자수 평가 $PWP = \frac{\text{Postscan Counts} - \text{Prescan Counts}}{\text{Numbe of Cycle}}$ - 평가장비 : Surface Scanner(Tencor Instruments SURE SCAN 6200, ≥0.16 μm)(필요부품 : Wafer, Carrier, Box, 튜이저) - 평가부위 : Loading/Unloading Wafer의 표면 - 평가방법 : <ol style="list-style-type: none"> 1) Test용 Bare Silicon Wafer 표면 위에 부착된 0.1 μm이상의 입자를 표면입자계수기를 사용하여 측정한다.(Prssette Counts) 2) Wafer를 Pod안에 있는 Cassette Slot의 수에 따라 넣는다. 3) SMIF Arm에 의해 Loading/Unloading의 Cycle을 반복한 후 꺼낸다. 4) Cassette Slot의 위, 중간, 아래 부분의 Wafer를 샘플링한다. 5) 샘플링된 Wafer를 Carrier & Box를 사용하여 표면입자 계수기로 이동시킨다. 6) Wafer 표면 위에 부착된 0.1 μm이상의 입자를 표면입자 계수기를 사용하여 측정한다.(Postscan Counts)
Load/Un-load Cycle Time	H-move (<30sec), V-move (<45sec)	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : SMIF Loading/Unloading Cycle 성능평가 - 평가장비 : Stop Watch - 평가부위 : M/E - 평가방법 : SMIF Arm의 Loading/Unloading시 수평 및 수직 이동시간 측정
Loading Repeatability	<±0.05 μm	<ul style="list-style-type: none"> - 평가개요 : SMIF System의 재현성 평가 - 평가장비 : Stop Watch, Scale - 평가부위 : SMIF Loader - 평가방법 : SMIF System의 장시간 동작 동안 나타나는 위치정확도 측정

(2) 평가방법

SMIF System의 평가 방법을 다음 표7에 기술하였다.

규격화된 기준은 아직 없으나 SEMATECH 등에서 제안된 몇 가지의 기준을 조합하고 있다. 이 중에서 특히 중요한 성능은 IR과 PWP로서, 이 성능이 웨이퍼의 오염과 직접적으로 연관되기 때문이다.

3.6 Clean Tube System

현재 반도체 생산과정에서 클린룸 내 주요 입자 발생의 가장 큰 원인은 반송부와 구동부로 알려져 있다. 그러나 불행히도 웨이퍼 반송기구나 흡착기구로부터의 입자 발생은 SMIF/Mini-environment 기술을 적용하여도 피할 수 없는 가장 원초적인 문제점이다.

또한 SMIF 시스템은 반도체 생산성의 문제를 안고 있다. 즉, 웨이퍼를 FOUP에 넣거나 꺼내는 작업은 로봇을 사용한 공정이므로 고도의 제어가 필요하게 되며, 시간이 걸리는 작업이다. 또 이 과정에서 뜻하지 않는 충돌에 기인한 웨이퍼의 손상과 이때 발생된 웨이퍼 파편에 의한 오염도 주의해야 할 과제이다. 이처럼 고집적도의 반도체일수록 증가되는 수많은 공정간을 이런 작업을 반복해야 하며 이는 반도체의 생산성 즉 원가에 직결되는 문제이다. 장기적으로는 대형화되어 가는 웨이퍼 직경은 크기와 중량의 증가에 따른 핸들링의 어려움은 더욱 더 가중되리라 예측된다. 여기에 착안된 시스템이 N₂ Tunnel방식이라고 소개되고 있는 clean tube system이다.

clean tube system은 하나의 isolation system

으로 약 20여 년 전에 단지 개념만 제시되어 있으며, 실질적인 연구는 수행되지 않았다. 개발자마다 서로 다른 형태를 제시하고 있으나, 개념적으로는 그림 10 과 같은 형상을 갖는다. 그림에서 보는 바와 같이 clean tube system은 웨이퍼가 외부 공기와 접촉되지 않기 때문에 오염의 가능성이 없으며, 밀폐형 carrier를 사용하지 않기 때문에 FOUP와 같이 출구의 개폐로 인한 오염문제도 배제될 수 있다. 더군다나 생산라인의 전공정이 하나의 밀폐공간에서 수행되기 때문에 기존의 클린룸이 더 이상 필요하지 않을 수도 있다. 이는 곧 막대한 초기 투자비를 줄이는 효과로 나타날 수 있으며, 작업자에 대해서도 부속장비가 필요하지 않는 바야흐로 "Clean Room Free"의 작업환경이 가능해질 수 있다.

그림 10에 낱장식 웨이퍼 운송 시스템을 보였다. 이 방법은 N₂나 건식 청정공기로 채워진 tunnel 내를 웨이퍼가 한 장씩 이동하는 방법이다. 웨이퍼나 웨이퍼 카세트를 바닥면에 접촉시키지 않는 비 접촉방식으로 이를 위해서는 우선 carrier나 cassette를 부상시켜야 한다. 이러한 부상 방법으로는 크게 공기부양 방식과 자기부상 방식이 있다.

공기부양 방식은 clean tunnel 내의 트랙 바닥에 미세한 구멍을 통해 질소(건식 청정공기)를 분사하여, 이 분사질소의 정압과 clean tunnel 내부의 정압의 차를 이용하여 부상력을 얻는 방식이다. 이 부상 방식의 가장 큰 장점은 clean tube 내부를 고청정도로 유지할 수 있다는 점이다. 하지만 유체의 특성상 웨이퍼 또는 웨이퍼 캐리어의 안정된 위치 제어가 어려우

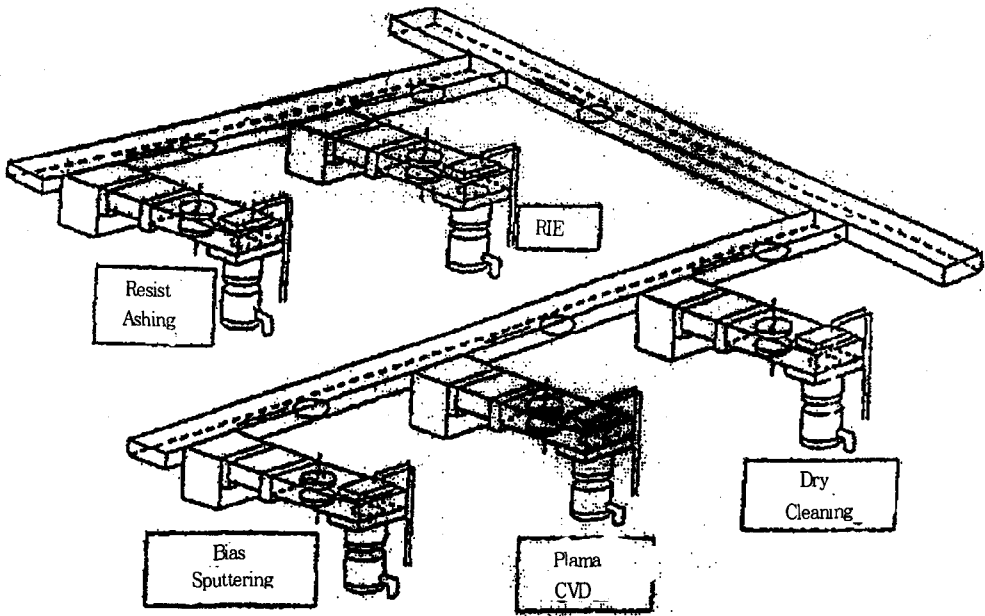


그림 10 날장식 웨이퍼 운송시스템의 개념도

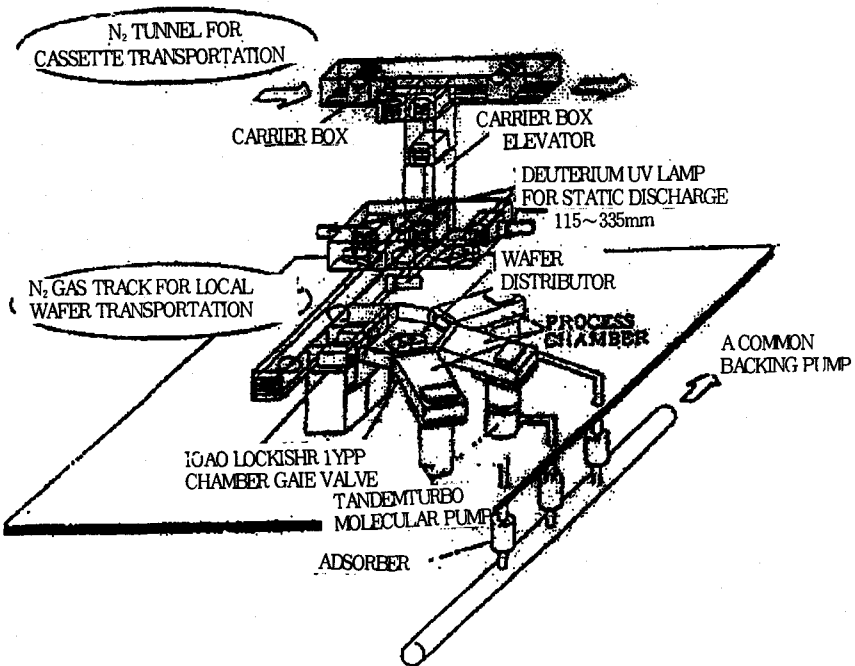


그림 11 카세트 운송방식의 개략도

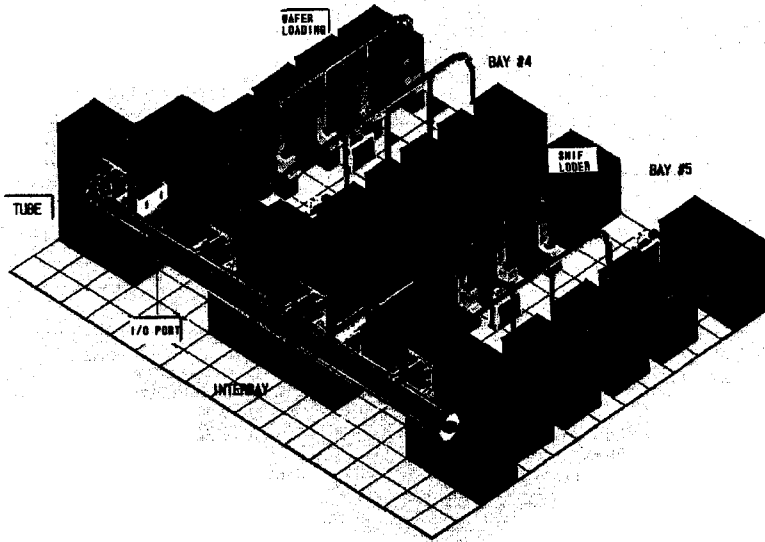


그림 12 미래형 클린룸의 개념도

며, 카세트와 같이 비교적 무거운 운송매체를 부상시키는데 많은 유량이 요구된다는 단점이 있다. 더군다나 공기부양 방식은 대용량의 고순도 질소가스를 사용하므로 많은 유지비가 소요된다.

그림 11은 카세트에 웨이퍼를 넣어 운송하는 방식으로, 웨이퍼 분배기에서 날장의 웨이퍼를 가공장비 안으로 운송하는 방법이며, 복잡한 시스템이다. 또 tunnel 내는 N₂가스로 충전되며, 진공상태를 유지해야 하므로 진공펌프의 용량이 매우 커지는 결점이 있다.

자기부상 방식은 웨이퍼 자체는 자력에 영향을 안 받으므로, 웨이퍼를 자력에 영향을 받는 carrier위에 올려놓고, 자력으로 부상시킨 후 리니어 모우터를 사용하여 운송시키는 방식이다. 따라서 이 방법은 구조가 복잡하고 고가이며, 자력이 tunnel 주위의 장치에 영향을 줄 수 있는 가능성이 있다는 단점이 있다. 그러나 이러한 방법들은 모두 아직은 개념도에 불과하기

때문에 이를 형상화시키고 상품화하기에는 좀 더 많은 시간이 걸릴 것으로 판단된다. 다만, 최근에 기류부양 방법을 사용한 clean tunnel 방식이 적극적으로 개발 검토되고 있다.

그림 12에 위에서 검토한 clean tunnel 방식과 stocker, SMIF를 연결한 clean room system의 개념도를 보여주고 있다. 이 방식이 실용화되면, 앞에서 언급한 "clean room free"의 작업조건을 확립시킬 수 있다.

4. 국소 공간의 불순물 오염제어

4.1 파티클 오염제어

앞에서 설명한 바와 같이 국소공간은 필요공간만을 고정정도로 유지하여 운전비와 초기 투자비를 절약하려는 시스템이다. 이러한 국소공간의 성능이란 외부로부터 오염의 침입이 없어야 하며 내부에서 발생된 오염은 신속하게 제거되어야 한다. 따라서 이 성능을 평가하는 방

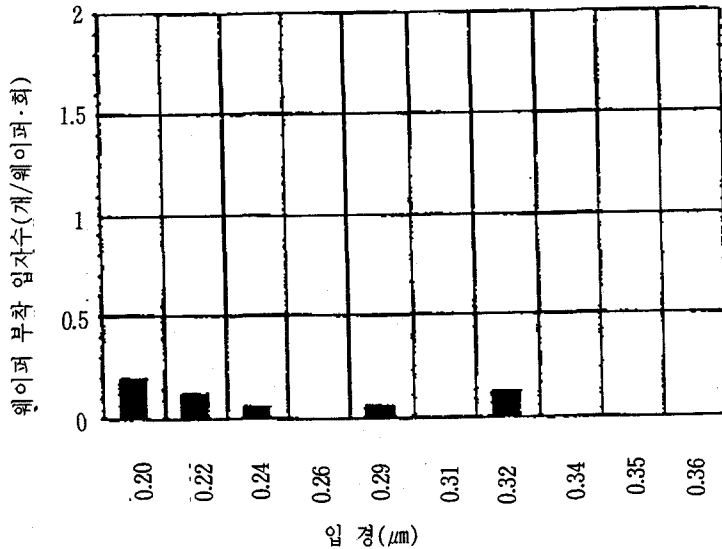


그림 13 Mini-environment내에서 웨이퍼 위의 부착입자 수

법은 내부에서 정해진 동작이 수행될 때 오염되는 정도로 판단된다. 즉, Mini-environment 내에서 8 inch wafer 대응 이동탑재장치를 이용해서, wafer 이동 탑재동작을 반복한 경우에 대한 이동 탑재 동작 1회분의 wafer 표면에 부착한 입자수를 그림 13에 나타냈다. Mini-environment 주변은 난류식 클린룸이고, 청정도는 $0.5\mu\text{m}$ 클래스 10,000 수준이지만, Mini-environment 내의 wafer 표면의 부착 입자수는 낮고, 주변에서 크로스 콘테미네이션을 제어하고 있는 것을 알 수 있다. 참고로 해서, SELETE의 300mm 대응 FOUP 목표 spec은 0.35 (개/wafer·회수)이지만, 8 inch 이동 탑재 장치에서도 국소화를 나타낸 것으로 spec을 만족하고 있는 것을 알 수 있다.

4.2 케미컬 오염제어

지금까지 수년간 클린이라고 하는 정의에는 입자(금속오염을 포함)만이었고, 최근에 들어

이른바 케미컬 대응(산, 염기, 도펀트, 유기물의 제어)이라고 하는 생각이 도입되어 공기질이 문제가 되게 되었다. 각 공정마다의 청정도(공기질)에 대한 grade 구분이 필요하게 되어 생산장치 구조, 웨이퍼 반송까지도 큰 영향을 미치게 되었다. 따라서, 지금까지 개발된 것들을 이상적으로 조합한 전체적인 클린 시스템의 필요성이 부각되고 있다.

화학오염은 산성가스, 알칼리 가스, 휘발성 보론, 인, 유기가스 등으로 분류해 볼 수 있다. 발생원은 생산장치, 작업자, 건축부재, 내장재, 외부로부터의 침입 등 다양하다. 이러한 가스 오염은 HEPA나 ULPA로는 제거할 수 없으며, 고가의 chemical filter를 사용해야 하나, 짧은 수명 때문에 주기적으로 교체를 해야만 하는 많은 운전비가 소요된다. 따라서 저렴한 가스 오염 제거 방법의 개발, 외부로부터의 침입방지, out-gas 발생이 없는 내장재 및 건축자재의 사용, 작업자의 프로세스로부터의 격리 등

이 검토되어야 할 것이다. 이 문제에 대해서도 앞에서 검토된 SMIF System이 필요한 국소 부분만(Mini- environment)을 gas-free로 유지함으로써 경제성을 극대화시킬 수 있기 때문에 효과적인 대책이 될 수도 있다.

케미컬 대응의 클린룸을 구축하는 것에서는, 구성재료나 프로세스로부터의 케미컬 발생을 억제하는 것과 동시에, 외부로부터의 투입을 없애는 것이 가장 중요하다. 다양한 프로세스를 포함하는 시스템을 설계하는데 있어서는, 각 프로세스에 대한 케미컬 대응의 필요성에 대하여 cross contamination의 가능성을 제한하는 것이 중요하게 되었다. 분위기가 중요한 CMP area를 다른 area로부터 격리하고, 다른 area로부터 분위기의 유입을 기피하는 photo area를 분리하고 있다. 또한, CVD/DIEF(전처리 포함) area 격리도 검토하고 있다. 더욱이, 공정간 반송에서의 케미컬 오염도 방지하는 방법을 고려할 필요가 있다. 또, 필요한 area에 케미컬 필터를 설치하여, 분위기 케미컬 레벨의 저감을 측정하고 있다.

5. 향후의 클린룸의 방향과 문제점

5.1 300mm 웨이퍼화의 필요성

지금까지 언급한 바와 같이 반도체 집적도의 향상에 따라 0.18 μ m 패턴 사이즈가 중요한 설계점이 되고 0.13 μ m 패턴이 완성되는 등 300mm가 도입 될 시기라고 생각되어진, 2001년경부터는 0.18 μ m 이하의 pattern size를 적용한 반도체가 양산될 것으로 예측된다. 위에서 검토해 본 바와 같이 경제성 면에서 반도체는

300mm 웨이퍼를 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 아직은 300mm 웨이퍼의 생산단가가 비싸 경제성을 확보하기가 어려운 것 등 300mm 웨이퍼의 사용은 그리 간단하지 않은 않다. 또, 지금까지는 세대가 바뀌면 장치의 가격이 폭등했던 것은 코스트를 생각하기보다는 새로운 concept, 기술개발에 집착한 결과이었다. 또 반도체 maker들은 세대교체를 할 때마다 투자를 해 왔다. 여기서 검토되고 있는 것이 기존의 200mm 라인에 미세화를 위한 중요한 핵심 장치만을 몇 대 교체하고, 기타장비는 그대로 사용하여 300mm를 그대로 사용함으로써 코스트를 낮추는 방향이 추진되고 있다. 즉, 다세대화를 추진한다든지, 장치의 일부분만을 교체한다든지 하여 다음 세대제로의 이행이 가능하게 하는 등 flexibility를 올리는 것이 중요하게 되었다. 또, 장치에 관해서는 역시 표준화도 우선적으로 해결되어야 할 문제이며, 설비의 표준도 매우 중요하다.

이렇듯, 실행을 위해서는 아직 문제가 있지만, 300mm 웨이퍼의 사용은 확정되었다고 볼 수 있다. 다만 향후 이러한 문제점들을 고려하여 경제적인 설계시공이 절실히 요청되고 있으며, 생산 코스트를 낮추는 여러 가지 방법들도 개발되지 않으면 안되게 되었다.

5.2 가이드라인의 개요

이렇듯 300 mm 웨이퍼의 이용은 기술적 어려운 문제점을 많이 가지고 있어, 어느 한 maker가 모든 개발비를 부담하는 것 보다 분할 협력하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 제조자와 제조자, 제조자와 사용자 사이의 약속

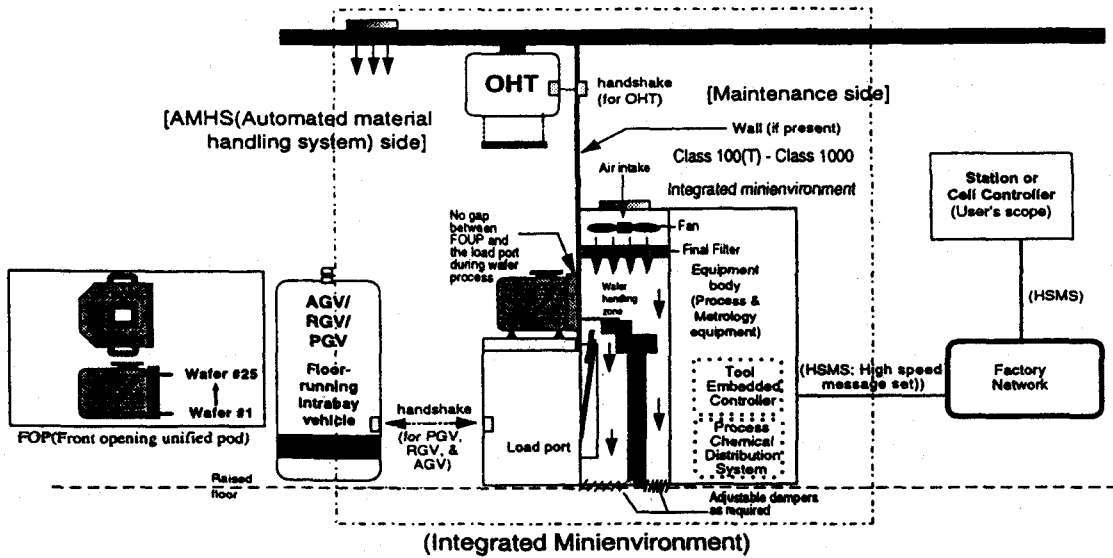


그림 14 Integrated Mini-Environment

이 필요하게 되었고, 이를 위한 단체가 결성되어 300 mm를 위한 모든 장치를 표준화하는 작업에 들어갔다.

300mm 반도체 공장을 위한 글로벌가이드 (Global Joint Guidance for 300mm Semiconductor Factories)는 J300과 I300I에 의하여 합의된 300mm 표준화에 관한 가이드라인을 정리한 것으로, 세계 최초로 반도체 제조자의 국제적 합의에 의한 생산기술의 표준화 요구를 명확하게 한 것이다. 구성은 크게

- 반도체 제조자의 경영면으로부터의 요구사항
- 표준화에 대한 가이드라인

2장으로 되어 있다.

5.3 300mm Fab과 생산장치

(1) Mini-environment(ME)

우선 ME는 클래스 100-1000로 청정도가 낮은 클린룸 내에 설치하고 그림 14에 보인 Intergrated ME라고 칭하는 시스템을 추천하고

있다. 이 intergrated라고 하는 것은 로봇 내에 있는 웨이퍼나 장치 내에서의 핸들링 중의 웨이퍼, 프로세스 중의 웨이퍼를 청정하게 유지할 수 있는 환경으로 pod door의 개폐기구나, pod로부터의 load/unload 시스템이 일체화되어 있는 것을 의미한다.

300mm 웨이퍼는 13장 혹은 25장을 수평으로 10mm 간격으로 넣고 측면 전방부에 뚜껑을 갖는 FOUP(Front Opening Unified Pod)라고 불리는 용기에 수납되어 운송된다. 운송되어 온 FOUP를 여는 로봇은 FIMS(Front Opening Interface Mechanical Standard) interface를 가지고 있다. 자동문의 개폐에 의하여 덮개가 열린 후 장치내의 핸들링 로봇에 의하여 웨이퍼가 장치 내로 운반된다. 기본적으로 베이방식을 답습하고 있기 때문에 주로 Load-port는 AMHS(Automated Material Handling System) 측에서 반출입을 행하지만 exception 웨이퍼의 반출입은 뒤쪽에 있는 부속의 port를 사용하게

되어 있다.

또 공정간 반송에 사용하는 반송시스템으로서 OHT(Overhead Transport ; 천장운송)가 제안되고 있다. host가 본체로부터 내려와 FOUP 상부의 돌기부를 잡고 소정의 높이까지 들어올린 후 다음 장치까지 운송한다.

미국에 있어서는 AGV의 도입이 안전규격상 곤란하기 때문에 OHT가 제안되어 있으나, 비교적 자유로운 장소에 놓여 있는 장치로의 이동, 장치까지 최단거리 이동 등으로 배이면적 축소에 이점이 있다. OHT가 응용될 수 없는 경우에는 바닥면 운송방법인 AGV(Auto Guided Vehicle; 자동운송로봇)나 RGV(Rail Guided Vehicle ; 궤도운송로봇)를 상황에 따라 사용하기로 되어 있다. 또, PGV(Personal Guided Vehicle ; 수동운송용카트)는 주로 exception Wafer의 운송이나 AMHS의 고장 시에 사용되어진다.

(2) 300mm Fab 반송시스템

반도체 공장에서의 반송시스템은 없어서는 안 되는 생산설비가 되었다. 왜냐하면 300mm Fab에 있어서는 대구경화에 의한 증량상승에 따라서 그 중요성이 더욱 증대되었으며, 인간 공학으로 보면 200mm 시대에는 작업자의 손으로 반송하였던 것도 300mm에서는 자동화된 기계의 힘의 필요성이 증대되고 있다. 여기서는 300mm fab 전공정에 초점을 맞춰 반송시스템에 대한 대책과 동향에 대해서 생각해 본다.

반도체 공장(전공정)의 반송시스템은 그림 15에 보인 바와 같이 크게 나누어 공정간 반송과 공정내 반송, 그리고 이것을 연결하는 stocker(보관창고)로 구성되어 있다. 각 공정 bay에는 stocker가 배치되어 있고, 이것을 공정간 반송기(주로 천장 반송식 레일)로, 스토카와 각 공정장치와는 공정내 반송기(AGV, RGV, etc.)로 연결되어 있다.

① 공정간 반송기

공정간 반송기는 천장반송이 주류이다.

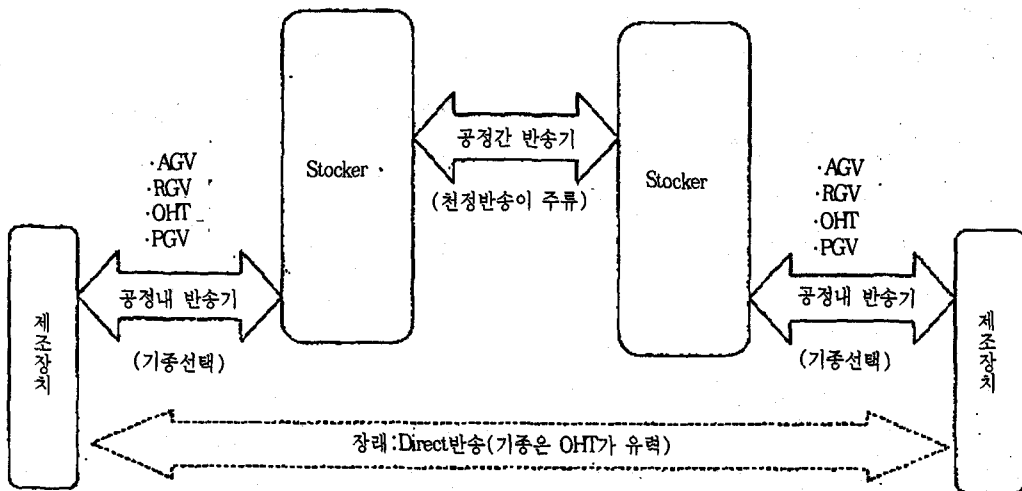


그림 15 반송시스템의 개념도

300mm가 되어도 200mm의 시스템을 그대로 크기만을 키운 정도에서 운영될 것으로 본다.

공정내 반송기에 요구되는 과제는 보다 높은 반송능력과 코스트다운, 높은 신뢰성이다. 게다가 확장성, 유연성이 요구된다. 이러한 것들을 달성하기 위해서 지금까지 여러 가지 검토와 개발이 있었다.

② 공정내 반송

200mm fab에 있어서는 RGV, AGV가 주로 채용되고 있다. 그리고 그 대부분이 open-cassette의 반송이라는 것도 특징의 하나이다. 장치의 표준화가 시행되어 있지 않았기 때문에 장치 측의 조건이 좋은 L/UL pod가 설계되어 있다. 높이, 깊이, cassette의 방향이 불규칙적이기 때문에 자동화를 하기 위해서는 곤란한 경우가 많아, 이에 대응하기 위해서 다관절 로봇을 채용하지 않으면 안되었다. 또 사용자로부터 여러 가지 다양한 형상의 카세트가 사용되고 있다. 그러나 300mm fab에서는 국제적인 표준화가 진행되고 있다. FOUF, 카세트, 장치의 load port 등 주요 치수가 규정되어 있으므로 자동화는 매우 시행하기 쉬운 환경이 되어 있다.

현재의 동향으로서는 FOUF를 채용하는 사용자가 많다. 공정내 반송기는 사람의 안전성, PGV와 병용의 측면에서는 OHT를 주로 채용하는 계획이 진행되고 있다. 그러나 OHT는 RGV, AGV에 비해 경험이 없기 때문에, 사용자들이 신중히 검토하고 있다. pilot line에서의 평가후 new fab에 채용이라는 접근이 많은 것 같다. 또 본격적인 자동화까지는 PGV를 사용하는 계획이며, 300mm fab에서는 그 위치정립의 과

정에서 PGV는 필수불가결의 장비라고 판단된다.

한편으로 open cassette를 채용하려고 하는 사용자도 있다. 이 경우는 청정도의 측면으로부터 RGV, AGV의 채용이 유력하다. 그러나 이 RGV, AGV는 종래와 같이 다관절 로봇이 아니라 축수를 줄인 저가의 간이 로봇이 사용되리라 생각된다. 또한 반송능력을 높일 수 있는 시스템의 구축이 남은 과제이다. RGV, AGV는 FOUF의 반송도 가능하며, 시스템의 확장성, 유연성, 개보수성 면에서 OHT보다 우수하다. 단, 사람과의 공존, PGV와의 병용이라는 면에서 검토되고 있다.

(3) 300mm fab의 needs와 특징

① 공정내 반송의 자동화

200mm fab에 비해 공정내의 자동화가 이뤄지지 않으면, fab 전체의 자동화가 성립되지 않기 때문에 공정내 반송을 어떻게 할 것인가가 우선 결정되어야 할 것이다.

② 국제 표준화

I300I, J300이 주체가 되어 활동하고 있는 각종의 working group에 의해 표준화가 선행되고 있다. 이것에 의하여 다수경쟁체제가 진전되어 신뢰성, 코스트 중시의 시장상황이 전개되고 있다.

③ 반송량의 증가

반송량은 제품의 집적도에 관계되고 200mm fab과 큰 차이는 없다고 생각한다, 그러나 그 요구는 매년 증가되어 공정간 500 ~ 800회/hr가 보통이다. 이후에는 더욱 증가되어 1000회/hr를 반송될 수 있는 시스템이 요구될 것이다.

④ 반송 리드타임의 단축

다품종 소량생산, 긴급 롯트 대응 등의 요구

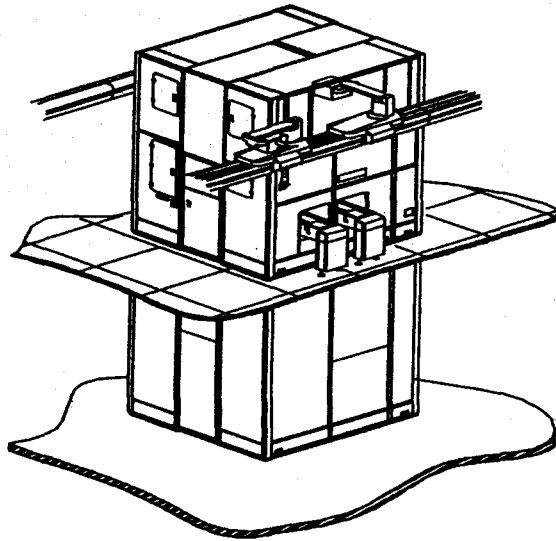


그림 16 Tall Stocker

에 반송 리드타임의 단축 요구도 매우 강하다. 평균 반송시간으로는 5분 이하가 하나의 판단 기준이 되고 있다.

⑤ Total system cost의 감소

300mm fab 건설의 원점은 total cost down이며, 반송시스템에 대한 요구도 매우 강하다. 큰 물건, 무거운 물건을 나른다고 해도 cost up는 인정될 수 없는 상황이다.

⑥ 확장성, 유연성

fab의 투자액은 점점 더 증대되는 경향이다. 한편, 반도체 fab은 서서히 생산량을 증가시켜가는 것이 일반적이다. 또 시장 동향과 관계가 있기 때문에, 단번에 fab 전부분을 완성시키는 것이 아니라, 몇 개의 phase로 나누는 경우가 증가하고 있다. 당연히 반송시스템도 그것에 대응 가능한 확장성, 유연성이 요구되고 있다.

(4) Stocker

200mm 반송 Box와 300mm FOUF의 체적비는 약 1:2이다. 같은 보관량을 보관하기 위해

서는 상용하는 공간이 필요한 것은 당연한 것이다. 그러나 클린룸 유지비가 높기 때문에 공간절약이 요구되고 있다. 클린룸의 점유면적을 적게 하기 위해서는 그림 16에 보인 높이가 높은 스토카의 채용이 검토되고 있다. fab의 바닥 밑, 천장공간의 열린 부분을 유효하게 이용하여 보관효율을 높일 수 있다. 그러나 기존의 fab에서는 불가능하며, 신설 fab의 설계단계부터의 계획이 필요하다. 또 mother stocker와 micro stocker, 클린룸 층간을 연결시킨 interflow stocker 등을 조합한 시스템도 검토되고 있으며, 공정간 반송기와 조합시킨 시스템을 구성하는 것이 이후의 과제이다.

5.4 현재의 Mini-environment의 과제와 전망

Mini-environment를 채용한 경우, 클린룸 전체의 청정화에 관한 공기 반송동력 저감이 기대된다. 반도체 공장의 이동시를 가정한 경우, 소비 에너지는 제조 프로세스 측과 건축설

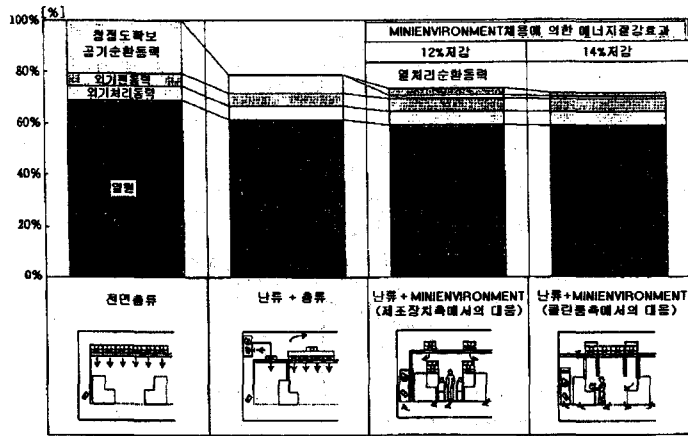


그림 17 클린룸의 시스템에 따른 에너지 소비량의 변화

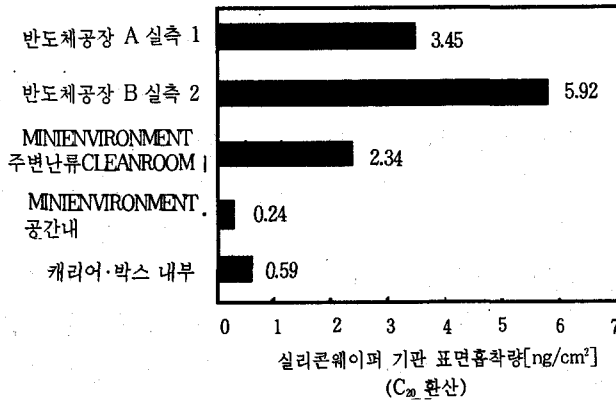


그림 18 웨이퍼 표면 유기물 농도의 ME 내·외의 변화

비 측과 전체량으로 구성된다. 공장 에너지 절약을 생각한 경우, 청정도 확보에 관한 공기반송동력에 대해서 알 수 없고, 제조장치의 발열처리, 외기 가열냉각을 포함한 공조용 열원제 에너지를 포함해서 에너지를 평가하는 것이 필요하다. 공조·열원 에너지 전체 소비량의 예측을 한 결과를 그림 17에 나타냈다. 예측결과에서 Mini-environment 적용에 의한 에너지 절약 효과는 전체 에너지 소비량에 대해 약 1% 감소한 정도의 효과 밖에 없는 것을 알았

다. 물론 에너지라는 말의 관점에서 보이는 것은 없고, 생산성, 유지 보수성, 플렉시블성 등 전체적인 관점에서 Mini-environment 채용은 검토할 만 하지만, Mini-environment화에 의한 에너지 절약 효과에 대해서, 공장 전체의 에너지 소비량에 대한 비율을 배려한 것은 중요하다.

wafer 표면에 흡착된 유기물 농도에 대해서, 인터페이스 대응 Mini-environment 내에 방치한 wafer와 다른 환경 하에 방치한 wafer를 비

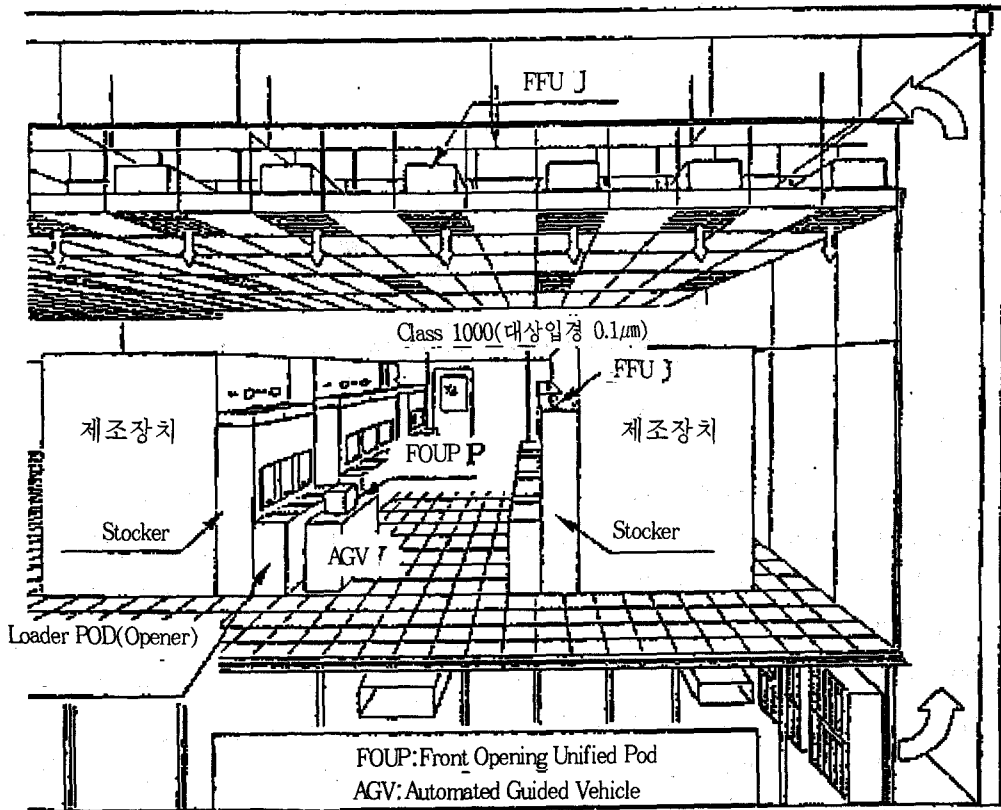


그림 19 FOUP를 사용하는 ME 클린룸의 개념도

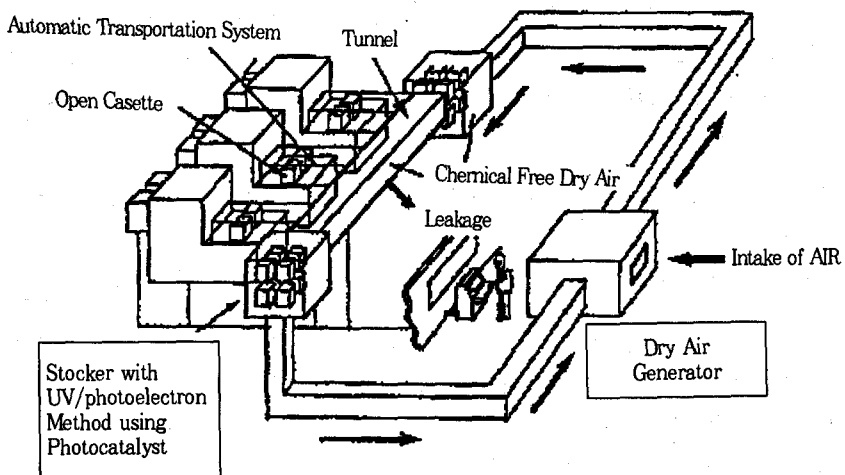


그림 20 Open-cassette와 Clean tunnel을 사용한 ME

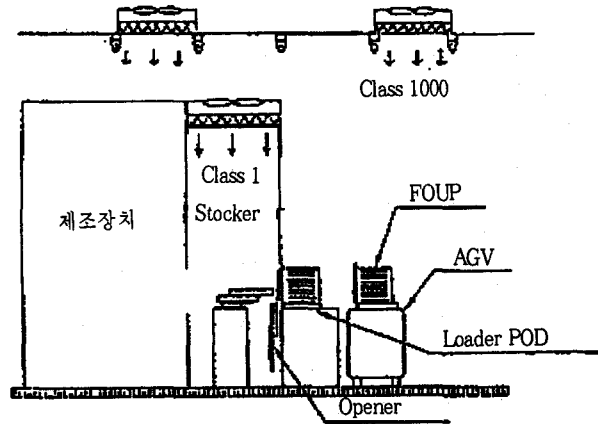


그림 21 ME에 있어서 웨이퍼 이동부의 구조

교해 그림 18에 나타냈다. 비교대상은 이동시의 반도체 공장에 대한 환경 하, Mini-environment 주변 환경 하에서, 더욱이 캐리어 박스 내의 환경 하에서 했다. 실험 결과에서 Mini-environment 내의 wafer 표면 흡착물 농도는 비교적 낮은 값을 나타내고 있어 Mini-environment 내에서는 케미컬 물질이 잘 제어하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 캐리어 박스 내에서도 상당량의 가스상 오염물질이 발생한다는 것을 알 수 있으며, 이는 중요한 개선해야 할 문제점으로 생각된다.

표 1의 로드 맵에 기재되어 있는 표면 처리 기술에 대한 요구를 정리해 보면, 유기물에 의한 오염에 대해서는 300mm wafer로 이용되고 있는 $0.18\mu\text{m}$ 에 대해서, 7×10^{13} atom/cm², 즉 약 0.1 단층이하에 탄소원자 밀도를 억제할 필요가 있게 된다. 이 같이 케미컬 오염까지 제거한 클린도 높은 클린룸을 건설·운전하는 것과는 경제적으로 큰 부담을 크게 가지게 되고, wafer 주변의 국소 공간의 클린도를 높이는 「국소 클린화」, 즉 Mini-environment가 검토

되어 일부에서 채용되고 있다.

현재의 케미컬 오염을 제거하는 케미컬 필터는 고가이고 그 외에도 수명이 짧다. 또, 유기성 가스 제거용의 케미컬 필터는 활성탄을 이용한 포집 방식이 주류를 이루고 있지만, 제거 성능이 불충분하다.

현재, Mini-environment 클린룸으로 생각하고 있는 것은 그림 19에 나타낸 밀폐된 wafer box를 반송해서 제조 장치로 이동하는 방식과. 그림 20에 나타낸 것과 같이 오픈 카세트를 클린 터널 내로 반송·보관하는 방식이 있다. wafer box에서는 초기는 상자 하부가 밀된 SMIF box가 이용되고 있지만, 이후에는 FOUP가 표준사양이 되는 방향이다. 제조 장치와 wafer box와 사이에서 wafer를 이동하는 부분의 구조는 그림 21과 같다.

현재는 일본에서는 Mini-environment 클린룸은 아직 채용하고 있지 않지만, 300mm wafer용의 새로운 라인에서는 본격적인 도입이 진행될 것이라고 예측되고 있다.

(1) 현재의 Box 반송의 과제

제 1 과제는 비용이다. 300mm Si wafer를 반송하는 wafer box (FOUP)의 중량은 wafer 중량을 합해서 8~9Kg이 되기 때문에 손으로 반송하는 것은 어려워 반송의 자동화가 필요하게 된다. 현재는 이 자동 반송시스템의 비용이 크다. 또, FOUP 자체도 아직 고가 (시판가격으로 약 100만원)이다.

Mini-environment를 채용한 경우에 클린룸의 청정도를 어디까지 내릴 것인가에 대해서는 의견이 분분하다. 클래스 1000으로 충분하다는 의견도 있지만, 유지 보수시 제조장치의 챔버를 노출시키는 경우에 클래스 1000으로 불충분하다는 의견도 있다.

클린룸의 청정도를 클래스 1000까지 떨어뜨리면, 비용 측면의 메리트가 있지만, 클래스 100에서는 오히려 비용이 높게 된다고 말하고 있다. 보급 단계는 클래스 1000으로 운전해 유지 보수가 필요한 경우 만 국소적으로 클린도를 올리는 것이 가능한 클린룸 실현이 바람직하다. 비용 이외에 box 반송의 주된 문제점을 다음과 같다.

① wafer box 구조재료에서 발생하는 가스
wafer box를 구성한 플라스틱 재료에서 발생하는 가스에 의해서 wafer 표면이 오염된다. 우리들은 폴리카보네이트 제 wafer box에서 발생한 유기성 가스에 의한 오염에 대해서 MOS 디바이스의 산화막 신뢰성이 저하되는 것을 보고했다. 이것에 대해서는 다음 절에서 서술한다.

② 덮개의 열고, 닫을 때 발생하는 분진

개폐기구의 작업이나 box 벽면에서의 분진 부착방지 또는 제거가 필요하다. ①, ③, ④에 대해서는 wafer Box 내의 클리닝 기구의 도입이 필요하다.

③ wafer (표면 도포막)에서 발생하는 가스

④ wafer 상에 부착한 파티클 이탈

⑤ wafer box의 세정

wafer 세정에 대해서는 현재 상태의 FOUP는 카세트와 box 일체 구조로 형상이 복잡하기 때문에, 세밀한 부분의 세정이 문제가 된다. 현재, 각 장치 메이커가 FOUP용 세정장치를 개발 중이다. 어떤 타이밍으로 FOUP를 세정하는가 매우 중요하다. 또 어떤 공정에서 FOUP를 교체할 것인가도 중요하다. 예를 들면, CMP 등 파티클이 많은 공정이나 레지스트 공정용 wafer box와 산화·확산용 wafer box를 같이 취급하는 것은 가능하지 않다.

⑥ 사양 표준화

사양의 표준화에 대해서는 현재 상태로는 FOUP와 오픈 카세트 사이에 호환성이 없고, 양쪽 공용의 경우에 문제가 생긴다. 표준화를 추진하고, 가격을 내리는 노력이 이후에도 필요하다.

300mm wafer용 새로운 라인에서도, 비용면에서 FOUP를 이용한 Mini-environment는 없고, 오픈 카세트와 보통 클린룸을 채용하고 있는 업체도 있다. 그러나 wafer에서 요구되는 클린도 레벨이 올라가고 또 표준화가 진행되어 자동반송에 관한 비용이 싸게 되면 Mini-environment 방향으로 진행되는 것은 필연적이다.

(2) wafer box에서 발생하는 가스와 디바이스에의 영향

wafer box에서 발생한 가스에 의해서 실리콘 기판 표면이 오염되어 전자 디바이스에 악영향을 미치는 것이라 생각된다. 우리들은 FOUP에 이용되고 있는 폴리카보네이트(PC)제의 wafer box에 실리콘 기판을 보관한 후, MOS

(Metal-Oxide-Semi-conductor : 금속-산화막-반도체) 캐패시터를 제작해 그 전기적 특성을 평가하였다.

wafer box는 1번 약 30cm의 입방체로 300mm wafer를 25매 넣을 수 있다. MOS 캐패시터 노화원인은 폴리카보네이트에서 발생한 유기성 가스가 실리콘 표면에 흡착해 산화 시에 흡착 유기성 가스 중의 탄소와 실리콘이 반응해 형성된 SiC가 산화막 결함 원인이 되고 있는 것은 아닌가도 추측되고 있다. 그러나 상세한 노화구조는 현 시점에서는 불분명하고 이후 연구가 필요하다.

6. 결 론

지금까지의 클린룸의 의미부터 시작해서 클린룸의 평가방법, 대략적인 시스템의 변천과 그 장단점, 그리고 Mini-environment를 포함한 향후의 클린룸 시스템에 대한 개념을 정리했으며, 마지막으로 남아 있는 문제점들을 몇 가지 정리했다. 너무나도 많은 검토해야할 문

제점들을 모두 다루기는 무리이기 때문에 간단히 검토하였으나, 독자 여러분들은 이 밖의 문제점들도 많이 있다는 것을 감안하여 보아야 할 것이다.

반도체 생산용 클린룸은 분진오염 뿐만 아니고 가스상 오염의 제어가 점점 더 강하게 요구될 것이기 때문에 이에 대한 대책으로서 모든 제품의 재질부터 재검토되는 과정이 요구되고 있다. 또 고성능 보급형 장치류의 개발을 준비하여야 하며, SMIF 시스템에 대한 연구도 더욱 깊이 있게 수행되어야 할 것이다. 이러한 모든 것들은 경제적인 관점에서 검토되어야 하며, 기본 데이터 축적을 위한 기반연구에도 힘써야 할 것이다. 이러한 문제점들이 모두 해결되어 지지는 않았지만, 지금부터는 새로운 생산라인에 반도체 메이커들이 투자를 한다면, 300mm 라인을 만드는 것이 바람직하다는 결론이기 때문에 향후 300 mm 웨이퍼와 공용생산장치에 대한 대책도 강구되어야 할 것이다.