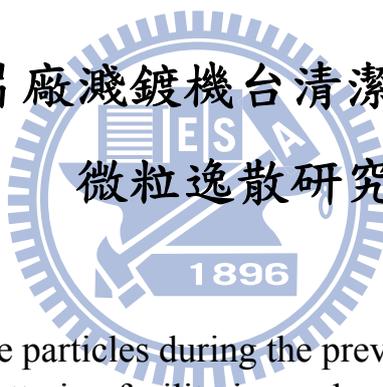


國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文

彩色濾光片廠濺鍍機台清潔保養作業時的
微粒逸散研究



The study of fugitive particles during the preventive maintenance of the
sputtering facility in a color-filter fab

研究生：林逸章

指導教授：蔡春進 教授

中華民國 九十九 年 一 月

彩色濾光片廠濺鍍機台清潔保養作業時的微粒逸散研究

學生：林逸章

指導教授：蔡春進 教授

國立交通大學工學院永續環境科技學程

摘要

TFT-LCD 已成為目前顯示技術之主流，而隨著產值逐漸攀升之際，因製程需要使用大量的化學品、有毒物質，作業勞工之安全衛生議題也注漸受到大眾之關注，本研究針對 TFT-LCD 關鍵零組件之彩色濾光片濺鍍製程於進行清潔維護保養時進行採樣分析，探討該作業環境中之有害物質種類及其濃度分佈。本研究利用粉塵質量濃度即時監測儀 TSI DustTrak 監測背景值，並於濺鍍機台實施清潔維護保養時以旋風式個人採樣器進行採樣，藉以了解作業人員之粉塵暴露值，最後採集腔體上之粉體以微小粉末分散器 (SSPD) 將粉塵再揚起，並以掃瞄式電動度粒徑分析儀、氣動微粒分析儀及微孔均勻沉積衝擊器進行分析，藉以了解粉體之數目與質量濃度分佈。

本研究於濺鍍機台實施清潔維護保養時進行個人採樣，測得總粉塵平均濃度為 $0.057 \pm 0.038 \text{ mg/m}^3$ ，銻金屬平均濃度為 $0.034 \pm 0.015 \text{ mg/m}^3$ ，而可呼吸性粉塵測得之平均濃度分別為 $0.028 \pm 0.011 \text{ mg/m}^3$ 。由實驗結果可知作業環境中粉塵濃度值皆能符合國內法規規範。實驗發現以空氣噴槍清潔腔體會導致測值超出 SEMI 所建議之暴露容許濃度，此清潔方式應該避免。

而以 SSPD 分散 ITO 粉體發現，微粒的數目濃度以次微米微粒為主，平均數目中間電動度直徑為 180 nm；以質量分佈計，微粒大多為可呼吸性微粒，其質量中間氣動直徑為 1080 nm。

關鍵字：粉塵, 彩色濾光片, 濺鍍機台

The study of fugitive particles during the preventive maintenance of the sputtering facility in a color-filter fab

Student : Yi-Chang Lin

Advisor : Chuen-Jinn Tsai

Institute of Sustainable Technology on Environmental Protection
National Chiao Tung University

ABSTRACT

TFT-LCD (Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) has been the mainstream color display technology since the beginning of this century. With rapidly growing market, large amount of chemicals and toxic substances are extensively used in the TFT-LCD industry during the manufacturing process, posing health threats to workers. Therefore, the occupational hygiene and safety problems of the workers deserve attention. The main objective of this study is to investigate fugitive aerosols during the preventive maintenance of the sputtering facility in a color-filter fab. The experiment in this study has three stages. In the first stage, a TSI DustTrak was used to monitor the background level of the particle mass concentration. In the second stage, IOSH (Institute for Occupational Safety and Health) cyclones were used to measure the exposure level of the sputtering workers. In the final stage, the SSPD (Small-Scale Powder Dispenser) method was used to disperse the collected particles which were deposited on the wall of the sputter chamber. A TSI SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) and a TSI APS (Aerodynamic Particle Sizer) were used to measure the particle size distributions, and a MOUDI (Multiple-Orifice Uniform Deposit Impactor) was used to measure the mass distributions of the dispersed powders.

The exposure level of the operators to the fugitive particles was studied during regular preventive maintenance of the sputtering facility. The average particle concentration was found to be $0.057 \pm 0.038 \text{ mg/m}^3$, and the metallic Indium concentration was $0.034 \pm 0.015 \text{ mg/m}^3$. In addition, the average respirable particle concentration was $0.028 \pm 0.011 \text{ mg/m}^3$. The results clearly indicated that the aerosol concentration in the current working environment meets the domestic occupational health and safety regulation. However, it was found that using the air blow gun to clean the sputter chamber increased the aerosol concentration which might exceed the exposure threshold value suggested by SEMI. Such

cleaning method should be avoided.

It was found that particles emitted from the ITO powders were submicron in number distribution with the number median electric mobility diameter of 180nm. In terms of mass concentration, these particles were in the respirable size range with the mass median aerodynamic diameter of 1080 nm.

Keywords: Dust, Color Filter, Sputter



誌 謝

很高興能在工作之餘重返校園就讀永續環境科技學程專班，在學期期間，承蒙恩師蔡春進教授諄諄教誨，讓我學習到做事分析及思考的能力，更由於您的細心指導及關懷使得我可以順利完成本論文之撰寫，在此非常感謝老師您一路在我求學期間的教導與鼓勵。

本論文的完成，在研究初期遇到許多不確定之因素及瓶頸，尤其在採樣設備及儀器分析部份，非常感謝學長技恩、政毓及大同實驗室山枋主任無私的幫忙及協助，使得實驗可以順利完成，另外還要感謝目前任職公司的多位同事及主管們的協助與支持，使得本研究可以順利進行。

最後，感謝口試委員傅武雄教授、吳宗信教授、李壽南博士因為您們的細心指正與建議，使得本論文內容更臻完善，更要感謝我的家人、同事、朋友們，謝謝你們一路的支持與陪伴，在我求學階段不斷的給予我鼓勵與關懷，在此致上我最誠摯的謝意！。



林逸章 2010.01.11 謹誌

總目錄

摘要	ii
ABSTRACT	iii
總目錄	v
表 目 錄	viii
圖 目 錄	ix
一、緒論	1
1.1 前言	1
1.2 研究目的	2
1.3 研究範圍	2
二、文獻回顧及探討	3
2.1 彩色濾光片製程簡介	3
2.2 粉塵種類及危害性	10
2.3 國內法規管制現況	13
2.4 彩色濾光片製程粉塵形成機制	16
2.5 銻錫氧化物之危害性	20
2.6 粉塵採樣技術探討	22
三、研究方法	25
3.1 研究架構	25
3.2 研究地點與背景介紹	26
3.3 實驗規劃及步驟	27
3.4 採樣儀器介紹	34
3.5 採樣前準備工作	42
3.6 QA/QC	44
四、結果與討論	48
4.1 現場背景值量測	48
4.2 現場保養時之採樣	49
4.3 SSPD分散ITO粉體結果	55
4.4 DustTrak濃度值分佈與作業方式探討	57
4.5 個人採樣濃度值分佈與作業方式探討	61
4.6 氧化銻錫粉塵SEM照片及EDS分析	64
4.7 國內法規及SEMI建議值探討	68
第五章 結論與建議	69
5.1 結論	69
5.2 建議	69
參考文獻	71

附錄一	Dust Trak校正紀錄	74
附錄二	2009/10/17 濾紙秤重及銻金屬分析紀錄	75
附錄三	2009/10/25 濾紙秤重及銻金屬分析紀錄	77
附錄四	2009/11/02 濾紙秤重及銻金屬分析紀錄	79



表 目 錄

表 2.1 粉塵作業勞工之健康管理	14
表 2.2 空氣中粉塵容許濃度	14
表 2.3 變量係數表	15
表 3.1 多微孔均勻沉積衝擊器中各階的微粒損失與校正係數	32
表 4.1 2009/10/17 現場採樣濃度值	50
表 4.2 2009/10/25 現場採樣濃度值	52
表 4.3 2009/11/02 現場採樣濃度值	54
表 4.4 Dustrak各次採樣之濃度平均值及最高值	58
表 4.5 作業方式與濃度對應表	59
表 4.6 個人採樣濃度彙整表	62
表 4.7 量測數值與國內法規、SEMI建議暴露容許濃度比較表	68



圖 目 錄

圖 2.1 薄膜電晶體液晶顯示器的立體結構圖	3
圖 2.2 彩色濾光片側剖面圖	4
圖 2.3 彩色濾光片製造流程圖	5
圖 2.4 UV清洗機台原理	6
圖 2.5 BM製程流程圖	7
圖 2.6 RGB製程流程圖	8
圖 2.7 濺鍍製程示意圖	9
圖 2.8 廣視角原理示意圖	9
圖 2.9 Photo Spacer示意圖	10
圖 2.10 人類呼吸系統	11
圖 2.11 呼吸道粉塵沉積示意圖	12
圖 2.12 濺鍍製程原理示意圖	18
圖 2.13 Applied Films的磁控直流濺鍍機台	19
圖 2.14 Applied Films的磁控直流濺鍍機台俯視圖	19
圖 2.15 氧化銦晶體結構圖	21
圖 2.16 微粒的捕集主要機制和其主要作用範圍	22
圖 3.1 研究架構圖	25
圖 3.2 現場殘留之墨綠色粉體	26
圖 3.3 現場採樣流程圖	29
圖 3.4 現場採樣點示意圖	30
圖 3.5 粉體特性量測實驗架構圖	31
圖 3.6 不同粒徑的微粒在多微孔均勻沉積衝擊器內部的損失	32
圖 3.7 DustTrak外觀及其原理	34
圖 3.8 IOSH個人旋風器	35
圖 3.9 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer	36
圖 3.10 樣品前處理流程圖	36
圖 3.11 微小粉末分散器的外觀及內部構造圖	37
圖 3.12 掃描式微粒電動度分析儀的實際照片及構造示意圖	38
圖 3.13 氣動微粒分析儀的實際照片及構造示意圖	39
圖 3.14 MOUDI的實際照片及內部構造的示意圖	40
圖 3.15 濾紙編號原則	43
圖 3.16 微小粉末分散器實驗時使用的鋁圓盤	44
圖 4.1 2009/09/19~2009/09/23 現場背景量測值	48
圖 4.2 2009/09/26~2009/09/30 現場背景量測值	49
圖 4.3 2009/10/17 可呼性粉塵濃度分佈圖	50

圖 4.4	2009/10/17 DustTrak濃度變化趨勢.....	51
圖 4.5	2009/10/25 可呼性粉塵濃度分佈圖.....	52
圖 4.6	2009/10/25 DustTrak濃度變化趨勢.....	53
圖 4.7	2009/11/02 可呼性粉塵濃度分佈圖.....	54
圖 4.8	2009/11/02 DustTrak濃度變化趨勢.....	55
圖 4.9	以SSPD分散ITO粉體的微粒粒徑分佈圖.....	56
圖 4.10	以SSPD分散ITO粉體的質量濃度分佈圖.....	56
圖 4.11	以擬合密度轉換APS及SMPS之質量濃度分佈圖.....	57
圖 4.12	ITO Sputter維護保養之步驟.....	59
圖 4.13	現場進行機台維護保養.....	60
圖 4.14	不同方式清潔腔體.....	60
圖 4.15	2009/10/17 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖.....	62
圖 4.16	2009/10/25 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖.....	63
圖 4.17	2009/11/02 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖.....	63
圖 4.18	氧化銻錫粉體×45 倍及 300 倍SEM照片.....	65
圖 4.19	氧化銻錫粉體×750 倍及 2000 倍SEM照片.....	66
圖 4.20	能量散射光譜儀分析結果.....	67
圖 4.21	能量散射光譜儀樣品背景值量測.....	67



一、緒論

1.1 前言

根據工研院IEK統計，2007年前三季台灣平面顯示器總產值達新台幣1兆2170.5億元，其中面板產業值新台幣8858.0億元，在我國經濟發展上扮演著重要角色。TFT-LCD產品應用範圍相當廣泛，包括Notebook、LCD Monitor、LCD TV、汽車用顯示器、投影機、數位相機及其他多種產品，而TFT面板所以能呈現彩色的影像，主要依靠彩色濾光片(Color Filter, CF)，因背光源透過液晶及驅動IC的控制形成灰階光源，而彩色濾光片上塗佈著紅、綠、藍三色顏料光阻，光源再通過彩色濾光片即形成紅、綠、藍色光，最後在人眼中混合形成彩色影像。彩色濾光片基本結構由玻璃基板(Glass Substrate)、黑色矩陣(Black Matrix)、彩色層(Color Layer)、保護層(Over Coat)及銦錫氧化物(Indium Tin Oxides, ITO)導電膜所組成，利用濺鍍、塗佈、顯影、蝕刻等方式使彩色原料附著於玻璃基板上，然在生產過程中為維持製程良率之穩定均會安排如每週、月、季、年對機台進行預防保養作業(Preventive Maintenance, PM)，同時增加了作業人員暴露於危害物質之風險，造成污染物藉由各種暴露途徑進入人體而影響人體之健康。

其中導電層濺鍍製程所使用之原物料為氧化銦錫靶材，在生產過程中各腔體均密閉，無銦錫氧化物逸散之問題，但在預防保養作業中，作業人員需打開腔體，並以去離子水(DI Water)或是酒精進行腔體擦拭或是靶材更換等作業，而造成作業人員暴露於有害物質之作業環境中。

本研究針對彩色濾光片製造過程中導電層濺鍍製程(Sputter)於預防保養作業時進行採樣分析，以了解該作業環境中有害物質種類及其濃度分佈；並藉由數據分析的結果，提供業界對濺鍍製程作業環境之重視及改善，並提供勞工一個安全的作業環境，使其可以專心從事生產並提高競爭力。

1.2 研究目的

本研究主要為提供既有與新建中的彩色濾光片廠作業場所職業安全衛生改善措施與管理之參考評估依據。本研究目的為：

- 1.透過無塵室導電層濺鍍作業區域量測以瞭解該作業區域中環境空氣中粉塵物種及其濃度分布狀況。
- 2.了解彩色濾光片製造廠導電層濺鍍作業區域，是否符合我國勞安法令現行的作業環境容許濃度標準及FPD製造系統的環境、衛生與安全基準(SEMI S26-0308)的建議標準。
- 3.作為導電層濺鍍作業區域作業環境改善及作業標準程序訂定之參考及依據，減少勞工與有害物質接觸之頻率。
- 4.提出作業場所職業安全衛生管理之建議。

1.3 研究範圍

以某4.5代彩色濾光片製造廠為主要研究對象，選擇濺鍍製程中所產生之銻錫氧化物 (Indium Tin Oxide) 粉塵，研究其逸散情形及濃度分佈狀況。



二、文獻回顧及探討

2.1 彩色濾光片製程簡介

薄膜電晶體液晶顯示器(Thin-Film Transistor Liquid-Crystal Display, TFT-LCD)技術最早源於美國，經過一連串的研發與改良後由日本將該技術產業化，並於在1991年時成功的商業化為筆記型電腦用面板，TFT-LCD應用範圍極為廣泛，隨著技術之發展挾帶著高對比、高亮度、輕薄、低輻射、低耗電量等優勢逐漸取代原有之傳統式陰極射線管(Cathode ray tube, CRT)市場，進而擴展至LCD TV、LCD Monitor、汽車用顯示器等領域。簡單來說TFT-LCD是以電信號控制的光開關裝置，薄膜電晶體液晶顯示器的立體結構圖如圖2.1所示，其運作原理為利用電流通過電晶體所產生電場之變化，驅動介於兩片玻璃基板中液晶之排列方向，並藉由液晶之偏轉來決定光線之穿透量，再利用偏光板來決定畫素之明暗狀態，透過上層之彩色濾光片，利用紅、藍、綠三原色混色原理來提供面板上之彩色畫面。【1】【2】

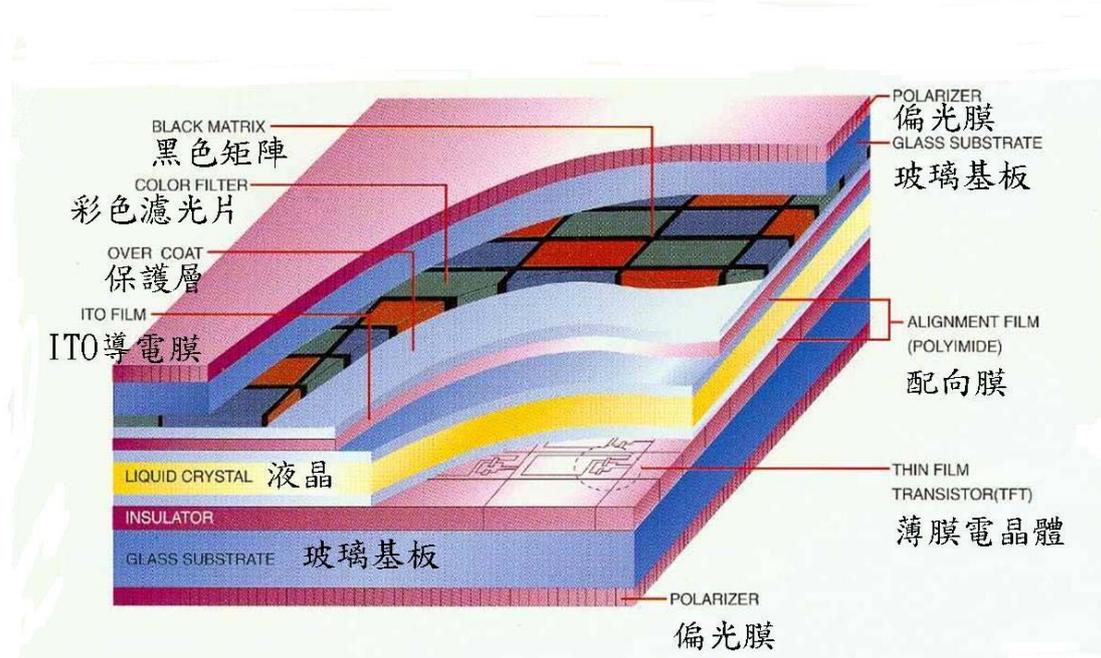


圖 2.1 薄膜電晶體液晶顯示器的立體結構圖

人類的能辨視不同顏色的主要關鍵乃是因眼睛中視覺神經細胞的動作所致，根據不同波長之光波而有響應反射強弱之別，其中視覺神經對紅色光(580nm~650nm)、藍色光(450nm~490nm)、綠色光(490nm~560nm)有強烈之響應反射，人眼就是藉由響應反射之強弱及混色原理來辨視各種色彩。彩色濾光片即是利用空間混色技術在玻璃基板上製作許多紅、綠、藍的圖素，每個圖素對應液晶顯示器上的一個畫素，當白色背光通過這些圖素後，變成紅、綠、藍光構成三原色光，並經由外加驅動電壓驅使液晶分子改變排列狀態，藉以控制光線的偏極性與光透過率，隨著偏光角度的改變，各個不同強度的光經彩色濾光膜的紅、綠、藍子畫素後再混色加成，即顯現出不同顏色及亮度的畫素，使得液晶顯示器得以彩色化，故彩色濾光片為決定平面顯示器之對比、色澤、鮮明度..等特性的關鍵零組件。

彩色濾光片之製作方法可分為顏料分散法、染色法、印刷法及電著法等四種，其中顏料分散法所製造之彩色濾光片，具有高精密度及較佳之耐光性與耐熱性，目前成為TFT型彩色濾光片之製造主流，最基本的彩色濾光片其結構為玻璃基板(Glass Substrate)上製作防反射之黑色遮光層，稱為BM層(Black Matrix)，再依序製作上有透光性紅、綠、藍三原色之彩色濾光膜層(Color Layer) (濾光層之形狀、尺寸、色澤配列，依不同用途之液晶顯示器而異)，最後濺鍍上透明導電膜(Indium Tin Oxides)，依平面顯示器之用途可再搭配廣視角(Multi-Domain Vertical Alignment)製程及間隙層(Photo Spacer)製程，以提升產品之競爭性及附加價值，如圖2.2所示。【1】【2】【22】

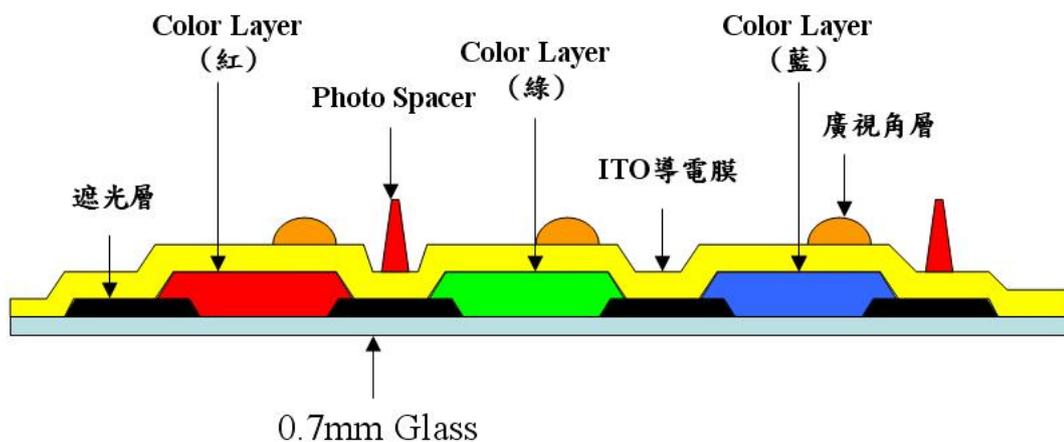


圖 2.2 彩色濾光片側剖面圖

本研究之研究對象A公司是利用顏料分散法之彩色層形成，其製造流程如圖2.3所示，相關流程及步驟說明如下：

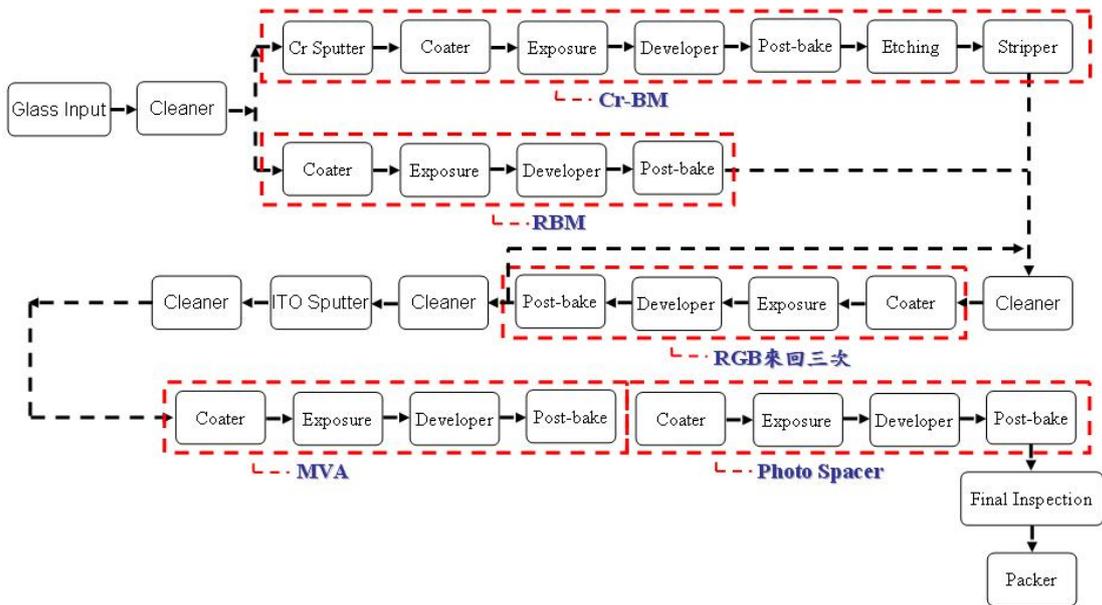


圖 2.3 彩色濾光片製造流程圖

(1) Glass Input

在彩色濾光片製程中會經過一些高低溫處理，故玻璃基板的膨脹係數若過大，會因為熱漲冷縮效應而造成層膜之剝離或破裂的不良，且玻璃基板中之鹼離子濃度不得過高，避免溶出而破壞 TFT 元件。玻璃基板在經過每道製程前後，都會經過 UV/IR、超音波洗淨、空氣刀乾燥(Air Knife)等一連串之清洗程序，確保基板上不會附著微粒、有機物質或是殘留之光阻，同時也增加玻璃基板之表面性質。UV 洗淨原理為藉由發射出來的紫外光會將空氣中的氧轉換成臭氧，臭氧會與基板上的有機物質反應並分解有機物質，進而達到清潔之目的，如圖 2.4。

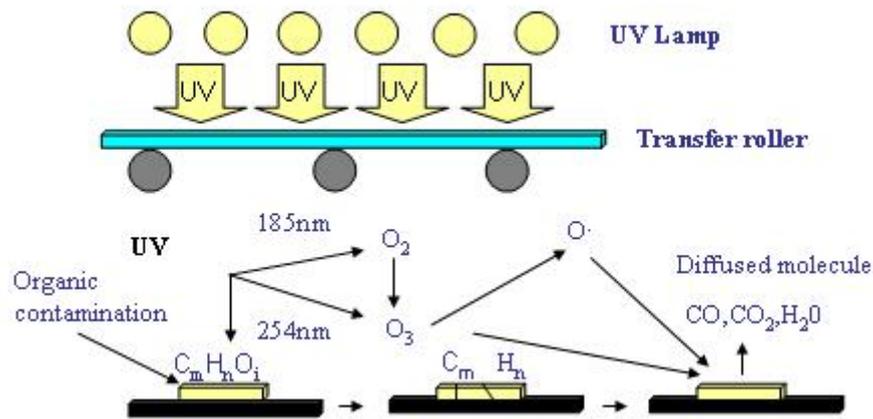


圖 2.4 UV 清洗機台原理

(2) Black Matrix

BM 層主要目的為：(A) 為了提升 LCD 對比 (B) 防止 TFT 元件產生光漏電流 (C) 遮擋 LCD 顯示時的一些斜漏光不良，BM 層目前之製作方式有兩種，一種為將金屬鉻或金屬鉻與氧化鉻的複合物以真空濺鍍之方式鍍在玻璃基板上，形成鉻金屬濺鍍層，再依序經過光阻塗佈 (Coating)、曝光 (Exposure)、顯影 (Developed)、蝕刻 (Etch)、光阻剝離 (Stripper) 等製程即完成 BM 層之製作，稱之為 Cr-BM。另一製作方式為利用黑色樹脂取代鉻膜做為 BM 層，製作方式依序經由光阻塗佈、曝光、顯影、蝕刻，即完成 BM 層之製作，稱之為 RBM。黑色矩陣主要要求的特性有遮光性、無缺陷、低反射性、均一性.. 等，故鉻及其氧化物為早先最常使用之材料，但為了符合歐盟環保政策 (The Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment, RoHS) ，於 2007 年已禁止將鉻進口，鉻製程將會由 RBM 取代，如圖 2.5。

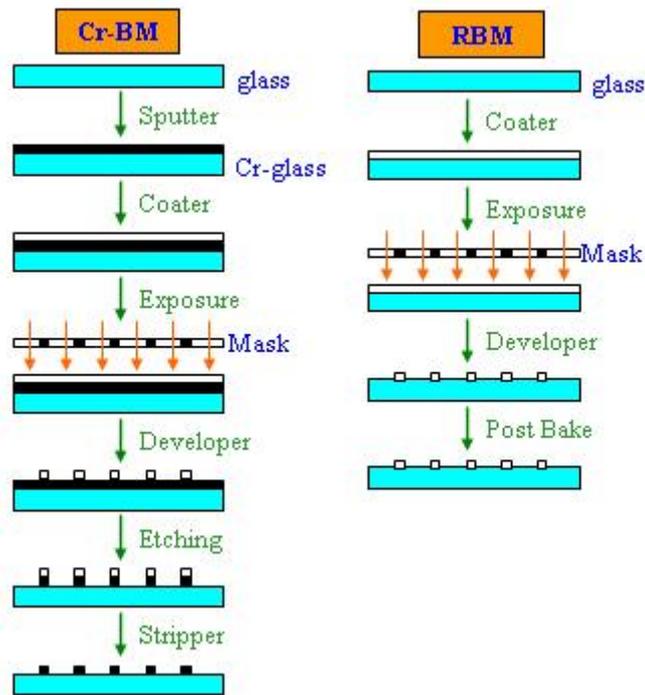


圖 2.5 BM 製程流程圖

(3) 紅藍綠(R、G、B)Color Layer 製程

一般光阻包含包括樹脂(resin)、感光劑(Photo Active Compound, PAC)和溶劑(solvent)三部份，依遇光特性可分成正型光阻和負型光阻。正型光阻之特性為曝光部份可溶於顯影液中，可運用於解析度要求較高之製程；負型光阻之特性為曝光部分不溶於顯影液中，熱安定性及抗蝕刻性比正型光阻好。

光阻塗佈方式目前有 Spin 及 Slit & Spin 兩種方式，Spin Coater 是藉由 Nozzle 從上方將光阻滴落在玻璃基板上，藉由離心力旋轉將光阻均勻塗佈在玻璃基板上；Slit & Spin Coater 則是利用 Slit Nozzle 將光阻擴展塗佈在在玻璃基板上，然後再利用離心力旋轉，來達到均一之膜厚。兩種塗佈方式各有優缺點，Spin Coater 塗佈之膜厚均一性良好，但光阻利用率過低，約有 90% 之光阻被浪費，造成製作成本之上升；Slit & Spin Coater 雖可以減少光阻之耗損，但 Nozzle 容易阻塞，造成良率之降低。Color Layer 製程即為在附著有黑色矩陣(BM)的玻璃基板上，利用 Spin 或是 Slit & Spin 方式塗佈感光型負型光阻，在曝光機紫外線透過光罩(Photo Mask)照射下進行自由基聚合反應形成交鏈結構而硬化，而 Pattern 上之紅、綠、藍畫素(Pixel)排列方式，依顯示器之用途及視訊電極(Pixel Electrode)之形狀和大小而定，可分為馬賽克式、直條式、三角形式、四畫素等方式，另

外曝光的種類有近接式(Proximity)及步進式(Stepping)兩種，以步進式的解析度較佳，且光罩較便宜。在顯影階段利用鹼性顯影液將非曝光區域溶解，得到所需要之圖案，最後進入硬烤(Post-bake)製程，將光阻完全的硬化，在進行後段製程時不易剝落；並去除顯影所造成之光阻之膨脹及殘留之水分，增加附著力及平坦度，如圖 2.6 所示。

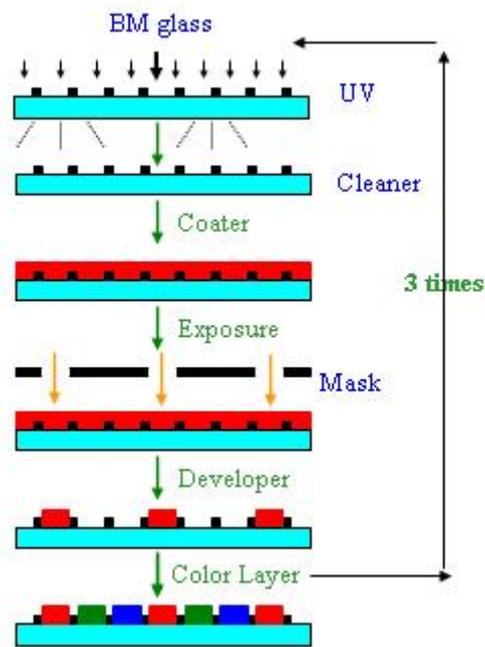


圖 2.6 RGB 製程流程圖

(4) ITO Sputter

所謂透明導電膜是指可以被可見光穿透，且導電性良好的薄膜，目前平面顯示器幾乎都是使用 ITO 膜，主要是因 ITO 膜具有低電阻、高透過率、蝕刻容易及大面積製作優點，濺鍍法製程為在真空腔體內施加電場，使氬氣產生輝光放電，並衝擊到 ITO 靶材的表面，使之濺鍍到玻璃基材表面而堆積成膜。由於薄膜本身是良導體，所以一般皆具有高濃度的自由載子(Free Carrier)，因此使得透明導電膜在不同的光波長範圍內，會展現不同的行為，如：具光選擇性，因它會反射紅外光、吸收紫外光和使可見光穿透。在素玻璃上面做了 BM、R、G、B 的 Pattern，再鍍上透明電極膜 ITO，即完成基本彩色濾光片的製程，如圖 2.7 所示。

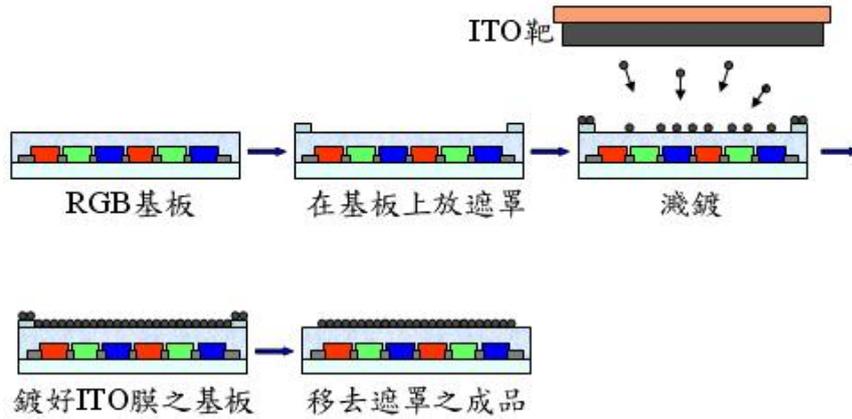


圖 2.7 濺鍍製程示意圖

(5) 廣視角 (Multi-Domain Vertical Alignment) 製程

傳統的液晶顯示器中，背光源通過液晶、配向膜後，輸出光便具備了特定的方向特性，因此從不同角度觀看螢幕時，將會發現顯示器有灰階反轉之現象，再者因液晶響應速度過慢而造成畫面失真及次序錯亂，容易造成使用上之不便，故有廣視角技術的發明來克服上述之問題。其原理為利用突出物使液晶靜止時並非傳統的直立式，而是偏向某一個角度靜止；當施加電壓讓液晶分子改變成水平以讓背光通過則更為快速，這樣便可以大幅度縮短顯示時間，也因為突出物改變液晶分子配向，讓視野角度更為寬廣，如圖 2.8 所示。而其製作方式為將 MVA 光阻塗佈在附著有 ITO 導電膜的玻璃基板上，依序經過預烤(Pre-bake)、曝光、顯影、硬烤等製程。

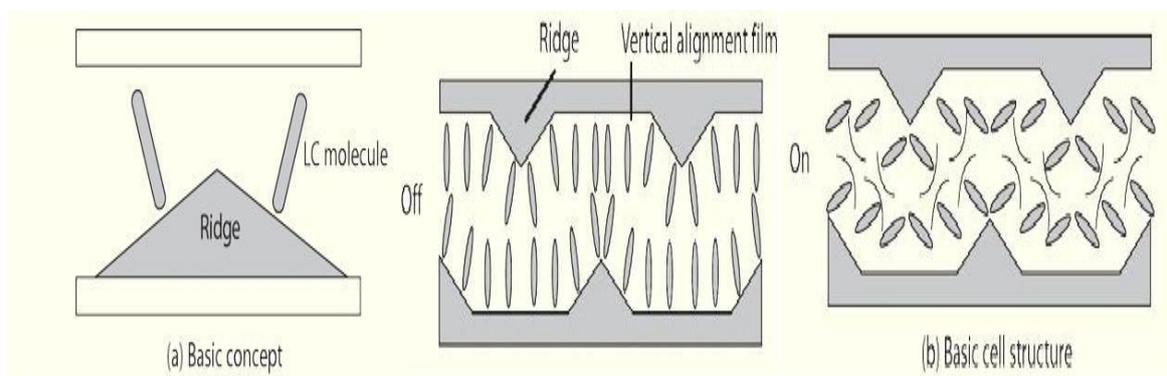


圖 2.8 廣視角原理示意圖

(6) Photo Spacer

感光性柱狀間隔控制材料(Photo Spacer)，其主要目的為(A)較佳的間隙厚度(cell gap)均勻性。(B)降低漏光，提高對比。TFT-LCD 面板組裝(Cell)製程有一段要灑間隙子(Space)，其目的在於 TFT 及 CF 面板中間有間距，以使液晶能在裏面做旋轉動作，而既有之模式(以灑佈機灑佈間隙子)無法精確控制所有間隙子之大小及分佈為均一，且塑膠球在 cell 中有可能移動，將造成 cell gap 均勻度不易控制，影響產品良率，Photo-Spacer 材料為受光反應的一種光阻材料，其形狀為柱狀體，而製作方式為將 Photo-Spacer 材料，塗佈在彩色濾光的 ITO 玻璃面板上，在經過預烤、曝光、顯影和硬烤等步驟來精確控制 spacer 大小及所在位置，並將其固定在 BM 層上方，避免因 spacer 造成漏光所導致的影像品質下降，如圖 2.9 所示。

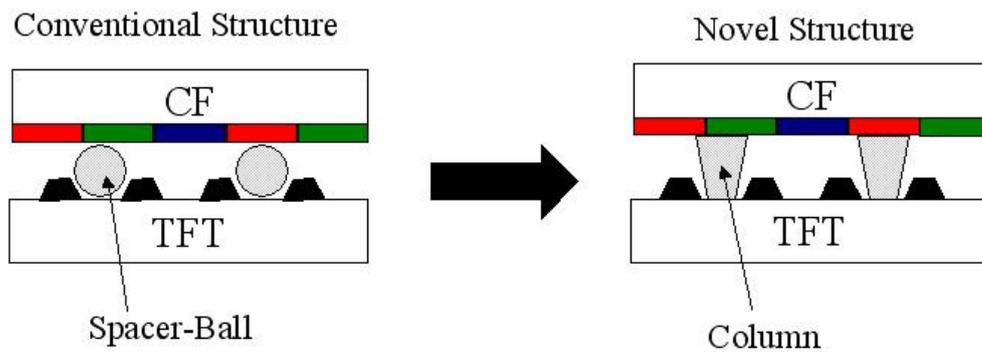


圖 2.9 Photo Spacer 示意圖

2.2 粉塵種類及危害性

粉塵是指懸浮在空氣中的固體微粒，因機械過程(破碎、篩分、運輸等)而產生的微細粒子，能在氣體中分散(懸浮)一定時間的固體粒子，稱為粉塵。粉塵的粒徑範圍很廣，由細至1/10微米到數百微米。習慣上對粉塵有許多名稱，如灰塵、塵埃、煙塵、礦塵、砂塵、粉末等，這些名詞並沒有明顯的界限。國際上將粒徑小於75微米的固體懸浮物定義為粉塵。粉塵依其特性可分為兩大類：(1)非礦物性粉塵(2)礦物性粉塵，非礦物性粉塵又區分為動物性粉塵與植物性粉塵，動物性粉塵如羊毛、皮屑、絹絲..等易引起過敏性氣喘；植物性粉塵如木材、松香、花粉..等易引起皮膚過敏性疾病及肺部疾病。礦物性粉塵區分為金屬性粉塵、含游離二氧化矽(free silica)之粉塵、含矽酸鹽(silicate)

之粉塵及厭惡性粉塵等四種，金屬性粉塵如金、銀、銅..等，易引起全身性中毒、化學性肺炎及良性塵肺症如鉛中毒、鐵肺症..等；含游離二氧化矽之粉塵，在自然界游離矽存在於燧石和石英中，易引起肺纖維化的塵肺症；含矽酸鹽之粉塵是矽酸鹽與氧化鈣和氧化鎂等結合形成之鹽類與游離矽不同，其危害性較小，除了石綿(asbestos)及一些滑石(talc)外，矽酸鹽不會像游離矽造成嚴重的肺障害；厭惡性粉塵可導致輕度不適、刺激、過敏等現象，但除非濃度過高使其在呼吸系統內的沈積量超過人體本身的清除能力，一般不致造成重大危害如煤灰與石膏等。

粉塵的暴露會造成肺部的疾病是台灣最早被報告的職業性肺部疾病，其中最備受關注的就是塵肺症，「塵肺症」一詞是用以泛指因吸入粉塵導致的一種肺部病變的通用名稱。這一類致病性的粉塵，許多能造成肺臟的纖維化反應，產生明顯的臨床症狀。塵肺症之發生與粉塵之大小、粉塵之濃度、暴露時間及微粒沈積在呼吸系統位置有關，人類之呼吸系統主要分為三個區域，頭部、支氣管及肺泡，頭部包含鼻腔、嘴、咽、喉等，支氣管包含氣管、支氣管直到終端支氣管，呈樹狀結構，肺泡包含肺泡囊及相關連接管路，如圖2.10所示。【3】

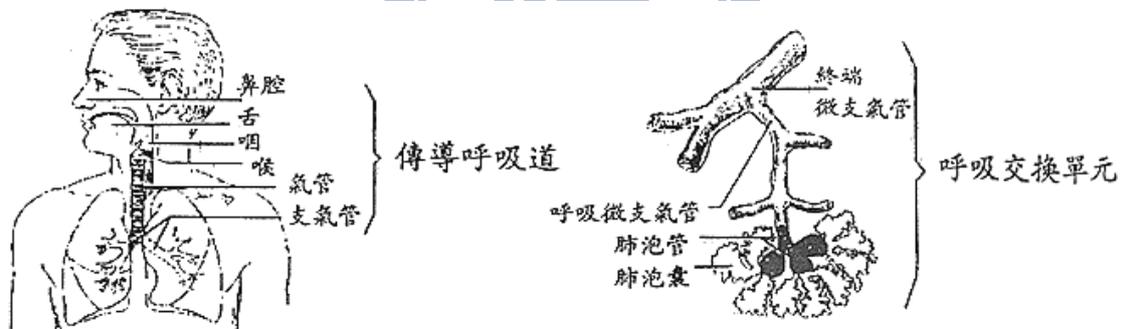


圖 2.10 人類呼吸系統

空氣中之粉塵微粒會因為慣性衝擊、重力沈降、布朗擴散、靜電沈澱、攔截等作用而在呼吸道中沉積，而人體呼吸道清除機制隨著沈積位置及粉塵特性而異，頭部與支氣管區的呼吸道表面覆有一層黏液，黏液在纖毛運動的推動下，可在數小時內將沈積物排出呼吸系統。沈積於肺泡的微粒可分為可溶性與不可溶性兩種，可溶性微粒可透過肺泡薄膜滲入血液，經由身體內的循環，對未直接接觸的生理系統產生危害，特別是腎、血液與中樞神經系統。不可溶微粒則須經長時間分解、或經由巨噬細胞(phagocytic cell)吞食分解或攜帶至可由纖毛黏液清除之處，清除過程可能需歷時數月之久，因此沈積於肺

泡區的微粒所造成的健康危害通常較大。以工業衛生角度而言依照ISO、美國政府工業衛生師協會(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)及歐洲標準組織(Comite Europeen de Normalization, CEN)之定義，粉塵藉由呼吸作用進入呼吸道位置的不同，可分為可吸入性粉塵、胸腔區粉塵及可呼吸性粉塵三種，如圖2.11所示，分別介紹如下：

- (一) 可吸入性粉塵(Inhalable Particulate Mass, IPM)：所謂可吸入性粉塵係指能在呼吸時經由口鼻進入人體呼吸系統之粉塵，其氣動直徑 $\leq 100 \mu\text{m}$ 。
- (二) 胸腔區粉塵(Thoracic Particulate Mass, TPM)：穿過呼吸道後進入支氣管的粉塵，其質量中位數氣動粒徑 $=10 \mu\text{m}$ 。
- (三) 呼吸性粉塵(Respirable Particulate Mass, RPM)：指通過人體呼吸系統之支氣管後，能進入肺泡區之粉塵，其質量中位數氣動粒徑 $=4 \mu\text{m}$ 。

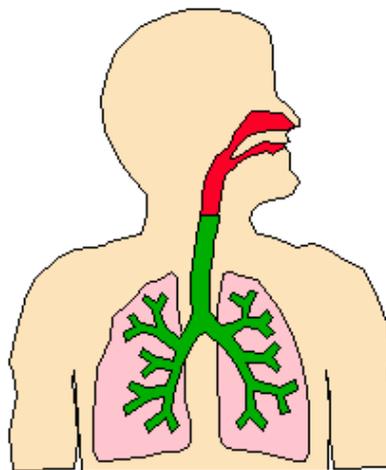


圖 2.11 呼吸道粉塵沉積示意圖

郭等(1998)之研究指出，粒狀物在空氣中之行為與其氣動直徑(aerodynamic diameter)有關，最容易進入肺泡之微粒其氣動直徑約介於 $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ 之間，大於 $5 \mu\text{m}$ 之微粒於上呼吸道便會沉積，而小於 $0.1 \mu\text{m}$ 之微粒容易隨著氣流進出呼吸系統。因此，氣動直徑介於 $0.1 \sim 5 \mu\text{m}$ 間之微粒最容易影響肺泡，亦為最容易被人體所吸收，故其對人體危害最大。

因粉塵所引發之疾病中，較輕微者如慢性阻塞性肺疾病、氣喘、肺氣腫，較嚴重者為矽肺症與肺癌，其中矽肺症肺為塵肺症中罹患最多、症狀最嚴重之症狀之一。根據勞工保險統計資料顯示，塵肺症位居我國職業病給付排行榜首位，十年來每年皆佔百分之七十到百分之八十以上，易引起塵肺症之礦物主要為「石綿」及「結晶型游離二氧化矽」，石綿(Abestos)為天然纖維礦物與含水之矽酸鹽礦物之總稱，國際癌症組織於1996年確認石綿之致癌性，石綿所引起之石綿肺是一種廣泛肺間質纖維化疾病，容易惡化為肺癌，於許多工業衛生之資料中都有論述，而二氧化矽所引起之塵肺症又稱矽肺症，其於肺內形成細小而個別的纖維性小結，造成肺部纖維化產生無法治癒之病變。【28】

在工業安全中粉塵爆炸，係指粉末狀之可燃性固體在空氣中以分散(懸浮)之狀態存在時，與爆炸性混合氣體相同，當供給熱能時則起爆炸，屬於化學性爆炸。粉塵爆炸之影響因素為粉塵之化學性質及粒徑與粒度之分布，一般而言粉塵之爆炸界限不易測定，但通常之數字為25-45mg/L~80mg/L，起爆能量則需 10^{-2} ~ 10^{-3} Joul，其主要特徵為爆炸壓力之持續時間較長，爆炸壓力之上升速度相較於混合氣體之爆炸較緩，但最大壓力則大約相等。台灣位處於高溫多濕地帶，靜電不易蓄積，相較於歐美粉塵爆炸較少發生，但仍不可輕忽其危險性。【27】【29】

2.3 國內法規管制現況

粉塵作業危害勞工身心健康甚鉅，行政院勞工委員會為避免作業勞工長期暴露於粉塵作業環境下而造成職業疾病，於「勞工安全衛生法中」明定雇主應提供必要之安全衛生設備以防止粉塵作業引起之危害，並於「勞工安全衛生法施行細則」中規定，粉塵作業為特別危害健康作業，應於每半年或作業條件改變時實施作業環境測定，並依「勞工安全衛生組織管理及自動檢查辦法」於作業前應實施作業檢點，並在「勞工健康保護規則」中則規定粉塵作業之勞工應定期實施健康檢查，檢查紀錄應保存十年以上，並將粉塵作業勞工之健康管理分為四級(如表2.1)，健康管理之劃分為管理一者，每二年定期實施健康檢查；健康管理之劃分為管理二、三者，每年定期實施健康檢查；健康管理之劃分為管理三者，應調換至非粉塵作業場所；健康管理之劃分為管理四之勞工，應予療養。

表 2.1 粉塵作業勞工之健康管理

健康管理之劃分	塵肺健康檢查結果
管理一	一、X光照像無顯示有塵肺變化者。 二、X光照像為第一型。
管理二	一、X光照像為第二型、第三型，且無由塵肺引起之中度或重度肺功能障礙者。 二、X光照像為第四型而大陰影總面積不超過右上三分之一肺野，且無由塵肺引起之肺功能障礙者。
管理三	一、X光照像為第二型、第三型，且有由塵肺引起之中度肺功能障礙者。 二、X光照像為第四型而大陰影總面積不超過右上三分之一肺野，且有由塵肺引起之輕度或中度肺功能障礙者。 三、X光照像為第四型而大陰影總面積超過右上三分之一肺野，且無由塵肺引起之中度或重度肺功能障礙者。
管理四	一、X光照像為第二型、第三型或第四型，且有由塵肺引起之重度肺功能障礙者。 二、X光照像為第四型而大陰影總面積超過右上三分之一肺野，且有由塵肺引起之中度肺功能障礙者。

而依據「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」中規定，將粉塵分為四種。第一種粉塵係指所含游離二氧化矽 (Free silica) 10% 以上之礦物性粉塵；第二種粉塵係指所含游離二氧化矽未滿 10% 之礦物性粉塵；第三種粉塵係指纖維長度在五微米以上，長寬比在三以上之石綿粉塵。第四種粉塵則是指厭惡性粉塵 (nuisance dust)。其容許濃度標準如表 2.2 所示。

表 2.2 空氣中粉塵容許濃度

種類	粉塵	容許濃度		符號
		可呼吸性粉塵	總粉塵	
第一種粉塵	含游離二氧化矽一〇%以上之礦物性粉塵	$\frac{10mg}{m^3}$ $\% SiO_2 + 2$	$\frac{30mg}{m^3}$ $\% SiO_2 + 2$	
第二種粉塵	未滿一〇%游離二氧化矽之礦物性粉塵	1 mg/m ³	4 mg/m ³	
第三種粉塵	石綿纖維	每立方公分一根		瘤
第四種粉塵	厭惡性粉塵	可呼吸性粉塵	總粉塵	
		5 mg/m ³	10 mg/m ³	

作業環境空氣中之有害物質濃度不得超出規定，表中未列有容許濃度值之有害物經測出者，皆視為超過標準，並依暴露時間的不同將空氣中有害物容許濃度訂有：

- (一) 八小時日時量平均容許濃度：工每天工作八小時，一般勞工重複暴露此濃度以下，不致有不良反應者。
- (二) 短時間時量平均容許濃度：依據表 2.3 之變量係數所計算出來之濃度一般勞工連續暴露在此濃度以下任何十五分鐘，不致有不可忍受之刺激、慢性或不可逆之組織病變、麻醉昏暈作用、事故增加之傾向或工作效率之降低者。
- (三) 最高容許濃度：不得使一般勞工有任何時間超過此濃度之暴露，以防勞工不可忍受之刺激或生理病變者。

其中濃度以 ppm 或 mg/m^3 表示。此外空氣中粉塵容許濃度，其單位為 mg/m^3 ，但石綿濃度以根/cc 表示。

表 2.3 變量係數表

容許濃度	變量係數	備註
未滿 1	3	表中容許濃度氣狀物以 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、粒狀物以 mg/m^3 、石綿 f/cc 為單位。
1 以上，未滿 10	2	
10 以上，未滿 100	1.5	
100 以上，未滿 1000	1.25	
1000 以上	1	

若作業環境空氣中有二種以上有害物存在而其相互間效應非屬於相乘效應或獨立效應時，應視為相加效應計算之，且作業環境空氣中有害物之濃度應符合下列規定：

- 一、全程工作日之時量平均濃度不得超過相當八小時日時量平均容許濃度。
- 二、任何一次連續十五分鐘內之時量平均濃度不得超過短時間時量平均容許濃度。
- 三、任何時間均不得超過最高容許濃度。

其中時量平均濃度之計算方式如下：

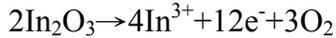
時量平均濃度 = [第一次某有害物空氣中濃度×工作時間 + 第二次某有害物
空氣中濃度×工作時間 + ... + 第 n 次某有害物空氣中濃度×工作時間] / 總工作
時間。



2.4 彩色濾光片製程粉塵形成機制

TFT-LCD運作原理為利用電流通過電晶體所產生電場之變化，驅動介於兩片玻璃基板中液晶之排列方向，並藉由液晶之偏轉來決定光線之穿透量，當光線穿透上層之彩色濾光片，形成面板上之彩色畫面。因此須在彩色濾光片鍍上一層與TFT Array的畫素(pixel)電極相對應的共通電極，使液晶分子可受到上下基板電極間的電場作用而控制光的通過。因此該電極需具備「透明性」與「導電性」兩種性質。

一般透明的材料其能階往往很大傳導電子數目很少；導電性的材料上因為具有高濃度的自由載子，導致降低它的透明度，而氧化銦錫是一種銦(III族)氧化物(In_2O_3)和錫(IV族)氧化物(SnO_2)的混合物，它是種兼具「透明性」和「導電性」兩種矛盾特性的特殊稀有材質，ITO薄膜主要吸收光譜波長在紫外光範圍內，可見光波長範圍內很少被吸收而呈現透明，而ITO薄膜是把 SnO_2 植入 In_2O_3 薄膜中，由於氧的空缺使得 In^{3+} 產生了電子 e^- 和參雜的 Sn^{4+} 離子在晶格內做置換，產生電子的施體(Donor)與載體(Carrier)，即提供給了導電所需要的電子和電洞，下列為 In_2O_3 的導電方程式：



ITO因為具有低電阻與高透光率之特性，故又稱透明導電膜，可製備成透明電極材料，因而被廣範應用於光電產業面板、太陽能電池及半導體各種產品中。

薄膜成膜技術有很多種，依反應原理可分為物理氣相沉積(Physical Vapor Deposition, PVD)和化學氣相沉積(Chemical Vapor Deposition, CVD)，CVD是一種利用氣相反應物，或是前驅物(precursor)，在基材(substrate)表面進行反應，待到基材表面固態沈積物的薄膜沉積技術。而PVD依技術不同主要可分為：

A. 蒸鍍(Evaporation)：以熱將蒸鍍源加熱，使蒸發成蒸氣，再至被鍍物上沈

積。

B. 濺鍍(Sputtering)：利用電漿所產生的離子，藉著離子對被覆材料電極的

轟擊，使電漿內具有被覆材料的原子，再進行薄膜沉積反應。

在彩色濾光片製程中考量良率及穩定度的條件下，大都選擇濺鍍法作為ITO膜之主要製程，其中又以採用氧化物的靶材及磁控直流濺鍍法(DC magnetron sputtering)作為鍍膜之主要技術，其原理為在真空腔體內通入惰性氣體(Ar)，並施加一高壓，使的Ar內少量的自由電子獲得動能，碰撞氣體分子使其游離成正離子(Ar^+)和電子，電場中的正離子(Ar^+)受靶材負偏壓的吸引，加速撞擊靶材(target)，經動量交換後，將靶材表面原子、二次電子(Secondary electron)等濺射出，使其在基板表面上沈積，形成薄膜，而二次電子朝陽極(基板)加速，並於加速過程中再撞擊Ar氣體，使游離出更多帶正電離子(Ar^+)，此正電離子再由負高壓來加速並撞擊靶材，而為了增加離子對位於陰極的金屬靶的撞擊，在陰極靶面上加入環狀的封閉磁場，磁力線由靶的表面外環穿出，並由靶心穿入，藉由磁場與電場間的電磁效應，提高二次電子與氣體分子碰撞之頻率，且由馬達來回移動控制，增加靶材使用率及減少回濺物之沉積，如圖2.12。

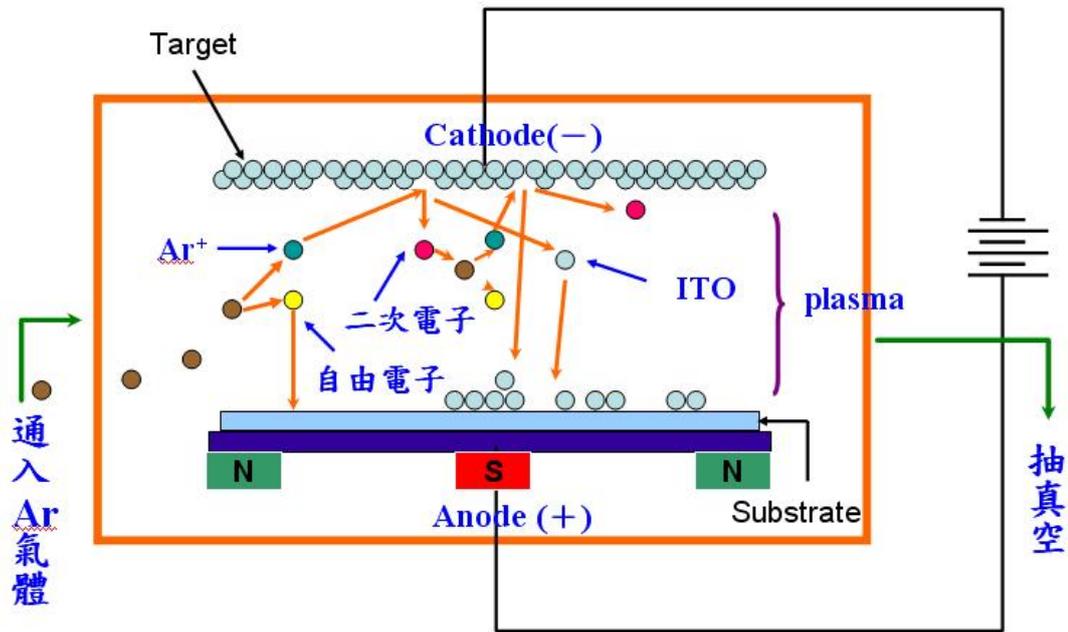


圖 2.12 濺鍍製程原理示意圖

本研究之某彩色濾光片廠是採用Applied Films的磁控直流濺鍍機台，如圖2.13所示，Applied Films所設計的濺鍍機台共有16個腔體，腔體間兩兩相互對應，其俯視圖如圖2.14所示，其鍍膜程序為：腔體抽真空後，玻璃基板由Chamber1.1旋轉單元進入經由carrier輸送，依序經過各Chamber至Chamber10之旋轉單元，藉由Chamber10.1 360度之旋轉將玻璃基板帶至Chamber10.2，並依序到Chamber2.2，並由Chamber1.2旋轉單元將玻璃基板帶出，即為一完整的鍍膜程序。而過程中各Chamber需維持一定程度之真空，並通入製程所需之Ar氣體，藉以達到控制膜厚之目的。



圖 2.13 Applied Films 的磁控直流濺鍍機台

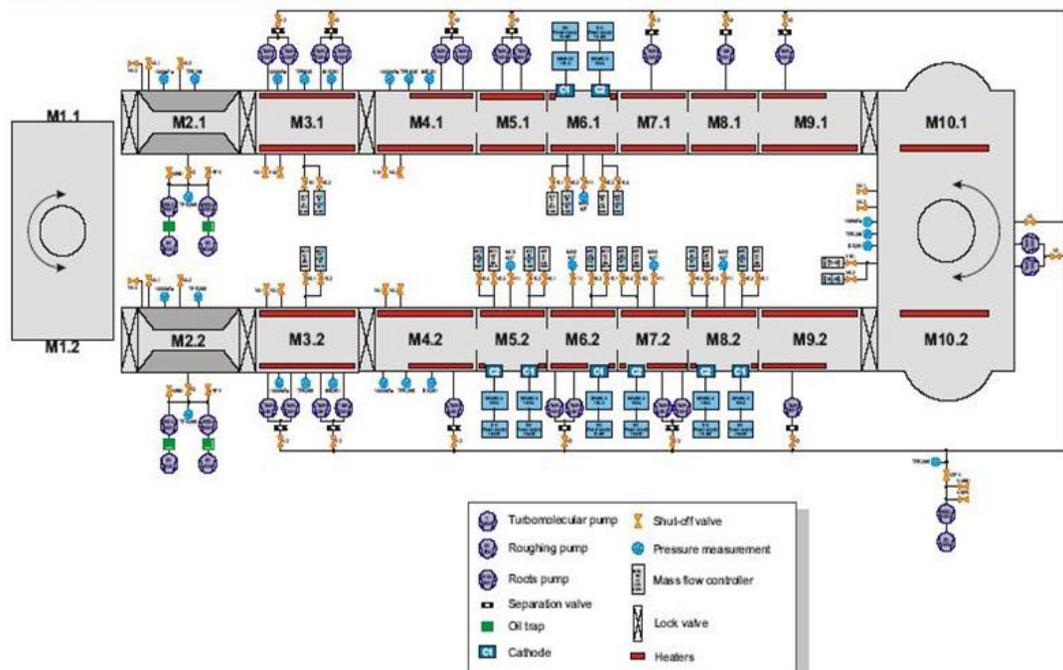


圖 2.14 Applied Films 的磁控直流濺鍍機台俯視圖

然在鍍膜製程中為維持製程良率之穩定均會安排如每週、月、季、年對機台進行預防保養作業(Preventive Maintenance, PM)，或是當靶材利用率下降、品質異常亦會進行保養清潔等作業，此時就必須打開Chamber對鍍膜機之各機構進行清潔或是更換靶材等動作。

根據工研院IEK研究報告指出，國內並無銦之礦產，因此所需之材料大多透過代理商由生產國進口，依代理商統計資料指出，目前國內每年約進口240噸的ITO靶材，而依據透明電極鍍層製法估算，在濺鍍製程中大約不到30%的氧化銦錫沉積在玻璃基板上，有超過70%的損失在設備的腔壁、披覆板及擋板上，另外在蝕刻製程中，有部分的銦會存在蝕刻液中，若依據靶材使用量50%估算(約使用50%後即由代理商回收至國外)，一年則有90噸(120噸 \times (3/4))的氧化銦錫留在濺鍍之腔體中，當人員實施預防保養或是更換靶材時，若無配帶合適之防護裝備，則有暴露於危害物質作業環境之可能，對於作業人員之健康將造成相當程度之傷害。【19】【20】

2.5 銦錫氧化物之危害性

隨著全球數位化技術的發展，推動了行動通訊和衛星數字傳輸的高度成長，刺激了液晶顯示器等零件的增加，國際市場上對於氧化銦錫的需求量呈倍數成長，由1990年的133噸成長到2006年之810噸。氧化銦錫是一種氧化銦(III A族， In_2O_3)和氧化錫(IV A族， SnO_2)的混合物，通常質量比為90% In_2O_3 和10% SnO_2 。

氧化銦錫材料是一種n型半導體材料，具寬能隙(約3.5~4.3eV)的簡併半導體(degenerate semiconductor)，具有高導電率($1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$)、可見光高透過率(穿透率約為80~90%)，其理論密度為 7.5g/cm^3 。氧化銦為體心立方晶格結構(cubic bixbyite)，如圖2.15所示，但因錫的摻雜(doping)使得晶格略微膨脹(In_2O_3 的晶格常數 $a=10.118 \text{Å}$ ，ITO則為 $10.118 \text{Å} < a < 10.31 \text{Å}$)，而典型ITO薄膜的顆粒大小(particle size)直徑介於 $400 \text{Å} \sim 600 \text{Å}$ ，因為其特殊之物理及化學性質，被廣泛的運用於醫藥衛生、電子光電、國防軍事、航太航空等產業，但隨著氧化銦錫大量的被運用在各種產品中，其對於環境及人體是否具有危害性也引起了大眾的關注。【17】【18】



圖 2.15 氧化錫晶體結構圖

1998年及2002年日本發生了二起因吸入氧化錫而導致肺部疾病之案例，兩起案例皆發生在生產製造液晶顯示器所需之氧化錫鍍靶(sputtering target)之金屬處理工廠，兩案例之勞工皆為從事濕式表面研磨之作業，皆因乾咳、呼吸困難始就醫，經系列診斷(血液、胸部電腦斷層攝影)發現肺部組織纖維化，並經掃描式電子顯微鏡X-Ray光譜分析，這些粒子為錫和錫氧化物，因此判定為吸入氧化錫導致間質性肺炎(interstitial pneumonia)。【16】

2008年中國江蘇省也發生了一起錫中毒之案例，該員勞工任職於手機液晶顯示螢幕的企業勞工，工作內容為把金屬粉噴在液晶螢幕模板上。該名勞工因開始出現嚴重咳嗽、氣喘和持續發燒等症狀就醫，經診斷後其血液中錫含量為常人的300倍，該員被診斷為錫中毒。【25】

2000年美國協同測試委員會(Interagency Testing Committee, ITC)對美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)之報告中指出，於動物實驗中發現暴露於磷化錫(InP)及其他錫之化合物中會增加致癌之風險。現階段之管制標準可能不足以保護暴露於磷化錫及其他錫之化合物之勞工，降低其罹患肺癌之風險，因此美國職業安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health's, NIOSH)、美國政府工業衛生師協會(American Council of Government Industrial Hygienists, ACGIH)及美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration's, OSHA)對於磷化錫及其他錫之主要化

合物之管制標準皆為 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，2006年國際癌症研究中心(The International Agency for Research on Cancer, IARC)將磷化銻致癌分類列為Group 2A，而我國勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準中訂定，銻及其化合物(以銻計)之容許濃度標準為 $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ ，但目前國際上對於氧化銻錫之毒性未有正式之測試報告，亦無相關文獻記載。僅由上述之案例及目前國際上之管制標準推斷，暴露於銻及其主要化合物中會增加罹患癌症之潛在風險，對於暴露其中之作業勞工不可不慎。

2.6 粉塵採樣技術探討

目前國內外對於粉塵濃度量測之方法一是過濾式採集；一是利用直讀式儀器量測，直讀式儀器有著操作簡單、易於攜帶及反應迅速等優點，但對於精密度及未知物不具鑑定能力等缺點常為人所詬病；而過濾式採集乃是利用衝擊(Impaction)、攔截(Interception)、擴散(Diffusion)和靜電捕集(Electrostatic attraction) 四個主要機制將微粒加以捕集，前三者捕集機制和微粒的粒徑和重量有密切的關係，如圖2.16所示，而靜電吸引機制則是利用纖維和微粒所帶電荷之間的靜電力，增加較小微粒的捕集效果。【26】

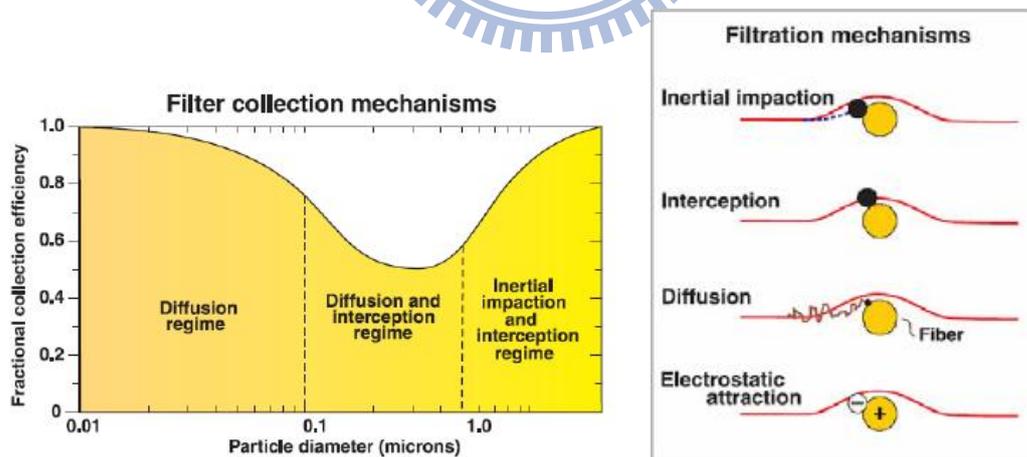


圖 2.16 微粒的捕集主要機制和其主要作用範圍

我國「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」中粉塵容許濃度之測定包含「總粉塵」及「可呼吸性粉塵」兩種，但在探討環境暴露對人體健康之危害時，國際上普遍接受ACGIH、CEN及ISO所共同定義之分徑標準，對於粒徑大於可吸入性粉塵範圍者認定並不會造成健康上之危害。「總粉塵」係泛指所有可懸浮於空氣中之微粒，粒徑可能包括很寬廣的範圍，因此以總粉塵之濃度來探討環境中粉塵暴露對於健康之危害，有待進一步討論其適切性。

為了精確的評估可呼吸性粉塵對健康之危害，市面上也研發出多種粉塵分徑採樣裝置，最常見者為10mm Nylon旋風分離器(Nylon Cyclone)及SKC鋁製旋風分離器(SK Aluminum Cyclone)，然而上述兩種採樣器之效率曲線的斜率較國際新定義可呼吸性分徑曲線之斜率來得陡峭，表示實際採樣時，對於粒徑大於 $4\mu\text{m}$ 之微粒會產生低估之現象；而粒徑小於 $4\mu\text{m}$ 的部分則會產生高估的偏差，且當微粒逐漸沉積於採樣器內壁時，造成旋風器有效採樣半徑縮小，增加微粒之收集效率，穿透曲線向較小氣動粒徑區域偏移，將造成採樣結果的低估。【11】

10mm尼龍旋風器的收集效率易受到粉塵質量負荷及靜電之影響很大，微粒之質量負荷越高，截取氣動直徑將會減小，造成採樣結果低估；微粒的靜電量越高，收集效率也越高，對於粒徑在截取氣動直徑附近的微粒影響更為顯著，而SKC鋁製的旋風器可以改善靜電對收集效率之影響。【12】

現有的可呼吸性粉塵採樣器效率預估模式則大多著重於風速大於 1 m/s 的狀況，未能確實描述現場作業環境狀況(風速低於 1 m/s 時)，因此根據Ogden與Vincent在1983年及1989年所提出的論點，採樣器的採樣狀態若與其周圍風速成相對靜止的狀態即能客觀的反映出環境空氣中存在的粉塵狀況，故採樣器之流量需做適度之調整，在靜風條件下，10mm尼龍旋風器在流量為 1.3L/min 及SKC旋風式個人採樣器在流量為 2.2L/min 時，固體微粒收集效率分別可以符合ACGIH之規範，但若在高風速採樣下，採樣器方位對於收集效率造成之差異會擴大，且採樣環境粉塵濃度過高，採樣時間過長會使粉塵負荷過大產生微粒反彈及再揚起之現象，使得測值不準且變化很大。【9】【10】

為了解決上述問題，蔡等人及Tsai et al.,設計出一新型IOSH旋風器，以導電的鋁或塑膠製作，並加大內徑尺寸及出口管長以降低微粒累積於內壁的厚度，減少微粒負荷對

收集效率的影響，新型IOSH旋風器採樣流量在1.7 L/min 時，截取氣動直徑因粉塵負荷所造成的變化遠較10 mm尼龍旋風器減少很多，收集效率曲線能符合新ACGIH規範。

【14】

目前市售的旋風器在設計上是利用渦流的產生而使得微粒因為慣性力的作用與氣流分離，並與旋風器內壁接觸而被收集，因此粉塵負荷、靜電效應及環境風速..等，皆會影響採樣器之收集效率曲線，為了準確的求取可呼吸性粉塵濃度，於現場實際採樣時可搭配Marple個人多階衝擊器(Marple Personal Cascade Impactor)，雖然多階衝擊器也會發生微粒自衝擊板上反彈及再揚起現象，造成微粒的收集效率隨著微粒的負荷量之增加而降低，但可根據採樣粉塵種類及各階上不同的粉塵負荷量來對Marple各階截取氣動直徑作修正，再利用新ACGIH規範求得標準可呼吸性粉塵濃度。【13】



三、研究方法

3.1 研究架構

本研究主要是在ITO Sputter製程實施清潔維護保養及更換靶材時，利用旋風式個人採樣器搭配直讀式儀器量測粉塵逸散的濃度及作業期間濃度的變化，並分析微粒的數目濃度、質量濃度。藉以評估作業時可能之暴露風險，並依實驗結果提出相關建議，以降低勞工作業時暴露的風險，本研究架構如圖3.1所示。

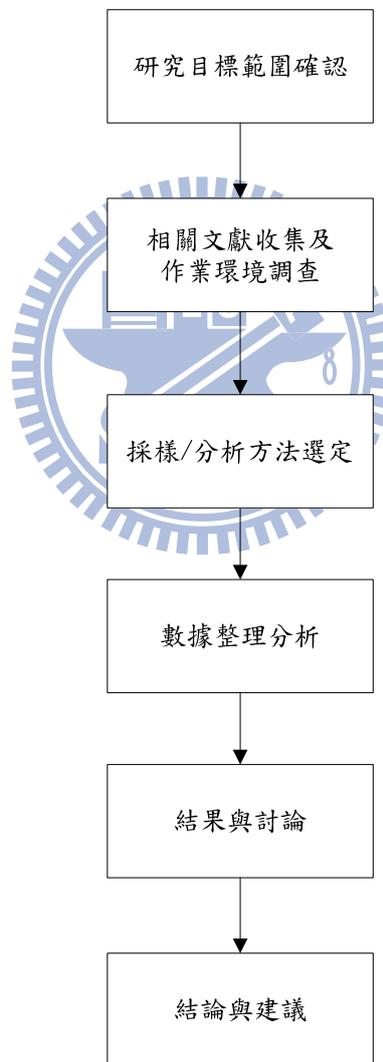


圖 3.1 研究架構圖

3.2 研究地點與背景介紹

本次研究之對象(簡稱 A 公司), 目前有 2 條 4.5 世代之生產線, 主要從事生產 TFT LCD 關鍵零組件之彩色濾光片, 製程中為製作與 TFT Array 畫素電極相對應的共通電極, A 公司選擇利用濺鍍之方式來製作 ITO 導電膜, ITO 靶材為氧化銮與氧化錫燒結而成, 其之間的比例因各種廠牌而異, 為了維持一定之良率及品質, 當 ITO 靶材使用率下降時即會實施清潔保養之動作, 在進行玻璃基板濺鍍時, 腔體為密閉狀態且抽真空, 除異常排除、清潔保養及更換靶材時作業人員才會打開腔體, 並以電子級酒精擦拭。腔體內部及靶材縫隙處則以高壓空氣將異物吹出以達到清潔之目的。進行作業時作業勞工身上除了無塵服外, 並無配戴任何呼吸用防護具, 每次作業平均約 1~3 小時。當作業完畢時, 皆會發現高架地板上有殘留之墨綠色粉體, 如圖 3.2 所示, 故本研究將探討彩色濾光片濺鍍製程中於清潔保養及更換靶材時, 作業環境中粉塵之逸散濃度分佈狀況。



圖 3.2 現場殘留之墨綠色粉體

3.3 實驗規劃及步驟

本研究首先利用 DustTrak 粉塵檢測儀量測濺鍍機台作業環境之背景值，求出作業環境中粉塵之質量濃度分佈，並於濺鍍機台實施清潔維護保養時以 IOSH 旋風式個人採樣器配帶於作業人員身上進行個人暴露濃度之量測，採樣項目分別為總粉塵及可呼吸性粉塵，並以感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, ICP-AES)分析銻金屬濃度，並搭配 DustTrak 量測作業現場濃度之變化。最後採集濺鍍機台靶材上之粉體以微小粉末分散器(Small-Scale Powder Dispenser, SSPD)使其再揚起，並以掃描式電動度粒徑分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)和氣動微粒分析儀(Aerodynamic Particle Sizer, APS)及多微孔均勻沉積衝擊(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI)量測粉體之粒徑、數目與質量濃度分佈。

個人採樣之採樣流程圖及採樣點示意圖如圖 3.3 及 3.4 所示，採樣時間約 1~3 小時，於圖 3.4 中#1 代表同時對總粉塵及可呼吸性粉塵採樣，#2 代表同時對可呼吸性粉塵及銻金屬濃度採樣，採樣器配戴於作業勞工胸前；#3 部份為利用 DustTrak 對作業環境作全程即時之監測，#4 代表針對可呼吸性粉塵進行採樣，採樣高度皆為 1.5~1.6m，除配戴在作業勞工身上之採樣器依其實際保養流程作業會移動外，其餘點與點間隔約 1m，距離濺鍍機台約 1.5m。採樣完之濾紙連同現場空白樣品將送回實驗室秤重。濃度計算公式如下：

$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3$$

其中

C：空氣中有害物濃度(mg/m^3)

V：採集氣體體積(L)

W_1 ：採樣前濾紙重量(mg)

W_2 ：採樣後濾紙(含樣品)重量(mg)

B₁：採樣前現場空白濾紙平均重量(mg)

B₂：採樣後現場空白濾紙平均重量(mg)

依國內「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」之規定作業環境空氣中有害物之濃度應符合：全程工作日之時量平均濃度不得超過相當八小時日時量平均容許濃度，任何一次連續十五分鐘內之時量平均濃度不得超過短時間時量平均容許濃度且任何時間均不得超過最高容許濃度。而時量平均容許濃度計算公式如下所示：

時量平均濃度 = [第一次某有害物空氣中濃度×工作時間 + 第二次某有害物
空氣中濃度×工作時間 + ... + 第 n 次某有害物空氣中濃度×工作時間] / 總工作
時間。



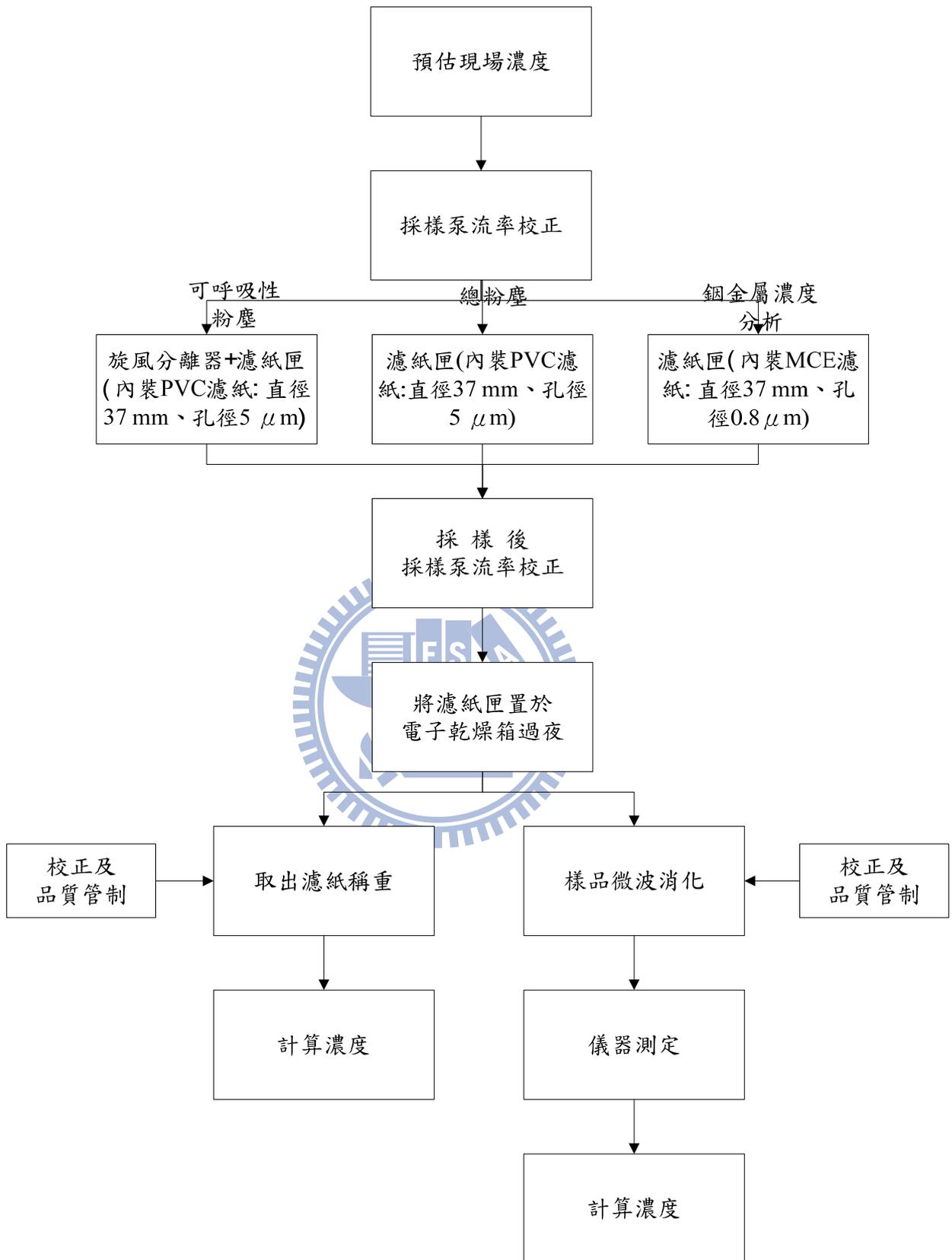


圖 3.3 現場採樣流程圖

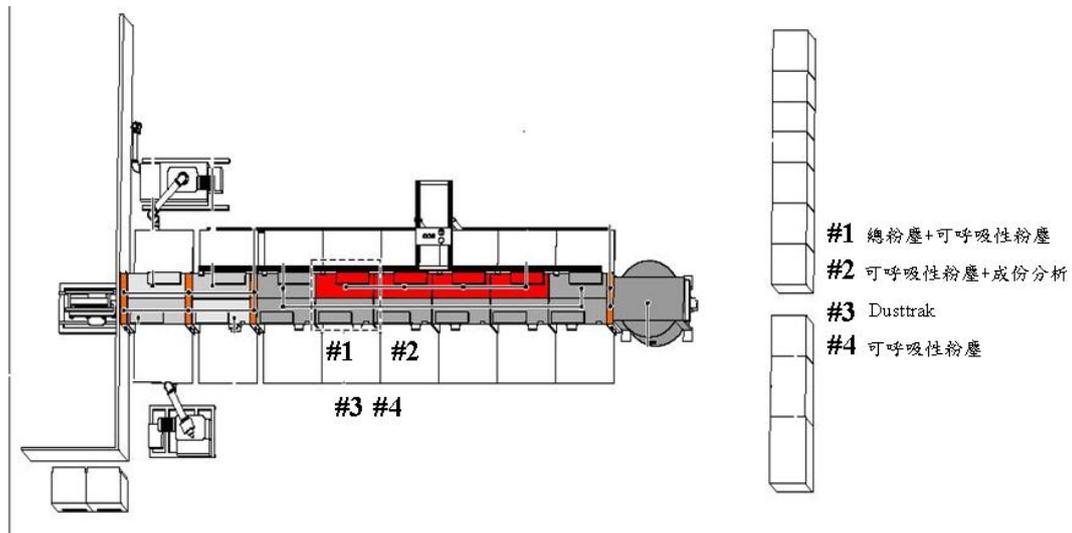


圖 3.4 現場採樣點示意圖

而在量測粉體特性實驗中，首先採取靶材上之粉體以 SSPD 進行分散實驗以得知其粉體的逸散特性，首先帶有微粒的氣流經過氣膠靜電中和器(Neutralizer, Model 3012, TSI Inc.)後，再分流至掃描式電動度粒徑分析儀(Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS, Model 3936, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)和氣動微粒分析儀(Aerodynamic Particle Sizer, APS, Model 3321, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)及多微孔均勻沉積衝擊器(Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI, Model 110, MSP Co., Minneapolis, MN, USA)。SMPS 和 APS 可測得微粒的數目濃度及粒徑分佈，MOUDI 基質為鋁箔是用來採集微粒得知重量濃度分佈。於 APS 上面有擺放一台微粒濃度稀釋器(diluter, Model 3302, TSI Inc.)，可避免過高的瞬間微粒濃度損害 APS，稀釋倍率為 1:100。實驗架構圖如圖 3.5 所示。

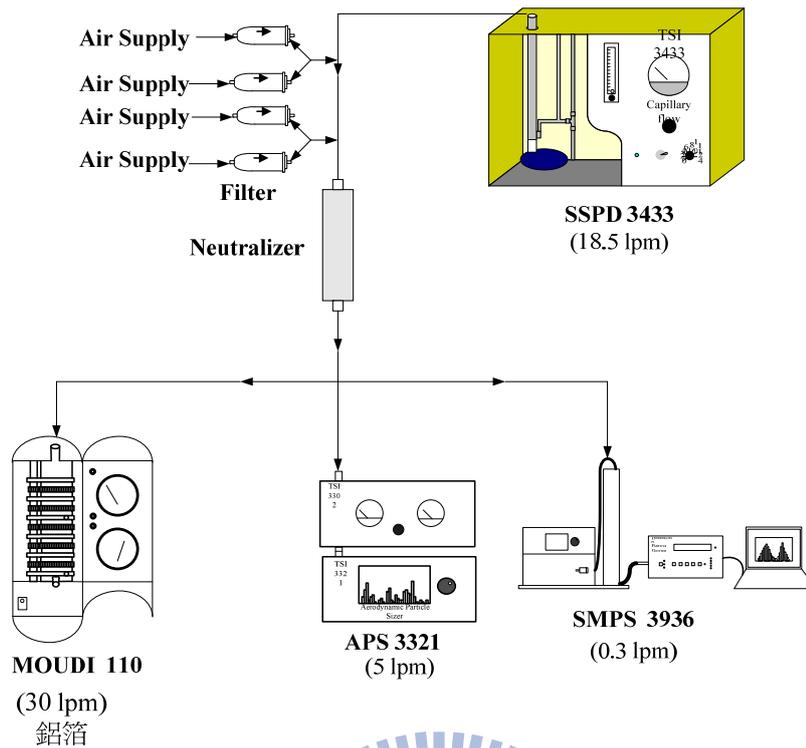


圖 3.5 粉体特性量測實驗架構圖

MOUDI 採樣前後的秤重，在得到各階所採集的微粒質量後，根據 Marple et al. (1991) 對不同粒徑的微粒在 MOUDI 內部的損失實驗數據(圖 3.6)，得到微粒在各階的損失(表 3.1)，校正各階衝擊板所收集到微粒的質量後，進而計算得到微粒的質量濃度分佈，計算質量濃度的公式如下所示：

$$C_{mi} = \frac{\Delta m_i}{Q_s t} \times k_i \times 1000$$

其中

C_{mi} ：第 i 階($i=0\sim 11$)的質量濃度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

k_i ：第 i 階的微粒損失修正係數。

Δm_i ：由秤重得到的第 i 階微粒重量， μg 。

Q_s ：採樣流量，30 L/min。

t：採樣時間，30 min。

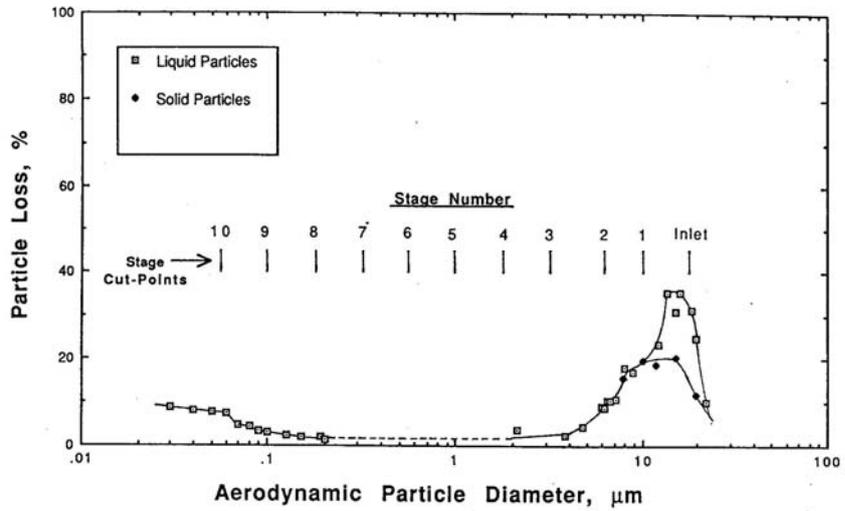


圖 3.6 不同粒徑的微粒在多微孔均勻沉積衝擊器內部的損失

表 3.1 多微孔均勻沉積衝擊器中各階的微粒損失與校正係數

各階編號	截取氣動直徑, μm	微粒損失, %	校正係數
Inlet (0)	18	15	1.18
1	10	20	1.25
2	5.6	15	1.18
3	2.5	3	1.03
4	1.8	2	1.02
5	1.0	2	1.02
6	0.56	2	1.02
7	0.32	2	1.02
8	0.18	3	1.03
9	0.1	4	1.04
Fiber (10)	< 0.1	0	1

而將 SMPS 及 APS 所量測之數目濃度轉換成質量濃度，藉以與 MOUDI 相互比較，其轉換公式如下所示 (Khlystov et al., 2004)：

$$\begin{aligned}C_M &= C_N \times V_p \times \rho_p \\&= C_N \times \frac{\pi}{6} D_p^3 \times \rho_p \times 10^{-15} \text{ for SMPS} \\&= C_N \times \frac{\pi}{6} \frac{D_{pa}^3}{\sqrt{\rho_p}} \times 10^{-15} \text{ for APS}\end{aligned}$$

其中

C_M ：質量濃度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

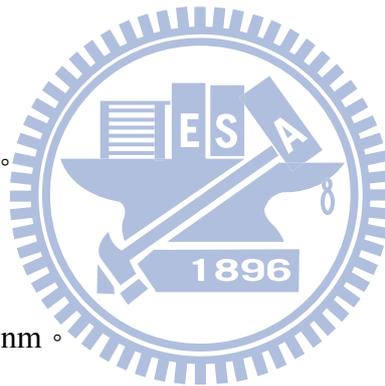
C_N ：數目濃度， $\#/\text{cm}^3$ 。

V_p ：微粒體積， m^3 。

ρ_p ：微粒密度， g/cm^3 。

D_p ：微粒粒徑， nm 。

D_{pa} ：微粒氣動直徑， nm 。



質量濃度等於數目濃度乘以微粒體積以及密度，由上式可知 SMPS 測得的數目濃度分佈轉成質量濃度分佈時，與微粒密度成正比。而 APS 的數目濃度分佈轉成質量濃度分佈時，則與微粒密度的平方根成反比。

3.4 採樣儀器介紹

(一) 雷射粉塵計(TSI 8520 DustTrak Aerosol Monitor)

Dust Trak 為直讀式之粉塵測定裝置，如圖 3.7 所示，其原理為利用 90 度雷射光散射來即時量測空氣中粉塵之濃度，其量測範圍為 $0.01\sim 100\text{mg}/\text{m}^3$ ，可量測粒徑為 $0.1\sim 10\mu\text{m}$ ，可運用於 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{1.0}$ 和可呼吸性粉塵(透過旋風器)之量測，並即時記錄粉塵濃度(單位： mg/m^3)，並透過分析軟體求得變化趨勢。然而利用散光量測微粒質量濃度的儀器，會受到環境條件及微粒特性之影響，於每次操作前皆須經過歸零校正，確保數據之真實性。本研究設定之採樣流量為 1.7LPM，採樣高度約 150cm，使用 $2.5\mu\text{m}$ 之採樣噴嘴。

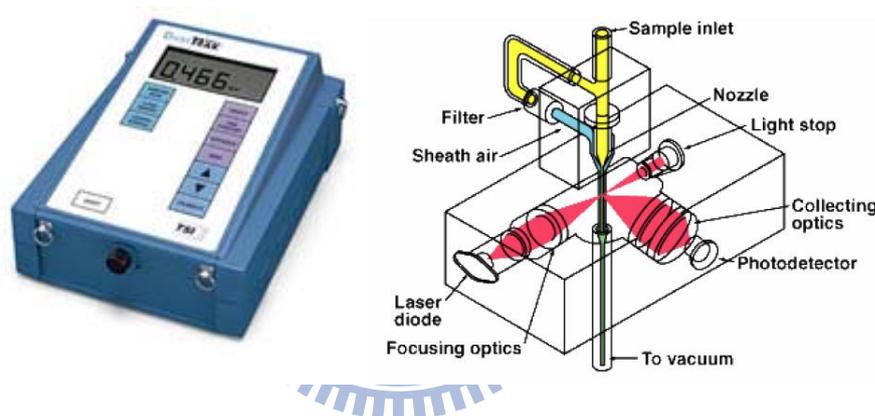


圖 3.7 Dust Trak 外觀及其原理

(二) 新型鋁製旋風式可呼吸性粉塵採樣器(IOSH Cyclone)

IOSH 個人旋風器如圖 3.8 所示，其原理為利用 1.7 L/min 之流量將微粒經由進氣口帶入旋風器之主體，在圓柱體內超過 $4\mu\text{m}$ 之微粒會因為慣性力之關係而衝擊在內壁上，粒徑小於 $4\mu\text{m}$ 之微粒則會在出口端被濾紙所收集，採樣後濾紙藉由秤重得到可呼吸性粉塵的濃度。



圖 3.8 IOSH 個人旋風器

(三) 感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer)

感應耦合電漿原子發射光譜分析儀(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, ICP-AES, Thermo Elemental IRIS Intrepid II XSP)如圖 3.9 所示，其原理為藉由電漿提供離子能量，使其由基態躍升為激發態，離子在激發狀態不穩定之情況下必回到基態，透過光柵分光，分解出離子由激發態回復至基態所產生之光譜來進行定量之分析，在進行感應耦合電漿放射光譜儀分析前須先將濾紙樣品進行消化步驟，本研究濾紙參照 NIOSH 7303 分析方法進行消化，樣品前處理流程圖如圖 3.10 所示。首先將濾紙摺成 1/4 大小至數金屬加熱消化管中，分別加入 1.25ml 之 HCL、HNO₃，以 95°C 加熱 15 分鐘後，定量至 10ml 後，使用感應耦合電漿光學發射光譜進行鈾金屬濃度分析。



圖 3.9 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer

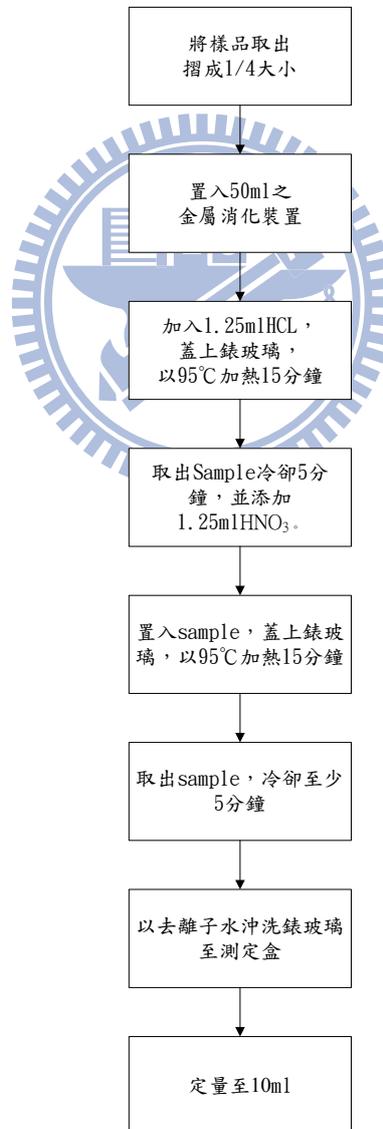


圖 3.10 樣品前處理流程圖

(四) 微小粉末分散器 (Small-scale powder disperser)

微小粉末分散器是利用經過過濾的乾淨空氣由文氏管的下端送入，使文氏管的喉部 (venturi throat) 形成一個低壓高速的空氣流動區域，藉以將樣品微粒從轉盤上吸起。此外因為文氏管喉部的氣體流速快且壓力小，所以碰到以低速被吸起的聚集微粒時，會在微粒表面形成剪力，進而將聚集的微粒分散。微小粉末分散器的外觀及內部構造圖如圖 3.11 所示。

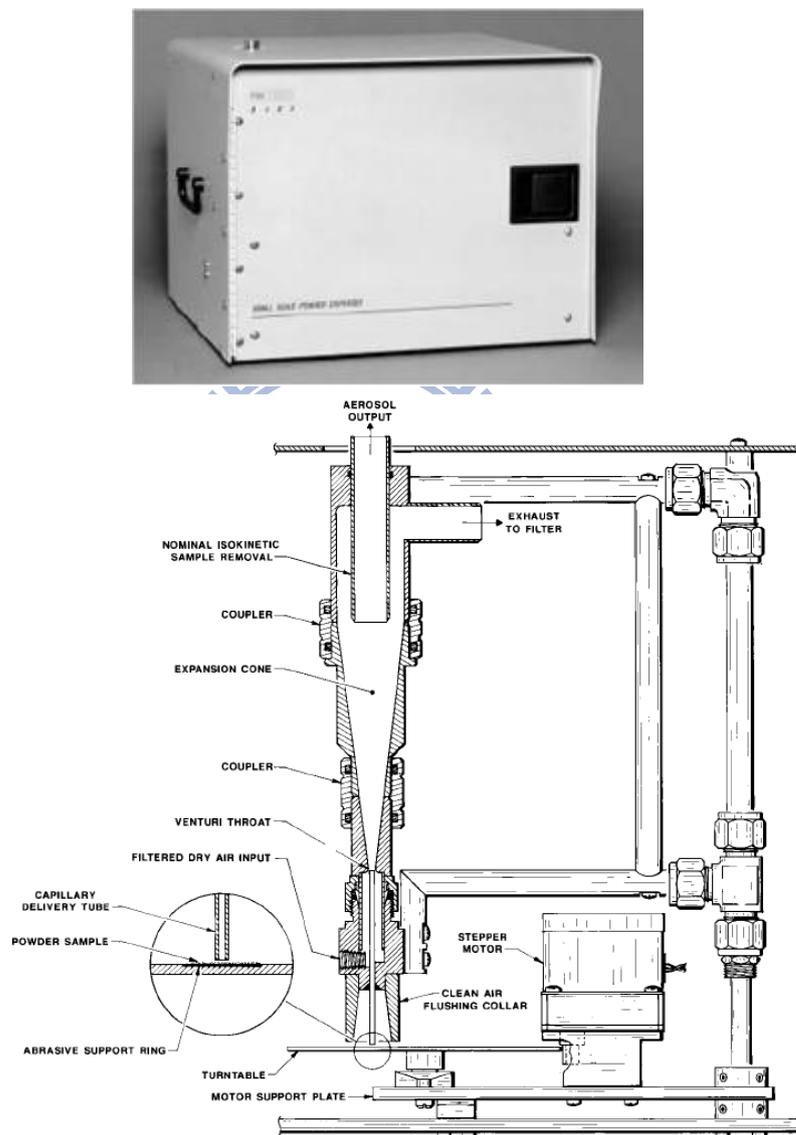


圖 3.11 微小粉末分散器的外觀及內部構造圖

(五) 掃描式電動度粒徑分析儀 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)

多徑微粒進入 SMPS 主體 DMA 之前會先通過慣性衝擊器和靜電中和器，其目的在

於去除過大微粒以及使微粒帶電形成波茲曼分佈。由於微粒移動速度與其帶電量有關，而微粒之帶電量又與粒徑有關，因此帶電微粒進入帶有電壓的 DMA 中心柱和不帶電的圓管內壁所形成之電場後，與中心柱相反電性、且具某特定範圍之電移動度的微粒會被吸引，並從中心柱下方一小缺口被抽引出來，而抽出的微粒就成為單徑分佈的微粒，接著單徑微粒被導入凝結微粒計數器(Condensation Particle Counter, CPC)來計算微粒的數目濃度。CPC 的原理是利用液體蒸氣包覆微粒，再使液體蒸氣因為過飽合而凝結成液體，並利用光偵測器來測得微粒的數目。因此藉由控制中心柱電壓之變化，可得到整個多徑微粒的數目濃度及粒徑分佈，配合波茲曼分佈數據和 CPC 測到微粒的數目，可推算出此粒徑微粒進入 SMPS 之前的濃度。SMPS 實際照片及構造示意圖如圖 3.12 所示。

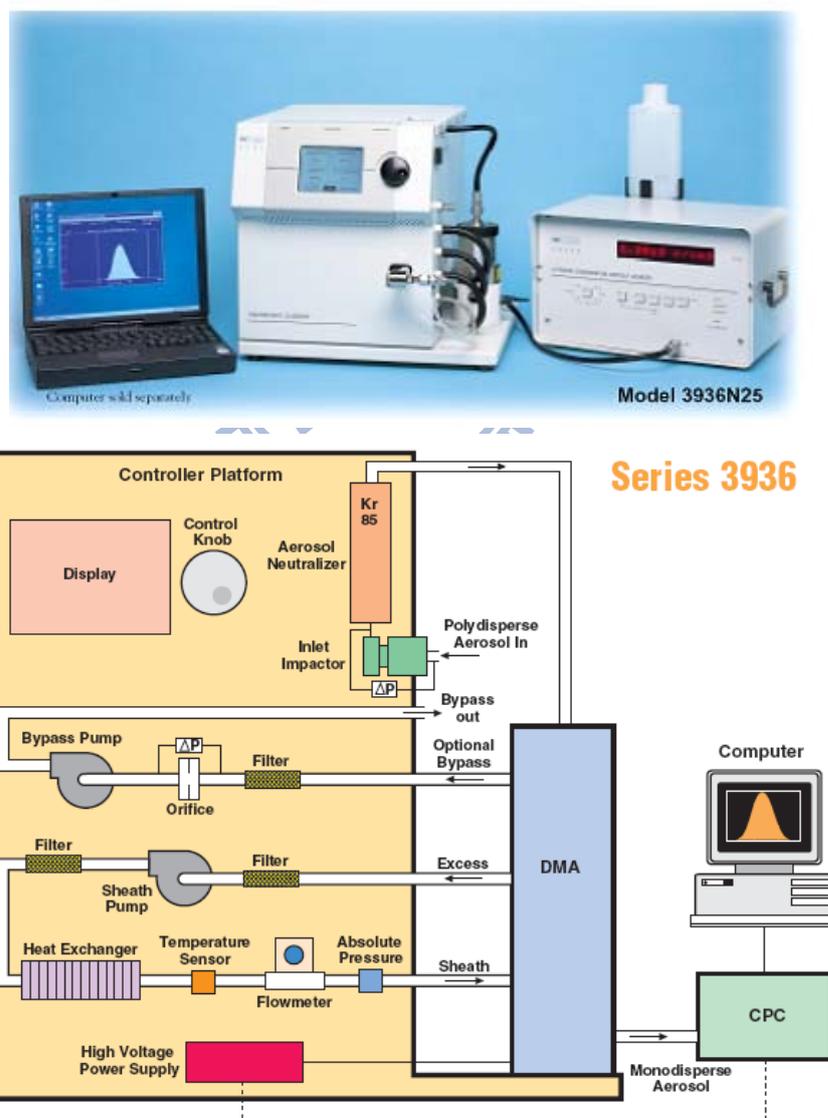


圖 3.12 掃描式微粒電動度分析儀的實際照片及構造示意圖

(六) 氣動微粒分析儀 (Aerodynamic Particle Sizer, APS)

圖 3.13 為氣動微粒分析儀的實際照片及構造示意圖。APS 的測量原理是利用引導微粒通過一個由噴嘴所形成的加速流場後，穿越兩道平行的雷射光束，偵測其通過兩道雷射光之時間(Time of Flight, TOF)以計算出氣懸微粒的氣動粒徑，氣動粒徑越小的微粒越容易隨著流場加速，通過兩道平行雷射光束的時間越短，氣動粒徑越大則反之。由測得微粒的數目濃度與氣動粒徑大小以得到整個多徑濃度分佈。APS 所測量之粒徑範圍在 $0.542 \sim 20 \mu\text{m}$ ，但必需注意 APS 並不適合用來測定高濃度的氣膠，當有過多的微粒同時進入光束時會有所謂的疊合誤差(coincidence errors)產生，被誤認為粒徑大且數目少的粒子，造成幻影粒徑(phantom particle)和低估微粒數目濃度的結果(Peters and Leith, 2003)。

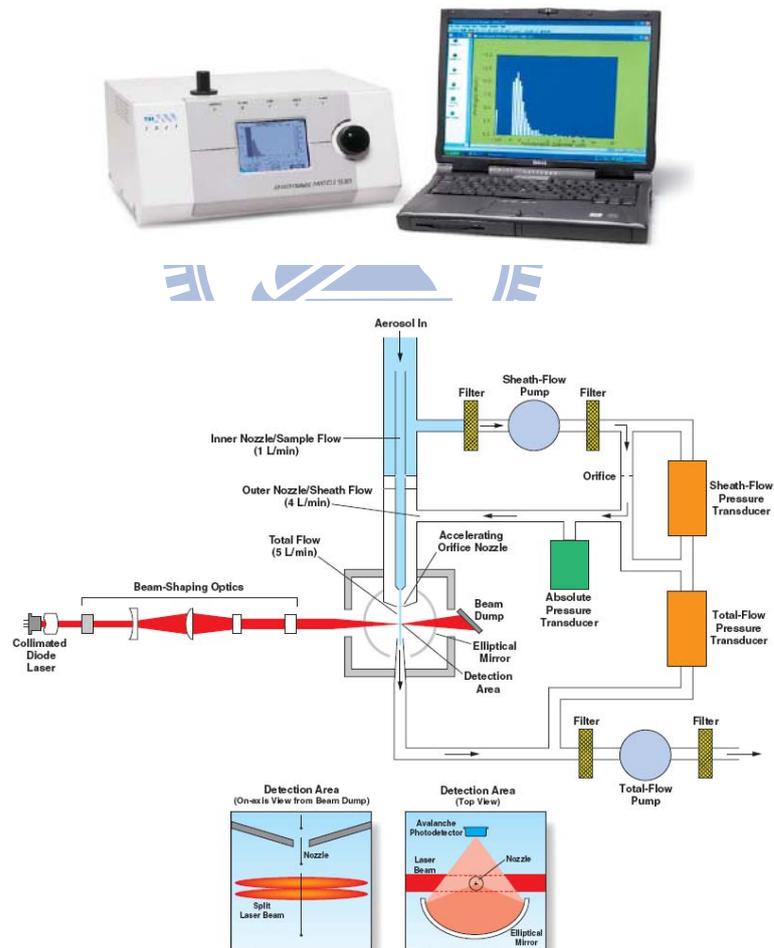


圖 3.13 氣動微粒分析儀的實際照片及構造示意圖

(七) 多微孔均勻沉積衝擊器 (Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor, MOUDI)

圖 3.14 為微孔均勻沉降衝擊器的實際照片及內部構造的示意圖。MOUDI 是一台串聯式的多階衝擊器(10 個衝擊器)，用以量測微粒的質量濃度分佈，其空氣採樣流率設計的參數為 30 L/min，相比於其他質量採樣器有較少的內壁損失。其原理是利用不同粒徑微粒擁有不同的慣性力來進行分徑，大的微粒因慣性力大，所以會脫離氣流被收集在衝擊板上，小的微粒則會隨著氣流轉向而到下一階衝擊器。利用不同噴嘴數目及噴嘴到平板的距離 (jet to plate distance) 來決定收集的微粒粒徑範圍，前面幾階的衝擊器噴嘴數目較少孔徑也較大，噴嘴到平板的距離也比較長。在設計的流量 30 L/min 之操作條件下，可將懸浮微粒分徑為 18、10、5.6、3.2、1.8、1.0、0.56、0.32、0.18、0.10、0.056 及 $<0.056 \mu\text{m}$ (after filter)。Marple et al. (1991)指出操作 MOUDI 時要注意乾微粒在衝擊板上反彈而被帶至下游階層的問題，所以衝擊板需塗敷矽油以降低微粒的彈跳情形。矽油的塗敷量與預期收集的微粒負載量有關，當衝擊板的微粒負載量為 0.2、0.5 或 3.0 mg 時，烘乾後矽油的塗敷量分別至少為 0.25、0.25 或 1.0 mg/cm^2 。

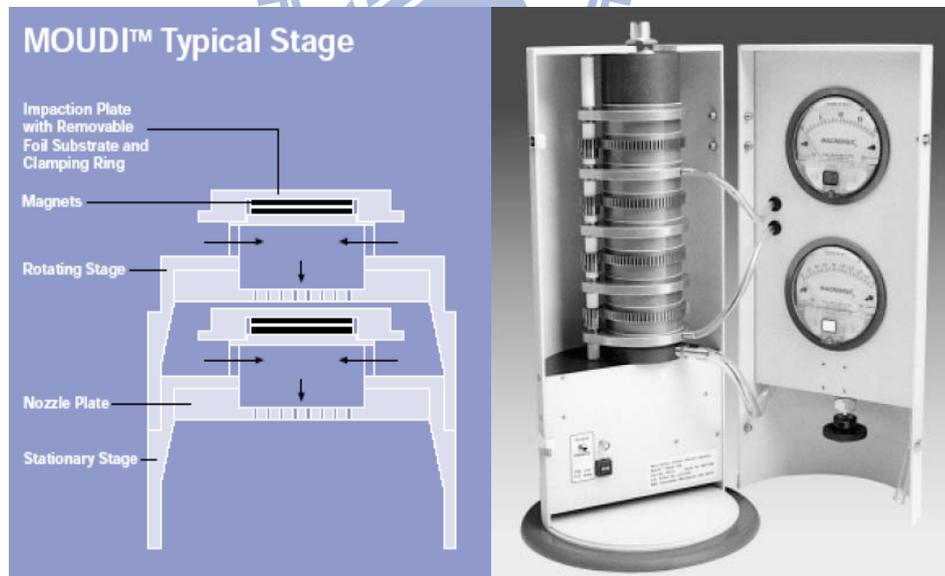


圖 3.14 MOUDI 的實際照片及內部構造的示意圖。

而本研究所使用之微粒粒徑量測儀器之粒徑量測範圍、操作條件及參數等等，分列如下：

1、SMPS：此儀器系統是由微分式電動度粒徑分析器(Long-DMA, Model 3080, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)和凝結微粒計數器(CPC, Model 3786, TSI Inc., St. Paul, MN, USA)所組成。操作條件設定為 Sheath flow: 3 L/min, Aerosol flow: 0.3 L/min，掃描範圍由 15.1 nm 至 661 nm，每筆分佈圖的掃描時間為 2 分鐘。

2、APS：採樣流量為 5 L/min，偵測的粒徑範圍由 0.5 μ m 至 20 μ m，每筆分佈圖的掃描時間為 1 秒鐘。

3、MOUDI：測量質量濃度分佈時的採樣流量為 30 L/min，採樣的粒徑範圍由 56 nm 至 18000 nm。此儀器使用的基質(substrate)為鋁箔，此鋁箔紙的製造商為美國 Diamond 公司，直徑 47 mm。鋁箔上塗敷的矽油為日牌的信越矽油，型號為 KF96SP。本研究使用鐵氟龍濾紙作為終端濾紙(afterfilter)，其為美國 PALL 公司生產，型號為 P5PJ047，厚度 152 μ m，孔洞大小為 1 μ m，其對 0.3 μ m DOP 微粒的攔截效率為 99.99%，直徑為 47 mm。

4、個人採樣器濾紙及濾紙匣：37mm 濾紙採樣匣(Cat. No. 225-3LF, SKC Inc., Eighty Four, PA, USA)採用 PVC Filter media, 5 micron pore size, 直徑 37mm(Cat. No. P-503700, Omega Specialty Instrument Co., MA, USA)；酯化纖維素濾紙(Methyl Cellulose Ester), 0.8 micron pore size, 直徑 37mm。

5、個人採樣泵(personal pump)：Gillian Gilair-3 個人採樣泵(personal pump)。幫浦(pump)需有一個恆定輸出的流量，且此流量不會隨著終端濾紙(backup filter)的微粒負荷量(particle loading)加大造成採樣壓(pressure drop)上升而受到影響。

6、皂泡式氣體流量校正計：型號為 Gilian P/N D800288，用於校正個人採樣泵流量。

7、微量天平：Sartorius CP2P-F 六位數微量電子天平，準確度為 $\pm 1\mu$ g。

8、濾紙調理用恆溫恆濕箱：用於調理濾紙使之處於相同之溫濕度下。濾紙和鋁箔秤重前皆需要靜置於電子除濕箱內至少調理 24 小時(RH = 35 \pm 5%)。由於秤重室內的溫度與溼度可能會對濾紙秤重造成影響，所以進行秤重時會同時使用除濕機和冷氣機來控制溼度和溫度(T=21 \pm 1 $^{\circ}$ C)。

9、靜電消除器：用以消除濾紙本身所帶的靜電，盡可能降低靜電對秤重產生的影響。

3.5 採樣前準備工作

進行現場採樣工作前，需對於採樣設備進行先前之整備，包含採樣 Pump 之流量校正、濾紙之編號、調理及與 IOSH 旋風個人採樣器之組裝..等，待所有之細節準備齊全，即可進行現場之採樣工作。

3.5.1 DustTrak 之整備工作

在進行現場採樣前，需確認 DustTrak 內建採樣 Pump 之電力是否充足，若否則須更換電池，並確認內建之記憶體是否有足夠之容量儲存量測的數據，若記憶體不足時則須先將有用之數據下載至個人電腦後將 DustTrak 之記憶體加以清空，以使採樣工作能順利進行。並於每次採樣前、後對 DustTrak 進行流量校正及歸零校正，以確保採樣數據之完整及正確性，現場部分，採樣器需完整、外觀無損壞、儀器型號確認為 2.5 μ m 採樣噴嘴，如無法滿足需求，則不得使用該採樣器。

3.5.2 濾紙之準備工作

個人採樣器所使用之濾紙為聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)濾紙及酯化纖維素(Methyl Cellulose Ester, MCE) 濾紙，每次採樣稱重前都需事先將採樣濾紙編號，濾紙編號的方式須包含採樣日期、濾紙種類及其編號，如圖 3.15 所示。

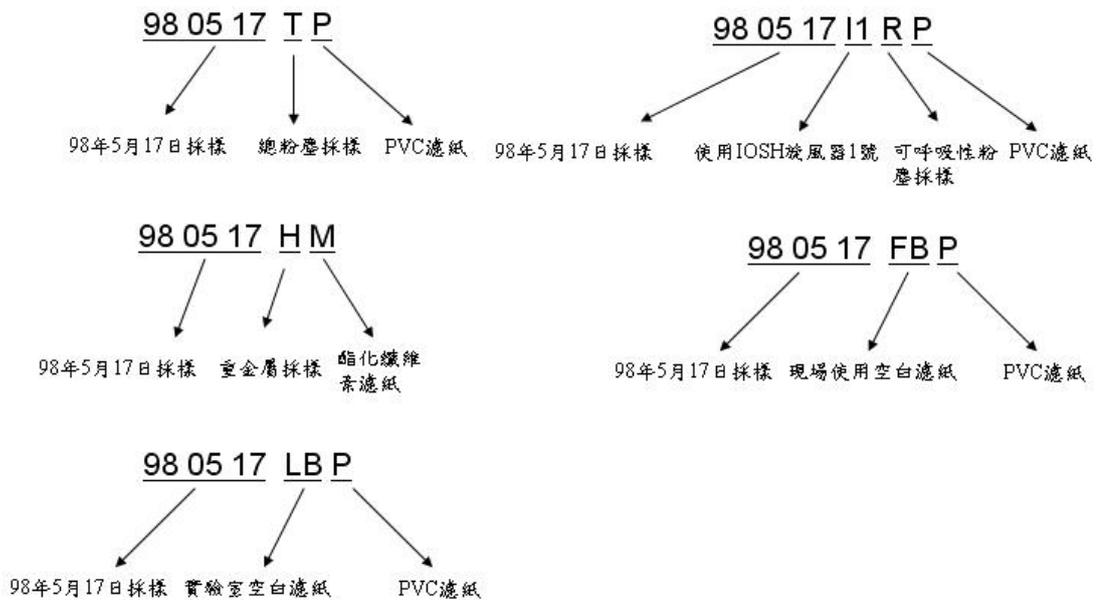


圖 3.15 濾紙編號原則

3.5.3 皂泡流量計與個人採樣器之準備工作

個人採樣泵及 DustTrak 於進行採樣前需利用皂校正儀器之流量，於進行校正前須完成皂泡液之補充，皂泡式流量計適用範圍須涵蓋較低流量 PM_{2.5} 採樣器之實際流量，此流量計應每年定期與標準流量計比對，測值差異應在±1%以內。而個人採樣泵是靠內置蓄電池驅動，因故須確認電力是否充足可完成單一採樣之時程。

3.5.4 粉體前處理

粉體含水量的多寡，可能會對粉體的微粒逸散情況造成影響，若是粉體的含水量越高，則粉體就容易聚結成塊狀而不易逸散或分散，且逸散時也容易在聚集成大微粒。為了減低粉體含水量對微粒逸散的影響，進行實驗之前，以陶瓷碗裝入適量的待測粉體後再放入烘箱中，以 105 °C 烘烤 2 小時去除粉體中的水分，可降低粉體含水量對微粒分散的影響，經烘烤後的 ITO 粉體存放在裝有矽膠乾燥劑的玻璃缸中，待實驗進行時取用，SSPD 實驗系統放置粉體的容器為一圓型鋁盤，鋁盤的實體圖則如圖 3.16 鋁盤上有三道同心圓的 V 型凹槽軌道，方便實驗時放置粉體，且可以較精準控制放置的粉體體積。每次放置粉末時僅需以藥勺將粉末輕輕撥入鋁盤的 V 型軌道中，不需要為了將粉體擠在 V

型軌道中而將粉體壓至變形，因為擠壓粉體有可能會影響粉體的分散實驗結果，因此要盡量避免此行為的發生。



圖 3.16 微小粉末分散器實驗時使用的鋁圓盤

3.6 QA/QC

3.6.1 濾紙之秤重程序

個人採樣之濾紙每批樣品採樣前需準備樣本數的 10%，至少 2 個以上之空白介質作為現場空白樣品。對於恆溫恆濕櫃與天平置放室的溫度與相對溼度差異分別在 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 以內與濕度在 $\pm 5\%$ 以內，並靜置 24 小時。每次秤重時須先歸零，並避免靜電之干擾造成濾紙吸黏天平的秤盤，造成秤重之誤差。連續兩次秤重讀值，其差值若小於 0.03mg，取其平均值，否則秤取第三次重量，以其中較接近的兩次且差值小於 0.03mg 者取平均值。最後將濾紙放入濾紙匣中並加以蓋緊，用塞子將濾紙匣兩端小孔塞住，並以纖維素製的收縮帶包緊濾紙匣，收縮帶乾燥後標註辨識號碼，由採樣器上取下的採樣完成濾紙需裝於壓克力濾紙匣內，採樣完成當天內由採樣人員收回採樣後樣品濾紙，以避免濾紙放置過久被污染。

MOUDI 所使用之鋁箔及鐵氟龍濾紙，每個樣品均必需連續秤重至少三次，且連續的兩次秤重結果之差異值不得大於 $\pm 1 \mu\text{g}$ ，若是差異大於此值，則須再次進行秤重，直至滿足此規定為止，並取其平均值。濾紙與鋁箔皆各取一份永久置於乾燥箱中，以為標準檢查之用。

3.6.2 樣品分析 QA/QC

(1) 所有品管數據應加以保存以利日後參考或查閱。

(2) 本實驗儀器偵測極限(IDL)至少每 3 個月重新製作 IDL 一次並保存紀錄。

IDL 係連續分析 7 次試劑空白溶液，以其 3 倍之標準偏差值表示。

(3) 本實驗之方法偵測極限(Method Detection Limit, MDL)測定步驟係利用在檢

量線上的感度開始改變時的濃度作為預估方法偵測極限。在試劑水中添加標準品，其濃度至少等於或相似於預估方法偵測極限。取七個樣品分別經過分析步驟，用以計算方法偵測極限值。其方法偵測極限為標準偏差的 3 倍。

(4) 分析過程中須監測內標準品信號強度之變化情形，當樣品中任何內標準元素

之信號強度衰減至最初檢量線中內標準品信號強度 30% 以下時，則可能發生基質效應，儀器之偵測極限會因基質干擾效應之發生而改變。當發生上述情形時，可依下列程序檢查導致內標準品信號衰減之原因：首先可利用分析檢量線空白溶液中之內標準信號，確認儀器之檢測效能(Analytical performance) 是否有明顯的漂移現象，若檢量線空白溶液中之內標準信號強度亦出現明顯衰減現象，則需終止所有分析工作，待查明原因，並解決導致儀器分析效能改變因素後，始得重新建立檢量線，並分析導致基質效應之樣品；如導致內標準品信號衰減原因不是源自儀器效能之飄移時，則可利用稀釋方式，降低樣品中基質濃度，以達到移除基質干擾之目的。此時，可根據內標準品信號衰減之嚴重程度選擇適當之稀釋倍數進行樣品稀釋，並重新添加適量內標準品進行分析，如果第一次稀釋無法消除基質干擾問題，即必須重複上述稀釋程序直到內標準品信號強度提升至檢量線標準溶液中內標準品信號強度 30%

以上。

- (5) 每 12 小時或於開始分析樣品前，需以干擾查驗液進行分子離子干擾之查核工作。由於干擾查驗液中部分元素有可能會發生沉澱問題，故檢測過程中應注意是否有類似問題發生。
- (6) 為得到高品質分析數據，藉由同時測量分析物以外之干擾離子，作為決定是否須使用校正方程式之依據。當儀器分析過程若有質譜性干擾，於分析結果中必須針對被干擾之元素，並註明被校正之干擾信號佔所有分析信號之百分比及校正方程式中未置入校正之干擾物種。
- (7) 儀器檢量線查核
- A. 以檢量線空白溶液和檢量線確認溶液進行檢量線查核。
- B. 每分析 10 個樣品，須以檢量線確認溶液和檢量線空白溶液進行檢量線查核。另外，在分析樣品前後，也必須以上述查核溶液進行檢量線查核。
- C. 檢量線確認溶液之分析結果均必須小於配製值之 10%，否則必須停止分析，待問題修正後，再重新利用檢量線確認溶液進行儀器之校正查核。另外，當發現檢量線查核結果不符時，受影響之樣品應利用重新製作之檢量線再次進行分析。
- D. 每個元素之檢量線空白值必須小於 2 倍 MDL 值。若發現檢量線空白值大於 2 倍 MDL 值時，必須檢查誤差原因並改善後，受影響之樣品亦必須重新分析。
- (8) 配製空白分析主要為確認待測樣品是否於樣品分析過程中遭受污染。對於每一批次樣品之分析測定，至少需包括一個以上之方法空白樣品，且該樣品必

須依循完整之樣品製備程序處理。方法空白樣品之製備為與樣品採樣相同過程進行空白採樣，並與萃取樣品微粒上金屬成分相同步驟進行萃取，再以完整分析程序進行分析。分析步驟包括前處理、消化處理、樣品稀釋、過濾處理和分析測定等。

(9) 實驗室品管樣品應以與待測樣品相同之前處理方法、測定及品質管制程序進行分析，每批樣品或至少每 20 個樣品應進行一個實驗室品管樣品分析。

(10) 同一批次或 20 個樣品做一次重複分析，若同時有不同基質之樣品時，每種基質之樣品均需進行重覆分析。對於分析物濃度大於儀器偵測極限值 100 倍之樣品而言，其重覆分析之相對百分偏差值範圍必須在 $\pm 20\%$ 以內。

(11) 稀釋測試(序列稀釋)：

如果樣品中分析物之濃度落在儀器線性範圍內，即可利用稀釋法來確認是否有非質譜性之干擾存在。一般而言，若稀釋 5 倍之分析值與未稀釋樣品分析值間之差異超過 10%以上時，則可能發生非質譜性干擾效應。同一基質之批次樣品中，至少每 20 個樣品必須做一個稀釋測試，以確認是否有非質譜性干擾。

四、結果與討論

4.1 現場背景值量測

於 2009/09/19 及 2009/09/26 兩日進行濺鍍機台作業環境背景量測，求出作業環境中粉塵之質量濃度分佈，每次量測時間皆為為 3 天 16 小時，DustTrak 校正紀錄如附錄一，量測濃度如圖 4.1 及圖 4.2 所示，其值介於 0.000~0.001mg/m³ 之間，數值變動性不大，由於已接近 DustTrak 儀器本身量測之最低極限，故在作業環境之背景值部份可視為無粉塵之狀況。由於量測地點位於無塵室，有獨立之隔間，塵度等級為 class 1000，下吹氣流速度約 0.3m/s，再加上裝設有高效率微粒空氣過濾器(Hight Efficiency Particulate Air, HEPA)，故在作業環境背景值部份會接近儀器本身偵測之最低極限值。

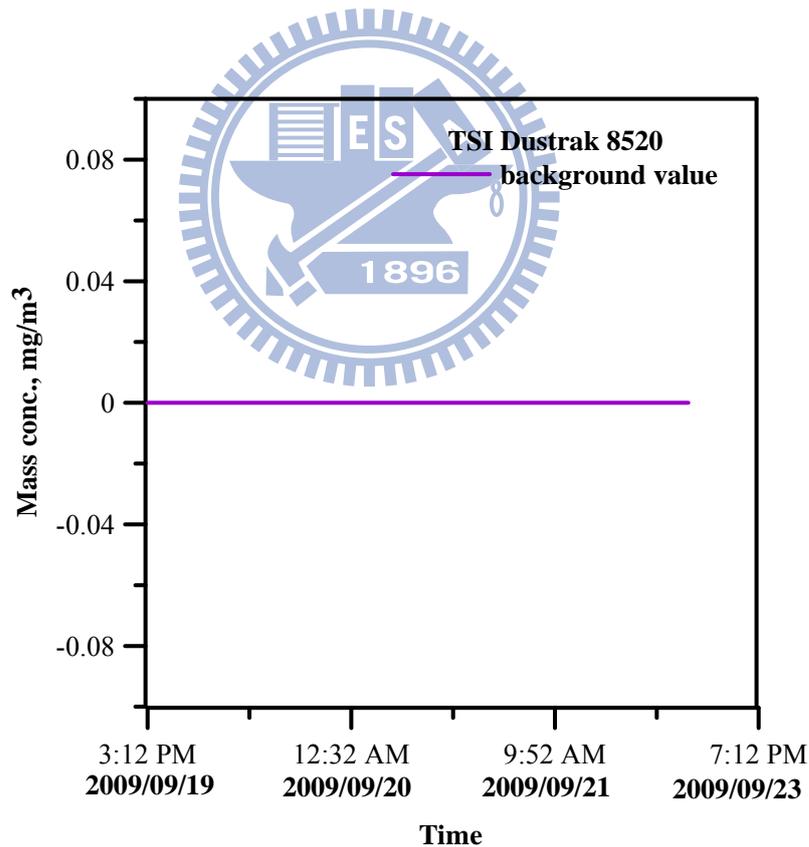


圖 4.1 2009/09/19~2009/09/23 現場背景量測值

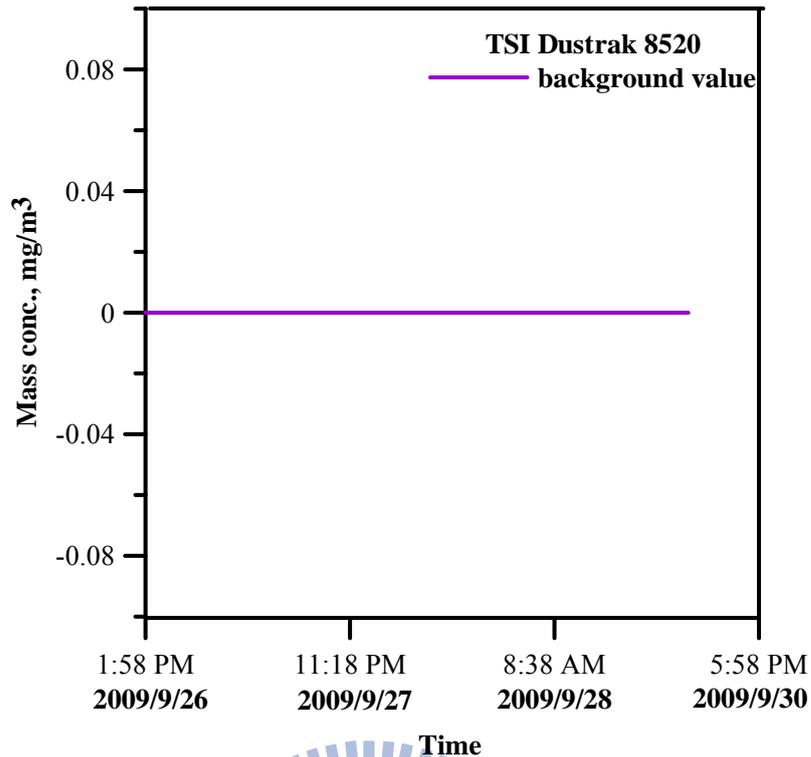


圖 4.2 2009/09/26~2009/09/30 現場背景量測值

4.2 現場保養時之採樣

現場個人採樣安排於 2009/10/17、2009/10/25 及 2009/11/02 三日，於濺鍍機台進行清潔維護保養時進行採樣，利用個人採樣器針對總粉塵、可呼吸性粉塵進行採樣，並將所採集到之樣品以 ICP-AES 進行銻金屬濃度分析，期間輔以 DustTrak 進行同步採樣，以利觀察濃度變化之趨勢。

4.2.1 98.10.17 實驗結果

98/10/17 星期六 20:07~21:32 由現場 B 班人員進行機台設備保養，濾紙秤重及銻金屬分析紀錄如附錄一，實驗結果整理如表 4.1，由表 4.1 可知在總粉塵、可呼吸性粉塵及銻金屬濃度之數值皆遠小於法規之規定，而由 surfer 軟體模擬個人採樣濃度分佈圖如圖 4.3 所示。

表 4.1 2009/10/17 現場採樣濃度值

採樣日期：2009/10/17			採樣時間：20:07~21:32			
採樣項目	濾紙編號	現場量測濃度(mg/m ³)	作業時間(HR)	時量平均濃度(mg/m ³)	TWA (mg/m ³)	PEL-STEL (mg/m ³)
總粉塵	981017TP	0.1	1.42	0.012	10	15
銻金屬濃度分析	981017I1RP	0.051	1.42	0.006	0.1	0.3
可呼吸性粉塵#1	981017HM	0.029	1.42	0.003	5	10
可呼吸性粉塵#2	981017I2RP	0.019	1.42	0.002	5	10
可呼吸性粉塵#3	981017I3RP	0.075	1.42	0.009	5	10

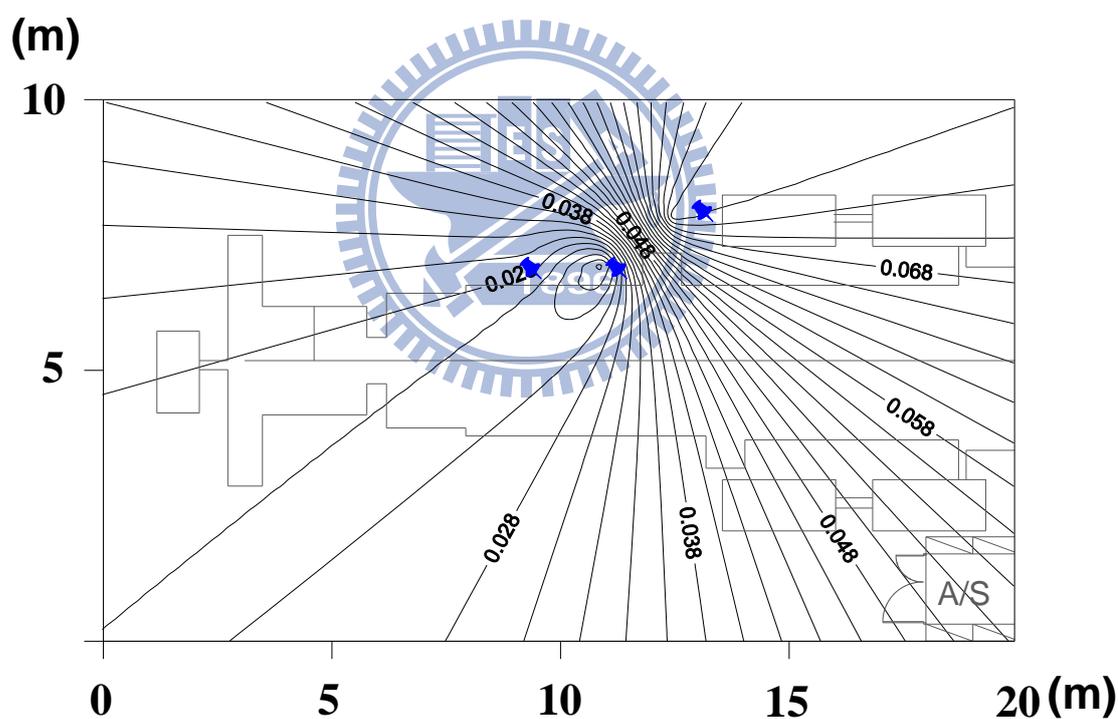


圖 4.3 2009/10/17 可呼性粉塵濃度分佈圖

DustTrak PM_{2.5} 當日監測時間總共經歷 85 分鐘，共有 514 筆記錄。採樣時間內最高濃度為 21:04:50 測得濃度 0.019 mg/m³，最低濃度測得為 0 mg/m³，其濃度變化趨勢如圖 4.4 所示。

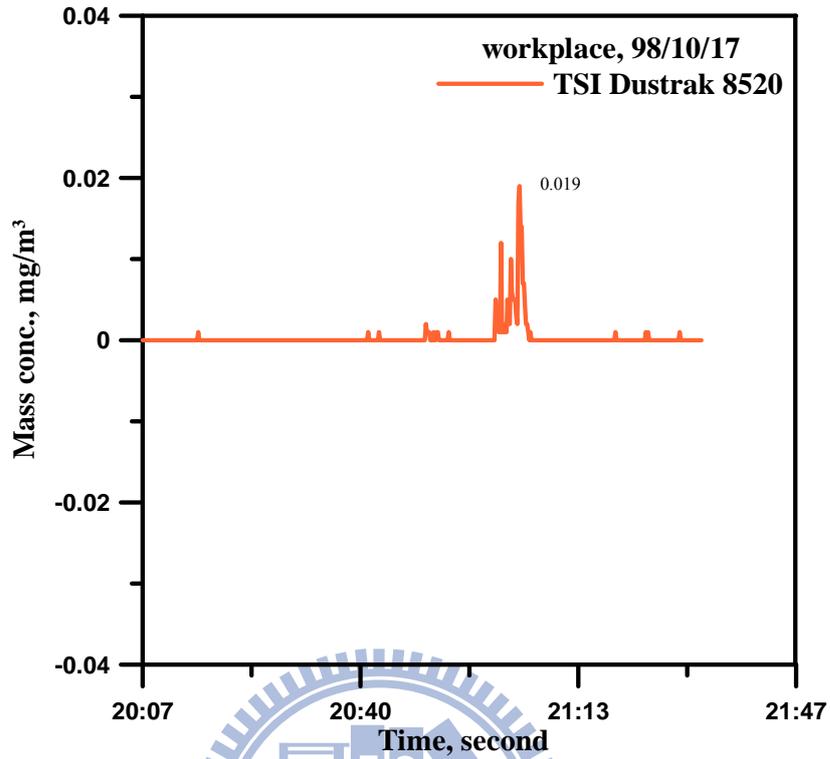


圖 4.4 2009/10/17 DustTrak 濃度變化趨勢

4.2.2 98.10.25 實驗結果

98/10/25 星期日 20:14~22:01 由現場 A 班人員進行機台設備保養，濾紙秤重及銻金屬分析紀錄如附錄二，實驗結果整理如表 4.2，由表 4.2 可知在總粉塵、可呼吸性粉塵及銻金屬濃度之數值皆遠小於法規之規定，而由 surfer 軟體模擬個人採樣濃度分佈圖如圖 4.5 所示。

表 4.2 2009/10/25 現場採樣濃度值

採樣日期：2009/10/25			採樣時間：20:14~22:01			
採樣項目	濾紙編號	現場量測濃度(mg/m ³)	作業時間(HR)	時量平均濃度(mg/m ³)	TWA (mg/m ³)	PEL-STEL (mg/m ³)
總粉塵	981025TP	0.032	1.77	0.005	10	15
銻金屬濃度分析	981025I1RP	0.022	1.77	0.003	0.1	0.3
可呼吸性粉塵#1	981025HM	0.014	1.77	0.002	5	10
可呼吸性粉塵#2	981025I2RP	0.044	1.77	0.006	5	10
可呼吸性粉塵#3	981025I3RP	0.012	1.77	0.002	5	10

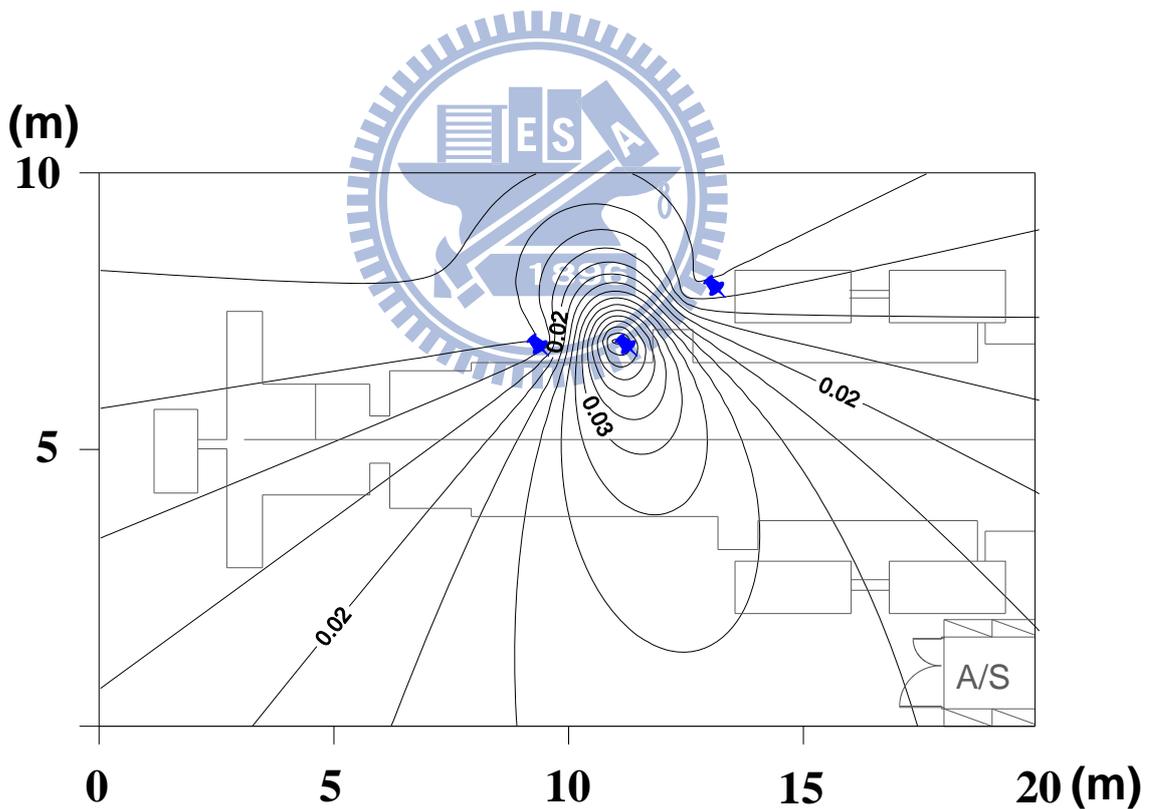


圖 4.5 2009/10/25 可呼性粉塵濃度分佈圖

DustTrak PM_{2.5} 當日監測時間總共經歷 106 分鐘，共有 641 筆記錄。採樣時間內最高濃度為 20:17:39 測得濃度 0.007 mg/m³，最低濃度測得為 0 mg/m³，其濃度變化趨勢如圖 4.6 所示。

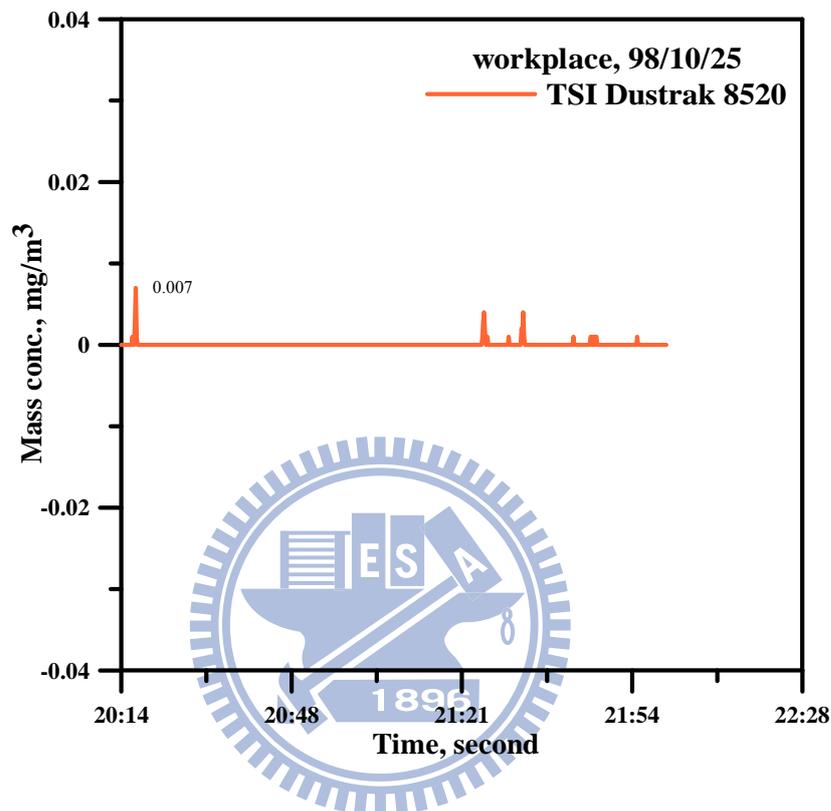


圖 4.6 2009/10/25 DustTrak 濃度變化趨勢

4.2.3 98.11.02 實驗結果

98/11/02 星期一 21:53~23:18 由現場 B 班人員進行機台設備保養，濾紙秤重及錳金屬分析紀錄如附錄四，實驗結果整理如表 4.3，由表 4.3 可知在總粉塵、可呼吸性粉塵及錳金屬濃度之數值皆遠小於法規之規定，而由 surfer 軟體模擬個人採樣濃度分佈圖如圖 4.7 所示。

表 4.3 2009/11/02 現場採樣濃度值

採樣日期：2009/11/02			採樣時間：21:54~23:18			
採樣項目	濾紙編號	現場量測濃度(mg/m ³)	作業時間(HR)	時量平均濃度(mg/m ³)	TWA (mg/m ³)	PEL-STEL (mg/m ³)
總粉塵	981102TP	0.038	1.4	0.004	10	15
銻金屬濃度分析	981102I1RP	0.029	1.4	0.003	0.1	0.3
可呼吸性粉塵#1	981102HM	0.022	1.4	0.003	5	10
可呼吸性粉塵#2	981102I2RP	0.015	1.4	0.002	5	10
可呼吸性粉塵#3	981102I3RP	0.024	1.4	0.003	5	10

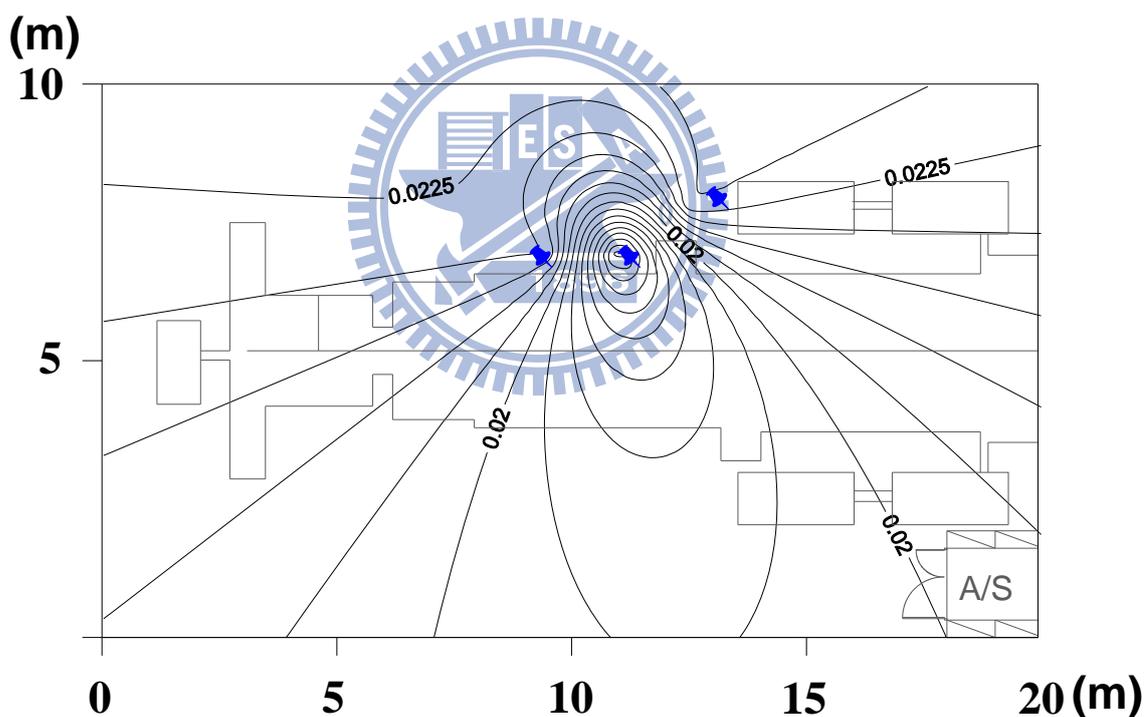


圖 4.7 2009/11/02 可呼性粉塵濃度分佈圖

DustTrak PM_{2.5} 當日監測時間總共經歷 84 分鐘，共有 506 筆記錄。採樣時間內最高濃度為 23:11:07 測得濃度 0.005 mg/m³，最低濃度測得為 0 mg/m³，其濃度變化趨勢如圖 4.8 所示。

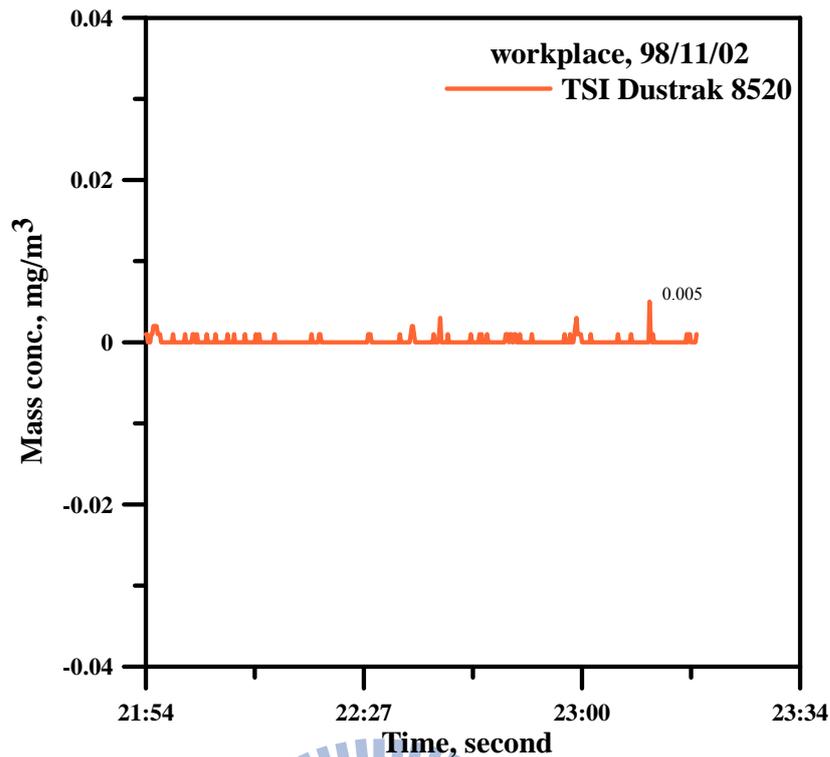


圖 4.8 2009/11/02 DustTrak 濃度變化趨勢

4.3 SSPD 分散 ITO 粉體結果

ITO 粉體以 SSPD 進行分散的實驗以 SMPS 與 APS 偵測微粒數目濃度及粒徑分佈其結果如圖 4.9 所示，圖中 SMPS 的部份是以電動度直徑表示；APS 部分則以氣動直徑表示，由圖 4.9 顯示 SMPS 的數目中間直徑(Number Median Diameter, NMD)約為 180nm，所對應之單位粉體重的數目濃度為 352,058 #/(cm³*g)；而 APS 偵測到的數目濃度峰值粒徑為 623nm，對應之單位粉體重的數目濃度為 60,391#/(cm³*g)，表示 ITO 粉體經高能量的方式分散，大部份的微粒數目皆為次微米級，但因 ITO 粉體本質為金屬氧化物，其顯在密度(apparent density)較大，故進行 PM 作業時不易揚起，且若揚起亦較快速沉降於作業環境。同時用 MOUDI 採集此種粉體的質量濃度分佈實驗結果如圖 4.10 所示，其質量中間氣動直徑(Mass Median Aerodynamic Diameter, MMAD)為 1080nm，幾何標準差(Geometric Standard Deviation, GSD)為 2.5，將實驗結果得到的數目濃度分佈轉成質量濃度分佈，可以得到 ITO 粉體的擬合密度為 0.5 g/cm³，如圖 4.11 所示，發現 ITO 粉體經由 SSPD 分散後，微粒呈現聚集形態，導致微粒結構鬆散且與現場採樣結果對照可得知微粒質量以可呼吸性微粒居多，而奈米質量部分所佔比例幾乎為零。

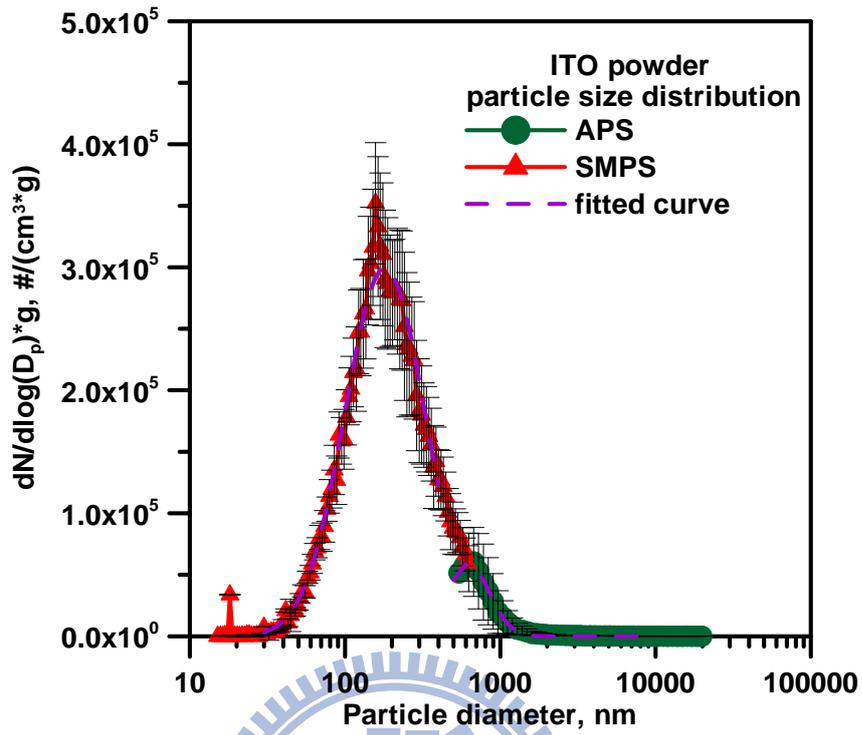


圖 4.9 以 SSPD 分散 ITO 粉體的微粒粒徑分佈圖

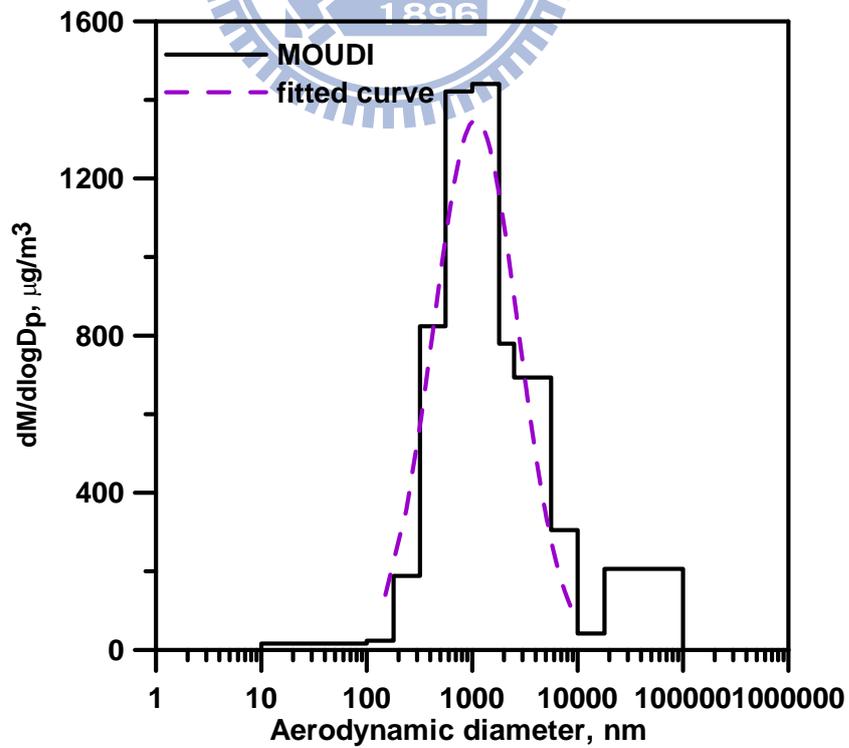


圖 4.10 以 SSPD 分散 ITO 粉體的質量濃度分佈圖

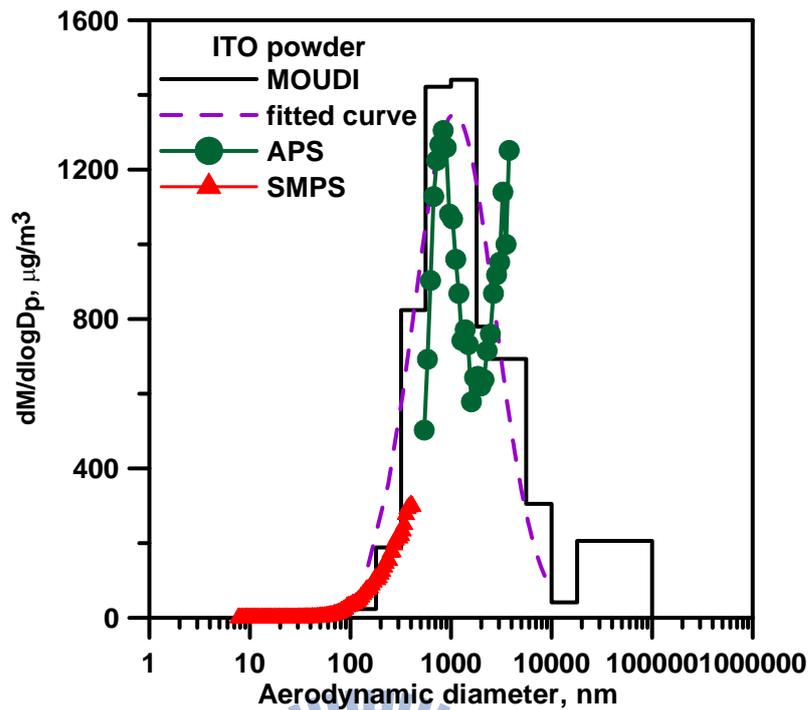


圖 4.11 以擬合密度轉換 APS 及 SMPS 之質量濃度分佈圖

4.4 DustTrak 濃度值分佈與作業方式探討

由圖 4.1 與 4.2 可得知，ITO Sputter 生產期間因無塵室潔淨度之要求，故在背景值部份接近儀器之最低偵測極限，其值落在 $0.000\sim 0.001\text{ mg/m}^3$ ，而 DustTrak 採樣器為避免防礙人員作業及遭受到碰撞，放置位置離機台腔體約 1.5m。由圖 4.4、4.6 及 4.8 可發現濃度值並不隨時間之變化而增高，而呈現階段性之變化，推測其濃度之變化與現場作業形態有關。3 次採樣中之濃度最高值及該次採樣之濃度平均值如表 4.4 所示。

表 4.4 DustTrak 各次採樣之濃度平均值及最高值

採樣日期	濃度最高值 (mg/m ³)	該次採樣平均值 (mg/m ³)	備註
2009/10/17	0.019	2.08×10 ⁻³	B 班
2009/10/25	0.007	3.74×10 ⁻⁴	A 班
2009/11/02	0.005	1.02×10 ⁻³	B 班

ITO Sputter 維護保養之步驟如圖 4.12 所示，現場進行維護保養照片如圖 4.13 所示，其中在步驟三及步驟四為粉塵逸散之主要來源，作業人員於步驟三中以手工具拆卸擋板及靶材時，附著在其上之粉塵會因震動、敲擊及拆卸等因素而掉落，而在步驟四中，作業人員以電子級酒精、Air Blow Gun 及中央集塵等方式清潔腔體，避免微粒破壞絕緣造成良率之下降。不同之作業形態也會導致採樣濃度值之差異，於本次採樣中觀察到在步驟四中，作業人員會以不同方式清潔腔體，如圖 4.14 所示。分別為

- (1) 作業方式一：Air Blow Gun+電子級酒精擦拭
- (2) 作業方式二：中央集塵+電子級酒精擦拭
- (3) 作業方式三：中央集塵+Air Blow Gun+電子級酒精擦拭

採樣日期、作業方式及濃度對應表如表 4.5 所示，以作業方式一所測得之平均濃度最高；作業方式三次之；作業方式二所測得平均濃度最低。推測原因為作業方式一會因 Air Blow Gun 之高速噴流而導致粉塵再度揚起。作業方式三雖然有以 Air Blow Gun 清潔腔體，但因輔有中央集塵系統將再揚起之粉塵吸走降低微粒逸散至作業環境，故測得之平均濃度較低，約為作業方式一所測得濃度值之 50%。

表 4.5 作業方式與濃度對應表

	作業方式	作業時間 (min)	平均濃度 (mg/m ³)	備註
2009/10/17	作業方式一	85	2.08×10^{-3}	
2009/10/25	作業方式二	106	3.74×10^{-4}	
2009/11/02	作業方式三	84	1.02×10^{-3}	

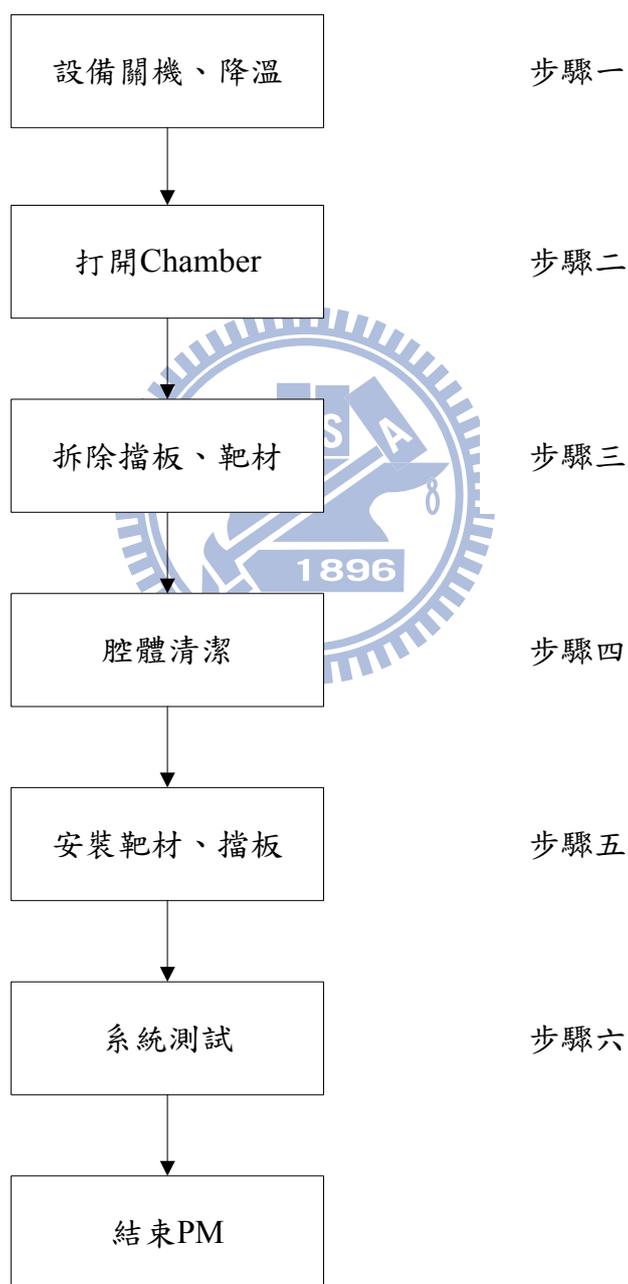


圖 4.12 ITO Sputter 維護保養之步驟



圖 4.13 現場進行機台維護保養

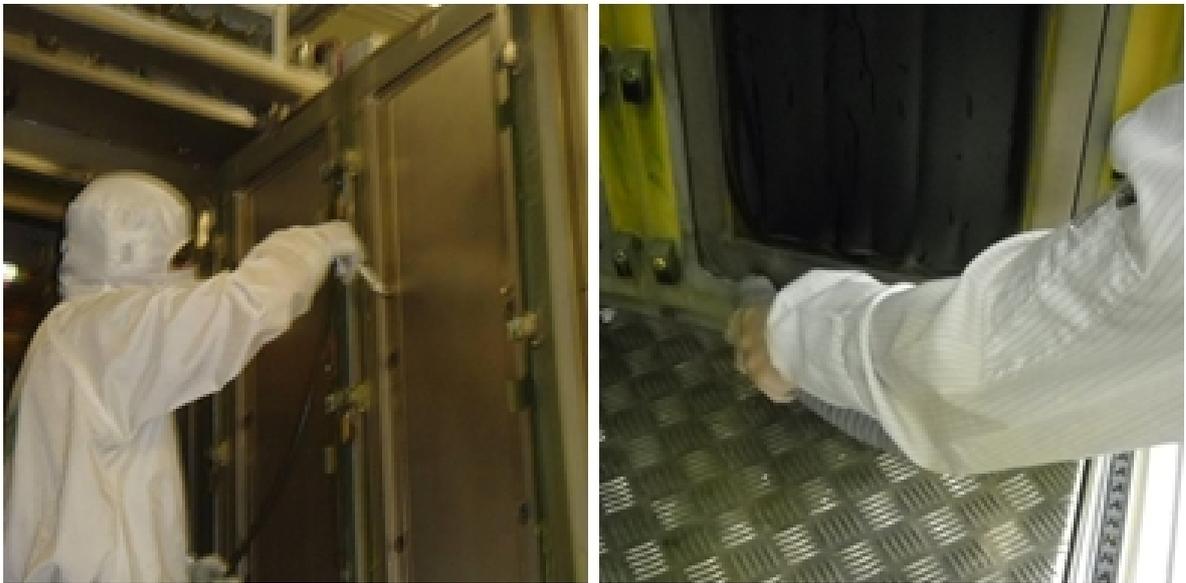


圖 4.14 不同方式清潔腔體

4.5 個人採樣濃度值分佈與作業方式探討

3 次個人採樣濃度值如表 4.6 所示，以 2009/10/17 所測得可呼吸性粉塵平均濃度值最高，為 0.041 mg/m^3 ；2009/10/25 其次，濃度值為 0.023 mg/m^3 ；2009/11/02 測得值最低，為 0.020 mg/m^3 。三次採樣時間分別為 85min、106 min 及 84 min，若搭配當天之作業方式來探討採樣濃度之變化，可發現作業方式一所測得之可呼吸性粉塵平均濃度值為最高；其次為作業方式二，作業方式三為最低，與 DustTrak 測得之結果有所出入。因此我們將圖 4.3、4.5 及 4.7 轉換成以顏色深淺來區分濃度高低以方便判讀，如圖 4.15、4.16 及 4.17 所示，由圖 4.15 及 4.17 可發現，靠近機台腔體處所由 surfer 模擬得可呼吸性粉塵濃度值相較於遠離機台處來的低，而圖 4.16 則是靠近機台腔體處所模擬得可呼吸性粉塵濃度值較高，這也說明了 Air Blow Gun 之高速氣流會導致粉塵再度被揚起而擴散到周圍區域。2009/10/25 以中央集塵方式清潔腔體較不會造成粉體再度揚起，故 DustTrak 所測得之數值偏低，但是由於作業過程中人員進行拆卸、腔體擦拭等動作時手臂之揮動所引起之氣流也會導致附著在腔體之微小粉塵再度被揚起，而被個人採樣器所捕集，加上 2009/10/25 作業時間明顯偏長，也導致作業人員暴露之時間相對提高，故 2009/10/25 所測得之濃度值與 2009/11/02 相近。總粉塵部分，2009/10/17 所測得濃度值最高，為 0.1 mg/m^3 ；2009/10/25 及 2009/11/02 所測得之濃度值較接近，分別為 0.032 mg/m^3 及 0.038 mg/m^3 。則可能由於以不同方式清潔腔體會導致微粒逸散量的差異，而以 Air Blow Gun 搭配中央集塵方式清潔腔體可顯著降低粉塵逸散至作業環境中，故 2009/10/25 及 2009/11/02 所測得之濃度值較為相近。可呼吸性粉塵佔總粉塵比例分別為 41%、72% 及 53%，亦即 PM 作業環境中逸散之微粒仍以可呼吸性微粒居多。銻金屬濃度分析三次採樣分析之數據分別為 0.051 mg/m^3 、 0.022 mg/m^3 及 0.029 mg/m^3 。佔總粉塵重量濃度百分比分別為 51%、69% 及 76%，可確定銻為逸散粉塵之主要成份。

此外，Li et al.(2000)的研究中指出不同採樣器之捕集效率取決於風速、風向及微粒粒徑，在不同之狀況下採樣數值會因為採樣器之因素而被高估或低估。當微粒氣動直徑大於 $30 \mu\text{m}$ 時，37 mm closed-face 採樣器之捕集效率會低於可吸入性粉塵之定義曲線，且 37 mm closed-face 採樣器之捕集效率不論使用在區域採樣或個人採樣，將取決採集微粒的黏性，主要因內部損失對於較大粒徑(20~100 μm)的微粒有較高的變異性。因此本研究使用 37 mm closed-face 採樣器對大微粒的採樣損失較大，可能使總粉塵的濃度值被低

估，將來採樣時應改為合適的採樣器。

表 4.6 個人採樣濃度彙整表

日期 分析項目	2009/10/17	2009/10/25	2009/11/02	平均± 標準偏差	備註
總粉塵	0.1	0.032	0.038	0.057±0.038	單位： mg/m ³
銻金屬濃度分析	0.051	0.022	0.029	0.034±0.015	
可呼吸性粉塵#1	0.029	0.014	0.022	0.022	
可呼吸性粉塵#2	0.019	0.044	0.015	0.026	
可呼吸性粉塵#3	0.075	0.012	0.024	0.037	
可呼吸性粉塵 平均值	0.041	0.023	0.02	0.028±0.011	

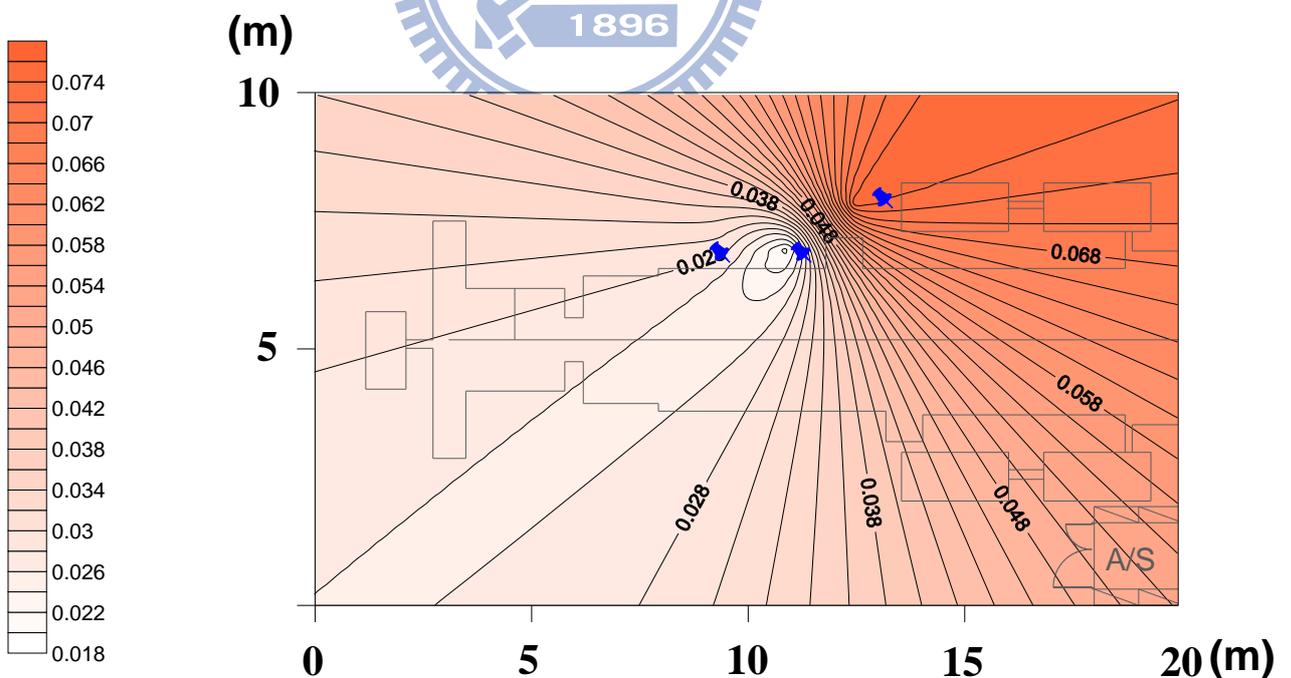


圖 4.15 2009/10/17 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖

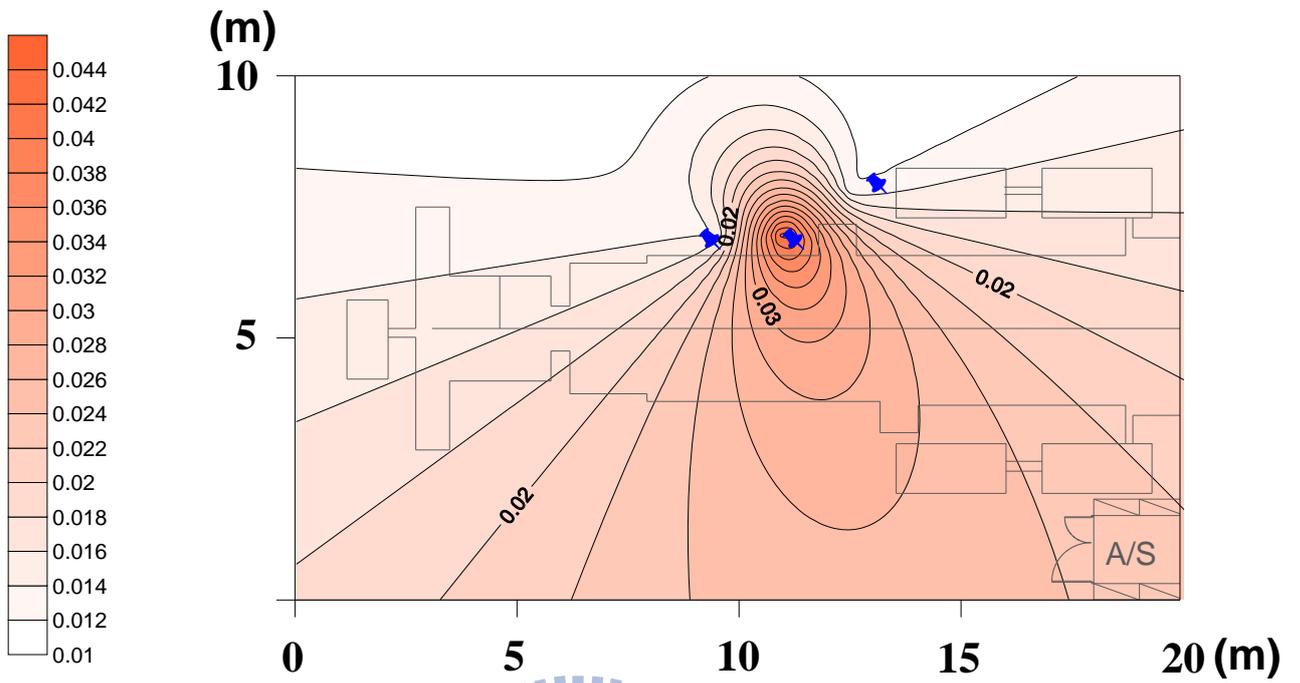


圖 4.16 2009/10/25 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖

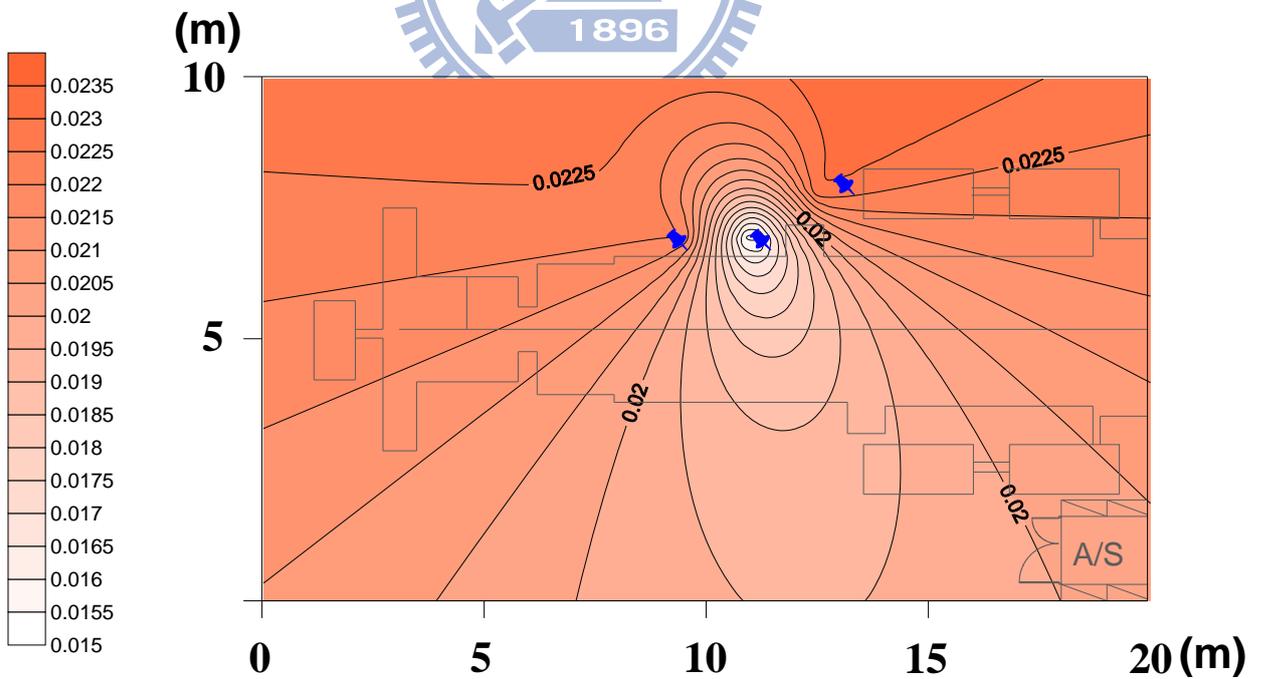


圖 4.17 2009/11/02 可呼性粉塵濃度擴散模擬圖

4.6 氧化銦錫粉塵 SEM 照片及 EDS 分析

為了進一步觀察粉體之狀況，於 ITO Sputter 進行清潔維護保養時，從靶材上收集氧化銦錫之粉體，以場發射掃描式電子顯微鏡(Field Emission Scanning Electron Microscopy, FESEM, JEOL JSM-6700F)來觀察粉體之顯微結構現象，如圖 4.18 及 4.19 所示，並利用能量散射光譜儀(Energy Dispersive System, EDS)在粉體表面經電子撞擊後所釋出之 X 射線而分析樣品中化學成份種類與含量。由圖 4.18 及 4.19 可發現，從靶材上所採集之樣品為不規則形狀的粉體顆粒，並由許多顆粒因相互碰撞而聚積成大小不同、形狀各異的團聚體(Aggregate)。圖 4.20 則是藉由能量散射光譜儀來分析粉體之結果，可發現粉體中含有少量之微量元素，如鉀、碲..等，其中銦元素佔 49%重量百分比。圖 4.21 代表能量散射光譜儀樣品背景值之量測結果。



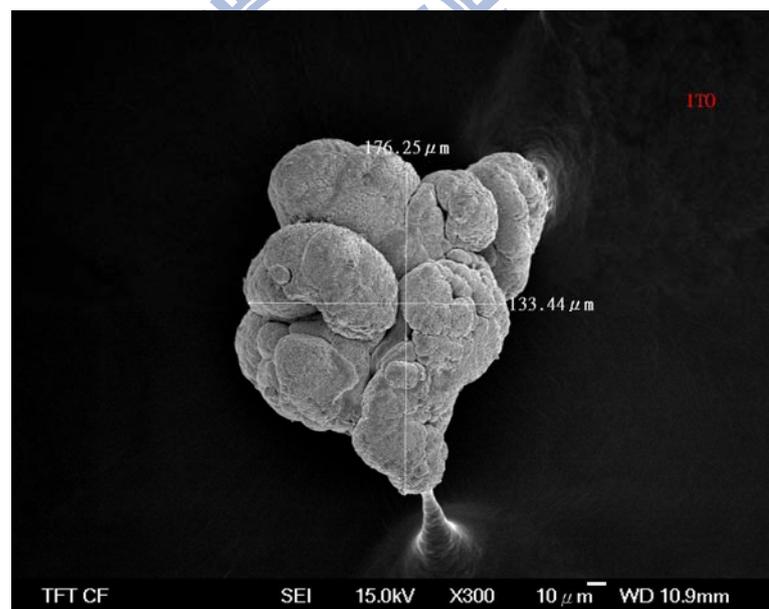
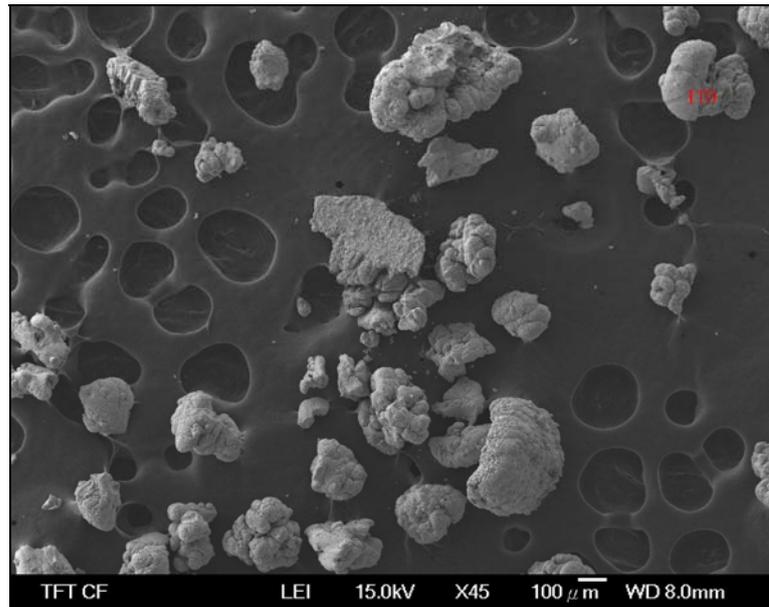


圖 4.18 氧化錫粉體x45 倍及 300 倍 SEM 照片

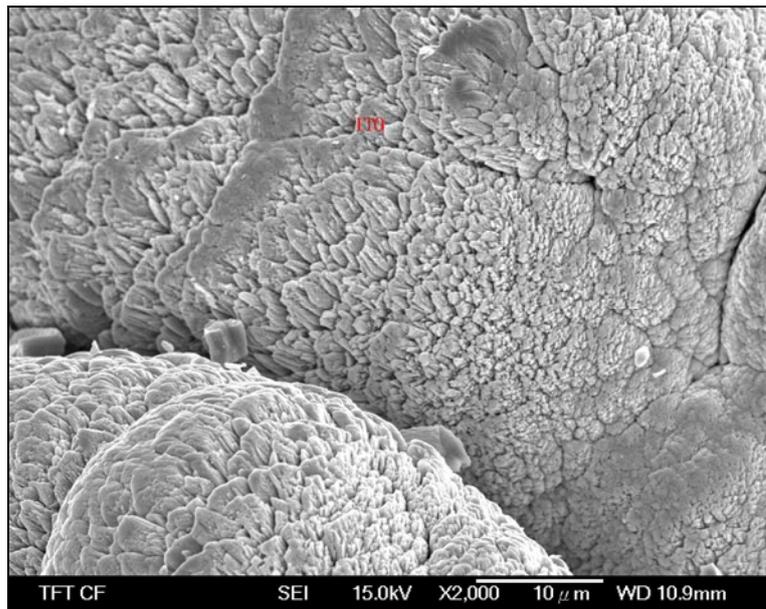
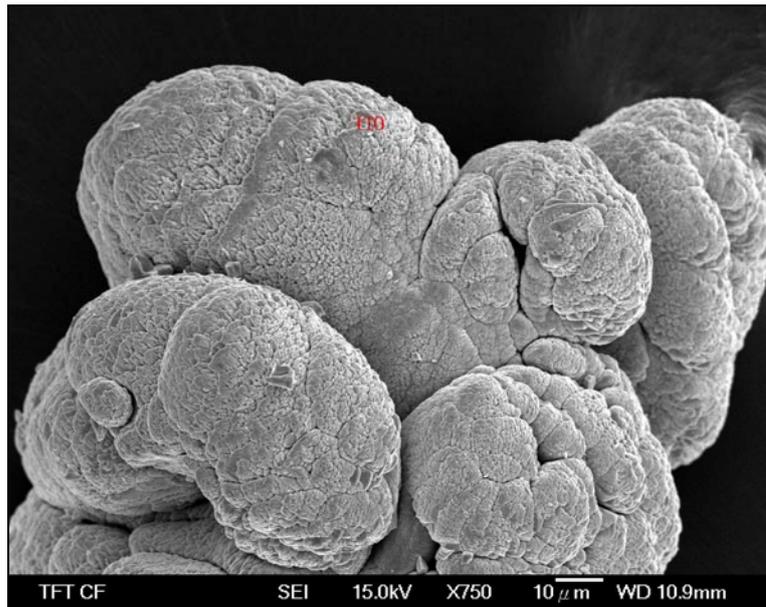
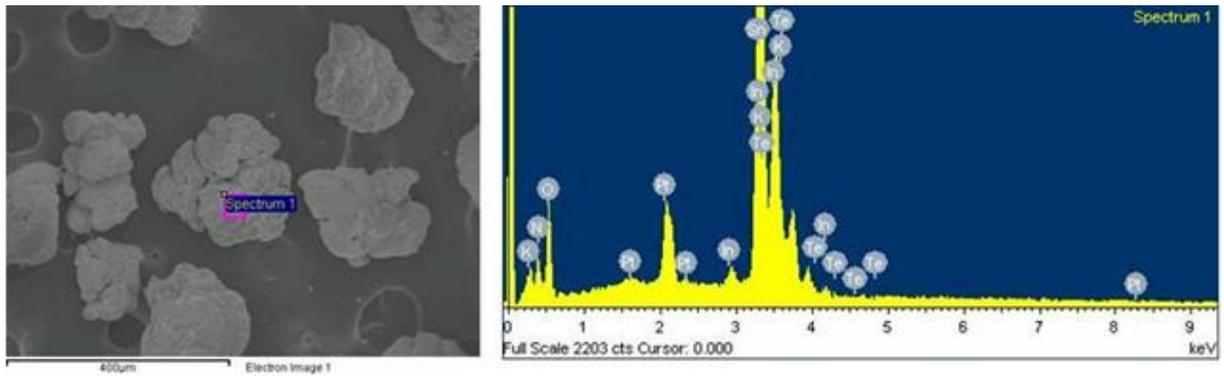
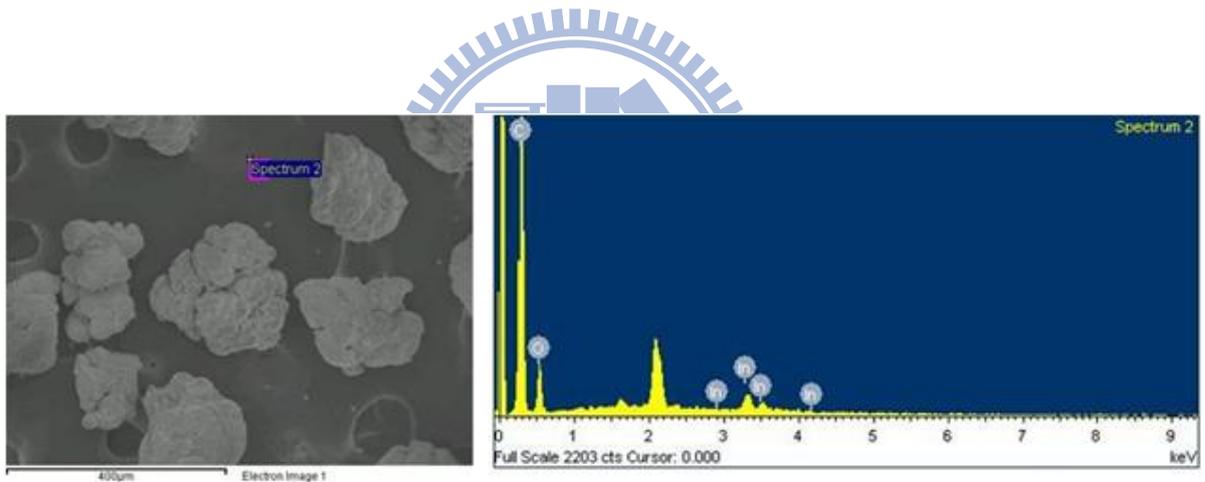


圖 4.19 氧化銦錫粉體x750 倍及 2000 倍 SEM 照片



Element	N	O	K	In	Sn	Te	Pt	Total
Weight(%)	4.01	28.31	4.7	49.46	3.39	1.66	8.47	100
Atomic(%)	10.64	65.73	4.47	16	1.06	0.48	1.61	

圖 4.20 能量散射光譜儀分析結果



Element	C	O	In	Total
Weight(%)	64.84	31.02	4.14	100
Atomic(%)	73.21	26.3	0.49	

圖 4.21 能量散射光譜儀樣品背景值量測

4.7 國內法規及 SEMI 建議值探討

目前國內針對粉塵之管制標準如表 2.2 所示，對於總粉塵及可呼吸性粉塵管制標準分別為 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 及 $5\text{mg}/\text{m}^3$ ，而 SEMI S26 中針對作業環境中之有害物濃度亦提出建議值：於機台設備正常稼動中，作業環境不應有化學物質之排放，人員呼吸品質最低的區域其室內空氣濃度亦需低於職業暴露容許濃度(Occupational Exposure Limit, OEL)的 1%；而在保養活動期間的化學排放量應降至最低，預估人員呼吸品質最低的區域其室內空氣濃度亦需低於 OEL 的 25%。本研究之量測數值與國內法規及 SEMI S26 之建議值如表 4.7 所示。由表 4.7 可知，總粉塵及可呼性粉塵於三次之量測中皆能符合國內法規之規範及 SEMI S26 之建議值，但銻金屬濃度部份於 2009/10/17 及 2009/11/02 兩日所量測之數值雖能符合國內法規規範，但卻超出 SEMI S26 之建議暴露容許濃度，而該兩日之作業皆有使用 Air Blow Gun 來進行濺鍍機台腔體之清潔。

表 4.7 量測數值與國內法規、SEMI 建議暴露容許濃度比較表

	10/17	TWA ₁₀₁₇	10/25	TWA ₁₀₂₅	11/02	TWA ₁₁₀₂	TWA	STEL	SEMI 建議值 (平常)	SEMI 建議值 (保養期間)	備註
總粉塵	0.1	0.012	0.032	0.005	0.038	0.004	10	15	0.1	2.5	單位： mg/m^3
銻金屬濃度分析	0.051	0.006	0.022	0.003	0.029	0.003	0.1	0.3	0.001	0.025	
可呼吸性粉塵#1	0.029	0.003	0.014	0.002	0.022	0.003	5	10	0.05	1.25	
可呼吸性粉塵#2	0.019	0.002	0.044	0.006	0.015	0.002	5	10	0.05	1.25	
可呼吸性粉塵#3	0.075	0.009	0.012	0.002	0.024	0.003	5	10	0.05	1.25	
可呼吸性粉塵 平均值	0.041	0.005	0.023	0.003	0.020	0.002	5	10	0.05	1.25	

第五章 結論與建議

5.1 結論

本研究針對 ITO Sputter 機台進行清潔維護保養時進行粉塵逸散之量測，經由 DustTrak 及個人採樣以確定現場濃度之變化及作業人員之暴露值，最後並以 SSPD 分散 ITO 粉體藉以了解微粒之粒徑、數目與質量濃度分佈。由實驗結果可得個人採樣部份所測得之濃度值皆符合目前國內法規規範，但是不同的作業型態會導致粉體再度被揚起而增加作業人員之暴露風險，而導致測值超出 SEMI 建議之暴露容許濃度。而以 SSPD 分散粉體之結果可知 NMD 為 180nm，而利用 MOUDI 採集此種粉體的質量濃度分佈，由實驗結果可得其 MMAD 為 1080nm。將實驗結果得到的數目濃度分佈轉成質量濃度分佈，可以得到 ITO 粉體的微粒擬合密度為 0.5 g/cm^3 。由上述結果可知，經由濺鍍製程所產生之粉體大多屬於次微米級微粒，與現場採樣結果對照可得知，以質量濃度計，微粒大多為可呼吸性微粒。



5.2 建議

TFT-LCD 產業為我國兩兆雙星產業之一，其產值及相關之上、下游供應體系在我國在經濟、社會及科技發展上之重要推手，尤其近年來顯示技術及網路的發達，已出現所謂「三螢一雲」之概念，國際各大廠也積極之佈局，共同描繪未來科技之新面貌，液晶顯示器在其中更扮演著不可或缺的角色，而其中 ITO 導電層更是讓液晶得以偏轉之關鍵製程，氧化銻錫因具備著透明及導電等特性因此成為製備導電層之首選材料，而使用濺鍍方式為目前製造之主流方式，國際上也曾發生過因為吸入過量之銻錫化合物而導致銻中毒之案例，本研究案例平均每八天就須進行濺鍍機台之清潔維護保養，以維持製程之良率，因此評估作業人員是否暴露於高風險之作業環境為刻不容緩之課題，茲就本研究結果建議如下：

1. 由本研究實驗結果可知作業人員之暴露值皆能符合國內法規之規範，但不同之作業型態會導致 ITO 粉體再度被揚起，而超出 SEMI 之暴露容許濃度。另外，本研究使用的 37 mm closed-face 採樣器對大微粒的採樣損失較大，使總粉塵的濃度值被低估，將來採樣時應改為合適的採樣器。
2. 對於濺鍍機台之清潔建議以中央集塵方式進行，以降低作業人員之暴露風險。
3. 目前國際上對於銦金屬之毒化特性並尚未有充分之測試報告，現階段之濃度管制標準是否能確保暴露於銦化合物中之勞工作業安全，仍需進一步之研究。
4. ITO 粉體由實驗結果得知大多屬於次微米級微粒，而進入無塵室時所佩帶之紙口罩對於 ITO 粉體之捕集效果相當有限，因此進行腔體清潔保養時如何選擇兼顧安全性及舒適性之呼吸防護具，仍需持續研究。
5. 清潔保養完畢後所產生之廢棄物，應利用塑膠袋或是可封口之容器單獨盛裝避免與其他一般廢棄物混裝，處置時應注意避免粉體的再揚起而逸散至周圍環境中。



參考文獻

- [1] 顧鴻壽，光電液晶平面顯示器—技術基礎及應用，二版，新文京，台灣，民國八十九年。
- [2] 紀國鐘、鄭晃忠等編著，液晶顯示器技術手冊，台灣電子材料與元件協會，台灣，民國九十年。
- [3] 王秋森，李慧梅等，氣膠原理與應用，勞工安全衛生研究所，民國八十五年。
- [4] 蔡春進、黃政雄，奈米微粒作業環境控制技術性能評估，勞工安全衛生研究所，民國九十八年。
- [5] 林少娟，「靜止空氣環境中之人體吸入效率與採樣器效能之探討」，國立成功大學環境醫學研究所，碩士論文，民國九十一年。
- [6] 陳靜怡，「氧化鋅中介層對 ITO 透明導電膜性質之影響」，國立成功大學材料科學及工程學系，碩士論文，民國九十一年。
- [7] 蔡宗典，「超薄 ITO 透明導電膜應用在觸控面板之研究」，國立中央大學光電科學研究所，碩士論文，民國九十七年。
- [8] 賴全裕，陳志傑，黃景祥，石東生，黃文玉，「可呼吸性氣膠分徑採樣器效能比較研究」，第 8 卷第 1 期，第 1-18 頁，勞工安全衛生研究季刊，民國 89 年。
- [9] 蔡春進、石東生、林振德、謝碧珠、程裕祥，「市售分粒裝置採樣器之評估測試研究」，勞工安全衛生研究所，民國八十四年。

- [10] 石東生，蔡朋枝，「作業場所氣膠粒徑分布量測技術之現場驗證」，勞工安全衛生研究所，民國九十二年。
- [11] 陳志傑，「氣膠分徑採樣器負載特性研究」，勞工安全衛生研究所，民國九十二年。
- [12] 蔡春進、石東生、蕭宏光、林國清，「粉塵負荷及鏡電對 10mm 尼龍旋風器的採樣效率影響」，第 5 卷第 2 期，第 27-38 頁，勞工安全衛生研究季刊，民國 86 年。
- [13] 黃政雄，蔡春進，蕭宏光，石東生，「可呼吸性個人粉塵採樣器之現場測試研究」，第 6 卷第 2 期，第 23-37 頁，勞工安全衛生研究季刊，民國 87 年。
- [14] 蔡春進，「職場微粒分徑採樣之評估研究」，勞工安全衛生研究所，民國九十五年。
- [15] 行政院勞工委員會，「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」，2003。
- [16] 勞工安全衛生研究所，「銻、氧化銻錫及銻化合物暴露危害預防」，民國九十七年。
- [17] 張雅婷，蕭庭哲，吳俊毅，「銻金屬資源與目前資源化處理技術之探討」資源與環境學術研討會論文集，民國九十七年。
- [18] 閻濟民，「氧化銻錫應用於多晶矽太陽電池製程之研究」，國立雲林科技大學光電工程研究所，碩士論文，民國九十五年。
- [19] 莊惟傑，「銻的回收概況」，ITIS 智網，2008.11。
- [20] 陳鏡夫，「國內含銻資源物市場評析」，ITIS 智網，2006.08。

- [21] 葉錦清， “ 2007 年前三季我國 FPD 產業回顧與展望 ” ， ITIS 智網， 2007.11 。
- [22] 中華映管股份有限公司內部教育訓練資料。
- [23] 郭育良， “ 職業病概論 ” ， 華杏出版股份有限公司， 1998 。
- [24] Applied Films 公司技術手冊。
- [25] 中國醫藥網。(http://www.pharmnet.com.cn/)
- [26] 吳旭聖，江旭政， “ 微粒過濾裝置效率檢測方法與規範 ” ， 第 11 期，潔淨雜誌期刊，民國九十四年。
- [27] 勞工安全衛生研究所， 「 工業粉塵操作安全 」 ， 民國九十七年。
- [28] 勞工安全衛生研究所， (<http://oldwww.iosh.gov.tw/>)
- [29] 國立台灣師範大學化學， (<http://pauling.chem.ntnu.edu.tw/oldWWW/antiFire/04.htm>)
- [30] Marple, V. A., Rubow, K. L., and Behm, S. M., 1991, “A microorifice uniform deposit impactor(MOUDI): description, calibration, and use”, Aerosol Sci. Technol., 14, pp. 434-446.
- [31] Khlystov, A., Stanier, C., and Pandis, A., 2004, “An algorithm for combining electrical mobility and aerodynamic size distributions data when measuring ambient aerosol”, Aerosol Sci. Technol., 38(S1), pp. 229-238.
- [32] Peters, T.M., Leith, D., 2003, “Concentration measurement and counting efficiency of the aerodynamic particle sizer 3321 ”, J. Aerosol Sci., 34, pp. 627-634.
- [33] Shou-Nan Li, Dale A. Lundgren, David Rovell-Rixx., 2000 “Evaluation of Six Inhalable Aerosol Samplers”, AIHAJ., 61,pp.506-516.

附錄一 Dust Trak校正紀錄

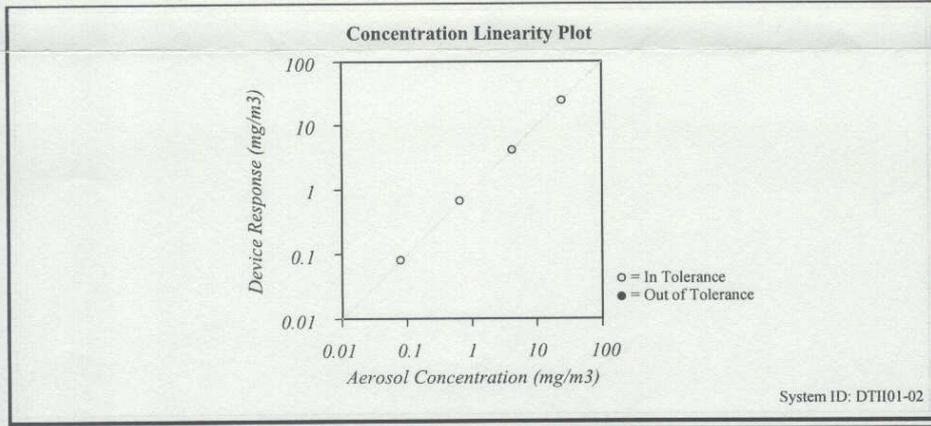
9H SES3 348 ©

CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TESTING

TSI Incorporated, 500 Cardigan Road, Shoreview, MN 55126 USA
Tel: 1-800-874-2811 1-651-490-2811 Fax: 1-651-490-3824 http://www.tsi.com

Environment Condition			Model	8520
Temperature	72.1 (22.3)	°F (°C)	Serial Number	21214
Relative Humidity	43	%RH		
Barometric Pressure	29.12 (986.1)	inHg (hPa)		

<input checked="" type="checkbox"/> As Left	<input checked="" type="checkbox"/> In Tolerance
<input type="checkbox"/> As Found	<input type="checkbox"/> Out of Tolerance



Zero Stability Results			
Average:	Minimum:	Maximum:	Time:
0.000 :mg/m ³	0.000 :mg/m ³	0.001 :mg/m ³	4 :00 :hrs.

TSI Incorporated does hereby certify that all materials, components, and workmanship used in the manufacture of this equipment are in strict accordance with the applicable specifications agreed upon by TSI and the customer and with all published specifications. All performance and acceptance tests required under this contract were successfully conducted according to required specifications. There is no NIST standard for optical mass measurements. Calibration of this instrument performed by TSI has been done using emery oil and has been nominally adjusted to respirable mass of standard ISO 12103-1, A1 test dust (Arizona dust). Our calibration ratio is greater than 1.2:1

Measurement Variable	System ID	Last Cal.	Cal. Due	Measurement Variable	System ID	Last Cal.	Cal. Due
Barometric Pressure	E001329	04-23-09	04-23-10	Temperature	E002873	02-24-09	02-24-10
Humidity	E002873	02-24-09	02-24-10	DC Voltage	E003314	01-06-09	01-06-10
DC Voltage	E003315	01-06-09	01-06-10	Photometer	E003319	07-02-09	01-02-10
Microbalance	E003403	06-25-09	06-25-10	Flow and Temperature	E003512	02-16-09	02-16-10
Pressure	E003511	11-20-08	11-20-09				

Final Function Check
 August 26, 2009

Calibrated
Date

L1110 in USA

附錄二 2009/10/17 濾紙秤重及銅金屬分析紀錄

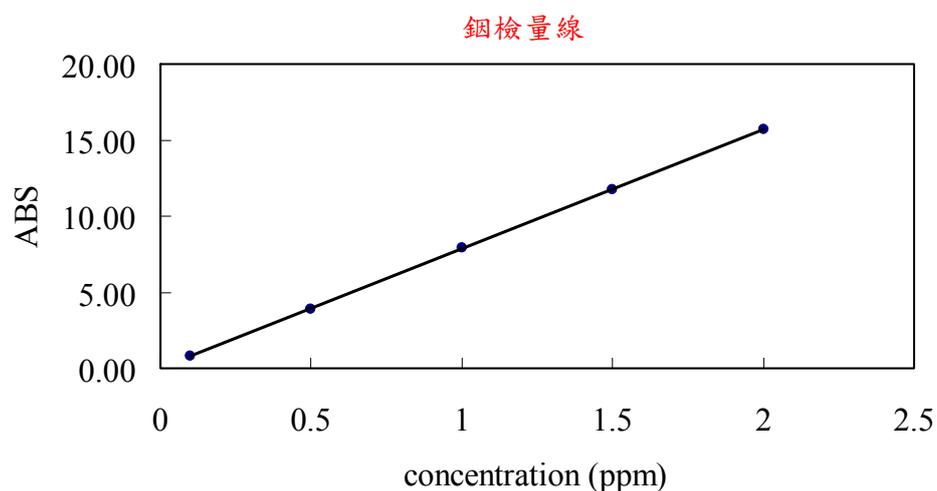
時間：98/10/17		溫度：前20℃ 後21℃			溼度：前36% 後38%		平均	重量 差異
編號	1	2	3	4	5			
981017LB	前	13.103	13.104	13.104	13.105	13.104	13.104	0.001
	後	13.104	13.106	13.105	13.106	13.104	13.105	
981017FP	前	13.665	13.666	13.665	13.666	13.665	13.6654	0.0004
	後	13.666	13.67	13.66	13.667	13.666	13.6658	
981017TP	前	13.741	13.738	13.739	13.74	13.739	13.7394	0.0148
	後	13.753	13.754	13.754	13.755	13.755	13.7542	
981017I1RP	前	13.072	13.073	13.072	13.073	13.071	13.0722	0.0046
	後	13.076	13.077	13.077	13.077	13.077	13.0768	
981017I2RP	前	13.08	13.079	13.081	13.078	13.078	13.0792	0.0032
	後	13.084	13.082	13.081	13.083	13.082	13.0824	
981017I3RP	前	13.714	13.713	13.712	13.713	13.713	13.713	0.0112
	後	13.725	13.724	13.723	13.724	13.725	13.7242	
備註：								

2009/10/17 銅金屬 ICP-OES 分析記錄

分析日期: 2009/10/20	機台型號: Thermo Elemental IRIS Intrepid II XSP
------------------	---

消化後定量體積(mL): 10

檢量線樣品編號	檢量線樣品配製濃度 (mg/L)	訊號強度
STD1	0.10	0.8242
STD2	0.50	3.8910
STD3	1.00	7.9180
STD4	1.50	11.7200
STD5	2.00	15.7100



$$Y=mx+b ; m=7.8343 ; b=0.0217 ; R=1.0000$$

樣品編號	ABS	測量濃度 (mg/L)	樣品含量(mg)
981017HM	5.7490	0.7311	0.0073

附錄三 2009/10/25 濾紙秤重及銅金屬分析紀錄

時間：98/10/25		溫度：前21℃ 後21℃			溼度：前36% 後37%		平均	重量 差異
編號		1	2	3	4	5		
981025LB	前	13.47	13.469	13.468	13.469	13.469	13.469	0.0018
	後	13.472	13.47	13.471	13.47	13.471	13.4708	
981025FP	前	13.624	13.623	13.624	13.622	13.622	13.623	0.001
	後	13.624	13.625	13.624	13.623	13.624	13.624	
981025TP	前	13.77	13.771	13.771	13.772	13.772	13.7712	0.0068
	後	13.779	13.778	13.778	13.778	13.777	13.778	
981025I1RP	前	13.463	13.465	13.464	13.463	13.464	13.4638	0.0036
	後	13.467	13.468	13.468	13.466	13.468	13.4674	
981025I2RP	前	13.093	13.092	13.093	13.09	13.092	13.092	0.009
	後	13.102	13.101	13.101	13.101	13.1	13.101	
981025I3RP	前	13.084	13.084	13.085	13.084	13.084	13.0842	0.0032
	後	13.087	13.087	13.088	13.088	13.087	13.0874	
備註：								

2009/10/25 銅金屬 ICP-OES 分析記錄

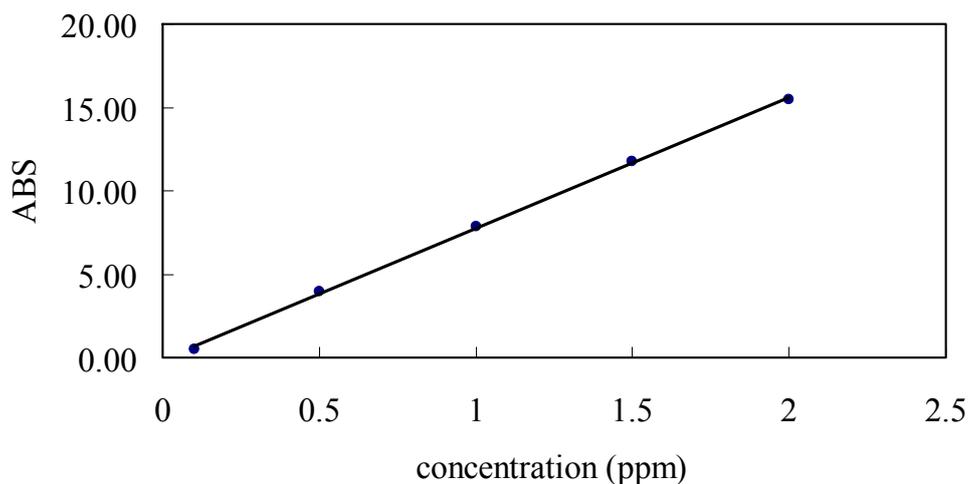
分析日期:2009/10/28

機台型號: Thermo Elemental IRIS
Intrepid II XSP

消化後定量體積(mL): 10

檢量線樣品編號	檢量線樣品配製濃度 (mg/L)	訊號強度
STD1	0.10	0.5317
STD2	0.50	3.9660
STD3	1.00	7.8470
STD4	1.50	11.7390
STD5	2.00	15.4650

銅檢量線



$$Y=mx+b ; m=7.8345 ; b=-0.0814 ; R=0.9997$$

樣品編號	ABS	測量濃度 (mg/L)	樣品含量(mg)
981025HM	2.9740	0.3900	0.0039

附錄四 2009/11/02 濾紙秤重及銅金屬分析紀錄

時間：98/11/02		溫度：前20℃ 後22℃			溼度：前35% 後37%		平均	重量 差異
編號		1	2	3	4	5		
981102LB	前	13.656	13.657	13.655	13.656	13.656	13.656	0.0016
	後	13.658	13.657	13.658	13.658	13.657	13.6576	
981102FP	前	13.581	13.58	13.58	13.58	13.58	13.5802	0.0002
	後	13.581	13.579	13.581	13.581	13.58	13.5804	
981102TP	前	13.021	13.02	13.019	13.02	13.02	13.021	0.0056
	後	13.026	13.026	13.025	13.026	13.025	13.026	
981102I1RP	前	13.251	13.25	13.249	13.251	13.25	13.2502	0.0034
	後	13.253	13.254	13.254	13.254	13.253	13.2536	
981102I2RP	前	13.301	13.3	13.301	13.3	13.299	13.3002	0.0024
	後	13.303	13.302	13.303	13.302	13.303	13.3026	
981102I3RP	前	13.729	13.73	13.729	13.728	13.729	13.729	0.0036
	後	13.733	13.732	13.733	13.732	13.733	13.7326	
備註：								

2009/11/02 銅金屬 ICP-OES 分析記錄

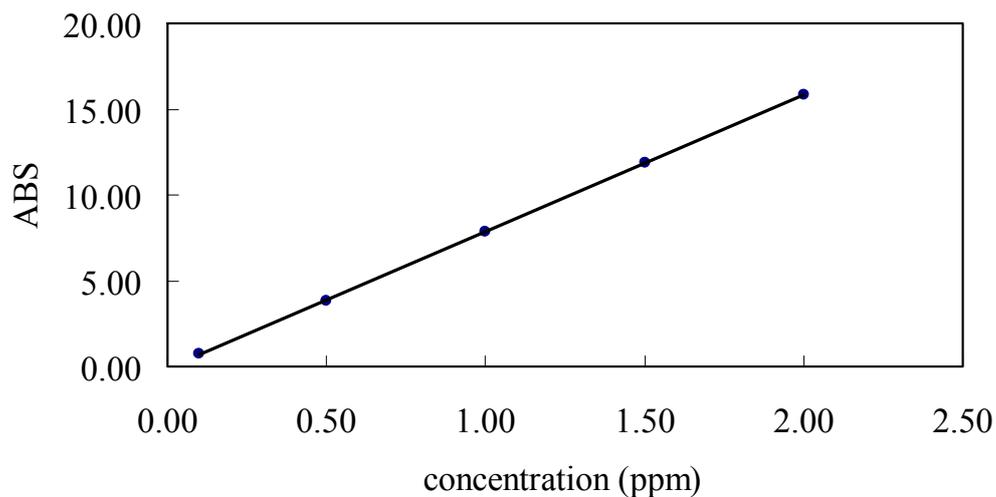
分析日期:2009/11/05

機台型號: Thermo Elemental IRIS
Intrepid II XSP

消化後定量體積(mL): 10

檢量線樣品編號	檢量線樣品配製濃度 (mg/L)	訊號強度
STD1	0.10	0.7283
STD2	0.50	3.8400
STD3	1.00	7.8390
STD4	1.50	11.8600
STD5	2.00	15.8800

銅檢量線



$$Y=mx+b ; m=7.9860 ; b=-0.1162 ; R=1.0000$$

樣品編號	ABS	測量濃度 (mg/L)	樣品含量(mg)
981102HM	3.1200	0.4052	0.0041