

# ‘고집적 디바이스 반도체 제조용 클린룸의 유지 및 안전관리’

최 중 복  
금성일렉트론(주) 연구소  
환경보전부/부장

## 1. 서 론

반도체 디바이스의 고집적화 경쟁은 현대 기술 전쟁의 대표적인 예로 인식되고 있으며 이미 서브 마이크론(SUB MICRON) 시대(4MDRAM부터)를 지나 최소 설계 선폭(DESIGN RULE)이  $0.25\mu\text{m}$ 인 256M DRAM의 개발 경쟁이 치열하게 진행되고 있다.

최근들어 고집적 반도체 디바이스 개발에 필요한 주요 핵심 기술 분야로 디바이스 설계 및 소자 기술과 아울러 장비기술 및 초청정 클린룸(SUPER CLEAN ROOM) 기술의 중요성이 더욱 더 부각되고 있다.

국내의 반도체 기술 동향을 소자 기술 측면에서 보면 16MDRAM의 양산 도입과 국책 프로젝트를 통한 64MDRAM의 개발(국내 반도체 3사 공동)이 93년 3월 완료 예정으로 추진되고 있으며 한프로젝트(HAN PROJECT)의 일환으로 256MDRAM의 연구 개발 계획을 추진 중이지만 장비 기술이나 초청정 클린룸 기술 측면에서 보면 선진국 기술에 비하여 아직 초보 상태를 벗어나지 못한 실정이고 또한 사람들의 관심도 그 중요성을

별로 인식하지 못하고 있다.

따라서 선진국과 반도체 디바이스의 고집적화 경쟁에 한국이 참여하여 기술 우위를 확보하기 위해서는 주요 핵심 기술 분야의 균형적 발전이 우선적으로 선행되어야 할 것으로 사료된다.

고집적 반도체 디바이스용 클린룸의 초청정도 유지 및 제어 기술은 초정밀도를 갖는 장비 기술의 발전과 더불어 새로운 반도체 소자의 연구 개발 및 대량 생산을 가능케 하는 원동력이다.

이러한 클린룸의 유지, 관리는 반도체 소자를 제조하는 데 있어서 모든 유해 요인의 제거, 또는 최소화하기 위한 총체적인 활동을 의미한다.

즉 공기조화 측면에서의 청정도, 온습도, 차압 유지, 기류 조정, 미진동, 정전기 제어, 인원 통제, 비품 반입 관리, 장비 관리 및 주기적 청소 등의 모든 청정 관련 활동을 포함하고 있다.

이에 대한 일반적인 지식에 대해서는 본지에서 수차 기재한 바가 있으므로 본고에서는 반도체 제조에 필요한 각 분야와의 연관성

및 클린룸 내 공기 중에 존재하는 유해 가스 성분에 의한 영향, 반도체 제조용 가스의 안전 대책 등에 관해서 소개하고자 한다.

### 2. 반도체 제조 관련 기술 도해

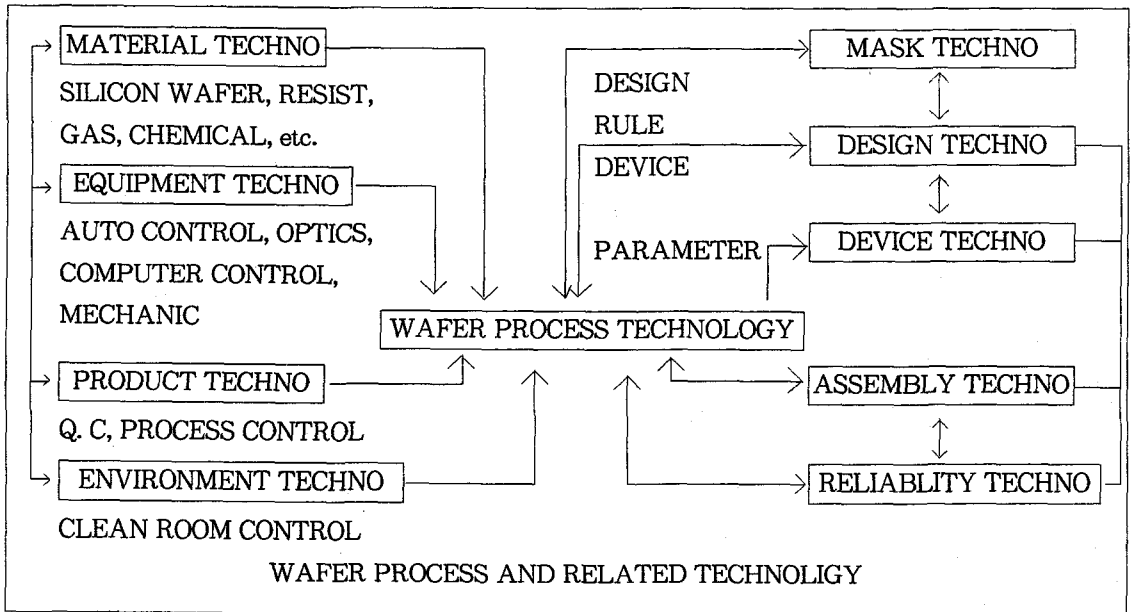
아래 그림은 반도체 제조에 필요한 환경, 설계, 생산, 장비, 재료 등 관련 제반 기술을 나타낸 것이다.(표 1)

### 3. 클린룸(CLEAN ROOM)의 환경조건

고집적 반도체 디바이스의 발달은 기능의 향상과 고집적화된 메모리 소자 개발을 가능케 하고 있으며 회로 설계시 선폭의 작아짐과 칩면적의 커짐은 필연적이다.

이로 인해 제조 과정에서 클린룸의 환경 조건은 반도체 소자 결함과 수율에 많은 영향을 초래하고 있으며 클린룸의 과학적인 설

표 1 반도체 웨이퍼 제조와 그 관련 기술



#### 1) DRAM의 용량과 제거 대상 미립자(표2 참조)

메모리 용량	1M	4M	16M	64M
최소 설계 선폭	1.2 $\mu$ m	0.8 $\mu$ m	0.6 $\mu$ m	0.4 $\mu$ m
마스크 매수	약 15매	약 20매	약 25매	약 30매
PROCESS STEP 수	약 150	약 200	약 275	약 350
최소 제거대상 미립자	0.12 $\mu$ m	0.08 $\mu$ m	0.06 $\mu$ m	0.04 $\mu$ m

계와 효율적인 유지 관리는 수율을 올리는데 있어서 주요 요소이기도 한다.

일반적으로 최소 제거 대상 미립자는 설계 선폭의 1/10로 고려하고 있다.

아래의 데이터는 현재까지 연구된 세미나 및 기술 자료를 종합한 것으로서 보는 시각에 따라 차이가 있을 수 있다.

2) 초청정 클린룸의 주요 사양

① 초청정 클린룸의 정의 : 16M DRAM 이상의 반도체 소자 제조 및 개발에 필요한 클린룸

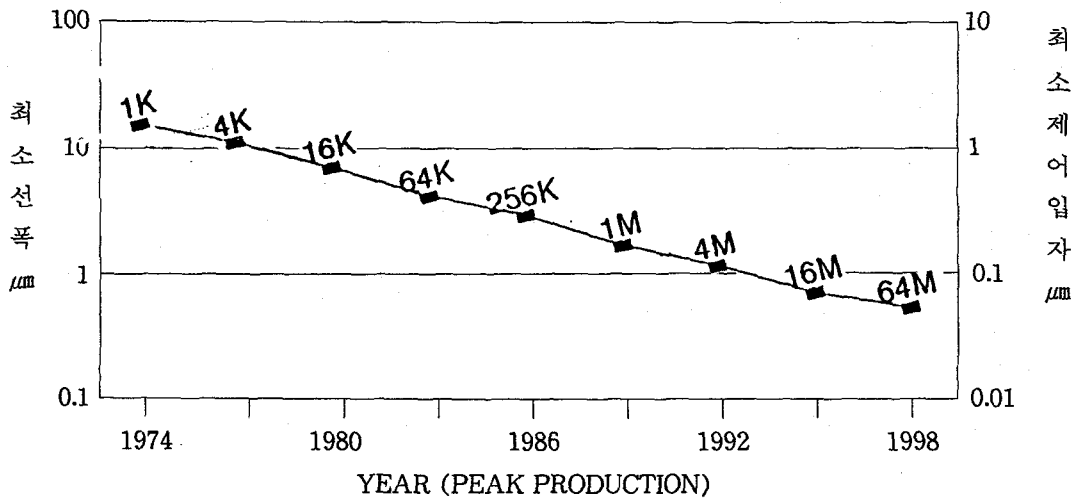
② 초 청정 클린룸의 주요 사양

- 0.06 $\mu$ m 이상의 AIR PARTICLE SIZE에 대해 CLASS 1 WORKING AREA를 확보한 클린룸
- 0.15 $\mu$ m 이상의 PROCESS PARTICLE SIZE를 제어할 수 있는 공정 장비를 보유한 클린룸.
- EP 산화 피막 처리가 된 PROCESS GAS 배관을 설치한 클린룸.

구 분	세 부 항 목	SPECIFICATION
공 조	PARTICLE제어입자	$\geq 0.06\mu\text{m}$
	CLASS	<1
	실간 차압	>0.02mmAq
FILTER	제어 입자경	$\geq 0.06\mu\text{m}$
	포집 효율(%)	99.999999
온 도 ( $^{\circ}$ C)	PROCESS PHOTO	23 $\pm$ 0.3
	PROCESS 기타	23 $\pm$ 1.0
	WORKING AREA	"
	SERVICE PHOTO	"
습 도 (%RH)	PROCESS PHOTO	45 $\pm$ 3
	PROCESS 기타	45 $\pm$ 5
	WORKING AREA	"
	SERVICE PHOTO	"
진 동	SERVICE 기타	45 $\pm$ 10
		<0.1 $\mu\text{m}$
	정 전 기	100V 이하
		<100V
COOLING WATER	온도( $^{\circ}$ C)	23 $\pm$ 1.0
	FILTER제어 입경	$\geq 5\mu\text{m}$
배기/배수	용량(CMM 등)	장비 용량의 120%

구 분	세 부 항 목	SPECIFICATION
GN <sub>2</sub> 일반가스	PARTICLE제어 입경	≥0.1μm
	PARTICLE제어 수량	<10
	DEW POINT	<-100°C
PN <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> AR/H <sub>2</sub>	PARTICLE제어 입경	≥0.1μm
	PARTICLE제어 수량	<1
	DEW POINT	<-110°C
COMPRESSED DRY AIR	PARTICLE제어 입경	≥0.1μm
	PARTICLE제어 수량	<1
	DEW POINT	<-70°C
VACUUM	PROCESS용(MMAQ)	650
GAS TUBE	SiH <sub>4</sub> /PH <sub>3</sub> (A. W)	BA, GP
D. I	RESISTIVITY(MΩ)	≥18.2(at 25°C)
	TOC(ppb)	< 5
	SiO <sub>2</sub> (ppb)	< 1
	BACTERIA(100ml당)	< 0.2
	Na(ppb)	< 0.1
	Cu(ppb)	< 0.1
	Zn(ppb)	< 0.1
	Cl(ppb)	< 0.02

표 2 DRAM과 최소 선폭



## 4. 클린룸 내 유해 가스 성분 및 영향 분석

### 4.1 클린룸 내 유해 가스 성분 분석

#### 1) 목적

반도체가 고집적화됨에 따라 클린룸 내 잔존하는 유해 가스(FUME)가 DEVICE 특성에 미치는 영향에 대해 더욱 심각성을 느끼고 있다.

이러한 유해 가스(FUME)는 특히 반도체 제조에 필수 불가결한 초순수(DI WATER)에 용해되어 초순수의 비저항치(RESISTIVITY)를 저하시키는 악영향을 끼치고 있다.

본 장에서는 클린룸 내에 존재하는 유해가스 성분을 분석하고 이러한 유해 가스의 영향 및 그 대책에 대해서 살펴보고자 한다.

#### 2) 분석 방법

클린룸 내 필터 하부 1M 위치에 비이커(400ml)를 72시간 방치하여 필터를 통하여 유입되는 유해 가스(FUME)를 초순수에 녹여 ION CHROMATOGRAPHY를 이용하여 분석을 실시하였다.

#### 3) 분석 결과

클린룸 내 음이온과 양이온에 대한 분석 결과 여름철보다 겨울철에 총 음이온량이 상당히 증가되고 있는 것으로 나타났다.

특히 겨울철에  $SO_4$ 이온이 크게 증가하고 있으며  $NO_2$ 이온의 경우는 연중 일정량이 계속 검출되고 있다.

클린룸에서 검출되는 대기 오염물질은 주로 연료를 사용함으로써 발생되고 있다. 순수한 연료가 완전 연소를 하면  $CO_2$ 와  $H_2O$ 만이 생성되지만 연료에 포함된 황(S) 성분으로 인해  $SO_4$  Gas가 발생하며, 대기 중 70% 이상을 차지하고 있는  $N_2$ 와  $O_2$ 가 자동차 4행정연

소 과정에서 고온 고압에 의해 폭발할 때  $NO_2$ (질소 산화물)로 변하여 오염을 유발시킨다. 이와 같이 생성된  $NO_2$ ,  $SO_4$  가스가 클린룸의 필터를 투과하여 유입된다.

특히 겨울철에는 난방용으로 사용하는 기름과 연탄 소비량이 늘어나면서  $SO_4$ 이온이 크게 증가되는 것으로 추정된다.(표 3참조)

#### 4) 결론

반도체가 고집적화됨에 따라 클린룸 내 존재하는 이온 성분들이 DEVICE 특성에 영향을 미칠 것으로 사료되며 실제로 대기 오염 성분인  $SO_4$  GAS가 증가되는 겨울철에  $SO_x$  GAS가 초순수에 용해되어 초순수의 비저항치가 저하되고 있다.

이를 방지하기 위해서는 외기 유입 덕트(DUCT)에 유해 가스 제거용 CARBON FILTER의 설치가 필수적이다.

### 4.2 클린룸 내 유해 가스가 초순수 순도에 미치는 영향 분석

#### 1) 목적

상기 4.1항에서 거론한 것과 같이 클린룸 내의 유해 가스는 초순수를 오염시켜 초순수의 순도를 저하시키고 있다.

본장에서는 이에 대한 정확한 분석과 대책을 살펴 보기로 한다.

#### 2) 영향 분석

① 클린룸 WET STATION내 초순수 비저항치의 계절별 변화를 보면 주기성을 가지고 변화하는 것을 볼 수 있다.(표 4 참조)

② 클린룸 내 대기중의 유해 가스(FUME) 성분을 분석해 본 결과 겨울철에 총 음이온 성분이 최고치로 증가됨을 알 수 있다(표 3 참조).

표 3 외부에서 유입되는 유해가스의 월별변화

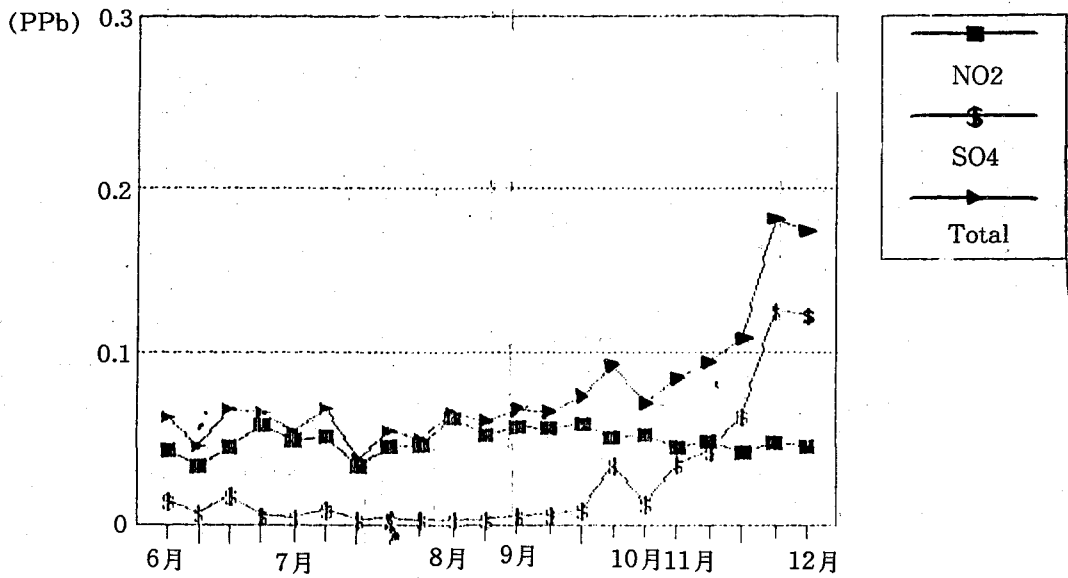


표 4 초순수 비저항치의 계절별 변화

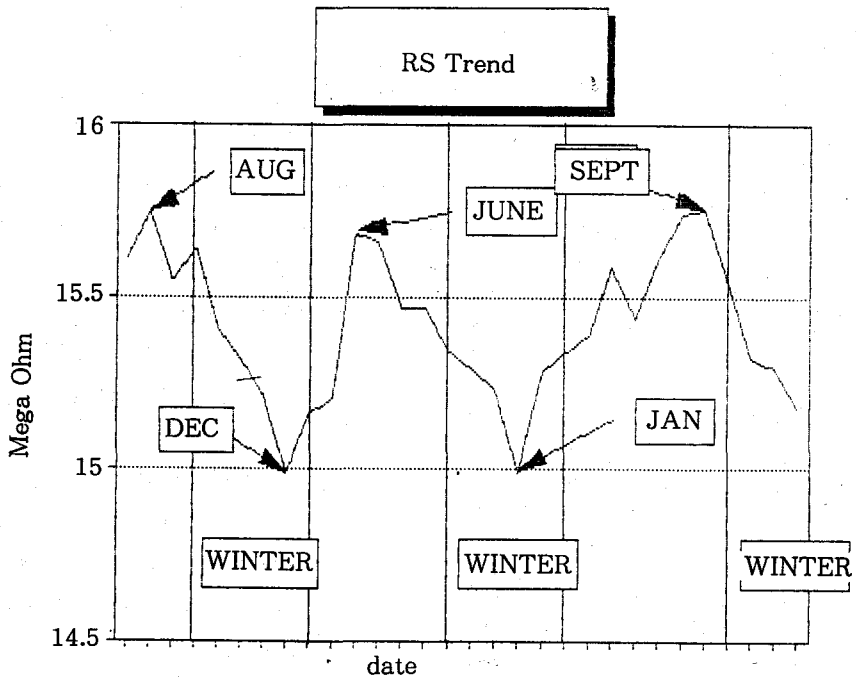


표 5 유해가스량과 초순수의 비저항치와의 상관관계

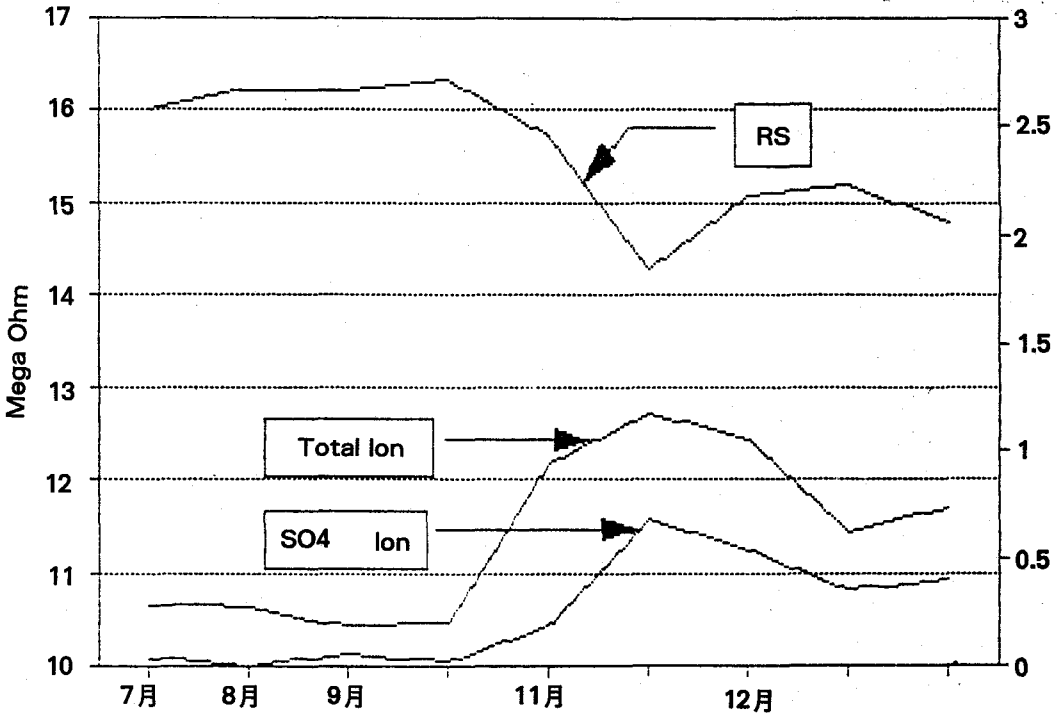


표 6 각 이온들의 고유값

ION	Mass(M)	Charge(Z)	용해되어 있을 때의 Equivalent Conductivity (25°C)
H	1.008	+1	350
OH	17.008	-1	199
NH <sub>4</sub>	18.04	+1	73.5
Na	29.99	+1	50.1
Mg	24.30	+2	53.0
Cl	35.45	-1	76.35
K	39.10	+1	73.5
Ca	40.08	+2	59.5
HCO <sub>3</sub>	61.02	-1	44.5
NO <sub>3</sub>	62.01	-1	71.46
SO <sub>4</sub>	96.06	-2	80.0

③ FUME에 따른 초순수 비저항치의 변화 분석 : 클린룸 내 존재하는 FUME을 매일 채취하여 분석을 실시하고 동 기간 동안의 초순수 비저항치와의 상관 관계를 살펴 보았다 (표 5참조).

변화 분석 결과 검출되는 FUME 이온이 증가됨에 따라 비저항치가 저하되고 FUME이온이 적게 검출되면 비저항치가 높아지는 것을 알 수 있다. 특히 총 음이온량은 SO<sub>4</sub>이온의 변화에 따라 좌우되며 비저항치도 SO<sub>4</sub>이온에 의해 변화됨을 추정할 수 있다.

3) 이론적 고찰

① 초순수에 용해되어 있는 이온 성분 에 따라 비저항치에 미치는 영향은 각각 다르다. 예를 들어 일정량의 NaCl이 초순수에 용해되어 있을 때 비저항치에 미치는 이론적인 계산식은 아래와 같다.

$$\rho(Rs) = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{\sigma[H_2O] + C \frac{Z[Na] A[Na] + Z[Cl] A[Cl]}{M[Na] + M[Cl]}}$$

.....(식 1)

- ρ=Resistivity
- σ=Conductivity, in μ S/cm
- C=Mass ratio of dissolved compound to water
- Z=Units of Elctronic charge
- M= Atomic(Molecular) Weight
- A=Equivalent conductivity, in μ S/cm
- σ=[H<sub>2</sub>O]=Conductivity due to H<sup>+</sup> and OH<sup>-</sup> ion. in μ S/cm

이 때 각 이온마다의 고유값은 표 6 과 같다.

표 6에서 볼 수 있듯이 이온마다 Mass, Charge, Equivalent conductivity 값이 서로 다르므로 똑같은 량이 초순수에 용해되었을 때 비저항치를 저하시키는 정도가 각각 다르다. 식 1 을 이용하여 클린룸 내 존재하는 SO<sub>4</sub> 나 NO<sub>2</sub> 이온이 비저항치를 저하시키는 정도를 이론적으로 계산해 보자.

- ② 대기 오염 성분인 SO<sub>4</sub>이온과 NO<sub>2</sub>이온을 제거했을 경우 이론적으로 상승시킬 수 있는 비저항치
- 평균 0.432ppb로 검출된 이온을 제거하였을 경우 :
  - 식 1에서

- 측정데이터

	1회	2회	3회	4회	5회	평균
NO <sub>2</sub> (ppb)	0.171	0.358	0.340	0.284	0.217	0.274
SO <sub>4</sub> (ppb)	0.185	0.679	0.541	0.347	0.405	0.432
RS (MΩ)	15.7	14.3	15.1	15.2	14.8	15.0



$$\rho(Rs) = \frac{1}{\sigma} =$$

$$\frac{1}{\sigma[H_2O]+C \frac{Z[H] \cdot A[H]+Z[SO_4] \cdot A[SO_4]}{M[H]+M[SO_4]}}$$

.....(식 2)

SO<sub>4</sub>의 물성치 : C(초순수에 용해된 SO<sub>4</sub>의 질량비)=0.432ppb=0.0432×10<sup>-8</sup>

Z[H]=1, Z[SO<sub>4</sub>]=2

M[H]=1.008, M[SO<sub>4</sub>]=96.06

A[H]=350, A[SO<sub>4</sub>]=80

σ=[H<sub>2</sub>O](H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>이온에 의한 전도도)=5.432×10<sup>-8</sup>

식 2에 상기의 물성치를 대입하면 ρ(Rs)=17.67MΩ이 된다.

현재 불순물을 전혀 포함하고 있지 않은 물의 이론적인 비저항치(Rs)는 대략 18.3MΩ으로 알려져 있다.

그러므로 SO<sub>4</sub>이온에 의해 저하된 값은 0.63MΩ(18.3-17.67)이다.

-평균 0.274ppb로 검출된 NO<sub>2</sub>이온을 제거하였을 경우 : 위와 같은 방식으로 계산하면 0.49MΩ을 저하시킨다.

-상기로 미루어 보아 대기에서 유입되는 SO<sub>4</sub>이온과 NO<sub>2</sub>이온에 의해 약 1MΩ의 비저항치가 저하되고 있음을 알 수 있다.

4) 결론

현재 대개의 반도체 제조 업체에서 초순수


의 비저항치를 15MΩ이상(Use Point기준)으로 관리하고 있으나 반도체 소자가 64M, 256M DRAM 등으로 발전됨에 따라 초순수의 비저항치도 16MΩ 이상(Ues Point기준)으로 관리하는 것이 바람직하며 이를 위해서는 외부에서 유입되는 유해가스(FUME)를 제거, 또는 최소화하는 것이 필수적일 것이다. 이에 대한 대책으로서 외기유입 덕트(Duct)에 유해가스 제거용 CARBON FILTER의 설치가 현재로서는 최선의 방법으로 거론되고 있다.

5. 클린룸 내에서의 주의 사항

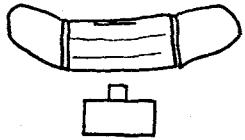
클린룸에서의 작업자의 동작은 클린룸 내에서 제조되는 반도체 소자에 직접적인 영향을 미치는 먼지의 원인이 될 뿐만 아니라 작업자의 행동 여하에 따라 클린룸 내에 형성된 기류를 흐트러 뜨리는 원인이 되므로 이를 방지하기 위해서 클린룸 출입자들은 클린룸 대책으로서 외기 유입 덕트(Duct)에 유해가스 제거용 CARBON FILTER의 설치가 현재로서는 최선의 방법으로 거론되어 진다. 룸 출입시 및 작업 진행시 세심한 주의를 기울여야 한다.

먼저 클린룸에서 작업자의 부주의에 의해서 발생하는 먼지가 얼마나 되는 지를 실험한 결과는 아래와 같다.(Particle SIZE >= 0.1 μm)



(1) SMOCK HEAD COVER





CHECK 조건		PARTICLE 수	비 고
HEAD COVER를 SENSOR 위에서 흔들었을 때, (FREQUENCY : 30/Min)	새로 구입한 것.	77.3A	
	사용하고 있는 것.	61.7EA.	

(2) MASK


CHECK 조건		PARTICLE 수	비 고
MASK만 SENSOR 위에서 약하게 흔들었을 때. (FREQUENCY : 30/Min)		108.7 EA	
MASK만 착용하고	숨만 쉬었을 때	108.7 EA	
	크게 숨을 쉬었을 때	185.7 EA	
	대화를 했을 때	894.3 EA	
	기침을 했을 때	1595.0 EA	

(3) LATEX GLOVE

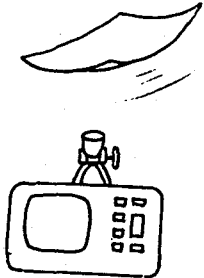
CHECK 조건		PARTICLES 수	비 고
LATEX GLOVE 를 착용하고	약하게 흔들었을 때. (FREQUENCY: 30/Min)	21.7 EA	
	약하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	580.0 EA	
	강하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	8257.7 EA	

CHECK 조건		PARTICLE 수	비 고
LETEX GLOVE 를 DI WATER 로 CLEANING 한 후 착용하고	약하게 흔들었을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	13.3 EA	 
	약하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	425.3 EA	
	강하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	2568.7 EA	
LATEX GLOVE 를 ALCOHOL 및 DI WATER 로 세척 후 착용 하고	약하게 흔들었을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	8.0 EA	 
	약하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	209.7 EA	
	강하게 마찰시켰을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	3601.0EA	



(4) NYLON GLOVE

CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
LATEX GLOVE를 착용하지 않고 NYLON GLOVE만을 착용하고 약하게 흔들었을 때 (FREQUENCY:30/Min)	382.7 EA	

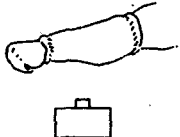
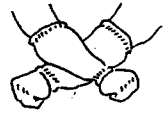
(5) 종이류

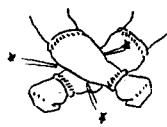

CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
종이류를 SENSOR위에서 흔들었을 때 (FREQUENCY: 30/Min)	일반무진기	219.0 EA
	PRINTER로 인쇄한 무진기	525.0 EA
	복사한 무진기	688.0 EA
	일반 종이를 COATING 처리 한 SHEET	271.0 EA
		

(6) SMOCK



CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
SMOCK을 약하게 비볐을 때. (FREQUENCY:30/Min)	985.3 EA	
SMOCK을 입고 있는 사람을 손바닥으로 쳤을 때. (FREQUENCY:30/Min)	1592.3 EA	

(7) 토시

CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
사용하고 있는 토시를 SENSOR위에서 약하게 흔들었을 때. (FREQUENCY:30/Min)	756.0 EA	
토시를 약하게 마찰 시켰을 때 (FREQUENCY:30/Min)	847.0 EA	

CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
토시를 강하게 마찰 시켰을 때. (FREQUENCY:30/Min)	3687.7 EA	
토시를 착용하지 않았을 때. (FREQUENCY:30/Min)	267.3 EA	

(8) 작업자 태도

CHECK 조건	PARTICLE 수	비 고
방진화를 끌지 않고 걸었을 때	286.3 EA	
방진화를 끌면서 걸었을 때	504.0 EA	

위에서 열거한 예에서 볼 수 있듯이, 클린룸 출입자가 사소하게 지나칠 수 있는 행동들이 클린룸을 크게 오염시키고 있는 것으로 나타나고 있다.

물론 발생된 먼지들이 클린룸 내에서 계속 정제되는 것이 아니라 클린룸 밑바닥을 통해 지하로 배출되어 필터를 거쳐 다시 클린룸으로 순환되어 들어오지만 일단 오염된 공기는 필터의 손상을 유발하고 클린룸에서의 불필요한 행동은 클린룸에 형성된 기류를 흐트러지게 하여 제조 공정에 직접적인 영향을 미치게 한다.

이를 방지하기 위해서 작업자들은 정숙하고 세심한 주의속에서 작업에 임해야 한다.

## 6. 클린룸 안전 대책

반도체 제조용 프로세스는 인체에 위험한 가스를 다량 사용하고 있어 클린룸을 안전하게 관리하기 위해서는 가스 관리가 가장 중요한 항목이라고 할 수 있다.

가스에 의한 재해 발생은 일반적으로 가스의 누출로 기인하는 화재, 폭발 및 중독이다.

이 때문에 가스에 의한 재해 방지의 기본은

- 취급하는 가스의 성질을 정확히 인식하는 것
- 안전 설비를 충실히 활용하는 것
- 장치를 올바르게 조작하는 것.
- 안전관리 체제를 확립하여 안전교육 및 훈련을 철저히 하는 것이다.

1) 반도체 제조용 가스의 정상 : 표 7 참조

2) 화재 폭발의 요인

### ① 가스의 가연성과 조연성

-가연성 가스 : 수소, 메탄 등의 불이 붙는 가스

-조연성 가스 : 공기, 산소 등의 가연성 가스에 불을 붙여 주는 소스(SOURCE)를 제공하는 가스(표 8 참조)

### ② 가스의 폭발한계

가연성 가스와 조연성 가스가 혼합하여 일정한 조성 조건이 되면 불이 붙어 폭발하게 된다. 혼합 가스 중의 가연성 가스의 농도가 초과되거나 미달하여도 폭발하지 않는다.

즉 고유의 농도 범위 내에 들지 않으면 폭발하지 않는다. 이 농도 범위를 '폭발 범위' 또는 '연소 범위'라고 한다.

이 경우 희박한 쪽을 '폭발 하한계', 진한 쪽을 '폭발 상한계'라고 한다. 이 값은 혼합 가스의 온도나 압력에 따라 변화하지만, 일반적으로 상온 대기압하에서의 값은 표 8에 표시되어 있다.

이 폭발 범위가 넓을 수록 위험성이 높다. 범용 가스에서는 아세틸렌(2.5-100%), 수소(4.0-75%)등이 잘 알려져 있으나 특수 가스에서도 이에 필적하는 가스가 많고 위험한 성질을 갖는 가스도 있으니 주의해야 한다.

### ③ 자연 발화성 가스

일반적으로 가연성 혼합가스를 가열하면 가연성 가스와 산소가 반응을 시작하여 발화한다. 그러나 SiH<sub>4</sub>(SILANE) 등은 공기와 접촉하면 특별히 가열하지 않아도 쉽게 자연 발화한다. SiH<sub>4</sub>(SILANE)은 상온 이하

표 7. 반도체용 GAS의 성상

물질명	화학식	분자량	상온	냄새	비점 (1 atm) °C	비중 (증기=1)	물과의 용해도	성질	허용 농도 (TLV-TWA)	폭발 한계
SILANE	SiH <sub>4</sub>	32.12	무색투명의 기체	회박시부취 진할때 불 쾌한 냄새	-111.9	1.11	불용이며 무반응	가연성(폭 발성) 자연 성, 독성	5PPM	1.35%
DICHLORO -SILANE	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	101.0	무색의기체(액 체의 백색)	자극성	8.2	3.52	가수분해 반 응에 의해 HCL생성	가연성(폭 발성) 부식 성(독성)	[HCL]	(3-99%)
사염화	SiCl <sub>4</sub>	169.9	무색투명의 액체	자극성	57.6	5.90	"	부식성[독성] 연속 폭발위 험성은 적음	[HCL]	
SILANE	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	62.2	무색투명의 기체	"	-14.5	2.297	순수에는 불용이며 무반응	가연성 (폭 발성) 자연성	[SiH <sub>4</sub> ]	
ARSINE	AsH <sub>3</sub>	77.945	"	마늘냄새	-62.1	2.69	"	가연성 (폭 발성) 독성	0.05 PPM	5.1-78%
PHOSPHINE	PH <sub>3</sub>	34.0	무색의 기체	고기 썩는냄 새, 마늘냄새	-87	1.184	"	가연성(폭발 성) (자연 성) 독성	0.3 PPM	1.6% -
옥시염 화인 (포클)	POCl <sub>3</sub>	153.3	"	"	105.3	5.3	"	"	0.1 PPM	
DI - BORANE	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	27.67	무색의 기체	불쾌한냄새 비타민B냄새	-92.5	0.965 (0°C)	가수분해 하 여 H <sub>2</sub> 생성	가연성(폭발 성)(자연성)	0.1 PPM	(0.84 - 93. 3%)
삼불화붕소	BF <sub>3</sub>	67.806	"	자극성	-99.8	2.38	물에 녹아분 해	독성 불연성 부식 성, 독성	1 PPM	
삼불화붕소	BCL <sub>3</sub>	117.169	무색의 기체 (액체)	마른풀냄새	12.5	4.12 (0 °C)	결렬히 가수 분해 반응하 여 HCL생성	불연성 부식 성, 독성 불연성 부식 성 (독성)	[HCL]	



물질명	화학식	분자량	상온	범세	비점 (1atm) °C	비중 (증기=1)	물에의용해도	성질	허용농도 (TLV-TWA)	폭발한계
삼브롬화물소	Br <sub>3</sub>	250.52	무색의액체	자극성	91.8	8.78 (13°C)	격렬히반응하여 HF 생성	"		
삼불화질소	NF <sub>3</sub>	71.0	"	무취(불순물 혼입시 곰팡이냄새)	-129.06	2.46	저서허반응	지연성, 독성	10 PPM	
TUNGSTEN TETRA-FLUORIDE	WF <sub>6</sub>	297.8	액체는황색기체,고체는무색		17.5	9.96	즉시 가수분해 합	불연성, 부식성(독성)	[HF]	
FREON - 14	CF <sub>4</sub>	8 801	무색의기체	무취	-128	3.06		불연성	2.5mg/m <sup>3</sup> (F로서)	
FREON - 23	CHF <sub>3</sub>	70.01	"	자극성	-82	2.4		"	"	
CHLORINE	Cl <sub>2</sub>	70.9	황록색기체		-34.6	2.49		지연성	1 PPM	H <sub>2</sub> 와폭발성 H <sub>2</sub> -Cl <sub>2</sub> 55-88%
염화수소	HCL	36.46	무색의기체	"	-84.9	1.27			5 PPM	
사염화탄소	CCl <sub>4</sub>	153.8	무색의액체	특유의냄새	76.679	5.35		불연성	5 PPM	
육불화유황	SF <sub>6</sub>	146.1	무색의기체	무취	(승화) -56.6	5.114		"	1000 PPM	
일산화이질소	N <sub>2</sub> O	44.01	"	항긋한냄새	-88.57	1.53		지연성		
AMMONIA	NH <sub>3</sub>	17.03	"	자극성	-33.4	0.6		가연성, 부식성(폭발성), 독성	50 PPM	15-28%
수소	H <sub>2</sub>	2.01	"	무취	-252.9	0.0695		가연성(폭발성)		4-75%
이산화탄소	CO <sub>2</sub>	44.01	"		-78.5 (승화)	15.29		불연성	5000 PPM	

표 8 위험성의 종류에 의한 GAS의 분류

	특수재료 GAS	범용 GAS
가연성	[SiH <sub>4</sub> ], [Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ], [PH <sub>3</sub> ], [B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ] AsH <sub>3</sub> , SiHCl <sub>3</sub> , SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> Se(GeH <sub>4</sub> )	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> ), (C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> )
독성	AsH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> , B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , SiH <sub>4</sub> , SiF <sub>4</sub> , AsCl <sub>3</sub> PF <sub>3</sub> , PCl <sub>3</sub> , POCl <sub>3</sub> , BF <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> Se, GeH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, HF, Cl <sub>2</sub> , HCl, CCl <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO, HBr
조연성	NF <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> , 공기, NO, N <sub>2</sub> O, Cl <sub>2</sub> , F <sub>2</sub>
불활성 (불연성)	PCl <sub>3</sub> , POCl <sub>3</sub> , BF <sub>3</sub> , BCl <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> , Ar, He, CO <sub>2</sub> , CF <sub>4</sub> , CHF <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> F <sub>6</sub> , NO <sub>2</sub> , HCl, CCl <sub>4</sub> , SF <sub>6</sub> , BBr <sub>3</sub> ,

NOTE : [ ]자연성 GAS, ( )-자기분해성 GAS

표 9 허용농도 및 증독증상

GAS명	허용농도 (TLV-TWA) (PPM)	IDLH (PPM)	증독증상
AsH <sub>3</sub>	0.05	6	급성 : 흡입하면 헤모구로빈과 결합하여 강한 용혈작용이 생긴다. 빈혈→황달→부종 만성 : 적혈구 파괴되고, 오줌에 단백질이 나옴 발한성(땀나는 병)
PH <sub>3</sub>	0.3	200	급성 : 흡입 수분후에 호흡곤란, 경련등의 징후 약급성 : 두통, 구토→물집, 간장장애, 위장장애 만성 : 빈혈, 중추신경계 장애, 골격 약화
SiH <sub>4</sub>	5	-	급성 : 흡입하면 기도 자극, 투토, 구토, 눈, 피부를 자극
HCl	5	100	피부나 점막을 격렬히 자극, 눈이나 호흡기 염증 다량 흡입하면 목에 경련이 일어남, 물집 증세
NH <sub>3</sub>	50	500	흡입하면 코나 기관지를 자극하여 강한 염증 물집 증세, 눈은 자극되어 심각한 부상
H <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	-	-	GAS 자체는 무해하나, 대기중의 산소농도가 18% 이하가 되면 산소결핍이 됨. 사고력 저하, 실신, 돌연한 질식사

표 10 반도체 제조 및 관련 작업에서 생긴 GAS에 의한 재해 사례(일본의 예일)

유해요인	피해상황			발생상황	발생원인등
	사망	중독장해	피부염		
1. 불화수소 (HF)		3		불화수소산소산 혼합물로 스텐레스 내부세정작업 중	작업중 방독 MASK 미착용(기침, 한기, 목에 통증)
2. 산소결핍	1	1		실험중, 산소, 질소 혼합기 HOSE MASK를 착용중 정전으로 인해 질소 GAS만 공급	
3. 불화유황	1			불화유황혼합 물냄새 맡고 중독	독성에 대한 인식 부족
4. 산소결핍	1	1		FREON GAS 봉입조에서 FREON 조작 중, GAS 누출로 질식→구조자도 재해	불활성 GAS의 배출장치 미가동, 보호기 미 사용
5. PH3		5		반도체 표면처리 장치의 부속 설비에 있는 SiLANE GAS 유량계에서 GAS가 누출되어, PH3 및 SiLANE BOMBE의 VALVE를 닫고, 배관내의 잔류 GAS배관의 역지판이 비정상적으로 작동하여 PH3가 SILANE의 배관으로 역류되어 유출됨	역지판의 불량
6. POCI3			1	FURNACE에 POCI3을 공급하는 배관계통 점검중, VALVE를 꼭 연결시키지 않아서 POCI3가 분출되어 되집어 씹	작업수순잘못
7. 산소결핍	1			D.I 제조장치내 이온교환수지의 재생작업을 위해, AIR LINE MASK를 사용하고 내부에 들어가 배관하면, MASK용 송기관으로 공기를 보내기 위해 VALVE를 열었을 때, 장치고장으로 공기용배관에서 질소GAS가 분출됨	안전공구 고장

8. 산소결핍	2	1		Ar탱크 근처의 핏트내 배관 세정 작업 중 사고남(Ar GAS충만)	안전점검 소홀
9. 산소결핍	1			질소가 충전된 DI탱크 배관 세정 작업 중 탱크의 맨홀로 들어가다 탱크내로 추락 함	단독작업 안전교육불충분
10. 산소결핍	1			FREON액이 들어있는 초음파 세정조의 정기 청소시 세정조의 위에서 조내의 칸막이 조립작업 중 발생 함. (재해발생 10-15분전에 질소GAS를 10-20초간 조내에 PURGE 시킴)	산소농도 측정안함 환기 안함 보호 MASK 착용안함

의 저온에서도 산소와 반응하여 반응열에 의해 쉽게 발화된다. SILANE과 비슷한 성질로서 DISILANE, DIBORANE, PHOSPHINE등도 자연 발화성 가스로 분류한다.

④ 자기 분해성 가스

단독으로 존재시 외부 에너지가 부가되어 분해 반응이 일어나 분해열에 의해 연쇄적으로 발열하여 결국은 발화하여 폭발하는 가스를 자기 분해성 가스라고 한다.

이 성질을 갖는 가스로서 종래의 아세틸렌, 산화 에틸렌, 산화 질소 가스가 있으며 특수 가스로서 이런 성질의 가스는 silane, disilane, arsine, phosphine, diborane, 세렌화 수소(H<sub>2</sub>Se)등 15종이 있다.

이런 가스의 안전 대책으로서 충전량을 제한하는 것도 한 방법이다.

3) 중독 및 산소 결핍(산결)의 원인

① 가스의 불활성과 산결

질소, 아르곤, 헬륨, 탄산 가스등은 불활성이며 독성도 없다. 이러한 가스는 안정성 때문에 널리 이용되며 안전용이나 캐리어 가스(CARRIER GAS)로서 대량 사용되고 있다.

그러나 일반의 산업계에서 의외로 많은 산결 사고가 있다. 산결은 산소 농도가 18% 이하가 되면 생겨나는 생체 작용에 의해 불활성 가스 뿐 아니라 산소를 포함하고 있어도 위험성이 있다.

산결은 생명에 끼치는 위험이 특히 크다.

질소 및 수소는 사용량이 많고 무색, 무취여서 가스 누출을 느끼기 어려우므로 산결에 특히 주의해야 한다.

② 특수 재료 가스에는 강한 독성이 있는 것이 많고 허용 농도(TLV-TWA)는 어느 가스나 허용치가 적다 (표 9 참조).

또한 NIOSH가 제안하는 IDLH

표 11 재해사례(SiH<sub>4</sub>)

발생장소	사 고 상 황	원 인	대 책
장비배기 DUCT	장비의 배기 DUCT내로 누출된 SiH <sub>4</sub> 이, DUCT 내의 공기와 혼합하여 연소하여 PVC DUCT에 구멍이 나서, 유독 GAS가 작업실내로 유출되어 종업원 2명이 급성중독을 일으킴	자연 발화하는 농도의 SiH <sub>4</sub> 가 DUCT내로 유출하여 공기와 혼합하여 연소함	① 폐 GAS 처리 장치에 연결된 DUCT의 기밀성을 좋게하여 공기의 유입을 방지하거나, N <sub>2</sub> 등의 불활성 GAS를 유입시킴 ② DUCT의 재료를 금속으로 변경시킴
	SiH <sub>4</sub> 사용장비의 배기 DUCT내에서 GAS가 폭발하여 DUCT손상	CCL <sub>4</sub> 로 반응로를 세정한 후 PURGE가 불충분하여, 계내에 미량의 CCL <sub>4</sub> 가 잔류함. 다음에 이 반응로를 1000℃로 가열하여 사용시 이 잔류 CCL <sub>4</sub> 의 열분해(CCL <sub>4</sub> →C+2CL <sub>2</sub> )에 의해 발생한 CL <sub>2</sub> 가 다음과 같이 연쇄반응하여 폭발한 것으로 추정됨. SiH <sub>4</sub> +2CL <sub>2</sub> →SiCL <sub>4</sub> +2H <sub>2</sub> H <sub>2</sub> +CL <sub>2</sub> →HCL	① CCL <sub>4</sub> 로 세정하면 완전히 PURGE를 행함 ② 다른 위험하지 않은 세정제로 변경함
	작업중 악취가 나서, 장비 배관 등을 점검시 20-30분 지나서 천정부 DUCT의 일부에 구멍이 난 것을 발견하고 장비 정지후 보수 작업시 두통이 생겨 2명 입원함.	SiH <sub>4</sub> 가 배기되어 연소시, PVC DUCT를 녹여 구멍이 생긴 것으로 추정됨. 이 구멍으로부터 PH <sub>3</sub> 이 새어나와 중독됨	① 배기계는 GAS의 특성에 따라 별도로 배관함 ② N <sub>2</sub> GAS로 희석시킴 ③ AsH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> 용 LEAK DETECTOR를 사용 사전 점검 및 상시 MONITOR

발생장소	사 고 상 황	원 인	대 책
SiH <sub>4</sub> 용기와 배관 접속부	SiH <sub>4</sub> 용기에 배관을 접속하고 GAS공급을 시작했을 때, SiH <sub>4</sub> 가 LEAK되어 발화함. 접속후 기밀 TEST는 PURGE용 N <sub>2</sub> 을 이용하여 실시함	GASET불량 및 기밀 TEST불완전	① GASKET의 불량여부를 확인함 ② N <sub>2</sub> 에 의한 기밀 TEST는 사용 압력으로 실시
	고밀도 SiH <sub>4</sub> 를 사용후, 용기를 교환시 폭발음과 함께 발화함	PURGE부족, PURGE방법 불량	용기교환전 N <sub>2</sub> PURGE는 충분히 행해야 함. 또한 GAS LINE은 가압, 방출을 반복하고 진공으로 PURGE도 하는 것이 좋다.
배관(BOMBE BOX 내)	SUS배관 및 용접부에서 SiH <sub>4</sub> 가 방출, 발화함.	배관의 외부에서 부식에 의한 구멍이 생김 BOMBE BOX근처에 '산세정조'가 있어 산에 의한 부식으로 추정됨	① 배관의 근처에 부식성 물질 방치 금지 ② BOMBE BOX에 환기 설비 설치 및 철저 운용
진공PUMP (배기용 HOSE부)	CVD장비에 장착된 진공 PUMP의 배기용 고무 HOSE(진동의 전달 방지를 위한)가 장치가동시 SiH <sub>4</sub> 의 소폭발로 인해 파손됨	BATCH TYPE장비로써, N <sub>2</sub> PURGE 및 진공 PUMPING에 의해 완전히 PURGE하고 나서 생산 진행하게 되어 있음. 더불어서 진공 PUMP출구측에 배출된 SiH <sub>4</sub> 을 회색하기 위하여 PUMP가동부에 연결된 전자편으로 N <sub>2</sub> 를 송입시키도록 되어 있다. 이 때문에 새로운 BATCH개시시에 공기를 흡입시, 진공흡입시에 잔류된 SiH <sub>4</sub> 가 발화하여 고무 HOSE가 파손된 것으로 추정	① 진동방지용 고무 HOSE를 SUS제 Bellows로 교환 ② 진공 PUMP출구측 FLANGE의 강도를 높임 ③ 회색용 N <sub>2</sub> 는 수동으로 향시 PURGE되도록 함
배기 GAS 처리장치	배기 GAS 처리 장치내에서 GAS폭발, 연소됨	SiH <sub>4</sub> 흡수액 순환 PUMP 동작 불량	운전전의 작동확인을 반드시 실시
조정기취급부	SiH <sub>4</sub> 용기와 압력 조정기 조작부에서 GAS가 분출하여 화상을 입음.	PURGE조작불량, 기밀 TEST부실	CYLINDER 교체 작업시 충분한 PURGE와 LEAK TEST실시 철저

표 12 재해발생 사례 및 이에 관련된 화학 물질

공정 혹은 장소 화학물질	EPI	산 화	PHOTO	ETCH	세 정	화 산	ION주입	CVD	SPUTTER	운반	CABINET	TOTAL
G	SiH <sub>4</sub>							6		1	4	11
	PH <sub>3</sub>	1						2			3	6
	BF <sub>3</sub>						2					2
A	POCL <sub>3</sub>					2						2
	BBR <sub>3</sub>					1						1
	BCL <sub>3</sub>			1								1
S	H <sub>2</sub>	1	2			3			2			8
	HCL	1						1			4	6
	NH <sub>3</sub>							1			1	2
N <sub>2</sub>												기타1
산 · 알칼리			9	23	36	7		3	1	10		88
유 기 용 제			3	2	11							16
기 타			14	1	4		3		1	3		26

(IMMEDIATE DANGEROUS TO LIFE AND HEALTH)는 30분 이내에 구출되지 않으면 원래의 건강으로 회복되지 않는 농도치를 표시하는 것으로서 생명, 건강에의 직접 위험도를 의미한다.

4) 재해시의 대응

특수 재료 가스에 의해 발생한 화재를 예상한 기본적인, 일반적인 주의 사항에 관해서 내용을 요약해 보겠다.

- ① 소화의 기본은 화재 및 주변의 상황을 판단하고 가스의 공급을 빨리 중단시키는 데 있다.

가스 화재는 가연성 가스가 공기중(조연성 가스)에 방출되어 혼합되어 타는 것이므로 가연성 가스의 공급을 중단시키면 그 즉시 불은 꺼진다.

배관이나 용기판 등에서의 가스 누설에 의한 가스 화재는 주변에 가연성이나 위험물이 없으면 버너에서 연소하고 있는 것과 같이 생각해도 좋다.

- ② 독성을 갖는 가스의 소화 작업에는 필히 자급식 호흡기를 장착해야 한다. 가스 화재의 소화에만 집중하게 되면 소화가 되어도 계속하여 가스가 누출되는 경우 가스의 중독성에 의한 중독이 될 수 있으므로 주의가 필요하다.

- ③ 독성 가스가 연소하는 경우 가스보다도 연소 생성물 쪽이 독성이 적은 것이 많으므로 가스의 공급을 정지시키지 않은 경우는 소화하지 않는 편이 오히려 중독 재해의 위험이 적다. 단 ARSINE과 같은 경우에는 연소 생성물(비스 산화물)에도 독성을 갖

고 있는 경우도 있으니 주의해야 한다.

- ④ 가스 화재에서 큰 화재로 되는 경우는 가스 폭발이다. 방재상 가스 폭발을 일으키지 않도록 특히 주의해야 한다.

가스 화재는 누출 혹은 흡출된 가스가 연소되고 있어 화재를 소화하여도 가스의 유출을 연속시키면 재화재가 일어나 폭발의 위험이 있다.

가스가 연소되어도 주변에 하등의 영향을 주지 않는 상황이면 급히 소화할 필요가 없다. 주변의 상황을 잘 생각하여 대책하는 것이 절대 필요하다.

- ⑤ 일반 주의 사항

화재가 발생한 경우는 다음의 각 사항을 염두에 두고 상황을 신속히 파악하여 행동해야 한다.

- 가스폭발
  - 독성 가스에 의한 중독
  - 연소 생성물의 독성
  - 용기 안전판 혹은 용기의 파열
- 또한 정확한 판단에 의한 신속한 연락, 통보, 소화 등의 행동을 해야 한다.

- 5) 재해 사례 및 교훈(일본 예) : (표10-12 참조)

- 6) 교육, 훈련의 중요성

일본의 재해 사례를 검토해 보면 설비의 불충분 보다는 인간의 과실이 원인이 된 경우가 많다. 최근 일본에서 발생된 고압 가스 사고 84건에 '설비 유지 관리 불충분'과 '취급 부주의' 등의 인위적인 요인이 89%를 점하고 있다.



이처럼 사고의 대부분은 인위적인 요인 (HUMAN FACTOR)에 기인하는 것으로 볼 때 안전 관리 체계의 확립과 안전 교육, 훈련의 중요성은 재차 지적하지 않아도 될 것이다. 천재(天災)이외의 사고에는 필히 인간의 과실이나 태만 등에 관련있다고 볼 수 있다.

‘열번의 과실 중에 한번은 손해를 생기게 하는 작은 사고를 발생시키고 이런 작은 사고 30회 중에 한번은 큰 사고가 된다’고 한다.

한번의 큰 사고 전에 29번의 작은 사고가 생기고 그 전에 270번의 인간의 과실이 있다는 것이다. 이것은 과실을 재발생 안되게 하는 대처를 확실히 한다면 재해 방지도 그리 어려운 일이 아니라는 것을 시사하는 것이다.

## 7. 맺음말

이상으로 반도체 클린룸의 유지 관리에 대한 사항을 두서없이 기술해 보았다.

앞으로의 클린룸 관리는 현상태 유지를 위한 단순한 관리가 아니라 오염원에 대한 분석 및 이에 대한 근본적인 대책 수립 등 철저한 관리가 실시되어야 하고 반도체 소자의 기술 발전을 뒷받침할 수 있는 클린룸 관리 기술의 발전이 시급하며 차세대 제품인 256MDRAM부터는 사람에 의한 먼지 발생 방지를 위해 무인화된 클린룸이 필수적이다.

또한 클린룸은 구조적으로 외부와 단절되어 있고, 환기 횟수가 대단히 많은 밀폐된 공간이며, 인체에 치명적인 독성 가스 등을 사용하고 있는 등 사고 발생시 큰 인명 피해를 낼 수 있는 위험 요인이 많으므로 초정정 관리 기술 못지 않게 안전 관리에도 부단히 노력해야 할 것이다.

## 뉴스

### 外貨대출자금 적극 支援

商工部, 4분기중 2억弗분배

정부는 양산설비가 시급한 16MD램에 대한 투자를 활성화하기 위해 올 4.4분기와 내년 상반기 중에 반도체산업 메모리 분야에 대규모 외화대출 자금을 공급키로 했다.

14일 관계당국에 따르면 상공부는 4·4분기에 지원될 대기업용 외화 대출자금 6억 달러 (중소기업용 미소진 예상분 포함) 가운데 37%에 해당하는 2억달러 정도를 반도체산업 메모리분야에 배분키로 방침을 정한 것으로 알려졌다. 이는 전자 산업에 분배된 외화대출 자금 2억 7천만달러의 74%에 해당하는 것이다.

상공부는 또 내년 상반기중에 지원될 총 30억달러의 외화대출자금 가운데 적어도 3억달러 이상을 반도체산업에 지원하는 방안도 적극 검토하고 있다.

상공부는 특히 이번 반도체분야에 공급할 외화대출자금을 반도체 3社에 균등분배키로 한 것으로 알려져 내년 상반기까지 한 회사에 1억 6천여만 달러 이상의 외화대출자금이 지원될 것으로 보인다.

상공부의 이같은 방침은 반도체산업이 국가전략산업일 뿐 아니라 특히 16MD램의 경우 세계 최고의 기술보유국인 일본과 거의 동시에 기술개발이 이루어져 양산투자가 시급하다는 점이 고려된 것으로 풀이된다.