

SEMI S14-1103

半導体製造装置に対する火災リスクアセスメントと軽減のための安全ガイドライン

本安全ガイドラインは、Global Environmental Health and Safety Committee で技術的に承認されたもので、North American Environmental Health and Safety Committee が直接責任を負うものである。現版は 2003 年 9 月 3 日 North American Regional Standards Committee にて承認されている。2003 年 10 月にまず www.semi.org で入手可能になり、2003 年 11 月発行に至る。初版は 2000 年 2 月発行、前版は 2002 年 11 月発行。

1 目的

- 1.1 本文書は、半導体製造装置メーカーに対して、装置および製品に対する火災および燃焼副生成物のリスクをアセスメント、軽減する上で助けとなる検討事項を提供する。
- 1.2 これらのガイドラインは、アセスメント手段の形式で書かれているが、半導体製造装置の設計開発の全般にわたって用いられるように意図されている。
- 1.3 これらのガイドラインはまた、装置ユーザやその他の関係者が、記述されているリスクについて様々な装置設計をアセスメントし比較する際、または補助装置や改造の設計およびアセスメントする際にも使用することができる。
- 1.4 これらのガイドラインは、火災リスクを軽減するために用いる技術（例えば、材料または検知システムの選択）を特定するようには意図されていない。しかし、これらのガイドラインは、従来からのリスク制御の除去、工学的制御、管理的制御、警告および作業方法の順の適用順序を遵守することを強く勧告している。
- 1.5 これらのガイドラインを適切に適用すると、残存する火災リスクの識別、解析、アセスメントする報告書が得られる。

2 範囲

- 2.1 これらのガイドラインは、半導体製品を製造、計測、組立ておよび試験する装置で、半導体製造プロセス用クリーンルーム内、または再循環気流内に設置するものに適用される。またここに記載の装置の全部品に対して適用される。

注 1: 本文書は、装置の構造部品または大型部品に限定されない。

- 2.2 本文書は、装置自体、他の装置、製品または設備に損傷をもたらす恐れのある主題の装置に発生する火災リスクに適用される。

- 2.3 本文書は、半導体製造装置の火災リスクをアセスメントするために考慮すべき事項、リスクを分類する方法およびリスクを軽減する方法を取扱っている。

注意: 本安全ガイドラインは、その使用に関連した全ての安全問題を取り扱うことを意図していない。この安全ガイドラインの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事柄を確立し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

- 3.1 これらのガイドラインは、取り除けない火災リスクに対する許容基準を設定するものではない。
- 3.2 本文書は、アプローチの優先順序（例えば、危険源の除去は技術管理よりも望ましい）を推奨しているが、特定のリスク軽減法（例えば、材料の変更または発火源の除去）の使用について、またそれらの相対的メリットのランク付けについて規定をするものではない。
- 3.3 これらのガイドラインは、資産の保護に適用し、人間の保護には適用しない。

注 2: 火災リスクから人を保護するのは、SEMI S2 の適用範囲である。

3.4 本文書は、装置が装置サプライヤの指定する環境で用いられる場合、その範囲内の装置に適用される。特に、装置が外部からの火に曝露される場合の装置が取るべき対応には適用されない。

3.5 本文書は、規制要求への適合性をアセスメントするために用いるのが目的ではなく、また規則として採用されることも目的としない。

3.6 これらの制限のため、適用される法令およびスタンダード、そして除去できないリスクの許容レベルは、装置購入者が指定することが適切である。

注 3: 適用する地域および国内法令、国際規制ならびに装置メーカーとユーザ要求条件もまた考慮されねばならない。矛盾があれば、地域および国内法令が優先する。

4 参照スタンダード

4.1 SEMIスタンダード

SEMI E10 — Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM)

SEMI E70 — Guide for Tool Accommodation Process

SEMI S2 — Environmental, Health, and Safety Guideline for Semiconductor Manufacturing Equipment

SEMI S7 — Safety Guidelines for Environmental, Safety, and Health (ESH) Evaluation of Semiconductor Manufacturing Equipment

SEMI S10 — Safety Guideline for Risk Assessment

4.2 NFPA文書¹

National Fire Protection Association: NFPA 12 — Standard on Carbon Dioxide Fire Extinguishing Systems

National Fire Protection Association: NFPA 13 — Standard for the Installation of Sprinkler Systems

National Fire Protection Association: NFPA 72 — National Fire Alarm Code

National Fire Protection Association: NFPA 2001 — Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems

4.3 Factory Mutual文書²

Factory Mutual Research Corp. Standard 4910 — Clean Room Materials Flammability Test Protocol

4.4 Underwriters Laboratory文書³

Underwriters Laboratory Standard 94 — Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances

Underwriters Laboratories Standard 746A — Polymeric Materials - Short Term Property Evaluations

Underwriters Laboratories Standard 746B — Polymeric Materials - Long Term Property Evaluations

Underwriters Laboratories Standard 746C — Polymeric Materials - Use in Electrical Equipment Evaluations

注意: 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新の出版バージョンである。

1 National Fire Protection Association, 1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02269, USA

(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-8440 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8002

2 Factory Mutual Research Corp., 1151 Boston-Providence Turnpike, Norwood, MA 02062, USA

3 Underwriters Laboratory, 333 Pfingsten Rd, Northbrook, IL 60062, USA

(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-8440 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8002

5 用語

5.1 定義

5.1.1 中断スイッチ(*abort switch*) — 作動すると、検知または消火システムの作動シーケンスを中断するスイッチ。

5.1.2 公認試験所(*accredited testing laboratory*) — 部品、デバイスまたはシステムの試験を専門とする独立機関。制定された安全スタンダードをベースにアセスメントを行う資格があり、政府または監督機関により認可されている。

5.1.3 クリーンルーム(*cleanroom*) — 湿度、温度、パーティクルおよび汚染が規定のパラメータ内に正確に制御されている限定区域(SEMI E70)。

5.1.4 可燃性液体(*combustible liquid*) — 燃焼し 37.8°C (100°F) 以上の引火点を持つ液体。

5.1.4.1 このガイドラインでは、可燃性液体が(通常または単一故障の状態で)引火点を超えて加熱され得るシステムで使用される場合、引火性液体とみなしている。

5.1.5 可燃性材料(*combustible material*) — 本文書では、可燃性材料は不燃性材料に対する本項の定義に適合しない材料のことをいう。

注 4: 材料の耐火特性をアセスメントするために用いる基準、ガイドラインおよびスタンダードのリストを付属書 2 に示す。

5.1.6 ダウンタイム(*downtime*) — 装置が所期の機能を実行する状態にない、あるいは使用できない時間。非計画時間は含まない。[SEMI E10]

注 5: E10 の定義に従ったダウンタイムは、対象となる機能の予定された有用性を前提として考慮することができる。

5.1.7 引火性液体(*flammable liquid*) — 37.8°C (100°F) より低い引火点を持つ液体。

5.1.8 危険源(*hazard*) — 災害の前提となる状態。

5.1.9 危険電圧(*hazardous voltage*) — 装置に適用される適切な国際スタンダードに定義されていない場合、30 Vrms以上の電圧、ピークが 42.4 V の電圧、60 V DC の電圧が危険電圧として本文書で定義さる。

注 6: 規定のレベルは、乾燥した環境における通常の状態をベースにしている。

5.1.10 発火エネルギー(*ignition energy*) — 可燃性材料を発火させるのに十分なエネルギー。必要なエネルギーは、エネルギーの種類、可燃性材料の成分および種類による。

注 7: 可燃性材料は、固体、液体または気体である。

5.1.11 可能性(*likelihood*) — 災害が起こると思われる予想頻度。通常、率(例えば、年当り、製品当り、加工されたウェーハ当りの事件数)として表される。

5.1.12 事故(*mishap*) — 死亡、傷害、職業病、装置または資産の損害または損失、或いは環境破壊に至る予想外の単一または一連のできごと。

5.1.13 不燃性材料(*noncombustible material*) — 使用時の形態かつ予想される条件下で火または熱にさらされても、発火、燃焼、燃焼のサポート、引火性蒸気の発生をしない材料。代表的な不燃性材料は、金属、セラミックおよびシリカ材料(ガラスや水晶等)である。

5.1.14 非リサイクリング型デッドマン式中断スイッチ(*non-recycling deadman-type abort switch*) — 中断スイッチのひとつの方式で、検知または消火システムを中断するために継続して閉じ続ける必要があるもの。さらに、それが作動しても、検知または消火システムのタイム・ディレイ・シーケンスをリスタートも中断もしない。

5.1.15 プロセスケミカル(*process chemicals*) — 本文書の適用範囲内にある装置の正常な使用で用いられる固体、液体および気体。

注 8: 装置サプライヤの指定する保守作業で用いる固体、液体および気体(例えば、クリーニング剤として用いられるイソプロパノール)も、運転中に用いられるものと同じ様に考えねばならない。

- 5.1.16 自然発火製物質(pyrophoric material) — 54.4°C (130°F) 以下の空気中で自然に引火する化学物質。
- 5.1.17 残存リスク(residual risk) — 工学的, 管理的および作業慣習的制御が実施された後にも残存するリスク。
- 5.1.18 リスク(risk) — 災難から予想される損失を重篤度および確度で表したもの。
- 5.1.19 安全遮断状態(safe shutdown condition) — 新たな危険状態が結果として生じない限り, 全ての危険エネルギー源を除去または適切に格納し, また危険生産材料を除去または格納した状態。
- 5.1.20 半導体製造プロセス(semiconductor manufacturing process) — 半導体ウェーハ上に能動または受動電気デバイスを作る製造ステップのこと。最終金属被膜作成後のパッシベーション膜成長は含まれるが, 試験およびダイシングは含まれない。
- 5.1.21 重篤度(severity) — 特定の危険源により発生した災難がもたらすことが確実な最悪の損失の程度。
- 5.1.22 管理警報(supervisory alarm) — 管理的状態を示す警報。
- 5.1.23 管理的状態(supervisory condition) — 適切な機能の復帰または継続のために作業または保守が必要な状態。
- 5.1.24 故障警報(trouble alarm) — 故障状態を示す警報。
- 5.1.25 故障状態(trouble condition) — システム, サブシステムまたは部品に欠陥があり, それが適切な機能を妨害する恐れがある状態。

6 火災リスクアセスメント

6.1 概要

- 6.1.1 本項では, 各種の火災危険に関連するリスクをアセスメントする基準が提供される。
- 6.1.2 評価者は 6 項に記載された危険を認めたら, これに対して寄与する因子, 原因となる因子および軽減させる因子を分析すべきである。評価者はまた, 公認試験所を通じて材料, 部品または装置全体に関するアセスメントを検討すべきである。
- 6.1.3 リスクアセスメントには, 正常運転の場合と合理的に予想可能な装置の単一個所故障の結果の両方を含めるべきである。意図された使用環境以外の火または外部発火源に対する曝露は含めるべきでない。
- 6.1.4 公認試験所による材料, 部品または装置全体の認定を, 火災リスクアセスメントに用いることができる。ただし, その認定は, 認定における使用条件が火災リスクをアセスメントする装置の使用条件と関連している範囲についてのみ有効である。

注 9: 例えば, IEC 60950 に対して認定されたパソコンがコントローラとして使用するために装置に組込まれている場合。材料の引火性に関する IEC 60950 の要求条件は, 酸化剤および外部の発火源への曝露にもよるが, 装置に組込まれた場合, パソコンがこのような使用に対して十分かどうか分からない。また, 一般的な工業スタンダードが作成された環境において許容できる煙の程度は, 半導体製造クリーンルームにおいて許容できる程度を超えられると思われる。更に, 装置が潜在的な爆発雰囲気において用いられるように計画されている場合, IEC 60950 に対する認定は発火源となるリスクを十分に制御するものではない。

6.1.5 同定されたそれぞれの危険源に起因する火災の結果と可能性は, SEMI S10 の記述に従って, アセスメントされ等級分けすべきである。本文書で使用する重篤度, 可能性およびリスクに対する基準は, 付属書 1 を参照のこと。

- 6.1.5.1 指定された重篤度, 可能性およびその結果としてのリスクの分類を, 分析の一部として記録すべきである。
- 6.1.5.2 リスクが使用条件または使用環境に左右される危険源に対しては, 装置サプライヤは適切な前提条件を設けそれを記載すべきである。確度がユーザの独占的管理における因子に強く依存しているため(例えば, 指定手順への固執), 装置サプライヤが適切な前提条件を設けることができない場合, サプライヤはそのことを記載し, 重篤度の予測を提示すべきである。

注 10: リスクアセスメントが左右される設備の要求条件は, 装置サプライヤが規定する。

6.1.6 火災が発生するには、燃料、酸化剤および発火源が存在すべきである。これら要因のいずれかが除去されれば、火災のリスクは除去される。同様に、火災の重篤度、可能性およびリスクは、これら要因の一つ以上を適宜低減することにより減少させることができる。

6.1.7 潜在的な酸化剤(例えば、室内空気)および発火源(例えば、自然発火性物質に対する室温)がしばしば存在することを忘れないことが重要である。

6.1.8 火災リスクアセスメントには、アセスメントをどれだけ詳細に行うかを決定した(SEMI S7 に記載のような)有資格者の判断を含まねばならない。その者は、アセスメントや記録にあたって類似の危険源をグループにまとめても良い。

注 11: 例えば、それらのグループ化は、同様な材料で作られたノブおよびボタンを全てひとつのグループにし、加熱された表面を第二のグループに、同じ性質を持つ引火性液体を第三のグループにすることができる。

6.2 燃料

6.2.1 燃料は、火災において酸化剤と反応するすべての材料を含む。装置が構成される材料とそれに用いられるプロセス化学薬品の両方に関するリスクをアセスメントすべきである。

6.2.2 構造材料

6.2.2.1 リスクアセスメントは、量または用途に関係なく、構造物のすべての材料を含めるべきである。

注 12: これは、ノブ、ボタン、電気コンタクト、ターミナルストリップ、回路基板、信号配線や動力配線のような小型部品に加えて、(ミニエンバイロメント装置のような)モジュールやサブアセンブリのような大型の部品も含める。

注 13: 最も小さい部品でも、高圧酸素弁におけるフルオロポリマーシートの等エントロピ圧縮による発火の可能性のように、高いリスクを生じるものがある。

注 14: アセスメントは、類似項目を一括りにグループ分けして単純化することができる。例 1: 同じ種類の絶縁材を持つ配線。例 2: 同じポリマーから製作されたノブ、スイッチ、ハンドルおよびラッチ。まとめられたグループについて、およその全質量を含めるべきである。

6.2.2.2 リスクアセスメントにおいて、評価者は次のことを考慮すべきである。

- 各部品のサイズ
- 同じ部品の全量およびその配置
- 発火性、引火速度、燃焼熱および副生成物のような材料の固有特性(これら特性のアセスメントに関するガイドダンスについては付属書 2 を参照のこと)
- 酸化剤への曝露
- 発火源への曝露

注 15: 承認された電気部品に用いられる材料の仕様管理もまた、考慮されねばならない。同等な引火性等級を持つ多くの材料への代替が許されている場合がある。

注 16: 材料の固有特性は、延焼リスクおよび汚染リスク(すなわち、副生成物の燃焼からくる煙の害)という装置内の 2 種のリスクに影響する。アセンブリや装置で使用する電気部品および電子部品が適用されるスタンダード(例えば、IEC 61010-1、IEC 60204-1)に従って製造され使用されている場合、延焼リスクはスタンダードにより適切に制御されているが、延焼に影響する部品の材料特性についての詳細なアセスメントが求められていない場合がある。しかし、かなり大きな汚染リスクは依然として残っており(例えば、焼損が回路基板の局部に止まっている限り、スタンダードは回路基板上に取り付けられた部品が故障したり焼けたりすることを許している)、これに関連した部品の材料特性についての詳細なアセスメントが必要となる。アセスメントの詳細さのレベルは、選択された軽減方法によって変る(7 項を参照のこと)。

6.2.3 プロセス化学薬品

6.2.3.1 リスクアセスメントのこの部分では、(装置サプライヤの推奨またはベースラインプロセスに基づいて)装置に用いられると予想されるすべてのプロセス化学薬品を含むべきである。装置内で発生または集積す引火性および可燃性の廃棄物ならびにプロセスには化学的に関係しないが運転に必要な液体(例えば、真空ポンプオイル)も含むべきである。

6.2.3.2 リスクアセスメントにおいて、評価者は次のことを考慮すべきである。

- 各容器内の薬品の量, 濃度, 状態, 温度および圧力
- 設備により自動供給される薬品の, 利用される流量, 圧力および全量
- 類似薬品の総供給量および配分
- 引火性限界, 引火点, 自然発火温度, 燃焼熱および燃焼と分解による生成物のような, 薬品固有の特性 (これら特性のアセスメントに関するガイダンスについては材料の安全データシートを参照のこと)
- 酸化剤への曝露
- 発火源への曝露

注 17: 類似した燃焼特性を持つ薬品は, このアセスメントにおいて一緒に考慮される。

6.3 発火源

6.3.1 発火源は, 大きく装置内のものと装置外部のものに分けることができる。

6.3.2 内部の発火源

6.3.2.1 潜在的な電氣的発火源:

- 正常な運転中に発火エネルギーを生ずる装置または状態 (例えば, ヒーター, 静電気, レーザ)
- 予め予想されるアSEMBリ, 使用および/または損耗状態で発火エネルギーを生ずる可能性のある部品 (例えば, パワーコネクタ, ターミナルストリップ)
- 予め予想される単一個所故障モードで, 発火エネルギーを生ずる装置 (例えば, 変圧器, 電子部品)
- 短絡

6.3.2.2 潜在的な化学的発火源:

- プロセス化学薬品の発熱反応
- プロセス化学薬品の不注意な混合からくる発熱反応
- プロセス化学薬品と構造材料との間の発熱反応
- プロセス中または保守中の自然発火性または空気反応性の薬品放出

6.3.2.3 プロセス条件の急激な変化

- 混合ガスの急激な (時には「断熱」と言われる) 圧縮
- 温度の急激な上昇

6.3.2.4 機械的摩擦

6.3.3 外部の発火源

6.3.3.1 外部の発火源には, 期待および予見される装置の使用条件を含む。これは通常装置サプライヤの管轄外の要因であるので, そのリスクをアセスメントすることは困難であり, 本文書の適用範囲外である。

6.4 酸化剤

6.4.1 最も一般的な酸化剤は, 大部分の半導体製造装置内およびその周辺にある空気である。空気を除去するために特別の手段 (例えば, 電気エンクロージャを不活性ガスで加圧する) が取られていない場合, 空気は無限に供給されるものと考えるべきである。

6.4.2 構造材料のあるものは, 酸化剤として作用または加熱されると酸化剤を発生することがある。

6.4.3 いくつかの一般的なプロセス化学薬品 (例えば, 酸素および過酸化水素) は酸化剤である。これらのリスクは, 燃料としてのプロセス化学薬品に対して上記に述べたものと同じ方法でアセスメントすべきである。

6.5 報告

6.5.1 これらのガイドラインは, 設計および開発のプロセスを通じて用いるために考えられているが, 装置サプライヤが装置開発中に記録した情報を全て他者に提供すべきであるとの意図はない。装置サプライヤは, 火災リスクアセスメントと軽減法を次の 3 つの様式に文書化すべきである。つまり, 内部報告, 火災リスクアセスメント最終報告書, 要約報告書である。

6.5.2 関連の解析, アセスメント, 設計の決定は, 装置サプライヤの内部記録として文書化されねばならない。ただし, これらの報告を他の者に提供する必要はない。

6.5.3 火災リスクアセスメント最終報告書

6.5.3.1 この報告書には, 前項に記載のリスクを考慮した最終設計を検査で見つかった残存リスクや, その他の方法で評価者が知ったか予見したリスクの箇条書を含めるべきである。付属書 1 の基準に当てはまるリスクのみを含めるべきである。それぞれの同定された残存リスクに対して, 報告書は次のことを記載すること。

- 損失または損害のメカニズムを説明する
- 悪化または必要な寄与因子を識別する
- 軽減因子を識別する
- 各種の損失に対して指定された厳しさを記載し, その指定の根拠を提示する。「種類」は, 表 A1-1 の一つの欄である, 例えば, 「装置の物理的損傷」
- 指定された確度を記載し, その指定の根拠を提示する
- 得られたリスクの分類を記載する。

注 18: リスクの判定基準は, 付属書 1, A1-2.5～A1-2.8 項に述べている。

6.5.3.2 この報告書は, 装置設計に盛り込まれた火災リスク軽減手法を記載すべきである。

6.5.3.3 火災リスクアセスメント最終報告書の作成または確認は, SEMI S7 に記載のように, 有資格者が行うべきである。

注 19: この者は, 装置サプライヤの従業員または第三者でも良い。

6.5.3.4 このガイドラインが SEMI S2 装置評価の一部として用いられる場合, メーカーは SEMI S2 の評価を行う者に火災リスクアセスメント最終報告書を提供すべきである。

6.5.3.5 装置サプライヤは, 火災リスクアセスメント最終報告書を他の者に提供しても良い。

6.5.4 要約報告書

6.5.4.1 要約報告書は, 火災リスクアセスメント最終報告書から作成され, 次のものを含めるべきである。

- 残存火災リスクおよびその格付けのリスト
- 装置に盛り込まれた火災リスクの軽減手法の簡単な説明

6.5.4.2 装置サプライヤは, 装置ユーザに要約報告書を提供すべきである。また, さらに他の者に提供しても良い。

7 火災リスクの軽減

7.1 概要

7.1.1 この項は, 火災のリスクを軽減するいくつかの方法を記載している。まず, 装置とその使用法がリスクを最小化する設計方法を記載する。また, 検知または消火システムの使用法も述べられる。

注 20: 本項における軽減手法の説明は, その手法を各システムで使用しろという意味ではない。従って, 検知または消火のような特定の軽減手法を取入れる決定は, アセスメントされたリスクをベースにすべきである。

7.1.2 リスクを軽減する場合, 除去, 工学的制御, 管理的制御, 警告および作業慣習という一般的な優先順序を遵守すべきである。この序列を遵守するということは, いくつかの手法が平等に適用できる場合, その中の序列で上位の手法を用いることを意味する。しかしながら, 設計や使用上の制約, さらに関連コストによって, 通常はあまり望ましくない分類の手法を使用することが正当化される場合もある。いかなる場合でも, 残存リスクはアセスメントされ, 報告されねばならない。

7.2 燃料

7.2.1 構造材料

7.2.1.1 火災リスクは, 不燃性の構造材料によって最低となる。しかし, 入手できる不燃性材料は, 半導体製造装置内のすべての用途に適しているわけでないしまた望ましいものでもない。