



97年度奈米國家型計畫執行報告

奈米技術計量標準計畫（6/6）

（第6年度）

全程計畫：自 92 年 1 月至 97 年 12 月止

本年度計畫：自 97 年 1 月至 97 年 12 月止

委託單位：經濟部標準檢驗局

執行單位：工業技術研究院

中華民國 98 年 1 月 23 日

【期末報告摘要資料】

科資中心編號	PG9602-0001			
計畫中文名稱	奈米技術計量標準計畫			
主管機關	經濟部標準檢驗局	計畫編號	97-1403-36-辛 01-00-00-00-24	
執行機構	財團法人工業技術研究院	審議編號	97-1403-04-辛01	
年度	97	全程期間	9201-9712	
本期經費	46,900仟元			
執行單位出資	0%			
經濟部標準檢驗局	委託(補助) 100%			
執行進度		預定進度	實際進度	落後比率(比較)
	當年	100%	100%	0%
	全程	100%	100%	0%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	46,900仟元	46,726	99.6%
	全程	219,852仟元	219,513仟元	99.8%
中文關鍵詞	奈米粒徑、線寬、奈米膜厚、晶圓表面奈米微粒；奈米壓痕、微小力量；微/奈升、分注量、數位微流			
英文關鍵詞	Nanoparticle size, Linewidth(Critical Dimension), Nanometer scale film thickness, Nanometer scale particles on wafer surface ; Nanoindentation, Micro Force ; Micro/Nanoliter, Dispensed liquid volume, Digital microfluidics			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	彭國勝 博士		Gwo-Sheng Peng	
	張啟生 博士		Chi-Sheng Chang	
	陳朝榮 博士		Chao-Jung Chen	
	遲雅各博士		Ya-Ko Chih	
	蘇峻民博士等		Chun-Min Su	
研究成果中文摘要	<p>1.尺寸參數量測追溯分項：</p> <p>(1)奈米粒徑量測系統-電遷移率分析法(DMA)建立。</p> <p>(2)奈米粒徑量測系統-電重力氣膠平衡法(EAB)建立。</p> <p>(3)50 nm線寬線距量測。</p> <p>(4)薄膜量測技術研究。</p> <p>(5)晶圓表面奈米微粒量測技術研究。</p> <p>(6)協辦2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology。</p> <p>(7)協辦2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum。</p> <p>(8)協辦2008 APEC interlaboratory comparison on Nanoindentation。</p> <p>2.力學性質量測追溯分項：</p>			

	<p>(1)完成時變及生醫材料機械性質量測。</p> <p>(2)完成材料製程溫度下之機械性質。</p> <p>(3)微小力量勁度傳感器量測。</p> <p>3.微流量測標準技術分項：</p> <p>(1) 完成奈升級單劑量量測追溯標準技術之建立。</p> <p>(2) 完成微奈升液體分注量量測儀(包含硬體、軟體、試劑組)。</p> <p>(3) 透過稱重法比對完成光度法微奈升分注量量測驗證。</p> <p>(4) 完成數位流體晶片應用於不同樣本液之測試。</p> <p>(5) 完成以數位流體晶片進行選擇性親疏水輔助樣本定量分注技術之理論與實驗驗證及其在樣本濃度調控的應用。</p> <p>(6) 完成數位流體邏輯操控展示平台之建立。</p>
英文摘要	<p>1.Nanometer scale metrology subproject :</p> <p>(1) Nanoparticle size measurement system-development of Differential Mobility Analyzer (DMA)</p> <p>(2) Nanoparticle size measurement system-development of Electro-gravitational Aerosol Balance (EAB)</p> <p>(3)50 nm linewidth and pitch metrology</p> <p>(4)Thin film thickness metrology</p> <p>(5)Nanometer scale particles on wafer surface metrology</p> <p>(6)Coordination of 2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology</p> <p>(7)Coordination of 2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum</p> <p>(8)Coordination of 2008 APEC interlaboratory comparison on Nanoindentation</p> <p>2.Measurement of mechanical properties of materials subproject :</p> <p>(1) Measurement of mechanical properties for time-dependent and biomedical materials</p> <p>(2) Measurement of temperature dependent properties of materials</p> <p>(3) Measurement of stiffness of transducer under micro force</p> <p>3. Measurement standards and traceability of microflow subproject :</p> <p>(1) Established tracable measurement standard techniques for nanoliter-level dispensed liquid volume</p> <p>(2) Developed the Micro/Nanoliter Dispensed Liquid Volume Characterizer (including the hardware, software and reagent kit)</p> <p>(3) Completed the validation of photometric method for micro/nanoliter dispensed liquid volume measurement through comparison with gravimetric method</p> <p>(4) Completed the tests of digital microfluidic chips using various kinds of sample liquid</p> <p>(5) Completed the theoretical and experimental validation of the technique</p>

	<p>“selective wettability assisted metered sample generation using digital microfluidic chip” and its application in sample concentration control (6) Developed the digital microfluidic logic control demonstration platform</p>
報告頁數	
使用語言	中文
全文處理方式	可立即對外提供參考

報 告 內 容

目 錄

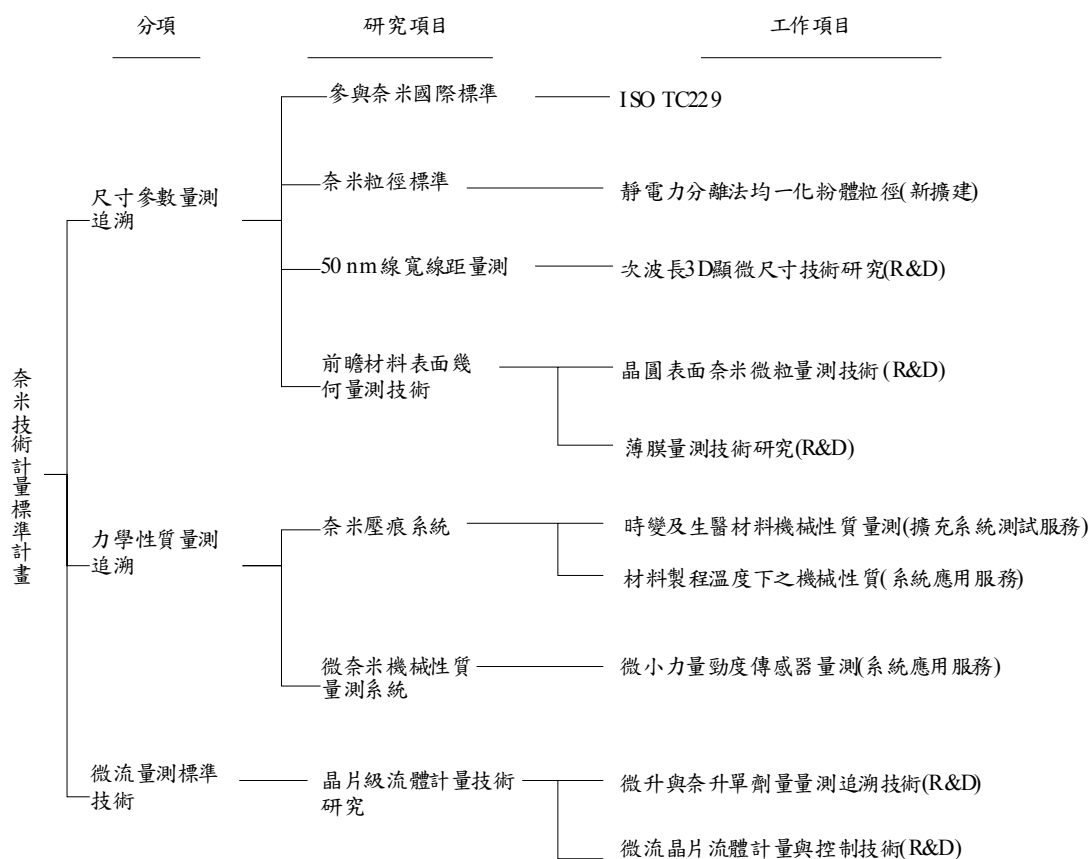
壹、年度活動紀要	1
貳、前言	1
參、計畫變更說明	2
肆、執行績效檢討	
一、與計畫符合情形	
(一)進度與計畫符合情形	3
(二)目標達成情形	6
(三)配合計畫與措施	26
二、資源運用情形	
(一)人力運用情形	26
(二)設備購置與利用情形	27
(三)經費運用情形	28
三、人力培訓情形	30
伍、成果說明與檢討	
一、尺寸參數量測追溯分項計畫	44
二、力學性質量測追溯分項計畫	95
三、微流量測標準技術分項計畫	113
四、成果與推廣	128
陸、結論與建議	141
附件	
附件一、新台幣參百萬以上儀器設備清單	147
附件二、國外出差人員一覽表	147
附件三、專利成果統計一覽表	151
附件四、論文一覽表	152
附件五、研究報告一覽表	158
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表	162
附件七、研究成果統計表	163
附件八、中英文對照表	164
附件九、參考文獻索引	166
附件十、經濟部標準檢驗局度量衡及認證類委辦科技計畫績效評估報告	170

壹、年度活動紀要

時間	大事紀要
96/12/28	Fy97 奈米技術計量標準計畫議價，本計畫以 46,900 仟元得標。
97/02/14	Fy98 奈米技術計量標準計畫綱要計畫審查會於標檢局第一會議室舉行。
97/03/27	依綱要計畫書審查會議會議記錄第 6 點辦理對各分局局長及一級主管進行 Fy98 奈米技術計量標準計畫簡介報告。
97/04/14-18	四月十四至十八日進行奈米標準計畫的查帳作業
97/04/15	奈米粉體製作與量測技術研討會(配合 NML，共 12 家 25 人次)
97/04/22	四月二十二日於科技大樓 2 樓會議室，舉行部會「98 年度奈米國家型科技計畫中程綱要計畫」初審會議，由標檢局楊科長簡報 Fy98 奈米技術計量標準計畫，協同主持人張啟生博士及分項主持人陳朝榮博士，列席備詢。
97/05/22	舉行微量分注器使用與校正實務研討會，共有 27 人次/19 家次與會。
97/06/08-15	於六月八日至十五日參加於加拿大召開的 VAMAS Steering Committee Meeting，報告我國於檢測標準的發展現況，並討論國際組織標準制定之角色扮演。
97/06/10-13	六月十至十三日，亞洲生產力組織(APO)舉辦國際會議 Study Meeting on Strategic Industries：Nanotechnology，計畫主持人彭國勝博士為台灣代表，進行 Country Report，其他與會者還包括印度(2 人)、伊朗(2 人)、日(2 人)、韓(2 人)、馬來西亞(3 人)、新加坡(1 人)、泰國(3 人)。
97/06/12-14	台灣奈米科技展於 6 月 12 日到 6 月 14 日於台灣大學綜合體育館舉行，展出實體 1 項(奈米階高標準片)，看板海報 7 項(電氣遷移率分析法奈米粒徑量測標準系統、薄膜量測系統、晶圓表面微粒量測系統、奈米國際標準、微奈米機械性質量測系統、微奈升液體分注量量測儀、奈米壓痕量測系統)，經濟部施顏祥次長並主持開幕。
97/10/01-03	舉辦「2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum」論壇。
97/10/06	於標檢局第一會議室，舉行 Fy97 奈米技術計量標準計畫的細部計畫審查會。
97/12/03	於經濟部標準檢驗局大禮堂舉辦「2008 度量衡標準計畫聯合成果展」。

貳、前言

「奈米技術計量標準計畫」之目的為建立具良好追溯性的奈米標準與計量技術，發展以原子或分子為基礎的計量標準，並配合奈米國家型科技計畫開發奈米計量技術，以為我國長期產業及經濟發展奠基。本年度執行重心，尺寸參數量測追溯分項 3 個研究項目（奈米粒徑標準、50nm 線寬線距量測、前瞻材料表面幾何量測）；力學性質量測追溯分項 2 個研究項目（奈米壓痕量測、微奈米機械性質量測）；微流量測標準分項 1 個研究項目（晶片級流體計量技術）。



參、計畫變更說明

(1)依 97.4.23 標檢局會計室通知，軟體購置須由資本門資訊設備費科目出帳，並追溯至 97 年 1 月，故函請計畫變更，由經常門調控勻支，流入資本門以為因應。標檢局以 97.5.26 經標四字第 09700057500 號函覆同意。

(2)計畫於 97.9.30，因獲證美國專利，致資本門下其他權利科目預算不足，辦理經資門流用的計畫變更申請，並獲標檢局以 97.10.9 經標四字第 09700113500 號函同意。

肆、執行績效檢討

一、與計畫符合情形

(一)進度與計畫符合情形

預定進度 —— 實際進度 ·····

進度 \ 月份	97年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A.尺寸參數量測追溯分項												
· 奈米粉體粒徑				A1						A2		
-EAB量測系統				*						*		
-DMA量測系統										A3		
-靜電力分離法均一化粉體粒徑量測系統整合										*		A4
· 50奈米線寬線距技術												
-奈米線寬量測能力評估									A5			A6
									*			*
-線寬線距階高標準片			A7			A8						A9
			*			*						*
· 前瞻材料表面幾何量測技術												
-薄膜量測技術研究			A10							A11		A12
			*							*		*
-晶圓表面奈米微粒量測技術			A13			A14					A15	
			*			*					*	
· 參與奈米國際標準												
-奈米國際標準文件資料之蒐集、整理及相關網頁的建置										A16		A17
										*		*

進度 工作項目	97年												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
-參加ISO/IEC/ANF之TC相關議題會議													A18
													*
B. 力學性質測追溯分項													
• 時變及生醫材料機械性質量測													
-生物組織學術委託								B1					B2
								*					*
-黏彈材料壓痕試片之備製					B3								
					*								
-時變生醫黏彈實驗之進行								B4					
								*					
-黏彈機械性質分析													B5
													*
• 材料製程溫度下之機械性質													
-環境溫度控制系統建立		B6				B7							
		*				*							
-材料製程溫度機械性質量測實驗								B8					
								*					
-生物組織人體溫度壓痕實驗													B9
													*
• 微小力量勁度傳感器量測													
-微結構勁度理論建立		B10											
		*											
-微結構幾何尺寸設計					B11								
					*								
-微結構之委託製作								B12					
								*					

進度 工作項目	97年												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
-微力量勁度量測實驗													B13 *
C. 微流量測標準技術分項													
· 奈升級單劑量量測追溯標準技術													
-光機整合測試						C1 *							
-量測分析計算軟體撰寫							C2 *						
-微奈升單劑量量測驗證								C3 *					C4 *
· 微流晶片流體計量與控制技術													
-數位微流晶片測試				C5 *									
-定量分注實驗與理論驗證						C6 *							
-數位流體邏輯操控軟硬體整合													C7 *

(二)目標達成情形

1.尺寸參數量測追溯分項計畫

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>(一) 奈米粉體粒徑</p> <p>奈米粒徑量測系統評估(靜電力分離法, 範圍 20 nm – 500 nm 採用 DMA 比較式量測系統, 量測不確定度 3 nm – 20 nm; 範圍 100 nm – 500 nm 採用 EAB 絕對式量測系統, 量測不確定度 2 nm – 20 nm)。</p>	<p>● 97/01 完成密立根槽(Millikan Cell)組件之表面粗糙度進行量測, 及進行電重力氣膠平衡法(Electro-gravitational Aerosol Balance, EAB)量測系統之過濾裝置(DMA Filter)測試。97/02 進行金屬盤面之 PV 值量測為 1.1 μm, 陶瓷環之 PV 值為 3.9 μm。完成 Millikan Cell 組件之容積量測, 高度為 14.95 mm, 直徑為 210.02 mm。DMA Filter 管路系統改裝。EAB 自動量測程式設計與儀器控制編寫。完成低漣波、高準確度之高壓電源供應裝置與大氣壓力傳感裝置採購驗收。97/03 進行 Millikan Cell 組裝與溫濕度監測腔之設計、發包、以及組裝。低漣波之高壓電源供應器之 RS-232 控制程式碼編寫。電遷移率分析法量測系統(Differential Mobility Analysis, DMA)控制程式部分內容修改。97/04 進行 DMA 量測系統測試。完成 DMA Filter 與 Millikan Cell、溫度監測、電壓監測與電壓迴路組裝與洩漏測試、及進行 EAB 量測系統測試。並以標稱粒徑 500 nm 標準粉體(479 nm ± 15 nm)進行 EAB 量測系統測試, 量測結果為 474.33 nm, 落於追溯報告值內。97/05 完成陳暉教授合成之 100 nm PSL 的影像分析法(AFM/SEM/TEM)與特性分析法(DLS/DMA)檢測, 經由影像分析法之相片結果看來, 粉體之形狀確為圓球狀, 然由特性分析法之分佈結</p>	<p>● EAB 量測系統評估中的奈米粉體密度為一重要參數, 但市售標準粉體價格昂貴且無法提供粉體之密度值或密度值不具追溯性, 因此與國內聚苯乙烯 (Polystyrene Latex, PSL) 合成專家中央大學陳暉教授合作, 合成 PSL 奈米粉體, 並去除多餘水分製成乾粉狀奈米粉體以自行進行粉體密度量測。由於奈米粉體密度量測需要將粉體與密度標準液充分混合, 且須長時間靜置以獲得密度量測結果, 因此 97/10 完成查核點之 EAB 與 DMA 標準校正程序(ICT)及系統評估報告(MSVP)初稿(未含 A 類量測值), 完整版延後至 97 年 11 月完成。</p>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>果看來，若要以此做為驗證參考物質 (Certified Reference Material, CRM)，尺寸之均一性稍嫌不足。</p> <p>97/05/22 拜訪陳暉教授，討論 PSL 粉體粒徑分佈精進的可能性與標準粉體製備合作。9706 初步規劃由陳教授提供 100 nm、300 nm、以及 500 nm 之粉體，以供系統評估之用。完成大氣壓力傳送器驗收，進行 EAB 量測系統之管路修改、Millikan Cell 之吉時利(Keithley 2410)高壓電源電表佈線與 RS-232 控制副程式碼編寫、及 EAB 自動量測程式設計與儀器控制編寫中。DMA 控制程式部分內容修改系統驗證。97/07 完成委託中央大學化材系陳暉教授合成之 100 nm、300 nm、以及 500 nm 粉體的 DMA 量測，100 nm 之分佈仍然過大，將進一步與陳教授討論後續合成狀況，並將粉體分送 AFM、SEM、以及 TEM 檢測。委託進行奈米中心 67 館 120 實驗室進行重力值量測。97/08 完成中央大學化材系陳暉教授新合成之 100 nm(7 件)、300 nm(6 件)、以及 500 nm(8 件)粉體的 DMA 量測，其中 300 nm 與 500 nm 已選出可用以做為系統評估之標準件，100 nm 尚須進一步與陳教授討論後續改善事宜。完成中央大學化材系陳暉教授合成之粉體共 37 件樣本的 DMA 量測，從中選出 110 nm、185 nm、245 nm、280 nm、450 nm、以及 520 nm 等 6 件較適合發展為 CRM，其中 110 nm、280 nm 以及 520 nm 將用以作為系統評估之標準件。撰寫大氣壓力傳感裝置與環境溫濕度監控裝置程</p>	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>式。97/09 完成系統之凝核計數器 (Condensation Particle Counter, CPC)、DMA、以及衝擊器(Impactor) 之各流量修正。97/10 完成系統評估用標準件測試與挑選作業，其中，CMS-100、CMS-300、以及 CMS-500 用以評估絕對式 EAB 量測系統；DUKE-20、JSR-75、JSR-100、JSR-320、JSR-510、CMS-200、CMS-250、以及 CMS-400 用以評估比較式 DMA 量測系統。設計 DMA 量測系統評估用粉體對應之電壓與流量設定值。進行 EAB 量測系統評估用標準件 CMS-100、CMS-300、以及 CMS-500 之密度量測。撰寫 DMA 與 EAB 量測系統之標準校正程序 (ICT) 及系統評估報告 (MSVP)。97/10/31 完成 ICT 及 MSVP 初稿。97/11 完成 DMA 與 EAB 量測系統評估的 ICT 與 MSVP。EAB 量測系統之 CMS-100、CMS-300、以及 CMS-500 的平均粒徑分別為 113.3 nm、285.5 nm、以及 533.3 nm，量測不確定度 ≤ 1.3 nm。DMA 量測系統之 DUKE-20、JSR-75、JSR-100、CMS-200、CMS-250、JSR-300、CMS-400、以及 JSR-500 的平均粒徑分別為 20.3 nm、75.5 nm、100.5 nm、185.2 nm、248.3 nm、306.2 nm、450.6 nm、以及 506.2 nm，量測不確定度為 1.3 nm – 13 nm。97/12 完成系統查驗。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● (1) 97/01 完成 APCOT 論文摘要投稿，論文題目為 “Design of the Primary nanoparticle Size Standard System Using the 	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>Electro-gravitational Aerosol Balance”。97/03 摘要已通知接受。97/04 完成全文投稿。97/06/23-25 至台南參加 2008 APCOT 國際研討會並發表論文。(2) 97/01 完成 Key Engineering Materials 期刊論文發表，論文題目為”Stage Equipped with Single Actuator for Nano-positioning in Large Travel Range”。(3) 97/02 完成 23rd ASPE Annual Meeting 論文摘要投稿，論文題目為”Development of the Primary Nanoparticle Measurement Standard by the Electro-Gravitational Aerosol Balance”。97/05 通知摘要已被接受。97/07 完成 23rd ASPE Annual Meeting 論文全文。97/10 參加 23rd ASPE Annual Meeting and 12th ICPE 國際研討會並發表論文。(4) 97/05 論文投稿機械月刊，論文題目為“奈米粉體量測技術與量測儀器”。(5) 97/07 論文投稿第七屆兩岸計量研討會兩篇，論文題目分別為“奈米粉體粒徑原級標準量測系統之建置”與“光子相關法於微奈米粉體粒徑之量測評估”。(6) 97/11 完成 Nanotech 2009 論文摘要投稿，論文題目為” Evaluation of Uncertainty in Nanoparticle Size Measurement by Electro-gravitational Aerosol Balance”。(7) 97/04 完成技術報告一篇，篇名為「電重力氣膠平衡法奈米粉體粒徑量測系統測試報告」。97/11 完成出國訓練報告 - 23rd ASPE Annual Meeting and 12th ICPE。</p>	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>(二) 50 奈米線寬線距技術</p> <p>AFM-CD 量測之最佳能力評估 (評估範圍 50 nm- 800 nm) , (50-1000) nm 階高製作與 (1-100) μm 線寬製作。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 97/06/12-14 參與台灣奈米科技成果展，展出電氣遷移率分析法奈米粒徑量測標準系統。 ● 97/01 提出 45 nm 線寬標準片採購並到貨。97/10 VLSI45 奈米標準片送往南分院-微系統委託切割)(已完成)。 ● 97/01 進行 AFM-CD 角度微傾斜模組修改設計及加工。97/02 量測線距 700 nm 標準片，偏差 14 nm，再進行 XY 軸校正與參數調整。及完成角度微傾斜模組修改，角度轉動約±7°。97/03 收到台積電提供測試用 50 nm 線寬標準件，進行切割，使用於與 STM 比較量測線寬結果。97/04 進行 AFM 量測探頭磨耗測試，完成測試數據，進行數據分析整理中。97/05 AFM 量測探頭磨耗測試，經測試探頭 approach 試片時，4 次磨耗量約為 0.8 nm，量測 256 μm 行程時，磨耗量約為 3.2 nm。及進行 AFM 量測 50 nm 線寬方法專利撰寫。97/06 最佳校正能力之要因分析法，其中線性校正誤差影響因素為 0.18% (一倍標準差)。97/07 進行 ICP 誤差影響因素評估，完成評估方法規劃，將再進行 ICP 程式修改以計算誤差影響。97/08-09 完成 AFM-CD 量測方程式建立及誤差源分析。 ● 97/09 進行 AFM-CD 量測之標準操作程序技術文件撰寫。97/10 進行最佳量測能力初步估算為 2.3 nm(k=2.03)。97/11 進行最佳量測能力分析之修正，將評估範圍擴大到 1000 nm。97/12 完成進行最佳量測 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
	<p>能力分析計術報告與線寬標準件 1 μm、5 μm、10 μm、50 μm、100 μm。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 97/07 持續進行 AFM 量測 50 nm 線寬方法研究及專利撰寫。97/08 提出專利申請-雙傾斜之影像疊合法量測奈米結構線寬之方法與裝置。97/10 完成中心專利申請審查通過-雙傾斜之影像疊合法量測奈米結構線寬之方法與裝置。 ● 97/09 第七屆海峽兩岸計量與品質研討會論文發表-“台灣奈米計量-尺寸參數標準之發展”。 ● 97/01 進行線寬(1, 10, 50 ,100) μm 標準片製作的光罩設計。97/02 搜集 1 μm 線寬之製程資料。97/03 完成 (1-100) μm 線寬光罩設計。97/04 線寬標準件光罩委託台灣光罩製作, 5 月完成。 ● 97/01 完成製作 80 nm 階高標準片, 進行測試。97/02 測試 Ra 標準片(標稱值 80 nm), 量測結果 Ra=72 nm 不確定度為 8 nm。80 nm 階高標準片均勻性小於 3 nm(1 mm 內), 結果玻璃基板之自製標準件較晶圓基板為佳。97/03 變更表粗與階高標準件之圖樣設計, 統一外形規格為 25 mm \times 25 mm, 完成光罩設計。97/04 階高標準件光罩委託工研院微系統製造實驗室製造。97/05 階高標準件製作請工研院南分院協助進行黃光微影曝光製程, 並與清華大學奈米材料中心合作, 進行 1 μm 線寬製程測試。97/06 完成 (50-1000) nm 階高標準件製作與測試, 半導體製程階高標準件實際製程能力可達 5 nm~1 μm。97/07 進行另一組自製階高標準件測試(此 	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>(三) 前瞻材料表面幾何量測技術</p> <p>1. 等效薄膜量測: high k 材料至 5 nm (量測不確定度 0.4 nm + 1.0%)。</p>	<p>次製程多蒸鍍 Cr，以提高表面硬度)，表粗 p-p 為 10 nm。97/08-009 委製光罩與試片完成，進行規格測試。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 97/09 與清大奈材中心簽訂共同發展奈米參考物質之備忘錄。97/10 完成(1-100) μm 線寬標準件製作，進行測試。 ● 97/01 完成 High-k 測試片實驗設計，及連絡 ALD 製程，洽談薄膜製作。97/02 採購並製作 High-k 薄膜 (HfO₂ and Al₂O₃)，厚度為 1, 5, 10 (nm)。97/03 完成 high-k 測試片製作。 ● 97/04 完成 high-k 薄膜 Amorphous 特性量測，及進行半導體 ILD 薄膜的應力特性量測。97/05 進行 high-k 薄膜 Al₂O₃ 及 HfO₂ 特性量測，及進行 Tungsten 薄膜的應力特性量測。97/06 持續進行 high-k 薄膜 Al₂O₃ 及 HfO₂ 特性量測，包括厚度及結晶狀態研究，以作為厚度量測評估時之不確定因子評估。另針對半導體 back end process 所需之薄膜如 Tungsten 等，進行薄膜的應力特性量測及表面 profile 的檢測。97/07 進行 high-k 薄膜 HfO₂ 厚度量測、SAXS 先期研究、及了解如何改變 Rigaku SAXS 儀器之 configuration 和 sample pre-measurement alignment. 97/08 進行 high-k 薄膜 Al₂O₃ 及 HfO₂ 厚度量測，厚度為 5 nm。及進行 HfO₂ 試片高溫退火處理進行。97/09 進行 HfO₂ 試片及基材之應力量測及進行 20 組之 high-k 薄膜 Al₂O₃ 及 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>2. 晶圓表面奈米微粒量測系統建置(微粒粒徑≤ 60 nm)</p>	<p>HfO₂厚度量測，厚度為 5 nm，97/09/30 完成查核點之high-k 測試片厚度量測。97/10 完成 Crystallization processes 中 grain size 量測。97/11 完成high-k 測試片厚度量測及厚度評估。97/12 完成查核點high-k厚度評估。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● (1)97/01 完成 APCOT 論文投稿，論文題目為 “Thin Film Thickness Evaluation by X-Ray Reflector”。 (2)97/03 論文投稿 ICRS 一篇 “Residual Stresses After CMP on Thin Films”，及 Thin Films 2008 一篇 “Surface Qualities After CMP ON Thin Films”。 (3)97/06 論文摘要投稿“第七屆兩岸計量研討會”一篇 “Surface quality for semiconductor thin films after CMP”。97/07 論文發表 “Thin films 2008” 一篇 “ Surface Qualities after Chemical-Mechanical Polishing on Thin Films。” 97/08 參加 Denver X-Ray Conference 並發表論文一篇 “RESIDUAL STRESSES AFTER CMP ON THIN FILMS”。 ● 97/01 完成 60 nm Particles on Wafer 測試片實驗設計，推動 Particles on Wafer 測試片量測。97/02 完成 TSMC 100, 300, 800 (nm) (substrate+5 nm film) 測試片量測。97/03 完成 4 軸電控旋轉夾具設計完成和委託製作。 ● 97/03 完成自製 100 nm (substrate + 5 nm film) Particles on Wafer 測試片，並完成量測。97/04 進行量測參數最佳化調整，以 100 nm (substrate + 5 nm film) Particles on Wafer 測試 	<p>● 無差異。</p>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>片為樣本，完成多次重複性量測。97/05 進行量測角度參數最佳化調整，以 100、500 nm (substrate + 5 nm film) Particles on Wafer 測試片為樣本，完成多次重複性量測。量測理論程式撰寫，包括 surface roughness, subsurface defects. 97/06 完成自製 200, 300, 800 (nm) Particles on Wafer 測試片，並進行量測。進行量測角度參數最佳化調整，以 100、200、500 and 800 (nm) (substrate + 5 nm film) Particles on Wafer 測試片為樣本，完成多次重複性量測。及完成 4 軸電控旋轉方向調整裝置組裝和控制程式撰寫完成。97/07 完成 500 nm particle 量測，晶圓表面粗糙度量測，正面與背面均量測完畢。97/08 完成 100、300particle 量測，並完成 contamination reference standards (100 nm, 300 nm)。97/09 完成晶圓表面粗糙度量測:bare wafer back side Ra = 600 nm; bare wafer polished side Ra = 1.5 nm。97/10 完成高功率雷射模組置換及進行表面粗糙度量測。97/11 完成完成自製 60 nm Particles on Wafer 測試片，並進行 tsmc 60 nm Particles on Wafer 測試片量測。97/12 完成高功率雷射模組置換，進行量測角度參數最佳化調整。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● (1)97/01 完成 APCOT 論文投稿，論文題目為 “Polarized optical scattering measurements of nanoparticles upon a silicon wafer” 及 “Deposition of Mono-disperse Nanoparticles on to Wafers Using A 	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>(四)參與奈米國際標準</p> <p>推動參與奈米國際組織 ISO TC229</p>	<p>Differential Mobility Analyzer”。(2) 97/07 投稿 ISIST 2008 “Polarized optical scattering measurement of silicon surface micro-roughness”。(3) 97/07 論文投稿第七屆兩岸計量研討會一篇，論文題目為“晶圓表面奈米微粒標準片之研製”。97/08 投稿期刊一篇“Polarized angular dependence of out-of-plane light-scattering measurements for nanoparticles on wafer,” Journal of Optics A: Pure and Applied Optics。97/09 完成國內期刊 2 篇：‘晶圓表面奈米級微粒附著物之偏振散射光量測技術’及‘奈米級晶圓表面微粒散射光量測技術’。97/10 發表國內期刊 1 篇於量測資訊 - 奈米微粒附著於薄膜晶圓表面的偏振散射光量測技術。發表國外研討會論文 1 篇 12th International Conference on Metrology & Properties of Engineering Surfaces- Polarized optical scattering measurement of surface micro-roughness-“Polarized optical scattering measurement of surface micro-roughness”。</p> <p>● 97/02/25-03/05 姚斌誠博士前往美國參加 NIST-ISO-IEC 合辦 "International Workshop on Standardization of Measurement and Characterization for Nanotechnologies"。</p> <p>● 97/01 進行“參與奈米標準國際會議”及“建構國內奈米標準資訊平台”規劃。97/02 討論奈米國際標準</p>	<p>● 無差異。</p>

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>推動模式及奈米標準資訊網的網站架構。97/03/21 參加“台灣奈米技術產業發展協會(TANIDA)第二屆第七次理監事會”報告奈米標準國內外活動。97/09/25 姚斌誠博士參加 TANIDA 第三季會議及修改網站架構。97/12 網路資訊建立完成內部資料網頁建立，提供工作人員 ISOTC 229、IEC TC 113 及其它奈米標準相關資訊。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● (1)97/04/08-09 姚斌誠博士前往東京參與 IEC WG3 會議，制定 CNT specification 標準第一次草案。(2) 97/05/04-10 彭國勝博士應 Dr. Peter Hatto 推薦參加 ENTA(歐洲奈米技術貿易聯盟)研討會及拜訪 BSI(英國標準協會)報告我國奈米技術近況，及拜訪 NPL 了解其計量標準現況。(3) 97/05/03-11 陳朝榮博士前往美國丹佛參加 ASTM Committee E56 會議。(4)97/05/26-29 姚斌誠博士參與 ISO TC 229 Bordeaux 會議。(5) 97/06/08-15 傅尉恩赴 Canada NRC 參訪 Institute for National Measurement Standards, Institute of Microstructural Science and Industrial Materials Institute 了解其在奈米檢測技術發展。隨後參加 VAMAS SC Meeting, 報告我國於檢測標準發展近況，並討論國際組織之標準制定之角色扮演。(6)97/11/10-13 姚斌誠博士前往美國 NIST 參與 IEC TC 113 WG3 會議，制定 CNT 電性相關標準草案。(7)97/11/17-21 姚斌誠博士前往中國上海參與 ISO TC 229 會議，參與制定多項奈米檢測相關標準草案。 	

2.力學性質量測追溯分項計畫

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>(一) 時變及生醫材料機械性質量測</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 97/07 完成 APEC 奈米壓痕國際能力試驗比對之比對規劃書。97/08 完成 APEC 比對試片之均勻性及樣品間之一致性量測，並將比對樣本郵寄至國內外參與比對之實驗室。97/09 收到韓國、墨西哥、馬來西亞、澳大利亞、泰國等國家實驗室之奈米壓痕比對結果。97/10 協助確認各國家參與比對實驗室之奈米壓痕數據。。 ● 97/01 至中正大學討論奈米壓痕生物組織之備製技術，分別針對軟質及硬質生物組織備製可能遭遇之問題進行技術細節討論交流。97/02 公開徵求生物組織學術委託計畫。97/03 完成生物組織學術委託計畫審查，並由中正大學機械系鄭友仁教授研究團隊承接本委託研究計畫。97/04/16 至長庚大學機械系訪問李德美助理教授，討論量測中心與長庚機械、長庚醫院，結合計畫奈米力學團隊、李德美助理教授與長庚醫院相關科別醫生，未來針對臨床上所遭遇之問題從事有關於生醫組織機械性質研究進行討論。97/05 本計畫依工研院「倫理委員會組織及運作辦法」提出申請審查，並與生醫所聯繫計畫內容及討論樣本製備方式是否仍需送審，由於樣本製備完成皆不於院內完成，因此本案可不送工研院倫理委員會審查。97/06 與中正大學討論期中報告之事宜，以及未來實驗進行之細節。97/07 完成學術委託案期中報 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>(二) 材料製程溫度下之機械性質</p>	<p>告。97/11 完成學術委託案期末報告。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 97/02 分別評估試片製作型式並尋找可支援的設備；預計將分別使用國家標準實驗室所有的奈升液體分注器及 96 孔的微孔盤(microplate)進行材料試片的製作。97/03 進行奈升液體分注器的使用測試，以尋找適當的溶膠分注量。97/04 進行矽膠材與添加劑混合樣品的技術資料蒐集與樣品混合比例測試。97/05 完成矽膠類黏彈材料製作。 ● 97/02 進行生物安全操作櫃(BSC)之規格蒐集，未來將用於生物材料之安全操作。97/03 與清華大學動機系及高雄榮總醫院討論合作研究人體生醫纖維之機械性質量測技術和共同合作研發之可行性。97/04 進行人體手術網膜之奈米壓痕機械性質量測實驗，以擬靜態實驗方式進行網膜彈性模數及壓痕硬度之機械性質量測。97/05 針對矽膠類黏彈材料進行壓痕試驗，在樣本膠凝後開始嘗試以擬靜態方式進行壓痕實驗。97/06 繼續針對所備製之材料進行利用奈米壓痕靜態測試，由於所備製之生醫材料之性質會隨時間呈現明顯之變化，因此對於奈米壓痕實驗尚須累積更多之經驗。97/07 以動態方式進行生醫黏彈材料壓痕實驗。97/08 完成生醫材料奈米壓痕黏彈實驗。 ● 97/09 進行生醫材料黏彈機械性質實驗數據之整理分析。97/11 完成生醫黏彈實驗分析。 	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
(溫度-10 ⁰ C~200 ⁰ C)	<ul style="list-style-type: none"> ● 97/01 與代理商討論環境溫度控制系統之規格，並已進行採購程序。 97/04 代理商至中心安裝奈米壓痕環境溫度控制系統，由於部分元件接頭與中心之奈米壓痕系統不匹配，目前正進行加工修改中。 97/05 環境溫度控制系統持續進行系統之組裝。 97/06 完成奈米壓痕環境溫度控制系統之驗收，溫度範圍-10~200⁰C。 ● 97/02/15 日至成大奈米中心拜訪林仁輝主任及廖峻德副主任，討論雙方未來於奈米計畫合作之可能性，以及參觀成大微奈米科技中心，兩位老師並邀請本研究團對成員至成大於三月份所舉行之奈米壓痕技術研討會進行演講。 ● 97/07 薄膜材料製程溫度量測試片之委託鍍製。 97/08 完成類鑽薄膜之備製，並針對不同溫度進行其機械性質溫度相關之奈米壓痕量測實驗，獲得其機械性質與溫度變化之結果。 ● 97/08 針對生物組織進行溫度變化之機械性質初步測試。 97/09 進行生物組織溫度變化奈米壓痕量測實驗，目前實驗仍有改善之必要，例如生物組織備製樣本之高度與奈米壓痕量測系統之匹配度，以及溫度變化過程所產生之環境擾動仍有可能對於實驗造成影響。 ● 97/10 進行生物組織備製樣本改善，使生物組織備製樣本之高度與奈米壓痕量測系統之匹配。 97/12 完成生物組織人體溫度壓痕實驗(37⁰C)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>(三) 微小力量勁度傳感器量測</p> <p>(Stiffness<5.5 mN/μm)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 97/01 延聘中興大學精密所林明澤助理教授擔任本計畫之技術顧問，藉助其微小結構力學之專長，協助本計畫之執行。97/01 微小結構力學理論蒐集整理。97/02 完成微小結構理論建立，包含利用以微小結構力學理論分析，以及有限元素法之數值分析，兩者並獲得相當吻合之結果。 ● 97/03 至中興大學精密所與林明澤教授討論微小結構之製程事宜，並針對不同製程所可能遭遇之問題進行細部研究。 97/04 與中興大學精密所林明澤教授討論光學干涉儀對於微小結構勁度實驗上之限制。 97/05 完成微小結構幾何尺寸設計，目前規劃以電鍍鎳(electroplated nickel)作為微小結構之組成材料。 ● 97/03 進行微小結構委託製作之採購。97/06 製作完成第一批微小結構，並著手進行力量及位移校正實驗架設。96/07 進行初步微結構勁度實驗，並針對所製作之微小結構進行修正。97/08 完成微小結構之委託製作。 ● 97/09 將所委託製作之微小結構置於所設計之機構中，並進行其微小力量勁度量測實驗。97/10-11 進行微力量勁度量測實驗數據之整理分析。97/12 完成微小結構勁度實驗 (Stiffness<5.5 mN/μm)。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

3.微流量測標準技術分項

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術</p> <p>建立光度法單劑量量測技術與能量，可檢測能量向下延伸達 10 nL，並可追溯至國家度量衡標準實驗室。完成光機整合測試、量測分析計算軟體撰寫，以及微奈升單劑量量測驗證。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 97/01 完成光機整合型試劑混合機構規格設計(具自動定位機制、負載大於 80 g 時轉速可達 2000 rpm)；尋得馬達供應商並取得報價。97/02 確認旋轉混合機制所需可定位步進馬達之規格並完成採購。97/03 取得可定位步進馬達，進行光度儀改裝設計規劃以與旋轉混合機制進行整合；委託廠商依設計結果進行改裝。97/04 完成光吸收度量測裝置改裝設計，並委由廠商進行整合光度儀與旋轉混合機構之改裝工程。97/05 光度儀與混合機構整合之改裝作業進行中。97/06 完成結合光度儀與混合機構之「微奈升液體分注量量測儀」，完成基本功能測試與驗收。97/07 產出技術報告「光度法微奈升單劑量量測技術可行性研究報告」。97/10 完成微奈升分注量量測儀使用之可拋棄式承液瓶選用及其承載結構設計與繪圖。97/11 完成拋棄式承液瓶承載機構加工製作並整合至微奈升分注量量測儀。97/12 微奈升分注量量測儀參加標檢局計量科技計畫 97 年度成果展。 ● 97/04 完成量測相關資料蒐集與整理以及計算公式推導。97/05 完成光度法分注量量測之量測不確定度評估標準方法指引研讀。97/07 完成以 Excel 為平台的光度法單劑量量測分析計算軟體撰寫，後續將進行軟體測試與驗證。97/08 新增根據 ISO 8655-7 所建議的兩種之分注量測操作與計算方法(Annex A&B)至分析軟體，可針對不同操作方法進行比 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無差異。

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
	<p>較。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 97/03 完成光度法試劑組可靠性與重複性測試規劃。97/04 完成試劑組保存所需之添加(防腐)劑資料收集。完成試劑組可靠性與重複性初步實驗測試。97/05 配置重新確認試劑組的檢量線，並配置新的試劑組以驗證經長時間儲存後試劑組之可靠性與再現性。97/06 完成光度法與稱重法比對試驗工作項目、時程與人力細部規劃。97/07 向 ISO 光度法分注量量測標準主筆單位洽商提供方法驗證與追溯參考文件，將作為後續方法驗證之參考。97/08 完成穩定性測試用試劑組製備，將與光輻射量室合作進行為期一年的長期觀測。完成以 pipette 作為傳遞標準件之光度法與稱重法量測比對(1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 μL)，所採用之量測方法為 ISO 8655-7 Annex B。97/09 委託光輻射量室進行試劑組長時間儲存之光吸收度變化測試，完成初次實驗量測。完成第一次量測方法比對結果整理。進行新一批的試劑配置並準備第二次比對驗證。97/10 完成新一批根據 ISO 8655-7 Annex A 配置的試劑組，並以之完成第二次以 pipette 作為傳遞標準件之光度法與稱重法量測比對(0.2, 0.5, 1, 5, 10, 20, 50, 100, 200 μL)。完成第二次試劑組長時間儲存穩定性之光吸收度變化測試。完成 Bio-dot 奈升分注設備租用交機及人員操作訓練，預計租用三個月至 12 月底，進行奈升分注量測試。97/11 完成搭配 Annex A 試劑組之微奈升分注量量測系統線性測試。 	

計畫目標	目標達成程度	差異檢討
<p>(二)建立微流晶片流體計量與控制技術</p> <p>發展以離散液滴為工作流體的數位操控晶片，可達成分注、移動、切割、混合等功能之主動操控，並展示其在定量分注上的應用。完成數位微流晶片測試、定量分注實驗與理論驗證，以及數位流體邏輯操控軟硬體整合</p>	<p>完成稱重法與光度法直接比對實驗與結果分析，包括(0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200) μL 等標稱分注量。搭配奈升分注設備進行奈升級分注量測試。97/12 完成搭配 Annex A 試劑組之奈升分注量測試，包括(10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000) nL 等標稱分注量。完成技術報告「光度法分注量量測方法與應有作為」。</p> <p>● 97/01 完成儲液槽取樣功效最佳化測試晶片組，調控參數包括儲液槽尺寸及操控電極的尺寸與形狀等參數。97/02 完成晶片測試項目與時程規劃。97/03 進行數位微流晶片儲液槽取樣設計最佳化實驗測試；進行數位微流晶片超疏水介電層製作規劃。97/04 完成微流晶片性能與壽命測試之實驗架構設計與夾治具設計製作。97/05 完成晶片性能與壽命測試(純水)；為改善介電層被電壓擊穿，使用壽命不長的問題，委託大同大學教授以電漿法製作超疏水介電層供測試。97/06 確認液體取樣及切割時所需的拉伸長度約為 3 - 4 倍的電極寬度。取得以電漿法塗佈超疏水介電層之微流晶片，並完成初步性能與壽命測試，發現介電層厚度不足，將另製作一批晶片進行實驗。97/07 製作並測試以電漿法塗佈有機矽材料薄膜作為介電層之微流晶片，然其壽命仍未臻理想，將進行製程調整以改善其效能。確認使用較高的電壓(約 200 V)便可順利由儲液槽取樣及進行液珠切割。進行不同濃度(100, 50, 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$) 免疫球蛋白抗原(IgG from rabbit</p>	<p>● 無差異。</p>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
	<p>serum)生物樣本液數位流體操控測試。97/08 完成生物樣本液PBS buffer液珠操控測試,除需較高工作電壓的儲液槽取樣外,一般的傳輸、混合、切割等功能皆可順利達成。與大同大學合作製作並測試能夠耐受較高電壓的介電層仍持續進行中。97/09 與清大及大同大學等製程委託單位合作,製作並測試不同種類、不同厚度的介電層以改善操控晶片的性能與壽命。97/10 持續測試包括AZ系列光阻、有機矽、Parylene等在內不同材料與厚度的介電層。拜訪交大教授,討論晶片製作與實驗操作相關技術問題,以及電操控流體技術現況與未來發展方向,將做為解決技術瓶頸與後續計畫發展規劃之參考。97/11 確認較厚的介電層(2 μm Parylene)可抵銷製程穩定度與品質不佳的問題,大幅提高晶片的壽命,後續將採用此參數製作操控晶片。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 97/02 完成定量樣本分注於樣本濃度調控應用之投稿論文初稿撰寫與校對。97/04-05 完成投稿國際期刊論文審查意見回覆。完成數位流體於不同環境(空氣&矽油)中之液滴接觸角量測分析,作為理論與實驗驗證之基礎。97/06 投稿工作準備。97/08 數位流體定量樣本分注論文投稿撰寫。97/12 完成論文內容與格式修改並投稿至選定之國際期刊。 ● 97/03 進行數位流體邏輯操控硬體設計規劃,並委由廠商設計製作品片夾治具。97/04 完成晶片夾治具製作與初步測試,進行設計改良。進行數位流體邏輯操控平台硬體測試 	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
	<p>與軟體評估。97/05 完成液滴操控平台夾治具修改；改善控制電路感應電壓問題；確認並製作完成使用SU8 光阻作為實驗晶片之間隙控制材(spacer)。97/06 製作並測試不同厚度(50 μm & 120 μm)的 SU8 光阻間隙控制材，以確認較適合操控的厚度參數。將持續測試以得出最佳的厚度或其與操控電極尺寸之比例。97/07 完成微流晶片夾治平台改良設計與附屬零配件訂購。97/08 完成單機式數位流體操控展示平台原型機製作並進行初步測試。97/09 進行單機式數位流體操控平台功能與規格修訂，並委託廠商進行製作。97/10 完成單機式數位流體操控平台硬體製作與測試，進行流體操控軟體撰寫。97/11 完成單機式數位流體操控平台搭配展示用數位微流晶片之操控程式。97/12 完成以單機式數位微流操控平台進行之程式控制液珠分注、移動、切割、混合等功能展示。</p>	

(三).配合計畫與措施

單位：仟元

計畫名稱	合作單位	合作計畫內容	經費	執行情形	困難與改進情形
人體生物樣本備製技術	中正大學機械系	透過合作單位已建立之人體生物組織奈米壓痕樣本備製技術，從而使本計畫之執行獲得適當之奈米壓痕人體組織樣本備製，並透過計畫中所建立之溫度調控裝置，用以量測人體生物組織於人體溫度之表徵特性，以更真實獲得其實際之特性。	500	透過中正大學機械系鄭友仁教授團隊所建立之生物組織製備技術，獲得人體組織樣本(牙齒)之備製。並完成人體組織(牙齒)之人體溫度壓痕實驗(37 ⁰ C)	樣本之高度與奈米壓痕量測系統之匹配度會影響量測。已完成樣本改善，使樣本之高度與奈米壓痕量測系統匹配。

二、資源運用情形

(一).人力運用情形

1.人力配置

主持人	分項計畫 (名稱及主持人)	預計 人年	實際 人年
計畫主持人：彭國勝 協同主持人：張啟生	(1).尺寸參數量測追溯分項計畫主持人：陳朝榮	7.6	7.76
	(2).力學性質量測追溯分項計畫主持人：遲雅各	4.5	4.82
	(3).微流量測標準分項計畫主持人：蘇峻民	3.4	3.35
		15.5	15.93

2.計畫人力

單位：人年

分類		職稱					學歷					合計
年度	狀況	研究員級以上	副研究員級	助理研究員級	研究助理員級	研究助理員級以下	博士	碩士	學士	專科	其他	
97	預計	10.8	4.7	0	0	0	6.0	7	2.5			15.5
	實際	10.62	5.31	0	0	0	6.53	6.98	2.42			15.93

註：本表採用工研院職級計算。

(二).設備購置與利用情形

無。

(三).經費運用情形

1.歲出預算執行情形

單位：新台幣千元

會計科目	預算金額	佔預算 %	決算金額	佔決算 %	差異說明
(一)經常支出					
1.直接費用					
(1)直接薪資	19,452	41.48%	19,322	41.4%	
(2)管理費	6,548	13.96%	6,504	13.9%	
(3)其他直接費用	20,041	42.73%	20,041	42.9%	
2.公費	327	0.7%	327	0.7%	
經常支出小計	46,368	98.87%	46,194	98.9%	
(二)資本支出					
1.土地					
2.房屋建築及設備					
3.機械設備					
4.交通運輸設備					
5.資訊設備(軟體購置)	325	0.69%	268	0.6%	
6.雜項設備					
7.其他權利	207	0.44%	264	0.5%	
資本支出小計	532	1.13%	532	1.1%	
合計	46,900	100	46,726	100%	

2.歲入繳庫情形

單位：新台幣元

科 目	本 年 度 預 算 數	本 年 度 實 際 數	差 異 說 明
財產收入	—		
不動產租金	—		
動產租金	—		
廢舊物資售價	—		
專利授權金	—	1,400	
權利金	—	175,000	
技術授權	—	1,730	
製程使用	—		
其他—專戶利息收入	—		
罰金罰鍰收入	—	5,285	
罰金罰鍰	—		
其他收入	—		
供應收入— 資料書刊費	0	6,412	
服務收入— 教育學術服務 技術服務	0	74,800	
審查費—	—		
業界合作廠商配合款	—		
收回以前年度歲出	—		
其他雜項	—		
合 計	0	264,627	

三、人力培訓情形

(一).國外出差

1. 參加 International Workshop on Documentary Standards for Measurement and Characterization in Nanotechnologies；拜訪 Institute for National Measurement Standards(INMS)，討論合作事項(姚斌誠博士，97.2.25~3.5)。

本次出國之主要任務有二，其一為參加由 ISO/IEC/NIST/OECD 聯合舉辦的 International Workshop on Documentary Standards for Measurement and Characterization in Nanotechnologies；其二則為至加拿大國家研究院(National Research Council) 國家測量標準研究所(Institute for National Measurement Standards, INMS)討論合作計畫，並以「SPM technology and its Metrology Application」為題做了一場簡報。

Workshop 為美國 NIST 所舉辦的奈米文件標準研討會，主要的目的在確認現有及未來需求的奈米標準文件、交流相關的資訊並且提供平台以期在選擇的標準領域活動上能增進協同合作的機制。研討會共有三天，第一天主要在設定討論的內容，大會邀請聯盟會員如 IEC TC 113、IEEE、ASTM、SEMI、VAMAS、OECD 及 ISO 相關 TC 等報告各組織的問題、需要、發展近況及未來方向等，其它時間則為一般性討論，第二天及第三天則分組討論及總結。主要分組有人類健康和醫藥、環境、電子及奈米物質的應用。會議主要的結論為:1.收集各組織現有的奈米文件標準並建立資料庫(由 NIST 負責)2.加強與 OECD 間之合作(特別為 EHS 相關議題)3.建議 ISO 之 liaisons 在一般會議中應有單獨的 section 4.持續加強各組織間的合作 5.確定技術的能力與需求。

至加拿大國家研究院之國家測量標準研究所討論合作計畫內容，確定比對 SPM 一維線距比對時間表及研究項目，並對欲發表光學一維線距比對論文討論，會後並以「SPM technology and its Metrology Application」為題做了一場簡報，獲得熱烈的討論。

2. 參加 IEC WG3 meeting；拜訪 JEOL，了解 FE-SEM 的規格（姚斌誠博士，97.4.7~97.4.10）

本次出國之主要任務有二，其一為參加由 IEC TC113 工作小組 3(WG3)舉辦的 2008 上半年度工作會議；其二則為電子顯微鏡製造商 JEOL，了解 FE-SEM 的規格及討論改建成 metrology-SEM 的技術難易度。

IEC TC113 WG3 本次會議為日本日本電子資訊技術產業協會(Japan

Electronics and Information Technology Industries Association, JEITA)所舉辦的奈米電性相關的文件標準研討會，此次受邀以觀察員的身分與會，研討會共有兩天，主要在討論及修定”奈米單層碳管特性(電性相關的應用)”標準文件的內容，一旦成為正式標準文件，將使得奈米單層碳管的交易有依循的標準。秘書處並報告 IEC TC113 WG3 外部聯盟合作的進展，其中亞洲奈米論壇(ANF)預期在今年將會受邀成為 IEC TC113 WG3 的 D-liaison，屆時台灣便能以 ANF 會員的名義正式參與 IEC TC 113 的會議並提案。會中並作了兩場相關的演講: Characterization of single-wall carbon nanotubes (Dr. Morio Yumura AIST), Nanoelectronic business roadmap in Japan (Dr. Toshio Baba NEC)，會議並決定下次會議的時間及可能議題(Autumn 2008 113WG3 meeting: 11-12 November 2008(Nov.10-13): USA, NIST)。

至於電子顯微鏡製造商 JEOL 的拜訪，主要在了解 FE-SEM 的規格是否符合需求及討論改建成 metrology-SEM 的技術難易度，初步討論結果是樣品腔的改建需要 JEOL 內部討論，需要持續與 JEOL 作討論與確認。

3. 拜訪 BSI(英國標準協會)報告奈米標章近況；參加 ENTA(歐洲奈米技術貿易聯盟)研討會；拜訪 NPL(英國國家物理實驗室)了解其計量標準現況 (彭國勝博士，97.5.4~97.5.10)

本次出國行程主要為應英國標準協會(BSI, British Standards Institute)與歐洲奈米技術貿易聯盟(ENTA, European Nanotechnology Trade Alliance)之邀，報告台灣奈米標章的推動背景與現況，特別說明奈米技術計量標準在標章奈米性檢測所扮演的重要角色。另順道往訪英國的計量標準實驗室 NPL 了解其奈米與長度計量的研究近況。

英國標準協會(BSI, 1901 年成立時為工程標準委員會)成立至今已超過百年，其組織任務亦已從初期的標準委員會發展至今天的一個獨立商業服務機構。座談會由英國奈米國家標準委員會(UK National standardization committee for nanotechnologies, NTI/1)的主席 Dr. Peter Hatto 召集，其同時也是 ISO TC 229 nanotechnology 的主席，過去幾年協助台灣參與 TC 229 的活動不遺餘力，座談會參加者分別來自產業、研究機構、環保團體等共十來人，應都是 Dr. Hatto 邀請來的代表性人物。本計畫主持人進行 30 分鐘的簡報，說明台灣奈米標章的概況與奈米計量標準扮演的角色，接著進行一個半小時的熱烈討論，舉凡東西方文化背景、民眾對新技術的接受度、廠商與一般大眾對奈米標章的認知度、產品上市前標章或上市後標章的差異性、奈米功能性驗證能力的品質把關、奈米技術安全性的考量、標章是站在生產者的立場或消費者的立場而設計等議題。

ENTA 是於 2005 年成立的一個新組織，其目的是作為歐洲地區奈米技術商業

化推動過程中政府與產業民眾間的橋樑，關心的事情包括奈米技術商業應用、奈米技術風險管理、相關法規調和、奈米技術商業保險等廣泛議題。目前有來自歐洲 12 國約 50 個知名公司或機構的會員。本次應邀至 ENTA 舉辦的研討會作報告，係因其 CEO Dr. Del Stark 由 Dr. Peter Hatto 處聽聞台灣奈米標章的驗證制度，可提高大眾對奈米產品的認知與對奈米產品的把關，應有助於 ENTA 推動奈米技術商業化的政策考量，想多了解奈米標章推動的背景與實務面需要的技術配合所致。

NPL 自 1900 年成立以來，一直都是世界計量領域的佼佼者，唯約自 1995 年起英國政府可能基於預算與經營效率的考量，開始進行 NPL 民營化的推動，同時外包給民間公司進行新建築物與實驗室的建置規劃，新技術的研究中，與 PTB 共同合作開發的 Laser Tracer，用作 CMM 的 error mapping 與工具機檢測，是其特別展示的項目，校正 CMM 的時間可縮至數小時與具有 $0.3 \mu\text{m} + 0.2 \times 10^{-6} \text{L}$ 的不確定度等級，確實優於現有的校正工具，應值得介紹給台灣的業界使用。

4. 參加 ASTM Committee E56；拜訪 Washington University Dr. Da-Ren Chen 討論工業奈米粉體 DMA 分流量產型儀器（陳朝榮博士，97.5.3~97.5.11）

ASTM 於 2005 年 1 月成立 ASTM Committee E56 (Nanotechnology)，會員約 300 人，其下設有 7 個 Subcommittee，包括 E56.01: Terminology and Nomenclature、E56.02: Characterization: Physical, Chemical, and Toxicological Properties、E56.03: Environment, Health, and Safety、E56.04: International Law and Intellectual Property、E56.05: Liaison and International Cooperation、E56.90: Executive、E56.91: Strategic Planning and Review；固定每年 5 月及 11 月各舉辦一次 Committee meeting，Subcommittee 另依需求不定期召開會議討論。2008 年 5 月的 Committee meeting 在 Denver 舉行，共 11 人參加，在主席說明了 ASTM Committee E56 標準文件的投票活動、E56 推動及建立的 ASTM 標準(E2456, E2524, E2525, E2526, E2578, E2535)、進行中的標準文件規劃和推動情形(WK8705, WK9952, WK9953, WK10417, WK13577)，後開始，第一天討論 Characterization 主題，包括先期的研究結果及宣佈於 7-9 月 ASTM 與 NIST 將合辦的 workshop，第二天則針對 Terminology & Nomenclature、Environment, Health, and Safety 及 Liaison & International Cooperation 三個主題進行討論。

Washington University 拜訪 Da-Ren Chen 教授，訪問中 Da-Ren Chen 教授表示，現有 TSI 的 DMA 只能用於量測少量樣品，受到電荷中和器的限制和 DMA 本體設計原理，致粉體流量無法提高和洩露流失相當多，因此在他的研究中，除了原來的量測用 DMA 和分散技術外，也在研發各種應用的 DMA，並討論到溼式和乾式粉體的分散和氣膠技術、標準粉體的製備方式、大流量 DMA 的電荷器和分流技術等。

5. 參加 6th ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working groups meeting (姚斌誠博士，97.5.25~97.6.1)

本次出國任務為參加由 ISO 舉辦的 2008 上半年度工作會議，本次會議共有二十九個國家參加，四個工作小組同時在術語學/名詞彙編，測量/檢測，健康/安全/環境和材料規格上作實質標準文件制定的討論，台灣共有四位團員代表亞洲奈米論壇(ANF)與會: WG1 delegate:蘇宗榮(工研院)、WG2 delegate:姚斌誠(工研院)、WG3 delegate:楊重熙(國衛院)、WG4 delegate:林唯芳(台大材料)，其中 WG4 是今年新增工作小組。

本次會議為法國標準協會(AFNOR, Association Francaise de Normalisation)所舉辦的，WG1-3 主要的目的在進行標準文件的 Committee stage 的審查，WG4 主要的目的在進行標準文件的 Proposal stage 的審查。研討會共有五天，WG1 共有 5 個審查案、WG2 共有 10 個審查案、WG3 共有 5 個審查案、WG4 共有 2 個新案審查、會中並包含各工作小組的策略及需求討論會議，其它時間則為一般性討論。最後一天為大會討論及總結，大會邀請聯盟會員如 IEC TC 113、IEEE、ASTM、SEMI、VAMAS、OECD、ANF 及 ISO 相關 TC 等報告各組織的問題、需要、發展近況及未來方向等。會議主要的結論為:1. 建立 Nanotechnology 聯絡協同小組 (NLCG)。2. 新提案應滿足 metrology 相關的要求 3.持續加強各組織間的合作 4. 持續確認標準文件的 roadmap。

6. 參加 VAMAS Steering Committee Meeting ，報告我國於檢測標準的發展現況，並討論國際組織標準制定之角色扮演 (傅尉恩博士，97.6.8~97.6.15)

本次出國之主要任務有二，其一為代表奈米標準計畫國際標準分項赴 Montreal, Canada 參與 VERSAILLES PROJECT ON ADVANCED MATERIALS AND STANDARDS (VAMAS), Steering Committee Meeting, VAMAS SC Meeting，並“Material Metrology Developments at Center for Measurement Standards”為題，做一場簡報，報告我國於檢測標準發展近況，並討論國際組織之標準制定之角色扮演。其二則為參訪 Canada NRC，行程並安排參訪 Metrology for Nanotechnology, Institute for National Measurement Standards, 和 IMS-Surfaces and Interfaces, National Research Council Canada 兩實驗室，以了解加拿大在奈米標準、及薄膜檢測技術的發展。

VAMAS 是 1982 年由 G7 (Canada, France, Germany, Italy, Japan, UK, USA) 與 EC 在 Versailles 之經濟高峰會議中，針對先進材料和標準所提之構想，並簽署 MOU。目前運作的技術工作小組 (Technical Working Area, TWA) 有 15 個。

所舉辦的 SC meeting，主要的目的在確認現有及未來需求的前瞻材料測試方法、標準，及 technical working area (TWA) 的設立與發展，並交流相關的資訊並且提供平台以期在選擇的前瞻材料標準領域活動上能增進協同合作的機制。研討會共有 2 天半，第一天主要為量測技術交流。第二天在設定討論的內容，大會邀請其標準組織，如 ISO、ASTM、BSI 等報告各組織的問題、需要、發展近況及未來方向等。第三天則為新提案討論及總結。新提案分別由 NIST、法國、日本提出，以人類健康和環境及奈米物質的應用。會議主要的結論為：1. 加強與各現有標準組織的關係，建立溝通管道。2. 加強 VAMAS 對國際社會的貢獻。3. 持續邀請各國參與 VAMAS。

7. 參加 2008 Denver X-ray Conference and International Conference of Residual Stresses；拜訪 NIST 的 Material Science and Engineering Laboratory（傅尉恩博士，97.5.25~97.6.1）

此一行程，主要是參加於美國 Denver 舉辦之 57th Denver X-ray Conference 和 The Eighth International Conference on Residual Stresses。由於是 Residual Stresses 的主要會議，吸引至少上千位學者、專家齊聚一堂。也由於是兩會議共同舉辦，因此會議共進行五天，每一天均以 4~6 sections，同時進行，晚間則是 poster 的展示。內容豐富，涵蓋 Stresses 的量測、儀器開發、量測軟體、X-ray 的各種檢測應用、ASTM 標準化等。計畫共投稿了一篇論文，是應用計畫研發之薄膜應力量測於半導體薄膜應力量測。此一論文，吸引不少與會學者詢問，並要求一份論文正本，以做參考。此外，並參與 ASTM 標準會議，表達國家實驗室參與應力量測標準制定之意願。Chair Dr. Clayton Ruud 表達歡迎國家實驗室參與。後續工作將與其秘書聯絡參與事宜。

會議結束後，前往 NIST，拜訪 polymer division，主要目的是與 NIST 學者，進行學術交流，討論 X-Ray 量測技術於半導體材料及 CD 之發展，了解其在半導體 CD 檢測之狀況。由於 NIST 在 LER/LWR 的量測技術是與 INTEL、SEMATECH 共同合作進行，量測技術發展視為半導體界最前端之需求，因此透過與 NIST 合作，將可技術引進並協助國內半導體界與世界同步。

8. 參加IEEE NANO 2008 – 8th International Conference of Nanotechnology (陳怡菁研究員, 97.8.18~97.8.21)

參加 IEEE NANO 2008 – International Conference of Nanotechnology 研討會, 展出海報 Polarized Optical Scattering Measurements of Nanoparticles upon a Thin Film Silicon Wafer。隨著奈米技術的提升與普遍性發展所可能帶來的大量商機, IEEE 亦將奈米標準視為一非常重點項目, 在本次研討會中, 即提供一個專門介紹奈米方面標準的議程, 由於大部分參加此研討會的人員皆為學術機構之學者或是學生, 故對標準的重要性等等並無明確的概念, 因此今年 IEEE 藉由這一年一度的盛會提供與會者了解奈米標準方面的法規, 組織, 並對介紹其重要性, 也當場邀集各國與會者為奈米標準之量測技術及法規等一起貢獻心力。

9. 參加 NCSL International 2008 Workshop & Symposium – Metrology's Impact on Business; 參訪 Florida Institute for Sustainable Energy Laboratory (蘇峻民博士, 97.8.1~97.8.11)

參加於美國佛羅里達州奧蘭多市, 由 NCSL International 所主辦的國際研討會「NCSLI 2008 Workshop & Symposium」。NCSL International 乃是一個非營利組織, 首創於 1961 年, 以促進偕同合作來解決量測實驗室所共同遇到的問題。包括量測中心在內, NCSLI 目前有超過 1500 個來自學術、科學、產業、商業以及政府各界的成員組織。研討會今年的主題是「計量對交易的影響(Metrology's Impact on Business)」, 並邀請到 BIPM 質量部門的負責人 Dr. Richard Davis 前來給予 Keynote Address, 講題為「為何公斤應該被重新定義」。為期四天(Aug. 4 - 7)的專題討論共分成十個各 1.5 小時的技術時段, 每一個時段有四到五個主題同時進行投稿論文簡報或是座談會(Panel Discussion)。研討會共計安排了 112 場的簡報, 每場各約 30 分鐘, 以及 8 場的座談會。本計畫投稿了一篇以「Flow Calibration System for Micro-flowrate Delivery and Measurement」為題的論文。

議程中與專題討論同時進行的還有計量產業相關廠商/機構的展覽, 參展的單位包括各種量測儀器設備商、測試與校正實驗室、認證機構、區域計量機構等等, 展覽非常具有規模。其中幾家參展廠商同時也是研討會主要的贊助商, 例如 FLUKE、SYPRIS、Agilent 等等。專題討論開始前兩天以及每天的技術時段結束後, 則另外有 NCSLI 各個委員會(如 Legal Metrology、Measurement Comparison、Accreditation Resources 等等)的會議, 這些會議允許並歡迎所有的人前往參加, 本計畫則全程參與了編號 151 的 Healthcare Metrology, 主要的目的為建立相關人脈, 並瞭解美國在健康照護相關計量的發展。

專題討論前兩天以及後一天, 主辦單位也辦了一系列共 27 個為時半天或一天

的導覽課程(Tutorial)，邀請相關專家，特別是在該領域有多年經驗的產業界人士來帶領課程，讓參與的人能獲得第一手的實務經驗分享。本計畫前後分別參加了「Business Practices and Improvements – Preparing for the Future」、「Gas Flow Workshop」、「A Quality Calibration Program for Biotech and Pharmaceutical Companies」等三個課程。

NCSLI 研討會結束後，安排訪談在 MAE 進行博士後研究的巢江輝博士，討論跨大尺度與微奈米尺度之流場數值模擬技術，及 UF 於能源相關議題之研究方向與發展。

10. 參與新加坡舉辦之The 4th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings，並發表論文（吳忠霖博士，97.7.12~97.7.17）

第一日的開場是由大會主席新加坡南洋理工大學的教授 Sam Zhang 為本次研討會進行開場，接著是大會共同協辦主席台灣中興大學的薛富盛教授進行歡迎儀式。而緊接著受邀請的 KEYNOTE1 與 KEYNOTE2 演講。KEYNOTE1 邀請到的是 Jeff de Hosson 教授(Department of Applied Physics, University of Groningen, Netherlands)談論有關奈米複合材料塗層的挑戰與機會(Nanocomposite coating : challenges and opportunities)。隨著新材料的開發，輕薄的複合材料已廣泛的被使用在各種民生與工業上，大至如飛機的門板；小至微型感測器上都有這些複材的應用。另一方面，藉由塗佈改變複材的特性可以增加如耐高溫、抗腐蝕、疏水等特性而加以推廣利用，提升材料的應用面與商機。而 KEYNOTE2 則邀請喬治亞理工學院的華裔科學家王中林針對(Nanogenerators and nanopiezotronics)演講。王教授與同事發表許多另人驚奇的研究成果，所發表的論文共計被引用超過 21000 多次，知名期刊 SCIENCE 與 NATURE 皆有其代表之著作，僅 2001 年發表在 SCIENCE 上篇名為: Nanobelts of Semiconducting Oxides 文章就被引用超過 1755 次，為奈米科技與材料研究領域中的翹楚。2006 年四月發表於 Science 期刊上提出利用氧化鋅(ZnO)的奈米線陣列製做的壓電奈米電場 (Piezoelectric Nanogenerators Based on Zinc Oxide Nanowire Arrays, Science, by Z.L. Wang and J.H. Song)可做為微感測器或致動器之電源來源。本次大會發表的文章共計八百多篇，包括各種研究主題，台灣區的研計發表就將近四百多篇，而計畫發表之文章即在 MPF (Mechanical Properties of thin films)的範圍之中。在材料的薄膜機械性質中大多仍舊利用奈米壓痕試驗機(Nanoindentation)進行各項材料之薄膜性質研究，仍為當前材料性質研究之主流設備。第二日研討會行程亦邀請中國的清華大學學者 Prof. Guofan Jin, 對於該國之奈米製造的光學基礎應用進行介紹。相關論文則包含 FPT, OPF, SND, TCR;BCT, ODF, ONF 等。第三日為各國在光學及研磨技術(Grinding and polishing)與奈米製造應用上之相關發表。如德國柏林科技機構發表之奈米技術與尺寸效應，該論文主要在探

討奈米結構材料的機械性質相較於在巨觀上優異。因此在連接技術(joining technology)上將扮演十分重要之角色。中國微奈米製造中心發表利用離子束製作之奈米結構，利用離子束蝕刻與隔絕氣體蝕刻方法(insulator gas etching method)再藉由 TEM 與 STEM 來觀察參雜(doping)減縮之微結構。此次研討會可見各國著重於奈米技術開發應用，其對奈米基礎研究與開發新技術十分重視。

11. 參加美國波特蘭 ASPE(American Society for Precision Engineering)研討會發表論文 (林志明研究員，97.10.19~97.10.26)

本次出國之主要任務為前往美國波特蘭參加「23rd ASPE Annual Meeting and 12th ICPE」國際研討會並發表論文，以增進國際能見度。同時進行技術交流並蒐集國際上奈米粉體相關研究進展與應用模式，瞭解技術發展現況，有利計畫未來的規劃，並加速建立奈米標準計畫中，國家奈米粉體粒徑量測標準。由 ASPE (American Society for Precision Engineering) 所舉辦的 23rd ASPE Annual Meeting 研討會，今年特別和 JSPE (Japan Society for Precision Engineering) 與 EUSPEN (European Society for Precision Engineering and Nanotechnology) 的 12th International Conference on Precision Engineering (ICPE)合辦，研討會地點則是選擇在美國西岸奧勒岡州波特蘭市的 Marriott Downtown Waterfront Hotel 舉辦。此次研討會共吸引來自世界各國近 400 人與會，除美國國內 245 人外，尚有來自其他國家共 142 人參加，其中以日本人最多。首先，大會的 Keynote Speaker – Dr. Banerdt，以火星水源探勘為主題發表演說。研討會分為 Oral Presentation 與 Poster Presentation 兩部分，在 Oral Presentation 部分，所有的口頭報告皆安排於同一會場舉行，這樣的優點在於與會者不會因為有興趣的主題被安排在同一個時段而無法選擇；而缺點則是時間會拖得較長。在 Poster Presentation 部分，此次發表的論文題目為「Development of the Primary Nanoparticle Measurement Standard by the Electro-Gravitational Aerosol Balance」，歸類在「Dimensional Metrology」的分類。

12. 參加 2008 IEC/TC 113 Nanotechnologies & Working Group 3 下半年會議及 2008 ISO/TC 229 Nanotechnologies & its Working Groups 下半年會議 (姚斌誠研究員，97.11.9~97.11.21)

IEC TC113 WG3 本次會議為美國國家標準協會 (American National Standards Institute, ANSI)，會議地點在美國國家標準與技術研究院(NIST)，內容為奈米電性相關的文件標準研討會，此次仍以觀察員的身分與會，研討會共有兩天，主要在討論及修定“奈米單層碳管特性(電性相關的應用)”標準文件(Committee Draft, CD)的內容，另外並討論韓國的新提案：碳管電性的樣品準備及量測標準。秘書處並報告 IEC TC113 WG3 外部聯盟合作的進展，其中亞洲奈米論壇(ANF)成為 IEC TC113 WG3 的 D-liaison 的進度因 IEC 中央秘書處的行政作業，尚未成案。會中並作了一

場相關的演講: Presentation of the Korean Roadmap for Nanodevices (W. Park)，會議並決定由 Park 組成一個 task force 討論 IEC TC 113 WG3 未來的藍圖，預計對後續 IEC TC 113 提案內容產生一定影響，下次會議的時間希望能與 ISO TC 229 接近或重合，預定地點為 Seattle, USA，時間為 June 2009。

ISO 2008 下半年度工作會議在上海舉辦，本次會議共有三十多個國家參加，四個工作小組同時在術語學/名詞彙編，測量/檢測，健康/安全/環境和材料規格上作實質標準文件制定的討論，台灣共有四位團員代表亞洲奈米論壇(ANF)與會: WG1 delegate:蘇宗榮(工研院)、WG2 delegate:姚斌誠(工研院)、WG3 delegate:楊重熙(國衛院)、WG4 delegate:林唯芳(台大材料)，其中 WG4 是今年新增工作小組。本次會議為中國國家標準化管理委員會(SAC, The Standards Advisory Council)所舉辦的，WG1-3 主要的目的在進行標準文件的 Committee stage 的審查，WG4 主要的目的在進行標準文件的 Proposal stage 的審查。研討會共有五天，WG1 共有 1 個發表的技術規格文件(Technical Specifications, TS)，8 個審查案，1 個新提案、WG2 共有 11 個審查案、WG3 共有 1 個發表的技術規格文件，6 個審查案，3 個新提案、WG4 共有 4 個案審查、會中並包含各工作小組的策略及需求討論會議。最後一天為大會討論及總結，大會邀請聯盟會員及 ISO 相關 TC 等報告各組織的問題、需要、發展近況及未來方向等。

(二).國外客座研究

1. 赴美 NIST Polymer Division 客座研究，進行 Critical Dimension Measurement using Small Angle Scattering(CD-SAXS)研習，學習利用實驗室型的小角 X 光散射儀器，以及建立相關模型，進行奈米級 Critical Dimension 量測，其量測主要對象為 linewidth、linepitch、line edge roughness(LER)和 line width roughness(LWR)等 (陳怡菁研究員，97.6.29~97.10.3)

此客座研究的目的，為安排參與學習 CD-SAXS (Critical Dimension- Small Angle X-Ray Scattering)之在 CD 量測上的實驗技術以及理論基礎。NIST 在這個部份由吳文立博士主導，並且與 NIST 和 SEMATECH 合作，由對方提供 samples 以進行量測分析。

在 NIST 期間，參與並實際操作實驗室級 CD-SAXS 系統以 Intel 的樣本進行 CD 量測實驗，從硬體設定到放入樣本及最後的軟體操作取數據皆有實際操作的經驗，也學習到如何依據樣本條件來建立理論模型並將實驗數據藉由理論分析模擬以取得樣本真正的 CD 值。由於實驗室級的 X-ray 光源強度不夠，因此光量測一個樣本所需要的時間就要 72 小時，而同步輻射光源的強度夠高，可在短時間內取得相同的實驗數據，根據 NIST 比對此二種方法所得的實驗結果為互相匹配，因此表示

不管使用哪種方法進行量測實驗，其實驗結果皆相同。

由於要使用同步輻射光源必須先提計畫書，等相關負責人排定時間之後才能去做實驗，這次客座期間正好沒有被排到使用光源時間，所以只能利用 NIST 內部的中子同步輻射系統來了解類似的實驗進行方式，幸運的是 NIST 何立德博士正好有研究需要用到中子同步輻射系統，因此可學習到一整套利用中子同步輻射系統進行實驗的各種方法技巧，以及後續的實驗數據分析處理方法。對 NIST Polymer Division 來說不管是實驗室級的 CD-SAXS 或是同步輻射系統，皆為重點項目因其應用範圍並非僅止於 CD 量測，尚可應用在生物材料化學等領域。

(三)國際技術交流

1. 970508-9陳朝榮前往美國Washington University in St. Louis訪問Da-Ren Chen教授討論工業奈米粉體DMA分流量產型儀器及未來合作機會。
2. 970608-10傅尉恩赴Canada NRC參訪Institute for National Measurement Standards, Institute of Microstructural Science and Industrial Materials Institute了解其在奈米檢測技術發展，並討論於奈米檢測技術發展合作之可能性。970611-15傅尉恩赴Canada Montreal，參加VAMAS SC Meeting，報告我國於檢測標準發展近況，並討論國際組織之標準制定之角色扮演。
3. 970715美國Washington University in St. Louis的Da-Ren Chen教授來中心訪問及專題演講“Nanoparticle Characterization, Charging and Dispersion”。
4. 970802-13傅尉恩拜訪NIST Polymer division報告我國於檢測標準發展近況，討論未來發展合作議題。
5. 97年度協辦APEC亞太經合會工業科技小組奈米檢測技術計畫之活動方面，970929-30在台南成大辦理「2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology」，共有6個經濟體19人參加，主題著重於薄膜厚度的量測、特性之研究、機械特性、及薄膜製程技術等。971001-03，在台南成功大學成功校區圖書館主辦2007亞太經合會-奈米檢測技術論壇(2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum)，共有10個經濟體133人參加，會中並邀請黃來和副局長擔任貴賓致詞，講員來自美、韓、新加坡、日、泰、大陸、台灣等學者專家，針對奈米分析及量測的前瞻技術、奈米計量標準、奈米技術於半導體產業之應用、奈米結構材料之計量標準技術等等專題進行討論與交流。
6. 拜訪泰國標準實驗室NIMT，簡報介紹量測中心流量研究室、參觀其實驗室並討論CMS與NIMT可能的雙邊合作與交流。

(四)教育推廣

1.國內研究生培訓：

(1)台科大機械所博士生陳智榮君參與尺寸分項 CD 量測技術研究(97 年 1 月-97 年 12 月):

97 年 1 月-97 年 12 月聘請台科大機械系研究生陳智榮參與尺寸分項 AFM 量測 CD(critical dimension)研究，發展以改良式雙傾斜角度法量測試片，配合縫補技術，組成量測 CD 之 3D 影像，以消除機械結構所造成量測誤差，以 Labview 程式設計縫補技術之影像疊合功能，再由 SPIP 軟體可計算出探針對應之球徑值，以補償之直徑修正。

(2)台科大機械所碩士生廖述鐘君、劉科震君參與尺寸分項奈米定位技術研究(97 年 1 月-97 年 12 月)：

隨著精密工程的不斷進步，不論是半導體產業、精密機械工業、生物細胞領域、光電系統、顯微機構、表面工程、STM、SPM 等方面，皆朝微小化、精密化的方向前進，因此對於奈米級的定位平台系統需求量日增。本研究旨在開發一閉迴路短行程微/奈米定位系統，系統主要元件包含以有限元素分析設計之具位移放大機構之微/奈米定位平台、壓電致動器、光纖干涉儀/電容位移量測系統、即時控制等，系統以 LabView 程式語言撰寫程式作定位系統之整合控制。

(3) 中興大學材料所碩士生涂維庭君參與尺寸分項薄膜量測技術研究(97 年 1 月- 97 年 7 月)：

參與建立薄膜量測系統與技術時，除評估系統不確定度、量測系統之追溯外，亦必須研究薄膜本身的基本特性。利用 X 射線量測原理，亦可評估薄膜由非結晶矽因溫度變化，產生結晶的過程。如藉由退火熱處理產生結晶相後與初濺鍍膜相較，薄膜具有不同的光學對比，此一變化可由 X 射線繞射量測獲得。藉由此一研究，以提升薄膜量測系統的相關檢測技術，及薄膜量測系統的精確度。

(4) 台灣科技大學機械所碩士生陳孟科君參與尺寸分項薄膜量測技術研究(97 年 6 月-97 年 7 月)：

參與建立薄膜量測系統與技術，應用小角度 X 射線量測原理，建立小角度 X 射線反射儀薄膜量測系統，X 射線反射儀薄膜量測系統之追溯角度部份追溯至 SI units 的角度標準，此一追溯將以取得國家標準實驗室角度追溯為路徑。利用掠角 X 射線反射儀量測薄膜時，藉由薄膜上下二介面的反射干涉訊號以及相對於入射角的關係，薄膜厚度即可計算而得，如圖所示為 1.5 nm 量測結果。此一計畫，將薄膜厚度降至 1.5 nm，並做不確定度分析，X 射線波長、測角儀系統、偵測器等為直接影響之重要因子，此外，量測環境、待測件、乃至於軟體模擬、人員操作等均會影響量測系統的

不確定度及精確性

- (5) 台灣科技大學機械所碩士生林彥德君參與尺寸分項薄膜量測技術研究(97 年 8 月-97 年 12 月)：

應力亦是薄膜系統所必須面對的問題之一，因此利用 X 射線繞射量測可觀測應力在薄膜上的分布。採用 X 射線繞射殘留應力量測技術，可更準確地獲得薄膜內部之殘留應力，透過所建立之技術，未來可用於薄膜之熱性質材料常數。目前文獻上關於微奈米薄膜殘留應力之研究，大多採用彎曲樑(Bending beam)之方法，亦即利用幾何光學(Geometrical optics)方法之方式獲得薄膜之殘留翹曲(Residual warpage)，此方法係沿薄膜結構之某一線上之進行掃描，透過光檢測器上光點之變化，計算薄膜之殘留翹曲量，再藉由微小薄膜力學理論推算薄膜內部之殘留應力，此方法最為人詬病之處在於所獲得之殘留翹曲量精度不足。

- (6) 中興大學材料所碩士生姜慶國參與尺寸分項薄膜量測技術研究(97 年 8 月-97 年 12 月)：

參與建立high-k薄膜的特性量測。利用X射線量測原理，進行high-k 薄膜 Amorphous 特性量測，薄膜包括 Al_2O_3 及 HfO_2 厚度及結晶狀態研究，以作為厚度量測評估時之不確定因子評估。進行 HfO_2 試片高溫退火處理進行，並進行 HfO_2 試片及基材之應力量測及進行 20 組之high-k 薄膜 Al_2O_3 及 HfO_2 厚度量測，厚度為 5 nm。

- (7) 清華大學動機所碩士生林學楚參與力學分項奈米材料特性量測研究(97 年 1 月-97 年 7 月)：

與清華大學動力機械工程學系合作進行多壁奈米碳管(MWCNTS)/聚二甲基矽氧烷(PDMS)奈米複合材料之機械性質與物理性質之研究。聚二甲基矽氧烷，為一高分子之材料，由於其具無毒性與生物相容性高。因此，近年被使用於生醫系統微流道晶片(Microfluidics)與奈米壓印技術(Nanoimprint)上，因其成本比半導體之矽晶圓低，且有較佳成形能力，玻璃轉換溫度為 -123°C 且工作溫度範圍廣，約為 -55 至 200°C 等優點。本合作以聚二甲基矽氧烷為基材，固定硬化劑比例，使用先前已獲得之較佳硬化條件，製作出不同長、短之多壁奈米碳管與不同重量百分比之複合材料試片，執行靜態之拉伸試驗，量測複合材料之楊氏模數。另外，亦量測之複合材料之密度與熱膨脹係數等物理性質；對於該材料之電性量測則使用高阻計，量測體積電阻，進而比較出相同硬化條件時，不同多壁奈米碳管含量下，聚二甲基矽氧烷之楊氏模數與體積電阻變化趨勢。也可觀察出不同碳管條件下，多壁奈米碳管/聚二甲基矽氧烷複合材料楊氏模數與物理性質之差異性。本案完成新加坡 THINFILMS, 2008 國際研討會論文一篇及日本 ACCM-6, 2008 國際研討會論文一篇。

- (8) 逢甲大學機械所碩士生張昭莒參與力學分項微結構機械性質量測技術研究(97年1月-97年7月)

近年來，隨著時代的演進、科學的進步與市場的需求，產業界已從目前的半導體(Semiconductor)工業逐漸發展成微機電(Micro Electro Mechanical System, MEMS)工業。MEMS是以原本用於微電子產業的半導體製程技術來製作微米(百萬分之一公尺)尺度的機械結構，並整合為一種微型系統，所應用到的層面包含機械、電子、物理、光電、電聲、通訊、材料、控制、生化醫學、化學...等。而在隨著元件微小化時，其材料特性也會隨著改變，所以在進行微小薄膜結構分析時，塊材的機械特性就不再適用，因此如何得知微小材料的機械行為就變得極為重要。

在微機電系統中，微懸臂樑機械結構通常是用來量測薄膜材料的機械性質。而在MEMS中常見的驅動方法有靜電(Electrostatic)驅動、壓電(Piezoelectric)驅動、電磁(magnetic)驅動、熱(Thermal)驅動、流力(Hydraulic)驅動...等，其中以靜電驅動受製程影響限制較小。故本文選用靜電(Electrostatic)驅動方式搭配相移術電子光斑影像干涉術(Electic Speckle Phenomenon Interferency, ESPI)來量測微懸臂樑變形行為，並使用ANSYS有限元素分析軟體模擬得到之分析結果作預估和驗證。利用光學干涉術搭配相移術的優點，來量測微懸臂樑受各個不同電壓下之分佈靜電力後全域性平面外(Out-of-plane)位移，並搭配懸臂樑受負載之變形理論公式，而求得微懸臂樑的楊氏模數(Young's Modulus)，該君協助此研究的執行。

- (9) 長庚大學機械所碩士生吳鳳森參與光聚合複合樹脂之微機械性質研究(97年8月-97年12月)

光聚合複合樹脂大多應用於做填補齲齒的牙齒填補劑，且主要是以藍色發光二極體固化燈聚合牙齒填補劑。但對於聚合光源的強度與聚合物的深度沒有做仔細的探討，本案便對於此種材質做更進一步的討論，硬化條件的規劃是利用不同光照強度與時間做區別，然後再把試片從中間對剖，由頂至底依照同樣的間距作多點的硬度量測，依得出結果先判斷出同個模式下樣本硬度的準確性，再判斷出不同模式下光照強度和時間對光聚合複合樹脂的影響關係。將以奈米壓痕量測系統於不同模式下之樣本所得出的數據，將其繪製成類似等高線圖的方式，將相同硬度的點聯成一條條的曲線，一地的最高或最低處，為閉合曲線最內圈的高度加或減上等高線間距的範圍之內，曲線分布越密集，表示材質聚合程度差異性大；反之，曲線分布越寬疏，表示聚合程度穩定，達到明顯觀察出內部聚合情況。

- (10) 清華大學動機系碩士生黃建銘參與力學分項奈米材料特性量測研究(97年8月-97年12月)

近年來薄膜廣泛應用於各個領域，像是微電子中的導電層、擴散障礙層，電磁感

測、氣體感測、防蝕保護層、磨損阻抗層。薄膜在微機電(Micro-Electro-Mechanical System, MEMS)、超大型積體電路(VLSI)中的應用扮演著重要的角色，由其在現今微機電元件尺寸日益縮小的情況下，更凸顯出薄膜的重要性。然而，材料之薄膜與塊材的機械性質並不相同。因此，要萃取出薄膜之機械性質必須利用一些特殊方法。透過與學校合作，藉由量測不同性質之薄膜，探討不同測試方法所獲得之結果，比較其趨勢與差異。所進行之研究包含利用中心現有之奈米壓痕試驗機與微奈米機械性質量測系統以及清大動機系所擁有之吹氣測試系統等三種技術。藉由整合晶片之設計，完成不同薄膜量測方法對於薄膜性質量測結果差異性之前期研究。

- (11) 交大機械所碩士生邵啟煥君參與微流分項微流系統軟硬體維護、系統查核與校正操作、微流晶片光罩繪圖(97年1月-97年8月)

該君於計畫執行期間，負責協助微流量測標準系統的保養及查核，累積系統及其主要標準件之查核數據，並據以繪製查核管制圖，完備系統查核管制。此外，亦協助微流量測標準技術計畫中微流晶片的設計與光罩繪圖，並部分參與晶片製作工作，使該項目能夠順利達成預定之進度。

- (12) 清大微機電所博士生林彥良君參與微流分項黃光室相關製程協助及數位微流實驗操作研究(97年1月-97年12月)

由於數位微流晶片係採用微機電製程加以製作完成，故相關製程技術是計畫執行不可或缺一環。該君除了參與微機電製程工作以製作晶片外，亦協助流體操控實驗的進行。該君豐富的製程經驗，提供本計畫關於實驗進行與晶片設計之建議，使微流晶片製作與實驗上的障礙能夠順利排除，完成預定之目標。

- (13) 清大醫環所碩士生吳俊甫君參與微流分項光度法試劑配製與測試，奈升分注量測實驗操作(97年2月-97年9月)

該生參與奈升級單劑量量測追溯標準技術建立之光度法試劑配製、測試與驗證相關工作，協助進行所需化學原料與設備的採購、試劑組的配製以及後續的測試驗證工作，並針對分注特性可調試劑進行初步研究。投入的工作讓分注量量測實驗所需之試劑組得以順利完成，並協助產出技術報告「光度法分注量量測方法與應有作為」。

- (14) 交大化工所碩士生柯雅容君參與微流分項光度法試劑配製與測試，奈升分注量測實驗操作(97年9月-97年12月)

該生係接手清大碩士生吳俊甫離職後的工作，除依需求配製所需的試劑外，並負責執行光度法分注量量測實驗及方法驗證工作，以及後續之數據處理與繪圖。促使光度法與稱重法比對之驗證工作得以順利完成。

伍、成果說明與檢討

一、尺寸參數量測追溯分項計畫

【年度目標】

- (一) 奈米粒徑量測系統評估(靜電力分離法, 範圍 20 nm – 500 nm 採用 DMA 比較式量測系統, 量測不確定度 3 nm – 20 nm ; 範圍 100 nm – 500 nm 採用 EAB 絕對式量測系統, 量測不確定度 2 nm – 20 nm)。
- (二) AFM-CD 量測之最佳能力評估(評估範圍 50 nm- 800 nm), (50-1000) nm 階高製作與 (1-100) μm 線寬製作研究。
- (三) 等效薄膜量測: high k 材料至 5 nm (量測不確定度 0.4 nm + 1.0%d)。
- (四) 晶圓表面奈米微粒量測系統建置(微粒粒徑 ≤ 60 nm)。
- (五) 推動參與奈米國際組織 ISO TC229。

【本年度成果】

(一)50nm 線寬線距量測技術

本年度已經建立 50 nm~1000 nm 線寬線距量測技術之量測能力評估，最佳量測能力 2.6 nm(線寬 50 nm)，信賴水準(擴充係數)：95 %。

上年度已經完成階高標準片(介於 50 nm-500 nm)之光罩設計(部份設計圖樣如圖 1-1)與光罩製作，本年度進行階高形貌測試，同時將階高標準片最小高度延伸到 5 nm。在標準件製造上，本年度開發線寬 1 μm -100 μm 之線寬，線寬光罩圖如圖 1-2

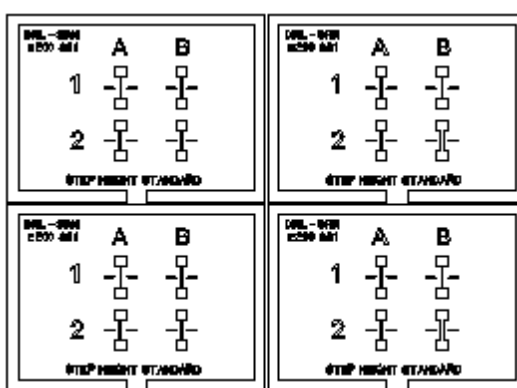


圖 1-1 階高標準片光罩

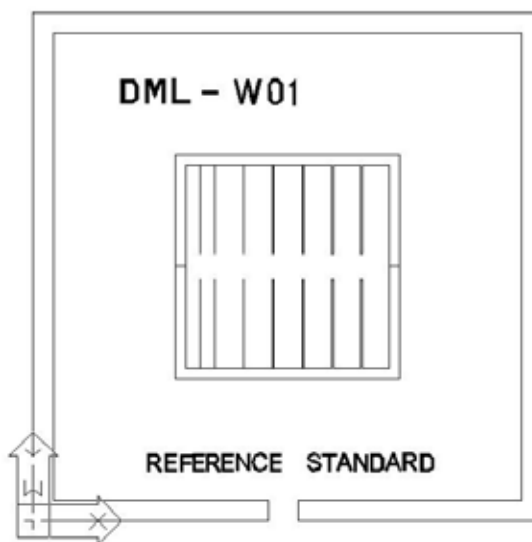


圖 1-2 線寬標準片光罩(線寬 1 μm -100 μm)

(二)奈米粒徑量測標準

奈米粒徑量測系統為結合電重力氣膠平衡法(Electro-gravitational Aerosol Balance, EAB)量測技術與電遷移率分析法(Differential Mobility Analysis, DMA)量測技術之靜電力分離法均一化奈米粉體粒徑分析系統。其中 EAB 量測系統用以做為絕

對式奈米粒徑量測；而 DMA 量測系統則用以做為比較式奈米粒徑量測。本年度已建立奈米粒徑校正系統之標準追溯體系與校正系統，校正項目為奈米粒徑標準件，其中 EAB 量測系統之校正範圍為 100 nm – 500 nm，量測不確定度為 ≤ 1.3 nm；而 DMA 量測系統之校正範圍為 20 nm – 500 nm，量測不確定度為 1.3 nm – 13 nm，信賴水準(擴充係數)為 95 %，97 年 12 月系統查驗及經經濟部標準檢驗局公告後即可對外提供服務。

(三)薄膜量測技術

本年度膜厚度標準片校正系統之標準追溯體系及校正系統，校正項目為薄膜厚度標準片，校正範圍：1.5 nm ~ 200 nm，1.5 nm SiO₂的最佳量測不確定度為 0.2 nm，信賴水準(擴充係數)：95 %，新增加high-k薄膜厚度標準片的校正評估，以擴充系統能量。經評估，其不確定度滿足計畫之不確定範圍內： $0.4 \text{ nm} \pm 1\%d$ (d為薄膜high k 厚度)。

(四)晶圓表面奈米微粒量測技術

晶圓表面奈米微粒量測技術而言，量測的精確度決定於一是表面奈米微粒量測，另一是微粒粒徑的校正與追溯。除已完成晶圓表面奈米微粒量測之基本量測架構，相關技術資料搜集與研讀，及晶圓表面奈米微粒量測技術規劃等，FY97 完成光學機構建置，測試系統之功能與能力，建立表面奈米微粒量測能力可達 60 nm。

(五)參與奈米國際標準

完成 2009 年 ISO TC 229 上下年度兩次年度會議並參與 11 項標準草案討論，完成 2009 年 IEC TC 113 上下年度兩次年度會議並參與 2 項標準草案討論。

【技術創新】

(一)50nm 線寬線距量測技術

NIST 以 AFM 量測 CD 方法有兩種，一種是使用靴子型探針 (boot-shaped tip) 或圓柱型探針(如圖 1-3)，該探針外型可以用來處理側壁 (sidewalls) 量測的問題，但是要先校正出靴子型或圓柱型探針之前端接觸面直徑[1-1] [1-2]；NIST 另一種作法是使用單向掃描二次方法，由作第一次左往右掃描後，將工件旋轉 180 度，同樣再掃描一次後，以縫補技術讓二次掃描結果組合，以得到待測件真實輪廓(如圖 1-4)。

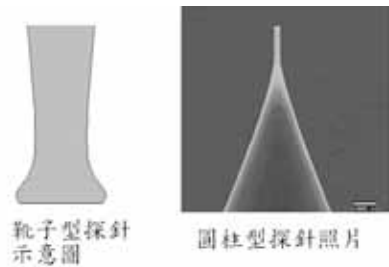


圖 1-3 靴子型探針與圓柱型探針

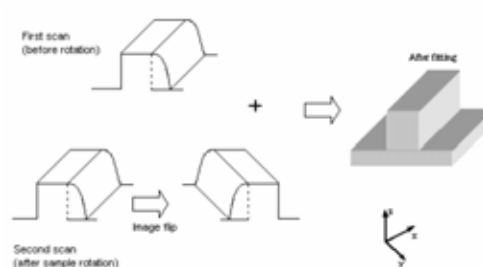


圖 1-4 縫補組合技術用於量測線寬線距

本研究則採用雙傾斜式之雙向掃描方法(傾斜掃描，如圖 1-5)，將探針與待測面傾斜，先將探針左傾斜時，由左往右掃描時，工件左側輪廓不會侷限於探針幾何形狀問題，直接再傾斜探針為右傾斜後，並進行掃描，同樣再以縫補技術組合影像疊合，利用 ICP(Iterative closest point)數學式，此法可算得兩張圖像相對應之旋轉與平移矩陣，再藉取多張相近圖像之迭代運算後可收斂出一張最接近之疊合影像(量測程序如如圖 1-6)，量測結果如圖 1-7。圖 1-7(a)是採用超細微探針量測 120 nm 線寬，兩邊的側壁角度分別為 85.8 度與 82.3 度，圖 1-7(b)是採用斜向探針量測 60 nm 線寬，兩邊的側壁角度分別為 88.度與 77 度，由量測到側壁角度都已大於 80 度以上，表示已補償探針幾何形狀問題，側壁角度不是 90 度，可能是樣品本身就不是垂直或是量測誤差。圖 1-7(C)是量測 45 nm 線寬，兩邊的側壁角度為 82 度，側壁角度不是 90 度，樣品線寬目前並無 ISO 規範，由量測到側壁角度的斜率突然變化，來決定標準片上端之線寬值。

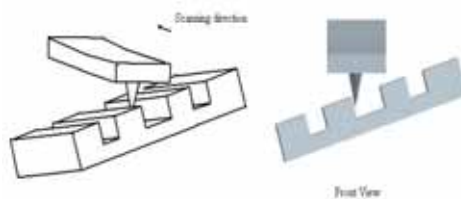


圖 1-5 傾斜掃描

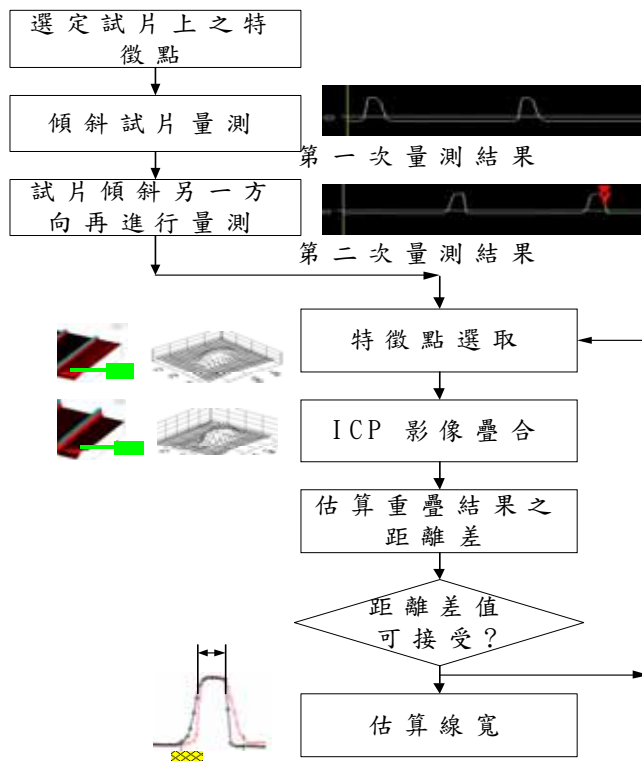
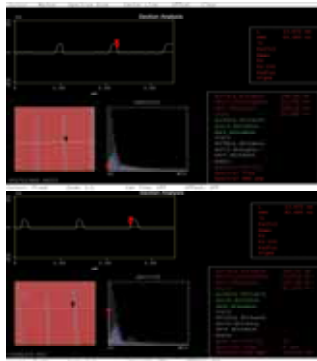
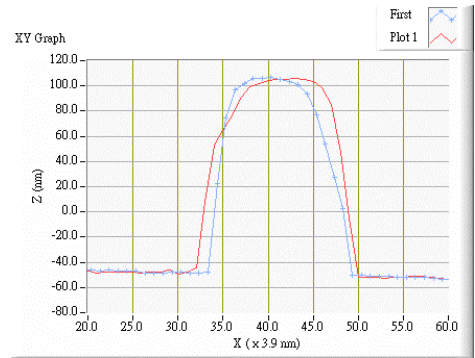


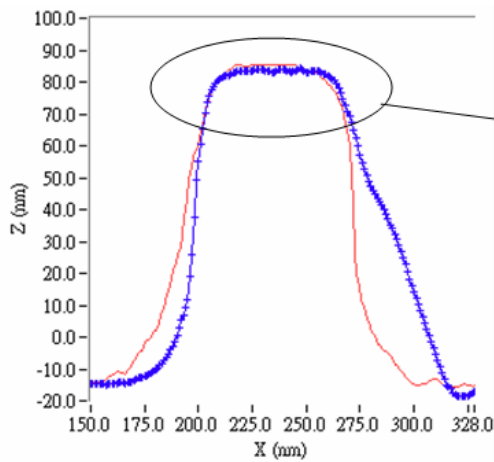
圖 1-6 雙傾斜式之雙向掃描量測程序



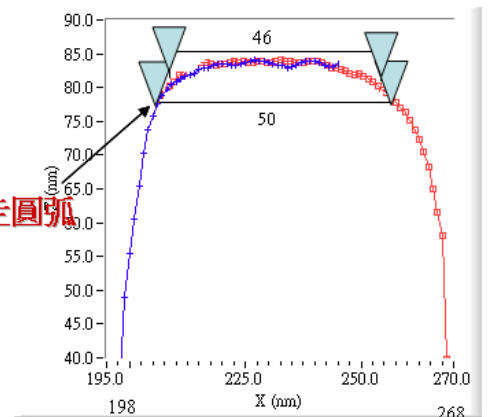
(a) 120 nm 線寬



(b) 60 nm 線寬



開始走圓弧



82度 每下降1nm 寬度變寬0.56

*影像尚未做探針半徑補正

(c) 45 nm 線寬

圖 1-7 CD 量測結果

線寬值可藉由使用Labview程式開發軟體對線寬影像作拉線求得，量測時之量測路徑與線寬邊緣未垂直時(角度為 θ)，量測值為 p_m ，此量測值 p_m 與待測線寬值 p 之關係式如式 (1-1)。

$$p = p_m \cos \theta \quad (1-1)$$

因線寬值受溫度之影響，設待測片材質的熱膨脹係數為 α ，環境溫度與 20°C 之溫度差為 ΔT ， ε 量測時探頭與軟體誤差項，則式 (1-1) 可修改如式 (1-2)。

$$p = p_m(1 + \alpha \Delta T) \cos \theta + \varepsilon \quad (1-2)$$

式 (1-2) 即為所推導出的量測方程式。

其中 ε 為量測時探頭與軟體誤差項 $u(\varepsilon)$

依據ISO GUM之量測不確定度估算方法，待測線寬值 p 的組合標準不確定度 $u_c(p)$ 為

$$u_c^2(p) = \left(\frac{\partial p}{\partial p_m}\right)^2 u^2(p_m) + \left(\frac{\partial p}{\partial \alpha}\right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial p}{\partial \Delta T}\right)^2 u^2(\Delta T) + \left(\frac{\partial p}{\partial \theta}\right)^2 u^2(\theta) + \left(\frac{\partial p}{\partial \varepsilon}\right)^2 u^2(\varepsilon) \quad (1-3)$$

各項的靈敏係數可分別求得如下。

$$\frac{\partial p}{\partial p_m} = (1 + \alpha \Delta T) \cos \theta \quad (1-4)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \alpha} = p_m \Delta T \cos \theta \quad (1-5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \Delta T} = p_m \alpha \cos \theta \quad (1-6)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \theta} = p_m (1 + \alpha \Delta T) \sin \theta \quad (1-7)$$

$$\frac{\partial p}{\partial \varepsilon} = 1$$

由式(1-3)可得知影響量測能力之誤差因素有線寬量測值之不確定度 $u(p_m)$ 來源可包括重複性、量測解析度及儀器準確度，熱膨脹係數之不確定度 $u(\alpha)$ ，角度偏差之不確定度 $u(\theta)$ ，量測時探頭磨耗誤差與軟體誤差項 $u(\varepsilon)$ 。

(二) 奈米粒徑量測標準

由於 EAB 量測系統[1-3]之量測原理簡單與系統參數單純，因此非常適合用以發展高量測準確度與低量測不確定度[1-4]的奈米粉體粒徑原級標準量測系統。而 DMA 量測系統[1-5]則具有量測時間短與量測範圍廣等優點，因此利用經 EAB 校正而得的奈米粉體為標準粉體，再以 DMA 量測系統提供比較式的粒徑量測，以使其量測準確度更加精確。事實證明，若先以 1 μm 的標準粉體進行 DMA 校正再針對 100 nm 的粉體進行比較式粒徑量測的結果，其準確度較直接以絕對式粒徑量測的結果來得好[1-6][1-7]。奈米粒徑量測系統結合 EAB 量測技術與 DMA 量測技術，如圖 1-8 所示，其中 EAB 量測系統(量測範圍 100 nm – 500 nm，量測不確定度 ≤ 1.3 nm)用以做為絕對式奈米粒徑量測；而 DMA 量測系統(量測範圍 20 nm – 500 nm，量測不確定度 1.3 nm – 13 nm)則用以做為比較式奈米粒徑量測。

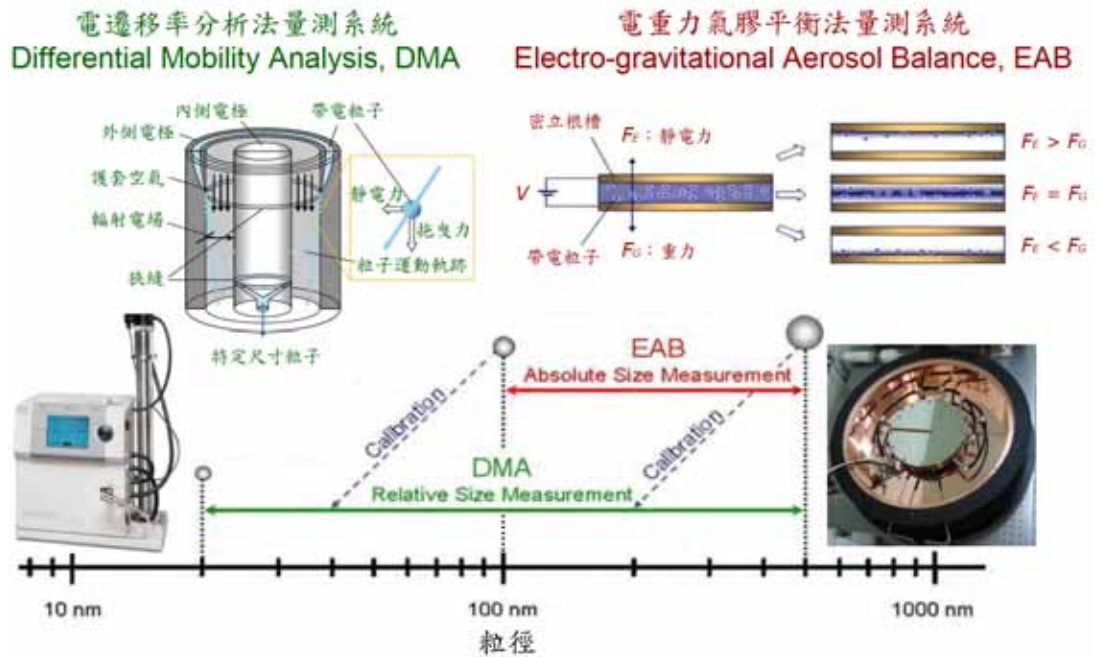


圖 1-8 結合 EAB 量測技術與 DMA 量測技術之奈米粒徑量測系統

(三) 薄膜量測技術

確立量測誤差因素，及量測不確定度之影響與計算靈敏係數並完成 x-ray 薄膜系統評估之量測方程式推導、分析。X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的主要因素，包括，X 射線波長、測角儀系統、偵測器等為直接影響之重要因子，此外，量測環境、待測件、乃至於軟體模擬、人員操作等均會影響量測系統的不確定度及精確性。

X 射線儀薄膜量測系統基本元件則包括一 X 射線射源、精密角度轉盤、薄膜測試片、及偵測器。X 射線反射儀由銅靶激發後，經由 Collimator 後成為平行光束，當 X 射線進入物體表面時，於非常小角度(掠角)時產生全反射，全反射平行光束將再經由 Collimator 後，被偵測器吸收。在任意大於 的入射角下，反射率會隨著入射角的變大而突然降低，且此時會出現一振盪結構(被稱為“Kiessig Fringe”)。當此振盪週期(干涉週期)會隨膜厚而變時，膜厚可以在精準的控制入射角下由觀察振盪結構來決定。對薄膜厚度標準片校正，包括 SiO₂ 薄膜厚度之量測範圍為 1.5 nm 至 200 nm 及 HfO₂ 和 Al₂O₃ 薄膜厚度為 5 nm 之校正追溯。

(四) 晶圓表面奈米微粒量測技術

除了薄膜的檢測技術，在半導體、TFT 的製程中，晶圓表面加工程序前後的品質對於往後成品的良率有直接的影響。因此，在任何加工前或是清洗後，晶圓表面的品質檢測，包括缺陷、微粒、Crystal Originated Pits (COPs) 等，或是加工程序

(deposition, patterning, polishing, etching, cleaning)後，包括 CD、薄膜厚度、pattern 缺陷、應力分析、微粒、片電阻等，各項品質參數需要檢驗。此一工作項目，即針對晶圓表面微粒檢測技術及標準，做為訴求，以期提升並建立晶圓表面微粒檢測技術，解決半導體業檢測需求，服務業界。

為因應量測物之材料特性，非接觸式方法量測晶圓表面是最佳選擇。為提高生產量，光學檢測技術則是最佳選擇。因此，此研究將以光散射的原理，做為量測方法，整個散射光量測系統架構如圖 1-9 所示。此量測系統主要利用雷射光打入欲量測的物體表面（預設是晶圓），然後利用一光接受裝置收取雷射光的散射，利用此散射現象來判斷晶圓上微粒的粒徑大小。因此整個量測系統可以分成三個部分來組成，包含光源裝置、待測物運動機構、光接收裝置等。從光散射 Rayleigh 的理論來說，當微粒直徑遠小於光波長時，散射光源可視為點偏振 dipole。光源入射晶圓表面微粒後，產生之反射光也會照射在微粒上，形成 dipole，產生半圓的散射光。

晶圓表面微粒可以依下列光散射的幾何光路來判斷。雷射以角度入射晶圓表面，如圖 1-10。產生角偏 ϕ_r 的散射光，並與圖中 Z 軸夾角為 θ_r 。利用 bidirectional reflectional distribution functions (BRDF) 來分析量測之散射光。從光散射 Rayleigh 的理論來說，當微粒直徑遠小於光波長時，散射光源可視為點偏振 dipole。光源入射晶圓表面微粒後，產生之反射光也會照射在微粒上，形成 dipole，產生半圓的散射光。我們可以根據 BRDF 來定義由微粒所產生的散射光函數，如(1-8)所示：

$$f(\theta_i, \phi_i, \theta_s, \phi_s) = \frac{\frac{\partial \Phi_s}{\partial \omega}}{\Phi_i \cos \theta_s} \quad (1-8)$$

其中 $\frac{\partial \Phi_s}{\partial \omega}$ 為每固定角度的散射光強度， Φ_i 為入射光強度， θ_s 為散射光極角， ϕ_s 為散射光方位角， θ_i 為入射極角， ϕ_i 為入射光方位角。

若我們先取 $\theta_i = \theta_r = 45^\circ$ 和 $\phi_r = 90^\circ$ 的架構，即可量測表面微粒的散射光能量大小，而不同的粒徑大小會造成不同的散射光能量（接近線性關係），因此我們可以經由不同的散射光能量來得知粒徑大小。然後我們將設計一個可以 4 軸旋轉的方向調整器（goniometer）用來承載待測晶圓，以便進行旋轉與掃描晶圓的動作，因此可以量測整個晶圓表面上的粒徑大小與分佈。

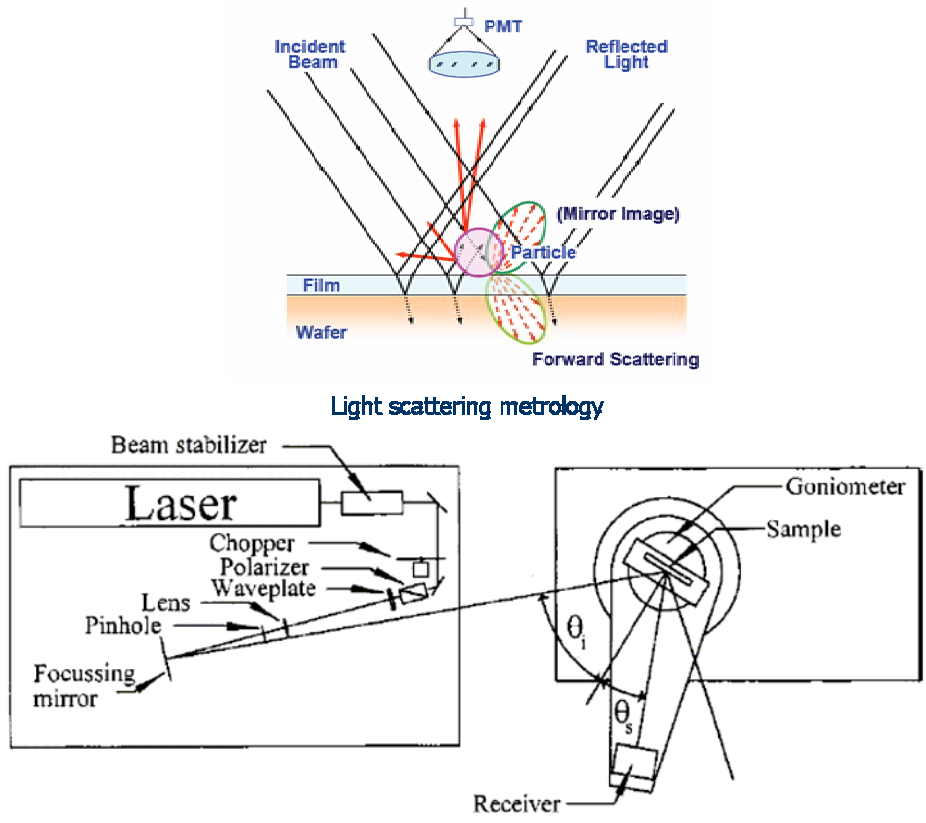


圖 1-9 散射光量測理論及系統架構示意圖

依據圖 1-9 及量測原理，計畫之晶圓表面粒徑量測系統架構分別由 Light source、Goniometer、detector (receiver)組成。Light source 的設計如圖 1-11，依排置的次序，包括 laser、chopper、polarizer、waveplate、lens、pinhole。

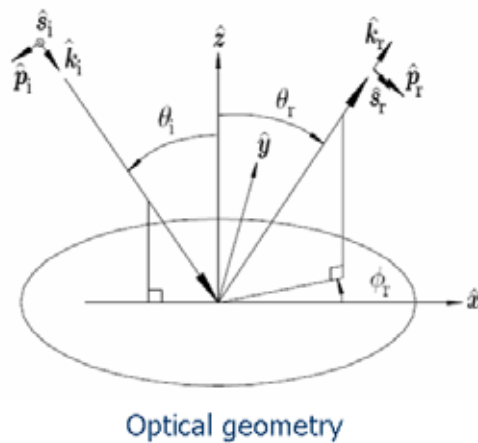


圖 1-10 散射光角度量測關係

Goniometer 及 sample holder 的設計如圖 1-12。Sample holder 的設計以 8 吋試片為標的。設計完成的 sample holder 與 receiver 的距離，決定入射至 receiver 的角度，也決定吸收光強的正确性。懸壁架構設計，可使 receiver 前後移動，並改變入射至

receiver 的角度。

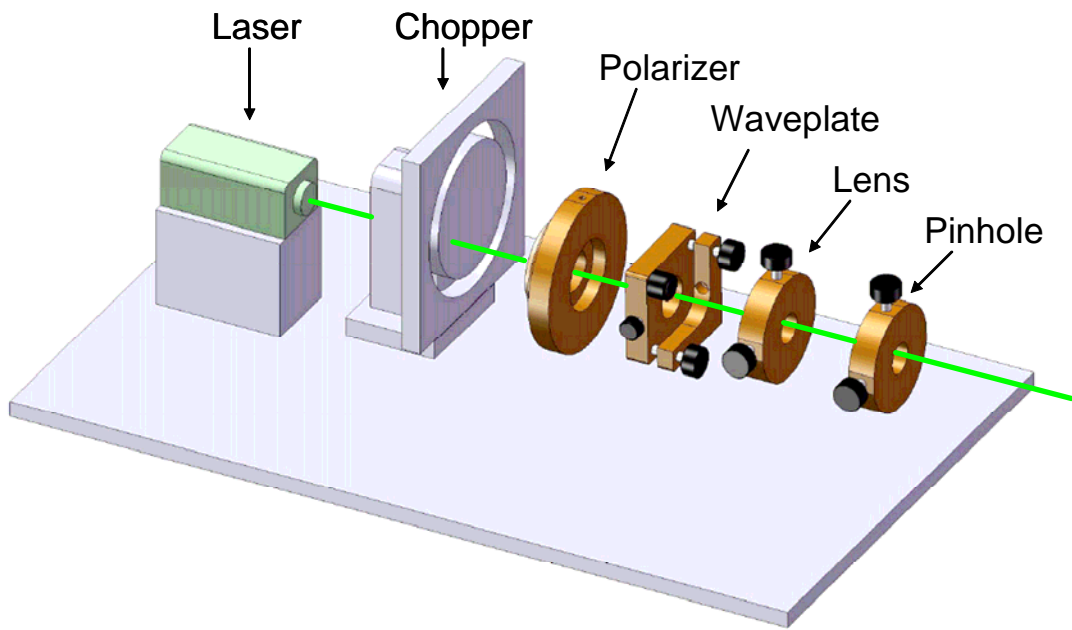


圖 1-11 晶圓表面粒徑量測系統-light source

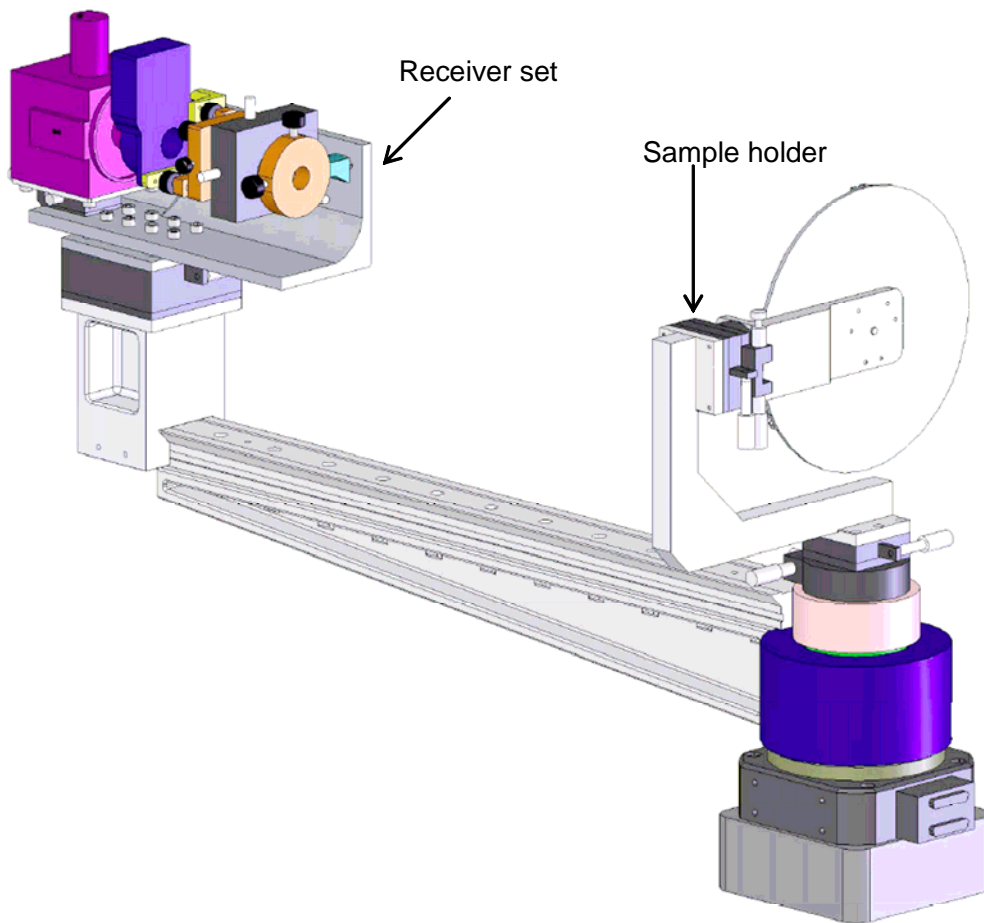


圖 1-12 晶圓表面粒徑量測系統-Goniometer & Receiver

【突破之瓶頸】

(一)50nm 線寬線距量測技術

以 AFM 量測 50 nm 線寬線距技術，須配合使用超細微探針，探針尖端尺寸可降低到 2~10 nm 等級，減少對量測待測件表面尺寸的影響。NIST 使用傾斜式單向掃描二次方法，量測位置會因為旋轉 180 度後，兩次量測位置不同。本研究採用雙傾斜式之雙向掃描方法，雖可由傾斜角度，估算出偏移位置，實際上仍會有偏差，工件仍會有空間位移問題，在量測前以 AFM 探頭，刮出一特定設定點，在進行縫補組合影像時，便能以此由設定點，當成已知特徵點(如圖 1-13)，來進行縫補組合之參考點，以補償空間位移問題。

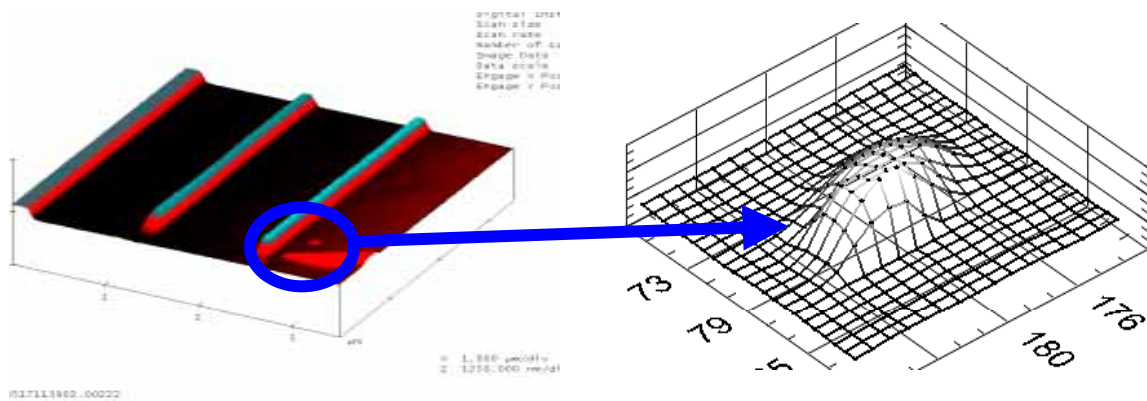


圖 1-13 縫補技術之已知特徵點

由式(3)可得知影響量測能力之誤差因素有線寬量測值之不確定度 $u(\text{pm})$ 來源可包括重複性、量測解析度及儀器準確度，熱膨脹係數之不確定度 $u(\alpha)$ ，角度偏差之不確定度 $u(\theta)$ ，量測時探頭磨耗誤差與軟體誤差項 $u(\varepsilon)$ 。

(1) 線寬量測值之不確定度 $u(\text{pm})$

線寬量測值之不確定度來源可包括重複性、量測解析度及儀器準確度等。

(1.1) 重複性之不確定度 $u(\text{pm}1)$

由於線寬值可取多次量測值 $p_i (i = 1 \sim n)$ 作平均，可計算 p_i 之標準差 $s(p_i)$ ，則本項之不確定度分量為 $u(p_{m1}) = \frac{s(p_i)}{\sqrt{n}}$ 。因量測 n 次，可得自由度 $v(\text{pm}1) = n - 1$ 。

本實驗經量測 10 次結果，得 $s(p_i) = 2.12 \text{ nm}$ ，則 $u(p_{m1}) = \frac{2.12 \text{ nm}}{\sqrt{10}} = 0.67 \text{ nm}$ ，

$v(\text{pm}1) = 9$ 。

(1.2) 量測軟體解析度之不確定度 $u(\text{pm}2)$

量測 50 nm 線寬時，量測範圍為 512 nm，使用 512 點量測解析度，利用影像軟體對掃描影像作拉線，可定出線寬值。經計算軟體解析度為 1 nm，估計其機率分布

呈矩形分布，則可得 $u(e_p) = \frac{1 \text{ nm}}{2\sqrt{3}} = 0.29 \text{ nm}$ ，如表 1-1 所示。估計相對不確定性

為 20%，則可得自由度 $\nu(\text{pm}2) = 12.5$ 。

量測 1000 nm 線寬時，量測範圍為 2048 nm，使用 512 點量測解析度，利用影像軟體對掃描影像作拉線，可定出線寬值。經計算軟體解析度為 4 nm，估計其機率

分布呈矩形分布，則可得 $u(e_p) = \frac{4 \text{ nm}}{2\sqrt{3}} = 1.15 \text{ nm}$ 。估計相對不確定性為 20%，

則可得自由度 $\nu(\text{pm}2) = 12.5$ 。

表 1-1 量測軟體解析度之不確定度

L	量測範圍(nm)	解析度(nm)	不確定度(nm)
50	512	1	0.29
$50 \leq L < 100$	512	1	0.29
$100 \leq L < 200$	1024	2	0.58
$200 \leq L < 500$	1536	3	0.87
$500 \leq L \leq 1000$	2048	4	1.15

(1.3)儀器準確度之不確定度 $u(\text{pm}3)$

本實驗使用儀器的出廠文件其準確度為 $\pm 1\%$ ， $\text{pm} = 50 \text{ nm}$ ，則線寬值將有 $\pm(50 \text{ nm}) \times (1\%)$ 的變異量。估計其機率分布呈矩形分布，則可得

$u(p_{m3}) = \frac{(50 \text{ nm})(1\%)}{\sqrt{3}} = 0.29 \text{ nm}$ ，如表 1-2 所示。估計相對不確定性為 20%，則

可得自由度 $\nu(\text{pm}3) = 12.5$ 。

表 1-2 量測軟體解析度之不確定度

L	量測範圍 (nm)	準確度 (nm)	不確定度 (nm)
50	512	0.5	0.29
$50 \leq L < 100$	512	1	0.58
$100 \leq L < 200$	1024	2	1.15
$200 \leq L < 500$	1536	5	2.89
$500 \leq L \leq 1000$	2048	10	5.57

綜合上述各項，可計算得 $L=50 \text{ nm}$ 時 $u(p_m) = \sqrt{u^2(p_{m1}) + u^2(p_{m2}) + u^2(p_{m3})} = 0.87 \text{ nm}$ 。因計算得靈敏係數

$$\frac{\partial p}{\partial p_m} = (1 + \alpha \Delta T) \cos \theta = [1 + (22.5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})(2.5 \text{ } ^\circ\text{C})] \cos(3^\circ) = 0.999$$

則可計算得本項不確定度分量 $\left| \frac{\partial p}{\partial p_m} \right| u(p_m) = 0.78 \text{ nm}$ ，如表 1-3 所示。應用

Welch-Satterthwaite 公式，可計算得自由度 $\nu(p_m) = \frac{u_c^4(p_m)}{\frac{u^4(p_{m1})}{\nu(p_{m1})} + \frac{u^4(p_{m2})}{\nu(p_{m2})} + \frac{u^4(p_{m3})}{\nu(p_{m3})}} =$

表 1-3 量測軟體解析度之不確定度

L	量測範圍(nm)	u(pm)	v(pm)
50	512	0.78	16
50 ≤ L < 100	512	0.93	23
100 ≤ L < 200	1024	1.45	25
200 ≤ L < 500	1536	3.09	16
500 ≤ L ≤ 1000	2048	5.93	13

(2)熱膨脹係數之不確定度 $u(\alpha)$

(2.1)估計比對試片材質熱膨脹係數的變異量為 $\pm 1.00 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ，呈矩形分布，則可得 $u(\alpha) = \frac{1.00 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}}{\sqrt{3}}$ 。計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \alpha} = 50 \text{ nm}^\circ\text{C}$ 。本項不確定

度分量 $\left| \frac{\partial p}{\partial \alpha} \right| u(\alpha) = 2.59 \times 10^{-5} \text{ nm}$ ，如表 1-4 所示。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $v(\alpha) = 12.5$ 。

表 1-4 熱膨脹係數之不確定度

L	量測範圍(nm)	$u(\alpha)$	$v(\alpha)$
50	512	2.59E-05	12
50 ≤ L < 100	512	5.17E-05	12
100 ≤ L < 200	1024	1.03E-04	12
200 ≤ L < 500	1536	2.59E-04	12
500 ≤ L ≤ 1000	2048	5.17E-04	12

(2.2)溫度差之不確定度 $u(\Delta T)$

估計量測時溫度變異之範圍在 $\pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 內，呈矩形分布，則可得 $u(\Delta T) = \frac{1.0 \text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}}$ 。

計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \Delta T} = p_m \alpha \cos \theta = 1.27 \times 10^{-4} \text{ nm}^\circ\text{C}^{-1}$ ，本項不確定度分量

$\left| \frac{\partial p}{\partial \Delta T} \right| u(\Delta T) = 7.36 \times 10^{-5} \text{ nm}$ ，如表 1-5 所示。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $v(\Delta T) = 12.5$ 。

表 1-5 溫度差之不確定度

L	量測範圍(nm)	$u(\Delta T)$	$v(\Delta T)$
50	512	7.36E-05	12
50 ≤ L < 100	512	1.47E-04	12
100 ≤ L < 200	1024	2.94E-04	12
200 ≤ L < 500	1536	7.36E-04	12
500 ≤ L ≤ 1000	2048	1.47E-03	12

(3) 角度偏差之不確定度 $u(\theta)$

使用相關開發軟體對掃描影像作拉線時，若未能與線寬影像垂直，將產生量測誤差。若角度偏差在 $\pm 1^\circ$ 內，估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\theta) = \frac{(1^\circ)(\pi/180^\circ)}{\sqrt{3}}$
 $= 0.0101$ 。計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \theta} = p_m(1 + \alpha \Delta T) \sin \theta = 0.873 \text{ nm}$ ，則可得本項不確定度分量 $\left| \frac{\partial p}{\partial \theta} \right| u(\theta) = 0.00879 \text{ nm}$ ，如表 1-6 所示。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $v(\theta) = 12.5$ 。

表 1-6 角度偏差不確定度

L	量測範圍(nm)	$u(\theta)$	$v(\theta)$
50	512	8.79E-03	12
$50 \leq L < 100$	512	1.76E-02	12
$100 \leq L < 200$	1024	3.52E-02	12
$200 \leq L < 500$	1536	8.79E-02	12
$500 \leq L \leq 1000$	2048	1.76E-01	12

(4) 量測時探頭與軟體誤差項 $u(\varepsilon)$

(4.1) 下針磨耗量之不確定度 $u(\varepsilon_1)$

本實驗經實際量測下針之磨耗量求出回歸式 $Y = 0.2246 * (\text{下針次數})$ ，如圖 1-14，經計算各點殘餘誤差最大量為 0.45 nm，估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\varepsilon_1) = \frac{0.45}{2\sqrt{3}} = 0.13 \text{ nm}$ 。計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \varepsilon} = 1$ ，則可得本項不確定度分量

$\left| \frac{\partial p}{\partial \varepsilon_1} \right| u(\varepsilon_1) = 0.13 \text{ nm}$ 。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $v(\theta) = 12.5$ 。

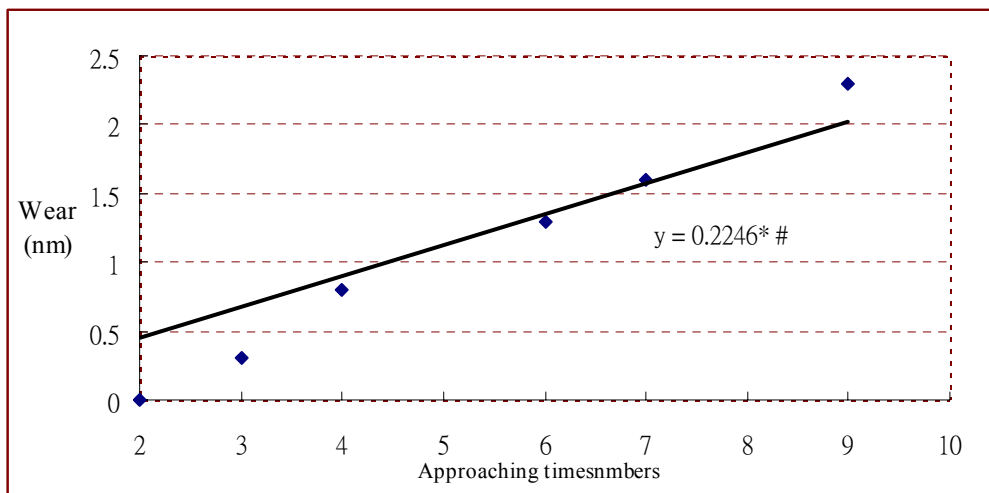


圖 1-14 下針之磨耗量

(4.2)探針量測磨耗量之不確定度 $u(\varepsilon_2)$

本實驗經實際量測下針之磨耗量求出回歸式 $Y=0.0125*x$ ，如圖 1-15，計算量測線寬 50 nm， $Y= 0.0125x 128(\text{掃描次數})x 2 x 0.512(\text{量測範圍})= 1.64 \text{ nm}$ ，估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\varepsilon_1)=\frac{1.64}{2\sqrt{3}}=0.47$ 。計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \varepsilon}=1$ ，則可得本項不確定度分量 $\left|\frac{\partial p}{\partial \varepsilon_1}\right|u(\varepsilon_1)=0.47 \text{ nm}$ ，如表 1-7 所示。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $\nu(\theta)=12.5$ 。

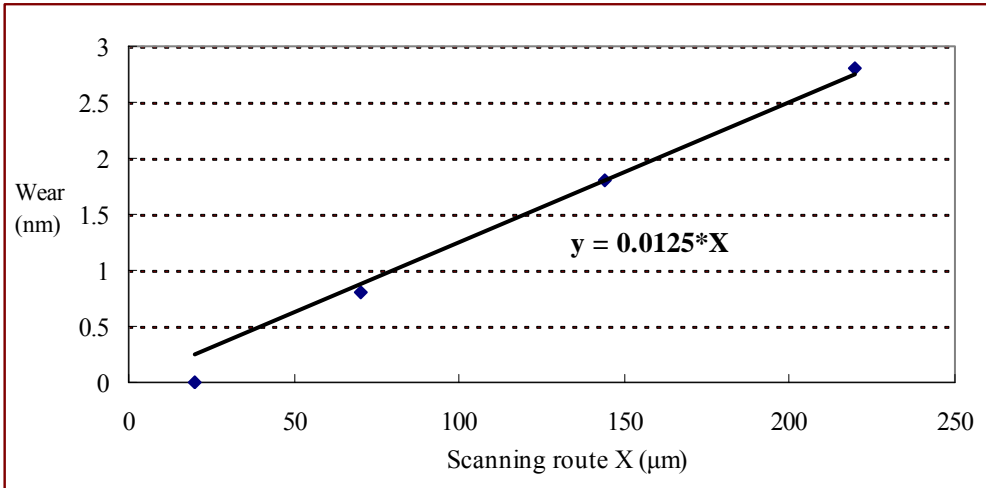


圖 1-15 量測磨耗量

表 1-7 探針量測磨耗量之不確定度

L	量測範圍(nm)	$u(\varepsilon_2)$	$\nu(\varepsilon_2)$
50	512	0.47	12
$50 \leq L < 100$	512	0.47	12
$100 \leq L < 200$	1024	0.95	12
$200 \leq L < 500$	1536	1.42	12
$500 \leq L \leq 1000$	2048	1.89	12

(4.3) 雙傾斜影像疊合旋轉平移誤差之不確定度 $u(\varepsilon_3)$

採用同量測影像資料，但設定 10 個不同區域範圍，再以縫補軟體進行疊合運算後，分析其線寬值變化值，可得到為標準差為 $u(\varepsilon_3) = 0.65 \text{ nm}$ ，自由度為 9。

(4.4) 估算探針半徑之不確定度 $u(\varepsilon_4)$

使用 SPIP 針對三支探頭所量測對第一張量測影像進行估算探頭半徑值分別為，0.88 1.23, 0.96 nm，量測平均值為 1.023 nm。將 AFM 探針以 SEM 進行量測，結果如圖 1-16 所示，

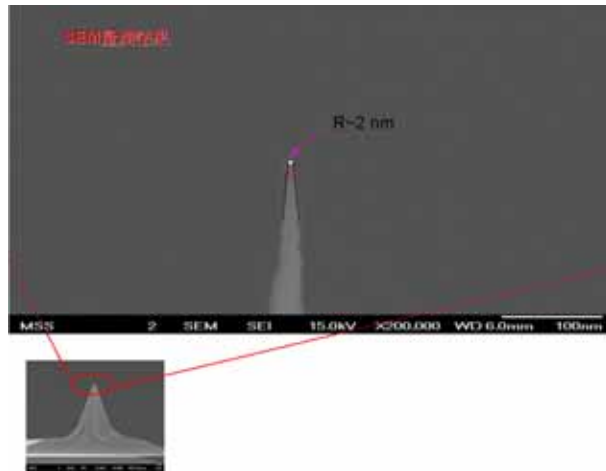


圖 1-16 探針半徑

SEM 量測結果為 2 nm，與 SPIP 計算所得探頭半徑差值為 0.977 nm，補償球徑之誤差值為 1.954 nm，估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\varepsilon_4) = \frac{1.954}{2\sqrt{3}} = 0.56$

nm。計算得靈敏係數 $\frac{\partial p}{\partial \varepsilon_4} = 1$ ，則可得本項不確定度分量

$\left| \frac{\partial p}{\partial \varepsilon_4} \right| u(\varepsilon_4) = 0.56 \text{ nm}$ 。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 $v(\theta) = 12.5$ 。

將上述各項計算得的不確定度分量代入式 (3)，可得 $u_c(p) = 0.99 \text{ nm}$ 。

(4) 組合不確定度 u_c 與有效自由度 ν_{eff}

由式 3 與以上各影響因子之不確定度，可得到量測 50 nm 線寬之組合不確定度為 1.264 nm。

應用 Welch-Satterthwaite 公式，可計算量測 50 nm 線寬之有效自由度 ν_{eff} 為

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4(p)}{\frac{\left[\frac{\partial p}{\partial p_m} u(p_m)\right]^4}{\nu(p_m)} + \frac{\left[\frac{\partial p}{\partial \alpha} u(\alpha)\right]^4}{\nu(\alpha)} + \frac{\left[\frac{\partial p}{\partial \Delta T} u(\Delta T)\right]^4}{\nu(\Delta T)} + \frac{\left[\frac{\partial p}{\partial \theta} u(\theta)\right]^4}{\nu(\theta)}} = 45。$$

查對應於 95 % 信賴水準下的 t 分配表，可得擴充係數 $k = 2.014$ 。

(5) 最佳量測能力 U_{BMC}

因最佳量測能力 $U_{BMC} = k \cdot u_c$ ，則 $U = (2.014)(1.264 \text{ nm}) = 2.6 \text{ nm}$ (保守估計，作無條件進位)。

當在計算量測不確定度時，採用量測 3 個不同位置線寬量測平均值為量測結果，其標準差為 X nm，此為待校件之均勻性，所以量測不確定度可表示如下：

$$U = \left[u_c, \frac{\text{均勻性量測標準差}}{\sqrt{3}} \right] \cdot k$$

上述的各項不確定度源及其標準不確定度，可綜整如表 1-8 及表 1-9 所示。

表 1-8 50 nm 線寬線距最佳量測能力分析表

不確定度源 x_i	不確定度源 估計量	標準不確定度 $u(x_i)$	靈敏係數 $\frac{\partial f}{\partial x_i}$	不確定度分量 $\left \frac{\partial f}{\partial x_i} \right u(x_i)$	自由度 $\nu(x_i)$
量測值 p_m		0.78	0.99	0.78	16.11
• 重複性 p_{m1}	2.12	0.67	1.00	0.67	9.00
• 解析度 p_{m2}	1.00	0.29	1.00	0.29	12.50
• 準確度 p_{m3}	0.50	0.29	1.00	0.29	12.50
熱膨脹係數 α	1.00E-06	5.17E-07	50.0	2.59E-05	12.50
溫度差 ΔT	1.00	5.77E-01	1.27E-04	7.36E-05	12.50
角度偏差 θ	1.00	1.01E-02	8.73E-01	8.79E-03	12.50
量測時探頭與軟 體誤差項 $u(\varepsilon)$		0.99	1.00	0.99	30.12
下針磨耗量 $u(\varepsilon_1)$	0.45	0.13	1.00	0.13	12.50
探針量測磨耗量 $u(\varepsilon_2)$	1.64	0.47	1.00	0.47	12.50
雙傾斜影像疊合旋 轉平移誤差之不確 定度 $u(\varepsilon_3)$	0.65	0.65	1.00	0.65	9.00
估算探針半徑之不 確定度 $u(\varepsilon_4)$	0.98	0.56	1.00	0.56	12.50
組合標準不確定度 $u_c = 1.264 \text{ nm}$ 有效自由度 $\nu_{\text{eff}} = 45$ 擴充係數 $k = 2.014$ 最佳量測能力 $U_{BMC} = 2.6 \text{ nm}$ (95% 信賴水準)					

表 1-9 不同尺寸線寬線距最佳量測能力分析表

L(線寬尺寸) (nm)	u_c (nm)	ν_{eff}	k	U_{BMC} (nm)
50	1.264	45	2.014	2.6
$50 \leq L < 100$	1.359	53	2.006	2.8
$100 \leq L < 200$	1.942	53	2.006	3.9
$200 \leq L < 500$	3.509	25	2.060	7.3
$500 \leq L \leq 1000$	6.284	17	2.110	13.3

45 nm 階高標準片量測結果如圖 1-17 所示，同時將階高標準片最小高度延伸到 5 nm

量測結果如圖 1-18 所示。線寬標準件研製尺寸 $1\ \mu\text{m}$ 、 $5\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 。

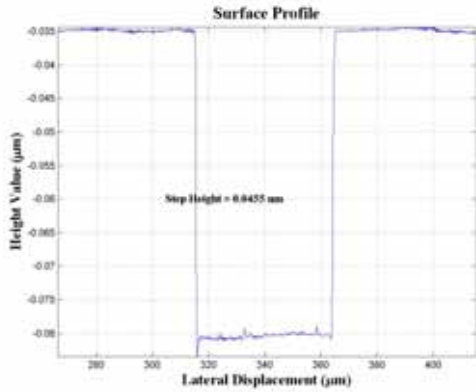


圖 1-17 45 nm 階高量測結果

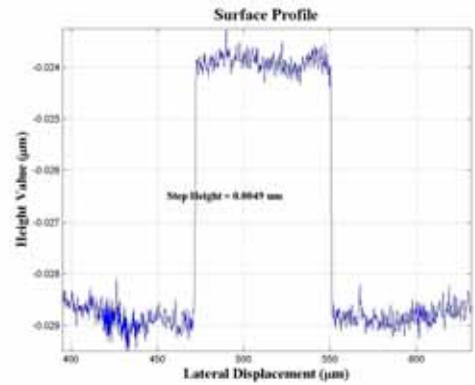


圖 1-18 5 nm 階高量測結果

(二) 奈米粒徑量測標準

電重力氣膠平衡法量測系統架構如圖 1-19 所示，主要架構包括粉體霧化器(Aerosol generator)、電遷移率分析儀(Differential mobility analyzer, DMA)、密立根槽(Millikan cell)、直流電壓源(DC voltage source)、數位電表(Digital multimeter)、溫度計(Thermometer)、凝核計數器(Condensation nucleus counter)、質流控制器(Mass flow controller)、冰水機(Cooling water)、緩衝槽(Buffer tank)以及薄膜式幫浦(Diaphragm pump)等。

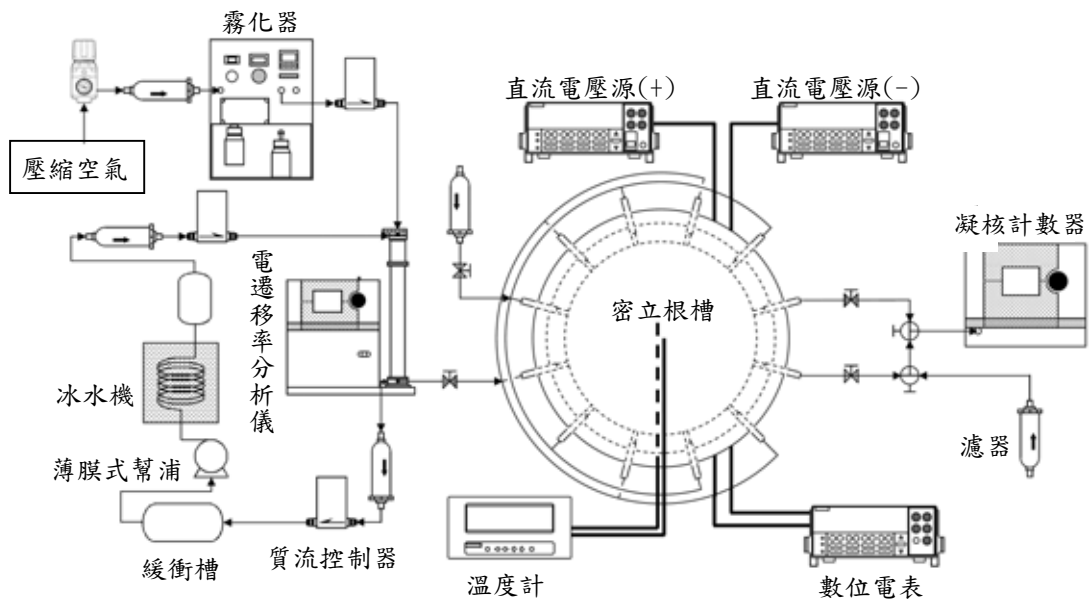


圖 1-19 電重力氣膠平衡法量測系統架構

如圖 1-20 所示，當時間 $t=0$ 時，於距離為 H 且電壓差為 V 之兩平行電極平板間的

電場內，均勻地充滿了單一粒徑分佈(Monodisperse)的圓球形粉體，若粉體之質量為 m ，密度為 ρ_p ，並帶有 q 個基本電荷 e ，那麼此電場內之粉體將受到靜電力 F_E (向上)與重力 F_G (向下)的影響。當粉體所受之靜電力與重力達靜力平衡，且經過鬆弛時間(Relaxation time, τ)後，粉體將以等速度運動，此運動速度即終端速度(Terminal velocity, v)，可以式(1-9)表示。

$$v = \tau \left[\frac{qeV}{mH} - \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}\right)g \right] \quad (1-9)$$

其中， ρ_a 為空氣密度， g 為重力加速度值。而鬆弛時間則可由式(1-10)求得。

$$\tau = \frac{d_p^2 \rho_p}{18\eta} C_c(d_p) \quad (1-10)$$

其中， d_p 為粉體粒徑， η 為空氣黏滯係數， $C_c(d_p)$ 則為滑溜修正係數(Slip correction factor)。

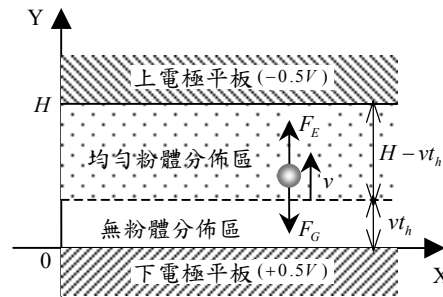


圖 1-20 置於平行電極平板內之粉體

當粉體置於電場中一段等待時間(Holding time, $t = t_h$)後，由於終端速度的影響，將有部分粉體附著於電極平板的表面，此時兩平行電極平板內的空間將可分為均勻粉體分佈區與無粉體分佈區。而所謂存活率乃(Survival rate)是當時間分別為 $t = t_h$ 與 $t = 0$ 時，存在於兩平行電極平板內之粉體數量的比值，而存活方程式 $s(m, V)$ 則可以式(1-11)表示。

$$s(m, V) = \begin{cases} 1 - vt_h / H, & \text{if } t_h \leq H/v \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1-11)$$

若將存活方程式 $s(m, V)$ 視為粉體質量 m 的函數，則此函數圖形為一稍微歪斜的等腰三角形，如圖 1-21 所示，對應於此函數圖形的三個頂點分別可由式(1-12)與式(1-13)表示。

$$m_0 = \frac{qeV}{(1 - \rho_a / \rho_p)Hg} \quad (1-12)$$

$$m_{\pm} = \frac{qeV}{[(1 - \rho_a / \rho_p)g \mp H / t_h \tau]H} \quad (1-13)$$

其中 m_0 即為粉體的平均質量，再藉由式(1-14)即可推導出粉體的平均粒徑。

$$d_{p0} = \left(\frac{6m_0}{\pi \cdot \rho_p} \right)^{1/3} \quad (1-14)$$

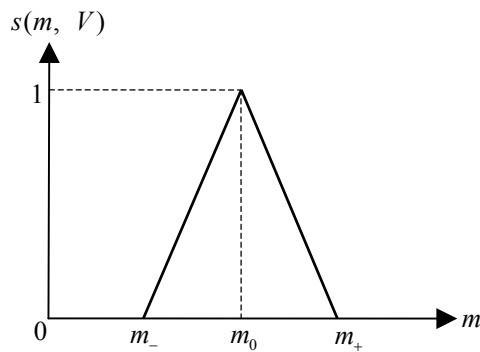


圖 1-21 存活方程式之函數圖形

依據國際標準組織(ISO)發行的量測不確定度表示法指引[1-8]，組合標準不確定度表示為：

$$u_c^2(Y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right] u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \quad (1-15)$$

粒徑的系統方程式可以式(1-16)表示。

$$Y = f(m_0, \rho_p) = \left(\frac{6m_0}{\pi\rho_p} \right)^{1/3} \quad (1-16)$$

其組合標準不確定度列式中，假設各參數互不相關，可得式(1-17)。

$$\begin{aligned} u_c^2(Y) &= \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i) \\ &= \left[\frac{\partial f}{\partial m_0} \right]^2 [u(m_0)]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial \rho_p} \right]^2 [u(\rho_p)]^2 \end{aligned} \quad (1-17)$$

$$\text{且} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial f}{\partial m_0} = \frac{d_p}{3m_0} \\ \frac{\partial f}{\partial \rho_p} = -\frac{d_{p0}}{3\rho_p} \end{array} \right. \quad (1-18)$$

由式(1-12)可得粉體質量的系統方程式可以式(1-19)表示。

$$Z = f(e, V, \rho_p, \rho_a, H, g) = \frac{eV}{(1 - \rho_a / \rho_p)Hg} \quad (1-19)$$

其組合標準不確定度列式中，假設各參數互不相關，並假設 $(1 - \rho_a / \rho_p) \cong 1$ ，且忽略基本電荷 e 的不確定度，可得到式(1-20)。

$$\begin{aligned}
u_c^2(Z) &= \sum_{i=1}^6 \left(\frac{\partial f}{\partial X_i} \right)^2 u^2(X_i) \\
&= \left[\frac{\partial f}{\partial V} \right]^2 [u(V)]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial H} \right]^2 [u(H)]^2 + \left[\frac{\partial f}{\partial g} \right]^2 [u(g)]^2
\end{aligned} \tag{1-20}$$

$$\text{且} \begin{cases} \frac{\partial f}{\partial V} = \frac{m_0}{V} \\ \frac{\partial f}{\partial H} = \frac{m_0}{H} \\ \frac{\partial f}{\partial g} = -\frac{m_0}{g} \end{cases} \tag{1-21}$$

因此可得組合標準不確定度如式(22)所示。

$$\begin{aligned}
u(d_p) &= \sqrt{\left[\frac{d_p}{3m_a} u(m_a) \right]^2 + \left[\frac{d_p}{3\rho_p} u(\rho_p) \right]^2} \\
&= \sqrt{\left(\frac{d_p}{3m_a} \right)^2 \cdot [u_s^2(m_a) + u_r^2(m_a)] + \left[\frac{d_p}{3\rho_p} u(\rho_p) \right]^2} \\
&= \sqrt{\left(\frac{d_p}{3m_a} \right)^2 \cdot \left\{ \left[\frac{m_a}{V_0} u(V_0) \right]^2 + \left[\frac{m_a}{H} u(H) \right]^2 + \left[\frac{m_a}{g} u(g) \right]^2 + u_r^2(m_a) \right\} + \left[\frac{d_p}{3\rho_p} u(\rho_p) \right]^2}
\end{aligned} \tag{1-22}$$

電遷移率分析法量測系統架構如圖 1-22 所示。樣本溶液首先被吸入至霧化器，藉由此高速噴出之壓縮空氣將樣本溶液氣霧化成氣膠狀態，進入電遷移率分析儀中。自動控制程式將設定儀器電壓值，使其產生一輻射電場，那麼具有特定電遷移率的粉體會受到電場的影響而依照特定的軌跡朝中心圓柱電極移動，再藉著輸入電壓的改變，具有特定粒徑的粉體將被篩選出來，進入凝核計數器，此時光學感測器將會感應通過的粒子而產生脈衝信號，DAQ 卡中的計數器利用脈衝訊號取得對應之粒子數。最後，自動控制程式經由電壓與計數值，繪出粒徑分佈。

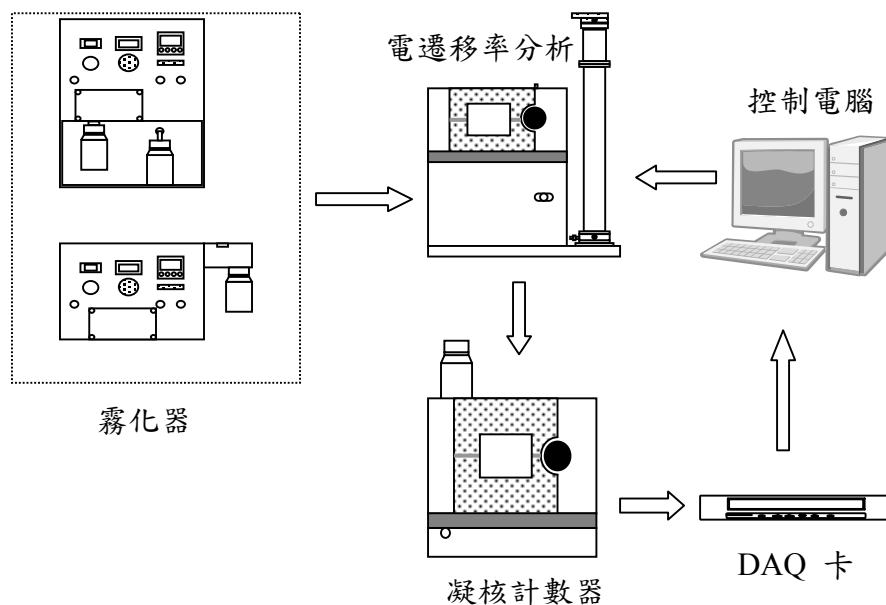


圖 1-22 電遷移率分析法量測系統架構與裝置

電遷移率(Electrical mobility, Z)所代表的物理意義為電場中粉體速度 v_E 與電場強度 E 之比，亦即：

$$Z = \frac{v_E}{E} = \frac{q \cdot C_c(D)}{3\pi \cdot \eta \cdot D} \quad (1-23)$$

其中， D 為粉體粒徑， q 為粉體帶電量， $C_c(D)$ 為滑溜修正係數， η 則為流體的黏滯係數。如圖 1-23 所示，電遷移率分析儀乃是一軸對稱的基本幾何構造，其中有一個半徑為 r_1 的圓柱形外罩套筒與一半徑為 r_2 的中心圓柱電極，其中中心圓柱電極連接高電壓，而外罩套筒則是接地以形成一高壓電場。粉體於此電場中，距中心距離為 r 的任一點所受的電場強度為：

$$E = \frac{V}{r \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (1-24)$$

其中 V 為中心圓柱電極的電壓值。

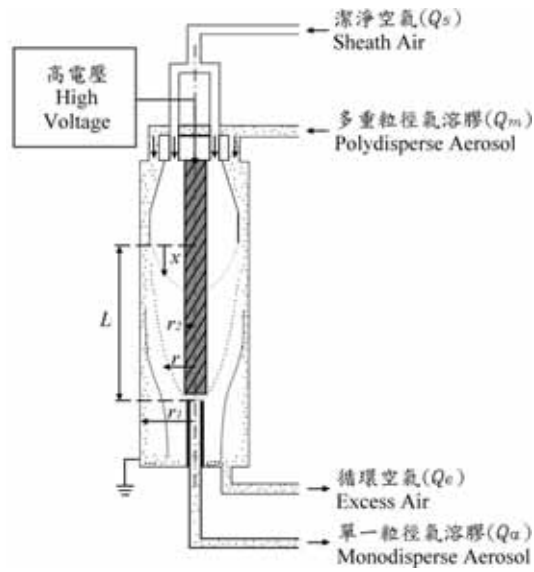


圖 1-23 電遷移率分析儀

粉體於此一系統中的徑向速度 v_E 為：

$$v_E = \frac{dr}{dt} = Z \cdot E = \frac{Z \cdot V}{r \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (1-25)$$

其中 t 為時間。而此粉體的軸向速度 v_R 則為：

$$v_R = \frac{dx}{dt} = u(r) \quad (1-26)$$

其中 $u(r)$ 為流場速度。由式(1-25)與式(1-26)可得：

$$\begin{aligned} \int_0^L dx &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{r \cdot \ln(r_1/r_2) \cdot u(r)}{Z \cdot V} dr \\ &= \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi \cdot Z \cdot V} \int_{r_1}^{r_2} 2\pi \cdot r \cdot u(r) dr \end{aligned} \quad (1-27)$$

此方程式用以描述當粉體受外力影響而由系統的外側頂端($r = r_1$ 且 $x = 0$) 進入至抵達中心底部($r = r_2$ 且 $x = L$) 時的情況。當多重粒徑氣溶膠的流量 Q_m 與單一粒徑氣溶膠的流量 Q_a 相等時，由式(1-27)可得：

$$Z = \frac{Q_s \cdot \ln(r_1/r_2)}{2\pi \cdot L \cdot V} \quad (1-28)$$

其中 Q_s 為潔淨空氣的流量。因此，由式(1-23)與式(1-28)即可求得粉體的粒徑為：

$$D = \frac{2q \cdot L \cdot V \cdot C_c(D)}{3\eta \cdot Q_s \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (1-29)$$

電遷移率分析法量測系統之系統校正與量測程序為比較法。首先利用標準粉體追溯至電重力氣膠平衡法量測系統，取得所謂的真值。接著利用標準品與待校樣本，在相同的設定參數下，以電遷移率分析法量測系統分別進行量測作業，進行電遷移率之比對與校正，比較法之校正式可以式(1-30)表示。

$$\frac{Z_t}{Z_r} = \frac{\tilde{Z}_t}{\tilde{Z}_r} \Rightarrow Z_t = \frac{\tilde{Z}_t}{\tilde{Z}_r} \times Z_r \quad (1-30)$$

其中 Z_t 為待校粉體之電遷移率校正值， \tilde{Z}_t 與 \tilde{Z}_r 分別為待校粉體與標準粉體之電遷移率量測值， Z_r 則為標準粉體以電重力氣膠平衡法量測系統量測之粒徑由式(1-23)求得的電遷移率。

由式(1-23)、式(1-28)、以及式(1-30)可得待校粉體之粒徑校正值如式(1-31)所示。

$$D_t = \frac{\tilde{D}_t \cdot D_r \cdot \tilde{C}_{Cr} \cdot C_{Ct}}{\tilde{D}_r \cdot \tilde{C}_{Ct} \cdot C_{Cr}} \quad (1-31)$$

其中 D_t 為待校粉體之校正值， \tilde{D}_t 與 \tilde{D}_r 分別為待校粉體與標準粉體之粒徑量測值， D_r 為標準粉體以電重力氣膠平衡法量測系統量測之粒徑， \tilde{C}_{Cr} 、 \tilde{C}_{Cr} 、 C_{Cr} 、以及 C_{Cr} 則分別為 \tilde{D}_t 、 \tilde{D}_r 、 D_t 、以及 D_r 所對應之滑溜修正係數。

由量測程序，受測量 Y 為待校粉體之校正值。不確定度來源包含儀器本身的誤差，如儀器設定誤差、儀器解析度、重複性等因素所產生之不確定度，屬於 A 類的不確定度，這部份的不確定度，可以查核樣本進行重複操作，估算 20 nm – 500 nm 範圍內之不確定度。第二部分不確定度，由於量測程序追溯至電重力氣膠平衡法量測系統，因此，追溯不確定度為 B 類。樣本重複量測不確定度，考慮操作時，包括環境參數(溫度與大氣壓力)，儀器設定(流速、電壓)以及樣品本身的分散性等，都可能成為誤差源。因此，選取 20 nm – 500 nm 範圍內之樣本，重複性測試，評估重複量測不確定度。因此系統不確定度源包含儀器重複量測之不確定度($u(\tilde{D}_t)$ ， $u(\tilde{D}_r)$)與追溯不確定度 $u(D_r)$ ，其中不確定度源互不相關，由式(1-23)標準組合不確定度可以式(1-32)表示。

$$u_c^2(D_t) = \left(\frac{\partial D_t}{\partial \tilde{D}_r}\right)^2 u^2(\tilde{D}_r) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial \tilde{D}_t}\right)^2 u^2(\tilde{D}_t) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial D_r}\right)^2 u^2(D_r) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial \tilde{C}_{Cr}}\right)^2 u^2(\tilde{C}_{Cr}) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial \tilde{C}_{Cr}}\right)^2 u^2(\tilde{C}_{Cr}) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial C_{Cr}}\right)^2 u^2(C_{Cr}) + \left(\frac{\partial D_t}{\partial C_{Cr}}\right)^2 u^2(C_{Cr}) \quad (1-32)$$

(三) 薄膜量測技術

當薄膜變得更薄且元件變得更複雜時，目前一些用來分析薄膜化學和物理特性的方法將受到挑戰。同樣的，對於半導體製程上相關的新材料，像是高 k 值、低 k 值材料、以及金屬矽化物薄膜，是需要用比前一代分析儀器具有更佳性能的工具來進行量測與分析。在某些情況下要清楚的了解複雜樣品的結構時，只單單用一種特性分析技術將不再足夠，特別是當這些材料的特性並不是很清楚被了解，且這些薄膜材料的成長過程是在最佳化的情形下時。因此為了了解這些方法的準確性、精確性、以及不確定度，透過各種方法間的比較來作廣泛且全面性的研究是必要的。包括分光式橢圓偏光量測術(Spectroscopic Ellipsometry, SE)、單波長橢圓偏光儀(Single Wavelength Ellipsometer, SWE)、以及掠角 X 射線反射量測術(Grazing Incidence X-Ray Reflectometry, GIXRR)三種。

隨著膜厚逐漸縮減(< 10 nm)，必須進一步引入短波長的光源期使作用尺度與波長相映，通常會採用 X 射線或電子束作為光源。一般採用 X 射線掠角反射術(Grazing Incidence X-Ray Reflectometry, GIXRR)則可以直接得到表面膜厚的參數，不需先取得該波長條件下的材料性質。在 X 射線波長範圍中，折射率可以用下式表示(1-33)

$$n = 1 - \delta - i\beta \quad (1-33)$$

其中，n 是折射率， δ 是能量發散(dispersion)， β 是能量吸收(absorption)。當頻率遠大於原子的共振頻率， δ 以 1-34 式表達：

$$\delta = \frac{e^2 n_e}{2\varepsilon_0 m (2\pi c)^2} \lambda^2 = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times n_e \quad (1-34)$$

其中， r_0 是波爾原子半徑(Bohr atomic radius)， n_e 是電子密度(electron density)。電子密度亦可由每一原子所含的電子數目(Z)來決定，如 $n_e = Z \times n_{Atoms}$ 。以嚴格來定義電子密度 n_e ，則 Z 必須以複數形式來表示，如 $\tilde{f} = f_0 + f' + if'' = Z + f' + if''$ 。 $f' + if''$ 這一項代表的是能量發散與能量吸收，以及描述 x-ray absorption edge。因此， δ ， β 可重新表示如下[1-9]

$$\delta = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times n_e = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times (Z + f') \quad (1-35)$$

$$\beta = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times f'' \times n_{Atoms} \quad (1-36)$$

通常 δ 、 β 的數值約略為 10^{-5} 和 10^{-6} ，均遠小一，因此 n 幾乎等於一。其中， n_{Atoms} 是 atomic concentration，定義為

$$n_{Atoms} = \frac{N_A}{A} \times \rho \quad (1-37)$$

其中， N_A 是 Avogadro's number， A 是原子重量。

為簡化分析並以單層薄膜為例，假設零能量吸收(absorption free) $\beta = 0$ ，且空氣折射率為 $n_{air} = 1$ ，薄膜折射率為 $n = 1 - \delta$ 。而實際在分析量測數據，能量吸收(absorption) β 則必須考慮並模擬。當 X 射線進入物體表面時，於非常小角度(掠角)時產生全反射。此臨界角 θ_c 可以用

$$1 - \delta = \cos(\theta_c) \cong 1 - \frac{\theta_c^2}{2} \quad (1-38)$$

$$\theta_c = \sqrt{2\delta} = \sqrt{\frac{r_0 \lambda^2}{\pi} N_A \frac{(Z + f')}{A} \rho} \quad (1-39)$$

在提及 X 射線反射率時所談到的所有角度都是像掠角一樣定義，其中掠角是指從樣品表面的平行面開始量起。在任意大於 θ_c 的入射角下，反射率會隨著入射角的變大而突然降低，且此時會出現一振盪結構(被稱為“Kiessig Fringe”)。因此，存在一臨界角，當角度大於此臨界角時，外部全反射不會發生。當此振盪週期(干涉週期)會隨膜厚而變時，膜厚可以在精準的控制入射角下由觀察振盪結構來決定。以第 m 個干涉週期而言，其光程差為 $\Delta = m\lambda$ ，所以[1-9]

$$m\lambda = \Delta = 2d\bar{N}_{X,1}(\theta_m) \cong 2d\sqrt{\sin^2(\theta_m) - 2\delta} \quad (1-40)$$

$$\theta_m^2 = \frac{m^2 \lambda^2}{4d^2} + 2\delta = \frac{m^2 \lambda^2}{4d^2} + \theta_c^2 \quad (1-41)$$

藉由式 1-40，及干涉週期間的相鄰最高或最低點，計算膜厚

$$d = \frac{m\lambda}{2} \times \frac{1}{\sqrt{\sin^2(\theta_m) - \theta_c^2}} \approx \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\sqrt{\theta_{m+1}^2 - \theta_c^2} - \sqrt{\theta_m^2 - \theta_c^2}} \quad (1-42)$$

當 $\theta_m \gg \theta_c$

$$d = \frac{\lambda}{2} \times \frac{1}{\theta_{m+1} - \theta_m} = \frac{\lambda}{2 \times \Delta\alpha} \quad (1-43)$$

GIXRR 的量測如圖 1-24，圖中 X 軸是 X 射線入射角度，Y 軸是 Xe 比例計數器所接收的 X 射線強度。量測的起始點是入射角為 0.16° 時，接收的 X 射線強度在第一次劇減時的角度為臨界角 θ_c 。除了物體的能吸收外，物體表面的粗糙度，也是造成接收的 X 射線強度遞減的原因。由於，X 射線入射至介面層，亦會引起反射。因此，會出現振盪結構。在膜厚可表示為振盪週期的間距 $\Delta\alpha$ 亦可依 Modified Bragg's Equation 求得如下

$$(\Delta\alpha)^2 = 2\delta \times \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 + (m + \Delta m)^2 \left(\frac{2\pi}{d}\right)^2 \quad (1-44)$$

其中 m 是整數， Δm 是 $1/2$ 或是 0 。

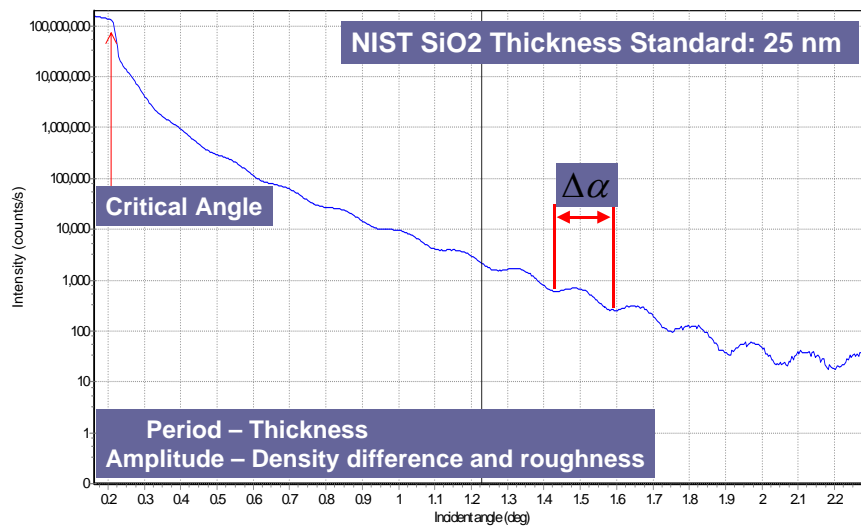


圖 1-24 膜厚度量測關係圖

X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的傳遞，其路徑如圖 1-25。客戶或是業界使用之薄膜厚度標準片或測試片，送至國家標準實驗室作厚度追溯，國家標準實驗室則使用 X 射線反射儀薄膜量測系統提供服務。X 射線反射儀薄膜量測系統之追溯又可依量測原理，角度部份追溯至 SI units 的角度標準，此一追溯將以取得國家標準實驗室角度追溯為路徑。X 射線反射儀波長之追溯，並無一定之追溯路徑，目前則依據銅靶材的特徵常數來做不確定度的評估。

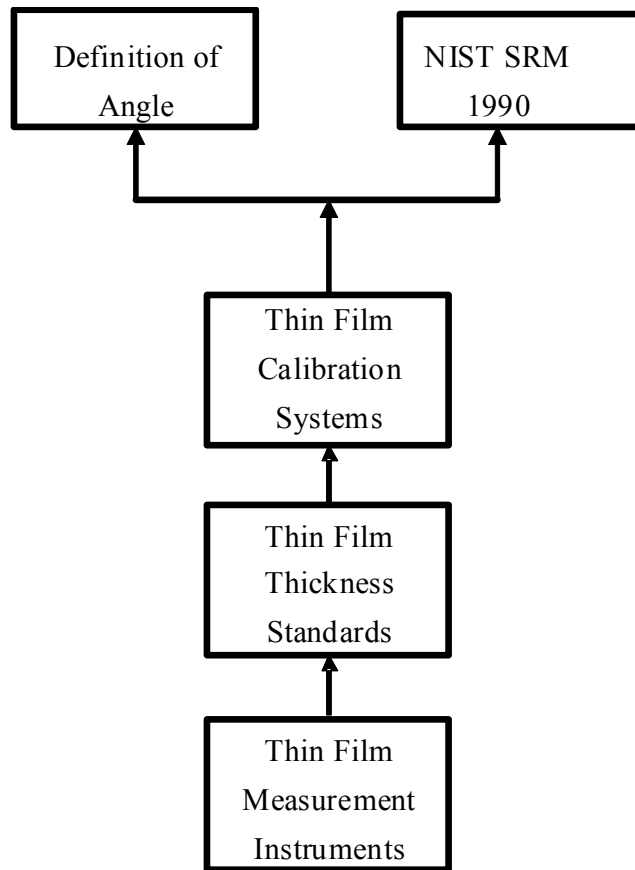


圖 1-25 X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的傳遞路徑

系統在評估量測不確定度，需尋找量測方程式之所有參數的追溯性，經多次實驗與文獻參考後得以建立。利用掠角 X 射線反射儀量測薄膜時，藉由薄膜上下二介面的反射干涉訊號以及相對於入射角的關係，薄膜厚度即可計算而得。量測原理已於前章節陳述，薄膜厚度可依式 1-40~1-43 求得。薄膜厚度之量測方程式可得到為

$$d = \frac{(m + \Delta m) \times \lambda}{2\sqrt{\theta_m^2 - \theta_c^2}} = \frac{(m + \Delta m) \times \lambda}{2\sqrt{\sin^2(\theta_m) - \theta_c^2}} \quad (1-45)$$

d 為薄膜厚度、 θ_m 為干涉調紋為最亮或最暗時的入射角、 θ_c 為全反射時的臨界角、 λ 為 X 光波長、 m_i 和 Δm 皆為數值但相鄰的調紋差為 1。

依據式(1-27)做不確定度分析，X 射線波長、測角儀系統、偵測器等為直接影響之重要因子，此外，量測環境、待測件、乃至於軟體模擬、人員操作等均會影響量測系統的不確定度及精確性。X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的主要因素將一一分析如下

(i) X 射線波長(λ)

X 射線波長是經由銅靶激發，激發的波長分布如圖 1-26(a)， $K\alpha_1$ 特徵位置的波長為 0.1541 nm。我們藉由量測 NIST SRM 1990 得到 $K\alpha$ 的峰值角度位置如圖 1-26(b)，

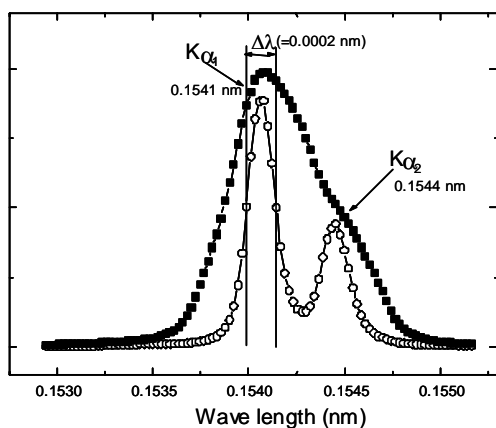
實際量測結果如表 2，和 NIST 相對應之峰值角度位置比較，來評估 X 射線波長的變異。其比較方程式為

$$\frac{\lambda_{CMS}}{\lambda_{NIST}} = \frac{\cos(\theta_{CMS})}{\cos(\theta_{NIST})} \quad (1-46)$$

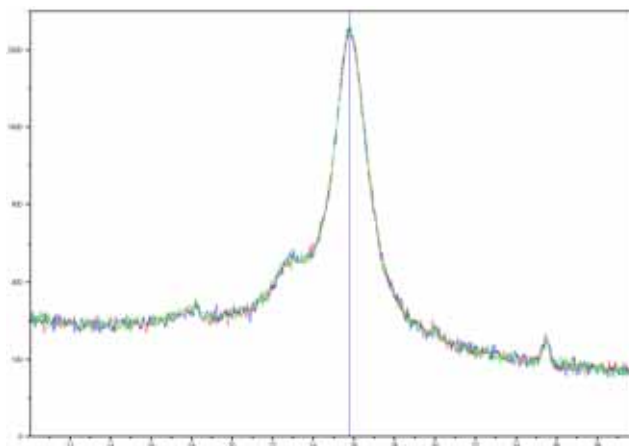
由於量測結果得知我們的 K_{α} 波長為 0.1537 nm，和 NIST 的 K_{α} 波長差為

$$\Delta\lambda = 0.000372 \text{ nm}，假設呈矩形分布，標準不確定度 $u(\lambda_0)$ 為 $\frac{3.72 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 2.15 \text{ nm}$ 。$$

由量測方程式或是簡易量測方程式，討論其標準不確定度 $u(\lambda)$ 及靈敏係數。由於取第一階的光強或以相鄰的條紋差作分析， $m=1$ 和 $\Delta m=0$ ，而且， $\theta_m \gg \theta_c$ ，因此，由式(11)可得靈敏係數為 $\frac{1}{2\theta_m}$ ，以 $\theta_m = 1.2^\circ$ 來估算，靈敏係數 $\frac{1}{2\theta_m} = 23.87$ 。本項之不確定度是取自與 NIST K_{α} 波長之差異，估計其相對不確定度為 10%，則可得自由度 $\nu(\lambda)$ 為 50。



(a). X 射線頻譜分析



(b). NIST SRM 1990 量測結果

圖 1-26 X 射線波長追溯

(ii) 樣本支撐角度(ω)

樣本支撐角度校正(ω)的不確定度，是由角度測試報告而得，報告編號 D951364。由量測方程式(1-45)或是簡易量測方程式 1-43，討論其標準不確定度 $u(\omega)$ 及靈敏係數。由於取第一階的光強或以相鄰的調紋差作分析， $m=1$ 和 $\Delta m=0$ ，而且， $\theta_m \gg \theta_c$ ，因此，由式 1-43 可得靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial \theta_m} = -\frac{\lambda}{2\theta_m^2}$ 。如 $\lambda = 0.154 \text{ nm}$ 及 $\theta_m = 1.2^\circ$ 來估算， $\frac{\partial d}{\partial \theta_m} = -351.434$ 。根據國家度量衡標準實驗室長度研究室所發行的校正報告 D951364， ω 的量測擴充不確定度為 $3.77'' = 0.00105^\circ$ ，其有效自由度為 60。所以， $u(\omega) = 0.00053^\circ$ 。

(iii) 偵測器角度(2θ)

偵測器角度校正(2θ)的不確定度，亦由角度測試報告而得，報告編號 D951364。與樣本支撐角度校正(ω)的分析相同，由量測方程式(1-45)或是簡易量測方程式式 1-43，討論其標準不確定度 $u(\omega)$ 為及靈敏係數。由於取第一階的光強或以相鄰的調紋差作分析， $m=1$ 和 $\Delta m=0$ ，而且， $\theta_m \gg \theta_c$ ，因此，由式 1-43 可得靈敏係數 $\frac{\partial d}{\partial \theta_m} = -\frac{\lambda}{2\theta_m^2}$ 。如 $\lambda=0.154 \text{ nm}$ 及 $\theta_m=1.2^\circ$ 來估算， $\frac{\partial d}{\partial \theta_m} = -351.434$ 。根據國家度量衡標準實驗室長度研究室所發行的校正報告 D951364， 2θ 的量測擴充不確定度為 $1.12'' = 0.00031^\circ$ ，其有效自由度為 60。所以， $u(2\theta) = 0.00016^\circ$ 。

(iv) 重複性量測(d_r)

重複性量測試在短時間內，以相同的設定值做多次量測，如表 1-10 所示。為評估系統的重複性量測，tsmc 薄膜測試片，標稱厚度為 1.5 nm，分別在 12 天，各取 5 次數據，並分別計算其平均值及標準差。取最大之標準差做為估算重複性之不確定度。

又針對 5 nm HfO_2 和 Al_2O_3 薄膜厚度測試片，依照上述相同量測程序，並在長期的觀測下，量取 20 組數據如表 1-11 和表 1-12 所示。並取最大之標準差做為估算重複性之不確定度，因此，最大之標準差為 0.0077 nm 和 0.064 nm，自由度為 4，靈敏係數為 1。因此，標準不確定度為 $\frac{0.0077}{\sqrt{5}} = 0.0034 \text{ nm}$ 和 $\frac{0.064}{\sqrt{5}} = 0.0286 \text{ nm}$ 。

表 1-10 1.5 nm TSMC 05 SiO_2 薄膜厚度實測重複性

日期	07-9-13	07-9-27	07-9-28	07-10-2	07-10-15	07-10-16	07-10-17	07-10-23	07-10-26	07-10-29
1	1.394	1.387	1.388	1.387	1.390	1.395	1.398	1.389	1.383	1.394
2	1.390	1.390	1.389	1.390	1.390	1.397	1.391	1.384	1.386	1.388
3	1.389	1.389	1.394	1.388	1.394	1.397	1.395	1.385	1.385	1.386
4	1.401	1.382	1.389	1.393	1.392	1.390	1.399	1.386	1.387	1.393
5	1.394	1.382	1.390	1.390	1.386	1.389	1.397	1.387	1.393	1.387
平均值 (nm)	1.394	1.386	1.390	1.390	1.390	1.394	1.396	1.386	1.387	1.390
標準差 (nm)	0.0047	0.0038	0.0023	0.0023	0.0030	0.0038	0.0032	0.0019	0.0038	0.0036
日期	07-10-30	07-10-31	07-11-02	07-11-06	07-11-07	07-11-09	07-11-13	07-11-14	07-11-16	07-11-27
1	1.392	1.396	1.390	1.388	1.394	1.402	1.385	1.402	1.394	1.394
2	1.389	1.397	1.393	1.387	1.385	1.391	1.387	1.400	1.396	1.393
3	1.388	1.393	1.397	1.395	1.402	1.401	1.399	1.391	1.400	1.387
4	1.387	1.398	1.399	1.392	1.393	1.382	1.390	1.395	1.394	1.392
5	1.393	1.387	1.401	1.394	1.393	1.400	1.398	1.391	1.396	1.376
平均值 (nm)	1.390	1.394	1.396	1.391	1.393	1.395	1.392	1.396	1.396	1.388
標準差 (nm)	0.0026	0.0044	0.0045	0.0036	0.0060	0.0086	0.0064	0.0051	0.0024	0.0074

表 1-11 5 nm HfO_2 薄膜厚度實測

日期	08-08-12	08-08-13	08-08-14	08-08-15	08-08-21	08-08-22	08-08-27	08-08-28	08-09-01	08-09-05
1	5.014	4.996	4.990	4.989	4.992	4.988	4.984	4.989	4.972	4.983
2	5.007	4.996	4.994	4.991	4.990	4.989	4.986	4.986	4.974	4.989
3	5.007	4.999	4.990	4.987	4.989	4.987	4.985	4.972	4.972	4.987
4	5.003	4.988	4.988	4.986	4.989	4.985	4.985	4.973	4.974	4.996
5	5.005	4.994	4.992	4.986	4.986	4.987	4.982	4.977	4.975	4.992
平均值 (nm)	5.007	4.995	4.991	4.988	4.989	4.987	4.984	4.979	4.973	4.989
標準差 (nm)	0.0041	0.0041	0.0023	0.0022	0.0022	0.0015	0.0015	0.0077	0.0013	0.0049
日期	08-09-09	08-09-10	08-09-12	08-09-17	08-09-18	08-09-19	08-09-22	08-09-24	08-09-25	08-09-26
1	4.979	4.987	4.995	5.017	5.027	5.018	5.038	5.037	5.042	5.041
2	4.981	4.993	4.999	5.016	5.030	5.021	5.040	5.041	5.042	5.041
3	4.983	4.991	5.003	5.019	5.029	5.024	5.040	5.039	5.044	5.042
4	4.987	4.995	4.998	5.022	5.029	5.023	5.040	5.040	5.043	5.042
5	4.989	4.998	5.001	5.020	5.032	5.023	5.040	5.039	5.044	5.044
平均值 (nm)	4.984	4.993	4.999	5.019	5.029	5.022	5.040	5.039	5.043	5.042
標準差 (nm)	0.0041	0.0041	0.0030	0.0024	0.0018	0.0024	0.0009	0.0015	0.0010	0.0012

表 1-12 5 nm Al_2O_3 薄膜厚度實測

日期	08-08-13	08-08-14	08-08-15	08-08-18	08-08-21	08-08-22	08-08-27	08-08-29	08-09-05	08-09-08
1	5.058	5.101	5.106	5.130	5.049	5.033	5.024	4.982	4.993	4.981
2	5.120	5.102	5.097	5.135	5.051	5.027	5.038	4.991	5.019	4.992
3	5.103	5.141	5.118	5.145	5.045	5.031	5.017	4.980	5.001	4.986
4	5.106	5.093	5.122	5.156	4.993	5.041	5.026	4.976	4.966	4.977
5	5.102	5.105	5.091	5.16	4.964	4.999	5.027	4.976	4.990	5.006
平均值 (nm)	5.098	5.108	5.107	5.145	5.020	5.026	5.026	4.981	4.994	4.988
標準差 (nm)	0.0234	0.0188	0.0133	0.0129	0.0397	0.0160	0.0076	0.0062	0.0192	0.0113
日期	08-09-10	08-09-11	08-09-15	08-09-16	08-09-18	08-09-19	08-09-22	08-09-23	08-09-24	08-09-25
1	5.005	4.980	4.950	4.962	4.998	5.005	5.005	4.996	4.986	4.949
2	4.983	4.986	4.942	4.979	5.008	5.006	4.999	4.981	5.000	4.959
3	5.001	5.008	4.817	4.980	5.002	4.995	4.979	4.977	4.978	4.965
4	4.991	4.972	4.841	4.990	5.000	5.015	4.977	4.989	4.966	4.971
5	4.991	4.980	4.833	4.978	5.005	5.011	4.992	4.989	5.001	4.961
平均值 (nm)	4.994	4.985	4.877	4.978	5.003	5.006	4.990	4.986	4.986	4.961
標準差 (nm)	0.0088	0.0137	0.0640	0.0101	0.0040	0.0075	0.0122	0.0075	0.0149	0.0081

(vi) 重現性量測(d_p)

重現性量測對系統不確定度估算，則以長時間的重複量測為主。由於是系統的重現性，因此，alignment、detector 或是 simulation 的誤差，會在這裡出現並估算。量測值如表 1-13。針對 5 nm CMS 0523 -Si/ HfO_2 薄膜厚度如表 1-14，其平均值為 5.008 nm、標準差 0.0343 nm，自由度為 2，靈敏係數為 1。因此，標準不確定度為 $\frac{0.0343}{\sqrt{3}} = 0.0198$ nm。針對 5 nm CMS 0549 -Si/ Al_2O_3 薄膜厚度如表 1-15，其平均值為 5.009 nm、標準差 0.1343 nm，自由度為 2，靈敏係數為 1。因此，標準不確定度為 $\frac{0.1343}{\sqrt{3}} = 0.0776$ nm。

表 1-13 1.5 nm TSMC 05 SiO_2 薄膜厚度實測重現性

日期	07-9-13	07-9-27	07-9-28	07-10-2	07-10-15	07-10-16	07-10-17	07-10-23	07-10-26	07-10-29
平均值 (nm)	1.394	1.386	1.390	1.390	1.390	1.394	1.396	1.386	1.387	1.390
標準差 (nm)	0.0047	0.0038	0.0023	0.0023	0.0030	0.0038	0.0032	0.0019	0.0038	0.0036
日期	07-10-30	07-10-31	07-11-02	07-11-06	07-11-07	07-11-09	07-11-13	07-11-14	07-11-16	07-11-27
平均值 (nm)	1.390	1.394	1.396	1.391	1.393	1.395	1.392	1.396	1.396	1.388
標準差 (nm)	0.0026	0.0044	0.0045	0.0036	0.0060	0.0086	0.0064	0.0051	0.0024	0.0074

表 1-14 5 nm HfO_2 薄膜厚度

日期	08-08-12	08-09-01	08-09-26	Average	Stdev
平均值(nm)	5.007	4.943	5.042	5.008	0.0343
標準差(nm)	0.0041	0.0013	0.0012	--	--

表 1-15 5 nm Al_2O_3 薄膜厚度

日期	08-08-18	08-09-15	08-09-19	Average	Stdev
平均值(nm)	5.145	4.877	5.006	5.009	0.1343
標準差(nm)	0.0129	0.0640	0.0075	--	--

依據國際標準組織(ISO)發行的“量測不確定度表示法的指引”(GUM)[1-8]，並考慮量測方程式以及實際量測的狀況，組合標準不確定度表示為：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) \quad (1-47)$$

$$u_c^2(y) = \left(\frac{1}{2\theta_m}\right)^2 u^2(\lambda) + \left(\frac{\lambda}{2\theta_m^2}\right)^2 u^2(\omega) + \left(\frac{\lambda}{2\theta_m^2}\right)^2 u^2(2\theta) + u^2(d_r) + u^2(d_p) \quad (1-48)$$

綜合以上所述，可將各誤差源、標準不確定度分項、靈敏係數及自由度等彙整如表 1-16，以方便組合標準不確定度之計算。

表 1-16 25 nm SiO₂ 薄膜厚度標準片之不確定度估算表

誤差源(x _i)	不確定度估計	TYPE	標準不確定度	靈敏係數	$\left \frac{\partial F}{\partial x_i}u(x_i)\right $	自由度
X 射線波長	0.000372 nm	B	0.000215 nm	23.87	0.00513	50
樣本支撐角度	---	B	9.16E-06 0.000525°	-175.182 nm	0.00161	60
偵測器角度	---	B	2.70E-06 0.000155°	-175.182 nm	0.000474	60
重複性量測	0.0796 nm	A	0.0356 nm	1	0.0356	4
重現性量測	0.0643 nm	A	0.0371 nm	1	0.0371	2
組合標準不確定度	0.0517 nm					
有效自由度	2					
擴充係數	4.30					
擴充不確定度	0.22 nm					

量測不確定度係以擴充不確定度 (Expanded uncertainty, U) 方式表示，其定義如下所示

$$U = k \times u_c \quad (1-49)$$

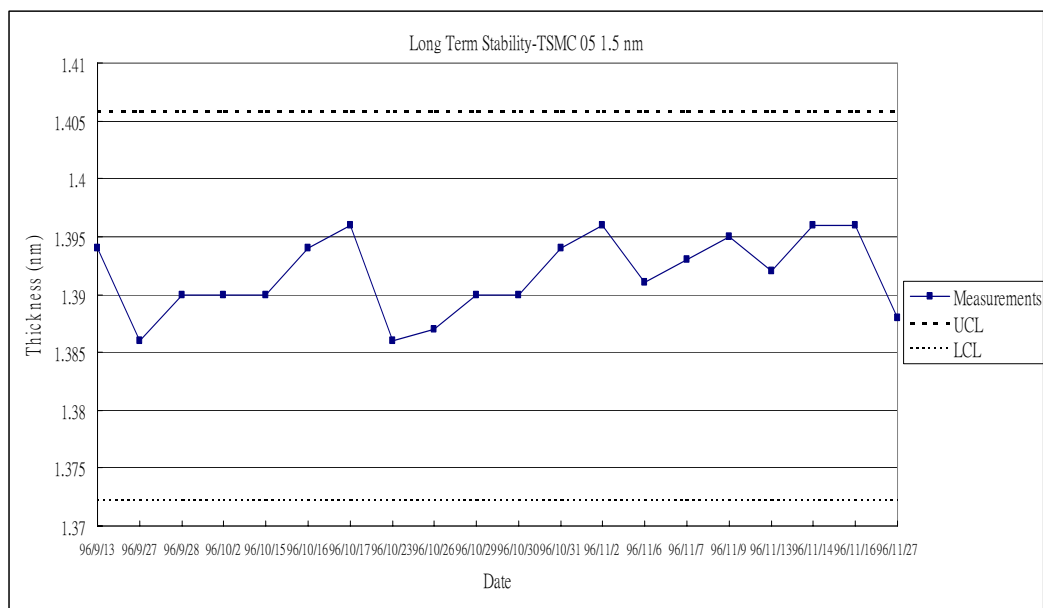
其中 k 稱為擴充係數(Coverage factor)，由量測值的信賴水準及該量測系統不確定度之有效自由度決定；在此將各不確定度分項之自由度代入 Welch-Satterthwaite 公式計算得知有效自由度，而 k 值可由 t-分布表查得，依國際間慣用法選取 95 % 之信賴水準，搭配自由度，可查表得擴充係數 k，與組合標準不確定度相乘，可得擴充不確定度 U。根據 Welch-Satterthwaite 公式，有效自由度為

$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{v_i(y)}} \quad (1-50)$$

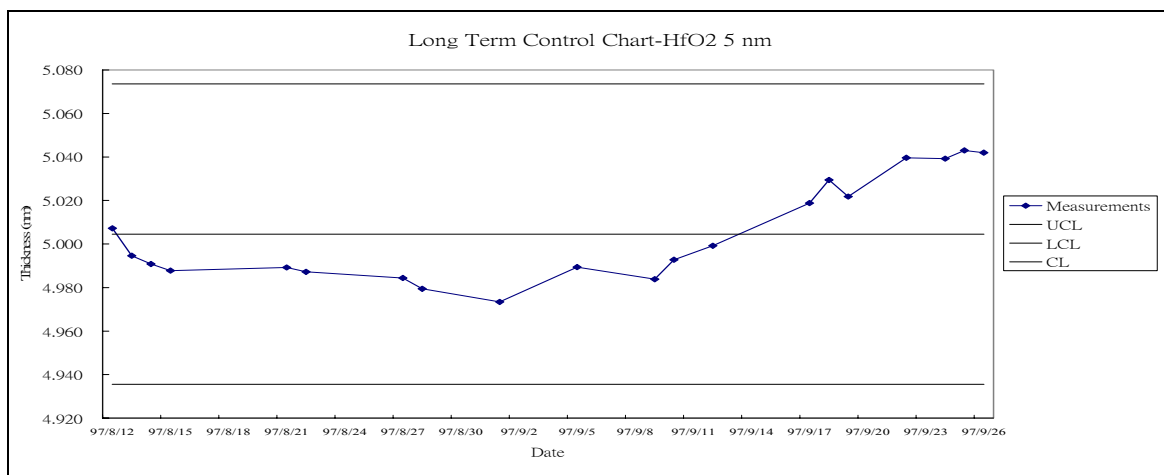
$$v_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u^4(\lambda)}{v(\lambda)} + \frac{u^4(\omega)}{v(\omega)} + \frac{u^4(2\theta)}{v(2\theta)} + \frac{u^4(d_r)}{v(d_r)} + \frac{u^4(d_p)}{v(d_p)}} \quad (1-51)$$

依據表 1-16，計算有效自由度為 5，採用量測系統 95 % 的信賴水準，經查表可得擴充係數 k 值為 4.30。因此，對 TSMC05 1.5 nm 薄膜厚度測試片的量測值為 1.389 nm，擴充不確定度(U)為 $U = k \times u_c = 4.30 \times 0.0517 \cong 0.3$ (nm)。X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的主要因素，包括 X 射線波長(λ)、樣本支撐角度(ω)、偵測器角度(2θ)、重複性量測(d_r)，以及重現性量測(d_p)和重現性量測(d_p)等直接影響之重要因子。量測不確定度，係以擴充不確定度方式表示。就評估結果而言，不確定將受薄膜厚度的影響，但無明顯證據顯示，呈線性分佈。因此，待測之校正件，將完全依據評估程序，並計算擴充不確定度顯然，就評估結果而言，不確定將受薄膜厚度的影響，但無明顯證據顯示，呈線性分佈。因此，待測之校正件，將完全依據評估程序，並計算擴充不確定度。就保守估計的角度而言，如計算所得之擴充不確定度(不論為 1.5 nm 到 200 nm 之薄膜厚度片或 5 nm 之 薄膜厚度測試片與 5 nm 之 薄膜厚度測試片)是否小於 0.3 nm，最佳校正能力將以 0.3 nm 為基準。

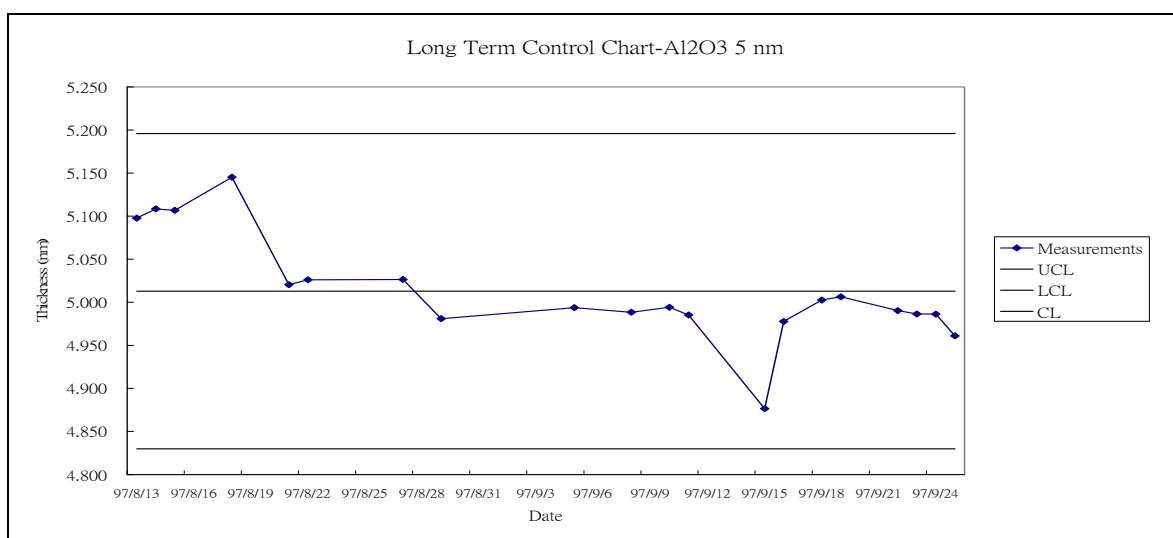
量測系統穩定度可經由管制圖查核，在系統評估過程中，以 TSMC 05 薄膜厚度測試片為系統的查核件，利用這些查核參數值計算查核參數平均值、標準差、和管制上下限。所得之管制圖如圖 1-27 所示。



(a) SiO_2 25 nm 穩定性監測



(a) HfO_2 5 nm 穩定性監測



(c) Al_2O_3 5 nm 穩定性監測

圖 1-27 薄膜管制圖

(四)晶圓表面奈米微粒量測技術

在半導體與平面顯示器業的產品製程中，晶圓表面上奈米微粒和缺陷的檢測分析是非常重要的品質參數，而光散射量測技術是一個強而有力的技術可以用來偵測晶圓表面上的特徵[1-10~1-13]，這些以光散射量測技術為主的量測儀器滿足了半導體工業對於高生產率、高靈敏性等的檢測儀器需求。然而光散射會由許多散射源產生，例如微粒污染物、表面形貌粗糙度、加工後表面殘餘物和表面缺陷等，當光線打入這些表面特徵上時均會產生散射光，因此有效的分析散射光強度藉以精確的分辨晶圓表面上奈米微粒的尺寸、形狀和材質是非常困難和複雜的。當一個雷射光源入射到物體表面上時，其散射光根據其散射角度可以由一個雙向反射分佈函數(bidirectional reflectance distribution function)來進行分析，而其方程式可定義為入射角度和反射角度的函數，如下所示：

$$f(\theta_i, \phi_i; \theta_r, \phi_r) = \frac{\partial \Phi_r}{\partial \Omega} \frac{1}{\Phi_i \cos \theta_r} \quad (1-52)$$

其中 $\frac{\partial \Phi_r}{\partial \Omega}$ 為每固定角度的散射光強度， Φ_i 為入射光強度， θ_r 為散射光極角， ϕ_r 為散射光方位角， θ_i 為入射極角， ϕ_i 為入射光方位角。

近年來，許多的物體表面光散射的理論計算和實驗被提出[1-14~1-18]，並指出偏極參數可以用來分析和辨別不同表面缺陷所發出平面外散射光。Germer 等人[1-19~1-22]以理論分析和實驗量測證明由表面上物體所發出的散射光的偏振特性可以用來區分不同的物體特徵，也就是說利用不同散射源特有的偏振特性分辨附著在晶圓上是奈米微粒或是表面缺陷，進而提高光學檢測儀器的檢測能力。因此如何快速的檢測奈米微粒的粒徑卻又不被其他物體的散射光影響相當重要的課題，例如使用散射光的角度相依性或平面外散射光偏振特性分析等來減低或過濾晶圓表面粗糙度所引起的散射光以提高偵測奈米微粒的準確性等。

在本研究中我們將探索由晶圓表面上奈米微粒所發出的平面外散射光和其角度相依性，我們自行設計並使用一個多角度調整光散射儀來量測由不同粒徑大小的奈米微粒所發出的散射光，並將量測實驗結果與理論計算結果比較。本文所採用的散射理論為米氏表面交互影響模型(Mie-surface double-interaction model)，其可以計算奈米微粒散射光的雙向橢圓參數(bidirectional ellipsometric parameters)的角度相依性，也就是說雙向橢圓參數隨著散射光極角和散射光方位角變化的情形，相關的試件準備和理論實驗過程將在後面的章節被完整的描述和討論。

在許多文獻中已經發展和探討了[1-12~1-24]單顆微粒所產生散射光的理論分析，為了要有效的將實驗結果利用雙向橢圓參數來進行分析，圖 1-28 為一個試件座標系統圖用以定義散射光場中的各個角度，其中奈米微粒的半徑為 a 、折射率為 n_{sph} 、微粒與晶圓表面間的距離為 d 、晶圓表面的折射率為 n_{si} 、一個波長為 λ 入射角度為 θ_i 的偏振平面光入射到晶圓表面和奈米微粒上而產生極角為 θ_r 和方位角為 ϕ_r 的偏振散射光，而一個偏振散射光場可以經由入射和散射光場之間的關係來決定，一般是用Jones散射矩陣 S 來表示如下[1-25]：

$$\begin{pmatrix} E_p^{scat} \\ E_s^{scat} \end{pmatrix} = \frac{\exp(ikR)}{R} \begin{pmatrix} S_{pp} & S_{sp} \\ S_{ps} & S_{ss} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_p^{inc} \\ E_s^{inc} \end{pmatrix} \quad (1-53)$$

其中 R 為散射光場到光偵測器的距離、 $k = 2\pi/\lambda$ 。

由方程式 1-36 可看出，如何計算出矩陣 S 是散射理論分析的重點。當奈米微粒附著在晶圓表面上的時後，它所發出的散射光有兩種可能，一是直接散射，二是從表面上的鏡像散射，因此就會有相位移的產生，可稱之為 α 和 β ，經由幾何光學和數學演算推導後可以得到散射矩陣元素 $S_{ij} = q_{ij}S_0$ 如下所示：

$$\begin{aligned} q_{ss} &= (1 + \beta r_s(\theta_r))(1 + \alpha r_s(\theta_i))\cos\phi_r, \\ q_{sp} &= -(1 - \beta r_p(\theta_r))(1 + \alpha r_s(\theta_i))\cos\theta_r \cos\phi_r, \\ q_{ps} &= -(1 - \beta r_s(\theta_r))(1 + \alpha r_p(\theta_i))\cos\theta_i \cos\phi_r, \\ q_{pp} &= (1 + \beta r_p(\theta_r))(1 + \alpha r_p(\theta_i))\sin\theta_i \sin\theta_r - (1 - \beta r_p(\theta_r))(1 - \alpha r_p(\theta_i))\cos\theta_i \cos\theta_r \cos\phi_r, \end{aligned} \quad (1-54)$$

$$S_0 = \left(\frac{n_{sph}^2 - 1}{n_{sph}^2 + 1} \right) \alpha^3 k^2, \quad (1-55)$$

$$\alpha = \exp(2ikd \cos\theta_i),$$

$$\beta = \exp(2ikd \cos\theta_r). \quad (1-56)$$

其中 Fresnel 反射係數為

$$\begin{aligned} r_p(\theta) &= \frac{n_{si}^2 \cos\theta - \sqrt{(n_{si}^2 - \sin^2\theta)}}{n_{si}^2 \cos\theta + \sqrt{(n_{si}^2 - \sin^2\theta)}} \\ r_s(\theta) &= \frac{\cos\theta - \sqrt{(n_{si}^2 - \sin^2\theta)}}{\cos\theta + \sqrt{(n_{si}^2 - \sin^2\theta)}} \end{aligned} \quad (1-57)$$

一般而言若要計算光線傳播經過一個光學介質後其偏極的線性反應情況可以由 Stokes 向量和 Mueller 矩陣得知[1-11]，在之前的文獻[1-20]中已經有效的證明散射光的偏極狀態可以用來分辨不同的物體所產生的散射光，因此若要將 S 矩陣轉換成 Mueller 矩陣可由下列式子來表示：

$$m_{11} = (|S_{pp}|^2 + |S_{ss}|^2 + |S_{sp}|^2 + |S_{ps}|^2) / 2,$$

$$m_{12} = (|S_{ss}|^2 - |S_{pp}|^2 + |S_{sp}|^2 - |S_{ps}|^2) / 2,$$

$$m_{13} = \text{Re}(S_{ss}S_{ps}^* + S_{pp}S_{sp}^*),$$

$$m_{21} = (|S_{ss}|^2 - |S_{pp}|^2 - |S_{sp}|^2 + |S_{ps}|^2) / 2,$$

$$m_{22} = (|S_{ss}|^2 + |S_{pp}|^2 - |S_{sp}|^2 - |S_{ps}|^2) / 2,$$

$$\begin{aligned}
m_{23} &= \text{Re}(S_{ss}S_{ps}^* - S_{pp}S_{sp}^*) \\
m_{31} &= \text{Re}(S_{ss}S_{sp}^* + S_{pp}S_{ps}^*) \\
m_{32} &= \text{Re}(S_{ss}S_{sp}^* - S_{pp}S_{ps}^*) \\
m_{33} &= \text{Re}(S_{pp}S_{ss}^* + S_{ps}S_{sp}^*)
\end{aligned} \tag{1-58}$$

若要快速的來表示散射光的偏振狀態使用橢圓偏振主軸角度 η 和其相對應的線性偏振程度 P_L 是最有效的方式，橢圓偏振主軸角度 η 定義為當入射光為 p 偏振時橢圓偏振的主軸和 \hat{s} 軸的夾角，可以用 Mueller 矩陣來求得如下所示：

$$\eta = \arctan\left(\frac{m_{31} - m_{32}}{m_{21} - m_{22}}\right) / 2 \tag{1-59}$$

而線性偏振程度 P_L 亦可以用 Mueller 矩陣來求得如下所示：

$$P_L = \frac{\sqrt{(m_{21} - m_{22})^2 + (m_{31} - m_{32})^2}}{m_{11} - m_{12}} \tag{1-60}$$

這些參數可以完全的表達出散射光強度和其偏振特性，並且很容易的可以由 Mueller 矩陣來求得。當 $P_L = 1$ 時，散射光是完全線性偏振，當 $P_L = 0$ 時，散射光是無偏振或圓偏振狀態。當我們利用橢圓偏振主軸角度 η 來判斷散射光的偏振狀態時，在量測的時後就不容易受到外界環境雜散光的影響，而可以得到最精準的量測數據。在本文研究中使用米氏理論進行數學推導，所有的理論計算均假設當入射光波長為 532 nm 時 $n_{sph} = 1.59$ 且 $n_{si} = 4.05 + 0.05i$ ，並假設奈米微粒的材料是均質的，且忽略微粒與微粒間的交互作用。

為了可以具體的評估理論模型和量測結果的差異，工研院量測中心自行開發一套將奈米微粒佈植在晶圓上的系統，以下將分別說明試件準備方式和散射光量測系統。

在試件準備方面，工研院量測中心已經自行開發完成一套晶圓表面奈米微粒佈植系統[1-26]，此系統包含一個電遷移率分析儀(differential mobility analyzer)，其可以用來校正奈米微粒的粒徑大小，分離出所需要的粒徑，然後再經過空氣分散裝置將微粒佈植在晶圓上。本研究所選用的奈米微粒是由日本 JSR 公司出產的標準粉體，其粒徑大小分別 100、200 和 300 nm，型號為 SC-0100-D、SC-024-S 和 SC-032-S，為了要確認是否有將奈米微粒確實的佈植在晶圓表面上我們使用一原子力顯微鏡來進行量測與確認所佈植奈米微粒的粒徑和位置，如圖 1-29 所示為一個經過原子力顯微鏡掃描過後的影像檔，

其中可以清楚的看到 100 nm 粒徑大小的奈米微粒被佈植在晶圓表面上，而且微粒與微粒間互相沒有接觸，因此在量測的時後微粒與微粒間團聚而產生的散射光效應應該可以被忽略。此外，本文也對奈米微粒附近的晶圓表面做表面粗糙度量測分析，亦如圖 1-29 所示，在奈米微粒附近的晶圓表面粗糙度均小於 1 nm，均小於奈米粒徑的 1%，有此可推論在如此小的表面粗糙度下，本文直接量測由奈米微粒所發出的散射光將不會受到晶圓表面粗糙度的影響而失去準確性。

在散射光量測系統方面，工研院量測中心已經完整的發展出一套多角度調整光散射儀用來量測晶圓表面上奈米微粒所發出的散射光，如圖 1-30 所示，整套量測系統均設置在一個自行設計的無塵暗室中，其潔淨度為 class 1。將量測系統放於 class 1 的無塵暗室中有三個原因：第一為因為量測系統中的光偵測裝置是一個大範圍高敏感的偵測器在高潔淨的環境中可以避免空氣中懸浮微粒所發出的散射光對量測結果的影響，第二為在高潔淨的無塵室中進行量測可以避免晶圓招受污染，第三為在暗室中進行量測可以避免環境中散雜光對量測結果的影響。此外在實驗進行時我們還使用一止光器來吸收直接從晶圓表面上反射的反射光，避免反射光漫射而對量測結果造成影像。

此量測系統採用一波長為 532 nm 的 Nd:YAG 綠光雷射，雷射光由入射角 θ_i 入射到試件晶圓上，而散射光角度由散射光極角 θ_r 和散射光方位角 ϕ_r 來定義和偵測。入射光的偏振特性由一個固定的線性偏振片和一個可旋轉的二分之一波長光學片來進行控制，散射光的偏振特性則由另一組線性偏振片和二分之一波長光學片來進行 Mueller 矩陣的分析，所有的 Mueller 矩陣分析都是使用 $\omega:4\omega$ 方法[1-21]，意即為當入射光部分的二分之一波長光學片轉某一角度而接受光部分的二分之一波長光學片則轉 4 倍的某一角度，因此每次光訊號量測二分之一波長光學片需要轉 16 次的角度，再將此訊號做傅立葉轉換 (Fourier transform)，即可完成一個 3×3 的 Mueller 矩陣量測計算。Mueller 矩陣的量測是隨著散射光方位角 ϕ_r 的變化來進行，從 $\phi_r = 0^\circ$ 開始量測一直量測到 $\phi_r = 180^\circ$ ，如此一來可以量測到整個散射光的光場強度。

使用多角度調整光散射儀用來量測晶圓表面上奈米微粒所發出的散射光，附著在晶圓表面上的奈米微粒有三種粒徑大小，分別是 100 nm、200 nm 和 300 nm，在量測的時後均設定 $\theta_i = \theta_r = 45^\circ$ 並旋轉 $\phi_r = 0^\circ \sim 180^\circ$ 。圖 1-31 和圖 1-32 為晶圓上不同粒徑大小的奈米微粒的 3×3 Mueller 矩陣量測結果，圖 1-31 為 Mueller 矩陣中元素 m_{11} 隨著粒徑從 50 nm 到 350 nm 的奈米微粒和散射光方位角 ϕ_r 變化的情況，圖中線條部分為理論計算值，中空圓圈部分為實驗量測值。圖 1-32 則為其餘 8 個 Mueller 矩陣元素在粒徑為 100 nm、

200 nm和 300 nm奈米微粒下隨著散射光方位角 ϕ_r 變化的情況，由圖中可看出粒徑越大 Mueller矩陣元素的變化幅度也就越大。雙向橢圓參數 η 和 P_L 可經由量測後的Mueller矩陣計算出來，圖 1-33 為橢圓參數 η 和 P_L 在隨著粒徑從 50 nm到 350 nm的奈米微粒和散射光方位角 ϕ_r 變化的情況，無論從理論或實驗量測值均可以看出不同粒徑大小的奈米微粒會產生不同的偏振狀態，也就是說其橢圓參數 η 和 P_L 會不相同，也因此在此實際量測時就可以利用這個特性來加以區分不同的奈米微粒大小。

由圖 1-34 中橢圓參數 η 的變化情形可以看出每種粒徑大小的奈米微粒都有其獨特的橢圓參數 η ，因此奈米微粒的粒徑大小可以經由定義橢圓參數 η 的斜率來求得。圖 1-32 為橢圓參數 η 的斜率 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 隨著不同粒徑大小而變化的情況，實線部分為理論計算值，圓圈部分則為實際量測值，此量測結果與理論計算結果相當吻合，也證明奈米微粒的粒徑是可以由橢圓參數 η 的斜率來求得。經由標準的統計分析之後，評估 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 的不確定度有 95%以上的信賴水準。因此偏振散射光量測技術可以用來有效的量測和評估未知尺寸的奈米微粒。針對 tsmc 提供的樣品做量測，奈米微粒的粒徑為 PSL，標稱值為 59.4 nm，作五次量測。橢圓參數 η 值與散射光方位角 ϕ_r 的結果如圖 1-35。橢圓參數 η 的斜率即代表奈米微粒粒徑的重複性量測，如表 1-17 所示，圖 1-34 為橢圓參數 η 的斜率 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 隨著不同粒徑大小而變化的情況，圖 1-35 為 60 nm 粉體粒徑五次橢圓參數 η 量測結果，粒徑大小之標準差為 4.76 nm。

表 1-17 橢圓參數 η 的斜率即代表奈米微粒粒徑的重複性量測

	1	2	3	4	5	平均	標準差
斜率	0.60	0.7	0.59	0.63	0.66	0.64	0.051
粒徑大小	56.08	66.76	54.75	58.31	61.08	59.40	4.76

隨著高科技產業的發展，為了提高產品的效率和品質，產品的各項製程都往微小化方向發展，例如半導體產業中的 30 nm、45 nm 線寬製程、平面顯示器產業中面版內外部的微小缺陷、精密光學元件產業的表面及內部缺陷等都需要高解析度且微小化的檢測設備，因為細微的製程缺陷或沾污對產品的良率與效能都會有嚴重的影響，特別是磊晶晶圓的品質，即使很低的缺陷密度都有可能在後段製程中不斷擴大，造成無法補救的傷害。目前雖然已有各種缺陷檢測機台，但其在使用上不但成本過高、佔有的空間亦過於龐大、解析度不足以應付奈米等級的檢測、無法適用於線上即時檢測需求等，急需提出更好的解決辦法。

多方位的光學偏振散射光量測系統用以量測晶圓表面上奈米微粒的粒徑大小，並和理論計算值比較。經由理論模型的預測計算可明確的知道奈米微粒的粒徑會造成不同的偏振狀態，這個效應可以用來精確的分辨奈米微粒的尺寸。使用多方位的光學偏振散射光量測系統分別來量測 100 nm、200 nm 和 300 nm 奈米微粒，其量測結果與理論計算值相當符合，證明雙向橢圓參數 η 和 P_L 可以用來判斷奈米微粒的大小，奈米微粒的偏振散光量測是一個非常有效的技術。本文所雙向散射分佈函數量測技術，將可有效解決包括半導體產業、FPD 平面顯示器產業中晶圓表面上奈米微粒的量測問題，對於自動光學檢測產業的發展有非常大的幫助。

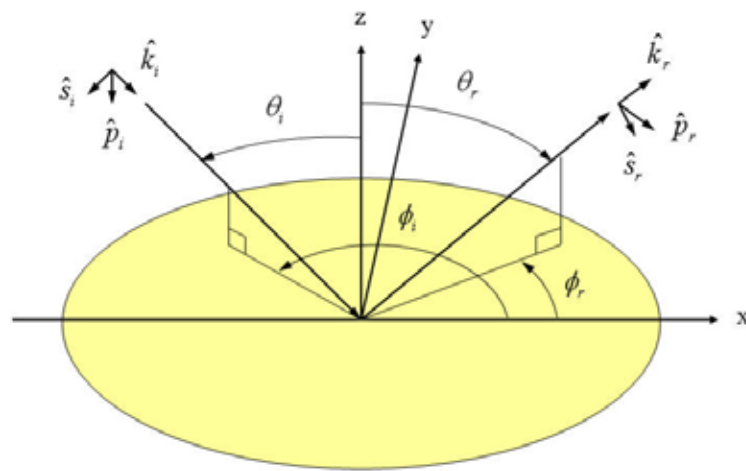


圖 1-28 散射光角度座標系統

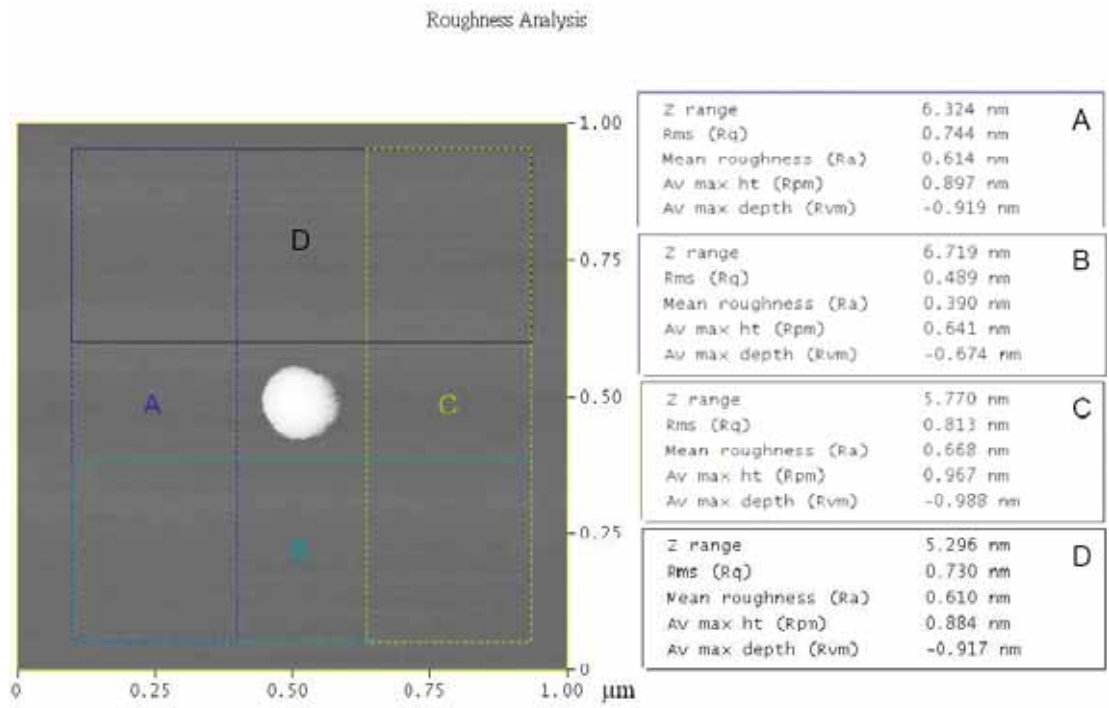


圖 1-29 使用原子力顯微鏡量測晶圓表面奈米微粒之附著情況



圖 1-30 多角度調整光散射儀

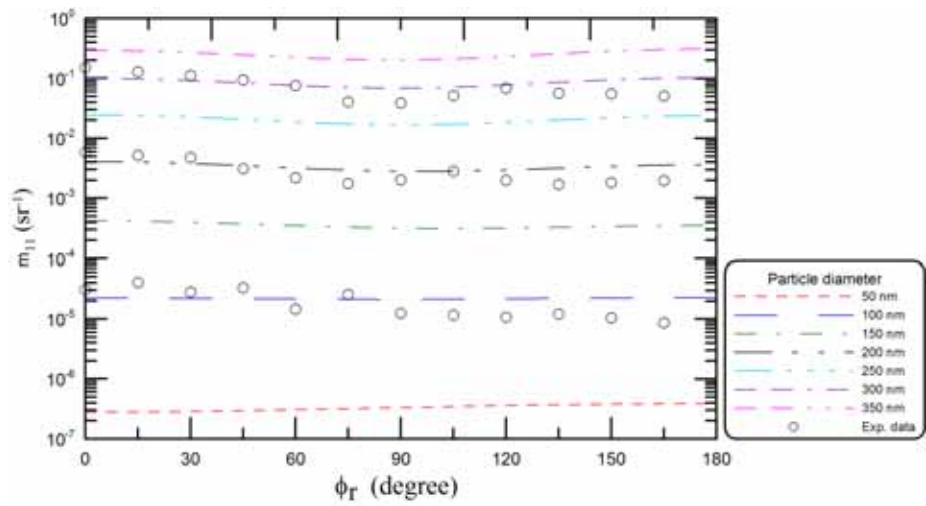


圖 1-31 Mueller 矩陣中元素 m_{11} 隨著粒徑從 50 nm 到 350 nm 的奈米微粒和散射光方位角變化的情況，其中線條部分為理論計算值，中空圓圈部分為實驗量測值

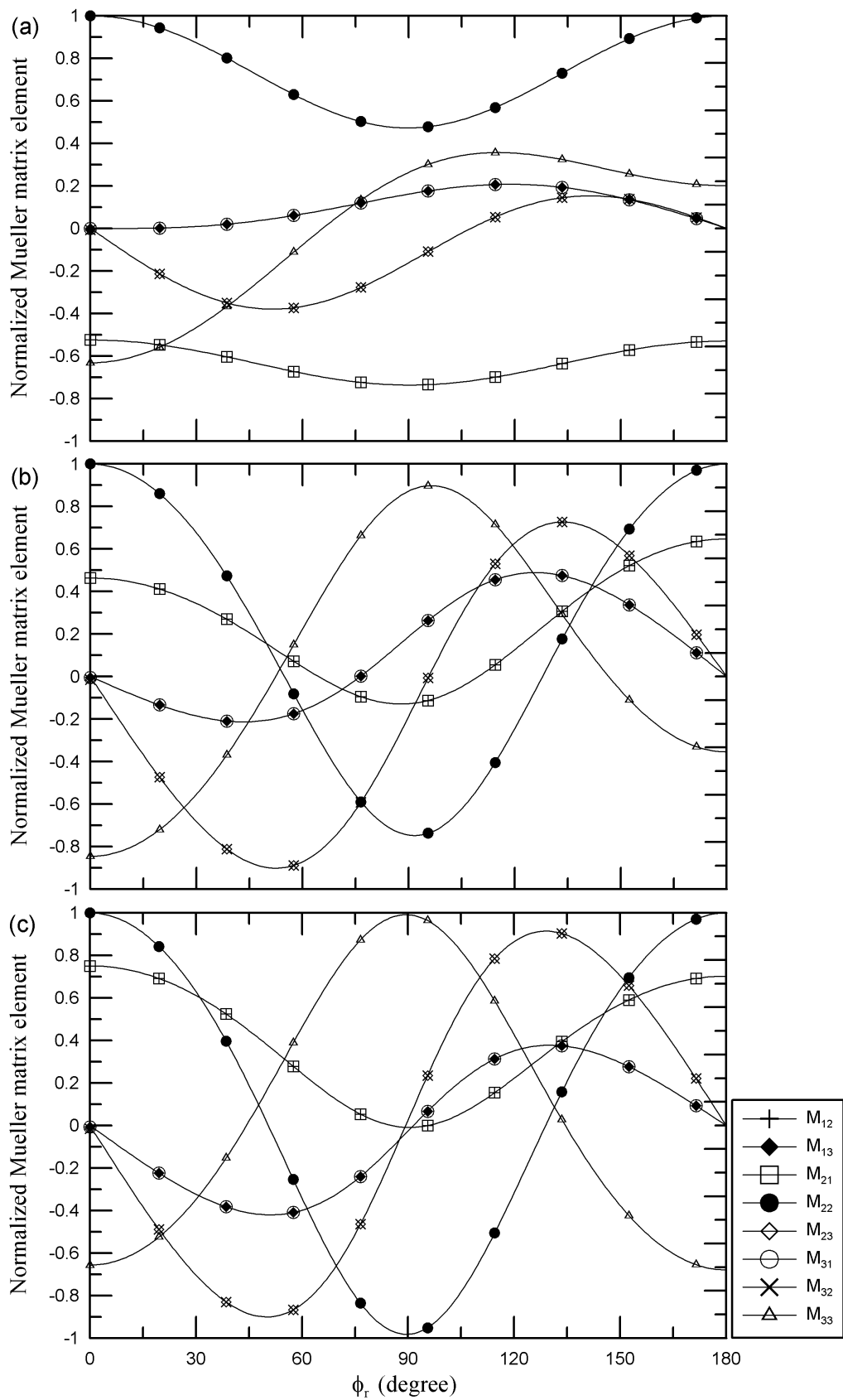


圖 1-32 其餘 8 個 Mueller 矩陣元素在粒徑為 100 nm、200 nm 和 300 nm 奈米微粒下
隨著散射光方位角變化的情況

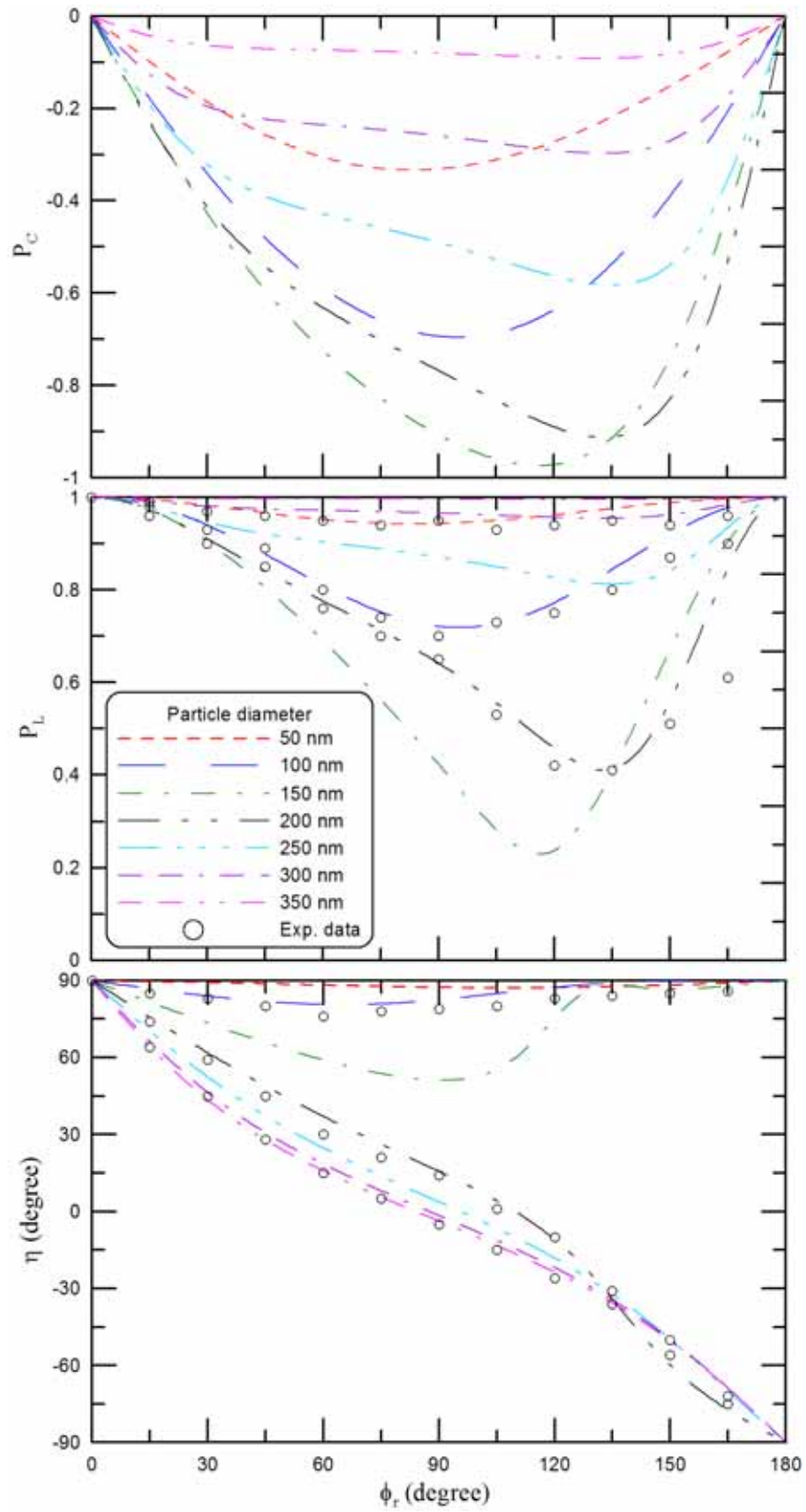


圖 1-33 橢圓參數 η 和 P_L 在隨著粒徑從 50 nm 到 350 nm 的奈米微粒和散射光方位角 ϕ_r 變化的情況

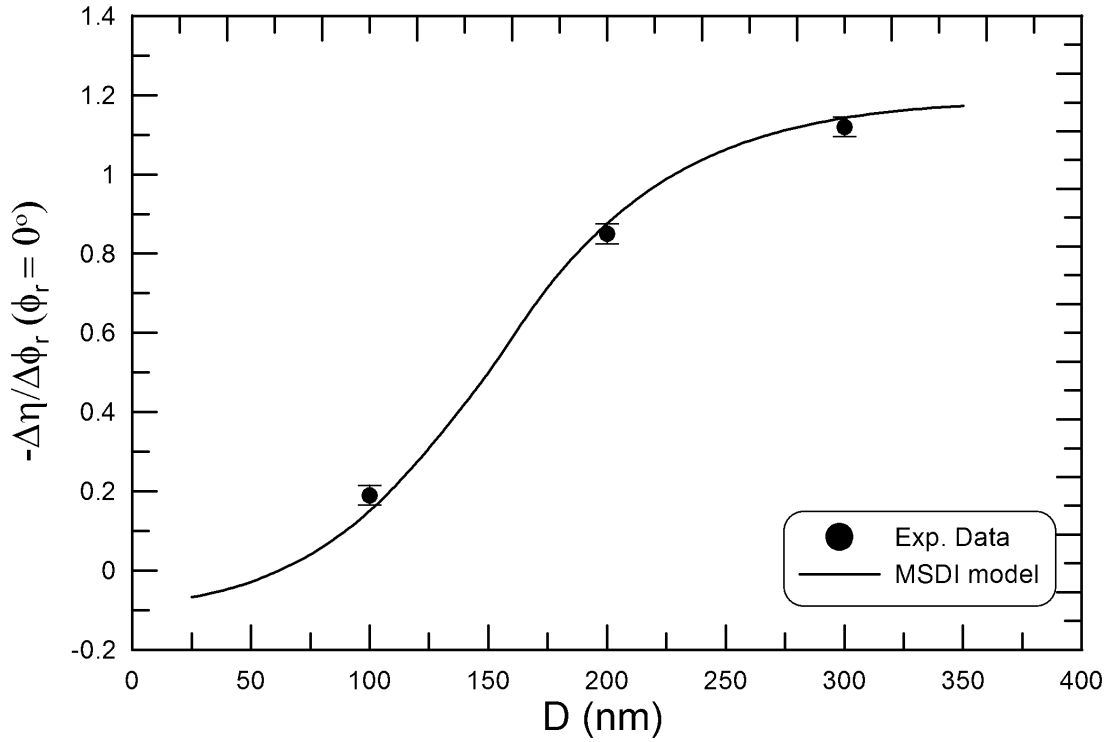


圖 1-34 橢圓參數 η 的斜率 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 隨著不同粒徑大小而變化的情況

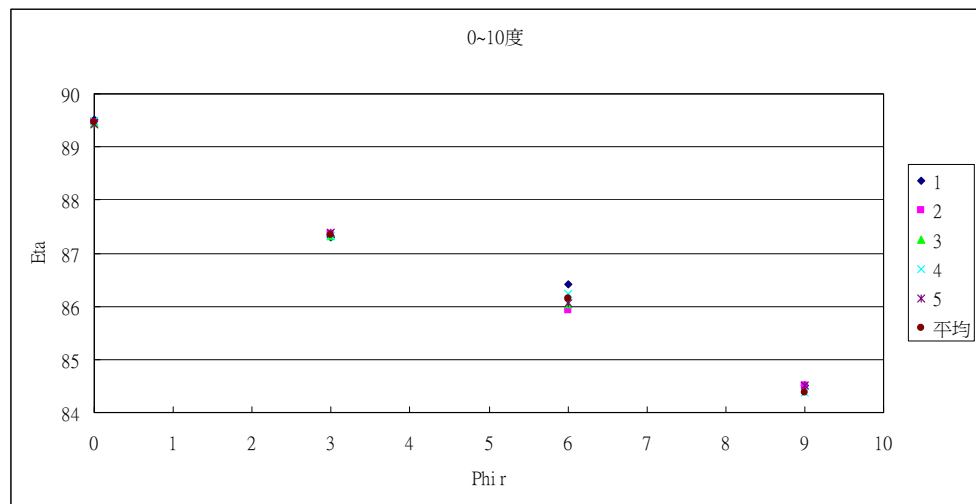


圖 1-35 五次 60 nm 粉體粒徑橢圓參數 η 量測結果

(五) 參與奈米國際標準

- (1) 以 ANF 加入 ISO TC 229 成為 A-liaian 會員，使得台灣具參與議案討論。
- (2) 以台灣觀察員加入 IEC TC 113 WG3，使得台灣具參與議案討論。

【待改善之處】

(一)50nm 線寬線距量測技術

AFM 量測 CD 線寬量測技術，採用左右傾斜，兩次掃描量測，再以縫補技術補償誤差，左右傾斜時應用之旋轉機構，若待測面未在旋轉軸心上，則會有較大偏移，目前約偏移(50~70) μm ，若試片不同基材高度，則偏移量會更大，將修改旋轉調整機構，以使用的同尺寸之待校片都能保持在旋轉軸心線位置。

(二)奈米粒徑量測標準

目前已完成量測範圍 100 nm – 500 nm 之電重力氣膠平衡法量測系統，但因受制於布朗運動(Brownian motion)的影響，亦即當粉體粒徑小於 100 nm 時，此時粉體的布朗運動將影響量測結果的準確性，使得此量測系統的最小量測範圍尚待突破。

(三)薄膜量測技術研究

High k 奈米薄膜取得不易。FY97 委由工研院電光所製作，然而，製程參數無法掌控，因此薄膜介面粗度、介面薄膜、等效薄膜等參數，不易控制與分析，增加校正評估的困難度。此外、量測軟體之追溯等，亦是後續之工作重點，以建立光學式薄膜厚度量測系統之完整性，提供量測薄膜厚度 1.5 nm - 200 nm，最佳量測不確定度($0.2 \text{ nm} \pm 0.5 \% \times d$) nm。

(四)晶圓表面奈米微粒量測技術

當粉體粒徑小於 100 nm，散射光相對較弱，因此於特定角度之量測，量測跳動大，必須以多次重複性量測克服，並加大雷射功率，增加散射光訊號。另製作 60 nm particles on wafer 標準片，也是一項挑戰。例如，如何將定量的奈米粉體，固定在晶圓之特定位置等，亦是一大難題。

(五)參與奈米國際標準

目前在 ISO TC 229 與 IEC TC 113 WG3 並無提案之權力，ISO 部分，因為以成為 A-liaian 會員，因此提案之之機會降低，將利用與其它組織的合作提案，IEC 部分，目前正在申請成為 IEC TC 113 WG3A-liaian 會員，如果成為會員，台灣將具提案權。

【後續工作構想及重點】

(一)50nm 線寬線距量測技術

(1) 使用雙傾斜式之雙向掃描技術，可進行關鍵尺寸線寬量測，關鍵尺寸在 45 nm 線寬

(2) 以下製程更要求量測如 side wall angle 或 Line Edge Roughness 、Line Wall Roughness 等參數，未來將發展 AFM 應用於這些關鍵參數量測，以確保製程品質。

(2) 線寬量測標準之傳遞有賴標準件來進行，但 1 μm 以下之線寬，無法以傳統半導體蝕刻製成程來研製，未來將發展新製程來發展 1 μm 以下之線寬標準件，以確實結合業界與標準實驗室之校正追溯一致性。

(二) 奈米粒徑量測標準

當以電重力氣膠平衡法或電遷移率分析法量測奈米粒徑時，皆在假設待測粉體為理想圓球狀的前提之下所做，為了描述非圓球狀奈米粉體的行為與特性，必須以加入額外之形貌修正因子的方式進行，而非球狀奈米粉體的行為即可以等同於經由修正因子修正後的理想圓球狀粒子的行為，因此，對於非圓球狀的工業級粉體如奈米金、奈米銀、氧化鋅、二氧化鈦、以及奈米珍珠粉等之粒徑量測，則尚須進行奈米粉體之粒徑量測誤差修正理論的研究。

(三) 薄膜量測技術

FY96、FY97 之重點為增加奈米薄膜量測標準系統的能量。評估之重點為: X-ray wavelength 之追溯、校正系統評估方法設計等。至於多層薄膜介面粗度、厚度等、量測軟體之追溯等，則是後續之工作重點，以建立光學式薄膜厚度量測系統之完整性，提供量測各種薄膜厚度 1.5 nm-200 nm，最佳量測不確定度($0.2 \text{ nm} \pm 0.5 \% \times d$) nm。

(四) 晶圓表面奈米微粒量測技術

就晶圓表面奈米微粒量測技術而言，在 FY97，建立光學量測系統，測試系統之功能與能力，建立表面奈米微粒量測能力可達 60 nm。後續之工作重點則是將量測能力提升至 60 nm 以下之粒徑，包括不同材質的表面奈米微粒及系統評估。

(五) 參與奈米國際標準

綜觀奈米產業應用需求與 ISO/IEC 發展趨勢，後續將研擬、制定、以及研究奈米相關標準、檢測方法、以及檢測儀器等，預定推動奈米國際量測與產品標準，計有 2 項奈米標準研發：a. 奈米量測標準與檢測技術標準化工作， b. 奈米產品性能檢驗標準技術標準化工作，運用標準制定協助產業與研究單位，以期提升我國奈米產業能力與全球地位。

二、力學性質量測追溯分項計畫

【年度目標】

- (一) 時變及生醫材料機械性質量測。
- (二) 材料製程溫度下之機械性質(溫度-10⁰C~200⁰C)。
- (三) 微小力量勁度傳感器量測(Stiffness < 5.5 mN/μm)。

【本年度成果】

(一)時變及生醫材料機械性質量測

靜態的楊氏模數(E)為材料在線彈性範圍內受力產生變形後應力(σ)與應變(ε)之比值，可藉量測中之應力應變斜率計算而得。通常為了簡化的原因，通常利用工程應力(Engineering stress)與工程應變(Engineering strain)來探討材料的楊氏模數。另一方面，材料的動態特性，如儲存模數(Storage modulus)與損耗模數(Loss modulus)可利用掃頻的動態機械量測技術獲得。動態測試中，材料複合模數(Complex modulus)可從施加諧合力量(Harmonic force)與共振振幅(Oscillation amplitude)而獲得。假設線性黏彈材料承受一微小振盪應變(為輸入)，則其動態應變(ε_d)可表示為：

$$\varepsilon_d = \varepsilon_0 e^{i\omega t} \quad (2-1)$$

其中 ε_0 為動態應變振幅(Dynamic strain amplitude)， ω 為頻率， t 表示時間則動態應力(為輸出)可表示如下，

$$\sigma_d = \sigma^* e^{i\omega t} \quad (2-2)$$

其中 $\sigma^* = \sigma_0(\cos \delta + i \sin \delta) = \sigma_0 e^{i\delta}$ ， σ_0 為動態應力振幅(Dynamic stress amplitude)， δ 為在相同頻率下應變與應力落後之相位角(Phase lag angle between strain and stress at the same frequency)

將(2-1)，(2-2)代入一般黏彈材料之組成率公式(General constitutive equation of the viscoelastic material)，獲得如下公式(2-3)

$$[p_0 + p_1 \partial_t + \dots] \sigma_d = [q_0 + q_1 \partial_t + \dots] \varepsilon_d \quad (2-3)$$

透過應力(σ^*) 對應變(ε_0)可用來定義為複合鬆弛模數 $G^*(\omega)$ (Complex relaxation modulus)，表示如下公式(2-4)，

$$G^*(\omega) = \frac{\sigma^*}{\varepsilon_0} = \frac{[q_0 + (i\omega)q_1 + (i\omega)^2q_2 + \dots]}{[p_0 + (i\omega)p_1 + (i\omega)^2p_2 + \dots]} \quad (2-4)$$

$$G^*(\omega) = \frac{\sigma^*}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} (\cos \delta + i \sin \delta) = G' + iG'' \quad (2-5)$$

因此，複合模數實部部份稱為材料之儲存模數($G' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} (\cos \delta)$)，而虛部部份則為材料

之損耗模數($G'' = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0} (\sin \delta)$)。

此外，兩模數之比值則定義為損耗正切(Loss tangent, $(\tan \delta)$)，如式(6)所示，

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (2-6)$$

儲存模數代表材料彈性部份之儲存能，而損耗模數則說明了材料的消散能，亦即材料之黏性部份(Viscous portion)。

以溶膠凝膠技術將酵素包埋於矽酸材料常用以作為生物感測器之反應媒介或是化學物種分離分析之載具。包埋於固體矽酸材料中的酵素活性會受到很多材料合成條件以及保存環境條件的影響。而藉由奈米動態機械分析可得知在不同合成條件下之矽膠材料的機械性質變化，此研究將有助於取得矽膠材料於不同配方之黏彈特性。

本研究用以合成矽膠材料的材料為矽酸鈉溶液(Sodium silicate solution; SS solution)。以矽酸鈉溶液合成凝膠的方法為：取 2.8 g sodium silicate solution 加入 10 ml 去離子水進行稀釋，稀釋後之溶膠溶液以 5 g 之離子交換樹脂交換溶液中的鈉離子，其後以抽氣過濾方式過濾樹脂，即可得酸鹼值約 4.0 左右之矽酸溶液備用。此外，另行配製不同濃度及不同酸鹼值之緩衝溶液及丙三醇與 gelatin 溶液。將矽酸溶液，緩衝溶液及各種不同材料修試劑以不同比例進行混合，進行膠凝作用 (gelation)，即可得膠體材料，進行後續化學特性分析與機械特性測試。

本研究設計三種不同合成條件之矽膠材料，以機械力學的觀點探討材料本身之黏彈特性。圖 2-1~2-6 為三種不同合成條件之矽膠材料配方的儲存/損失模數-時間圖與儲存/損失模數-位移圖。各矽膠材的合成條件為：

- 配方 A：500 mM Phosphate 500 μ l + Silicate sols 500 μ l
- 配方 B：500 mM Phosphate 480 μ l + 丙三醇 20 μ l + Silicate sols 500 μ l
- 配方 C：500 mM Phosphate 480 μ l + gelatin 20 μ l + Silicate sols 500 μ l

配方 B 中所添加的丙三醇(亦為 Dr. Brennan 團隊合成 DGS 過程中添加的一種矽酸材料修試劑[2-1]，其功能除了取代矽酸表面的氫氧基成為較具生物相容性的官能基外，

亦會修飾材料表面的離子分佈特性，改善矽膠材表面與酵素間容易產生的靜電作用力，此作用力通常是造成酵素結構改變而導致活性消失的主要因素。配方 C 中所添加的明膠 gelatin 是另一種提高材料之生物相容性的化合物。

圖 2-1 至圖 2-6 代表的是 3 種不同配方材料之機械黏彈特性的測試結果。在三種不同之矽膠材料配方中，配方 A 具有較高之儲存模數(~ 8-11 GPa)，在三種材料中具有較高的機械性質，此數據可直接引證配方 A 在不經丙三醇或是 gelatin 的修飾下，具有較高的脫水速率，亦易產生粉末式龜裂，不利於後續的應用。而配方 B 具有較低之儲存模數(~1.4~0.8 GPa)。且其所對應之 $\tan \delta$ 明顯較高，此顯示丙三醇的添加有助於增加矽膠材之黏彈性，由其他相關文獻亦可證明經丙三醇修飾之矽膠材料具有較高的材料應用性及再利用性[2-2, 2-3, 2-4]。明膠 Gelatin 在本實驗中第一次用以進行矽酸膠材的結構修飾與材料黏彈特性之研究，由圖 2-5 及 2-6 的結果顯示，配方 C 所形成的材料並不具備如配方 B 一般好的黏彈性，此現象可能是 gelatin 本身並沒有與矽酸單體產生任何較強的鍵結，因此其對於矽酸膠材內部結構的作用，僅達到因其存在而降低材料本身之脫水速率，詳細的原因仍須進行進一步的材料形貌測試（如：SEM 之掃描測試或是材料孔隙度測試）才能作進一步的解釋與說明。然而綜整上述實驗結果看來，添加丙三醇有助於改善材料的生物相容性以及機械性質，尤其是改善材料快速縮合脫水的速率，可延長材料的使用期限，增加材料的應用性。未來可進行不同添加劑的特性測試，藉以獲得具有較佳機械強度與黏彈特性之矽膠材，應用不同測試領域。

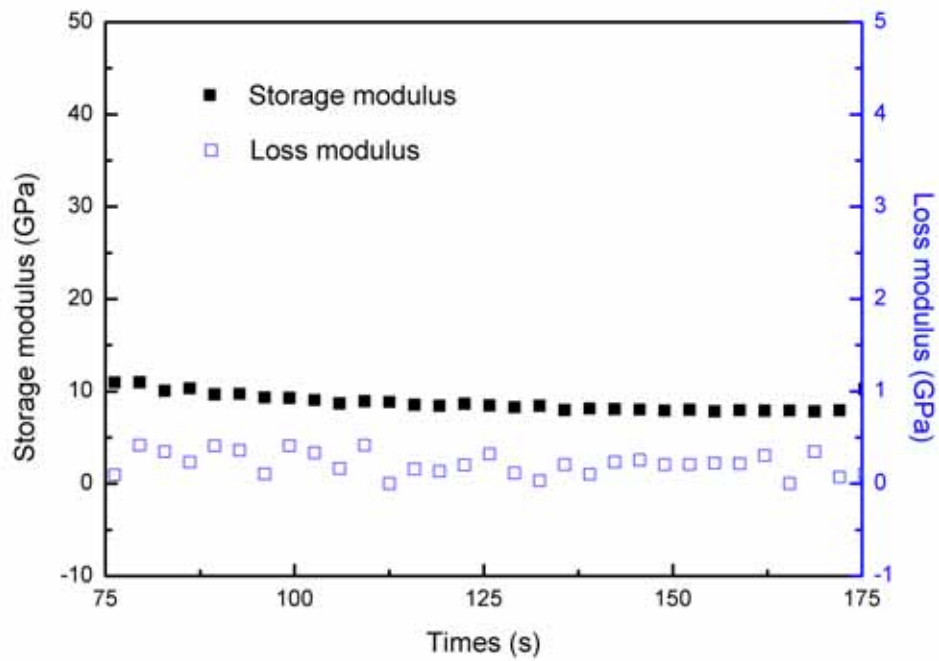


圖 2-1 配方 A：500 mM Phosphate 500 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-時間圖

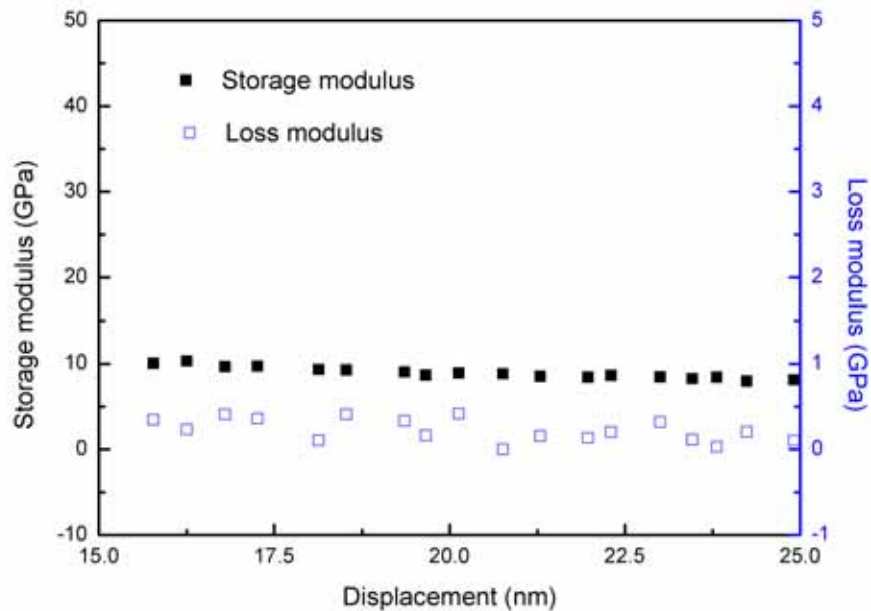


圖 2-2 配方 A：500 mM Phosphate 500 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-位移圖

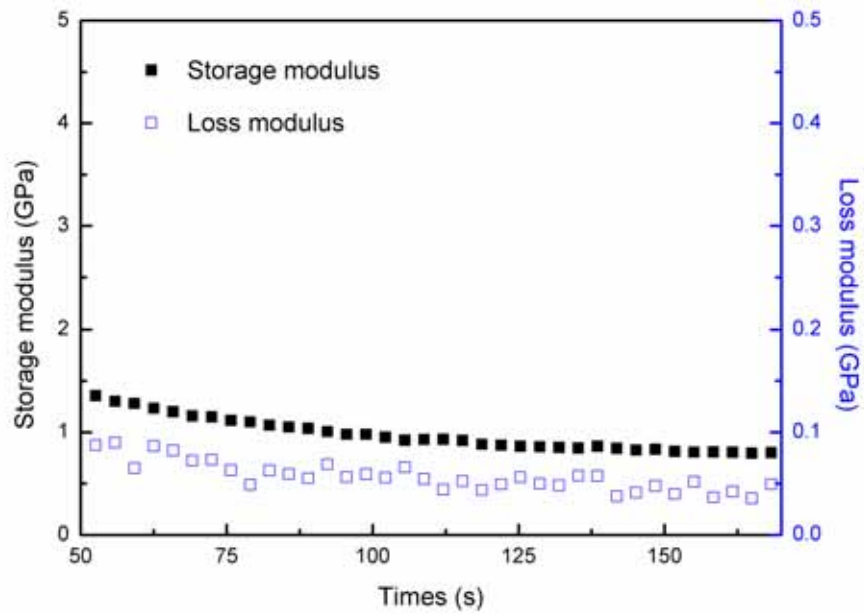


圖 2-3 配方 B：500 mM Phosphate 480 μ l + 丙三醇 20 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-時間圖

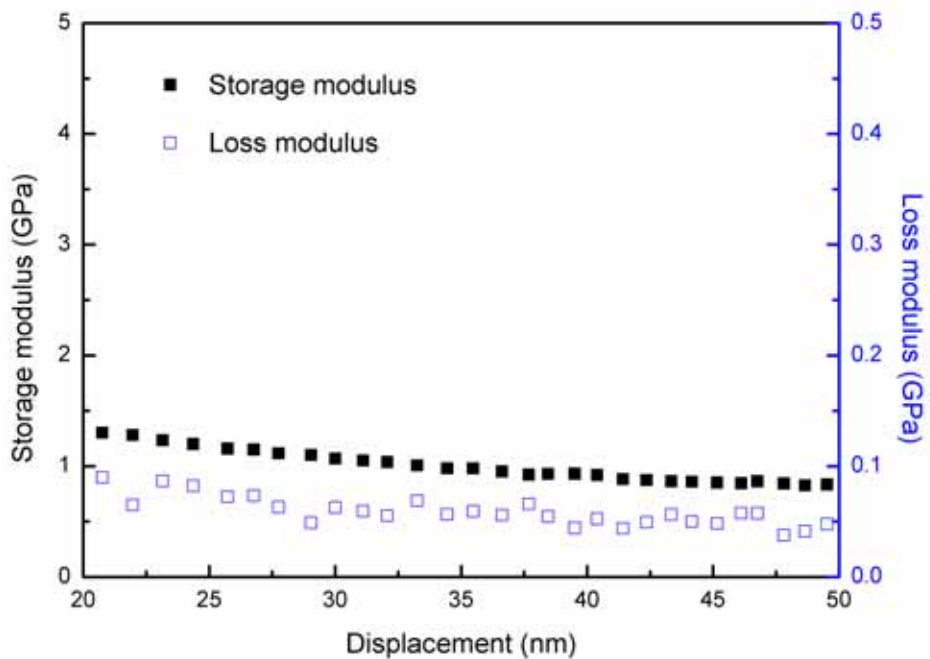


圖 2-4 配方 B：500 mM Phosphate 480 μ l + 丙三醇 20 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-位移圖

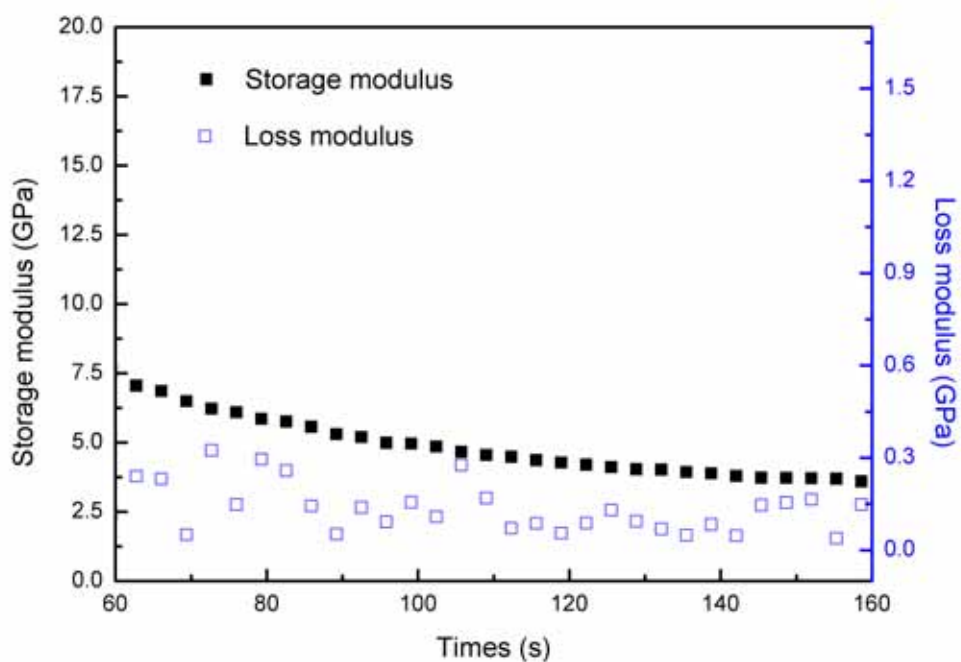


圖 2-5 配方 C：500 mM Phosphate 480 μ l +gelatin 20 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-時間圖

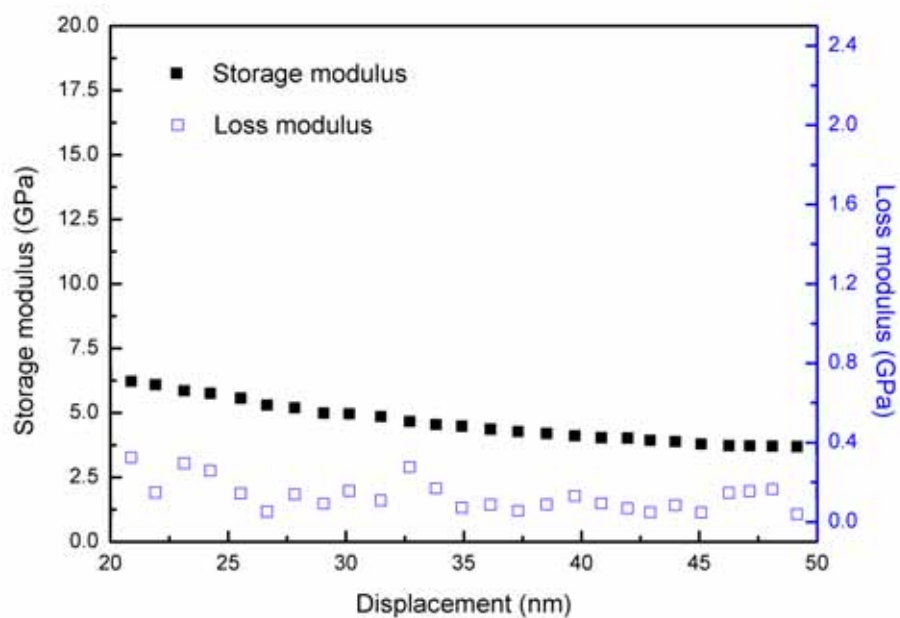


圖 2-6 配方 C：500 mM Phosphate 480 μ l +gelatin 20 μ l + Silicate sols 500 μ l (pH 9.0) 所合成之矽膠材料儲存/損失模數-位移圖

原子力顯微鏡 (AFM) 是以接觸模進行表面形貌之掃圖，並且可以顯示 3D 影像，是 SEM 所無法呈現的；因此，它能做高度差之比較，使得形貌之呈現更加完整。本實驗以掃描速率 0.1 Hz 及掃描線數 256 去觀察 $15 \times 15 \mu\text{m}^2$ 大小之樣本表面。從圖 2-7 可觀察到在牙齒有塗氟區與無塗氟區之鄰接處有一個非常顯著之差異，塗氟後之表面粗糙度將隨著氟化鈣聚集而增加，存積物的最小厚度約 316 nm，而其小山丘之平均高度從存積物表面量測起約 $207.67 \pm 107.83 \text{ nm}$ 。因此，塗氟處理後存積物之相對於無塗氟區的平均高度約 $523.90 \pm 43.00 \text{ nm}$ 。又表面粗糙度之表示法可分為：均方根平均粗糙度 (Rq)、平均粗糙度 (Ra) 和最大粗糙度 (Rmax)。

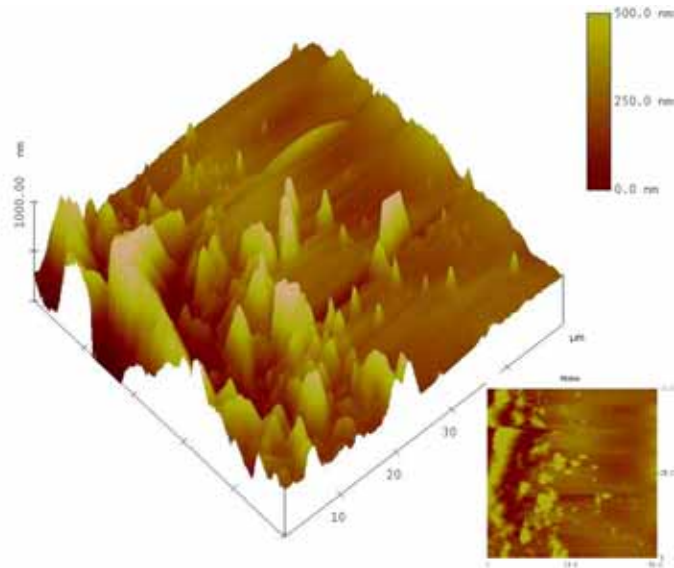


圖2-7 塗氟化鈉區域鄰接牙釉質區域圖

從圖 2-8 得知，牙齒在塗氟後之表面性質 ($R_q=69.30 \pm 5.22 \text{ nm}$, $R_a=51.28 \pm 3.92 \text{ nm}$, $R_{\text{max}}=523.90 \pm 43.00 \text{ nm}$) 是有顯著地高於鄰近控制組之表面 ($R_q=3.27 \pm 0.20 \text{ nm}$, $R_a=2.49 \pm 0.15 \text{ nm}$, $R_{\text{max}}=35.59 \pm 3.63 \text{ nm}$)。然而，從移除鬆結存積物後之表面，其表面粗糙度又與控制組非常接近 ($R_q=3.94 \pm 0.90 \text{ nm}$, $R_a=3.03 \pm 0.69 \text{ nm}$, $R_{\text{max}}=38.99 \pm 8.56 \text{ nm}$) (表 2-1)。

奈米硬度及奈米複合彈性模數之量測理論與計算是依據 Oliver and Pharr equation，也就是力與位移關係在 load-unload cycle of the Nanoindentation 求得。從圖 2-9 可以看出，奈米壓痕器施加 $200 \mu\text{N}$ 之力於單一顆氟化鈣上，得知奈米硬度為 $0.77 \pm 0.10 \text{ GPa}$ ，奈米複合彈性模數為 $53.35 \pm 4.63 \text{ GPa}$ 。而奈米壓痕器施加 $1000 \mu\text{N}$ 之力於控制組牙釉質上，得知奈米硬度為 $5.29 \pm 0.13 \text{ GPa}$ ，奈米複合彈性模數為 $86.12 \pm 1.01 \text{ GPa}$ 。因此，從實驗結果中顯示出，塗氟處理將造成奈米硬度及奈米複合彈性模數顯著地下降。

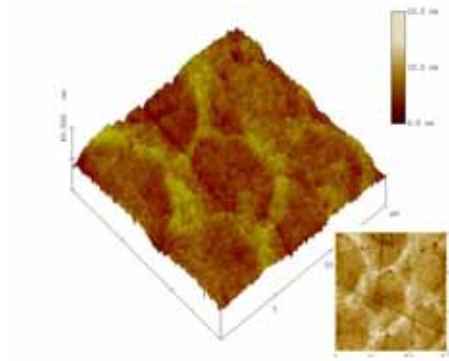


圖 2-8 (a) 為 enamel 表面形貌圖

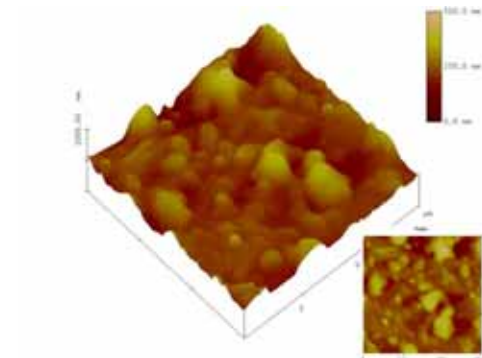


圖 2-8 (b) 為塗上氟化物之表面形貌圖

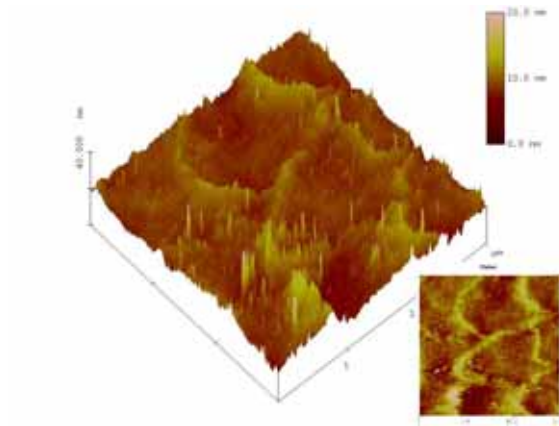


圖 2-8 (c) 為將氟化物清洗掉後其 enamel 表面形貌圖

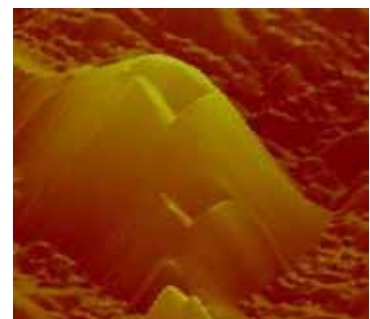


圖 2-9 塗上氟化鈣之奈米壓痕圖

圖 2-10 為 nanoindent 測量單一個氟化鈉沉積物，根據實驗的 load-unloading 圖形資料得到沉積物的奈米硬度計算得 0.77 ± 0.10 GPa，同時得到楊氏係數(elastic modulus) 53.35 ± 4.63 GPa，而牙釉質表面的值為 5.29 ± 0.13 GPa，楊氏係數為 86.12 ± 1.01 GPa(如表 2-1)。

而經 KOH 清洗，去除表面沉積物，位在氟化物處理之下的表面硬度為 5.05 ± 0.25 GPa，楊式係數為 85.32 ± 4.17 GPa(如表 2-1)，略小於最初無處理的牙釉質表面，但無明顯差異。

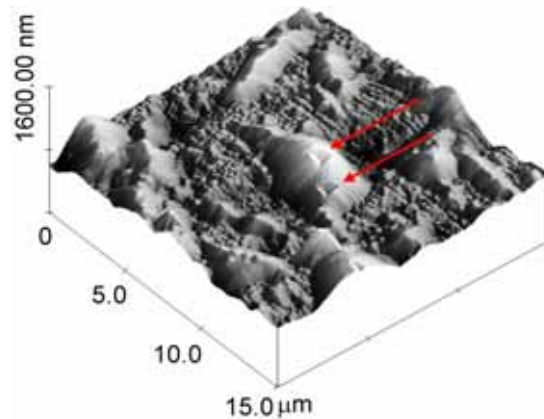


圖 2-10 奈米壓痕測量單一個氟化鈉沉積物

	Enamel Surface Treatment ^a			
	2% NaF	Native enamel	2% NaF + KOH	KOH alone
Surface Roughness ^b (n = 25/treatment group)				
R _q	69.30 ± 5.22	3.27 ± 0.20	3.94 ± 0.90	3.52 ± 0.65
R _a	51.28 ± 3.92	2.49 ± 0.15	3.03 ± 0.69	2.77 ± 0.55
R _{max}	523.90 ± 43.00	35.59 ± 3.63	38.99 ± 8.56	33.62 ± 3.77
Mechanical Properties (n = 25/treatment group)				
Hardness (GPa)	0.77 ± 0.10	5.29 ± 0.13	5.05 ± 0.25	5.23 ± 0.18
Er-modulus (GPa)	53.35 ± 4.63	86.12 ± 1.01	85.32 ± 4.17	85.99 ± 1.27
Mean Scratch Residual Depth (nm)	76.68 ± 10.89	14.08 ± 1.52	16.17 ± 1.35	14.51 ± 1.30

表 2-1 為 Enamel 表面粗糙度與機械性質

本研究也探討牙齒在人體溫度 37°C 其機械性質。圖 2-11 為利用奈米壓痕加熱平台對牙齒 Enamel 表面進行機械性質量測，由圖可以看到對牙齒加熱到攝氏 37°C 時，其硬度與複合模數皆比未加熱前(表 2-1)明顯降低許多，因其牙釉質之結構在受熱後可能有軟化趨勢，致使其機械性質皆有明顯變化。因牙齒的熱傳導係數很低，其牙釉質表面受熱的均勻度不一，所以其硬度與複合模數其值大約在 4.84~5.52 GPa 與 66.56~80.69 GPa。

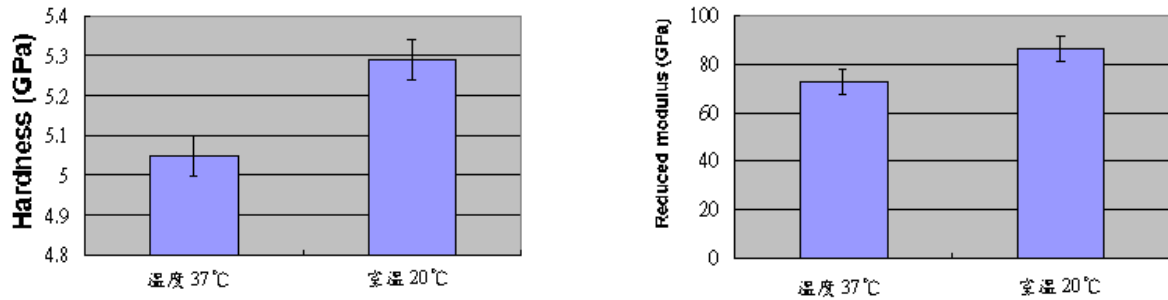


圖 2-11 為加熱到攝氏 37°C 之硬度與複合模數圖

(二)材料製程溫度下之機械性質(溫度-10⁰C ~ 200⁰C)

現今材料之應用，極少狀況是只單純在室溫下使用。而在不同溫度下，溫度效應將會明顯地影響材料之機械性質與材料行為。在精準之溫度控制系統下，將可有助於奈米壓痕系統於真實環境溫度下獲得材料之機械性質

本溫控測試系統乃採用 Hysitron 所開發之加熱/冷卻系統。此加熱/冷卻系統之溫控範圍為-10 °C ~ 200 °C。此系統包含兩部份:第一部份為 Hysitron Heating / Cooling System，第二部份為 Hysitron Heating / Cooling Stage(圖 2-12)。壓痕探針軸採用絕熱、低熱膨脹係數之陶瓷材料以降低探針與試片之溫差。加入絕熱與熱移除組件使得加熱平台隔離於其所放置之 TriboIndenter 平台。同樣的熱移除組件亦被安置於試片與轉換器之間，以確保轉換器之量測，屏蔽從視片與加熱平台所產生之熱傳導。此外在冷卻試片過程可使用氣體傳送系統，以降低水汽凝結於試片表面。

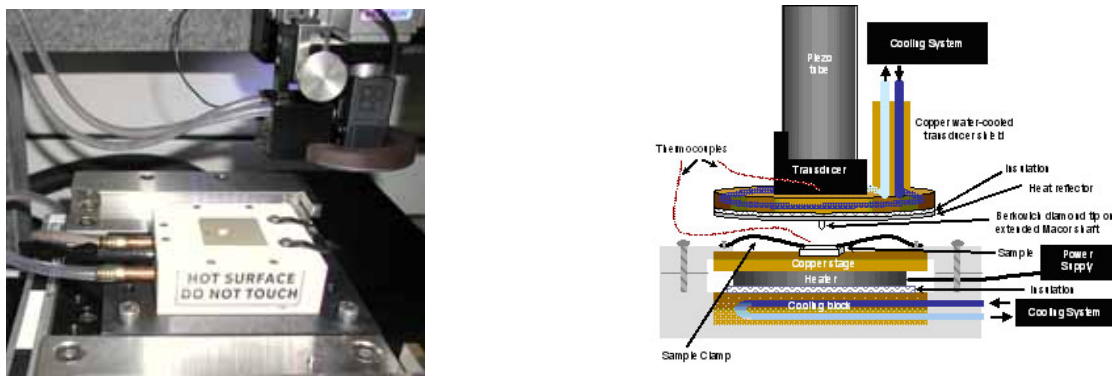


圖 2-12 材料製程溫度下之量測裝置圖

基材上成長類鑽薄膜之應用已日漸受到重視。其原因乃由於類鑽膜具有優異之物理與化學性[2-5]。如高傳導係數特性，可用於製作散熱元件；高硬度與高模數特性，可用於抗磨耗之鍍膜應用。抗酸鹼特性，可用於抗腐蝕之鍍膜應用。類鑽薄膜之應用廣泛且其製程成本遠低於成長鑽石膜所須之成本，故類鑽鍍膜的產業前景具有相當的潛力。本計畫之材料製程溫度下之機械性質實驗測試所採用的材料為類鑽薄膜/矽基材。如圖 2-13 所示，類鑽薄膜之厚度為~1 μm。表面粗糙度為 2.632 nm(圖 2-14 所示)。而實驗所採用之參數如下：射頻-電漿輔助化學氣相沉積系統，功率為 40 W；通入氣

體為以乙烯與氫氣，乙烯之流率為 10 sccm。工作壓力為 0.3 torr。沉積時間為 5 分鐘。

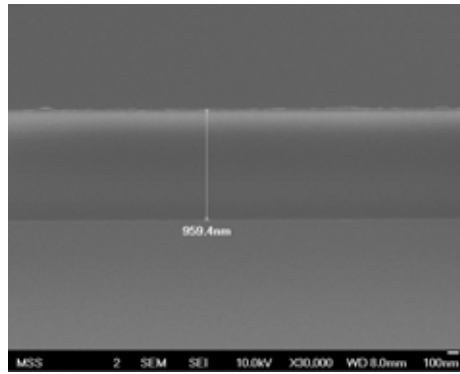


圖 2-13 類鑽薄膜/矽基材之 SEM 影像(截面圖)

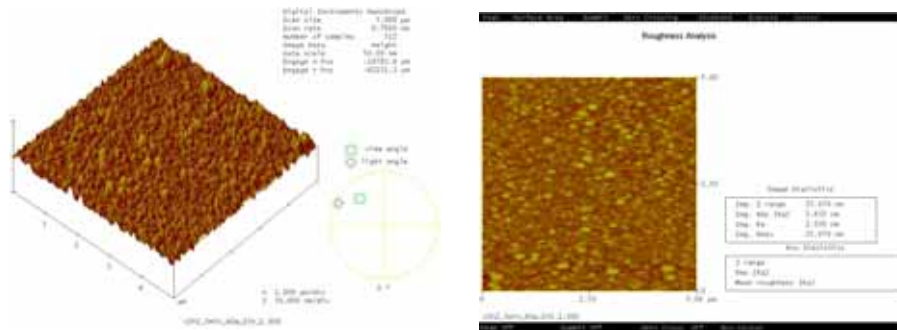


圖 2-14 類鑽薄膜之 AFM 表面形貌

量測相關之機械性質如硬度與複合模數時，奈米壓痕的深度以不超過待測膜厚之十分之一為原則，以降低基材的效應。由於本計畫所採用類鑽膜的膜厚為 $\sim 1 \mu\text{m}$ ，故所壓痕的深度如圖所示皆在合理的範圍內。本實驗乃在三種溫度下進行量測，分別為 25°C ， 125°C ， 175°C 。結果如圖 2-15 所示，隨著溫度的增加，最大壓痕深度也隨之增加，此乃因溫度的增加造成類鑽膜軟化，使得壓痕深度增加。當溫度為 25°C 時，硬度與複合模數分別為 15.6 GPa 與 134.8 GPa 。當溫度增加至 125°C 時，硬度與複合模數分別為 12.9 GPa 與 123.2 GPa 。當溫度增加至 175°C 時，硬度與複合模數分別為 12.1 GPa 與 109.2 GPa 。

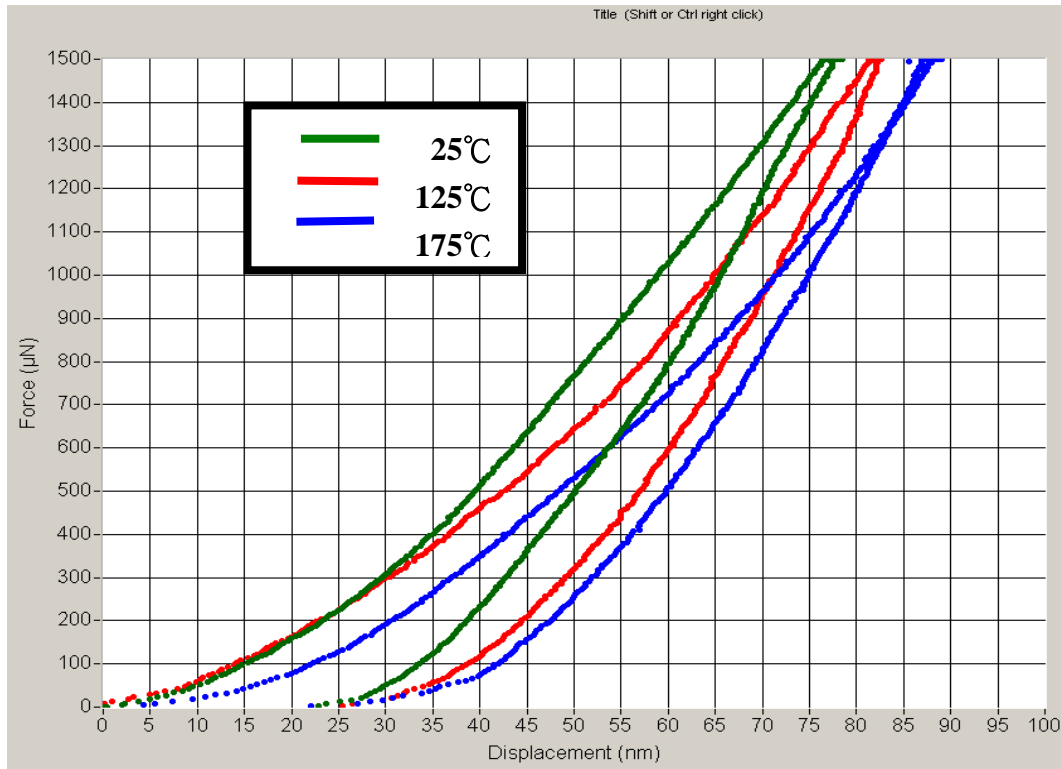


圖 2-15 類鑽薄膜於不同溫度下之負載-位移曲線

類鑽薄膜/矽基材之機械性質會隨基板溫度而改變的現象，可由拉曼光譜分析獲得合理之解釋。拉曼光譜可提供原子間鍵結的資訊，是一種非破壞性的檢測方法。尤其在分析碳材方面，拉曼光譜是一個非常好用的工具，因為碳材相關之結構易被拉曼之特徵光譜呈現出來[2-6]。故藉由拉曼光譜分析可獲得類鑽薄膜之鍵結狀況。如下圖 2-16 所示，D peak 為 disorder graphite Peak $\sim 1380 \text{ cm}^{-1}$ ；G peak 為 graphite peak ($\sim 1580 \text{ cm}^{-1}$)，而由 I_D/I_G 大小除了可獲得平均石墨結晶寬度 (L_a) 的大小外[2-7]，亦可得知材料內部之 sp^3/sp^2 之比值變化；當溫度由 25°C 增至 125°C 時， I_D/I_G 由 0.704 增至 0.832。且 G 峰 (G Peak) 值位置往高波數 (wave number) 位移。這代表在高溫下， sp^3 鍵結的比例將會降低，而 sp^2 鍵結的比例將會增加。而 sp^3 鍵結的比例降低將會造成類鑽膜之機械性質如硬度與複合模數的降低[2-8]。

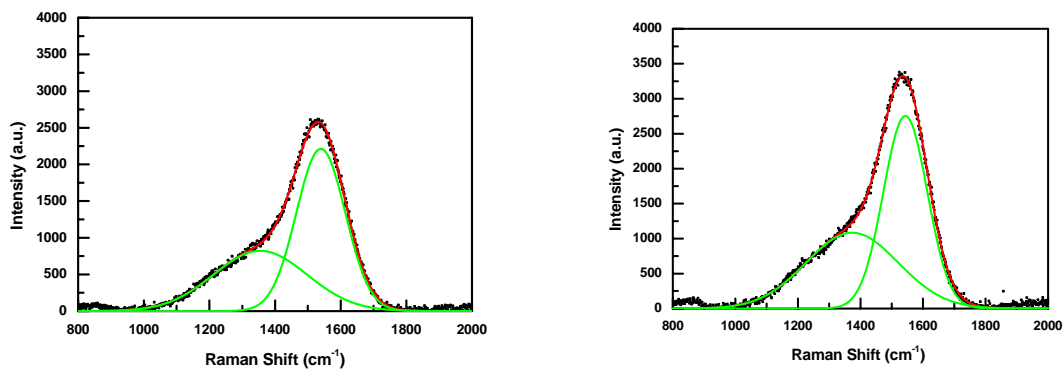


圖 2-16 類鑽薄膜之拉曼光譜(a)基板溫度: 25°C ；(b)基板溫度: 175°C

(三) 微小力量勁度傳感器量測(Stiffness<5.5 mN/μm)

微奈米機械性質量測系統除了可以進行微小拉伸實驗外，還可以利用適當的機構與程式控制，來量測微小結構之勁度值，透過此勁度量測可將微小力量標準傳遞至其他微小施力系統，以建立微小力量之量測標準一致性與追溯性。本研究目的是為了評估微小力量量測系統量測微小結構勁度值的能力，並對此微小結構之勁度量測的不確定度進行相關估算。採用 ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995" [2-9]中所建議的方式進行評估。所利用之設備如下表 2-2 與圖 2-17 所示。

表 2-2:系統設備

名稱	廠牌	型號
微奈米機械性質量測系統	MTS	Nano UTM

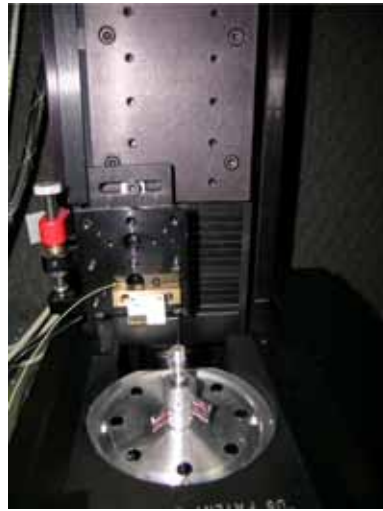


圖 2-17 勁度傳感器機構架設示意圖

考慮所要量測的微小力量勁度傳感器為懸臂樑，由材料力學之公式得知

$$y_L = \frac{FL^3}{3EI_z} \quad , \quad I_z = \frac{bh^3}{12}$$

其中 y_L ：懸臂樑在距固定端L(m)處的變形量(m)，

F ：施加於懸臂樑的負載(N)，

E ：楊氏係數(N/m²)，

I_z ：懸臂樑慣性矩(m⁴)，

b, h, t, L ：懸臂樑之相關尺寸(m)

故懸臂樑之勁度 S (N/m)，
$$S = \frac{F}{y_L} = \frac{3EI_z}{L^3}$$

試驗過程中需注意進行系統開機，溫機 30 分鐘以上始可進行量測，且在架設量測機構時，NMAT 單元之保護插不可被拔除避免被意外碰撞。對於每次量測，擷取” Load on Specimen” 上升曲線最高點前 20 個數據(如表 2-3)。對表 2 數據進行線性迴歸分析，所得之斜率即為該次量測之勁度值(如表 2-4)。

表 2-3 懸臂樑(材質 Ni)量測數據

Run 1		Run 2		Run 3		Run 4		Run 5	
a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
132.18049	0.04098	132.18042	0.04095	132.17995	0.04636	132.17991	0.04256	132.17895	0.06055
132.17949	0.04306	132.17939	0.04176	132.17894	0.04568	132.17888	0.04339	132.17792	0.05979
132.17849	0.04350	132.17841	0.04233	132.17795	0.04743	132.17791	0.04367	132.17694	0.06112
132.17748	0.04336	132.17741	0.04296	132.17694	0.04905	132.17690	0.04532	132.17593	0.06492
132.17648	0.04582	132.17640	0.04435	132.17596	0.04862	132.17591	0.04586	132.17493	0.06447
132.17551	0.04682	132.17543	0.04550	132.17497	0.05045	132.17493	0.04661	132.17393	0.06510
132.17450	0.04617	132.17439	0.04648	132.17395	0.05143	132.17389	0.04787	132.17293	0.06614
132.17351	0.05033	132.17341	0.04705	132.17295	0.05602	132.17289	0.04918	132.17192	0.07147
132.17246	0.05075	132.17242	0.04909	132.17196	0.06153	132.17191	0.05357	132.17094	0.07669
132.17149	0.05033	132.17139	0.05011	132.17095	0.05897	132.17090	0.05339	132.16993	0.07289
132.17047	0.05566	132.17042	0.05065	132.16994	0.05671	132.16991	0.05349	132.16895	0.07029
132.16948	0.06029	132.16941	0.05692	132.16896	0.05907	132.16889	0.05937	132.16791	0.07296
132.16848	0.05791	132.16843	0.06275	132.16794	0.06469	132.16791	0.06337	132.16692	0.07409
132.16748	0.05698	132.16741	0.05970	132.16692	0.06945	132.16690	0.06612	132.16592	0.07591
132.16647	0.06342	132.16640	0.05890	132.16595	0.07359	132.16588	0.06408	132.16493	0.08211
132.16549	0.06875	132.16540	0.06369	132.16495	0.06961	132.16490	0.06289	132.16394	0.08765
132.16448	0.07194	132.16439	0.07053	132.16394	0.06875	132.16389	0.06970	132.16292	0.09300
132.16350	0.07636	132.16343	0.07611	132.16296	0.07577	132.16290	0.07735	132.16194	0.09610
132.16249	0.08588	132.16240	0.09687	132.16197	0.10061	132.16190	0.09444	132.16093	0.12279
132.16149	0.13806	132.16142	0.14492	132.16095	0.15850	132.16089	0.14949	132.15995	0.17223

<註>：a 值：系統 Extension 值(mm)；b 值：Load on specimen(mN)。

表 2-4 微小力量勁度傳感器勁度量測值

測試件	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	平均值	標準差
試件 Ni	0.00384	0.00425	0.00420	0.00418	0.00446	0.00419	0.00022
試件 Si	0.12111	0.12265	0.12389	0.12929	0.13098	0.12558	0.00431

單位：mN/ μ m

考慮量測系統所受之影響，其不確定度源考慮如下：

(1)系統測長不確定度

依參考資料[2-10]，再考慮因量測結果是以相對位置進行計算，故可以去除器差之影響，系統測長之不確定度源資料簡列如下：

(a)雷射干涉儀在靜止狀態下的零點漂移

其標準不確定度 $u_1=4.37\times 10^{-8}$ (m)，自由度 $v_1=39$ 。

(b)雷射的追溯校正

其標準不確定度 $u_2 = 1.50 \times 10^{-10}$ (m)，自由度 $\nu_2 = 12.5$ 。

(c)由於空氣、溫度、波動而引起空氣折射率改變

其標準不確定度 $u_3 = 4.36 \times 10^{-7}$ (m)，自由度 $\nu_3 = 12.5$ 。

(d)阿貝誤差與餘角誤差

其標準不確定度 $u_4 = 4.50 \times 10^{-7}$ (m)，自由度 $\nu_4 = 12.5$ 。

(e)量測光路與垂直軸的角度誤差

其標準不確定度 $u_5 = 4.50 \times 10^{-7}$ (m)，自由度 $\nu_5 = 12.5$ 。

(f)測長系統量測重複性

其標準不確定度 $u_6 = 1.19 \times 10^{-6}$ (m)，自由度 $\nu_6 = 90$ 。

則測長系統之標準不確定度 u_L ，

$$u_L = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 1.42 \times 10^{-6} \text{ (m)},$$

自由度 ν_L ， $\nu_L = 128$ 。

(2)系統荷重不確定度

使用一組標準法碼進行本系統 0.1 mN ~ 20 mN 力量範圍的校正，校正原始數據如參考資料[2-11]，計算各校正點的不確定度值如下表 2-5，其中與荷重相關的不確定度源分述如下：

(a)法碼質量的不確定度所引起的力量標準不確定度 u_7

因所使用的法碼符合OIML R111 之E₂級法碼，故假設其密度為 8000 kg/m³，且空氣的密度為 1.2 kg/m³。實驗室的重力加速度值 $g = 9.78913956$ m/s²，法碼質量所產生的力值及其力量不確定度值所分列於表 2-5 中。

(b)荷重系統之重複性標準不確定度 u_8

荷重系統之重複性所引起的標準不確定度可以校正數據標準差表示，數據如表 2-5。

(c)荷重系統校正之器差標準不確定度 u_9

由於為實務使用方便，不擬修正荷重系統之器差，而將此器差納為不確定度源之一，假設此器差之機率分配為矩形分配，其標準不確定度詳見表 2-5。

荷重之組合標準不確定度 u_F ， $u_F = \sqrt{u_7^2 + u_8^2 + u_9^2}$ ，因本次量測使用的力值大小介於 0.1~0.2(mN)之間，故取 $u_F = 0.00183$ mN。

表 2-5 MTS 微奈米機械性質量測系統之荷重系統不確定度評估

力量公稱值 (mN)	校正用法碼				荷重系統		器差 (mN)	器差標準不確定度 (mN) u_9	組合標準不確定度 (mN) u_F
	質量 (mg)	標準不確定度 (mg)	法碼所產生的力值(mN)	標準不確定度所對應的力值(mN) u_7	系統校正平均值 (mN)	校正值標準差 (mN) u_8			
20	2000.0057	0.00320	19.61336	3.138E-5	19.64272	0.00731	0.02936	0.00848	0.01119
10	1000.0044	0.00310	9.80669	3.040E-5	9.82575	0.00411	0.01906	0.00550	0.00687
5.0	499.9983	0.00150	4.90331	1.471E-5	4.91140	0.00095	0.00809	0.00234	0.00252
2.0	199.98819	0.00083	1.96121	8.140E-6	1.96142	0.00303	0.00021	0.00006	0.00303
1.0	99.99481	0.00062	0.98061	6.080E-6	0.98238	0.00145	0.00018	0.00005	0.00154
0.5	50.00262	0.00067	0.49036	6.570E-6	0.49048	0.00086	0.00012	0.00003	0.00086
0.2	20.00136	0.00054	0.19615	5.296E-6	0.19683	0.00156	0.00068	0.00020	0.00157
0.1	10.00044	0.00046	0.09807	4.511E-6	0.09847	0.00183	0.00040	0.00012	0.00183

(3)量測重複性

依表 2-5，令量測重複性所引起的標準不確定度 u_R =量測值的實驗標準差，故 $u_R=5.159 \times 10^{-4}(\text{mN}/\mu\text{m})$ ，自由度為 4。

組合標準不確定度計算

$$\text{組合標準不確定度 } u_s, u_s = \sqrt{(C_F \times u_F)^2 + (C_{y_L} \times u_{y_L})^2 + (C_R \times u_R)^2}$$

1.試件 Ni 的組合標準不確定度

引用表 2-3 的 Run 1 數據，各不確定度源之靈敏係數計算如下：

$$C_F = \frac{\partial S}{\partial F} = \frac{1}{y} = \frac{1}{14.99} = 6.671 \times 10^{-2} (1/\mu\text{m}) ;$$

$$C_{y_L} = \frac{\partial S}{\partial y_L} = \frac{-F}{y^2} = \frac{-0.09224}{14.99^2} = -4.105 \times 10^{-4} (\text{mN}/\mu\text{m}^2) ;$$

$$C_R = 1 ;$$

故 $u_s=6.04 \times 10^{-4}(\text{mN}/\mu\text{m})$ 。

2.試件 Si 的組合標準不確定度

引用相關試驗數據，各不確定度源之靈敏係數計算如下：

$$C_F = \frac{\partial S}{\partial F} = \frac{1}{y} = \frac{1}{13} = 7.692 \times 10^{-2} (1/\mu\text{m}) ;$$

$$C_{y_L} = \frac{\partial S}{\partial y_L} = \frac{-F}{y^2} = \frac{-1.54842}{13^2} = -9.162 \times 10^{-3} \text{ (mN/}\mu\text{m}^2\text{)} ;$$

$$C_R = 1 ;$$

$$\text{故 } u_s = 1.37 \times 10^{-2} \text{ (mN/}\mu\text{m)} .$$

決定擴充係數及相對擴充不確定度

$$\text{有效自由度 } \nu_{\text{eff}} = \frac{u_s^4}{\frac{(C_F \times u_F)^4}{\nu_F} + \frac{(C_L \times u_L)^4}{\nu_L} + \frac{(C_R \times u_R)^4}{\nu_R}} > 60 ,$$

在 95%信心水準下，令擴充係數 $k=2$ ，故

$$(1) \text{ 試件 Ni 之擴充不確定度 } U_s = 2 \times 6.04 \times 10^{-4} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ (mN/}\mu\text{m)} ;$$

$$\text{相對擴充不確定度為 } 3.3 \times 10^{-1} .$$

$$(2) \text{ 試件 Si 之擴充不確定度 } U_s = 2 \times 1.37 \times 10^{-2} = 2.8 \times 10^{-2} \text{ (mN/}\mu\text{m)} ;$$

$$\text{相對擴充不確定度為 } 2.3 \times 10^{-1} .$$

從表 2-4 可知本次系統量測之勁度值範圍為 $(4.19 \times 10^{-3} \sim 1.26 \times 10^{-1})$ mN/ μ m，並證明該系統可量測之勁度值小於 5.5 mN/ μ m。

【技術創新】

隨著科技開發重心逐漸由傳統巨觀系統移至微觀世界裡，微奈米感測器與致動器等元件廣泛的應用於各種工業領域上，如半導體、微機電、太陽能及顯示器等產業皆需薄膜製程。元件之設計製作與採用的薄膜材料休戚相關，因此薄膜材料本身所呈現之機械特性亦關係著產品之壽命與可靠度。由於微奈米級薄膜厚度甚薄，傳統之測試方法不易量測薄膜之機械性質。數十年來學者與業界莫不致力於開發相關之薄膜機械性質量測方法。國家標準實驗室微奈米拉伸測試系統(Micro/Nano tensile testing system)，由於具有小力量與精密位移之傳感器，因此可廣泛應用於薄膜材料(Thin films)與纖維或線材(Fiber/wire materials)之研究。為了增加其應用性，透過設計的機構與程式控制，來量測微小結構之勁度值，透過此勁度量測可將微小力量標準傳遞至其他微小施力系統，以建立微小力量之量測標準一致性與追溯性。本技術目的是為了評估微小力量量測系統量測微小結構勁度值的能力，並對此微小結構之勁度量測的不確定度進行相關估算。另外，傳統拉伸測試僅能獲得材料之楊氏模數，並無法獲得材料之密度等特性，因此本計畫提出一光學式微奈米機械裝置與方法來獲得材料之密度與浦松比，以擴充微奈米機械性質量測系統之應用。

【突破之瓶頸】

材料製程溫度下之機械性質變化是目前許多業界所急需的，如光電產業、電子構

裝、生醫產業。然而一般的測試規範多為室溫下進行，其與產業界所面對之製程環境與應用環境相差甚大。本計畫所建立之溫度調變之奈米壓痕測試系統，可在不同溫度下進行奈米壓痕量測，以獲得材料壓痕硬度、壓痕模數與黏彈特性於不同溫度下之材料機械性質變化。此外，本計畫亦完成不同溫度下之薄膜機械性質量測，與在 37°C 下之生醫材料之機械性質量測，使產業可獲得薄膜於真實環境中溫度對其機械性質之影響；與生醫材料或生醫組織於不同環境下之機械性質差異。

【待改善之處】

有關微小結構的勁度量測能力，由表 3 數據已可證明本系統可量測之最小勁度值小於 10^{-2} mN/ μ m。而本系統勁度量測的最大不確定度來源為勁度量測重複性所引起，此原因乃是我們採用的”Zero Extension Utility” 測試方法為動態測試(記錄即時的力量與形變的關係)，再加上對量測數據進行線性迴歸分析，故導致量測不確定度值增大。若日後能利用系統的座標移動指令對待測微結構做有效且安全的微米級移動，則測試方法可改成靜態式，即在微結構受力變形後的穩定狀態下，才記錄相關力量與形變數據。如此預估量測不確定度值可再縮小。

此外在溫度調變之奈米壓痕測試系統方面，由於生物組織備製樣本之高度與奈米壓痕量測系統之匹配度，以及溫度變化過程所產生之環境擾動仍有可能對於實驗造成影響，未來將致力於改善相關問題，以增加量測之精準性。

【後續工作構想及重點】

微奈米機械性質量測系統應用於薄膜機械性質材料楊氏模數之研究與提供對微小結構勁度之量測技術。在評估其不確定度後，可朝對外服務與建立新技術為後續工作重點，除提升國家實驗室能力外，亦可提供學術與業界對薄膜結構機械性質之測試需求。未來，除希望整合不同薄膜機械性質之量測技術外，亦考慮到薄膜在長時間操作下的可靠度(Reliability)，得考慮薄膜之殘留應力與熱膨脹係數(CTE)等機械性質。然而如之前所提到的，材料之薄膜與塊材的機械性質並不相同。因此，要萃取出薄膜之機械性質必須利用一些特殊方法，在後續的研究中會朝向開發整合型薄膜量測技術與探討不同量測機械性質系統對薄膜材料之影響。

此外，在生物組織之機械性質測試方面，目前雖已完成生物組織於 37°C 下之機械性質測試，未來希望往高溫與低溫下進行相關測試。並且研究的範圍希望擴大，如頭髮、軟骨與指甲等其他生醫組織。希望能建立一完整之生醫組織於不同溫度下之機械性質資料庫。

三、微流量測標準技術分項計畫

【本年度目標】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術

建立光度法單劑量量測技術與能量，可檢測能量向下延伸達 10 nL，並可追溯至國家度量衡標準實驗室。本年度目標為完成光機整合測試、量測分析計算軟體撰寫，以及微奈升單劑量量測驗證。

(二)建立微流晶片流體計量與控制技術

發展以離散液滴為工作流體的數位操控晶片，可達成分注、移動、切割、混合等功能之主動操控，並展示其在定量分注上的應用。本年度目標為完成數位微流晶片測試、定量分注實驗與理論驗證，以及數位流體邏輯操控軟硬體整合。

【本年度成果】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術

(i) 光吸收度量測裝置之設計、製作與驗證

本研究所欲建立之微/奈升級單劑量量測技術中，量測原理是依據 Beer-Lambert 定律為吸光度與溶液濃度之間的關係所建立之光度法；分光光度儀採用一個可以產生多波長光源，通過分光裝置，產生特定波長光源，並在穿透過測試樣品時被部分吸收。由於在線性範圍內樣品濃度與樣品吸光值成正比，故可藉由吸光值的量測以轉換得出濃度，而該濃度便可用以推算出分注體積量。

基於上述緣由及時間成本，本研究所採用之光路設計架構為一般分光光度儀之架構，根據應用需求調整細部規格，並依據此一光度架構再增加試劑旋轉混合機構模組，使量測儀器可在不取出承液瓶的情形下進行樣本液的混合。為使量測光徑在混合前後保持一致，需於模組中加上旋轉後自動定位的功能，採用旗標式電磁感應加以實現。而為確保分注樣本液能充分溶入承液瓶中的溶液並均勻混合，故在設計上要求模組的馬達在負載大於 80 g 時轉速可達 2000 rpm。計畫選用 Orientalmotor 的 α STEP 系列的 AS66AA 不失步步進馬達組組合，包含有 AS66AA 不失步步進馬達組合、CC01AIP AS 系列專用延長線、以及 SG8030J-U SG8030 系列脈波產生器，其詳細規格如下表 3-1、3-2 所示。

在試劑承液瓶方面，本計畫選用了容積為 5 mL，附螺旋蓋的圓形玻璃瓶，並自行設計其承載機構，設計圖如下圖 3-1 所示。下圖 3-2 則為整合了承載機構、不失步步進馬達、自動定位機制之旋轉混合機構模組的實體照片。綜合前述之光度儀、自行開發之旋轉混合機構模組及其控制器，本計畫完成了微奈升液體分注量量測儀的建立，如下圖 3-3 所示，搭配自行配置的試劑組，便可應用於微奈升液體分注量測試驗。

表 3-1 AS66AA 不失步步進馬達組合

項目	說明
激磁最大靜止轉矩	12 kgfcm
轉子慣性慣量	$405 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{kgm}^2$
解析度	0.36° /脈波(1000P/R 設定時)
電源輸入	電壓：單相 100V~115V；-15%~+10% 頻率：50/60Hz 電流：5 A
重量	馬達：0.85 kg 驅動器：0.8 kg

表 3-2 SG8030J-U SG8030 系列脈波產生器

項目	說明
控制軸數	單軸
定位資料	設定數：4STEP 設定方式：依據面板的觸控按鍵進行設定 設定方法：增量式
定位控制	方式：STEP 順序定位 SETP 選擇定位 移動量設定範圍：增量式方式 1~99999 脈波 啟動脈波速度設定範圍(VS)：100Hz~10kHz 運轉脈波速度設定範圍(VR)：100Hz~200kHz 加減速斜率設定範圍(TR)：1~100ms/kHz
脈波輸出方式	可選擇單脈波或雙脈波輸出方式
運轉模式	定位運轉 機械原點回歸運轉 連續運轉 單脈波運轉(僅限於測試模式)
控制模式	外部輸入模式 程式設定模式 測試模式
機械原點回歸功能	指定機械原點的檢知方向以檢知器來檢出原點
輸入信號	DC24V 光耦合器輸入 輸入電阻 4.7k Ω
輸出信號	光耦合器結合電晶體輸出 DC24V 以下 25mA 以下
電源輸入	DC24V \pm 5% 消耗電流 0.1A
使用環境溫度	0 $^\circ$ C~+40 $^\circ$ C
使用環境溼度	20%~85%

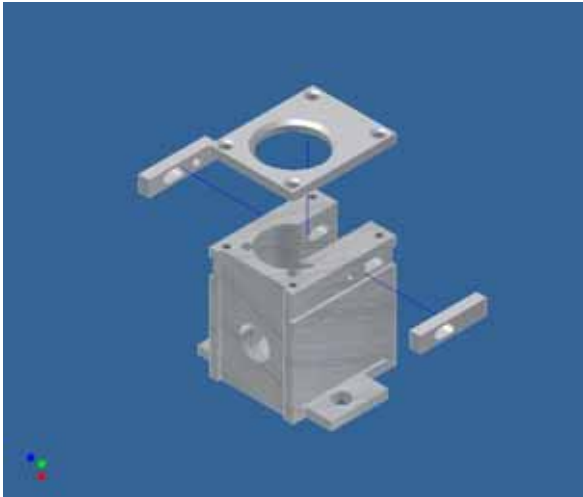


圖 3-1 承液瓶承載機構設計圖

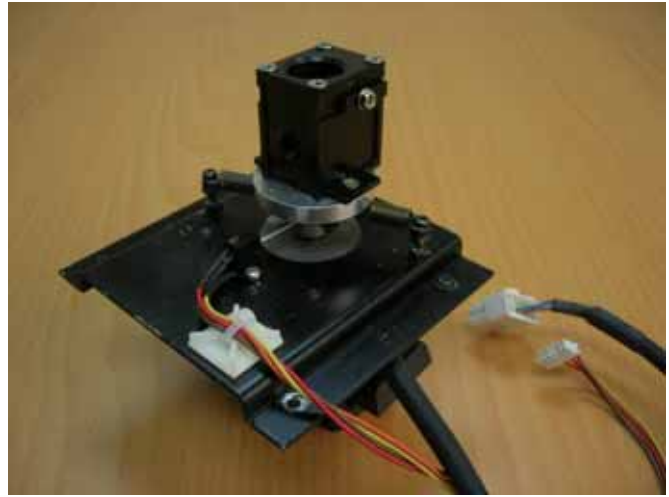


圖 3-2 旋轉混合機構模組實體照片



圖 3-3 微奈升液體分注量測儀

(ii) 奈升分注儀之應用說明

為達成本計畫進行奈升分注量測的目標，需配合一具有奈升分注能力的設備來進行相關試驗。本計畫選用了 Bio-dot 奈升分注儀，配合計畫進程採用短期租賃方式引進該設備以進行奈升分注量測試驗，該分注儀之實體圖如圖 3-4 所示。其程式操作設計模式需依循圖 3-5 右方之方塊圖來設計，圖 3-5 左方為其控制原理圖，使奈升分注器可以維持一個穩定壓力源來進行奈升分注。



圖 3-4 Bio-dot 奈升分注儀實體圖

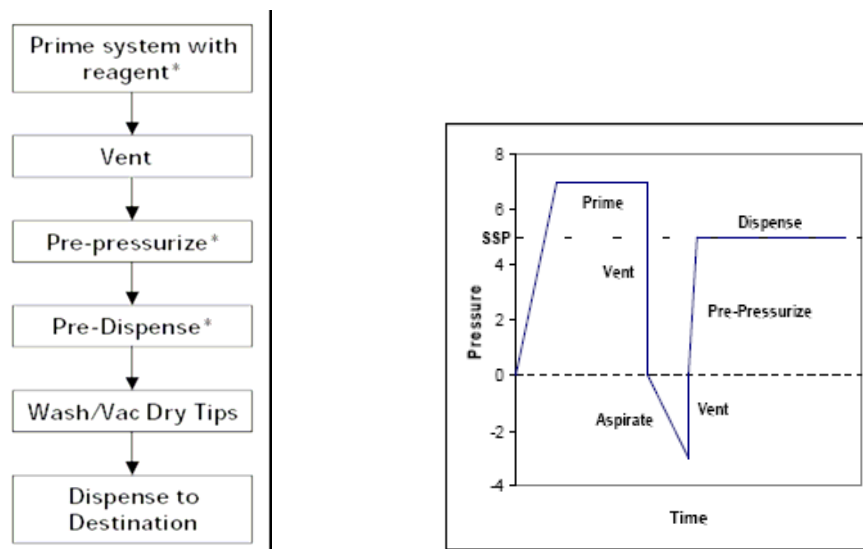


圖 3-5 奈升分注儀之程式方塊圖與控制原理圖

(iii) 奈升級單劑量量測能力試驗與計算

本計畫所採用之光度法分注量量測乃是依據 ISO 8655-7 [3-1]所載之非稱重標準方法，並參考 ISO/TR 16153 [3-2]進行量測不確定度評估。依據 ISO 8655-7 於附錄 A 與 B 所載之範例說明，光度法分注量量測可採兩種操作模式，分別為附錄 A 所述，使用未知光徑之可拋棄式承液瓶，以及附錄 B 所述，使用已知光徑(標稱值)、可重複多次量測的流穿式樣品槽(flow cell)。兩種模式都採用比率式光度法的原理以消除光徑的不確定度對量測結果所造成的影響。其中附錄 A 所採用的試劑組包括由染劑 Ponceau S 所配成，對波長為 520 nm 的光具有特性吸收的儲存原液(Stock Solution)、以 Phthalate 緩衝液為基礎，再添加氯化銅以及 EDTA，對波長為 730 nm 的光具有特性吸收的稀釋液(Diluent)、以及由前兩者加以混合，稀釋比 R 已知的標準溶液(Standard Solution)，用來提供兩波長吸光值比的參考值。附錄所採用的試劑與附錄 A 類似，唯其儲存原液之濃度較附錄 A 所用者為高，且其稀釋

液僅為 Phthalate 緩衝液，並未添加氯化銅及 EDTA，因此所配置的標準溶液對 730 nm 的波長亦不具特性吸收。以下分別介紹兩種方法的操作流程及量測計算公式。

在附錄 A 的方法中，只要量測之吸光值落於系統線性範圍內，便可重複添加儲存溶液(樣品液)至承液瓶內。量測時必須同時監控標準溶液吸光值，除非有足夠的數據證明試劑以及光度儀的穩定性。並且確保在讀值時承液瓶內沒有存在氣泡。其測量過程如下：

- (1) 準備承液瓶：精確在承液瓶內裝填體積為 V_D 的稀釋液。可同時準備多個承液瓶並且密封防止蒸散造成濃度改變。所使用的承液瓶必須是同一批次所製造，並確保瓶與瓶間對於光有均勻的吸收，必要的話測試瓶間的差異性並包含於不確定度的評估當中。
- (2) 光度儀歸零：將內含的緩衝液的承液瓶放置於光度儀中，於波長 520 nm 和 730 nm 位置歸零。
- (3) 測量標準溶液吸光值：使用同一承液瓶並移除緩衝溶液，以塑膠滴管吸取標準溶液洗滌承液瓶三次並裝填承液瓶。分別讀取標準溶液在 520 nm 以及 730 nm 的吸光值 A_{S1} 以及 A_{S2} ；拋棄此承液瓶。
- (4) 測量稀釋液的吸光值：將步驟(1)承液瓶的蓋子除去，並且放入光度儀內測量波長為 520 nm 以及 730 nm 的吸光值 A_{D1} 和 A_{D2} 。
- (5) 分注樣本液：在不移動承液瓶的情況下，使用待測分注器分注測試體積的儲存溶液到步驟(4)的承液瓶；啟動混合機制以充分混合此溶液。
- (6) 測量混合液中波長為 520 nm 的吸光值 A_U 。

由分注器所分注之未知體積 V_U 可代入由比爾定律所推導之式(3-1)計算得出：

$$V_U = V_D \left[\frac{\frac{A_U - A_{D1}}{A_{D2} - A_{D1}}}{\left(\frac{1-R}{R} \right) \frac{A_{S1}}{A_{S2}} - \left(\frac{A_U}{A_{D2}} - \frac{A_{D1}}{A_{D1}} \right)} \right] \quad (3-1)$$

附錄 B 的方法使用一流穿式樣品槽，藉由蠕動幫浦將承液瓶中的待測混合液推入樣品槽中，再經由光度儀進行光吸收值量測，每個承液瓶僅能進行一次分注。其測量過程如下：

- (1) 準備承液瓶：精確在承液瓶內裝填體積為 V_D 的稀釋液。可同時準備多個承液瓶並且密封防止蒸散造成濃度改變。此處所指的稀釋液僅含有緩衝溶液。
- (2) 準備混合液：使用待測的分注器分注待測體積的儲存溶液至承液瓶中。混合均勻後，將承液瓶放置於黑暗處直到其溫度與標準溶液一致。
- (3) 光度計歸零：將稀釋液通過樣品槽直到吸光值沒有改變為止。將光度計於波長 520 nm 和 650 nm 處歸零。
- (4) 量測標準溶液的吸光值：將標準溶液導入樣品槽中並且測量其吸光值。
- (5) 隨即將承液瓶中的混合液導入樣品槽並測量其吸光值。
- (6) 接下來每個測試點都需再一次確定標準溶液吸光值以及重新歸零避免量測結果的漂移。

分注器所分注之未知體積 A_U 可代入由比爾定律所推導之式(3-2)計算得出

$$V_U = V_D \left(\frac{A_U R}{A_S - A_U R} \right) \quad (3-2)$$

依據公式(3-1)與公式(3-2)，本計畫採用 Excel 軟體為平台完成了光度法單劑量量測分析計算軟體之撰寫，並據以進行分注量測實驗。軟體已預先將相關資料內建其中，先輸入待測分注量標稱值後，便可自動帶出適用之試劑組編號及其標準液之稀釋比作為分注量計算之用。實驗時，輸入承液瓶中所預先裝填的稀釋液體積，再輸入每次分注混合完畢後所測得之光吸收值，便可得出分注體積量。光度儀亦可直接將光吸收值輸出成 Excel 檔，將結果直接複製至計算軟體中，即可一次完成多筆量測數據計算，無須人工輸入，非常簡便快速。

在進行分注量測試前，需先對包含量測儀本身及試劑組在內的整體系統進行線性測試。依據 ISO 規範的指引，選用附錄 A 試劑組的儲存原液#1 進行序列稀釋，得到吸光值約在 0.3 至 1.6 的五個稀釋溶液。將該五溶液依序注入比色槽後置入量測儀中量測其吸光值，所得結果彙整如下圖 3-6 所示。所得之 R square 值為 0.999993，一次線性曲線可表示為 $Y=0.999390X+0.000972$ ，顯示在該吸收度範圍內系統之線性度良好，足以符合量測需求。

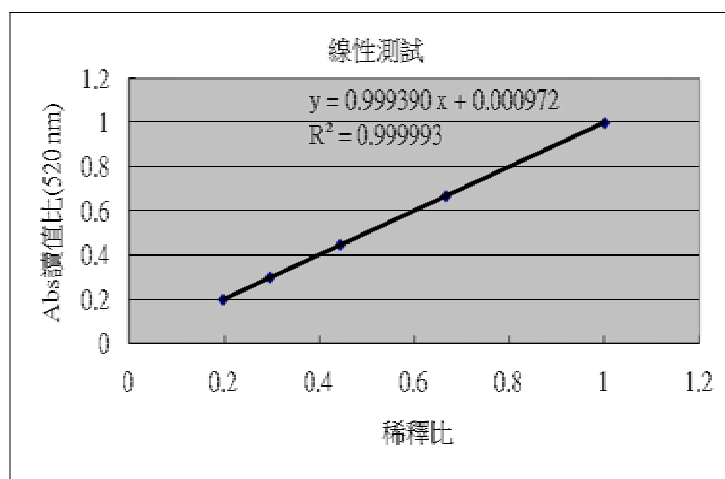


圖 3-6 系統線性測試結果

(iv) 奈升級單劑量量測光度法與稱重法比對試驗

為驗證所建立之光度法分注體積量測技術的有效性，本計畫分別參考前述附錄 A 與附錄 B 的方式，並依據實際設備與能量稍做調整，進行了一系列與稱重法的比對試驗。首先參考 ISO 8655-6 [3-3]所載之方法，以純水為工作流體，進行微量分注器(piston pipette)之校正，再以分注器為傳遞標準，驗證以附錄 B 光度法量測結果的準確性。所測試的分注量包括 1 μL 、5 μL 、10 μL 、20 μL 、50 μL 、100 μL 、200 μL 等，其中前三者採 Rainin 10 μL

pipette，後四者以 Rainin 200 μL pipette 進行操作。測試結果如下圖 3-7 所示，可以看出光度法量測所得結果與稱重法相當吻合，所得分注器器差結果趨勢亦一致。

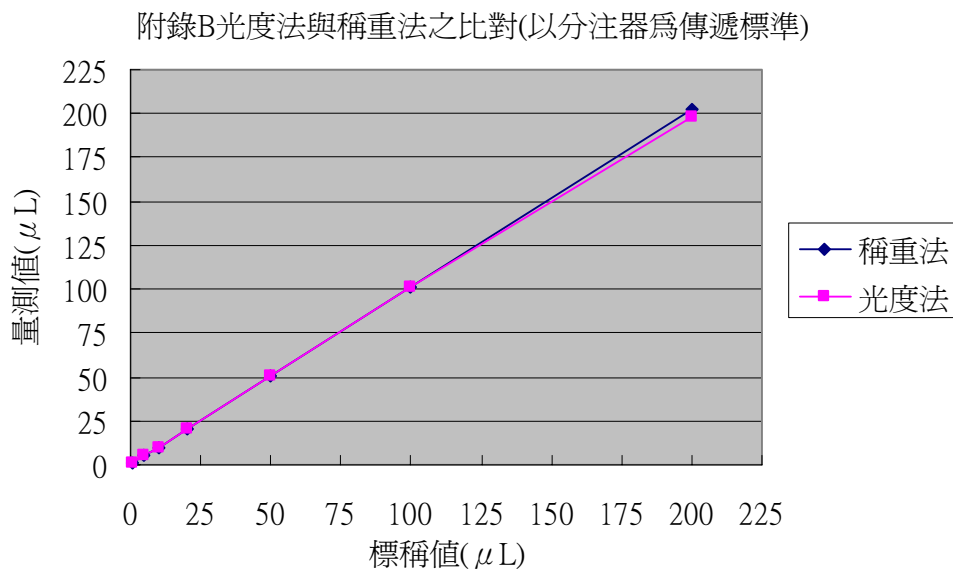


圖 3-7 以分注器為傳遞標準之附錄 B 光度法與稱重法量測比對結果

考量到以分注器作為傳遞標準件的方法驗證操作並非理想的方式，因分注器的分注結果受人員操作影響甚巨，故本計畫另參考了文獻[3-4,3-5]所載之方法，利用稱重法與光度法直接點對點的量測比對，進行不以分注器為傳遞標準件，而是僅作為移液工具的方法驗證。所採用的操作模式為附錄 A 光度法，所測之標稱分注量包括 0.2 μL 、0.5 μL 、1 μL 、2 μL 、5 μL 、10 μL 、20 μL 、50 μL 、100 μL 、200 μL 等，試驗方法描述如下。

使用六位數微量天平作為稱重器，將裝有儲存原液的承液瓶置於微量天平內，紀錄其原始重量，以 pipette 抽取所欲比對的體積量的原液，注入原先裝有稀釋液的承液瓶中，再記錄抽取後裝有原液的玻璃瓶置於微量天平內的重量，重複試驗 10 次，紀錄試驗全長時間，用於評估試驗過程中的蒸發量的影響，裝有混合液的承液瓶以光度儀量測其吸光值，再以光度法單劑量量測分析計算軟體計算出體積量。

由於稱重法的使用需配合樣本液的密度以換算為分注體積量，故本計畫先以 Anton Paar 的 DMA 58 密度計量測儲存原液#1 至#4 於 15 $^{\circ}\text{C}$ 、20 $^{\circ}\text{C}$ 、25 $^{\circ}\text{C}$ 、30 $^{\circ}\text{C}$ 時的密度值，製作回歸曲線以推得實驗狀態下原液的密度。測試結果發現原液的密度較水略高，且隨著試劑濃度越高，密度也會增加，然其密度仍與水十分接近。獲得試劑密度後，再參考文獻[3-6]算得以稱重法進行分注體積量轉換時所需的 Z 參數，並據以得出 pipette 從承液瓶中所取走之體積量。

稱重法與光度法直接比對量測所得結果如下圖 3-8 與 3-9 所示，其中圖 3-8 為與分注標稱值比對之相對器差，圖 3-9 為代表分注量測變異性的 CV 值。可以發現比對結果大致

上皆相當一致，特別是在 20 μL 以上的體積量。然圖 3-9 中亦可看出當分注體積量小於 10 μL 時，稱重法所得結果的變異性便開始大幅增加，且分注量越小越加顯著。相對地，光度法的量測結果雖也有變異增加的情形，然其增加的幅度遠小於稱重法。可見雖然 pipette 在小分注量時受人員操作的影響變得顯著，但量測方法本身仍可能對結果的變異性有相當程度的貢獻。下圖 3-10 為 0.2 μL 的實際量測結果，可以明顯地看出此一現象。

由前述試驗結果可知，於微奈升滴定時，稱重法量測確實有其極限所在，而在小分注量時，光度法量測計算所得相對稱重法所得更為準確一致，顯現出其在微小分注量量測時的優越性。

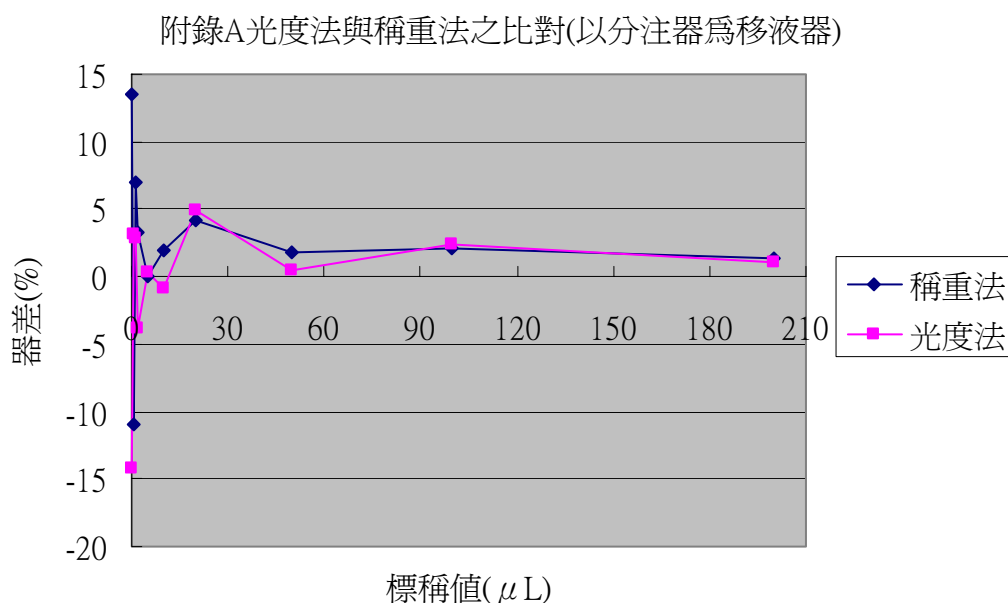


圖 3-8 以分注器為移液器之附錄 A 光度法與稱重法量測比對相對器差結果

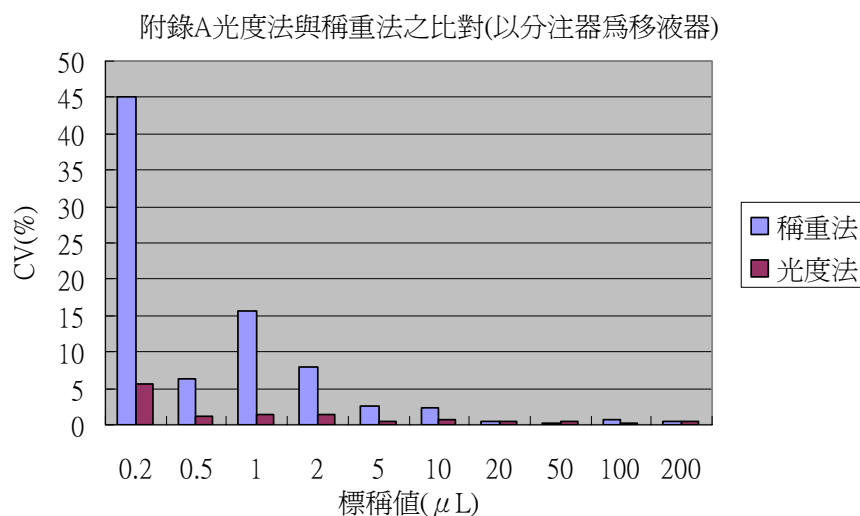


圖 3-9 以分注器為移液器之附錄 A 光度法與稱重法量測比對 CV 值結果

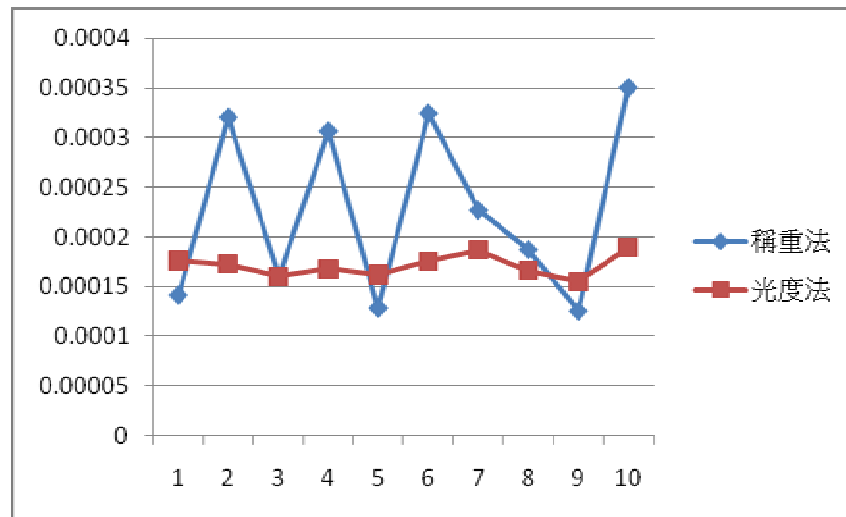


圖 3-10 0.2 μL 稱重法與附錄 A 光度法點對點量測比對結果

(vi) 奈升級單劑量量測不確定度評估

針對本研究一系列試驗所得結果，參考 ISO/TR 16153 進行量測不確定度評估，就 ISO/TR 16153 所述，因應 ISO8655-7 於附錄 A 與 B 所示之試驗方法，參照 ISO GUM [3-7] 的量測不確定度評估所建議的 A 類與 B 類方式，評估求得各變數量測的標準不確定度，然後將各量測變數的標準不確定度乘以其各自的靈敏係數值，再以取平方和之平方根方式將其合併，所得即為本研究的量測組合標準不確定度。以 ISO8655-7 附錄 A 的試驗方式為例，依據其所推導的理論公式與實際試驗情形，可大致歸納出的量測變數包括有光度儀在不同波長下對標準液、原液、稀釋液的儀器量測吸光值的量測不準確度，光度儀本身波長的飄移所造成對標準液、原液、稀釋液的吸光值量測不準確度，標準液、原液、稀釋液配置過程中體積抽取量所造成的量測不確定度，溫度所造成的量測不確定度，混合不完全所造成的量測不確定度，酸鹼值所造成的量測不確定度，蒸發所造成的量測不確定度，系統非線性所造成的量測不確定度等等，詳細的評估過程與數據結果將記錄於不確定度評估技術報告之中。

(二) 建立微流晶片流體計量與控制技術

(i) 定量樣本分注實驗與理論驗證

在本計畫前一年度的工作中，完成了採選擇性親疏水表面修飾達成定量樣本分注的數位流體晶片，並以理論推導預測其有效工作範圍及分注樣本體積量。本年度則在該工作的基礎上，進一步進行實驗以驗證該理論並將之應用於樣本濃度調控—在蛋白質結晶、細胞培養等常用到的實驗參數。下圖十一為本計畫所設計的接觸角觀測實驗，用於確認定量分注液珠在晶片中所形成的幾何形狀，看是否與理論模型所假設的相同；除可據以更精確地

算出分注體積量外，亦可決定所需採用的間隔層(spacer)之高度。

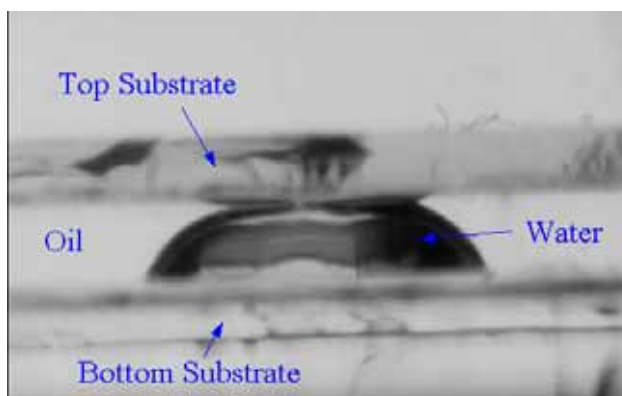


圖 3-11 驗證定量分注理論之接觸角觀測實驗

該定量分注技術在樣本濃度調控的應用實驗過程如下圖十二所示，先利用儲液槽取液的功能在上方的電極形成定量的稀釋液，再以選擇性親疏水定量分注產生不同體積的微量樣本液；將兩者混合後便可得出所需之不同濃度樣本溶液。該程序可重複進行以得出更多的濃度梯度。下圖十三為採用螢光分析展示該技術的可行性，其中最左側為樣本母液，有著最強的螢光，接著由左至右則為濃度逐漸增加的螢光樣本溶液。

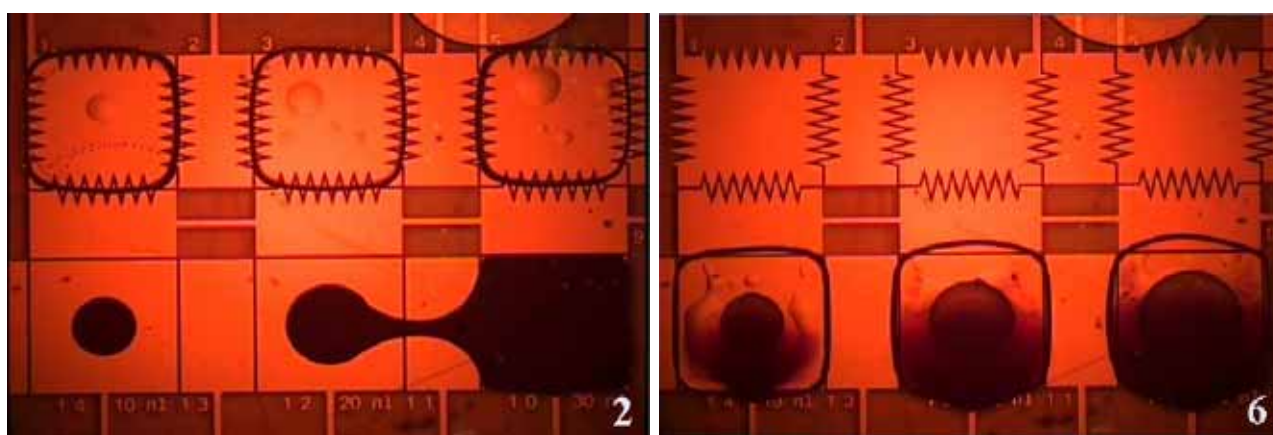


圖 3-12 定量分注技術在樣本濃度調控的應用實驗

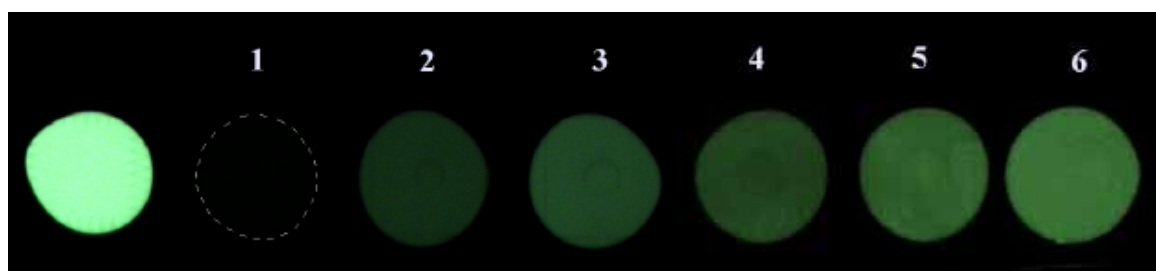


圖 3-13 樣本濃度調控實驗之螢光分析結果

(ii) 微流晶片多種樣本液操控測試

在先前計畫中已順利完成以水為傳輸測試液體，數位微流晶片已具有如 UCLA C.J.Kim *et al* 與 Duke Richard B. Fair *et al* [3-8]以及 Fair *et al* [3-9]所發表分注、移動、分離及混合等功能，本年度計畫中，不但完成以 PBS 為傳輸測試液體的測試工作，更是以 $1\mu\text{g}/\text{ml}$ 的 IgG 生物樣本液進行測試，經過一連串的實驗與改良，改善製程後的數位微流晶片不但有比較高的妥善率，以 IgG 生物樣本液進行測試時亦具有以水為傳輸測試液體相同效能，並使微流晶片之實用得到更進一步的確認。除此之外，為了更有效的控制生物樣本液的體積，本年度計畫更是在覆蓋之 ITO 玻璃上特別設計了兩長條形之 SU8 光阻，以做為微流晶片與覆蓋之 ITO 玻璃之間架空用，此方式不但可大幅改善以往使用雙面膠不易黏貼的困擾，由於 SU8 光阻具備無彈性及厚度易掌握之優點，使得數位微流晶片定量控制上更為精準。

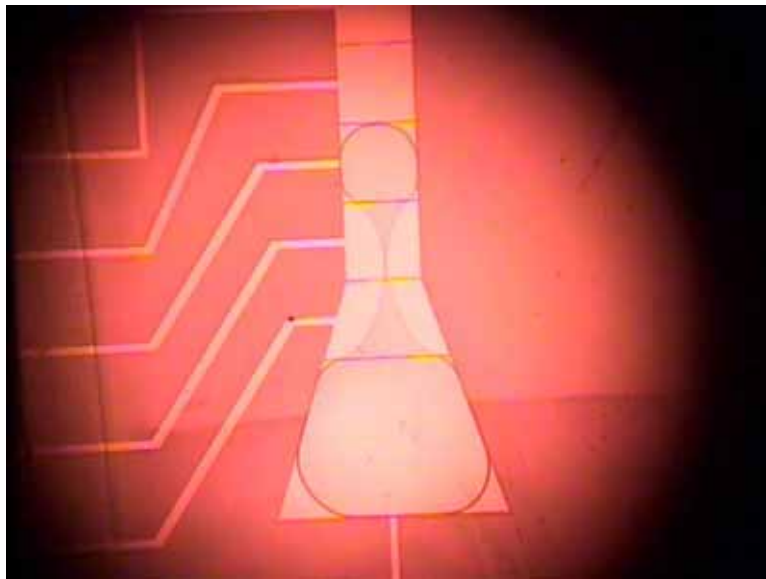


圖 3-14 生物樣本液($1\mu\text{g}/\text{ml}$ 的 IgG)於微流晶片中分注狀態

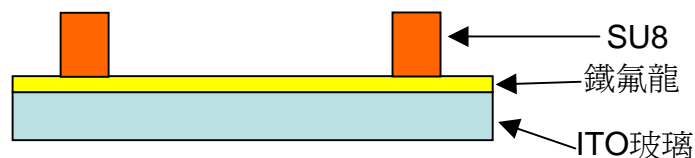


圖 3-15 微流晶片上蓋示意圖

(iii) 微流晶片固定底座設計製作

以往為了實驗的方便性，使用市售的金手指夾具來固定微流晶片，作為高壓訊號的傳遞工具，雖然金手指的取得上十分便利，但使用上常常受到機構上的限制不易操作，因此設計一具適用的高壓訊號傳遞固定座將是勢在必行，新的固定座設計則以操作便利性為主要考量，製作完成的固定座一共分成三個主要機構，分別為探針座、固定底座以及微流晶片上蓋固定座。探針座包括了排線與探針，高壓訊號透過排線及探針傳遞到微流晶片的訊號接點，固定底座上則包含了固定夾具、鐵柱以及接地用銅塊，固定夾具與鐵柱是用來固定探針座與微流晶片上蓋固定座，接地用銅塊下方裝有一彈性材料及導線，用於微流晶片上蓋接地，微流晶片上蓋固定座用於固定微流晶片上蓋。

使用時先將微流晶片對準訊號接點並以固定夾固定，將測試液體滴在微流晶片上後蓋上微流晶片上蓋，再以所以固定夾固定微流晶片上蓋固定座，最後再把接地線接上銅塊下方的導線，即可開始進行微流晶片的操控。



圖 3-16 微流晶片固定座

(iv) 高壓訊號硬體與操控軟體整合

初期的實驗，為了驗證微流晶片是否能夠運作，因此所需之高壓訊號是以一台訊號產生器搭配後級放大器所組成，以此方式所得到之高壓訊號不但穩定而且訊號波形不易失真。除此之外，在實驗初期為了了解微流晶片高壓訊號之最佳工作頻率，以此種方式作為測試平台是必要的做法，當微流晶片高壓訊號之最佳工作頻率確定後，開始進入可靠度測試時，則有必要將高壓訊號之產生方式做進一步的整合，經測試後以 1 kHz 的固定頻率最

為適當，故此高壓訊號產生器的主要規格即為 1 kHz，整合後的高壓訊號產生方式亦以一固定頻率之小訊號，再加以一個後級放大電路的方式為之。微流晶片的測試過程中，不同的測試液體及不同的介電層厚度所需之訊號電壓亦不相同，為了符合測試需求，高壓訊號的整合模組採電壓可調的方式，最高電壓可達 V_{pp} 250 V，此最高電壓是測試過程中所可能需求之最高電壓，因此，高壓訊號產生器的另一主要規格即為 V_{pp} 0~250 V。

為了達到最後能夠便於使用且能自動操控之目的，將可程式控制器與高壓訊號整合便是其中一種方式，透過可程式控制器的程式撰寫，除了可達成微流晶片自動操控之外，亦可修改可程式控制器內部程式，以提供不同微流晶片之控制上需求。

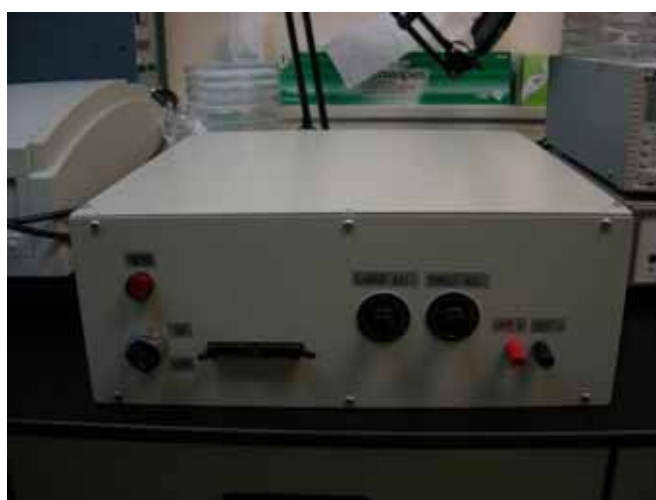


圖3-17 高壓訊號及控制軟體整合模組



圖3-18 微流晶片操控整合模組

【技術創新】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術

- i. 採用 ISO 8655-7 所建議之雙染劑光度法，搭配自行配置試劑與自行開發之光吸收度量測裝置，建立奈升等級之單劑量量測技術，並參考 ISO/TR 16153 之模式，確實對奈升級單劑量量測追溯標準技術之試驗方法進行不確定度評估，確認其量測可靠度，且量測等級確實達到 10 nL 之等級。

(二)建立微流晶片流體計量與控制技術

- i. 利用 SU8 製程結構作為微流晶片架高空間用，不但操作及製程上十分簡便，高度的控制更可輕易的透過製程改善，而獲得更精準之欲測試空間高度，並使微流晶片的定量操控更為精確。

【突破之瓶頸】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術

- i. 完成符合量測規格需求包含有完整旋轉混合機構之光吸收度量測裝置。
- ii. 達成奈升級單劑量量測追溯標準技術所規劃的量測極限至 10 nL，並參考 ISO /TR 16153 完成初步不確定度評估。

(二)建立微流晶片流體計量與控制技術

- i. 成功完成 PBS 及 1 $\mu\text{g/ml}$ 的 IgG 生物樣本液進行測試，確認微流晶片於生醫檢測上之實用性。
- ii. 增加微流晶片之可靠度，並能夠維持長時間高電壓的操作，提高微流晶片商業化之可行性。
- iii. 高壓訊號與操控軟體的整合，不但利於微流晶片的使用，更使微流晶片操控性更加的多元化。

【待改善之處】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術

- i. 稱重法所用之六位數天平，其所置放的環境要求嚴格，實驗室之環境尚未達到此一水準，對試驗結果或有影響，可視經費再加以改善。

(二)建立微流晶片流體計量與控制技術

- i. 微流晶片生物樣本液操控時所需之高壓訊號至少需要 $V_{pp} 160 \text{ V}$ ，如何降低所需高壓訊號之電壓以節省耗能，將是下一階段待改善之處。
- ii. 基本的生物樣本液已完成功能上的確認，待以實際生物檢測液進行微流晶片功能驗證。
- iii. 微流晶片結合其他生醫檢測方式目前尚無確切的案例，為達成微流晶片實際應用之目的這將是必然進行的方向。

【後續工作構想及重點】

(一)建立奈升級單劑量量測追溯標準技術：

推廣奈升級單劑量量測追溯標準技術以實際應用於業界，提高對於微奈升單劑量量測的準確性，並使其量測結果具有可追溯性。

(二)建立微流晶片流體計量與控制技術

數位流體操控計畫到目前為止，除已達成液珠的分注、移動、切割、混合等基本功能外，並通過生物樣本液的實際測試，已可進入實際應用的階段。現階段的微流晶片只能夠透過被動控制的方式進行操控，在未來期望能夠加入適當的感測電路而形成主動控制微流晶片，讓操作上更加的人性化。另外，微流晶片結合其他生醫檢測亦將是未來發展之重點，這會是微流晶片正式應用於實際檢測的一大挑戰，生醫檢測將會正式進入微流晶片的世代。

四、成果與推廣

1.年度量化成果

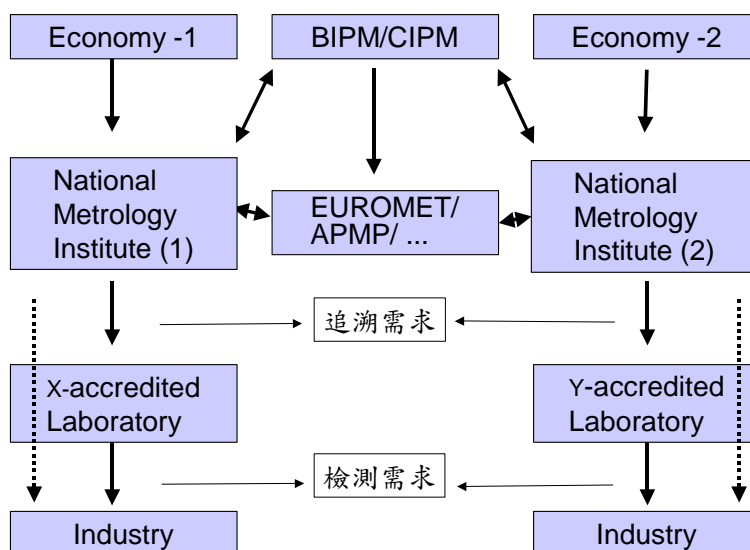
項目		目標值 【實際值】			
		尺寸參數量測追溯	力學性質量測追溯	微流量測標準技術	小計
專利	申請	1【1】件	1【1】件	1【1】件	3【3】件
	獲得	1【0】件	1【0】件	1【1】件	3【1】件
論文	國內期刊	3【2】篇	1【1】篇	1【1】篇	5【4】篇
	國內研討會	6【11】篇	2【1】篇	0【1】篇	8【13】篇
	國外期刊	2【2】篇	1【2】篇	1【0】篇	4【4】篇
	國外研討會	2【9】篇	1【3】篇	1【3】篇	4【15】篇
研究報告	技術	9【10】篇	2【4】篇	3【3】篇	14【17】篇
	訓練	10【10】篇	2【2】篇	1【1】篇	13【13】篇
學術研究	研究團隊	跨團隊研究(清大、成大、中興、材化所、機械所與量測中心)。			
	博碩士培訓	台清交、台科大等共有 15 位博碩士參與計畫。			
技術創新	技術活動	辦理國內技術研討會 2 場，成果說明會 1 場。			
	技術服務	計畫建立之角度校正系統(含大、小角度校正系統)、階高校正系統、薄膜量測系統、微流量量測系統、奈米壓痕量測系統、奈米粒徑量測系統、微奈米機械性質量測系統」等，FY97 共提供 210 服務。			
社會影響	資訊服務	接待參觀實驗室 169 人次。			

國際能見度	參與國際研討會或展覽	(1)參加 2008 台灣奈米科技展、AOI Forum & Show 2008、及 2008 度量衡標準計畫聯合成果展，展出奈米階高標準片、電氣遷移率分析法奈米粒徑量測標準系統、薄膜量測系統、晶圓表面微粒量測系統、奈米國際標準、微奈米機械性質量測系統、微奈升液體分注量量測儀、奈米壓痕量測系統，展出型式包括實體、看板海報等不同形態。 (2)參與 ASPE(American Society for Precision Engineering)、IEEE NANO 2008、SPIE、NCSLI、MRS Fall....等國外研討會並發表論文。
	國際比對	國際比對：1 項次(奈米薄膜壓痕)。
	參與國際會議	參與 ISO、IEC、VAMAS、ASTM 等國際標準會議 7 場次。
	國際奈米標準網頁	建立奈米標準資訊網頁。
經濟效益	協助奈米實驗室 TAF 認證	輔導中興大學奈米材料測試實驗室、清華大學奈微與材料科技中心、成功大學奈米中心取得 TAF 認證。
	提供追溯技術諮詢	提供台積電、國衛院、交成大、中研院等 36 件次之追溯技術諮詢。

2.推廣

國家標準實驗室服務業界是藉由標準量值之層層傳遞，間接服務各產業所需，欲直接彰顯其產業效益實屬不易。如圖所示，為能使標準層層傳遞，落實奈米標準量測之追溯，除藉由標準系統校正服務外，本中心因有著標準計量技術及規範之知能，亦協助工研院奈米中心檢測實驗室實驗室認證、辦理 APEC 相關活動辦理，協助工業局奈米標章檢測規範及認證體制之建立，雖不在本計畫之資源下執行，亦非國家標準實驗室之首要任務，但其目的在於完備追溯體系，使標準能順利往下傳遞，期能對國家產業有所助益。

推廣情形如下說明：



(1) 國際活動參與與合作

0610-13，亞洲生產力組織(APO)舉辦國際會議 Study Meeting on Strategic Industries：Nanotechnology，計畫主持人彭國勝博士為台灣代表，進行 Country Report，其他與會者還包括印度(2人)、伊朗(2人)、日(2人)、韓(2人)、馬來西亞(3人)、新加坡(1人)、泰國(3人)。

(2) 參加及辦理 APEC 薄膜比對相關活動

—協辦 2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology (0929-30，6 個經濟體、19 人次參加)。

—協辦 2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum (1001-03，10 個經濟體、133 人次參加)。

在奈米薄膜機械性質量測方面，為了解國內、外檢測能力與落實奈米標準順利往下傳遞的目的，在亞太經合會(APEC)經費支持下展開「亞太地區奈米薄膜壓痕比對計畫」，辦理奈米薄膜機械性質量測能力試驗，並參與 APEC 國際相互比對。

在建立跨國性之奈米檢測與分析技術合作架構下，除進行能力試驗、比對活動外，亦於 0929-30 辦理 2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology，共同討論、鑑定以及分享現階段技術上具有促進產業化優勢的奈米檢測技術與分析方法。

1001-03 辦理「APEC 奈米檢測技術論壇」，邀請美、韓、新加坡、日、泰、大陸、台灣等地區的專家學者與代表，共 133 位與會，藉由此交流機會，了解 ISO TC 229 的制

定與標準的發展，各國檢測能力與差異以及各國標準建立發展情形。

(3) 輔助國內奈米實驗室量測品質與認證

被輔導單位名	認證項目	完成時間	執行情形說明
中興大學奈米材料測試實驗室	✓ M017 奈米粉體尺寸量測共 15 項	97 年 2 月	輔導其取得 TAF 認證。
清華大學奈微與材料科技中心	✓ M017 奈米尺寸量測共 8 項	97 年 9 月	
成功大學奈米中心	✓ M017 奈米尺寸量測共 8 項	97 年 10 月	

(4) 舉辦技術研討會/說明會/參展

- 4-1 0415 配合 NML 舉辦「奈米粉體製作與量測技術研討會」，共有 12 家廠商，25 人次參加。
- 4-2 0522 舉辦「微量分注器使用與校正實務研討會」，共有 19 家廠商；27 人次參加。
- 4-3 1203 於經濟部標準檢驗局大禮堂舉辦「2008 度量衡標準計畫聯合成果展」，展出奈米粒徑量測系統、微奈升液體分注量量測儀等成果，展出方式包括實體靜態展式及機儀動態操作解說。
- 4-4 0612-14 2008 台灣奈米科技展，展出奈米階高標準片、電氣遷移率分析法奈米粒徑量測標準系統、薄膜量測系統、晶圓表面微粒量測系統、奈米國際標準、微奈米機械性質量測系統、微奈升液體分注量量測儀、奈米壓痕量測系統，展出型式包括實體、看板海報等不同形態。
- 4-5 1028 AOI Forum & Show 2008，展出階高標準片(5 nm ~ 150 μm)實體與 DM、看板。

(5) 受邀演講

- 5-1 0304 徐炯勛博士，應邀至成功大學微奈米科技研究中心及國科企業有限公司，演講「Proficiency testing activity of nano-indentation measurements in Taiwan」。
- 5-2 0314 陳朝榮博士，應邀至中央大學機械系光機電研究所，演講「奈米技術計量標準」。

- 5-3 0515 陳朝榮博士，應邀至國家實驗研究院國家奈米元件實驗室，演講「奈米元件製程之奈米尺寸計量標準」。
- 5-4 0811 傅尉恩博士，應邀至 Polymer Division, NIST，演講「Nanometrology developments at CMS/ITRI」。
- 5-5 1010 陳朝榮博士，應邀至美國國家標準及技術研究院(NIST)精密工程組 (Precision Engineering Division)，演講「Development of Nanometrology at CMS/ITRI」。
- 5-6 1017 陳朝榮博士，應邀至美國 Center for Precision Metrology, Mechanical Engineering Department, University North Carolina at Charlotte，演講「Development of Nanometrology at CMS/ITRI」。
- 5-7 1113 陳朝榮博士，應邀至彰師大機電研究所，演講「Development of Nanometrology at CMS/ITRI」。
- 5-8 1121 傅尉恩博士，應邀至台灣科技大學機械系，演講「量測、標準與追溯」。

(6) 接待參觀量測系統

一、尺寸參數量測追溯分項

時間	來訪單位、人名	人次	參觀項目
970104	台灣科技大學李維禎教授 (含學生 40 人)	1	雷射繞射儀及角度原級標準
97118	清大王偉中教授與瑞士 Dr. Hannes Bleuler 等 7 名教授 (Swiss Federal Institute of Technology)	8	AFM、表粗、及階高標準
970122	台灣科技大學機械所陳炤彰教授	1	奈米粉體粒徑及薄膜量測標準
970226	亞亞科技陳忠平等 3 人	3	AFM、表粗、階高
970222	日本三豐海外營業部 神田 本部長、 管 副本部長、台灣三豐 堤 總經理、 黃 協理	4	AFM、表粗、階高
970214	台灣康寧顯示玻璃葉新幀	1	AFM、表粗、階高
970311	上銀科技	5	角度標準、AFM、表粗、階高
970326	師大工教系徐照夫老師	20	角度標準、AFM、表粗、階高
970411	中科院邱俊忠博士	2	AFM、表粗、階高
970414	經濟部標檢局四組姜吉生組長	10	奈米粉體粒徑及薄膜量測標準

時間	來訪單位、人名	人次	參觀項目
970415	中央大學化材所陳暉教授	2	奈米粉體粒徑標準
970430	美國 UW-Madison WCSAR(威斯康辛大學)太空自動化與機器人中心主任(NASA 相關研究中心)Dr. Weijia Chou	2	薄膜量測標準及奈米粉體粒徑
970512	越南國家實驗室	6	角度標準、AFM、表粗、階高
970612	NPL senior scientist Richard leach	1	AFM、表粗、階高
970715	美國 Washington University in St. Louis 的 Da-Ren Chen 教授	1	奈米粉體粒徑標準
971022	日本食品綜合研究所食品工學領域長杉山 滋 博士及藥檢局林旭陽技正等	4	奈米粉體粒徑標準、奈米薄膜

二、力學性質量測追溯分項

時間	來訪單位、人名	人次	參觀項目
970225	長庚大學李德美助理教授	4	奈米壓痕量測系統
970222	中興大學精密所林明澤助理教授	3	奈米壓痕量測系統及微奈米機械性質量測系統
970305	美國 MTS 工程師 Tom Adams 及國科公司等人	6	奈米壓痕量測系統及微奈米機械性質量測系統
970317	清華大學動機系張庭宇同學與曹鈞勝同學	2	奈米壓痕量測系統
970401	東海大學生命科學系卓逸民教授及中興大學物理系紀凱容助理教授	5	微奈米機械性質量測系統
970416	弘邦光學陳勇興副理及蔡映麟博士	2	奈米壓痕量測系統
970811	成功大學機械工程學系屈子正教授	1	奈米壓痕量測系統及微奈米機械性質量測系統
971111	清華大學動機系劉源棟博士生	1	奈米壓痕量測系統

三、微流量測標準技術分項

時間	來訪單位、人名	人次	參觀項目
970116	澳洲國家標準實驗室(NMIA) John Man 等	2	微流量量測系統、微奈升單劑量量測裝置
970219	訪台參加海峽兩岸流量量測與質量分析研討會之大陸學者專家	18	微流量量測系統、微粒子影像流速儀
970513	越南政府官員 Tran Khanh、Nguyen Ngoc Song、Nguyen Hong Anh、Dao	6	微流量量測系統

	Dinh Tan、國家標準實驗室 Vu Khanh Xuan、Nguyen Manh Hung 等人		
970602	台大生物產業機電工程學系黃振康助理教授及其學生等人	7	微流量量測系統、微粒子影像流速儀、數位微流操控晶片與平台
971204	NMIJ Dr. CHEONG Kar-Hooi (張家輝)	1	微流量量測系統、數位微流操控晶片與平台、微奈升分注量量測儀

(7) 提供追溯技術諮詢

一、尺寸參數量測追溯分項

單位、人名	諮詢討論內容
育需科技陳婷英 李智信 (品質保證部副理)	X-ray 頻譜定位量測儀相關校正問題。
宏瀨公司 王憲彰先生	奈米表粗階高檢測。
奈米中心 陳皇安先生	禽畜用維生素預混料奈米粒徑量測事宜。
成功大學奈米中心 林仁輝主任等	奈米薄膜檢測技術。
鴻海全球研發中心 黃全德先生	奈米碳管電、磁、機械性質量測。
台灣杜夫萊因 林先生	奈米珍珠粉與冬蟲夏草測試。
旭成化學公司 胡先生	碳酸鈣、氧化鋅等奈米粉體研磨及分散技術。
奈米中心 陳皇安先生	奈米飼料與研磨粉量測。
奈米中心 林文央先生	奈米金、奈米銀粒徑量測。
材化所 蒲盈志先生	金屬薄膜量測。
成功大學奈米中心 林仁輝主任等	奈米檢測技術研討會事宜。
成功大學奈米中心 陳芳怡小姐等	辦理奈米檢測技術研討會合作事宜。
迅能半導體 王達先生	SiO ₂ 膜厚及晶圓微粒量測技術。
新芳機械 張仁鴻總經理	奈米粉體尺寸、功能性量測技術。
博精公司 陳文徵博士	表面分析技術。
國家奈米元件實驗室姚潔宜 小姐	XRR 薄膜量測技術
中興大學 廖崇億研究生	奈米粒徑量測技術
Texas Instruments, Peter	XRR 金屬薄膜量測技術

單位、人名	諮詢討論內容
Chen	
TSMC 林建中先生	膜厚及晶圓微粒量測技術
成功大學奈米中心 廖峻德教授等	討論奈米檢測技術研討會事宜
TSMC 徐玉紋副理	RS meter
TSMC 林建中	Overlay 及 k 值量測

二、力學性質量測追溯分項

單位、人名	諮詢討論內容
鴻海精密全球研發中心 黃全德及洪新欽資深工程師	以奈米壓痕量測系統、微奈米機械性質量測系統，針對奈米碳管纖維進行機械性質量測。
中環科技 王國書工程師	針對其公司不同鍍膜機台所鍍製之薄膜機械性能(包含薄膜之彈性模數、硬度、附著力及磨耗特性等性能)進行量測。
健生工廠股份有限公司 品保部 白坤明工程師	該公司尋求可量測鏡面玻璃硬度之量測工具，建議在鏡面玻璃上鍍膜，再利用奈米壓痕量測系統進行彈性模數、硬度、附著力等性能之量測。
國碩科技工業股份有限公司 黃頌修副處長	奈米壓痕量測系統應用於硬膜之機械性質量測之技術。
辨識與安全科技中心系統開發與驗測組 邱德義博士	奈米壓痕量測系統應用於機械性質量測之技術。

三、微流量測標準技術分項

單位、人名	諮詢討論內容
生醫所曹嘉惠博士	利用電漿加工法製作高分子超疏水介電層並應用於數位微流晶片的可行性。
福華電子曹育嘉	微流操控相關技術規格與量化參數。
中國計量學院王昊利副教授	微粒子影像流速儀作為流量標準的可行性。
國家衛生研究院劉佳興博士	微粒子影像流速儀光源、流場追蹤粒子、同軸鏡組與 CCD 架設等技術。
工研院奈米中心 LE TOUZE CHRISTOPHE 博士	計算流體力學模擬可置入血管內之奈米管電力產生晶片之流體應力。
高苑科技大學胡志忠博士	矽基微噴嘴研究及相關製程與光罩設計。
儀寶電子張欣瑜小姐	微量分注器校正實驗室選用儀器設備與操作實務。

單位、人名	諮詢討論內容
大陳生物科技公司謝豐懇先生	特殊微量分注器校正方法。
三杰科技顧問股份有限公司蔡先生	使用光度法以進行微量分注器校正。

(8) 國際比對

A. 比對樣本說明

比對使用的兩種材料分別為熔融石英(Fused Silica)及碳酸酯複合物(Polycarbonate) (圖 4-1)，皆為德國 ASMEC 公司所生產，樣本尺寸規格如表 4-1。比對用試片將儲存於 85 mm × 83 mm × 25 mm 的攜帶盒內，便於保存並避免材料損壞。將比對樣本固定於金屬塊材上，隨後儲存於攜帶盒內，郵寄樣本時並付上專用試片鑷取夾及防塵手套，防止使用者拿取時產生不必要的污染，見圖 4-2。



B.比對樣本郵寄前均勻性
 本次比對活動，由量測
 為共同比對項目，參與
 樣本於量測前必須注意
 比對樣本郵寄前，本中



其彈性模數及壓痕硬度
 進行共同的測試項目，

身的均勻性測試及樣本
 間的一致性探討，以保證樣本本身的資料足夠，將比對結果單純化。盡量選取樣本中
 心位置執行比對測試項目，每片各做十次測試，並以變異數分析(ANOVA)樣本間變異

相對於樣本個別變異的值是否過大。

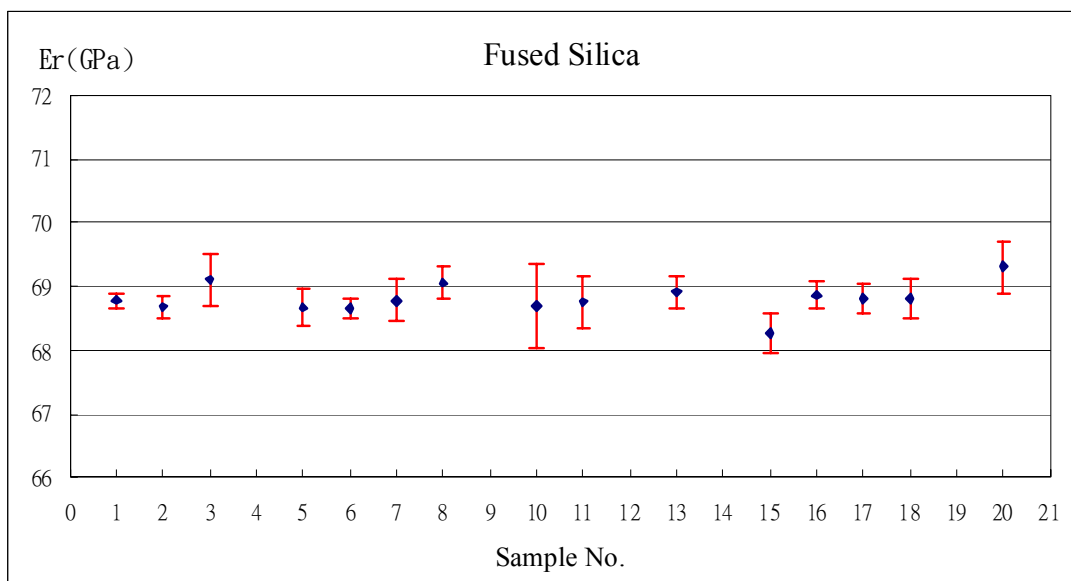


圖 4-3 融熔石英複合模數(Reduced Modulus)均勻性測試

表 4-2 融熔石英複合模數比對結果 ANOVA 分析

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	7.944244	14	0.567446	5.359636	4.81E-08	1.765688
組內	14.29299	135	0.105874			

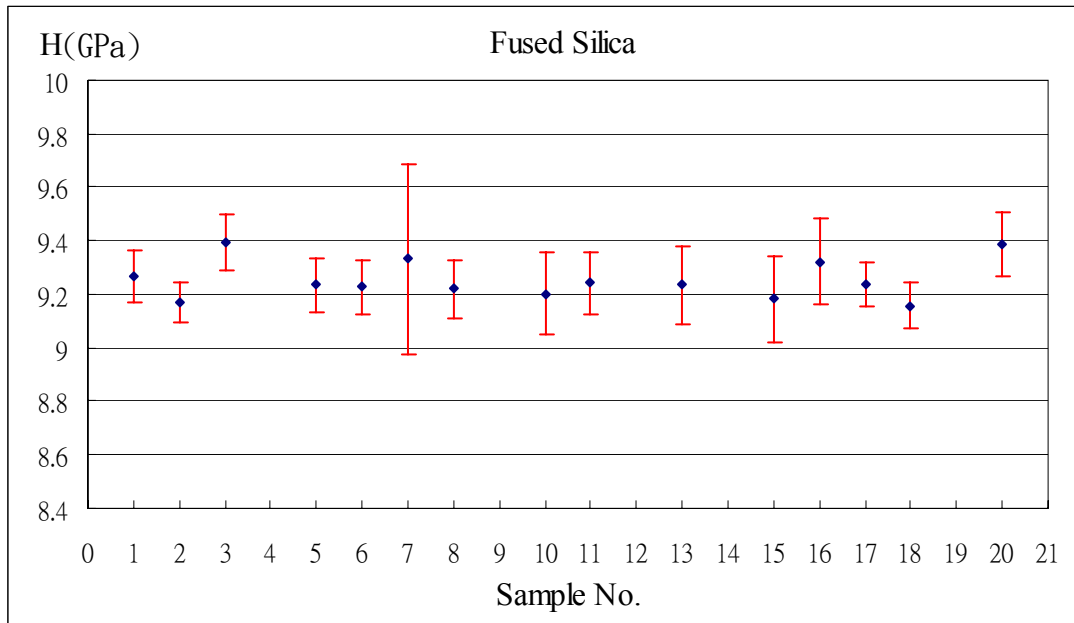


圖 4-4 融熔石英壓痕硬度(Indentation Hardness)均勻性測試

表 4-3 融熔石英壓痕硬度比對結果 ANOVA 分析

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.760561	14	0.054326	2.541682	0.002933	1.765688
組內	2.885482	135	0.021374			

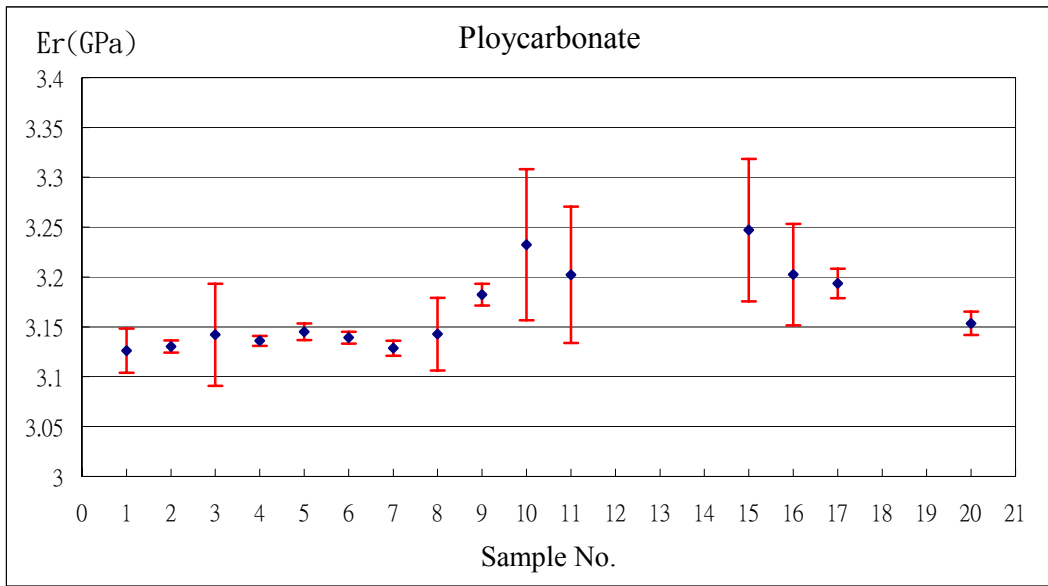


圖 4-5 碳酸酯複合物複合模數(Reduced Modulus)均勻性測試

表 4-4 碳酸酯複合物複合模數比對結果 ANOVA 分析

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.221948	14	0.015853	10.24064	2.2E-15	1.765688
組內	0.208992	135	0.001548			

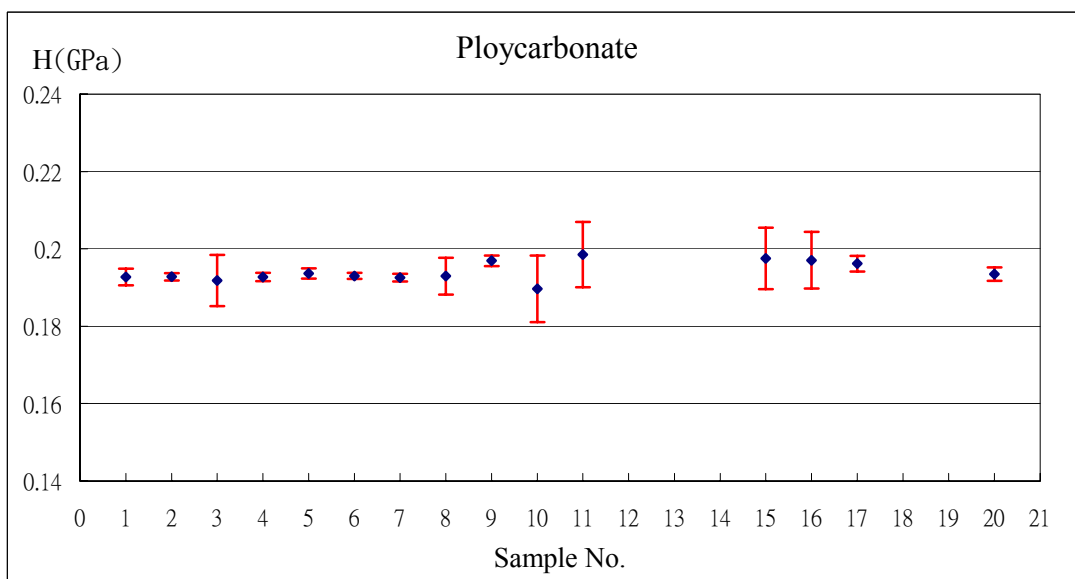


圖 4-6 碳酸酯複合物壓痕硬度(Indentation Hardness)均勻性測試

表 4-5 碳酸酯複合物壓痕硬度比對結果 ANOVA 分析

ANOVA						
變源	SS	自由度	MS	F	P-值	臨界值
組間	0.000883	14	6.31E-05	2.714069	0.001509	1.765688
組內	0.003138	135	2.32E-05			

使用同一個量測系統檢測每片比對樣本量測值的平均值與變異數，以變異數發散程度檢視樣本本身的均勻性，除了提供樣本本身的單一資訊，對於樣本間的差異由分析圖中亦能清楚的分辨出來，易於掌握樣本個別與群體間的相關性。

C. 量測方法

參與比對之實驗室，盡可能利用系統所處之環境擾動較小時進行壓痕比對實驗，如所擁有之系統若可針對實驗進行之時間，以及壓痕實驗之位置進行程式化設定編輯，建議設定壓痕實驗室於深夜進行。如系統無法進行上述程式化之編輯，而是必須有操作者親自執行壓痕實驗，除建議於系統環境較穩定之時刻進行壓痕實驗外，並建議現場只留操作者於實驗室內，此外，壓痕比對進行時，盡量停止實驗室內其他可能產生擾動之實驗設備，以減少外在因素對量測結果造成干擾。切勿以雙面膠帶黏貼試片。實驗操作者務必戴上所付之手套，黏貼試片過程及壓痕實驗過程中，用試片夾夾持試片，勿以手觸摸比對試片表面。

本次壓痕本對實驗，以 Berkovich 之壓頭進行壓痕比對實驗，於試片中央區域上不同位置進行 11 次壓痕實驗，將相關實驗資訊記錄於量測數據表中。參與比對實驗室，於比對實驗進行前，必須針對所使用壓頭之面積函數(area function)進行校正，且這期間不得從事任何壓痕實驗，如所擁有之系統可自行針對系統之儀器柔度(machine compliance)進行校正，參與單位於比對實驗進行前，需針對系統之柔度進行校正實驗，以所獲得之柔度進行壓痕比對實驗。建議以圖 4-7 中之力量與時間關係進行壓痕實驗，並且在壓痕實驗之設定時，以系統所能獲得之最穩定操作方式進行，例如 Hysitron 系統之 Load control 操作模式。壓痕模數(Indentation Modulus, EIT)，即彈性模數(Elastic Modulus)或俗稱之楊氏模數(Young's Modulus)可以由計算壓痕硬度的過程中的力量與深度變化曲線的斜率來加以求得：

$$E_{IT} = \frac{1 - (\nu_s)^2}{\frac{1}{E_r} - \frac{1 - (\nu_i)^2}{E_i}} \quad (1)$$

其中 E_r 為壓痕接觸之降低模數(reduced modulus)：

$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2C\sqrt{A_p}} \quad (2)$$

其中 ν_s 為待測物的Poisson's ratio； ν_i 為壓頭的Poisson's ratio (鑽石為 0.07)； E_r 為降低模數(Reduced Modulus)； E_i 為壓頭模數(鑽石為 1.14×10^6 N/mm²)； C 為 $(dh/dF)_{F=F_{max}}$ ，即為接觸剛性 S 之導數。

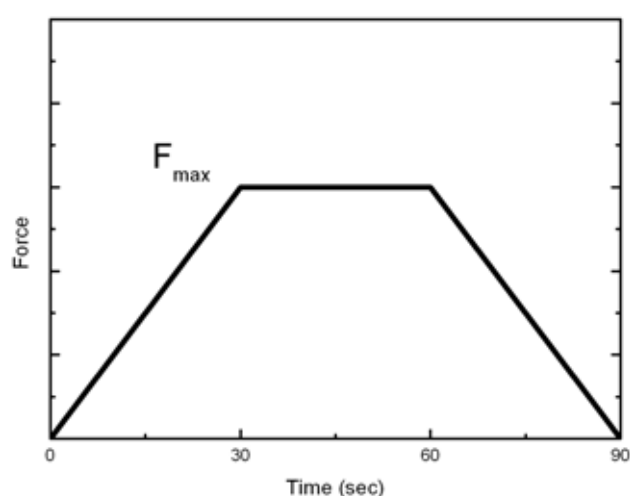


圖 4-7 奈米壓痕施力函數參考建議圖

陸、結論與建議

一、尺寸參數量測追溯分項計畫

本年度尺寸分項主要研究項目包括奈米粒徑量測系統評估(靜電力分離法, 範圍 20 nm - 500 nm 採用 DMA 比較式量測系統, 量測不確定度 1.3 nm - 13 nm；範圍 100 nm - 500 nm 採用 EAB 絕對式量測系統, 量測不確定度 ≤ 1.3 nm)。AFM-CD 量測之最佳能力評估(評估範圍 50 nm- 800 nm)，(50-1000) nm 階高製作與(1-100) μ m 線寬製作研究。膜厚度標準片校正系統新增加 high-k 薄膜厚度標準片的校正評估，以擴充系統能量，經評估，其不確定度滿足計畫之不確定範圍內: $0.4 \text{ nm} \pm 1\%$ 。完成光學機構建置，測試系統之功能與能力，建立表面奈米微粒量測能力可達 60 nm。及積極參與 ISO TC229 及 IEC TC113 相關標準制訂活動。其中奈米粒徑量測系統將於 97 年 12 月進行系統查驗及待經濟部標準檢驗局公告後，即可對外提供校正服務。

工研院量測中心及奈米中心於 2007 年，針對 IC 半導體產業及傳統產業，作親訪式問卷調查。問卷調查結果顯示，現階段國內業者所使用或生產之奈米材料的主要物質包括單一成分粒子的奈米金、奈米銀、以及奈米碳與複合粒子的氧化鋅、二氧化矽、以及二氧化鈦等，而國內業者所使用或生產的奈米材料種類中，奈米粒子所佔的比例超過六成，由此可見奈米粒子在整個奈米科技產業化的發展過程中，扮演著相對關鍵重要的角色。再者，針對奈米粒子而言，國內業者認為需要檢測的關鍵參數依序為粒徑、分佈、比表面積、以及形貌等。就 IC 半導體產業來說，中、長期的需求(對應至 ITRS 2013 年)，在 32 nm 及 22 nm 的製程要求下，為了提高良率，除了新薄膜材料的開發(如 high-k、low-k)外，仍以薄膜表面或表面下結構的 CD 檢測為主，包括單一線寬或多條線寬的「uniformity」、缺陷檢測、奈米微粒或空隙在 bare wafer 和 patterned wafer 表面檢測。因此，在未來 6 年的第二期奈米國家型計畫，將以奈米粒子計量技術及薄膜計量技術研究為主要標的。

二、力學性質量測追溯分項計畫

藉由奈米壓痕動態分析技術之建立，可獲得材料之儲存模數與損失模數。此量測技術之建立，對於時變或生醫材料之黏彈特性分析上，扮演著非常重要的角色。另外，在奈米壓痕之生物組織製備技術上，獲得有效之提升，改善了樣本與奈米壓痕溫控系統之匹配度問題，使得人體組織(牙齒)之人體溫度壓痕實驗得以順利完成。隨著生醫產業之快速發展與興起，時變與生醫材料之機械性質量測技術的建立將有助於產業界對於黏彈特性與生醫力學之掌握。

本計畫建立之環境溫度控制系統可在不同溫度下(最高溫度:200°C；最低溫度:-10°C)進行奈米壓痕量測，以獲得材料之壓痕硬度與壓痕模數於真實環境溫度下。此溫度控制系統之建立，除了可提供學術界於溫度變因下之奈米壓痕研究，更可使產業界獲得其發展中之材料或產品於環境溫度中之機械性質。

利用微奈米機械性質量測系統，所探討之微小結構勁度量測技術，有助於產學界之應用與發展。藉由此研究成果測得系統之量測勁度值(Stiffness)小於 5.5 mN/ μm ，可用來進行力量傳感器校正等服務。若能改善系統的座標移動指令對待測微結構進行有效且安全的微米級移動，則測試方法可改成漸進式(Step by step)，即在微結構受力變形後的穩定狀態下，才記錄相關力量與形變數據，如此預估量測不確定度值可再縮小。

三、微流量測標準技術分項計畫

微量液體分注在化學試驗、生醫檢驗及許多精密電子與工業應用中扮演著日益重要的角色。本年度所執行之奈升級單劑量量測技術，完成了微奈升液體分注量量測儀的建置，其量測範圍為 10 nL 至 1 mL，能精準地測量單劑量分注的體積，可用以驗證

點樣分注設備之效能並確保分注結果的穩定度與一致性。量測原理係依據 ISO 標準規範所建議之光度法，採專用試劑組，並整合光學偵測、旋轉混合與數據演算等單元。系統操作簡易快速，不易受環境影響，特別適合於極微小分注量的檢測與驗證。藉由稱重法與光度法的比對也顯示，在微奈升等級之分注時，光度法的量測結果比起使用稱重法要來得穩定，變異也較小，因此光度法確實更適用於微奈升等級分注的量測。

本技術將有助於協助各種領域如電腦、生技、紡織、工業接合等的使用者瞭解本身所使用之分注設備的特性與限制，特別是對於如生醫等對於分注準確度有較高要求的應用，將提供不可或缺的微量分注檢校能量，裨益產業發展。此外，對於環境不適合操作高精密度電子天平的實驗室而言，亦提供了一有效、可行的分注設備日常檢校替代方案。本計畫所累積的經驗與技術亦可移轉給相關廠商，協助其建立檢校能量並根據其實際情形評估量測不確定度。

微流晶片流體計量與控制技術在近兩年的努力後也有了豐碩的成果。不僅累積了相當的製程經驗與實驗操作技術，可在晶片上完成數位化流體的定量分注、輸送、切割、混合等功能，晶片的壽命亦獲得大幅的提昇。而為能強化技術能量的展示與推廣，也完成了單機式、可程式化控制的數位微流操控平台。

本計畫在流體計量與控制方面後續的發展，除持續精進技術外，將進一步結合檢測機制，如表面電漿共振(SPR)，並進行跨領域合作，將該技術應用於生醫相關領域如快速篩選、動力分析等。期能透過實際檢體的測試，展現微流晶片實用與產業化的價值，並促成更多的應用開發與廣泛的產業效應。

附 件

附件一、新台幣參百萬以上儀器設備清單.....	147
附件二、國外出差人員一覽表.....	147
附件三、專利成果統計一覽表.....	151
附件四、論文一覽表.....	152
附件五、研究報告一覽表.....	158
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	162
附件七、研究成果統計表.....	163
附件八、中英文對照表.....	164
附件九、參考文獻索引.....	166
附件十、經濟部標準檢驗局度量衡及認證類委辦科技計畫績效評估報告.....	170

附件一、新台幣伍百萬元以上儀器設備清單

單位：新臺幣仟元

儀器設備名稱	主要功能規格 (請確認規格)	預算數	單價	數量	總價	計畫執行中之功能
無						

附件二、國外出差人員一覽表

短期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
發表論文及訪問	<ul style="list-style-type: none"> 參加美國波特蘭 ASPE(American Society for Precision Engineering)研討會發表論文。 	ASPE/美	97.1019-97.10.26	林志明	<ul style="list-style-type: none"> 奈米粒徑標準計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 發表研究論文，並與該領域專家進行技術交流，以增進國際能見度。 	1
發表論文及訪問	<ul style="list-style-type: none"> 參加 2008 Denver X-ray Conference and International Conferene of Residual Stresses。 拜訪 NIST 的 Material Science and Engineering Laboratory。 	Denver X-ray Conference &ICRS ; NIST/美	97.8.2-97.8.13	傅尉恩	<ul style="list-style-type: none"> 前瞻材料表面幾何量測技術研究計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 發表研究論文，增進國際能見度。 蒐集國際 X-ray 相關研究進展與應用模式，及技術發展現況，以利計畫規劃。 	2
發表論文	<ul style="list-style-type: none"> 參加 IEEE NANO 2008 – 8th International Conference of Nanotechnology。 	Arlington, Texas/美	97.8.18-97.8.21	陳怡菁	<ul style="list-style-type: none"> 前瞻材料表面幾何量測技術研究 	<ul style="list-style-type: none"> 發表論文，並藉此研討會可瞭解美國在奈米計量方面的相關量測技術、儀器與廠商。 	3
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 參加 IEC WG3 meeting。 拜訪 JEOL，了解 	IEC WG3;JOEL/日	97.4.7-97.4.10	姚斌誠	<ul style="list-style-type: none"> 參與奈米國際標準子項計畫 	<ul style="list-style-type: none"> 了解並參與國際奈米相關標準的制定方向，有助於國內相關產業的發展對策。 	4

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
	FE-SEM 的規格。				主持人	<ul style="list-style-type: none"> 了解 JOEL SEM 的規格，為明年計畫規劃蒐集相關資訊。 	
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 參加 6th ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working groups meeting。 	ISO TC 229/法	97.5.25-97.6.1	姚斌誠	<ul style="list-style-type: none"> 參與奈米國際標準子項計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 參加 6th ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working groups meeting，參與國際奈米相關標準的制定，有助於擬訂國內相關產業的發展對策。 	4
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 參加 International Workshop on Documentary Standards for Measurement and Characterization in Nanotechnologies。 拜訪 Institute for National Measurement Standards(INMS)，討論合作事項。 	NIST/美 INMS/加	97.2.25-97.3.5	姚斌誠	<ul style="list-style-type: none"> 參與奈米國際標準子項計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 了解並參與區域性及國際奈米相關標準的制定方向，有助於國內相關產業的發展對策。 	5
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 參加 VAMAS Steering Committee Meeting，報告我國於檢測標準的發展現況，並討論國際組織標準制定之角色扮演。 	VAMAS Steering Committee Meeting/加	97.6.8-97.6.15	傅尉恩	<ul style="list-style-type: none"> 前瞻材料表面幾何量測技術子項計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 參與 VAMAS Steering Committee Meeting 的奈米國際標準制定，收集奈米標準發展資料。 	6
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 參加 2008 IEC/TC 113 Nanotechnologies & Working froup 3 下半年會議及 2008 ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working groups 下半年會議。 	IEC/TC/美 ISO/TC/大陸	97.11.9-97.11.21	姚斌誠	<ul style="list-style-type: none"> 參與奈米國際標準子計畫主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 參與國際奈米相關標準的制定方向有助於國內相關產業的發展對策擬訂。 	7
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> 拜訪 BSI(英國標準協會)報告奈米標章近況。 參加 ENTA(歐洲奈米技術貿易聯盟)研 	BSI ; ENTA ; NPL/英	97.5.4-97.5.10	彭國勝	<ul style="list-style-type: none"> 奈米標準計畫總主持人 	<ul style="list-style-type: none"> 了解國際奈米發展動態，獲得與國際間交流互動機會，同時有助推動國內奈米標準與國際相接軌。 	8

出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
	<p>討會。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 拜訪 NPL(英國國家物理實驗室)了解其計量標準現況。 						
參加會議	<ul style="list-style-type: none"> • 參加 ASTM Committee E56 • 拜訪 Washington University Dr.Da-Ren Chen 討論工業奈米粉體 DMA 分流量產型儀器。 	ASTM Committee E56 ; Washington University/美	97.5.3-97.5.11	陳朝榮	<ul style="list-style-type: none"> • 尺寸參數量測追溯分項主持人 	<ul style="list-style-type: none"> • 了解 ASTM Committee E56(Nanotechnology)有關奈米技術標準的發展及訪問 Wsshington University Dr.Da-Ren Chen 討論工業奈米粉體 DMA 分流量產型儀器及合作可能性。 	9
訪問	<ul style="list-style-type: none"> • 至德國 PTB 標準實驗室進行奈米壓痕薄膜硬度測試技術交流並蒐集 PTB 發展之微機電 (MEMS) 測試微晶片內容。 	PTB/德	97.9.27-97.10.5	吳忠霖	<ul style="list-style-type: none"> • 微奈米機械性質量測系統研究計畫負責人 	<ul style="list-style-type: none"> • 了解德國奈米及薄膜量測技術發展近況與 PTB 線上測試晶片之開發設計相互交流。 	10
發表論文	<ul style="list-style-type: none"> • 參與新加坡舉辦之 The 4th International Conference on Technological Advances of Thin Films & Surface Coatings，並發表論文。 	新加坡	97.7.12-97.7.17	吳忠霖	<ul style="list-style-type: none"> • 微奈米機械性質量測系統研究計畫負責人 	<ul style="list-style-type: none"> • 參加國際研討會發表論文，蒐集國際相關技術發展近況並進行技術交流。 	11
發表論文及訪問	<ul style="list-style-type: none"> • 參加 NCSL International 2008 Workshop & Symposium – Metrology's Impact on Business。 • 參訪 Florida Institute for Sustainable Energy Laboratory。 	NCSLI 2008 ; Florida Institute for Sustainable Energy Laboratory/美	97.8.1-97.8.11	蘇峻民	<ul style="list-style-type: none"> • 微流量測標準技術分項主持人 	<ul style="list-style-type: none"> • 蒐集國際計量標準之應用模式及與產業的影響相關資訊，以利計畫的規劃執行。 	12

長期訓練

項次	出差性質	主要內容	出差機構/國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
1	客座研究	<ul style="list-style-type: none"> 至 NIST Polymer Division 進行 Critical Dimension Measurement using Small Angle Scattering(CD-SAXS)研習，學習利用實驗室型的小角 X 光散射儀器，以及建立相關模型，進行奈米級 Critical Dimension 量測，其量測主要對象為 linewidth、linepitch、line edge roughness(LER) 和 line width roughness(LWR) 等。 	美	97.6.29-97.10.3	陳怡菁	<ul style="list-style-type: none"> 前瞻材料表面幾何量測技術研究人員 	<ul style="list-style-type: none"> 研習 CD-SAXS 方面的系統量測評估及各式尺寸相關研究，除可在 CD 檢測上有突破性的進展外，並可對第二期計畫進行相關資料的蒐集。

附件三、專利成果統計一覽表

專利獲證：本年度獲證 1 件

類別	專利名稱	申請日期	專利申請國	申請案號/專利號碼	申請人	所屬分項
發明	流量量測裝置及其製造方法	2005/09/22	美國	11/525,577/ 7,377,183	蘇峻民、莊漢聲、何宜霖	微流

專利申請：本年度申請 3 件。

類別	專利名稱	申請日期	專利申請國	申請人	所屬分項
發明	光學式奈米壓痕量測裝置及方法	2008/08/28	美國	徐炯勛、林以青、吳忠霖、陳生瑞	力學
發明	洩壓閥及其製造方法以及應用該洩壓閥之血壓計	2008/03/25	中華民國	蘇峻民、林文地、陳定璿	微流
發明	奈米結構線寬之量測方法與裝置	2008/12/19	中華民國	劉惠中、潘善鵬、陳智榮	尺寸

附件四、論文一覽表

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
應用於晶圓表面奈米微粒檢測的多方向偏振散射光量測儀	2008/02/01	科儀新知	劉承揚、劉子安、傅尉恩	國內期刊	7	中華民國	尺寸分項
CD-SAXS Measurements Using Laboratory-Based and Synchrotron-Based Instruments	2008/03/24	SPIE	Wei-En Fu、ChengQing Wang、Kwang-Woo Choi、Wen-Li Wu	國際研討會	7	美國	尺寸分項
Residual Stress Estimation of Tungsten Film by GIXRD	2008/03/26	Advanced Materials Research	Wei-En Fu、Chao-Chang Chen、Meng-Ke Chen	國外期刊	4	澳洲	尺寸分項
奈米粉體量測技術與量測儀器	2008/05/01	機械月刊	陳朝榮、林志明、潘善鵬、翁漢甫	國內期刊	10	中華民國	尺寸分項
Design of the Primary Nanoparticle Size Standard System Using the Electro-Gravitational Aerosol Balance	2008/06/23	The 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies	Chih-Min Lin、Shan-Peng Pan、Han-Fu Wang、Ta-Chang Yu	國際研討會	4	中華民國	尺寸分項
Surface Qualities after Chemical-Mechanical Polishing on Thin Films	2008/07/14	Thin Films 2008	Wei-En Fu、Tzeng-Yow Lin、Meng-Ke Chen	國際研討會	1	新加坡	尺寸分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
			Chao-Chang Chen				
Thin Film Thickness Evaluation by X-Ray Reflector	2008/06/23	The 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies	Yi-Ching Chen 、 Wei-En Fu	國際研討會	4	中華民國	尺寸分項
Polarized Optical Scattering Measurements of Nanoparticles upon a Silicon Wafer	2008/06/23	The 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies	Chen-Yang Liu 、 Tze-An Liu 、 Wei-En Fu	國際研討會	3	中華民國	尺寸分項
Polarized Optical Scattering Measurements of Nanoparticles upon a Thin Film	2008/08/18	IEEE NANO 2008	Chen-Yang Liu 、 Tze-An Liu 、 Wei-En Fu	國際研討會	4	美國	尺寸分項
Stage Equipped with Single Actuator for Nano-positioning in Large Travel Range	2008/01/10	Key Engineering Materials	Chao-Jung Chen 、 Huay-Chung Liou 、 Yung-Cheng Wang 、 Chiun-Jie Lin	國外期刊	5	瑞士	尺寸分項
多方位光學偏振散射光量測系統	2008/09/18	海峽兩岸計量與品質研	劉承揚、劉子安、傅	國內研討會	8	大陸	尺寸分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
		討會	尉恩				
光子相關法於微奈米粉體粒徑之量測評估	2008/09/27	海峽兩岸計量與品質研討會	潘善鵬、翁漢甫、林志明	國內研討會	7	大陸	尺寸分項
動態光散射儀用於二氧化鈦粒徑量測與分析	2008/09/26	海峽兩岸計量與品質研討會	翁漢甫、林志明、潘善鵬、陳朝榮	國內研討會	5	大陸	尺寸分項
台灣奈米計量-尺寸參數標準之發展	2008/09/27	海峽兩岸計量與品質研討會	劉惠中、陳朝榮、傅尉恩、陳怡菁	國內研討會	9	大陸	尺寸分項
光學顯微標準片之製作與測試	2008/09/27	海峽兩岸計量與品質研討會	潘善鵬、劉惠中、陳彥良	國內研討會	8	大陸	尺寸分項
奈米粉體粒徑原級標準量測系統之建置	2008/09/18	海峽兩岸計量與品質研討會	余大昌、林志明、潘善鵬、翁漢甫	國內研討會	5	大陸	尺寸分項
薄膜量測能力試驗- 2007APEC 檢測分析比對	2008/09/18	海峽兩岸計量與品質研討會	傅尉恩、林秀璘、陳怡菁	國內研討會	10	大陸	尺寸分項
Stress Analysis for Ultra-Thin High- K Films Using GIXRD	2008/09/18	海峽兩岸計量與品質研討會	傅尉恩、林秀璘、陳怡菁	國內研討會	6	大陸	尺寸分項
Depth Profile Analysis for Tungsten Thin Films	2008/09/18	海峽兩岸計量與品質研討會	傅尉恩、陳孟科、陳炤彰	國內研討會	9	大陸	尺寸分項
Development of the Primary Nanoparticle Measurement Standard by the	2008/10/19	ASPE 2008 Annual Meeting and the Twelfth	Chih-Min Lin 、 Chao-Jung Chen 、	國際研討會	4	美國	尺寸分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Electro-Gravitational Aerosol Balance		ICPE	Shan-Peng Pan 、 Han-Fu Wang 、 Ta-Chang Yu				
Deposition of Monodisperse Nanoparticles onto Wafers Using a Differential Mobility Analyzer	2008/07/21	The 4th Asia Pacific Conference on Transducers and Micro/Nano Technologies	Chih-Min Lin 、 Wei-En Fu	國際研討會	4	中華民國	尺寸分項
Residual Stresses After CMP on Thin Films	2008/08/03	Denver X-Ray Conference, Denver	Wei-En Fu 、Meng-Ke Chen 、 Chao-Chang Chen	國際研討會	4	美國	尺寸分項
應用 XRD 量測 TiN 薄膜殘留應力研究	2007/12/21	中華民國力學學會年會暨第 31 屆全國力學會議大會議	陳孟科、陳炤彰、傅尉恩、陳怡菁	國內研討會	7	中華民國	尺寸分項
晶圓表面奈米微粒標準片之研製	2008/09/27	海峽兩岸計量與品質研討會	林志明、傅尉恩	國內研討會	5	大陸	尺寸分項
The Effects of Plasma Pre-treatment and Post-treatment on Diamond-like Carbon Films Synthesized by RF Plasma Enhanced	2008/10/15	VACUUM	Jiong-Shiun Hsu 、 Shinn-Shyong Tzeng 、Ying-Jie Wu	國外期刊 (SCI)	4	荷蘭	力學分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Chemical Vapor Deposition							
Influence of Hydrogen on the Mechanical Properties and Microstructure of DLC Films Synthesized by r.f.-PECVD	2008/10/15	VACUUM	Jiong-Shiun Hsu 、 Shinn-Shyong Tzeng 、Ying-Jie Wu	國外期刊 (SCI)	3	荷蘭	力學分項
多壁奈米碳管/聚二甲基矽氧烷複合材料之機械性質與電性質研究	2007/12/22	中華民國力學會議	葉銘泉、林學楚、吳忠霖	國內研討會	6	中華民國	力學分項
Mechanical Properties of PDMS/CNTs Nanocomposites	2007/11/29	MRS Fall	Chung-Lin Wu 、 Hsueh-Jiann Lin 、 Chien-Hsin Huang 、 Ming-ChuenYip	國際研討會	6	美國	力學分項
國內奈米壓痕試驗機量測比對現況	2008/07/21	量測資訊	林以青、徐炯勛、吳忠霖	國內期刊	9	中華民國	力學分項
Mechanical and Physical Properties of Polydimethylsiloxane/Multi-walled Carbon Nanotube Nanocomposites	2008/09/25	Asian-Australasian Conference on Composite Materials	Chung-Lin Wu 、 Hsueh-Jiann Lin 、 Ming-ChuenYip 、 Wei-Leun Fang	國際研討會	4	日本	力學分項
Static and Dynamic Mechanical Properties of Polydimethylsiloxane/Carbon Nanotubes Nanocomposites	2008/07/14	Thin Films 2008	Chung-Lin Wu 、 Hsuen-Chu Lin 、 Jiong-Shiun Hsu 、	國際研討會	26	新加坡	力學分項

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
			Ming-Chuen Yip 、 Weiluen Fang				
日本氫氣計量技術介紹	2008/03/03	量測資訊	蘇峻民、馮志成、楊 正財	國內期刊	9	中華民國	微流分項
Flow Calibration System for Micro-flowrate Delivery and Measurement	2008/08/03	NCSLI 2008	Chun-Min Su、Win-Ti Lin 、 Cheng-Tsair Yang	國際研討會	19	美國	微流分項
生醫晶片用微流量計校正技術	2008/09/18	南京全國流量研討會	蘇峻民、蔡昆志、楊 正財	國際研討會	9	中國	微流分項
微流體標準技術回顧與展望	2008/09/26	海峽兩岸計量與品質研 討會	蕭俊豪、施學兢	國內研討會	6	中國	微流分項
Sizing Effects on Silicon Micro Sonic Nozzles	2008/12/10	3 rd ISEM 2008	Chih-Chung Hu 、 Win-Ti Lin、Wen-Jay LiuWen-Chieh Liu、 Chun-Min S 、 Tzu-Liang Chen 、 Hsing-Wen Tsai	國際研討會	5	中華民國	微流分項

附件五、研究報告一覽表

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
電重力氣膠平衡法奈米粉體粒徑量測系統測試報告	2008/05/06	中文	機密	15	林志明、余大昌、翁漢甫、潘善鵬	尺寸分項
VAMAS 出國報告	2008/07/31	中文	非機密	7	傅尉恩	尺寸分項
出國訓練報告 - 23rd ASPE Annual Meeting and 12th ICPE	2008/11/10	中文	非機密	6	林志明	尺寸分項
奈米粒徑校正程序 - 電遷移率分析法	2008/11/28	中文	機密	15	翁漢甫、林志明、潘善鵬、余大昌	尺寸分項
奈米粒徑校正系統評估報告 - 電遷移率分析法	2008/11/28	中文	機密	18	翁漢甫、林志明、潘善鵬、余大昌	尺寸分項
奈米粒徑校正程序 - 電重力氣膠平衡法	2008/11/28	中文	機密	19	余大昌、林志明、翁漢甫、潘善鵬	尺寸分項
奈米粒徑校正系統評估報告 - 電重力氣膠平衡法	2008/11/28	中文	機密	26	余大昌、林志明、翁漢甫、潘善鵬	尺寸分項
50 nm線寬量測技術研究報告	2008/12/18	中文	非機密	13	潘善鵬、劉惠中、陳智榮	尺寸分項
50 nm線寬量測之最佳能力分析研究報告	2008/12/18	中文	非機密	16	劉惠中、潘善鵬、陳智榮	尺寸分項
薄膜量測系統評估報告-X射線儀	2008/12/08	中文	機密	25	傅尉恩	尺寸分項
薄膜量測系統校正程序-X射線儀	2008/12/08	中文	機密	18	傅尉恩、陳怡菁	尺寸分項
高介電常數 HfO ₂ 薄膜的退火特性之	2008/12/24	英文	非機密	11	張櫻靖、傅尉恩、陳怡菁	尺寸分項

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
XRR/XRD 量測分析			密			
出國訓練報告-參加 International Workshop on Documentary Standards for Measurement and Characterization in Nanotechnologies ; 拜訪 Institute for National Measurement Standards(INMS)	2008/08/01	英文	非機密	7	姚斌誠	尺寸分項
出國訓練報告-參加 IEC WG3 Meeting ; 拜訪 JEOL	2008/08/22	英文	非機密	8	姚斌誠	尺寸分項
出國訓練報告-參加 ASTM Committee E56 ; 拜訪 Washington University	2008/05/30	中文	非機密	10	陳朝榮	尺寸分項
出國訓練報告-拜訪 BSI(英國標準協會) 報告奈米標章近況 ; 參加 ENTA(歐洲奈米技術貿易聯盟)研討會 ; 拜訪 NPL(英國國家物理實驗室)	2008/07/11	中文	非機密	7	彭國勝	尺寸分項
出國訓練報告-參加 6th ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working Groups Meeting	2008/08/13	英文	非機密	13	姚斌誠	尺寸分項
出國訓練報告-參加 2008 Denver X-ray Conference and International Conference of Residual Stresses ; 拜訪 NIST	2008/09/01	英文	非機密	7	傅尉恩	尺寸分項
出國訓練報告-至 NIST 客座及參加	2008/11/01	中文	非機	12	陳怡菁	尺寸分項

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
IEEE NANO 2008			密			
出國訓練報告-參加 2008 IEC/TC 113 Nanotechnologies & Working froup 3 下半年會議及 2008 ISO/TC 229 Nanotechnologies & Working groups 下半年會議	2008/12/30	英文	非機密		姚斌誠	尺寸分項
人體生物樣本備製技術	2008/08/11	中文	非機密	23	顏君哲、鄭友仁	力學分項
人體生物樣本備製技術期末報告	2008/12/08	中文	非機密	35	顏君哲、鄭友仁	力學分項
2008 新加坡薄膜研討會出國報告	2008/08/06	中文	非機密	7	吳忠霖	力學分項
2008 德國 PTB 出國報告	2008/12/30	中文	非機密	7	吳忠霖	力學分項
2008 微小結構勁度量測報告	2008/12/30	中文	非機密	7	潘福隆	力學分項
2008 生物相容性矽膠材料之活性測試與機械特性研究報告	2008/12/30	中文	非機密	22	林采吟、遲雅各、徐炯勛	力學分項
光度法微奈升單劑量量測技術可行性研究報告	2008/07/08	中文	非機密	19	江俊霖、蘇峻民、趙子佑	微流分項
定量式數位流體晶片實驗	2008/12/30	中文	非機	22	蔡昆志、蘇峻民、陳定璿	微流分項

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
			密			
光度法分注量量測方法與應有作為	2008/12/30	中文	非機密	16	蘇峻民、江俊霖、吳俊甫	微流分項
2008 美國 NCSLI 研討會出國報告	2008/12/30	中文	非機密	15	蘇峻民	微流分項

附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表
研討會一覽表

項次	研討會名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦地點	參加人數	廠商家數
1	奈米粉體製作與量測技術研討會 (配合NML)	2008/04/15	新竹	25	12
2	微量分注器使用與校正實務研討會	2008/05/22	新竹	27	19
3	2008 度量衡標準計畫聯合成果展	2008/12/03	台北	150	65

附件七

研 究 成 果 統 計 表

成果 項目 分項計畫名稱	專利權 (項數)		著作權 (項數)	論文 (篇數)		一般研究報告 (篇數)			技 術 創 新 (項數)				技術 引進 (項數)	技術移轉		技術服務		研 討 會		
	獲證	申請		國內 發表	國外 發表	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟 體	技 術		項 數	廠 家	項 數	廠 家	場 次	人 數	日 數
1.尺寸參數量測追溯 分項	0	1		13	11	10		10								8	210	3	202	
2.力學性質量測追溯 分項	0	1		2	5	4		2												
3.微流量測標準技術 分項	1	1		2	3	3		1												
小 計	1	3		17	19	17		13								8	210	3	202	
合 計	1	3		36		30			-				-	-		-		-		

註：(1) 技術創新一欄中所謂產品係指模型機、零組件、新材料等。

(2) 專利權及著作權項數以當年度核准項目為主，若為申請中案件則於次年度中列報。

(3) 研討會含在職訓練、成果發表會及說明會。

附件八、中英文對照表

英文縮寫	英文全名	中文名
AFM	Atomic Force Microscope	原子力顯微鏡
AFNOR	Association Francaise de Normalisation	法國法國標準協會
AIST	Agency of Industrial Science and Technology	日本產業技術綜合研究所
ANF	Asia Nano Forum	亞洲奈米論壇
ANSI	American National Standards Institute	美國國家標準協會
AOI	Automatic Optical Inspection	自動光學檢測
APEC	Asia Pacific Economic Committee	亞太經合會
APMP	Asia Pacific Metrology Programme	亞太計量組織
ASME	American Society of Mechanical Engineers	美國機械工程師學會
ASPE	American Society for Precision Engineering	美國精密工程學會
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures	國際度量衡局
BRDF	Bidirectional Reflectance Distribution Functions	雙反射分佈函數
BSI	British Standards Institute	英國標準協會
CD	Critical Dimension	關鍵尺寸
CMS	Center for Measurement Standards	量測技術發展中心
CNLA	Chinese National Laboratory Accreditation	中華民國認證體系
CNT	Carbon Nano-tube	奈米碳管
COPs	Crystal Originated Pits	原始結晶缺陷
CRM	Certified Reference Material	驗證參考物質
DLS	Dynamic Light Scattering	動態光散射儀
DMA	Differential Mobility Analyzer	電氣遷移率分析儀
EAB	Electro-gravitation Aerosol Balance	電重力氣膠平衡
ENTA	European Nanotechnology Trade Alliance	歐洲奈米技術貿易聯盟
GIXRR	Grazing Incidence X-ray Reflectometry	掠角X射線反射儀
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement	量測不確定度表示法指引
ICT	Instrument Calibration Technique	校正程序
IMECE 2006	International Mechanical engineering Congress and exhibition	2006年國際機械工程研討會與展示會

INMS	Institute for National Measurement Standards	國家測量標準研究所
ISO	International Standard Organization	國際標準組織
JEITA	Japan Electronics and Information Technology Industries Association	日本電子資訊技術產業協會
KC	Key Comparison	關鍵比對
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	韓國國家標準及科學研究所
MIM	Modulation Interference Microscope	調變干涉顯微鏡
μ PIV	Micro Particle Image Velocimetry	微粒子影像流速儀
MSVP	Measurement System Validation Procedure	量測系統評估
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準暨技術研究院
NIOSH	National Institute of Standards and Technology	美國勞工安全衛生研究所
NMIJ	National Metrology Institute of Japan	日本計量研究所
NML	National Measurement Laboratory	國家標準實驗室
NRC	National Research Council Canada	加拿大國家研究院
NTI/1	UK National standardization committee for nanotechnologies	英國奈米國家標準委員會
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	德國聯物理研究院
PZT	Piezo-electric Transducer	壓電傳感器
SE	Spectroscopy Ellipsometry	橢圓偏光儀
SEM	Scanning Electron Microscope	電子顯微鏡
SPM	Scanning Probe Microscope	掃描探針顯微鏡
SRM	Standard Reference Material	標準參考物質
STM	Scanning Tunneling Microscope	掃描穿隧顯微鏡
SWE	Single Wavelength Ellipsometry	單波長橢偏儀
TANIDA	Taiwan Nanotechnology Industry Development Association	台灣奈米技術產業發展協會
TEM	Transmission Electron Microscope	穿透式電子顯微鏡
XRR	X-ray Reflectometry	X射線反射儀

附件九、參考文獻索引

編號	出處
尺寸參數量測追溯分項	
1-1	N G Orjil and R G Dixson ¹ , Higher order tip effects in traceable CD-AFM-based linewidth measurements, Meas. Sci. Technol. 18 (2007) 448–455
1-2	Marco Tortonese, Yu Guan, and Jerry Prochazka, CD-AFM reference metrology at NIST and SEMATECH, Proceedings of SPIE -- Volume 5038, May 2003, pp. 711-718
1-3	K. Ehara, K. Takahata, and M. Koika, “Absolute Mass and Size Measurement of Monodisperse Particles Using a Modified Millikan’ s Method: Part I— Theoretical Framework of the Electro-Gravitational Aerosol Balance” , Aerosol Science and Technology, Vol. 40, pp. 514-520 (2006).
1-4	K. Ehara, K. Takahata, and M. Koika, “Absolute Mass and Size Measurement of Monodisperse Particles Using a Modified Millikan’ s Method: Part II— Application of Electro-Gravitational Aerosol Balance to Polystyrene Latex Particles of 100 nm to 1 μm in Average Diameter”, Aerosol Science and Technology, Vol. 40, pp. 521-535 (2006).
1-5	E. O. Knutson and K. T. Whitby, “Aerosol Classification by Electric Mobility: Apparatus, Theory and Applications”, J. Aerosol Sci., Vol. 6, pp. 443-451 (1975).
1-6	P. D. Kinney, D. Y. H. Pui, G. W. Mulholland, and N. P. Bryner, “Use of the Electrostatic Classification Method to Size 0.1 μm SRM Particles,” J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol., Vol. 96, pp. 147-176 (1991).
1-7	G. M. Mulholland, N. Bryner, and C. Croarkin, “Measurement of 100 nm NSIT SRM 1963 by Differential Mobility Analyzer,” Aerosol Sci. Technol., Vol. 31, pp. 39-55, (1999).
1-8	ISO, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.
1-9	Huang, Feng., “X-Ray Reflectivity Studies of Thin Film,” Internal Report, Center for Materials for Information Technology, the University of Alabama, Tuscaloosa, 2005.
1-10	P. A. Bobbert and J. Vlieger, “Light scattering by a sphere on a substrate,” Physica, 137A, 209-242, 1986.
1-11	J. C. Stover, Optical scattering: measurement and analysis, Washington, SPIE Optical Engineering Press, 1995
1-12	H. C. v. d. Hulst, Light scattering by small particles, Dover, New York,

編號	出處
	1981.
1-13	J. C. Stover, Optical scattering in the optics, semiconductor, and computer disk industries, Proc. SPIE 2541, 1995.
1-14	K. A. Fuller, G. W. Kattawar and R. T. Wang, "Electromagnetic scattering from two dielectric sphere: further comparisons between theory and experiment," Applied Optics, 25, 2521-2529, 1986.
1-15	G. Videen, "Light scattering from a sphere on or near a surface," J. Opt. Soc. Am. A, 8, 483-489, 1991
1-16	B. R. Johnson, "Calculation of light scattering from a spherical particle on a surface by the multipole expansion method," J. Opt. Soc. Am. A, 13, 326-337, 1996.
1-17	G. Videen and D. Ngo, "Light scattering from a cylinder near a plane interface: theory and comparison with experimental data," J. Opt. Soc. Am. A, 14, 70-78, 1997.
1-18	W. Sun, Q. Fu and Z. Chen, "Finite-difference time-domain solution of light scattering by dielectric particles with a perfectly matched layer absorbing boundary condition," Applied Optics, 38, 3141-3151, 1999.
1-19	T. A. Germer and C. C. Asmail, "The polarization of out-of-plane scattering from microrough silicon," Optics Letters, 22, 1284-1286, 1997.
1-20	T. A. Germer, "Angular dependence and polarization of out-of-plane optical scattering from particulate contamination, subsurface defects, and surface microroughness," Applied Optics, 36, 8798-8805, 1997
1-21	T. A. Germer and C. C. Asmail, "Goniometric optical scatter instrument for out-of-plane ellipsometry measurements," Review of Scientific Instruments, 70, 3688-3695, 1999
1-22	L. Sung, G. W. Mulholland and T. A. Germer, "Polarized light-scattering measurements of dielectric spheres upon a silicon surface," Optics Letters, 24, 866-868, 1999.
1-23	R. M. A. Azzam, "Photopolarimetric measurement of the Mueller matrix by Fourier analysis of a single detected signal," Optics Letters, 2, 148-150, 1978.
1-24	K. B. Nahm and W. L. Wolfe, "Light-scattering models for spheres on a conducting plane: comparison with experiment," Applied Optics, 26, 2995-2999, 1987.
1-25	C. F. Bohren and D. R. Huffman, Absorption and scattering of light by small particles, Wiley-VCH, Germany, 2004.

編號	出處
1-26	C.-M. Lin and W.-E. Fu, "Deposition of monodisperse nanoparticles onto wafers using a differential mobility analyzer," 4th Asia-Pacific Conference on Transducers and Micro-Nano Technology, 201, 2008.
力學性質量測追溯分項	
2-1	T. R. Besanger, Y. Chen, A. K. Deisingh, R. J. Hodgson, W. Jin, S. Mayer, M. A. Brook, J. D. Brennan, "Screening of inhibitors using enzymes entrapped in sol-gel-derived materials", Anal. Chem. 75, 2382-2391(2003).
2-2	T. R. Besanger, R. J. Hodgson, J. R. A. Green, J. D. Brennan, "Monolithic membrane-receptor columns : Optimization of column performance for frontal affinity chromatography/mass spectrometry applications", Anal. Chim. Acta 561, 108-117(2006).
2-3	J. A. Cruz-Aguado, Y. Chen, Z. Zhang, N. H. Elowe, M. A. Brook, J. D. Brennan, "Ultrasensitive ATP detection using firefly luciferase entrapped in sugar-modified sol-gel derived silica ", J. Am. Chem. Soc. 126, 6878-6879(2004).
2-4	R. J. Hodgson, M. A. Brook, J. D. Brennan, "Capillary-scale monolithic immunoaffinity columns for immunoextraction with in-line laser-induced fluorescence detection", Anal. Chem. 77, 4404-4412 (2005).
2-5	F.R. Marciano , L.F. Bonetti , R.S. Pessoa , J.S. Marcuzzo , M. Massi , L.V. Santos , V.J. Trava-Airoldi, "The improvement of DLC film lifetime using silver nanoparticles for use on space devices ", Diamond and Related Materials, Vol. 17, pp. 1674-1679(2008).
2-6	J. Robertson, "Diamond-like amorphous Carbon", Materials Science and Engineering R, Vol. 37, pp. 129-281(2002).
2-7	F. Tuinstra, J. L. Koenig , "Raman spectrum of graphite", J Chem Phys ,53(3):1126-30 (1970).
2-8	J. S. Hsu, S. S. Tzeng, and Y. J. Wu, "Influence of hydrogen on the mechanical properties and microstructure of DLC films synthesized by r.f.-PECVD," Vacuum, Vol. 83, pp. 622-624(2008).
2-9	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO, 1995.
2-10	微奈米機械性質/力量量測系統校正程序，07-3-96-0147，工研院量測技術發展中心，2007.
2-11	微奈米機械性質/力量量測系統評估報告，07-3-96-0125，工研院量測技術發展中心，2007.
微流量測標準技術分項	

編號	出處
3-1	ISO 8655-7:2005(E) Piston-operated volumetric apparatus-Part 7: Non-gravimetric methods for the assessment of equipment performance, ISO, 2005.
3-2	ISO/TR 16153:2004(E) Piston-operated volumetric instruments-Determination of uncertainty for volume measurements made using the photometric method, ISO, 2004
3-3	ISO 8655-6:2002(E) Piston-operated volumetric apparatus-Part 6: Gravimetric methods for the determination of measurement error, ISO, 2002.
3-4	Curtis, R.H., “Performance verification of small volume mechanical action pipettes,” Artel Inc. (1996).
3-5	Photometric Calibration of Liquid Delivery Devices: Validation and Traceability, Richard Curtis, 2000.
3-6	ISO/TR 20461:2000 Determination of Uncertainty for Volume Measurements Made Using the Gravimetric Method, ISO, 2000
3-7	ISO/IEC/OIML/BIPM, Guide to the expression of uncertainty in measurement, ISO, 1995
3-8	Pollack, M. G., Fair, R. B., and Shenderov, A. D., 2000, “Electrowetting-based actuation of liquid droplets for microfluidic application,” Appl. Phys. Lett., 77, pp. 1725-1726.
3-9	Srinivasan, V., Pamula, V. K., and Fair, R. B., 2004, “An integrated digital microfluidic lab-on-a-chip for clinical diagnostics on human physiological fluids,” Lab Chip, 4, pp. 310-31

附件十

經濟部標準檢驗局度量衡及認證類委辦科技計畫績效評估報告

93.11.29 核定

一、基本資料：

- 1.計畫名稱：奈米技術計量標準計畫(6/6)
- 2.執行機關(單位)：工研院量測中心
- 3.經費：96年預算數： 30,000 元、簽約數： 30,000 元
 97年預算數： 46,900 元
 97年簽約數： 46,900 元

二、評分表：

國家標準實驗室績效評估評分表

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96分	95-80分	79-60分	59-40分	39-1分			
一、共同指標						45%	99.1	44.65
1.計畫作為						6%	99	5.96
(1)計畫目標之挑戰性	目標極具挑戰性。	目標甚具挑戰性。	目標具有挑戰性。	目標略具挑戰性，或與上年度相同。	目標不具挑戰性，或較上年度降低。	2%	99	1.98
(2)年度列管作業計畫具體程度	計畫內容均能具體、量化。	計畫內容大多能具體、量化。	計畫內容部分具體、量化。	計畫內容少部分具體、量化。	計畫內容未能具體、量化。	2%	99	1.98
(3)計畫之變更	核定之整體計畫、分項計畫均未曾修正。	核定之分項計畫曾修正，但未影響整體計畫之完成期限。	核定之分項計畫曾修正，致延長整體計畫之完成期限。	核定之整體計畫曾修正(或分項計畫曾修正二次以上)。	核定之整體計畫修正二次以上。	2%	100	2
評分說明	若依政府政策需要或本局要求變更計畫內容，該次修正得不列入績效評估。							
2.計畫執行						12%	99	11.88
(1)進度控制情形	依管考週期，年度進度或總累積進度均符合預定進度。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在0%~3%以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在3%~5%以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後在5%~10%以內者。	依管考週期，年度進度或總累積進度曾落後超過10%者。	4%	99	3.96
(2)各項查證改善	期中、期末及不定期等各項查證均依期限完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期10日以內完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期10~20日以內完成改善並回覆。	期中、期末及不定期等各項查證逾期20~30日以內完成改善並回覆。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	4%	99	3.96
(3)進度控制結果	年度終了累積進度符合預定進度，且如期完成預期之年度進度。	年終時年度進度落後在0%~3%以內者。	年終時年度進度落後在3%~5%以內者。	年終時年度進度落後在5%~10%以內者。	年終時年度進度落後超過10%者。	4%	99	3.96
3.經費運用						15%	99.5	14.93
(1)預算控制情形	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支出比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支出比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支出比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支出比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支出比	7%	99	6.93

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96分	95-80分	79-60分	59-40分	39-1分			
	在 97%~100%之間。	在 97%~93%以內者。	在 93%~88%以內者。	在 88%~80%以內者。	用比在 80%以下者。			
(2)資本支出預算控制結果	依年終資本支出預算執行率給分。					8%	100	8
評分說明	如計畫無資本門預算，則「資本支出預算控制結果」項目權數為 0，而「預算控制情形」權數調整為 12%，另 2.計畫執行之「進度控制情形進度控制結果」、「各項查證改善」及「進度控制結果」三項權數分別調整為 5%。							
4.行政作業						12%	99	11.88
(1)各項計畫書及契約書	均能依限完成；且未有退件修訂者。	逾期 5 日以下完成者；或曾退件修訂 1 次。	逾期 5~10 日以內完成者；或曾退件修訂 2 次。	逾期 10~15 日以內完成者；或曾退件修訂 3 次。	逾期超過 15 日完成者；或曾退件修訂超過 3 次。	3%	99	2.97
評分說明	1.若依政府政策需要或本局要求變更各項計畫書及契約書內容，該次修正得不列入績效評估。 2.本項退件修訂係指本局正式函文通知者。							
(2)進度報表	各項進度報表依格式詳實填寫，且如期填送。	各項進度報表依格式詳實填寫，且填送平均逾期 3 日以下者。	各項進度報表尚能依格式詳實填寫，且填送平均逾期 3~5 日以內者。	各項進度報表依格式填寫，且填送平均逾期 5~7 日以內以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
(3)配合度	均能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且如期提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 3 日以下提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 3~5 日以內提供必要之資料或協助。	部分能完全配合提供主管機關有關計畫之要求，且平均逾期 5~7 日以內提供必要之資料或協助。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
(4)各項執行報告	各項執行報告依格式詳實填寫，且如期填送。	各項執行報告依格式詳實填寫，且填送逾期 5 日以下者。	各項執行報告依格式詳實填寫，且填送逾期 5~10 日以內者。	各項執行報告依格式填寫且填送逾期 10~15 日以內者；或雖依格式填寫，但資料不詳實，且填送逾期 10 日以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
二、個別指標						55%	93	52.11
1.研發成果						9%	78	8.19
(1)期刊、論文、研究報告發表數	期刊、論文、研究報告發表總數較前年增加 10% 以上；或其中列入 SCI 期刊超過總數 10% 以上；或國際性發表超過總數 30% 以上。	期刊、論文、研究報告發表總數較前年相同或增加 0%~10% 以內；或其中列入 SCI 期刊佔總數 0%~10% 以內；或國際性發表佔總數 20%~30%。	期刊、論文、研究報告發表總數較前年減少 0%~15% 以內；或國際性發表佔總數 15%~20%。	期刊、論文、研究報告發表總數較前年減少 15%~30% 以內；或國際性發表佔總數 5%~15%。	期刊、論文、研究報告發表總數較前年減少 30% 以上；或國際性發表佔總數 5% 以下。	4% (2~4%)	100	4
評分說明(佐證)	1.96 年：期刊、論文、研究報告發表總數：49 篇；其中國際論文發表總數：11 篇；其中列入 SCI 期刊總數：1 篇。 2.97 年：期刊、論文、研究報告發表總數：66 篇(較 FY96 增 34.7%)；其中國際性發表總數：19 篇(佔發表總數的 52.8%)；其中列入 SCI 期刊總數：2 篇(較 FY96 增 100%)。 3.上三項衡量指標得擇優評分。							

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96分	95-80分	79-60分	59-40分	39-1分			
(2) 專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年增加5%以上者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年相同或增加0%~5%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少0%~15%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少15%~30%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少30%以上者。	4% (2~4%)	95	3.8
評分說明(佐證)	1.96年：專利權核准數： <u>2</u> 件數；專利權授權(應用)收入： <u>0</u> 元；新技術引進總項數： <u>0</u> 項數。 2.97年：專利權核准數： <u>1</u> 件數(較FY96減 <u>50</u> %)；專利權授權(應用)收入： <u>0</u> 元(較FY96減 <u>0</u> %)；新技術引進總項數： <u>0</u> 項數(較FY96減 <u>0</u> %)。 3.上三項衡量指標得擇優評分。							
(3) 研發成果運用及移轉	研發成果運用及移轉之件數、廠家數或實際收入金額較前年增加5%以上者。	研發成果運用及移轉之件數、廠家數或實際收入金額較前年相同或增加0%~5%者。	研發成果運用及移轉之件數、廠家數或實際收入金額較前年減少0%~5%者。	研發成果運用及移轉之件數、廠家數或實際收入金額較前年減少5%~10%者。	研發成果運用及移轉之件數、廠家數或實際收入金額較前年減少10%以上者。	1% (2~4%)	39	0.39
評分說明(佐證)	1.96年：研發成果運用及移轉之件數、廠家數： <u>3</u> 件數；其實際收入金額： <u>248,571</u> 元。 2.97年：研發成果運用及移轉之件數、廠家數： <u>0</u> 件數(較FY96減 <u> </u> %)；其實際收入金額： <u>0</u> 元(較FY96減 <u> </u> %)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
2.技術能力						15%	99	14.61
(1) 技術發展	技術發展投入經費比率較前年增加5%以上者；或標準能量新建及擴建完成套(項)數較前年增加5%以上者。	技術發展投入經費比率較前年相同或增加0%~5%者；或標準能量新建及擴建完成套(項)數較前年相同或增加0%~5%者。	技術發展投入經費比率較前年減少0%~10%以內者。	技術發展投入經費比率較前年減少10%~20%以內者。	技術發展投入經費比率較前年減少20%以上者。	5% (4~6%)	99	4.95
評分說明(佐證)	1.96年：技術發展投入經費： <u>30,000</u> 元；標準能量新建及擴建完成套(項)數： <u>1</u> 套(項)。 2.97年：技術發展投入經費： <u>46,900</u> 元(較FY96增 <u>56.3</u> %)；標準能量新建及擴建完成套(項)數： <u>1</u> 套/項(較FY96減 <u>0</u> %)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(2) 國際比對/能力試驗	參與國際比對/國際能力試驗項次前年增加5%以上者；或主辦國際比對/國際能力試驗2項次以上者。	參與國際比對/國際能力試驗項次前年相同或增加0%~5%以上者；或主辦國際比對/國際能力試驗1項次者。	參與國際比對/國際能力試驗項次前年減少0%~15%以內者。	參與國際比對/國際能力試驗項次較前年減少15%~30%以內者。	參與國際比對/國際能力試驗項次較前年減少30%以上者。	6% (4~6%)	95	5.7
評分說明(佐證)	1.96年：參與國際比對及國際能力試驗： <u>1</u> 項次；主辦國際比對及國際能力試驗： <u>1</u> 項次。 2.97年：參與國際比對及國際能力試驗： <u>1</u> 項次(較FY96減 <u>0</u> 項次)；主辦國際比對及國際能力試驗： <u>1</u> 項次。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(3) 標準技術之研發	標準技術大多為國際領先群之地位，能提升實驗室研發能力，大多能建立獨立自主之	標準技術部分為國際領先群之地位，能提升實驗室研發能力，大多能建立獨立自主之	標準技術部分為國際追隨者之地位，部分能建立獨立自主之國家原級標準。	標準技術大多為國際為追隨者之地位，大多無法建立獨立自主之國家原級標準。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	4% (4~6%)	99	3.96

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96分	95-80分	79-60分	59-40分	39-1分			
	國家原級標準。	國家原級標準。						
3. 技術推廣 與服務						15%	91	13.59
(1)技術服務或 移轉	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年增加5%以上者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年相同或增加0%~5%者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少0%~15%以內者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少15%~30%者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少30%以上者。	3% (4~6%)	95	2.85
評分說明(佐 證)	1.96年：技術服務或移轉之件數、廠家數：3件數；其移轉權利金額：0元。 2.97年：技術服務或移轉之件數、廠家數：3件數(較FY96減0%)；其移轉權利金額：0元(較FY96減0%)。(輔導清大奈微與材料科技中心、成大奈米中心、中興奈米材料測試實驗室取得TAF認證) 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(2)技術研討會 與說明會之 場次/人次	技術研討會與說明會之場次或人次較前年成長5%以上者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年相同或成長0%~5%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少0%~15%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少15%~30%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少30%以外者。	6% (4~6%)	100	6
評分說明(佐 證)	1.96年：技術研討會/說明會之場次：3場次；其參加總人次：115人次。 2.97年：主協辦技術研討會/說明會之場次：3場次(較FY96增0%)；其參加總人次：202人次(較FY96增75.7%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(3)校正服務	校正服務件數或收入金額較前年成長5%以上者。	校正服務件數或收入金額較前年相同或成長0%~5%以內者。	校正服務件數或收入金額較前年減少0%~15%以內者。	校正服務件數或收入金額較前年減少15%~30%者。	校正服務件數或收入金額較前年減少30%以外者。	6% (4~6%)	79	4.74
評分說明(佐 證)	1.96年：校正服務件數：224件數。 2.97年：校正服務件數：210件數(較FY96減6.3%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
4.資源運用						6%	97	5.82
(1)人力運用	計畫執行人力(經費)較前年減少5%以上者，但績效提升，執行工作(項目)增加。	計畫執行人力(經費)較前年相同或減少0%~5%以內者，但績效提升，執行工作(項目)增加。	計畫執行人力(經費)較前年增加0%~10%以內者，但執行工作(項目)無增加。	計畫執行人力(經費)較前年增加10%以上者，但執行工作(項目)無增加。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3% (2~4%)	95	2.85
評分說明(佐 證)	1.96年：經費：12,109元；其計畫執行人力：10.5人年。 2.97年：經費：19,452元(較FY96增60.6%)；其計畫執行人力：15.5人年(較FY96增47.6%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(2)設備購置與 有效利用	設備購置預算執行嚴格控制，並均能符合產業需求，有效利用，無閒置情形，且均依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並大多能符合產業需求，有效利用，無閒置情形，且均依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並大多能有效利用，且依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並分能有效利用，無法依使用期限保固使用，且需送修。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3% (2~4%)	99	2.97

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96分	95-80分	79-60分	59-40分	39-1分			
5.自訂項目	受託機關(單位)經考量各計畫屬性後，「共同指標」及「個別指標」各小項仍有不足之處，或有特殊之成效、表現、經濟效益、社會效益等非量化事績，可依實際需要自行訂定合適指標項目或說明，並予評分。					10%	99	9.9
評分說明(佐證)	<p>1.論文發表 36 篇(含 2 篇 SCI)，目標達成率為 171%，國外發表 19 篇，目標達成率為 237.5%。</p> <p>2.主辦國際比對 1 項次-奈米薄膜壓痕，共有 8 個經濟體，16 個實驗室參加。</p> <p>3.0610-13，亞洲生產力組織(APO)舉辦國際會議 Study Meeting on Strategic Industries：Nanotechnology，計畫主持人彭國勝博士為台灣代表，進行 Country Report，其他與會者還包括印度(2 人)、伊朗(2 人)、日(2 人)、韓(2 人)、馬來西亞(3 人)、新加坡(1 人)、泰國(3 人)。</p> <p>4.輔導中興大學奈米材料測試實驗室、清華大學奈微與材料科技中心、成功大學奈米中心取八得 TAF 認證。</p> <p>5.協助 APEC 亞太經合會工業科技小組辦理奈米檢測技術計畫之活動，970929-30 在台南成大辦理「2008 APEC Workshop for Thin Film Metrology」，共有 6 個經濟體 19 人參加，主題著重於薄膜厚度的量測、特性之研究、機械特性、及薄膜製程技術等。971001-03，在台南成功大學成功校區圖書館主辦 2007 亞太經合會-奈米檢測技術論壇(2008 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum)，共有 10 個經濟體 133 人參加，會中並邀請黃來和局長擔任貴賓致詞，講員來自美、韓、新加坡、日、泰、大陸、台灣等學者專家，針對奈米分析及量測的前瞻技術、奈米計量標準、奈米技術於半導體產業之應用、奈米結構材料之計量標準技術等等專題進行討論與交流。</p>							
總 分	96.8					100%		

說明：

1.個別指標各分項之小項指標權數，請依計畫性質於範圍內自行選定，惟其權數總和須等於該分項之權數。

1. 自評分數請評至個位，加權得分請算至小數第一位。