

Clean Room 위험과 대책

— 화재·폭발·산재 재해를 중심으로 —

김 영 기

(서울 동부지부 과장)

1. 머리말

반도체 산업의 기술 혁신은 눈부시게 발달하여 현재 64메가 D램의 양산 시대에 들어섰고, 국내 모기업에서는 256메가 D램을 세계 최초로 개발하는 등 비약적으로 고집적화가 진행되고 있다.

이것과 더불어 반도체 제조공정의 중심이 되고 있는 크린룸내 생산설비의 과밀화와 에너지의 집중화 등 시설이 확대되고, 생산 공정중에 사용되는 가연성 액체(화약약품) 및 자연 발화성 가스(특성 가스) 등으로 인하여 예전에 볼 수 없었던 새로운 형태의 재해도 발생되고 있다.

본 내용은 반도체 제조공장의 위험중 크린룸에 잠재하는 화재·폭발이나 산업재해 위험을 중심으로 검토한 것으로 위험관리에 조금이라도 도움이 되기 바랍니다.

2. 크린룸의 특성과 위험의 실태

가. 크린룸의 방식

Clean Room(청정실 또는 무진실)이란 공기 중에 부유되어 있는 먼지입자의 농도, 온도, 기압 및 기류 등이 정밀하게 제어되는 공간 또는 건물을 지칭하며, 엄밀하게 말하면 먼지 입자의 입도와 갯수농도 (개/부피)로 정의된다.

전역을 동일한 크린도로 유지하는 경우는 적고, 국부적으로 높은 크린도를 유지하는 방식이 취해지고 있다. 설비 배치는 다음과 같다.

① 장치지역 : class 1~10 (입자의 크기 0.3마이크로)

② 작업지역 : class 100 (입자의 크기 0.5 마이크로)

③ 방송지역 : class 1,000

④ 보존지역 class 10,000

크린룸은 입자가 제거된 공기의 순환 또는 흐름 상태에 따라서 난류식, 수평층류식, 수직층류식 등으로 구분된다.

구성하는 주요 기기설비는 Air Shower(AS), Boots Box, High Efficiency Particulate Air (HEPA) filter, system의 천정, Air Handling Unit, 각종 측정센서 및 제어기기로 구성된다.

나. 크린룸내에서 사용하는 화학물질

① 가스=도핑 가스, Epitaxial 가스, 이온주입 가스, 에칭 가스, 화학증착(CVD) 가스, 발란스 가스 등 많은 가스가 사용되고 있다. 이들은 가연성인 동시에 유해

(註)크린도 : 1ft(30cm)입방의 공기 중에 놓여진 미크론 부유 미립자의 수로 나타내고 클래스로 표시한다.

한 것이고, 또는 부식성 가스이기도 하다.

② 약품 : 현상, 세정, 에칭 용도의 약품으로 소방법에서 분류한 위험물 구분의 제 4류 인화성 액체(1, 2 석유류·알콜류), 제 6류 산화성 액체 (초산등의 강산)등이 사용되고 있다.

다. 크린룸내 위험성의 특징

(1) 에너지의 밀도가 높고 재해 발생 위험이 크다.

(2) 화염이나 누설 가스의 확산 속도가 빨라 재해 규모가 확대되기 쉽다.

(3) 크린룸은 기밀구조이기 때문에 피난에도 지장을 초래한다.

라. 크린룸의 주요 재해 사례

(1) 취급 부주의

- 취급 부주의로 수소 가스에 착화
- 산·유기용제 등의 액체가 비산하거나 누설되어 인체에 부착
- 아세톤의 압송이나 가열시에 정전기나 전기 스파크 등으로부터 착화

- 적린 사용중에 작업 부주의로 착화

(2) 장치의 불량

- 배관의 부식·이송시 염화수소의 누설

- 배기 덕트에 이물질(Si분말등)이 부착하여 배기능력이 저하

- 배기 가스 연소버너의 히터가

단선되어 가스가 누출

- 가스제어기기의 고장으로 실란 가스가 유출되어 배기 덕트 내에서 화재가 발생

- 배기부분의 배관 접속부로 부터 수소가 누설하여 배기관에서 연소
- 배기 가스에 대한 질소치환이 불충분하여 수소에 부착

(3) 수리·교환 작업중 실수

- 수리중 배관에서 가스가 누설
- 액의 교환, 조정 작업시에 액이 비산

- 수리중 잘못된 조작으로 안전밸브가 작동되고 배기관이 덕트로부터 벗겨져서 가스가 누설

- 진공 펌프의 기름 교환중 누설
- 장치 수리중 전선에 접촉되어 감전

3. 방지 대책

가. 청정실내 방재의 기본적인 사항.

(1) 재해 발생 위험의 철저한 제거

- 출화 요인을 철저히 제거하는 것이 필요하다.
- 인명구조를 최우선으로 하는 것이 필요하다.

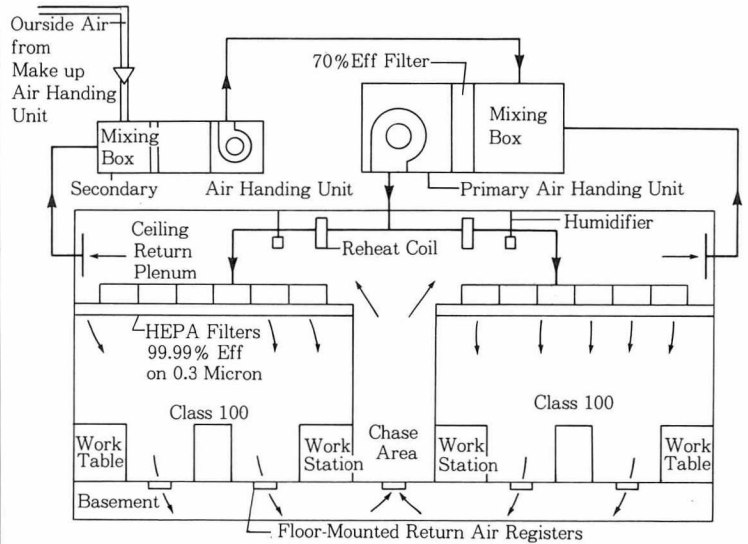
(2) 손해의 확대 방지 또는 경감
- 부대설비의 불연화, 방화구획의 세분화, 공조설비의 독립 배치, 소화방법의 확립이 필요하다.

(3) 관리 체제의 확립
- 작업원에 대한 교육, 소화·피난 훈련, 각종 안전 교재 및 작업 매뉴얼의 다시 보기 등 관리 체제를 강화하여야 한다.

나. 재해 발생방지 대책

(1) 반도체용 가스

반도체용 가스에 대한 안전 수칙인 '누설 안하기', '흡입 안하



기'를 실행하기 위해서는 먼저 가스의 성질을 잘 알고 그 가스에 맞는 '안전한 장치'로 하는 것이 중요하다.

㉠ 가스용기 보관

- 보관함 및 용기의 고정
- 가스 감지기 설치: 가스 감지기는 가스의 종류에 따라 적절한 것을 선정하고 보관함을 상하 2개소에 설치한다.
- 자동차단 밸브의 설치: 화재감지기, 가스 감지기와 연동하는 자동 차단 밸브를 용기 밸브와 직렬로 부착한다.

- 가스 압력계 관리: 가스의 압력 상태를 정확히 파악하기 위해 정압·부압 양용의 압력계를 사용, 상용 압력과 이상압력을 식별 표시한다.

- 보관함의 표시와 가스 유출 체크: 함에는 '이용 가스 가스량', '취급주의 사항' 및 '취급 책임자명'을 표시하고 작업 전후에는 가스 유출 여부를 체크하고 기록한다.

- 가스의 성질 이해: 가스의 성질에 대한 올바른 이해 및 긴급시

의 처리 방법, 가스의 혼합 위험에 대해서도 파악한다.

㉡ 반도체용 가스 배관

- 배관 재료의 내식성: 특정 구조의 재료를 침식하는 가스가 있으므로 배관이나 덕트 재료는 적절한 것을 사용한다.

- 이음매, 밸브류: 이음매나 밸브류는 진동이나 교환작업 등으로 누설되기 쉬우므로 정기적으로 누설의 유무를 체크하고 기록한다. (예를 들면 주 1회) 또한, 점검하기 어려운 장소에 설치하지 말고 그 지지대의 상호 간격도 충분해야 한다.

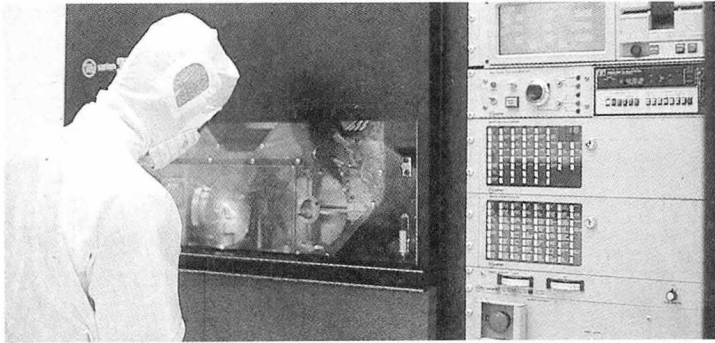
㉢ 진공 펌프

- 본체의 고정: 진동에 의한 각부의 느슨함을 방지하기 위해 마루나 벽 등에 고정시켜 매일 누설 여부를 점검한다.

- 기름의 교환: 제거한 기름은 (비소, 불화수소 등 독성이 높은 분해물을 많이 포함하고 있음) 인체에 유해성이 있으므로 취급 기준을 작성한다.

㉣ 배기관

- 배기관 재료: 가스용 배기관이



나 덕트는 불연성 재료를 사용하고 부식성이 있는 경우는 내면을 코팅한 것을 사용한다.

(2) 각종 약품·용제류 취급

㉠ 강산화성 용제류

용기의 파손·누설을 방지하고, 전도될 경우에는 쏟아지지 않도록 기밀하게 마개를 씌우도록 한다.

— 인화방지·정전기 발생방지 : 인화성 용제를 다량으로 사용하는 경우는 인화 방지 및 용기 전도, 누설 방지를 위하여 Safety Can 을 사용함이 바람직하다. 또 배관으로 공급하는 경우에는 정전기가 발생할 우려가 있으므로 도전성이 있는 배관을 사용토록 하고 접지를 한다.

㉡ 강산·강알카리·독성 약품류

— 약품의 혼합위험 : 약품중에는 혼합하면 발화하거나 반응하여 독성 가스를 발생시키는 것이 있으므로 각 약품의 성질과 혼합에 의한 위험성을 확인하여 이러한 성질의 약품은 다른 약품과 동일한 장소에 보관하여서는 안된다.

— 긴급시에 대비한 매뉴얼의 작성 : 파손·누설된 경우에 대비한 긴급조치 매뉴얼을 작성하고 종업원에 대한 교육 훈련을 수행토록 하며, 주요 방재 포인트를 제시하여 숙지토록 한다.

㉢ 세정용 유기용제

반도체 제조 및 조립공정에서 알코올, 아세톤 등 강한 인화성 용제 및 인체에 유해한 용제들을 사용하므로 화재는 물론 뇌신경 장애를 일으키는 등의 새로운 위험이 있으므로 관리에 다음 사항을 유의토록 할 필요 있다.

— 밀폐용기를 사용하거나 국소 배기장치를 한다.

— 보호구를 착용토록 한다.(보호안경, 보호장갑 등)

— 세정중에 냉각장치가 고장날 경우 용제의 가스가 이상 증발하고 다량 확산될 우려가 있으므로 냉각기에 이상 경보 장치를(압력 스위치)설치한다.

(3) 전기 시설

— 누전경보 차단장치의 설치 : 청정실내의 이온 주입기나 노광장치 등 고전압·고전류 설비에는 누전경보 차단장치를 설치한다.

— 방폭형 전기설비의 설치 : 강산화성의 위험물이나 가스 유체가 다량 사용되어지고 있기 때문에 전기설비의 스파크에 의한 폭발위험에 대비, 전기설비는 방폭형으로 한다.

— 정전대책의 강화 : 진공 펌프나 냉각수 펌프 및 위험물 가스의 퍼지 등 정전에 의해 위험이 증가하는 설비가 많으므로 정전시를 대비한 충분한 검토가 필요하다.

다. 확대 방지 대책

(1) 방화벽

— 방화벽 관통부의 차단 : 배선, 배관, 덕트 등이 방화벽을 관통하는 장소에는 연소확대 방지재나 자동방화담뽀를 설치하여 구획한다.

(2) 공조설비·제연설비

— 공조설비의 독립 : 하나의 방화구획 안에 칸막이등에 의한 작은 청정실이 있는 경우가 있지만 공조설비는 이것들의 작은 청정실과 함께 독립해서 설치하는 것이 바람직하다.

— 공조설비의 인터록 장치 강화 : 청정실의 요소에 설치되어진 각 센서 가스 감지기, 화재 감지기 등에 연동해서 공조설비가 정지토록 한다.

— 제연설비의 설치 : 출화위험·가스누설 위험이 높은 크린룸에는 제연장치를 설치 한다.

(3) 가연물

— 불연화 : 청정실 중에는 덕트, 배선, 저장품 등 이외에도 많은 가연물이 있고 특히 천정속 및 바닥 밑 등의 밀폐 공간이 상존하고 있다.

이것들은 연소 확대 요인이 되기 때문에 불연성의 것을 선택한다. 집합배선 등은 연소 방지제도 도포하는 것이 바람직하다.

(4) 방재설비

㉠ 화재감지기

구조 변경 등으로 칸막이를 바꾸는 경우에는 화재 감지기로 방호되지 않는 구역이 생기지 않도록 한다.

— 크린룸의 특성에서 화재감지기의 설치 장소는 대단히 중요하고, 청정실의 천정면은 무엇보다도 순환

공기의 출구(덕트 등)나 천정속, 바닥판 밑 등의 공간 특히, 필요로 하는 크린룸 벤취 등에도 설치한다.

-감지기의 선택은 일반적인 화재 감지기 이외에 적외선 감지기, 열 센서, 공기 견본 적출 장치(연관식 감지장치)등을 실정에 맞추어 선택

㉠ 비상 방송 설비

비상시 신속, 정확하게 정보를 전달하지 않으면 혼란을 초래해서 패닉현상을 초래할 염려가 있으므로 긴급시의 조치 사항이나, 피난 방법은 매뉴얼에 따라서 비상 방송을 한다.

㉡ 소화설비

-청정실내에서 사용하는 가스 화학 약품의 성질을 잘 파악한 후에 소화설비를 선택한다. : 실란등의 자연 발화성 가스는 소화 보다는 가스의 누설을 막는다는 것을 우선으로 하고, 아루신등의 독성 가스도 연소시키는 편이 안전(연소 생성물은 독성이 낮음)하다.

-스프링클러설비 설치 : 정확한 소화방법은 확립되어 있지 않지만 미국 FM사에서는 스프링클러설비의 설치를 권장한다. 초기소화는 소화기를 기본으로 하지만 어느 정도 화재가 확대된 단계에 있어서 인력에 의한 소화는 불가능하므로 스프링클러설비에 의한 대량 주수로 소화하는 것이 필요하다.

-감전의 주의 : 고전압설비가 많아 소화수의 방수시 감전의 위험이 있으므로 옥내·외 소화전을 스프링클러설비의 보조로 사용하는 경우 분무노즐을 사용한다.

4. 화재·폭발 사례

(1) 배관의 접속부 불량

-실란 가스의 누설로 발화 : 가스공기에 배관을 접속하고 가스공급을 실시했을 때 접속부에서 실란 가스가 누설되어 발화되었다.

(원인은 용기의 패킹 부착부가 불완전하였던 것으로 추정되나 사전에 누설 테스트가 불충분 하였기 때문에 발견되지 않았다.)

(2) 점검중 사고

-점검중 실란 가스가 누설되어 발화 : CVD장치의 고장으로 인해 점검중 배기 가스의 연소 장치 주위에서 발화 : 배기 덕트(염화비닐 제품임. 집합 덕트는 스테인레스 제품)가 천정속에서 연소하여 다량의 연기와 열을 발생하였다.

-CVD장치의 용기 교환작업 중 폭발 : 질소용기 교환후의 실란가스 용기의 교환 작업중 가스누설 경보기가 오동작되어 복구하였지만, 오동작이 계속되어 가스누설의 점검을 실시중 배기 진공 펌프 근처에서 폭발이 발생하여 작업원 1명 사망하였다.

실란과 질소의 혼합 가스가 폭발 범위에 들어 제어기기의 점화시 스파크에 착화된 것으로 추정되며 누설된 원인은 불분명하지만 진공펌프 입구의 배기관 이음매(VCR이음매)가 불충분하였던 것으로 추정된다.

(3) 배기 덕트내에서 가스폭발

-반도체 제조장치의 배기 덕트에서 가스가 폭발, 덕트가 파손되었다. 원인은 사염화탄소(CCl₄)로 반응로를 세정했지만 퍼지가 불충분하여 CCl₄가 분해되어 실란가스와 반응하여 폭발한 것으로 추정

된다. 퍼지를 완전히 할 필요가 있지만 근본적으로는 4염화탄소를 다른 안전한 세정제로 변경하는 것이 바람직하다.

(4) 진공펌프의 질소 가스공급 전자 밸브의 작동 불량에 의한 실란 가스의 폭발

-실란 가스를 사용한 발취식의 로에서 퍼지용의 질소 가스의 전자 밸브의 고장으로 충분한 퍼지를 하지 못한 결과 펌프 출구에서 높은 농도가 되어 폭발한 것으로 추정되었다.(전자 밸브의 작동 불량은 결선 불량으로 알려졌다.)

(5) 적외선 건조기 램프의 소켓이 헐거워져 스파크가 발생, 인화 폭발

-에칭제의 소자를 아세톤으로 분리하고 적외선 건조기로 건조하는 공정(약 5분간)으로 건조기의 문을 열었을 때에 램프의 소켓이 풀어지고 스파크가 발생, 내부에 증발되어 있던 아세톤에 착화되어 폭발하였다.

이 사고로 작업원이 얼굴에 화상을 입었다.

설비의 방폭구조(정전기등의 착화원도 포함)로 설치 및 취급, 작업 기준이나 폭발의 기초 지식 교육이 필요하다.

(6) 스프링클러설비와 배연설비로 피해를 경감

청정실의 전기화재로 층류실과 대기실 및 많은 마이크로칩에 피해를 입혔다. 그러나 스프링클러설비와 배연설비를 초기에 작동시켜 포장 작업장과 검사실에 화재를 국한시킬 수 있어 손실을 최소화 하였다.

총피해액은 \$100,000이었다. (84연도) (㉡)