

SEMI S14-0704

半導體製造設備火災風險評估與降低之安全基準

本安全基準之技術業經全球環境、衛生及安全委員會核准，並由北美環境衛生及安全委員會直接負責。目前版本已於 2004 年 4 月 22 日獲得北美區域標準委員會核准，2004 年 6 月在 www.semi.org 發行線上版本，並於 2004 年 7 月出版。初版於 2002 年 2 月發行。前一次出版時間為 2003 年 11 月。

注意：本安全基準中以「註」為標題的段落並非正式內容，不得以此修改或取代正式的安全基準。工作小組提供註解內容係為方便本安全基準之使用。

注意：本基準工作小組認為，符合本基準所含「應」字樣的條款即可認定為符合本基準。

1 目的

- 1.1 本基準提供半導體製造設備製造商相關考量，以協助製造商評估並降低與火災及可燃副產品有關的設備和產品風險。
- 1.2 本基準係從評估工具的角度編寫，可完全適用於半導體製造設備的設計與開發。
- 1.3 半導體製造設備的使用者或其他相關團體也可使用本基準來評估和比較不同設備在設計上的潛藏風險、用於輔助設備的設計與評估，或是用於相關設備的修改。
- 1.4 本基準無意指定使用特定的技術（如材料的選擇或偵測系統）來降低火災風險。然而，本基準建議遵守去除、工程控制、行政管理、警告與工作實務等傳統風險管理層級。
- 1.5 請確實執行本基準，因火災評估報告將有助於辨別、分析和評估殘餘火災風險。

2 範圍

2.1 本基準適用於作為製造、測量、組裝與測試半導體產品之用的設備，該等設備係預定安裝在半導體製程的無塵室或是無塵室的循環氣流區域內。本基準亦適用於上述設備的所有零組件。

註 1：本文件並非僅適用於設備的結構性 or 大面積零組件。

2.2 若設備內部起火會導致該設備、其他設備、產品或設施損壞，即應適用本文件的火災風險評估。

2.3 本文件對於半導體製造設備的火災風險評估、風險類別法及風險降低法提供了應考量之事項。

注意：本基準非在討論與本基準之使用有關的任何安全議題，使用者應自行建立適合的安全衛生實務，並應在使用前確定法規或其他限制的適用性。

3 限制

3.1 本基準未對殘餘風險建立接受標準。

3.2 本文件建議建立措施的層級（如去除危險優於工程控制），但不規定使用何種特定的風險降低方法（如改變材料或是去除火源），亦不評比各方法的相對優點。

3.3 本基準適用於財產的保護，但不適用於人員保護。

註 2：SEMI S2 的範圍包含保護人員免於火災風險。

3.4 本文件範圍內之設備用於設備供應商所指定的環境時，便適用本文件之基準。但本文件不適用於會遭受外部火災的設備行為。

3.5 本文件之目的非用於評估是否符合法律或標準，或是當作規範使用。

3.6 設備購買者應瞭解這些限制，並以現行法律或標準以及殘餘風險的允收標準作為判定依據。

註 3：請務必將現行區域法、國內法、國際規範以及設備製造商和使用者的需求納入考量。如有衝突，應優先適用區域及國內法。

4 參考標準

4.1 SEMI 標準

SEMI E10 – 設備可靠度、可用度與維修度（RAM）之定義及測量規範

SEMI E70 – 設備調節程序指導書

SEMI S2 – 半導體製造設備的環境、衛生及安全基準

SEMI S7 – 半導體製造設備環境、安全及衛生 (ESH) 評量之安全基準

SEMI S10 – 風險評估與風險評量作業的安全基準

4.2 NFPA 文件¹

美國國家消防協會：NFPA 12 – 二氧化碳滅火系統的標準

美國國家消防協會：NFPA 13 – 安裝灑水系統的標準

美國國家消防協會：NFPA 72 – 國家火災警報代碼

美國國家消防協會：NFPA 2001 – 潔淨式氣體（不會破壞臭氧層的氣體）滅火系統的標準

4.3 FMCR 文件²

美國工廠共同研究組織 (Factory Mutual Research Corp., FMCR) 標準 4910 – 無塵室材料易燃性測試議定書

4.4 美國保險業實驗室 (Underwriter Laboratory, UL) 文件³

保險業實驗室標準 94 – 測試裝置與電氣零件內塑膠材料的易燃性

保險業實驗室標準 746A – 聚合物材料 – 短期特性評量

保險業實驗室標準 746B – 聚合物材料 – 長期特性評量

保險業實驗室標準 746C – 聚合物材料 – 使用在電氣設備中的評量

注意：除另有註明外，所有上述文件皆應為最新出版的版本。

5 詞彙

5.1 定義

5.1.1 合格的測試實驗室 – 經政府或規範管理機構認可，專門從事零組件、裝置或系統測試且依已制訂之安全標準進行評量的獨立機構 [SEMI S2]。

5.1.2 無塵室 – 以特定參數精準控制濕度、溫度、微粒物質與污染的密閉區域 [SEMI E70]。

5.1.3 可燃液體 – 可燃燒且燃點在 37.8°C (100°F) 或以上的液體。

5.1.3.1 就本基準之目的，當可燃液體使用於可將液體加熱超過燃點的系統（在正常或單一故障的情況下）時，即應視為易燃液體。

5.1.4 可燃材料 – 就本基準之目的，可燃材料係指不符合本節有關不可燃材料定義的任何材料。

¹ 美國國家消防協會，地址：1 Batterymarch Park, Quincy, MA 02269；網址：www.nfpa.org。

² 美國工廠共同研究組織，地址：1151 Boston-Providence Turnpike, Norwood, MA 02062；電話：781-762-4300；傳真：781-762-9375；網址：<http://www.factorymutual.com>。

³ 美國保險業實驗室，地址：333 Pfingsten Rd, Northbrook, IL 60062。

註 4：附錄 2 列有一份基準及標準適用表，可用以評量材料的耐火屬性。

5.1.5 停工期 – 設備或設備狀態無法執行其預定功能的時間，但不包括未排程的部分 [SEMI E10]。

註 5：可依 SEMI E10 之定義判定停工的時間，但相關零件必須未從設備拆下。

5.1.6 易燃液體 – 燃點低於 37.8°C (100°F) 的液體。

5.1.7 危險 – 為導致一事故所不可缺的條件。

5.1.8 危險電壓 – 除非其他適用於此設備的現行國際標準另有規定，本文件係將大於 30V rms、42.4V 峰值、60V DC 的電壓定義為危險電壓。

註 6：此功率位準係根據乾燥環境中的一般情況而定。

5.1.9 起火能量 – 足以點燃可燃材料的能量。所需之能量視能量形式與可燃材料的成分和型態而定。

註 7：可燃材料可為固態、液態或氣態。

5.1.10 可能性 – 預期發生事故的頻率，通常以比率來表示（如每一年、每一項產品、每一個處理後的晶圓）。

5.1.11 事故 – 可能導致死亡、受傷、職業病、設備或財產損害或損失，或可能對環境造成破壞的單一或連串意外事件。

5.1.12 不可燃材料 – 在其所使用的型態與預期條件下，不會起火、燃燒、助燃或是在火災或高溫情況下釋出易燃蒸汽的物體。常見的不可燃材料有金屬、陶瓷與二氧化矽材料（如玻璃與石英）

5.1.13 製程化學藥劑 – 於本文件所含的範圍內，為設備正常操作而投入的固體、液體與氣體。

註 8：設備供應商指定在保養程序中使用的固體、液體與氣體（如使用異丙醇當作清潔劑）亦應視為設備操作中使用的物質。

5.1.14 發火性材料 – 在空氣中或低於 54.4°C (130°F) 的溫度下會自動起火的化學物質。

5.1.15 殘餘風險 – 實施工程、行政與工作實務控制後依舊存在的風險。

5.1.16 風險 – 預期在事故中遭受的損失，以嚴重性與可能性來表示。

5.1.17 安全關機條件 – 除會導致其他危險條件之情形外，係指所有危險能量來源皆去除，且危險生產材料皆已去除或受到控制之情況。

5.1.18 半導體製程 – 主動或被動電氣裝置處理半導體晶圓時進行的製造步驟，包括最終金屬化前的鈍化層沈積，但不包括測試與切割。

5.1.19 嚴重性 – 特定危險引發事故所造成的最壞損失程度。

5.1.20 監督警報 – 表示監督情況的警報。

5.1.21 監督情況 – 需採取措施或保養的情況，以恢復或持續正常功能。

5.1.22 故障警報 – 表示故障情況的警報。

5.1.23 故障情況 – 系統、子系統或零組件出現可能會影響正常功能的故障情形。

6 火災風險評估

6.1 概述

6.1.1 本節針對多種火災危險的相關風險提供評量標準。

6.1.2 評量人員應針對第 6 節所述的每種指定危險來分析引發、致因與降低因素，且應審核所有由合格測試實驗室執行的材料、零組件或設備評估。

6.1.3 風險評估應包括一般操作條件及設備內部合理可預期之單點故障所引起的後果，但不包括暴露於預定使用環境外的火災或外部起火源的情形。

6.1.4 進行火災風險評估時可使用合格測試實驗室核發的材料、零組件或設備認證。然而，只有在認證的使用條件與被評估設備的使用條件相關時，該認證始具適用效力。

註 9：例如，設備內部可能使用經 IEC 60950 標準認證的個人電腦作為控制器。IEC 60950 的材料易燃性要求對於個人電腦的使用有可能足夠，也可能不足，須視應用於設備內部時暴露在氧化劑與外部起火源的程度而定。此外，一般工業標準的環境煙氣容許等級可能會超過無塵室的煙氣容許等級。再者，若設備預定使用於爆炸性環境下，IEC 60950 即無法保證其認證產品不會成為起火源。

6.1.5 應依據 SEMI S10 之規定，評估所認定之各種危險可引起火災的機率與後果，並且加以評等。請參閱本文件附錄 1 的嚴重性、可能性與風險指定標準。

6.1.5.1 分析時應記錄所指定的嚴重性與可能性，以及造成風險的類別。

6.1.5.2 若導致危險的風險會隨著使用條件或使用環境而改變，設備供應商應舉例說明。若可能性主要取決於使用者個人控制因素（如嚴格遵守指定程序），以致設備供應商無法對可能性作適當假設時，供應商應對此提出說明並提供預估的嚴重性。

註 10：設備供應商應指定風險評估所需的設施需求。

6.1.6 火災發生的必要條件為燃料、氧化劑與起火源。去除其中任一因素便可去除火災的風險。同樣地，亦可藉由降低一個以上的因素來降低火災的嚴重性、可能性與風險。

6.1.7 請切記，環境中經常會有不明顯的氧化劑（如室內空氣）以及起火源（如造成發火材料燃燒的室溫）。

6.1.8 火災風險評估應包括一合格單位（如 SEMI S7 所述）的判斷，以確定風險評估的詳細度。該團體可將特性類似的危險分組，以便進行評估與報告。

註 11：分組可包括將所有類似材料的旋鈕與按鈕歸納為一組、加熱表面為一組，以及多種具類似特性的易燃液體歸納為第三組等。

6.2 燃料

6.2.1 在火災中所有可與氧化劑起反應的材料都屬於燃料。有關設備的製造材料及製程化學藥劑的風險皆應加以評估。

6.2.2 製造材料

6.2.2.1 無論數量或用途，評估中應包含所有製造材料。

註 12：包括小零件，例如旋鈕、按鈕、電氣接觸器、端子排、電路板、訊號線、電源線以及大型零組件、模組（如微環境）與子總成件。

註 13：有些最小的零組件也會造成高風險，例如高壓氧氣閥內的含氟閥座會因絕熱壓縮而有可能起火。

註 14：藉由將類似項目分組便可簡化評估。例 1：同類型絕緣體的線路。例 2：同種聚合物製成的旋鈕、開關、把手與彈簧鎖。已確定之分組，應概略標示總重量。

6.2.2.2 進行風險評估時，評量人員應考量下列事項：

- 每個零組件的尺寸；
- 類似零組件的總數量與分布位置；
- 材料固有的特性，例如可燃性、火焰擴散、燃燒熱度以及副產品（請見附錄 2 中評估此等特性的指引）；
- 暴露於氧化劑；以及
- 暴露於起火源。

註 15：用於已核准的電氣元件之材料規格控制亦應加以考量。可核准使用多種具同等易燃性的替代材料。

註 16：材料固有的特性會影響設備內部的兩種風險：火焰擴散風險與污染風險（如燃燒副產品導致的濃煙傷害）。若總成件及設備係依現行標準（如 IEC 61010-1、IEC 60204-1）製造及使用，該標準對於總成件及設備內部的電氣和電子元件或許能有效控制火焰的擴散風險，但可能無法保證會詳細評估影響火焰擴散的元件材料屬性。然而，嚴重的污染風險仍可能持續存在（例如只要燃燒不擴散到印刷電路板外，標準可允許裝設在印刷電路板上的元件發生失效與燃燒）且對詳細評估元件的相關材料屬性提出保證。評估的詳細度也會受到所選降低方

法的影響（參閱第 7 節）。

6.2.3 製程化學藥劑

6.2.3.1 此層面的風險評估應包括所有可預期（根據設備供應商的建議或其基線製程）使用在設備中的製程化學藥劑、設備內部產生或聚積的易燃及可燃廢棄物，以及設備中為操作所需但不加入化學製程的液體（如真空泵浦油）。

6.2.3.2 進行風險評估時，評量人員應考量下列事項：

- 所有容器中每種化學藥劑的數量、濃度、狀態、溫度以及壓力；
- 設施自動供應的化學藥劑之可用流量、壓力與總數量；
- 類似化學藥劑的累積供應量與分配量；
- 化學藥劑的固有屬性，例如易燃性限制、燃點、自燃溫度、燃燒熱度、燃燒與分解產物（請參閱材料安全資料表中評量這些屬性的基準）；
- 暴露於氧化劑；以及
- 暴露於起火源。

註 17：為方便評估，可一併考量具有類似耐火屬性的化學藥劑。

6.3 起火源

6.3.1 起火源大致可分為設備內部及設備外部兩種來源。

6.3.2 內部起火源

6.3.2.1 可能的電氣起火源：

- 正常操作下可產生起火能量的裝置或情況（如加熱器、靜電、雷射）；
- 合理可預期的組裝、使用及／或磨損可能會產生起火能量的裝置或情況（如電源連接器、端子排）；
- 在合理可預期的單點失效模式時會產生起火能量的裝置（如變壓器、電子元件）；以及
- 短路情況。

6.3.2.2 可能的化學藥劑起火源：

- 放熱性製程的化學反應；
- 意外混合製程化學藥劑產生的放熱反應；
- 製程化學藥劑與製造材料間的放熱反應；以及
- 製程或保養時釋出發火性或空氣反應性化學藥劑。

6.3.2.3 製程條件突然改變：

- 混合氣體快速（又稱為「絕熱」）壓縮；以及
- 溫度快速上升。

6.3.2.4 機械性摩擦

6.3.3 外部起火源

6.3.3.1 外部起火源包括預期及可預見的設備使用條件。由於設備供應商通常無法控制這些因素，故很難評估這些條件的風險。本文件範圍不包括這些外部起火源。

6.4 氧化劑

6.4.1 空氣是最常見的氧化劑，幾乎整個半導體製造設備的內部以及四周都有空氣。除非係採用特定措施來排除空氣（如電氣箱惰性加壓），否則應假設空氣可無限供應。

6.4.2 某些製造材料可能會成為氧化劑，或是在受熱時變成氧化劑。

6.4.3 許多常見的製程化學藥劑（如氧氣與過氧化氫）都是氧化劑，其風險應使用上述以化學藥劑為燃料時的類似風險評估方法加以評估。

6.5 報告

6.5.1 雖然本基準係為用於整個設計與研發階段，但本基準無意要求設備供應商在研發設備時記錄所有資訊供他人使用。設備供應商應以三種形式作成火災風險之評估與降低的文件紀錄：內部紀錄、火災評估最終報告，以及摘要報告。

6.5.2 設備供應商的內部紀錄應包含相關分析、評估與設計決議。然而，內部紀錄無需公開給其他團體。

6.5.3 火災風險評估最終報告

6.5.3.1 在審核最終設計及考量先前各節所提或評量人員已知或預見的風險時，所發現的殘餘風險皆應逐條列載於報告中。應僅將符合附錄 1 標準的風險納入報告。對於每項經認定的殘餘風險，其報告應符合下列條件：

- 說明損失或損壞的機制；
- 判定加劇或必要的引發因素；
- 判定降低因素；
- 針對每一種類型的損失指定其嚴重性，並說明指定理由。「類型」係指在表 A1-1 的一個欄位，例如「設備實體損壞」；
- 指定可能性，並說明指定的理由，以及
- 說明所造成的風險類別。

註 18：請參閱附錄 1 第 A1-2.5 至 A1-2.8 節的風險標準。

6.5.3.2 本報告亦應說明在設備設計中降低火災風險的方法。

6.5.3.3 應依據 SEMI S7 之規定由合格人員進行火災風險最終報告的準備與審核工作。

註 19：此人員可以是設備供應商的員工或第三方人員。

6.5.3.4 若在評量 SEMI S2 的設備時使用本基準，製造商應向執行 SEMI S2 評量的人員提供火災評估最終報告。

6.5.3.5 設備供應商應對外公開火災評估最終報告。

6.5.4 摘要報告

6.5.4.1 摘要報告應取自火災風險最終報告，並包括下列事項：

- 殘餘風險及其等級的清單；
- 簡要說明設備中降低火災風險的方法。

6.5.4.2 設備供應商應提供摘要報告給設備使用者，亦可對外公開。

7 降低火災風險

7.1 概述

7.1.1 本節說明數種降低火災風險的方法，並敘述設備及其使用可如何透過設計將風險降至最低。

註 20：本節降低風險方法的說明並非意指每個系統都需使用此方法。因此，應根據已評估之風險來決定是否採用指定的降低方法。

註 21：火災偵測或滅火亦為降低火災風險的方法。有關火災偵測與滅火系統的標準，請參閱 SEMI S2。

7.1.2 應依照去除、工程控制、行政管理、警告與工作實務的傳統風險管理層級來降低風險。若多種方法均同樣有效，則應使用層次最高的方法。然而，若係基於設計、使用限制以及相對成本的觀點，亦可使用一般不常使用的方法。無論使用何種方法，皆須評估和回報殘餘風險。

7.2 燃料

7.2.1 製造材料

7.2.1.1 不可燃製造材料具有最低的火災風險。然而，並非所有可用的不可燃材料都適合或計劃用於半導體製造設備的內部。

註 22：系統零組件執行預定功能所需的屬性以及為符合元件等級標準所需的屬性，也可能會限制不可燃材料的使用。

7.2.1.2 選用可燃材料時，可藉由下列方法來降低火災風險：

- 選擇最不具上述屬性的材料，以及