

반도체 산업에 적용되는 위험관리

이통영·윤여송·김성민

삼성전기(주) 녹색경영그룹

1. 서론

산업이 발전함에 따라 신기술의 개발은 가속화되어 간다. 그러나 이에 수반한 새로운 위험성도 발생하게 된다. 신기술의 기업화에 있어서는 그에 대응하는 안전상 대책의 준비가 필요한데 현실에서는 위험성에 미지한 부분을 넘긴 채 기업화되어 간다. 그리고 사고가 발생해도 여러 가지 이유로 인해 원인 규명도 어렵고 사고의 상세한 공표는 이루어지지 않는다. 이러한 이유로 반도체 산업의 안전 기술의 확립까지 상당한 세월이 필요했다.

신기술의 개발이 지속적으로 개발되고 위험성이 다수 포함되어 있는 반도체 산업은 실란, 포스핀, 아신 등 독성과 연소, 폭발성 물질을 다량 취급함으로써 폭발/화재, 누출, 정전 등의 사고에 노출되어 있으며, 이로 인해 인적, 물적 손실 뿐만 아니라, 재가동을 위한 기간이 길기 때문에 경제적인 피해도 막대하다고 볼 수 있다.

이에 따라 반도체 산업에서 고려되고 적용되는 위험관리를 살펴보고자 한다.

2. 국제 기준

반도체 산업이 활성화되고 있는 국가들에 적용되고 있는 안전관련 사항은 다음과 같다.

■ 일본

반도체 제조에 사용되는 특수한 Gas를 일본에서 사용하게 된 것은 1960년대이다. 공식적인 사고는 1982년에 반도체 공장에서 실란의 발화에 의한 공장 화재가 발생하여 소화해 가담했던 종업원 4명과 소방관 1명이 부상하였고, 그 중 종업원 1명이 사망하였으며, 공장의 피해액이 컸기 때문에 반도체 산업에서 사용되는 Gas의 위험성에 사회적 관심이 높아졌다.

1985년에 고압 가스 안전 협회는 반도체 공업에서 사용하고 있는 37종의 가스를 "특수 재료 가스"라고 이름을 붙이고 재해방지의 자치 기준을 제정했으며, 1992년에는 고압 가스 단속법이 개정되어 규제되게 되었다.

또한 1981년 이후에 일본 건설성에서는 지지 암반까지 기초를 두고 진도 7에서 견딜 수 있게 설계, 건축하도록 신 내진 기준을 개정하였다.

■ 미국

FM(Factory Mutual) Property Loss Prevention Data Sheet라는 화재보험협회의연합 연구기관의 Code에 의해 청정실의 종류 및 공기조화 설치에 따른 구분, 반도체·산업 장비의 소방시설 및 안전시설의 설치에 관한 기준을 적용하도록 하여 화재 보험료의 할인을에 적용받는다.

또한, SEMI(Semi-Conductor Equipment & Material International) Code의 제정으로 반도체 산업에 적합한 안전기준을 표준화하여 국제적으로 적용되고 있다. 이에는 반도체 산업 고유의 경고표지, 안전장치 및 밸브 등 기계기구의 기준을 제시하고 있다.

■ 한국

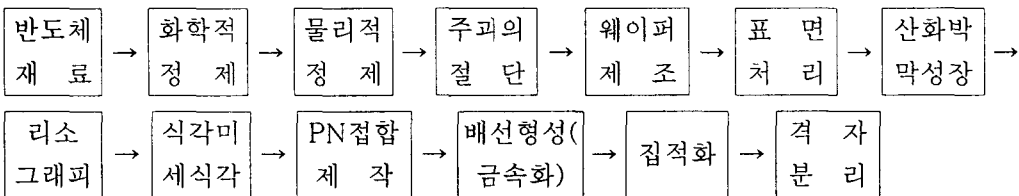
무재해와 생산 모두에서 세계 일류를 지향하고 있지만, 반도체 산업에 적합한 통일된 안전관련 분야의 관계법령은 없는 상태이며, 고압가스안전관리법, 소방법, 산업안전보건법 등의 법규에 적용받고 있다.

또한 법규가 적용되지 않는 위험 요소에 대해서는 미국, 일본의 기준을 적용하고 있으며, 재보험사의 보험료 할인을 위한 FM, 장비의 안전장치는 미국과 일본의 기준, 경고표지 등은 SEMI Code의 국제적 기준을 준용하고 있다.

3. 반도체 공정에 따른 위험요인

반도체의 생산은 복잡하고, 반복적인 공정으로 진행된다. 실리콘이나 게르마늄 등을 이용하여 결정품을 만들고, 웨이퍼(wafer)를 제조하고 이 웨이퍼를 반도체 소자로 만들기 위하여 산화, 에칭, 확산, 이온주입, 금속화 과정 등을 거치는 반도체 가공공정을 거치게 된다.

본 공정을 진행하기 위해서는 반도체용 가스를 공급하는 가스저장소, 반응후 가스의 종류에 따라 적용되는 Scrubber가 Sub 공정으로 포함된다. 구체적으로 공정을 나열하면 다음과 같다.



각 공정별 위험요인은 주로 발화성 가스에 의한 화재·폭발, 독성가스 누출, 정전에 의한 배기 기능의 상실 등으로 대분류할 수 있다. 이에 모든 위험요소를 모두 가지고 있는 공정은 불순물(Dopants)의 산화에 의해 Wafer 위에 박막을 형성·성장시키는 공정이라 할 수 있다.

[표1] 반도체가스의 위험성

| 가 스 | 위 험 성 | 비 고 |
|-------------------------|-------|---------------------------------------|
| Ammonia(NH3) | FTC | F(Flammable)-인화성 P(Pyrophoric)-발화성 |
| Arsine(AsH3) | FT | |
| Boron Trichloride(BCl3) | TC | T(Toxic)-독성 |
| Chlorine(Cl2) | CT | (T)(Toxic Byproduct) |
| Dichlorosilane(SiH2Cl2) | F(T)C | -독성부산물 |
| hydrogen(H2) | F | C(Corrosive)-부식성 |
| Silane(SiH4) | FP | 독성의 위험성은 거의 없음 |

박막의 형성·성장시키는 장비로는 주로 CVD(Chemical Vapor Deposition)가 많이 사용되고 있으며 표면의 원료가 되는 Gas를 공급 열 및 Plasma를 이용하여 화학적 반응을 통해 공정을 진행한다. CVD의 종류는 다음과 같다.

- MOCVD (Metal Organic CVD ; 고체원료 기상 증착) : 원료 Source의 형태로 분류. 고체, 액체를 원료로 사용하며 기체로의 변환공정이 필요 없음
- LPCVD (Low Pressure CVD ; 저압 기상 증착) : 가스의 반응이 진공상태에서 이루어져 장비가 복잡
- PECVD (Plasma Enhanced CVD ; 플라즈마 기상 증착) : 반응 에너지를 플라즈마로 하여 증착
- APCVD (Atmospheric Pressure CVD ; 상압 기상 증착) : 기판의 온도에서 열에너지를 얻어 증착

본 장비의 위험성은 독성, 발화성 가스에 의한 위험뿐만 아니라. 최고 1200℃에 이르는 고열, 고전류에 의한 감전 등 다양한 위험 요소들이 있다.

반도체 산업은 고도의 청정도를 유지하기 위한 청정실(Clean Room)에서 공정이 이루어져야 하므로 인해 발생하는 위험성도 다양하다. 청정실은 외부 대기압의 1.3배의 기압을 유지, 외부와의 밀폐, 활동이 불편한 클린복 착용, Air shower 시설로의 피난 및 고속의 공기조화 등 위험요인들이 다수 존재한다.

위험요인들은 화재, 누출, 정전시 산소의 부족, 방향감각의 상실, 화재에 의한 확산의 가속 등 피해를 확대할 수 있는 주요한 요건이 된다.

4. 위험관리

반도체 산업에서 발생할 수 있는 다양한 위험요인에 대한 안전관리가 다양한 방향으로 개발 적용되고 있다. 위험관리를 위한 다양한 적용사례 및 기술적인 내용은 다음과 같다.

■ 공정 밸브

반도체 특수가스의 유량조절 및 차단하기 위한 밸브는 역류를 방지하는 Check Valve, 유량을 조절하는 Regulator, Mass Flow Controller, Manual Gate Valve 및 차단을 주목적으로 하는 Air Operated Valve 등 여러 가지 밸브를 사용하고 있다.

Spring Type Valve의 경우는 Diaphragm을 스프링 아래에 설치하여 금속성 미립자에 의해 가스 흐름에 이상이 발생하지 않도록 Diaphragm Valve를 사용한다.

Mass Flow Controller(이하 MFC라 한다)와 Air Operated Valve는 외부 영향 즉, 화재감지기 작동, 비상정지밸브의 작동, 각종 이상발생에 의한 경보 발생시 가압된 공기의 공급이 정지되어 밸브가 차단될 수 있도록 되어 있다.

■ 배관재

특수가스의 배관은 거칠기 및 부식에 대한 영향을 최소화하기 위해서 Stainless Steel 배관의 STS316L을 사용한다. STS316L은 탄소, 규소, 황 및 망간의 함유량을 최소화 함으로서 거칠기 및 부식에 대한 영향을 해결할 수 있다.

[표 2] STS 316L의 화학성분 규격 및 목적

| 화학 물질명 | 규 격 (최대함유량) | 목 적 | 비고 |
|--------|----------------|---|----|
| C(탄소) | ≤0.03 | -용접시 탄소 산화물이 발생되므로 이로 인한 오염 최소화 -크롬 탄화물 발생 | |
| Si(규소) | ≤1.00 | -비금속 물질(불필요) -용접 품질의 향상 | |
| Mn(망간) | ≤2.00 | -용접시 발생하는 망간 Fume에 의한 오염, 부식 현상 발생 | |
| S(황) | ≤0.03 | -용접 품질 향상 | |

■ 소화시설

Clean Room의 특성상 봉상 주수의 자동식 소화설비 즉, 스프링클러 설비는 설치를 배제하고 있다. 이는 SiH₄, AsH₃ 등 수소화합물과 물의 반응으로 강산성의 액체를 생성하기 때문이다.

따라서 물을 사용할 경우는 물분무 시스템을 적용하며, 소화 기능을 가지면서 피난시 호흡이 가능하며, 오존층을 파괴하는 할로겐화합물을 사용하지 않는 청정소화약제를 사용하여 설치한다. 청정소화약제 중 반도체 공정에 설치하는 것으로는 Inergen 과 FM-200이라는 소화약제를 많이 사용하고 있다.

Inergen은 피난중 호흡이 가능하며, FM-200은 층고가 3.7m 이상이 되어도 사용이

가능하도록 고안된 소화약제이다.

또한 화재 및 연기의 제어를 위한 공조설비와 제연설비와의 복합적 기능을 할 수 있는 구조로 설치한다. 화재 발생시에는 연기를 방출하고 Clean Room의 외압과 내압을 동일하게 하여 연기가 원활하게 배출될 수 있도록 하는 구조로 설치한다.

■근원적인 안전

장비의 최대 가스 사용량 이상으로 설정하여 배관 및 이음부분에서 가스가 누출되었을 때 최대 사용량 이상 누출되지 않도록 Cylinder 상부에 RFO(Restrictive Flow Orifice)설치한다.

가장 사고가 빈발하게 발생하는 폐가스 이송용 덕트의 내부에 Auto Damper, Sprinkler Head를 설치하여 화재 및 폭발의 확산을 방지하여 피해 규모를 최소화하며, 관련 기술도 계속해서 개발되고 있다.

안전장치의 설치만 계속된다면 실제 발생하는 인적, 물적 피해보다도 더 많은 시간과 비용을 들여야 하는 경우가 발생하므로, 최근에는 반도체 공정의 정량적 평가, 화재, 폭발 및 피난 등 다양한 분야의 Simulation을 실시하여 그 결과에 따른 주요 관리 Point를 지정하여 집중 투자하는 방식을 선호한다.

5. 결론

반도체 산업을 필두로 고도의 청정도와 유해·위험 물질을 사용하는 공정은 점차로 증가하는 추세이다. 즉, 알려지지 않은 위험요인을 안고 생산에 매달려야 한다는 결론에 이른다. 알려지지 않은 위험요인을 제어·제거한다는 것은 상당히 난해한 문제이다. 이를 극복하기 위한 방법은 끊임없는 위험관리 기술의 축적에 따른 실험과 적용으로서 가능하다.

위험관리라는 것은 사고를 예측하여 근본적인 안전을 확보하는 것이다. 사고를 예측하고 이를 기초로 안전 기술을 개발, 적용하기 위해서는 안전관리자와 가스, 장비 등 관련 전문가들의 기술협력을 통해서만이 가능하다.