

SEMI S14-0309

반도체 제조 장비의 화재 위험성 평가 및 완화 안전 가이드라인

본 안전 가이드라인은 글로벌 환경 보건 및 안전 위원회(Environmental, Health & Safety Committee)의 기술 승인을 받았다. 본 에디션은 글로벌 감사 및 평가 소위원회(Audits and Reviews Subcommittee)가 2009 년 1 월 2 일에 간행을 승인했다. 2009 년 2 월부터 www.semi.org 에서 이용 가능하며 2009 년 3 월부터는 CD-ROM 으로도 이용 가능하다. 2000 년 2 월에 최초 간행되었으며 2004 년 7 월에 출판되었다.

주의: “참고” 는 본 문서의 공식적인 내용이 아니며, 공식 안전 가이드라인을 수정하거나 대체하지 않는다. “참고”는 안전 가이드라인의 사용 강화를 위해 태스크 포스가 제공했다.

주의: 본 가이드라인의 “해야 한다”(should) 조항을 준수했다면 이는 본 가이드라인을 준수했음을 뜻하도록 하는 것이 본 문서를 제작한 태스크 포스의 의도이다.

NOTICE: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any language, the English version is the official and authoritative version.

주의: 본 한글본은 참고용으로, 영문원본과 한글본간에 차이가 발생할 경우, 영문원본을 우선으로 해야합니다. 본 한글본에 대한 문의사항이 있는 경우 krstandards@semi.org 로 문의바랍니다.

1 목적 (Purpose)

- 1.1 본 문서는 화재 및 연소 부산물과 관련된 장비 및 제품에 대한 위험성을 평가하고 그 위험성을 완화하기 위해 고려해야 하는 사항을 반도체 제조 장비 제조업체에 제공한다.
- 1.2 본 가이드라인은 평가 도구의 형태로 작성되었지만, 반도체 제조 장비를 설계하고 개발하는 전 과정에서 사용할 용도로 제작되었다.
- 1.3 또한 본 가이드라인은 그 반도체 제조 장비의 사용자와 기타 이해 당사자가 다양한 장비 설계마다 기술된 위험성을 평가하고 비교할 목적으로 이용하거나 보조 장비나 장비 개조의 설계 및 검토 시 이용할 수도 있다.
- 1.4 본 가이드라인은 화재 위험성을 완화하기 위해 사용해야 할 기법(예: 구체적으로 어떤 물질을 사용하고 어떤 탐지 시스템을 사용하는 것이 좋을지에 대한 것들)을 명시하지 않는다. 다만 본 가이드라인은 위험 요소의 제거, 공학적 제어, 행정적 통제, 경고 및 작업 규정과 같은 전통적인 위험 관리 체계를 준수할 것을 권장한다.
- 1.5 본 가이드라인을 적절하게 응용하면 화재에 관한 잔여 위험성을 확인하고 분석 및 평가하는 보고서가 될 수 있다.

2 범위 (Scope)

2.1 본 가이드라인은 반도체 제조 공정에 사용되는 클린룸, 또는 그 재순환 기류 내에 위치해야 하는 반도체 제품의 제조, 측정, 조립 및 테스트에 사용되는 장비에 적용된다. 본 가이드라인은 본 문서에 기술된 대로 장비의 모든 컴포넌트에 적용된다.

참고 1: 본 문서의 가이드라인은 장비의 구조체나 넓은 영역을 차지하는 컴포넌트에 한정되지 않는다.

2.2 본 문서의 가이드라인은 대상 장비 내부에서 발생하여 주위의 다른 장비나 제품 또는 시설물에 손상을 입힐 수 있는 화재 위험에 적용된다.

2.3 본 문서는 반도체 제조 장비의 화재 위험성, 위험 분류 수단, 위험 완화 수단 등의 평가를 위해 고려해야 하는 사항을 확인한다.

주의: 본 안전 가이드라인은 사용과 관련된 모든 안전 문제를 다루지는 않는다. 안전 및 보건을 위한 적절한 관행을 확립하고 사용 전에 규제나 기타 제약 사항이 필요한지 결정하는 것은 본 안전 가이드라인 사용자의 책임이다.

3 제한 사항 (Limitations)

3.1 본 가이드라인은 잔여 위험(residual risk)에 대한 허용 기준을 규정하지 않는다.

3.2 본 문서는 계층적 접근법(예: 공학적 제어보다 위험 요소 제거가 바람직하다)을 권장하지만, 특정한 위험성 완화 방법(예: 특정 물질로 변경하거나 발화원을 제거)을 따라야 한다고 규정하지 않으며 또한 특정 방법에 대해서 상대적으로 더 이점이 있다는 식의 등급을 매기지도 않는다.

3.3 본 가이드라인은 재산 보호에 적용되며, 인명 보호에는 적용되지 않는다.

참고 2: 화재 위험으로부터의 인명 보호는 SEMI S2의 범위에 속한다.

3.4 본 문서의 가이드라인은 본 문서에서 정하고 있는 범위의 장비를 장비 공급자가 규정한 환경에서 사용할 때 적용된다. 특히 외부 화재의 영향을 받았을 때 나타나는 장비의 작동 문제에는 적용되지 않는다.

3.5 본 문서를 규정으로 채택하거나 규정 사항을 준수했는지 평가하는데 사용하는 것은 본 문서의 작성 의도와 부합하지 않는다.

3.6 이와 같은 제한 사항들이 존재하기 때문에 장비 구매자는 적용 가능한 규정이나 표준, 그리고 허용 가능한 잔류 위험성 수준을 명시하는 것이 적절할 것이다.

참고 3: 적용 가능한 지역 및 국가 규정, 국제 규정, 그리고 장비 제조자 및 사용자의 요구사항도 고려해야 한다. 규정이 서로 상충하는 경우, 해당 지역 및 국가 규정을 우선한다.

4 참조 표준 및 문서 (Referenced Standards and Documents)

4.1 SEMI 표준 및 안전 가이드라인

SEMI E10 — 장비의 신뢰성, 가용성 및 유지보수 가능성(Reliability, Availability, Maintainability: RAM)에 대한 정의 및 측정을 위한 사양

SEMI E70 — 도구 설비 (Tool Accommodation) 절차에 관한 가이드

SEMI S2 — 반도체 제조 장비에 대한 환경, 보건 및 안전 가이드라인

SEMI S7 — 반도체 제조 장비에 대한 환경, 안전 및 보건(ESH) 평가 안전 가이드라인

SEMI S10 — 위험성 평가 및 위험성 검토 절차에 관한 안전 가이드라인

4.2 FM 글로벌 문서¹

4910 — 클린룸 물질 인화성 테스트 프로토콜

4.3 NFPA 문서²

NFPA 12 — 이산화탄소 소화 시스템에 대한 표준

NFPA 13 — 스프링클러 시스템 설치에 관한 표준

NFPA 72 — 국가 화재 경보 코드

NFPA 2001 — 청정 소화 약제 소화 시스템에 대한 표준

4.4 미국 보험 협회(UL) 문서³

UL 94 — 장치 및 기기 부품에 대한 플라스틱 물질 인화성 테스트

UL 746A — 폴리머 물질 - 단기 속성 평가

UL 746B — 폴리머 물질 - 장기 속성 평가

UL 746C — 폴리머 물질 - 전기 장비 평가에 이용

주의: 달리 표시하지 않는 한, 인용한 모든 문서는 최신판이다.

1 FM Global., 1301 Atwood Avenue, Johnston, RI 02919, USA. Telephone: 401.275.3000; Fax: 401.275.3029; <http://www.fmglobal.com>

2 National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02269, USA. Telephone: 617.770.3000; Fax: 617.770.0700; <http://www.nfpa.org>

3 Underwriters Laboratory, 333 Pfingsten Rd, Northbrook, IL 60062, USA. Telephone: 877.854.3577; Fax: 847.407.1395; <http://www.ul.com>

5 용어 (Terminology)

5.1 정의 (Definitions)

5.1.1 **공인 테스트 기관** (accredited testing laboratory) — 컴포넌트, 장치 또는 시스템의 테스트를 전담하는 독립 기관. 제정되어 있는 안전 표준을 근거로 정부 또는 규제 기관이 인정하는 평가를 수행할 수 있다. [SEMI S2]

5.1.2 **클린룸** (cleanroom) — 습도, 온도, 분진 및 오염이 특정 한도 이내로 정확하게 통제되는 제한 구역. [SEMI E70]

5.1.3 **가연성 액체** (combustible liquid) — 인화점 37.8°C(100°F) 이상에서 연소되는 액체.

5.1.3.1 본 가이드라인의 목적을 위해, 가연성(combustible) 액체가 (정상 또는 단일 고장 조건에서) 인화점 이상으로 가열할 수 있는 시스템에 의해 사용될 때는 인화성(flammable) 액체로 간주한다.

5.1.4 **가연성 물질** (combustible material) — 본 문서의 목적을 위해, 가연성 물질은 본 절의 비가연성 물질 정의를 충족하지 않는 모든 물질을 말한다.

참고 4: 물질의 화재 속성을 평가하는 데 사용할 수 있는 기준이나 가이드라인 및 표준에 대한 목록은 부록 2 에 수록된다.

5.1.5 **다운타임** (downtime) — 장비가 의도된 기능을 수행하는 상태가 아니거나 의도된 기능 수행을 위해 장비를 이용할 수 없는 시간. 계획되지 않은 시간은 포함되지 않는다. [SEMI E10]

참고 5: 다운타임은 SEMI E10 의 정의에 따라, 문제 발생 부품의 가용성을 감안하여 고려할 수 있다.

5.1.6 **인화성 액체** (flammable liquid) — 인화점이 37.8°C(100°F) 미만인 액체.

5.1.7 **위험** (hazard) — 사고에 필요 조건인 상태.

5.1.8 **위험 전압** (hazardous voltage) — 장비에 적용 가능한 관련 국제 표준에 달리 정의되지 않는 한, 본 문서에서는 30 볼트 rms, 42.4 볼트 피크, 60 볼트 dc 보다 큰 전압을 위험 전압으로 정의한다.

참고 6: 명시된 수준은 건조한 위치 환경의 정상 상태를 기준으로 한다.

5.1.9 **발화 에너지** (ignition energy) — 가연성 물질을 발화시키기에 충분한 에너지. 필요한 에너지는 에너지의 형태와 가연성 물질의 성분 및 형태에 따라 결정된다.

참고 7: 가연성 물질은 고체, 액체 또는 가스이다.

5.1.10 **가능성** (likelihood) — 사고 발생의 예상 빈도. 일반적으로 비율로 표시한다. (예: 년당, 제품당, 또는 가공된 웨이퍼당 사건)

5.1.11 **사고** (mishap) — 사망, 부상, 직업병, 장비 또는 재산의 손상이나 손실, 또는 환경 파괴 등으로 이어지는 계획하지 않은 단일 사건 또는 일련의 사건.

5.1.12 **불연성 물질** (noncombustible material) — 사용되는 형태와 예상되는 조건에서 화기나 열에 노출될 때 인화성 증기를 점화, 연소, 발화 지원 또는 방출하지 않는 물질. 일반적인 불연성 물질은 금속, 세라믹 및 실리카 물질(예: 유리 및 석영)이다.

5.1.13 **공정 화학 물질** (*process chemicals*) — 본 문서의 범위에 포함되는 장비가 일반적인 용도로 이용하는 고체, 액체 및 가스.

참고 8: 가동 중 사용되는 고체, 액체 및 가스뿐 아니라, 장비 공급자가 명시하는 유지보수 절차에 사용되는 고체, 액체 및 가스(예: 세정제로 사용되는 이소프로필 알코올)도 고려해야 한다.

5.1.14 **자연 발화성 물질** (*pyrophoric material*) — 54.4°C(130°F) 이하의 공기에서 자연적으로 점화되는 화학 물질.

5.1.15 **잔여 위험성** (*residual risk*) — 공학적 제어, 행정 규제 및 작업 규정 이후 남아 있는 위험성. [SEMI S10]

5.1.16 **위험성** (*risk*) — 심각성 및 가능성으로 표시한, 위험으로 인한 예상 손실 규모. [SEMI S10]

5.1.17 **반도체 제조 공정** (*semiconductor manufacturing process*) — 반도체 웨이퍼에서 능동 또는 수동 전기 장치를 생성하는 과정의 일부인 제조 절차 (최종 금속화 후 패시베이션 층의 증착을 포함하지만 테스트 및 다이싱(dicing)은 제외됨).

5.1.18 **심각성** (*severity*) — 특정 위험에 의해 야기된 사고에서 비롯된 신뢰할 수 있는 최악의 손실 정도.

6 화재 위험성 평가 (Fire Risk Assessment)

6.1 개요

6.1.1 본 절은 여러 유형의 화재 위험과 관련된 위험성 검토 기준을 제공한다.

6.1.2 평가자는 § 6 에서 기술하고 있는 각각의 확인된 위험에 대해 유발, 우발 및 완화 요소를 분석해야 한다. 또한 평가자는 물질, 컴포넌트 또는 장비에 대한 공인 테스트 기관의 모든 평가를 전체적으로 검토해야 한다.

6.1.3 위험성 평가에는 정상 가동과 장비 내부의 합리적으로 예측 가능한 단일 지점 고장의 결과가 포함되어야 한다. 위험성 평가에는 의도된 사용 환경에 속하지 않은 화재나 외부 발화원에 대한 노출이 포함되어서는 안 된다.

6.1.4 물질, 컴포넌트 또는 장비에 대한 공인 테스트 기관의 전체적인 검증을 화재 위험성 평가에 이용할 수 있다. 그러나 그러한 검증은 검증의 사용 조건이 화재 위험성이 평가되고 있는 장비의 사용 조건과 관련이 있어야만 타당하다.

참고 9: 예를 들면, IEC 60950 규격을 인증 받은 PC 를 컨트롤러용으로 장비에 포함시킬 수 있을 것이다. IEC 60950 의 물질 인화성 요구사항은 PC 의 이러한 용도와 관련하여 충족할 수도 충분하지 않을 수도 있으며, 이는 장비에 포함될 때 PC 가 산화제와 외부 발화원에 노출되는지 여부에 따라 결정된다. 아울러 일반 산업 표준을 위해 규정된 환경에서 허용 가능한 매연 수준이 반도체 제조 클린룸에서 허용 가능한 수준을 초과할 수도 있다. 또한 폭발 가능성이 있는 공기에서 장비를 사용하게 된다면, IEC 60950 인증 만으로는 장비가 발화원이 될 위험성을 충분히 억제하지 못할 것이다.

6.1.5 각각의 식별된 위험으로부터 발생할 수 있는 화재의 결과와 확률은 SEMI S10 에 기술된 바와 같이 평가되고 등급이 분류되어야 한다. 본 문서에서 심각성(Severity), 가능성(Likelihood) 및 위험성(Risk)으로 나누는 기준에 대해서는 부록 1 을 참조할 것.

6.1.5.1 이렇게 분류된 심각성과 가능성, 그에 따른 위험성 범주는 분석의 일부로 기록되어야 한다.

6.1.5.2 위험성이 사용 조건 또는 사용 환경 조건에 따라 결정되는 위험의 경우, 장비 공급자는 적합한 가정을 수행하고 기술해야 한다. 가능성에 관한 가정이 사용자의 단독 관리(예: 지정된 절차 고수) 요소에 크게 좌우되어 장비 공급자가 가능성과 관련하여 적합한 가정을 할 수 없다면, 공급자는 이를 기술하고 심각성을 평가하여 제공해야 한다.

참고 10: 위험성 평가에 필요한 시설 요구사항은 장비 공급자가 지정해야 한다.

6.1.6 화재가 발생하려면 연료, 산화제 및 발화원이 있어야 한다. 이러한 요소를 제거하면 화재 위험성이 제거된다. 마찬가지로 화재의 심각성, 가능성 및 위험성은 이러한 요인을 한 가지 이상 적절하게 조절하여 축소할 수 있다.

6.1.7 잠재적 산화제(예: 실내 공기)와 발화원(예: 자연 발화성 물질의 경우 실내 온도)이 종종 존재한다는 점을 상기하는 것이 중요하다.

6.1.8 화재 위험성 평가에는 평가의 구체적인 수준을 결정하는 (SEMI S7 에 기술된) 자격 있는 당사자의 판단이 포함되어야 한다. 그러한 당사자는 평가 및 보고를 위해 유사한 위험을 분류할 수 있다.

참고 11: 예를 들면 그러한 분류를 통해 유사한 물질로 제조된 모든 노브 및 버튼을 첫 번째 그룹, 가열 표면을 두 번째 그룹, 그리고 유사한 속성의 인화성 액체를 세 번째 그룹으로 지정할 수 있을 것이다.

6.2 연료

6.2.1 연료에는 화재 발생 시 산화제와 반응할 수 있는 모든 물질이 포함된다. 장비 구성 물질과 장비에 사용된 공정 화학 물질(Process Chemicals)의 위험성을 모두 평가해야 한다.

6.2.2 구성 물질 (Materials of Construction)

6.2.2.1 위험성 평가에는 양이나 용도와는 상관없이 모든 구성 물질이 포함되어야 한다.

참고 12: 여기에는 대형 컴포넌트, 모듈(국소 환경 등), 하위 조립품뿐 아니라, 노브, 버튼, 전기 접촉기, 터미널 스트립, 회로 기판, 신호선, 전원선 등의 소형 부품도 포함된다.

참고 13: 고압 산소 밸브의 불소 중합체 시트가 단열 압축에 의한 발화 가능성이 높은 것처럼, 가장 작은 일부 컴포넌트가 심각한 위험을 야기할 수도 있다.

참고 14: 평가는 유사 항목을 같이 분류하여 단순화할 수 있다. 예 1: 동일 유형의 절연체를 사용하는 선, 예 2: 유사한 중합체로 만든 노브, 스위치, 핸들 및 래치. 분류된 그룹에는 대략적인 총 질량이 포함되어야 한다.

6.2.2.2 위험성을 평가할 때, 평가자는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 각 컴포넌트의 크기
- 유사 컴포넌트의 총량 및 분배
- 가연성, 화염 확산, 연소 열, 부산물 등 물질의 고유 속성 (이러한 속성 평가 지침에 대해서는 부록 2 를 참조할 것)
- 산화제 노출
- 발화원 노출

참고 15: 승인된 전기 컴포넌트에 사용된 물질의 사양 관리도 고려해야 한다. 승인 시 많은 물질을 인화성 등급이 동일한 다른 물질로 대체하는 것이 허용될 수도 있다.

참고 16: 물질의 고유 속성은 장비 내부의 두 가지 유형의 위험성, 즉 화염 확산 및 오염 위험성(연소 부산물에서 비롯되는 연기 피해)에 영향을 준다. 조립에 사용된 전기 및 전자 컴포넌트, 그리고 적용 가능한 표준(예: IEC 61010-1, IEC 60204-1)에 따라 구성되고 사용된 장비의 경우, 화염 확산 위험성은 표준을 통해 충분히 관리될 것이며, 화염 확산에 영향을 주는 그러한 컴포넌트의 물질 속성에 대한 세부 평가가 필요 없을 수도 있다. 그러나 심각한 오염 위험성은 여전히 남을 수 있으며(예: 연소가 인쇄 회로 기판 일부에 한정되는 이상, 표준이 인쇄 회로 기판에 장착된 컴포넌트의 고장 및 연소를 허용할 수도 있음), 컴포넌트의 관련 물질 속성에 대한 세부 평가가 필요할 수도 있다. 또한 평가의 구체적인 수준은 선택한 완화 방법의 영향도 받는다. (§ 7 참조)

6.2.3 공정 화학 물질

6.2.3.1 이 위험성 평가 부분에는 (장비 공급자의 권장 또는 기준 공정에 따라) 장비에서 사용될 것으로 예상되는 모든 공정 화학 물질이 포함되어야 한다. 또한 여기에는 장비 내부에서 생성 또는 채집되는 인화성 및 가연성 폐기물, 그리고 장비 가동에 필요하지만 공정에는 화학적으로 개입하지 않는 장비 내 유동체(예: 진공 펌프 오일)도 포함되어야 한다.

6.2.3.2 위험성을 평가할 때, 평가자는 다음과 같은 사항을 고려해야 한다.

- 각 용기에 있는 각 화학 물질의 양, 농도, 상태, 온도 및 압력
- 시설에 의해 자동으로 공급된 화학 물질의 경우 가용 유량, 압력 및 총량
- 유사 화학 물질의 총 공급량 및 분배량
- 연소 한계, 인화점, 자연 발화 온도, 연소 열, 연소 및 분해의 산물 등과 같은 화학 물질의 고유 속성 (이러한 속성 관련 지침에 대해서는 물질 안전 데이터 시트를 참조할 것)
- 산화제 노출
- 발화원 노출

참고 17: 본 평가의 목적을 위해서 화재 속성이 유사한 화학 물질을 함께 고려할 수 있다.

6.3 발화원

6.3.1 발화원은 장비 내부와 외부의 발화원으로 크게 나눌 수 있다.

6.3.2 내부 발화원

6.3.2.1 잠재적인 전기 발화원

- 정상 가동 상태에서 발화 에너지를 생성할 수 있는 장치 또는 조건 (예: 히터, 정전기, 레이저)
- 합리적으로 예측 가능한 조립, 사용 및/또는 마모 조건에서 발화 에너지를 생성할 수 있는 장치 또는 조건 (예: 전원 커넥터, 터미널 스트립)
- 합리적으로 예측 가능한 단일 지점 고장 모드에서 발화 에너지를 생성할 수 있는 장치 (예: 변압기, 전자 부품)
- 단락

6.3.2.2 잠재적인 화학 발화원

- 발열 공정 화학 물질 반응
- 실수에 의한 공정 화학 물질 혼합으로 인한 발열 반응
- 공정 화학 물질과 구성 물질의 발열 반응
- 공정 또는 유지 보수에 의한 자연 발화성 화학 물질이나 공기 반응성 화학 물질의 방출

6.3.2.3 공정 조건의 급격한 변화

- 가스 혼합물의 급속한 압축 ("단열" 압축으로도 불림)
- 온도 급상승

6.3.2.4 기계적 마찰

6.3.3 외부 발화원

6.3.3.1 외부 발화원에는 장비 사용의 예상 및 예측 조건이 포함된다. 일반적으로 외부 발화원은 장비 공급자의 관리 범위를 벗어난 요인이므로, 그 위험성을 평가하기 어렵다. 외부 발화원은 본 문서의 범위를 벗어난다.

6.4 산화제

6.4.1 가장 흔한 산화제는 공기이며, 공기는 대부분의 반도체 제조 장비 내부와 주위에 존재한다. 특정 조치(예: 전기 엔클로저의 불활성 가압)를 취해 공기를 배제하지 않는 이상, 공기는 무한 공급되는 것으로 가정해야 한다.

6.4.2 일부 구성 물질은 열에 노출되면 산화제로 작용하거나 산화제를 생성할 수 있다.

6.4.3 몇 가지 일반적인 공정 화학 물질(예: 산소 및 과산화수소)은 산화제이다. 그 위험성은 앞서 기술된 연료 공정 화학 물질에 적용되는 방법과 유사한 방법으로 평가해야 한다.

6.5 보고

6.5.1 본 가이드라인은 설계 및 개발의 전 과정에 걸쳐 사용할 수 있지만, 장비 공급자가 장비 개발 중 기록한 모든 정보를 타인에게 제공하는 것이 본 가이드라인의 목적은 아니다. 장비 공급자는 내부 기록, 최종 화재 위험성 평가 보고서, 요약 보고서 등의 세 가지 형태로 화재 위험성 평가 및 화재 완화에 대해 문서화해야 한다.

6.5.2 관련 분석, 평가 및 설계 결정은 장비 공급자의 내부 기록으로 문서화해야 한다. 그러나 이러한 기록을 다른 측에 제공할 필요는 없다.

6.5.3 최종 화재 위험성 평가 보고서

6.5.3.1 이 보고서에는 앞의 하위 절에 기술된 위험과 평가자가 알고 있거나 예측할 수 있는 위험을 고려하여, 최종 설계를 검토할 때 식별된 잔여 위험성 항목에 대한 목록이 포함되어야 한다. 이때 부록 1의 기준을