

# 차세대 GIGA급 클린룸내의 분자급오염 발생 현황

황 정 호  
연세대학교/기계공학과 교수

## 1. 머리말

반도체 집적도의 발전은 약 2-3년의 주기로 세대교체가 일어나고 있으며 웨이퍼의 대구경화와 디바이스의 고집적화가 급속하게 진전되고 있다. 초첨단 제품인 반도체의 기술은 현재 256M DRAM이 양산단계에 있으며, 2~3년 후에는 GIGA급 반도체인 1G DRAM 개발이 예상되며 2010년에는 16G까지 발전될 것으로 예상하고 있다. 그러나 GIGA급 시대로 돌입해야 하는 시점에서 웨이퍼에 대한 오염제어 범위가 새로이 개발되어 적용되는 생산장비

와 연계하여 점차 확대되고 미세화 되고 있으며 16G DRAM 개발에서 제어되어야 할 오염은 Feature Size의 1/10인 0.01 $\mu$ m 크기의 초미세입자와 분자크기의 가스까지가 포함된다. 즉 반도체 제조는 그 집적도가 높아짐에 따라 회로선폭(Design Rule)의 간격이 좁아져 생산공정라인에서 제어해야 할 오염물질의 크기도 점점 작아지고 있다. ULSI(Ultra-Large Scale Integration)의 제조 공정에 있어서 웨이퍼에 어떠한 형태이든 간에 오염원이 부착한다면 여러 가지의 형태로 디바이스 불량 발생하여 수율과 신뢰성이 저하된다.

표 1. ULSI Technology Roadmap

Year	1995	1998	2001	2004	2007	2010
Feature Size( $\mu$ m)	0.35	0.25	0.18	0.13	0.10	0.07
Memory(DRAM)	64M	256M	1G	4G	16G	64G
Die Size(mm <sup>2</sup> )	160	260	420	670	1070	1700

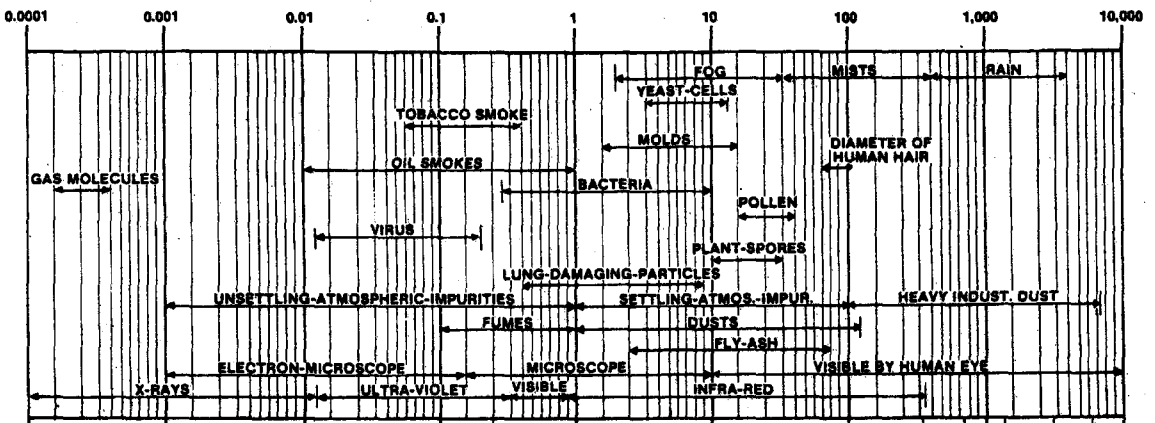
이러한 생산조건을 만족시키기 위해서는 클린룸의 청정도를 높일 수밖에 없으며, 클린룸 설비의 품질이 미세오염 제어 관점에서 고급화될 수밖에 없다. 이는 곧바로 클린룸 건설비와 운전비의 상승을 초래하고 나아가 반도체의 원가 상승, 타산성의 악화를 가져오고 있다. 즉 GIGA급 클린룸은 초정밀 제품을 생산하기 위한 조건으로서 온도, 습도, 청정도(입자상, 가스상), 소음, 진동 등 공학적인 기본 요소조건을 모두 어떤 수준이상으로 고도 제어하지 않으면 안된다. 이러한 조건들은 정밀도가 높아지면 즉, 반도체의 집적도가 높아지면 더욱 더 엄밀한 조건으로 상향 제어되어야 한다. 이 중에서도 특히 반도체의 수율에 가장 밀접한 관

계가 있는 것은 청정도이므로 차세대 반도체 생산기술은 오염 CFM(Contamination-Free Manufacturing)에 기반을 두어야 한다.

반도체 제작설비에서의 공기오염물질을 제어하기 위한 많은 노력들이 주로 입자상 에어로졸물질에만 초점을 맞추어 왔다. 입자오염원은 문자 그대로 거시적인 크기를 갖는 입자상의 오염이다. 제조 공정에서 웨이퍼 및 제조 장치에 축적된 화학반응 생성물의 박리, 사람 및 제조 장치로부터 클린룸 환경에 방출 등으로 발생하여 웨이퍼에 부착한다. 입자상 오염 중 큰 것 들은 광학 현미경으로 작은 것 들은 전자현미경을 이용하면 눈으로 볼 수가 있다는 것이 그 특징이다.

표 2. 외기중 부유미립자의 크기 비교표

입자직경(단위 : 마이크로론)



이러한 입자상 오염에 의한 디바이스의 불량은 패턴(Pattern)의 이상과 절연막의 Pinhole에 기인한 배선의 단선, 배선간의 단락 등으로 나타나 불량률의 상황 및 발생 기구가 직감적으로 알기가 쉬운 경우가 많다. 이와 같은 불량 발생 기구에 따라서 재료의 차이보다도 그 형상(크기)과 갯수가 문제가 되는 경우가 많다. 이와같은 물리적인 디바이스 불량과는 달리 화학반응에 의한 디바이스 불량은 그 실체가 입자 형태도 있지만, 원자, 분자 또는 이온과 같이 전자현미경으로도 관찰할 수 없는 미시적 존재가 주 원인이다.

최근에는 공기중의 원자, 분자, 이온 오염(Atomic Molecular Contamination, AMC)수준이 반도체 FAB에서 점점 중요해지는 환경요소로서 주목받고 있다. 이와같은 가스나 분자상태의 오염물질을 입자상태의 오염물질과 구별할 수 있는 간단한 척도는 크기이다. 보통 입자상 물질의 최소크기는 약 2nm 정도이며 분자상 물질의 크기는 0.1-1nm 정도이다.

따라서 초미세입자와 거대분자 클러스터는 크기가 거의 비슷하므로 보통 분자급 오염제어라 하면 경우에 따라 초미세입자의 제어까지 포함한다. 이러한 분자상오염물질은 HEPA필터의 가장 작은 공극 구멍보다 10000배에서 30000배 정도 더 작다고 한다. 표 2는 외기중 부유미립자와 가스상 분자의 크기 비교를 나타내고 있다.

반도체 등 첨단산업의 제조공정에서 제조기술의 첨단화에 동반하여 공기청정 제어도 입자상 오염물에서 가스상 오염물로 환경조건이 더

욱 더 엄격히 제어되어야 한다. AMC 제어수단은 크게 다음과 같다. 먼저 각 공정 영역별로 공기조화시스템이 구축되어야 하며 순환공기를 정기적으로 모니터링해야 한다. 또한 공정시 발생되는(Outgassing) 가스오염이 적은 물질을 선정해야 하며 최근에는 화학필터가 여과효과가 좋다고 알려져 있다.

이제부터는 분자 오염물질 종류에는 어떤 것들이 있으며, 분자 오염물질은 어떻게 공정에 영향을 끼치며, 분자 오염물질이 무슨 과정으로부터 생성되는지를 고찰하기로 한다.

## 2. 분자오염물질의 종류

분자 오염물질(AMC)은 크게 산(Acids), 염기(Bases), 유기화합물(Condensables), 첨가물(Dopants) 등으로 나뉘며 0.01-10, 1-100, 10-1000, ~1의 농도 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )를 가진다. 산으로는 HF, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HBr, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등이 있으며, 염기로는 암모니아, Ammonium Hydroxide, Tetramethylammonium Hydroxide, Morpholine, Trimethylamine, Triethylamine, Hexamethyldisilazane, NMP, Cyclohexylamine, Diethylaminoethanol, Methylamine, Dimethylamine, Ethanolamine 등이 있다. 가스유기물은 대부분 균질응축으로 인해 미세입자로 변환될 가능성이 많으므로 Condensables이라고 하는데 SEMATECH # 95052812A-TR에 의하면 비등점이 150°C 이상의 Hydrocarbon이나 Silicone으로 정의되어 있다.

표 3. SEMI AMC Classification Method

Contaminant Category	Classification				
	1	10	100	1,000	10,000
Acids	MA-1	MA-10	MA-100	MA-1,000	MA-10,000
Bases	MB-1	MB-10	MB-100	MB-1,000	MB-10,000
Condensables	MC-1	MC-10	MC-100	MC-1,000	MC-10,000
Dopants	MD-1	MD-10	MD-100	MD-1,000	MD-10,000

유기물의 오염원과 유기물의 종류는 다양하다. 유기물의 오염원은 외기중의 휘발성유기화합물 및 대기 중에서 발생되는 BHT, 인산에스테르(TEP, TBP, TCEP, TPP), 프탈산에스테르(DBA, DOA), DEP, TECP, DBP, DOP 등이 있다. 첨가제는 붕소(주로  $\text{BF}_3$ 로 존재), 인(주로 Organophosphates로 존재), 비소(주로 Arsenates로 존재)등이 있다. 표 3에서 Classification은 최대허용 Cumulative 가스상 농도를 의미하며 농도의 단위는 parts per trillion Molar ( $1 \times 10^{-12}$ )(pptM)을 의미한다. M은 특별한 의미가 없는 문자이며 뒤따라 오는 A, B, C, D는 각각 산, 염기, 유기화합물, 첨가물을 의미한다.

다음에는 산, 염기, 유기화합물, 첨가제들의 종류와 발생 근원지, 그리고 그 부정적인 측면을 알아보자.

### 3. 분자오염 원인 및 영향

산중에서 HF 발생의 근원지가 세정공정으로 부터의 증기인 반면 HCl,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ 등은 주로 외부공기로부터 유입된다.

HF는 강산이며 식각(Etch)공정시 또는 습식세정(Wet Cleaning) 장비에서 세어나와 HEPA 필터 여재와 반응하여  $\text{BF}_3$ 를 발생시킨다. 다른 산들 역시 IC 금속의 부식을 초래한다. 공정과 영향성 측면에서 특히 중요한 산으로는  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{HPO}_4$  등인데  $\text{SO}_x$ 와  $\text{NO}_x$ 의 경우는 웨이퍼상에서 나타나는 물반점에 의한 세정불량과 HTO 공정에서 Mouse Defect, 사진(Photo) 공정시 수율을 저하시키는 문제와 Photo 장비인 Stepper의 렌즈 표면에 암모늄염을 증착시켜 Intensity Drop으로 인한 조도 저하등의 문제를 야기한다.

$\text{HPO}_4$ 의 경우는 웨이퍼상의 Pad의 변색(Corrosion)으로 인한 접촉불량을 야기하여 전체적인 수율을 저하시키는 원인으로 작용한다.

알카리계 오염은 사진(Photo) 공정, 내장재,

외기, 인체, 세정장비, 콘크리트 등에서 오염되며 발생하는 가스는 암모니아, 아민 등이다. 암모니아는 외부공기, 작업자, 습식세정 공정이 원인이며 노광과정(Exposure)에서 렌즈나 거울을 흐리게 하며 화학적으로 증폭된 Resit에 패턴불량을 초래한다. 아민은 주로 사람으로부터 발생하는데 화학적 저항을 교란시키기도 한다. 아민과 암모니아는 Deep UV 공정에서 발생하는 Photogenerated Acid를 중화시킨다. 다음의 표 4는 작업자가 발생시키는 암모니아에 대해 자세히 설명한다.

클린룸 공기중에 다량 함유되어 있는 암모니

아와 같은 염기성가스는 산성가스와 함께 중화반응이 신속히 진행된다. 이렇게 생성된 초미세 중성염은 웨이퍼 표면에 침착되어 패턴불량, 접촉저항 증대, 전기적 특성 변화 등의 영향을 미친다. 이러한 중성염의 일부는 ULPA 필터에 의해 포집되며, 그 중성염은 또다시 비휘발성 강산성가스에 의해 반응하여, 분자량이 작은 휘발성 산성가스는 재방출되어, 클린룸 내의 여러 금속소재의 부식과 HEPA/ULPA 필터의 식각현상을 심화시키며, 공정의 화학약품들과 반응하는 문제를 야기할 수 있다.

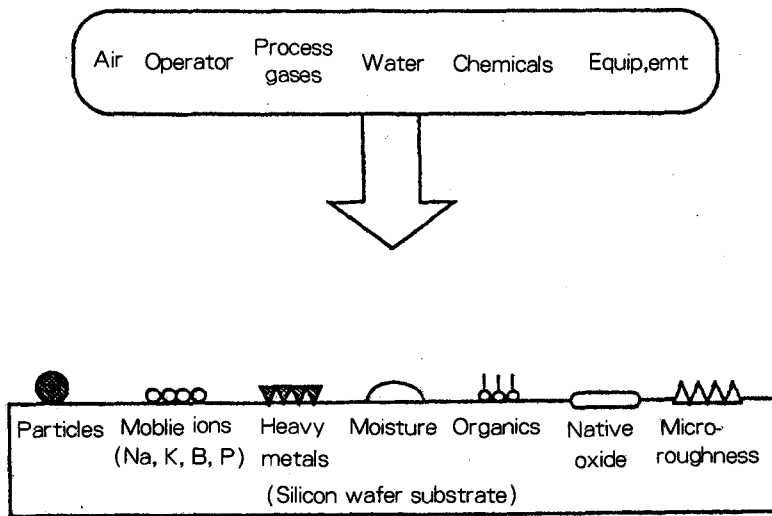


그림1 반도체 소자에 영향을 주는 요인과 웨이퍼표면의 오염형태

유기물들은 다음과 같은 원인으로 생산공정으로 유입된다: (1) 외기 (2) 클린룸 구성 물질 (Sealants, Coatings, Binding Materials, Floor Materials) (3) 공기조화 물질 (Filters, Sealants, Binding Materials, Floor Materials) (4) 생산장비 (Filters, Sealants, Binding Materials, Packing Materials, Wiring Materials) (5) 운송/저장 물질 (플라스틱, 포장지, Wafer Shipping Boxes and Pods) (6) 공정 Chemicals (HMDS, Resist, Stripper, Developer) 특히 웨이퍼 운송물질은 주로 폴리머이므로 유기물중에서도 휘발성이 높은 VOC를 발생시킨다.

심지어 미량의 휘발성 물질도 밀도의 변화 및 다양한 생산공정 과정에서의 생산물에 심각하게 영향을 미치는 것으로 조사되고 있다.

표 4. Ammonium Generation Rate by Human Operators

Generation rate ( $\mu\text{g}/\text{h}\cdot\text{person}$ )	Subjects Condition
170	Overall Type Clean Suit Sitting Motion Average of Four Subjects
140	Overall Type Clean Suit Sitting Motion
260	Overall Type Clean Suit Walking Motion
1300	Students in Class Room

유기물 오염은 식각(Etch)공정 전의 Si 기판 표면에 유기물 오염이 존재할 경우 균일한 Etching의 진행이 불가능하며 결함발생의 원인이 된다. 또한 유기물오염은 Si 기판표면에 흡착되어 박막제면에 잔류 또는 박막 형성 시에 막중에 혼입되어 디바이스 특성을 저하시킨다.

각종 HC 유기 화합물은 디바이스 불량률의 원인으로 작용하는데 노광과정에서 렌즈와 거울을 흐리게 하고 산화공정에서 이산화규소의 유전성을 저하시킨다. Phthalates는 산화 Gate의 절연을 불충분하게 야기시키고 BHT는 Anti-oxidants in Resins가 원인이며 IC Board의 부착성능을 저하시킨다. Siloxane은 Seal Material에서 DOP는 Poly Vinyl Chloride에서 비롯한다. 이러한 유기물 오염은 반도체 웨이퍼에 결정결함, 접합불량, 산화막절연내압열화 등 여러 결함을 일으키므로 반드시 제어되어야 한다.

클린룸내 웨이퍼는  $1-10\text{ng}/\text{cm}^2$ 의 유기물을 흡착하는데 이는 Gate Oxide의 신뢰성을 저하시킨다. 이러한 유기물의 흡착(Adsorption) 메커니즘에 대해서는 아직도 제대로 설명을 못하고 있는 실정이다. 그림 2는 Si 웨이퍼에서 측정된 유기물 농도와 클린룸 공기내 유기물 농도의 관계를 보여준다.

Dopant는 주로 에어필터 자재 및 벽체 자재에서 오염되는데 주로 보론가스( $\text{BF}_3$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) 및 인(P) 등이다. 인은 주로 소화재물질에서 발생하며 보론과 함께 IC 디바이스의 전기성능을 교란시키고 Gate 전극의 Threshold 전압을

변화시킨다. 보론은 Glass Fiber 필터나 외기에서 생성되는데 수증기, HF 증기와 같은 부식성 가스가 Glass Fiber 필터를 통과할 때 부산물로 생성된다. 또한 외기에 포함된 미량의 보론이 HEPA 필터, ULPA 필터를 통과할 때 걸리지 않은채 클린룸 환경으로 유입되기도 한다.

클린룸의 공기중에 HF가 존재하면 에어필터의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분과 반응하여 보론가스가 방출되며 또한 클린룸의 공기중에 수분이 증가되면 수분과 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분이 반응하여 보론가스가 방출된다. Glass Fiber 여재의 Borosilicate Glass 속에는 약 11%의 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 존재하고 있다.

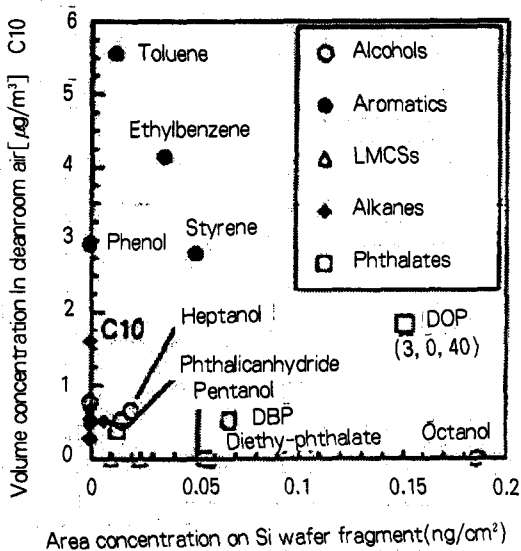


그림 2 웨이퍼에서 측정된 유기물 농도와 클린룸 공기내 유기물 농도의 관계

그리고 에어필터의 자재 및 벽체 자재에서 인(P) 성분이 방출되어 IC 디바이스의 전기적 특성을 저하시키고 반도체웨이퍼에 얼룩이 생겨 결함을 야기시킨다.

지금까지 설명한 산(Acid), 염기(Base), 유기물(Condensable), 첨가제(Dopant)외에 그림 1에 나타난 바와 같이 중금속 오염도 중요하다. 즉 Fe, Ni, Cu 등의 중금속이 Si 기판에 확산되면 Carrier 수명저하, 접합 Leak 전류증가를 야기시킨다. 또한 이들 중금속오염은 산화유기적층결함을 발생시켜 접합 Leak 전류증가 등의 원인이 된다. 그림 3은 금속 오염량과 Gate 산화막절연내압의 관계를 나타낸다. 원소에 따라 차이가 있지만 약 10<sup>11</sup>atoms/cm<sup>2</sup>이상의 오염량이 되면 열화가 일어난다. 이러한 금속오염은 Process장치의 마모재, 반응생성물 등에서 오염되므로 이것 역시 제어되어야 한다.

이외에도 오존의 경우는 HSG 공정에서 엠보싱 Capacitor의 성장에 장애를 초래하는 등의 영향을 끼친다. 또한 반응성 가스(Reactive Gas)내 포함되어 있는 산소와 수증기 역시 클린룸 공정에 부작용을 일으킨다. 이들은 프로세스 가스내 불순물로 존재하거나 고온 표면공정의 부산물이다. 수증기는 또한 반응로 벽이나 실리콘 웨이퍼 Desorption이 근원이며 Surface Oxide 생성, 디바이스불량, 온도저감시의 핵생성을 일으킨다. 반응성 가스는 실린더, 배관재와 반응하여 부식을 초래하며 그 결과 금속 오염물이 생성된다. 이 결과 정밀제어

를 요구하는 유량계(Mass Flow Controller), 압력계(Pressure Regulator)등의 기능저하를 유발시킨다.

주 오염물질의 발생근원을 다음의 표 5 에 정리하였다.

이와같이 분자오염물질들은 반도체 생산 엔지니어에게 일련의 문제점들을 주고 있으며 주요 공정들을 요약하면 다음과 같다.

- DUV Photoresist의 표면오염으로 인한 T-top현상
- Uncontrolled Boron or Phosphorous Doping
- Etch Rate Shifts(Uneven Etching Rate)

and Corrosion

- SiC Formation Following Preoxidation Clean
- Undesired Kinetics of Silicon Oxide Growth
- Threshold Voltage Shifts
- 용축과정시 생성되는 미세입자상 물질 (Nucleation Irregularities)
- Poor Adhesion During Metallization
- HEPA Filter Degradation
- Wafer and Stepper Optics Hazing
- 노광장치의 조도저하
- Pad Discolor

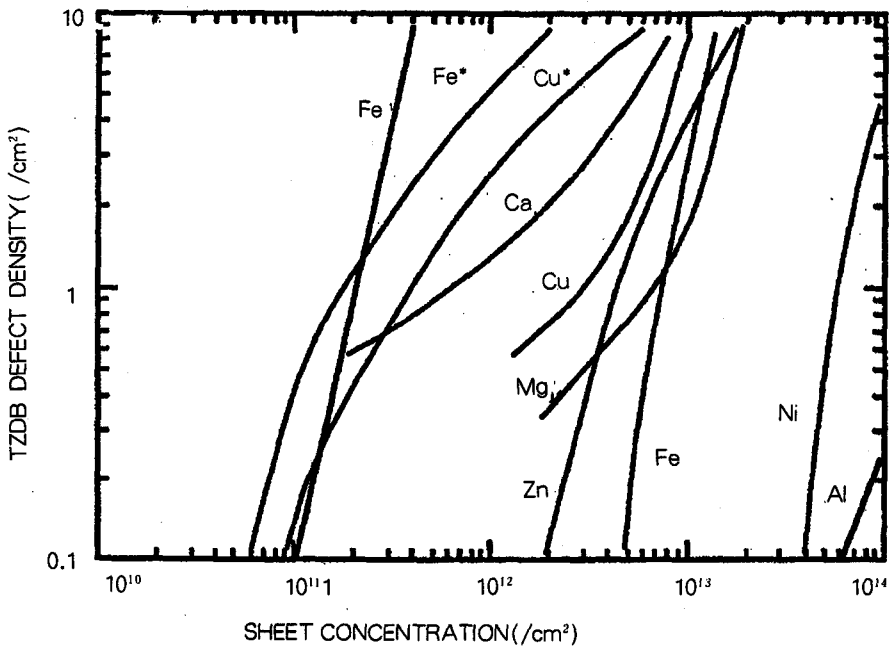


그림 3 금속오염에 의한 Gate 산화막결연내압의 열화



- Thin Film 또는 Monolayer 형성에 의한 웨이퍼표면의 성능변화
- 웨이퍼계면의 접촉불량 (Contact Resistance)
- 표면에 막 생성으로 인한 불균일막질에 의

한 공정불량과 디바이스불량  
 이러한 영향은 Feature Size가 작아질 때 더 커진다. 예를 들어, AMC는 0.8 Micron 선폴에서 멀쩡했던 0.5 Micron SRAM의 산출을 불가능하게 하거나 감소시킬 수 있다.

표 5. Major Chemical Contamination Sources in Cleanroom

Emission Source	Acids	Bases	Condensables	Dopants (Boron·Phosphorus)
Outdoor Air Pollution	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sea Salt</li> <li>• Industry</li> <li>• Incinerator</li> <li>• Scrubber Gas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultural Chemicals</li> <li>• Fertilizer</li> <li>• Scrubber Gas</li> <li>• Humidifying Water</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Automobile</li> <li>• Agricultural Chemicals</li> <li>• Painting for Outdoor Wall</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soil</li> <li>• Agricultural Chemicals</li> </ul>
Human Operator		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sweat</li> <li>• Breathing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Breathing</li> </ul>	
Cleanroom Materials		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concrete</li> <li>• Paint Material</li> <li>• Adhesive Agent</li> <li>• Heat Insulation Agent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sealant</li> <li>• Paint Material</li> <li>• Antistatic Material</li> <li>• Adhesive Agent</li> <li>• Plasticizer</li> <li>• Lubrication Oil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HEPA Filter</li> <li>• Paint Material</li> <li>• Heat Insulation Agent</li> <li>• Plasticizer</li> </ul>
Process Equipment	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chemicals for Wet Process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HMDS, TMAH, NMP</li> <li>• NH<sub>4</sub>OH, for CMP and RCA</li> <li>• Chemical for Etching</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solvent</li> <li>• Equipment Material</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bulk gas</li> </ul>

밀집한 장치들은 이런 형태의 오염물질에서 훨씬 민감하게 나타난다. 따라서 이러한 문제점들과 디자인을 해결해야 한다. 256M/1G DRAM의 경우 디바이스 설계규제가 점점 강화되고 Chip의 크기가 작아짐에 따라 Capacitor의 크기 축소가 관건이 되어 HSG 공정을 개발하였으나 이는 자연산화막에 의한 품질변

화가 커 이에 대한 문제를 안고 있었다. 클린룸 내부에서의 오염의 양상은 많은 경우 공정과 관련된 것이 주된 것 이어서 그 반응 메커니즘의 규명도 어렵고 공정과의 상관성을 분석하여야 한다는 난제가 있다.

표 6은 향후 2007년까지 Feature Size 변화에 따른 유기물 등의 규제정도를 보여준다.

표 6. Wafer Surface AMC

	1995	1998	2001	2004	2007
Feature Size( $\mu\text{m}$ )	0.35	0.25	0.18	0.13	0.1
Organics(atom/cm <sup>2</sup> )	$5 \times 10^{14}$	$3 \times 10^{14}$	$10^{14}$	$5 \times 10^{13}$	$2 \times 10^{13}$
Al, Ca(atom/cm <sup>2</sup> )	$10^{11}$	$5 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{10}$	$10^{10}$	$5 \times 10^9$
Fe, Ni, Cu, Zn, Na(atom/cm <sup>2</sup> )	$5 \times 10^{10}$	$2.5 \times 10^{10}$	$10^{10}$	$5 \times 10^9$	$2.5 \times 10^9$

표 7은 분자오염에 매우 민감한 4개의 공정에 대하여 SEMATECH #95052812A-TR에

서 규정된 오염허용정도를 보여준다. 이때 Confidence Level이 설명되어 있다.

표 7. 주요공정에서의 AMC 허용한계

Process Step	MA(pptM)	MB(pptM)	MC(pptM)	MD(pptM)
	Confidence Level(%)	Confidence Level(%)	Confidence Level(%)	Confidence Level(%)
DUV Photolithography	10,000-75	1,000-90	100,000-50	10,000-50
Contact Resistance	5-50	13,000-25	2,000-75	100,000-75
Salicidation	5-50	13,000-25	2,000-75	100,000-75
Pre-Gate Oxidation	13,000-50	13,000-50	1,000-75	0.1-90

- 95% = Limit Based on Published Test Data or Existence Proof
- 75% = Limit Based on Unpublished Data With Test Procedures Defined
- 50% = Limit Extrapolated From Similar Process
- 25% = Limit Based on Questionnaire Response Only or Unavailable Data

이와같이 분자오염물질로는 NH<sub>3</sub>, Cl화합물, Br화합물, 유기화합물등 다양한 양상을 가지고 있으며 이는 작업자에 의한 것과 반도체 제조 공정중에 장치로부터 발생하는 가스, 화학물질과 배기 및 장비 세정시에 발생하는 각종 화학적 혼합물 및 CVD 플라즈마 공정시에 발생하는 오존 등에 기인한다. 이와같은 내부적 분자오염물질외에 외부적인 요인에 의한 분자오염원들도 있다, 예를 들면 공장설립 위치에 따른 주변 환경조건의 영향과 반도체 공장 자체적으로 발생하는 배기 및 폐수로 인한 역오염을 생각해 볼 수 있다. 실제로 우리나라의 오염원 및 농도는 계절별로 많은 편차를 나타내고 있다. 이는 반도체 공장의 입지 설정시 중요한 인자의 하나로 간과해서는 안되는 과제이며 대

다수 수도권 지역의 경우 비슷한 경향을 나타낸다. 특징적인 것으로는 겨울철에 SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> 등의 오염원이 여름철에 비하여 상당히 높게 나타나는데 이는 우리나라 기후의 특징과 주변의 오염인자들에 의한 변화이다. 여름철에는 고온다습하기 때문에 오염인자들에 대한 자연적인 Showering 효과가 있고 겨울철에는 저온 건조하며 자동차의 배기와 난방시에 발생하는 배출 Gas에 의한 영향이 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, FAB에서 디바이스 제조를 위해 사용된 각종 가스와 화학물질등이 외부로 배출되어 발생하는 배기가스의 농도 및 배기처리시설의 위치에 의한 오염원의 확산과 클린룸 내부로의 유입현상을 가장 효과적으로 방지하는 시스템의 구성을 염두에 두어야 한다.

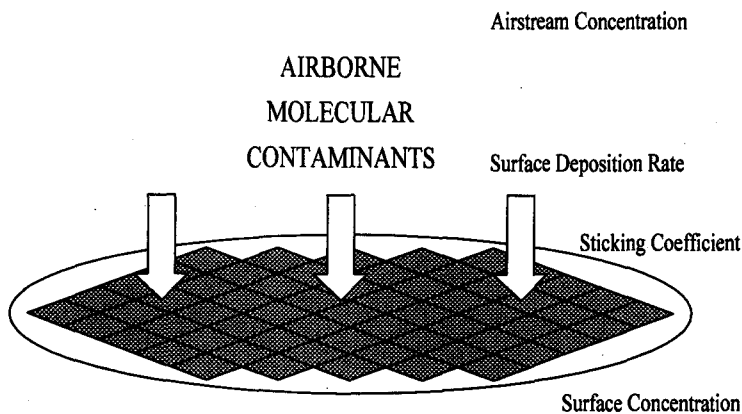


그림 4 Schematic of AMC Limit Derivation Calculations

AMC는 기준 온도와 압력에서 가스상의 농도와 비례하는 비율로 웨이퍼의 표면에 달라붙는다. 오염물질은 웨이퍼 표면의 흡착도와 반응도, 반응의 동적특성에 따라 흡착되거나 화학흡착된다. 오염물질이 표면에 남아있을 가능성은 표면에 도달하는 분자의 비율로 표현되는 Sticking Coefficient나 Sticking Probability로 나타낼 수 있다. 실제 산업체에서 분자오염제어를 위해서는 먼저 주어진 공정에 적용가능한 Wafer 표면의 청정 기준을 결정한다. 일단 표면 농도의 공차를 확정하면 다음 단계는 오염물질의 Sticking Coefficient를 평가하는 것이다. 이 단계는 실험을 통해서 수행될 수 있지만 항상 Error를 포함할 수 있다.

따라서 필요에 의해, 분자 오염으로부터의 공기의 화학적/물리적/전기적 정화는 급속하게 환경제어에서 필수적인 부분이 되어가고 있다. 단순한 배기로는 클린룸 환경제어가 충분하지 않기 때문에 HVAC 시스템의 일부로서 공기의 화학적 여과가 AMC제어에 대한 선택의 해결책이 되었다. 화학적 FAB 공기여과의 추가적인 잇점은 더욱 건강하고 안전한 작업 환경, 냄새에 의한 불평의 빈도 감소, 화학적 누설의 완화, 그리고 결과적으로 휴지 시간의 감소이다. 일반적인 실내공기 오염에 더해서, FABs는 변하기 쉬운 화학적 처리를 한 화학약품들이 광범위한 분포를 보인다.

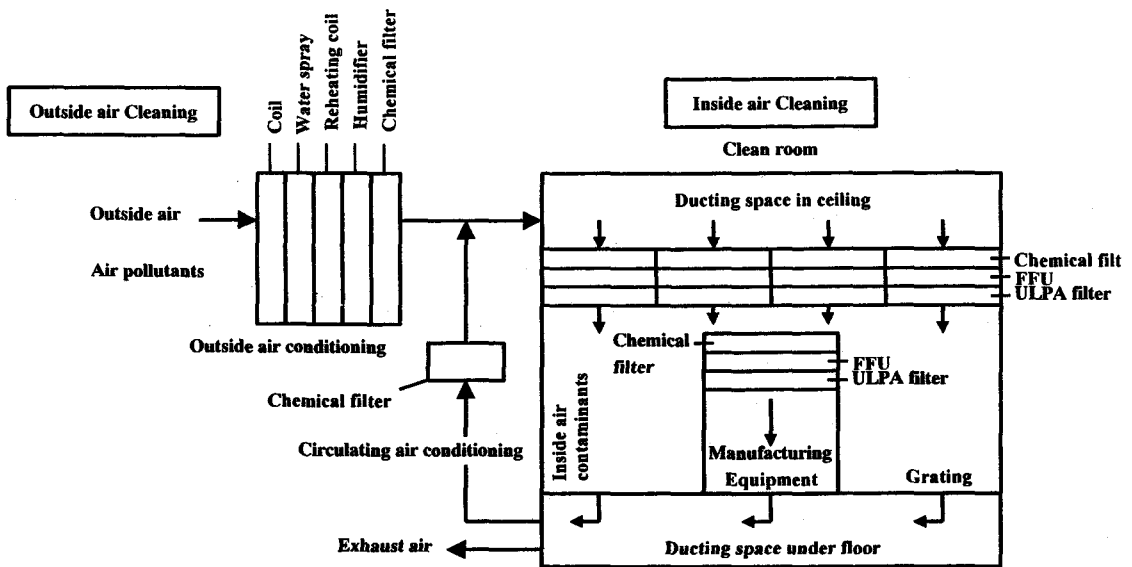


그림 5 Anti-Airborne-Molecular-Contamination Technology in Clean Rooms

계속적으로 증가하는 화학적 처리의 복잡함과 줄어드는 제한 범위에 의해 장치들이 더욱 더 AMC에 민감해지게 되고, 그래서 FAB 공기에 대한 화학적 순수성에 대한 특별한 주의가 요구되고 있다.

#### 4. 디바이스에 미치는 주요 분자오염

##### (1) 패턴불량

디바이스의 미세화를 달성하기 위하여 노광에 이용되는 광원의 단 파장화가 진행되고 있으며,  $0.3\mu\text{m}$  공정이후부터는 Excimer 레이저가 생산에 이용되고 있다. Excimer 레이저 광원용의 Resist 는 광조사에 의해 생성되는 수소이온을 이용하여 해상을 하기 때문에 클린룸 환경 중에 암모니아 오염이 존재하면 중화 반응에 의하여 수소이온이 소실되어 패턴불량이 발생한다. 이 암모니아는 암모니아.과산화수소 혼합 수용액 (Ammonia Peroxide Mixture) 을 이용한 세정 장치, 콘크리트, 외기 및 인체로부터 클린룸 공기 중에 방출되는 것으로 알려져 있다.

##### (2) Gate 산화막의 절연 파괴

MOS (Metal Oxide Semiconductor) Transistor는 Switching Device 로써 ULSI의 가장 기본적인 구성 요소이며 Si 기판 내에 형성된 일대의 역도전형의 확산층 (Source 및 Drain) 등으로 구성되어 있다.(그림 6 참조)

Gate 전극은 Gate 산화막이라고 칭하는 얇

은 이산화규소( $\text{SiO}_2$ ) 막에 의하여 기판으로부터 절연이 되고, 이것에 전압을 가하면 Gate 전극 바로 아래의 Si 기판 표면에 확산층과 같은 도전형의 같은 얇은 층(반전층)이 형성되어 Source 와 Drain 간에 도통을 얻을 수 있다. 이 반전층이 형성된 영역을 Channel 이라고 칭한다. 그림 6에서 확산층은 n형으로 Gate 전극에 양전압을 추가하는 것으로서 전자를 Carrier로 하는 반전형이 형성된다. 이 경우 전류의 담당인 Carrier가 n형으로 되어 n Channel MOS Transistor 라고 부른다. Gate 전극에 전압을 가한 상태에서는 통상  $4\text{MV/cm}$  정도의 전계가 Gate 산화막에 존재하고 있어, 산화막에 무엇인가의 구조 결함(Weakspot) 이 존재하면 사용 중에 절연 파괴가 발생하여 디바이스가 불량이 된다. Weakspot 를 가져오는 원인의 하나로써 분자오염이 있고, 그 중에서도 금속 오염이 문제가 되기 때문에 웨이퍼에 부착하지 않도록 주의가 필요하다. 실제 ULSI 생산에 있어서 금속 오염의 원인으로 판단이 되는 Gate 산화막 절연 불량 발생하는 일이 있다.

그 기구로써는 Gate 산화막 중에 금속의 고용물 또는 화합물이 형성되어  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  계면의 에너지 장벽이 저하 되어 전류가 흐르기 쉽게 만들어지고  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  계면에서 금속 Silicide 가 형성되어  $\text{SiO}_2$  막이 국소적으로 박막화 및 금속의 촉매 작용에 의하여 산화막의 열분해 반응이 촉진되어 박막화 되는 것으로 판단하고 있다.

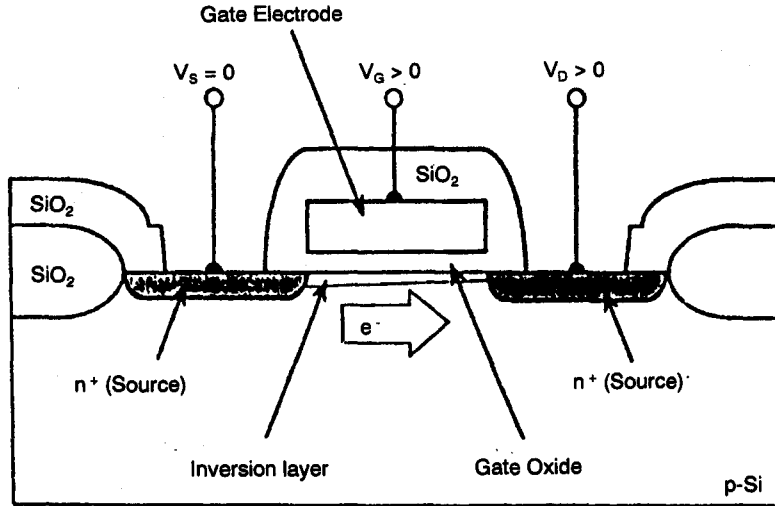


그림 6 MOS Transistor의 단면 개략도

실제로 생산 현장에서 발생하는 절연 불량에 있어서는 이들의 모의 실험의 경우보다 오염량이 적기 때문에 전기적 특성(내압) 이외의 이상을 발견할 수는 없었다. 기구가 명확하지 않으면 금속 오염이 원인이라고 판정이 불가능한 일도 많이 있다. 그렇지만 Weakspot에 있어서 산화막이 국소적으로 얇게 되어 있다고 가정하고 절연 파괴에 도달할 때까지 수명을 예측한 결과가 실측치와 비교적 잘 일치 한다. 따라서 이들로 부터 무엇인가의 박막화 현상이 일어나고 있을 가능성이 높다고 판단이 된다.

이들의 금속 오염은 주로 공정 중에 웨이퍼 표면에 부착하는 일이 많지만, 클린룸 공기로 부터 화학 오염에 의하여 Gate 산화막의 절연 파괴가 발생하는 사례도 존재한다. 그림 7은 이산화황( $\text{SO}_2$ ) 오염이 많은 클린룸에 방치한 웨이퍼의 광학 현미경 사진이며 관찰되어지고

있는 것은 결정화 된  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  입자이다. 이  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  을 구성하는  $\text{SO}_2$ 는 외기로 부터 클린룸 내로 들어 오는 것과 클린룸내에서 APM이 누설되어 전자재의 고분자 수지와 반응에 의하여 발생하는 것으로 알려져 있다.

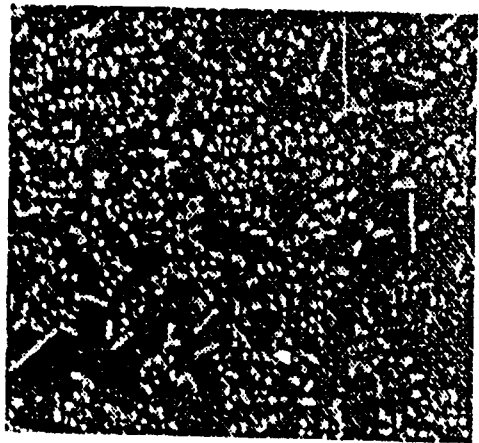


그림 7  $\text{SO}_2$  오염이 많은 클린룸 중에 방치한 웨이퍼 광학현미경 사진

다른 구성 요소인  $\text{NH}_3$  은 앞에서 말한 Excimer Resist의 해상 불량률의 경우와 동일한 기구에 의하여 방출된다. 이 경우 Weakspot를 형성하는 직접적인 원인이 유황(S)이라는 확인은 불가능하고  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  의 결정이 성장할 때  $\text{SO}_2$  이온과 함께 금속 오염이 응집하여 국소적으로 금속 오염 농도가 높아 진다고 판단이 되고 있다.

클린룸 공기 중에는 또한 내장재와 웨이퍼 반송계로 부터 각종 유기물이 방출되어 웨이퍼에 부착되기도 하며 이들의 유기물이 Gate 산화막 절연 불량률의 원인이 되는 것이 최근에 보고되고 있다.

### (3) 접합 Leak 전류의 증가

그림 6 에 나타난 MOS Transistor의 Drain은 양전압을 가할 수는 있지만 Si 기판과 사이는 역 Bias로 되기 때문에 그 사이를 흐르는 전류는 극도로 적게 된다. 이와 같이 전기적으로 절연이 가능한 것은 확산층과 Si 기판과의 사이에 Carrier가 거의 존재하지 않는 영역(공핍층)이 형성 되기 때문이다. 따라서 화학 오염이 다량으로 존재하면 여러 가지의 기구에 의하여 공핍층 중에 Carrier가 발생하여 접합 Leak 전류가 증대하기 때문이다. DRAM의 데이터 유지 불량률과 ULSI 소비전력 증대라고 말하는 문제가 발생한다. 접합 Leak 전류를 증대시키는 기구로서는 SRH (Shockley-Read Hall) 과정, Band 간 Tunneling 등이 있다.

### (4) 구동 전류의 감소

화학오염이 존재하면 MOS Transistor의 구동 능력(Drain 전류)이 감소하고, ULSI의 동작 속도가 감소하는 문제도 발생한다. 계면 Trap은 통상적으로 반전층 Carrier를 감소시키는 작용이 있는 것에 비하여 고정 전하는 그 극성에 의하여 반전층 Carrier의 수를 증가시키기도 하고 감소시키기도 한다. 때문에 어느 것이든 MOS Transistor의 동작상 문제가 발생하는 일에는 변화가 없다. 따라서 증가시키는 경우에는 다음 항에서 기술할 Threshold Voltage의 Shift에 의한 문제가 나타나 있기 여기서는 고정 전하가 반전층 Carrier의 수를 감소시키는 경우만을 고려 한다면 화학 오염은 계면 Trap과 고정 전하를 생성하여 반전층 Carrier의 수를 감소시키는 결과 MOS Transistor의 Drain 전류를 감소시키는 것을 알 수가 있다.

### (5) Threshold Voltage의 Shift

Drain 전류 이외에도 MOS Transistor의 특성을 결정하는 중요한 정수로써 Threshold Voltage가 있다. 이것은 Transistor에 전류가 흐르기 시작하는 전압으로 그 값(절대치)이 조금이라고 넘어서면 Off (Gate 전압이 Zero) 상태로 되어 Leak 전류가 증가하는 결과 ULSI 소비 전력이 증가하기도 하고 DRAM에 있어서는 데이터 유지 불량률이 발생한다. 또한 Threshold Voltage의 절대치가 크게 넘어서는

경우에는 반전층 Carrier의 밀도가 감소하여 Drain 전류가 감소하는 것 같은 문제가 발생한다.

## 5. 맺음말

반도체의 발전과 더불어 웨이퍼의 대구경화와 디바이스의 고집적화가 급속하게 진전되어 새로운 물질에 의한 반도체가 개발되지 않는다면 2010년에 16G까지 발전되어 제어되어야 할 오염은 Feature Size의 1/10인  $0.01\mu\text{m}$ , 즉 10 nano meter 크기의 입자상과 분자크기의 가스상까지가 포함된다. 즉 반도체 제조는 그 집적도가 높아짐에 따라 회로선폭의 간격이 좁아져 생산공정라인에서 제어해야 할 오염입자

의 크기도 점점 작아지고 있다. 이러한 생산조건을 만족시키기 위해서는 클린룸의 청정도를 높일 수밖에 없으며, 클린룸 설비의 품질이 미세 오염제어 관점에서 고급화 될 수밖에 없다. 이는 곧바로 클린룸 건설비와 운전비의 상승을 초래하고 나아가 반도체의 원가 상승, 타산성의 악화를 가져오고 있다.

이상과 같은 가스상 물질과 nm 크기 초미세 입자의 영향은 향후 소자의 고집적화에 따라 더욱 심각해질 것이므로 이와 같은 오염물질들의 성상을 자동 연속적, In-Situ, Real Time으로 측정평가 할 수 있는 기술개발과 유해가스를 경제적, 효율적으로 제어할 수 있는 기술개발이 매우 절실히 요구되고 있는 실정이다.

## 알림

### — (주) 일진 엔지니어링 공장 준공기념식 —

실록의 계절에 귀사의 무궁한 발전과 번영을 기원합니다.

귀사가 성원과 도우심으로 공장을 신축하여 준공기념식을 갖고져 귀하를 초청하오니 공사다망하시더라도 부디 참석해 주시면 더 없는 영광으로 간직하겠습니다.

◆ 일 시 : 1999년 7월 10일(토요일) 11시

◆ 장 소 : 경기도 김포시 양촌면 유현리 314-2

(주) 일진 엔지니어링 김포공장

TEL : (0341) 989-2800

FAX : (0341) 989-7901