

計畫編號：95-1403-36-辛 01-00-00-00-24

## 經濟部標準檢驗局95年度奈米國家型計畫執行報告

### 奈米技術計量標準計畫（4/6）

（第4年度）

全程計畫：自92年1月至97年12月止

本年度計畫：自95年1月至95年12月止

中華民國 96 年 2 月

## 【期末報告摘要資料】

科資中心編號	PG9502-0798		
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	95-1403-36-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	95-1403-36-辛 01-00-00-00-24
年度	95	全程期間	9201-9712
本期經費	42,630仟元		
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
	當年	100%	100%
	全程	55%	55%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費
	當年	42,630仟元	42,625仟元
	全程	194,324仟元	142,815仟元
中文關鍵詞	奈米粒徑、小角度干涉儀、線寬、奈米膜厚、晶圓表面奈米微粒；奈米壓痕、奈米磨潤、超音波；微流量、分注量		
英文關鍵詞	Nanometer scale particles, Small angle interferometer, Linewidth(Critical Dimension), Nanometer scale film thickness, Nanometer scale particles on wafer surface ; Nanoindentation, Nanotribology, Ultrasonics ; Micro flowrate, Dispensed liquid volume		
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	
	楊正財 博士	Cheng-Tsair Yang	
	吳誌笙 博士等	Jeah-Sheng Wu	
研究成果中文摘要	1. 尺寸參數量測追溯分項： (1) 奈米粒徑量測系統-動態光散射儀評估及系統查驗 (2) 奈米粒徑量測系統-電氣遷移率法(DMA)建立 (3) 奈米粒徑量測系統-電重力平衡法(EAB)研究 (4) 薄膜量測系統校正程序及系統評估-X射線儀 (5) 協辦2006 APEC Nanoscale Technology Forum (6) 協辦2006 APEC Workshop for Nanoparticle Characterization (7) 協辦2006 APEC Interlaboratory Comparison on Nanometer Scale Particles		

	<p>(8)小角度校正系統轉盤與小角度干涉儀互校程序及系統評估</p> <p>(9)晶圓表面奈米微粒量測技術研究</p> <p>2.力學性質量測追溯分項：</p> <p>進行奈米壓痕、奈米磨潤及超音波技術量測，(1)奈米磨潤技術之建立。(2)奈米壓痕國際比對。(3)整合超音波激發與接收之研究。(4)高頻超音波量測技術(Freq. 10~80 MHz)。(5)微奈米級力量量測系統(Max ≥100 mN, noise floor &lt;1μN)。</p> <p>3.微流量測標準技術分項：</p> <p>進行體積法微流量量測研究以及微奈升分注體積量量測研究。(1)完成體積法微流量測平台之建立(10 nL/min–1 mL/min)及其量測不確定度評估。(2)完成微量分注器校正儀之系統不確定度評估(0.1 μL–199 μL)並建立光度法單劑量量測之標準追溯鏈。(3)完成各種奈升級分注量量測方法之比較分析；評估建立自有量測技術的可行性。</p>
英文摘要	<p>1.Nanometer scale metrology subproject :</p> <p>(1)Nanometer scale particles measurement system-system evaluation and verification of dynamic light scattering</p> <p>(2)Nanometer scale particles measurement system-development of Differential Mobility Analyzer(DMA)</p> <p>(3)Nanometer scale particles measurement system-study of Electro-gravitational Aerosol Balance(EAB)</p> <p>(4)Calibration and evaluation of thin film thickness measurement system-X-ray Reflectometer</p> <p>(5)Coordination of 2006 APEC Nanoscale Technology Forum</p> <p>(6)Coordination of 2006 APEC Workshop for nanoparticle characterization</p> <p>(7)Coordination of 2006 APEC interlaboratory comparison on nanometer scale particles</p> <p>(8)Cross calibration and system evaluation of precision rotation table and small angle interferometer</p> <p>(9)Pre-study of nanometer scale particles on wafer surface</p> <p>2.Measurement of mechanical properties for nano-devices subproject :</p> <p>The investigation of nanoindentation, nanotribology and ultrasonic techniques</p> <p>(1) Establish the nanotribology technique</p> <p>(2) Bilateral comparison of nanoindentation measurement</p> <p>(3)Integration of excited and received measurements of ultrasonics</p> <p>(4)Measurement technique of hight frequency for ultrasonics. (Freq. 10~80 MHz)</p> <p>(5)Establish the micro/nano forced measurement system (Max ≥100 mN , noise floor &lt;1μN)</p>

	<p>3.Measurement standards and traceability of microflow subproject :  Conducts the study of volumetric micro-flowrate measurement and  micro/nano liter scale dispensed liquid volume measurement.</p> <p>(1)The establishment of a volumetric micro-flowrate measurement plateform  (10 nL/min–1 mL/min) and the assessment of its measurement uncertainty</p> <p>(2) Uncertainty evaluation of the pipette calibration system (0.1 <math>\mu</math>L–199 <math>\mu</math>L)  and the establishment of traceability chain of single droplet measurement  by using photometric method</p> <p>(3) The analysis and comparision of various methods in determining nanoliter  scale dispensed liquid volume and the feasibility evaluation of establishing  such measurement techniques</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 .....	3
參、計畫變更說明.....	3
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 .....	4
(二)目標達成情形 .....	7
(三)配合計畫與措施 .....	18
二、資源運用情形	
(一)人力運用情形 .....	20
(二)設備購置與利用情形 .....	20
(三)經費運用情形 .....	21
三、人力培訓情形.....	23
伍、成果說明與檢討	
一、尺寸參數量測追溯分項計畫 .....	31
二、力學性質量測追溯分項計畫 .....	58
三、微流量測標準技術分項計畫 .....	67
四、成果與推廣 .....	82
陸、結論與建議.....	89
附件	
附件一、新台幣一百萬以上儀器設備清單 .....	91
附件二、國外出差人員一覽表 .....	92
附件三、專利成果統計一覽表 .....	94
附件四、論文一覽表 .....	95
附件五、研究報告一覽表 .....	99
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表 .....	101
附件七、研究成果統計表 .....	102
附件八、中英文對照表 .....	103
附件九、參考文獻索引 .....	105
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 .....	108
附件十一、期末查證會議審查意見回覆.....	113





## 壹、年度活動紀要

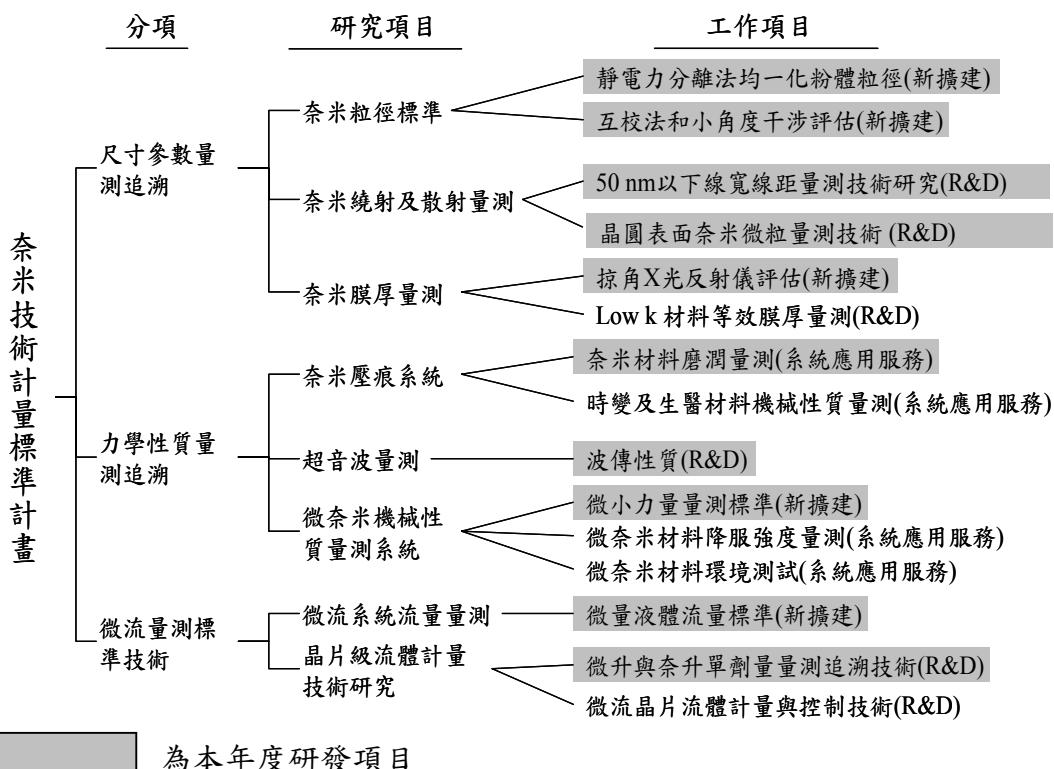
時間	大事紀要
950123	於標檢局召開 96 年度「奈米技術計量標準計畫」中程綱要計畫書審查會議。
950126	95 年度「奈米技術計量標準計畫」，以 4,263 萬元整議價決標簽約。
950210	於本中心 223 會議室舉行 94 年度「奈米技術計量標準計畫」期末查證會議。
950219-24	參加日本奈米技術展 Nano Tech 2006，尺寸參數量測追溯分項展出海報 1 張及 30 分鐘影音短片；微流量測標準分項展出自製微粒子影像流速儀。
950407	奈米產品製程與檢測研發聯盟成立，結合了產、官、學、研，由成功大學航太研究所成立技術委員會、工研院量測中心訂定量測規範後，由 SGS 台灣檢驗科技公司負責國際鑑定檢測。
950509	96 年度奈米國家型科技計畫中程綱要計畫書初審會議，於科技大樓第 5 會議室召開。
950519	逢甲大學師生參觀奈米計畫核心實驗室(包含力學以及流量)。
950524	召開大角度校正系統—多邊規與轉盤互校、奈米粒徑量測系統查驗會議。
950525-26	彭國勝博士參加日本 Second International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology，並作報告”Nanometrology Research and Its Standardization in Taiwan”
950529-31	參與奈米國家型科技計畫第一期成果評鑑會，並由計畫主持人彭國勝博士英文簡報計畫內容及相關成果，國外審查委員給予正面評價：“In addition, there are highly professional and internationally exemplary programs to meet industry needs for systematic branding (‘nanomark’) and metrology.”
950614-17	2006 台北光電週系列展
950620	楊正財博士應邀至中研院基因體國家型科技計畫核心設施辦公室，演講「微流體檢測技術在生物科技之需求與應用」。
950703	科技研究發展專案計畫投入產出評估會議於量測中心 16 館 223 會議室召開，並安排國家度量衡標準系統參觀介紹(包括耳溫計校正系統、電磁場感測器、電量追溯系統、塊規干涉儀)。
950726-28	全國認證基金會認證，奈米技術計量標準計畫有階高、線距、奈米粒徑系統。
950802	舉辦「薄膜硬度量測技術研討會」，共有 19 家廠商；30 人次參加。
950824	參加今日儀器公司在院奈米中心舉辦 Sympatec 粒徑量測產品說明會及擔任英文中譯工作，並於會中簡報「Particle size characterization

時間	大事紀要
	services at NML-CMS/ITRI」。
950901	接待日本產學技術總合研究所(AIST) 龜山哲也博士等 6 人，參觀計量型原子力顯微鏡。
950925-26	在奈米中心主辦 「APEC 2006 Workshop for Nanoparticle Measurements」，共有 10 個經濟體，18 人參加。學員 18 人於 67 館 147 室研習動態光散射奈米粒徑量測系統。
950927-29	台灣國際奈米週 Taiwan Nano-X Exhibition 參展，本計畫展出奈米粒徑量測技術(動態光散射法奈米粒徑標準海報一張及 30 分鐘影音短片一套)、奈米階高量測技術(階高標準片海報一張及標準片一片)及微粒子影像流速儀。
950927-29	在台北國際會議中心主辦 2006 亞太經合會-奈米檢測技術論壇(2006 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum)，共有 16 個經濟體，167 人參加，會中並邀請經濟部常務次長侯和雄擔任貴賓致詞，講員包括台、美、日、韓、加、大陸等，針對奈米標準、奈米檢測及標準的產業應用、奈米粉體粒徑量測、薄膜量測等專題進行討論與交流。
950929	APEC Forum 講員 6 人，參觀 16 館計量型原子力顯微鏡、計量型干涉顯微鏡及 67 館薄膜校正系統。
951003	舉行微流量測技術與應用研討會，共有 8 個廠商 25 名學員報名參加。
951016	奈米標章推行委員會，行政院衛生署（科技發展組）技監許須美委員等 6 人，參觀 16 館計量型原子力顯微鏡及 67 館動態光散射奈米粒徑量測系統。
951019	AOI 2006 Form & Show 展示階高標準片。
951025	於標檢局第一會議室舉行 FY96 奈米技術計量標準計畫細部審查會。
951027	「成功大學奈米中心」主任林仁輝教授與廖峻德教授等 10 人，參觀本計畫之奈米壓痕系統、微奈米機械性質量測系統及計量型原子力顯微鏡系統。。
951109-12	參加台北國際醫療器材藥品暨生技展覽會，展出微粒子影像流速儀。
951113-15	邀請俄羅斯 Amphora Lab. 專家(Dr. Pavel Osipov 及 Dr. Konstantin Indukaev) 討論光學式線寬 CD 量測技術，及調變干涉顯微術 (Modulation Interferometer Microscopy,MIM) 系統量測規格。
951114	舉辦奈米結構光學顯微量測研討會，邀請俄羅斯 Amphora Lab. 專家(Dr. Pavel Osipov 及 Dr. Konstantin Indukaev) 擔任講員，參加人員包括計畫成員、台積電、聯電、致茂、五鈴等公司共 18 人參加。
951109-12	台北國際醫療器材藥品暨生技展覽會參展，本計畫展出微粒子影像流速儀。
951120	舉行新標準好服務-2006 國家度量衡標準實驗室成果說明暨客戶座談會，共有廠商 47 家次，55 人次與會。

## 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。本年度進行尺寸參數量測追溯分項3個研究項目（奈米粒徑標準、奈米繞射及散射量測、奈米膜厚量測）；力學性質量測追溯分項3個研究項目（奈米壓痕量測、波傳性質量測及微奈米機械性質量測）；微流量測標準分項2個研究項目（微流系統流量量測、晶片級流體計量技術）。

本年度計畫架構如下：



## 參、計畫變更說明

本年度無計畫變更。

## 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

工作項目	月份	95年											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
• 晶圓表面奈米微粒量測技術			(18)									(19)	
		*											*
B. 力學性質量測追溯分項													
• 材料奈米磨潤特性研究													
▲ 材料選定之製作				(1)									
		*											
▲ 磨耗實驗之進行								(2)	(3)				
							*		*				
▲ 材料磨耗特性之分析													*
• 整合超音波激發與接收裝置													
▲ 光學干涉儀頻寬分析								(5)					
							*						
▲ 系統整合													(6)
• 高頻超音波量測技術													
▲ 系統架設與樣本設計													(7)
													*
• 微奈米機械性質量測系統建立													
▲ 學術委託													(9)
								*					*

工作項目	月份	95年											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
▲量測系統驗收測試									(10)	*			
▲施測形變校正實驗設計													(11)*
▲施力校正實驗設計													(12)*
•奈米壓痕系統國際比對				(13)						(14)			
C.微流量測標準技術分項				*						*			
•Air-Piston 體積法之校正平台								(1)		*			
•系統評估									(2)		(3)		*
•單劑量量測追溯					(4)					(5)			(6)
•國際期刊投稿				*		*					*		

## (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) 奈米粒徑標準</p> <p>1. 完成靜電力分離粒徑量測儀(DMA)請購。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 1/23 提出“靜電力粒徑量測儀”請購案；2/15 通過中心採購委員會審查；3/6 完成開標議價，得標廠商為陸傑科技公司。3/17 會同陸傑人員、奈米中心與院工安視察 DMA 系統預定安裝地點(奈米中心 147 實驗室)，規劃輻射安全區域與相關措施。4/22 參加原能會所舉辦之 95 年第 1 次操作人員輻射安全證書測驗(林志明、潘善鵬)，通過操作人員輻安證書國家考試。6/5 交貨；6/12-16 訓練；6/15 射源之輻射安全規範測試；6/19 至勞工衛生安全研究所進行 Electrospray Aerosol Generator 測試，並進行靜電式粒徑量測系統之周邊設備採購：流量計、乾燥劑以及管接頭等。7/11 舉行驗收會議，靜電力粒徑量測儀採購驗收通過。7/18 原能會到場進行射源複勘。7/24 完成 DMA 系統採購驗收。(量測範圍 20 nm-800 nm)</li> <li>● 2/19-24 參加日本奈米展展出海報 1 張及 30 分鐘影音短片。5/19 完成投稿日本 SMAMS-2 研討會動態光散射標準系統評估 paper 1 篇題目 ”Evaluation of Uncertainty in Nanoparticle Size by Dynamic Light Scattering”，海報 1 張。</li> <li>● 投稿量測資訊 1 篇，篇名「電氣遷移率量測系統介紹」，量測資訊第 109 期，36~39 頁，2006。</li> <li>● 林志明、潘善鵬、王振宇，“氣溶膠奈米粉體粒徑量測技術介紹”，機械</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
<p>2. 完成奈米微粒量測系統研製(靜電力分離法，範圍 20 nm –500 nm)。</p> <p>3. 完成連續角度標準系統評估 (0.1")。</p>	<p>月刊第三十二卷第 10 期，第 58-64 頁(2006.10)。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 協助 NMIJ 新製之 Millikan Cell 電極設計分析。日本 NMIJ/AIST 提供今年度預定建置 Millikan Cell 系統草圖供參考。9/15 完成 Millikan Cell 技術研究。量測範圍：DMA(20 nm-800 nm) 及 EAB(100 nm-500 nm)，預訂 FY97 評估，量測不確定度可達 3 nm-20 nm)。</li> <li>● 1/12 拜訪交大蔡春進教授，了解教授在 DMA 方面的研究以及 DMA 在環工領域的應用。與日本 NMIJ/AIST 討論今年度客座研究時程，最佳時間在下半年度。10/08 - 12/02 林志明至日本 NMIJ/AIST 客座研究(電重力氣溶膠平衡法奈米粉體量測技術)。</li> <li>● 大角度校正系統—多邊規與轉盤互校系統於 5/24 完成系統查驗。</li> <li>● 3 月完成小角度干涉機械結構修改：(1)360°全範圍轉動 (2)小角度干涉儀改良後測試，最大量測範圍可達 18°。6 月完成小角度干涉儀之臂長量測方程式公式推導及進行小角度干涉儀之重複性評估。95/7 進行小角度干涉儀校正得到臂長，由臂長對應到量測微小角度偏差，及進行偏差原因分析。</li> <li>● 進行小角度干涉儀校正程序(ICT)與系統評估報告(MSVP)撰寫，11 月完成 ICT。12 月完成系統查核數據擷取及 MSVP。</li> <li>● 完成角度國際比對(KC 03，多邊規、角度塊規)。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 進行角度國際比對(KC 03，多邊規、角度塊規)花費約 1.5 月時間較預訂為多，導致評估報告與校正程序完成時間延後。</li> </ul>

## (二) 奈米線寬線距標準

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
1. 建立奈米繞射及散射線寬量測技術( $50\text{ nm} - 1\text{ }\mu\text{m}$ )。 2. 完成階高標準片(介於 $1\text{-}100\text{ }\mu\text{m}$ )研製。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 4月搜集光學式線寬研究資料進行先期研究，完成光學式 CD(奈米線寬)量測技術先期研究規劃。委託台科大曾垂拱教授進行光學散射式調變干涉顯微術研究，並計畫邀請俄羅斯 Amphora Lab. 專家，來台進行相關技術討論。6/13 完成學術委託期中報告。11/13~15 Amphora Lab. 專家，來台進行調變式干涉顯微量測技術討論。11/29 完成學術委託案期末報告。</li> <li>● 3月完成奈米碳管探針/超細型 AFM 探針用於線寬量測研究規劃，因奈米碳管直徑約 <math>10\text{ nm}</math> 等級，組裝上 AFM 探頭之品質無法確定，改用超細型 AFM 探針(<math>2\text{ nm}</math>)。8月完成量測方向 <math>0\text{ 度}</math> 與 <math>180\text{ 度}</math> 旋轉之雙向互補量測測試，並進行此雙向互補量測之 3D 縫補組合所需軟體設計。10月測試 AFM 量測 CD，左右雙傾斜方式量測時，DI-AFM 結構會干擾。12月為解決 DI-AFM 結構干擾問題，變更量測方法為前後調整樣品傾斜方法，完成調整平台設計及 AFM 量測線寬(CD)研究報告。</li> <li>● 4月完成階高標準片第一版設計，採用鑽石切削精密加工製程。6月完成階高標準片(<math>1\text{-}100\text{ }\mu\text{m}</math>)初次製作。10月完成階高標準片(<math>1\text{-}100\text{ }\mu\text{m}</math>)研製與測試。均勻性誤差 <math>5\text{ mm}</math> 範圍內小於 <math>50\text{ nm}</math>，整圓 <math>50\text{ mm}</math> 直徑內小於 <math>200\text{ nm}</math>。</li> <li>● 5月與台積電、聯電公司連繫，並希望能由業界協助 <math>50</math> 奈米線寬所需之測試片與標準片。7月與台積電簽署合作計畫，並提供線寬測試</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 光學式奈米線寬量測技術受限於繞射極限，側向解析度遠較垂直方向解析度為差；邀請俄羅斯 Amphora 專家來台介紹調變式干涉顯微技術，可減少與避開繞射極限影響，提高側向解析度，只是經由講解，只針對基本原理，調變式干涉顯微技術是採用調制相位與偏極態，但對於關鍵技術由相位圖像轉換到 3D 尺寸技術，仍欠缺相關知識了解。</li> <li>● 接觸式 AFM 量測 CD，原規畫是使用 AFM 探頭裝設奈米探管進行量測，因黏貼奈米探管(<math>10\text{ nm}</math>)於 AFM 探頭上之品質無法確定，改用超細型 AFM 探針(探針尺寸 <math>2\text{ nm}\sim 10\text{ nm}</math>)。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
(三) 奈米膜厚標準  1.完成光學式奈米薄膜系統評估(量測不確定度 0.2 nm + 1.0%) (2 nm - 200 nm)。	片，以線寬測試片進行與俄羅斯 Amphora labs 量測比對。  ● 3 月參加輻防安全訓練與進行膜厚量測儀使用訓練。5 月完成 X-ray 薄膜系統評估之量測方程式初步推導，進行量測誤差因素分析，包括對量測不確定度之影響與計算靈敏係數。 ● 5 月傅尉恩博士赴日本參加 SMAM-2 研討會，搜集薄膜量測相關資料，拜訪 X-Ray 廠商 RIGAKU 公司和 NMIJ 先端研究室，討論 XRR 量測技術。與日本 NMIJ 進行 X-ray 薄膜評估技術討論，並提供一薄膜測試片。並取得 94 年薄膜國際比對報告草案(日本 NMIJ 主辦)。 ● 10 月完成奈米膜厚校正程序--掠角 X-ray 反射儀(ICT)。95/11 完成薄膜量測系統評估--掠角 X-ray 反射儀(MSVP，量測範圍 2 nm-200 nm，最佳校正能力 U=0.11 nm)。12 月提出系統查驗申請。	● 於 11 月達成目標，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初步推導、分析。與計畫書之查核點相較，因量測時間較長，並評估標準片之均勻性，於標準片量測面，取 9 點作穩定性、均勻性測試。工作量為原預定之 9 倍，故評估於 11 月完成。
(四) 晶圓表面奈米微粒量測技術  1.完成晶圓表面奈米微粒量測技術研究 ( particles on wafer ) 。	  ● 3 月完成晶圓表面奈米微粒量測技術規劃。4 月完成 NIST 等晶圓表面奈米微粒量測之相關技術資料搜集與研讀。6 月完成晶圓表面微粒散射光量測技術之理論推導。 ● 5 月完成晶圓表面奈米微粒量測初步測試架構設計，及進行零組件詢價和採購。10 月進行轉盤安裝與軟體設定及進行雷射光源組裝，夾治具設計。12 月完成晶圓表面奈米微粒量測技術研究規畫報告。	● 達成目標；完成晶圓表面奈米微粒量測之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。完成晶圓表面微粒散射光量測技術之理論推導。研究報告如期完成。

## 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
(一) 材料奈米磨潤特性研究		
1. 完成材料奈米磨潤之研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 選定適當摩潤研究素材，針對微尺度材料磨耗進行定量研究。</li> <li>● 與中正大學的研究團隊進行討論，同時定調本研究案著重的方向為產業應用導向，目前規劃之可能方向有平面顯示器(FPD)之導光板、半導體(Low-K)材料、人類牙齒之磨潤特性等材料。</li> <li>● 針對 LCD 擴散片及類鑽石薄膜進行奈米磨潤實驗，其中類鑽石薄膜由於其硬度較高，故施加之正向力達 <math>90\mu\text{N}</math>，往復磨耗 70 次後以奈米壓痕系統獲得磨耗後之形貌。</li> <li>● 整理磨耗實驗數據，係針對材料受磨耗後之磨耗深度為依據，探討製程參數對磨耗特性之影響。</li> <li>● 完成薄膜機械性質研究之探討報告撰寫，針對類鑽石薄膜之機械性質進行探討，研究製程參數對於磨耗之影像，並初步與奈米磨潤分子動力學之模擬結果相互比較，可得奈米磨潤分子動力學數值分析結果中，對於硬壓頭對軟材質之磨耗實驗之比較可獲得較相似之磨耗形貌。另外，並針對類鑽石之機械性質及微結構進行探討，探討與其磨耗特性關連。</li> <li>● 將研究成果之摘要投稿於 96 年於日本舉辦之 International Symposium on Sputtering and Plasma 國際研討會，目前摘要於 review 階段。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 半導體 Low-k 材料之磨潤性質為此材料之一重要參數，在目前業界及學術界中亦為一熱門之議題，本研究中委託單位曾針對半導體 Low-k 材料之分子動力學模型進行模型建立，探討其於奈米尺度下之奈米磨潤特性，由於此部分之研究為委託單位與其他研究單位之合作議題，因此目前相關之研究成果仍不便公開，待委託單位與合作單位或獲得初步之共識後再行公開研究成果。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
(二) 整合超音波激發與接收裝置		
1. 完成超音波激發與接收裝置之整合	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 4 月規劃高頻寬光學系統，使用 3 GHz FSR(腔長 5cm) 的 CFPI 干涉儀作為頻率辨識共振腔，並利用 fringe locking 以及 side band locking 等方法。</li> <li>● 6 月設計超音波激發座，架設試片來測試超音波光學干涉儀頻寬。</li> <li>● 6 月利用皮秒脈衝雷射作為激發裝置，整合光學脈衝激發超音波與光學接收裝置。</li> </ul>	
(三) 高頻超音波量測技術		
1. 建立高頻超音波量測技術： Freq. 10~80 MHz	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 9 月研究高頻訊號阻抗匹配與訊號處理，紀錄超音波波傳速度並轉換至頻域(frequency domain)，得出波傳頻散曲線。</li> </ul>	
(四) 微奈米機械性質量測系統建立		
1. 建立微奈米級力量量測系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 聯繫國外廠商，共同討論奈微米機械性質量測核心，經多次書信往返以及兩次跨國多方電話會議，最後得到國外原廠提供的書面規格，並於 4 月完成採購。</li> <li>● 7 月與中央大學研究團隊討論試片鍍製議題，將待測薄膜鍍於冰晶石鍍層上，利用冰晶石的水溶特性可將待測薄膜剝離，95/11 完成實驗。</li> <li>● 11 月變形及施力校正實驗設計。</li> <li>● 12 月完成變形及施力實驗設計圖。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 為求確保系統規格符合本計劃需求，固採購案遲至 4 月底才定案，惟交機及驗收日期不受影響。</li> </ul>
(五) 奈米壓痕系統國際比對		
1. 完成奈米壓痕標準國際比對	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 聯繫韓國 KRISS Dr. Hahn 與德國 PTB Dr. Herrmann 討論壓痕測試相關樣本。</li> <li>● 3 月比對規劃書草案完成並轉寄至 PTB 詢問相關建議。</li> <li>● 3 月選定 Fused silica, Tungsten, 以</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
	<p>及 sapphire 作為比對樣本，5 月部分樣本已運抵，進一步研究樣本處理及刻痕等議題。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 6 月 寄送 fused silica 至德國進行比對實驗。</li> <li>● 8 月 與 PTB Dr. Herrmann 討論相關比對細節。</li> <li>● 10 月赴 PTB 討論奈米壓痕比對結果。</li> </ul>	

### 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
(一) Air-Piston 體積法之校正平台  1. 完成以體積法為基礎之工作標準件及系統評估(流率範圍： $0.01 \mu\text{L}/\text{min} \sim 1\text{mL}/\text{min}$ ；不確定度： $5\%$ )。	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 微流量測晶片製作： 2 月完成計畫執行人員至清大接受製程訓練前之實驗室安全講習。3 月完成黃光室製程訓練與考核，可自行以微機電製程製作微流量測晶片。委外採用精密加工方式製作適用於中高流率之微流道。6 月結束相關人員之製程實驗室訓練測試期。8 月開發用於中高流率晶片之壓克力流道的新接合方式以及表面處理製程並交付委外製作。9 月完成中低流率量測晶片之設計製作，其中微流道採用 PDMS 翻模製作；偵測電極為新設計之平行式配置並根據數值模擬結果製作，使用材質為鈦金屬，厚度 <math>100 \text{ nm}</math>；晶片上無介電層。</li> <li>● 偵測電極與量測訊號： 2 月測試採用壓克力加工之流道，得到非常迅速的訊號反應。3 月完成包括輸入訊號之頻率、電壓等各項實驗參數測試，以獲得最佳之訊號反應，供後續實驗測試參考。4 月購得較高規格之擷取卡，用以改善量測訊號的品質。7 月完成新設計電極的實體晶片初步製作。8 月完成新設計電極晶片測試，證實可取得良好的偵測訊號；完成電極偵測效應數值模擬以及電極配置最佳化設計。</li> <li>● 校正平台製作： 5 月設計氣活塞產生機構，進行實作以驗證其可行性，初步測試發現氣活塞的空氣壓縮性應加以考量，後續將考量其對量測不確定度之影響；完成以精密加工製程微流道為</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 在原本的規劃中，原欲藉由氣活塞產生裝置以引入氣液介面於微流道中以進行連續流率量測，該氣泡亦將於管路末端於開放空間中自動排至大氣。但由於空氣壓縮性以及引入流道時造成的壓力擾動將會影響與標準系統的比對與實際校正工作的進行，因此轉為類似氣體系統的 piston prover 的批次操作流程。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
	<p>基礎之體積法校正平台製作。7月完成體積法校正平台不同流率量測晶片間之流體切換管路設計及其相關管路閥件採購；完成校正作業流程規劃。8月確認校正平台實際用於校正時將參考常壓氣體 Piston prover 系統的工作流程以避免氣泡壓縮的問題。9月取得用以製作管路切換機構之微流管路閥件並完成連接組裝。10月完成校正平台全流率之系統規格與製程參數設定。其適用於不同流率之量測晶片業已製作並測試完成。此外，為使校正標準平台更為美觀且易於使用，將進行校正平台包裝與改良，工作內容包括採砂基材流道，以陽極接合與電極晶片結合、控制電路與銜接介面模組化、以及修正量測軟體以自動算出流率，於11月聘請臨時人員協助執行該工作。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 校正平台測試評估：</li> </ul> <p>5月完成中高流率晶片測試，設計範圍內最大量測誤差不超過4%；產出技術報告「體積法微流校正平台評估報告」一份。6月完成高流率晶片重複性測試，設計範圍內最大量測誤差不超過1.4%。9月測試低流率晶片發現偵測訊號良好，但計算所得的流率卻與設定值有所偏差，且該偏差明顯並非由於流道體積與設計規格不同所造成。10月確認先前所發生之流率與設定值偏差的問題主要導因於選用不適合的針筒並設定超過針筒泵浦工作範圍的流率所造成，經更換驅動泵浦重新實驗後已無此問題；完成使用中低流率晶片於1-10 <math>\mu</math></p>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
(二) 單劑量量測追溯  1. 完成單劑量(pL~nL)於噴墨應用與生醫應用領域之規格，及量測/校正方法分析之資訊蒐集。 2. 完成比率光度式微升與次微升(0.1 $\mu$ L)級生醫檢驗用微量方注器(Micro-pipette)校正系統設計。 3. 建立微 / 奈升級單劑量(dose/drop)校正標準及其追溯鏈。 4. 完成干涉儀原理應用於奈升液體體積量測之分析。	<p>L/min 之實驗測試，並以針筒泵浦作為傳遞標準。評估結果顯示，在前述流率範圍內之相對誤差在 2.1% 以內，量測值之相對擴充不確定度則在 2.3% 以內。11 月完成 100 nL/min - 1 <math>\mu</math>L/min 之實驗測試，其量測相對誤差在經體積修正後在 4.7% 以內，不確定度值亦偏高，將持續調整並評估其效能。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 微量分注器校正儀之標準追溯： 1 月將光度法校正瓶送至量測中心電磁量室量測吸收光譜並與原廠資料比對；洽詢光度計原廠提供 lot code generation software program 的可能性。2 月獲得光度計原廠回覆說明，lot code 並不影響光度法的追溯。3 月與光度計原廠接洽簽署 NDA 取得 lot code 產生之軟體程式。4 月完成光度計不確定度評估之整體規劃及光度計標準瓶與國家實驗室之量測追溯。6 月完成 Artel 光度式量測儀之不確定評估，系統相對擴充不確定度為 1%；產出技術報告一份：「分注器(Pipette)量測系統性能分析」。</li> <li>● 微量分注器校驗需求與現況調查： 4 月完成微分注器使用與確效之調查問卷設計，將以各大醫療檢驗單位以及生醫檢測實驗室為對象進行問卷調查。6 月寄出所有微分注器使用與確效調查問卷共約 150 份（包含郵寄紙本問卷以及 email 電子問卷）。7 月回收微量分注器使用與確效調查問卷共 75 份；完成回收問卷的資料統計。</li> <li>● 奈升級單劑量量測技術評估： 3 月與光輻射量室討論合作自行開</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差 異 檢 討
(三) 國際期刊投稿	<p>發光度法單劑量量測技術以期將量測能量降至 10 nJ/drop 等級。5 月完成奈升分注器與三軸移動平台的採購。7 月奈升分注器與三軸移動平台到貨並完成初步測試。8 月完成自行測試光度法分注量測所需的承液瓶之搜尋與初次選購；完成自行開發光度法分注量測設備之初步概念設計與所需設備規劃。9 月取得所添購之使奈升分注器可用於超微量分注之分注頭與相關配件，並安裝測試完成；進行光度法單劑量量測設計概念初步驗證實驗，證實承液瓶容積過小將影響樣本混合情況以及量測結果，同時了解稱重法在微小單劑量量測確實非常不易實行。10 月取得一般市售化學用玻璃瓶進行奈升分注量測實驗，證實承液瓶的光學性質良莠影響光度法量測結果甚巨，該種玻璃瓶並不適用。12 月選用拋棄式光學用承液瓶進行奈升分注量測實驗，發現該種承液瓶之光學品質佳，樣本液的混合容易，量測結果的線性度也非常好，後續評估工作將持續採用該瓶；使用該瓶有效地用於 20 nL 分注量的量測，證實光度法用於奈升級分注量測的可行性，並證實一良好而穩定之奈升分注系統對於微量分注的重要性。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9 月撰寫與校對將投稿於 Micro and Nanofluidics 百科全書之論文。11 月完成論文之撰寫與提交，論文題目：Fluid Metering。</li> </ul>	

### (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
光學散射式 調變干涉顯 微術研究	國立 台灣 科技 大學 機械 工程 系	次波長橫向解析度光學檢測技術—工作包括百分之 一波長橫向解析度光學顯微鏡文獻蒐集與解析，建立 量測之理論，建立光學分析模型，研究相鄰微細線結構 的光學交互作用，以比較分析各量測技術優缺點，並評 估達到橫向解析度 50 奈米以下之可行性，視情況需求 得邀請相關學者專家到量測中心進行技術交流討論。	400	蒐集與解析有關百分之一 波長橫向解析度光學顯微 鏡與調變式干涉顯微鏡文 獻，建立光學式量測之理 論與分析模型，研究相鄰 微細線結構的光學交互作 用原理。由原理分析與模 擬，光學顯微鏡加上相位 與偏極態調制，確可改善 側向解析度，若再降低光 源波長，如 325 nm He-Cd 雷射，或 248 nm 之準分子 雷射，也能有效提高解析 能力。	目前進行較 完整是原理 分析與模 擬，因缺乏部 份相關實驗 用元件，只能 進行比較一 般影像與相 位影像差異。
薄膜及箔片 材料機械性 質研究	國立 中央 大學 薄膜 中心	以各種方法製鍍不同之薄 膜，厚度在數十奈米(nm) 至數微米(μm)之間，以作為 奈米材料機械性質研究所 需的樣本，使能研究極小施 力變化下的材料機械性質	500	1.先於玻璃基材上鍍製冰 晶石( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ )，再度至實 驗所需的薄膜，利用冰晶 石微溶於水的特性將薄膜 剝離基材。 2.鍍膜後並剝離的薄片樣 本 3 種 $\text{Al}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$	介電質薄膜 於剝離後，因 受應力影響 很容 易碎 裂，目前採用 具延展性的 金屬膜為主。
奈米磨潤之 分子動力學 模型之建立 與分析	國立 中正 大學 機械 系	透過以分子動力學之理 論，建構奈米磨潤實驗之數 值模型，以更微觀之觀點描 述微奈米等級之薄膜於承 受極低應力下之奈米磨潤 行為，用以解釋傳統力學所 無法解釋之微觀行為。	500	透過分子動力學之模擬， 分別針對硬壓頭對軟材 質，以及軟壓頭對硬材質 之磨潤實驗進行分子動力 學模擬。奈米壓痕量測系 統之壓頭組成材料為鑽 石，因此相對於其他材料 而言皆可視為一硬材質之 壓頭，亦即薄膜之材料為 一軟質材料，因此實際之 磨潤結果與硬壓頭對軟材	由於分子動 力學之勢能 函數頗為複 雜，若欲針對 所有薄膜材 料之分子進 行模擬恐需 花費籠長之 計算時間，因 此採用針對 link-cell 法可 大幅減少運 算時間。

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
				質之分子動力學模擬結果 有一定之相似性。	

除簽約之合作研究案外，無簽約但實質上有與學界進行合作如下：

1. 尺寸參數量測追溯分項：(1) 95 年 1 月-95 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，發展縫補技術量測 CD 方法與探針形貌量測補償方法，完成技術報告一篇(12 月)。(2)95 年 1-6 月聘請台科大機械系研究生張博懷及 95 年 7-12 月聘請台科大機械系研究生許學豐參與尺寸分項研究微米級行程 PZT 奈米精密定位平台，完成技術報告一篇(6 月)及論文一篇(10 月)。(3) 95 年 2-12 月聘請雲林科大機械系研究生鐘仁志參與尺寸分項研究毫米級長行程奈米精密定位平台，完成論文一篇(1 月)。(4) 95 年 1-6 月聘請逢甲大學光電系研究生曾立程參與尺寸分項研究繞射技術，完成論文一篇(10 月)。(5)聘請德國 Ilmenau 科技大學 Mr. Poul Kochert(95 年 1-3 月)及 Mr. Christian Walter(95 年 10-12 月)參與尺寸分項計量型 AFM 和晶圓表面奈米微粒量測技術研究，完成技術報告一篇(4 月)。
2. 力學性質量測追溯分項：(1) 95 年 1-8 月逢甲大學機機電系研究生方忠顯及鐘佳龍，參與平面顯示器及薄膜機械性質量測研究與討論，並完成論文 1 篇(12 月)。(2)95 年 1-9 月聘請清華大學動機系研究生許軒豪，參與力學分項進行奈米壓痕量測技術與傳統拉伸測試於材料機械性質探討。(3)95 年 1-12 月聘請大同大學材料系研究生郭志民及吳英傑，參與力學分項研究進行類鑽碳膜之機械性質與微結構之相關性探討，並完成論文 2 篇(7 月及 12 月)及技術報告 1 篇。
3. 微流量測標準技術分項：(1) 95 年 3-12 月聘請交大碩士班研究生朱立宇，參與微流分項研究，協助執行微粒子影像流速儀之實驗工作以及微流晶片的製作。(2) 95 年 4-10 月聘請台大博士班研究生李信宏，參與微流分項，進行奈升級單劑量量測技術開發的討論與實驗工作的規劃，並協助執行微流量測晶片的實驗測試；(3) 95 年 7-8 月聘請清大碩士班研究生張承修，協助應用光度法於奈升級單劑量量測之評估工作的進行。

## 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	(1).尺寸參數量測追溯分項計畫主持人：陳朝榮	5.25	4.81
協同主持人：張啟生	(2).力學性質量測追溯分項計畫主持人：吳誌笙	3.75	4.05
	(3).微流量測標準分項計畫主持人：楊正財	2.75	3.24
		11.75	12.1

註：差異若超過 15%，請說明理由。

#### 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	
95	預計	7.33	4.42	0	0	0	6.2	4.65	0.9	0	0	11.75
	實際	7.96	4.14	0	0	0	6.48	4.69	0.93	0	0	12.1

註：採用工研院職級計算。

### (二).設備購置與利用情形

本年度一百萬元以上儀器設備計 2 件，請參閱附件一之儀器設備清單。

(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	30,637	71.9	30,632	71.9	
(1)直接薪資	13,753	32.3	13,750	32.3	
(2)管理費	6,601	15.56	6,599	15.5	
(3)其他直接費用	10,283	24.1	10,283	24.1	
2.公費	330	0.8	330	0.7	
經常支出小計	30,967	72.6	30,962	72.6	
(二)資本支出					
1.土地					
2.房屋建築及設備					
3.機械設備	11,363	26.7	11,573	27.2	
4.交通運輸設備		-			
5.資訊設備					
6.雜項設備		-			
7.其他權利	300	0.7	90	0.2	
資本支出小計	11,663	27.4	11,663	27.4	
合計	42,630	100	42,625	100	

註：1.預算按簽約計畫書之數填列。

2.決算含支用及權責保留數。

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	—		
技術移轉	—		
權利金	—	70,000	
技術授權	—		
製程使用	—		
其他—專戶利息收入	—		
罰金罰鍰收入	—		
罰金罰鍰	—		
其他收入	—		
供應收入— 資料書刊費	0	20,276	
服務收入— 教育學術服務 技術服務	0	138,000	
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	228,276	

### 三、人力培訓情形

#### (一).國外出差

1. 參展日本 Nanotech2006 及訪問 AIST/NMIJ (王振宇研究員，95.2.19~2.24)。

這次的日本奈米展規模跟去年比較起來雖然在參展廠商家數與參觀人數都有成長，然而整體而言奈米相關產業似乎還未達到顯著的經濟規模，其一原因可能為奈米技術的應用範圍甚廣，目前應用技術屬於分散式的集中，未能凸顯在特定領域中短期的商業潛力；另一個可能性為來自大眾的期待，對於奈米技術的終端應用，大家普遍希望能看到消費性的創新產品，對於現階段展覽中的多為相關製程與原材料，距離大眾或投資人被灌輸的”奈米技術將顯著的改善我們日常生活品質”的廣宣仍有一段距離。

同理，我們奈米計量標準計畫展出的標準系統並未引起太多的注意，反倒是有趣者對於了解我們如何建置與評估標準系統後，會有認知我們比一般儀器商或系統設備商更具有解決問題以及尋求國內外技術支援的通路與能力，相對的會主動提出他們在本身的製程或產品化過程中遭遇需要解決的問題，尋求專業諮詢。因此標準系統建置的能力並不能直接滿足產界需求，本身核心能力的表現應以標準計量的基礎塑造解決實際產業技術問題的專業形象來服務業界。

與 NMIJ 的交流不管是在技術上或人脈網絡上持續擴散，對於國家實驗室在從事相關研究或是國際活動上帶來實質的效益。與奈米計畫相關人員，在過去一年 NMIJ 有 6 位研究員訪問 CMS，而我們有 2 位研究員訪問 NMIJ，1 位副研究員到 NMIJ 客座研究 3 個月，簡報 4 場次，共同發表研究成果 1 篇。

2. 參展日本 Nanotech2006 及訪問 AIST/NMIJ (蘇峻民博士，95.2.19~95.2.24)

本次出差主要的任務為配合國家型奈米計畫參加於日本東京舉辦的奈米展 Nano tech 2006，展出項目為微粒子影像流速儀( $\mu$ PIV)，連同其他項目於奈米計畫辦公室所規劃的台灣館一起展出。展覽為期三天，吸引了許多來自世界各國的群眾以及其他參展單位工作人員前來參觀。此外在展覽開始前一天也安排了與同行參展的王振宇博士一起前往位於筑波，隸屬於 AIST 的日本國家標準實驗室(NMIJ)拜訪，除了討論奈米粒徑量測技術與設備建置的相關合作事宜外，也參訪了 NMIJ 的氣體流量量測設備，瞭解該單位在氣體與液體流量校正的能量以及技術發展現況。本次參展所蒐集的資料也協助了後續奈升分注設備採購的執行，並將參展經驗撰寫成活動報導刊登於奈米協會會刊。

3. 參加「SMAM-2」發表論文、拜訪 NMIJ 長度、統計物性、先端材料等實驗室及拜訪標準粉體製造商 JSR 及薄膜量測儀器商 Rigaku (傅尉恩博士，95.5.23~95.5.30)

本次任務的主要目的，是參加日本 NMIJ/AIST 主辦的 2nd International Symposium on Standard Materials and Metrology for Nanotechnology，投稿論文 1 篇，展出海報 2 張。NMIJ/AIST，參觀統計物性實驗室，了解液體粉體量檢測技術標準，參觀長度實驗室，了解 AFM、CMM、Laser Tracker、角度標準技術，參觀先端材料研究室，了解薄膜量測技術、膜厚標準片製造技術與流程。因計劃發展需要，另安排拜訪日本儀器商 Rigaku 副所長，討論 X-ray 在奈米膜厚上的量測技術，了解 Rigaku 和日本國家實驗室 NMIJ/AIST 合作在開發 X-ray 薄膜量測儀上的相關技術，同時邀請相關技術人員參與 APEC 計畫今年 9 月的技術論壇和明年度的膜厚國際比對。此外，拜訪化學品製造商 JSR，了解他們提供給美國 NIST 和日本 NMIJ/AIST 製作標準粉體(驗證參考物質)的原材料過程，並商談供應 CMS 相關標準品的可能性，獲得對方的支持。同時並謝謝 JSR 免費提供今年度 APEC 計畫粉體粒徑國際比對的樣本。

4. 出席 the 2nd International dialogue on Nanotechnology (彭國勝博士，95.06.26~95.06.29)。

本次任務的主要目的，是參與在日本東京舉辦的 Second International Dialogue on Responsible Research and Development of Nanotechnology 之奈米技術標準化討論及報告台灣奈米標章推動的概況，掌握 ISO TC 229 主席 Dr. Peter Hatto 欲與 ANF 或 IEEE 結盟的構想，取得奈米技術標準化進程的即時資訊。會議為期三天，共有來自 21 個國家的代表參加，分五組討論，議題分別為(1) Environment, health and safety (EHS)；(2) Ethical, legal and social issues (ELSI)；(3) Education, capacity building；(4) Developing country issues；(5) Nanotechnology standard-setting。主持人彭博士參與第五個議題的分組報告與討論；奈米標章的推行，受到與會各國人士的關注，正面支持者很多，但也十分重視奈米安全性，建議奈米標章宜緩步推動，不可躁進。總結報告中，多次提及奈米技術在能源與水資源等的潛在應用，希望在第三次的會議中，能有較具體的案例提出來分享與討論。

5. 赴 PTB 討論奈米壓痕國際比對及相關計量議題(吳誌笙博士，95.10.16 ~95.10.27)

PTB 與柏林的材料測試研究所 BAM 合作，進行供 SPM 使用的金字塔狀的 3D 標準試片的研究與開發，目前金字塔標準片已完成初步製程，後續驗證及相關研究仍在進行中。另外 PTB 的研究員 Mr. Dziomba 亦參與起草關於 SPM 的標準校正程序，很可惜目前只完成德文版本。

量測中心與 PTB 進行奈米壓痕的材料試驗比對，我與 Dr. Herrmann 就比對結果進行討論，關於下次 CMS 與 PTB 比對的進行方法與試驗材料，目前研擬針對不同的施力範圍，分別使用不同的壓痕設備進行比對，材料製備上也因為設備機台的不同而須分開準備，Dr. Herrmann 建議比對方法可以參考目前 CIRP(The International Academy for Production Engineering) 進行中的比對 Protocol。

PTB近年來管理階層的強力主導下，有很大一部分的資深研究人員將退休，相關的研究計畫將暫停，校正工作則轉移至DKD實驗室，隨著人員與系統設備的流動，可以預見未來數年內研究方向也可能大幅調整，PTB是量測中心尖端研發的重要夥伴，量測中心將密切注意相關研究方向的趨勢，及早規劃未來研究方向。

6. 參加「MICRO AND NANOSCALE FLOWS」發表論文，拜訪英國 Glasgow 的國家工程實驗室(National Engineering Laboratory, NEL)，參加法國 Toulouse 「Microfluidics 2006」(蘇峻民博士，95.12.6~95.12.17)

本次任務的主要目的乃是前往英國/格拉斯哥 (Glasgow) 參加該研討會並發表工作成果，本次研討會的主題是：Micro and Nanoscale Flows: Advancing the Engineering Science and Design。會議為期兩天，吸引了來自 13 個國家，超過一百個人參加。報告主題是關於本計畫所開發，採用閃光燈做為光源的微粒子影像流速儀 ( $\mu$ PIV)，內容重點則主要放在  $\mu$ PIV 的系統架構、校正方法及校正結果。會中發現許多從事微流領域相關研究的學者專家對於  $\mu$ PIV 都非常有興趣，認為該設備可協助他們驗證並改良其研究工作，對於釐清所遇到的問題也有很大的幫助。此外，我們所提出的驗證  $\mu$ PIV 以及評估不確定度的方法，也讓與會的英國國家物理/工程實驗室 (NPL/NEL) 的工程師很感興趣。該兩單位目前都積極準備進入微流相關領域的研究，相對而言，我們已有多年投入的經驗，在微流相關的計量處於領先的地位，而此一領先優勢則有待資源與人力持續的投入才能夠維持。該研討會後亦前往同樣位於格拉斯哥的 NEL 拜訪，並與其流量實驗室的同仁討論 NEL 在微流相關研究的現況以及未來的規劃。最後則轉赴法國/土魯斯參加 Microfluidics 2006 研討會，瞭解法國在微流方面投入的情形以及成果，做為規劃後續研究發展方向的參考。

## (二). 國外客座研究

1. 赴日本 NMIJ/AIST 客座研究，研習電重力氣膠平衡法奈米粉體量測技術（林志明研究員，95.10.8~95.12.2）

奈米標準粉體粒徑的均一化，有賴於最高準確度的篩選方法，奈米等級的微小顆粒常用靜電力篩選的方式，如電氣遷移率分析法(Differential Mobility Analysis, DMA)或是電重力氣膠平衡法(Electro-gravitational Aerosol Balance, EAB)等。靜電力分離法均一化奈米粉體粒徑分析系統為結合 DMA 技術與 EAB 技術的奈米粉體粒徑量測系統，其中 DMA 量測系統用以做為比較式粉體粒徑量測；而 EAB 量測系統則用以做為絕對式粉體粒徑量測。由日本 NMIJ 榎原研正博士所領導的物性統計科—應用統計研究室，是目前唯一擁有電重力氣膠平衡法奈米粉體粒徑量測系統的實驗室。因此，此行之主要目的就是至此研究室研習電重力氣膠平衡法奈米粉體量測系統之整合設計與製作，包括：密力根槽(Millikan Cell)設計、粉體密度量測、氣溶膠

技術、粉體電荷平衡、數據處理與分析、以及量測不確定度評估等，以利發展 FY96 國家奈米粉體粒徑標準。另外，日本 JSR 公司可說是目前規模最大而且品質最穩定的奈米標準粉體製造商，無論是美國 NIST 的標準參考物質(Standard Reference Materials, SRM®)，或是日本 NMIJ 的驗證參考物質(Certified Reference Materials, CRM)皆由 JSR 公司提供，因此此行亦前往 JSR 公司與日方幹雄課長洽談未來合作的可行性與模式，並討論購買氣霧化裝置等相關議題。同時，2006 國際粉體工業展於 11 月 7 日起於東京幕張展覽館展出，在榎原博士的建議下，亦前往參觀該展覽。

### (三)國際技術交流

1. 年度於協辦 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，950925-26，辦理「APEC 2006 Workshop for Nanoparticle Measurements」，共有 10 個經濟體，18 人參加。950927-29，在台北國際會議中心主辦 2006 亞太經合會-奈米檢測技術論壇(2006 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum)，共有 16 個經濟體，167 人參加，會中並邀請經濟部常務次長侯和雄擔任貴賓致詞，講員包括台、美、日、韓、加、大陸等，針對奈米標準、奈米檢測及標準的產業應用、奈米粉體粒徑量測、薄膜量測等專題進行討論與交流。
2. 邀請德國 PTB Dr. Herrmann 來量測中心向同仁介紹奈米壓痕量測技術最新進展，並安排於 0802 經濟部南部創新園區舉辦薄膜硬度量測技術研討會。
3. 951113-15 邀請俄羅斯 Amphora Lab. 專家 Dr. Pavel Osipov 與 Dr. Konstantin Indukaev 來量測中心向同仁介紹光學式調變干涉顯微量測技術，並安排 14 日於量測中心舉辦奈米結構光學顯微量測技術研討會，有設備廠商(致茂)、半導體業(台積電與聯電)與代理商(五鈴)參與研討。

### (四)教育推廣

#### 1. 國內研究生培訓：

- (1) 台科大博士生陳智榮君參與尺寸分項 AFM 量測 CD(critical dimension)研究(95 年 1 月 -95 年 12 月)：

在 2006 年國內半導體大廠都已進入 65 nm 製程之量產，現有 SEM 或 AFM 量測關鍵尺寸，都有極大誤差，SEM 會造成光阻之收縮效應，AFM 之探針尺度(約 2~10 nm)與 65 nm 製程之奈米結構等級相當，量測結果會受探針輪廓形狀影響，為提高製程之良率，需採用其他高精度關鍵尺寸之量測技術。本研究提出延續 AFM 量測技術，改用超細尖型探針，探針尖端尺寸為 2-10 nm，減少對量測待測件表面尺寸的影響。因探針尺寸還是與待測件尺寸相近，以傳統掃描方式，會受限於探針幾何表面形狀，所以發展 180 度互補量測配合縫補技術來補償修正探針幾何表面形狀造成誤差。完成技

術報告一篇(12月份)。

(2)台科大碩士生張博懷君參與尺寸分項微米級奈米精密定位平台研究(95年1月-95年6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、光纖干涉儀量測系統、PC 等，系統以 LabView 程式語言撰寫程式作定位系統之整合控制。本研究之設計目標在於，利用行程只有  $15\text{ }\mu\text{m}$  之壓電致動器，推動一行程須達  $50\text{ }\mu\text{m}$  之短行程精密定位平台，並利用各項測試定義出微定位平台的性能，且與分析做比較。此定位平台經測試後，定位系統具有  $10\text{ nm}$  之步階定位能力，斜坡追蹤速度為  $5\text{ nm/s}$ ，三軸之旋轉角最大為  $2.46''$ ，最大位移量為  $45\text{ }\mu\text{m}$ 。

(3)台科大碩士生許學豐君參與尺寸分項微米級奈米精密定位平台研究(95年7月- 95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、光纖干涉儀量測系統、PC 等，系統以 LabView 程式語言撰寫程式作定位系統之整合控制。此次研究的目的在於設計一組二軸撓性移動定位平台，並以壓電材料作為致動器，再配合光纖干涉儀做為位移之量測，並與控制系統相互搭配，使整個移動定位平台系統為閉迴路系統增加精確度，並達到所要求的位移距離，定位解析度為  $5\text{ nm}$ 。本實驗系統先改善在一維的移動定位與測量，爾後再將系統拓展到二維，移動範圍  $50\text{ }\mu\text{m} \times 50\text{ }\mu\text{m}$ ，預訂於 96 年 6 月完成。

(4)雲林科大碩士生鐘仁志君參與尺寸分項毫米級長行程奈米精密定位平台研究(95年2月-95年12月)：

本次主要研究目的在於實現長行程精密定位，移動平台的總行程可達到  $25\text{ mm}$  雙向行程。冀望其連續階定位測試與斜坡軌跡追蹤的誤差在  $5\text{ nm}$  以內。此系統在長行程移動方面應用音圈馬達作為移動平台致動器，以高解析度之偏振式雷射干涉儀為系統之位移感測工具，在角度補償方面，以 PZT 為致動器，輔以 ADLINK DAQ2010 A/D 卡和 HEIDENHAIN IK220 計數卡進行控制。

(5)逢甲大學碩士生曾立程君參與尺寸分項繞射技術研究(95年1月-95年6月)：

逢甲大學光電系研究生曾立程君參與尺寸分項繞射技術研究，承續奈米計畫以雷射繞射儀量測一維線距，發展到二維線距量測，因半導體業已進入 65 奈米線寬製程，所以需改良量測解析度，研究以浸潤式量測線距技術，發表期刊論文於美國 Optics Express,論文題目”Immersion diffractometry for determining nanoscale grating pitch”。

(6)清華大學碩士生許軒豪君參與力學分項奈米壓痕量測技術與傳統拉伸測試於材料機械性質探討之研究(95 年 1 月-95 年 9 月)：

許同學為清華大學動機系碩士班研究生，許同學之工作為協助同仁進行奈米壓痕量測系統與傳統拉伸測試於機械性質量測之差異性探討。本研究係分別針對壓克力、塑鋼、中碳鋼及高碳鋼四種塊材材料，分別以傳統拉伸實驗方法及本計畫已建立之奈米壓痕量測系統進行楊氏模數及浦松比進行比較。由於目前奈米壓痕量測系統只能獲得材料之複合模數，亦即為材料之楊氏模數與浦松比之關係，並無法單獨透過奈米壓痕量測系統將兩材料性質分別求得，因此，本研究首先利用本計畫所研提之奈米壓痕與超音波量測技術結合之專利，將透過奈米壓痕量測技術所獲得之複合模數之關係與超音波量測所獲得之楊氏模數與浦松比之關係，可分別獲得材料之楊氏模數與浦松比。另外，本研究另以傳統拉伸測試同時並以應變計量測，亦可分別獲得材料之楊氏模數與浦松比，利用兩迥然不同之實驗技巧同時探討於量測楊氏模數與浦松比之差異，由實驗結果可知，兩方法所獲得之楊氏模數差異較小而浦松比則有較大之差異。

(7)大同大學碩士生郭志民及吳英傑君參與力學分項類鑽碳膜之機械性質與微結構之相關性探討研究(95 年 1 月-95 年 12 月)：

郭志民及吳英傑皆為大同大學材料系之碩士班研究生，兩位同學主要之研究主題為，利用射頻電漿輔助化學沈積法(r.f.-PECVD)鍍製類鑽碳膜於矽基材上，並探討不同之製程參數對於薄膜之微結構及機械性質之影響，及改變沈積之時間、氣體、流量、偏壓及功率等製程條件，並以奈米壓痕量測系統量測類鑽碳磨之硬度及模數。另外，並以拉曼光譜儀(Raman Spectrometer)探究薄膜內部之主要組成鍵結結構。根據研究結果可得知，當電漿轟擊能量在某特定範圍時，薄膜內部之 sp<sub>3</sub> 鍵結比例與所展現之硬度及模數呈現正相關之結果，相關研究結果將投稿於新加坡之 Thin Film 2006 國際研討會以及明年度於日本舉辦之電漿電漿研討會。

(8) 交大碩士生朱立宇君參與微流分項微流系統流量量測研究(95 年 3 月-95 年 12 月)：

朱立宇為交大奈米科技研究所之碩士班研究生，主要負責協助執行微粒子影像流速儀( $\mu$ PIV)之實驗工作，以做為研究應用以及撰寫論文投稿的基礎。此外，該生亦參與微流晶片相關製程的討論，協助執行晶片的製作並支援量室其他研究計畫所需的微機電的製程工作，參與過程中，依研究工作需求，產出許多的微流晶片供實驗使用。

(9) 清大碩士生張承修君參與微流分項晶片級微流體計量技術研究(95年7月-95年8月)：

張承修為清大化學系之碩士班研究生，主要負責協助應用光度法於奈升級單劑量量測之評估工作的進行，包括分注與量測設備的組裝，以及實驗資料的分析與整理，其結果將作為來年單劑量量測技術建立的基礎。

(10) 台大博士生李信宏君參與微流分項晶片級微流體計量技術研究(95年4月- 95年10月)：

李信宏為台大機械系之博士班研究生，該生為將於FY96報到的國防役人員，其先期參與本計畫的工作，主要為參與奈升級單劑量量測技術開發的討論與實驗工作的規劃，並協助執行微流量測晶片的實驗測試工作。此外，該生亦參與微流計畫未來工作規劃的討論，評估將微流技術應用於能源計量的可行性與待開發的相關技術。

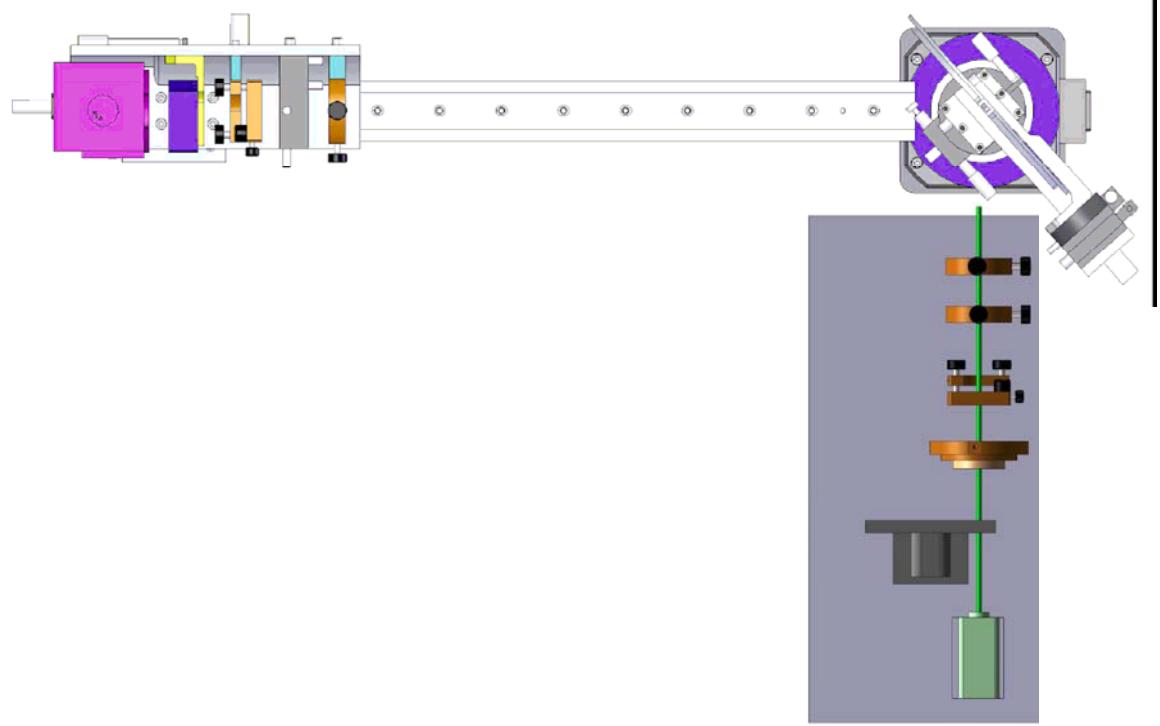
## 2. 國外研究生培訓：

(1) 國外碩士生 Paul Köchert 君參與尺寸分項計量型原子力顯微術研究(94年10月-95年3月)：

德國 Ilmenau 科技大學每年會派數位研究生到量測技術發展中心研習；Mr. Paul Köchert 申請來量測中心研習六個月，參與奈米國家型計畫的奈米技術計量標準計畫中的計量型原子力顯微鏡，該研究生來量測中心參與奈米碳管探針和儀器軟體開發，與該系的研究領域相同，可以達到技術合作及相輔相成的成果。主要的研習工作為計量型三軸掃描探針顯微鏡控制軟體及線距階高等量測軟體開發，完成技術報告一篇(95年4月)。

(2) 國外碩士生 Christian Walter 君參與尺寸分項晶圓表面奈米微粒量測技術研究(95年1月-95年3月)：

透過工業技術研究院菁英計畫，Mr. Christian Walter 德國來自 Ilmenau 科技大學機械學院 (Institute of Process Measurement and Sensor Technology)。研究生參與“三維奈米尺寸標準與量測技術”中的“光學散射式晶圓表面微粒徑量測技術”，主要的研習工作包括(1)光學散射式晶圓表面微粒量測技術研究，及(2)光學散射式晶圓表面微粒量測儀離型機組裝及測試。就 FY95 而言，Mr. Walter 協助完成晶圓表面微粒量測儀離型機之設計，如下圖所示。設計包含 holder for light source, sample holder 以及 receiver holder 等等。由於 Mr. Walter 的加入與協助，此一計畫，將可加速進行解決現行人力不足之窘境。



晶圓表面微粒量測儀催化型機之設計

## 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)奈米繞射及散射線寬量測技術(50 nm - 1 μm)。
- (二)階高標準片(介於 1-100 μm)研製。
- (三)連續角度標準系統評估(0.1")。
- (四)奈米微粒量測系統研製(靜電力分離法，範圍 20 nm – 500 nm)。
- (五)光學式奈米薄膜系統評估(量測不確定度 0.2 nm+1.0%) (2 nm - 200 nm)。
- (六)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。在 FY95 開始作先期研究及規劃一光學量測系統。在  
FY96 及 FY97 表面奈米微粒量測能力可達 100 nm 以下。

## 【本年度成果】

### (一)奈米繞射及散射線寬量測技術

完成線寬量測技術規畫，光學式採用調變式干涉量測技術，光學架構收集由待測結構表面散射光，同時對參考光路與量測光路進行相位與偏極態調變，透過適當的訊號處理技巧解析此干涉訊號，可取得 5 奈米以下的横向解析度。調變干涉顯微鏡採用了三種新的量測技術，使得它可以在可見光範圍取得百分之一波長的横向解析度，它們分別為：光學式 Topological Phase 技術、多重光學參數調變重現技術 (reproduction of light modulation on several parameters) 、相位量測技術。接觸式量測線寬量測技術，發展採用超細微探針之 AFM 量測技術，將配合工件前後傾斜量測與縫補技術，以補償探針尖端輪廓所造成之誤差。

### (二)階高標準片研製

本年度已經建立階高標準片(介於 1-100  $\mu\text{m}$ )之標準製程，不鏽鋼基板上，先鍍上鉻膜(約 200~300  $\mu\text{m}$ )，先將表層加工成精密鏡面，再以鑽石刀精密加工凹槽，接觸式階高量測儀進行成品測試，在 5 mm 範圍內，階高均勻性小於 50 nm，若在直徑為 40 mm 圓內，階高均勻性小於 200 nm，其成品如圖 1-1 所示：

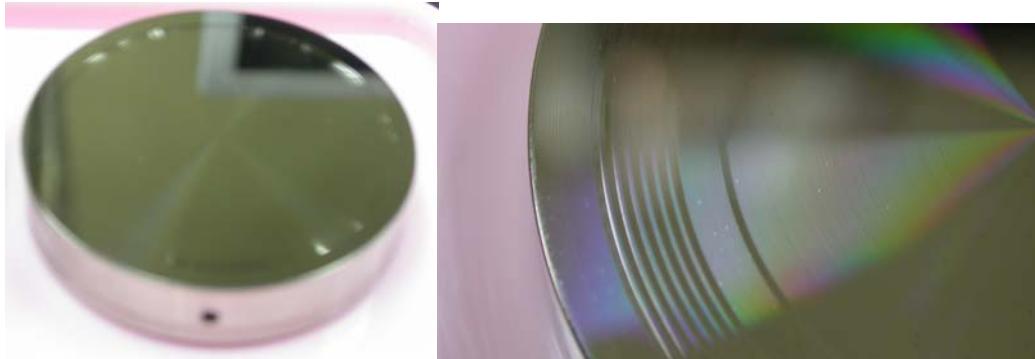


圖 1-1 自製階高標準片 1-100  $\mu\text{m}$

### (三)連續角度原級標準研製

本計畫為了完成角度自我追溯到角度原級標準-圓封閉角原理，建置了角度原級標準系統，以高精度轉盤(解析度 0.035")配合多邊規之互校技術，完成轉盤大角度追溯，在 94 年度已完成互校技術之量測不確定度評估，最佳校正能力為 0.04"，18 面和 24 面的多邊規評估結果如圖 1-2。

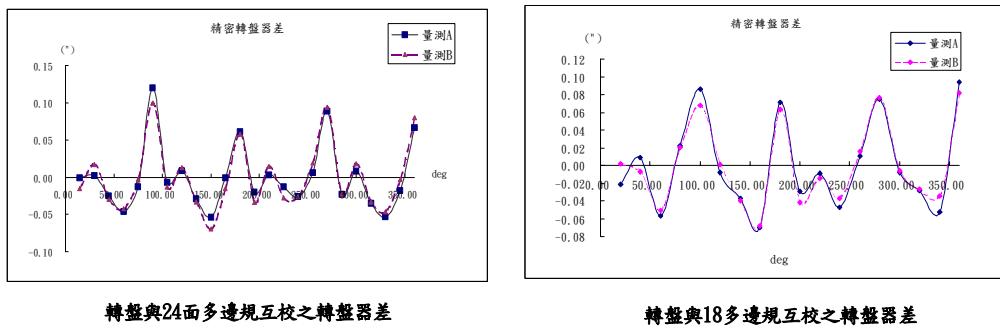


圖 1-2 轉盤與 18、24 多邊規互校之轉盤器差

在微小角度之原級標準追溯，則以小角度干涉儀來量測，小角度干涉儀則追溯到長度之波長標準與完成互校法之轉盤提供之  $15^\circ$  角度標準，測試小角度干涉儀性能，由長期量測小角度干涉儀定點不動之穩定性能，圖 1-3 可看出短暫角度變化值  $0.02''$ ，所以小角度干涉儀之有效角度解析度為  $0.02''$ ，定點不動時最佳穩定性，在 10 hr 內約在  $0.04''$  內振盪。測試轉盤在  $0^\circ \sim 16^\circ$  時，重複量測各轉動角度之器差，轉動角度之器差都在  $\pm 0.02''$  內(如圖 1-4)。

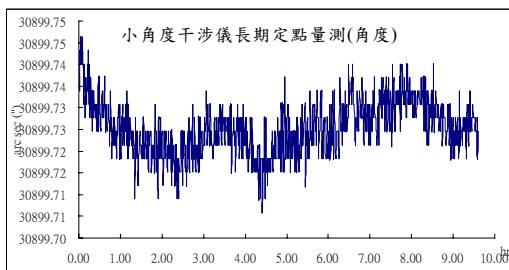


圖 1-3 短時間角度變化監測

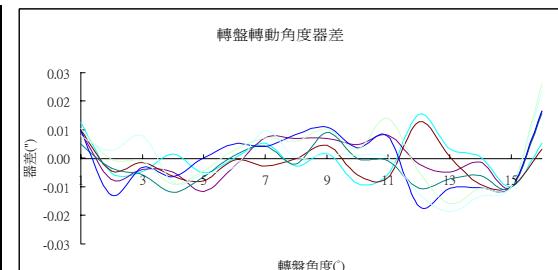


圖 1-4 轉盤轉動角度器差監測

#### (四)奈米微粒量測系統研製

靜電式粒徑量測系統為美國 TSI 公司生產的電氣遷移率分析儀量測系統，量測步驟分別以 Duke Scientific 所製造生產的四種標準粉體(DUKE20、DUKE100、DUKE500、DUKE800)進行量測系統測試與粉體特性分析，量測之四種標準樣本的平均粒徑皆落於允收標準值內。

樣本名稱	追溯報告值	量測結果	允收標準
DUKE20	$21.0 \text{ nm} \pm 1.5 \text{ nm}$	21.8 nm	$20.0 \text{ nm} \pm 5.0 \text{ nm}$
DUKE100	$102.0 \text{ nm} \pm 3.0 \text{ nm}$	103.7 nm	$100.0 \text{ nm} \pm 10.0 \text{ nm}$
DUKE500	$499.0 \text{ nm} \pm 5.0 \text{ nm}$	494.7 nm	$500.0 \text{ nm} \pm 20.0 \text{ nm}$
DUKE800	$799.0 \text{ nm} \pm 9.0 \text{ nm}$	768.5 nm	$800.0 \text{ nm} \pm 40.0 \text{ nm}$

## (五)奈米薄膜量測標準研製

本年度已經建立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： $2\text{ nm} \sim 200\text{ nm}$ 。

擴充不確定度： $U = k \times u_c = 2.06 \times 0.0536 = 0.11\text{ nm}$

信賴水準(擴充係數)：95 % (2.06)

自由度：26

## (六)晶圓表面奈米微粒量測技術

完成晶圓表面奈米微粒量測之相關技術資料搜集與研讀，及完成晶圓表面奈米微粒量測技術規劃。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。在 FY95 開始作先期研究並進行光學量測系統各部份模組之設計。晶圓表面奈米微粒量測技術而言，完成光學量測系統設計，包括 Light soure、Goniometer、dector (receiver)。在 FY96 及 FY97 將建構完成表面奈米微粒系統，量測能力可達 100 nm 以下。

### 【技術創新】

#### I. 奈米繞射及散射線寬量測技術

目前有數種研究中的方法，可以作為 50 nm 以下線寬線距的量測工具，如 NIST 進行中的 SEM[1-1]、CD-AFM、CNT+AFM、Light scattering，及蘇聯所發展的調變測干涉顯微術(MIM) [1-2][1-3]等，其中 SEM 會造成光阻收縮效應，Light scattering 只能適用於週期性線寬量測限制，考慮延續現有 AFM 量測技術，與量測技術未來有較大應用領域，發展以 AFM 量測 50 nm 線寬線距與 MIM 技術；因一般業界考慮量測速度，會以光學量測方法優先，所以必需進行光學量測結果與接觸式 AFM 量測之比較與互相驗證。以 AFM 量測 50 nm 線寬線距，其優點是側向解析度遠高於光學式量測，可針對單一線寬線距標準件進行量測，量測探頭尺寸與待測線寬線距尺寸相近，需修正探頭尺寸對量測影響，經測試不同探頭後，選擇以超細微探針(探針尖端  $2\text{ nm} \sim 10\text{ nm}$ )，進行研究，減少對量測待測件表面尺寸的影響。因探針尺寸還是與待測件尺寸相近，使用 180 度互補量測後再以縫補技術組合，修正探針輪廓造成誤差。

## II. 連續角度原級標準研製

角度量測技術上，原級標準是追溯到”角度封閉圓定理”[1-4]，無法建立全圓連續角度標準追溯方法，需透過大角度互校追溯到角度封閉圓定理，再建置小角度干涉儀，追溯到標準大角度後，提供此大角度範圍內之連續標準角度。其追溯路徑如圖 1-5。

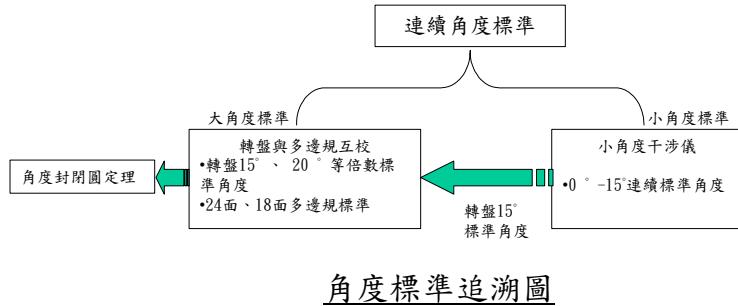


圖 1-5 角度標準追溯路徑

以高精度轉盤(解析度  $0.035''$ )配合多邊規之互校技術，此互校技術之優點在於直接追溯到角度原級標準-圓封閉角原理，可將轉盤與多邊規之誤差同時分離檢測出來，毋需預知任一待校件或標準件之器差，適合應用在角度原級標準追溯系統；不過互校程序繁雜，以一 18 面多邊規配合轉盤互校需 10 校正日，但所得到測量結果之最佳校正能力為  $0.05''$ (擴充係數為 2)。但互校方法只限於大角度範圍，所以需建構小角度干涉儀，在  $0^\circ$ - $15^\circ$  區間標稱值，直接追溯到互校後轉盤，小角度干涉儀則提供 15 度間連續小角度標準，連續小角度量測不確定度小於  $0.1''$ 。

## III. 奈米薄膜量測標準研製

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素，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。

確立量測系統設計，雷射功率的穩定性測試、光束 spot size 的量測、系統聚焦點的穩定性測試等，影響量測不確定度要因分析。

## IV. 線上奈米粉體粒徑檢測技術

奈米粉體粒徑的量測模式可分為濕式量測與乾式量測兩種。其中，濕式量測主要是根據粉體因為尺寸的不同，在量測系統中會呈現出不同的特性來加以分析，以求得粉體粒徑大小，動態光散射(Dynamic Light Scattering, DLS)與離心沉降分析法

(Centrifugal Sedimentation Analyzer)等即屬此類；而乾式量測通常則是以穿透式電子顯微鏡(Transmission Electron Microscope, TEM)或原子力顯微鏡(Atomic Force Microscope, AFM)等直接觀察粉體，將其幾何形貌呈現出來，進而推算出其粒徑大小，現階段中各種電子顯微鏡的量測優點可以提供局部區域奈米顆粒的標準尺寸，但是，量測範圍比較小，且量測時需耗用較久的時間，而雷射動態光散射儀是利用散射原理來量測光柵線距，因其量測光束含蓋了數千個以上的光子訊號，量測結果為此數千個以上的光子訊號的計算結果，所以，動態光散射儀的量測時間較少且量測奈米粒子的數量比電子顯微鏡的範圍大。動態光散射儀雖然有其優點，但是，系統一般必須擺放於實驗室中使用，而系統的量測原理也受限於布朗運動的限制，只能對於作布朗運動的奈米粒子進行檢測，換言之，若是在於製作奈米粒子的生產線上，動態光散射儀就有無法直接進行檢測的缺點，本創作的主要動機是要讓雷射動態光散射儀能在濕式線上製程中檢測奈米粉體的粒徑，讓生產製程中可以隨時監控粒徑參數，而且加入本裝置的設備簡單成本又低廉。

利用光源(1) 直接射入第一聚焦鏡(2a)並進入第一條主光纖(6)，雷射光由光纖導入樣本擷取槽中(3)，樣本擷取槽的設計原理如圖 1-6 所示，樣本擷取槽插入動態生產線中的濕式奈米粒子，樣本擷取槽中的容積內會進入奈米粒子，此時擷取槽容積內的粒子會產生散射光(4)，而散射光會四面八方散射出來，一部份進入樣本擷取槽中的孔中(3a-1)和(3a-2)，孔中各置放一微三角稜鏡(3b-1)、(3b-2)，將散射光(4)反射到第二條光纖(7)中，因為布朗運動散射光隨著時間運動，散射光訊號會經由一分為二的光纖(7)傳回，經過聚焦鏡(2b)進入光子計數光電倍增管(5)，經由孔(3a-1)和(3a-2)配合三角稜鏡(3b-1)、(3b-2)即可收集粒子產生的散射訊號。

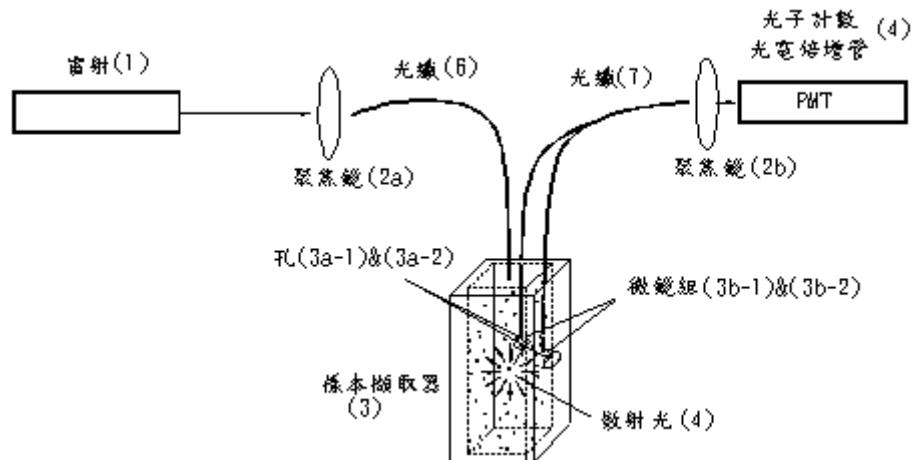


圖 1-6 雷射動態光散射儀樣本擷取槽的設計原理

## 【突破之瓶頸】

### I. 奈米繞射及散射線寬量測技術

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。因探針尺寸還是與待測件尺寸相近，以傳統掃描方式，會受限於探針給幾何表面形狀，會有死角而無法量測問題，如圖 1-7 所示。當 AFM 探針由左往右掃描時，工件右側輪廓侷限於探針幾何形狀問題，無法量測到。NIST[1-5]作法是使用傾斜式單向掃描(如圖 1-8)，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。此方法會碰到問題為奈米工件非常細微，經旋轉 180 度後，很難再找到同樣位置進行量測，會造成縫補技術組合誤差。本研究將進行另一量測程序，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，直接在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，因傾斜調整座在傾斜轉動時，工件仍會有空間位移問題，由調整座幾何形狀關係與傾斜角度，可推算出偏移量，再由水平移動平台補償偏移後，仍可找到待測件，所以二次量測都能在同一位置附近，才能以縫補技術補償誤差。

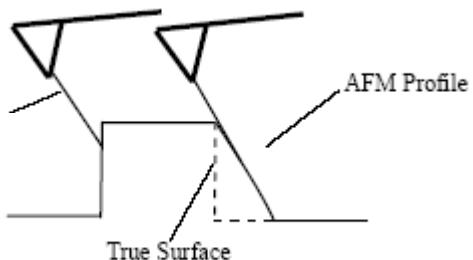


圖 1-7 傳統 AFM 掃描方式量測線寬線距

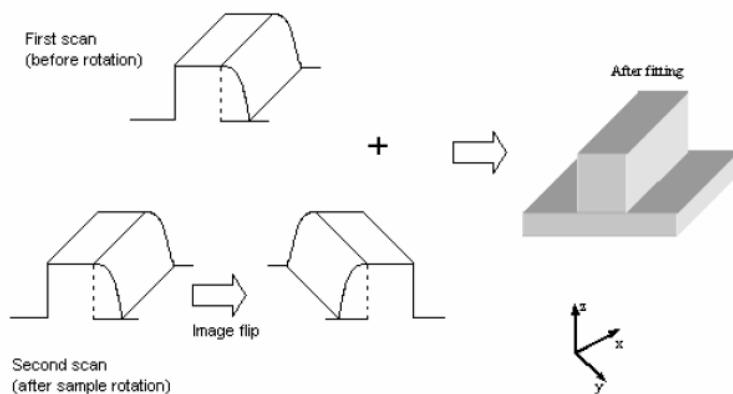


圖 1-8 縫補組合技術用於量測線寬線距

## II. 階高標準片(介於 1-100 μm)研製

FY94 已開始進行階高標準片(介於 1-100 μm)之標準製程技術研製，是採用半導體蝕刻製程，初期測試不理想，有側壁垂直度不佳、底部平坦度差、階高均勻性差，與微米尺寸以上階高，耗時價格昂貴，且成品品質無法達到要求規格等缺點。FY95 在階高標準片製程技術研製上，針對微米尺寸以上階高改採精密加工，在不鏽鋼基板上，先鍍上鉻膜(約 200~300 μm)，表層加工成精密鏡面，再以鑽石刀精密加工凹槽，鑽石刀刃寬度只有 150 μm 與 400 μm，加工設計圖如圖 1-9 所示。

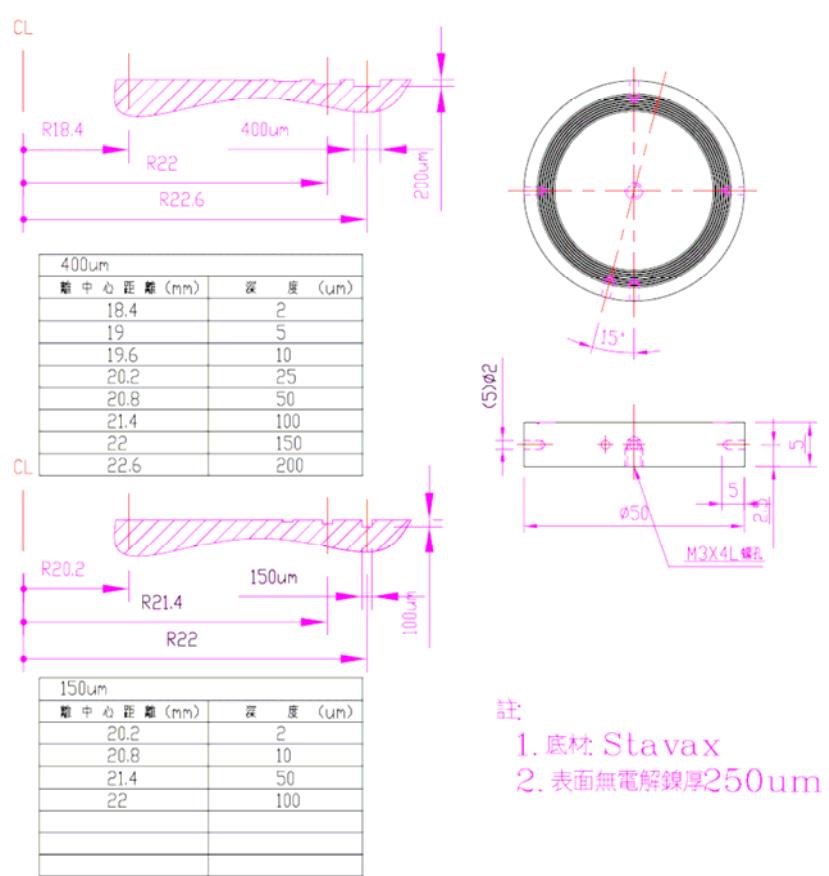


圖 1-9 階高加工設計圖

接觸式階高量測儀進行成品測試，在 5 mm 範圍內，階高均勻性小於 50 nm，若在直徑為 40 mm 圓內，階高均勻性小於 200 nm，其階高量測圖形如圖 1-10 所示。以量測 7.5 μm 階高量測圖形而言，底部與階高表層維持良好平行度。

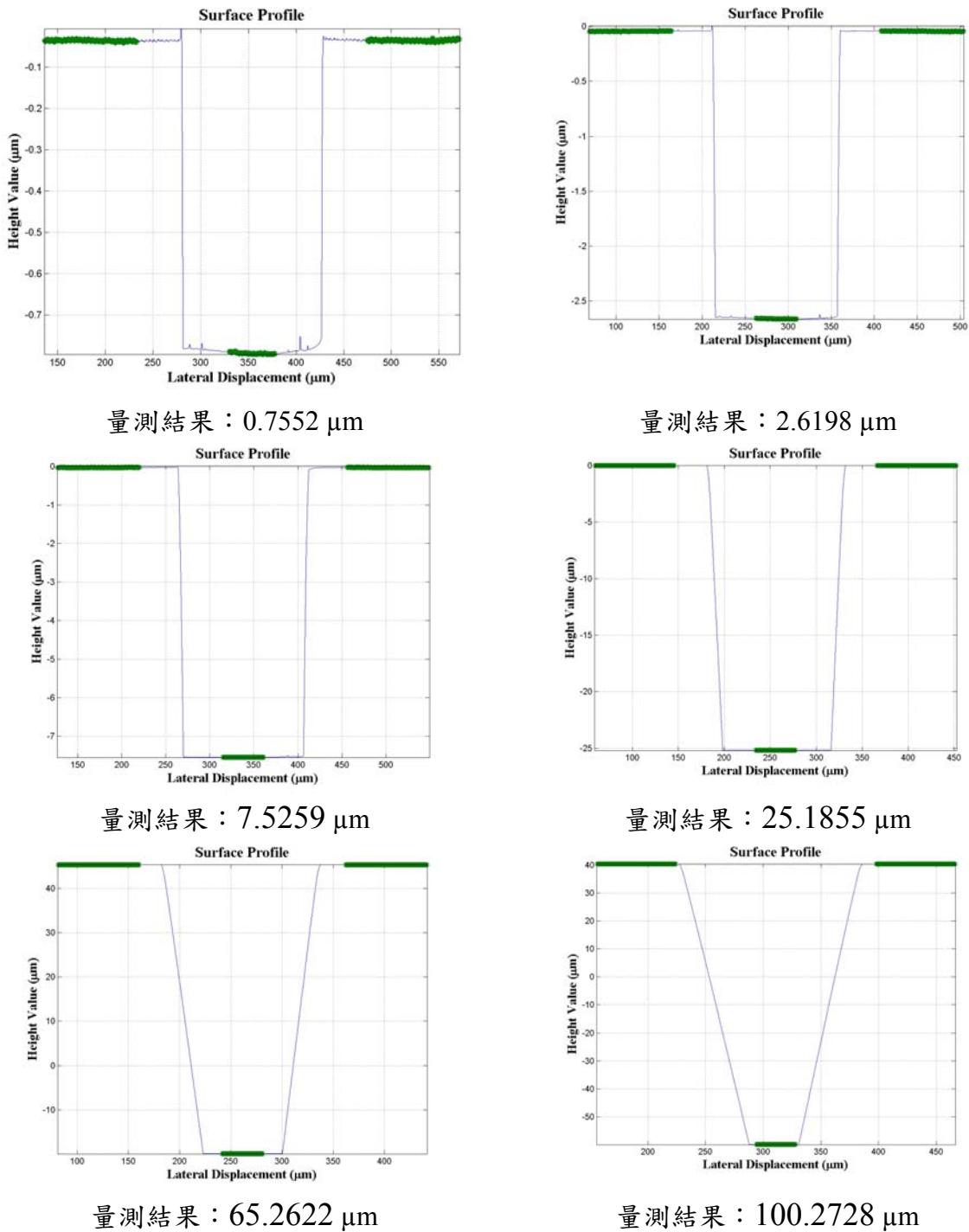


圖 1-10 自製階高量測圖形及圖形

\*註:7μm 以上量測圖形，有側壁傾斜圖像，是因為量測縱深大時，探頭輪廓會反映在側壁量測上。

### III.連續角度原級標準研製

在 0-15 度區間連續角度，需直接追溯到互校後的轉盤，小角度干涉儀則提供 15 度間連續小角度標準。FY94 的設計，小角度干涉儀無法量測到 15 度以上角度，所以追溯上，需透過 24 面與 18 面多邊規，才能滿足追溯到標準角度，在 FY95 年變更結構設計與調整後，小角度干涉儀量測範圍可延伸到 18°，在追溯上，採用其中 15°進行直接追溯 24 面鏡標準角度，在測試上則涵蓋 16°範圍，透過直接一次追溯，可降低追溯量測不確定度。

角度干涉儀架構如圖 1-11 所示，雷射干涉儀光束經分光鏡分為二光束，二光束分別入射到旋轉臂(臂長 L)之兩端的角隅鏡與反射鏡後，調整反射鏡，使光束循原光路返回分光鏡，兩光束重疊，產生干涉並進入光偵測器，當轉動  $\theta$  角度後，若兩光路之光程差為 d，則可得到

$$\sin(\theta) = \frac{d}{L}, \quad \theta = \sin^{-1}\left(\frac{d}{L}\right)$$

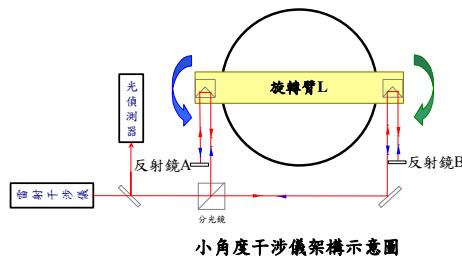
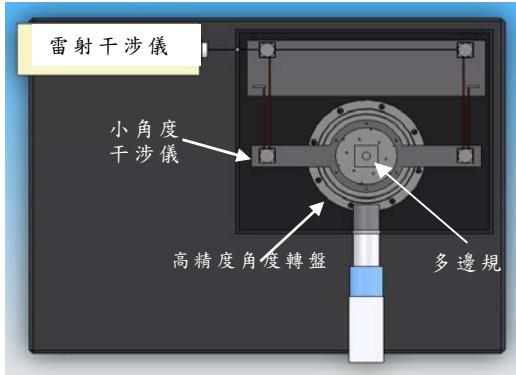


圖 1-11 小角度干涉儀架構示意圖

小角度干涉儀之臂長，則需由轉盤(已經上述互校方法評估)提供一標準角度，同樣由計算公式，可計算得到臂長 L。小角度干涉儀與高精度轉盤組合示意圖如圖 1-12。



小角度干涉儀與高精度轉盤組合示意圖

圖 1-12 小角度干涉儀與高精度轉盤組合示意圖

但在實際架設小角度干涉儀時，如圖 1-13，旋轉臂與雷射干涉儀會有一起始夾角  $\theta_1$ ， $\theta$  角為轉盤轉動角度， $L_1$  為臂長  $L$  之  $1/2$ ，有幾何關係可得到以下程式：

$$L_1 \sin(\theta_1) = d_1, L_1 \cos(\theta_1) = \frac{\sqrt{L^2 - d_1^2}}{L_1}$$

$$L_1 \sin(\theta_1 + \theta) = d_1 + d,$$

$$L_1 \sin(\theta_1) \cos(\theta) + L_1 \cos(\theta_1) \sin(\theta) = d_1 + d$$

$$d_1 \cos(\theta) + \sqrt{L_1^2 - d_1^2} \sin(\theta) = d_1 + d$$

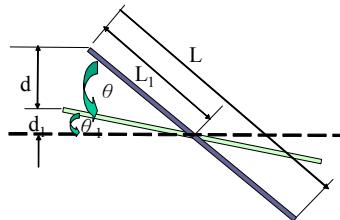


圖 1-13  $\theta$  角為轉盤轉動角度示意圖

$$\text{令 } A = d_1; B = \sqrt{L_1^2 - d_1^2}$$

轉動角度  $\theta_i$ , 干涉儀位移量測值  $d_i, i = 1 \sim n;$

$$A \cos(\theta_i) + B \sin(\theta_i) - d_1 = d_i$$

$$A[\cos(\theta_i) - 1] + B \sin(\theta_i) = d_i$$

可用最小平方法(Leas-square)估算出  $A$  與  $B$ ，來計算出臂長  $L$ :

$$L_1 = \sqrt{B^2 + d_1^2}; L = 2\sqrt{B^2 + d_1^2}$$

$$\theta_1 = \sin^{-1}(d_1 / L_1)$$

當  $\theta_i=15^\circ$  時，由 cross calibration 方法同時校正轉盤與多邊規，可得到轉盤  $0^\circ-15^\circ$  之器差  $\delta_S$ ，在計算時，將此器差值修正轉盤之轉動角度。由  $\theta_1$  與  $L_1$ ，由下式可得到任一轉盤之轉動角度  $\theta_i$  之器差  $\delta_i$ ，

$$\delta_i = \sin^{-1}\left(\frac{L_1 \sin(\theta_1) + d}{L_1}\right) - \theta_1 - \theta_i$$

最後比較  $\theta_i=15^\circ$  時之器差  $\delta_{15}$  與  $\delta_S$ ，以平均修正方法，使得  $\theta_i=15^\circ$  時之器差為  $\delta_S$ 。

#### IV. 奈米微粒量測系統研製

靜電式粒徑量測系統亦即電氣遷移率分析儀量測系統，乃是目前普遍被認為最早用來精確量測氣溶膠(Aerosol)奈米粉體粒徑的設備之一。基本上，此量測系統有兩個主要的應用：其一為用以量測粉體的粒徑分佈；其二則是用以連續分餾出微小範圍粒徑的粉體，後者常用於奈米粉體與功能性材料的化學合成方面。早在廿世紀初(1921年)，電氣遷移率分析儀的概念首先被 Erikson 應用於離子特性研究方面[1-6]。而具體的電氣遷移率分析儀則是於1957年由 Hewitt 所提出，其利用此分析儀進行次微米粉體的電氣遷移率量測[1-7]。1974年 Liu 與 Pui 則是根據 Hewitt 所提出的概念，發展出適用於粉體分餾方面的電氣遷移率分析儀，用以產生單一粒徑分佈(Monodisperse)的粉體[1-8]，而此設計亦是第一個商品化的電氣遷移率分析儀。

如圖 1-14 所示，若將一帶有負電荷之圓球形粉體置於一流體中的電場內，則將會有四種外力作用在此粉體上，使粉體與流體間產生相對運動，速度為  $v$ 。此四力分別為庫侖力( $F_E$ )、重力( $F_G$ )、浮力( $F_B$ )、以及拖曳力( $F_D$ )。

作用於此粉體之庫侖力  $F_E$  與電場強度  $E$  以及此粉體的帶電量  $q$  有關，亦即：

$$F_E = q \cdot E \quad (1)$$

其中，粉體的帶電量  $q$ ，可以基本電荷(Elementary charges)  $e$  與所帶的基本電荷數  $n$  表示：

$$q = n \cdot e \quad (2)$$

其中， $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

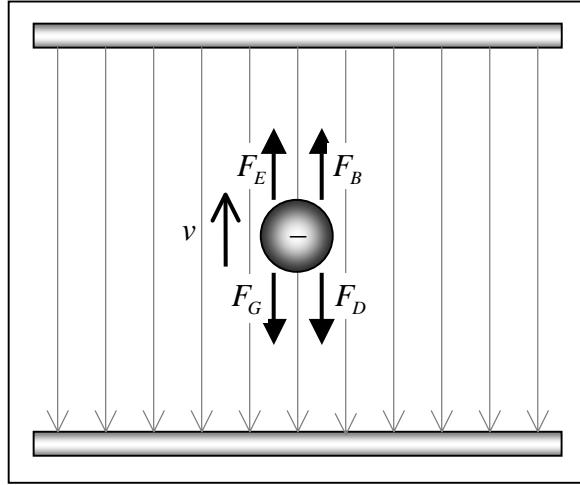


圖 1-14 置於電場內之奈米粉體

若此粉體的粒徑為  $D$ 、密度為  $\rho_p$  且流體的密度為  $\rho_f$ ，則此粉體所受的重力  $F_G$  與浮力  $F_B$  分別可以式(3)與式(4)表示：

$$F_G = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot \rho_p \cdot g}{6} \quad (3)$$

$$F_B = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot \rho_f \cdot g}{6} \quad (4)$$

其中， $g$  為重力加速度值。

當粉體與流體產生相對運動時，此時粉體周遭的流體流速乃產生速度梯度 (Gradient)，粉體也因此受到來自於流體的阻力影響，此阻力即為拖曳力。當粉體的雷諾數 (Reynolds number) 很小 ( $R_e < 1$ ) 時，此阻力可根據史托克定律 (Stokes's law) [1-9] 表示：

$$F_D = 3\pi \cdot \eta \cdot v \cdot D \quad (5)$$

其中， $\eta$  為流體的黏滯係數， $v$  則為粉體與流體的相對速度。若粉體的雷諾數大於 1 時，則粉體所受的拖曳力可以式(6)表示：

$$F_D = \frac{3\pi \cdot \eta \cdot v \cdot D}{C_C} \quad (6)$$

其中， $C_C$  為滑溜修正係數 (Slip correction factor)。

當粉體置於高壓電場中，此時粉體所受的重力與浮力相較於其所受的庫侖力與拖曳力而言要小很多，因而可以忽略重力與浮力的影響，亦即：

$$F_E = F_D \quad (7)$$

由式(1)與式(6)可求得粉體於此高壓電場中的速度  $v_E$  為：

$$v_E = \frac{q \cdot E \cdot C_c}{3\pi \cdot \eta \cdot D} = Z_p \cdot E \quad (8)$$

其中  $Z_p$  為電氣遷移率(Electrical mobility)，其所代表的物理意義為電場中粉體速度與電場強度之比，亦即：

$$Z_p = \frac{v_E}{E} = \frac{q \cdot C_c}{3\pi \cdot \eta \cdot D} \quad (9)$$

如圖 1-15 所示，電氣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：

$$E = \frac{V}{r \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (10)$$

其中  $V$  為中心圓柱電極的電壓值。

由式(8)至式(10)可得粉體於此一系統中的徑向速度  $v_E$  為：

$$v_E = \frac{dr}{dt} = Z_p \cdot E = \frac{Z_p \cdot V}{r \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (11)$$

其中  $t$  為時間。而此粉體的軸向速度則為：

$$v_R = \frac{dx}{dt} = u(r) \quad (12)$$

其中  $u(r)$  為流場速度。由式(11)與式(12)可得：

$$\begin{aligned} \int_0^L dx &= \int_{r_1}^{r_2} \frac{r \cdot \ln(r_1/r_2) \cdot u(r)}{Z_p \cdot V} dr \\ &= \frac{\ln(r_1/r_2)}{2\pi \cdot Z_p \cdot V} \int_{r_1}^{r_2} 2\pi \cdot r \cdot u(r) dr \end{aligned} \quad (13)$$

此方程式用以描述當粉體受庫侖力與拖曳力的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  $x = L$ )時情況。當多重粒徑氣溶膠的流量  $Q_m$  (Polydisperse aerosol flow rate) 與單一粒徑氣溶膠的流量  $Q_a$  (Monodisperse aerosol flow rate) 相等時，由式(13)可得：

$$Z_p = \frac{Q_s \cdot \ln(r_1/r_2)}{2\pi \cdot L \cdot V} \quad (14)$$

其中  $Q_s$  為潔淨空氣的流量(Sheath air flow rate)。因此，由式(9)與式(14)即可求得粉體的粒徑為：

$$D = \frac{2q \cdot L \cdot V \cdot C_c}{3\eta \cdot Q_s \cdot \ln(r_1/r_2)} \quad (15)$$

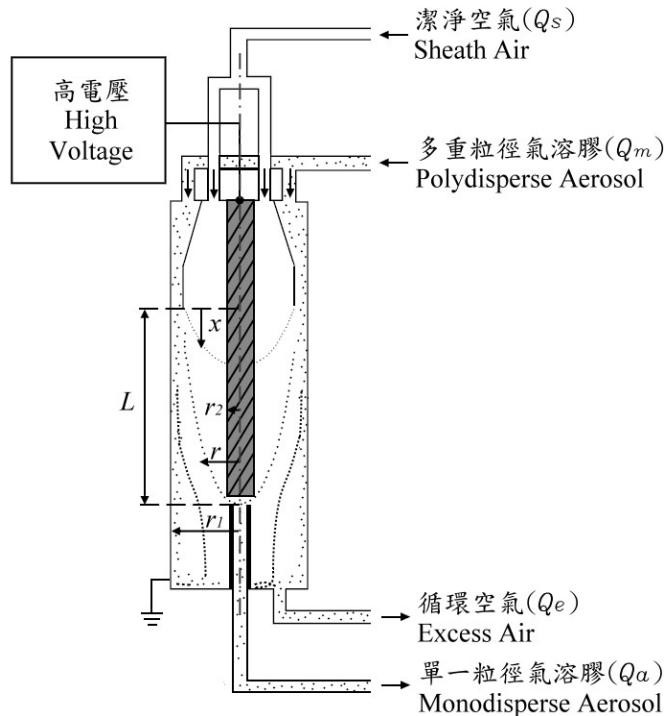


圖 1-15 電氣遷移率分析儀

## V. 奈米薄膜量測標準研製

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( $< 10 \text{ nm}$ )，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)

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

其中， $n$  是折射率， $\delta$  是能量發散(dispersion)， $\beta$  是能量吸收(absorption)。當頻率遠大於原子的共振頻率， $\delta$  可以以下式表達：

$$\delta = \frac{e^2 n_e}{2\epsilon_0 m (2\pi c)^2} \lambda^2 = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times n_e \quad (2)$$

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， $\delta$ ， $\beta$  可重新表示如下[1-10]

$$\delta = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times n_e = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times (Z + f') \quad (3)$$

$$\beta = \frac{r_0 \lambda^2}{2\pi} \times f'' \times n_{Atoms} \quad (4)$$

通常  $\delta$ 、 $\beta$  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

$$n_{Atoms} = \frac{N_A}{A} \times \rho \quad (5)$$

其中， $N_A$  是 Avogadros 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)  $\beta$  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  $\theta_c$  可以用

$$1 - \delta = \cos(\theta_c) \cong 1 - \frac{\theta_c^2}{2} \quad (6)$$

$$\theta_c = \sqrt{2\delta} = \sqrt{\frac{r_0 \lambda^2}{\pi} N_A \frac{(Z + f')}{A} \rho} \quad (7)$$

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  $\theta_c$  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[1-11]

$$m\lambda = \Delta = 2d\bar{N}_{x,1}(\theta_m) \cong 2d\sqrt{\sin^2(\theta_m) - 2\delta} \quad (8)$$

$$\theta_m^2 = \frac{m^2 \lambda^2}{4d^2} + 2\delta = \frac{m^2 \lambda^2}{4d^2} + \theta_c^2 \quad (9)$$

藉由式 8，及干涉週期間的相鄰最高或最低點，計算膜厚

$$d = \frac{m\lambda}{2} \times \frac{1}{\sqrt{\sin^2(\theta_m) - \theta_c^2}} \approx \frac{\lambda}{2} \frac{1}{\sqrt{\theta_{m+1}^2 - \theta_c^2} - \sqrt{\theta_m^2 - \theta_c^2}} \quad (10)$$

當  $\theta_m \gg \theta_c$

$$d = \frac{\lambda}{2} \times \frac{1}{\theta_{m+1} - \theta_m} = \frac{\lambda}{2 \times \Delta\alpha} \quad (11)$$

GIXRR 的量測如圖 1-16，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  $0.16^\circ$  時，接收的 X 射線強度在第一次劇減時的角度為臨界角  $\theta_c$ 。除了物體的能量吸收外，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

$$(\Delta\alpha)^2 = 2\delta \times \left(\frac{4\pi}{\lambda}\right)^2 + (m + \Delta m)^2 \left(\frac{2\pi}{d}\right) \quad (12)$$

其中  $m$  是整數， $\Delta m$  是  $1/2$  或是  $0$ 。

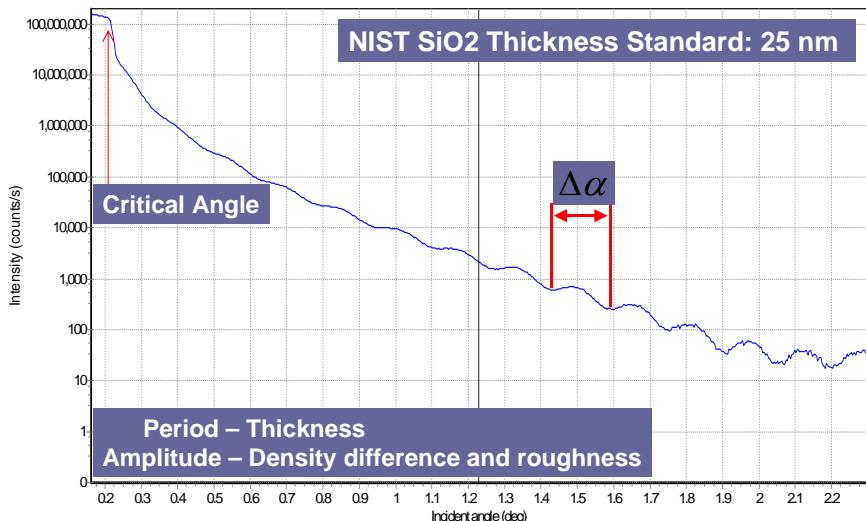


圖 1-16 膜厚量測關係圖

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 1-17。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，目前則依據銅靶靶材的特徵常數來做不確定度的評估。

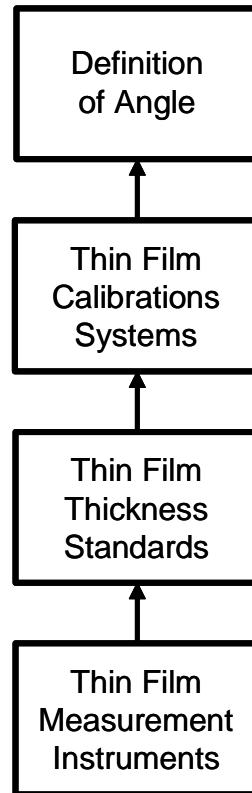


圖 1-17 X 射線反射儀薄膜量測系統之不確定度的傳遞路徑

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 8~11 求得。薄膜厚度之量測方程式可得到為

$$d = \frac{(m + \Delta m) \times \lambda}{2\sqrt{\theta_m^2 - \theta_c^2}} = \frac{(m + \Delta m) \times \lambda}{2\sqrt{\sin^2(\theta_m) - \theta_c^2}} \quad (13)$$

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

依據式(13)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素，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( $\lambda$ )

X 射線波長是經由銅靶激發，激發的波長分布如圖 1-18， $K\alpha_1$  特徵位置的波長為 0.1541 nm。以  $K\alpha_1$  特徵位置的半高寬( $\Delta\lambda$ )，作為 X 射線波長變化的範圍，來評估 X 射線波長的變異。由於  $K\alpha_1$  特徵位置的半高寬是  $\Delta\lambda = 0.0002$  nm，假設呈矩形分布，

標準不確定度  $u(\lambda_0)$  為  $\frac{2 \times 10^{-4}}{\sqrt{3}} = 1.15 \times 10^{-4}$  nm。由量測方程式式(13)或是簡易量測方程式式(11)，討論其標準不確定度  $u(\lambda)$  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(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  $\frac{1}{2\theta_m} = 23.89$ 。本項之不確定度是取自 X 射線波長  $K\alpha_1$  特徵位置，估計其相對不確定度為 10%，則可得自由度  $v(\lambda)$  為 50。

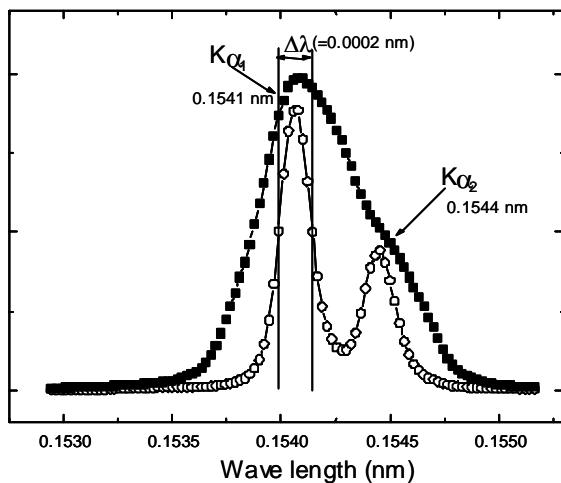


圖 1-18 X 射線頻譜分析

### (ii) 樣本支撐角度( $\omega$ )

樣本支撐角度校正( $\omega$ )的不確定度，是由角度測試報告而得，報告編號 D951364。由量測方程式式(13)或是簡易量測方程式式 11，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 11 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， $\omega$  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( $2\theta$ )

偵測器角度校正( $2\theta$ )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( $\omega$ )的分析相同，由量測方程式式(13)或是簡易量測方程式式 11，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 11 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， $2\theta$  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，以相同的設定值做十次量測，如表 1-1 所示。為評估系統的重複性量測，NIST SRM 2534 - Si/SiO<sub>2</sub> 薄膜標準片，標稱厚度為 25 nm，分別在 14 天，各取十次數據，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，因此，最大之標準差為 0.0673 nm，自由度為 9，靈敏係數為 1。

因此，標準不確定度為  $\frac{0.0673}{\sqrt{9}} = 0.0224 \text{ nm}$ 。

表 1-1 薄膜厚度重複性量測

日期	7-12	7-18	7-19	7-20	7-25	7-27	7-28	8-3	8-15	8-16	9-12	9-19	9-20	10-12
1	27.014	26.900	26.900	26.969	26.973	26.992	26.969	27.050	26.908	27.001	26.973	27.036	26.96	26.956
2	27.015	26.988	26.930	27.093	26.973	26.994	27.093	26.982	26.883	27.026	26.96	27.024	26.996	26.997
3	27.016	27.017	26.989	26.918	27.037	26.935	26.918	27.015	26.907	26.897	26.956	26.995	27.009	27.017
4	27.016	26.957	26.989	26.994	26.969	26.994	26.994	26.998	26.906	27.091	27.011	27.010	26.987	27.023
5	27.064	26.984	26.888	26.994	26.969	26.991	26.994	26.997	26.932	27.089	26.980	26.989	27.022	26.981
6	27.064	26.967	26.989	26.993	27.019	26.997	26.993	26.963	26.944	26.988	26.935	26.954	27.038	26.916
7	27.064	26.983	26.989	26.960	27.068	26.996	26.960	27.013	26.961	27.061	26.962	26.965	27.051	27.012
8	27.063	26.983	26.957	26.960	27.068	26.994	26.960	26.978	27.028	27.095	26.834	26.997	27.053	27.028
9	27.061	26.977	26.960	27.027	27.031	26.995	27.027	27.028	26.956	27.048	26.969	26.954	27.037	26.997
10	27.061	26.957	26.961	26.958	27.031	26.993	26.958	27.028	26.971	26.940	26.972	26.944	26.973	27.034
平均值 (nm)	27.044	26.971	26.955	26.987	27.014	26.988	26.987	27.005	26.940	27.024	26.955	26.987	27.013	26.996
標準差 (nm)	0.0246	0.0305	0.0378	0.0476	0.0400	0.0187	0.0476	0.0266	0.0422	0.0673	0.0468	0.0316	0.0329	0.0367

#### (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。取五天的量測值如表 1-2，其平均值為 27.054 nm、標準差 0.097 nm，自由度為 4，靈敏係數為 1。因此，標準不確定度為  $\frac{0.097}{\sqrt{4}} = 0.0485$ 。

表 1-2 重現性量測

日期	7-25	8-3	8-15	9-12	9-19	Average	Stddev
平均值(nm)	27.014	27.005	26.940	27.172	27.137	27.054	0.097
標準差(nm)	0.0400	0.0266	0.0422	0.0281	0.0333	--	--

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)[1-12]，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：

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right] u^2(x_i) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} u_c^2(y) = & \left( \frac{1}{2\theta_m} \right)^2 u^2(\lambda) + \left( \frac{\lambda}{2\theta_m^2} \right)^2 u^2(\omega) + \\ & \left( \frac{\lambda}{2\theta_m^2} \right)^2 u^2(2\theta) + u^2(d_r) + u^2(d_p) \end{aligned} \quad (15)$$

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 1-3，以方便組合標準不確定度之計算。

其中，如  $\lambda = 0.154 \text{ nm}$  及  $\theta_m = 1.2^\circ$  來估算， $u_c(y) = 0.0536 \text{ nm}$ 。

表 1-3 量測不確定度估算表

誤差源( $x_i$ )	不確定度估計量	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	0.0002 nm	B	0.000115	23.89	0.00276	50
樣本支撐角度	0.000525°	B	9.16E-06	351 nm	0.00321	60
偵測器角度	0.000155°	B	2.70E-06	351 nm	0.000949	60
重複性量測	0.0673 nm	A	0.0224	1	0.0224	9
重現性量測	0.0970 nm	A	0.0485	1	0.0485	4

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

$$U = k \times u_c \quad (16)$$

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

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^n \frac{u_i^4(y)}{\nu_i(y)}} \quad (17)$$

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4(y)}{\frac{u^4(\lambda)}{\nu(\lambda)} + \frac{u^4(\omega)}{\nu(\omega)} + \frac{u^4(2\theta)}{\nu(2\theta)} + \frac{u^4(d_r)}{\nu(d_r)} + \frac{u^4(d_p)}{\nu(d_p)}} \quad (18)$$

計算有效自由度，可得

$$\nu_{eff} = \frac{\frac{0.0536^4}{0.00276^2}}{\frac{50}{60} + \frac{0.00321^2}{60} + \frac{0.000949^2}{60} + \frac{0.0224^2}{9} + \frac{0.0485^2}{4}} = 26.03$$

$$\nu_{eff} = 26.03 \approx 26$$

量測系統採用 95 % 的信賴水準，有效自由度為 26 時，經查表得擴充係數 k 值為 2.06。因此，擴充不確定度(U)為

$$U = k \times u_c = 2.06 \times 0.0536 = 0.11 nm$$

由上式估算最佳校正能力時，可得最佳校正能力值為 0.11 nm。

## VI. 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 1-19 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。[1-13]

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  $\theta$  入射晶圓表面，如圖 1-20。產生角偏  $\phi_r$  的散射光，並與圖中 Z 軸夾角為  $\theta_r$ 。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，如下所示：[1-14]

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

其中  $\frac{\partial \Phi_s}{\partial \omega}$  為每固定角度的散射光強度， $\Phi_i$  為入射光強度， $\theta_s$  為散射光極角， $\phi_s$  為散射光方位角， $\theta_i$  為入射極角， $\phi_i$  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。

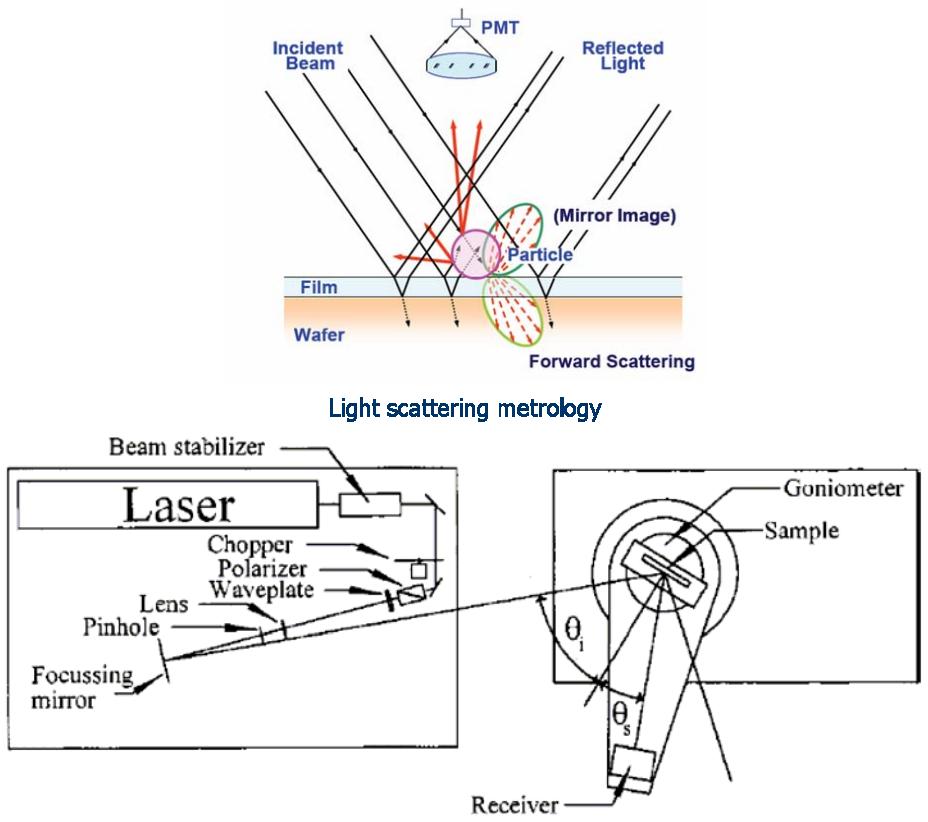
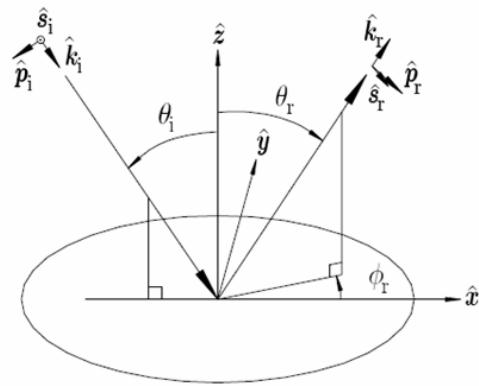


圖 1-19 散射光量測理論及系統架構示意圖

依據圖 1-19 及量測原理，計畫之晶圓表面粒徑量測系統架構分別由 Light soure、Goniometer、dector (receiver)組成。Light soure 的設計如圖 1-21，依排置的次序，包括 laser、chopper、polarizer、waveplate、lens、pinhole。



Optical geometry

圖 1-20 散射光角度量測關係

Goniometer 及 sample holder 的設計如圖 1-22。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確性。懸壁架構設計，可使 receiver 前後移動，並改變入射至 receiver 的角度。。。

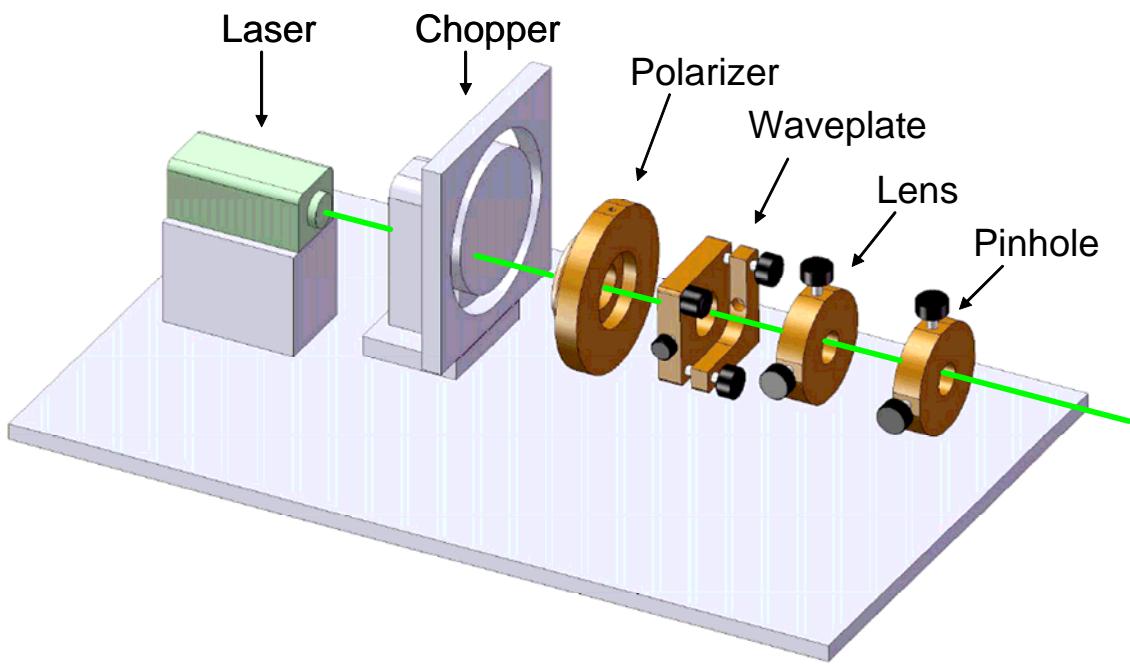


圖 1-21 晶圓表面粒徑量測系統-light source

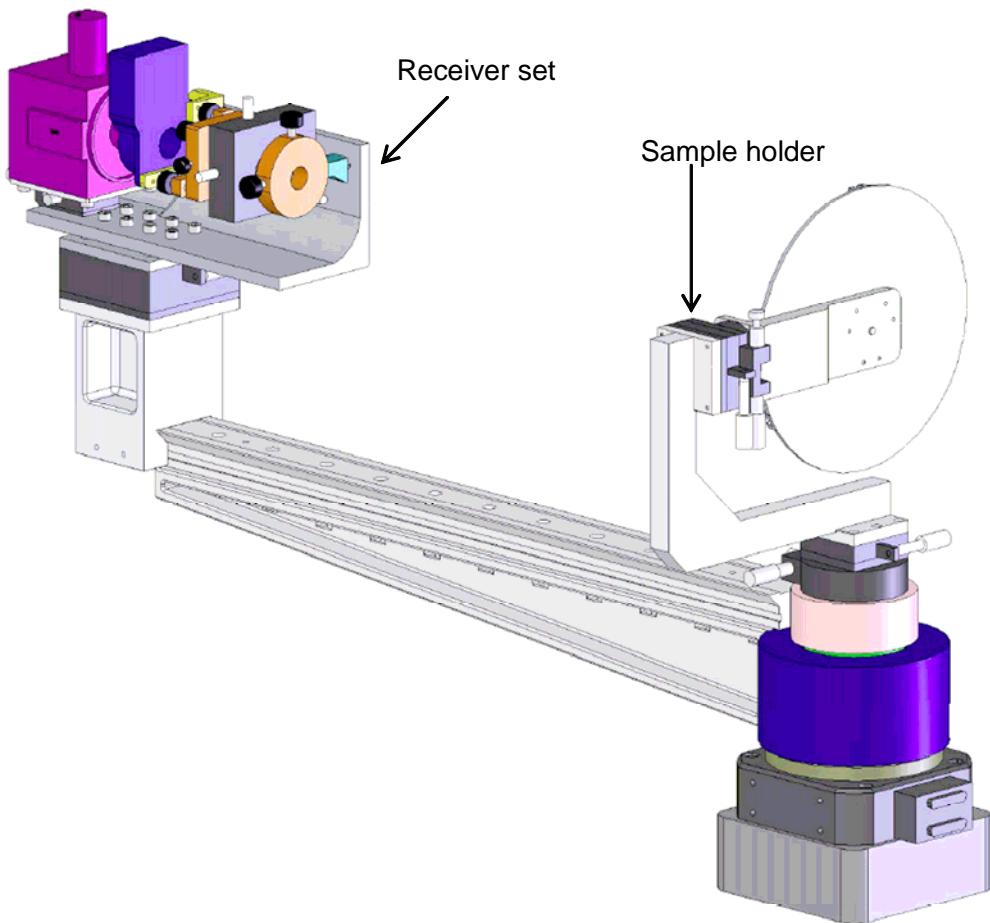


圖 1-22 晶圓表面粒徑量測系統-Goniometer & Receiver

### 【待改善之處】

#### I. 奈米繞射及散射線寬量測技術

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，經測試後，發現 AFM 固定探針機構，會干擾到左右傾斜角度，所以必需改採前後傾斜，已開始設計採前後傾斜所需調整機構。

#### II. 階高標準片(介於 1-100 μm)研製

階高標準片(介於 1-100 μm)是採用在 50 mm 直徑圓形基板上，表層加工成精密鏡面，再以鑽石刀精密加工凹槽，可視要求規格，加工不同階高，已有完成品，但標準件加工成本太高，若能分割成多片傘形尺寸，可降低成本外，整體尺寸與重量都能大幅降低，切割困難性在於可能會損毀鏡面表面或階高標準產生變形，加工屑料微粒會掉入階高凹槽內，冷卻液污損標準件等問題。FY96 將測試以線切割方式，將階高標準片浸於冷卻液，避免高溫，加工屑料損傷鏡面，加工完成後，再以超音波清潔油污與殘屑。

### III.連續角度原級標準研製

進行小角度干涉儀組裝與測試，因目前所使用之雷射干涉儀並非專屬連續角度原級標準系統使用，而小角度干涉儀精度要求高且臂長達 500 mm 以上，設計轉臂只置於轉盤上 3 個支點，安裝時位置必定有差異，入射小角度干涉儀角度不同，起始轉動角度也不同，所以在進行最小平方法估測轉動臂長與起始角度時，會有偏差，增加量測不確定度影響。

### IV.奈米微粒量測系統研製

奈米粒徑量測系統建置中的系統包括已完成的動態光散射儀、今年購入的電氣遷移率法(DMA)、及 FY96 建置的電重力平衡法(EAB)，其中動態光散射儀和電氣遷移率法都是採購現有商品化儀器回來後，分析其量測原理後再評估其量測不確定度，而電重力平衡法因無商品化儀器，同仁利用前往日本 NMIJ 客座研習機會學習密立根槽的設計技術、詳細組件規格和加工準確度，故 FY96 需在國內尋找合適的精密機械加工廠協助密立根槽的平面加工。

### V.奈米薄膜量測標準研製和 particles on wafer

5 nm 以下奈米薄膜標準片不易取得，如需評估 2 nm 以下奈米薄膜需與半導體廠合作開發。另外，如在掠角反射儀中增購 X-Ray Diffraction Optics，將可提升其量測能力。

另如何製作 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，將是一大難題。擬與奈米中心或學界或半導體廠合作，以製作所需標準片。

## 【後續工作構想及重點】

### I.奈米繞射及散射線寬量測技術

- (1) AFM 量測 CD 線寬量測技術，建置前後傾斜所需調整機構，再以縫補技術補償誤差，發展 AFM 探針輪廓量測技術，補償 AFM 探針輪廓外形誤差，可與縫補技術補償誤差方法比對驗證，以提高 AFM 量測 CD 線寬量測技術之精度。
- (2)光學式量測線寬，將購入調變式干涉顯微鏡，需了解其量測原理與光學結構，以做為評估量測誤差分析之依據，了解光學量測方法之最佳能力與限制條件。

### II.階高標準片(介於 1-100 μm)研製

FY96 將進行開發半導體製程研製 50 nm~500 nm 階高標準片，同時進行測試將

FY95 完成之 1-100  $\mu\text{m}$  階高標準，切割標準片，可降低成本外，整體尺寸與重量都能大幅降低，以線切割方式，將階高標準片浸於冷卻液，避免高溫，加工屑料損傷鏡面，加工完成後，再以超音波清潔油污與殘屑。

### III. 連續角度原級標準研製

連續角度原級標準研製於 FY95 完成，後續將會應用此項成果於國家標準實驗室之校正，應用小角度干射儀量校正自動視準儀。

### IV. 奈米微粒量測系統研製

奈米粒徑量測系統建置中的系統主要都是針對溼式聚苯乙烯的標準粉體，量測系統包括已完成的動態光散射儀、今年購入的電氣遷移率法(DMA)、及 FY96 建置的電重力平衡法(EAB)。產業的需求除聚苯乙烯標準粉體外，也希望能針對一般奈米粉體如  $\text{TiO}_2$ 、氧化鋅、奈米金、及奈米銀等，另外乾式粉體及奈米粉體的安全性也是未來的研究重點。

### V. 奈米薄膜量測標準研製和 particles on wafer

FY96 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、薄膜介面粗度、等效薄膜等、量測軟體之追溯等。順利完成上述工作重點，建立光學式薄膜厚度量測系統，量測二氧化矽薄膜厚度 1.5 nm-200 nm，最佳量測不確定度 0.4 nm+0.5%。

就晶圓表面奈米微粒量測技術而言，量測的準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。在 FY96，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 1000 nm。

## 二、力學性質量測追溯分項計畫

### 【年度目標】

- (1) 材料奈米磨潤之研究。
- (2) 高頻超音波量測技術：Freq. 10~80 MHz。
- (3) 奈米壓痕標準國際比對。
- (4) 微奈米級力量量測系統：Max  $\geq 100 \text{ mN}$ , noise floor  $< 1 \mu\text{N}$ 。

### 【本年度執行情形】

- (1) 奈米磨潤技術之建立：

本工作項目係利用以分子動力學之觀點，模擬材料承受奈米壓痕量測系統於極低應力下之奈米磨潤行為，由於傳統以連體力學為假設之有限元素法之假設過於巨觀，當材料被刺入深度達奈米等級時，許多微觀之現象可能無法用連體力學之觀點獲得描述，因此本計畫透過奈米分子動力學模型之建立，經由分子動力學數值模擬與奈米磨潤實驗之比較，期望從更微觀之觀點獲得傳統力學所無法解釋之現象。圖 2-1 為採用圓錐形之奈米壓痕壓頭，對薄膜施予一  $90 \mu\text{N}$  之正向力，並針對薄膜表面進行磨潤實驗，薄膜受磨潤之面積為  $5 \mu\text{m} \times 5 \mu\text{m}$ ，奈米壓痕壓頭於薄膜表面往復磨潤 70 次。在磨潤實驗完畢後，同樣是以奈米壓痕壓頭針對磨潤區域進行磨潤形貌掃瞄，掃瞄之面積為  $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 。另外，在分子動力學模擬方面，由於奈米壓痕實驗之壓頭為鑽石材料，因此，對於所有之測試材料相對於壓頭之鑽石材料皆可視為一軟質材料，故奈米分子動力學之模擬為針對一硬質之壓頭針對軟質材料進行磨潤實驗之模擬，圖 2-2 為奈米分子動力學之模擬結果。比較兩圖可知，磨潤區域在磨潤方向之兩邊有材料堆積之現象，由此之得知奈米分子動力學模擬之合理性。

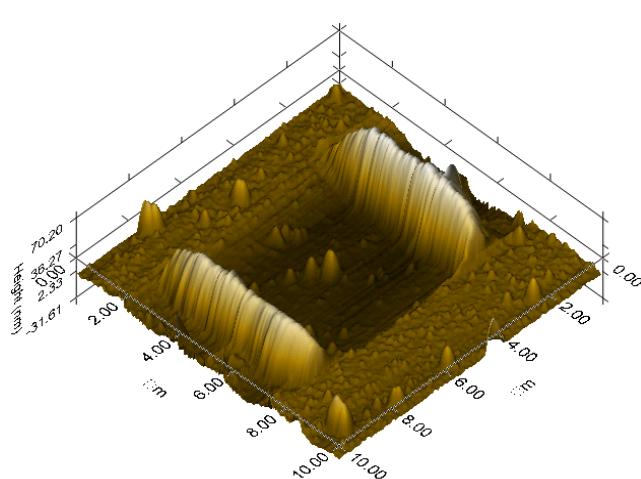


圖 2-1 奈米壓痕磨潤實驗結果

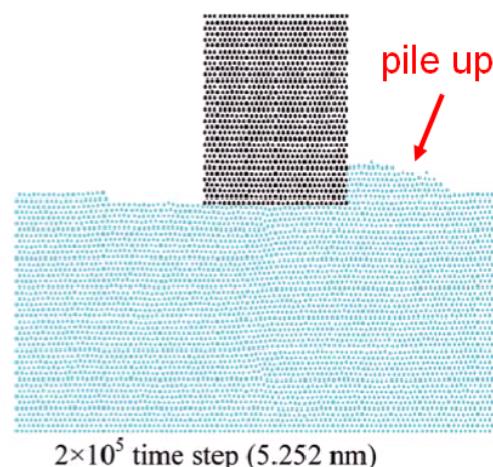


圖 2-2 奈米分子動力學模擬磨潤實驗結果

## (2) 高頻超音波量測技術：

光學接收系統的實驗如圖 2-3 所示，將超音波激發探頭放置在試片背面，利用探頭產生高頻的超音波，驗證干涉儀是否可以偵測出超音波訊號。當探頭產生超音波後，在試片中的超音波會傳至接收點的位置，其超音波訊號如圖 2-4 所示，圖中橫軸表時間，縱軸表振幅。其中在時間  $4\mu s$  附近到達的波群為探頭本身訊號，緊接其後的訊號即是試片的超音波訊號，此訊號可以由波傳路徑的時間來推論。利用超音波訊號的頻譜分析，由圖中可得出偵測系統的頻寬略大於 90 MHz。

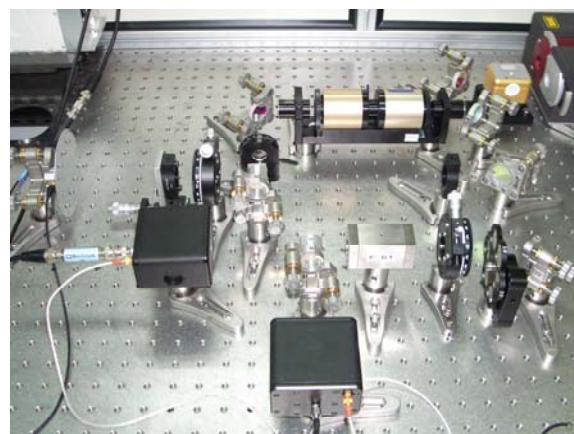


圖 2-3 光學接收系統的實驗

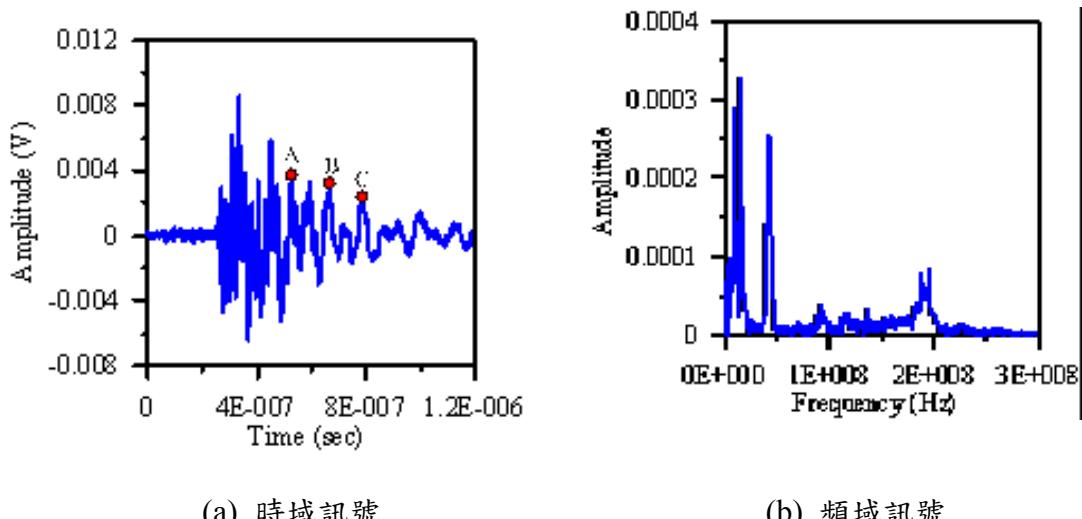


圖 2-4 超音波訊號

為了進一步得出更精確的超音波實驗結果，本計劃將薄膜試片委請 PTB 使用 IWS 的超音波裝置量測，並紀錄原始結果供將來研究參考，試片樣本是 SiO<sub>2</sub> 薄膜鍍於 Si 110 on 001 的基材上，圖 2-5 是超音波波傳速度的頻散曲線以及不同頻率時對應的訊號強度，圖的試片膜厚是 1000 nm，膜厚量測是利用經校正的橢偏儀量測。

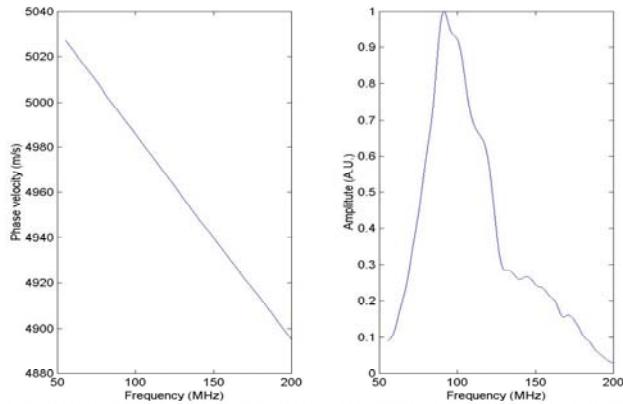


圖 2-5 超音波波傳速度的頻散曲線以及不同頻率時對應的訊號強度

### (3) 奈米壓痕國際比對：

本工作項目為以德國 PTB 國家實驗室進行奈米壓痕量測系統之比對，經由內部之實驗可得 Fused Silica 材料具有機械性質穩定之特性，因此製作兩片 Fused Silica 比對樣本與 PTB 進行奈米壓痕量測系統比對。表 2-1 及表 2-2 為 PTB 分別針對編號 1 號及 2 號之 Fused Silica 試片進行奈米壓痕實驗結果，表 2-3 及表 2-4 為本中心之奈米壓痕實驗結果。由表可知，雙邊對於奈米壓痕所得之複合膜數差異較小，而壓痕硬度雙邊則有較大之差異，另外，由表亦可得知本中之奈米壓痕量測系統對於試片 1 及試片 2 之試片，以及複合膜數及壓痕硬度之比對結果皆具有較德國 PTB 奈米壓痕量測系統較小之標準差，顯示本中心所建立之奈米壓痕量測系統具有較德國 PTB 更穩定之特性。

表 2-1 PTB 之編號 1 號之試片實驗結果

FS1	Er	H
1	66.4	7.47
2	66.1	7.39
3	66.2	7.41
4	66.5	7.08
5	67.3	7.36
6	65.9	7.22
7	66.1	7.24
8	65.1	6.88
9	64.0	6.76

表 2-1 PTB 之編號 1 號之試片實驗結果

10	65.2	7.01
11	66.1	6.86
12	66.2	7.34
Average	65.9	7.17
STDEV	0.83	0.24

表 2-2 PTB 之編號 2 號之試片實驗結果

FS2	Er	H
1	66.3	8.33
2	66.8	8.26
3	66.3	7.95
4	66.0	7.91
5	66.0	7.50
6	66.3	7.47
7	65.7	7.58
8	66.4	7.62
9	66.7	7.54
10	67.1	7.29
11	67.1	7.45
12	68.7	6.94
Average	66.6	7.65
STDEV	0.79	0.40

表 2-3 CMS 之編號 1 號之試片實驗結果

FS1	Er	H
1	71.1	9.95
2	69.8	9.60
3	70.4	9.68
4	70.9	9.79
5	70.8	9.68
6	70.2	9.63
7	70.7	9.80
8	71.3	9.81
9	70.9	9.65
10	70.5	9.59
11	70.8	9.76
12	71.0	9.74
Average	70.7	9.72
STDEV	0.41	0.10

表 2-4 CMS 之編號 1 號之試片實驗結果

FS1	Er	H
1	73.5	10.29
2	72.0	10.24
3	71.7	9.95

表 2-4 CMS 之編號 1 號之試片實驗結果

4	71.6	10.13
5	71.3	10.01
6	70.8	9.86
7	71.5	10.14
8	71.0	9.81
9	71.1	9.84
10	71.8	10.06
11	71.1	9.91
12	71.1	9.78
Average	71.5	10.00
STDEV	0.72	0.17

(4) 微奈米級力量量測系統：

微小力量量測屬於很新的研究領域，本計畫的實驗設備，是由 MTS 公司設計製作，實驗裝置如圖 2-6 所示，架構在 MTS 公司專利的 NMAT 微小力量傳感器，再利用高精度的線性移動台，可提供多樣的量測需求，比較符合本計畫需求[2-1]；本實驗的實際力量靈敏度如圖 2-7 所示，本實驗的樣本是直徑約為  $70 \mu\text{m}$  的 PP(polypropylene)纖維，由圖中的實驗數據可以明顯看出，本裝置實際的力量解析度遠小於  $1 \mu\text{N}$ ，力量 noise floor 約為  $150 \text{nN}$ ，符合本實驗需求；另外，在相同樣本測試下，得出最大力量量測值約為  $130 \text{mN}$ ，如圖 2-8 所示，實際上，依據設計的系統規格，本裝置應可達到  $500 \text{mN}$  的範圍，實驗數據目前受限於待測樣本的強度。利用商用微懸臂樑探針做為微小力量傳遞標準的實驗受限於探針勁度(stiffness)極大的差異，本計劃引進德國 Chemnitz 大學開發的精密微懸臂樑，其勁度最小為  $1.5 \text{ N/m}$ ，如圖 2-9 所示[2-2]。



圖 2-6 微奈米機械性質量測系統

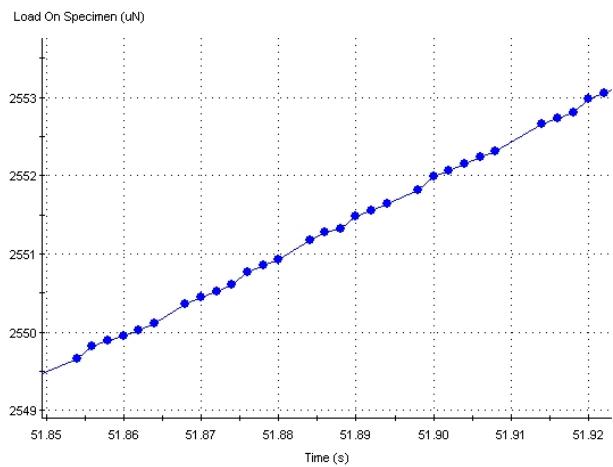


圖 2-7 力量靈敏度實驗資料

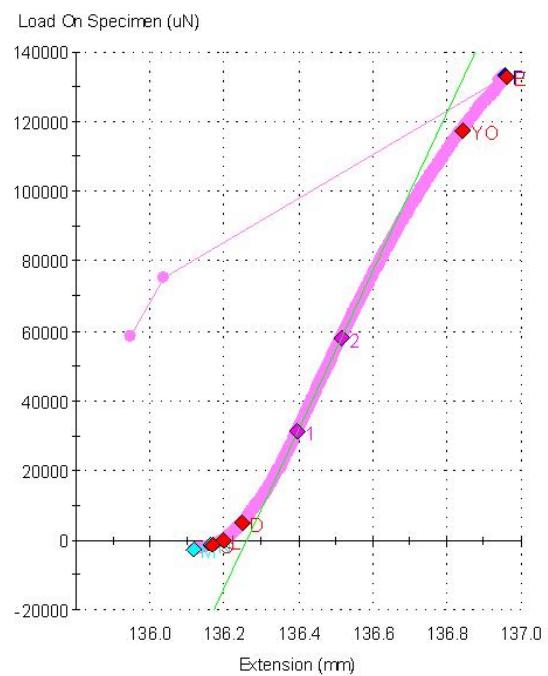
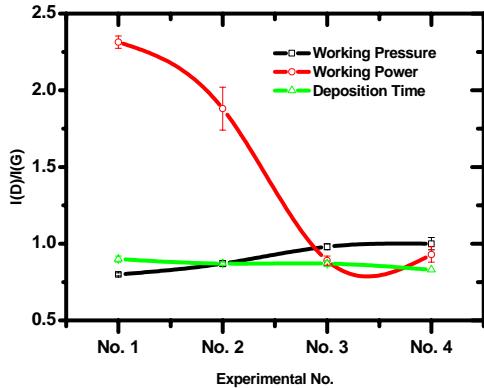


圖 2-8 最大力量量測實驗資料

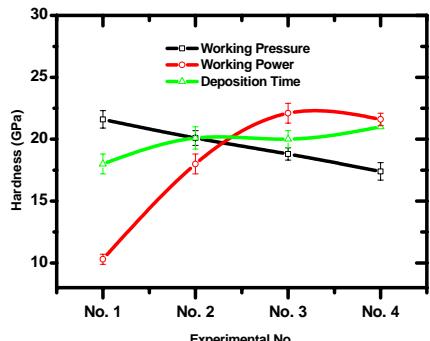
圖 2-9 鐵芯空隙圖[2-2]

### 【技術創新】

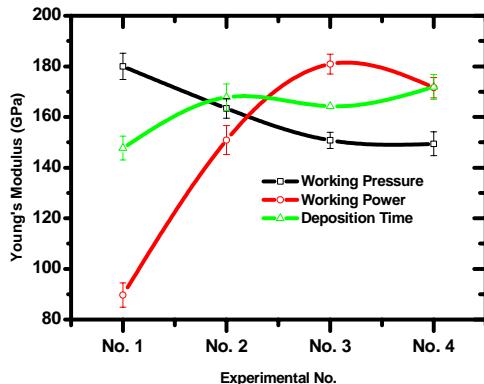
薄膜鍍製機制頗為複雜，本計畫執行過程中曾利用拉曼光譜儀針對類鑽碳磨之微結構進行探討，並研究不同製程參數對於薄膜機械性質之影響。圖 2-10 為以拉曼光譜儀所獲得之 ID/IG 值在不同製程參數下之分佈，由文獻可知，當類鑽碳磨之 ID/IG 值越大時，代表薄膜內部之之 sp<sub>3</sub> 鍵結含量越少，由圖可知不論是硬度或楊氏模數皆與薄膜內部之 sp<sub>3</sub> 比例有顯著之關係，當薄膜之 sp<sub>3</sub> 組成比例減少時，其所展現之硬度與楊氏模數皆會有降低之趨勢，透過拉曼光譜之實驗結果，可給予奈米壓痕量測所得結果之合理解釋[2-3-2-7]。



(a) ID/IG 值



(b) 硬度



(c) 楊氏模數

圖 2-10 拉曼光譜與奈米壓痕所得機械性質之比較

### 【突破之瓶頸】

如上所述，目前奈米壓痕量測系統只能獲得薄膜材料之複合膜數，然而根據彈性力學理論，當假設薄膜為等向性材料時，必須有兩個獨立之材料參數方可完整描述材料性質，此兩獨立材料參數即為楊氏模數及浦松比，然而薄膜之厚度極薄故不能採用傳統以應變計方式獲得其浦松比，因此，本計畫在執行過程中曾與逢甲大學機電係合作，利用其已建立之薄膜吹氣技術，可獲得薄膜材料之雙軸膜數，此雙軸膜數亦為薄膜材料之楊氏模數與浦松比之另一關係式，將此關係式與奈米壓痕所獲得之複合膜數聯立，即可分別獲得薄膜材料之楊氏模數與浦松比，本技術在目前文獻上仍未有相關學者採用此技術，在學術研究上具有一定之貢獻度。

### 【待改善之處】

目前奈米壓痕量測系統於微奈米等級之機械性質量測尚未有規範，況且不同廠商所生產之奈米壓痕量測系統之量測方式亦未一致化，因此往往造成同一件測試樣本，在經由

不同儀器量測後卻獲得差異性較大之量測結果，未來當擬定一簡單之實驗量測程序，以促使奈米壓痕量測一致性之可能性。

#### 【後續工作構想及重點】

本計畫主要針對微奈米等級薄膜機械性質進行量測，奈米計畫力學分項執行至今，對於薄膜機械性質之研究除了致力於材料膜數及硬度之量測技術外，並建立黏彈性質及磨潤性質之量測技術建立。而在計畫執行期間，曾有數家來自業界及學術界之人員與相關研究同仁討論，希望本中心除了在現有技術可提供其公司服務外，亦希望國家實驗室能建立具製程溫度機械性質變化之量測技術，此外，鍍膜產業往往深受殘留應力所苦，過大之殘留應力往會造成薄膜材料容易破裂或剝離，並進而影響產品之壽命及可靠度，未來亦希望實驗室可根據此兩研究技術列為未來研究主題，以提供廣大業界之需求。

### 三、微流量測標準技術分項計畫

#### 【本年度目標】

##### (1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

- 根據 FY94 對於晶片流道型的設計以及相關測試分析結果，完成以體積法為基礎的工作標準件，以利校正工作之進行。
- 流率範圍： $0.01 \mu\text{L}/\text{min} \sim 1 \text{ mL}/\text{min}$ ，不確定度：5%

##### (2) 建立微/奈升級單劑量校正標準

- 完成單劑量( $\text{pL} \sim \text{nL}$ )於噴墨應用與生醫應用領域之規格，及量測/校正方法分析之資訊蒐集。
- 完成比率光度式微升與次微升( $0.1 \mu\text{L}$ )級生醫檢驗用微量分注器(Micro-pipette)校正系統設計。
- 建立微/奈升級單劑量(dose/drop)校正標準及其追溯鏈。
- 先進學界技術應用於奈升液體體積量測之分析。

#### 【本年度執行情形】

##### (1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

本校正平台之工作原理乃是採用體積式的飛行時間(time-of-flight)量測方法，類似傳統管式校正器之工作原理，以氣體代替實體活塞，並直接偵測氣液界面的移動以決定流率。移動速率的決定是以氣液介面的偵測為基礎，藉由電極所產生的電容效應，以及空氣與水的介電係數差異，使氣液介面通過時產生對應於系統阻抗變化的電訊。藉由兩組以上的偵測電極所得訊號的時間差便可用於推算流率；在與秤重法原級系統進行比對後，便可作為微流量校正技術的工作標準。因此，本年度的執行主要為校正平台的建立，其中包括以數值模擬方法輔佐電極設計以及校正平台測試驗證，以下分別針對各部份做詳細說明。

###### (i) 電極設計

以套裝軟體 CFD-RC 輔助電場計算，以計算之等效電容做效能評估，確認最佳電極設計。電極基本形式為雙平行電極，其示意圖如圖 3-1 所示：

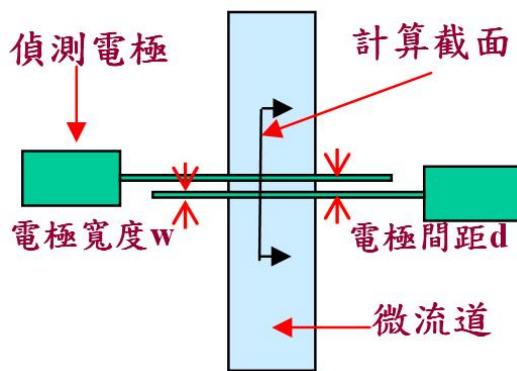


圖 3-1 偵測電極配置示意圖

因此電極設計主要工作即為確認各幾何參數的最佳化，包括介電性質、電極寬度  $w$ 、電極間距  $d$ 、介電層材料與介電層厚度  $t$ 。其中計算以二維模擬電場的於兩電極間截面，以二維格點進行。其計算域外型與所得電位分佈結果如圖 3-2 所示。

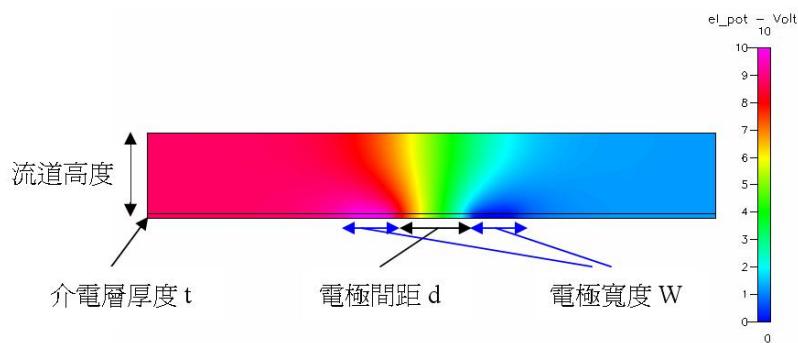


圖 3-2 數值模擬計算域及所得電位分佈結果

由此我們可分別計算出當介質為空氣和水時的流場電位分布，如圖 3-3 所示。

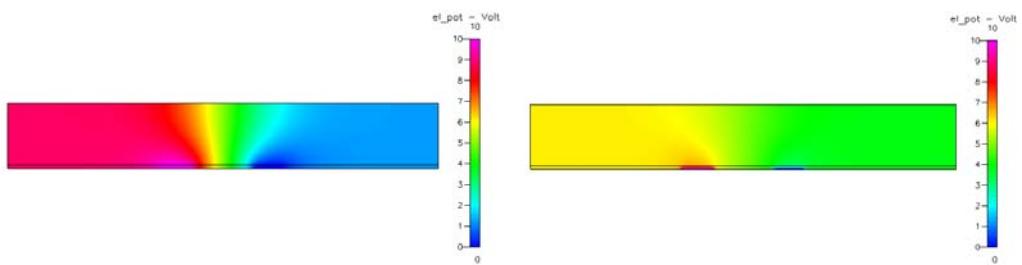


圖 3-3 流場電位分佈圖：空氣介質(左)；水介質(右)

我們由電位模擬結果計算出等效電容，並依據空氣與水兩介質通過電極前後所產生的等效電容的變化定義感測靈敏度，並比較分析各種參數對感測靈敏度的影響，其結果

分別如圖 3-4 (a)-(d)所示。

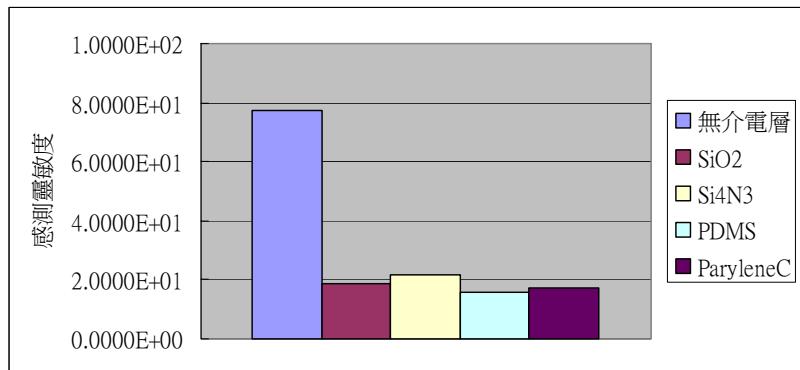


圖 3-4(a) 介電層種類(性質)對感測靈敏度的影響

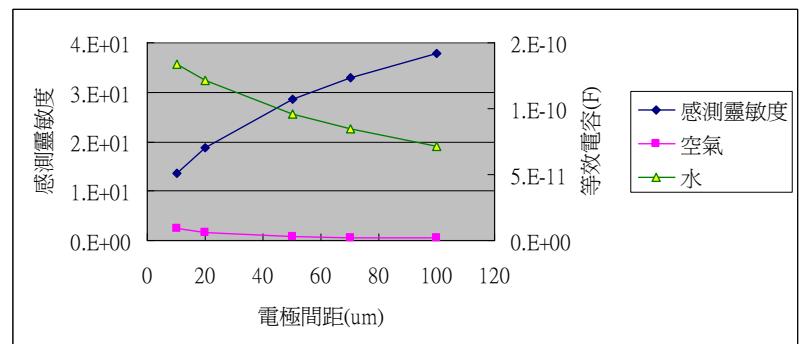


圖 3-4(b) 電極間距 d 對感測靈敏度的影響

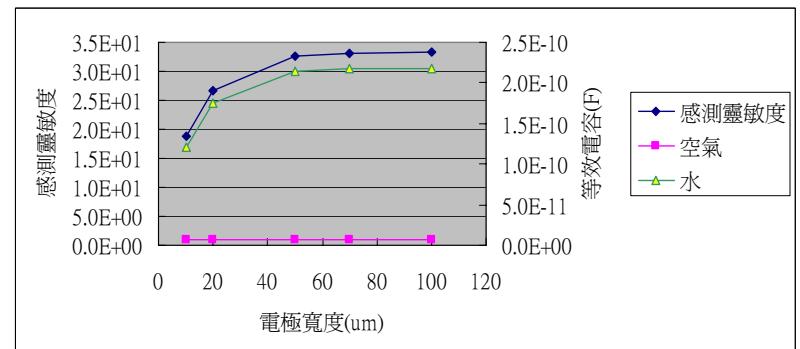


圖 3-4(c) 電極寬度 w 對感測靈敏度的影響

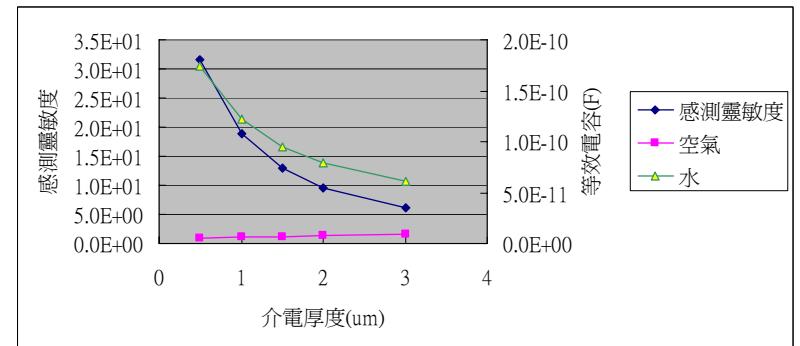


圖 3-4(d) 介電層厚度 t 對感測靈敏度的影響

由模擬結果可得知，以感測靈敏度最佳為基準，最佳化的電極設計為  $w = 2.5d$ ，且  $w, d$  均為越大量測效果越好，但考量到流體通過電極的時間不宜太長以免影響感測訊號的動態變化，因此電極尺寸與間距的大小應在兩者間取得平衡。至於  $t$  則越小量測效果越好。至於在介電層的選擇方面，各種介電層材料對結果的影響不大，但加了介電層後都很明顯地降低了感測靈敏度。因此我們以鈦電極取代原本的鋁電極，由於其化學活性較低，可反覆操作而不會有電極腐蝕的問題，因此可以無須使用介電層而直接以鈦電極和工作介質接觸，而得到最佳的訊號品質。根據模擬結果，我們所選擇的最佳設計為  $d = 20 \mu\text{m}$ 、 $w = 50 \mu\text{m}$ 、無介電層、鈦金屬材質電極。

#### (ii) 校正實驗平台

本校正平台主要包含流體驅動裝置、訊號產生裝置、微流量測晶片、訊號放大裝置、以及訊號擷取裝置。其中量測晶片分為兩大部分：(1)供流體通過之微流道；(2)用於偵測氣液界面之電極基板。微流道的尺寸視適用流率範圍而有所不同，可併聯不同的晶片使用並依實際量測流率需求切換。計畫所選用的材質與製作方法包括以壓克力精密加工配合表面平滑處理、PDMS 翻模以及矽晶圓乾蝕刻三種。電極基板則參考前述理論計算的結果以微機電製程製作完成；其中基材採用玻璃，電極則為鈦金屬。微流道與電極基板的接合則分別採用 UV 膠黏合(壓克力)、氧電漿表面處理接合(PDMS)、以及陽極接合(矽晶圓)。製作完成之量測晶片如圖 3-5 所示，其微流道材質為 PDMS；整體校正平台之設計所能涵蓋之流量量測範圍為  $0.01 \mu\text{L}/\text{min} - 1 \text{ mL}/\text{min}$ 。



圖 3-5 PDMS 微流道之量測晶片

實際量測時所得訊號變化如圖 3-6 所示，其中電壓突降處即代表氣液界面通過偵測電極的時間點。我們可以發現，相對於 FY94 本技術建立之初時所遇到的訊號變化緩慢導致觸發時間點決定不易的問題，本年度在電極設計、電路配置、以及訊號輸入參數上的改進及調整，使得我們能夠獲得非常迅速的訊號反應，也因此在觸發時間點的決定上

得以更為精確，從而降低了時間量測上的不確定度。

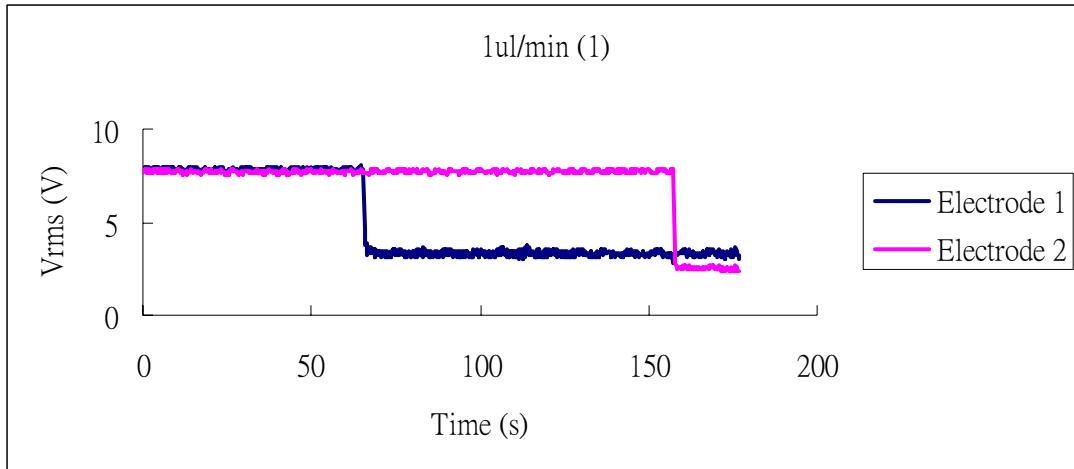


圖 3-6 體積法微流量量測操作時的電訊號變化

本校正平台的標準追溯乃是建立於與秤重法微流量測標準系統的比對，以做為工作標準件使用。相對於秤重系統，體積法校正平台在低流率的量測上能夠節省大量的時間，同時有能力將可量測流率往下延伸一個數量級。校正平台的量測性能評估乃是以經秤重系統校正過之注射泵浦做為傳遞標準加以進行。以  $1\text{-}10 \mu\text{L}/\text{min}$  流率範圍為例，其量測結果與相對擴充不確定度如圖 3-7 所示，與標準值之偏差小於  $2.1\%$ ，相對擴充標準不確定度則在  $2.28\%$  以內，可見其性能表現符合系統設計之初的規劃。

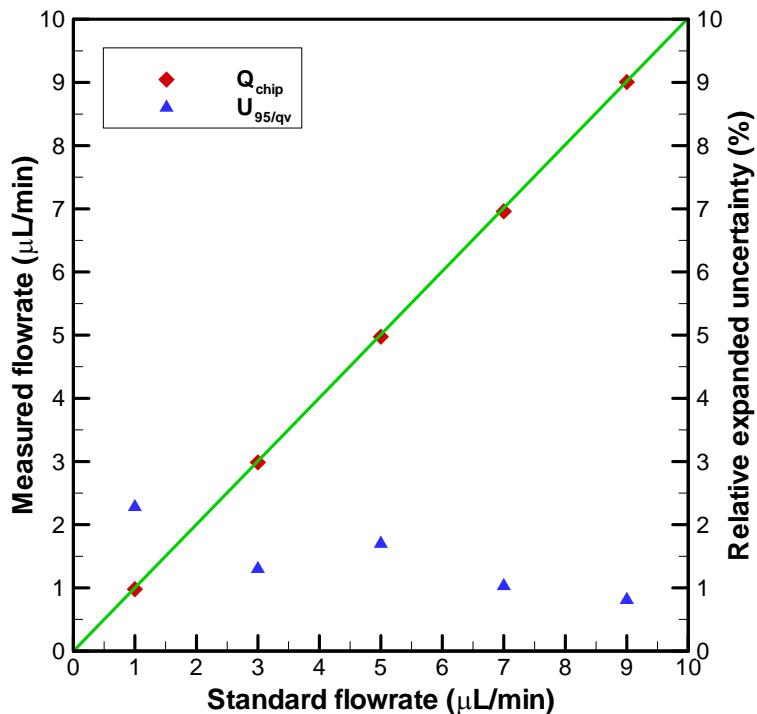


圖 3-7 體積法微流量校正平台性能評估結果( $1\text{-}10 \mu\text{L}/\text{min}$ )

由上述結果可知，本計畫所提出的氣活塞體積法校正平台，確實可滿足設計之初簡單、快速、準確、可追溯的目標，測試結果亦可看出量測晶片的特性相當穩定。而透過高、中、低等不同流率晶片的組合，即可有效涵蓋所規劃  $10\text{ nL/min} - 1\text{mL/min}$  的流率範圍，達到擴充可校正流率範圍以及縮減校正所需人力與時間的目標。

## (2) 建立微/奈升級單劑量校正標準

### (i) 微量分注器校正需求調查

為了解國內在微量分注器的使用與校正情況以及可能的檢校需求，本計畫以各大醫療檢驗單位以及生醫檢測實驗室為對象進行了一項微量分注器使用與確效的問卷調查，共寄出 150 份問卷，並回收 75 份。調查結果顯示，有 90% 的使用單位希望分注器的誤差量在 5% 以內，更有超過 95% 的使用單位希望分注變異係數在 5% 以內。調查顯示約有 88% 的使用單位有固定調校所使用的分注器，其中三分之二每年調校一次，且泰半是由製造商/代理商提供該服務。而不論自行校正或是送其他單位校正，所採用的量測方式幾乎全為稱重法。然而，由於目前國內並無完整微量分注器校正的認證辦法，亦無通過相關的認證標準的實驗室可執行該校正工作，故量測的品質良莠難以掌控，校正結果的可信度難以評估，對送校單位而言亦造成了相當程度的困擾，調查中幾個受調單位便表達了對該問題的關心。

### (ii) 比率光度式微升/次微升級微量分注器校正系統評估與標準追溯鍊之建立

為能建立微/奈升級單劑量量測技術，本計畫於 FY94 採購了一組採比率光度式量測原理之微量分注器校正儀，本年度計畫執行工作之一便是了解該系統之工作原理並評估其量測不確定度與建立標準追溯鍊。整個分注器量測系統的照片請參見圖 3-8，其中左側為光度量測儀，右側則為印表機，可即時列印出量測數據及校正結果，儀器本身亦可透過 RS232 介面直接將數據傳輸至電腦。除了圖中的光度量測儀外，系統另包含一組試劑組，包括 4 個標準瓶、裝有空白液(blank solution)的測試瓶，以及編號 1~6 號的樣本液(sample solution)。4 個標準瓶分別裝有濃度不同的標準液，並送到國家標準實驗室的分光測色系統(Cary 5000)校正，這 4 個標準瓶一方面當成傳遞標準，一方面也是查核件。定期利用這 4 個標準瓶查核光度儀是否正常，其量測結果必須與國家實驗室校正出來的結果相差在 0.75% 以內，系統才算合格並可執行校正工作。



圖 3-8 微量分注器量測儀實體照片

本系統之量測方法乃是使用比率式光度法，其原理乃是植基於 Beer-Lambert 定律，其實驗操作流程如圖 3-9 所示。測試瓶內裝有主要成分為氯化銅的空白液，光度儀先量測空白液在光波長 730 nm 的吸收度(absorbance)，接著用分注器吸取一定量的樣本液並注入測試瓶內，隨後再用光度儀測試對光波長 520 nm 的吸收度，此時系統便可得出分注器所分注之樣本液的體積量。樣本液共分 1~6 號，號數愈大，濃度愈濃，適用於愈小的分注量，本計畫使用樣本液 2~6 號，可校正範圍為  $0.1 \mu\text{L} - 199 \mu\text{L}$ 。

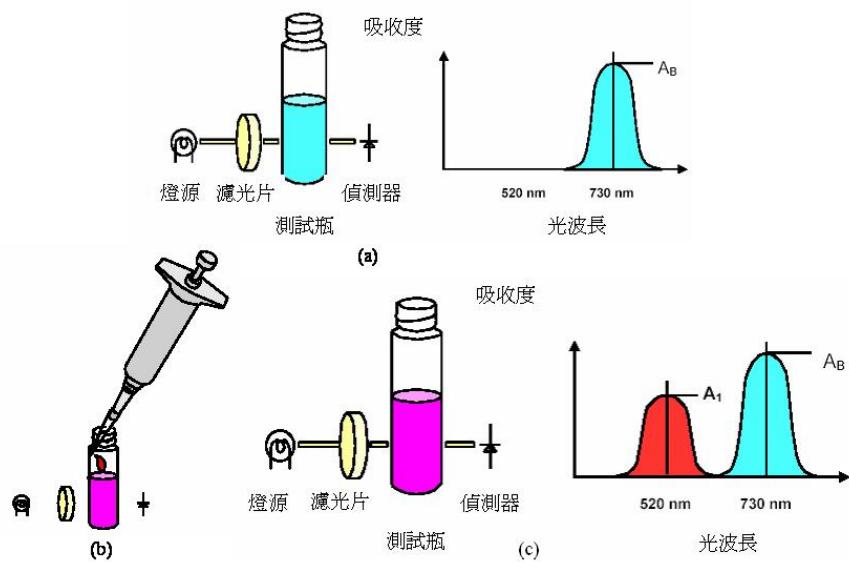


圖 3-9 雙染劑光度法實驗操作流程圖

使用本系統時，分注體積量可由以下的公式計算而得[3-1]，

$$V_1 = V_b \begin{bmatrix} \frac{A_1}{A_b} \\ \frac{\varepsilon_s C_s - A_1}{\varepsilon_b C_b - A_b} \end{bmatrix} = V_b \begin{bmatrix} \frac{A_1}{A_b} \\ K - \frac{A_1}{A_b} \end{bmatrix}$$

其中， $V_1$ ：待測樣本液的體積； $V_b$ ：空白液的體積； $\varepsilon_s$ ：樣本液的消光係數； $C_s$ ：樣本液的濃度； $\varepsilon_b$ ：空白液的消光係數； $C_b$ ：空白液的濃度； $A_1$ ：瓶內液體在波長 520 nm 的吸收度； $A_b$ ：瓶內液體在波長 730 nm 的吸收度； $K = \varepsilon_s C_s / \varepsilon_b C_b$ ：試劑吸光度比 (reagent absorbance ratio)。根據上述計算公式進行量測標準不確定度分析，可知待測體積量  $V_1$  的量測不確定度可由空白液的體積  $V_b$ 、對 520 nm 波長之光吸收度的量測值  $A_1$ 、對 730 nm 波長之光吸收度的量測值  $A_b$ 、以及試劑吸光度比  $K$  等變量之不確定度，利用平方和開根號的方式求得[3-2]：

$$\left( \frac{u(V_1)}{V_1} \right)^2 = \left( \frac{u(V_b)}{V_b} \right)^2 + \left( \frac{u(A_1)}{A_1} \right)^2 + \left( \frac{u(A_b)}{A_b} \right)^2 + \left( \frac{u(K)}{K} \right)^2$$

根據原廠處取得的相關資料以及吸收度量測結果，本微量分注器校正儀經評估得出其量測相對標準不確定度之值  $u(V_1)/V_1 = 0.299\%$ 。而相對擴充不確定度  $U(V_1)/V_1 = 0.599\%$ ，其中涵蓋因子(coverage factor)等於 2。基於保險起見，對外宣稱的系統擴充不確定度在 95% 的信賴水準為 1%。

### (iii) 先進學界技術應用於奈升液體體積量測之分析

除了一般使用的天平稱重法以及前述的光度法外，對於奈升甚或為皮升的量測，目前則仍多由研究單位利用相關設備，採用影像法或干涉條紋法來自我校正，以標準追溯的觀點而言難免仍有許多缺失，而且也尚難達到多數使用者對不確定度的要求。以下將就現有幾種技術加以簡要說明。

(a) 分子濃度法：包括螢光法、光度法以及滴定（離子選擇）法等。螢光法之基本概念為：量測液體中發光分子的螢光(fluorescence)強度或分子生物冷光(bio-luminescence)的強度，由於該強度正比於該液體中的發光分子數目，故在濃度已知的情形下可以推算得到該液體的體積[3-3,3-4,3-5]。Doel 等人[3-3]曾用以量測微反應器及微孔內的液體量，不過螢光反應與濃度之間的關係必須先經過校正，且進行此法時假設因微承盤幾何因素引起的誤差必需可以忽略。在光度法部分，則是在標準水中添加適當的載色體分子(chromophores)成為已知濃度的光吸收試劑，並分注至一裝有稀釋液的承液瓶中（或者相反，將稀釋液滴入裝有光吸收試劑的承液瓶中），利用量測分注前後吸光度的變化，

再根據 Beer-Lambert 定律來推定分注量。目前市面上已有採用光度法，可量測最小分注量為  $0.1 \mu\text{L}$  的商用型產品(Artel PCS)。滴定法的工作原理乃是基於兩種溶液間的化學平衡，原則上任何種類的滴定法皆可使用。其方法為將一已知濃度的測試溶液分注至裝有稀釋溶液的滴定槽中，再以另一已知濃度的滴定溶液進行滴定，直到達致平衡點為止。達到平衡點所需的滴定溶液體積乘上滴定液與測試液的濃度比，即可得到分注的體積量。儘管 ISO 8655-7[3-6]建議使用滴定法時的待測體積量需大於  $500 \mu\text{L}$ ，然該法仍具有量測奈升分注量的潛力。如 Cavallaro 與 Saggere [3-7]便利用酸滴定法原理配合微型化的滴定槽( $200 \mu\text{L}$ )，以量測 pH 值的方式，有效地量得  $20 \text{nL} \sim 40 \text{nL}$  的分注量，然其方法仍有量測時間長以及不確定度不易掌控的缺點。

(b) 其他學術研究中之方法：最常見的乃是影像法[3-8,3-9]，也就是直接以閃頻儀、CCD 等照相工具將飛行中或分注後的液滴影像紀錄下來，經判定直徑後計算其體積(如圖 3-10)。這種方法的優點是非常方便有效，配合商用分析軟體的使用，能夠很快速的得出分注體積量，並常用 CV(Coefficient of Variance)值來顯現分注系統的重複性以判定系統的性能。然其計算過程乃是假設液珠為圓球狀，所得的體積自然無法非常精確，且標準追溯亦難以建立。

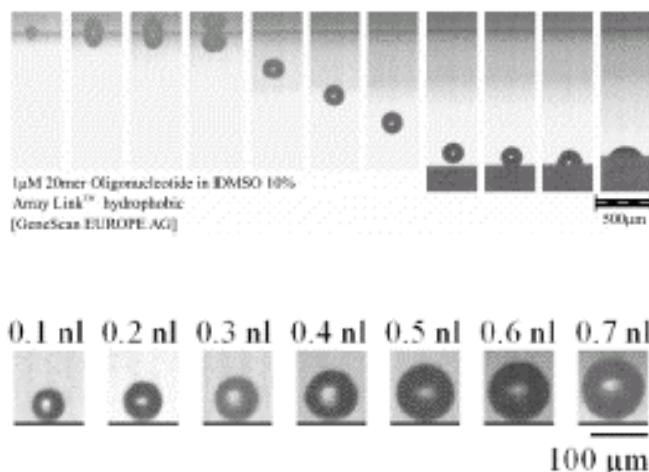


圖 3-10 以影像法計算分注液滴大小[3-8]

電阻抗法也是一種可行方法，利用微機電製程所製作的次奈升分注孔盤(sub-nanoliter well)，透過內建的電極來偵測因蒸發所造成的液面高度變化，並即時得出孔盤內所剩餘的液體體積量，解析度號稱達 1 picoliter [3-5]。而為了建立液面高度與對應的電阻抗值之間的關係，Young 等人[3-10]也設計了以干涉條紋的技術，反推液面高程以計算液體體積，來進行上述微承液孔內液體量的校正，如圖 3-11 所示。該技術需要配合複雜的數學模型以得出干涉條紋與絕對高度之間的關係，再透過積分的方式得出體積量。由於功能特殊且追溯不易，該方法並不適合用於一般奈升級分注量的量測。

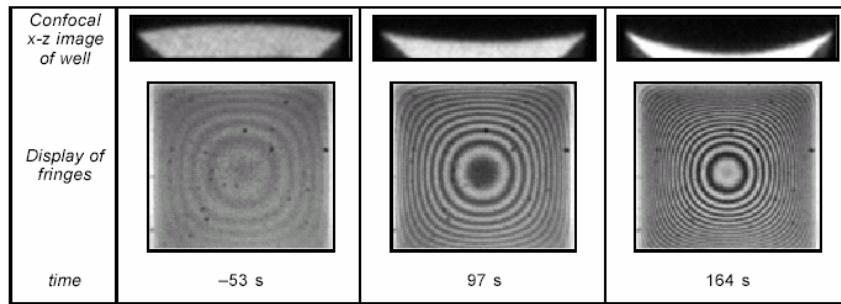


圖 3-11 以干涉條紋法推算液面高程以計算承液盤內的體積量[3-10]

綜合以上的分析，可見目前國際上在分注體積量測上的研究仍持續地進行中，但多數仍難以滿足標準追溯的需求，圖 3-12 摘錄了前述各種應用於單劑量量測的技術的比較結果。

方法	範圍	優點	缺點
秤重法	20 ml ~ 0.1 $\mu$ l	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作簡單</li> <li>ISO 8655-6 規範</li> <li>可追溯至質量標準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>當單液滴量小於 5 <math>\mu</math>l 時不確定度高</li> </ul>
光度法	ml ~ 0.1 $\mu$ l	<ul style="list-style-type: none"> <li>快速</li> <li>ISO 8655-7 規範</li> <li>可追溯至光度標準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>需使用特殊調製溶液</li> </ul>
影像法	$\mu$ l ~ pl	<ul style="list-style-type: none"> <li>快速</li> <li>動態範圍廣</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>追溯不易</li> <li>僅適用於噴出式分注</li> </ul>
干涉條紋法	$\mu$ l ~ 0.1 nl	<ul style="list-style-type: none"> <li>即時監控</li> <li>極低體積量量測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>追溯不易</li> <li>需配合特殊儲槽使用</li> </ul>
電阻抗法	$\mu$ l ~ 0.1 nl	<ul style="list-style-type: none"> <li>即時監控</li> <li>極低體積量量測</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>追溯不易</li> <li>需配合特殊儲槽使用</li> </ul>
離子選擇法	nl ~ pl	<ul style="list-style-type: none"> <li>操作簡單、價格不貴</li> <li>ISO 8655-7 規範</li> <li>可追溯至電位或濃度標準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不適合高頻分注量測</li> </ul>

圖 3-12 各種單劑量量測技術比較表

#### (iv) 奈升級單劑量量測技術自建評估

根據前述的單劑量量測技術的評比，並考量到標準追溯的建立以及技術可行性，本計畫選定光度法作為後續奈升級單劑量量測技術開發的標的，並在本年度進行初步評估。測試工作包含承液瓶選取、分注、混合以及量測等實驗操作方法選定與流程規劃、滴定量公式換算與比對等。其中在承液瓶的部分，共測試了包括分注器校正儀原廠 Artel 所

使用的樣本瓶、Ocean Optics 塑膠拋棄式比色瓶、NEG 玻璃樣本瓶以及 Chrom Tech 石英比色瓶等共四種承液瓶，其規格與特性詳列如表 3-1。

表 3-1 測試用承液瓶規格與特性表

	Artel	NEG	Ocean Optics	Chrom Tech
Model/Type	-	H5-S5	CVD-VIS1M	Q41103
Material	-	-	Polystyrene	Quartz
Range(nm)	-	-	350-900	-
Volume(mL)	-	12	2.5-4.0	1.0
Window in mm	-	-	10*35	10*3
O.D.* H (mm)	-	19*70	-	-
H*W*D (mm)	-	-	-	45*12.5*12.5

實驗所使用的分注設備包括 MUSASHI Dispenser SMP-III/Shot mini 200S(Min 4 nL/drop)以及 Rainin Pipette(Max 10 uL – Min 0.1 uL/drop)。光吸收度的量測則使用國家標準實驗室之 Varian Cary 5000 Spectrophotometer。初步實驗結果顯示，承液瓶本身之材質確實會影響實驗的量測結果，一般化學用之樣本瓶(NEG)並不適用於光度法量測使用，因其玻璃含有雜質過高且分佈不均，空瓶之間差異大導致量測特性不佳。此外，空白液與樣本液混合均勻度與測試結果亦有很大關連性，若比色瓶本身的液體容量過小，且瓶內徑過窄、則測試液混合不易，此外亦容易有吸收度飽合現象產生(ChromTech)。綜合上述承液瓶選用的考量，由於 Ocean Optics 比色瓶於實驗過程中呈現非常優秀的線性表現，且其價格合理，使用操作方便，瓶間差異小，因此選取作為後續技術開發階段實驗使用之承液瓶。

在由光吸收度量測結果計算分注體積量方面，本計畫於今年度所測試的最小體積量為 20 nL/drop。測試時使用 Artel 校正儀所搭配之空白液以及樣本液，並以 MUSASHI Dispenser 進行分注，其於 520 nm 之光吸收度與經計算所得之體積量結果如圖 3-13 所示。結果顯示，20 nL/drop 的光吸收度量測結果雖然線性度高且穩定，可是換算結果所得的分注量卻僅約 11 nL 上下，與設定量有較大誤差。其原因主要應該是使用 MUSASHI Dispenser 滴定所造成之誤差，因此如何控制儀器操作使其滴定量可穩定達到實驗所要求，將是後續必須再探討的重要課題。

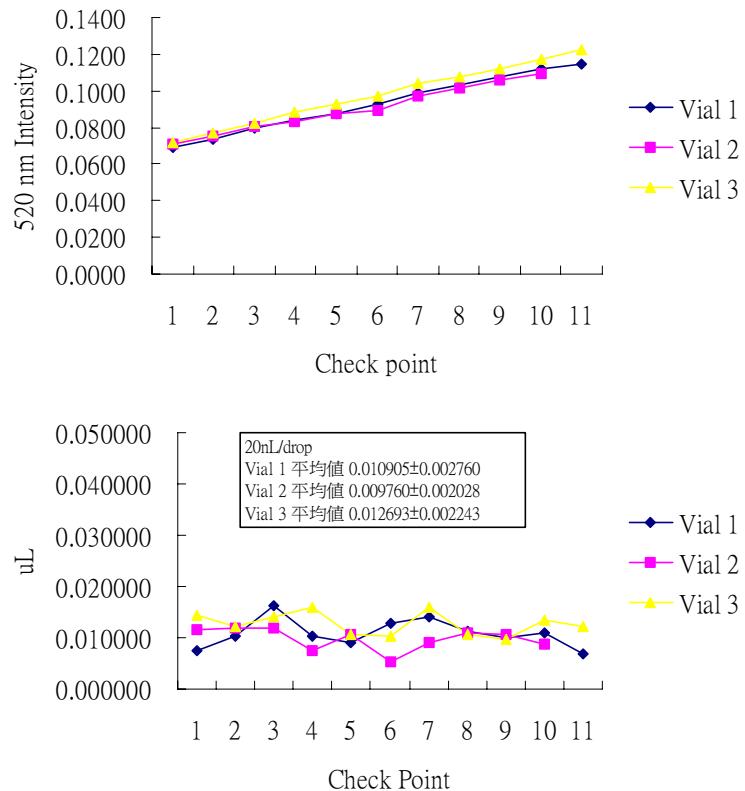


圖 3-13 分注量量測結果(20 nL/drop)：520 nm 之光吸收度隨累次分注之變化(上)；每次分注計算所得之體積量(下)

### 【技術創新】

#### (1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

- 相較於傳統以重量或光學的方式作微流校正，此校正技術以電容的方式可使量測速度簡化，且控制與量測結果記錄均可直接數位化處理，使資料處理快速，同時，整體校正平台所需體積極小，因此可應用於廣泛二級實驗室之使用。
- 電極設計方面採用平行電極的設計，可使製程中流道對準與接合問題減低，同時也可達到極佳的訊號品質。目前訊號可達到空氣的方均根電壓為 8，水的方均根電壓為 2，因此在訊號判讀上可相當精確，使抓取量測點的工作減少人為因素。
- 目前校正實驗晶片所需成本極低，製程快速，同時可重複使用性極好，因此對於推廣此微流量校正技術的可行性具有相當的優勢。此外，此方式以時間差的基準做為校正標準，因此可追溯至時間原級標準追溯系統，為一經評估具追溯性之量測系統。

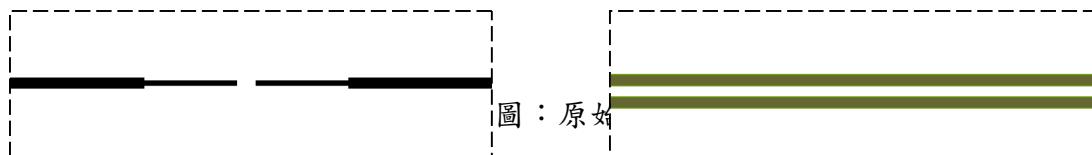
#### (2) 建立微/奈升級單劑量校正標準：

- iv. 結合雙染劑光度法，接觸式的微量樣本分注，以及震盪混合機制以用於奈升等級的單劑量分注量測。

### 【突破之瓶頸】

#### (1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

- i. 採用平行電極設計，大幅減低製程問題，使晶片得以順利完成。如圖 3-14 所示，左圖為原始電極排列，右圖為平行電極排列，左圖的方式需要精確的對準技術，方能將流道與電極的幾何位置達到有效的組合，而平行電極的配置則免去如上的問題，使流道與電極可於任意位置接合。且均可達到有效的訊號。



- ii. 採用鈦電極直接與工作流體接觸，使訊號強度可有最好的特性，同時因為鈦本身的低活性，使電容運作減少了電化學反應的問題，使電極在多次運作之下仍保有其操作特性，不至被電壓產生的反應腐蝕。如圖 3-15 所示為多次使用後之電極照片，其中左圖為鋁電極，由圖可見其多次運作後的電極腐蝕問題；右圖為鈦電極，可見其多次運作仍保有電極完整性，因此對於多次實驗上的可行性具有相當的優越性。



圖 3-15 多次使用後之偵測電極照片：鋁電極(左)；鈦電極 (右)

- iii. 以 PDMS 和玻璃基材的製程，使晶片可以低廉成本快速製造，且 PDMS 和玻璃的接合強度為共價接合，使兩者的接合密合度足以提供多次實驗，且於文獻中可確認此種接合至少可保持兩年以上的接合強度，足以滿足對於校正系統的配置。

(2) 建立微/奈升級單劑量校正標準：

- i. 有效建立光度法單劑量量測追溯到國家標準實驗室的逼標準追溯鏈。
- ii. 建立可量測較秤重法更小的單液滴分注量( $0.1 \mu\text{L}/\text{dose}$ )之技術，以現有系統與方法的組合，已可以量測到  $20 \text{ nL}$  的單液滴分注量，並可套用 Beer-Lambert 定律公式計算得到實際分注量。
- iii. 排除秤重法於微小分注量時所遭遇的不確定度大幅提高的問題，現有系統與技術組合的實驗顯示，於  $20 \text{ nL}$  的單液滴分注量，量測所得之實驗數據以 Beer-Lambert 定律公式換算成實際分注量，標準差皆維持在  $2 \times 10^{-3}$  左右。
- iv. 使用玻片承載法以進行分注液滴量測，使操作彈性增加，後續可能應用範圍擴大。

**【待改善之處】**

(1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

- i. 於較低流量的校正技術上(小於  $0.1 \mu\text{l}/\text{min}$ )，表面張力將具有很大的影響力，而採用此方式所量測之液氣介面將無法避開此實驗上的問題。因此在低流率的部分仍較難向以有效地將可量測流率向下延伸，同時量測不確定度也會較高，此乃有待克服之困難。
- ii. 在微小的流道使用上，流體輸送管路接合處未排除的氣泡限制了整體的運作，由於氣泡於不同壓力下的體積變化會使微流道內部的液氣介面產生不穩定流動，使量測結果產生誤差，因此在微流道中氣泡的排除仍須特別加強注意。

(2) 建立微/奈升級單劑量校正標準：

- i. 現有系統中微小分注量操作使用之機台，於  $50\text{nL}$  以下之操作穩定性仍嫌不足，須改進此一部份之性能，以利後續試驗之進行。
- ii. 使用玻片承載法，有其應用之便利性，但於小量液滴時須考量環境溫濕度所造成的影响。

**【後續工作構想及重點】**

(1) 建立 Air Piston 體積法校正平台：

- i. 以目前的實驗而言，發現矽油具有相當好的特性，其可填補至疏水表面與水的介面之間，因此可將實驗改為油水介面，不但可減少摩擦阻力，且可同時避免表面張力的問題。
- ii. 於微小流率時使用以矽基材和陽極接合的方式製作之微流量測晶片，以減少流道本身的變形問題。

iii. 將電訊號與量測平台模組化，以完成可攜式校正平台，除更為小型、美觀且方便使用外，亦更利於推廣以及執行現場校正。

(2) 建立微/奈升級單劑量校正標準：

建立自有光度法量測技術，包括以下的驗證步驟：(1) 使用國家度量衡實驗室之分光光譜儀(Varian Cary 5000)測試所選用之承液瓶之吸光度，以確認所選用承液瓶品質的穩定度。(2) 使用商品化光度儀所搭配之空白溶液(blank solution)與樣本液(sample solution)，以商用奈升分注器滴定不同體積之樣本液至裝有已知體積量之空白溶液的測試瓶中，然後量測其吸光度變化。利用 Beer-Lambert 定律計算分注體積量，並將所得不同體積之吸光度值紀錄成比對資料庫。(3) 使用相同之空白溶液、樣本液、承載瓶與比對資料庫來確認本測試方法的穩定度及量測不確定度。(4) 使用委外合作模式所開發之空白溶液與樣本液取代商品化之試劑組，使用自組吸光度量測裝置與 Cary 5000 之量測結果相互比對，確認委外合作模式所獲得之空白溶液與樣本液之品質與效能，並據以評估自組吸光度量測裝置之可行性。

## 四、成果與推廣

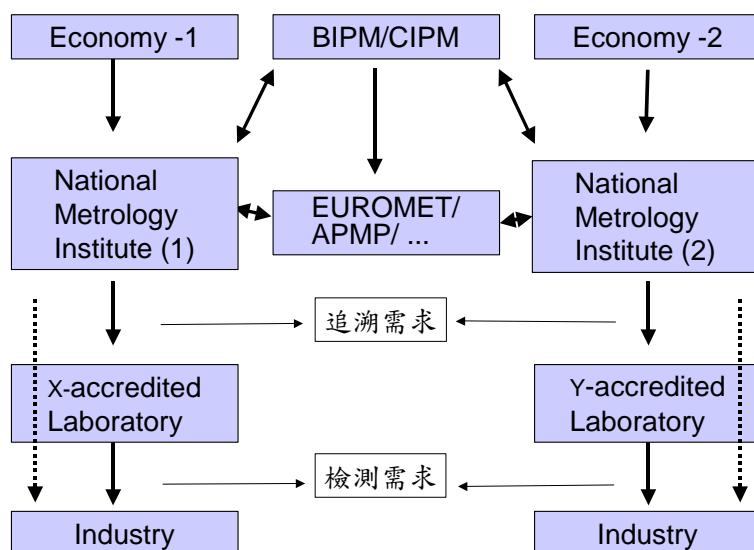
### 1. 年度量化成果

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	0【1】件	1【1】件	1【1】件	2【3】件
	獲 得	1【1】件	0【1】件	0【0】件	1【2】件
論文	國 內 期 刊	2【4】篇	1【1】篇	0【2】篇	3【7】篇
	國 內 研 討 會	4【4】篇	1【1】篇	2【1】篇	7【6】篇
	國 外 期 刊	2【3】篇	1【1】篇	1【1】篇	4【5】篇
	國 外 研 討 會	2【4】篇	1【4】篇	1【2】篇	4【10】篇
研究報告	技 術	7【15】篇	3【6】篇	3【2】篇	13【23】篇
	訓 練	2【2】篇	1【1】篇	1【1】篇	4【4】篇

### 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) 技術移轉與技術服務

- 1-1 奈米階高校正系統經查驗，940505 公告後，即對半導體業、LCD、精密機械業等提供校正服務，單單 FY95 有 85 件/41 家校正，收入 754,600 仟元(收入納入 NML 繳庫)。
- 1-2 TSMC-CMS 奈米尺寸計量標準合作計畫(合約期限 950701-971231，技術授權金 60 新台幣萬元，並將於完成收款後，進行 70%的繳庫)。

### (2) 參加及辦理 APEC 奈米粉體粒徑比對相關活動

—協辦 APEC Interlaboratory Comparison on Nanoparticles (10 個經濟體；16 個實驗室)  
—協辦 APEC Workshop for Nanoparticle Measurements (0925-26，10 個經濟體、18 人參加)

—協辦 APEC 奈米檢測技術論壇(0927-29，16 個經濟體、167 人參加)

在奈米粒徑量測方面，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，在辦理國內奈米粒徑量測能力試驗(10 個經濟體；16 個實驗室)，在亞太經合會(APEC)經費支持下展開「亞太地區奈米粉體粒徑比對計畫」，辦理奈米粉體粒徑量測能力試驗，並參與 APEC 國際相互比對，比對結果顯示出不同量測方法的儀器間有顯著的差異性，而同一種量測方法，不同廠牌的儀器間沒有明顯差異，顯見建立奈米粉體粒徑標準的重要性。

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 0925-26 辦理 APEC Workshop for Nanoparticle Measurements，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。

0927-29 辦理「APEC 奈米檢測技術論壇」，邀請台、美、加、日、韓、以及大陸等地區的專家學者與代表，共 167 位與會，藉由此交流機會，了解各國檢測能力與差異以及各國標準建立發展情形，會中由本中心報告奈米粉體粒徑比對結果。

### (3) 協助其他奈米檢測實驗室 TAF 認證

被輔導單位名	認證項目	完成時間	執行情形說明
工研院奈米中心	✓ SPM ✓ SEM ✓ TEM	95.8	950810 獲得全國認證基金會 ISO/IEC 17025:2005 測試實驗室認可，實驗室名稱為“奈米共同實驗室”，編號為 1569。

清大奈米中心	✓ AFM ✓ 抗菌	95.10	1. 協助完成測試環境評估，認證項目及實驗室人員確認。 2. 协助完成人员训练(实验室认证规范 ISO/IEC 17025 训练、实验室内部稽核训练及量测不确定度训练)。 3. 协助完成品质手册撰写。 4. 各校预计 96 年 2 月行完成实验室认证预评。 5. 各校预计 96 年 3 月进行申请 TAF 或「奈米标章」检测实验室认证。
中興奈米中心	✓ 抗菌	95.10	
成大奈米中心	✓ SEM ✓ Nanoindenter	95.10	

#### (4) 舉辦技術研討會

- 4-1 0802 舉辦「薄膜硬度量測技術研討會」，共有 19 家廠商；30 人次參加。
- 4-2 0925-26 「APEC 2006 Workshop for Nanoparticle Measurements」，共有 10 個經濟體，18 人參加。學員 18 人於 67 館 147 室研習動態光散射奈米粒徑量測系統。
- 4-3 0927-29 在台北國際會議中心主辦 2006 亞太經合會-奈米檢測技術論壇 (2006 APEC Nanoscale Measurement Technology Forum)，共有 16 個經濟體，167 人參加。
- 4-4 1003 舉行微流量測技術與應用研討會，共有 8 個廠商 25 名學員報名參加。
- 4-5 1114 舉行奈米結構光學顯微量測研討會，有設備廠商、半導體業與代理商參與研會，共有 5 家廠商 18 人次參與。
- 4-6 1120 舉行新標準好服務-2006 國家度量衡標準實驗室成果說明暨客戶座談會，共有 47 家廠商 55 人次與會。

#### (5) 參展

- 5-1 0219-24 參加日本奈米技術展 Nano Tech 2006(尺寸分項展出海報 1 張及 30 分鐘影音短片；微流分項展出自製微粒子影像流速儀)。

- 5-2 0927-29 台灣國際奈米週 Taiwan Nano-X Exhibition 參展，本計畫展出奈米粒徑量測技術(動態光散射法奈米粒徑標準海報一張及 30 分鐘影音短片一套)、奈米階高量測技術(階高標準片海報一張及標準片一片)及微粒子影像流速儀。
- 5-3 1019 第六屆「全國 AOI 論壇與展覽」，本計畫展出、奈米階高量測技術(階高標準片海報一張及標準片一片)。
- 5-4 1109-12 台北國際醫療器材、藥品暨生技展覽會，以機台、電腦動畫展示、及看板的方式，展出微粒子影像流速儀。

(6)受邀演講

- 6-1 0428 楊正財博士，應邀至台灣科技大學，講授微流體量測技術與應用課程
- 6-2 0620 楊正財博士，應邀至中研院基因體國家型科技計畫核心設施辦公室，演講「微流體檢測技術在生物科技之需求與應用」。
- 6-3 1117 蘇峻民博士，應邀至中華技術學院新竹校區，參加系統與感測業界專家演講及研討會，演講「微流體量測技術與應用」。
- 6-4 1118 蘇峻民博士，應邀至靜宜大學，參加中華民國第一屆生醫檢測理論及應用研討會，報告「生醫領域微流體檢測技術與校正追溯」。

(7) 接待參觀量測系統

- 7-1 0519 接待逢甲大學機械與電腦輔助工程學系趙魯平教授及其學生約 40 人參觀奈米壓痕、奈米粒徑及微流計畫。
- 7-2 0615 接待聖約翰大學張瑞慶教授及學生共 8 人參觀奈米壓痕實驗室。
- 7-3 0711 接待清大葉君棣教授參訪微流量測系統。
- 7-4 0901 接待日本產學技術總合研究所(AIST) 龜山 哲也博士等 6 人參觀計量型原子力顯微鏡。
- 7-5 0922 清大動機及交大材料研究生至本中心參觀。
- 7-6 0929 2006 APEC Forum 講員 6 人參觀 16 館計量型原子力顯微鏡、計量型干涉顯微鏡及超音波量測系統。
- 7-7 1016 奈米標章推行委員會，行政院衛生署（科技發展組）技監，許須美委員等 6 人，參觀 16 館計量型原子力顯微鏡及 67 館動態光散射奈米粒徑量

測系統及奈米壓痕量測系統。

- 7-8 1027 成功大學奈米中心主任，林仁輝教授與廖峻德教授等 10 人，參觀國家  
度量衡標準實驗室及工研院奈米中心。
- 7-9 1113-15 接待俄羅斯 Amphora lab 專家 2 人參觀階高與線距量測系統。
- 7-10 1117 清華大學副校長葉銘泉教授、研究生及中正大學鄭友仁老師研究團  
隊，至本中心參觀微奈米機械性質量測系統。

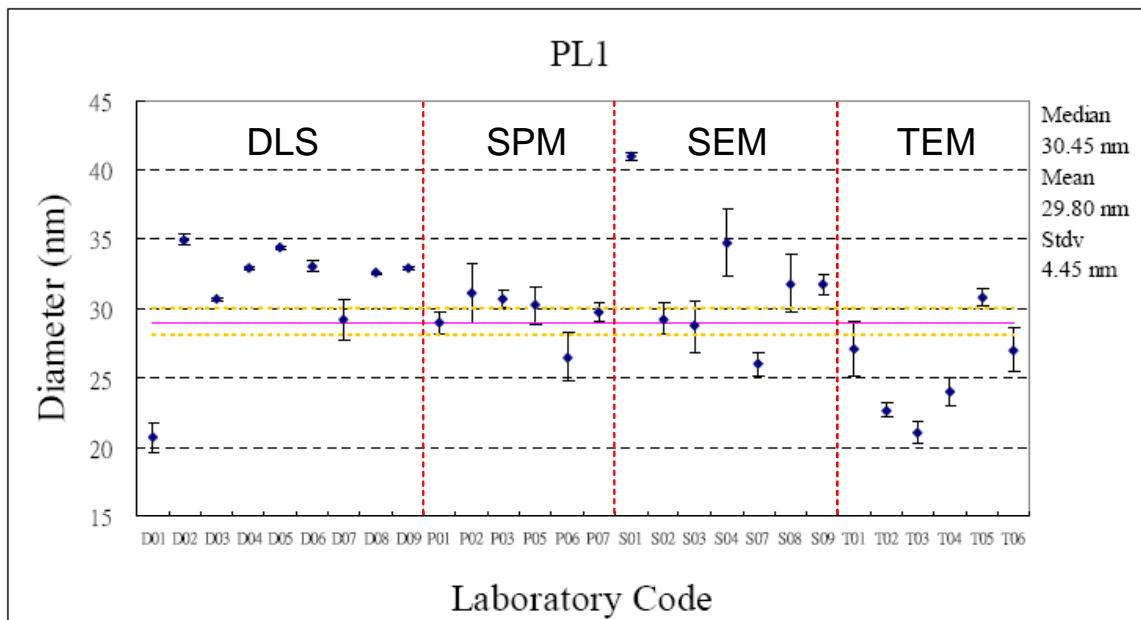
(8) 提供追溯技術諮詢

- 8-1 提供大同大學材料系類鑽石薄膜量測技術之技術諮詢服務。
- 8-2 提供逢甲大學機電系電鑄 Ni 薄膜材料量測技術諮詢服務。
- 8-3 提供清華大學動機系奈米壓印材料機械性質量測技術諮詢。
- 8-4 接受工研院機械所委託，量測奈米珍珠粉，及台灣百合工業委託量測奈米竹  
炭粉。
- 8-5 與清華大學動機系王偉中教授及研究團隊，討論以微奈米機械性質量測系  
統，用於纖維機械性質研究之可行性評估。
- 8-6 提供國家衛生研究院醫工組(劉佳興博士)、中正大學化學暨生物化學系(王少  
君副教授)、以及淡江大學機電系(魏維璿)微流場量測技術諮詢。

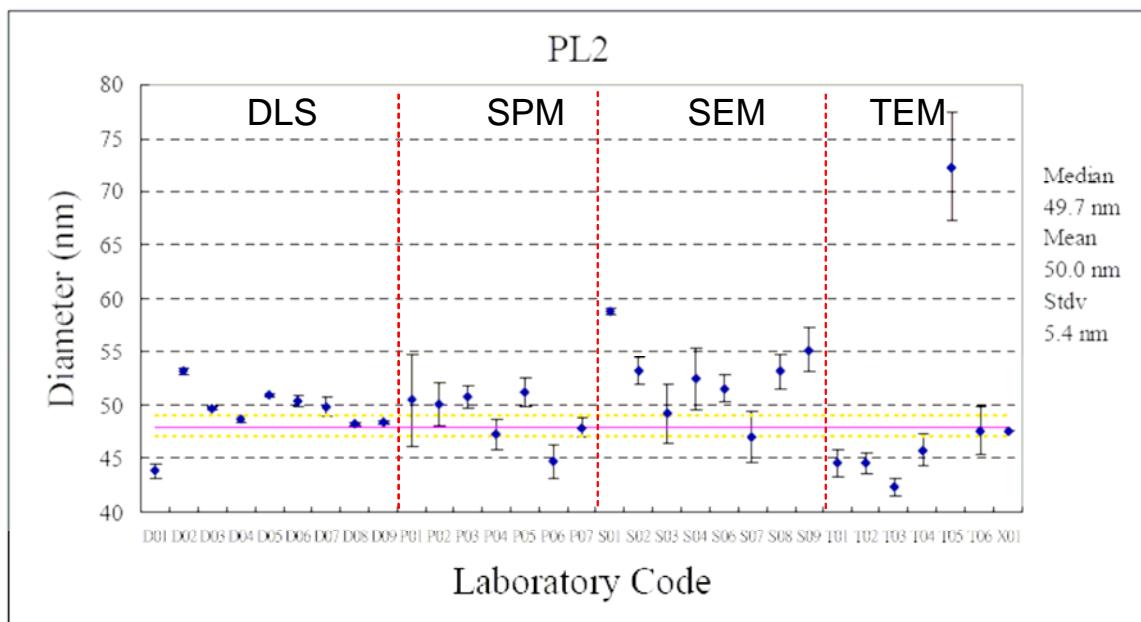
(9) 國際比對

比對項目	系統 代碼	傳遞標準件 (Transfer Std.)	比對國家與機構	執行 期間	比對結果與說明
Nanoparticles	DLS	nanoparticles	10 APEC economies	2006	完成比對
Angle Standards	KC 03	多邊規、角度塊規	12 APMP會員國	2005.4- 2007.7	完成比對

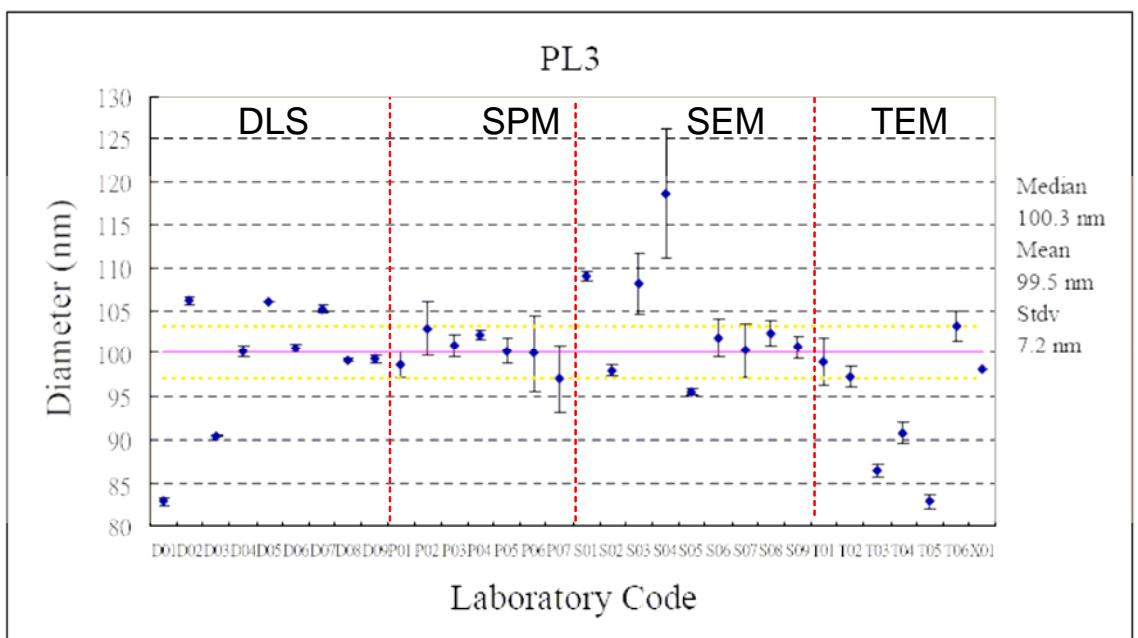
### 30 nm particle 比對結果



### 50 nm particle 比對結果



## 100 nm particle 比對結果



## (10) 國際能力試驗

比對項目	系統代碼	傳遞標準件 (Transfer Std.)	比對國家與機構	執行期間	比對結果與說明
複合模數及壓痕硬度	N10	Refrence Block	德國PTB	2006.1-2006.12	見表2-1至表2-4

## 陸、結論與建議

### 一、尺寸參數量測追溯分項計畫

95年5月19日完成兩套系統查驗，分別為奈米粒徑量測系統－動態光散射儀和大角度校正系統－多邊規與轉盤互校，待公告後即可提供對外服務。

今年執行重點有奈米粒徑量測標準之電氣遷移率分析儀建立、奈米繞射及散射線寬量測技術、奈米膜厚量測系統評估－X射線反射儀、晶圓表面奈米微粒量測技術研究。在執行過程中均與產業有密切連繫，如協助工研院奈米中心的奈米共同實驗室通過全國認證基會 ISO/IEC 17025:2005 測試實驗室認可，協助奈米中心執行 APEC 計畫的奈米粒徑量測能力試驗和 Forum，及與台積電簽訂合作計畫包括膜厚和 high-k 等效膜厚、50 nm 線寬、晶圓表面奈米微粒等標準片測試，希望透過這些合作能提昇國際能見度和服務國內奈米相關產業。將來可再和奈米標章、勞工安全的推動，除推動奈米技術發展和標準追溯的同時，也能注重人類福祉。

### 二、力學性質量測追溯分項計畫

本計畫建立薄膜及纖維機械性質量測系統，包含奈米壓痕量測系統、超音波波傳性質研究以及微奈米機械性質量測系統，計畫執行至今，力學分項對於微奈米薄膜楊氏模數之量測技術累積一定之技術能力，並與國際上著名國家實驗室保持密切之交流。然薄膜機械性質，除中心已建立可量測之楊氏模數外，另外更包含殘留應力、熱膨脹係數及熱傳導係數，奈米計畫力學分項在計畫執行過程中，曾有多家廠商及學術單位亦迫切希望未來研究團隊能建立相關之量測能量，除了可符合產業界及學術界迫切之需求外，更可使力學分項對於奈米薄膜機械性質之量測能力有更完整之量測能力。

### 三、微流量測標準技術分項計畫

微流率的量測標準建立工作，隨著今年度體積法校正平台的完成將告一段落，先前所建立之稱重法微流量測標準系統，配合本年度所建立之體積法工作標準件，將可提供流率範圍在 10 nL/min – 10 mL/min 的流量校正，據信該能量應為目前全世界唯一國家等級的微流量測標準系統。雖然在某些學術研究上用到的流率有可能會更低，但該系統與工作標準的組合，已應足以滿足目前一般學術以及產業應用所需的檢測，因

此後續的計畫，將暫時不再追求更低流率的量測能量，但系統評估、維持、改良以及對外開放服務的工作仍會持續的進行。未來在微流相關產業成長的帶動之下，相信應有機會展現本研究工作的成果與貢獻。此外，本計畫執行過程中所建立的技術，也將利用於後續研究工作的進行，做到技術的整合與應用。

在單劑量分注量測方面，由微量分注器使用與確效調查結果顯示，目前國內對通過實驗室認證的微量分注器校正執行單位以及具公信力的標準體系需求殷切，而本計畫擬建立之單劑量校正標準，將有助於掌握校正能量，涵蓋範圍廣且具追溯性的量測技術，並期望能輔導廠商通過實驗室認證，以滿足相關產業的需求。而奈升乃至於更低劑量的檢測技術的開發，則將目標放在各種新興的應用，如電腦、生技、紡織、工業接合等等，將是來年計畫重點的發展方向之一。

由於微流屬於一新興的領域，儘管前景看好，也有許多的學者專家不斷地投入這一領域的研究，但市場與產業能見度卻仍然不佳。歸咎其原因，主要在於製程的複雜與生醫相關應用的高度不確定性，因此導致相關產品的穩定性不佳，評估工作不易進行，合理的法律規範也難以推動。建議國內能夠針對投入此一領域的產、學、研等單位加以整合，建立一個有效的溝通與交流的平台/舞台，以需求的滿足(或創造)以及問題的解決為導向，才能利用有限的研發資源，開發出有價值的成果，進而協助官方建構一有利於產業發展，同時兼顧消費者保護的環境。

## 附    件

附件一、新台幣一百萬以上儀器設備清單.....	91
附件二、國外出差人員一覽表 .....	92
附件三、專利成果統計一覽表 .....	94
附件四、論文一覽表 .....	95
附件五、研究報告一覽表 .....	99
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表.....	101
附件七、研究成果統計表 .....	102
附件八、中英文對照表 .....	103
附件九、參考文獻索引 .....	105
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.....	108
附件十一、期末查證會議審查意見回覆.....	113

附件一、新台幣一百萬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
靜電式粒徑量測系統 (Differential Mobility Analyzer)	1. 最佳量測範圍 : 20 nm to 800 nm 2. Concentration : 2 to $10^8$ particles/cm <sup>3</sup>	5,400	5,300	1	5,300	本案為採購電氣遷移率分析儀 (Differential Mobility Analyzer, DMA)量測系統，此系統乃是目前普遍被認為最早用來精確量測氣溶膠奈米粉體粒徑分佈的設備之一。基本上此量測系統有兩個主要的應用：其一為用以量測粉體的粒徑分佈；其二則是用以連續分餾出微小範圍粒徑的粉體。
微奈米機械性質量測系統 (Nano/Micro Tensile Measurement System )	1. Maximum load: 500mN 2. Maximum Displacement : 1mm	4,800	5,072	1	5,072	透過本系統建立微小力量傳遞標準，並將針對此系統進行評估，以建立國內微奈米機械性質拉伸量測標準

## 附件二 、 國外出差人員一覽表

### 短期訓練

所屬分項	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
尺寸	參展及訪問	•參 展 日 本 Nanotech2006 及訪問 AIST/NMIJ ，與 DR. Ehura 討論奈米粉體標準技術及客座研究內容。	日本	950219~950224	王振宇	•三維奈米尺寸標準、奈米粉體粒徑技術研究	•推展研究成果、技術交流與國外奈米粉體製造、加工、檢測等技術相關資訊蒐集。
尺寸	發表論文及訪問	•參加 SMAM-2 並發表論文。拜訪 NMIJ 長度、統計物性、先端材料等實驗室及拜訪標準粉體製造商 JSR 及薄膜量測儀器商 Rigaku	日本	950523~95530	傅尉恩	•三維奈米尺寸標準、奈米膜厚標準研究	•發表論文、了解 NMIJ XRR 量測系統及進行技術交流討論，蒐集薄膜、粉體先進材料量測技術相關資訊。
尺寸	參加研討會或參觀標準實驗室	•出 席 the 2nd International dialogue on Nanotechnology , 參與奈米技術標準化討論活動。	日本	950626~950629	彭國勝	•總計畫主持人	•蒐集奈米技術標準化國際發展現況資訊，作為計畫規劃之參考。
力學	技術研習與國際比對	•赴 PTB 討論奈米壓痕國際比對及相關計量議題。	德國	961016~951027	吳誌笙	•力學分項主持人	•參與奈米壓痕測試國際比對。
微流	參展及訪問	•參 展 日 本 Nanotech2006 及訪問 AIST/NMIJ	日本	950219~950224	蘇峻民	•微流量測技術研究	•研究成果參展並推廣自製設備、技術交流。
微流	發表論文	•參加於英國 Glasgow 所舉辦的研討會「 MICRO AND NANOSCALE FLOWS 」，並於會中口頭報告研究成果。拜訪位於英國 Glasgow 的國家工程實驗室 (National Engineering Laboratory, NEL) 流量實驗室。參加法國於 Toulouse 舉辦微流研討會「 Microfluidics 2006 」，蒐集相關資料。	英法	951206~951217	蘇峻民	•微流量測技術研究	•發表論文並蒐集國外微流體相關研究進展與應用模式，作為後續規劃之參考。

長期訓練

所屬分項	出差性質	主要內容	出差機構及國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
尺寸	客座研究	•赴 NMIJ/AIST 客座研究，研習電重力氣膠平衡法奈米粉體量測技術	日本	951008~951202	林志明	•三維奈米尺寸標準-DMA 量測系統之建立	•研習電重力氣溶膠平衡法奈米粉體量測系統之原理、設計及製作等技術。 •瞭解日本奈米粉體量測技術與奈米粉體發展現況並蒐集相關資料，以利後續計畫執行。 •建立國際比對關係，確認國家標準之量測水準。

### 附件三、專利成果統計一覽表

專利獲證：本年度獲證 2 件

項次	專利名稱	申請國家	獲證日期	專利證號	專利起訖日		性質	專利編號	發明人	所屬分項
1	量測孔徑修正係數之裝置及方法	中華民國	20061019	I263780	20061011	20240323	發明	P07930003TW	陳彥良、劉惠中、張良知	尺寸
2	結合奈米壓痕系統及光學干涉法於量測材料性質之裝置及方法	中華民國	20060207	I247100	20060111	20241102	發明	P07930020TW	徐炯勛、蘇余益、張啟生	力學

專利申請：申請 3 案

項次	專利名稱	申請國家	性質	發明人	申請日期	所屬分項
1	粒徑檢測裝置	中華民國	發明	潘善鵬、王振宇、陳彥良、翁漢甫	20060719	尺寸
2	奈米壓痕超音波量測系統及奈米壓痕超音波量測方法	美國	發明	徐炯勛、鄭凱宇、劉育翔、吳誌笙、蘇余益、張啟生	20061023	力學
3	流量量測裝置及其製造方法	美國	發明	蘇峻民、莊漢聲、何宜霖	20060922	微流

附件四、論文一覽表

項 次	論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
1	單致動器之長行程奈米定位平台	20051202	第八屆全國機構與機器設計學術研討會	林群傑、王永成、陳朝榮、劉惠中	國內研討會	5	中華民國	尺寸
2	Double Tilt Imaging Method for Measuring Aperture Correction Factor	20060313	Nanoscale Calibration Standards and Methods	陳彥良、陳朝榮、彭國勝	國外期刊	8	德國	尺寸
3	Measurement Standards on Nanoparticle Sizing by Dynamic Light Scattering	20060221	Japan Nano Tech 2006	王振宇、潘善鵬、陳彥良	國外研討會	1	日本	尺寸
4	角度追溯之原級標準建置研究	20060420	機械月刊	劉惠中、林志明、陳朝榮、張良知	國內雜誌	8	中華民國	尺寸
5	電氣遷移率分析儀量測系統介紹	20060520	量測資訊 No.109	林志明、陳彥良、翁漢甫	國內量測資訊	4	中華民國	尺寸
6	美國表面形貌標準之發展與應用	20060420	機械月刊	陳彥良	國內雜誌	5	中華民國	尺寸
7	Evaluation of Uncertainty in Nanoparticle Size Measurement by Dynamic Light Scattering	20060525	SMAM-2(Standard Materials and Metrology for Nanotechnology)	王振宇、潘善鵬、翁漢甫、林志明	國外研討會	4	日本	尺寸
8	Experimental Evaluation of the Transfer Function of TSI Model	20060915	Seventh International Aerosol Conference	林志明	國外研討會	1	美國	尺寸

項 次	論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
	3081 DMAs							
9	氣溶膠奈米粉體粒徑量測技術介紹	20061001	機械月刊	林志明、王振宇、潘善鵬	國內雜誌	7	中華民國	尺寸
10	Immersion Diffractometry for Determining Nanoscale Grating Pitch	20061016	Optics Express	潘善鵬、張良知、盧聖華、曾立程、高清芬	國外期刊 (SCI)	6	美國	尺寸
11	Creation of Tunable Bandgaps in a Three-Dimensional Anisotropic Photonic Crystal Modulated by a Nematic Liquid Crystal	20060901	Physica B : Physics of Condensed Matter	劉承揚、彭彥惇、王俊智、陳聯文	國外期刊 (SCI)	6	荷蘭	尺寸
12	TSI-3081 型電氣遷移率分析儀性能評估	20061130	第十屆奈米工程暨微系統技術研討會	林志明、櫻井博	國內研討會	4	中華民國	尺寸
13	運用有限元素法設計單軸短行程微奈米定位系統	20061124	中國機械工程學會第 23 屆全國學術研討會	陳朝榮、劉惠中、修芳仲、張博懷	國內研討會	6	中華民國	尺寸
14	動態光散射儀於奈米粉體、粒徑之量測不確定度分析	20061130	第十屆奈米工程暨微系統技術研討會	潘善鵬、翁漢甫	國內研討會	5	中華民國	尺寸
15	Cross Calibration for Primary Angle Standards by a Precision Goniometer with a Small Angle Interferometer	20061015	ASPE 2006 Annual Meeting	劉惠中、林志明、陳朝榮、張良知	國外研討會	4	美國	尺寸

項 次	論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
16	奈米壓痕系統結合超音波量測技術之研究	20060428	第 13 屆非破壞檢測技術研討會	徐炯勛、劉育翔、吳誌笙、李心澤	國內研討會	10	中華民國	力學
17	Investigation of Analytical Solutions for Bonded Structures by Photomechanical Methods	20060510	Strain	徐炯勛	國外期刊 (SCI)	10	英國	力學
18	光學擴散膜片之熱殘留應力及機械性質量測技術	20060920	工業材料雜誌	徐炯勛	國內雜誌	6	中華民國	力學
19	Uncertainty Evaluation of the Nanoindentation System	20060917	Proceedings of XVIII IMEKO world Congress	徐炯勛、張啟生、吳誌笙、潘小晞	國外研討會	4	巴西	力學
20	Substrate Effect on the Diamond-Like Carbon Films Synthesized by RF Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	20060704	THERMEC' 2006	徐炯勛	國外研討會	6	中華民國	力學
21	Measurement of Photon Pressure	20060917	IMEKO XVIII World Congress	吳誌笙、潘小晞、葉賢基	國外研討會	6	巴西	力學
22	The Influence of Deposition Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of Diamond-Like Carbon Films	20061211	Thin Film 2006	徐炯勛	國外研討會	19	新加坡	力學

項 次	論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
23	Volume Holographic Technology for Measuring a 3D Fluid Flow Field in a Microchannel	20051020	Optical Memory and Neural Networks(Information Optics )	楊正財、莊漢聲	國外期刊 (SCI)	7	美國	微流
24	2006 年日本國際奈米展	20060610	微系統暨奈米科技協會會刊	蘇峻民	國內雜誌	4	中華民國	微流
25	微量分注器之校正系統性能分析	20061101	化工技術	楊峰銳、蘇峻民	國內雜誌	8	中華民國	微流
26	Uncertainty Analysis of a Photometric Pipette Calibration System	20061110	2006 International Symposium on Nano Science and Technology	蘇峻民、楊峰銳	國外研討會	2	中華民國	微流
27	氣活塞微流量測裝置	20061124	中國機械工程學會第二十三屆全國學術研討會	蘇峻民、馮志成、楊正財	國內研討會	5	中華民國	微流
28	Micro-Resolution PIV Using Xenon Flash Lamp Illumination	20061207	Micro and Nanoscale Flows	蘇峻民、楊正財	國外研討會	2	英國	微流

附件五、研究報告一覽表

項 次	報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
1	奈米粒徑校正系統評估報告 - 動態光散射儀	20060306	中文	機密	19	潘善鵬、王振宇、林志明、陳彥良、翁漢甫	尺寸
2	Further Development of Traceable Atomic Force Microscope	20060412	英文	一般	62	Paul Kochert、陳朝榮、徐祥瀚、翁漢甫	尺寸
3	撓性微定位平台研究報告	20060628	中文	一般	139	張博懷、陳朝榮、劉惠中	尺寸
4	光學散射式調變干涉顯微術研究	20060811	中文	一般	30	曾垂拱	尺寸
5	靜電式粒徑量測系統測試報告	20060821	中文	機密	12	林志明、潘善鵬、王振宇、翁漢甫	尺寸
6	奈米粒徑校正程序—動態光散射儀	20060711	中文	機密	18	王振宇、林志明、潘善鵬	尺寸
7	線距校正系統校正階高標準片之校正程序-AFM	20060605	中文	一般	19	徐祥瀚	尺寸
8	線距校正系統校正階高標準片之不確定度評估報告-AFM	20060605	中文	機密	21	徐祥瀚	尺寸
9	日本 Nano Tech 2006 出國訓練報告書	20060411	中文	一般	6	王振宇	尺寸
10	參加 SMAM-2 Symposium 出國訓練報告書	20060815	英文	一般	7	傅尉恩	尺寸
11	晶圓表面奈微微粒量測技術報告	20061213	中文	機密	17	劉承揚、Walter Christian、劉子安、傅尉恩	尺寸
12	薄膜量測系統評估報告-X 射線儀	20061212	中文	機密	15	傅尉恩、陳怡菁	尺寸

項 次	報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
13	多邊規與轉盤互校系統評估報告	20060327	中文	一般	21	劉惠中、林志明	尺寸
14	階高標準片校正之系統評估報告-光學式	20060109	中文	一般	29	陳彥良	尺寸
15	多邊規與轉盤互校程序	20060327	中文	一般	15	劉惠中、林志明	尺寸
16	階高標準片校正程序-光學式	20060109	中文	一般	25	陳彥良	尺寸
17	薄膜量測系統校正程序-X射線儀	20061227	中文	機密	18	陳怡菁、傅尉恩	尺寸
18	干涉儀接收高頻超音波技術之研究報告	20060725	中文	一般	8	劉育翔、吳誌笙	力學
19	薄膜及箔片材料機械性質研究	20060801	中文	一般	15	李正中	力學
20	奈米磨潤之分子動力學模型之建立與分析	20060801	中文	一般	15	鄭友仁	力學
21	超音波訊號量測實驗研究報告(共焦式Fabry-Perto 干涉儀)	20061117	中文	一般	6	劉育翔、吳誌笙	力學
22	德國 PTB 2006 出國訓練報告書	20061130	中文	一般	12	吳誌笙	力學
23	奈米磨潤分子動力學模型之建立與分析期末報告	20061225	中文	一般	21	鄭友仁	力學
24	薄膜及箔片材料機械性質研究期末報告	20061225	中文	一般	25	李正中	力學
25	分注器(Pipette)量測系統性能分析	20060710	中文	一般	9	楊峰銳、楊正財	微流
26	體積法微流校正平台評估報告	20060620	中文	一般	21	蘇峻民、馮志成	微流
27	日本 Nano Tech 2006 出國訓練報告書	20060413	中文	一般	17	蘇峻民	微流

## 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	薄膜硬度量測技術研討會	20060802	新竹	30	19
2	微流量測技術與應用研討會	20061003	新竹	25	8
3	奈米結構光學顯微量測研討會	20061114	新竹	18	5

註：第三項未收取費用。

成果發表會/說明會一覽表

項 次	成果名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦 地點	參加 人數	廠商 家數
1	新標準好服務-2006 國家度量衡標準 實驗室成果說明暨客戶座談會	20061120	台北	55	47

## 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		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	1	1	-	8	7	15		2					1	1					
2.力學性質量測追溯 分項	1	1		2	5	6		1											
3.微流量測標準技術 分項	0	1		3	3	2		1											
小計	2	3	-	13	15	23	-	4	-	-	-	-	-	1	1		4	128	-
合計	2	3	-	28		27		-				-	-		-		-		

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
AIST	Agency of Industrial Science and Technology	日本產業技術總合研究所
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
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures	國際度量衡局
BRDF	Bidirectional Reflectional Distribution Functions	雙反射分佈函數
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
GIXRR	Grazing Incidence X-ray Reflectometry	掠角X射線反射儀
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
ISO	International Standard Organization	國際標準組織
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
$\mu$ 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

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
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	德國聯物理研究院
PZT	Piezo-electric Transducer	壓電傳感器
SE	Spectroscopic 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
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	Marco Tortonese, Yu Guan, and Jerry Prochazka ,NIST-traceable calibration of CD-SEM magnification using a 100-nm pitch standard, Proceedings of SPIE -- Volume 5038, May 2003, pp. 711-718
1-2	V.A.Andreev and K.V.Indukaev, "Phase modulation microscopy MIM-2.1 for measurements of surface microrelief.General principles of design and operation" ,J.Russ.Laser Res.,26,380(2005)
1-3	V.A.Andreev and K.V.Indukaev, "The problem of subrayleigh resolution in interference microscopy" ,J.Russ.Laser Res.,24,220(2003)
1-4	Estler, W. T., 1998, Uncertainty Analysis for Angle Calibrations Using Circle Closure, Journal of the National Institute of Standards and Technology, 103(2): 141-151.
1-5	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
1-6	Erikson H., The Change of Mobility of the Positive Ions in Air with Age, Phys. Rev. 18:100-101, 1921.
1-7	Hewitt G. W., The Charging of Small Particles for Electrostatic Precipitation, AIEE Trans. 76:300-306, 1957.
1-8	Liu Y. H. and Pui D. Y. H., A Submicron Aerosol Standard and the Primary, Absolute Calibration of the Condensation Nucleus Counter, J. Colloid Interface Sci. 47:155-171, 1974.
1-9	William C. Hinds, Aerosol Technology – Properties, Behavior, and Measurement of Airborne particles, 2 <sup>nd</sup> , John Wiley, New York, pp.44-46, 1999.
1-10	"Soft X-Rays and Extreme Ultraviolet Radiation," David Attwood, Cambridge, 1999.
1-11	Huang, Feng., "X-Ray Reflectivity Studies of Thin Film," Internal Report, Center for Materials for Information Technology, the University of Alabama, Tuscaloosa, 2005.
1-12	ISO, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 1995.
1-13	Kim, J.H., Ehrman, S.H., Mulholland, G.W., Germer, T.A. "Polarized light scattering by dielectric and metallic spheres on oxidized silicon wafers," Appl. Opt. 43(3), 585-591 (2004).
1-14	Germer, T.A., Mulholland, G.W., Kim, J.H., and Ehrman, S.H. "Measurement of the 100 nm NIST SRM® 1963 by laser surface light

編號	出處
	scattering," in Advanced Characterization Techniques for Optical, Semiconductor, and Data Storage Components, A. Duparré and B. Singh, Eds., Proc. SPIE 4779, 60-71 (2002).
<b>力學性質量測追溯分項</b>	
2-1	Nano Bionix University Testing System, MTS Nano Instruments Innovation Center(2006).
2-2	Website: <a href="http://www.simetrics.de">http://www.simetrics.de</a>
2-3	S. Aisenberg and S. Ronald, "Ion-beam Deposition of Thin Films of Diamond-like Carbon", J. of Appl. Phys., Vol. 42, No. 7, pp. 2953-2958 (1971).
2-4	J. Robertson, "Diamond-like amorphous carbon", Mater. Sci. Eng. R, Vol. 37, pp. 129-28 (2002).
2-5	X.L. Peng, T.W. Clyne, "Mechanical stability of DLC Films on Metallic substrates: Part I-Film Structure and Residual Stress Levels", Thin Solid Films, Vol. 312, pp. 207-218 (1998).
2-6	A.C. Ferrai, "Determination of Bonding in Diamond-like Carbon by Raman Spectroscopy", J. Robertson, Phys. Rev., Vol. 61 pp. 1053-1061 (2002).
2-7	F. Tuinstra, J.L. Koenig, "Raman Spectrum of Graphite", J. Chem. Phys., Vol. 53, No. 3, pp. 1126-1130 (1970).
<b>微流量測標準技術分項</b>	
3-1	Curtis, R.H., "Performance verification of small volume mechanical action pipettes," Artel Inc. (1996).
3-2	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, ISO (1993).
3-3	Doel, L.R., J.J. Vellekoop, P.M. Sarro, S. Piciooreanu, R. Moerman., J. Frank, G. Dedem, K.T. Hjelt, L.J. Vliet, and I.T. Young, "Fluorescence Detection in (sub-) Nanoliter Microarrays," Proc. SPIE, Progress in Biomedical Optics, 3606, pp. 28-39 (1999).
3-4	Steger, R., B. Bohl, C. Moosmann, G. Birkle, R. Zengerle, and P. Koltay, "A highly integrated nanoliter dispensing system for fast liquid handling," Proc. Micro. Tech, Germany, pp. 563-566 (2003).
3-5	Young, I.T., R. Moerman, L.R. Van Den Doel, V. Iordanov, A. Kroon, H.R.C. Dietrich, G.W.K. Van Dedem, A. Bossche, B.L. Gray, L. Sarro, P.W. Verbeek, and L.J. Van Vliet, "Monitoring Enzymatic Reactions in Nanolitre Wells," J. Microscopy, 232, pp. 254-263 (2003).

編 號	出　　處
3-6	ISO 8655-7:2005(E): Piston-operated volumetric apparatus—Part 7: Non-gravimetric methods for the assessment of equipment performance, International Organization for Standardization, Geneva (2005).
3-7	Cavallaro, A. and L. Saggere, "Picoliter Fluidic Flow Characterization Using Ion-selective Measurement," ASME IMECE2005-82646, November 2005, Orlando, USA.
3-8	Gutmann, O., R. Niekrawietz, C.P. Steiner, H. Sandmaier, S. Messner, B. Heij, M. Daub, and R. Zengerle, "Droplet Release in a Highly Parallel, Pressure Driven Nanoliter Dispenser," the 12th Int'l Conf. on Solid State Sensors, Actuators and Microsystems, Boston, 2003, 2C3.1.
3-9	Heij, B., M. Daub, O. Gutmann, R. Niekrawietz, H. Sandmaier, and R. Zengerle, "Highly Parallel Dispensing of Chemical and Biological Reagents," Anal. Bioanal. Chem., 378, pp. 119-122 (2004).
3-10	Young, I.T., K.T. Hjilt, R. Doel, M.J. Vellekoop, and L.J. Vliet, "Measuring Liquid Volumes in Sub-nanoliter Wells, Proc. SPIE, Progress in Biomedical Optics," 4365, pp. 75-80 (2001).

## 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(3/6)

2.執行機關(單位)：工研院量測中心

3.經費：94 年預算數：37,100 元、簽約數：37,100 元

95 年預算數：42,630 元(較前年增 14.9 %)

95 年簽約數：42,630 元(較前年增 14.9%)

#### 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			
<b>一、共同指標</b>						45%	99	44.58
1.計畫作為						6%	98.7	5.92
(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%	98	1.96
(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%	99	1.98
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，年度經費支用比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支用比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支用比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支用比	預算執行嚴格控制，並有效節餘經費，依管考週期，年度經費支用比	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			
(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%)	39 1.56
評分說明(佐證)	1.94 年：專利權核准數： <u>3</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。2.95 年：專利權核准數： <u>2</u> 件數(較 FY94 減 <u>33 %</u> )；專利權授權(應用)收入： <u>0</u> 元(較 FY94 減 <u>0 %</u> )；新技術引進總項數： <u>0</u> 項數(較 FY94 增 <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%)	99	0.99
評分說明(佐證)	1.94 年：研發成果運用及移轉之件數、廠家數： <u>0</u> 件數；其實際收入金額： <u>0</u> 元。2.95：研發成果運用及移轉之件數、廠家數： <u>1</u> 件數(較 FY94 增 <u>100 %</u> )；其實際收入金額： <u>600,000</u> 元(較 FY94 增 <u>100 %</u> )。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
2.技術能力						15%	98	14.77
(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)	1.94 年：技術發展投入經費： <u>37,100</u> 元；標準能量新建及擴建完成套(項)數： <u>2</u> 套(項)。2.95 年：技術發展投入經費： <u>42,630</u> 元(較 FY94 增 <u>14.9 %</u> )；標準能量新建及擴建完成套(項)數： <u>2</u> 套/項(較 FY94 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/國際能力試驗項次前年減少 15%~30% 以內者。	參與國際比對/國際能力試驗項次前年減少 30% 以上者。	6% (4~6%)	99	5.94
評分說明(佐證)	1.94 年：參與國際比對及國際能力試驗： <u>2</u> 項次；主辦國際比對及國際能力試驗： <u>0</u> 項次。2.95 年：參與國際比對及國際能力試驗： <u>3</u> 項次(較 FY94 增減 <u>1</u> 項次)；主辦國際比對及國際能力試驗： <u>2</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地位。	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地位。	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%)	97	3.88

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%	99	14.85
(1)技術服務或移轉	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。	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。	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。	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。	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%)	99	2.97
評分說明(佐證)	<p>1.94 年：技術服務或移轉之件數、廠家數：<u>1</u> 件數；其移轉權利金額：<u>0</u> 元。</p> <p>2.95 年：技術服務或移轉之件數、廠家數：<u>4</u> 件數(較 FY94 增 <u>300 %</u>)；其移轉權利金額：<u>0</u> 元(較 FY94 增減 <u>0 %</u>)。(輔導工研院奈米中心；清大、成大、中興之奈米中心完成 TAF 認證)</p> <p>3. 上二項衡量指標得擇優評分。</p>							
(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數較前年成長 5%以上者。	技術研討會與說明會之場次或人數較前年相同或成長 0%~5%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人數較前年減少 0%~15%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人數較前年減少 15%~30%以內者。	技術研討會與說明會之場次或人數較前年減少 30%以外者。	6% (4~6%)	99	5.94
評分說明(佐證)	<p>1.94 年：技術研討會/說明會之場次：<u>2</u> 場次；其參加總人次：<u>68</u> 人次。</p> <p>2.95 年：主協辦技術研討會/說明會之場次：<u>4</u> 場次(較 FY94 增 <u>100 %</u>)；其參加總人次：<u>128</u> 人次(較 FY94 增 <u>88.2 %</u>)。</p> <p>3. 上二項衡量指標得擇優評分。</p>							
(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%以內者。	校正服務件數或收入金額較前年減少 30%以外者。	6% (4~6%)	99	5.94
評分說明(佐證)	<p>1.94 年：校正服務件數：<u>22</u> 件數；其收入金額：<u>151,800</u> 元。</p> <p>2.95 年：校正服務件數：<u>85</u> 件數(較 FY94 增 <u>286 %</u>)；其收入金額：<u>754,600</u> 元(較 FY94 增 <u>397 %</u>)。</p> <p>3. 上二項衡量指標得擇優評分。</p>							
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)	<p>1.94 年：經費：<u>10,533</u> 元；其計畫執行人力：<u>9.25</u> 人年。</p> <p>2.95 年：經費：<u>13,753</u> 元(較 FY94 增 <u>30.5 %</u>)；其計畫執行人力：<u>11.75</u> 人年(較 FY94 增 <u>27 %</u>)。並新增晶圓表面奈米微粒量測技術工作項目。</p> <p>3. 上二項衡量指標得擇優評分。</p>							
(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，並不全能有效利用，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.本計畫 FY95 列入 SCI 期刊達 4 篇。</p> <p>2.本計畫參與奈米國家型科技計畫第一期(FY92-94)成果評鑑會，並由計畫主持人彭國勝博士英文簡報計畫內容及相關成果，國外審查委員給予正面評價：“In addition, there are highly professional and internationally exemplary programs to meet industry needs for systematic branding (‘nanomark’) and metrology.”</p> <p>3.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，辦理國內奈米粒徑量測能力試驗(10 個經濟體；16 個實驗室)，並參與 APEC 國際相互比對，比對結果顯示出不同量測方法的儀器間有顯著的差異性，而同一種量測方法，不同廠牌的儀器間沒有明顯差異，顯見建立奈米粉體粒徑標準的重要性。</p> <p>4. FY95 協助工研院、成大、清大、中興之奈米中心完成申請 TAF 認證。</p> <p>5. Fy94 完成之「大角度校正系統—多邊規與轉盤互校」及「奈米粒徑量測系統」，已於 95.5.24 完成查驗會議，將於完成公告程序後，提供校正服務。</p> <p>6.選派林志明君，於 95.10.8—95.12.2 前往日本 NMIJ/AIST 進行為期近三個月之客座研究，研習電重力氣膠平衡法奈米粉體量測技術，並進行技術交流。</p> <p>7.舉辦共 4 場之研討會及說明會，學員人次達 128 人。</p>							
總 分	96.43	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。

2.自評分數請評至個位，加權得分請算至小數第一位。