

無塵室環境測試與調整

工程處 / 張世旺

前言

由於半導體工業在台灣的快速發展，使建廠工程之時間與進度的掌握顯得格外重要，除了快速之外、品質的要求亦同步進行，才能保證無塵室建造完成後，符合各等級要求之工作環境，確保所生產之產品的穩定性。

無塵室之結構與所用設備隨時代的發展亦有所改變，由早期的空調箱連接風管及 HEPA BOX，進入軸流式風機再進列目前的 FFU 方式，測試項目因結構的不同而變動，調整方法亦須跟著變動，以符合需求。

介紹

測試時機：

- (1) As-Built，完工階段....沒有設備及人員、整個無塵室處於淨空狀態。
- (2) At-Rest，進機完成；在沒有操作人員干擾下進行測試。
- (3) Operation，正式運轉，有操作人員及其他設備，AGV 等運轉狀態下進行測試。

完全分成三階段測試較能鑑別無塵室建造的好壞，但因進機時程的關係，大部份的測試都於 At-Rest 及 Operation 兩階段，如在 Operation 階段發現問題，追查原因較困難；在此突顯出 As-Built 測試作為比對性質的重要性；以下之介紹針對建造過程之測試與調整。

測試前須注意事項

測試項目	
風速、風量	1. 邊板、盲板、柱邊盲板、地板須完成，避免上升氣流影響測試。 2. 隔間、門須密合，以防側風影響。
濾網測漏	1. 邊板、盲板、柱邊盲板、地板須完成，避免上升氣流影響測試。 2. 隔間、門須密合，以防側風影響。
照度	1. 電燈全亮至少 100 小時以上。 2. 電燈全高後 2 小時開始測試。
噪音	1. 可控制噪音源必須關閉，CDA PURGE 等。或於晚間進行。
振動	1. 其他系統工作須停工，才能進行測試。或於晚間進行。 2. 確認無其他之震源

氣流平行度 (100 級~1 級)	1. 隔間、盲板、地板門須全部完成。 2. 風量平衡須能控制，自動風門可自動調整。
室內壓力	1. 隔間、盲板、地板、門等須氣密完成。 2. 監控須上線，感測值調整、校準(含排氣系統)。
潔淨度	1. 各分區隔間完成，各部份按裝完成，清潔完成後停工 1 天，再進行測試。
回復能力 (1000 級)	潔淨度測完後 1. 電力配合停電，待濃度上升至額定值再送電測試。 2. 或用氣膠產生器，此方法較易污染無塵室，須先告知業主。
溫濕度	1. 自動控制完成，Dry Coil 送水完成，感測器校準。
地板導電度	1. 與系統電力接地線聯結。 2. 在室溫下進行測試，地板須完成佈放。

建廠階段，MOVE IN 之時間已定，如無法進行 As-Built 測試，則在 MOVE IN 之前必須確認給業主(1)濾網洩漏測試(2)風速測試(3)潔淨度測試(4)室內壓力(5)溫濕度。

測試依據：

- (1) FED-209E：Federal Standard 209E
無塵室等級定義及規範
- (2) ISO-14644：International Organization for Standardization
ISO-14644-1：Classification of Air Cleanliness
ISO-14644-2：Cleanroom testing for Compliance
ISO-14644-3：Biocontamination Control of Surface
ISO-14644-4：Cleanroom Design & Construction

ISO-14644-5 : Cleanroom Operations

ISO-14644-6 : Terms, Definitions & Units

ISO-14644-7 : Minienvironments & Isolators

(3) NEBB : Procedural Standards for Certified Testing of Cleanrooms

測試程序、方法、儀器規定

(4) IEST-RP-CC-006.2

提供用來評估與描述無塵室及潔淨區域系統整體性的試驗，包括用來決定性能參數的建議試驗儀器資格與測試程序各種標準之對照表

Table 8. An approximate comparison of major clean room classes comparing 0.5µm particle size Note that the different classifications use different concentrations, particle sizes and different slopes of the curve as base for respective classification.

Particles Per m ³ >0.5µm	ISO class	US 209E	US 209D	EEC GGMP	France AFNOR	Germany VDI	Britain BS 5295	Japan JACA
1	14644-1	1992	1988	1989	1981	2083	1989	1989
3.5	2					0		2
10.0		M1						
35.3	3	M1.5	1			1		3
100		M2						
353	4	M2.5	10			2		4
1 000		M3						
3 530	5	M3.5	100	A+B	4 000	3	E or F	5
10 000		M4						
35 300	6	M4.5	1 000			4	G or H	6
100 000		M5						
353 000	7	M5.5	10 000	C	400 000	5	J	7
1 000 000		M6						
3 530 000	8	M6.5	100 000	D	4 000 000	6	K	8
10 000 000		M7						
							(L)	
							(M)	

測試與調整：

一、風速風量測試

1. 目的：確認 FFU RCU 之送風是否正常
2. 測試儀器：熱球或熱線式風速計、全罩式風量計
3. 測量方法
4. 固定架設 SENSOR 於濾網下方 15 cm

- (1) 取 5 Sec 之平均值
- (2) 每 0.37m² 取一點測量、不足者以一點計
- (3) 計算風量值 $Q=A \cdot V$ 是否符合設計需求

5. 調整

- (1) 風量不足時(FFU 系統)
 - A. 檢查風車轉向是否正確
 - B. 檢查變轉速之馬達轉數是否達到
 - C. 檢查是否有額外的預置型濾網未拆除
 - D. 測量回風面積是否足夠(室內壓力比設計值大很多時即有可能；地板下之高度最好有 50 cm 以上)

(2) 風量不足時(RCU 系統)

- A. 檢查風車轉向是否正確
- B. 檢查轉輪與皮帶張度是否正確
- C. 檢查風管、VD 是否有洩漏或未開及風量平衡調整
- D. 檢查濾網是否已太髒，導致壓損過高
- E. 檢討回風開孔面積
- F. 檢討風車之規格是否符合需求(部份追加變而未增加設備容量)
- G. 更改傳動輪尺寸，檢討馬達負荷

(3) 風量過大時(FFU 系統)

- A. 大於設計風量 20% 以上，須設法調至容許範圍
- B. 調整變轉速之馬達轉速變小
- C. 調整地板之開孔面積、減少回風面積
- D. 無法調整馬達轉速者，則調整旁路 VD 或增加盤管、壓損使其風量變小

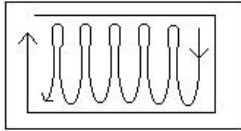
(4) 風量過大時(RCU 系統)

- A. 調整變轉速之馬達轉數變小
- B. 調整風管之 VD
- C. 更改傳動輪尺寸，使葉輪轉數變小

二、濾網測漏

1. 目的：確認安裝完成之 HEPA 或 ULPA 無破損(是否於運送或安裝過程損傷)
2. 使用儀器：具偵測濾網微粒子粒徑尺寸之微粒測定器(0.1 µm 或 0.3 µm)
3. 測試方法

- (1) 引入微料源在 HEPA 或 ULPA 的上游側達 10^6 個/ft³
- (2) 用微粒測定器在下游側進行掃描，由外框開始再往內側來回掃描，探查是否是否有連續性的洩漏，及是否在穿透率 0.01% 以下，判斷是否合格



- (3) 掃描器於濾網下方 2~3 cm，遊走速度 5 cm/sec

4. 偵測有漏時之修補限制

- (1) 小於濾網面積的 3%
- (2) 長度小於 3.8 公分修補矽膠材料須視業主規定的材質而定，不可隨意使用。

三、潔淨度測試

1. 目的：確認室內之微塵量是否符合規定，以確保環境品質

2. 測試儀器：微粒子測定器+取樣頭

3. 測試方法：

- (1) 取樣點數：層流型

- (A) 面積 $m^2 \div 2.32$
- (B) 面積 $m^2 \times 64 \div (10m)^{0.5}$ ，M 為 209E 之等級
各別計算出，取點數較小者
非層流型；面積 $m^2 \times 64 \div (10m)^{0.5}$

- (2) 依所取樣點數作圖點於室內空間

- (3) 測量高度距地板 1.2m，每點測量三次取平均值

- (4) 記錄平均值作各室內之潔淨度統計分析，以判定此室是否合於允收標準

取樣點 > 10 點時：每點之平均值需 濃度上限

取樣點 < 10 點時，需做統計分析

統計分析? 當取樣點數 < 10 點時

- a. 計算每一點之平均濃度(Average Particle Concentration)

$$A = (C_1 + C_2 + \dots + C_N) / N$$

A：平均每一取樣點之微粒子濃度

$C_1 \sim C_N$ ：取樣微粒子濃度

N：取樣次數

- b. 計算所有測點之平均濃度(Mean of the Averages)

$$M = (A_1 + A_2 + \dots + A_L) / L$$

M：所有點之平均濃度

$A_1 \sim A_L$ ：各點之平均濃度

L：取樣次數

- c. 求標準偏差(Standard Deviation)

$$SD = \sqrt{\frac{(A_1 - M)^2 + (A_2 - M)^2 + \dots + (A_L - M)^2}{L - 1}}$$

- d. 求標準誤差(Standard Error)

$$SE = SD / \sqrt{L}$$

- e. 求 95%UCL 值(UPPER CONFIDENCE LIMIT)

$$UCL = M + (UCL \text{ factor} \times SE)$$

UCL Factor for 95 Percent Upper Confidence Limit

No. of Locations (L)	2	3	4	5	6	7	8	9	> 9*
95 Percent UCL Factor	6.31	2.92	2.35	2.13	2.02	1.94	1.9	1.86	N/A

潔淨度有異象：

1. 風速風量符合要求的情況下：

問題	解決方案
某一點潔淨度較差	1. 查此點是否為氣流的死角,必要時導引氣流通過此區域 2. 查濾網是否有破損、修補之
多點不符合潔淨等級	1.查 HEPA 與設備間是否造成氣流之短循環，例如 HEPA 與 Clean Bench 或 C/R 內置 Clean Bench，HEPA 與其吸入口距離太短成短循環現象，使室內缺少實際的氣流循環帶走塵粒。
整室不符合潔淨等級	1. 佈置空間關係有些 HEPA 無法平均佈放致分配不均加上有短循環現象時須設法平均佈放或更改回風口位置。 2. 後段施工未盡清潔責任。 3. As-Built 時 OK, Operation 時不符合等級，表示此間之設備有發塵現象或含水氣。 4. 濾網受後段施工不小心破壞程度大者則更換濾網小洞者修補。

2. 風量不足的情況下：

整室不符合等級

- a. 加強風量，更改風車轉速
- b. 更換 RCU 之濾網，減少壓損
- c. 查 DRY COIL 與旁通風門之風量比例，是否正確
- d. 地板開孔率檢討
- f. 地板下之回風高度，RCU 之回風管道回風孔是否足夠

室壓測試：

- 目的：防止污染物質由外界進入無塵室
- 測試儀器：微壓計 0~100PA
- 測試方法：
 - 室壓較大者接入微壓計“+”端，較小者接入“-”
 - 取兩端管頭進行歸零調整
 - 將兩端各置入待測室內進行量測

4. 調整室壓必先知悉

1	MAU 風管分佈圖	出風口風量平衡
2	DRY COIL 及回風位置圖	必要時測量盤管壓損與設計值對照
3	C/R 結構分佈圖	分析氣流壓損以便與 FFU 對照
4	高架地板分佈圖	分析氣流分佈及必要時之調整置放位置
5	FFU 送審資料	找出風量、靜壓設計值及曲線圖
6	各室要求壓力及隔間	填上壓力值可知道其壓力梯度
7	FFU 分佈圖	計算送風量與高架地板開孔率是否足夠
8	MAU 送審資料	測量送風量對照設計值，便於風量平衡調整
9	機台及排氣位置圖與排氣量	檢討排氣量是否適當

5. 室壓調整前

- 拆除非正式之濾網
- 查看各室之氣密是否已完成(含氣流所經之對內、外之隔間)正壓洩漏會降低室內壓力，負壓洩漏會增加回氣之微粒子濃度及增加室內壓力
- MAU 之風量測試 HEPA 洩漏測試須先完成
- 監控壓力 SENSOR 調校、變頻風量測試完成

6. 室壓調整

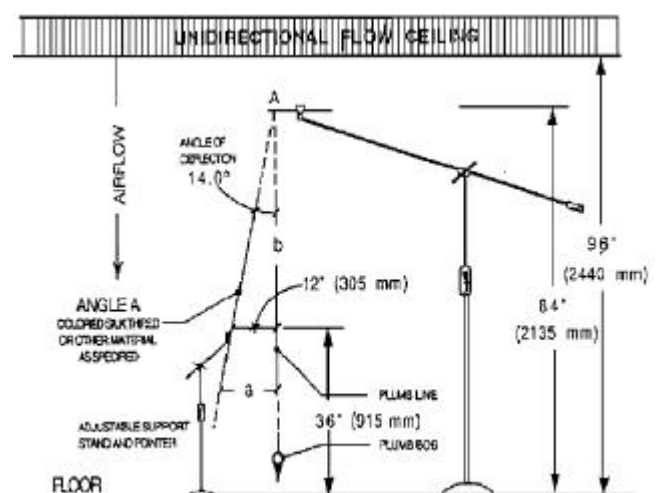
- 各室之出入門須管制、調整時最好在無人干擾下進行，以免人員進出影響測量值
- 無隔間之相通走道調整時會產生擠壓之側向氣流，如果走道與層流作業區相臨，須注意其氣流平行度是否受影響
- 現場允許的情況以下，先測量排氣量是否過大，其設計值須請業主提供及開測量孔
- 室內壓力值受影響的因素
 - MAU 入室風量及製程排氣量
 - FFU 出風量
 - 地板開孔率或回風口開孔率，高架地板高度不足時
- 調整室內壓力最直接的是調大 MAU 之供風量或調小排氣量(允許值內)，其他的調整則間接的影響列 FFU 或 HEPA 的出風量；壓力與出風量出風量與微塵粒子數無法兼得，

必須調整時須注意其變化量是否在允許值內

- As Belt 階段無排氣，Operation 階段有排氣，須注意監控 MAU 之調整值

層流測試：

- 目的：調整氣流為單一方向，使 HEPA 或 ULPA 出口的潔淨空氣為製程所用
- 測試儀器：層流測試架及絲線(最經濟型)
- 測試方法：以測試架引垂線於待測點，如下圖每 3m x 8m 取一點測量。



允收標準：層流角度須在 14° 以內

作圖標示：須標示氣流方向及角度

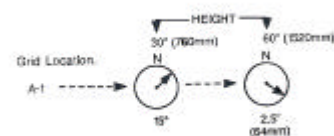
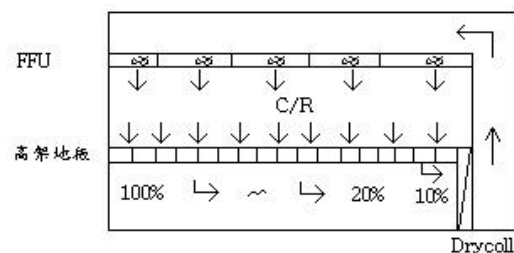


FIGURE 5-3 Airflow Parallelism Report Format

層流調整：靠近回風或 Dry Coil 處開孔率調整至最小，離遠處調整至最大(高架地板須附有調整開關)



照度測試：

1. 目的：測試照度是否符合要求
2. 測試儀器：照度計
3. 測試方法：
 - (1) 至少已使用 100 小時，並於測試前 2 小時點亮
 - (2) 每 0.6m² 取一點測量
 - (3) 測量高度離地板 76 cm
4. 改善與調整：
 - (1) As Built 階段測試符合照度要求，但因製程需求增設排風管等附屬件，影響工作區之照明，則針對需要照明處增設燈具
 - (2) 設計佈置完成之燈具，因防煙垂壁之更改而易位，亦會影響照度
 - (3) 某些設備高度較高，需照明處受遮蔽，只能增設燈具解決

溫溼度測試：

1. 目的：測量室內環境是否達到溫溼度的要求
2. 測試儀器：溫溼度計、溫溼度記錄器
3. 測試方法：
 - (1) 已運轉自動控制 24 小時
 - (2) 每室至少取一點
 - (3) 測量高度離地板 120 cm
 - (4) 測量溫溼度值及記錄
 - (5) 取記錄器記錄各室 20 小時以上之溫溼度值，查看是否控制達到平穩狀態
4. 改善與調整
 - (1) 建廠初期控制受 C/R 氣密影響較大，負壓區(回風)之洩漏量將使溫溼度無法達到要求，必須要求氣密止漏。
 - (2) 運轉中的無塵室受機台熱度影響，必須評估 Sensor 的擺放位置
 - (3) 製程中有清洗之霧氣亦會影響，必須隔離
 - (4) 小型廠房因空間小，不見得有加溼器之設置，測量時須先查看系統是否配備
 - (5) 溫溼度之測量值須與監控人員配合調整

噪音測試：

1. 目的：測量及限制噪音於人體所能承受的範圍內
2. 測試儀器：音頻分析儀
3. 測試方法：
 - (1) 每 40m² 取一點測量
 - (2) 限制至少離牆 90 cm
 - (3) 測量高度離地 150 cm，於無人為干擾下測量

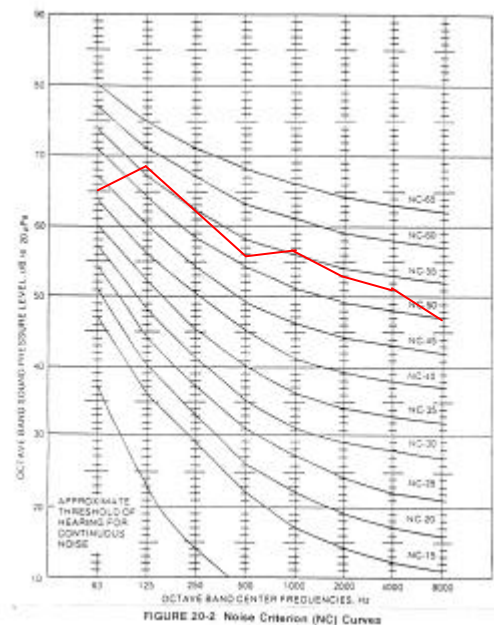
(4) 記錄 63~8KHZ，之中央頻道的最大聲壓值

(5) 製作 NC 圖形如下

4. 允收標準：依各場所噪音限制之噪音值

5. 改善與調整

- (1) 噪音值過高者在允許風速下修改 FFU 轉速使其噪音值降低
- (2) 加設吸音設備，但在 C/R 區須注意其發塵性
- (3) 依各音頻值找出較高值，針對噪音源特性作改善
- (4) 無塵室完成 FFU 及隔間時、需作背景噪音之測試以便正式噪音測時，問題之發現與改善
- (5) 噪音與空氣微振動是併行的，太高的噪音值，對奈米技術製程會產生影響

振動測試：

1. 目的：測量地板或高架地板的微振動，以符合設備之要求
2. 測試儀器：加速規、訊號放大器、儲存裝置、頻譜分析儀
3. 測試方法
 - (1) 選定設備旁之待測點
 - (2) 選定速度、加速度、位移之選項
 - (3) 將加速規置於待測點上量取三方向(X、Y、Z)之值，時間至少 1 分鐘
 - (4) 記錄及製作振動頻譜圖
4. 改善與調整
 - (1) Operation 階段振動源大部份來自機台，振動值過高者，依頻譜分析找出其振動問題點，如機內之小型冷凍機等
 - (2) 管路之振動亦會影響機台之運作，須注意泵、風機、真

空吸塵機 CDA 等之振動源透過管路傳遞

- (3) 高鐵、鐵路、高振動機械附近之廠房應先在 As Built 時量取背景值以釐清振動源

- (2) 地板測量未先清潔者、電阻值偏高、先擦拭再測量

- (3) 高架地板與支撐架之間須用導電墊片，只用塑膠墊片將影響導電值

回復能力測試：

1. 目的：測量無塵室斷電後之潔淨恢復時間(適用非層流型無塵室)
2. 測試儀器：微粒測定器
3. 測試方法
 - (1) 將室內之 FFU 或 RCU 停止送風，讓室內 0.5um 以上之塵粒達到室內要求等級之十倍值
 - (2) 測量室內微塵濃度、記錄值每 6 秒乙次，直到達到室內等級要求，即可停止記錄
 - (3) 記錄每一次之濃度值及時間，計算由開始到結束的時間
4. 允收標準：一般取決於設計階段與業主協定，此項測試與換氣次數、出回風口佈放位置、機台佈放位置、無塵室結構有密切關係
5. 改善與調整
 - (1) 室內換氣次數不足時，查設計值是否達到再查 FFU、風機等資料，不足之換氣量則增設 FFU 或更換 RCU 傳動輪增加風量
 - (2) 出回風口佈放不均或位置不恰當，均影響室內潔淨度在回復測試時會發現恢復時間較長，現場允許的情況下更改風口位置，讓潔淨之出風氣流用於待潔淨空間及防止氣流短循環

地板導電度測試：

1. 目的：測量高架地板點對點、點對地之電阻值
2. 測試儀器：高阻計 + 5 磅重電極
3. 測試方法：測試前先測量室內溫溼度 23 ± 5 $50 \pm 10\%$ ，測試點以 IPA 溶液擦拭清潔

點對點：

 - (1) 每 40m² 取一處，每處取 5 點作點對點之測量
 - (2) 置放電極在各兩間之位置，施加電壓 500VDC 測量
 - (3) 電阻值 < 1M 合格

點對地：

 - (1) 每室選 5 點，作點對接地點之測量
 - (2) 置放電極一端在高架地板或地板，另一電極接於接地點，施加電壓 500VDC 測量
 - (3) 電阻值 < 1M 合格
4. 改善與調整
 - (1) 室內溼度太乾燥或太潮溼都會影響測試值

結論

以上之無塵室測試依使用用途分等級及選取必要之測試選項，當機台 MOVE IN 之前，最好的安排當然是 As Built 測試完畢，如時間不足的情況下，必須確認？HEPA 或 ULPA 無洩漏？室內潔淨度達到要求？室內正壓建立達標準？某些機台特別要求的溫溼度

測試前與業主品保單位的溝通是必須的，提出測試計劃，測試時程、人員、測試方法、記錄表格、測試圖繪製、測試儀器清單及儀器校正報告備查。各項測前須檢查測試條件是否建立，有無干擾須記錄之，發現問題先找工程單位協商解決，取得協調後，再向業主報備或請求協助。

測試報告內須載明測試人員、測試日期、測試負責人，並於記錄上簽名、並明列測試項目、附統計表、記錄表、測試圖、儀器校正報告呈現其完整性。

漢唐集成股份有限公司

發行人:王燕群

地址:台北縣新店市寶高路七巷三號五樓

總編輯:李若瑟

主編:王鵬評

編輯委員:

陳朝水

胡忠山

劉瑞展

曾享清

莊士正

Copyright © 2002

United Integration Systems Co., Ltd.

All Rights Reserved

Website: www.uisco.com.tw

讀者信箱:

qa@uisco.com.tw

Tel:02-29174060, Fax:02-29131102