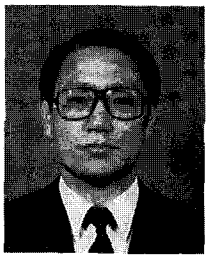
반도체 클린룸의 설계 및 시공

글/임태빈 〈공학박사 · 삼성종합건설(주) ROCA T/F팀 선임연구원〉



1. 머릿말

정밀기계, 의약품, 의료분야 등에서 이용하기 시작한 클린룸은 반도체산업의 발전과 더불어 대규모화 되었으며, 반도체의 집적도가 높아지면서 청정도를 비롯한 온습도 미진동, 정전기, 소음 등에 대한 요구조건이 점차 고도화되어 가고있다. 이에따라 청정화 기술도 빠르게 발전하고 있으며, 선진외국에서는 이미 기술개발이 부분적으로는 완성단계에 이르고 있는 것으로 알려지고 있다.

우리나라의 경우는 타산업에 비하여 반도체 및 전자산업 등의 분야에서는 산업체도 대형화되어 있으며, 생산품의 수준 또한 미국, 일본 등의 선진국에 상당히 근접하고 있어, 클린룸에 대한 각종요구 조건도 거의 선진국과 동일한 수준이라 할 수 있다. 그러나 클린룸 관련기술은 기초이론, 기술자료 등의 부족으로 인하여 아직도 상당부분을 일본이나 미국 등의 선진국에 의존하고 있으나, 최근 선진국들의 첨단분야에 대한 자국기술보호 정책에 따라 선진기술의 이전 및 도입이 점차 어려워지고 있는 실정이다. 따라서 기 도입된 기술을 완전 습득 소화함은 물론이고 향후 예상되는 클린룸의 요소기술에 관하여 보다 체계적이고 지속적인 연구개발이 필요하리라 사료된다.

이와같은 관점에서 본고에서는 클린룸의 설계 · 시공상의 유의점과 향후 클린룸의 방향 및 전망에 관하여 서술코자 한다.

2. 반도체 클린룸의 설계에 대하여

1) 클린룸의 계획 · 설계시의 검토항목

반도체 클린룸을 설계하기 위하여는 제일 먼저 사용자와의 협의를 거쳐 클린룸의 기본계획을 작성하는 일이다. 이 기본계획 작성시에는 클린룸내의 온 · 습도 조건, 청정구역의 구분 및 필요청정도, 클린룸 시스템의 선정, 소음, 진동, 에너지절약 대책 등이 협의, 검토되어야 하며, 이때 클린룸의 외적요인인 각종 에너지 및 유틸리티의 공급계획, 향후 예상되는 생산라인의 변경성과 주변의 환경요인 등을 포함한 종합적인 검토가 필요하며, 이들 검토항목을 요소별로 정리하면 다음과 같다.

(1) 질적요소(QUALITY)

① HIGH QUALITY에 관한 항목 : 청정도, 온습도, 기류분포, 조도, 소음대책, 진동대책, 정전기대책, 자기파대책, CLOSS CONTAMINATION대책, 순도(특수가스, 순수 등)

② FLEXIBILITY에 관한 항목 : 생산기기 변경 대응성, 확장성, 보수성

③ 신뢰성(RELIABILITY) : 연속운전 대책, 고장대책

④ 작업성 · 합리성 : 동선계획

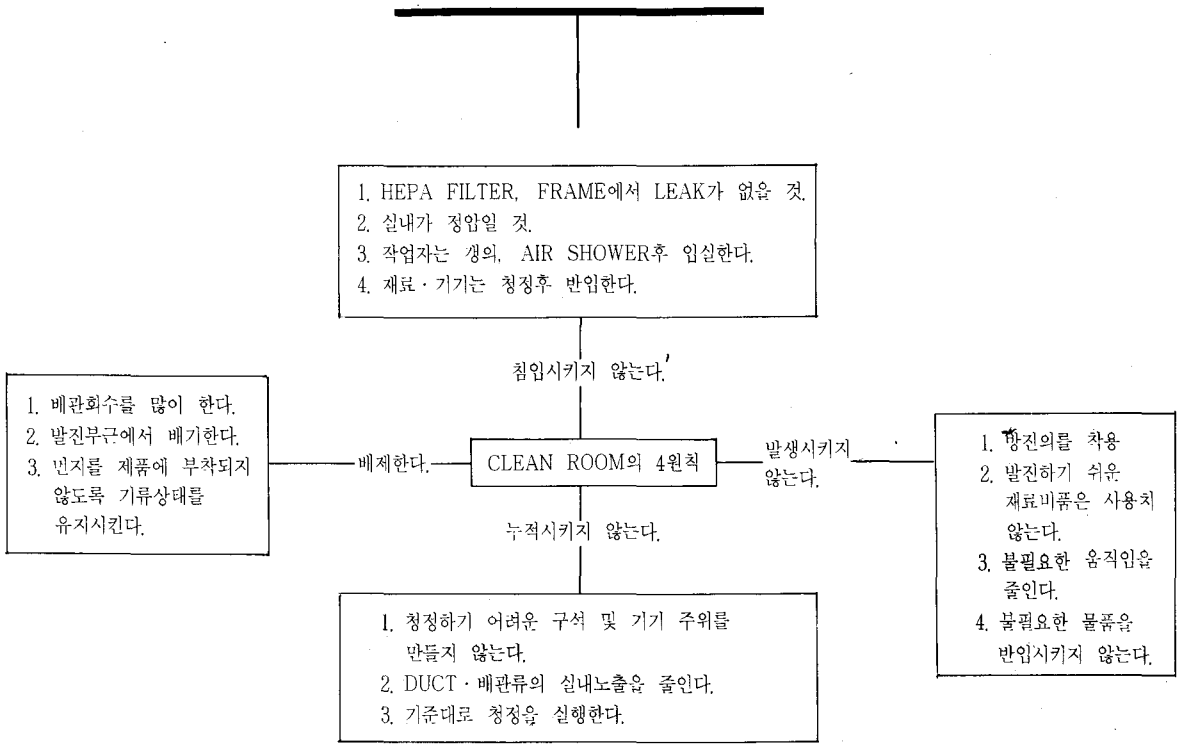
(2) 경비요소(COST)

① 초기투자의 최적화

② 운전경비(RUNNING COST)의 저감

(3) DELIVERY

① 품질유지를 위한 적절한 공기



<그림 1> 클린룸의 4원칙 및 그 대책[1]

② 공기를 단축할 수 있는 시스템의 도입

(4) 안전요소(SAFETY)

① 공해대책, ② 노동재해대책, ③ 일반재해대책, ④ 천재대책, ⑤ 안전하고 쾌적한 작업환경 확보

이상과 같은 항목들을 충분히 고려하여 기본설계에 임하여야 하며 또한, 클린룸의 계획 및 설계시에는 클린룸의 4원칙인 분진의 발생, 유입, 축적을 적극적으로 방지하여야 하고, 발생·유입·축적된 분진은 신속히 제거될 수 있도록 하여야 한다. 이들 클린룸의 4원칙과 그에 따른 대책을 <그림 1>에 나타낸다.

2) 반도체 클린룸의 시스템별 선정

클린룸의 발달은 필터의 제작기술과 함께 공조방식의 발달이라고 해도 과언은 아닐 것이다. 클린룸의 공조방식은 초창기의 난류방식인 AHU(Air Handling Unit) 방식으로부터 현재의 FFU(Fan Filter Unit) 방식에 이르기까지 여러단계를 걸쳐 발전하여 왔으며, 장래의 무인자동화된 클린룸을 만들기 위하여는 계속적인 시스템 개발이 이루어져야 할 것이다. 본절에서는 주로 반도체 클린룸에 적용되고 있는 층류형 클린룸 시스템을 비교 분석함으로써 클린룸의 시스템 선정시의 기초자료를 제공코자 한다. (<표 1> 참조)

(1) 오픈베이 클린룸 방식(Open Bay System)

오픈베이 방식은 턴넬방식과 함께 층류방식의 대표적인 시스템이라 할 수 있다. 천장면은 전면층류로 시스템 천장을 설치하고 제조에 직결되는 중요한 구역은 고성능 필터를 장착해 부분층류를 형성시키며, 고청정도를 필요로 하지않는 구역은 맹판과 필터를 적절히 혼합하여 설치한다. 이 시스템 설치시의 유의점은 층류역과 난류역과의 경계면에 반드시 간막이벽을 설치하여야 하며, 칸막이벽의 레이아웃은 그 명칭이 나타내는 것처럼 베이형으로 구성하는 경우가 많다.

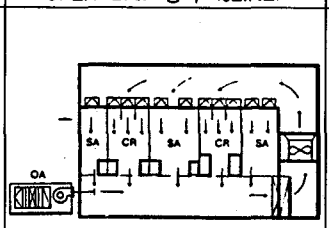
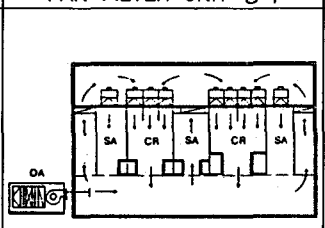
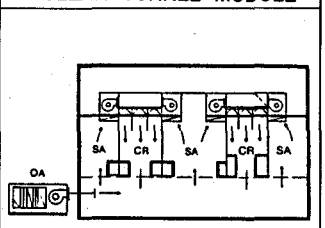
(2) 팬 필터 유니트 방식(Fan Filter Unit System)

이 방식은 각 시스템의 장점만을 취하여 개발된 방식으로 팬이 필터의 상부에 설치되기 때문에 팬룸(Fan Room) 및 기타 부대시설의 공간이 절약되며, Flexibility면에서도 우수한 시스템이라 할 수 있다. 이 방식의 특징은 필터상부의 압력이 실 내부 보다 낮기 때문에 천장면의 필터와 프레임 사이의 공기누출(Air Leak)을 줄일 수 있는 장점이 있다.

(3) 턴넬 클린룸 방식(C. T. M;Clean Tunnel Module System)

턴넬 클린룸은 기류의 형상으로 분류하면 부분층류방식과 난류방식의 혼합 또는 풍속이 다른 부분층류방식을 혼합시킨 복합방식의 클린룸이다.

〈표 1〉 반도체 클린룸의 시스템별 특성비교

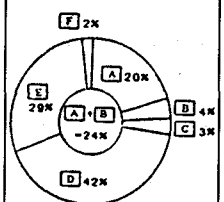
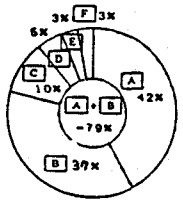
비 교 항 목	OPEN BAY 방식 (3LINE)		FAN FILTER UNIT 방식		CLEAN TUNNEL MODULE	
기 본 개 념 도						
1. 초청정도의 유지		◎				◎
2. 온·습도의 제어성	DRY COIL에 의해 일괄 제어/각 LINE 모두 동일 온도	○	DRY COIL에 의해 일괄 제어/각 LINE 모두 동일 온도	◎	각 ZONE마다 제어 가능	○
3. 미진동 대책	순환 FAN의 진동 대책을 실시	○	F.F.U의 진동 LEVEL은 낮다.	○	방진 대책 실시	○
4. 기류형상	PLENUM CHAMEER의 높이를 충분히 확보할 것	○	F.F.U1대마다 층류를 확보할 수 있다.	○	BAY별 층류 가능	○
5. 소음대책	순환 FAN에 대한 소음 대책이 필요 (COST UP)	◎	저소음형으로 대응	○	소음 대책에 한계가 있음	○
6. FLEXIBILITY	배관 변경시 자유도가 크다/순환 FAN의 능력 UP은 불가능	◎	배치 변경시 자유도가 크다/순환 풍량 UP이 가능	◎	BAY 변경이 어렵다.	△
7. MAINTENANCE	보수가 쉽다	○	SERVICE AREA 및 PLENUM 내부에서 보수	○	보수는 용이	○
8. INITIAL COST	지수 100	△	지수 100	◎	지수 90	◎
9. RUNNING COST	지수 100	◎	지수 70	◎	지수 90	○
10. 자동 반송의 적응	대응이 쉽다.	○	대응이 쉽다.	◎	대응이 불가능	△
11. CROSS CONTAMINATION 대책	각 공정을 분리하면 가능	○	각 공정을 분리하면 가능	○	각 공정을 분리하면 가능	○
12. 기계고장시의 대응	순환 FAN의 고장시는 전체 송풍량이 저하	○	F.F.U 고장시에는 다른 공정에 미치는 영향이 적다.	○	FAN 고장시에 송풍량 저하	○
13. 시공성	시공성이 좋다.	△	시공성이 좋다.	○	시공성이 좋다.	○
14. MACHINE ROOM의 면적률	15% 증가(외조기+순환 FAN)	△	7% 증가 (외조기용)	○	7% 증가 (외조기용)	○
15. 건물 층고	약 11″(R/P4.5″+C/R3.0″+S/P3.5″)	○	약 7″(R/P1″+C/R3.0″+S/P3.0″)	◎	천장내 DUCT SPACE확보	○
16. 차세대의 대응성	가능성이 있다.		가능성이 크다.	○	가능성이 작다.	△

동일 실내에서도 제조에 직결되는 중요한 구역을 부분층류방식으로 고청정화하고, 작업자의 통로구역과 같이 고청정을 필요로하지 않는 구역은 난류방식 또는 풍속이 낮은 층류방식으로 청정화하는 방식으로 유니트화한 장치를 연속적으로 연결해가는 방식이다.

3) 반도체 클린룸의 공조부하 특성

반도체 클린룸의 경우 일반사무실과는 달리 연중 냉방부하를 필요로 하며, 또한 바닥면적당의 부하밀도도 일반사무실에 비하여 5-10배 정도에 달하고 있다. 그리고 반도체 클린룸은 거의 대부분이 24시간 연속운전을 행하고 있지만 일반사무실의 경우 재실시간중(약 8-10시간)에만 운전을 하고 있으므로, 실제의 연

〈표 2〉 반도체 클린룸의 공조냉방부하 특징[2]

	일반사무실	IC공장용 클린룸
① 냉방부하밀도 (바닥면적당)	80~130Kcal/h·㎡	600~800Kcal/h·㎡
② 운전시간	8~10시간	24시간
③ 냉방부하(피크) 구성비율 A 외기부하 B 생산장치부하 C 팬/펌프동력 D 구조체부하 E 조명인체부하 F 기타		

간 냉방부하량은 상당한 차이를 나타낸다.

피크시의 냉방부하의 구성비율은 〈표 2〉에 나타나듯이 일반사무실의 경우 구조체부하 및 인체·조명부하가 전체부하의 약 70% 이상을 차지하는 것에 비하여, 반도체 클린룸은 외기부하 및 생산장비 부하가 80% 정도이고, 구조체부하 및 인체·조명부하는 10% 정도로 미미한 상태이다. 따라서 반도체 클린룸에 있어서는 외기부하 및 생산장비 부하의 절감정도에 따라 공조에 소요되는 운영경비(running cost)가 결정되리라 생각된다.

참고로 한국과 일본 각지의 8월중의 외기부하를 비교하여 보면, 강릉과 인천의 경우에는 일본의 동경이나 오오사카보다 외기에 대한 실내엔탈피 차가 작은 것으로 나타나고있다. (〈표 3〉 참조)

〈표 3〉 지역별 8월중의 외기부하 비교[2]

지명 \ △i	외기-실내 엔탈피차
강릉	8.00
인천	8.55
목포	9.40
동경	8.89
오오사카	9.29

〔주〕 8월중, 실내(23C, 45%)와 평균외기조건과의 엔탈피차 △i(Kcal/kg) 평균외기조건은 1951~1980년의 30년간 평균치 (1988年版理料年表)

3. 반도체 클린룸의 시공에 대하여

본절에서는 반도체 클린룸의 시공시의 기본적인 시공포인트와 기류의 유인현상 방지를 위한 시공례를 중심으로 서술코자 한다.

1) 기초적인 시공포인트

반도체 클린룸의 시공시에는 특히 다음과 같은 항목에 유의하여 시공에 임하여야 한다.

(1) 시공관리, 공정관리
(2) 가설 양생계획
(3) 생산장치의 반입계획에 대응할 수 있는 SYSTEM SPACE
(4) 클린룸의 기밀성확보
(5) 균일류의 확보
(6) 유언(입자침적)현상의 회피
(7) 정전기, 전자파에 대한 고려
(8) 생산장비류의 위치, 취출구·흡입구·배기 등의 위치확인
(9) 튜브, 필터 등의 교환, 청소공간의 확보
(10) 설비기기의 청소를 위한 반입과 개구부 양생
(11) Duct Seal의 실시

이상의 항목중 시공관리에서는 시공방법, 작업순서, 사용할 설비기기, 필요한 작업원의 자격·기량, 작업환경 확보를 위한 대책 등이 고려되어야 하며, 공정관리에서는 타 업종과의 작업 조정, 시공완료 시기, 수전시기의 확인, 청정화 시운전 시간의 확보, 생산장비 반입시기의 확인, 장비접속 공사기간의 확인, 생산개시 시기의 확인 등이 종합적으로 검토되어야 한다.

2) 기류의 유인현상 방지를 위한 시공 예

클린룸에서 생산장비 또는 그밖의 이유로 인하여 기류의 유인현상이 일어나고, 그에 따른 국부적인 오염이 발생되는 경우가 많다. 이를 방지하기 위하여는 다음의 3가지 점에 유의하여야 한다.

1) 클린룸내 전역에 걸쳐 큰 편류가 발생하지 않도록 할 것
2) 중요한 구역에 주변의 기류를 유인시키지 말 것
3) 일방향류의 풍속이 접근하는 분진을 배제할 수 있는 능력이 있을 것

이상의 3개항목을 작업시에 만족할 수 있도록, 기류조정을 행하는 것이 클린룸의 성능을 확보하는 중요한 요소라 할 수 있다. 그 구체적인 시공례를 살펴보면 다음의 유인현상 방지를 위한 시공 예와 같다.[3]

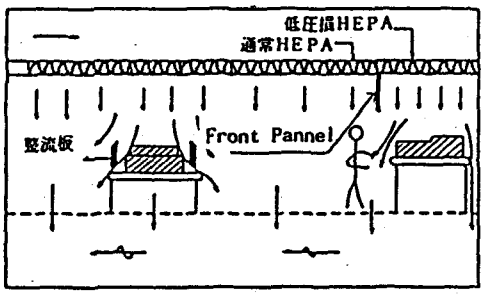
4. 차세대 클린룸의 방향과 전망

반도체 메모리소자의 집적도는 3년정도의 주기로 변화되고 있으므로 향후 이러한 추세로 발전한다고 가정을 하였을 경우, 1990년대 후반에는 64 M-DRAM 또는 256 M-DRAM의 양산이 예상된다. 이에따라 반도체 메모리의 Design rule의 최소치수도 현재 16 MDRAM에서의 0.5μm에서 향후 64 M-DRAM에서는 0.35~0.15μm정도로 초미세화되고, Wafer의 직경 또한 12 inch로 점점 대구경화되며, 에칭(Etching)은 Wet system에서 Dry system으로 이행되리라 예견되고 있다. 이와같은 반도체 메모리의 집적도, Design rule, Wafer구경, 에칭방법, 사진공정에서의 노광법 등의 연대별 동향을 〈표 4〉에 나타낸다.

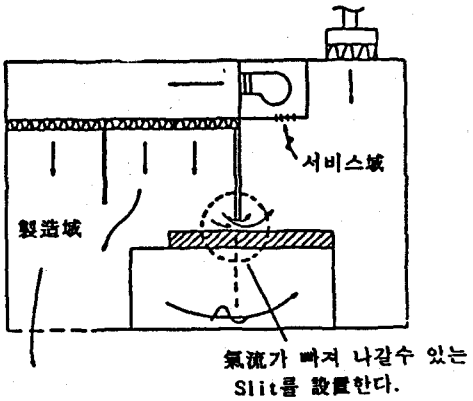
이상과 같이 반도체의 회로선 폭이 미세화되고, 재

〈유인현상 방지를 위한 시공 예〉

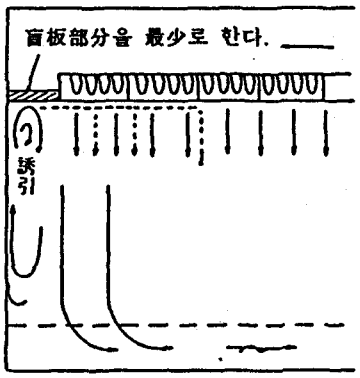
① 작업자의 발진을 방지하는 대책



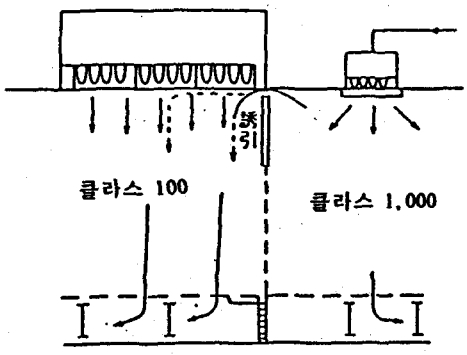
② 제조장치가 Partition을 관통할 경우



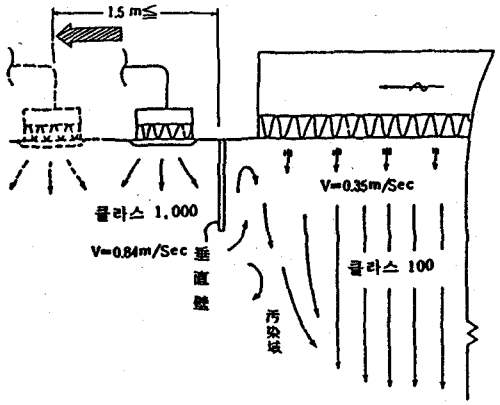
③ 벽체 사이의 맹판부분이 클 경우



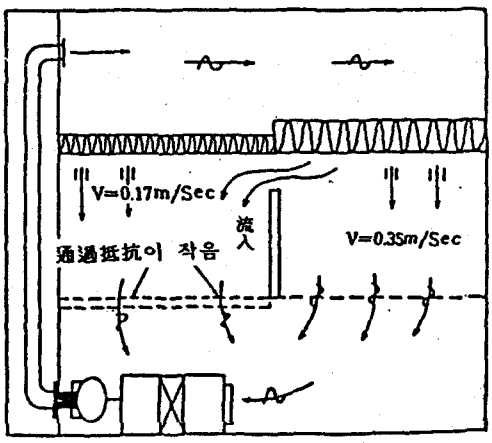
④ 수직벽의 이음매에 틈새가 있는 경우



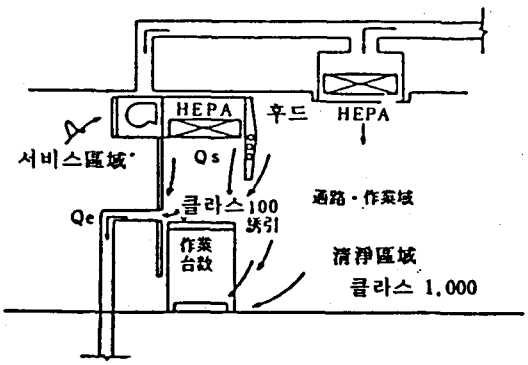
⑤ 층류역과 난류역의 경계면



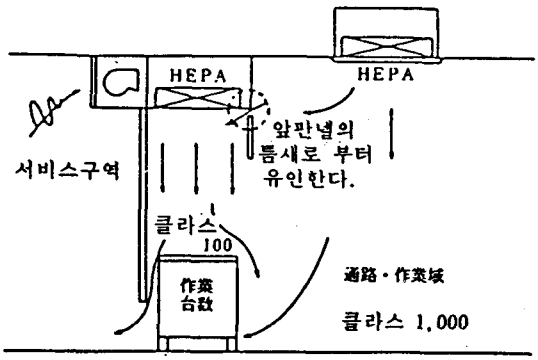
⑥ 수직층류식의 바닥면 통과저항이 다를 경우



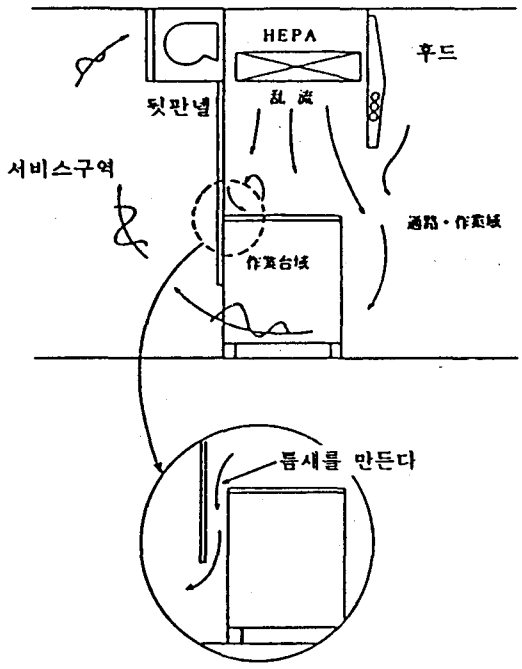
⑦ 제조장치의 배기량이 많을 경우



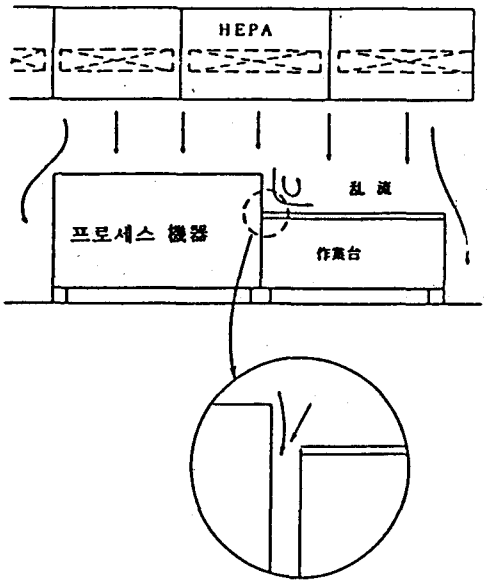
⑧ 청정화 후드의 앞판넬에 틈새가 있는 경우



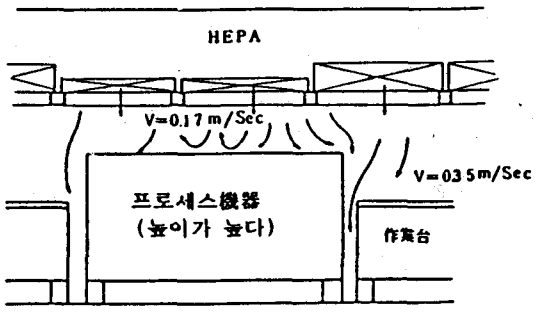
⑨ 제조장치와 뒷판넬이 밀착되어 있는 경우



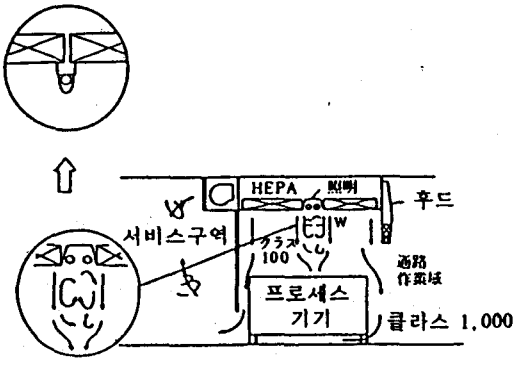
⑩ 프로세스 기기 간의 설치간 폭이 작고,
단차가 있는 경우



⑪ 프로세스 기기 또는 작업대가 높은 경우



⑫ 청정화 후드의 천정면에 조명을 설치한 경우



〈표 4〉 반도체 관련기술의 발전동향[4]

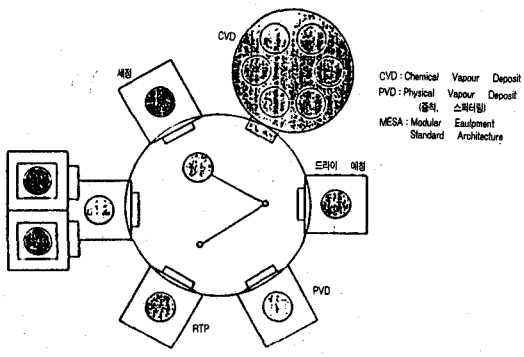
DRAM	1Mbit	4Mbit	16Mbit	64~256Mbit
Design rule 최소 치수	1.3㎛ 1.0㎛ 0.5㎛	0.8㎛ 0.6㎛ 0.35㎛	0.5㎛ 0.4㎛ 0.25㎛	0.35㎛~0.25㎛ 0.25㎛~0.20㎛ 0.20㎛~0.15㎛
Wafer 직경	6inch	6~8inch	8inch	12inch
Device 실효 channel Junction 깊이	CMOS화 1.0㎛ 0.25㎛	Trench 분리/ Capacitor 0.6㎛ 0.26㎛	복합 CMOS화 0.35㎛ 0.15㎛	 0.25㎛~0.20㎛ 0.10㎛~0.07㎛
Etching	전면 RIE 도입	Si trench 기술	전면 매엽화	중성계 반응 프로세스
Lithography	축소투영로광법 다층 resist		EB 직접 X선 로광법	
양산 개시	1986	1989	1992	1995~1998

어 대상 입경의 직경도 회로선쪽의 1/10 정도로 요구되고 있으므로, 이에따른 클린룸내의 환경도 보다 엄격하게 제어하지 않으면 안된다. 향후 예상되는 반도체 클린룸의 기본조건을 환경요소별로 살펴보면 〈표 5〉와 같다.

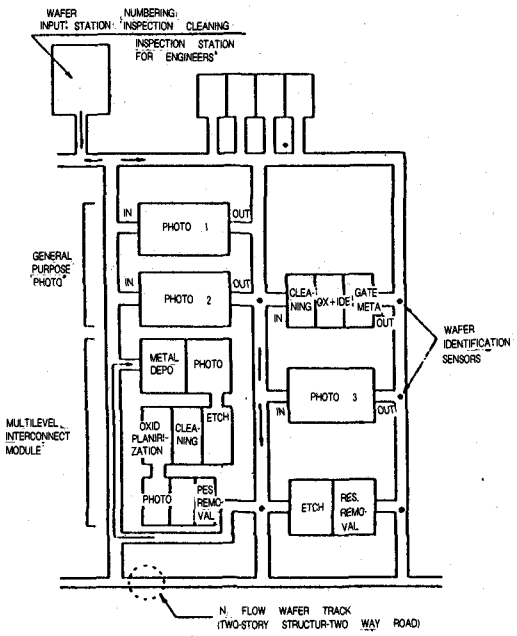
〈표 5〉 향후 반도체 클린룸에서의 환경조건

항 목	기 본 성 능 조 건	
청 정 도	PROCESS AREA : CLASS 1(0.05㎛) SERVICE AREA : CLASS 100(0.1㎛)	
미량가스성분	NO_x, SO_x, HC 등의 제어	
알카리금속 중 금 속	알카리 금속이온(Na, K)의 제어 중금속 이온(Fe, Ni, Cu)의 제어	
온 습 도	실내환경	23± 0.5℃ (평면분포) 온도 : 23± 0.2℃ (시간분포)
	항온항습 챔 버	습도 : 45± 3% (시간분포) 설정치±0.02℃(평면분포) 온도 : 설정치±0.01℃(시간분포) 습도 : 변동폭± 1% (시간분포)
압 력	클린룸과 일반실과의 차압 : ±1.5~3.0㎜Aq 절대압력 : 대기압 변동 보정	
기 류	실단면속도 : 0.25~0.3m/s±20% 필터 취출속도 : 0.3~0.35m/s±20% 편류각도 : 14℃ 이내	
정 전 기	Wafer 대전 5V 이하 구두부터 바닥에 종합누전 저항치 $10^5\Omega$이상 $10^8\Omega$이하 내장마감재 표면고유저항 $10^8\Omega$/□이하	
전 자 계	EB 노광기 AREA 변동치 1mG(Gauss)이하 상기외일반 AREA : ?	
진 동	WET., SEM. 구역 : 0.2um 이하(3~50Hz) 그외의 구역 : 0.5um 이하(3~50Hz)	
소 음	60dB(A) 이하	

그리고 현재의 16 M-DRAM에서 2,000년대 초반에는 1 G-DRAM의 출현이 예상됨에 따라, 반도체 회로선폭의 미세화와 Device구조의 복잡화는 더욱 가속화되리라 사료된다. 따라서 클린룸시스템도 장치의 밀폐화, 자동화, 무인화를 통하여 초청정을 실현함과 동시에 최적설계를 통한 에너지 절약을 도모하여야 할 것이다. 이와같은 관점에서 최근에는 1 Giga 시대에 대응한 클린룸시스템으로서 〈그림 2〉의 멀티챔버 방식과 〈그림 3〉의 개별챔버방식 등이 소개되고 있다.



〈그림 2〉 멀티챔버 방식의 개요[5]



〈그림 3〉 개별챔버 방식의 개요[5]

5. 향후의 과제

본고에서는 반도체 클린룸의 설계·시공과 향후의 발전방향에 관해 간략히 서술하였으나 이를 달성하기 위하여는 많은 과제가 산적하여 있다고 사려된다. 우선 초청정공간을 평가할 수 있는 계측기술과 평가기술이 확립되어야 하며, 아울러 초청정공간을 제공하기 위한 필터기술의 발전이 중요한 과제라 할 수 있다. 또한 청정도 이외에 생산품의 수율에 관련된 것으로 Wafer분위기(분위기 가스의 저레벨화, 성분조성공기, 질소, 진공분위기화), 정전기의 제거, 기압의 안정화, 전자파의 대책 등도 향후 해결하여야 할 과제이다. 이상의 것들을 해결하기 위하여는 각각의 요소기술별로 체계적이고 지속적인 연구가 필요하며, 이들을 해결함에 있어 에너지 절약 및 최적설계를 통한 경제적인 클린룸을 건설한다는 기본적인 개념을 잊지말아야 할 것이다.

참고문헌

(1) (사)일본 공기청정 협회편, "CLEAN ROOM HANDBOOK", P75, 1989. 1
(2) Fukada Kouji, "초청정공간의 설계·시공에 관하여", 전문가 초청 클린룸 강연회지, P25, 1991. 5
(3) Hashimoto Takayoshi, "Ultra Clean Technology", 반도체 기반기술 연구회편, P178-195, 1991. 2
(4) Hayakawa Ichiya, "Super Clean Room의 현상과 문제점", 공기조화와 냉동, Vol. 10, P37, 1986
(5) Katho Yutaka, "일본에서의 클린룸의 최신동향", 전문가 초청 클린룸 강연회지, P11-12, 1991. 5

에너지를 절약합시다(가정편)

노후보일러를 교체하자

보일러가 노후하다고 판단될 때는 (70%효율이하) 절대로
가동을 하지 말고 교체하거나 개선하는데 투자하여야 한다.

● **효과분석**

○ **저효율 보일러대체시 효율에 따른 기대효과**

용량(T/h) \ 효율(%)	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88	기준 효율
0.5 미만	16.7	14.3	11.9	9.5	7.1	4.8					84
0.5 ~ 1.0	17.6	15.3	12.9	10.6	8.2	5.9	3.5				85
1.0 ~ 3.0		16.3	14.0	11.6	9.3	7.0	4.6				86
3.5 ~ 5.0			14.9	12.6	10.3	8.0	5.7	3.4			87
6.0 ~ 10.0				13.6	11.4	9.1	6.8	4.5	2.3		88
12.0 ~ 20.0					12.4	10.1	7.9	5.6	3.4		89
20.0 이상						11.1	8.9	6.7	4.4	2.2	90

※ 열효율 80%인 5t/h보일러를 형식승인기준보일러인 효율 87% 보일러로 대체시
해당 5t/h보일러에서 소비되는 연료량의 8%가 절감됨.