

第二章 高科技潔淨室災害概述

2.1 何謂潔淨室(Clean room)

潔淨室是一個為了對空間內空氣中的微粒、粉塵做有效控制，所建造的特殊封閉性建築空間，一般而言，對內部溫溼度、氣流運動模式、震動與噪音等環境因素做控制。所以亦稱為『無塵室』或『無菌室』，在半導體工業、生物科技、醫學及食品業…等，是不可或缺之重要設施；因此，『潔淨室』就是將密閉空間內空氣中的微塵粒子、細菌等污染物經過特殊空調系統過濾排除，並將此空間溫度、溼度控制在一定範圍內，以達到無塵的作業環境，除此之外，構成潔淨室條件至少還需具備下列幾項要件：

1. 潔淨室空調系統應能迅速除去空氣中漂浮之微塵粒子。
2. 潔淨室應能防止微塵粒子之產生及沉積。
3. 內部與外部區域隔間應能達到一定氣密程度。
4. 潔淨室內的溫度、溼度及壓力之應能控制在一定範圍內。
5. 生產過程環境應能防止靜電的產生。
6. 必須有防止震動及減低噪音之設施。
7. 內部應有避免電磁波干擾之設施。
8. 對空氣中細菌、病毒或有毒物質能有效控制處理。
9. 內部區間應規劃及有效之人員、物品動線。
10. 生產運轉能源、動力之負載考量。
11. 設置成本及維護難易度的考量。
13. 建築結構強度、承載能力及使用年限之考量。

2.2 潔淨室的分類：

潔淨室為半導體元件或微細產品的製造場所，空間單位都是以微米計算，因此只要有微塵顆粒沾附在半導體元件上，便有可能破壞到其精密導線佈局，造成電性短路或斷路的嚴重後果，因此所有半導體製程設備都必須安置在隔絕粉塵進入的密閉空間中，以確保產品的良率；潔淨室的潔淨等級，有一公認的標準，以 class 10 為例，意謂在單位立方英尺的潔淨室空間內，平均只有粒徑 0.5 微米以上的粉塵 10 粒，所以 class 後頭數字越小，潔淨度越佳，當然其造價也越昂貴。

依據美國聯邦標準 209D 潔淨室規格，國內常用的潔淨室依其潔淨度可分成 Class 1、Class 10、Class 100、Class1,000、Class 10,000 及 Class 100,000 等 6 級數，依其製程環境需求有不同潔淨度，其潔淨室規格分類如表 2-1:



表 2-1 美國聯邦標準 209D 潔淨室規格

級數 Class	粒子大小	粒子數目	壓力	溫度℃			風速或換氣率	照度		
	μm	Particles 顆/ft ³	mmAg	範圍	推薦值	誤差值	次/hr	lux		
1	≥ 0.5	≤ 1	> 1.3	19.4~25	22.2	± 2.8 特殊 需求 ± 1.4	層流方式 0.45m/s $\pm 0.1\text{m/s}$	1080 至 1620		
	≥ 5.0	0								
10	≥ 0.5	≤ 10								
	≥ 5.0	0								
100	≥ 0.5	≤ 100								
	≥ 5.0	≤ 1								
1,000	≥ 0.5	≤ 1000								
	≥ 5.0	≤ 10								
10,000	≥ 0.5	≤ 10000								
	≥ 5.0	≤ 65								
100,000	≥ 0.5	≤ 100000								

另依其等級不同氣流設計上會有所區別，一般可分為垂直層流方式(Class 1~100)、水平層流方式(Class 1~1,000)、亂流方式(Class 1,000 ~100,000)，垂直層流潔淨室亦稱為單一流向型潔淨室，由於微粒的移除完全掌握在氣流的模式，因此愈無塵的潔淨室對氣流模式的掌控就愈重要。

全面垂直層流潔淨室是採用模組化鋁擠層流天花板，搭配鋁合金高架活動地板，使整個潔淨室氣流可由上往下直接循環，經由高效率過濾風車組，其過濾微粒效果可達 99.999%，使整個潔淨室的等級可達到 Class 1~100，此種全面垂直層流設置方式，為國內半導體業最常採用。茲分析潔淨室層流類型及優缺點比較，如表 2-2、圖 2-1、圖 2-2 所示：

表 2-2 潔淨室各類層流方式之比較

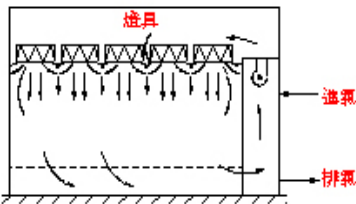
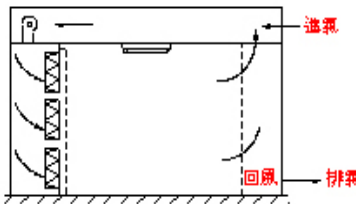
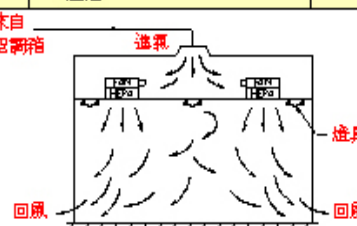
氣流方式	潔淨度	風速 (m/s)	換氣次數 (次/h)	吹入口、吸入口	優點	缺點	價格比
垂直層流方式	Class 1~100	0.25 ∩ 0.40	200 ∩ 600	吹出：天花板的 80% 以上。 吸入：壁板的 40% 以上，從側面板亦可。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 效果完全 ◆ 不易為作業人員及作業狀態所影響 ◆ 開始運轉後即刻變成穩定狀態 ◆ 粉塵的堆積及再飄浮極少 ◆ 管理容易 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 須注意天花板部的無效空間(照明等) ◆ 換過濾器較麻煩 ◆ 設備費非常的高 ◆ 房室的擴充較困難 	100
水平層流方式	Class 1	0.45 ∩ 0.50	200 ∩ 600	吹出：壁板的 80% 以上。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 運轉開始後即刻變成穩定狀態 ◆ 構造簡單 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 上游的影響會在下游出現 ◆ 人員及機器的配置及管理須注意 	50~80
	Class 1,000	—	100 ∩ 200	吸入：壁板的 40% 以上，從天花板也可。		<ul style="list-style-type: none"> ◆ 設備費非常高 ◆ 房室的擴充較困難 	30~50
亂流方式 (傳統式)	Class 1,000~100,000	—	30 ∩ 60	吹出：過濾器吹出口較好。 吸入：從地板附近。	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 構造簡單 ◆ 設備費低 ◆ 房室的擴充比較容易 ◆ 若再加用無塵台可確保高潔淨度 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 由於氣流的亂流污染粒子有可能在室內循環 ◆ 到穩定狀態須花一段時間 ◆ 人員及機器的配置、管理須注意 	10~40
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>垂直層流型潔淨室</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>水平層流型潔淨室</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>亂流型潔淨室</p> </div> </div>							

圖 2-1 高科技廠房潔淨室剖面圖

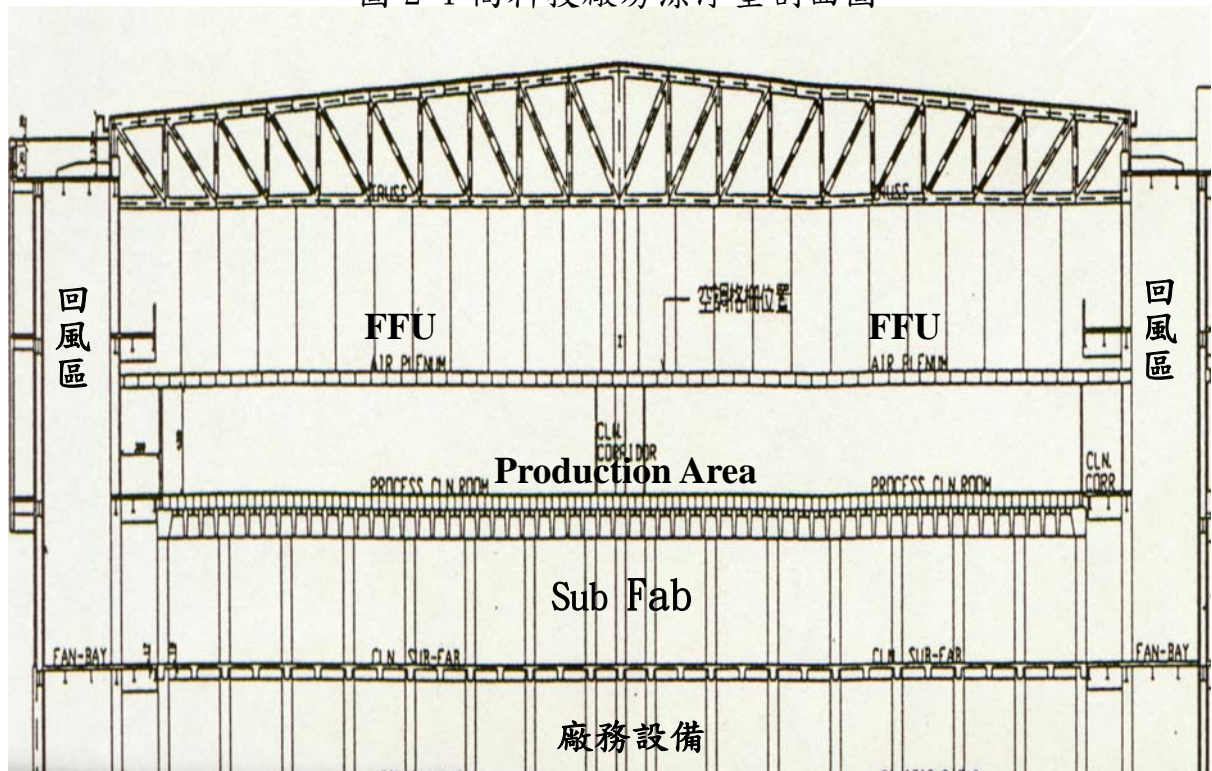
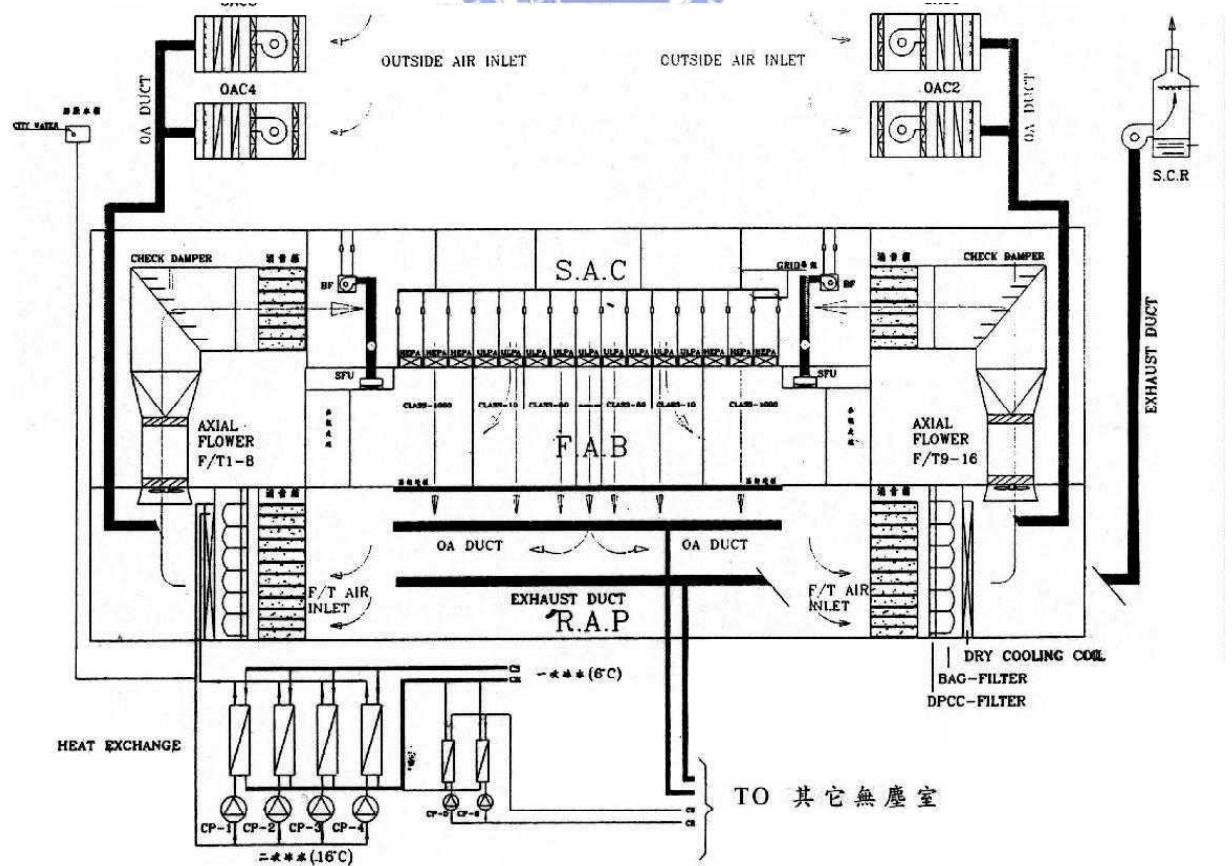


圖 2-2 潔淨室內部氣流流向圖



2.3 潔淨室潛在危害特性

在半導體或光電產業潔淨室因製程要求極精密，因此潔淨室成為一個密閉的工作環境，一旦災害發生，也往往造成作業人員避難逃生及外部進入內部搶救方面的困難，因此潔淨室環境潛藏著下列幾項危害特性：

1. 密閉空間，搶救困難：

潔淨室基於潔淨度及節省能源的考量，設計成與外部環境隔離，且為無開口及無窗戶狀態，一旦災害發生，搶救上極為困難。

2. 內部結構複雜，逃生不易：

因機台及設備分佈於整個潔淨室空間，動線規劃及結構又十分複雜，且防火避難設施 (Fire-protection refuge facilities) 設置不足，一旦災害發生將會影響人員避難逃生時機。

3. 大量空氣循環，化學物質洩漏迅速擴散：

整個空間採取大量空氣循環系統，生產製造過程並使用大量的化學物質及氣體，一旦有化學物質或有害氣體洩漏，將造成迅速擴散之危險狀態。

4. 氣流流動，助長火勢延燒：

由於潔淨室空間氣流係採由上往下或側吹方式，故室內氣流方向與一般建築物空間大不相同，一旦火災所產生的濃煙或火焰將會隨著氣流流動四處蔓延，同時加速火煙的竄燒。

5. 化學物質繁多，人員暴露危害：

半導體產業製程所使用之原料及化學物質，多屬可燃性、易燃性及具毒性之危害物 (Hazardous material)，且一般人員對其化性、物性並不完全了解，易造成人員傷亡或防範不周狀況。

2.4 潔淨室火災型態：

潔淨室火災與一般建築火災最大不同點在於潔淨室是屬於一個密閉空間的火災進行狀態，在此同時火焰、熱、濃煙及人員共存於該空間，當起火後不久，燃燒溫度會開始極度瞬間上升至 800~1100℃ 左右，此種溫度急劇上昇現象稱為『閃燃』(Flash over)，一但閃燃發生後整個潔淨室將陷入一片火海，溫度將達到最高溫，俟所有可燃物燃燒殆盡後，火勢開始衰減，最終熄滅。

潔淨室火災發展的歷程概可分為三個階段，即成長期、全盛期、衰減期。當火災已達全盛時期，以現有的消防技術而言，幾乎無法去控制它，只能被動的限制其不再蔓延到其他區域，因此，一個有效的防火及消防系統，是阻絕火勢擴大及滅火搶救的最後防線。茲將各時期災害型態說明如下：如表 2-3 所示。

1. 成長期：

火焰由起火源產生，將熱與煙向周圍擴散，並於天花板下面形成煙霧層及可燃性氣體蓄積，在火勢成長期過程，尚可利用滅火器或消防栓水源進行滅火，但當室內溫度繼續上昇，此時燃燒會更加劇烈，漸漸進入閃燃階段，此時室內將充滿有害氣體，如：一氧化碳、毒氣、熱、煙。

2. 全盛期：

當閃燃(Flash over)發生後，瞬間整個潔淨室空間將陷入一片火海，溫度維持一定高溫而持續不斷的燃燒，火焰、煙霧開始自破裂的開口部噴出，引燃、擴及其他區域陷入火海。

3. 衰減期：

當潔淨室內的可燃物燃燒殆盡或受到滅火設施的壓制後，火

勢因而衰減下來，而漸漸熄滅。

表 2-3 潔淨室火災發展歷程表

熱釋放率 或 溫度變化				
防火目標	防止起火	成長期的耐燃性	防止擴大延燒	防止破壞
火災控制 機制	可燃物量		通風量	可燃物量
人類行為	逃生避難		死亡	
感應	人員自行發現或 偵煙器	偵煙器 偵溫器	延燒出去的火焰和煙	
主動式 防火	人員自行或消防人員滅火 灑水頭 煙控		消防人員滅火	
被動式 防火	材料燃燒性		防火時效（區劃）和防火建築物	

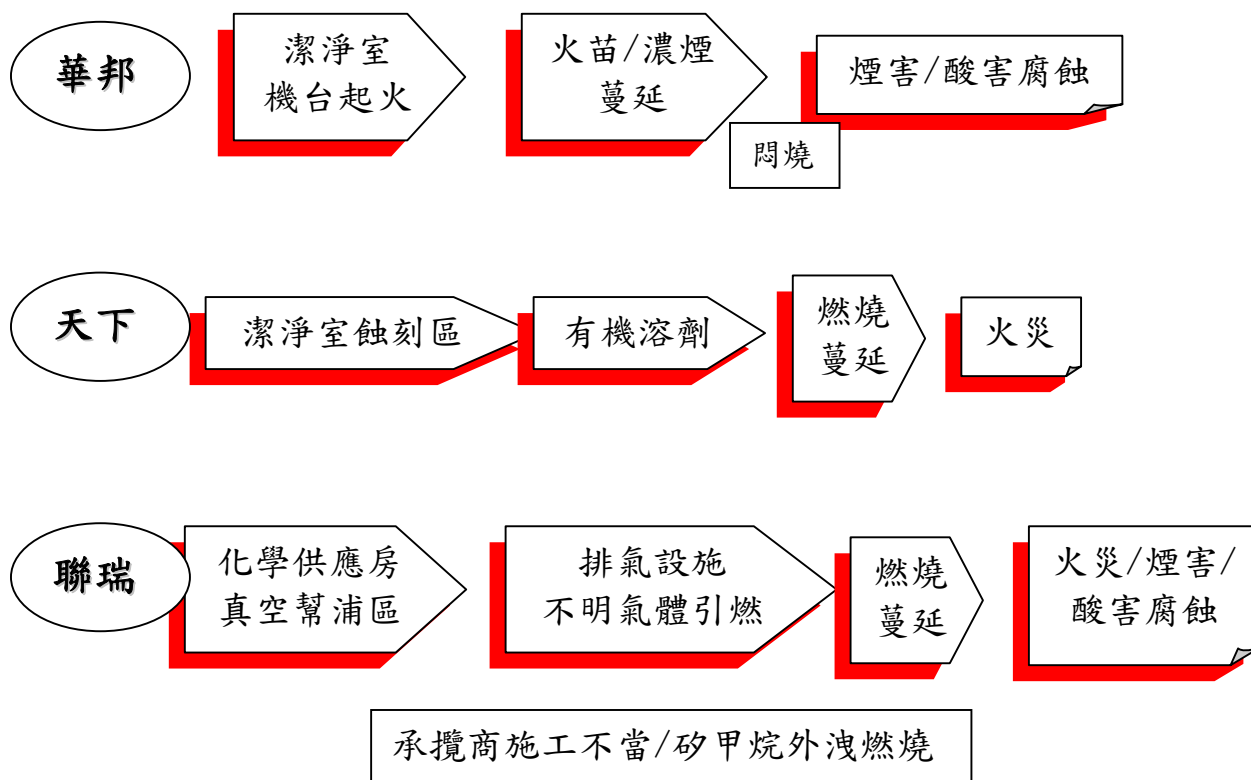
2.5 台灣高科技產業火災案例分析

新竹科學園區華邦電子、聯瑞電子及天下電子的火災，財產損失高達二百億元以上，主要原因在於潔淨室所使用的半導體製造設備價值十分昂貴，設備、原料或成品一旦遭受火煙及水的污染就損失慘重，即使是小型火災，其火源及煙塵也會順著氣流及空調管道瀰漫到各處，因而污染製程機具設備，在搶救過程中，消防自動撒水設備或消防栓水柱所造成的嚴重水損，亦造成二次災害損失，台灣高科技建築物火災發生頻繁，在自我防護及搶救能力，受到國際半導體工業及產險業的極度關注，茲分析歷年來台灣半導體幾起重大火災及發生原因，如表 2-4、2-5 所示。

表 2-4 國內高科技廠房火災案例表

公司 日期 損失	聯瑞積體電路 股份有限公司	天下電子 股份有限公司	華邦電子 股份有限公司
發生時間	86/10/03/ 14:59-17:38	86/11/11/ 08:15	85/10/14/ 13:00
人員傷亡	無	一人受傷	無
損失金額 (直接損失)	120億以上	30億以上	60億以上
原因類別	機器類	機器類	藥品類
起火原因	廢氣管外漏引火	濕式清洗檯	濕式清洗檯

表 2-5 高科技廠房火災案例分析表



火災原因分析，例：聯瑞電子

1. 災害地點：聯瑞電子公司
2. 發生地點：新竹市力行二路三號
3. 發生時間：八十六年十月三日
4. 現場情形：

該建築物為地下一層，地上六層之 RC 構造，一樓為化學供應室、二樓為倉庫及真空幫浦室、三樓為生產線、四樓為庫房、五樓為空調箱、頂樓為水洗設備。

此次火災起火原因研判應是製程中專門處理機台排放的廢酸毒氣體洗滌設備，在處理過程中未將各種可燃性氣體、自燃性氣體完善處理，導致反應後的各種有機酸鹼廢氣直接流向廢氣排放管，加上施工附近開口處與空氣反應產生自燃延燒，造成廠房全毀，估計損失百億金額。

所以火災的破壞力是十分驚人的，在高科技廠房防火及消防設備 (Fire-fighting equipments) 如果不完善，例如未將內部作防火區劃 (Fire-protection segment) 或未使用防火材料 (Fireproofing) 進行室內裝修 (Indoor decoration)，一旦火災將造成重大的損失 (如圖 2-3、圖 2-4 所示)；火場的高溫、濃煙危害人員與設備安全，在財產的損失及營運中斷方面，雖可由保險公司事後理賠補償，但下列幾點對企業將造成無法彌補的傷害：

1. 公司的信譽及直接客戶損失賠償。
2. 客戶後續訂單的轉移流失。
3. 公司股價下滑、資產縮水、員工士氣低落，甚至人才流失。
4. 對產業結構重大影響，例如 IC 價格上揚，造成下游廠商負擔增加，毛利下降。

5. 對國家總體經濟影響，例如稅收減少，投資報酬率降低等等。

圖 2-3 防火區劃破壞延燒情形



圖 2-4 火勢沿著管道間延燒情形

