

# 반도체 산업에 사용되는 유독성 위험물질의 재해방지에 관한 연구

1991. 12. 31



한국산업안전공단  
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION  
산업안전보건연구원  
INDUSTRIAL SAFETY AND HEALTH RESEARCH INSTITUTE

# 제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고를 산업재해예방기술의 연구개발 및 보급  
사업의 일환으로 수행한 화학물질의 유해성 조사방  
법 연구에 관한 보고서로 제출합니다.

1991년 12월 31일

주관연구부서 : 산업안전보건연구원  
화학연구실  
연구책임자 정 동 인  
연구수행자 정 동 인

## 머 리 말

컴퓨터 産業은 半導體 技術의 발전에 힘입어 個人用 컴퓨터와 같은 高性能이면서도 저렴한 퍼스널시스템이 메인프레임같은 값비싼 中央處理 시스템을 代身하는 方向으로 구조가 變化하고 있고, 독점기술 및 시스템에 의해 지배되던 컴퓨터 분야가 生產業體가 다른 하드웨어 機種間의 接續使用이 쉬우며 어떠한 종류의 소프트웨어라도 운용이 가능한 오픈시스템 ( Open System )으로 발전하고 있다. 또한 컴퓨터 산업은 小型化, 輕量化, 高性能化, 低價格化에 따른 노트북형 個人用 컴퓨터 등으로 크게 압축시킬 수 있으며 컴퓨터 산업은 이제 전문가들을 위한 단계에서 대중화 단계로 移行하면서 수요자의 위상이 더욱 강화되는 方向으로 변화하고 있다. 이와같은 컴퓨터 산업의 변화에 발맞추어 제조회사들은 高技術 集約적이고 附加價值가 높은 製品을 보다 값싸게 공급하기 위한 전략마련에 부심하고 있다. 즉 半導體 技術을 포함하는 컴퓨터 技術이 급속하게 발전하면서 컴퓨터 및 주변기기의 제품수명 주기 단축으로 新製品 開發의 필요성과 保護主義의 강화에 따른 他國으로의 진출 필요성에 직면하고 있다. 이러한 變化에 對應하여 컴퓨터 산업과 관련한 반도체 제조기술 산업의 구조가 광역화 되고 있다.

이와 때를 같이하여 한국의 반도체산업은 현재 미국 및 일본 다음가는 세계 제 3위의 자리를 지키고 있어 첨단과학기술이 날로 발전되고 있다는 표상도 된다. 그러나 한편으로는 이들을 취급하는 제조회사에서는 수많은 유독성 화학물질을 다루고 있으므로 이들의 사용규제나 단속이 현재로서는 매우 난이하다. 왜냐하면 산업안전보건법에 반도체 제조회사의 작업장을 측정하거나 점검할 수 있는 제도적

장치가 없을 뿐만 아니라 크린룸 (Clean Room) 이라는 특수작업장의 환경을 측정하려면 매우 까다로운 절차와 고도의 전문지식을 요하므로 이들을 합리적인으로 성취시키기 위하여는 화학연구실에서 특히 반도체에 사용하는 유독성물질을 충분히 이해하고 선진국의 크린룸 측정법을 숙지하여 우리 반도체 산업체에 잘 맞는 기술기준을 제정하여 근로자들을 보호하는데 그 목적이 있다. 따라서 노동부 및 관련 단체 기술진 여러분들은 半導體 作業工程의 危險物質中에서 특히 독성이 강한 가스 및 위험물 취급시 災害防止에 관한 내용을 충분히 검토하시도록 연구결과 제 1 편을 종합하오니 본 연구 사업이 성취되도록 적극 협조를 바랍니다.

산업안전보건연구원장

# 목 차

1. 반도체의 연구 개요 .....	3
2. 반도체의 사용재료 및 설비 .....	7
2-1. 크린룸 ( Clean Room ) 의 정의 .....	7
2-2. 웨이퍼 ( Wafer ) 의 제작 .....	13
2-3. 화학약품 .....	15
2-4. 사용 가스 .....	19
3. 반도체 개별 단위공정 .....	31
3-1. 에피탁시 ( Epitaxy ) 공정 .....	32
3-2. 산화막 생성 공정 .....	37
3-3. 확산 공정 .....	41
3-4. 이온 주입 .....	45
3-5. 사진 식각 .....	49
3-6. 화학 증착 .....	55
3-7. 금속막 증착 .....	58
3-8. 웨이퍼 기능검사 .....	60
3-9. 반도체 조립기술 .....	61
4. 반도체의 품질관리 .....	65
4-1. 일반 품질관리 .....	65
4-2. 제조공정중 품질관리 .....	66
4-3. 반도체의 신뢰도 .....	66

4-4. 반도체의 오염원과 수율과의 관계 .....	66
5. 반도체용 가스 및 화학약품 취급 저장 및 폐기시 요령 .....	71
5-1. 반도체용 가스취급 요령 .....	71
5-2. 반도체용 화학약품 저장 및 폐기 요령 .....	75
6. 안전대책 .....	79
6-1. 가스 안전대책 .....	79
6-2. 화학약품 안전대책 .....	81
6-3. 화재시 안전대책 .....	83
7. 반도체 제조공장의 사고사례 .....	85
8. 결    론 .....	88
9. 참고문헌 .....	91

## 1 . 반도체의 연구 개요

- 반도체의 물성을 이해하기 위하여는 먼저 원소의 기본원리를 알아야 한다.

모든 원소 ( 元素 ) 는 原子라고 하는 아주 작은입자로 구성되어 있으며 주어진 단체 속에서 모든원자는 그 성질이 동일하다. 원소는 세가지 성질이 다른 입자로 구성되어있으며 원소의 中心部는 양으로 하전된 핵으로 되어 있다. 즉 전자 ( Electrons ) , 양자 ( Protons ) 및 中性子 ( neutrons ) 이며 이들은 핵주위에 음으로 하전된 전자가 원운동을 하며 설세없이 움직이고 있다. 그러나 핵은 양의 전하를갖는 양성자와 중성인 중성자로 구성이 되어 있다. 보어 ( Bohr ) 의 原子설에 따르면 원소들은 물리적 , 화학적 , 전기적 및 기계적 성질들은적절히 잘 표현하고 있다. 즉 모든 원소에서 원자번호는 전자수 및 양성자수와 같고 전자들은 핵주위 궤도를 움직이고 있다. 주기율표에 같은족 원소들의 성질은 매우 유사하다. 왜냐하면 최외각 전자의 갯수가 같기 때문이다. 원소들은 최외각 전자를 8 개를 가지고 있으려고 하며 8 개를 가지므로 안정화 하는 성질이 있다. 고로 어떠한 原子는 다른 原子와 결합하여 최외각 전자를 8 개 가지려는 성질이 있다. 지각에 약 60 %로 되있는 실리콘 ( Si ) 원자는 최외각 전자는 4 개를 가지고 있으며 이 원소는 불안전하여 안정한 상태로 되돌아가려는 성질이 있다. 즉 외각의 4 개의 전자를 더 받으므로 8 개의 전자상태로 될려는 성질이 있다. 따라서 다른 4 개의 실리콘 원소에서 하나씩을 주면 최외각 전자는 8 개가 되어 안정한 상태로 존재할 수 있다. 이와같은 실리콘 원자에 각각 한개씩의 다른 실리콘원

자에서 전자를 내주어 안정한 상태로 되는 것을 옥테트 ( octet )라 하며 이러한 결합을 공유 ( 共有 ) 결합이라 한다.

일반적으로 전기가 흐르는 물체를 전도체라 하며 흐르지 않는 물체를 부도체라 한다. 반도체의 재료는 전기를 전도시킬 수 있다. 전기전도란 어떤 원소에서 전자의이동을 말한다. 금속과 같은 물체의 원자들은 최외각에 2 개 또는 3 개의 전자들이 원자 핵에 구속되지 않고 자유롭게 움직일 수 있다. 바로 이러한 현상은 도체라 불리는 금속 내부에서 존재하게 되는 것이다. 모든 물체의 전기전도의 값은 전도도 ( Conductivity )로 표현할 수 있으며 또 다른 표현 방법은 전기의 흐름을 방해하는 정도 ( 程度 )의 표현으로 저항도 ( Resistivity )로서 표시할 수 있어 이들 전도도와 저항도는 서로 反比例함을 수식으로 표시하면 다음식과 같다. 즉 서로 역비례 관계이다.

$$\rho = \frac{1}{e} \quad ( \rho : \text{저항도}, e : \text{전도도} )$$

일반적으로 도체란 한 원자의 최외각 상태에 있는 전자들이 핵 ( 양성자 )에 의해 얼마나 구속력을 가지고 있느냐에 달려 있다. 즉 도체는 최외각에 전자와 핵과의 구속력이 약하기 때문에 핵을 멀리하여 자유자재로 움직일 수 있는 것이며 한편 부도체란 핵과 최외각 전자들간에 인력이 강해 세게 밀착되어 있으므로 전자들의 이동이 매우 난이한 상태를 말한다. 그러나 반도체란 文字 그대로 전자의 이동성질 즉 전도성이 비교적 약한 도체로서 도체와 부도체 성질의 中間쯤 되는 성질을 가진 물체를 말한다. 예를들어 반도체를 설명하면 주기율표에 제 4 족에 속하는 원소들은 탄소 ( C ), 실리콘 ( Si ) 및 게르마늄 ( Ge ) 등이 있는데 이들의 최외각 전자는 4 개씩으로 이들은 서로 결합하여 결정 ( 結晶 )을 이루어 安定化되어 있다. 이들이



결정을 이룰때 실리콘 원자 한개는 최외각전자 8개를 구속하게 되는 것이다. 따라서 불순물이 개입되지 않는 순수한 반도체 소재는 전자의 이동이 난이하므로 별 사용가치가 없는 것이다. 고로 반도체 자료의 사용성을 이해하기 위하여 반도체 자료의 전도도는 극소량의 불순물을 주입하여 정확하게 조정하므로 전자를 흐르게 하거나 또는 정확한 저항도를 갖도록 만들 수 있는 것이다. 보통 금속에 경우 전도도는  $10^4$  에서  $10^6$  오옴 ( ohm )  $cm$  의 전도도를 갖으나 반도체의 경우는 더 넓은 영역에서 오옴을 조절할 수 있다. ( 즉  $10^3$  에서  $10^{-3}$  오옴  $cm$  ) 전도도를 조절하기 위하여 재료에 주입되는 불순물의 양은 0.01 ppm 에서  $10^3$  ppm 까지 미량 주입이 가능하므로 불순물 한개의 원자는 실리콘 원자들에 의해 쌓여 있게 될 것이다. 반도체는 N-Type 과 P-Type 으로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 N-Type 을 설명하면 다음과 같다. 순수 실리콘 자료에 주입한 불순물원자의 최외각 전자 숫자가 5 개라면 실리콘의 최외각의 4 개의 전자들과 4 개는 공유결합을 하는데 사용되고 나머지 한개의 전자는 남아서 재료 내부에서 자유로이 이동할 수 있어 전기를 전도시킬 수 있게 한다. 이와같이 전자가 남아 전기적으로 Negative 하다 하여 N-Type 라 부르며 불순물의 명칭은 도너 ( Donor = give 의 뜻 ) 라 한다. 그러면 P-Type 의 반도체는 붕소 ( B = Boron ) 와 같이 최외각 전자가 3 개인 원소를 실리콘에 불순물로서 삽입 ( insertion ) 시키는 경우를 생각할 때 N-Type 의 반도체에서와는 반대로 반도체의 자료인 실리콘 원자 하나에서 이번에는 붕소에 하나의 전자를 주게되어 자기자신은 1 개의 전자를 필요로 하는 상태의 원자가 된다. 이와같이 한개의 전자가 비워진 자리를 정공 ( Hole ) 이라 부르며 이때는 전기적으로 양 ( + ) 의 전하를 띄게 된다. 정공 주위에는 다른 실리콘 원자에 있던 전자들

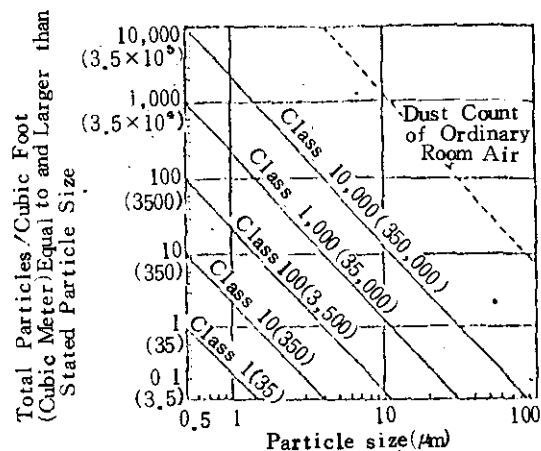
은 원래있던 자리를 떠나 빈 공간을 채우려는 경향을 가지며 전자 하나를 잃은 전자는 전자 한개가 부족한 새로운 hole 이 생성될 것이다.

결론적으로 제 1 번의 실리콘에서 붕소로 이동된 원자가 전자를 채우기 위해 제 2 번째의 실리콘 원자가에서 전자가 보충되므로 제 2 번째는 다시 정공 ( hole ) 이 생성되며 전자는 이동이 계속될 것이다. 이와같은 정공의 이동은 반도체 내부에서 무질서 (Randomness) 하게 움직이고 있으나 전압을 가하게 되면 전자의 이동방향을 결정케 되며 정공 ( hole ) 의 움직이는 방향은 전자와는 서로 反對가 될 것이다. 이때 정공 ( 빈홀 ) 은 전기적으로 양 ( + ) 으로 하전된 입자와 같이 움직이므로 이때는 P-Type ( Positive ) 라 부르며 가한 불순물은 전자 1 개를 받게되므로 수용체 ( Acceptor ) 라 부른다.

## 2. 반도체의 사용재료 및 설비

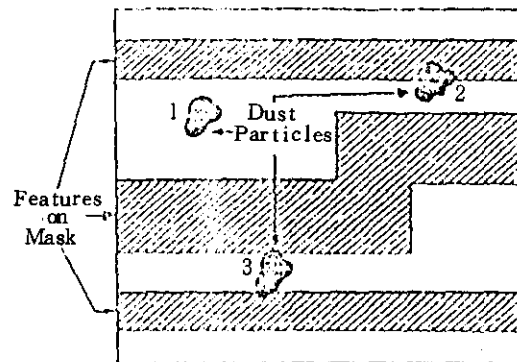
### 2-1. 크린룸 ( Clean Room : CR )<sup>(1,2)</sup>의 정의

크린룸이란 공기중에 떠 있는 먼지입자의 농도, 온도, 습도 기압 및 기류 등이 정밀하게 제어되는 공간 ( Clean space )의 건물을 말한다. 그러나 크린룸에 대한 엄밀한 정의는 먼지입자의 입도와 갯수 농도로 정의된다. 즉 반도체를 취급하는 작업장 내에 있는 단위 부피당 공기중에서  $0.5\mu\text{m}$  ( 미국규정 ) 또는  $0.2\mu\text{m}$  ( 일본규정 ) 보다 큰 입자의 수를 어느 수준이하로 유지하도록 공기를 특별히 여과시킨 작업공간을 크린룸이라 정의한다. 예로서 크라스 ( Class ) 10의 크린룸이라 함은  $0.5\mu\text{m}$  이하의 입자가 10개 입방피트 (  $\text{ft}^3$  )당 들어있는 공간을 말한다. 크린룸내의 공기의 청정도 ( 清淨度 : Cleanliness )를 나타내는 크라스 10,100 또는 1,000 등의 분류는 그림 1과 같이 먼지입자의 입도와 갯수의 누적입도 분포곡선으로 표시된다.



( 그림 1 ) CR내의 공기중에 들어있는 먼지의 입도 분포누적곡선과 등급규정 ( 1  $\text{m}^3$ 당 갯수로 환산하기 위해서는 수치에 35를 곱한다. <sup>(3)</sup> )

크린룸은 반도체 공업 및 컴퓨터 조립공장에서만 중요한 시설 뿐만 아니라 정밀화학공업 병원 수술실, 식품공장, 제약회사 주사제용 제조실 및 유전자 공학 연구실 ( Bio-Clean Room:BCR ) 등 일반적인 공기조절 공정이 요구되는 공간에 적용된다.<sup>(4)</sup> 반도체 생산공정중 전사장치 ( Lithographic equipment ) 공정에서는 반드시 고등급 크린룸이 필요하며 크린룸내의 공기중 먼지입자는 반도체 웨이퍼 ( wafer ) 나 전사마스크 ( Lithographic Mask ) 위에 부착되면 반도체 부품의 결함을 초래하여 전체 회로를 못쓰게 할 수도 있다. 예를들면 반도체 표면에 붙은 한개의 먼지입자 일지라도 에피택시필름 ( Epitaxial Film ) 의 단결정 성장을 방해하여 혼란의 원인이 되기도 한다. 산화물에 끼어든 먼지입자는 전기 전도도를 증가시켜서 낮은 붕괴전압을 발생시켜 반도체의 결함을 야기시킨다. 이러한 먼지의 개입은 전사 공정에서는 더욱 치명적인 영향을 준다. 먼지입자가 전사용 광마스크 ( Photomask ) 표면에 부착되면 마스크 위에 불투명한 무늬로써 작용하여 먼지의 무늬가 마스크상의 회로 무늬와 함께 아래층으로 전달된다. 그림 2 는 광마스크 위에 존재하는 세개의 먼지입자의 역할을 설명한 것이다.



( 그림 2 ) Photomask 무늬에 여러가지의 간섭을 일으키는 먼지입자의 영향<sup>(1)</sup>

1 번 먼지는 아래층에 핀홀 ( Pin hole ) 을 형성시키고 2 번 입자는 무늬에 가장자리 끝에 위치하여 금속회로 ( metal runner ) 에서 전류의 흐름을 방해하게 되면 3 번 먼지입자는 두층의 전기회로를 단절시키므로 반도체 회로를 부도체로 만들어 못쓰게 하는 구실을 하게 되는 것이다. 따라서 크린룸 내에서는 공기단위 부피당 먼지입자의 총 갯수를 온도 및 습도와 함께 엄격히 규제하여야 한다. 이러한 제어 목적에 그림 1 이 기준으로 쓰이게 된다. 먼지입자의 갯수는 입도가 작을수록 많아지게 되기 때문에 반도체 크기가 작을수록 즉 직접회로 소자의 집적도 ( 集積度 ) 가 16 K비트 ( Bit ) 에서 64 KBit ( LSI ) 또한 256 KBit ( VLSI ) 순으로 증가할수록 크라스  $10^4$ ,  $10^2$  10 등급으로 더욱 엄격한 크린룸의 먼지 입자 제어가 필요하게 된다. 특히 MOS 다이내믹 RAM의 집적도 ( Bit / Chip ) 가 4,16,64,256K 1M, 4M, 16M 및 64 M 등의 순으로 증가할수록 모형의 길이는  $8 \mu\text{m}$  에서  $0.6 \mu\text{m}$  로 짧아지기 때문에 허용되는 먼지입자의 입파도는  $0.8 \mu\text{m}$  에서  $0.6 \mu\text{m}$  로 더욱 더 작아지고 크린룸 등급도 점점 낮아지게 된다. 이들 규격은 권장온도, 습도, 압력 및 기류의 환기 회수 등에서 약간의 차이가 있게 규정되어 있다. <sup>(5-8)</sup>

#### 가. 크린룸의 구조와 헤파 필터 ( HEPA Filter )

크린룸 ( 청정실 ) 의 구조는 먼지 입자가 제거된 공기의 순환 또는 흐름형태에 따라 난류형, 수직층류형 및 부분층류형 등으로 구분된다. <sup>(9,11)</sup> 크린룸을 구성하는 주요 기기설비는 에어샤워 ( Air Shower : AS ) 시설, 부츠박스 ( Boots Box ), 헤파필터 또는 ULPA 필터 시스템의 청정 공기조절기 각종 측정감지기 및 제어기기로 구성된다. <sup>(12,13)</sup> 특히 헤파필터 또는 입자도  $0.3 \mu\text{m}$  이상의 입자를 99.97 % 이상 제

거할 수 있는 필터를 ULPA<sup>(14)</sup> 필터 ( Ultra Low penetratzon Air Filter )라 한다. 최근 많이 사용되는 HEPA필터는 미세입자 1 $\mu$ m 이하 90 % 이하의 집진에 쓰이며 표면유속은 10 cm / S 보다 작는데 확산이 주된 집진 메카니즘이다. 압력강화는 수증기 ( 20 mm Hg ) 정도이고 분진 부하량도 아주 낮다. 이 여과기에 쓰이는 재료는 종이 , 유리섬유 , 아스베스로 섬유 및 메트 등인데 멸균공기가 필요한 반도체 공장 또는 핵 연료 처리장의 크린룸에 쓰인다. 효율이 아주높은 절대필터의 여과막에는 셀룰로즈 에스테르로 만든 밀리포어 멤브레인 ( Millipore membrane ) 이 사용되며 이것은 에어로솔 등의 시료채취및 분석용으로도 사용된다. 최근 HEPA필터로 밀리포어 멤브레인을 쓰기도 하나 압력강화가 크기 때문에 산업용으로는 적합치 못하다.

#### 나. 크린룸 ( Clean Room ) 의 설계와 시공상의 중요성

크린룸에서 필요한 기능의 기본적 사항은 다음과 같이 다섯가지 요구사항이 있다. <sup>(11, 13)</sup> 즉

- ① 먼지 입자의 등급으로 결정되는 공기청정도
- ② 온도 및 습도제어
- ③ 건조설비와 에너지 절약에 의한 비용절감
- ④ 제조품목에 따른 크린룸 환경의 변화가 용이한 설비의 융통성
- ⑤ 작업자의 안전확보와 쾌적한 환경의 유지 등이다.

특히 반도체 공업에서는 여러가지의 화학약품 및 가스등이 제조공정에 쓰인다. 앞으로 닥아오는 세대에서는 반도체 제품이 더 복잡 다양해 질 것으로 예측되므로 재해방지는 물론 안전 및 보건상의 확보문제가 더 심각하게 대두되고 있다. 또한 크린룸은 폐쇄 공간이므로 소음 문제도 신중히 다루어야 할 문제이다. 이러한 제반 사항들

이 만족하는 것을 전제로 하고 실제의 크린룸 설계가 진행되고 보급되어야 한다. 특히 반도체 공장의 청정도 제어와 관련되는 건축 기술상의 검토사항은 건물 공간의 용도와 유통성, 청정도의 등급, 청정도의 유지 관리, 작업 동선배치, 공기 밀폐성의 유지, 마감재료로 부터의 먼지 발생, 정전기 대전방지, 공기 조화계통의 구성 및 감시제어 계통(분진 입도와 농도측정) 등이다. 크린룸 설계에 있어서 구체적인 계획은 크린룸 내에서 공기압을 항상 일정하게 유지하는 일인데 공기의 공급과 배출의 흐름량의 균형은 특히 중요하다. 또한 공기 흐름으로 인한 먼지 발생이 전혀 생기지 않는 크린룸의 마감재료의 선택도 중요하다. 이러한 재료는 대부분 화학공업 제품이므로 특수목적에 맞는 재료의 개발이 요청된다. 한편 크린룸의 건축방법은 이동식 유닛트형, 프리페브형 및 축조형 등의 세종류가 있다.<sup>(15)</sup> 건축법의 선택은 크린룸의 용도, 규모, 구성, 공사기간 및 공사비용 등으로 결정되며 건축 시공시에 주의해야 할 점은 이들 건축물은 특수환경을 제공하는 건물인 까닭으로 일반 건축물과는 전혀 다른 의식을 가진 기술자들이 말아야 한다는 점이다. 특히 주의가 요구되는 부분공사로서는 덕트(Duct)공사, 필터(Filter) 설치공사, 기밀성을 위한 씰링(Sealing)공사 등에 유념해야 할 것이다. 물론 이때 크린룸의 계획에서 조명, 온도, 습도 및 소음 진동에 대해서도 특별한 고려가 요구되는 것이다.

다. 크린룸 내의 입자농도 측정법에 관한 사항

크린룸내의 분진농도를 측정 관리하기 위한 기본사항을 간략히 기술하고자 한다. 청정실내에서 미세입자 운동은 공기의 흐름과 밀접한 관계가 있다. 예를들면 대부분의 수직층류형 크린룸의 구조는 터널형

과 1실단형으로 구별되며 터널형은 공기가 유입되는 부근에서 최고의 공기 청정도를 얻을 수가 있다. (4) 소유등급 100 이상의 슈-퍼크린룸에서는 실내부의 전체를 청정하기 보다는 오히려 필요영역에서만 최고의 청정도를 얻을 수 있고 기타 영역에서는 공기 유속을 낮게 유지하는 것이다. 그러나 이러한 상황에서는 공기의 대류현상 때문에 먼지의 움직이는 모양이 달라지게 된다. 따라서 크린룸의 먼지를 측정하기 위해서 공기의 흐름이 어떠한 형태인가를 충분히 고려하여 측정에 적합한 장소에 입도 측정 장치가 설치되거나 그곳에서 입자 시료가 채취되어야 한다. 일반적으로 모든 측정법은 규격화가 필요하다. (16,17)

일본 공업규격 (JIS B 9920) 에서는 크린룸내의 부유 미립자의 측정법을 잘 규정해 놓고 있다. 미세입자는 무게가 너무 작기때문에 갯수 기준 측정법이 사용된다. 즉 어떤 크기의 입자가 몇개 있다는 표시를 하는 것이 가장 쉬운 일로서 이러한 목적에는 광학 현미경이 기본적으로 쓰이게 된다. 그러나 이 방법은 시간과 노력이 많이 소요되므로 대신 전자파 광학 이론을 응용한 광 산란 입자 계수기 (Light Scattering particle Counter) 가 많이 사용된다. 광학 현미경 측정법은 크린룸에 부유하는 미립자를 포집용 박막여과지 (membrane filter) 위에 포집하여 현미경을 이용하여 그 크기와 갯수를 측정하는 방법이다. 이러한 방법은 현미경 영상 해석장치 (Image analyser) 법에 의하여 단시간 내에 측정치를 알 수 있는 방법이다. 광산란 입자계수를 사용하는 경우에는 박막여과지를 사용하지 않았으나 먼지를 포함한 공기를 측정 부위에 흡입하는 채집관이 필요하고 흡인 펌프 등에서 먼지오염이 발생할 수도 있음을 유의해야 한다. 먼지 입자를 박막여과지에 포집하거나 밀실 (Cell) 에 까지 흡인할 때에는 등속시료채취 (Isokinetic Sampling) 기술이 반드시



지켜져야 한다.<sup>(18)</sup> 이 기술은 먼지를 포함한 공기의 유속과 동일한 유속으로 시료 공기를 필터나 밀실에 까지 흡인하는 방법이다. 만일 흡인 유속이 더 크면 크린룸내에 존재하는 미세 입자가 크린룸내의 농도보다 더 많이 밀실에 흡입될 수 있고 측정결과는 미세 입자의 수가 많다고 나타내며 반대로 흡인 유속이 공기흐름 유속보다 작으면 더 큰 먼지 입자가 작은 입자보다도 상대적으로 더 많이 흡인되어서 측정결과는 큰 입자가 크린룸내에 과다하게 많은 것으로 나타난다. 크린룸내의 청정도가 더욱 엄격히 또 높은 수준으로 요구되어 가고 있는 추세이므로 사용될 수 있는 입도 측정장치는 그 성능이 더욱 높아야 하고 크린룸의 특성상 소형경량 장치가 되어야 한다. 또한 크린룸내의 측정위치도 한개소에 국한되어서는 안되고 여러 개소를 선정하여 집중관리를 해야 한다. 측정위치의 결정은 크린룸의 구조와 크린룸내의 공기 흐름에 맞도록 결정되어서 계속적으로 측정하여 크린룸을 합리적으로 관리해야 한다. 이때 공기중에 부유하는 미립자의 측정방법<sup>(19)</sup>을 잘 표시해야 한다.

#### 라. 크린룸 ( Clean Room ) 에 관련된 기술의 개발방향

끝으로 크린룸에 관련된 기술개발 문제의 몇가지를 첨부하면 앞에서 언급한 바와 같이 헤파 ( HEPA ) 필터 등의 개발은 절대적인데 필터재료의 개발, 조립기술의 개발등이 중요 내용이 될 것이다. 또한 필터의 성능, 크린룸내의 먼지입자 측정, 입자계수기의 개발이 필요하고 인공적으로 시험용 먼지 입자를 발생시키는 소위 에어로솔 ( Aerosol ), 재생 ( Generation ) 기술도 연구의 주요 대상이다.<sup>(20)</sup>

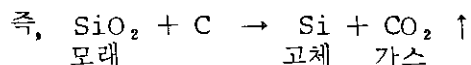
#### 2-2 . 웨이퍼 ( Wafer ) 의 제작<sup>(21)</sup>

살아있는 동·식물 및 무생물일지라도 세포가 수없이 많이 모여 그 물체를 이루고 있다는 사실은 우리가 익히 알고 있는 간단한 상식이다. 모든 물질의 각기의 세포의 원자를 분석한 결과를 보면 주성분이 탄소(C), 수소(H), 질소(N) 및 산소(O) 등의 원자가 化學 결합을 하여 서로 연결고리를 형성하고 있다는 것을 알 수 있다. 반도체 웨이퍼의 주성분인 실리콘(Si)의 무기물도 우리몸과 마찬가지로 수많은 세포들이 모여 이루어졌고 그 세포들은 원자(실리콘)들로 형성되어 있다. 예컨대 우리가 늘 보는 다이아몬드는 탄소(C)가 규칙적으로 모여 보석이라는 물체를 구성하고 있는 것이다. 이와 같이 실리콘도 개개의 실리콘 원자가 규칙적으로 배열되어 전체를 구성하고 있음을 볼 수 있다. 실리콘이나 다이아몬드와 같이 규칙적으로 그 규칙성이 반복되는 최소단위의 원자배열을 기본세포(Unit Cell)라 한다.

이와같이 원자의 배열이 규칙적으로 반복되어 이루어지며 기본세포를 갖고 있는 물질을 결정체(Crystal)라 부른다. 따라서 실리콘 웨이퍼는 결정체이므로 기본세포를 가지게 된다. 결정체 물질은 단결정(Single Crystal)과 다결정(Poly Crystal)으로 대분할 수 있고 단결정은 실리콘 웨이퍼와 같이 원자의 배열 방향성이 일정한 결정체를 말하며, 다결정에서는 方向性이 같은 각기의 부분을 결정립(grain)이라고 하며 결정립들이 맞물리는 자리를 결정립계(grain boundary)라 한다.

환언하면 결정립과 결정립계가 있는 결정체를 다결정(多結晶)이라 하며 결정립계가 없는 결정체들을 단결정(單結晶)이라 한다. 원래 실리콘 결정은 다결정체이므로 반도체 재료로 활용하기 위하여는 단결정체로 바꾸어주는 제작과정을 거쳐야 한다.

먼저 실리콘을 정제하여 아주 순수한 다결정체의 복합체를 용광로에 넣고 가열하여 용융시킨 다음 씨앗(Seed)인 단결정을 다결정체의 용융상태에 소량씩 가하여 온도를 조절하면서 시간을 경과시키면 단결정 모양의 실리콘이 서서히 성장하기 시작한다. 단결정이 성장함에 따라 다결정의 양이 점진적으로 감소하면서 마침내는 모든 다결정이 단결정으로 변화하게 된다. 그러나 마지막 단결정 성장 부위는 불순물이 동시에 생성될 가능성이 높으므로 이와같은 단결정 성장 과정을 몇차례 반복하면 순수한 단결정을 제조하게 된다. 이와같이 제조한 단결정을 잉고트(Ingot)라 부르며 이것을 같은 成長方向으로 단절시켜 일정한 두께(Thickness)를 갖도록 앞·뒤면을 연마한다. 이와같은 제작과정으로 제조된 실리콘 단결정을 웨이퍼라 부른다.



이산화탄소는 가스로 날아가고 다결정 실리콘만 남는다.

실리콘웨이퍼는 원하는 규격에 따라 잉고트(Ingot)를 성장시킬때 불순물 인(P), 보론(B), 아르센(As), 안티모니(Sb) 등을 첨가하여 그 농도를 조절하여 N-타입 또는 P-타입인지의 규격을 분류할 수 있다. 이와같은 단결정 성장방법을 초크랄스키(Czochraski) 성장법이라 하며 대부분 반도체 제조공장에서 이 방법에 의해 제조된 것을 사용하고 있다.

### 2-3 . 화학약품

반도체 제조는 高度의 청정도를 요하는 작업환경에서 제조해야 하므로 청정실(Clean Room)이라는 특수설비로 된 작업장에서 작업을

해야 한다. 또한 반도체를 제조하기 위하여 여러종류의 화공약품을 사용해야 하는데 특히 위험물질을 다루는 장소가 밀폐된 크린룸에서 취급해야 하므로 더욱 완벽한 안전관리 체계가 요망되는 것이다. 일반적으로 화공약품을 크게 분류하여 생각해보면 유기물과 무기물, 금속류와 비금속류, 강산과 강염기, 각종 유기용제류 및 유독성 가스류등으로 대별할 수 있다. 먼저 유기물질이란 살아있는 모든 생체계는 기본적으로 물 ( $H_2O$ ) 과 유기화합물로 구성되어 있고 식물이 분해되어 형성된 석유와 천연가스도 탄소와 수소로 이루어진 물질이다. 또한 오늘날 산업사회가 발달함에 따라 필요한 생필품인 고무장갑이나 플라스틱제품, 연료, 화장품, 의약품 등의 합성재료도 거의다 유기화합물에 속한다. 한편 무기물은 자연계에서 유기화합물을 제외한 광물류 및 철재류 등의 모든 물질을 총칭하며 인체에 해를 주는 요인도 무기화합물에 속하는 경우가 많다. 예를들면 중금속인 납이나 구리같은 금속을 다루는 도금사업장에 근무하는 근로자들은 중금속에 오염되어 큰 인체의 해를 유발시킬 수도 있다.

금속과 비금속은 한마디로 금속을 제외한 모든 물질은 비금속(Nonmetal)이라 할 수 있다. 일반적으로 금속이라 하면 먼저 전기를 잘 흐르게 하는 성질이 있고 대부분 은백색의 광(光)이 발생되고 연성과 전성의 성질이 있고 강산과 반응하여 수소 가스를 발생시키는 성질이 있다. 금속의 이러한 여러성질들은 원자의 전자구조적으로 금속원자내에 존재하는 유리전자(Free electron)에 의한 것이며 이 자유전자가 잘 떨어지는 성질이 클수록 금속성이 크다고 말한다. 그러나 비금속원소들은 원자구조적으로 최외각에 자유전자가 없으므로 특수경우를 제외하고는 전기를 통하는 전도성이 거의 없다. 그러나 우리가 다루고져하는 반도체는 문자그대로 전기를 통하는 성질과 통하

지 않는 성질의 中間가는 성질을 가진 물질을 말하며 이런 경우에는 전기를 통하기도 했다가 부도체가 됐다가 하는데 이러한 현상을 利用하여 반도체 소자를 제조하는 것이다. 강산과 강염기는 보편적으로 말하는 산과 염기는 주로 무기산 및 무기염기를 말하며 넓게는 유기산과 유기염기도 있으나 여기서는 유기산 및 염기는 생략하고 무기산과 무기염기만을 다루고져 한다.

앞에서도 지적했듯이 산과 금속은 반응하여 수소가스를 발생시키고 용액 자체는 신맛을 띤다. 또한 수소이온의 농도가 염기보다는 커서 pH는 7 이하를 나타내며 리트머스 시험지를 붉은색으로 변화시킨다. 산의 종류로는 염산 (  $\text{HCl}$  ), 질산 (  $\text{HNO}_3$  ), 황산 (  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ), 불산 (  $\text{HF}$  ) 취산 (  $\text{HBr}$  ) 및 요드산 (  $\text{HI}$  ) 등이 있다. 염기로는 암모니아수 (  $\text{NH}_4\text{OH}$  ), 가성소다 (  $\text{NaOH}$  ) 및 가성카리 (  $\text{KOH}$  ) 등이 있으며 pH는 7.0 이상을 나타내고 리트머스 시험지를 푸른색으로 변화시키며 쓴맛을 나타낸다. 각종 유기용제류는 여러가지 종류가 있으나 일반적인 위험성에 대한 것을 설명하면 대부분이 인화성 액체이므로 인화가 쉽고 맹열하게 타는 성질이 있으므로 화재의 위험성이 매우 높다. 또한 비점이 낮아서 인화점 역시 낮으므로 연소가 용이하며 증발된 증기 ( fume )는 공기보다 밀도가 커서 낮은 장소에 깔려있게되어 다른기체들과 혼합체를 형성하여 폭발되기 쉽다. 또한 연소범위 ( 폭발범위 )의 하한점은 가연성 기체보다 낮아 소량만 누출되어도 인화나 폭발이 용이하다. 위에서 언급한 것들은 반도체 제조공정에서 사용되는 일반적인 화학약품들이지만 특별히 다루고 취급해야 할 것은 유독성의 가스류들인데 흔히 이들을 가르켜 특수기체류라 부른다. 이들 기체들은 반도체 제조과정중에서 특히 불순물 주입공정, 박막식각 공정 및 증착공정에서 특별히 사용되며 대부분 가스는 유독성이거나 폭발

성을 가지고 있으므로 특별히 취급하지 않으면 큰 재해를 입게 될 가능성이 매우 높은 가스류들이다. 그리고 이 기체들 성질에 따라 독성, 반응성 및 폭발 인화성 등으로 나뉘어 생각할 수 있다. 먼저 유독성 가스는 알진 ( $\text{AsH}_3$ , Arsine) 가스 포스핀 ( $\text{PH}_3$ , Phosphine) 가스, 보레인 ( $\text{B}_2\text{H}_6$ , Borane), 실란 ( $\text{SiH}_4$ , Silane), 암모니아 ( $\text{NH}_3$ ) 및 수소 ( $\text{H}_2$ ) 가스 등이며 이들 가스는 반도체 제조공정에 사용되는 기체들중 가장 위험한 맹독성 가스들로서 이들이 실내 크린룸에 존재하는지 여부를 측정하는 장치의 제작은 매우 까다로울 뿐만 아니라 극미량이라도 인체에 매우 치명타를 주게 되므로 심할 경우 사망까지도 가능하므로 이들 가스를 사용할 때는 완벽한 안전장치를 한 후 취급해야 한다. 또한 이들 가스를 순수한 물질로서 취급하는 것이 아니라 유독성 때문에 대부분 질소가스나 수소가스에 희석된 10% 이하 농도로 상거래되며 특별한 경우엔 그이상 농도에도 사용되나 이때는 더욱 완벽한 안전장치가 요망된다. 이들기체의 반응성을 보면 수소 ( $\text{H}_2$ ) 가스는 산소, 염소, 일산화질소 ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 및 이산화질소 ( $\text{NO}$ ) 및 공기등과 혼합되면 강한 화학반응을 일으키게 되며 암모니아 ( $\text{NH}_3$ ) 가스는 염화수소 ( $\text{HCl}$ ) 가스나 실란 ( $\text{SiH}_4$ ) 과 같이 염소원자를 가진 기체를 만나게 되면 강산성물질과 약염기성물질이 화학반응을 하여 고체의 흰가루인 염화암모늄염 ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) 을 생성시켜 각종 파이프와 밸브 등을 차단시키는 위험성이 있다. 또한 실란 ( $\text{SiH}_4$ ) 가스가 누출되어 밖으로 나갈 경우엔 자동으로 점화되어 화재의 위험성도 있으며, 보레인 ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) 가스가 소화설비중에 있는 불화탄화수소 (Fluorinated hydrocarbon) 와 만날 경우 이들과 화학 반응을 일으킨다. 반응기체들은 서로 혼합되어 있을 때에는 맹렬하게 빠른속도로 화학반응을 일으키게 되므로 때때로 폭발을 일으킬 수도 있어

인화성 기체들은 산소가스와 반응을 하므로 이들이 산소 ( $O_2$ )와 섞이지 않도록 각별한 주의가 필요하다.

## 2-4. 사용가스

전제적으로 반도체 제조공정에 사용되는 가스 종류는 수십종에 달하고 있으나 주로 많이 사용되는 가스종류를 계열별로 분류해 보면 다음 표 1과 같다.

가. 반도체 제조공정에 사용되는 특수가스 종류

반도체 제조에 사용되는 가스의 종류를 계열별로 분류해 보면 크게 6가지 및 기타로 나누어 생각할 수 있다.

No	계	가	스	명	분	자	식
I	실리콘계	모노시란 ( Monosilane )			SiH <sub>4</sub>		
		디크로르시란 ( Dichlorosilane )			SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>		
		3염화규소 ( Trichlorosilane )			SiHCl <sub>3</sub>		
		4염화규소 ( Tetrachlorosilane )			SiCl <sub>4</sub>		
		디시란 ( Disilane )			Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>		
II	비 소 계	알진 ( Arsine )			AsH <sub>3</sub>		
		3불화비소 ( Arsenic Trifluoride )			AsF <sub>3</sub>		
		5불화비소 ( Arsenic Pentafluoride )			AsF <sub>5</sub>		
		3염화비소 ( Arsenic Trichloride )			AsCl <sub>3</sub>		
		5염화비소 ( Arsenic Pentachloride )			AsCl <sub>5</sub>		
III	인 계	포스핀 ( Phospine )			PH <sub>3</sub>		
		3불화인 ( Phosphorous Trifluoride )			PF <sub>3</sub>		

No	계	가 스 명	분 자 식
		5불화인 ( Phosphorous Pentafluoride ) 3염화인 ( Phosphorous Trichloride ) 5염화인 ( Phosphorous Pentachloride ) 옥시염화인 ( Phosphorous Oxytrichloride )	$PF_5$ $PCl_3$ $PCl_5$ $POCl_3$
IV	붕 소 계	디보란 (Diborane) 3불화붕소 ( Borane Trifluoride ) 3염화붕소 ( Borane Trichloride ) 3취화붕소 ( Borane Tribromide )	$B_2H_6$ $BF_3$ $BCl_3$ $BBr_3$
V	할 로 제 화 합 물	3불화질소 ( Nitrogen Trifluoride ) 4불화유황 ( Sulfur Tetrafluoride ) 6불화유황 ( Sulfur Hexafluoride ) 불화텅그스텐 ( Tungsten Hexafluoride ) 불화몰리브덴 ( Molybdenum Hexafluoride ) 4염화겔마니움 ( Germanium Tetrachloride ) 염화주석 ( Stannic Chloride ) 염화안티몬 ( Antimony Pentachloride ) 염화텅그스텐 ( Tungsten Pentachloride ) 6염화몰리브덴 ( Molybdenum Hexafluoride )	$NF_3$ $SF_4$ $SF_6$ $WF_6$ $MoF_6$ $GeCl_4$ $SnCl_4$ $SbCl_5$ $WCl_5$ $MoCl_6$
VI	금 속 수소화물	세렌화수소 ( Hydrogen Selenide ) 모노젤만 ( Monogermane ) 테르르화수소 ( Hydrogen Telluride ) 스티빈 ( Stibine ) 수소화석 ( Stannic Hydride )	$H_2Se$ $H_4Ge$ $H_2Te$ $H_3Sb$ $H_4Sn$



구 계	가 스 명	분 자 식
Ⅶ 기타가스	수소 ( Hydrogen )	$H_2$
	산소 ( Oxygen )	$O_2$
	아세틸렌 ( Acetylene )	$C_2H_2$
	암모니아 ( Ammonia )	$NH_3$
	시아나화수소 ( Hydrogen Cyanide )	$HCN$
	일산화탄소 ( Carbon Monoxide )	$CO$
	메탄 ( Methane )	$CH_4$
	프로판 ( Propane )	$C_3H_8$
	부탄 ( Butane )	$C_4H_{10}$
	염화메틸렌 ( Methyl Chloride )	$CH_3Cl$
	아크릴로니트릴 ( Acrylonitrile )	$CH_2=CH-CN$
	아황산가스 ( Sulfur dioxide )	$SO_2$
	황화수소 ( Hydrogen Sulfide )	$H_2S$
	아산화질소 ( Nitrous Oxide )	$NO$
	이산화탄소 ( Carbon dioxide )	$CO_2$
	헬륨 ( Helium )	$He$
	알곤 ( Argon )	$Ar$

#### 나. 고압가스

이들 사용되는 가스중에는 압력이 큰 봄베 ( Bombe ) 에 담아 취급을 요하는 가스를 일반적으로 고압가스라 하며 이 가스를 크게 분류하면 가연성, 독성, 조연성 및 기타가스로 분류된다. 고압가스란 압축가스와 액화가스를 말하며 이중에서 특정 고압가스로는 수소 (  $H_2$  ), 산소 (  $O_2$  ), 액화암모니아 (  $NH_3$  ), 액화염소 (  $Cl_2$  ) 및 아세틸렌 (  $C_2H_2$  )

등이 있다. 일반고압가스류중에서 가연성가스란 폭발범위의 하한치가 10 %이하인 가스류와 상한값과 하한값의 차이가 20 %이상인 가스류를 말하며 예를들면 수소, 아세틸렌, 암모니아, 시안화수소, 일산화탄소, 메탄, 실레인, 디보란, 포스핀, 아르신 등의 가스류를 말한다. 독성가스란 인체의 허용농도가 200ppm 이하로 부식성은 물론이고 인화성과 폭발성도 동시에 가지고 있는 가스류로서 예를들면 아황산, 암모니아, 일산화탄소, 염소, 염화수소, 황화수소 및 포스겐 등의 가스류이다. 조연성 가스류란 가연성물질과 혼합되면 인화 및 폭발의 위험도가 높아지고 마취성 및 중독성도 동시에 있는 가스류를 말한다. 기타가스류는 가연성가스나 독성가스도 아닌 가스로 예를들면 산소, 질소, 이산화탄소, 헬륨 및 알곤등의 가스류를 말한다.

다음으로는 반도체 제조공정별로 사용되는 가스를 대분해 보면 먼저 확산공정은 염산 (  $\text{HCl}$  ), 수소 (  $\text{H}_2$  ), 산소 (  $\text{O}_2$  ), 질소 (  $\text{N}_2$  ) 및 3 염화인산 (  $\text{POCl}_3$  ) 등의 가스가 사용되며 화학증착공정은 실란 (  $\text{SiH}_4$  ) 디보란 (  $\text{B}_2\text{H}_6$  ), 포스핀 (  $\text{PH}_3$  ), 디크로르실란 (  $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$  ), 산소 (  $\text{O}_2$  ) 염소 (  $\text{Cl}_2$  ), 불소 (  $\text{F}_2$  ) 및 불화수소가스 (  $\text{HF}$  ) 등이 사용되며 건식 식각공정가스로는 헬륨 (  $\text{He}$  ), 3 불화질소 (  $\text{NF}_3$  ), 3 염화보론 (  $\text{BCl}_3$  ) 크로르메탄 (  $\text{CH}_3\text{Cl}$  ), 3 취화메탄 (  $\text{CHF}_3$  ), 4 불화탄소 (  $\text{CF}_4$  ), 염화수소 (  $\text{HCl}$  ) 및 4 염화실란 (  $\text{SiCl}_4$  ) 등의 가스가 사용된다. 그리고 이온주입공정에 쓰이는 가스류는 알진 (  $\text{AsH}_3$  ), 포스핀 (  $\text{PH}_3$  ) 및 3 불화보론 (  $\text{BF}_3$  ) 등이 쓰인다.

다. 반도체 제조용 일반가스의 물리 화학적 성질

구분	GAS	불연성	지연성	가연성	독성	부식성	악취	기타성질	허용농도(TLV)		인체에의 작용도	색상 냄새	비중 Air=1	가연성 (%)
									ppm	$mg/m^3$				
일반가스	N <sub>2</sub> O		○				○	마취성, 폭발성			마취성	무색 방향	1.53	
	H <sub>2</sub>			○								" 무취	0.069	4 ~ 70
	O <sub>2</sub>		○								구토	" "	1.105	-
	N <sub>2</sub>	○						질산화성				" "	0.967	-
	He	○										" "	0.138	-
	Ar	○										" "	1.38	-
	CO <sub>2</sub>										두통, 구토	" "	1.521	
수소화합물	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub>			○ ○			○	자연발화, 폭발	0.1	0.1	"	" 비타민	0.95	0.9~98
	PH <sub>3</sub>			○ ○			○	자연발화	0.3	0.4	"	" 마늘	1.15	1.3~98
	AsH <sub>3</sub>			○ ○			○		0.05	0.2	자극성	" "	2.695	-
	SiH <sub>4</sub>			○ ○			○	자연발화, 폭발	5	7	"	" "	1.12	0.8~98
	SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>			○ ○ ○ ○					25	18	"	"	0.597	-
	NH <sub>3</sub>			○ ○ ○ ○					25	18		"	0.597	-
	Si <sub>2</sub> H <sub>6</sub>			○ ○				자연발화	0.3	0.3	자극성	"		-
불소화합물	BF <sub>3</sub>	○			○ ○ ○							"	2.38	가연성 무
	SiF <sub>4</sub>	○			○								3.64	
	CF <sub>4</sub>						○	(Freon14)			마취성	무색방향취	3.04	
	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	○						(Freon116)						
	CHF <sub>3</sub>	○						(Freon23)						
	C <sub>2</sub> ClF <sub>5</sub>	○						(Freon115)		30				
	NF <sub>3</sub>		○		○ ○ ○				10				2.49	
염소화합물	BCl <sub>3</sub>	○			○ ○ ○			발연성	(1)				4.07	
	POCl <sub>3</sub>				○ ○ ○			발연성	0.1	0.6				
	SiCl <sub>4</sub>	○			○ ○ ○			발연성					4.08	
	CCl <sub>4</sub>	○			○			마취성	5	30			1.268	
	HCl	○			○ ○ ○				5	7			2.47	
	Cl <sub>2</sub>		○		○ ○ ○				1	3			10.24	

반도체 제조공정시에 사용되는 각종 가스에 접촉되면 다음과 같은 여러증상이 나타날 수도 있다.

라. 사용되는 가스의 증상 및 평가

물질명	작 용 및 증 상	치 사 량	평가 및 해설
(시란계) 모노시란 ( $\text{SiH}_4$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>불쾌한 취기와 국부자극작용</li> <li>호흡기 호흡기 접막에 자극작용</li> <li>폐포막 및 폐모세혈관 손상을 일으킴</li> <li>호흡초기엔 구토, 두통, 현기증 증상</li> <li>최근엔 호흡곤란 질식사의 위험있음</li> </ul>	Rat $\text{LC}_{50}$ 9600ppm/ 4시간	◦Arsine이나 Phospine 보다 유해성은 적으나 장시간 폭로되면 중독 의 위험이있음
디크로르시란 ( $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ ) 3 염화시란 ( $\text{SiHCl}_3$ ) 4 염화시란 ( $\text{SiCl}_4$ )	※ 디크로르시란 및 3염화시란은 문헌처가 없다. <ul style="list-style-type: none"> <li>물과 접촉하면 염화수소 가스가 발생  <math display="block">\text{SiCl}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{HCl} \uparrow + \text{Si}(\text{OH})_4</math>               Silanol</li> <li>피부접촉시 화학적 화상</li> <li>안구의 결막염</li> <li>호흡곤란 등 유발</li> </ul>	Rat $\text{LC}_{50}$ 8000ppm/ 4시간	◦이 디크로시란 및 3염화시란 은 4염화시란 의 동족체로서 유사한 독성이 있고 특히 4 염화시란은 제 일 독성이강함
비 소 계 알 진 ( $\text{H}_3\text{AsH}_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>작용 : 질산은 (<math>\text{AgNO}_3</math>) 과 반응  <math display="block">\text{AsH}_3 + 6\text{AgNO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{Ag} + \text{H}_3\text{AsO}_3 + 6\text{HNO}_3</math></li> <li>Na-Metal과 액체 - <math>\text{NH}_3</math> 와 반응  <math display="block">\text{AsH}_3 + \text{NH}_3 + \text{Na} \rightarrow \text{NaAsH}_2 + 2\text{H}_2 \uparrow</math></li> <li>3~10ppm의 알진에 수시간 폭로시 중독</li> <li>250ppm 30분 폭로시 사망 보고</li> </ul>	마우스 $\text{LC}_{50}$ 31ppm/50 분 마우스 $\text{LC}_{50}$ 313ppm/ 1.25 분	◦특수재료가스 중 가장 독성 이 심하므로 세심한 주의가 요구됨.

물질명	작 용 및 증 상	치사량	평가 및 해설
3염화비소 (AsCl <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○물과 작용  <math>2\text{AsCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{HCl} \uparrow + \text{As}_2\text{O}_3</math>  염산이 생성되므로 자극성·부식성이 있다.</li> <li>○증상  - 급성중독증상으로 국소 호흡 기도점막 자극  - 인체 흡입시 눈, 귀, 자극 강함.  - 피부접촉시 피부점막 손상  - 동물실험기관: 증기폭로시 화학성 폐염</li> </ul>	<p>마우스 최소  량 2500 mg  / m<sup>3</sup> 10 분  고양이  최소량  100 mg / m<sup>3</sup>  시간</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○무기성 불소  화합물과 같  은 독성임.</li> </ul>
3불화비소 (AsF <sub>3</sub> ) 5불화비소 (AsF <sub>5</sub> )	<p>이들은 아직 문헌에 미수록</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○물과 작용  <math>2\text{AsF}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{HF} \uparrow + \text{As}_2\text{O}_3</math></li> </ul>		<p>알진과 같이 가  수분해되어  As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 생  성되며 0.2 mg  / m<sup>3</sup>가 허용  농도이며 독성  도 알진과 유사</p>
인(磷)계 포스핀 (PH <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○작용  - 점막자극증상이 없으므로 급성치사중독이 일어나  기 쉽다.  - 적혈구의 용혈작용이 없다.  - 티브스와 유사증상을 보임.</li> <li>○증상  - 급성 중독증상으로 악취를 느끼며 두통  - 다음 호흡곤란, 무력감, 현기증, 기관지염</li> </ul>	<p>랫트LC<sub>50</sub>  11ppm/  4시간  사람TCL<sub>50</sub>  8 ppm/  1 시간  고양이LC<sub>50</sub>  150ppm/  2.5 시간</p>	

물질명	작 용 및 증 상	치사량	평가 및 해설
3불화인 (PF <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○물과 작용  <math display="block">PF_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HF \uparrow</math> (이인산) (불화수소)  이 불화수소때문에 피부, 눈, 점막에 자극작용 </li> <li>○ 5불화인 (PF<sub>5</sub>) 및 할로젠화인과 거의 같은 증상</li> </ul>	마우스 LCL <sub>0</sub> : 1900 mg/ m <sup>3</sup> · 10 분	○가수분해가 쉬워 인산과 불화수소가 되므로 생성 물의 독성에 서 허용농도 추정해야함.
5불화인 (PF <sub>5</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○물과 작용  <math display="block">PF_5 + 4H_2O \rightarrow H_3PO_4 + 5HF</math> (인산) (불화수소)  ○인산과 불화수소가 발생하므로 피부, 눈 점막에 강한 자극성 </li> </ul>	불 명	
3염화인 (PCl <sub>3</sub> ) 5염화인 (PCl <sub>5</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○물 (H<sub>2</sub>O)과 작용하여 각각 HCl gas와 이인산을 생성시키므로 5불화, 3불화인과 유사한 증상으로 판단됨.</li> </ul>	"	
옥시염화인 (POCl <sub>3</sub> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○인의 옥시 할로젠 화합물은 어느 것이나 자극성이 있고 유해함.</li> <li>○물에 의해 분해되어 인산과 염화수소가스가 발생하므로 점막, 피부등 부식작용</li> <li>○모든 점막, 안구 자극함.</li> <li>○기침, 땀, 질식감, 반혈 등이 생김.</li> </ul>	Rat LD <sub>50</sub> 48ppm/ 4시간 몰모트 LC <sub>50</sub> 53ppm/ 4시간	

물질명	작 용 및 증 상	치사량	평가 및 해설
붕소계 디보레인 ( $B_2H_6$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦점막자극증상이 강한 기체이다. 질은 농도를 흡입할 경우 흉부의 통증, 오심, 구토 등의 증상이 나타남.</li> <li>◦폐수종으로 사망하는 경우도 있음.</li> <li>◦저농도에서 장시간 폭로되면 호흡기에 자극 증상: 두통, 현기증 등 신경계통에 영향을 미침. 또한 위, 간에 영향있음.</li> <li>◦5ppm의 장기흡입되면 Rat 18마리중 17마리 개 2마리중 2마리 사망</li> </ul>	랫트 $LC_{50}$ 50ppm/ 4시간  마우스 $LC_{50}$ 30ppm/ 4시간  몰모트 $LC_{50}$ 53ppm/ 10.5 시간	허용농도 (일 본산업위생학 회) 보고 0.1ppm/ $m^3$
3불화붕소 ( $BBr_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦물과 작용하여 불화수소가스 발생  <math>2BBr_3 + 3H_2O \rightarrow 6HBr \uparrow + B_2O_3</math> </li> <li>◦극히 강한 자극성            12ppm 2개월 폭로시 자극성 변화 있음.         </li> </ul>	마우스 $LC_{50}$ 1150ppm /2시간  몰모트 $LC_{50}$ 38ppm / 4시간	허용농도 1 ppm / $m^3$
3취하붕소 ( $BF_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦물과 작용하여 취화수소 발생  <math>2BF_3 + 3H_2O \rightarrow 6HF \uparrow + B_2O_3</math> </li> <li>◦이 가스로 인해 점막에 대한 자극 심함.</li> </ul>	무기제	허용농도 1ppm/ $m^3$
3염화붕소 ( $BCl_3$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦눈, 코, 호흡기 점막에 자극성</li> <li>◦장기 흡입 영향은 불명</li> </ul>	랫트 :  $LCL_0$ :  20ppm	미설정
세렌화수소 ( $H_2Se$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦유화수소(<math>H_2S</math>)와 유사한 구조와 독성을 지님.</li> <li>◦일부는 분해되어 세렌금속으로 유리됨</li> <li>◦세렌화수소는 생체내에서 디메칠세렌으로 변화 예상됨.</li> </ul>	몰모트 :  $LC_{50}$ 0.3ppm /8시간	일본산업위생 학회 0.05 ppm / $m^3$ (허용농도)

물질명	작 용 및 증 상	치사량	평가 및 해설
세렌화수소 ( $H_2Se$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○기타 세렌화수소 (<math>HnSex</math>)도 호흡의 악취원이 됨</li> <li>○ 0.2ppm이하 1개월내에도 중독</li> <li>○ 1.0ppm에서 눈, 코, 목에 점막자극증상</li> </ul>		
수소화게르마늄 ( $H_4Ge$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○알진이나 스티빈 (<math>SbH_3</math>)과 같이 용혈성</li> <li>○용혈독중 독성이 강한 순위: 수소화석 (<math>H_4Sn</math>) &gt; 알진 (<math>AsH_3</math>) &gt; 스티빈 (<math>SbH_3</math>)이다.</li> </ul>	마우스 LC <sub>50</sub> 200ppm /1시간	(0.2)ppm/ $m^3$
할로젠화합물 4염화젤마늄 ( $GeCl_4$ )	<ul style="list-style-type: none"> <li>○눈·기도등의 점막에 자극성</li> <li>○일반 겔마늄 화합물과 대동소이 상세불명</li> </ul>	미 상	미 설 정
불화텅스텐 ( $WF_6$ )	○주로 불소화합물과 유사작용	불 명	0.8ppm/ $m^3$

#### 마. 혼합금지 가스류 (기체)

정정실내에서 작업시에 다음종류에 가스들을 서로 혼합해서는 안된다. 왜냐하면 대기를 매체로 하여 화학반응이 일어나거나 가스와 가스가 반응하여 고체물질을 생성할 수도 있으므로 배관이나 미세한 벨브가 막혀 큰 위험을 초래할 수도 있기 때문이다. 예를들어 혼합불가 가스류는 암모니아 ( $NH_3$ ) 가스와 염화수소 ( $HCl$ ) 가스가 접촉되면 염화암모늄염 ( $NH_4Cl$ ) 의 고체물질이 생성되어 대기중에서 흰색 연기가 육안으로 보인다. 또한 디크로르실란 ( $SiH_2Cl_2$ ) 과 습기( $H_2O$ ) 와 접촉되면 염화수소 ( $HCl$ ) 가스가 발생하여 기계기구같은 철제류 기기를 마모 부식시키므로 접촉을 방지해야 한다. 알진 ( $AsH_3$ ) 이나 포스핀 ( $PH_3$ ) 가스가 할로젠 ( $X_2$ ) 분자와 접촉하게 되면 발화가 일어날수도 있어 이들 두가스를 접촉해서는 안되며 3염화보론 ( $BCl_3$ )



가스와 실란 ( $\text{SiH}_4$ ) 가스가 접할경우엔 디보란 ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) 가스가 발생될 수도 있으며 디보란 ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) 가스와 염소 ( $\text{Cl}_2$ ) 가스가 만나면 3 염화보란 ( $\text{BCl}_3$ ) 가스가 발생되면서 폭발을 일으킬 수도 있어 이들 두 가스들은 절대 같은 장소에서 접촉을 피하도록 모든 시설이 갖추어져야 한다.

#### 바. 혼합금지 폐 화학물질 (액체 및 고체)

작업장이 아닌 공장밖에서도 다음과 같은 액체류나 또는 용매에 녹은 용액이 서로 혼합되면 화학반응이 강열하게 일어나 급속한 온도가 상승하거나 발열이 심하여 화재나 폭발의 위험성이 있을 수 있고 아니면 가연성 가스나 맹독성 가스가 발생하여 재해의 위험이 많은 물질을 제시하여 각 사업장에서는 각별한 주의를 요할 것을 바란다. 즉 페알칼리용액, 알칼리성 세척액, 석회석성분 액체류와 산성의 찌꺼기, 페밧데리용액, 페황산, 염산, 세척용 폐산용액 등과 접촉시에는 발열이 심하여 급격한 화학반응이 일어나며 심한 경우 폭발의 위험성도 배제할 수는 없다. 한편 독성물질중에 폐석면, 폐베릴륨, 살충제페액 및 유독성 폐기물 등과 폐화약류, 폐유기물, 정제폐기물 및 세척폐용액 등과 접촉할 경우엔 독성물질이 비산되어 인체에 큰 해를 입힐 수도 있다. 그리고 금속류 즉 알루미늄 ( $\text{Al}$ ), 베릴리움 ( $\text{Be}$ ), 칼륨 ( $\text{K}$ ), 나트륨 ( $\text{Na}$ ), 아연 및 금수성 금속등과 강산 및 강알칼리 폐액들과 심한 화학반응을 일으키어 수소 ( $\text{H}_2$ ) 가스가 발생되므로 화재나 폭발의 위험성도 동시에 가지고 있다.

수용액의 폐수나 알코올류와 강한 반응성이 있는 무수칼슘 ( $\text{Ca}$ ), 리튬 ( $\text{Li}$ ), 칼륨 ( $\text{K}$ ), 아황산가스 ( $\text{SO}_2$ ), 염소 ( $\text{Cl}_2$ ) 가스, 치오닐 크로라이드 ( $\text{SOCl}_2$ ) 및 3 염화인 ( $\text{PCl}_3$ ) 등과 만나면 심한 열 ( $\text{H}$ -

eat)을 발산하여 발열하므로 화재나 폭발의 위험성이 따르고 또한 가연성 가스나 독성가스를 발생할 수도 있다. 또한 유기물질 중에서도 반응성이 강한 불포화계열 화합물이나 극성이 큰 물질 즉 알데히드류, 케톤류, 할로젠탄화수소류, 불포화탄화수소류 등과 강산이나 강알칼리 물질이 접촉하면 화재나 폭발의 위험성이 있다. 시안산(HCN)류와 황화물( $H_2S$ )등과 폐처리된 산(Acid)과 만날 경우 맹독성 가스인 시안화수소(HCN)가스나 황화수소( $H_2S$ )가스가 발생되어 인체에 매우 큰 해를 줄 수도 있다. 끝으로 강산화제류 즉 염소( $Cl_2$ )화합물, 아염소산염( $Cl_2OM$ ), 크롬산( $HCrO_4$ ), 차아염소산( $HClO$ ), 아질산염( $MNO_2$ ), 과염소산( $HClO_4$ ), 과망간산( $HMnO_4$ )및 과산화물( $H_2O_2$ ) 등과 강환원제류 인화성물질, 반응성 금속류, 반응성 유기물류 및 유기산류 등과 만나면 급격한 반응이 일어나 화재 폭발의 위험성이 있다.

### 3. 반도체 개별 단위공정

#### ○ 이론적 배경

반도체 제조공정은 각종 단위공정의 반복으로 다양한 화학장치들이 매우 긴밀하게 연결되어 있고 여기에 반응 및 생성물들이 상호 보완적으로 사용되기 때문에 매우 복잡 다양한 형태를 갖지만 이들을 대분해 보면 화학반응과 분리 및 정제의 두 공정들이 계속 반복되면서 이루어져 있음을 알 수 있다. 분리 및 정제의 공정을 다시 살펴보면 증류, 흡착, 추출, 건조 등의 몇가지 단위공정들로 분리되며 이들 단위공정들에 대한 최적화 작업이 전체 공정의 효율성을 결정하게 된다. 한편 반도체 가공은 표면박막의 형성, 산화, 확산, 이온주입, 식각, 묘화 등과 같은 단위공정들이 계속 반복되면서 이루어 지는 것인데 이때 각 단위공정들은 표면에서의 화학반응을 수반하거나 화학공업의 분리 공정에서 많이 사용하는 물리화학적 현상을 이용하고 있다. 따라서 반도체 가공의 단위공정들은 화학공업의 단위공정과 다를 바 없으며 이들은 화학공업에서 이미 축적한 기술종류들을 활용하므로 보다 더 개선시킬 수 있다.

반도체 제조기술은 일반 화학공장의 제조기술과는 상이한 규모로 제조되어야 하는 특성이 있으므로 규모 축소 ( Scale-down ) 문제를 고려해야만 한다. 통상 화학공업의 실용화를 위해서는 실험실에서 연구된 각종 데이터를 종합하여 화학반응의 공정을 이보다 훨씬 규모가 큰 대량생산 공정으로 규모 확대 ( Scale-up ) 해야 하는데 이것은 연구실에서만 성취시킬 수 없기 때문에 중간형 크기에 pilot-plant를 토대로 대규모 영역으로 외삽, 예측하여 공장을 설계하여

야 한다. 따라서 이것에 필요한 기술들은 공장설계 (Plant Design) 공정개발 (Process Engineering) 및 대규모화 (Scale-up) 등의 명칭으로 화학공장에서 취급되어 왔다. 이 과정에서 제일 중요한 문제는 생산품 (Products)의 안정도 (Safety)와 균일도 (Homogeneity)를 어떻게 지속적으로 잘 유지시키느냐 하는 것이며 추가하여 고려할 것은 공정의 경제성 향상을 위한 생산품 수득율을 어떻게 증가시킬 것인가에 관한 문제는 지속적으로 연구 보완해 나가야 할 숙명적 과제인 것이다. 한편 반도체 제조공정은 연구실에서 설계된 각종 회로를 반도체 재료 위에서 마이크론 (Micron) 수준의 아주 적은 크기로 가공하는 것이므로 이 경우에는 일반 화학공장에서와는 반대로 규모 축소 (Scale-down)의 문제가 대두된다. 미세가공을 위해서는 비교적 낮은 압력에서 분자농도를 정확히 조절하여 각 단위공정이 진행되어야 하는데 이런 경우 화학재료의 순도 (purity)와 가공의 정밀도 (Precision)를 잘 유지하는 일이 매우 중요하게 작용하는 것이다. 그러나 연구실 규모의 중간실험 결과를 실제의 제품생산 영역으로 외삽하여 그 결과를 예측하는 측면에서는 화학공장 설계의 경우와 다를바 없으므로 Scale-up에 적용되던 화학공장의 각종 기법은 그대로 Scale-Down의 경우에도 적용 가능한 것이다.

### 3-1 . 에피탁시 ( Epitaxy ) 공정

이론 : 에피탁시 공정이란 원자배열이 똑같은 단결정기판 위에 그와 똑같은 원자배열을 가진 단결정층을 쌓는 공정을 말한다. 이때에 단결정층과 층사이에 인공적으로 불순물 원자를 첨가시켜 쌓여진 단결

정층의 전기적 특성을 조절할 수 있으므로 반도체 칩 ( Chip )을 제조할 때 필요한 자료를 임의대로 선택 활용할 수 있다. 이때에 첨가된 불순물은 일반적으로 말하는 불순한 물체가 아니라 순수한 실리콘 ( Si ) 원자외에 보론 ( B )이나 인 ( P )과 같은 제 2의 원자를 주입시켜 반도체를 완성 제조했을 경우 그 불순물에 따라 전기적 특성으로 인한 제어가 임의조절이 가능하므로 필요한 생산품을 만들수 있게 된다. 이때 첨가시킨 불순물 종류에 따라 제 3족 원소인 경우는 P - 형 에피탁시 ( P-Type epitaxy layer )라 하고 제 5족 원소가 불순물로 작용하게 되면 N - 형 에피탁시 ( N-Type epitaxy layer )라 한다. 이때 사용되는 기체는 고순도이어야 하며 또한 매우 독성이 강한 가스이므로 장비의 가격이 고가라는 것이 단점이다. 일반적으로 이공정에서 사용되는 온도는 1,000 ℃에서 1,250 ℃ 사이이며 실리콘 기체의 종류에 따라 각 사용온도 범위가 다르게 된다. 만일 사용온도가 1,000 ℃이하일 경우엔 단결정 실리콘 원자의 배열이 규칙성이 상실되어 성장하여 다결정 ( Polycrystal )층이 성장하게 되어 바람직한 에피탁시층을 제조할 수 없게 된다. 에피탁시 단결정층을 성장시킬때의 장점으로는 불순물의 농도를 임의대로 조절하여 일정한 농도분포를 가지는 실리콘층을 제조할 수 있다는 것이다.

에피탁시층을 성장시킬때 실리콘 기체와 함께 불순물로 작용하는 기체 즉 포스핀 (  $PH_3$  ), 알진 (  $AsH_3$  ) 등의 5족의 원소를 첨가시키면 실리콘 ( Si )층에서 한개의 전자가 남게되어 N-Type(Negative)의 에피탁시층이 되며 디보란 (  $B_2H_6$  )와 같은 3족의 원소가 함유한 기체를 사용한 에피탁시층의 단결정에서는 실리콘 ( Si )층에 하나의 전자 정공 ( Hole )이 생기게 되어 P-Type (positive)의 에피탁시층이 생성하게 되는 것이다. 즉 불순물의 기체가 P-Type 이든

N-Type 이든 간에 실리콘 원자들 사이에 불순물 기체가 분해된 불순물 원자가 적당한 위치에서 자리를 차지하게 되어 계속하여 쌓여지는 실리콘 원자 사이에 불순물 원자가 끼어들어가게 된다. 만일 이러한 경우에 불순물 원자의 양이 많으면 많을수록 에피택시층의 전기적 특성인 비저항 값이 낮아지게 된다.

#### 가. 장비

에피택시층을 제조하기 위한 장비로는 반응경로 형태에 따라 원통형 ( Cylindrical Type ) 과 수평구조형 ( Horizontal Type ) 및 수직구조형 ( Vertical Type ) 의 세가지 유형이 주종을 이루고 있다. 그러나 이들 세가지 형태는 각각 그 특징이 있는데 수평구조형은 조적이 간편하고 사용기체의 소모량이 미소한 반면 제품의 균일도가 좋지않은 단점이 있으며 수직구조형은 균일도는 우수하지만 다량생산의 공정에는 부적합하다는 단점이 있으며 원통형구조는 기체의 흐름도는 수직적이며 동시에 웨이퍼 ( Wafer ) 도 수직으로 놓여 있다는 것이 상이한 것이다. 반응로에 서셉터 ( Susceptor ) 는 온도를 높이 올려도 안정한 물질인 카본블랙이나 흑연 등의 탄소로된 물질이며 통상 수평 및 수직구조형은 온도를 상승 시킬때 고주파에 의한 유도 전류로서 서셉터를 직접 가열 ( Heating ) 시키는 방법을 활용한다. 그러나 원통형 구조에서는 적외선 ( Infra-Red ) 램프로써 복사열을 직접 웨이퍼에 가하는 방법을 채택하고 있다.

#### 나. 사용재료

에피택시층 형성공정에 사용되는 대부분의 재료는 가스이며 또한 액체 재료로서는 기체의 정화를 위하여 순수한 물 (  $H_2O$  ) 이 사용된다. 사용가스 종류로는 순도가 아주 높은 질소 및 수소가스와 실리콘

콘 ( Si ) 을 포함하는 기체 및 불순물용 기체 (  $\text{PH}_3$ ,  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{BH}_3$  ) 등이 있다. 그리고 웨이퍼를 세척하기 위한 기체로서는 순수하며 동시에 건조된 염화수소 (  $\text{HCl}$  ) 가스가 사용된다.

#### 다. 평가

생성한 에피택시층의 두께 ( Thickness ) 를 측정하기 위하여 두가지 방법을 사용할 수 있다. 하나는 그루브법 ( Groove ) 과 다른 하나는 적외선을 이용한 두께 크기 측정법이다. 적외선을 이용한 방법은 단시간에 두께값을 정확히 읽을 수 있다는 장점은 있으나 단점으로는 장비가 매우 복잡하고 고가인 점도 있다. 그러나 그루브법은 장비는 간단하고 저렴한 장점은 있으나 단점으로는 측정시간이 길고 검사하는 검사원 개인오차가 너무 커서 측정오차가 큰것이 단점이다.

생성한 에피택시 단결정의 비저항 값도 측정해야 하며 비저항 값이란 에피택시층에 함유된 불순물의 농도값에 의하여 그 값이 결정되며 반도체 소자의 전기적 특성에 큰 영향을 미치므로 통상 4 - 포인트 튜브 ( 4 - point Probe ) 를 이용하여 측정하게 되며 한개의 웨이퍼에서 무질서 ( Random ) 하게 5 섯군대 이상을 체크하여 그 값의 평균치 ( Mean Value ) 를 내어 측정값을 말하며 웨이퍼와 웨이퍼간의 균일도와 각 공정들의 균일도를 비교하여 검토하는 것이다.

#### 라. 불순물 첨가의 영향

실리콘 단결정을 성장시켜 제조할때 결정결함으로써 격자결함 ( lattice Imperfection ) 과 비균질성 ( Impurity Inhomogeneity ) 상태의 두 종류가 있다.

실리콘 단결정에서 주요한 불순물들로서는 보론 ( B ) , 갈륨 ( Ga ) ,

알루미늄 ( Al ) , 인듐 ( In ) , 아르젠 ( As ) , 인 ( P ) 및 안티모늄 ( Sb ) 등이 있는데 이들이 단결정 실리콘내에 균일하게 분포되어 있어야 하며 이들에 의해 결정의 전기적 특성 즉 전도성 등에 영향을 주는 작용을 하게 된다. 결정성장과정에서 석영도가니로부터 유입되어 결정에 들어가는 산소도 불순물의 일종으로 결정내에서의 거동도 특이하다.

#### 마. 실리콘 단결정의 품질 <sup>(21)</sup>

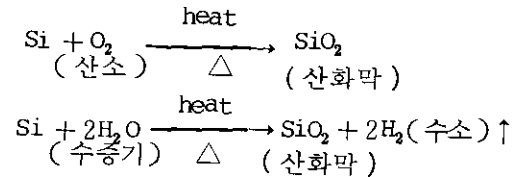
현재 국내에서 생산되고 있는 실리콘 단결정은 전위결함이 거의 없는 무결함결정이지만 여기에는 많은 미세 결함들이 존재할 수 있다. 이와같은 미세결함이 있는 단결정은 집적도가 비교적 작은 반도체 소자에는 별 영향이 없으나 16 M 또는 64 M과 같이 집적도가 높아갈수록 소자 특성에 치명적인 영향을 줄 것으로 예상된다. 그리고 실리콘 단결정에 포함되 있는 산소불순물은 미세결함의 형성 및 거동과 밀접한 관련을 가지고 있으므로 궁극적으로는 양질의 단결정을 제조하기 위하여는 결정내의 산소불순물의 농도 및 분포상태를 얼마나 정밀하게 제어할 수 있느냐에 관건이 있는 것이다. 그러므로 결정을 성장시킬때 실리콘 용융액에 자기장을 부가하여 용융액의 대류현상을 제어함으로써 원하는 산소농도의 단결정을 제조하고자 하는 노력이 많이 연구되고 있다. <sup>(22 - 25)</sup> 또한 열처리 방법에 의해 실리콘 웨이퍼내에 존재하는 산소불순물의 거동을 제어 함으로써 여러 가지 소자 제조에 가장 적합한 특성을 갖도록 하는 기술 개발의 연구도 계속 진행되고 있는 실정이다. <sup>(26)</sup>



### 3-2 산화막 생성공정

실리콘 단결정 웨이퍼 표면에 산화막을 생성하고자 하는 이유는 불순물 확산 ( Impurity diffusion ) 공정시 선택적으로 마스크 (Masking) 을 할수 있다. 이것은 이온주입 및 고온확산 공정에서 불순물이 실리콘과 산화막 표면에 확산될 때 산화막의 두께를 적당한 크기로 조절하여 일정한 크기로 웨이퍼의 산화막을 성장시키므로 다른 불순물의 침투를 억제시킬 수 있다. 또한 실리콘의 비저항 (Resistivity) 과 전도도 (Conductivity) 는 실리콘에 첨가된 불순물의 양에 따라 변화할 수 있으며, 따라서 공정상에서 이물질에 대한 오염 및 화학적 오염에 따라서도 역시 비저항값과 전기전도도가 변화하여 소자 특성상에 영향을 주게된다. 즉 표면 안정화에 대표적인 것이 산화막을 덮는 방법이며 질소 ( $N_2$ ) 를 이용한 질화실리콘 ( $Si_3N_4$ ) 의 피막으로 덮는 방법도 있다. 산화막은 소자와 소자간을 분리시키는 저항이 높은 절연물질로서의 역할도 겸하게 된다. 이때 산화막 두께가 너무 얇으면 산화막이 파괴될 수도 있다. 금속도선에 존재하는 전압은 웨이퍼 표면에 전하를 유지시키며 소자의 캐패시터 (Capacitor) 로 이용된다. 이와같은 이유로 하여 단결정 실리콘 표면에 산화막을 생성시키려면 다음과 같은 여러 제조조건을 만족시키면서 조절해야 한다. 실리콘을 대기중에 노출시키거나 특정 화학약품 용액에 접촉시키면 산화막이 형성되는데 이때 그막의 두께는  $50 \text{ \AA}$  에서  $100 \text{ \AA}$  범위로 되야하고 자료 종류에 따라 크기가 다르다. 즉 모스 (Mos) 게이트의 두께는  $400 \text{ \AA}$  에서  $1,000 \text{ \AA}$  의 크기이며 모스필드 영역에서는  $5,000 \text{ \AA}$  에서  $15,000 \text{ \AA}$  사이이다. 바이폴라인 경우 산화막 두께는  $5,000 \text{ \AA}$  내지  $8,000 \text{ \AA}$  이며 산화막을 성장시킬때의 온도범위는  $900^\circ\text{C}$  에서  $1,200^\circ\text{C}$  범위이다.

이때 온도를 높일 경우엔 결정사이에 결정결함이 생성할 염려가 있으므로 결함을 최소화하기 위하여는 낮은 온도 범위에서 제조해야 한다. 고온 산화막 성장시 화학반응은 다음과 같다.



이와같이 실리콘 웨이퍼의 산화막(SiO<sub>2</sub>) 성장은 매우 중요한 공정 중의 하나이고 산화막 자체는 구조적으로 볼때 결정체가 아닌 무정형(Amorphous)이다. 생성시 산화막의 특성을 결정짓는 인자로는 밀도, 파괴전압 및 식각비 등이 있고 이들의 인자들을 고려하여 소자 제조시 공정을 잘 조절해야 한다. 또한 산화막 성장공정에서는 산화막의 균일성 및 재현성이 요청되며 이물질에 오염되지 않은 양질의 산화막이 형성되어야 한다.

#### 가. 사용장비

단결정 실리콘 웨이퍼위에 산화막을 형성시키기 위하여 사용되는 장비는 전기로(furnace)를 사용하게 되는데 이때 가열기(Heater)로서는 하단에 설치된 코일(Coil)이 있어 여기에 전류를 통하면 석영관 자체는 온도가 상승하게 된다. 고로 석영관 내에 있는 웨이퍼는 고온으로 가열하게 된다. 각개의 저항코일은 개별적 온도조절기가 부착되어 있으므로 서로 온도의 보완관계를 갖도록 유지되어 있다. 산화막 성장 온도는 섭씨 900 도에서 1,200 도 범위내에서 온도의 오차는 거의 없도록 유지되어 있어야 한다. 또한 석영관 내부의 온도를 측정하기 위하여 열지시계(Thermocouple)가 부착되어야 하고 이를 위하여는 백금(pt)이나 로듐(Rh)의 합금으로된 지시계가 사용

된다. 또한 온도계를 부착해야 하며 사용되는 장비류는 가스확산기, 홀더(holder), 보트(boat) 및 패들(paddle) 등이 있다.

#### 나. 사용재료

산화막 생성을 위해 사용되는 재료로서는 순도가 매우 좋고 이물질이 없는 순수한 가스가 사용되어야 하고 주요 사용가스로는 산소( $O_2$ ), 질소( $N_2$ ) 및 수소( $H_2$ ) 가스 등이다. 또한 판을 세정하기 위한 유기용제로는 트리크로르 에틸렌(TCE)과 순수한 염화수소(HCl) 가스 등이 사용된다.

#### 다. 산화막 성장예비공정

얇은 웨이퍼 표면에 산화막을 생성하기 위하여는 먼저 웨이퍼 자체에 이물질과 흠(hole) 등이 없이 매우 매끄러워야 한다. 따라서 사용되는 웨이퍼를 철저히 검사한 후 사전 세척을 해야 한다. 만일에 표면에 오염이 났을 경우엔 산화막을 형성시키기 위한 화학반응을 시킬때 방해가 되어 결정함의 특성을 매우 불안정하게 만드는 원인으로 제공하게 된다. 따라서 예비세척 과정은 매우 중요하다. 웨이퍼는 미세한 먼지나 기름과 같은 유기물질등에 오염될 수도 있다. 이와같은 먼지나 작은 입자들을 강한산 즉 황산( $H_2SO_4$ )이나 물리적인 방법에 의해 제거할 수 있다. 그러나 유기물질은 유기용제나 과산화수소( $H_2O_2$ )와 같은 기름기나 지방분의 물질을 잘 용해시키는 것으로 세정하여 제거할 수 있다. 또한 세정과정 중에 생긴 매우 작은 흠은 묽은 불화수소(HF)가스로 제거할 수 있으며 사용된 산성 성분을 세정하기 위한 증류수(Deionized Water)도 세척후 건조과정에서 철저히 제거해야 한다.

## 라. 산화막 성장공정

웨이퍼를 산화하기 위한 방법은 개방된 석영관을 사용하거나 압력을 가하여 밀폐된 석영관 내에서 하는 방법이 있고 온도가 낮은 상태에서는 증착법과 전해액을 사용하는 방법등이 있으나 일반적으로는 주로 개방상태의 석영관을 이용하여 고온산화막성장법을 사용한다. 이때의 공정은 먼저 웨이퍼를 관 (Tube)내에 유입시킨후 산화막을 생성시킬때 필요한 산화막의 두께 (Thickness)를 조절해야 하고 막의 균일도를 유지시키기 위하여는 가스주입방향에 대하여 수직위치로 배열해야 한다. 만일 아주 얇은 두께의 산화막이 필요한 경우에는 산소를 사용함은 물론 유기용제인 트리클로르에틸렌 (T.C.E) 과 염화수소 (HCl) 가스를 함께 사용하기도 한다. 모든 산화막 공정이 완료된 후에는 석영관 내부로부터 웨이퍼를 조심하여 밖으로 꺼내야 한다. 그러나 비교적 두터운막을 생성하기 위하여는 수증기 ( $H_2O$ )를 사용하는 공정이 필요하다. 수증기를 이용하는 산화막공정은 탈이온수 (D.I. Water)를 둥근프라스크 (Round flask)에 넣은 후 섭씨 97도 내지 99도로 가열하여 수증기를 생성시킨후 이 기체를 산소나 질소를 써서 운반하는 방법이 있고 또다른 방법은 증류수를 고온 석영관내에 소량씩 적가하면 수증기가 생성되며 이것을 역시 산소나 질소를 매개체로 운반하는 방식이고 세째 방법은 산소와 수소가스를 동시에 주입하여 수증기 ( $H_2O$ )를 생성시킨후 이것을 사용하는 방법인데 이 방법의 장점으로서는 다른 사용용기로부터 유발되기 쉬운 오염방지는 매우 효과적이지만 수소가스의 폭발의 위험이 있어 항상 수소가스가 유입되는 배관을 철저히 점검하여 누출을 방지하므로 안전도에 유념해야만 하는 단점도 있는 것이다.

#### 마. 산화막 검사 및 평가

단결정 웨이퍼 표면에 산화막은 균일성을 유지해야 되며 이물질로 오염되지 않아야 하고 어떠한 결함이 있는지 여부는 일차적으로 육안검사를 통하여 한다음 확대경이나 현미경을 통하여 검사한후 불량 웨이퍼를 선별해야 한다. 그리고 공정이 모두 완료된 웨이퍼는 재규정을 만족하는지 평가를 받기 위해 품질관리실로 보내야 한다. 산화막에 대한 두께는 균일성이 있어야 할 뿐만 아니라 제작과정의 재현성도 동시에 가지고 있어야 한다. 양질의 산화막은 파괴전압이 약 600 볼트(Volt)/ $\mu m$  이상이 요구되며 산화막내에 이온 및 결함이 없어야 한다. 완성된 산화막 성장후 막의 공정인자로 점검해야할 종류로는 산화막의 두께와 굴절율, 이동성전하 및 파괴전압등과 결정결함이 있다.

### 3-3 확산공정

이론 : 단결정 웨이퍼 표면에 불순물 원소들을 주입하여 원하는 깊이 및 농도로 조절하여 고체상태의 웨이퍼에 필요한 입자를 균일하게 퍼지도록 하는 공정을 말한다. 이때 반도체 제조 공정에 쓰이는 확산입자를 불순물 (Impurity)이라 하고 일반적으로 확산은 기체상이나 액체상에서는 쉽게 일어나지만 이 반도체 경우에는 고체상에 필요한 불순물 가스를 주입시킬 때에는 매우 난이하므로 확산공정이란 특수 조작이 필요한 것이다. 고로 규소(Si)기판상에서 확산이 충분히 일어날 수 있도록 에너지를 가하기 위해서는 높은 온도의 전기로(Electric furnace)가 필요한 것이다. 다시 말하면 반도체 공정의 불순물 주입은 고체 확산에 의해 성장되며 이 경우에는 기체나 액체상에 비하여 몇 가지 조건이 필요하다. 첫째 확산은 이루기 위해 불

불순물의 농도차이는 충분해야 하며, 둘째 사용하는 불순물 원자 이동이 쉽게 하기 위하여 충분한 에너지가 필요하다. 이들 조건을 만족시키기 위하여 확산시키고자 하는 웨이퍼 표면에 불순물의 높은 농도를 유지해 주어야 하며 다음으로는 시간을 충분히 유지시켜 주므로 확산작업이 이루어질 수 있는 것이다. 이때 확대시키고자 하는 웨이퍼 표면에 농도 및 확산깊이를 조절하기 위하여는 두단계로 확산공정을 진행하게 된다. 첫째는 증착확산이라고 하는 과정인데 이때는 불순물이 웨이퍼 표면으로부터 속으로 주입된다. 확산 속도는 불순물의 종류와 온도에 따라 좌우되며 일정한 온도에서는 불순물이 확산될 수 있는 한계가 있으며 그 한계값을 그 불순물에 대한 최대 고용도라 부른다. 즉 고온에서 시간을 많이 유지시키더라도 웨이퍼 표면에서는 어떤 한계 이상은 불순물이 존재할 수 없는 것이다. 고로 이 증착확산 단계에서는 웨이퍼 표면에서 불순물 농도를 포화상태로 일정하게 유지시킬 수 있게 된다. 실리콘 표면에서는 최대의 농도를 지나 웨이퍼 내부로 들어감에 따라 농도는 점진적으로 감소하게 된다. 이 증착확산 단계를 세분하여 생각하면 우선 불순물 주입은 단결정 표면으로부터 형성되며 불순물 원자는 계속하여 공급되면서 웨이퍼 표면의 불순물 농도는 최대 용해도를 가지며 내부로 확산되어 들어감에 따라 점차적으로 낮은 농도분포를 가지게 된다. 원하는 불순물의 농도 및 확산깊이 등은 첫째단계인 증착확산에서만은 이루어지지 않으므로 두번째 단계로 정확한 조절이 이루어져야 하며 이 단계 확산공정을 드라이브인 확산(Drive in Diffusion)이라 부른다. 이 단계에서만 정확한 농도 및 깊이조절이 가능하여 불순물을 웨이퍼 내부에 깊이 확산시키기 위해서는 비교적 높은 온도를 유지시켜야만 한다. 이 드라이브인 확산공정 과정에서는 통상 산소( $O_2$ )기체를 주입하

여 실리콘 단결정 표면에 매우 얇은 산화막( $\text{SiO}_2$ )을 생성시키는데 이것의 목적은 기타 다른 불순물이 내부 웨이퍼로 주입되는 것을 막아주는 역할을 할뿐만 아니라 불순물이 외부로 유출되는 것을 막는 역할도 동시에 기대되는 것이다.

#### 가. 확산제조 공정

반도체 웨이퍼 제조공정 중에서 이 확산공정 순서를 보면 먼저 웨이퍼 육안검사, 세척, 증착확산, 드라이브인확산 및 평가의 순으로 이루어진다.

세척공정은 확산공정의 여러 단계를 거치면서 야기되는 각종 이물질 즉 유기물질, 무기물의 미립자, 근로자의 외분비물(땀), 작업복의 미립자, 먼지나 기타 금속이온등이 실리콘 웨이퍼 표면에 부착되어 확산공정을 수행할때 이러한 오염물질이 확산되어 실리콘 내부로 들어감을 방지하기 위한 증착확산 공정의 전단계로 생각된다. 세척용매로서는 묽은 과산화수소( $\text{H}_2\text{O}_2$ )에다 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )을 섞어 제조한 용액이거나 또는 암모니아수( $\text{NH}_4\text{OH}$ )와 과산화수소를 혼합하여 제조한 용액을 섭씨 100도에서 120도, 75도에서 85도로 가열시킨 뒤에 이삼십분정도 성숙시킨 다음 세척을 하면 유기물질이나 오염된 각종 먼지등이 세척된다. 이 과정이 완료되면 웨이퍼상에 접촉된 산성용액이나 약염기성 용액을 탈이온수로 세정한다. 이때 황산과 과산화수소용액에 웨이퍼를 넣어 세척을 하면 노출된 웨이퍼 표면에 필요치 않은 산화막이 생성되는데 이것과 기존의 산화막을 제거하기 위하여 묽은 불화수소( $\text{HF}$ ) 용액에 웨이퍼를 넣어 적당한 시간과 온도를 조절하면 세정된다. 이와같은 방법으로 세정한 실리콘 웨이퍼를 가지고 다음으로 증착확산공정 작업을 하게된다. 증착확산은 불순물 종류에 따라 그

증착확산법이 조금씩 다르게 된다. 확산되는 정도는 확산로의 온도, 시간, 기체의 유량 및 불순물의 종류에 따라 각기 다르게 된다. 그러므로 원하는 정도의 확산결과를 얻기 위하여 이와같은 여러 변수를 고정하고 정확한 온도, 정확한 공정시간 및 유량등이 요구된다. 증착확산이 완료된 후 드라이브인(Drive-in) 확산공정을 하게 된다. 이 공정역시 확산로에서 이루어지고 확산되는 정도 자체도 온도, 시간 및 주입되는 기체 종류에 따라 각기 달라지게 된다. 드라이브인 확산공정시에 산화막을 성장시키면서 동시에 불순물을 확산시키는 경우와 질소( $N_2$ )나 아르곤(Ar)과 같은 가스만을 이용하여 확산만 시키는 경우도 있다. 드라이브인 확산공정이 끝나면 확산된 정도를 평가하여야 하는데 이때 점검 요인은 시트저항값, 확산막의 두께, 접합깊이 및 불순물의 농도분포등이다.

#### 나. 사용장비

확산에 필요한 장비로는 전기로(Electric furnace)와 가스판넬(Gas Panel) 및 이공정을 위한 제반준비는 작업을 행하기 위한 로드스테이션(Load Station)등이 있고 이외에 건식 및 습식작업대가 있다. 자동장치가 되있는 조절기로 시간을 자동조절하고 가스판넬로는 가스종류와 가스량을 조절한다. 이들 장비외에도 전기로에 부착된 확산공정을 수행하는 튜브(Tube) 및 패들(Paddle)이 있고 온도 조절기(Temperature Controller) 및 온도조절용 열전대가 있으므로 확산 공정중의 가스, 온도 및 시간을 자동으로 조절하여 주는 마이크로 컴퓨터(Micro Computer)가 있다. 일반적으로 확산에 필요한 튜브내에 온도의 허용치는 증착확산에서는  $\pm 0.5^\circ C$ 이고 드라이브인 확산공정에서는  $\pm 1.0^\circ C$ 이다.



#### 다. 사용원료

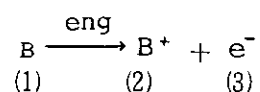
확산공정에 사용되는 원료(Raw material)는 주로 가스종류, 세척용 화학약품 및 불순물 주입원으로 분류되며 가스종류로서는 질소( $N_2$ ), 산소( $O_2$ ) 및 수소( $H_2$ )가스등이 사용되며, 특수한 세척용으로서 트리 크로로에틸렌(T.C.E)이 쓰인다. 화학약품으로는 탈이온수(D.I.Water), 과산화수소( $H_2O_2$ ), 불화수소(HF) 및 황산( $H_2SO_4$ ) 등이 사용되며 불순물로 사용되는 원소의 종류로는 N형에는 5족원소들인 비소(As) 나 인(P)등 외에 산화안티몬( $Sb_2O_3$ ), 산화비소( $As_2O_3$ ), 아르센( $AsH_3$ ), 및 포스핀( $PH_3$ ) 등이 있다. P형의 원소는 주로 3족의 물질로서 붕소(B) 외에 디보란( $B_2H_6$ ), 염화붕소( $BCl_3$ ), 취하붕소( $BBr_3$ ) 및 산화붕소( $B_2O_3$ ) 등의 물질도 있다. 또한 사용하는 물질에 따라 기체, 액체 및 고체 등의 불순물로 대별할 수 있다.

#### 라. 종합평가

반도체 제조공정 중 확산과정은 붕소(B), 인(P) 및 비소(As) 등의 불순물을 웨이퍼에 주입시키는 것으로 증착확산과 드라이브인 확산공정으로 대분할 수 있다. 증착확산과정은 불순물이 증착확산이 이루어지는 온도에서 불순물 용해도까지의 농도로 웨이퍼에 확산되어 들어갈 수 있으며 한번 주입된 불순물은 드라이브인 과정에서 더욱 깊이 확산되어 들어가게 되는 것이다. 불순물을 주입할 수 있는 사용재료로는 기체상, 액체상 및 고체상의 확산재료가 있고 대부분 확산은 고온에서 달성된다. 확산이 완료된 후 평가를 받는 요인(factor)으로서 는 시트 저항( $R_s$ ), 확산막의 두께, 접합깊이 및 농도분포등이 있다.

### 3-4 이온주입

이론 : 단결정 실리콘 웨이퍼 내에 필요로 하는 불순물의 원자 또는 분자들 즉 붕소(B), 인(P), 비소(As) 및 삼불화붕소(BF<sub>3</sub>) 등을 주입시켜 부도체의 실리콘을 도체로 하기 위한 제조과정의 일종으로 이때 주입된 이온들의 량과 깊이를 조절하기 위하여 높은 에너지를 동시에 가해야 한다. 이온주입법의 원리는 마치 연발총으로 앞에 목표물을 향해 발사된 탄환이 들어 박히는 것과 흡사한 것이지만 반도체 제조공정은 매우 그 규모가 적고 섬세하여 특수장비 및 원료를 사용해야 된다. 이때 사용되는 이온(Ion)이란 무엇인지 간략히 기술하면 다음과 같다. 알려진 모든 원자(Atom)는 원자 내부에 양(+)전하를 띤 원자핵이 있고 그 원자핵 주위에 음(-)전하를 띤 여러개의 전자들로 구성되어 있는 중성(中性) 상태로 존재하고 있는 것이다. 즉 이들 중성상태의 원자는 전기적으로 전기량이 같아서 양의 전기도 아니고 음의 전기도 아닌 제로(Zero)상태이지만 만일 외부로부터 적당한 에너지로 충격을 가하면 원자가 원래 가지고 있던 한개 혹은 2개의 전자들 중에서 하나를 잃게 된다. 전자는 전기적으로 음(-)의 값을 가지고 있으므로 전자 하나를 잃은후의 그 원자의 상태는 전체적으로 양(+)의 전기를 띄게 되는 것이다. 이와같은 양(+)의 전기를 띄고 있는 원자를 양이온(X<sup>+</sup>)이라 부르고 이와는 반대로 외부로부터 한원자에 전자(-)를 얻게 되면 음이온(X<sup>-</sup>)이 생성되는 것이다. 이온 주입법에서는 원자가 다른 전자에 의해 충격을 받아 이온이되며 이러한 전자를 발생시킬 수 있는 장비로서 통상 필라멘트(Filament)가 사용된다. 예를들어 붕소(B) 원자에 전기적 충격을 가해 이온을 만드는 반응식을 보면 다음과 같다.



불소원자 (1)은 중성상태의 원자이고 열전자에 의한 충돌에 의해 (2)와 같은 양(+)이온이 생성되며 동시에 한개의 전자(3)은 떨어져 나온 전자이다. 이온주입이란 웨이퍼 내부에 불순물을 이온상태로 주입시켜 전기적 특성을 갖게 하는 공정인데 처음 에너지(E)로 주입된 이온은 웨이퍼내에 들어가면서 주변 실리콘 원자들과 충돌하게 되며 이때의 이온이 웨이퍼 내부로 들진 하면서 에너지를 점차적으로 소멸하게 되어 결국 에너지값이 제로(Zero) 상태가 되면 이온은 이동되지 않고 정지하게 된다. 실리콘 단결정 내부에 이온이 주입된 즉시에는 이온들과 실리콘 원자들과의 충돌로 인해 손상을 입게 되어 요구되는 전기적 특성을 갖지 못하게 된다. 그러므로 900 ℃ 이상의 고온에서 수십분 동안 열처리하게 되면 손상된 부분이 다시 회복되어 불순물 특성에 따른 전기적인 특성을 가지게 되는 작업을 일컫어 어닐링 (Annealing)작업이라고 부른다.

#### 가. 이온주입 공정

이온주입 공정은 이온이 존재하는 모든 경로를 초 진공상태 즉  $10^{-6}$  토르 (Torr) 내지  $10^{-7}$  (Torr) 로 유지시켜서 작업을 해야한다. 이때 이러한 진공상태를 유지시키기 위한 장비로서는 메커니컬 펌프 (Mechanical Pump), 크라이오 펌프 (cryo pump) 및 디퓨전펌프 (Diffusion pump)등이 사용된다. 공정변수로서는 어떠한 이온의 종류인가 그리고 사용에너지 및 단위 센티미터당에 주입될 수 있는 이온의 갯수 즉, 도우즈 (Dose) 등이 있으며 기술자의 조건에 따라 쉽게 이온주입이 되는 과정을 택해야 한다.

주어진 도우즈량에 따라 적절한 비임 (Beam) 전류를 조절해야 하며 비임전류 크기에 따라 이온 주입시간이 달라지게 된다. 다시 말하면

비임전류를 낮게 하면 이온 주입시간이 길어지며 반대로 비임전류를 높이면 주입시간이 짧아지게 된다. 보통 웨이퍼 한개당 이온 주입시간은 6초에서 9초사이가 비임전류를 조작하는데 편리하다.

#### 나. 사용장비

반도체 웨이퍼에 이온을 주입하기 위한 장비는 이온주입기로서 주요부분을 나누어 보면 이온원 (Ion Source) 부분, 이온선별기 (Ion Analyzer), 가속관 (Acceleration Tube), 비임접속 (Beam focus) 장치, 비임편향판 (Beam Scan Plate), 중성비임트랩 (Neutral beam Trap), 이온주입실 (Implantation Chamber) 및 진공장치 (Vacuum Apparatus) 등이 있다.

##### (a) 이온원실 (Ion Source Chamber)

이온주입에 사용되는 이온을 제조하기 위하여는 해당하는 가스를 각각 사용해야 한다. 즉 인(P)이나 비소(As) 이온을 얻기 위하여는 포스핀( $\text{PH}_3$ ) 가스나 알진( $\text{AsH}_3$ ) 가스를 사용하면 그의 해당하는 이온들을 얻을 수 있다. 그러나 한종류의 가스일지라도 여러종류의 이온이 생성될 수도 있는 삼취화붕소( $\text{BF}_3$ ) 같은 물질이 이온화 (Ionization) 되면 3종류의 이온이 생성된다. 즉  $\text{B}^+$ ,  $\text{BF}^+$  및  $\text{BF}_2^+$  등이 생성된다. 그러나 실제 필요한 이온의 종류는  $\text{B}^+$  만이 반응에 필요하므로 이것들은 분별기를 이용하여 선택적으로 선별해 사용한다.

##### (b) 분별기 (Analyzer)

분해된 세 종류의 이온들 ( $\text{B}^+$ ,  $\text{BF}^+$ ,  $\text{BF}_2^+$ ) 중에서 실제 이온주입 반응에 필요한 것은 붕소 ( $\text{B}^+$ ) 이온 뿐이다. 고로 분별기는 여러이온 중에서 자석 (Magnet) 의 힘을 빌어 붕소이온만 선택적으로 통과시키게 되므로 웨이퍼면에 접촉하는 최종 이온은 붕소 ( $\text{B}^+$ ) 이온만 주입이 된다.

##### (c) 가속관 (Acceleration Tube)

분별기에서 선택된 필요한 붕소이온은 가속관을 지나면서 실제 필요한 에너지 (Energy)를 얻게된다. 다시말해 가속관은 제로 (Zero)에서 180Kv까지의 음(-) 전압으로 양(+)전하를 띄고 있는 이온들만을 가속시키게 된다.

(d) 비임용집 (Beam focus) 장치

붕소이온 ( $B^+$ )이 가속장치를 지나갈때 비임의 직경이 커지게 되는데 이것을 렌즈를 사용하여 비임의 폭을 약 10 mm 정도로 좁혀 적게 조절해주는 장치이다.

(e) 비임편향판 (Beam Scan Plate)

비임의 진행방향을 상하 좌우로 이동 시켜주기 위한 장치이다.

(f) 이온주입실 (Ion Implantation Chamber)

실제 실리콘 단결정 웨이퍼가 산적되어있는 곳에 이온이 주입되는 부분을 말한다.

### 3-5 사진식각

이론 : 사진인쇄기술 (Photolithography)이란 특정한 기판위에 빛( $h\nu$ )을 이용하여 재현시키는 기술을 말하는데 이러한 기술을 이용하여 반도체 제조공정에서는 고도로 정밀한 장비 및 재료를 써서 미세화된 어떤 형상을 실리콘 웨이퍼 기판상에 전사하여 재현시키므로 집적도가 높은 초고밀도 반도체 소자 제조에 쓰이는 특수한 기술인 것이다. 이와같이 미세한 반도체 소자의 집적도가 증가하는 현단계 추세에서는 성공적인 생산을 위해서는 정확한 감광원판 제작 및 웨이퍼 상 완전한 현상재현이 잘 성취되어야 한다. 일반적으로 불순물의 확산 또는 주입은 높은 에너지를 이용한 열적 확산이나 이온주입등으로 행해지나, 사진식각 공정에서는 미세한 부위에 선택적으로 불순물

을 확산 또는 주입시키기 위하여 산화막이나 질화막등을 확산보호막으로 활용하고 있다. 즉 얇은 박막위에 도포한 감광막으로 미세한 형상을 얻은후 이것을 식각하여 이온주입될 부분과 보호될 부분을 식별하기 위하여 사진식각 공정이 필요한 것이다. 사진식각공정에 앞서 감광막을 입혀야하며 감광막의 주성분은 고분자화합물(Polymer) 광감응제 및 유기용제로 구성되어 있다. 일반적으로 광감응제는 광(Radiation)에 의해 매우 예민한 물질로서 특정한 파장의 에너지를 가지고 있는 빛에 의해 자체내에서 분해반응이나 중합반응이 일어나 화합물의 구조가 변화되어 고분자 물질로 하여금 가교 결합을 하도록 촉진시키고 있다. 이와같이 화학반응이 일어날 경우엔 원래 물질들은 용매에 녹을수 있으나 반응후의 생성된 물질은 특정 용매 이외에는 용해되지 않으므로 이와같은 성질을 이용하여 감광원판의 상을 감광막에 이전시킬 수 있다.

한편 포지티브형(Positive Type) 감광막은 고분자화합물과 광감응제가 일정한 유기용제에 용해되어 있으나 특정한 파장을 가진 빛을 조사하게 되면 광감응제가 먼저 반응하게 되어 고분자 물질을 국부적으로 분해시켜 알칼리 수용액에 용해할 수 있는 구조로 변경되어 포지티브형의 사진식각이 이루어지게 되는 것이다.

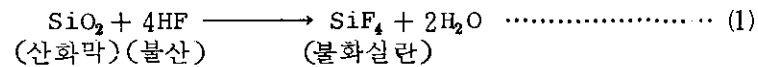
#### 가. 식각공정(Etching Process)

사진식각이란 감광막 현상공정이 완료된후 감광막 밑에 성장 혹은 증착시킨 박막들을 공정상 필요로 하는 목적에 따라 선택적으로 제거시키는 공정을 말한다. 감광막에 의해 덮혀져 있는 부분은 식각하는 도중 보호를 받아서 남아있게 되고 반대로 노출된 부분은 식각되어 제거된다. 식각의 종류는 (a)습식식각(wet etch)과 (b)건식식각

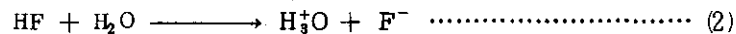
(Dry etch)으로 나뉘어 생각할 수 있다.

(a) 습식식각

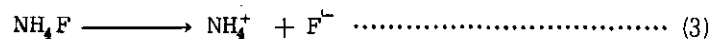
식각하고자 하는 박막과 화학반응을 하여 용해될 수 있는 화학용액을 이용하여 식각시키는 방법으로 박막의 종류와 특정한 성질에 따라 사용되는 화학용액이나 조성비가 다르게 된다. 어떤 종류의 산화막이든지간에 주로 불산(HF)에 녹는 성질을 이용하여 온도를 조절하므로 식각시키는 방법이다. 산화막이 불산에 의해 식각되는 반응식은 다음과 같다.



한편 불산이 수용액 중에서 해리되면 하이드론이온( $\text{H}_3\text{O}^+$ )과 불소이온( $\text{F}^-$ )으로 분해되며 분리된 불소이온이 산화막과 화학반응을 하게 된다.



식 (1)과 식(2)에서 볼 수 있듯이 식각이 진행되면 불소이온의 농도는 자연히 감소하게 되며 용액 자체는 물에 희석되면서 용액내의 하이드론이온 농도는 자연 증가하게 된다. 이러한 현상 때문에 산화막 식각속도(Etch Rate)는 공정을 수행할 때마다 변하게 된다. 이와같이 식각속도가 변화되는 것을 변하지 않도록 조절하기 위하여 제 3의 용액을 첨가하게 되는데 이경우에 사용되는 물질은 불화암모니움( $\text{NH}_4\text{F}$ )을 용액속에 첨가시키므로 식각속도를 일정하게 유지시킬 수 있다. 즉 첨가된 불화암모니움염은 암모니움이온( $\text{NH}_4^+$ )과 불소이온( $\text{F}^-$ )으로 해리되며 불소이온은 식각반응에 참여하게 된다.

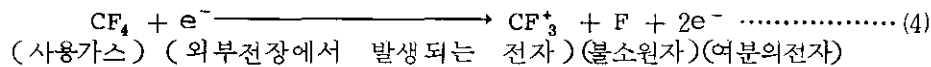


(3)식에서 해리되는 불소이온은 식각반응에 참여하여 사라지는 불소

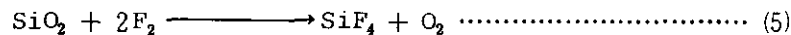
이온을 보충하는 역할을 하게 되며 용액내의 하이드로늄이온 농도를 일정하게 유지시켜 주므로 식각속도를 균일하게 유지시킬 수 있다. 한편으로 생성된 암모늄이온 ( $\text{NH}_4^+$ )은 식각공정에 아무런 영향을 미치지 않으므로 공정목적에 만족을 주게 된다.

#### (b) 건식식각

이 건식식각법은 이 공정을 수행하는 동안 용매가 개입되지 않은 건조한 상태에서 식각을 시키는 방법으로 특정한 가스를 두 전극사이에 넣고 주변에 강한 전장(Electric field)을 주입시키면 전기적인 충격에 의하여 가스 자체가 이온화(Ionization)된다. 이때 이온화된 가스원자는 반응성이 매우 강하기 때문에 식각종으로 사용되며 이것을 반응식으로 표시하면 다음 (4)식과 같다.



식 (4)에서 발생된 불소원자(F)는 식각시키고자 하는 박막상의 원자들과 다음과 같이 반응하여 부산물인 휘발성이 강한 기체를 발생하면서 식각공정이 진행된다.



이와같이 식 (5)에서 발생되는 불화실란 및 산소기체들은 배기장치를 이용하여 외부로 배출시키므로 제거할 수 있다. 일반적으로 식각공정은 습식이든 건식이든 간에 재현성, 균일성 및 생산성을 필요로 하기 때문에 작업자의 숙련도와 여러 여건의 변수를 최소화하므로써 공정목적을 최대로 해야 한다. 특히 습식식각의 변수로서는 식각시 사용용액의 종류와 그 용액들의 혼합비율, 사용하는 온도 및 시간등이 변수요인이 되는 것이며 식각이 진행됨에 따라 박막이 없어져 실리콘 기판이나 다른 박막이 나타나는 순간을 종말점(End Point)이라



한다. 이 종말점을 알아내는 방법으로서 상태변화에 따른 결정법인데 산화막과 실리콘 기판의 물리적 특성을 이용하는 방법이다. 즉 산화막 자체는 물( $H_2O$ )을 좋아하는 성질을 가진 친수성 (Hydrophilic Characteristic)이지만 실리콘 (Si) 기판은 물을 싫어하는 소수성 (Hydrophobic Characteristic)이므로 식각처리된 웨이퍼 기판을 식각용액에 넣으면 친수성인 산화막 때문에 웨이퍼 전체는 식각용액이 묻어 있으나 식각이 종결되는 시점에서는 소수성인 실리콘 기판이 나타나므로 식각용액이 떨어지게 된다. 그러므로 웨이퍼 자체는 식각용액이 전혀 묻어있지 않게 된다. 따라서 작업자는 종말점을 알게 된다.

한편 종말점을 찾는 방법으로 물리적 변화를 이용한것 외에 화학적 방법인 색상변화에 따른 방법도 있는데 이것은 실리콘층이나 금속층의 습식식각에 응용되며 식각이 진행됨에 따라 웨이퍼 표면의 색이 점차로 변하게 되므로 종말점을 감지할 수 있는 방법이다.

#### 나. 사용장비

사진 식각공정에 사용되는 장비들은 비교적 타 공정과 비교하면 장비의 종류 및 숫자가 많다. 공정 자체가 미세현상을 재현시키는 공정이므로 웨이퍼 취급상의 주의를 기울여야 한다. 대표적인 장비를 분류해 보면 감광막 도포를 위한 감광막도포기 (Coater), 감광막을 현상 (Development) 하기 위한 막 현상기, 감광원판과 웨이퍼가 직접 접촉된 상태에서 노광을 진행시킬때 사용되는 노광 및 정열기, 감광막의 열적 경화 및 용매를 제거하기 위해 사용되는 전기오븐 (Electric oven) 및 표면의 이물질 제거하기 위한 세척기등 외에도 현미경, 작업대, 건조기, 식각기 및 박막두께 측정기등이 있다.

#### 다. 사용재료

식각공정에 쓰이는 재료는 세척액, 산, 유기용매 및 현상시 필요한 액체류 등이 있다. 그러나 이들 물질들은 거의가 유기화합약품 및 무기산류이므로 다루는 작업자에게 유독할 뿐만 아니라 휘발성 및 인화성이 강하므로 화재나 폭발의 위험을 동시에 지니고 있는 단점이 있으므로 이 식각공정의 작업자는 물론 감독자들의 세심한 주의가 필요하다. 일반적으로 이 공정에 쓰이는 세척제는 거의다 유기용제류이다. 즉 아세톤, 크실렌 및 부틸아세테이트등이 있고 접착강화제로서 헥사메틸디실라잔(Hexamethyldisilazane)이 쓰이며 현상용액으로는 메틸렌크로라이드(M.C)가 있으며 습식식각에 사용되는 원료는 불산(HF), 불화암모늄(NH<sub>4</sub>F), 초산, 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), 질산(HNO<sub>3</sub>), 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), 과산화수소(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 및 요드(I<sub>2</sub>)등이 쓰인다. 한편 건식식각 재료로서는 4 불화탄소(CF<sub>4</sub>), 삼불화탄소(CHF<sub>3</sub>), 6 불화에탄(C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), 염소가스(Cl<sub>2</sub>) 및 사염화탄소(CCl<sub>4</sub>) 등이 있다. 이들 대부분의 가스들은 매우 유독하거나 휘발성이 있어 특히 안전관리에 유의하여야 한다. 특히 건식식각 첨가제로서 사용되는 기체로는 산소(O<sub>2</sub>), 수소(H<sub>2</sub>), 헬륨(He) 및 아르곤(Ar) 등이 있는데 이들 기체는 산소나 수소는 화재 및 폭발의 위험이 있는 가소성 가스이나 헬륨이나 아르곤가스들은 가열할 경우에는 폭발성이 있어 특히 유념해야 한다.

#### 라. 요점정리

식각공정 및 감광막공정은 반도체 제조분야에서의 역할은 반도체 소자를 축소하여 집적화(集積化)시키므로 각 칩마다 전기적 기능을 갖게 하므로써 반도체 기판위에 회로의 구조적 형상화를 재현시켜 원하고자 하는 반도체 소자를 제조하는데에 그 목적이 있는 것이다. 고로 미세한 형상을 완벽하게 반도체 기판위에 형성시키기 위하여는 사

용하는 모든 장치 및 재료들은 규정된 것을 사용해야 하며 모든 공정은 순환공정이므로 작업자들의 근무태도 여하에 따라 달라질 수도 있다. 즉 반도체의 결함발견은 물론 이물질사 및 타물질의 오염등으로 인한 불량품은 철저히 점검해야 하며 검사능력 또한 전체 생산율과 밀접한 관계에 있다. 따라서 이 공정에 필요한 여건은 생산가공시 근로자의 능력은 어느 공정보다 더 중요함을 강조하게 된다.

### 3-6 화학증착 ( Chemical Deposition )

이론 : 반도체 제조공정의 일종인 이 화학증착 방법은 일반적인 개념으로 간략히 정리해 보면 증착시키고자 하는 반응기체(1)과 기체(2)를 반응기에 주입하면서 최적의 조건을 유지하면 고체상의 물질이 생성되어 실리콘 기판위에 내려 쌓이게 되는 현상인데 이때 기체(1)과 기체(2) 및 실리콘(Si)과의 화학반응을 일으키게 된다. 고로 화학증착이란 말로서 표현되는 것이며 일반적으로 기판위에 온도는 물론 열에너지의 크기에 따라 증착속도가 달라지게 되며 어떤때는 전장(Electric field)에 의한 플라즈마(Plasma) 또는 자외선(Ultra Violet Radiation)에 의한 광에너지에 의해 화학반응이 일어나기도 한다. 반응물질인 기체(1)과 (2)는 기체영역에서 경계영역을 통과하여 웨이퍼 표면에 도달하면 이때 반응기체들은 화학반응을 일으켜 증착이 시작되는 것이다.

#### 가. 증착종류

화학증착의 종류는 여러가지가 있으나 여기서는 대표적인 다음 3가지 종류의 화학증착만을 간추려 보고자 한다. a) 저온증착 b) 플라즈마 화학증착(PE-CVD), c) 저압증착

(a) 저온증착 (L.T.O , Low Temperature oxide)

화학증착공정은 산화막성장 또는 확산공정과는 다르게 실리콘 기판 위에 변화를 주지 않으면서 질서정연하게 산화막을 입히는 공정이다. 통상 낮은 온도 (300 ~ 400 ℃) 조건하에서 기체인 실란 (SiH<sub>4</sub>) 과 산소(O<sub>2</sub>) 를 사용해 산화시키는 공정을 말하며 필요에 따라서는 디보란(B<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), 포스핀 (PH<sub>3</sub>) 및 알진 (ASH<sub>3</sub>) 등의 기체를 쓰기도 한다. 이 저온증착법은 금속과 다결정 실리콘간의 절연을 위하여 그 사이에 인(P)이 포함된 막을 증착시키기 위하여는 첨가되는 인의 량, 막의 두께 및 공정의 세조건을 잘 조절해야 한다.

산화되는 화학식을 보면  $\text{SiH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots (1)$

$\text{SiH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2 \dots\dots\dots (2)$

$2\text{PH}_3 + 4\text{O}_2 \rightarrow \text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} \dots\dots\dots (3)$

식(1)은 이산화규소 (SiO<sub>2</sub>) 가 산화물로 생기면서 부산물로 두 분자의 물이 제거되지만 식(2)는 부산물로서 수소 (H<sub>2</sub>) 기체 두 분자가 제거되며, 식(3)은 오산화인 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 산화막으로 작용하면서 세 분자의 물이 빠지는 반응으로 이때 사용되는 산소의 량은 두분자 한분자 및 네분자로서 모두 사용되는 산소기체의 분자 숫자가 다르다는 것을 유념해야 한다.

(b) 플라즈마 화학증착 (PE-CVD)(Plasma Enhanced-Chem Vapor Deposition)

이 증착법은 플라즈마 (Plasma) 를 이용한 코팅 (Coating) 방법으로 특정한 가스가 들어 있는 진공상태에 용기내의 전압을 가해 가스를 여기 (Excitation) 시키므로 반응성을 높이므로 웨이퍼 (Wafer) 상에 요구되는 필름 (Film) 을 입히게 하는 공정으로 이때 사용되는 온도는 약 300 ℃ ~ 400 ℃로 비교적 저온이며 나이트라이드 (Nitride) 나 또는 옥시

나이트라이드 필름(Oxynitridefilm) 제조에 주로 사용된다.

(c) 저압증착 (L.P.O, Low pressure oxide)

저압증착법은 반응기속에 있는 모든 가스를 진공펌프를 이용하여 배기시킨 다음 반응시키고자 하는 기체를 일정한 속도와 온도조건을 유지하면서 유입시키면 화학반응에 의하여 증착이 일어나게 된다. 이 저압증착의 특징은 반응용기의 압력이 저압이며 또한 열에너지에 의해 반응이 이루어진다는 것이다. 이 증착법의 장점으로서는 좋은 질의 증착막을 일시에 많은 수의 웨이퍼 위에 증착이 가능하므로 생산원가가 낮아 매우 경제성이 크다는 것이다.

나. 증착장비

화학증착 반응용기는 크게 두가지로 분류하여 생각할 수 있다. 첫째는 저온용기벽 (Cold Wall) 둘째는 고온용기벽 (Hot wall) 형으로 나누어 생각할 수 있다. 저온용기형은 유도되는 전자는 가열 또는 복사가열 방식으로 기판위를 가열시켜 반응용기벽에는 증착반응이 진행되지 않으며 이때 사용되는 용기류들은 크기가 작고 여러가지 형태로서 변화가 가능하므로 연구나 개발용으로 많이 사용되지만 일시에 많은 수의 웨이퍼를 증착시킬 수가 없으므로 원가가 많이 들어서 반도체의 대량생산용으로는 매우 부적합한 것이 단점이다. 한편 고온용기류는 단순 저항가열 방식을 채택하여 제작비가 싸므로 대량생산용으로 널리 사용되고 있다. 사용되는 장비로서는 고온저항 가열로가 있고, 형태로는 다음과 같은 장비들이 있다. 즉 기체조절기, 증착반응용기, 튜브, 페달, 진공펌프 및 기름자동 순환기등이 있는데 이들 장비는 수시로 점검하여 이상유무를 정확히 판정해야 한다.

다. 증착재료

화학증착에 필요한 재료는 주로 기체종류가 많으나 필요시에는 고체의 화학약품을 사용하는 경우도 있다. 플라즈마 식각을 필요로 하는 경우에는 불소(HF)가스와 인산( $H_3PO_4$ ) 또는 불화암모늄( $NH_4F$ ) 등이 쓰이며 사용되는 기체들은 실란( $SiH_4$ ), 산소( $O_2$ ), 포스핀( $PH_3$ ), 질소( $N_2$ ), 디크로로실란( $SiH_2Cl_2$ ) 및 암모니아( $NH_3$ )가스등이 사용되며 이들 가스 대부분은 매우 독성이 강하므로 사용시에는 회색하여 사용하는 경우가 대부분이고 또한 부산물로 생성되는 염화수소(HCl)가스등도 매우 부식성이 강하여 잘 배기시켜 처리해야 한다.

#### 라. 증착공정 개요

증착법에는 몇가지가 있으나 여기에서는 가장 경제성이 있고 현재 각 산업체에서 활용되고 있는 공정을 간략히 요약하면 다음과 같다. 즉 전단계에서 계산된 증착속도로부터 원하는 두께와 시간을 계산한 다음 증착로의 온도를 조절한다. 웨이퍼를 로딩한 후 누설압력(leak pressure)과 증착압력을 기록한다. 공정이 끝나 패들이 나오면 최소 10 분이상 냉각시킨후 웨이퍼를 제거한 다음 증착된 웨이퍼의 두께를 재고 각 기록용지에 측정치를 기록한다.

### 3-7 금속막 증착

이론 : 단결정 실리콘 웨이퍼 위에 필요한 금속을 얇게 부착시키는 반도체 제조공정의 일종으로 금속원자를 기판위에 증착시키기 위하여는 원자들의 결합을 끊을 수 있는 큰 에너지를 외부 전장에서 가해주면 금속원자들은 기화(Vaporization)하거나 승화(Sublimation)하여 주위로 확산 방출하게 된다. 이때 방출된 작은 몸속 입자들은 웨이퍼에 닿아 증착되면서 고체(Solid)로 환원되는 과정을 금속증착

공정이라 한다.

증착시키는 방법에는 스퍼터링 (Sputtering) 과 같은 물리적 증착법 (Physical Vapor deposition) 과 외부로부터 에너지를 가해 주는 공급방식 및 증발에 의한 증착방식이 있는데 증발에 의한 증착법에는 (a)필라멘트식 (Filament Evaporation), (b)프레쉬식 (Flash Evaporation) 및 (c)전자빔식 (Electron Beam Evaporation) 이 있다.

#### 가. 금속증착 공정

증착공정을 수행하기에 앞서 사용되는 웨이퍼는 황산용액으로 깨끗히 세척해야 한다. 이와같이 세척한 웨이퍼들은 암모늄포스화이트 [(N H<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>] 용액이나 붉은 불화수소 (HF) 산 용액에 세정한후 실리콘 표면에 형성된 산화막을 제거해야 한다. 이렇게 세척한 웨이퍼를 진공용기 (Vacuum Chamber) 에 넣고 기계적으로 확산형 진공펌프를 사용하여 용기내의 기압은 10<sup>-6</sup> 내지 10<sup>-8</sup> 토르 (Torr) 로 조절한 다음 앞서 설명한 증착법에 의해 적당한 방법을 선택하여 금속막을 증착시킨다. 이때 증착되는 금속박막의 두께와 증착되는 속도는 알맞게 조절되어야 하며 모든 증착공정이 완료된 후에는 불활성가스인 질소 (N<sub>2</sub>)를 충전한 후 용기를 열어 최종 생산품을 제거해야 안전하다.

#### 나. 사용장비

금속증착 공정에서 사용되는 장비로는 필라멘트식 증착기, 알루미늄 합금을 증착하는 스퍼터링 증착기와 순수 알루미늄 (Al) 을 증착하는 전자빔식 증착기등이 있다. 이들 사용장비들은 각기 가지고 있는 장비의 특징이 있어 필요로 하는 웨이퍼 증착에 알맞는 장비를 사용하되 공통점은 이들 모든 장비를 사용할때 용기는 고진공용기내에서 수행해야 한다는 점이다.

#### 다. 사용재료

금속증착 목적에 사용되는 재료들은 전도성이 커야하고 또한 접착력이 강해야 할뿐만 아니라 금속실리콘과는 낮은 접촉저항성이 갖추어져야 한다. 통상 많이 사용되는 금속재료는 순수한 알루미늄(순도 99.9999% 이상), 실리콘(1~2%)과 알루미늄(98~99%)으로 혼합된 알루미늄합금, 용점이 높은 금속(예, 텅그스텐(W), 모리브덴(Mo), 티탄늄(Ti) 등)이 있으며 순도가 99.999% 이상인 금(Au)이 있다. 또한 실리콘(Si)과 중금속과 이온 결합으로 된 화합물도 있다. 예를 들면 텅그스텐 실리콘( $WSi_2$ ), 백금 실리콘( $PtSi$ ), 몰리브덴실리콘( $MoSi_2$ ) 및 티탄늄실리콘( $TiSi_2$ ) 등이 있다.

#### 라. 요점정리

반도체 소자 제조기술이 첨단산업의 발달과 더불어 날로 발전되감에 따라 소자의 밀도는 매우 크게 증가되며 반면 소자 자체의 크기는 적어지고 있는 것이 현실이다. 게이트 전극으로 이용하는 다결정 실리콘은 두께(Thickness)가 얇아지는 반면 저항은 점점 커지는 경향이 있으며 접합 깊이가 적어지면서 스파이크 문제는 크게 부상되고 있다. 이와같은 제 문제들은 고용점 실리콘사이드를 이용하여 좋은 효율을 보이고 있다.

### 3-8 웨이퍼 기능검사

반도체 전 제조공정이 완료된 후 각 웨이퍼 상태의 기능이 양호한지 또는 개중에 불량품이 있는지의 여부를 점검하여 선별하는 작업공정을 말하며 이 작업을 웨이퍼쏘트(Wafer Sort), 웨이퍼푸루브(Wafer Probe) 및 다이쏘트(Die Sort)라고도 명명한다. 이 공정에



서는 각 웨이퍼 프로브카드 (Probe Card)가 잘 맞도록 정리정돈하여 각 칩 (Chip)사이의 간격을 조절한다. 그리고 프로브카드의 각 핀 (pin)이 본딩패드 (bonding pad)에 잘 접속되었는지를 점검하는 것이다. 검사기간은 소자들의 기능에 따라 수십초에서 수십분에 시간이 요하게 된다. 다이 한개씩 점검할때 컴퓨터는 각 다이의 정보를 기록하고 그 결과 해당 다이가 양품 (良品)인지 혹은 불량품 (不良品)인지를 확인한후 불량품에 대해서는 잉크로 체크를 한다. 점검이 끝났으면 웨이퍼에 대한 정보를 프린트한다. 웨이퍼 한개에서 전체 칩의 숫자에 대비한 양질의 칩의 갯수를 수득율 (yield)이라고 한다. 이때 수율을 향상시키는 웨이퍼 가공기술은 매우 중요한 문제이며 어느 제품을 생산하였을때 예상치 수율보다 높아야 원가에 큰 도움이 될뿐만 아니라 회사 전체에 수익성에도 직접 관련이 되 있으므로, 모든 공정 하나하나마다 생산수율을 향상시키려는 노력이 밤낮없이 연구 검토되고 있는 것이 비단 한국에서는 물론이고 전세계 근로자들이 추구하고 있는 일이다.

### 3-9 반도체 조립기술

반도체 조립기술은 소자 제조공정이 끝난 웨이퍼로부터 개별소자를 분리하고 조합하여 완전한 반도체 소자를 만드는 기술로서 크게 4종류로 대분된다. 즉 (a)다이분리 (Die Separation), (b)다이부착 (Die Attachment), (c)선연결 (Wire bonding) 및 (d)패키이징 (Packaging)기술 등으로 구별하여 생각할 수 있다.

#### (a) 다이분리 (Die Separation) 기술

다이분리기술은 소자가 가공된 웨이퍼로부터 개별소자를 분리하는 것으로서 반도체 산업이 시작된 1950년대 후반부터 스크라이빙 (Scri-

bing) 장치를 이용한 방법에 의해 행해졌다. 그러나 점차 사용되는 웨이퍼의 직경 및 두께가 커짐에 따라 다이아몬드칼날 (Diamond Blade)에 의한 다이분리 방법이 많이 사용되고 있다. 현재 이방법에 의한 수율 (yield)은 90 % 이상으로 매우 양호한 실정이다. 이러한 기술은 오늘날 자동화와 더불어 웨이퍼 프로세스 변화에 따른 기술적인 복잡화가 요구되고 있다. 웨이퍼 프로세스의 변화를 들어보면 웨이퍼 직경 및 두께가 커지고 스트리트 (street)가 얇아지며 다이크기 및 모형이 다양화되가는 추세이므로 이들 변화에 대처할 수 있는 다이싱 (Dicing) 시스템 개발이 필요하게 된다.

#### (b) 다이부착 (Die Attachment)

조립공정기술 중에서 실리콘 웨이퍼를 개별소자로 잘라낸 후 이들을 올려 붙이는 공정을 다이부착 공정이라 한다. 칩 (Chip)의 크기가 점차 커짐에 따라 가로×세로 (5 mm×5 mm) 이상의 크기를 갖는 소자에 대해서는 기계적인 압력이나 또는 열에 의한 소멸상태등으로 인한 손실문제 때문에 다이결합 (Die bonding) 과정 및 신뢰도가 점차적으로 더 엄격히 요구되고 있다. 다이결합에 사용되는 재료는 뿔납, 유기접착제 및 유리접착제 등이 있는데 처음 뿔납은 단일품이나 복합금속으로 된 것이 있으며 이는 또 연한것과 경한 뿔납을 사용할 수도 있다. 두께 유기접착제는 열 (Heat) 및 전기적인 전도도 (Conductivity)를 좋게하기 위하여 금속 은 (Ag)을 혼합하여 만든 에폭시 및 프리마이드로서 프로세싱 온도가 가장 낮고 금 (Au)을 사용하는 하드솔더 (Hard Solder)에 비해 단가가 낮아 많이 사용되고 있으나 열적 안정도가 낮고 열팽창이 좋지 않으므로 높은 신뢰도를 요구하는 소자제조에 사용하기 위하여는 제 문제점들이 해결되어야 할 것이다. 세째로 다이결합에 새로운 기술로는 유리접착제 (Glass Adhesive)가 있는데 은 (Ag)을 혼합

한 특수 유리물질로서 결합면에 동공(Void)를 만들지 않아 우수한 열적 안정도를 제공하지만 높은 온도( $400^{\circ}\text{C}$  이상)가 요구되고 최적의 접착상태를 만들기 위해서는 산화할 수 있는 분위기가 요구되는 등 특수공정을 필요로하므로 불편한 점이 있어 이 역시 개선되어야 할 사항인 것이다. 결과적으로 다이부착 기술개발의 발전추이는 가장 적합한 결합(Bonding)물질의 개발이라 할 수 있다.

#### (c) 선결합(Wire Bonding) 기술

선결합 기술은 소자와 패키지 터미널(Package Terminal)을 직경  $25\mu\text{m}$  정도 크기의 금 및 알루미늄선으로 연결하는 것으로 이상적인 결합은 선의 원자들이 결합위치로 확산되어 연속적인 원자적 구조를 가지게 하는 것이다. 이와같은 확산이 형성되는데 필요한 에너지는 보통 압력, 열, 초음파 및 이들의 조합형태로 공급되는 것이다. 사용하는 선(Wire)은 주로 금선이 사용되나 실리콘 및 마그네슘이 섞인 알루미늄합금선도 점차 많이 사용되고 있다. 간단한 결합기술의 예로서 열압축결합(Thermocompression bonding) 기술인데 이때 선과 패드(Pad)를 결합시키기 위해 열과 압력을 사용하여 선결합을 행한다. 여기서 선은  $300^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 의 열을 받게되는데 이때 단점은 높은 온도에서는 이 소자가 견디지 못한다는 것이다.(알루미늄은  $250 \sim 300^{\circ}\text{C}$  온도에서 산화물을 형성하므로 결합을 불가능하게 한다) 따라서 초음파에너지와 열압력 결합(Thermocompression) 방법과 함께 사용하면  $125 \sim 150^{\circ}\text{C}$  부근의 낮은 온도에서 물질의 사용이 가능하다.

#### (d) 패키징(Packaging) 기술

반도체 소자를 취급하거나, 시험할때 그리고 선적하고 전자장비에 부착하거나 사용하는 동안 이들을 보호하기 위하여 포장하는 것을 패키징이라 하며 패키지들은 전력용 소자에 대한 특수한 패키지

를 제외하고 7 가지의 기본형태를 갖는다. 모든 반도체 소자는 정상 가동 상태에서는 열을 발생하며 이 열은 소자의 온도를 높이거나 전도, 대류 및 복사에 의해 주위로 빠져 나간다. 이들 대부분의 열은 전도에 의해 소자로부터 빠져나가야 하며 그렇게 하기 위해 소자와 냉각물질 사이에서 열이 잘 통하도록 패키지를 만들어야 한다.

고전력 소자에 대하여는 내부 전도저항 및 외부 전도저항을 모두 최소로 하여야 하며 높은 열전도를 가지는 새로운 재료들 (즉 BeO, AlN, SiC 등) 이 제안되고 있다.

## 4 . 반도체의 품질관리

### 4-1 일반품질관리

#### 가. 작업환경

일반 생산품과는 달리 반도체의 제조공정에 있어서의 소자의 가공 및 생산효율을 높이기 위하여는 작업환경 및 각 공정에 대한 철저한 점검을 실시하므로 결함없는 양질의 소자를 높은 수율로 생산하므로 신뢰성있는 제품을 만들어야 한다. 따라서 무엇보다도 중요한 것은 작업환경을 청결히 유지하기 위하여 다음과 같은 몇가지 사항을 특별히 유념해야 한다.

#### (a) 작업장내의 먼지 (Dust)

반도체 작업은 일반 생산품 작업장과 달리 특수시설 즉 크린룸(Clean Room)에서 이루어져야 하므로 실내의 먼지의 크기 및 입자수 등을 수시로 점검하므로서 웨이퍼 제조시에 발생할 수 있는 결함들을 예방하므로서 불량품이 없는 만족한 생산품을 제조토록 해야한다.

#### (b) 작업장 내부 및 후드의 대기속도

실내 대기속도를 일정주기로 점검하여 외부 공기 유입으로 인한 청정실내의 오염을 방지해야 할뿐만 아니라 후드를 통하여 항상 청결한 공기를 적절히 공급하여 반도체 판상의 오염을 방지하기 위한 보호막을 설치하여야 한다.

#### (c) 온도 및 습도조절

온도와 습도에 민감한 생산품들은 이들 두 조건을 항상 만족시켜야 하는데 바로 반도체 소자의 웨이퍼들도 일정한 범위에 온도 및 상대습도(Relative Humidity)를 조절하여 작업을 해야한다. 이때 온

도 범위는 매우 예민하여 사진식각실내의 온도는  $21.6^{\circ}\text{C} \sim 22.7^{\circ}\text{C}$  를 유지하면서 동시에 상대습도는  $35 \sim 45\%$ 를 유지시켜야 하며 기타 크린룸의 온도 및 습도는 각각  $21.1^{\circ}\text{C} \sim 23.5^{\circ}\text{C}$ 를 유지해야 하고 습도는 역시  $35 \sim 45\%$ 를 유지해야 한다.

#### 4-2 제조공정중 품질관리 (Quality Control in Process )

반도체 제조시 수율이 낮은 이유는 여러가지 이유가 있겠으나 최종 단계만으로서 수율의 증감을 점검하는 것은 너무 사항이 늦은 것이므로 제조하는 중간단계 공정을 점검하므로 최종 수율을 증가시킬 수 있는 요인으로 작용하는 것이므로 제조공정중의 품질관리가 필요한 것이다. 즉 웨이퍼상에 산화된 막이나 질화막 또는 금속막의 두께를 측정하는 문제라든가 시트저항값 (Sheet Resistance Value)을 측정하는 문제 접합깊이를 측정하는 문제 그리고 이온검사를 하는 문제와 라인폭을 조절하는 문제등이 중간제품 공정단계로서 측정을 정확하게 하여 중간불량품들을 제거시켜야 한다.

#### 4-3 반도체의 신뢰도 ( Reliability )

반도체 소자의 신뢰성이란 어떤 종류의 소자가 얼마의 시간 동안에 어떠한 조건 ( 온도, 습도 및 기타조건 ) 하에서 요구하는 기능을 완수할 수 있나를 알아내는 척도를 말하며 또한 양질의 소자는 높은 신뢰도를 나타내며 높은 신뢰도를 가진 소자일수록 그 소자의 수명 (life time)은 길고 그 제품의 품질이 보장되는 것이다.

#### 4-4 반도체의 오염원과 수율과의 관계

가. 오염원 점검

반도체 제조 공정은 특수 작업환경 즉 크린룸 (Clean Room)에서 작업해야 되는 특수한 청정시설을 갖추어야 하므로 많은 시설 투자와 기술이 필요하며 여러 공정 중에서도 광마스킹 (Photo-Masking) 작업은 엄격한 수준의 청정도를 유지하지 않으면 안된다. 만일 오염된 환경에서 작업했을 경우에는 공정 수율을 현격히 저하시키는 결과를 초래하므로 높은 공정 단가로 제품의 원가가 상승되는 요인이 육안으로 오염된 것이 발견되지 않더라도 접합의 전류누설이나 낮은 전압등 소자를 점검할때 이상이 발견되므로 낮은 수율의 결과가 초래된다. 뿐만 아니라 이와같은 외형 및 내형의 이상 제품의 발견이 안되더라도 반도체 소자의 신뢰성이 떨어지게 된다. 따라서 제조시 오염원은 웨이퍼와 접촉되는 모든 인적 및 물적요인은 다음과 같은 몇가지로 분류하여 오염원을 생각할 수 있다. 작업장내의 공기의 청정도, 모든 생산시설, 작업자, 증류수, 화학약품 및 정전기 상태 등이다. 이들중에 몇가지만 상세히 검토해 보면 다음과 같다.

(a) 크린룸의 공기의 청정도

우리가 사는 대기중에 존재하는 공기는 반도체 제조 관점에서 보면 매우 불결한 것에 속하게 된다. 왜냐하면 많은 양의 먼지 (Dust)와 습기등을 포함하고 있기 때문이다. 따라서 반도체를 제조하기 위한 공기는 일정한 온도와 습도는 물론 먼지등이 제거된 것을 사용해야한다. 그러므로 공기정화기를 부착한 설비를 갖추어 조정된 공기만이 작업장내로 유입되도록 해야한다.

(b) 작업자 (Worker)

크린룸내에서 가장 큰 오염원으로 간주할 수 있는 것은 역시 작업자이다. 작업인은 수많은 오염물질 즉 먼지나 기타 수증기류등을 배출시킬 뿐만 아니라 작업복에서 파생되는 오물 및 땀으로 인한 소

다음이온들은 반도체 제조의 매우 큰 오염원들이다. 그러나 반도체 제조에 반드시 작업인이 작업할 수밖에 없으므로 크린룸내에서의 여러 가지 규칙은 매우 엄하고 까다롭다. 여(女)작업자일 경우엔 얼굴 및 손 화장등의 규제를 엄격히 다루고 있으며 가능하면 금지시키는 것이 타당하며 작업복, 작업모, 장갑 및 마스크등에서 파생되는 오염원들의 오염방지는 늘 만족한 것은 아니지만 최소로 오염을 막기 위한 방지 노력은 계속해야 할 것이다.

#### (c) 탈이온수 (Deionized Water)

일반적으로 자연수중에 존재하는 무기불류불 제거한 순수로서 반도체 제조공정을 통해 웨이퍼를 여러시간 동안 이 탈이온수에 담가 두면서 물에 녹을수 있는 불순물을 제거하게 된다. 실제 여러공정중에서 가장 오랜시간 처리되는 세척공정이다. 아무리 탈이온수라 할지라도 그 물속에는 소량의 몇종류의 불순물이 존재하고 있다. 즉 미세한 먼지, 물에 잘 용해되는 물질 및 균주등이 있을 수 있다. 그리고 모든 자연수는 소금을 소량이라도 함유하고 있으므로 이것이 이온화되면 소듐이온( $\text{Na}^+$ )이나 염소이온( $\text{Cl}^-$ )으로 해리되 있으므로 특히 알카리 원소인 소듐이온이 실리콘 소자판상에 부착되면 소자의 전류(Electric Current)가 누설되므로 소자의 특성을 악화시킬 수도 있다. 고로 탈이온수 제조과정에서 이와같은 소듐이온을 철저히 제거하게 되는데 탈이온수는 거의 전기의 부도체이므로 저항율의 측정에 의한 검사를 하므로 판정하게 된다. 또한 이온수 속에 존재하는 미세한 먼지는 필터(Filter)를 통하여 제거하며 물속에 있는 균이나 박테리아등을 제거하기 위하여는 살균처리(자외선처리)후 먼지등과 같이 필터로 제거된다. 탈이온수를 제조하기 위하여는 많은 경비가 소요되므로 대부분 이 공정에서 사용한 탈이온수 제조설비로 다



시 보내어 회수함으로 경비를 절약하고 있다.

(d) 화학약품 (Chemical Reagents)

반도체 소자 제조공정에 여러 종류의 화학약품이 사용되는데 이들 중에서 산 (Acid) 이나 염기 (Base) 는 물론 유기용제 (Organic Solvent) 류 및 유독성 가스종류가 많이 사용되는데 이들 약품들은 산화막 형성, 사진감광막 생성 및 식각 (Etching), 세척 및 사진마스킹 공정등에서 주로 많이 사용되는데 대부분 이들 화학약품은 구매에 의해 사용하게 되는데 탈이온수는 공장내에서 직접 제조하여 사용할때 순도를 점검하여 쓰이는 것과 같이 이들 화학약품도 순도를 정확히 알고 사용해야지만 최종 제품의 질이 우수하며 동시에 생산 수익율이 증가하게 되는 요인도 된다. 따라서 이들 화학약품은 일반적으로 4 가지 종류로 분류하여 구매하게 된다. 즉 상업용 (Commercial grade) 공업용 (Technical grade), 시약용 (Reagent grade) 및 반도체 제조에만 사용하는 반도체용 (Semiconductor grade) 으로 분류된다. 특히 반도체 제조에 사용되는 화공시약중에 불순물로 문제를 야기시키는 원소는 소듐이온 ( $\text{Na}^+$ ) 및 칼륨 ( $\text{K}^+$ ) 이온들로서 이들의 최대량은 1 ppm 이하이어야 사용이 가능하다. 작업장에서 사용하는 반도체 제조용으로는 소량씩 구입하여 사용할 수도 있으나 저렴한 가격상의 문제로 큰 드럼통으로 구입할 경우도 있는데 이때에는 세심한 취급상의 주의가 필요하다. 큰 용기를 보관할때는 청정도가 유지되는 장소이어야 하고, 햇빛이 비추는 장소는 피해야 하며 온도 및 습도가 잘 맞아야 하며 소분하는 용기들의 청결 문제도 중요할 뿐만 아니라 한 용기가 다른 용기와 혼합되는 것을 철저히 피해야 한다. 또한 이들 화학약품을 취급하는 작업자는 일정한 근로자로 선정해서 실수가 없도록 별도의 안전 및 보건 교육을 이수한 자이어야 하고 청결교육을 받아

야 할 것이다.

(e) 정전기 (Static Charges)에 대한 오염원

정전기의 정의는 전기의 부도체인 두 종류의 물질이 접촉하여 마찰을 일으키면 마찰된 부위에는 열이 발생하게 되는데 이것에 의해 각분자들이 가지고 있는 전자들을 주거나 또는 받게 되는데 만일 생긴 전자들이 도체일 경우는 곧 이동되어 전류 전자가 없어지게 되지만 기본물질 자체가 전기 부도체이므로 전자의 주고 받는 이동이 없으므로 마찰을 일으킨 부위는 각각 전자의 결핍상태 (양(+))가 아니면 전자의 추가상태 (음(-))의 전기를 띄게 된다. 이와같이 양전하와 음전하를 띄고 있는 두 물체는 정전력 (Coulomb force)으로 서로 끄는 힘을 가지게 되는데 먼지나 아주 미세한 입자들이 반도체 웨이퍼상에 붙어 있으면 기계적인 힘만으로는 제거할 수가 없다. 기판위에 부착된 이물질 (異物質)이 크기가 미세할수록 표면적비 만큼 줄어드나 같은 힘을 미세입자에 가해주지 않기 위해서는 단위면적당 힘을 미세입자 부피의 역비만큼 더 크게 가해야 한다. 최근에 고집적도의 반도체 소자개발에 따라 회로선폭은 점점 작아짐과 동시에 기능은 더욱 복잡해지고 있으므로 미립자의 크기 및 밀도에 대한 오염허용 농도는 점점 강화되고 있으므로 이것의 제거를 위하여는 더욱 더 고도의 기술이 필요한 것이다. 따라서 웨이퍼 기판상에 부착되지 않도록 사전에 설비 및 시설 크린룸내의 입자도를 최소로 하는 방지대책이 무엇보다도 필요하며 정전기 방지를 위해서는 부도체의 물질사용을 최소로 줄이고 습도는 크게 해야 방지되나 실제온도 및 습도의 조절이 필요하기 때문에 습도를 일방적으로 크게 할 수는 없다.

## 5 . 반도체용가스 및 화학약품 취급, 저장 및 폐기시 요령

### 5-1 반도체용 가스취급 요령

서론 : 가스취급 일반

①가스 종류가 다양하므로 유사품명에 주의하여 사용전 가스명칭을 재 확인 할것 .

②각종 가스는 성질이 다양하여 독성, 인화성, 화학반응성 및 점착성등의 어떠한 종류인가를 정확히 알고 사용할 것 .

③가스봄베는 액체를 사용하는 것이 많으므로 용기를 다룰때는 수직으로 세워 취급 할것 .

④ 가스 용기는 대부분 압력이 크므로 운반시에는 굴리지 말고 지정된 수레를 이용 할것 .

⑤봄베를 열때는 가스출구가 작업자를 향한 쪽은 반드시 피할 것 .

⑥가스를 다 사용하고 교환시에는 비눗 물이나 검지기를 사용하여 누설검사를 시행해야 하고 주변에 가스를 포집하여 분석치를 알아 둘것 .

⑦가스봄베에 연결된 각종 장치들 중에서 파이프라인, 호수, 밸브 및 기계류는 필히 규격품을 써야하고 누설검사를 자주 할것 .

⑧수소가스 및 아세틸렌 용기는 역화방지기를 부착하여 사용할 것 .

⑨가스보관 창고 주위에는 위험 경고표지를 부착하고 지정된 작업자만 출입을 허가 할것 .

⑩가스보관실 내에는 가스정보기, 중화제, 소화기구, 산소호흡기 등

의 안전보호 장비를 비치 할것.

⑩작업자가 들어가서 작업하는 큰 탱크나 맨홀등에서 작업시에는 산소검지기를 부착하고 안전보호구를 착용하고 2인 이상조를 이루어 작업할것.

#### 가. 유독가스

##### (a) 저장요령

①독성가스 봄베 저장소 주위 1.5m ~ 2.0 m 이내에는 발화원이 될수 있는 물체를 두어서는 않된다.

②가스 봄베 (Bombe)는 압력게이지 및 밸브등의 손상을 입지 않도록 안전한 벽코너나 벽면에 고정하여 진동이 없도록 할것.

③가스 봄베는 직사 광선이나 태양열을 받지 않도록 해야하고 온도가 35℃이상 올라가지 않도록 서늘한 곳에 안치할 것.

④불붙는 가스류는 부근에 점화원이 될 수 있는 물체를 두어서는 안되고 소화기를 비치 할것.

⑤유독성 가스 저장소는 각별히 중화제, 흡수제 및 인체 보호장비 (방독마스크, 방진 마스크등)를 항상 비치해야 한다.

##### (b) 이동요령

①가연성 가스봄베를 이동할시는 반드시 소화기 (분말 또는 탄산가스)를 수반할 것이며 유독가스일 경우는 중화제를 비치하고 방독면과 흡수제등도 함께 수송해야 한다.

②가스를 동일한 작업장소에서 이전할시는 안전한 수레차나 운반용 차량을 사용해야 하고 용기에 부착된 게이지나 밸브등에서 누출되지 않도록도 신중해야 한다.

##### (c) 폐기요령

① 유독성 가스류를 폐기할 때는 반드시 방독마스크 및 안전안경, 장갑등의 보호구를 착용할것.

② 이 가스를 잘 아는 작업자만이 취급하도록 한다.

③ 직접 대기중에 방출하여 제거시킬 때에는 풍향의 반대위치에서서 소량씩 허용치 이하의 농도가 되도록 배출시켜야 한다.

④ 독성 가스를 화학처리해서, 제거시킬 때에는 안전한가를 사전에 실험한 후 중화제나 흡수제를 사용해야 한다.

⑤ 독성가스이며 동시에 가연성가스인 경우는 연소장치를 이용하여 완전히 연소시켜 제거한다.

⑥ 폐기된 용기는 밸브를 꼭 닫은 후 밸브의 손상이 가지않고 볼베가 넘어지지 않도록 조치해야 한다.

#### 나. 고압가스

##### (a) 저장요령

① 고압가스를 저장하고자 할 때에는 크기가 300  $m^3$  이상인 경우엔 도지사나 군수의 허가를 받아야 가능하다.

② 가스봄베 설치장소는 출입구나 보이는 장소에 경계 표지판을 부착해야 한다.

③ 가스용기 저장소내의 반경 2  $m$  이내에는 절대 화기나 전화원을 두어서는 않된다.

④ 용기는 밸브나 배관에 손상을 입히지 않도록 고정시켜야 하며 건물구석에 안치해야 한다.

⑤ 특히 가연성 가스봄베를 저장시에는 소화기(분말 및 탄산가스)를 설치해야 한다.

⑥ 고압가스가 독성이 있다면 흡수제나 중화제등을 비치해야 하

고 방독마스크도 또한 비치해야 한다.

⑦작업자가 다니는 통로는 설치장소 면적의 20 %이상을 유지해야 한다.

⑧용기를 처음 저장한 경우엔 가스가 누출됐는지 반드시 검지로 확인해야 한다. 또한 저장기간이 길 경우엔 적어도 1 개월 1 회이상 누출검사를 하고 대장에 기록 유지해야 한다.

⑨저장소는 직사광선이 직접 통과하지 못하도록 차광시설을 해야 하며, 섭씨 40 °이하 온도의 건·냉암소에 보관해야 한다.

⑩가스사용후에 환풍장치가 잘 되도록 시설물을 갖추어야 한다.

⑪가연성, 독성, 조연성 가스등은 각각 격리 보관해야 하고 서로 화학적 반응성이 있는 가스는 동일장소에 보관을 피해야 한다.

⑫가스내용물이 싹 들어있는 용기와 공(空) 용기는 반드시 구별하여 보관해야 한다.

#### (b) 이동요령

①고압가스 봄베를 원거리 이동시에는 충격을 주지 않도록 운반해야 하고 특히 하계절에는 온도유지를 위해 온도 상승을 방지해야 한다.

②산소 및 염소가스봄베와 가연성 가스를 함께 적재해서는 안된다.

③가연성 가스를 이동할시는 소화설비를 비치해야 하고 독성가스일 경우에는 흡수제나 중화제를 적재하여야 한다.

④압축가스 대부분의 이동은 눕혀서 적재시켜야 하지만 액화가스나 아세틸렌 용기는 세워서 적재시켜야 한다.

⑤이동시 누설사고가 발생했을 때는 즉시 통풍이 용이한 장소로 이동시키고 작업자들은 피신시키고 소방관이나 제작사에 직접 연

락을 해야 한다.

⑥작업장내에서의 이동은 전용 운반용차를 사용하여 신중히 충격이나 손상이 없이 다루어야 한다.

## 5 - 2 반도체용 화학약품 저장 및 폐기요령

서론 : 약품취급 일반

①작업자가 다루고져 하는 화학약품은 사전의 성질 및 특성(유독성)등을 잘 숙지 한후 취급해야 한다.

②반도체용 화학약품은 종류가 다양하고 혼돈되기 쉬우므로 사용전 반드시 품명을 확인해야 한다.

③작업자는 취급하기 전에 적당한 안전보호구(예:방독마스크, 보안경, 안전장갑 및 고무장화등)을 착용하고 약품을 다루어야 한다.

④큰용기(드럼통)와 같은 것을 열때는 서서히 개봉해야 하고 특히 흡이 발생되는 산(염산, 질산 및 인산등)과 같은 용기를 열때는 매우 서서히 그리고 냉각시킨 상태에서 작업해야 한다.

⑤사용후의 용기는 마개를 밀착시키어 닫고 안전하고 통풍이 잘되는 장소에 보관해야 한다.

⑥약품을 다룰때는 가능한한 그 약품의 증기를 호흡해서는 안된다.

⑦서로 반응을 할수 있는 화학약품끼리 혼합 취급해서는 안된다.(예:염산과 암모니아)

⑧약품의 희석은 적당한 방법으로 함부로 다루면 안되고 지정된 작업방법에 의해 실시해야 한다.

⑨화학약품을 다루고난 작업도구(스푼, 뿔저, 개리어등)는 항상 깨끗히 세척한 후 지정된 장소에 건조하여 보관해야 한다.

⑩세척에 사용되는 휘발성 유기용제류(아세톤, T.C.E 및 알콜류)는 안전한 용기에 담아 사용해야 한다.

⑪작업자가 작업 후에 손이나 피부에 가스나 약품이 접촉되었다면 즉시 충분한 물로 세척하고 사내 의무실에서 상담하고 필요하면 병원으로 후송해야 한다.

⑫산과 알칼리성물질 및 산화제를 사용한 용기들은 폐기할때 혼합해서는 않된다.

⑬유기용제류와 산성물질을 함께 혼합해서는 않된다.

⑭약품을 취급한 작업자는 작업이 끝나면 항상 피부 및 안면을 온화한 물로 세척해야 한다.

#### 가. 저장요령

①화학약품을 저장할때는 온도 및 습도가 잘맞는 건·냉암소에 열원이나 태양광선을 피하여 저장하여야 한다.

②화학반응을 일으킬수 있는 약품류는 접촉이나 혼합저장을 피해야 한다.

③약품은 같은 종류별로 저장하되 50cm이상은 격리시켜야 한다.

④용기는 눕히지 말고 수직으로 세워두는 것이 좋고 파손되지 않도록 해야하며 특히 수분과의 접촉을 피할것.

⑤소화방법이 다른 화학물질은 반드시 격리시켜 보관해야 하며 그렇지 않을 경우 칸막이를 설치해야 한다.

⑥비포장용기에 보관하여 저장할때는 충격이나 타물질의 낙하에 의한 사고를 방지하기 위해 불연성 재료로된 보관통에 담아 보관해야 한다.

⑦최종 작업라인에서는 필요한 소량만을 반입하고 남는 것은 즉



시 반납해야 한다.

⑧의약품의 량이 많을때는 저장소는 필히 내화구조(내화벽돌, 내화벽)로 시설하여 완전히 타부분과 차단시켜야 하는 안전시설(국소배기 또는 전체 배기) 및 소화시설을 필히 갖추어야 한다.

#### 나. 폐기 요령

반도체 사업장에서 난 폐 화학약품은 원액보다 더욱 여러가지 혼합된 약품들이 섞여 있으므로 위험성과 유해성이 심각하다. 왜냐하면 각종 유기 및 무기화합물이 혼재되 있기 때문이다. 즉 금속종류와 비금속 불순물등이 섞여 있어 상태가 불안정하고 물과 섞여 있으므로 부식성이 강할뿐만 아니라 폐산 및 폐알칼리등은 화재나 인명피해 및 여러가지 기구오염 측면에서 매우 위험하다. 따라서 폐기요령은 다음과 같이 요약할 수 있다.

①강산이나 강알칼리와 같은 원액은 원래 용기에 담아 폐기해야 한다. 왜냐하면 공용기라 하더라도 전량이 남아 있을 수 있기 때문에 산과 염기등이 바뀌면 발열하여 사고가 날 위험성이 있기 때문이다.

②물에 친수성이 있어 잘 혼합되는 불질을 제외하고는 절대로 물과 혼합하여 폐기하지 말아야 한다.

③유기용매류는 별도로 회수하여 통에 담아 회수공장으로 보내든지 아니면 직접 폐기해야 한다.

④화공약품이 묻은 천이나 종이류는 휴지통에 버리지 말고 수거하여 폐기물 장소로 이동하여 처리하여야 한다.

⑤폐액 용기는 뚜껑을 잘 밀봉하여 보관할때 태양광선이나 수분에 접촉되지 않도록 일정한 장소에 보관한 후 폐기해야 한다.

⑥폐액 용기도 순수화공약품과 같이 품목별로 분리하여 격리보관하여야 한다.

즉, 화학약품의 성질이 같은 것끼리 합하여 시스템별로 처리장치가 필요하다 예를 들면,

강산(염산, 황산, 질산, 인산, 식초산)등과 같은 산성물질 폐수

강알칼리성(가성소다, 가성카리)등과 같은 염기성 폐수

유기용제류(아세톤, 사염화탄소, 트리크로르에틸렌)등은 별도 용기에 담아 처리 할것.

⑦폐액에 유입되는 물질은 서로 다른 성질을 유입시키면 안된다. 사용장치에 출발점을 명확히 표시해야 한다.

⑧폐액의 누출이 많은 밸브나 플렌지 부위에는 바이패스 배관을 설치하여 긴급시를 대비해야 한다.

⑨유기용매류의 폐액 밸브는 보통의 충격이나 진동에 의해서도 쉽게 개폐되지 않도록 확고한 자재를 사용해야 한다.

## 6. 안전 대책

### 6-1 가스안전대책

가. 가스 누출시 대책

가스가 어느 일정 용기로부터 누설되었을 경우엔 인명이나 재산상의 피해를 입는 경우가 많다. 고로 재해를 최소로 하기 위해서 어떤 종류의 가스인가 그 가스의 특성 및 주위환경등을 고려해서 신속하고 정확한 조치를 취하여야 한다.

①가스가 누설됐을 경우 가스종류, 가스특성, 주변환경등을 신속히 파악하고 필요하면 가스관리 책임자에게 통보한다.

②인체에 유해하거나 위험한 가스종류인 경우는 방독마스크를 착용하거나 보안경 및 장갑등의 보호장비를 착용하고 행동해야 한다.

③실외 야적장에서 누설되는 가스를 다룰 때에는 반드시 풍향 방향으로 서서 용기를 안고 조작을 해야한다.

④가스설비나 밸브계통의 누설이 있을 경우엔 접촉 부위를 좀 강하게 잠그거나 필요한 경우엔 불활성가스(Inert Gas)로 주위에 누설된 가스를 제거시킨 후 신속한 조치를 한다.

⑤급격히 가스가 다량 누출될 경우 피해를 최소로 막기 위하여 작업자는 바람이 잘 통하는 장소로 대피한 후 위험지역이라고 판단되는 장소에 작업자들에게 신속히 알려야 한다.

⑥가스가 인화성이라면 주변에 점화원을 빨리 제거시켜야 한다.

⑦가스 누출장소 부근에는 관계자 외에는 출입을 제한하고 피해가 클 것이라고 판단하면 자체내 소방대나 외부 소방관서에 연락해야 한다.

⑧반도체용 사용가스는 유독성가스(비소, 포스핀, 염화수소, 염소, 및 암모니아)등이 혼히 쓰이며 이들 가스가 유출되는 경우 즉시 보건소나 소방소에 알리고 보건상의 조치 및 안전상의 조치를 취해야 한다.

⑨독성가스 누출시에는 인근 작업자 또는 민간인들을 대피시키도록 조치를 취하고 반드시 방독마스크나 공기조절 호흡기를 착용하여야 한다.

#### 나. 가스 중독시 대책

작업자가 가스에 중독되는 것에 대비하여 필요한 구급용품, 설비 및 시설을 항상 준비해야 인명피해가 최소화 할 수 있다.

①가스중독 환자를 발견하면 즉시 타 작업자에게 알리고 소방대에 신고해야 한다.

②피해자를 환기가 잘되는 장소로 옮기고 신선한 공기를 흡입시키도록 조치해야 한다.

③호흡이 곤란한 환자는 인공적으로 호흡시키도록 조치하고 의사를 부르거나 빨리 병원으로 후송시켜야 한다.

#### 다. 긴급 처리시 대책

①유독성 가스를 흡입했을 때에는 신선한 공기가 있는 곳에 눕히고 작업복의 단추를 모두 열어 편안한 자세로 한후 몸을 보호하기 위하여 담요등으로 감싼 다음 필요하면 산소호흡을 실시토록 하고 어떤 종류의 가스로 중독됐는지 담당 의사에게 자세히 설명하여 치료를 받도록 해야 한다.

②안면이나 눈에 화학약품이 접촉했을 때에는 피부나 눈을 문지르지 말고 즉시 따뜻한 온수로 충분히 약 15~20 분간 흘려보내면서

세정하도록 한다음 담당 의사에게 역시 약품의 종류를 상세히 말하고 조치를 받아야 한다.

③다량의 유기용매가 눈에 묻었을 때는 작업복을 서서히 벗긴다음 용매류가 묻은 부위를 다량의 온수로서 세척해야 한다.

## 6-2 화학약품 안전대책

### 가. 사용장치 안전대책

①산이나 알칼리성이 강하여 용기를 부식시킬 수 있는 화공약품 저장 용기는 내부를 내 산성이나 내 알칼리성으로 코팅해야 한다.

②원료 의약품의 누출을 방지하기 위하여 이중벽으로 설치해야 한다.

③액체가 쉽게 증발하거나 비산할 위험이 있는 설비는 뚜껑을 설치해야 한다.

④화학약품이 저장된 탱크 주위에는 점화원이 절대있어서는 않된다.

⑤화학약품을 설치한 용기 하단에는 누출에 의한 부식을 방지하기 위하여 스테인레스로 된 받침대를 설치해야 된다.

⑥저장탱크 앞이나 옆면에 타물질과 혼돈을 방지하기 위하여 약품명과 경고문을 부착하여야 한다.

⑦유기 용제류와 같은 인화성이 강한 액체 저장탱크는 정전기를 방지하기 위한 제거장치를 설치하여야 한다.

### 나. 약품공급 장치 및 안전대책

①화학약품 공급실이나 저장실은 기타 건물과 방화를 위한 구획이 절대 필요하다.

②가능하면 지하실보다는 통풍이 용이한 지상에 공급실이나 저장

탱크를 설치해야 한다.

③저장탱크조 및 펌프는 산성, 염기성 및 유기 용매류등으로 각각 구분하여 배치하여야 한다.

예) 산 : 염산 ( $\text{HCl}$ ), 황산 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), 질산 ( $\text{HNO}_3$ ), 인산 ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), 불산 ( $\text{HF}$ )  
등 에칭용액류

염기 : 암모니아수 ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), 불화암모니움 ( $\text{NH}_4\text{F}$ ) 등 감광액류

유기용매류 : 알콜류, 아세톤, 트리크로로에틸렌등 세척용제류

④공조는 별도 공조설비로 하여 배기장치를 설치하고 독성증기나 가스가 나오는 경우에는 스크러버를 통해 독성을 흡수시킨후 대기로 배출시켜야 한다.

⑤인화성이 강한 유기용제류의 배관이나 펌프 및 탱크설비에는 정전기 제거장치를 설치해야 한다.

⑥유기용제류를 공급장치를 통하여 불출할때는 유속을 제한해야 한다.

⑦각 배관을 설치할때는 물질별로 도색을 달리 해야한다.

예) 산 성 : 주황색

염 기 성 : 청색

유기용매류 : 황색

⑧휘발성이 강하고 인화성이 큰 유기용제류의 공급실내에는 보통 전기시설을 피하고 모든 스위치등 전기 기구류는 방폭 형태로 설치해야 한다.

⑨인화성이 강한 용매류 저장 및 공급실내에는 가스 검지기 및 화재 경보기를 설치하고 이산화탄소가스 소화기나 할론등의 소화기를 설치해야 한다.

### 6-3 화재시 안전대책

#### 가. 화재 발생시 긴급조치 사항

- ① 화재 발생시에는 가스의 폭발, 독성가스에 의한 중독증상으로 인한 손상 용기의 파손등을 먼저 고려하여 대처해야 한다.
- ② 화재 발생시에는 위험지역내에 있는 작업자 및 기타인들과 소방 및 안전 관리자에게 속히 알려야 한다.
- ③ 만일 큰 화재의 위험이 있다고 판단되면 관할 소방관청에 급히 연락해야 한다.
- ④ 독극물의 유해 발생의 위험이 있을시는 인근 관할 보건소 및 경찰서에 미리 알려야 한다.

#### 나. 화재 발생시의 주위환경 처리

- ① 위험성이 큰 인화성 및 유독성 가스는 우선해서 화재발생 장소에서 멀리 격리시켜야 한다.
- ② 고정된 연소물질(화학약품, 가스봄베류)은 용기의 주변을 계속적으로 냉각시키어 온도가 상승되지 못하도록 조치해야 한다.
- ③ 작업자가 아닌 일반 사무직 사원이나 화재와 무관한 사람들은 화재장소로부터 가능한 먼곳에 피신시켜야 하며 통풍이 잘되는 장소로 피난시켜야 한다.

#### 다. 일정 용기에 화재가 발생했을 경우의 처리

- ① 인화성이 큰 물질인지 또는 유독성이 강한 물질인지를 판단하여 소화방법과 용기의 이동을 고려해야 한다.
- ② 물질의 봄베가 파손되기 전에 안전벨트가 파손되어 내부의 가스가 누출되어 가연성 물체나 또는 독성 물질이 나오는지 잘 판단

하여야 한다.

④소화방법은 일반적으로 충분한 량의 물로서도 할 수 있으나 이산화탄소 소화기나 또는 분말 소화기를 사용해야 한다.

⑤화재가 발생하여 혼란한 상태일수록 화학지식이 충분한 전문가의 의견을 수렴하여 행동해야만 손실을 줄일 수 있다.

#### 라. 화재 발생 시의 행동요령

①화재를 맨 처음 발견한 작업자는 주변 사람에게 알리고 침착하게 자체 소방대나 또는 관할 인근 소방소에 신고토록 해야 한다. 이때 화재발생 장소 및 위치를 정확하게 상대방에게 알려 주는것이 매우 필요하다.

②전기로 인한 누전사고시에는 제일 먼저 전원스위치를 차단시켜야 하고 공무부서에도 같이 사실을 알려 전 부서원에게 사후 조치를 취하도록 해야한다.

③반도체 사업장 즉 크린룸내에서의 화재발생시는 공조시설을 차단하여 웬 (FAN)을 중지시켜 유독한 가스나 화염등의 확산을 방지해야 한다.

④화재장소 주변에 있는 인화성물질을 먼 장소로 이동시키며 동시에 필요한 물건을 속히 반출해야 한다.

⑤화재발생장소 부근에 있는 본격소화설비 (소화전 이산화탄소소화기, 분말소화기 및 모래등)를 작동시켜 소화를 도와야 한다.

⑥어떤 화재이든 재산이나 인명에 피해를 주게 되는데 이때 인명구조를 최우선으로 염두에 두고 피난구를 통해 유동인원을 안전하게 대피시켜야 한다.



## 7. 반도체 제조공장의 사고사례

회사명	사 고 일 시	인명 및 재산피해	사 고 내 용	주 사 고 원 인
O.S.K 기초공 학부 (국외)	1991.10. 2	· 2명사망, 3명부 상	○실란 ( $\text{SiH}_4$ )가스봄 배사용중 폭발	○원인불명 ○봄배폭발
S 사 (국내)	1991. 6. 3	○ 1명화상, 가스실 런더박스전소 및 재 고품손실	○가연성가스( $\text{SiH}_4$ ) 누출로 인한 폭발	○작업자부주의 ○교육미비
D 사 (국내)	1990. 8.13	○작업자 허리부상 ○반도체 부품 파손	○ Form Die 를 정비 하다 무리한 힘 을 가해 발생	○중량물 취급 부 주의
H 사 (국외)	1989.12.13	사망 1명, 부상 3명 반도체 부품파손 및 작업중단	○가연성가스( $\text{SiH}_4$ ) 누출로 인한 폭발	○봄배 및 가스배출 사이 연결부위 결 함
S 사 (국내)	1989. 2. 7	2명화상	○잔류 실란 가스에 의한 화염발생	○작업후 확인 미흡 ○한가지 작업을 2 명이 연결 실시
H 사 (국내)	1988.12.23	○작업자 화상	○용기 세척중 화공 약품이 접촉됐음	○가스 스크린 모서 리 부분이 거칠음 ○안전의식 부족
H 사 (국내)	1988.12. 6	안면부 및 가슴 화상	○호수가 압력으로 파손되어 화공약 품(불산)이 분출	○밸브파손 ○보호구 미착용
H 사 (국내)	1988.10.11	작업자 화상	○불산이 손에 접 촉	○폐용기 처리미숙 ○보호구 미착용

회사명	사 고 일 시	인명 및 재산피해	사 고 내 용	주 사 고 원 인
H사 (국내)	1988. 7.13	두통 및 호흡곤란	화공약품(질산+불 불)흡입	○ 화공약품처리미흡 ○ 작업경험 미숙
H사 (국내)	1988. 7.10	작업자 손 화상	불산(HF)이 손에 접촉 화상	○ 작업방법 미숙 ○ 안전의식 결여
S사 (국내)	1988. 3.24	○ 작업자 화상 ○ 작업중단	○ 실란가스 누출로 인한 작업장 화 재	○ 조작실수 ○ 밸브자동차단기미 부착
S사 (국내)	1987.12.21	○ 작업중단 ○ 생산품 감량	○ 실란가스에 의한 화재 ○ 화학폐기물과 일 반쓰레기가 혼재	○ 안전교육 부족 ○ 실란가스의 상식 부족
S사 (국내)	1987.11.16	○ 작업자 2명 화상 ○ 설비 파손	○ 유기용제 흡착탑 화재	○ 유기용제 흡수제 거탑의 압력 및 온도조절 실수
H사 (국내)	1987.11. 3	○ 안면부 및 팔에 화상	○ 화공약품인 왕수 에 접촉	○ 취급사항 미 교육 ○ 안전의식 부족
S사 (국내)	1987. 9.28	○ 화학가스 누출로 작업자 두통 및 조업중단	○ 초산( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )에 신 질산( $\text{HNO}_3$ ) 를 사용	○ 작업자의 무지 ○ 교육미흡
S사 (국내)	1987. 9.22	○ 작업중단 ○ 제품손상	○ 산화질소 발생	○ 화공약품 무지 ○ 안전의식 부족
S사 (국내)	1987. 7.14	○ 시설 파괴	○ 실란배출라인 발 화	○ 실란가스 소량누 출, 미 점검

회사명	사 고 일 시	인명 및 재산피해	사 고 내 용	주 사 고 원 인
H사 (국외)	1986.11. 2	○화학가스 누출로 시설파괴	○염소, 4불화탄소 및 3 염화붕소 등 의 가스사용중 누출	○가스검지기미부착 ○관리미숙
S사 (국내)	1986.10.22	○제품 및 시설파 해	○실란가스 누출사 고	○고압가스 배관손 상 점검이 미흡
S사 (국내)	1986, 7. 8	○작업중지	○염산탱크 붕괴	○체크밸브 마모 ○시설미비
S사 (국내)	1986. 5.21	○작업자 의식불명	○삼취화붕소(BBr <sub>3</sub> ) 가스 누출	○가스가 실내에서 누출 ○가스성질 숙지 못 했음
O사 (국외)	1982	○재산피해 200 ~ 300 억엔	○실란(SiH <sub>4</sub> ) 가스 로 인한 화재 및 폭발	○실란가스취급 부 주의

※국·내외 총 22건 중에서 실란(SiH<sub>4</sub>) 가스로 인한 화재사고는 9건  
으로 40.90%에 해당된다. 고로 실란가스 취급을 철저히 해야 할  
것이다.

## 8. 결 론

일반적인 물질의 형태는 기체 액체 및 고체의 세 가지 형태중의 하나이다. 이들 중에서 특히 가스(기체)는 압축성, 균일성 및 수송의 용이성 때문에, 우리 사회에서는 연료나 재료는 물론 제어의 매체와 화학반응의 반응물로서도 넓이 사용되고 있으며 근대사에 와서는 첨단산업의 원자재로 수많은 가스종류가 활용되고 있다. 특히 최근 현대산업의 고도화에 따라 더욱더 그 사용범위가 확대되고 있는 추세이다. 가스류는 대부분 압축이나 액화된 상태로 일정용기에 저장되고 있으나 가스 자체가 갖고있는 유독성 가연성 폭발성 또는 부식성인 것이 대부분이므로 원천적으로 위험물로 취급해야 한다. 특히 이들 가스중에서 첨단 산업인 반도체에 사용되는 가스는 고순도를 요구하고 있으므로 국내 반도체 업계는 대부분 수입에 의존하고 있는 실정이다. 최근 미국의 유명한 화학자 Aaron Sussell<sup>(27)</sup>은 지적하기를 반도체 제조에 사용되는 가스는 매우 독성이 강할 뿐만 아니라 부식성도 있으며 동시에 자연발화성, 가연성이며 또한 질식성 가스들이 대다수이므로 최근 미국산업안전보건 연구소(NIOSH)에서는 Uniform building Code<sup>(28)</sup>와 Uniform fire Code<sup>(29)</sup>에서 규정하고 있는 미국 각주와 연방정부 규정<sup>(30)</sup>에 관한 요구사항을 점진적으로 강력하게 규제하고 있다고 발표하였다.<sup>(31~33)</sup> 또한 미국산업안전보건법(OSHA) 규정에서는 근로자들을 위해 위험 작업장이나 심한 육체적 상해를 입힐 수 있는 작업장 또는 사망할 수도 있는 작업환경은 어느 곳이나 막론하고 철저하게 배제해야 한다는 강력한 규정을 명시하고 있다. 최근 보도에 따르면 미국화학협회에서 발표한 실내 유독가스 측정에 관한 논문은 불과 몇편에 불과하며 반도체 작업장인 크린룸내에서는 그것들

조차 잘 이행되지 않는 형편이다. 그러나 반도체 기술과 관련한 모든 작업자와 여기에 투자한 막대한 재산은 반도체 기술과는 별도로 보호되어야 한다. 반도체 제조기술은 고도로 청결을 유지하기 위한 특수 작업장내에서 이루어지고 있으므로 제품기술을 제외하고 대부분 화학약품과 특수가스에 의하여 생산활동이 이루어지고 있어 이들에 대한 안전보건상의 제분제는 상호공유하여 공개할 수 있다. 이들 문제는 국내업체들 뿐만 아니라 국제적으로도 함께 연구될 수도 있으나 여러가지 복잡한 기술상의 문제 (Know-How) 등이 있어 실제로는 불가능하므로 상호 기밀을 유지하고 있는 실정이다. 또한 첨단산업인 반도체 산업은 고도로 발달한 전문인력과 지식을 요구하고 있어 이에 대한 안전보건상의 문제역시 고도의 기술과 지식을 요구하고 있다. 따라서 반도체 제조 선진국 (미국, 일본등)에서는 별도의 반도체 안전협회 (Semiconductor Safety Association)를 설립하여 국제적인 안전보건에 관한 기술교류가 이루어지고 있다. 따라서 한국에서도 현재 사설단체인 반도체 안전협회를 지원하여 반도체 제조공정에서 사용되는 유독성가스 및 유기용제류등에 대한 안전보건 문제를 다룸으로 관련 산업체에 근무하는 작업자를 보호하므로 인명제일주의에 재해없는 사회를 구현하고 반도체 선진국들과 상호교류를 통하여 이 분야에 대한 안전 및 보건에 관련된 제반사항을 준수하기 위하여는 전 관련 업체들과 대학, 연구단체 및 노동부 (정부)의 적극적인 뒷바침이 따라야 할 것이다. 이를 위하여 안전보건관련 기술개발사업을 적극 추진하기 위한 제조건은 사용하는 독성가스 및 화학약품들의 안전시설 장치의 현대화, 사용원료들의 대한 안정성 평가, 신설비로의 변경, 설비이전 및 신공정에 대한 안정성 평가, 유해광선 및 환경오염 요인 제거를 위한 시설개발, 작업장 (크린룸) 내의 환경측정등을 수행해야 할

것 등이다. 따라서 향후 대책으로는 반도체 제조공정에 사용되는 모든 유해물질(유해 위험가스, 유독성물질 및 유기용매 등)을 면밀히 검토 확인하여 각각의 인체의 악영향을 미치는 유해성을 조사 연구해야 할 것이다. 그러나 일반적인 유해 위험물질은 현행법(산업안전보건법, 고압가스관리법, 독극물관리법, 환경오염방지법 등)에 적용되고 있으나 반도체에 사용되는 유독성 가스 및 화공약품들은 현행 산안법상 명시되었지 않았으므로 가연성, 유독성, 질식성, 부식성 및 자기분해성 등의 가스 및 화공약품에 관한 연구 검토가 절실히 요망된다. 따라서 본 연구 보고서를 기초로 하여 현재는 물론 미래 반도체 산업에 종사하는 작업자들의 안전 및 보건에 관한 모든 문제가 발생되기 전에 보호하기 위한 예방책으로 선진외국(미국, 일본 및 독일 등)의 반도체 산업에 관련된 모든 법을 면밀히 검토 연구하여 우리나라 실정에 잘 맞는 산업안전보건법에 관한 기술 기준안을 제정한 후 관련 민, 관 전문단체 및 전문가는 물론 당 공단의 기술조정위원회와 공동으로 기술안을 조정하여 입법화하므로 현재는 물론 미래 반도체 사업장에서 근무하는 근로자를 보호하기 위하여 이에 대한 적극적인 대책을 강력히 추진해야 할 것을 요청하는 바이다.

## 9 . 참 고 문 헌

- 1 . S.H.KANG, Chemical Industry and Technology Vol7. No 3, 325(1989)
- 2 . Larrabee, G.B.: A Challenge to Chemical Engineering:  
Microelectronics, Chem. Eng., June 10, 51 (1985)
- 3 . Sze, S.M. Semiconductor Devices : Physical and Technology,  
John Wiley, New York (1985)
- 4 . A.S.Choi, 한국의 최근 크린룸의 추이, 공기조화와 냉동공학, 15  
(3), 209 (1986)
- 5 . 서 석청, 크린룸이란 무엇인가? 공기조화와 냉동공학, 16 (3), 232  
(1987)
- 6 . 池本弘 : CR, BCR 의 현상과 장래성, 건축설계, 1 (19), 57 (1985)
- 7 . Iwasawa Yoshiyuki, et al., Instrumentation Engineering of  
Clean Space Kagaku Kogaku, 49 (2), 109 - 13 (1985)
- 8 . King, J.Gordon : Air Cleanliness Requirements for Clean Room,  
ASTM Spec, Tech, Publ., 957, 383 ~ 9 (1986)
- 9 . ASHRAE, 1988 ASHRAE HAND BOOK: Equipment, ASHRAE, Atlanta, 1988
- 10 . Ibid, 1987 : Ibid : H.V.A.C., ASHRAE Atlanta, 1987
- 11 . 富岡芳郎 et al., : 건축설비와 배관공사, 1, 67 (1984)
- 12 . Hughes, D., : Clean Rooms Keeping the Fresh Air Flowing, Chem  
Brit., 10 (3), 84 ~ 7 (1974)
- 13 . 鈴木良延 : 84 분체기술회집 (일본분체공업기술협회) 4-1-1 (1984)
- 14 . 서석청 : HEPA, ULPA Filter 에 특성, 공기공조와 냉동공학 15 (2), 123  
(1986)
- 15 . 신성 Engineering 번역, Clean Room : 기술자료 응용편, 서울 (1987)

- 16 . 강석호, 화학공학 8 (4), 178 (1970)
- 17 . Ibid, 20 (1), 1 (1982)
- 18 . 강석호 : 분체공학, 최증당, 서울 (1987)
- 19 . Liu,B.Y.H. Fine particles: Aerosol Generation, Measurement  
Sampling and Analgsis, Academic Press, New York, P57 (1976)
- 20 . 山下憲一: 84 분쇄공업기술회의 논문집 (일본분쇄공업기술협회), 4-3-1 (1984)
- 21 . S.K.Min et al., Chemical Industry and Technology Vol 7, No3,  
P279 (1989)
- 22 . Huff,H.R. and Kolbesen B., Electrochem., Soc. PV 86-4, P117 (1986)
- 23 . Ibid., Ibid., PV 86-4, P129 (1986)
- 24 . Ibid., Ibid., PV 86-4, P142 (1986)
- 25 . K.M. Kim. et al., Semiconductor Silicon (1985)
- 26 . Huff,H.R. and Kolbesen B., Electrochem., Soc. PV 86-4, P847 (1986)
- 27 . Aaron Sussell, Journal of Semiconductor Safety Association  
Sep., 56 (1989)
- 28 . Unif. Build, Code, Chap.9, Sec. 911, Requirements for Groups  
H, Div., 6, Occupancies. Ed., (1985)
- 29 . Unif. Fire Code, Article. 51, Ed. (1985)
- 30 . The Occupational Safety and Health (OSH) Act, Public Law  
91-596, Sec., 5 (a) (1970)
- 31 . Kaminski, C and A. Poli. in Tech., June P55 (1985)
- 32 . Smith J.P and S. Schulman, Appl. Ind. Hyg., 7-214-221 (1988)
- 33 . Rogers, J.M. Chem. Engineering, Apr., 11 P81-86 (1988)



화학 ( 연구보고서 : 화학 91-081-12 )

---

발행일 : 1991.12.31

발행인 : 원장 김원갑

작성인 : 화학연구실장 정동인

발행처 : 한국산업안전공단

산업안전보건연구원

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-4

TEL : (032) 518-6482 ~ 6

---

인쇄 : 학림사 : 267 - 3676, 273 - 4175 ( 비매품 )