

반도체 공업에 있어서의 CLEAN TECHNOLOGY

한국기계연구소
(공기조화연구실)
선임연구원 조상준

1. 서론

산업의 발달에 따라서 정밀화 되어가는 제품의 성능향상을 위한 노력으로 시작된 clean technology는 공기중의 오염은 물론, 물, 화학약품 등의 액체상 물질내의 청정과 고체의 표면에서의 청정도도 유지해야만 하는 때가 되었다.

Clean technology가 가장 일찍부터 필요로 되어 가장 많이 사용되고 있는 산업은 전자산업이고, 그 중에서도 특히 반도체 공업이다. 따라서 현대의 초청정기술은 반도체 공업은 물론이고 식품공업, 약품공업 등의 bio-clean room에도 도입되어 큰 성과를 얻고 있는 것은 물론이거니와, 특히나 반도체 분야에서 눈부신 발달과 함께 그 몫을 단단히 하고 있다. 따라서 본문에서는 여러가지 다양한 분야중에서 반도체 산업을 중심으로 간단히 검토해 보고자 한다.

1940년대에 미국에서 트랜지스터가 탄생한지 40여년이 지난 최근 몇년 사이에 반도체는 높은 직접도, 소형화 및 신뢰성의 향상에 의해서 그 응용분야가 급속하게 넓어졌고, 이에 따라서 그 수요도 급속하게 성장되었다고 하는 것은 새삼스럽게 말할 것 까지도 없을 것이다. 반도체는 그림 1에 나타낸 것과 같이 여러가지 종류가 있는데, 최근 반도체 수요의 주류는 그 중에서도 직

집회로중의 반도체 IC이며, 반도체라고 하면 대부분 이 반도체 IC를 의미할 정도로 되어 있어서, 바야흐로 이것이 산업화의 쌀이라고 불릴 정도로 모든 기술분야에서 필수 불가결한 부품이 되었다. 반도체의 중요한 용도는 완구, 오디오 제품, 전화, 에어컨 등의 가전제품으로 부터 초대형 전자계산기, 그리고 자동차, 정보통신시스템 등에 이르기까지 우리생활의 거의 모든 제품이나 기계류에 그 응용 분야가 걸쳐 있다고 하여도 과언이 아니다. 이러한 반도체 기술의 발달에 따라 클린룸에서도 공기중 먼지입자의 제거대상 입격을 종래의 0.5-0.3 μm 정도로 부터 0.1 μm 이하로 할 것이 요구되게 되었고, 따라서 종래의 클린룸보다 더욱 깨끗한 수퍼 클린룸의 필요성이 증대되었다. 이러한 클린룸은 초기에는 생산라인의 clean

room내 설치라는 건축기술이 중심이었다. 그러나, 현재 초LSI 제조공정에 있어서는 건축기술은 물론, 초순수 제조기술등 각종 기술의 복합기술로서 total clean engineering이 필요하게 되었다. 각종 clean technology의 하나하나가 생산활동에 영향을 미치고, 낮은 청정도레벨에 전체 작업공간이 지배되기 때문에 total로서 engineering 기술이 문제된다. 반도체공업에 있어서 clean technology의 요소를 보면, 환경(environment), 재료(material), 반도체 제조장치(equipment), 작업자(people)로 크게 4분야로 나눌 수 있다. 이 분야별로 현상과 과제에 대해서 간단히 고려해 보고자 한다.

2. 환경(Environment)

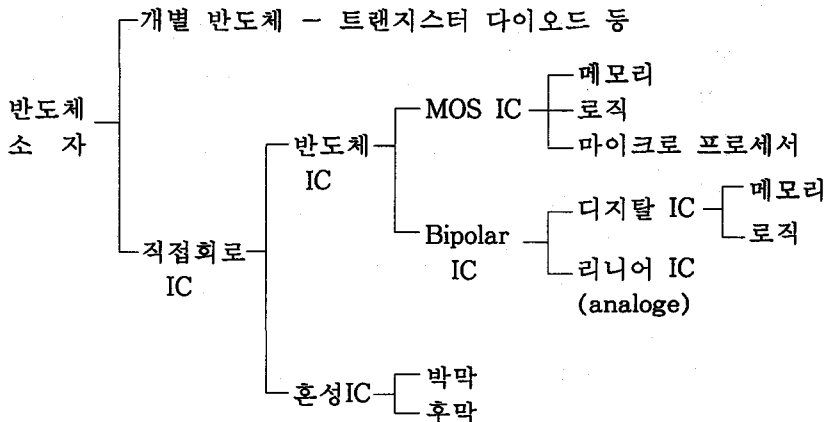


그림 1. 반도체 소자의 분류

1) Clean level

반도체 IC의 미세화, 고집적도화에 따라서 IC의 패턴치수는 수 μm 정도로부터 차츰 $1\mu\text{m}$ 정도로 급속하게 미세화 되어가고 있다. 또한 이와 같은 고집적도화와 함께 웨이퍼의 대구경화, 제품 수율의 향상을 위해서 새로운 제조기술도 도입되어가고 있다.

현재 IC회로선폭의 1/10이상 크기의 미립자가 IC생산에 있어서 수율에 영향을 미친다고 알려져 있다. ASIC에서는 회로선폭 $1.2\mu\text{m}$ 가 대부분인 것으로 생각되나, DRAM에서는 $0.8\mu\text{m}$ 가 중요하고, 이미 $0.5\mu\text{m}$ 의 실용화가 시작되었다. 그 1/10 크기의 미립자가 control되어야 할 최소직경이다. 표 1에 이것을 정리했으나, 환경조건으로서 요구되어 clean level은 그 입경 이상의 dust가 0-1개/(ft³ or m³)이하이어야 한다. 또,

표 1. DRAM용량에 제거대상미립자

메모리 용량	1M	4M	16M	64M
설계기준	$1.2\mu\text{m}$	0.8	0.5	0.3
마스크매수	12매	15	17	20
process step수	150공정	200	275	350
최소 제거대상 미립자	$0.1\mu\text{m}$	0.08	0.05	0.03

mask매수 및 step수의 증가경향은 1M→4M →16M→64M로 발전되어 가고, clean room 및 제조장치내에서의 wafer의 체류시간 증

가와 clean level에 따른 수율에 영향이 클 것으로 생각된다. 최근의 고집적 LSI의 프로세스 완료후에 불라의 분류를 보면 패턴 결함의 비율이 아주 크며, 이러한 결함은 여러가지 크기의 에어로졸 입자에 의한 것으로 판단된다. 이러한 에어로졸은 아주 작은 크기의 것일지라도 결함의 원인이 될 수 있으며, 대부분 photo mask 공정이나 패턴의 결함에 의해서 배선사이의 단락이나, 단선 또는 배선의 가늘어짐에 의한 저항증가를 유발시킨다. 또한 epitaxial 성장에서의 적층결함, 이상돌기, 금속이나 폴리실리콘배선의 단선이나 이상, CVD 막 형성에서의 이상돌기, 산화막상의 편홀 등의 발생원인이 된다. 이들 미립자 부착의 발생원과 내용은 표 2에 나타내는 것과 같이 다종다양해서 클린룸내와 제조장치내의 양자에 있으며, 웨어퍼 표면에 부착하는 것을 분류하면 표 3과 같이 작업자로부터의 발전에 의한 것으로 예측되는 것이 아주 많은 것을 알수 있다. 이를 종합하여 반도체 클린룸내에서 발전원은 경험적으로 보면 대략

대기 : 5~10%

공정 : 20~30%

utility : 5~10%

장치 : 20~30%

인체 : 30~40%

라고 할 수 있고, 공정과 장치 작업자로 부

표 2.오염의 내용

	미립자의 부착	막의 형성
① 웨이퍼 자체	연마로부터의 잔존 실리콘먼지, 파손·긁힘에 의한 실리콘 먼지	
② 청정장치 누설	대기중의 먼지	
③ 작업자	비듬, 피부이탈물, 침(타액), 화장품, 사설, 종이, 대기중먼지의 지입	
④ 장치·접촉기구	기계마모부로부터의 금속분, 금속등과의 접촉, 도장의 벗겨짐, 드레인의 역류, 분위기중의 먼지, mist, 포토레지스트 비말	
⑤ 처리가스	가스중의 미립자 배관내·밸브에서의 발생 먼지	RIE등에서의 기재원의 spatter 막, 가스의 표면흡착
⑥ 고온영역	프로세스관, 포토의 지입먼지, 포토의 이동에서의 마모먼지, 포토레지스트 조각 회분	
⑦ 처리용약품	약품중에 부유하는 미립자, 증발잔사(약품중의 용존불순물·반응생성물)	이온·분자의 표면흡착, 출금속막(Cu, Au 등), Native Oxide막, 녹의 막, 포토레지스트 분해잔막
⑧ Rinse 용 순수	박테리아등 미생물, 콜로이드류	Native Oxide막, 제어불량한 순수계로부터의 유막
⑨ 액처리용기구	기벽부착 미립자	(기벽에 흡착된 약품의 용출에 따라 약품순수의 순도저하로 생기는 막)
⑩ 공기		Native Oxide막, 오염가스에 의한 녹의 막

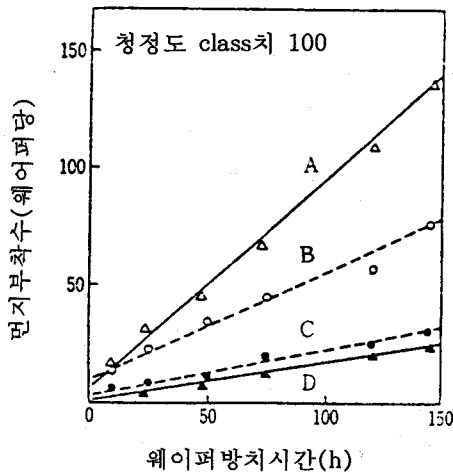
②③④⑩:클린룸 내

⑤⑥ : 처리노내

⑦⑧⑨ : 처리조내

터의 오염 비중이 매우 큼을 알 수 있으며, 이부분에 대한 철저한 관리가 요망된다. 그림 2는 포토레지스트 공정에서 제품에 부

착하는 미립자의 경시변화를 나타낸 것인데 작업자가 있는 경우가 자동처리의 경우에 비해서 상당히 많음을 알 수 있다.



A,B : 키보드의 근변이나 현상검사개소
C,D : 웨이퍼가 자동처리되고 있는곳

그림 2. 클린룸내 입자부착량의 경시변화

표 3. 웨이퍼 표면의 부착물의 분류에

부착물의 종류	개수	비율 (%)
인체분비물(비듬, 땀등)	23	46
섬유물(무진의, 내의등)	4	8
spray재(치공구, 청소용)	2	4
잔존 레지스트 편	6	12
Si파편, 석영분말	11	22
기타(막의 이상성장 등)	4	8

(주) 표면부착물의 분류는 형광현미경법으로 하였다.

표 4. 성능 목표 수준

환경기술 LSI집적도	고청정도	항온항습	저진동	정전기제거	비고 (최소회로선폭)
16 K bit	0.3~0.5 μ m 100개/ft ³ 이내	21-25 \pm 0.5 $^{\circ}$ C 35-60%RH	전주파수대에서 5-6 μ m	-	5 μ m
64 K bit	0.2~0.3 μ m 10개/ft ³ 이내	21-25 \pm 0.5 $^{\circ}$ C 45 \pm 5%RH	저주파수대에서 2 μ m이	피청정물체의 대전(정전기)을 중화	2 \pm 0.2 μ m
256K bit	0.1~0.2 μ m 50-100개/ft ³ 이내	21-25 \pm 0.5 $^{\circ}$ C 45 \pm 5%RH	전주파수대에서 1 μ m이		1.5 \pm 0.1 μ m
1 M bit	0.05~0.1 μ m 10개/ft ³ 이내	21-25 \pm 0.5 $^{\circ}$ C \sim \pm 1 $^{\circ}$ C 43 \pm 3%RH	"		0.8 \pm 0.08 μ m

이와 같은 미세화 기술의 진보에 대해서 생산이나 연구의 현장인 실내환경을 될 수 있는한 균일한 상태로 유지해야만 하는 불가피성에 당면하게 되었다. 제조프로세스등에 영향을 미치는 실내 환경조건으로서는 공기, 물, 약품, 생산가스, 열, 진동, 정전기 등이 특히 중요한 항목으로서 취급되어가고 있다. 이들 항목에 대해서 최근의 LSI, 초LSI의 제조 공정에서는 표 4에 나타낸것과 같은 조건 유지가 목표로서 알려져 있다. 초LSI제조공정에서 특히, 정밀한 환경조건의 유지를 필요로 하는 곳은 레지스트 도포, 마스크 맞추기, 노광 공정, 에칭의 각 공정이다.

2) SCR (Super Clean Room)

Clean room system을 크게 나누어 보면 난류방식과 층류방식의 2가지 방식이 있다. 초기에는 class 100(at 0.5 μ m) 정도의 유지 가능한 난류 방식이 주로 건설되었고, 그후 pattern size의 축소에 따라 수직층류방식이 개발되어 class 1(at 0.1 μ m)이 가능하게 되었으며, 주류를 이루었다. wafer 처리라인에서는 수직층류방식이 채용되었고, maintenance 부분 및 stock 부분에서는 난류방식등 2가지 시스템병용방식을 이용하고 있는 공장이 많다. 이와같은 SCR내의 반도체 제조공정이 여러가지 공정으로 이루어져 있다는 것은 주지의 사실이고, 이러한 각각의 공정은 요구 청정도가 각기 다르기 때문에 가장높은 청정도를 요

구하는 공정에 맞추어 클린룸을 건설함으로써 오는 경제적 손실을 고려하여 필요한 부분만을 필요한 청정도로 유지하는 국부청정방법을 채용하는 곳이 급증하게 되었다. 즉, clean bench, clean booth, clean tunnel, clean tube 방식등이 그것인데 clean bench나 clean booth는 하위의 청정도로 건설된 클린룸내에서 국부적으로 필요한 부분만을 상위의 청정도로 유지하기 위해서 clean bench나 clean booth를 추가로 설치운영하는 것을 말한다. 이 방법은 가장 간단하게 설치 운영할 수 있다는 것이 특징으로서 시설을 운영중이라도 부가적으로 필요에 따라서 설치운영할 수 있을 정도로 flexibility가 좋은 방법이다. clean tunnel방식은 초LSI 제조프로세스 부분의 천정을 제조라인의 작업에 허용되는 전범위 내에서 그 높이를 낮추어서 다른 곳에서 발생한 오염원을 포함하지 않는 청정한 공기를 직접 HEPA filter로 부터 토출해서 작업구역에 도달시키는 것을 목적으로 하는 것이다. 표 5에 전면하향류형과 클린터널형과의 성능 비교를 나타냈다. 기류형상들에 대해서는 연구가 진행되고 있다.

클린터널방식에서 현재 문제점으로 되어 있는 것을 두세가지 들어 보면,

- ① 작업구역의 청정도 class와 기류방식
- ② 작업구역과 클린터널부와의 경계면에서

표 5. 전면수직 종류방식과 턴넬유니트방식의 비교

비 교 항 목	전 면 수 직 종 류 방 식	턴 넬 유 니 트 방 식
청 정 도	<ul style="list-style-type: none"> ○비조업시에는 실내 전역에서 최고 청정도 ○조업시 청정도는 장치의 배치와 혼재 정도나 재실인원수에 따른다. (특히 장치류에 의한 기류의 산란에 요주의) 	<ul style="list-style-type: none"> ○텐넬 바로 밑에서 최고 청정도 ○조업시 작업구역으로부터의 기류의 유입에 따른 텐넬부분의 오염에 대해서는 각각의 장치에 알맞는 대책(전면의 내림벽, 후부판넬의 흡입구등)을 세우기 쉬우므로 유리 ○작업구역의 청정도는 난류방식으로 하면 Class 1,000정도(텐넬부분의 기류를 산란시키지 않도록 요주의)
용 통 성 (flexibility)	<ul style="list-style-type: none"> ○장치의 교환이나 배치의 변경, 배관, 덕트의 접속이 쉽다.(특히 바닥 접근부(free access)의 높이가 충분하면 변경을 고려해서 유틸리티 배관을 미리 설치할 수 있고 작업공간도 취할수 있다) ○소규모의 변경은 작업중에도 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ○교환이나 변경하는 장치의 크기나 모양에 따라서 제약이 있다. ○치수, 후부판넬이나 지지구역의 배관과의 관계등에 따라서 변경공사는 쉽지 않다.
작업성, 보수성	<ul style="list-style-type: none"> ○칸막이가 없으므로 작업·이동이 자유롭다. ○큰 공간이므로 심리적인 스트레스가 적다. ○보수성은 문제없다.(free access의 높이가 충분할 것) ○자동반송시스템의 적용도 쉽다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○사람과 물건의 동선계획이 좋고 공간이 있으면 작업성에 문제가 없다. ○보수성은 문제없다(지지구역의 공간이 충분할 것) ○자동반송시스템도 적용할 수 있다.
화 학 약 품 의 냄새, 격벽	<ul style="list-style-type: none"> ○세정, etching등의 공정이 격벽없이 있으므로 화학약품의 냄새나 이에 의한 부식의 영향이 확대되어 생산장치에도 미칠 가능성이 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> ○공정마다 별실로해서 확실하게 구분(zoning)할 수 있다.

비 교 항 목	전면수직층류방식	터널유니트방식
진동, 내하중	○2층바닥(raised floor)을 충분히 긴 고한 것으로 하지 않으며 진동, 내하중 모두 문제가 있다.	○일반적으로 RC구조를 채용할 수 있으므로 대처하기 쉽다. ○건물과 관련이 없는 독립구조를 만들기 쉽다.
운 전 비	○층류부분의 면적이 크기 때문에 순환풍량이 많게 되고 송풍동력비도 극히 많이 든다. ○일반적으로 층류부분은 24시간 운전이고 그위에 동력비가 많이 든다.	○층류부분은 터널뿐이고 순환풍량이 상대적으로 적은 것만큼 송풍동력비도 적게 든다. ○터널유니트마다 미세하게 송풍의 조절이 가능하므로 동력비도 적게 든다.
설 비 비	○극히 많이 든다.	○상당히 많이 든다.(전면 수직 층류 방식에 비해서는 적게 든다)

주)교본효회 : 슈퍼클린룸의 시스템과 제어, '83클린테크놀로지 심포지움(교재)

(사)일본능률협회. pp. 1-19, 20, 1983.9로부터 작성

의 부유미립자의 확산

- ③ 흡입구의 위치에 의한 클린터널내의 기류형상의 변화
- ④ 배기계통을 갖는 제조라인에서의 기류형이라 할 수 있다.

앞에서 언급했던 바와 같이 초LSI 제조공정에서 인체로부터의 발전에 의한 오염의 영향이 매우 크기 때문에 제조라인과 작업자를 격리시키는 방향이 더욱 바람직하다. 국소 공기청정장치와 제조장치를 완전히 케이싱속에 넣고 완전 자동화에 의해서 완전히 격리해 버리는 clean tube 방식도 제안되어 있다.

이러한 방식의 하나로 최근에 개발된 방법으로써 SMIF(Standard Mechanical Interface)방식이라고 하는데, 제조장치 케이싱(canopy)의 웨이퍼 카세트를 출입시키는 전용의 슬라이드 칸막이(Interface Port)를 가진 밀폐식의 작은 케이스를 이용해서 웨이퍼의 보관, 이송, 제조장치로 싣고(load) 내리기(unload)에 있어서도 작업자는 웨이퍼에 접촉하는 일이 없고 하위의 청정공간내에서 작업할 수가 있도록 되어 있다. 이와같은 방식은 웨이퍼 처리공정만을 청정화 하는 것을 목적으로하고 있는데 초청정공간의 형성을 위한 초기비용

은 적지 않을 것으로 예상되고 있으나 운전비의 대폭적인 축소로 경제성은 크다고 볼 수 있으며, 제조장치 내에서의 발전에 대한 대책등 앞으로의 연구에 기대해야할 기술적인 문제도 있을 것으로 생각된다.

- 초고성능 필터 -

고성능필터로서 HEPA(High Efficiency Particulate Air)필터가 1958년경부터 군사적인 목적으로 개발되어 입경 $0.3\mu\text{m}$ 이상의 미립자 control이 가능하게 되었다. HEPA 필터를 사용하여 근래에 까지 class 100 정도의 청정공간 확보에 활용되어 왔으나, 반도체 등 첨단제품기술의 급속한 발달에 따른 필요성으로 ULPA(Ultra Low Penetration Air)필터가 1980경에 개발되어 입경 $0.1\mu\text{m}$ 미립자까지 제어가 가능하게 되었다. 현재 반도체공업은 4M DRAM를 양산하고 있으며, 16M DRAM의 양산시작품생산이 개시되었기 때문에 입경 $0.05\mu\text{m}$ 의 분진제어가 필요하게 되었다. ULPA 필터의 사용으로 입경별 포집효율면에서 보면 대응은 가능하다고 생각되나, 청정한 공간을 확보하기 위해서는 ULPA 필터에 도달되기 전에 오염공기의 오염정도를 낮추기 위한 전치필터의 사용이 뒤따라야 하고, 그 전치필터의 성능도 높은 것으로 선정하여야 한다. 따라서 공급되는 공기에 의한 에너지의 손실이 증대되고 시스템의 복잡화, 설비 유지관리비

의 증대 또한 간과할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 세계의 필터제조자들은 필터의 효율 향상과 압손의 최소화 연구에 전념하고 있다. 그 결과 현재 mini pleat type, dimple type의 우수한 필터들이 개발되었으나 아직도 연구개선의 여지는 있으며, 우리나라도 이 부분의 연구에 힘을 쏟아야 할 때이다.

미립자 계측의 부문에서는 $0.01\mu\text{m}$ 이하의 미립자 계측정도가 CNC등의 측정장비가 개발되어 시판되고 있으나 현재로써는 불충분하고 계측기의 계측효율향상 연구가 서둘러져야 한다.

생산환경으로써 상기의 수직층류방식과 ULPA필터의 채용에 따라 CLASS 1(at $0.1\mu\text{m}$)이 유지가능하고 SCR로써 건설되게 되었다. SCR이라고 부르는 것은 입경 $0.1\mu\text{m}$ 의 미립자에 대해서 CLASS 1에서 10으로 오염제어 가능한 클린룸이고 1M DRAM에 대응하는 청정도 이상의 공장에 건설되고 있다. 현재 일본에서 SCR를 가진 공장은 24개소로 추측된다. 환경제어기술로써 SCR에 필요로 되는 주요사양을 표 6에 정리했다. 클린룸 내부는 항온, 항습이 유지되어야 함은 물론이며, 특히 wafer 및 생산장치에 대해서 중요하다. 또 미진동대책은 제조공정 라인의 성능향상에 맞추어 점점 중요하다고 생각된다. 정전기대책은 기술적으로 불

명료한 점도 있지만 도전성 재료의 사용에 따라 현재는 문제가 적어졌다. 단 앞으로

클린룸은 결로 문제, 에너지 절약 대책 등에서 저습도를 중심으로 제어될 것으로 생각되기 때문에 확실한 정전기대책이 필요하다고 본다.

표 6. SCR의 주요사양(1-4M 대응)

Clean level	0-1개/ft ³ 이하(ar 0.1 μ m)
온도	23°C \pm 0.1°C
습도	45% \pm 2%
미진동	한복판 0.5 μ m이하, 가속도 0.5gal이하
대전압	50V 이하
소음	65db 이하
실압	2.5mmAq
기류	downflow 0.5m/s
자장변동	1mG 이하

3) Layout

최근 반도체 공장 클린룸의 온습도 조건 및 공기청정도는 표 7에 표시된 값이 평균적인 값이다. 사용자의 사고방법에 따라서 21~27°C의 범위에서 조건이 다르지만 표의 값은 평균적인 설계조건 고려치이다. 사진제판 공정의 노광공정에 적용한 \pm 0.1°C의 정밀온도제어는 최근에는 노광공정의 전 공정에 넓게 적용되는 경향이 있다. Service

표 7. super clean room의 실내환경 조건(반도체소자 제조프로세스)

환경 항목	실의 환경	최고정도부분	적용장소의 예
온도	22 \pm 1.5°C	\pm 0.1°C	mask aligner, 측정기주변
상대습도	40 \pm 5%	\pm 3%	maks aligner, CVD장치조변
청정도	JIS 3~4	0.1 μ m급, 10개/ft ³ 이하	photo lithography, CVD등
기류속도	0.25~0.5m/s	동 좌	층류구역
화학약품가스	검출되지 않을것	동 좌	웨이퍼 프로세스 전체
전자파의강도	80dB이하	30dB이하	전자 beam장치, 측정기조변
정전기	-	제거대책을 실시	-
건축물바닥의진동	진폭5 μ m이하	1 μ m, 1gal	스테퍼 · mask aligner, 측정기, 대부분.
약액순수중의입자농도	공중부유분진과 같은 정도	동 좌	-
박테리아	-	0	-

지역은 25°C는 현실적으로 클린룸의 재순환공기가 서어비스 지역을 통과하기 때문에 클린룸의 실온 +0.5~1.0°C의 범위에 있는 수가 많다. 확산로의 경우 웨이퍼를 노로부터 취출했을 때 그 방사열로 부근의 온도가 일시적으로 상승하는 것에 대처하기 위하여 설계조건부터 예외가 된다. 23°C, 25% RH라는 온습도 조건은 표준형 터어보 냉동기로 가능하고, 만약 설계조건이 21°C, 40% RH라면, 제습기의 사용여부로 고심을 하여야 한다. 반도체 공장에는 배기량이 많고 환기횟수가 많아 외기 부하가 특히 많기 때문에 저온 저습의 설계조건은 운전비에 큰 영향을 준다. 이렇듯 특히 반도체 제조공장 같은 SCR에서는 여러가지 제반 조건들이 까다롭기 때문에 처음 제조라인을 설계할 때부터 생산제품 종류, 등급, 작업장 면적 등에 대한 세심한 고려가 있어야 함은 당연하다. 장치 layout은 표8에 나타낸 4가지 방식으로 크게 나누어 진다. DRAM등의 소품종 대량생산이 경우와 ASIC 중심의 다품종 소량생산의 경우에는 종래 layout이 조금 다르다. 그러나 현재는 변품종변량 생산에의 대응이 필요하고 process step수의 증가로 동종장치 대수의 증가 경향이 있다. 6인치 wafer공장으로서는 클린룸 바닥면적 2000-3000m²가 대부분이었으나, 최근 약 6000m² 면적의 가진 공장이 나왔다. 8인치

공장인 경우 경제성에서 약간 적다고 생각되는데 전체경향으로써 대형화가 진행될 것으로 생각된다.

표 8. Layout

방식	적용생산	장치
Bay 방식	다품종소량생산	동종장치의 집중
Block 방식	"	"
Line 방식	소품종대량생산	공정순서대로 장치배열
Circuit 방식	"	"

4) 자동화

클린룸에서의 자동화는 생산성의 향상과 무인화에 따른 청정도의 향상을 목적으로 급속한 증가추세를 보이고 있다. 많은 클린룸용 자동화장치에는 마이크로 컴퓨터를 탑재하여 사람이 직접 조작할 필요가 없어, 최대의 미립자 발생원인 사람의 수를 줄일 수 있으므로 클린룸의 오염도 줄일 수가 있다. 이런 자동화장치는 반송능력, 위치를 정하는 정밀도, 이동속도 등 본래의 용도를 만족하는 성능을 갖고 있고, 클린룸의 오염농도에 영향을 미치지 않아야 하는 조건이 있다. 클린룸용으로 개발되어 사용되고 있는 반송장치로는 모노레일 등의 가이드 레일에 따라서 고정된 경로를 이동하는 반송장치와 비교적 자유도가 높은 차륜에 따라서 평면위를 주행하는 무인 운송차가 대표적이다. 가이드레일 반송장치는 미립자

발생을 감소시키는 방안으로 자기부상식, 공기부상방식 등도 개발되고 있다. 또 자동 조립장치는 각각의 공정에 적합하게 전용기로 제작한 장치도 많이 사용되고 있고, 범용의 지능 로봇도 사용되고 있다. 이러한 여러가지 방법을 사용하여 최근에는 반도체 공장에서 자동화 기술이 대폭 향상되어 수율향상에 많은 성과를 가져오고 있다. 또, 이러한 잇점 이외에 자동화에 따라 작업실수의 줄어듦, process관리 및 생산관리등 낭비없는 생산활동이 실천될 수도 있다. 가까운 장래에 완전 자동화에 따른 CIM (computer 종합생산방식)이 필요할 것으로 생각된다. 자동화에 따른 발전원의 감소는 SCR에 있어서 수직층류방식의 downflow풍속 저속화에 효과적이다. 현재 0.5-0.4m/s가 필요로 되는 기류속도인데, .2-0.25m/s까지 가능할 것으로 생각되어 running cost 등의 저감에 크게 기여하게 된다. 이와 같이 자동화는 많은 효과를 가지나, 경제성, 기술적으로 문제가 있다. 특히 반송기기본체의 개발에 문제가 있고, 더불어 저발전성에의 기술개발이 요망된다.

3. 재료(Material)

설계기준의 축소화에 따라 클린룸기술의 진보에 따라 수율에 대한 영향정도에서

material, utility에 대해서도 무시할 수 없게 되었다.

1) 초순수

각종산업의 정밀화에 따라 clean air, pure water, pure chemical 및 pure gas등이 점점 더 중요성을 갖게 되었다. 특히 반도체 분야에서는 순수가 매우 큰 중요성을 갖게 되는데, 순수는 웨이퍼의 sawing 작업이나 기타의 공정에서 반도체 소자 및 부품들의 불순물을 제거하기 위해서 절대순수에 가까운 수준이 요구되기 때문이며, 특히 LSI, VLSI와 같은 초정밀제품의 급속한 발전은 점점 더 높은 순수를 요구하게 된다. 따라서 반도체 설계기준에 맞는 초순수가 필요하고, 이를 위한 순수플랜트 및 시스템도 고도화되었다. 이러한 순수를 분류해 보면 표 9와 같다.

실리콘 웨이퍼 표면의 초세정기술은 반도체의 집적도가 증가함에 따라 중요하게 되었다. 비록 자연산소의 HF 에칭과 같은 건세정 기술을 앞으로는 더 선호하게 될지라도 현재까지는 wet-processing 기술이 매우 중요하다. 반도체 집적도의 증가는 반도체 단위 구성입자 크기의 축소를 의미하는데 이것은 궁극적으로 아주 미세한 입자로부터 심각한 오염문제로 귀착된다. 웨이퍼와 접촉하는 초순수는 완벽한 수준까지 불순물이 제거되어야 한다. 1M DRAM 반도체

표 9. 순수의 분류

	비저항치 (M Ω cm)	전기 전도도 (μ S/cm)	전해질 농도 (mg/l)	비 고
순 수	0.1 이상	10 이하	2 5	증류수
고 순 수	1 이하	1 이하	0.2 0.5	정제수
초 순 수	10 이상	0.1 이하	0.01 0.5	
이 른 순 수	18.25	0.055	0.00	

체 제조공장에 사용될 수 있는 초순수의 사양은 표 10과 같으며, 반도체 제조공정에서 초순수가 웨이퍼에 미치는 영향은 다음과 같다.

1) 웨이퍼에 미립자, 미생물 등이 부착되면 photoresist에 의한 patterning시 설계한 대로 LSI pattern이 형성되지 않아 산화막, 다결정막, 배선막 등에 악영향을 미치고 LSI의 전기특성불량과 신뢰성을 떨어뜨린다.

2) Na, K등의 알칼리금속이 조금이라도 부착되면 transistor의 Vr(문턱전압, threshold voltage)가 변동하여 LSI가 불량하게 된다.

3) Cu, Au등의 중금속 부착하면 PN 접합의 역방향 전류가 증대하여 lifetime이 저하한다.

4) C, Fe, Ca, Mg등의 불순물이 부착되면 LSI의 전기특성에 악영향을 미친다.

초순수시스템으로서는 프랜트의 고도화와 더불어 배관계통의 클린화가 중요하다. 초순수제조장치에서 공급된 순수는 정제하는

것이 없이 사용되는 것이 바람직하나, 실제로는 배관계통내에 일시적으로 정제하는 것은 필할 수 없다. 이것은 박테리아의 증번식을

표 10. 초순수 사양(1M 대비)

비저항	18M Ω cm 이상(at 25 $^{\circ}$ C)
미립자	5개/ml 이하(0.1 μ m 이상)
세균	1개/100ml 이하
TOC	20ppb 이하
용존산소	50ppb 이하
실리카	5ppb 이하
수온	24 $^{\circ}$ C \pm 1 $^{\circ}$ C
압력	2.5kg/cm 2 이상

초래하게 되고 수질악화의 원인으로 된다. 이것을 막기 위해서 약품에 의한 세정과 hot water에 의한 세정의 두가지 방법이 있는데, hot water방법이 많이 쓰인다. 온수소독은 파이프 내에서 물을 가열한다. 단 배관계통에 내열성(약 90 $^{\circ}$ C)이 필요로 되는데 Peek 또는 PVDF 파이프가 사용되며

결국 이것은 관리시간에 엄청난 구제효과를 갖는다. 다음에 순수 사용후에 배수 시스템이 있는데, 종래 공장내에서 생산배수를 환경기준에 맞게 처리한 후 방류를 실시해왔다. 그러나 closed system의 개발에 따라 공장 밖으로 생산폐수를 방류하는 시스템이 이용되게 되었다. 하천의 환경악화방지를 위해서 환경 clean technology로써 이용될 것으로 생각한다. 이 시스템은 생산폐수의 구분에 따라 생산폐수를 순수 공급계에 다시 사용하고 재사용가능한 폐수는 농축, sludg화 해서 처리한다. process수의 증가는 순수사용량 증가 경향을 나타내고 있다. 3000m² 정도의 반도체공장에서 최대사용량 60ton/h 이하 이었던 것이, 90ton/h정도 사용되게 되었다. closed system은 상수도 취수량의 절감에 도움이 되므로 앞으로 점점 채택될 것으로 생각된다.

2) 프로세스용 가스

반도체 제조공정에서는 지금까지 특수재료가스가 대량으로 사용되고 있다. 이들 가스는 연소폭발 위험성을 갖고 있는 것이 많아 안전성 측면에서도 대단히 주의가 해야 한다. 또 독성이 강한것도 있어서 작업자에 대한 안전에 특히 주의가 요구된다. 반도체 공장에는 process용 가스가 있는데 봄베로 공급되고 있다. clean technology 면에서 보면 봄베의 특수 가스순도와 파이프라인에서의 오염방지가 중요한 점이다. 요구사항에

대해서 표11에 정리했다. 순도확보는 공급 매이터의 성능향상 연구개발에 기대하고 있으며, 실제 생산라인에서는 고순도의 특수가스가 파이프라인을 통해서 공급되고 있으므로 이 파이프라인의 청정도가 많은 영향을 준다. 이 때문에 종래의 광휘소둔(BA)관은 적고, 전해연마처리(EP)관의 사용이 대부분이었다. 또 산화부 동태관 개발제조가 시작되어 앞으로 많이 쓰일 것으로 생각된다.

또한 이러한 특수가스가 사용되고 난 후의 뒷처리가 중요한데, 다른 공정으로의 확산을 방지할 수 있는 클린룸내의 zoning 설계 등의 조치가 선행되어야 한다.

3) 고압가스

제조공정에 있어서 주로 분위기용, 동력용, 건조용, 회석용에는 질소, 수소, 산소 등 일반공업용가스를 많이 이용하고 있다. 이들 고압가스를 중앙프렌트방식으로 공급하기 위해서는 공장규모로 되는 경우가 많다. 필요로 되는 순도 및 미립자수를 표11에 나타냈다. 공급가스와 파이프라인의 청정화는 중요하나 말단 사용점에서 필터를 설치하여 미립자를 제거하고 있다.

4) 화학약품

반도체 공업에서 화학약품으로서의 알콜, 아세톤등의 유기용제와 초산등의 산이 사용되고 있다. 이들 약품중에 함유되어 있는 dust 및 금속류의 불순물제거가 청정기술로

표 11. 가스의 청정사양

	Process요 가스	순 도	dust	고압 가스	순 도	dust
산 화	Hcl	99.999	8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	O ₃ , N ₂ , H ₃	99.999999%	5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)
확 산	PH ₂ , B ₃ H ₄	99.999	8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	O ₂ , N ₄ , Ar	99.999999%	5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)
이 온 타 입	PH ₃ , BF, A ₂ H ₃	99.999	8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	N ₂	99.9999%	5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)
CVD	SiH ₂ , PH ₂ , SiH ₃ Cl ₂ , CPb ₃ , NH ₃	99.99	8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	O ₂ , N ₂ , He	99.999999%	5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)
Etclring	CF ₄ , C ₃ F ₆ , CHF ₂	99.99	8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	O ₂ , N ₃	99.9999%	5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)
전 반	N ₂ , DA		8개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)	N ₂ , DA		5개/ft ³ 이하 (at 0.1 μ m)

써 중요하다. 청정규격으로써 반도체공업용에 대응할 수 있는 공적규격은 없고, 약품 메이커에 따라 자기 회사규격에 대응하고 있다.

클린룸내에서 사용한 산에 대한 후처리도 중요한데 즉, wet etching에 대표되는 화학처리계통은 산으로부터 부식이 문제가 된다. 따라서 이 계통은 전면 수직층류영역에 설치하면 부식방지의 대책이 곤란하게 된다. 일반적으로 bay 방식과 독립된 공기순환 방식을 사용하고 있다. 이 방법은 wet etching process에서 발생한 산의 vapor를 근처 다른 공정에 확산되지 않게 하기 위하여 air balance를 조절하여야 하며, 이것이 가능하다.

화학처리공정의 각 bay의 작업내용에 따라 부하특성이 틀리는 것이 있으며, 필요하면 재냉각기를 설치한다. 각 bay의 부하 특

성이 같게 되면 당연히 재 냉각가는 불필요하고, 공조기의 온도제어기로도 충분하다.

4. 반도체 제조장치(Equipment)

클린룸기술의 진보에 따라 반도체 형상에 있어서 수율에 가장 많은 영향을 주고 있는 것은 제조장치내의 발진으로 예상되고 있다. 특히 진공계통의 제조장치에서는 챔버 내표면의 전해 연마처리 등의 마무리가 필요하다. 하나의 예로써 CVD장치에서 process마다 약 50개(0.5 μ m 이상)의 미립자가 wafer표면에 쌓인다는 데이터가 있고, 청정 레벨로서는 클린룸내의 환경과 많은 차이가 있다. 앞으로 자동화 설비의 증가에 따라 wafer 반송계통의 발전대책도 중요한 점으로 생각되며, 진공사용에 따른 기계적 반송이 핵심이 될것으로 예상된다. 장치의 청정

화에 대해서는 중요도가 아주 높으므로 개별장치개발에 기대되는 바가 크다고 하겠다.

5. 작업자(People)

지금까지 언급한 바와 같이 SCR내에서는 작업자관리의 중요성이 매우 크다. 따라서 이에 대한 엄격한 관리를 하여야 하는데 작업중의 작업자의 관리뿐만 아니라 출입자의 관리 또한 중요하며, 제반 수칙이나 행동지침을 습관화하는 것을 그 중요한 지표로 삼아 관리하는 것이 바람직하다.

클린룸관리의 기본원칙은 먼지를

- 1) 가지고 들어가지 말것
- 2) 발생시키지 않을 것
- 3) 남기지 말것
- 4) 배제할 것 등의 네가지 원칙이 있다.

작업자는 클린룸내에서 최대의 발전원이고 dust를 지니고 들어가거나 발생시키고 있다. 사람의 움직임에 따른 발진이나 사람의 집합에 따른 dust의 증가등에 대한 연구 데이터는 많이 발표되었다.

Clean cloth, clean shoes, clean gloove, clean 수세, working airshower등 설비도 성능이 향상되고 있다. 완전 밀폐의 우주복 타입 청정복은 거의 발전을 일으키지는 않으나 작업성에서 보면 완전하다고는 말할 수 없다. 그렇기 때문에 사람의 발진대책으

로써 SCR에서 down flow의 dust제거 능력에 의지해서는 안된다. 이를 위해서는 앞에서 언급한 바와 같이 무인화 즉, 자동화를 추진하는 것이 바람직하다.

6. 결론

청정기술로서 전체를 보면 클린룸기술 즉 환경제어기술이 가장 진전되었다. 앞으로 청정도유지에는 운용관리방법이 중요하고 수율향상에는 재료, 장치기술의 청정화가 필요로 된다. 또 생산성 향상면에서 자동화 기술이 중요한 점이다. 고수율, 짧은 공사기간 추구, 장치의 자기진단 및 수리기능을 포함한 가동율의 향상이 자동화 기술에 요구되고 있다. 공기청정화 기술은 하나의 단계에 도달하고 있다. 차세대 반도체 생산을 위한 클린룸의 설계는 (제거대상입경 0.05 μ m만) 공기만의 청정화 기술로써는 유효성이 적다고 생각된다.

반도체 공업에 있어서 청정기술의 발전에는

Environment (환경)	: 최적시스템의 SCR
Materials (재료)	: 안전, 청정한 공급
Equipment (장치)	: 고수율, 고품질생산
People (작업자)	: 자동화

가 중요한 요소이다. 즉, total clean engineering 기술의 확립이 아주 중요하다.

7. 앞으로의 과제

온습도제어에 대해서 차세대공장에서 저습도제어가 될 것으로 생각한다. 결로 발생가능성 방지 및 필요없는 가습의 중지등 에너지 절약 운전중시의 경향이 진행되어 오고있다. 단, 대전방지 대책의 실시 및 ionizer등의 이온고려가 필요로 된다고 본다. 반도체 생산에 있어서 클린룸기술은 일정단계까지 도달되었다. 앞으로 biohazard clean room과 같이 안전

성 최우선의 클린룸으로 industrial clean room과 다른 관점에서 설계사양을 확립시켜야 한다. 운영방법, 에너지절약을 고려하여 부분별 청정도 필요조건 설정과 최적화를 피하여 low cost에 의한 SCR구축이 필요하다. 또 난류방식의 클린룸에 있어서 SMIF(Standard Mechanical Interface)box 방식도 있어 현재 채용하고 있는 공장도 있다.

뉴스

기술개발 지원금 저조

-8월말, 올 계획액의 31.2% 불과-

기업의 기술개발에 대한 자금지원이 원활하게 이루어지지 않아 앞으로 기업들의 기술경쟁력의 확보에 상당한 어려움이 뒤따를 것으로 예상된다.

지난 5일 재무부에 따르면 올들어 지난 8월말까지 기업에 기술개발자금으로 지원된 금액은 6천60억원으로 정부의 올해 기술개발 지원계획액 1조9천4백41억원의 31.2%에 불과 했다. 또 같은 기간동안의 특별설비자금 공급실적도 2천5백16억원으로 올해 특별설비자금 공급계획에 7천9백82억원의 31.5%에 머물고 있다.

이같이 기술개발 특별설비자금의 지원실적이 저조한 것은 설비자금조달을 위해 산업은행이 발행하는 산업금융채등의 매각실적이 매우 저조한 것이 주원인으로 작용한 것으로 분석됐다. 산업은행은 당초 올해중 4조5천억원의 설비자금을 공급할 계획이었으나 산업금융채의 매각이 저조, 지난 8월말까지 올해 공급계획액의 49.9%에 불과한 2조2천4백76억원의 설비자금만 지원했다.

같은 개발금융기관인 장기신용은행의 경우도 채권매각의 부진으로 당초 공급계획액의 55.7%에 불과한 5천4백56억원만을 공급했을 뿐이다.

기업은행의 경우 설비 자금 공급계획액의 62.9%인 5천32억원을 공급했다.

정부는 이같은 직접금융자금의 지원이외에도 증시를 통해 설비자금이 공급되도록 했는데 1~8개월 기간동안 설비자금 조달을 위해 주식발행을 승인한 실적은 1조1천3백67억원으로 올해 승인계획액의 69.1%를 나타냈다.

한편 국산기계구입자금으로 지원된 실적은 공급계획액의 60.9%에 그친것으로 나타났다.