



## 98年度奈米國家型計畫執行報告

### 奈米技術計量標準計畫（1/6）

#### （第1年度）

全程計畫：自 98 年 1 月至 103 年 12 月止

本年度計畫：自 98 年 1 月至 98 年 12 月止

委託單位：經濟部標準檢驗局

執行單位：工業技術研究院

中 華 民 國 99 年 1 月

### 【期末報告摘要資料】

科資中心編號	PG9801-0113			
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	98-1403-36-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	98-1403-04-辛01	
年度	98	全程期間	9801-10312	
本期經費	63,400仟元			
執行單位出資 0%				
經濟部標準檢驗局 委託(補助) 100%				
執行進度		預定進度	實際進度	落後比率(比較)
	當年	100%	100%	0%
	全程	10%	10%	0%
經費支用		預定支用經費	實際支用經費	支用比率
	當年	63,400仟元	63,342仟元	99.9%
	全程	63,400仟元	63,342仟元	99.9%
中文關鍵詞	奈米計量、奈米粒子、奈米薄膜計量、X 光量測技術、奈米標準			
英文關鍵詞	Nanometrology, Nanoparticle, Thin Film Metrology, X-Ray Technology, Nanotechnology Standard			
研究人員	中文姓名		英文姓名	
	張啟生博士		Chi-Sheng Chang	
	傅尉恩博士		Wei-En Fu	
	陳朝榮博士		Chao-Jung Chen	
	姚斌誠博士等		Bin-Cheng Yao	
研究成果中文摘要	1.奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項： (1)奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立。 -建立場發射環境掃描式電子顯微鏡(儀器量測解析度 1 nm)。 -利用電移動度分析法進行氣相奈米粒子等效粒徑研究。 -研究單一成份(Au, Ag, C, PSL)奈米粒子分散技術。 (2)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立。 -建立低剛性之撓性結構，其剛性(或力常數)≤ 40 N/m。 -使用Fabry-Perot干涉儀或外差式干涉儀精密量測樣本移動台(量測解析度< 1 nm)。 -建立高解析移動平台機構(位移解析度 < 10 nm、行程 > 100 μm)。 2.薄膜結構與特性量測標準追溯分項： (1)側壁傾角(Side wall angle, SWA)最佳量測能力分析。SWA最佳能力為			

	<p>0.87°(&lt;1°)。</p> <p>(2)建立薄膜表面特徵量測標準技術與量測系統，利用雙向橢圓參數量測技術可以用來發展量測和分辨不同的晶圓表面特徵。此系統可以量測晶圓表面上奈米微粒所發出的散射光，來量測其粒徑大小，量測的微粒直徑範圍為30 nm至350 nm。</p> <p>(3)設計快速抖動掃描裝置，並架設THz差動訊號時域頻譜分析量測系統，完成薄膜電性量測1.87 μm、1.39 μm與440 nm膜厚SiO<sub>2</sub>之THz差動式穿透訊號。並完成SiO<sub>2</sub>薄膜之THz折射率頻譜量測與不確定度分析，量測範圍從0.1 THz到1 THz，訊噪比最佳化後可達1000。</p> <p>(4)薄膜應力量測技術研究。  -菲佐干涉儀量測平面輪廓的範圍為直徑 102 mm (4 in)。經不確定度評估後，其量測平面輪廓之擴充不確定度為14 nm (信賴水準為95%)。  -SiO<sub>2</sub> 薄膜(60 nm)之殘留應力為485 MPa。</p> <p>(5)薄膜拉伸量測技術研究。  -碳管/高分子複合材料之靜態彈性模數為1.82 GPa。  (應變速率: 0.002 s<sup>-1</sup>)</p> <p>3. 奈米國際量測與產品標準推動分項：</p> <p>(1) 完成奈米標準技術諮議會成立與運作，並成立四個技術工作組，整合國內的奈米標準的意見與需求。</p> <p>(2) 完成以ANF代表成為IEC TC113 第3工作小組的聯盟會員(D-liaison member)。</p> <p>(3) 完成重點參加ISO/IEC/VAMAS/ANF之TC相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見、並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。</p> <p>(4) 完成三個奈米標準草案的規畫與初稿。</p> <p>(5) 完成奈米標準技術諮議會奈米標準文件相關資料網頁平台的建置。</p>
英文摘要	<p>1. Measurement Standards for Nanoparticle/Nanowire Sizes and Functional Properties :</p> <p>(1)Nanoparticle Topography, Distribution and Dispersion Measurement Standards:</p> <p>-Establish a Field Emission Environmental Scanning Electron Microscope (Measuring Resolution of Instrument 1 nm).</p> <p>-Develop the Equivalent Diameter of Nanoparticles by Differential Mobility Analysis.</p> <p>-Develop the Dispersion of Nanoparticles (Au, Ag, C, PSL).</p>

	<p>(2) Nanoparticle/Nanowire Functional Properties Measurement Standards:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Develop a Low Stiffness (the force constant <math>\leq 40</math> N/m) Flexure Mechanism.</li> <li>-Use a Fabry-Perot Interferometer or Heterodyne Laser Interferometer to Measure Sample Stage (Measuring resolution <math>&lt; 1</math> nm).</li> <li>-Establish a High Resolution Sample Stage (Positioning Resolution <math>&lt; 10</math> nm、Travel Range <math>&gt; 100</math> <math>\mu</math>m).</li> </ul> <p>2. Measurement Standards for Thin Film :</p> <p>(1) Best Measurement Capacity Evaluation for Side wall angle (SWA), SWA is equal to <math>0.87^\circ (&lt; 1^\circ)</math>.</p> <p>(2) Bidirectional ellipsometry has been developed as a technique for distinguishing among various scattering features near surfaces. The polarized angular dependence of out-of-plane light-scattering by the nanoparticles on wafer is calculated and measured. The measurement range of nanoparticle diameters is 30 nm to 350 nm on 2 inches to 8 inches wafers.</p> <p>(3) A Galvanometer was designed for the THz differential time domain spectroscopy system in order to obtain electric property of thin film. The transmitted THz differential signals of the SiO<sub>2</sub> thin film with thickness of 1.87, 1.39 and 0.44 <math>\mu</math>m were measured. Refractive index of the SiO<sub>2</sub> film in the THz range was measured with uncertainty evaluation. The measured range is from 0.1 THz to 1 THz with signal to noise ratio up to 1000.</p> <p>(4) Measurement of residual stress of thin film.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-The flatness measurement range of Fizeau interferometer is given as diameter 102 mm, and its expanded uncertainty is 14 nm (with a 95% confidence level).</li> <li>-The residual stress of SiO<sub>2</sub> film (60 nm) is 485 MPa.</li> </ul> <p>(5) Study on tensile test measurement of thin films.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-The static elastic modulus of CNTs/Polymer composite film is 1.82 GPa (strain rate: <math>0.002</math> s<sup>-1</sup>).</li> </ul> <p>3. International Standards for Nano-Measurements and Nano-Products :</p> <p>(1) Taiwan Nanotechnology Standard Council (TNSC) and four technical working area (TWA) were founded. The council will collect and integrate the standards needs and opinions from the industries, academic and government.</p> <p>(2) The D-liaison relation with IEC TC 113 working group 3 as an Asia Nano</p>
--	--



- Forum (ANF) representative were established.
- (3) Attended 6 ISO/IEC/VAMAS/ international standard meetings, collecting the first hand information of the standarding working items and participating the technical discussion in the meeting.
- (4) 3 working drafts of standard documents have been drafted.
- (5) The 1<sup>st</sup> version of Taiwan Nanotechnology Standard Council web site has been online for test.

本計畫執行成果之實質影響與重要性：

### (一)經濟效益

1. 建立我國在奈米技術的發展上所需之量測標準與關鍵技術，建置與維持國家最高之奈米計量標準的完整追溯體系。本計畫已建立之八套國家標準系統(如圖一)，每年約可提供 200 件/250 萬元的校正服務(由國家度量衡標準實驗室運作計畫統一繳庫)，一般咸認以二級實驗室之數量(全國認證基金會目前所認可之實驗室超過一千家)作為乘數來評估一級校正之衍生效益，依此計算本計畫在經濟效益上的擴散效益，每年可達 25 億元以上。

圖一 FY92-97 已建立之八套國家標準系統



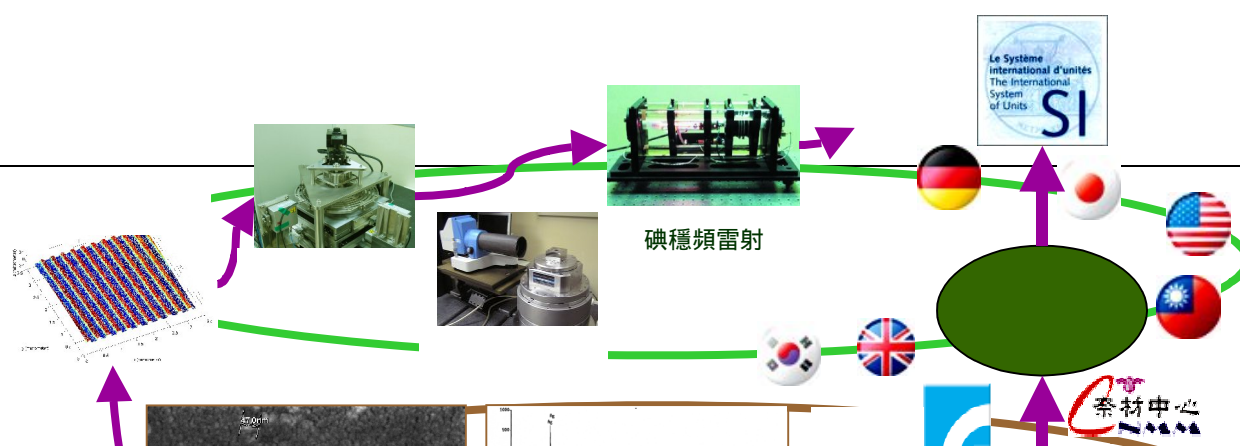
圖一 FY92-97 已建立之八套國家標準系統

(1)實例：階高(step-height)標準校正服務，協助半導體產業晶片製程設計、物料採購及生產製程品管。在薄膜(metal)、黃光及蝕刻三段製程中都會先檢測電性是否符合設計，若不在可接受範圍內，將再針對此處進行 step-height 檢測，因差異將影響元件或產品電性，造成產品如 CPU 速度不對(高度愈高電阻愈小)，每案客戶的設計規格中可容忍的誤差為 $\pm 10\%$ 。效益估算以台積電為例：97 年營收為 NT321,767 M/year；參考 BIPM (國際度量衡局)的評估模式：一級校正服務之效益佔產值之 1%，據此估算服務此公司之貢獻度達 NT3,217.67 M/year，若降低二個數量級(order)保守估算仍有 NT32 M/year，而台積電 90 奈米與 65 奈米製程佔營收之 48% (Q4 分別為 21 %與 27 %)，則估計本系統對該公司之貢獻度可達 NT16 M/year。

2.本計畫所建置之檢測追溯技術與量測系統，具以協助經濟部工業局推動奈米產品驗證制度(奈米標章)，提供產品驗證時奈米尺度之驗證依據。

(1)實例：建置粉體粒徑標準量測系統，作為我國奈米粉體粒徑量測最高標準，提供奈米標章認可實驗室檢測廠商產品之追溯依據(如圖二)。目前取得認可之奈米標章廠商超過二十家，生產認可產品約可提高產品價格 10 % ~ 20 %，並可提昇公司形象與產業競爭力。粗估通過認可之奈米產品，每年總產值可達數億元以上。

圖二 協助推動奈米標章及建立完整標準追溯鏈



## (二)社會效益

1.本計畫所研發之計量技術與追溯評估技術，已成功移轉至學術單位，實質提升實驗品質與學術實力。

(1)實例：成功大學 - Nanoindentation；清華大學 - AFM；中興大學 - DLS；龍華科技大學 - AFM。

2.協助政府權責機關，共同研擬奈米技術在安全問題與健康問題上之解決對策。

(1)實例：衛生署 - 奈米檢驗及製造廠查核人員奈米技術能力提升及實務輔導(FY98)、建構奈米化藥品之奈米檢測方法與安全性評估機制(FY98)；勞研所 - 奈米作業場所調查與粒徑濃度測定(FY97)。

## (三)國際影響：

1.推動奈米計量與標準之國際調和工作，積極參與國際標準活動，研究實力深獲國際肯定，並與國際奈米研究機構，建立完整而堅強的聯盟關係。

(1)實例一：97年5月20日完成與凡爾賽先進材料與標準計畫(VAMAS: The Versailles Project on Advanced Materials and Standards)簽訂合作備忘錄(MOU)，加入 Steering Committee 成為正式會員。

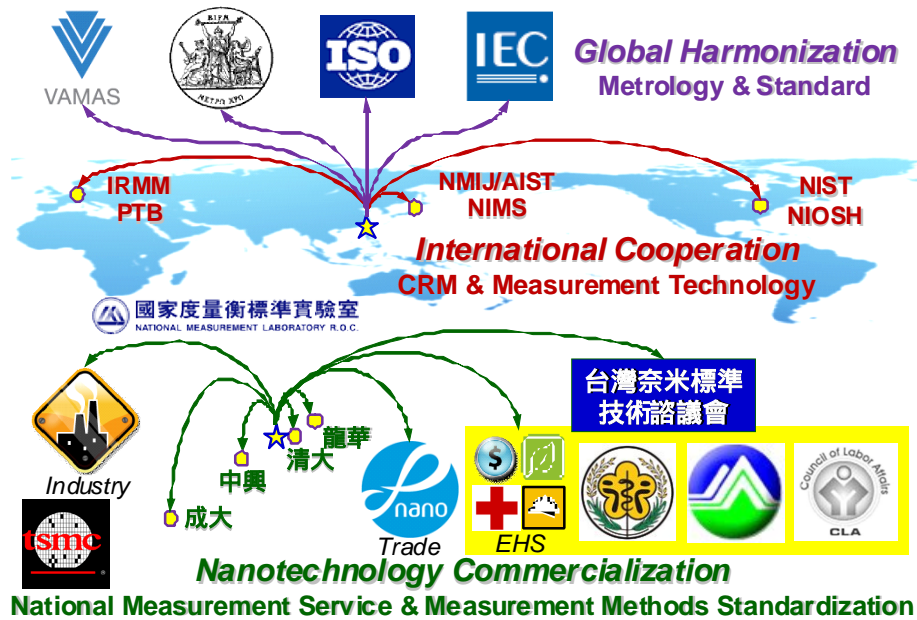
(2)實例二：97年10月28日與日本物質材料研究機構(NIMS: National Institute for Materials Science, Japan)簽訂合作備忘錄(MOU)，針對 Nanotechnology-driven advanced materials metrology research, X-ray physics and its industrial metrology applications, Nanoscale material characterizations 等方向進行合作。

(3)實例三：98年2月26日歐洲標準參考物質中心 IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements)邀請本計畫參加 30 nm Silica 奈米粒子量測能力試驗。以動態光散射法(DLS)量測的比對結果被接受，受邀成為 IRMM 的合作伙伴，接受 IRMM 委託測試其開發的奈米粒子驗證參考物質。

2.透過國際合作共同解決全球之奈米 EHS 議題。

(1)實例：97年8月27日與美國國家職業安全衛生研究所(NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health, USA)簽訂合作意願書(LOI)，內容為「Collaborating on a project to coordinate development of reference materials for engineered nanoparticles」。

圖三 計畫之社會效益與國際影響



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	2
參、計畫變更說明	2
肆、執行績效檢討	
一、與計畫符合情形	
(一)進度與計畫符合情形	3
(二)目標達成情形	5
(三)配合計畫與措施	15
二、資源運用情形	
(一)人力運用情形	16
(二)設備購置與利用情形	16
(三)經費運用情形	17
三、人力培訓情形	19
伍、成果說明與檢討	
一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫	31
二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫	66
三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫	97
四、成果與推廣	115
陸、結論與建議	118
附件	
附件一、新台幣伍百萬以上儀器設備清單	123
附件二、國外出差人員一覽表	124
附件三、專利成果統計一覽表	127
附件四、論文一覽表	128
附件五、研究報告一覽表	135
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表	138
附件七、研究成果統計表	139
附件八、中英文對照表	140
附件九、參考文獻索引	143
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	148

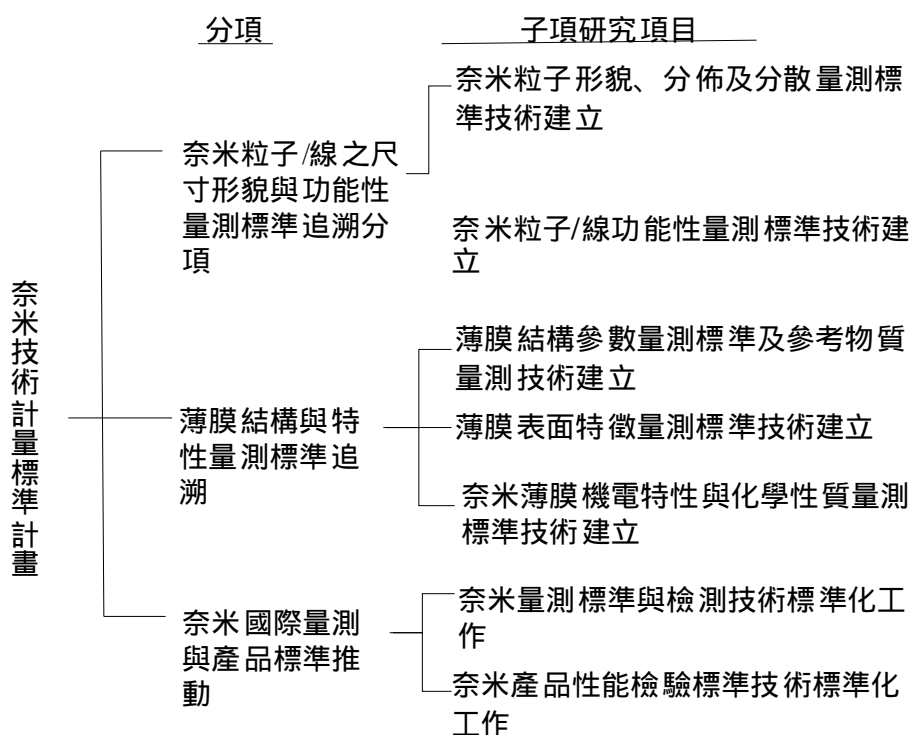
## 壹、年度活動紀要

時間	大事紀要
97/12/31	Fy98 奈米技術計量標準計畫議價，本計畫以 63,400 仟元決標。
98/01/07	舉行 FY97 奈米技術計量標準計畫期末實地查證會議，由周組長俊榮主持。
98/02/17	Fy99 奈米技術計量標準計畫綱要計畫審查會於標檢局第一會議室舉行。
98/05/11	5 月 11 日於科技大樓 2 樓會議室，舉行部會「99 年度奈米國家型科技計畫中程綱要計畫」初審會議，由標檢局楊科長簡報 FY98 奈米技術計量標準計畫，主持人張啟生博士，列席備詢。
98/05/21	於量測中心 16 館舉辦奈米粒徑量測技術研討會。
98/06/26	於標檢局大禮堂，召開奈米諮議會會員成立大會，諮議會由奈米國家型科技計畫辦公室、經濟部標準檢驗局指導設立，並委由工研院量測技術發展中心擔任秘書處，協助奈米標準技術諮議會之運作。成立大會有標準檢驗局、國衛院、環保署、工研院、電機電子公會、機器工業公會、國際半導體設備材料產業協會(SEMI 台灣)、台大、成大、台積電、台灣永光化學、漢民科技、閎康科技等奈米技術相關產政學研共三十餘位代表參加，並將出任諮議會委員。
98/07/14	於經濟部標準檢驗局第 2 會議室，舉辦奈米材料應用與檢測標準技術論壇。
98/10/07-09	於台北世貿 1 館 B 區，舉行 Taiwan Nano 2009(台灣奈米科技展)，展場分主題形象、奈米粉體計量標準、薄膜計量標準、奈米標準調和四區，展出型式包括實體、看板海報、模型及電視播放影帶等不同形態。
98/10/13	於經濟部標準檢驗局第 2 會議室，舉辦奈米薄膜檢測標準技術論壇。
98/10/28	FY99 奈米技術計量標準計畫細部計畫審查會於標檢局第一會議室舉行。
98/12/01	於標檢局大禮堂參加成果展，展示奈米材料應用與檢測標準、及薄膜檢測標準技術。
98/12/09	於國科會 2 樓第 4 會議室，舉行奈米國家型計畫第一期結案審查會議，第一期奈米技術計量標準計畫主持人彭國勝博士，針對第一期全程計畫進行簡報。
98/12/30	於工研院光復院區 16 館 223 會議室舉行 FY98 奈米技術計量標準計畫期末實地查證會議。

## 貳、前言

「奈米技術計量標準計畫」之目的為建立具良好追溯性的奈米標準與計量技術，發展以原子或分子為基礎的計量標準，並配合奈米國家型科技計畫開發奈米計量技術，以為我國長期產業及經濟發展奠基。本年度執行重心，奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項 2 個研究項目（奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立；奈米粒子/線功能性量測標準技術建立）；薄膜結構與特性量測標準追溯分項 3 個研究項目（薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立、薄膜表面特徵量測標準技術建立、奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立）；奈米國際量測與產品標準推動分項 2 個研究項目（奈米量測標準與檢測技術標準化工作、奈米產品性能檢驗標準技術標準化工作）。

本年度計畫架構如下：



## 參、計畫變更說明

(1)計畫於 98.4.10 以工研量字第 0980004110 號函，辦理計畫書 p.134 第 9-15 項出國任務的時間、地點的變更。經濟部於 98.5.14 以經人字第 09800063860 號函同意。



# 肆、執行績效檢討

## 一、與計畫符合情形

### (一)進度與計畫符合情形

預定進度 ——— 實際進度 .....

進度 工作項目	98年											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A. 奈米粒子 / 線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項												
• 奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立			A1						A2		A3	A4
-奈米粒子形貌與分佈量測技術			*						*		*	*
						A5						A6
-奈米粒子分散技術						*						*
• 奈米顆粒 / 線功能性量測標準技術建立			A7	A8		A9		A10		A11		A12
-奈米粒子/線機械性質追溯及量測技術			*	*		*		*		*		*
B. 薄膜結構與特性量測標準追溯分項												
• 薄膜結構參數量測標準及參考物質量技術建立						B1		B2			B3	
-SAXS量測技術						*		*			*	
			B4				B5				B6	
-線寬標準件			*				*				*	
• 薄膜表面特徵量測標準技術建立												
-晶圓表面特徵之偏振散射光量測技術						B7				B8	B9	
						*				*	*	

進度		月份		98年											
工作項目		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
				B10									B11		
-差動式量測技術之建立															
				*									*		
• 奈米薄膜機電/化學特性量測標準技術建立															
						B12									
-光學干涉殘留應力量測裝置建立							*								
									B13						
-薄膜殘留應力試片之備製									*						
													B14		
-薄膜殘留應力量測實驗之進行													*		
						B15									
-奈米複材薄膜之製作							*								
									B16						
-奈米複材薄膜拉伸實驗之進行								*							
													B17		
-奈米複材薄膜拉伸數據分析												*			
C. 奈米國際量測與產品標準推動分項															
							C1								
• 成立奈米諮議會/秘書處							*								
							C2						C3		
• 奈米量測標準與檢測技術標準化工作															
							*						*		
• 奈米產品性能檢驗標準技術標準化工作															
									C4				C5		
							*						*		
進度百分比 %		25 %			55 %			80 %			100 %				

## (二)目標達成情形

### 1.奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>(一) 奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立</p> <p>1.場發射環境掃描式電子顯微技術(最佳解析度 1 nm)。</p> <p>2.氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術(等效粒徑 20 nm)。</p> <p>3.單一成份粒子分散技術(Au, Ag, C, PSL)。</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 9801 完成掃描電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)規格比較,並進行未來儀器置放空間規劃。拜訪中央大學林景琦教授,瞭解 FEI 之 SEM 腔體空間。9802 撰寫場發射環境掃描式電子顯微鏡(Field Emission Enviromental Scanning Electron Microscope, FE-ESEM)採購規範書。980220 召開採購會議,並根據委員意見修改採購規範書內容。980319 第一次開標,因廠商資格不符而流標。04/02 第二次開標,由蔡司半導體有限公司得標(型號: SUPRA 60VP, 金額: USD. 309,800)。9803 進行供 FE-ESEM 使用之潔淨室的空間、施工規劃與水、電、氣、環境等規格訂定,及計量型平台與干涉儀規格討論及詢價。9805 完成完成設計、報價、並開立請購單。9807 實驗室改善施工完成,進行測試及安裝溫溼度紀錄器 980804 FE-ESEM 到貨 980916 完成裝機,980924 完成驗收。9809 進行能量色散頻譜儀 EDS 增購,9810 完成採購程序,12 月中旬到貨及進行教育訓練。981124 完成訓練 3 位合格使用者。9810 以新購 FE-ESEM 量測自製 100 nm 聚苯乙烯球、及 Institute for Reference Materials and Measurements(IRMM)能力試驗之 Silica 測試件、含奈米銀粒子之襪子纖維等。9812 完成場發射環境掃描式電子顯微測試報告。</li><li>● 9803 搜尋金、銀、碳等材質之奈米粒子形貌相關資料。9808 進行氣相粒子電移動度等效粒徑理論推導。9810 氣相粒子電移動度等效粒徑理論推導完成。9811 完成技術報告“氣相粒子電移動度等效粒徑理論分析”。</li><li>● 9801 進行高壓氣流分散裝置原理分析。9802 進行乾式分散方式相互作用原理分析。9803</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>● 無差異</li></ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>(二) 奈米顆粒 / 線功能性量測標準技術建立</p> <p>1. 建立低剛性之撓性結構, 其剛性(或力常數) <math>\leq 40</math> N/m。</p> <p>2. 建立樣本移動台作為精確移動樣本用途: 使用 Fabry-Perot 干涉儀或外差式干涉儀配合 VME-BUS 的使用建立解析度</p>	<p>拜訪德國 SympaTec 公司之台灣代理商, 探討該公司之高壓氣流分散裝置性能並進行次微米粒子分散試驗。9804 高壓氣流分散裝置進行驗證。9806 完成高壓氣流分散裝置細部設計。9807 進行奈米粒子間的作用力理論推導。9808 高壓氣流分散裝置分散機構細部設計元件發包加工。9809 進行化學溼式分散劑及研磨技術研究。9810 奈米金及碳 ( 55 nm ) 材霧化系統量測前濃度調配, 並利用 SEM 拍攝碳粉體結構團聚現象。9811 進行奈米金 10 nm、奈米銀 40 nm、碳 55 nm 等材質之奈米粒子使用超音波震盪及氣霧化法進行分散測試, 完成 Polystyrene 76 nm 分散測試。拜訪中正大學周禮君教授請教奈米金 ( 50 nm ) 之製程技術與與奈米金於奈米生物技術檢測之應用。對於分散之粒子進行靶材設計採集樣本於 SEM 比對。9812 撰寫超音波震盪及氣霧化法進行分散測試報告, 完成 Polystyrene 55 nm 分散測試。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 980325 拜訪中央大學化材系陳暉教授, 討論奈米粒子合成與單一粒徑分佈技術。9804 委託中央大學陳暉教授針對標稱粒徑 100 nm 之 PSL 進行重製。9805 完成離心處理與 8 件樣本 DMA 量測。9805 完成 IRMM 二氧化矽奈米粒徑之 DLS 比對量測。9806 完成 NIST SRM 1963a 之 DMA 奈米粒徑量測。980723 再次拜訪陳暉教授討論小於 100 nm PSL 及其他材料奈米粒子製作。9809EAB 量測 NIST 1963a 100 nm 粒子、EAB CMS-500 查核。</li> <li>● 9801 撰寫計畫執行規畫書及規劃審查會議。9802 進行低剛性撓性結構設計與剛性計算及完成資訊設備 NI 開發套裝軟體與即時控制硬體之採購。980319 完成低剛性撓性結構設計與剛性計算。9805 完成低 k 值撓性結構及二維移動台架設。9807 以 ellipse curve 進</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>小於 1 nm 的干涉儀機構。</p> <p>3.建立建立高解析移動平台機構：配合壓電陶瓷及直流馬達的使用，建立高精度樣本或光源移動平台，解析度小於 10 nm、行程大於 100 <math>\mu\text{m}</math>。</p>	<p>行撓性結構設計修改及製作。9808 完成低剛性撓性結構彈力測定，力常數 <math>=16.32 \text{ N/m}</math>。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9804 以 VME-bus 及 HP 雷射干涉儀完成高精度移動平台設計(高精度干涉儀機構，量測解析度 0.32 nm)。</li> <li>● 9805 完成建立高解析移動平台機構(行程 102 <math>\mu\text{m}</math>，測得移動平台解析度近 7 nm)。9809 (1) 完成差動電容偵測與高壓放大原型電路之設計與佈線，並已委外由 PCB 製作廠商製作完成。(2)完成電容式位移偵測器校正實驗裝置架設，位移量測標準使用位移解析度 2.5 nm 之高解析度光學干涉儀。初步測試結果顯示，電容式位移偵測器之解析度低於 1 nm。(3)完成主動式隔振系統、真空腔體與真空用致動器之規格查詢。9810 (1) 完成電容式位移偵測器之校正數據分析，測得之位移轉換係數為 <math>1.2 \times 10^{-6} \text{ m/V}</math>，若以電壓量測解析度 305 Mv 計算，則位移量測解析度可達 0.37 nm。(2) 進行靜電力驅動電路測試，與迴圈濾波器 LabVIEW 程式撰寫。9811 完成靜電力驅動電路測試。9812 完成以電容式位移訊號控制電容極板位置之靜電力回饋測試。</li> </ul>	

## 2.薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>(一) 薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立</p> <p>1.單一線寬之 SWA、LER 量測技術研究,並完成 SWA 最佳能力分析(<math>&lt;1^\circ</math>)。</p> <p>2.線寬參考物質(<math>0.35\ \mu\text{m} &lt; \text{線寬} &lt; 1\ \mu\text{m}</math>)。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 9801 搜集國內外 SAXS 相關論文資料 16 篇。完成”同步輻射之光束線”使用申請作業。9802 完成 SAXS 治具設計及 SAXS 之量測試片,分析 X-ray 靶材與試片材料對穿透率影響。9803 完成 SAXS 治具設計採購、與同步輻射中心討論使用同步輻射雷射光源進行 SAXS 量測規畫。9804 完成 SAXS 夾具製作、並申請使用同步輻射光源進行 SAXS 量測計畫。9805 進行鍍膜與電子束加工製程。9806 以 X 光繞射儀測試不同材質試片之穿透率,試片包括 bare silicon wafer, glass, Cr-glass。9807 完成試片 <math>525\ \mu\text{m}</math> Si bare wafer, <math>50\ \text{nm}</math> <math>\text{SiO}_2</math> on Si wafer, <math>600\ \mu\text{m}</math> 7740 Glass wafer 以 X 光繞射儀測試材質試片之穿透率</li> <li>● 9807 完成測試用標準片製作,於 0731~0801 進同步輻射實驗室進行 SAXS 量測 數據分析,取得 GISAXS 量測結果。9808 完成 SAXS 量測技術理論推導。9809 完成新購買同步輻射測試用樣本的 AFM 掃描。9810 進行 SAXS 同步輻射測試(標準件、量測原理、分析方法)。9812 完成 SAXS 量測技術理論分析(技術報告)。</li> <li>● 9801 進行小於 <math>1\ \mu\text{m}</math> 線寬標準件製作,完成基板再鍍上不同厚度之薄膜。9802 完成 SWA 量測技術規劃及 SWA 定義與計算方式並以 TEM 量測 VLSI 標準件,確定標準件之 SWA 值。9804 完成標準片雛形試作,並以 AFM 測試。及進行標準片第二種製程試作(鍍 Cr <math>50\ \text{nm}</math>/<math>\text{SiO}_2</math> <math>1\ \mu\text{m}</math>)測試。</li> <li>● 9807 完成線寬標準片原型,用 SEM 與 AFM 均可量測到線寬。9807 完成 MATLAB 軟體設計計算 SWA 並進行測試 superacon 台積電等試片之 SWA,以確定查核件。9808</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 超越目標。SWA 最佳能力為 <math>0.87^\circ</math> (<math>&lt;1^\circ</math>)。線寬參考物質 (<math>0.2\ \mu\text{m} &lt; \text{線寬} &lt; 1\ \mu\text{m}</math>)。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>(二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立</p> <p>1.晶圓表面上散射光量測技術建立。</p> <p>2.晶圓表面最小量測微粒直徑可達 30 nm。</p>	<p>與清大奈材中心，發展以 E-beam 製作線寬片技術，週期性符合要求。完成線寬標準片 (200 nm- 1000 nm)修正製程之製作，進行檢測分析。9811 完成 SWA 最佳量測能力分析 (技術報告)，<math>BMC (SWA) = 0.87^\circ</math>。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9807 完成 奈米尺度測試標準操作程序-掃描式探針顯微鏡(SPM)原子力顯微鏡 AFM 儀器法(草案)。</li> <li>● 9803 初步量測機構架設完畢，進行量測試驗。9805 完成晶圓表面微粒佈植系統用小型無塵室建置完成。9806 完成晶圓表面上 30 nm particle 散射偏振光量測系統，進行佈植測試。9807 掃描式散射光量測程式完成。9809 完成掃描式晶圓表面微粒量測系統設計、委託製作。及晶圓表面上 30 nm particle 初步量測。9811 完成掃描式晶圓表面微粒量測系統專利撰寫。9812 完成晶圓表面微粒量測系統的 ICT 和 MSVP 撰寫。</li> <li>● 9801 完成 Galvanometer 詢價與採購，薄膜樣品規格確定。9803 完成差動式快速抖動掃描裝置之購置。9804 完成除水汽之系統建立,10 分鐘內可除濕至&lt;10 %。進行 DTDS 系統架設，測試 THz 波形。9805 完成差動式快速抖動掃描裝置上之樣品夾具製作。完成 SiO<sub>2</sub> 薄膜製程，膜厚有 3 μm , 2 μm , 500 nm , 200 nm 與 100 nm。9806 完成以差動式兆赫輻射量測系統量測 Si/SiO<sub>2</sub> film (2 μm)/Si wafer，並得到 THz 穿透 SiO<sub>2</sub> film (2 μm)的穿透頻譜)。9807 完成 DTDS 量測薄膜樣品訊號最佳化，SiO<sub>2</sub> 薄膜(1.39 μm)樣品之 THz 訊噪比~8.5。9808: 1.39 μm 之 SiO<sub>2</sub> 薄膜樣品之差動式 THz 功率頻譜量測訊噪比最佳化，THz 功率頻譜訊噪比~100 由 THz 穿透 Si 之波形與 SiO<sub>2</sub>/Si 之差分波形，得到 THz 穿透 SiO<sub>2</sub> film 的折射率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>(三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立</p> <p>1. 薄 膜 應 力 量 測 技 術 (thickness&lt;100nm)。</p> <p>2. 薄膜拉伸量測技術(strain rate 0.05 s<sup>-1</sup>)。</p> <p>3. 薄膜電性量測技術(0.1 THz~1 THz)。</p>	<p>頻譜。9809 以差動式兆赫輻射量測系統量測 Si + SiO<sub>2</sub> (1.87 μ m)/Si 之差動訊噪比最佳化達 1000。完成 1.87 μ m 之 SiO<sub>2</sub> 薄膜之折射率頻譜。98010 以差動式兆赫輻射量測系統完成 440 nm 之 SiO<sub>2</sub> 薄膜樣品之 THz 折射率頻譜量測與不確定度分析。9811~9812 完成薄膜電性量測中之折射率訊號量測，範圍 0.1~1 THz。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9801-02 規劃採購光學干涉殘留應力量測裝置之相關配件，並採購光學干涉殘留應力量測裝置。9805 完成光干涉殘留應力量測系統之建立。9807 完成架設防擾流壓克力裝置、裝設四吋衰減鏡頭、建立平面參考鏡面 (1/20 )。</li> <li>● 9804 規劃薄膜殘留應力量測實驗所須之試片規格。9806 對矽基板在未進行沉積薄膜前，進行殘留應力量測。9807 成長 AlN 薄膜於矽基材上，且控制成長膜厚在 100nm 以下。2cm×2cm (30 nm, 90 nm)、3cm×3cm (90 nm) 4cm×4cm(90 nm) 9808 對 Mo/Glass 基板在未進行沉積薄膜前，進行殘留應力量測。9809 完成薄膜殘留應力試片之備製。</li> <li>● 9810 完成 SiO<sub>2</sub> 60nm 與 90 nm 之薄膜變形量之量測。9811 完成 90 nm 氮化鋁薄膜之薄膜殘留應力量測。9812 整理與分析薄膜殘留應力量測之相關數據。</li> <li>● 9801 與清大洽談試片設計型式，利用高分子薄膜包覆奈米碳管。9802 委託清華大學協助奈米碳管複合薄膜之製作，以每分鐘碳管高度約 2 ± 0.2 μ m 之時間參數，分別成長為 5 min, 10 min 與 15 min 之奈米碳管。9805 完成奈米碳管複合薄膜拉伸試片製作，奈米碳管生成條件為利用 5 nm 厚之鐵膜做為催化劑在 800 °C 溫度下通入 Ar/NH<sub>3</sub> 氣體，</li> </ul>	<p>● 無差異。</p>



計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
	<p>再利用高分子 parylene-c 覆蓋奈米碳管。最後，試片尺寸為長 20 mm，寬 1 mm 之奈米碳管複合材料薄膜。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 9808 完成應變率 <math>10^{-2}</math>、<math>5 \times 10^{-3}</math>、<math>10^{-3}</math> 等高分子奈米碳管複合薄膜拉伸試驗。</li> <li>● 9811 完成薄膜拉伸破斷面之微結構觀察。</li> <li>● 9812 整理與分析薄膜拉伸測試之相關數據。</li> </ul>	

### 3.奈米國際量測與產品標準推動分項

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
<p>1.奈米諮議會成立與運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。規劃向 ISO 或 IEC 或 VAMAS 提案項目。</p> <p>2. 重 點 參 加 ISO/IEC/VAMAS/ANF 之 TC 相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見，並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。</p> <p>3.奈米標準文件相關資料平台的建置。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 980105 台灣奈米技術產業發展協會 (TANIDA) 理監事會議上，姚斌誠博士簡報國內外奈米技術標準與產業發展、以及 TNSC 推動現況。</li> <li>● TNSC 成立章程草案完成定稿；確立初期下設四個技術工作群組(TWA)，並草擬完成標準提案與制定之運作流程細則。</li> <li>● 980326 張啟生博士帶領計畫團隊赴標檢局四組(一組列席)洽商討論 TNSC 成立相關事宜：確認 TNSC 之(民間)會議組織架構、功能及任務宗旨，及預估 TNSC 由計畫支出的費用。重點結論：1.以 TNSC 設置辦法為依據，訂於六月召開 TNSC 創始大會；會議之後，所參加的各機構邀請代表專家即成為 TNSC 之當然會員；2.陳局長及吳計畫總主持人為 TNSC 之共同召集主席。</li> <li>● 980415 台灣奈米技術產業發展協會 (TANIDA) 第二屆第 11 次理監事會議上，張啟生博士簡報目前奈米標準技術諮議會 (TNSC) 規劃進度及推動現況，TNSC 成立大會訂於 6 月 26 日舉行。</li> <li>● 0514, 0520, 0526, 0602, 0609, 0616, 0623 針對 TNSC 成立大會籌備事宜，密集進行計畫工作進度討論會：完成 TNSC 會員、四</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 無差異。</li> </ul>

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
	<p>個 TWA 技術工作組專家委員之名單草擬、聯絡邀請與確認；審定版議程(地點/時間)、邀請函寄發與出席大會確認、各式致詞稿&amp;新聞稿草擬/修訂/審定、會議書面資料(諮議會籌備工作報告、諮議會啟動儀式腳本、諮議會設置要點及技術工作組與召集人設立提案報告、四個 TWA 技術工作組召集人年度工作規劃報告)準備/勘誤/付印，並會議前準備事項與工作人員配置查核表。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 6 月 26 日完成 TNSC 會員成立大會；諮議會召集人吳茂昆主持了二個提案審定，以便使後續的工作組的實質工作順利展開：(一)奈米標準技術諮議會設置要點(二)技術工作組召集人及年度工作規劃，二項提案皆全數同意通過。</li> <li>● 0727 下午 14:00 張啟生、周隆亨及何信佳博士一行拜訪觀音鄉東元奈米應材(股)公司(研發處經理郭志徹博士)；了解該公司 CNT 原材應用到 FED 顯示產品之產業供應鏈以及整個製程中碰到的檢測相關需求和議題。</li> <li>● 0822 草擬完成亞洲奈米聯盟(Asia Nano Forum, ANF)連結至奈米國際標準組織 ISO/TC 229 的 ANF 組織聯絡報告(ISO/TC 229 Liaison Report)，將交由 ANF 聯絡官蘇宗榮主任(Liaison Officer: Dr. Tsung-Tsan Su)於 10 月 18~22 日攜至以色列 Tel Aviv (Israel)的 ISO/TC 229 年度會議上口頭報告：主要包括臺灣 TNSC 於 0626 的正式成立、中國大陸 2 份奈米國標(GB/T 22925-2009, GB/T 23413-2009)的刊行、臺灣奈米標章 2 份驗證規範(TN-019-2009, TN-020-2009)的刊行和 4 份草擬中的規範(3 份奈米紡織品、1 份奈米表面塗裝鋁型材)。</li> <li>● TWA 1：召開奈米標準技術第一工作組(TWA 1: Terminology &amp; Nomenclature) 98</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
	<p>年第 1 次工作籌備會；0814 下午 14:30 ~ 16:00 於工研院量測中心 16 館 223 會議室舉辦。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● TWA 1：召開奈米標準技術第一工作組 98 年第 2 次工作會議；於 0929 下午 14:30 ~ 16:30 於台北市和平東路 2 段 106 號(科技大樓 4 樓 4006 室)舉行。</li> <li>● TWA 1：召開奈米標準技術第一工作組 98 年第 3 次工作會議，於 1210 上午 10:00 ~ 12:00，於工研院量測中心 16 館 223 會議室舉行。會議中進行「ISO/TS 27687: 2008 奈米技術 - 奈米體的術語與定義—奈米粒子、奈米纖維及奈米板」中文化 Working Draft 的討論與意見交換。</li> <li>● TWA 2：召開奈米標準第二技術工作組 (TWA 2, Measurement and Characterization) 98 年第 1 次工作籌備會；0526 下午 14:30 ~ 16:00 於工研院量測中心 16 館 223 會議室舉辦，說明 TWA 2 奈米標準工作制訂流程及討論 TWA2 擬制訂標準之議題。</li> <li>● TWA 3：召開奈米標準技術第三工作組 98 年第 1 次工作籌備會；0911 上午 10:00~12:00 於工研院量測中心 16 館 223 會議室舉辦。</li> <li>● TWA 4：召開奈米標準技術第四工作組 (TWA 4: Material Specifications)98 年第 1 次工作籌備會；於 1106 上午 10:00~11:30 於工研院量測中心 16 館 223 會議室舉辦。</li> <li>● 0511-16 傅尉恩博士以 Chinese Taipei delegate 的身份代表赴英國參加 VAMAS Steering Committee (SC) meeting 及參訪 NPL。</li> <li>● ISO/TC 229 2009 上半年技術委員會會議於 0608-12 在美國西雅圖召開，WG2 與 WG3 delegates 分別由姚斌誠博士(工研院)及楊重熙主任(國衛院)代表出席，參與相關奈米標準制定討論。WG1 與 WG4 delegates 分</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
	<p>別由蘇宗榮主任(工研院)及林唯芳教授(台大高分子研究所)代表出席，參與相關奈米標準制定討論。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ISO/TC 229 2009 下半年技術委員會會議於 1018-22 在以色列台拉維夫召開，WG2 與 WG3 delegates 分別由 TNSC TWA 2 主席彭國勝組長(工研院)及 TWA 3 主席楊重熙主任(國衛院)代表出席，參與量測特性鑑定與命名和健康安全與環境相關奈米標準制定討論。WG1 與 WG4 delegates 分別由 TNSC TWA 1 主席蘇宗榮主任(工研院)及 TWA 4 主席林唯芳教授(台大高分子研究所)代表出席，參與術語與命名和物質規格相關奈米標準制定討論。姚斌誠博士亦以 ANF liaison delegate 身份代表出席 WG3，參與有關產品性能方面，相關國際電性之奈米標準的研擬制定討論。</li> <li>● 姚斌誠博士以 ANF liaison delegate 身份代表參與 IEC TC 113 WG 3 在大陸北京(April 14-16, 2009)召開之有 performance 性能方面相關國際電性奈米標準的研擬制定討論。</li> <li>● 奈米國際量測與產品標準分包案期中報告會議(TWA 4 主席，台大林唯芳教授主持與報告)，980721 10:30 於台大工綜館 494 室舉行。</li> <li>● 經各委員及秘書處同仁多方查證，回覆再次修正意見與校對，1013 完成 ISO/TS 27687 中文化文件修改版本第五版，即由蘇宗榮主任 1017 攜至以色列的 ISO TC 229 年度會議中討論。另外，蘇主任 1013 也已先行將所擬的 TS 27687 中文化文件草稿轉寄大陸對應 ISO 委員代表沈電洪博士及王利民教授，徵詢意見，俾努力縮短雙方在簡體和繁體中文奈米詞彙達成一致共識之時間。</li> <li>● 981214 台灣奈米技術產業發展協會(TANIDA)理監事會議上，姚斌誠博士簡報</li> </ul>	

計 畫 目 標	目 標 達 成 程 度	差異檢討
	國內外奈米技術標準與產業發展、以及 TNSC 現況。	

(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
薄膜表面特徵與界面光散射之數值分析和實驗量測	淡江大學機電系	針對單層或多層膜厚之晶圓表面特徵，進行薄膜表面特徵與界面光散射數值分析，分析設定之範圍為膜厚數十到數百奈米，奈米粉體粒徑 30~200 nm。亦進行光散射量測實驗，以驗證數值分析的可靠性。並提供單純薄膜晶圓和薄膜晶圓表面上含有奈米微粒的散射光場分佈圖、散射光偏振狀態分析，及實驗驗證結果。	300	本研究計畫主要使用物體所發出的偏振散射光來分辨量測物體的尺寸大小，如晶圓上奈米微粒粒徑、薄膜厚度、表面粗糙度等。因此加強對於薄膜表面特徵與界面光散射的光學特性和光場分佈之瞭解對於本計畫是相當重要的，此分析量測結果可以使得本計畫在設計光學量測系統時有所參考依據，以期設計出更有效且高精度的偏振散射光量測系統。	無
奈米國際量測與產品標準	台灣大學材料所慶齡中心	奈米國際量測與產品：參與國際標準組織 ISO-TC229 會議及分析國內外(重點為國內)奈米材料產業標準需求，以草擬高優先的標準草案，滿足業界需求。此分包研究擬完成奈米材料產業標準需求研究報告及一份高優先標準草案，應用奈米產業。	900	完成 4 人次代表亞洲奈米聯盟(ANF)參加國際標準組織 ISO-TC229 WG3, WG4 會議，商討奈米科技標準及規格，收集資訊，參與草案討論。 完成兩個太陽能電池使用的奈米物質的標準規範初稿：二氧化鈦奈米桿與碳簇衍生物 PC60BM 在物性的鑑定上作標準化的草案，藉由不同的光學儀器測量來鑑定出奈米級產物的本質與特性，例如：尺寸、純度、吸光性等等，確認再現性，並能夠以量測結果的特殊物性來解釋在太陽能電池上的應用後，以此規格訂定奈米產品的標準，使未來在供需使用上能確實遵守。	無

## 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：張啟生 協同主持人：傅尉恩	(1).奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫主持人：陳朝榮	5	5.42
	(2).薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫主持人：傅尉恩	8	8.69
	(3).奈米國際量測與產品標準推動分項計畫主持人：姚斌誠	4	3.79
		17	17.9

#### 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	
98	預計	12	5	0	0	0	7	7.5	1.6	0.9		17
	實際	13.05	4.85	0	0	0	6.99	8.28	1.69	0.94	0	17.9

註：本表採用工研院職級計算。

### (二).設備購置與利用情形

見附件一、新台幣伍百萬以上儀器設備清單。

(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					
(1)直接薪資	20,938	33.02	20,938	33.06	
(2)管理費	6,700	10.57	6,700	10.58	
(3)其他直接費用	23,027	36.32	23,025	36.35	
2.公費	335	0.53	335	0.53	
經常支出小計	51,000	80.44	50,998	80.52	
(二)資本支出					
1.土地					
2.房屋建築及設備					
3.機械設備	12,000	18.93	11,959	18.88	
4.交通運輸設備					
5.資訊設備(軟體購置)	300	0.47	301	0.47	
6.雜項設備					
7.其他權利	100	0.16	84	0.13	
資本支出小計	12,400	19.56	12,344	19.48	
合計	63,400	100	63,342	100	

## 2.歲入繳庫情形

單位：新台幣元

科 目	本 年 度 預 算 數	本 年 度 實 際 數	差 異 說 明
財產收入	-		
不動產租金	-		
動產租金	-		
廢舊物資售價	-		
專利授權金	-		
權利金	-		
技術授權	-	375,365	
製程使用	-		
其他 - 專戶利息收入	-		
罰金罰鍰收入	-	9,268	
罰金罰鍰	-		
其他收入	-		
供應收入 - 資料書刊費	-	5,330	
服務收入 - 教育學術服務 技術服務	-	75,000	
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	-	464,963	



### 三、人力培訓情形

#### (一) 國外出差

1. 參加(美國氣溶膠研究協會)AAAR 28th 研討會，發表論文，及參訪明尼蘇達大學(翁漢甫研究員，98.10.25~98.11.1)。

美國氣溶膠研究協會 ( AAAR ) 是一個非營利性的專業組織，學會藉由舉辦會議、研討會、及出版專業雜誌(氣溶膠科學和技術 Aerosol Science and Technology , AS&T)，彼此交流以提升氣溶膠相關研究技術。協會會員包括氣溶膠相關的所有科學領域，包括：全球環境、微污染、空氣污染、儀器/測量、氣溶膠化學、材料合成、氣溶膠物理、製藥氣溶膠、職業和公共健康、過濾/分離、大氣科學、燃燒、生物氣溶膠、計量/標準、室內空氣質量、放射性氣溶膠/核安全。

本次研討會主軸可分為論文發表、海報展覽與 technical tutorial 等三大部分，總投稿數約 711 篇。論文發表的部份，主要有氣膠的生成、化性、氣膠量測與儀器設備等。其中有關奈米微粒結構物的製造與應用等，有幾篇研究成果相當豐富的論文發表，如何利用電子噴霧產生氣膠、高溫裂解方式與佈植等產生奈米大小的微粒，應用於材料與粒子控制與分散等研究，對於我們未來前瞻的研究有相當大的助益。

2. 參加「Nanotech 2009」國際研討會發表論文。(林志明研究員，98.5.2~98.5.9)

由美國 NSTI(Nano Science and Technology Institute)所舉辦的「Nanotech Conference & Expo 2009」國際研討會與國際奈米展於 2009 年 5 月 3 日至 7 日在位於德州休士頓的 George R. Brown Convention Center 舉行。研討會主題共區分為「Fabrication, Characterization & Tools」、「Advance Materials」、「Electronics & Microsystems」、「Medical & Biotech」、「Energy & Environment」、以及「Business & Strategy」等六大領域。此次發表的論文歸屬於「Fabrication, Characterization & Tools」中的「Nanoscale Materials Characterization」，題目為「Evaluation of Uncertainty in Nanoparticle Size Measurement by Electro-gravitational Aerosol Balance」。研討會與奈米展共吸引來自世界各地約 5,000 人與會。

在奈米展部份，是與研討會的 Poster Session 合併舉辦，共約有 200 個來自世界各地之奈米相關產業的廠商設攤參展，其中德國、俄國、韓國、瑞士、加拿大、義大利、西班牙、以及比利時等國更是以主題館的方式，呈現該國在奈米科技相關領域的重要成果。一系列的展出如新機能性材料、奈米生技、奈米能源、先進表面技術等，展覽活動涵蓋從核心技術到先進材料、薄膜、元件和其他相關產品。以奈米尺度為核心的奈米技術是厚植於各個產業的技術，主辦單位希望藉由此展覽，提

供各參展與參觀者獲取世界上最先進技術的發展，以及透過跨產業的聯盟，可以創造出新的營運模式和新的市場。雖然相較於日本國際奈米展參加人數動輒數萬人而言相去甚遠，但美國奈米展之展出內容與深度，非常適合奈米相關領域之專業人員參加，日本奈米展則是適合一般普羅大眾參加。

3. 參加 IMEKO 國際研討會發表論文。（潘小晞博士，98.9.5~98.9.13）

由葡萄牙國家實驗室所主辦的「IMEKO 2009」國際研討會於 2009 年 9 月 6 日至 11 日在里斯本舉行。研討會主題有 23 個領域。而微力的主題則分佈於 TC3 及 TC5 兩個主題，TC3 的主題為質量、力及力矩。廣其定義則為微質量、微力及微力矩，微質量是指 1 mg 之質量、微力則指 100 nN 以下之力而微力矩可以扭力扭稱實現之。本次所發表的論文是“Sub-Milligram Weight subdivision and Application in force calibration of nanoindenter”是使用追溯 1 mg 以下法碼的技術來追溯奈米壓痕器的施力。施力到 1  $\mu$ N 的力由質量的測定技術完成。

4. 參加 ASPEN 2009 及 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference，發表研究論文，並至東京參訪 NMIJ/AIST（潘善鵬研究員，98.11.10~98.11.20）

本次出國的主要行程有四個，第一個行程是參加於日本福岡縣北九州市舉辦之「2009 Asian Society for Precision Engineering and Nanotechnology Conference, ASPEN 研討會」，除了參加研討會外並發表論文；由於是精密工程與奈米技術的主要會議，吸引至少數百位學者、專家及製造業者齊聚一堂作技術交換，以期達到產、學、研界的互相交流。

第二個行程是前往日本品質保證機構 Japan Quality Assonance, JQA，拜訪計量計測部門，主要目的是與 JQA 的奈米檢測專家 Dr. Tomizo KUROSAWA 及技術人員 Jun-ichiro KITTA，進行雷射繞射儀的設計與標準檢測技術交流，及雷射繞射儀檢測技術之日後發展，並了解日本在半導體 CD 標準線距檢測與追溯之狀況。

第三個行程是前往日本產業技術總合研究院 NMIJ，拜訪計量標準研究部門，主要目的是與 NMIJ 的奈米檢測專家 Dr. Satoshi GONDA、Dr. Kazuyz NAOI，進行原子力顯微鏡標準檢測技術，以及奈米表粗與奈米階高的量測技術交流。

第四個行程是參加於日本新札幌市舉辦之參加「2009 International Microprocesses and Nanotechnology Conference, MNC 研討會」並發表論文。由於是國際微米製程與奈米技術的主要會議，吸引至少數百位學者、專家及製造業者齊聚一堂。會議共進行四天，並發表論文二篇。

5. 參加「2009 Denver X-ray Conrerence」發表論文；並參訪 NIST。（傅尉恩博士，

98.7.26~98.8.7)

此一行程，主要是參加於美國 Denver 舉辦之 58<sup>th</sup> Denver X-ray Conference。由於是 Residual Stresses 的主要會議，吸引至少上千位學者、專家齊聚一堂。會議共進行五天，每一天均以 4~6 sections，同時進行，晚間則是 poster 的展示。內容豐富，涵蓋 Stresses 的量測、儀器開發、量測軟體、X-ray 的各種檢測應用、ASTM 標準化等。計畫投稿了一篇論文，是應用標準計畫研發之 high-k 薄膜厚度檢測與標準，提供半導體業，校正與標準的參考。此一論文，吸引不少與會學者詢問，並要求一份論文正本，以做參考。此外，並參與 ASTM 標準會議，表達國家實驗室參與應力量測標準制定之意願。再一次與 Chair Dr. Clayton Ruud 表達歡迎國家實驗室參與。後續工作將與其秘書聯絡參與事宜。

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

6. 參加「2009 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics」發表論文。（劉承揚博士，98.5.10~98.5.17）

此次出國主要參加由 NIST 在 College of Nanoscale Science and Engineering, University at Albany, NY 所舉辦的 2009 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics。此國際研討會從 1998 年開始舉辦，每 2 年舉辦一次，至今已是第 6 屆，會議內容主要是討論奈米電子在計量與特徵方面的研究發展，研討會主要的 Sponsors 有 NIST、semi、SRC、NSF、APS、IEEE 等，其中總共約有 30 篇的 oral presentations 和 100 篇的 poster presentations，可算是中型規模的研討會，但是在 Metrology for Nanoelectronics 的未來發展方向是相當重要之研討會。

發表研究論文「Polarized Optical Scattering Measurements of Metallic Nanoparticles on a Thin Film Silicon Wafer」一篇。微小物體所發出的偏振散射光可以有效的用來分辨物體的特徵。本論文使用雙向反射分佈函數來分析薄膜晶圓表面上奈米級金屬微粒的粒徑大小，並成功的發展出一套多方位的光學偏振散射光量測系統，可以有效的量測附著在薄膜晶圓表面上奈米級金屬微粒的粒徑大小。一個可四個角度旋轉的多方向調整機構被設計用來量測由薄膜晶圓表面上奈米金屬微粒附著物所發出的偏振散射光，再經由此散射光的 Mueller 矩陣來計算和分辨奈米金屬微粒附著物的大小，其可量測的奈米金屬微粒的直徑範圍為 50 nm~350 nm，並

可承載 4~8 吋的薄膜晶圓進行量測。

7. 參加 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference，發表研究論文,並至東京參訪 NMIJ/AIST (吳忠霖博士，98.11.12~98.11.20)

參訪日本國家實驗室 AIST/NMIJ(National Metrology Institute of Japan),瞭解日本質量計量標準實驗室(Mass Lab.)與奈米壓痕實驗室(Nanoindentation Lab.)相關技術進展,透過參訪達成相互交流之目的;而微系統與奈米技術研討會(MNC)為日本舉辦多年之研討會議,會議內容涵概利用薄膜製程之微系統元件設計與奈米技術之相關奈米材料、製程與工具等主題。藉由於該會議中發表相關之研究論文,並蒐集各國在奈米科技方面的相關技術、系統、儀器等資訊,用以提昇本國之技術能力。

8. 參加 Diamond 2009 發表論文 (遲雅各博士，98.9.4~98.9.12)

本次於希臘所舉辦之材料領域相關之國際研討會,為 20th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides。European Diamond 研討會為每年於歐洲不同國家舉辦之國際性研討會,此研討會最早開始是在 1990 年於瑞典的 Crans Montana 舉辦。參與的國家有來自包含美國、英國、法國、日本、澳洲等近 40 個國家。參加此研討會可獲得全球在材料領域無論是在基礎科學或是工業應用上最新的發表,其中有許多之文章為材料機械性質相關之研究,而這些材料機械性質相關之研究對於未來發展之材料機械性質之量測技術開發具有重要之參考價值。

本次發表論文,篇名為“Influence of Plasma Post-treatment on diamond-like carbon films synthesized by RF Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition”。主要探討以電漿輔助化學氣相沈積法(r.f.-PECVD)鍍製類鑽石碳膜(Diamond-Like Carbon Films, DLC Films)後,利用電漿蝕刻效應做薄膜表面後處理,使得薄膜表面的粗糙度與薄膜表面結構發生變化。並且在粗糙度與結構發生變化的狀況下來量測薄膜表面之機性質變化。此外,在參與發表之文章中有關複合材料之薄膜的機械性質之報導乃為目前產業界重視,因為此領域的發展對相關產業的應用十分重要。而在薄膜殘留應力的報導大多集中在製程與結構對薄膜殘留應力的影響之相關研究。除了薄膜機械性質之相關研究外,其他結構之材料機械性質亦開始受到重視,如單根單壁之奈米碳管的機械性質量測,相關之量測技術可作為未來發展此奈米結構之機械性質量測研究之重要參考資訊。而除了薄膜之機械性質外,薄膜之熱性質之量測技術亦廣為與會人員所重視。

9. IEC TC 113 Working Group 3 Spring Meeting 2009 (姚斌誠博士，98.4.12~98.4.17)

國家奈米科學中心是於 2003 年 12 月 31 日由中國科學院奈米科技中心、北京大學和清華大學聯合發起,中國科學院與教育部共建成立。國家奈米科學中心主要

圍繞奈米加工與奈米元件、奈米材料與奈米結構、奈米醫學與奈米生物技術、奈米結構特徵與檢測等四個領域從事奈米科學的基礎研究和應用基礎研究，同時它也是中國奈米技術標準化委員會 TC 279 的掛靠單位（實際為祕書處）。中國奈米技術標準化委員會的工作範圍主要是負責納米技術領域的基礎性國家標準(包括納米尺度測量、納米尺度加工、納米尺度材料、納米尺度器件、納米尺度生物醫藥等方面的術語、方法和安全性要求等)制修訂工作，不包括產品標準。技術委員會下有一個次委員會（這個主席也是 ISO TC 229 WG4 的主席），技術委員會的祕書長為國家奈米科學中心主任王琛。主席為中國科學院常務副院長白春禮。

這次的會議由中國科學院微電子研究所主辦，共來自美國、德國、日本、韓國、中國等國家和二十多位代表參加了，此次會議中國科學院微電子研究所為中國奈米技術標準化委員會 TC 279 下的 WG3 的一個工作單位，負責辦理這次會議的是該所微奈米加工技術研究部主任韓立博士。此次會議討論了兩個奈米碳管的提案內容及兩個任務工作小組的進度及內容。兩個奈米碳管的提案對國內的產業較無立即之衝擊，對研究單位的助益較多。兩個任務工作小組的內容（奈米電子標準的藍圖及奈米接點的範疇）可能對國內的產業有部分影響，後續需觀察期提案的內容，對相關的提案以專家的身分加入其討論群組。

#### 10. 參加 ISO TC 229 Meeting（姚斌誠博士，98.6.7~98.6.14）

此次大會在美國西雅圖 Marriott Waterfront 旅館舉行。開幕式由美國國家代表 Clayton Teague 和 ANSI 代表主持。開幕式邀請二位工業界代表現身說法其公司運用奈米科技之情形。一是 RTI International (David Myers, dmyers@rti.org)，另一為 Siemens。最後由 TC 229 主席英國 Peter Hatto 說明自 2005 年 TC 229 成立以來已有 40 個 active projects，2 個報告出版，除了會員外，有 25 個 internal liaisons 和 6 個 external liaisons 加入，其認為此 TC 之進展順利。

個人參加之分組會議為 WG2(量測與特性分析)，大約有來自於 12 個國家的 40 個專家與 4 個聯盟組織代表參加聯合工作小組 2（JWG2）的討論，目前 JWG2 的計畫案可分為幾個領域：

Carbon nanotubes and related structures (SWCNT, MWCNT)

單壁奈米碳管：共有 7 個計畫(PG1,2,3,4,6,7,8)

多壁奈米碳管：共有 4 個計畫(PG5,9,12,ISO/IEC TS 62607)

Engineered nanomaterials

共有 2 個計畫(PG10, ISO/TR 11808)

Basic metrology at the nanoscale

共有 1 個計畫(PG11)。

奈米碳管的計畫對國內的產業較無立即之衝擊，對研究單位的助益較多。三個任務工作小組的內容（策略、計量、術語與題目調和任務小組），前兩個可能對國內的產業有部分影響，後續需觀察其提案的內容，對相關的提案以專家的身分加入其討論群組。

#### 11. 參加 ISO TC 229 meeting（蘇宗榮主任，98.6.7~98.6.14）

參加 ISO TC229 的會議，有二個主要目的，一是參加工作小組，負責的是專有名詞和命名法(terminology & nomenclature, JWG1)，掌握最新資訊，另一為在最後一天的大會上作 ANF (Asia Nano Forum) Liaison Report。

此次大會在美國西雅圖 Marriott Waterfront 旅館舉行。開幕式由美國國家代表 Clayton Teague 和 ANSI 代表主持。Clayton 致詞時表示，美國在奈米科技上強化方向在降低奈米科技之 side effect、增強國際合作和增加 NNI 之投入。在 ISO TC229 之進展上，目前已出版二個文件，一是 nano-object (TS)，一是 safety practice (TR)。開幕式邀請二位工業界代表現身說法其公司運用奈米科技之情形。一是 RTI International (David Myers, dmyers@rti.org)，另一為 Siemens。RTI 強調其公司任務是 "Turning knowledge into practice"。最後由 TC 229 主席英國 Peter Hatto 說明自 2005 年 TC 229 成立以來已有 40 個 active projects，2 個報告出版，除了會員外，有 25 個 internal liaisons 和 6 個 external liaisons 加入，其認為此 TC 之進展順利。

本次參加之分組會議 WG1(專有名詞和命名)有 10 個計畫，conveyor 是加拿大之 Clive Willis，其在會議一開始表示有數項策略議題需討論，一是 ISO 之出版品，以英文為主，將有西班牙文(墨西哥、西班牙負責)，中文版(中國和 ANF 負責)、法文等。有幾個專有名詞仍有些混淆，例如 nanostructured material、nanostructured manufactured process 和 engineering material。在 roadmap 方面，其提出三個方向，一是 redefine priorities (世界趨勢)，一是 building beyond 2011(產業 emerging 需求)，以及 the approach for nomenclature (命名法仍缺，已與 IUPAC 簽 joint statement of intent to collaborate，細節仍需討論)。

#### 12. 參加 VAMAS Steering Committee Meeting（傅尉恩博士，98.5.11~98.5.16）

凡爾賽先進材料與標準計畫(VAMAS：The Versailles Project on Advanced Materials and Standards)，為 1982 年予法國凡爾賽，西方 7 大工業國(美、英、德、法、意、加、日和歐盟)召開的經濟會議(G7)上，商定簽署成立的。並歡迎其他國家研究組織參與相關研究活動。成立的主要目的是藉由國際合作，提供先進材料量測、測試、規格分類和標準的技術基礎，以支援高科技產品的貿易服務。

VAMAS 的活動，強調標準制訂前的量測研究與合作、量測結果的比對與標準化優先次序的共識建立，藉由此一系列的活動，提供有關國際一致的測試方法建議予國際標準組織，以促進前瞻材料的標準制定與發展。

其藉由其下設立 Steering Committee (SC)來進行推動，每個 SC 下包含了三個以上的會員代表，主席與秘書處三年一循環由美國與歐盟輪流擔任，其他會員國也可依需求任職。

本計畫於 97.5.20 完成 MOU 的簽訂，正式加入 VAMAS 組織，並參與 VAMAS Steering Committee Meeting 的奈米國際標準制定，收集奈米標準發展資料。目前，SC chairman 初步決定，由 Taiwan (Chinese Taipei) 擔任與 BIPM 組織聯繫的角色，進行組織間在標準追溯上的協調與合作。

### 13. 拜訪 NIST, E. Fjeld Company (何信佳博士，98.8.2~98.8.8)

奈米技術計量標準計畫中奈米粒子形貌與分佈量測技術，運用計量型電子顯微鏡做為形貌的量測，然而這種先進的系統並無既有的商業機台，需結合高解析度場發射式電子顯微鏡及可用於電子顯微鏡之平台。因此此次出國的目的是訪問已有計量型電子顯微鏡經驗之 NIST, Nanometer-Scale Metrology Group 以了解計量型電子顯微鏡運作模式，再者訪問有改裝計量型電子顯微鏡平台經驗的 E. Fjeld company 以了解平台規格。

訪問 NIST, Nanometer-Scale Metrology Group, Precision Engineering Division。負責接待的是 Dr. Andras E. Vladar (SEM Project Leader)，在兩天的訪問中他簡介了計量型電子顯微鏡。NIST 是以 FEI Nova 600 NanoSEM 及 Helios DualBeam 兩機型改裝為計量型電子顯微鏡。在計量型的 SEM 中考量的兩個重點，一是環境、二是量測參數。

NIST 的計量型平台即為 E. Fjeld 為 NIST 所製造的。E. Fjeld 總裁 Mr. Chris Howe 和前總裁 Mr. Edward T. Fjeld(目前仍就為公司設計客製化產品)二人介紹公司、產品和客戶，他們大多為廠商設計製造自動化系統和平台，台積電亦為他們的客戶之一，為此 Chris 還來過台灣數次。他們也幾乎與目前所有的電子顯微鏡公司合作客製化平台和 air lock chamber，其中合作的最大宗就是 Zeiss。

### 14. 參加 73rd IEC General Meeting 中之 ISO/TC 229/JWG 及 ISO/TC 229 會議 (蘇宗榮主任、彭國勝博士、姚斌誠博士，98.10.17~98.10.24)

本次行程為出席在以色列特拉維夫舉行的 ISO TC 229 奈米技術標準化會議，本次會議乃藉 73 屆 IEC 年會之便，與 IEC TC 113 聯合舉行，由以色列標準局協辦。台灣以 ANF 代表的名義共有五位成員出席，分別由工研院蘇宗榮參加 JWG1、

工研院彭國勝參加 JWG2、國衛院楊重熙參加 WG3、台大林唯芳參加 WG4、工研院姚斌誠參加 IEC TC 113 WG3。

此次會議正式確認 ANF 成為 IEC TC 113 WG3 的 D-liaison 會員，姚斌誠並代表 ANF 作了簡短的報告。本次 IEC 大會加上 ISO TC 229 共約有千人以上參加，其中日本、大陸出席者各有百餘人，韓國也有 70 多人參加，各國似均將標準制定列為重要活動，在會議中各國代表均有其特定任務，為本國產業爭取利益，如韓國對奈米銀、大陸對碳酸鈣、日本對奈米碳管與二氧化鈦、美國對奈米材料的健康安全影響等，背後均有其用意。

TC 229 相對其他 ISO TC 而言是比較新的 TC，研究出身的提案者常以撰寫論文的模式來撰寫 ISO 提案，常造成後續討論的困擾，為了提昇標準提案的文件品質，本次會議特商請英國 BSI 的專家來協助解說 ISO 標準的撰寫格式與技巧。研究出身的提案者，也常對量測追溯的觀念較不足，本次會議在加拿大 NRC 代表 Dr. Jennifer Decker 的推動下，同意將 JWG2 的 metrology check-list 推廣至 TC 229 各工作組，以作為新提案的查核項目，擴大 NMI 計量追溯的專業在 ISO TC 229 的影響力。對於不確定度評估的方法，在 NMI 之間一向都以 ISO GUM 為依據，此繁雜的評估手法似乎很難在檢測實驗和研究單位之間推行，本次會議 Dr. Decker 再提出擬引用 ISO/TS 14253-2:1999(E) [Procedure for Uncertainty of Measurement Management (PUMA)] rough estimation and iteration 的概念，希望能為檢測實驗和研究單位找到可依據的簡易程序，當然也藉此想區隔 NMI 與一般檢測實驗的水準，不過時機似尚不成熟，會議未能充分討論。WG3 (環境健康安全)與 WG4 (材料規格)的提案，主要在討論為什麼及要量什麼參數，JWG2 則負責這些參數怎麼量以及量測方法標準化，但目前各 WG 之間的相互配合並不是很好，將來要增加橫向的交流，讓量測之需求與供給能趨一致。WG4 (材料規格)則由大陸擔任召集人。

## (二).國外客座研究

### 1.赴日本 NIMS(National Institute for Materials Science)進行客座研究，題目為 X-Ray Metrology for Thin Film Characterizations (張詠晴研究員，98.8.24~98.11.20)

在奈米計畫薄膜標準量測技術分項中，薄膜結構中薄膜厚度、結構、介面等，精確量測技術分析是為關鍵因子。目前已擁有 XRR 單層膜厚度量測技術，但為精進量測技術及提高量測精度，薄膜結構、介面(interface structure)及表層下(buried surface)物性量測技術，至為重要。因此，奈米計畫薄膜標準量測技術分項，規劃薄膜結構、介面及表層下物性量測技術為未來循序漸進欲達成之目標。針對相同的理念，日本 NIMS 亦針對介面及表層下物性量測技術此特性研究發展出多元的研究方向，例如：水分子與疏水/親水性的薄膜介面(important factor to solar cell



applications)。藉由與 NIMS 的薄膜特性量測技術的交流，可以擴大我們既有的 X 光薄膜量測系統之應用與研究深度。

### (三)國際技術交流

- 1.美國NIOSH Dr. Stefaniak, Aleksandr B研提「International Coordination of Nanoscale Reference Materials」。
2. SCI期刊Materials Science and Engineering: A美國主編J. Daniel Whittenberger邀請計畫協助論文之審理。

### (四)教育推廣

#### 1.國內研究生培訓：

- (1) 國立清華大學化工系博士生薛涵宇君參與粒子分項奈米技術資訊分析(98 年 1 月-98 年 3 月)：

協助搜集奈米技術相關資訊，包括奈米技術應用於各產業領域之產品資訊、學研機構的研究項目和成果推廣與應用、各國奈米技術相關標準、奈米標章廠商等相關資料及網站訊息。

- (2) 國立中興大學光電所碩士生黃天佑君參與粒子分項的光鉗機構研究研究(98 年 1 月-98 年 6 月)：

參與光鉗機構用架設及研究光鉗微力施加之狀況。本年度已初步完成光鉗結構之架設及光鉗微小懸浮粒子準備，後續研究將準備以精密移動平台取代原有平台提昇機構精度。

- (3) 國立台灣科技大學自動化及控制研究所碩士生梁辛瑋君參與奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項中移動台控制研究(98 年 1 月- 98 年 8 月)：

該生今年畢業完成碩士學位；現就讀於交通大學光電研究所博士班。其協助二階長行程位移機構的建立，已初步完成機構架及並撰寫 Labview 控制程式，完成技術報告一篇(編號:073985774)。

- (4) 台灣科技大學機械所博士生陳智榮君參與薄膜分項 AFM 量測技術與量測軟體設計研究(98 年 1 月-98 年 12 月)：

參與薄膜分項 AFM 量測 CD(critical dimension)技術研究,今年針對側壁角度(Side Wall Angle, SWA)之檢測，使用 Labview 軟體，設計計算 SWA 之程式，包含將 AFM 量測存檔格式之讀取，人機界面選擇 SWA 分析位置，再以最小平方法得到側壁角之量測值，同時計算在使用最小平方法時，角度量測值之不確定度。

- (5) 台灣科技大學機械所碩士生林彥德君參與薄膜分項薄膜厚度檢測研究(98 年 1 月-98 年 12 月)：

應力亦是薄膜系統所必須面對的問題之一，因此利用 X 射線繞射量測可觀測應力在薄膜上的分布。採用 X 射線繞射殘留應力量測技術，可更準確地獲得薄膜內部之殘留應力，透過所建立之技術，未來可用於薄膜之熱性質材料常數。目前文獻上關

於微奈米薄膜殘留應力之研究，大多採用彎曲樑(Bending beam)之方法，亦即利用幾何光學(Geometrical optics)方法之方式獲得薄膜之殘留翹曲(Residual warpage)，此方法係沿薄膜結構之某一線上之進行掃描，透過光檢測器上光點之變化，計算薄膜之殘留翹曲量，再藉由微小薄膜力學理論推算薄膜內部之殘留應力，此方法最為人詬病之處在於所獲得之殘留翹曲量精度不足。

- (6) 中興大學材料所碩士生姜慶國、陳仕憲參與薄膜分項薄膜材料特性檢測研究(98 年 1 月-98 年 6 月；98 年 7 月-98 年 12 月)：

參與建立 high-k 薄膜的特性量測。利用 X 射線量測原理，進行 high-k 薄膜 Amorphous 特性量測，薄膜包括  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{HfO}_2$  厚度及結晶狀態研究，以作為厚度量測評估時之不確定因子評估。進行  $\text{HfO}_2$  試片高溫退火處理進行，並進行  $\text{HfO}_2$  試片及基材之應力量測及進行 20 組之 high-k 薄膜  $\text{Al}_2\text{O}_3$  及  $\text{HfO}_2$  厚度量測，厚度為 5 nm。

- (7) 成功大學機械系博士生王鴻文參與薄膜分項散射光理論分析、實驗量測研究(98 年 1 月-98 年 7 月)：

參與建立散射光理論分析和量測系統測試，加強對於薄膜表面特徵與界面光散射的光學特性和光場分佈之瞭解，以期設計出更有效且高精度的偏振散射光量測系統。

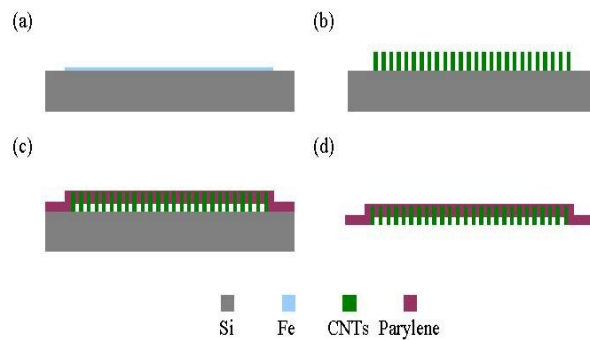
- (8) 清華大學動機系碩士生黃建銘參與薄膜分項薄膜試片之製程實作(98 年 1 月-98 年 7 月)

薄膜在半導體、綠色能源與奈微機電(NMEMS)系統等相關產業應用扮演著重要的角色，隨半導體線寬的縮減及各類電子元件的微型化，薄膜機械性質在元件設計中逐漸受到重視。如介電層的氧化矽( $\text{SiO}_2$ )與氮化矽( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )、導電金屬薄膜( $\text{Al}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ni} \dots$ )、避免擴散與防蝕抗磨耗之保護層皆運用薄膜製程。但因薄膜機械性質萃取遠較巨觀材料機械性質來得不易量測。因此，透過教導該學生利用經校正追溯之奈米壓痕(N10)與微奈米機械性質量測系統(N11)，並與學校自行開發之設備相互比較。透過研究薄膜機械性質，來達成培訓學生之目的，該生並協助薄膜試片製程之實作。所進行的研究為利用奈米一期購置之奈米拉伸 奈米壓痕量測系統與清大動機系開發之鼓膜量測系統，探討不同薄膜量測技術對於薄膜機械性質量測結果之影響。

- (9) 清華大學動機系碩士生蘇皇碩參與薄膜分項奈米碳管製備研究(98 年 1 月-98 年 12 月)

自 1991 年日本學者 Sumio Iijima 發現奈米碳管後，由於碳管具有高比強度、勁度、優異導電與熱傳導等特性，吸引大量學者投入相關研究。奈米碳管高強度的機械性質，適合作為高分子基材的補強材，同時又能改變不具導電性高分子轉換為導電材質。因此，奈米碳管複合薄膜為深具潛力應用之薄膜材料。透過與清大動機材料機械性質實驗室(MPL)與微機電實驗室(MDL)研究生進行生長多壁奈米碳管(MWCNTS)，並覆蓋聚對二甲苯(Parylene-C)高分子製作奈米碳管複合薄膜。薄膜製程如圖所示，利用濺鍍作為成長奈米碳管催化劑鐵膜(厚度 5 nm)沉積於矽基材上，如圖 a 所示。圖 b 中，具垂直準直性之奈米碳管則透過催化劑在 800 °C 環境下將乙炔

熱裂解通入氫與氮氣體，混合三種氣體成長奈米碳管。接著則是利用化學氣相沉積於室溫環境下將聚對二甲苯(Parylene-C)沉積於準直奈米碳管上如圖 c 所示，完成奈米碳管複合薄膜製作。除現有之準直性奈米碳管外，擬透過調變時間參數或不同催化劑如 Pd/Ni 生長具不同長度與特性之奈米碳管。



奈米碳管複合薄膜試片製作流程

(10) 大同大學材料所碩士生方彥理參與薄膜分項薄膜應力檢測研究(98 年 1 月-98 年 7 月)

探討以電漿輔助化學氣相沈積法(r.f.-PECVD)鍍製類鑽石碳膜(Diamond-Like Films, DLC)後，利用電漿蝕刻效應做薄膜表面後處理，使得薄膜表面的粗糙度發生變化與薄膜表面結構發生改變，在粗糙度與結構發生變化的狀況下藉由奈米壓痕量測系統(Nanoindentation Measurement System)與全域性光學干涉技術來量測薄膜表面之機械性質與薄膜殘留應力變化。量測結果顯示，在較低的電漿後處理壓力下，壓痕硬度(Indentation Hardness)下降的幅度比在高壓電漿後處理的壓痕硬度更低，這項結果和拉曼之結構分析趨勢相互呼應，即在較低的氮氣電漿後處理壓力下，其表面受到較高能量的分子轟擊，造成表面原子活化，使得其結構變化傾向較穩定的類石墨結構，使其在壓痕硬度上的表現較高壓下之電漿後處理還要來的差。在薄膜殘留應力量測方面，乃利用全域性光學干涉技術量測薄膜之殘留應力，相較於一般利用幾何光學及表面輪廓儀量測方法，可獲得較準確之製程殘留應力。類鑽碳膜在經電漿後處理後之薄膜殘留應力(無論在何種後處理條件下)，其薄膜殘留應力均比未經電漿後處理下之薄膜殘留應力低，其原因可能是經電漿後處理後之薄膜殘留應力有被局部釋放來。但在不同電漿後處理條件下所量測之薄膜殘留應力，其量測值差異不大，其原因可能因為後處理下所影響的深度不大，故所造成之表層結構改變有限，使得其薄膜殘留應力的變化不會因不同電漿後處理條件下而有明顯的差異。

(11) 長庚大學機械系碩士生吳鳳森君參與薄膜分項材料機械性質檢測(98 年 1 月- 98 年 7 月)

探討生醫材料中光聚合複合樹脂(牙齒填補材料)之機械性質研究。由於光聚合複合樹脂本身為複合材料，且填料的尺寸也達到微米尺寸，因此得出的硬度是由基底、

填料彼此影響後的結果。本研究乃利用顯微維氏硬度量測設備與奈米壓痕量測系統運用在牙齒修質的光聚合複合樹脂材料之機械性質量測上，針對不同的光照時間、不同光照距離.....等參數來觀察其機械性質變化。量測結果顯示：隨著光照時間的增加光聚合複合樹脂之牙齒填補材料的壓痕硬度會有增大的趨勢。而使用顯微維氏硬度量測設備來量測的光聚合複合樹脂之機械性質方面，量測結果顯示：雖然隨著光照時間的增加其硬度亦有增加的趨勢，但其趨勢並不顯著。

- (12) 成功大學光電所博士生游博文君參與薄膜分項散射光實驗量測、THz 薄膜量測(98年1月-98年12月)

THz 薄膜量測：完成差動式快速抖動掃描裝置(Galvanometer 與其支撐座、樣品夾具等)之規格設計，使 THz 差動式訊號可如期量測。量測各種薄膜厚度之差動訊號，並完成薄膜折射率與厚度之量測，使後續之技術報告與國內會議論文能如期產生。

- (13) 清大光電所博士生陳彥良君參與奈米國際量測與產品標準推動分項(98年1月-98年12月)

該生參與建立台灣奈米標準技術諮議會資訊網網頁架構設計，網頁規格功能確認，委外網頁設計討論，動態網頁呈現確認作業，及網頁測試驗收。

- (14) 清華大學動機系博士生劉源棟參與薄膜分項試片製程實作(98年7月-98年12月)

委請該生製做薄膜試片，協助半導體黃光微影與蝕刻製程，以利薄膜機械性質之研究；並協助相關薄膜機械性質量測與元件設計之文獻收集。

- (15) 大同大學材料所碩士生胡宇光參與薄膜分項薄膜試片製程實作 (98年7月-98年12月)

針對矽基板上沉積不同碳源之類鑽碳薄膜，如甲烷或乙炔；以及改變不同實驗參數之相關薄膜製程，如不同比例之碳源與氮氣或不同比例之碳源與氫氣之相關製程。

- (16) 逢甲大學材料所碩士生胡文誠參與薄膜分項薄膜應力量測 (98年7月-98年12月)

針對不同薄膜(如陶瓷膜,金屬膜)沉積於矽基板下所進行相關之殘留應力量測；此外，亦進行沉積於金屬基板之薄膜應力量測。然而由量測數據發現，於沉積薄膜前之金屬基板之表面粗糙度與平整度將決定可量測薄膜面積的大小範圍。

## 伍、成果說明與檢討

### 一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項

#### 【年度目標】

##### (一) 奈米粒子形貌與分佈量測技術

- a. 場發射環境掃描式電子顯微技術(最佳解析度 1 nm)。
- b. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術(等效粒徑 20 nm)。

##### (二) 奈米粒子分散技術

##### (三) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立。

1. 建立低剛性之撓性結構，其剛性(或力常數)  $\leq 40 \text{ N/m}$ 。
2. 建立樣本移動台作為精確移動樣本用途：使用 Fabry-Perot 干涉儀或外差式干涉儀配合 VME-BUS 的使用建立解析度小於 1 nm 的干涉儀機構。
3. 建立建立高解析移動平台機構：配合壓電陶瓷及直流馬達的使用，建立高精度樣本或光源移動平台，解析度小於 10 nm、行程大於 100  $\mu\text{m}$ 。

## 【本年度成果】

### (一)、奈米粒子形貌與分佈量測技術

#### 1. 場發射環境掃描式電子顯微技術

為獲得奈米粒子形貌特徵，便於與其他量測系統之粒徑及分佈結果比較，因此決定以場發射 SEM 作為粒子微觀的量測，並改裝為計量型 SEM。本計畫已於 FY98 完成 FE-ESEM 的規格訂定、系統採購、以及組裝測試。所購得之 FE-ESEM 外觀如圖 1-1 所示，其最佳解析度可達 1 nm (操作電壓 15 kV，如圖 1-2)[1-1~1-3]，此系統可操作於低真空模式(範圍 2 Pa 至 133 Pa)裨益於半導體及絕緣體之量測，且此系統擁有此類高階系統中最大腔體(520 mm ( $\phi$ )  $\times$  300 mm (H))，易於 FY99 執行計量型平台的改裝。



圖 1-1 ZEISS 60 VP FE-ESEM

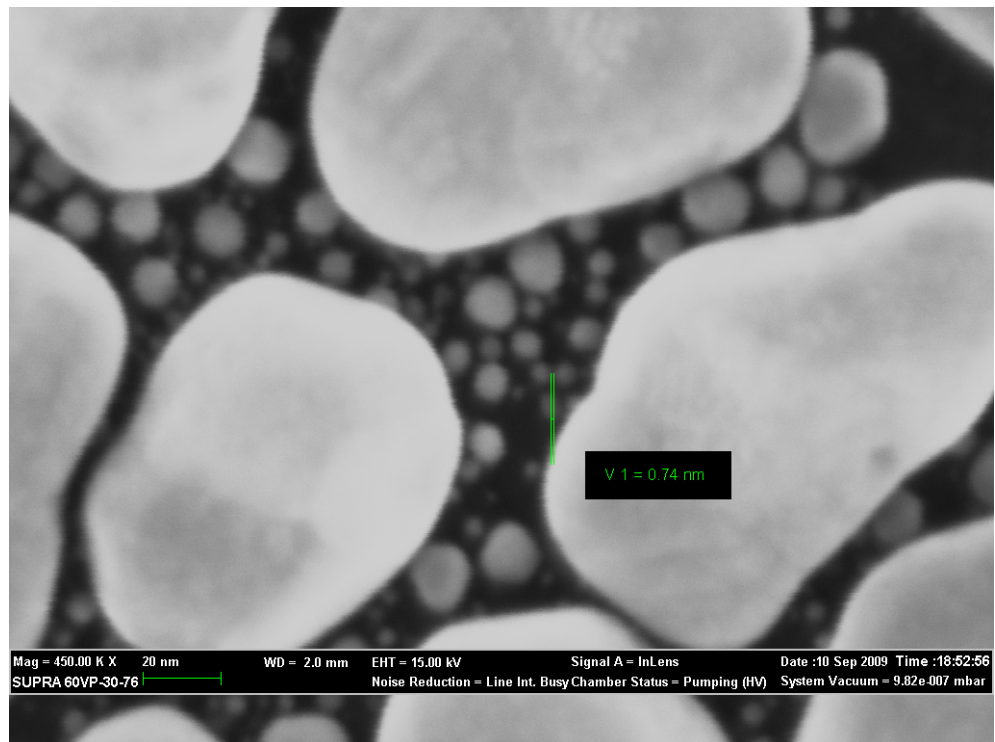


圖 1-2 SEM 影像解析:  $\leq 1.0$  nm at 15 kV, WD 至少為 2 mm

二次電子訊號由 in-lens 檢測器獲得。圖 1-2 操作在量測電壓 15 kV，所量得之金粒子解析度小於 1 nm，同時不同量測電壓下(1 kV)也可獲致數奈米之解析度，如圖 1-3。然而未來要成為計量型的 SEM，希望獲得表層訊號，會操作在較小之量測電壓，原因是較弱之電壓其穿透深度越淺，越能量測出表面形貌。因此我們測試了 0.2 kV 及 0.1 kV 的解析度，如圖 1-4a、1-4b 顯示，在小電壓時的量測結果，雖然其解析度較差，然而表面結構較為豐富。



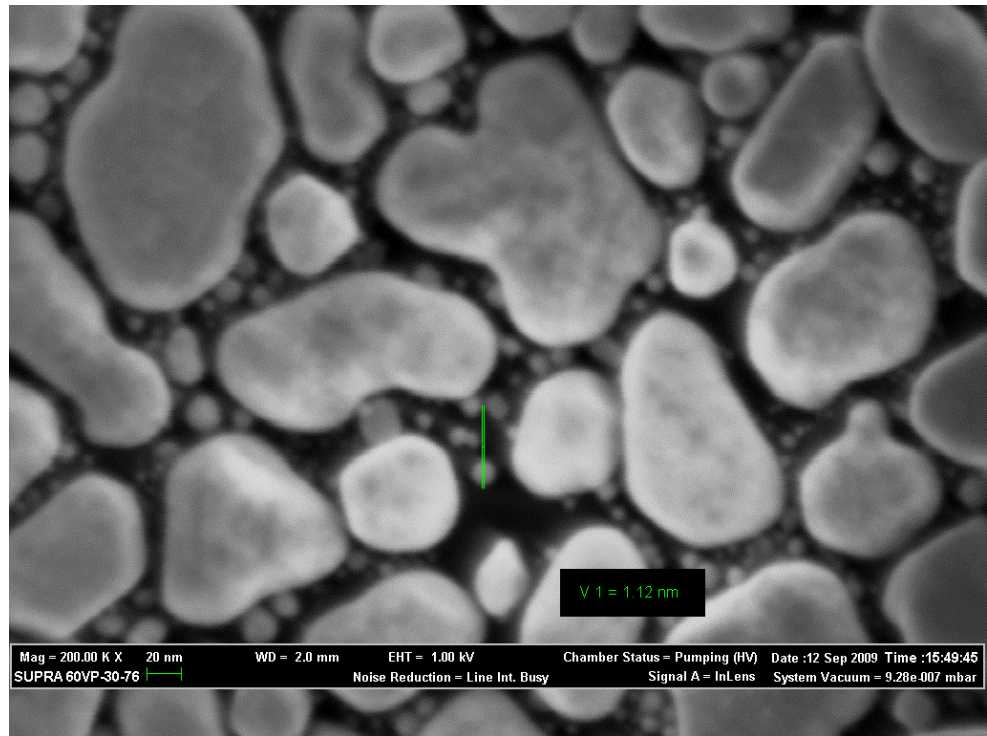


圖 1-3 SEM 影像解析:  $\leq 1.7$  nm at 1 kV, WD 至少為 2 mm

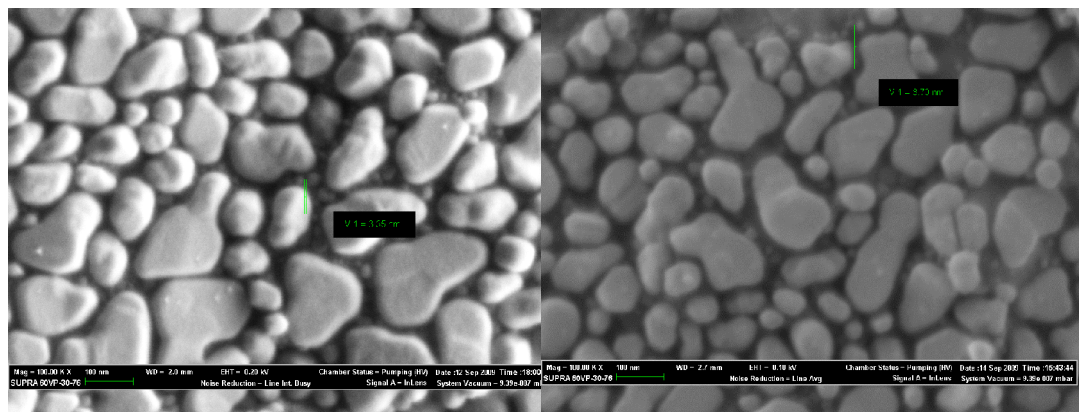


圖 1-4a 影像解析:  $\leq 3.5$  nm at 0.2 kV,  
WD 至少為 2 mm

圖 1-4b 影像解析:  $\leq 4$  nm at 0.1 kV,  
WD 至少為 2 mm

除了上述一般高真空的量測模式外，此系統還可操作於低真空模式。此模式可減少電荷累積所造成影像飄移，甚至無法成像的問題。原理(圖 1-5)是利用被散射之二次電子在離開樣品表面後與空氣分子撞擊，形成正離子及由空氣分子所散射之二次電子並且發出光子，這個過程會在空氣分子間進行數次進而增加光子數目，所獲致光子最終進入變真空檢測器，成為量測二次電子之訊號。然而被游離之正離子會被因充滿負電荷的樣品表面所吸引進而形成中和的效應，圖 1-6 是變真空的量測結果。



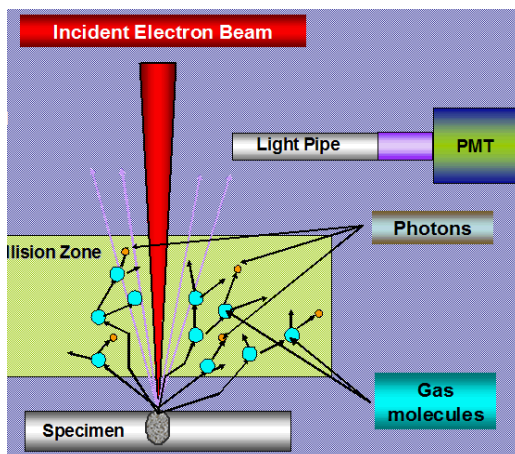


圖 1-5 SEM VP mode principle

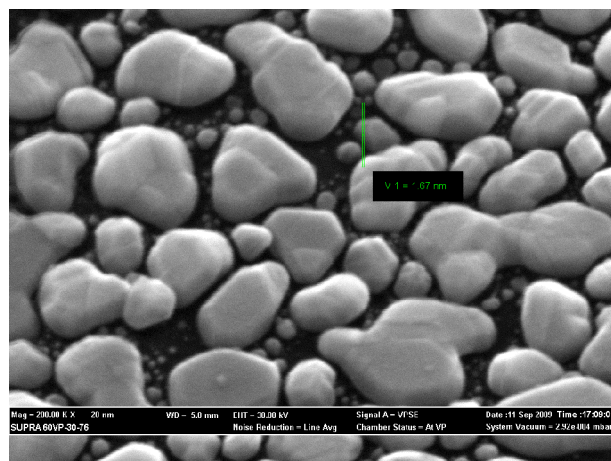


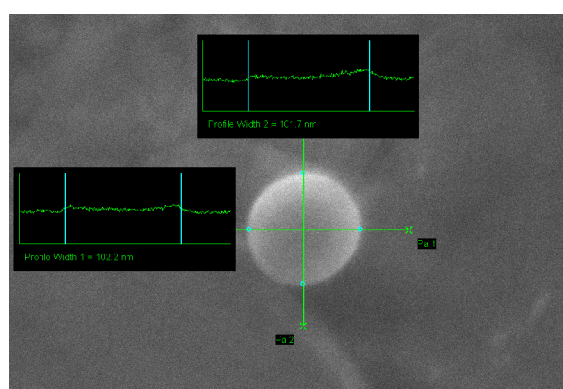
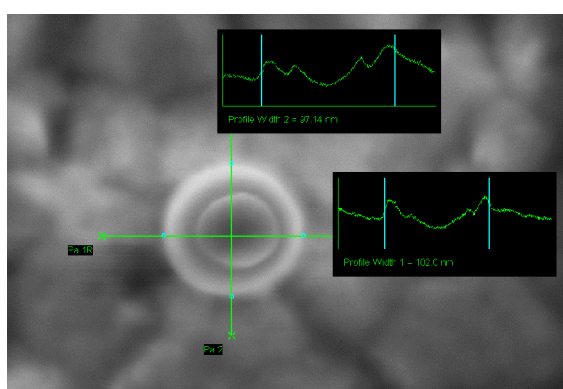
圖 1-6 SEM 影像解析:  $\leq 2.0 \text{ nm}$  at 30 kV ,  
pressure 28 Pa

除了以測試片 gold on carbon 做測試，也進行驗證參考物質的量測。首先進行 polystyrene sphere (PLS) 散佈在碳膠上的量測，PLS 是本計畫產出的標準驗證物質，表 1-1 是此樣品的規格。

表 1-1 樣品 CMS-PS-100

CMS Number	Nominal Diameter	Mean Diameter	Coefficient of Variation (CV)	Solid Content	Vial Volume
CMS-PS-100	100 nm	109 nm	4.9 %	1 %	10 mL

圖 1-7 是高真空模式和變(低)真空模式量測的結果。PLS 的均勻性可達 SRM 的等級，但在微觀的量測下因取樣遠小於樣本數，仍無法給出一個巨觀的統計值，未來我們希望以影像軟體來取得介觀的統計資料，目前初步設定大約在 100 顆粒子的統計資料。



我們同時也測試了 NIST 參考物質 RM 8012 奈米金，未來建立計量型 SEM 此樣品是除了 PLS 外重要的參考物質。從量測結果而言(圖 1-8)形貌和大小上看來不甚均勻，約略六邊形。另外此次的測試也發現了二次電子的邊緣效應在尺寸的判讀上會造成困擾，這是未來成為計量型 SEM 及待克服的議題。

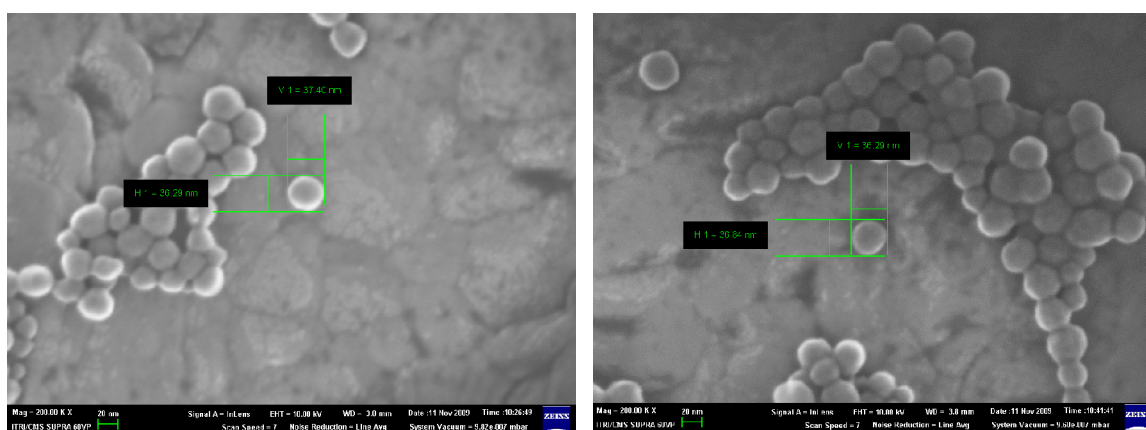


圖 1-8 NIST RM 8012, Au nanoparticles

## 2. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術

奈米粒子表面的形貌(shape)影響了奈米粒子的氣動(Aerodynamic)行為。例如圓球奈米粒子在空氣等黏性流體(Viscous Fluid)中移動所受的拖曳力(Drag Force)，可用史托克定律(Stokes's Law)來描述之。但是一個相同體積的非圓球奈米粒子在同樣條件的流體中，將遭遇到比圓球奈米粒子更大的拖曳力。此時，可引入一個稱為動力形貌因子(Dynamic Shape Factor)於史托克定律中，來修正表面形貌對奈米粒子運動所造成的影響。本年度完成氣相粒子電移動度等效粒徑量測相關技術資料搜集與研讀，並產出技術報告“氣相粒子電移動度等效粒徑理論分析”。

在奈米粒子粒徑、形貌量測的科學技術中，最常採用的方式就是等效粒徑(Equivalent Diameter)的概念。如圖 1-9，當量測某微粒時，此量測通常與此微粒的某項特定之物理性質有關。因此，與此被測之不規則形貌微粒有著相同之特定物理性質的圓球直徑即為等效粒徑。

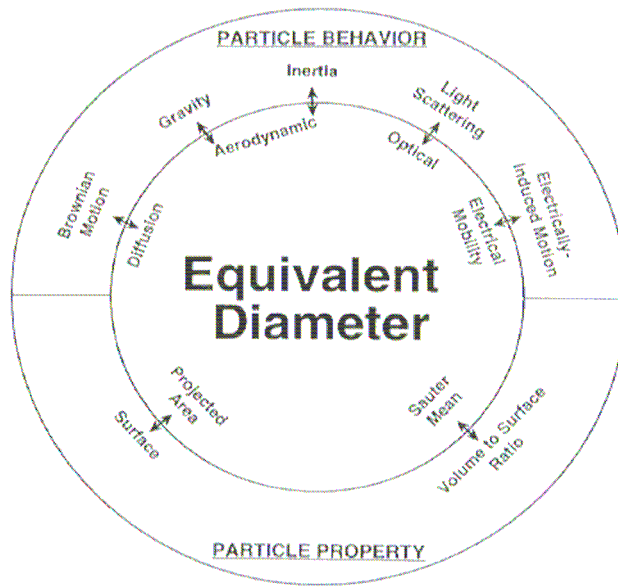


圖 1-9 藉由不同的物理特性，定義幾種不同的等效粒徑來量測微粒粒徑

大部分的奈米粒子粒徑量測技術都是假設樣品為理想圓球狀微粒，為了描述真實世界中非球狀微粒的行為與特性，必須加入額外之修正的方式。在許多狀況下，非球狀微粒的行為可以等同於經由修正因子(Correction Factor)修正後的理想圓球狀微粒的行為。

微粒表面的形貌(shape)影響了微粒的氣動(Aerodynamic)行為。例如圓球微粒在空氣等黏性流體(Viscous Fluid)中移動所受的拖曳力(Drag Force)，可用史托克定律(Stokes's Law)來描述之。但是一個相同體積的非圓球微粒在同樣條件的流體中，將遭遇到比圓球微粒更大的拖曳力。此時，可引入一個稱為動力形貌因子(Dynamic Shape Factor)於史托克定律中，來修正表面形貌對微粒運動所造成的影響。動力形貌因子定義為等體積(Volume Equivalent)圓球微粒的機械移動度(Mechanical Mobility)與非圓球微粒機械移動度的比值；或是實際作用於微粒上的拖曳力與作用於相同終端沉降速度(Terminal Settling Velocity)的等體積圓球微粒上的拖曳力的比值[1-4]。

$$\kappa = \frac{B_{ve}}{B_{ir}} = \frac{F_{ir} v_{ve}}{F_{ve} v_{ir}} \quad (1)$$

其中， $v_{ve}$  代表等體積、 $ir$  代表不規則(Irregular)， $B$  為機械移動度、 $F$  為作用於微粒上的力、 $v$  為終端沉降速度。

當微粒顆粒並非理想圓球狀時，不同檢測設備的量測原理及分析軟體不同，所得到的量測值與其所代表的物理意義也會不同。氣動直徑(Aerodynamic Diameter)、等體積直徑(Volume-Equivalent Diameter)與等移動度直徑(Mobility-Equivalent Diameter)等三個物理參數描述了氣膠動力學中相當大範圍的微粒行為。因此利用動力形貌因子，尋求三種參數間的互換關係，以得到非圓球微粒的氣動行為資訊即顯得相當重要。上述三種參數彼此間的關係，藉由動力形貌因子可以表示成：

$$\kappa = \frac{\rho}{\rho_0} \left( \frac{d_v}{d_a} \right)^2 \frac{C(d_v)}{C(d_a)} \quad (2)$$

$$\kappa = \frac{d_B}{d_v} \frac{C(d_v)}{C(d_B)} \quad (3)$$

其中， $C$  為滑溜係數(Slip Coefficients)； $d_a$  為氣動直徑，定義為一個圓球微粒的直徑，此圓球微粒密度為單位密度( $1.0 \text{ g/cm}^3$ )，且與非圓球微粒具有相同的終端速度(Settling Velocity)； $d_v$  為等體積直徑，定義為與非圓球微粒具有相同總體密度(Bulk Density)、相同體積或是相同質量的圓球微粒直徑； $d_B$  為等移動度直徑，定義為一個圓球微粒的直徑，此圓球微粒與非圓球微粒具有相同的機械移動度或是電移動度(Electric Mobility)； $\rho$  為微粒密度、 $\rho_0$  為單位密度。

等移動度直徑  $d_B$  有時也稱為熱力學直徑(Thermodynamic Diameter)或是流體動力學直徑(Hydrodynamic Diameter)，是微粒擴散(Diffusion)的特性參數，也是唯一會影響擴散係數  $D$  的氣膠參數[1-4]。

$$D = \frac{kTC(d_B)}{3\pi\eta d_B} \sim \frac{C(d_B)}{d_B} \quad (4)$$

其中， $k$  是波茲曼常數(Boltzmann Constant,  $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )、 $T$  是絕對溫度、 $\eta$  是介質的動態黏滯係數(Dynamic Viscosity)。同樣的，衝擊(Impaction)和沉澱(Sedimentation)特性則和鬆弛時間(Relaxation Time)有關。鬆弛時間為外力作用於微粒時，微粒達到新的終端速度所需要的時間，可以表示成氣動直徑  $d_a$  的函數[1-5]。

$$\tau = \rho_0 d_a^2 C(d_a) / (18\eta) \quad (5)$$

其中，滑溜係數在連續區域 ( Continuum Regime ) 外可以表示成[1-5]：

$$C(d) = 1 + \frac{2\lambda}{d} (\alpha + \beta e^{-\gamma d / (2\lambda)}) \quad (6)$$

其中， $\lambda$ 為氣體分子的平均自由徑(Mean Free Path)； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 都是常數，可由實驗決定其值[1-6]。當式(3)應用於過渡區域，可於式(3)中之參數加上標 t 做為識別：

$$\kappa^t = \frac{d_B^t}{d_v} \frac{C(d_v)}{C(d_B^t)} \quad (7)$$

其中， $d_v$ 並不需加上標 t，因為它不是由流體動力學所定義的參數，所以其值不會因處於不同的流體區域而不同。圓球微粒的動力形貌因子值為一；而量測非圓球微粒時，因為量測微粒氣動直徑與等移動度直徑的儀器不同，微粒會有不同的優勢定向(微粒軸向與氣流或是前進方向的夾角)，而有不同的有效動力形貌因子值。

如同式(7)的  $d_B^t$ ， $d_a^t$  可以表示成[1-4]：

$$\rho_0 d_a^{t^2} C(d_a^t) = \rho_P d_v^2 C(d_v) / \kappa^t \quad (8)$$

將式(7)代入式(8)可以得到：

$$\rho_0 d_a^{t^2} C(d_a^t) = \frac{\rho_P d_B^{t^2}}{\kappa^{t^3}} \frac{C^3(d_v)}{C^2(d_B^t)} \quad (9)$$

假設一個過渡區域有效密度(Transition-Regime Effective Density)  $\rho_e^t$ ，將  $d_B^t$  與  $d_a^t$  建立如下的關係：

$$\rho_0 d_a^{t^2} C(d_a^t) \equiv \rho_e^t d_B^{t^2} C(d_B^t) \quad (10)$$

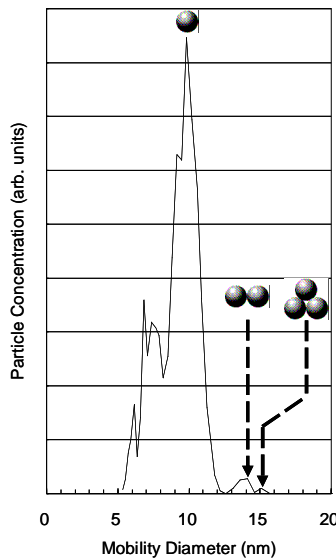
比較式(10)與式(9)， $\rho_e^t$ 可以表示成：

$$\rho_e^t = \rho_0 \left( \frac{d_a^t}{d_B^t} \right)^2 \frac{C(d_a^t)}{C(d_B^t)} = \frac{\rho_p}{\kappa^{t^3}} \frac{C^3(d_v)}{C^3(d_B^t)} \quad (11)$$

實驗上在缺乏 $m_p$ 、 $d_a^t$ 與 $\rho_p$ 等資訊的情況下，以單一之微分電移動度分析儀(Differential Mobility Analyzer, DMA)，僅能獲得 $d_B^t$ 值。因此，無法求得動力形貌因子 $\kappa^t$ 。因而分析團聚之雙連(doublet)與三連(triplet)圓球奈米粒子之動力形貌因子 $\kappa^t$ ，成功完成非圓球粒子之動力形貌因子分析。

由於圓球奈米粒子之氣動直徑 $d_a^t$ 等同於其等移動度直徑 $d_B^t$ ，亦等同於等體積直徑 $d_v$ 。因此，吾人可以藉由量測單顆圓球奈米粒子之粒徑值，求得團聚之雙連與三連圓球奈米粒子之等體積直徑 $d_{v, doublet}$ 與 $d_{v, triplet}$ 。再由微分電移動度分析儀量測之團聚雙連與三連圓球奈米粒子之等移動度直徑 $d_{B, doublet}^t$ 與 $d_{B, triplet}^t$ ，代入式(7)之中，並假設 $C(d_v) \approx C(d_B^t)$ ，即可求出團聚之雙連與三連圓球奈米粒子之動力形貌因子 $\kappa_{doublet}^t$ 與 $\kappa_{triplet}^t$ 。如圖 1-10

Mobility Size Distribution of NIST RM 8011



$$\kappa = \frac{d_B}{d_v} \frac{C(d_v)}{C(d_B)} \approx \frac{d_B}{d_v}$$

$$\bullet : d_{v, singlet} = d_{B, singlet} = 9.82 \text{ nm}$$

$$\bullet\bullet : d_{v, doublet} = (2 \times d_{v, singlet}^3)^{1/3} = 12.37 \text{ nm}$$

$$d_{B, doublet} = 14.10 \text{ nm}$$

$$\kappa_{doublet} \approx \frac{d_{B, doublet}}{d_{v, doublet}} = 1.14$$

$$\bullet\bullet\bullet : d_{v, triplet} = (3 \times d_{v, singlet}^3)^{1/3} = 14.16 \text{ nm}$$

$$d_{B, triplet} = 15.10 \text{ nm}$$

$$\kappa_{triplet} \approx \frac{d_{B, triplet}}{d_{v, triplet}} = 1.07$$

$C$  : 滑溜修正係數

$d_m$  : 電移動度等效粒徑

$d_v$  : 等體積等效粒徑

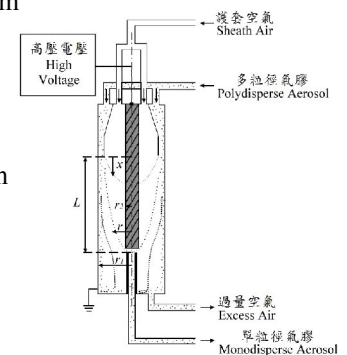


圖 1-10 雙連與三連圓球奈米粒子之動力形貌因子 $\kappa_{doublet}^t$ 與 $\kappa_{triplet}^t$

### 3. 其他成果

(1)訂定奈米粒徑量測量測程序-動態光散射儀草案乙份，協助奈米標章認證系統



規劃動態光量測系統量測程序，以供國內測試實驗室參考。

- (2)參加 Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)舉辦之能力試驗，以動態光散射法(DLS)參與 IRMM 之二氧化矽奈米粒徑比對量測，並獲得認可，後續 IRMM 將可能委託量測其生產之參考物質，作為參考物質尺寸標定的依據。
- (3)舉辦奈米粒徑量測系統研討會一場，邀請奈米量測技術相關專家，安排與舉辦對外訓練課程(980521)。
- (4)與中央大學合作開發生產標準一系列 PS 標準粒子，包括 100 nm、250 nm、300 nm 與 500 nm 等，並以 DMA 與 DLS 等系統驗證，並設計與印製包裝，於 2009 奈米展及標準檢驗局成果展展出。

## (二) 奈米粒子分散技術

奈米材料的表面效應是指奈米粒子的表面原子數與總原子數之比隨粒徑的變小而急劇增大後所引起的性質上的變化，可應用於如觸媒化學反應、藥物釋放控制、複合材料的性質強化及儲能運用等方面。但是奈米粒子彼此之間往往會因為靜電力、凡得瓦爾力(Van der Waals force)等作用而形成團聚，使整體粒子粒徑大於微米尺度，失去原本奈米尺度下的優越特性，例如：粒子比表面積的下降、對光及微波吸收度的減少等，所以需要藉用分散的方法使粒子在保有奈米尺度下均勻懸浮於溶劑中。目前奈米粒子分散技術已漸漸受到產業界重視，然而現有的乾式奈米粒子分散因設計上的限制，其最終分散粒徑只能到數微米，且由於在分散過程中，大量能量被導入至分散系統中而使分散系統之溫度急速上升而難以掌握，再者當乾式粒子分散之後，易發生塵爆等相關問題。因此，現今進行奈米粒子分散較可行的方式為濕式奈米粒子分散。本計畫研究透過超音波震盪分散、高壓氣流分散、以及添加分散劑等方式進行奈米粒子分散裝置。

在進行高壓氣流分散裝置細部設計時，必須先檢視有那些作用力促使兩奈米粒子間相互吸附。主要之作用力包含有分子吸附力(Molecular adhesion)、靜電力(Electrostatic interactions)、液體介質橋接(Liquid bridges)、電雙層排斥力、以及化學共價鍵結(Chemical bonding)等。其中又以分子吸附力與靜電力之影響最為顯著。分子吸附力即所謂凡得瓦爾力為分子間微弱且短暫的吸引力，形成原因係由兩個原子漸漸接近時，此兩原子上的電子會相互影響其分佈情形。若其中一個原子的電子分佈短暫地發生不均勻現象，則會導致暫時性的偶極，而此短暫性偶極隨即誘導另一個原子上的電子同時也產生分佈不均的現象，但接觸面的偶極恰好相反。此兩相反的偶極便可產生極微弱且短暫的吸引力，即形成凡得瓦爾力。此種吸引力可分為三種類型：偶極-偶極力(Keesom interactions)、偶極-誘導偶極(Debye interactions)、以及誘導偶極-誘導偶極(London dispersion)，通常分子量愈大之分子其外層電子雲之擴

散度較高，代表其可被極化程度愈高，則其凡得瓦爾作用力愈強。此作用力與重力之性質頗為類似，一是只存在有引力而無斥力，二則是與物體之質量成正比而與其相距距離平方成反比。此意謂當兩分子距離較遠時，凡得瓦爾力小至可忽略其存在。但在相距甚短之距離時，此引力將會以級數增加而變為主要之分子間作用力，甚至大過於靜電力。粒子會因外在溶液性質及粒子表面特性不同而帶有不同電性，其表面之電荷密度會影響其在溶液中的穩定性。穩定性越高之粒子表面之電荷密度越高，粒子間的斥力越大，因此分散性越佳；反之，穩定度越差之粒子會因表面電位較小而彼此凝聚沉降。粒子所帶之電荷性質及表面電位高低與粒子表面特性及周界溶液特性有關，其表面帶電原因大致可分為四點[1-7]：結晶結構不完全(Imperfection of the crystal structure)、表面離子吸附(Adsorption of ions onto the particle surface)、離子溶解(Ion dissolution)、以及表面電離(Ionization of surface sites)。

所謂 DLVO 理論乃是由俄國 Deryagin 與 Landau[1-8]以及荷蘭 Verwey 與 Overbeek[1-9]兩研究團隊先後提出。其理論主要敘述粒子間之能量變化與其間之距離的關係，此總能量變化是由於粒子間凡得瓦爾力與靜電力所造成之能量總和。若不外加任何作用力之情況下，凡得瓦爾力與靜電力為影響膠體粒子運動與凝聚(Flocculated)之主要影響因素。根據 DLVO 理論，兩粒子間之距離與總位能變化為凡得瓦爾吸引位能及靜電斥能之總和，如此可得一位能曲線(Potential energy curve)，如圖 1-11 所示。凡得瓦爾力吸引位能與粒子間之距離一次方成反比，而靜電力斥能大約與粒子間之距離的指數成反比，因此兩粒子相互接近時，粒子間的凡得瓦爾力與靜電斥力會因距離而產生變化。當接近至某距離時，若表面帶相同電荷之兩粒子間會因靜電斥力的增加，使兩粒子無法繼續接近，造成兩粒子在此距離範圍內會不斷來回震盪及一起運動，此時之總位能稱為次低能障 (Secondary minimum) 狀態。粒子若以次低能之型態聚集時，則稱為凝聚。粒子間若以凝聚型態聚集時，其較易受外界環境擾動或溶液性質改變而回到原分散狀態，因此凝聚系統為一可逆性的系統。當兩粒子間之動能足以克服其間之能障(Energy barrier)，混凝(Coagulation)即可發生。當粒子間彼此的能障越大時，粒子所需之外加動能則越高，如此足以克服其間之能障，而進入混凝狀態，此時之位能稱為最低能障(Primary minimum)。當粒子間以混凝狀態存在時，較不易受外界因素改變而回到分散狀態，除非提供足夠的動能使粒子越過最大能障(Primary maximum)，如此方可使粒子間彼此重新分散[1-10~1-13]。



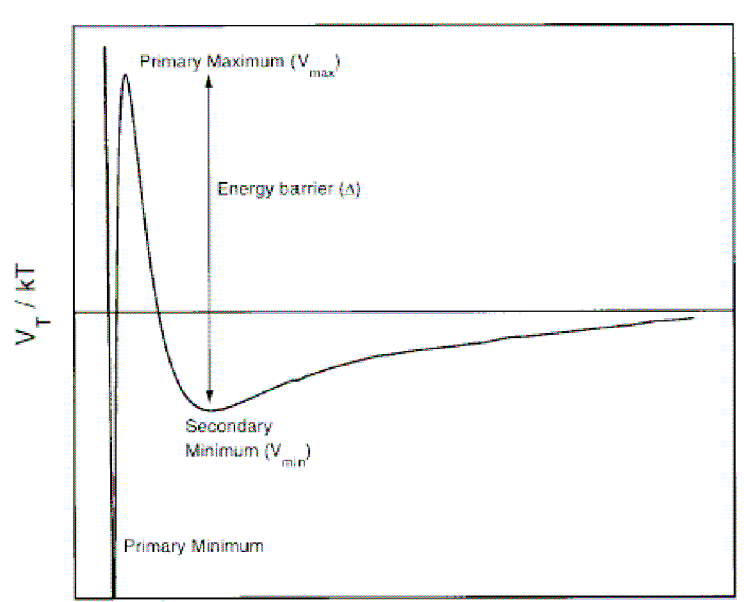


圖 1-11 兩粒子間之位能曲線圖[1-10]

奈米粒子於液相分散的方法可分為物理分散與化學分散兩種，物理分散乃是透過剪切、慣性、碰撞等方法達到奈米粒子處於充分分散狀態。而化學分散則是選擇一種或多種適宜的分散劑提高奈米粒子的分散性，以改善其穩定性與流變性。例如添加界面活性劑(Surfactants)或是聚合物於其溶液中，使其產生靜電斥力與空間位阻(Steric Hindrance)，以改善奈米粒子間的吸引及團聚問題。儘管物理分散可以較好地實現奈米粒子在水等液相介質中的分散，但一旦機械力的作用停止，粒子間由於凡得瓦爾力的作用，又會相互聚集起來，此時可配合化學方法，如添加分散劑，改善粒子表面性質。本計畫結合了超音波分散法、高壓氣流分散法、以及分散劑分散法，針對奈米粒子進行分散裝置設計。膠體粒子於溶液中不穩定的狀態包括有聚沈(agglomeration)和絮凝(flocculation)兩種情況。能使膠體沈澱時，則稱為聚集(aggregation)，膠體為達到化學上穩定狀態有兩個途徑，一為使顆粒帶相同符號之電荷，彼此互相排斥，稱為靜電穩定作用(electrostatic stabilization)，二為透過在顆粒表面吸附某種物質如高分子，阻止粒子相互接近，稱為空間位阻穩定作用(steric stabilization)，很多狀況下兩種機制結合起來稱為靜電空間位阻穩定作用，如圖 1-12。

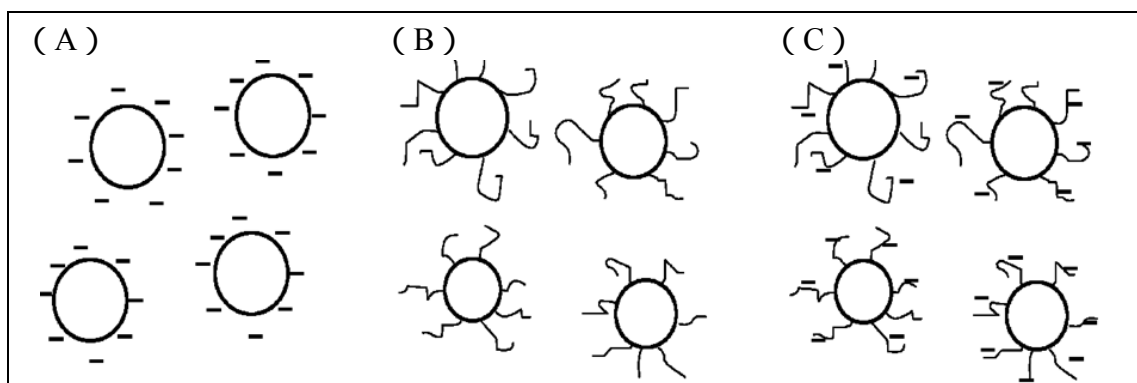


圖 1-12 膠體團聚現象: (A)靜電穩定作用；(B)空間穩定作用；(C)靜電空間位阻穩定作用

一般而言，奈米粒子於液相分散的方法可分為物理分散與化學分散兩種，物理分散乃是透過剪切、慣性、碰撞等方法達到奈米粒子處於充分分散狀態。而化學分散則是選擇一種或多種適宜的分散劑提高奈米粒子的分散性，以改善其穩定性與流變性。例如添加界面活性劑(Surfactants)或是聚合物於其溶液中，使其產生靜電斥力與空間位阻(Steric Hindrance)，以改善奈米粒子間的吸引及團聚問題。儘管物理分散可以較好地實現奈米粒子在水等液相介質中的分散，但一旦機械力的作用停止，粒子間由於凡得瓦爾力的作用，又會相互聚集起來，此時可配合化學方法，如添加分散劑，改善粒子表面性質。通常懸浮在溶液中的金奈米粒子，會呈現不穩定狀態，經過一段時間之後，粒子之間會產生聚集現象，這種性質會抑制它們的奈米尺度的特性，以及限制它們的應用。因此通常會使用氧化矽殼層的去披覆於金奈米粒子的表面，這種作法具有許多的特點，例如：(1)氧化矽殼層具有化學惰性，以及在金奈米粒子核心的表面不會產生任何的氧化還原反應。(2)氧化矽殼層具有光學的透光性，因此能夠使用光學儀器去監測化學、物理、光學等特性。(3)氧化矽殼層能夠增加金奈米粒子核心的機械、熱、與化學穩定性等。(4)氧化矽粒子是眾所皆知很容易去形成有規折排列的膠狀的晶體，因此將氧化矽披覆於金奈米粒子表面，能有助於產生具有二維(2D)或三維(3D)任何形式的奈米粒子的系統或結構，例如：金核心-氧化矽殼層奈米粒子(gold-silica core-shell; GSCS)能夠應用於光子晶體(photonic crystals)與電漿子波導(plasmonic waveguides)等光學元件上，此元件的特性將會被有效的控制與調變，藉由控制氧化矽殼層的厚度與金核心的粒徑。因此金核心-氧化矽殼層奈米粒子的合成，對於先進材料的製造與發展，在 FY99 這將是一個重要的研究技術主題。

本奈米粒子分散裝置即結合了超音波分散法、高壓氣流分散法、以及分散劑分散法，針對奈米粒子進行分散裝置。在超音波分散法方面，超音波具有波長短、近似直線傳播、以及能量容易集中等特性，因此被廣泛應用於工業生產、生物醫學、以及測量等領域。超音波分散是將需處理的粒子懸浮液直接置於超音波場中，用適

當頻率與功率的超音波加以處理，是一種強度很高的分散手段。超音波分散作用的原理目前普遍認為與空穴(Cavitation)作用有關。由於超音波是一種壓縮縱波，因此在介質中連續傳遞過程中存在著一個正負壓力的交變週期，介質在交替的正負壓力下受到擠壓和牽拉。介質中壓力變化而產生無數微小真空氣泡，當用足夠大振幅的超音波作用於液體介質時，在負壓區內介質分子間的平均距離會超過使液體介質保持不變的臨界分子距離，液體介質就會發生斷裂形成微泡，微泡進一步長大成為空穴氣泡，這些氣泡一方面可以重新溶解於液體介質中，也可能上浮並消失，也可能脫離超音波場的共振相位而潰陷，這種空穴氣泡在液體介質中產生、潰陷、或消失的現象，就叫空穴作用。空穴作用可以產生局部的高溫高壓，並且產生巨大的衝擊力與微射流，奈米粒子在其強有力的剪切作用下，表面能被削弱，可以有效地防止粒子的團聚使之充分分散。使用超音波震盪及粒子氣霧化系統架構如圖 1-13 所示，此系統之主要架構包括超音波振盪器(LEO 1502H)、粒子霧化器(TSI 3076)、分散管(Noritake G1/4-18)、電荷中和器(TSI 3077)、微分型電移動度分析儀(TSI 3080L)、凝核粒子計數器(TSI 3776)以及控制電腦等。首先將奈米粒子與分散劑混合成為奈米粒子懸浮溶液，並置於具溫控功能之超音波振盪器中，利用超音波振盪器進行分散劑分散與超音波分散，本系統之超音波振盪器為 LEO 公司之 1502H 超音波振盪器，輸出頻率為 120 kHz。接著將奈米粒子懸浮溶液經霧化器與空氣混合形成氣膠，此粒子霧化器為定量式霧化器，其基本原理為樣本溶液首先被吸入至霧化器內，接著壓縮空氣經過一噴嘴高速噴出，藉由此高速噴出之壓縮空氣將樣本溶液氣霧化成氣膠狀態。本系統之霧化器為 TSI 公司之 3076 粒子霧化器。接著氣相奈米粒子被導引進入分散管中進行高壓氣流分散，本系統之分散管為 Noritake 公司之 G1/4-18 分散管。至此奈米粒子已完成分散並懸浮於乾燥空氣中。為了檢視分散效果，本系統利用掃描式電移動粒徑分析儀(Scanning mobility particle sizer, SMPS)進行粒徑分佈量測。掃描式電移動粒徑分析儀包括了電荷中和器、靜電篩分器、以及凝核粒子計數器等三部分，其主要利用不同粒徑的粒子會有不同電移動度的原理，使粒子帶電後再把不同大小的粒子分離出來，隨後再進入凝核粒子計數器中進行粒子的計數，即可獲得不同粒徑粒子的數目濃度。本系統之電荷中和器為 TSI 公司之 3077，強度 2 mCi 的氬-85(Krypton-85)放射性物質，其主要用以藉其所產生之電荷使粒子的整體帶電狀態為電中性，經由中和器使粒子呈帶電狀態，接著帶電的粒子進入微分型電移動度分析儀中，透過對中心圓柱電擊施以電壓，使其產生一輻射電場，那麼具有特定電移動度的粒子會受到電場的影響而依照特定的軌跡朝中心圓柱電極移動，再藉著電極強度的改變，具有相同粒徑的粒子即可以被篩選出來，本系統之微分型電移動度分析儀為 TSI 公司之 3080L 微分型電移動度分析儀。凝核粒子計數器則是做為定量方法的測試設備，其基本原理是當粒子連續經過時，將原本較小而不易計數之粒子，以飽和酒精蒸氣包圍凝結成較大之可計數粒子，當此凝核粒子通過光學感

測器時會產生脈衝信號，經由計算產生之脈衝信號即可測得粒子的個數，本系統之凝核粒子計數器為 TSI 公司之 3776 凝核粒子計數器。為達到粒子於溶液中均勻分散方式除上述方法外，從事這方面分散專家亦有利用化學分散劑加上研磨技術，使粒子達奈米級，但尚須考量奈米粒子長久於分散劑中之穩定性。在懸浮溶液中加入分散劑，使其在粒子表面吸附，可以改變粒子表面的性質，從而改變粒子與液相介質、粒子與粒子間的相互作用，使粒子間有較強的排斥力。常見的分散劑有界面活性劑、小分子量無機電解質或無機聚合物、聚合物類、偶聯劑等。實際常將物理分散與化學分散結合起來，利用物理手段解團聚，加入分散劑實現穩定性，可以達到較好的分散效果。

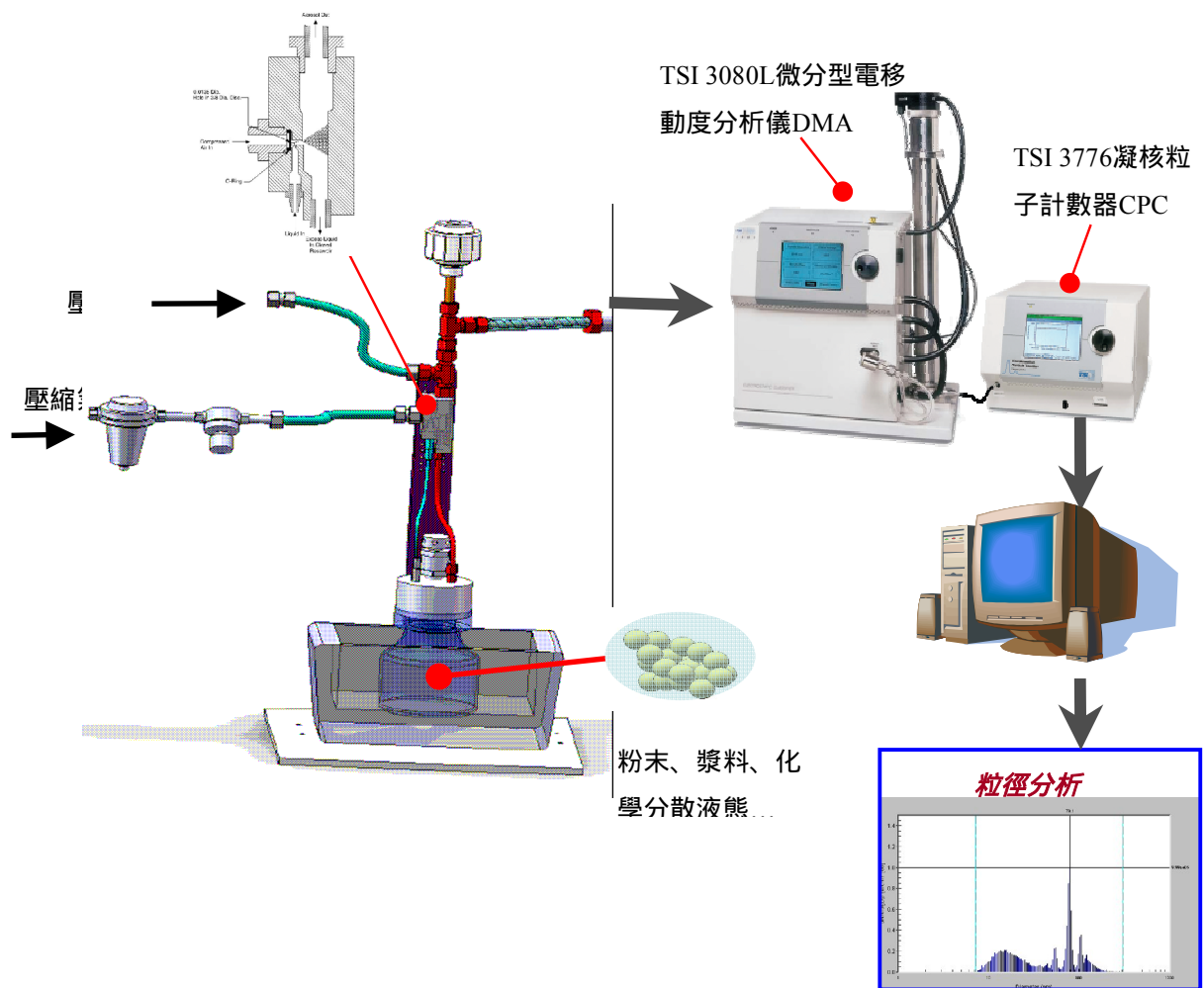


圖1-13 超音波震盪及粒子氣霧化系統架構

### (三) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

本計畫在 FY98 之主要目標為建構一套力量偵測範圍在  $10\ \mu\text{N}$  之測力機構，此機構分別由低剛性機械彈性體、電容式位移感測、靜電力致動裝置、光學干涉儀與移動平台等單元所構成。本年度之執行成果分述如下：

#### 1. 建立低剛性之撓性結構，其剛性(或力常數) $\leq 40\ \text{N/m}$ 。

力量之量測，乃藉由觀察力量作用於物體上，物體所產生之相對應變化(如物體形變)而得；而受力物體之剛性大小，則決定了力量之量測範圍。在 FY98 年度，本計畫採用單體成形之撓性結構作為機械彈性體。撓性樞紐(Flexure Hinge)有無磨耗、不需潤滑與體積小等之優點[1-14]，所以常被應用於微/奈米尺度上之致動方面。若要應用在微小力量之量測方面，則撓性樞紐本身之剛性必須儘可能的小，以提升其在力量量測之靈敏度。撓性樞紐的可粗分為兩類：薄板形式(leaf type)與槽口形式(notch type)。薄板撓性樞紐，其樞紐點會隨著轉動而移動；而槽口撓性樞紐在轉動時，樞紐點仍維持在槽口之最薄處，並不會隨轉動而移動。基於此一特點，本計畫採用了槽口形式撓性樞紐做為轉軸。考量靜電力回饋與電容極板平行移動等因素，本計畫設計了如示意圖 1-14 之裝置。

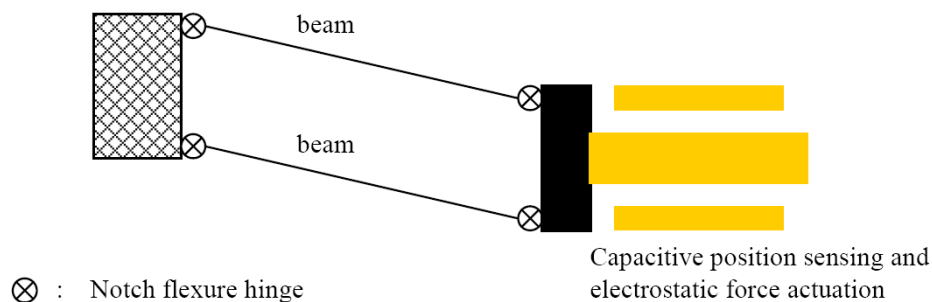


圖 1-14 測力機構示意圖

在此測力機構中，為了能使電容極板能水平上下移動，則至少需要四個撓性樞紐；三片電容極板為電容位移偵測與靜電力回饋之必要裝置。本計畫利用連續介質力學與有限元素分析，設計製作了如圖 1-15 之低剛性單體結構。低剛性機械結構中，共有四組槽口撓性樞紐。為了達成剛性方面之要求，槽口幾何形狀由設計之初的圓形改為橢圓形[1-15]，總體的線性剛性從原來的  $184\ \text{N/m}$ ，下降至  $16.3\ \text{N/m}$ 。圖 1-16 為此撓性單體結構剛性量測與擬合之結果。

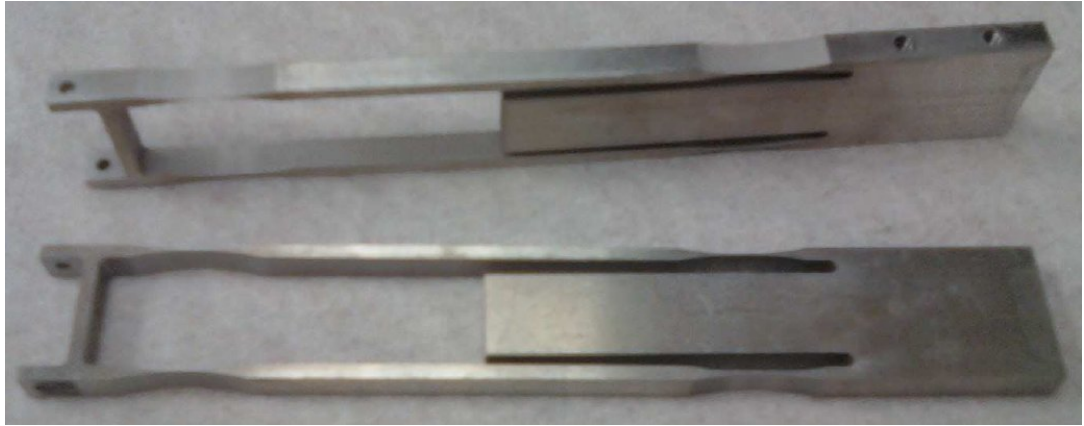


圖 1-15 低剛性單體結構設計圖

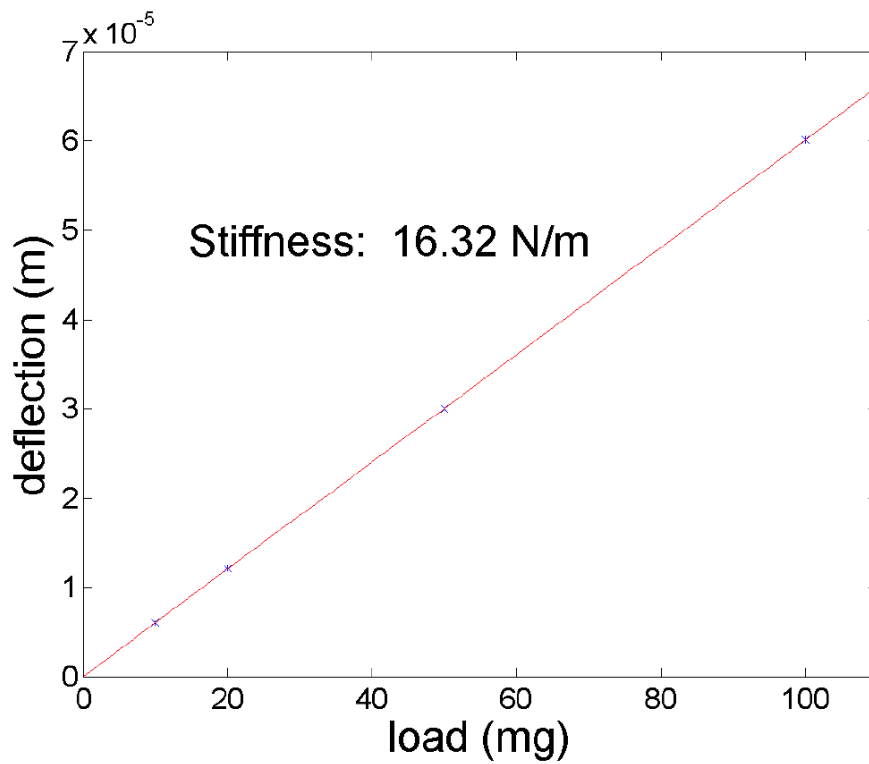


圖 1-16 剛性量測與擬合結果

在電容位移偵測與靜電力致動方面，本計畫也設計製作了一組由三片圓盤式電容極板所組成之電容器。電容極板由鋁合金(Al 6061)加工而成，圖 1-17 為極板與固定外框之實體照片。圖 1-18 為電容器與低剛性撓性結構整合之實體圖。



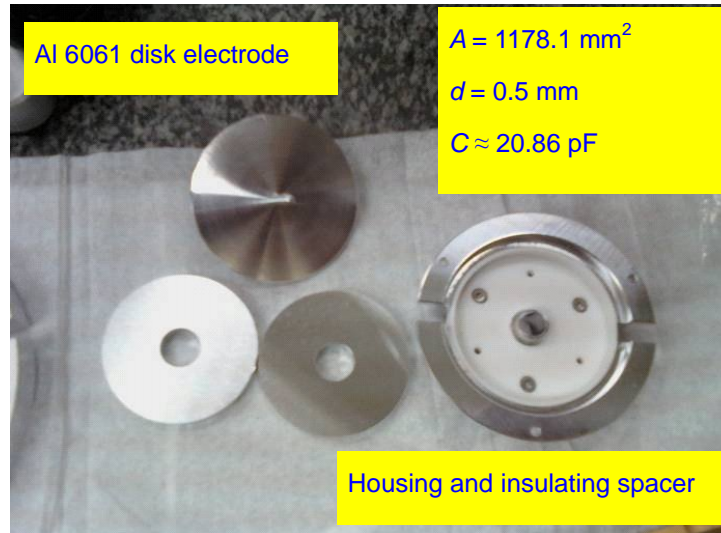


圖 1-17 極板與固定外框之實體照片

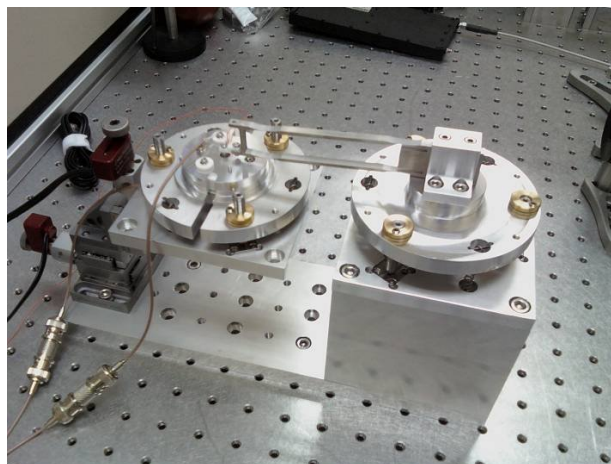


圖 1-18 電容器與低剛性撓性結構整合之實體圖

電容極板之位移可由差動式電容偵測電路量得[1-16][1-17]，其中電容至位移變化之轉換係數須另由外部之光學干涉儀量得。本計劃以解析度 2.5 nm 之光學干涉儀量測此參數，圖 1-19 為其中一組數據與擬合之結果，測得之轉換係數為  $S=1.26 \times 10^{-6}$  m/V。假設雜訊主要來自 AD conversion，以 16-bit full-scale  $\pm 10$  V 估算，則電壓量測解析度為  $\Delta V = 20/216 = 305$  ( $\mu$ V)，位移偵測解析度可達  $\Delta V \times S = 0.37$  (nm)。

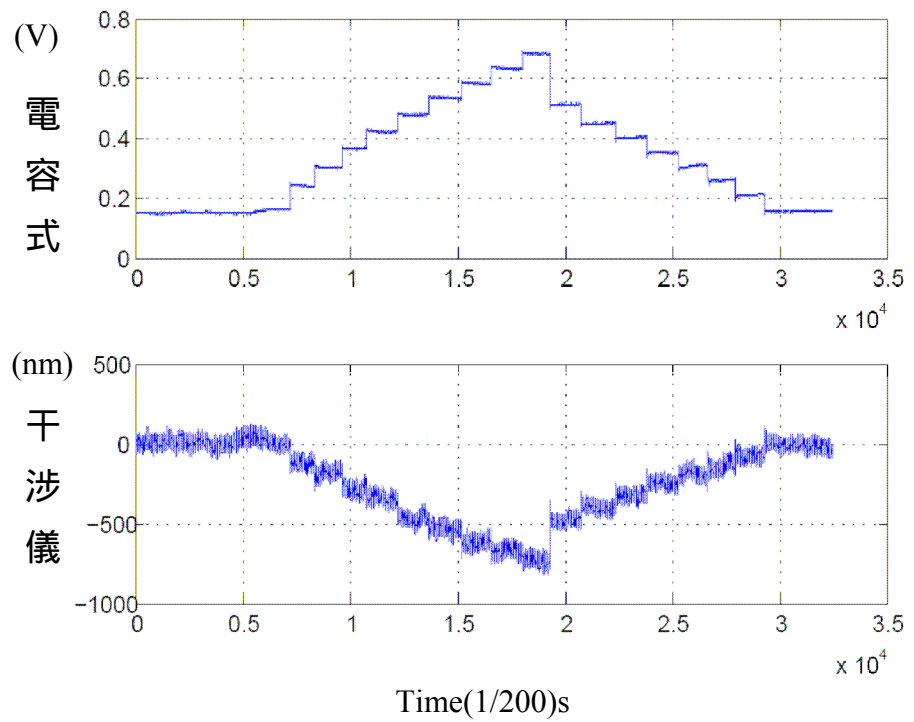
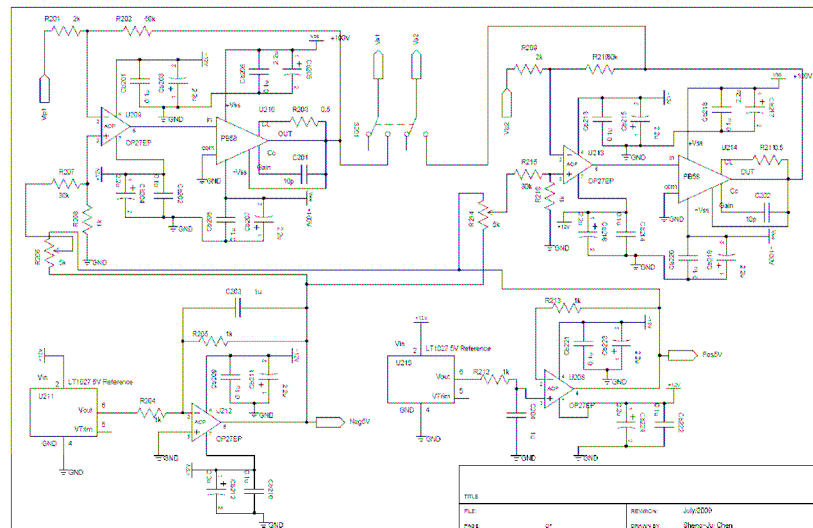


圖 1-19 電容式位移偵測轉換係數量測

靜電力致動方面，已完成靜電力致動電路。由此致動電路，靜電力之大小可直接與控制電壓成正比，而非控制電壓之平方，電路圖如圖 1-20 所示。





配合 VME-BUS 的使用建立解析度小於 1 nm 的干涉儀機構。

### VME-bus及HP雷射干涉儀高精度移動平台測定機構

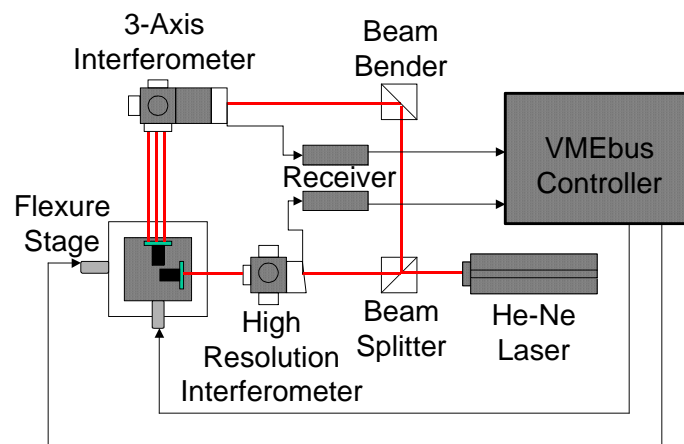


圖 1-21 干涉儀機構與移動平台示意圖

以 VME-bus 及 HP10897B 軸板構造雷射干涉儀（機構示意圖如圖 1-21，機構實體圖如圖 1-22）。其中高精度干涉儀機構測定移動平零位擾動以測定其量測解析度，測得量測解析度 0.32 nm(如圖 1-23)。

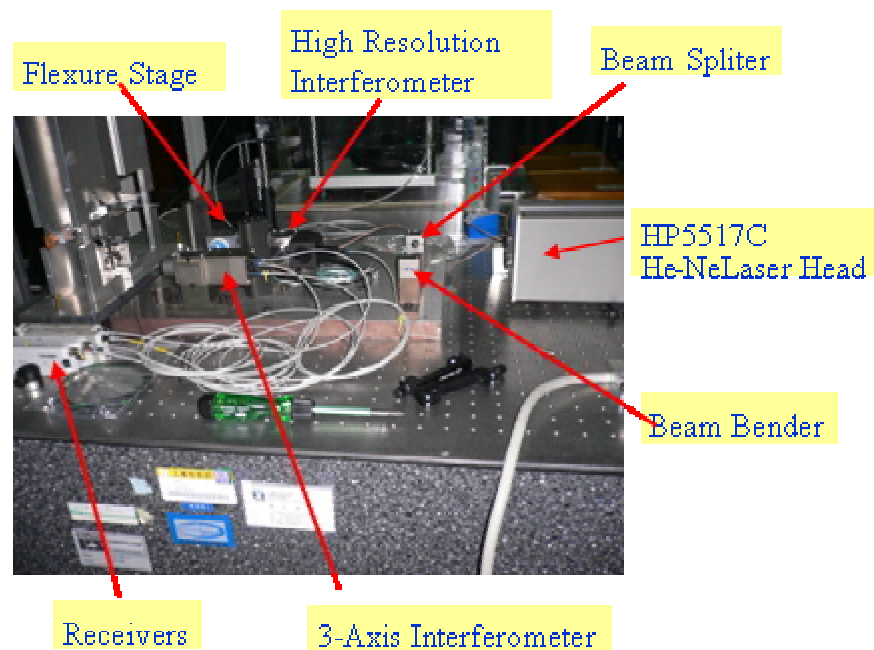


圖 1-22 機構實體圖

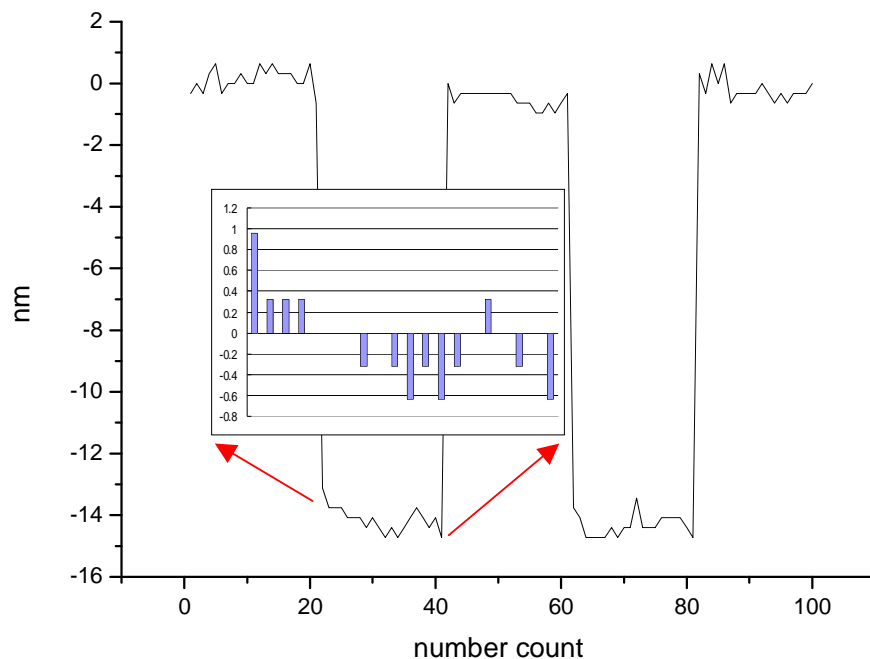


圖 1-23 干涉儀解析度測定

3. 建立建立高解析移動平台機構：配合壓電陶瓷及直流馬達的使用，建立高精度樣本或光源移動平台，解析度小於 10 nm、行程大於 100  $\mu\text{m}$ 。

完成建立高解析移動平台機構：解析度小於 10 nm，行程大於 100  $\mu\text{m}$ 。完成建立高解析移動平台機構(行程 102  $\mu\text{m}$ ，測得移動平台解析度近 7 nm)。使用 VME-Bus 18-bit 高解析度類比輸出每步輸出 5.0 nm(相當於 12count)推動撓性結構平台推移行程 102  $\mu\text{m}$ ，如圖 1-24 所示，以高精度干涉儀 HP10716A 測得移動平台解析度近 7 nm，取樣頻率為 100 Hz，共取 78000 個數據。

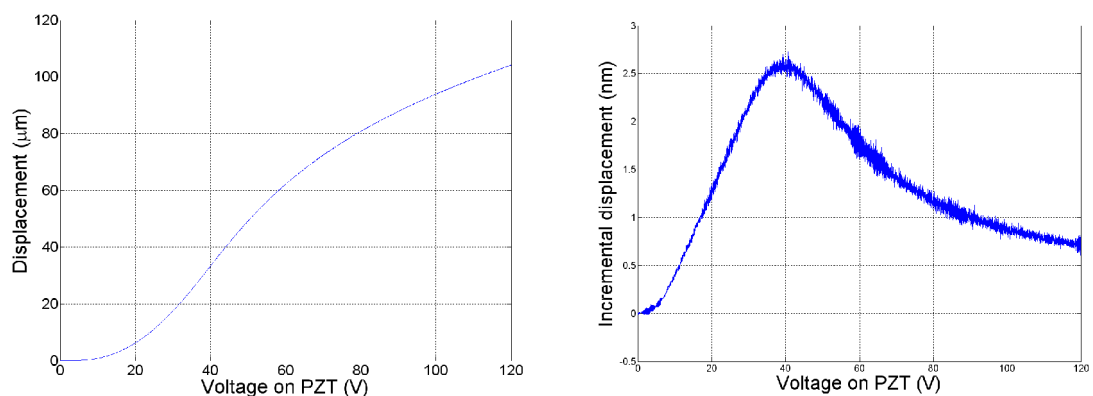


圖 1-24 移動平台推移行程圖

整合完成之系統如圖 1-25 所示，包含了低剛性機械結構，三極板電容器與電容偵測與靜電力施加電路。在靜電力測試方面，我們將靜電力施加在低剛性機械結構上，並以電容式位移偵測法量測其受力之後的形變量。圖 1-26 為剛性量測結果，與先前以法碼及干涉儀測量所得之結果（圖 1-16）略有差異，主要原因為此剛性量測是在形變量  $2.5\ \mu\text{m}$  以內進行，與先前較大形變量  $60\ \mu\text{m}$  的量測之間可能存在有材料之非線性效應；另一原因是目前靜電力估算所使用之電容值為設計理論值（nominal value），與實際值可能有所差異，未來將可以利用力量比較之方式來定出實際值。圖 1-27 為  $10\ \mu\text{N}$  靜電力測試結果。圖 1-27 上半部為施加在電容極板上之控制電壓，下半部為低剛性機械結構受力後之形變。靜電力之大小約為  $10\ \mu\text{N}$ ，而以形變量  $0.65\ \mu\text{m}$  與剛性  $16.3\ \text{N/m}$  所測得之力量大小為  $10.6\ \mu\text{N}$ ，兩者之間的差異來源與先前剛性量測差異之原因相同。

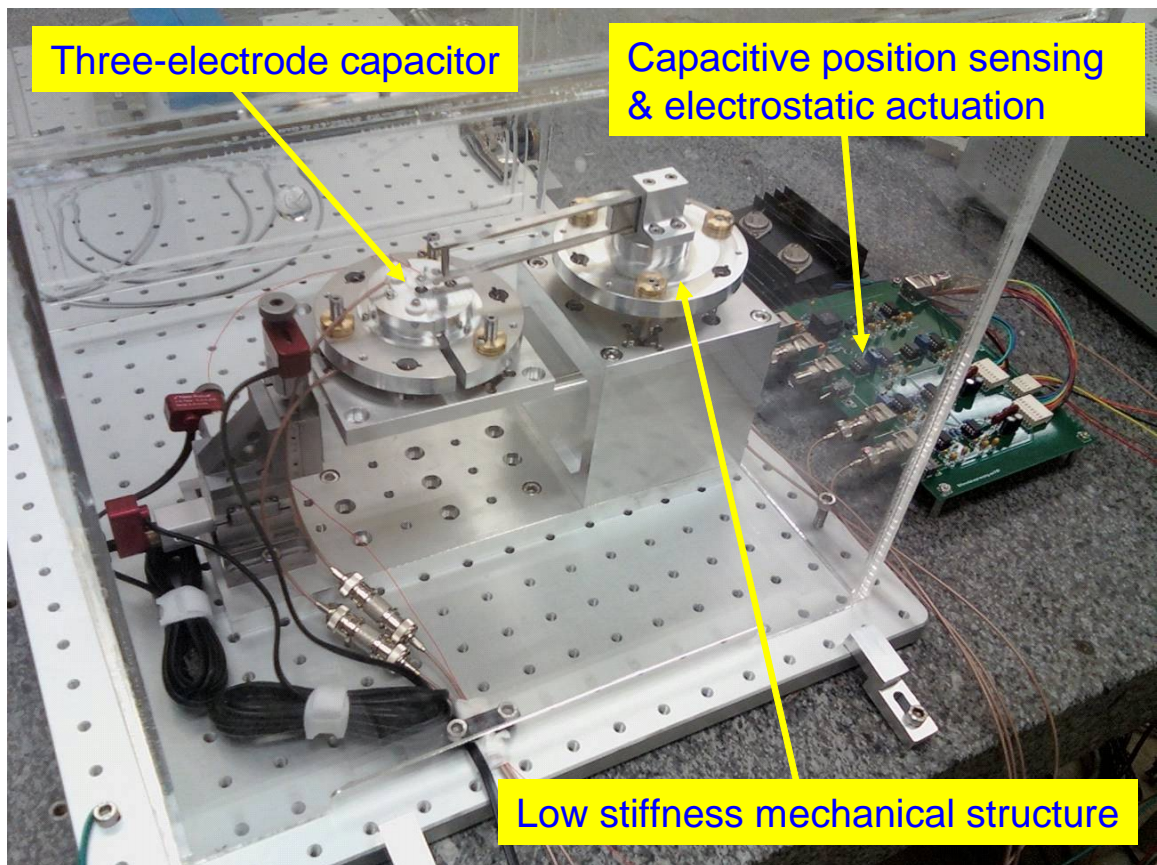


圖 1-25 系統整合照片

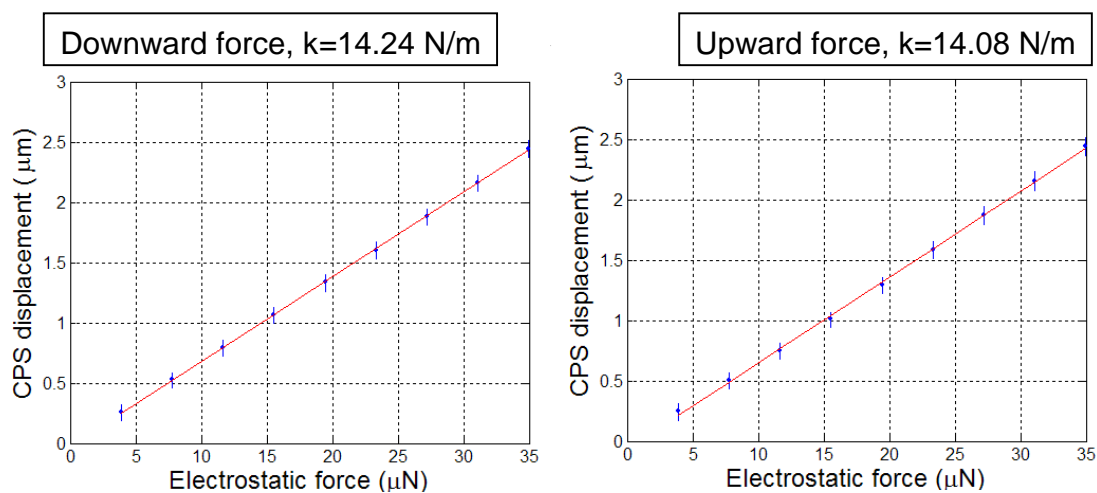


圖 1-26 電容位移偵測與靜電力施加測試：剛性量測結果

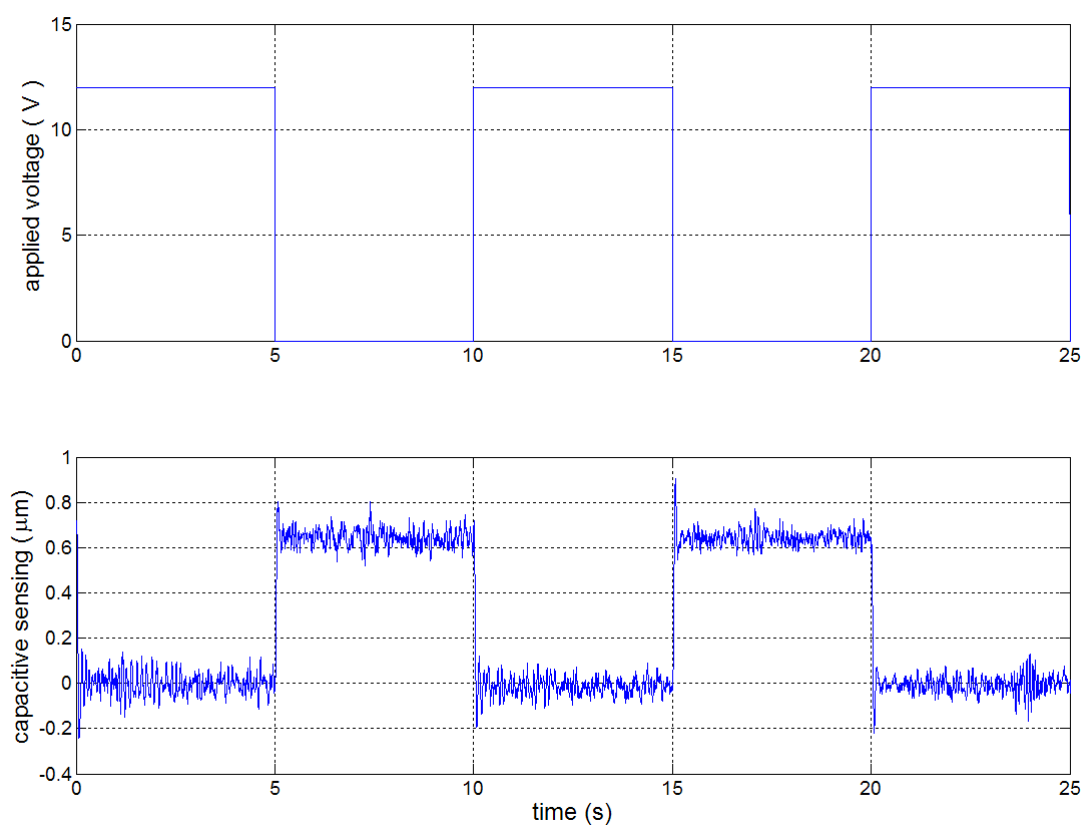


圖 1-27 電容位移偵測與靜電力施加測試：10  $\mu\text{N}$  靜電力測試

## 【技術創新】

### (一) 奈米粒子形貌與分佈量測技術

圖 1-7a 中 PLS 以影像判讀為中空球,其量測電壓為 1 kV,當量測電壓降至 0.2 kV 時電荷累積的情形相形嚴重,10 kV 的量測電壓雖可獲致影像外徑卻無內圓影像。上述定性結果顯示弱量測電壓電子穿透深度淺,電荷因而累積於非導體之 PLS 球殼上。當量測電壓增加時,其穿透深度亦增加,故較多之電荷經由導電基板導出(此處為碳膠帶),而且可觀察到 PLS 的內部結構。又增加量測電壓,電子完全穿透 PLS 直至導電基板,因此反而無法解析內部結構。目前所觀察的現象搭配理論模擬,可作為二次電子對 PL 等材料穿透深度的數據資料庫。亦可以以此結果探討 PLS 製程時的所依賴的條件。

### (二) 奈米粒子分散技術

市場上分析奈米粒徑的儀器非常多,然量儀器的準確性、重現性、以及量測標準的追溯性顯得非常重要。因此,儀器需經適當之標準粒徑來進行校正或驗證的程序,以確保特定之量測項目的準確性或驗證新量測方法的開發。標準粒徑的客戶群包括產業界、學術界、研究單位、以及政府相關部門,主要目的是用來促進商業、貿易、以及科學的研究與發展,應用的領域包含工業材料生產與分析、環境與安全衛生、生物醫療、基礎科學、以及計量量測等。本計畫自第一期奈米國家型計畫起,陸續研發奈米粒徑量測系統提供氣相與液相之奈米粒子粒徑量測技術服務能力與標準追溯所需標準物質。其追溯如圖 1-28。其中氣相之奈米粒徑量測方法包括絕對式電重力氣膠平衡法與比較式電移動度分析法,而液相之奈米粒徑量測方法則為動態光散射法。

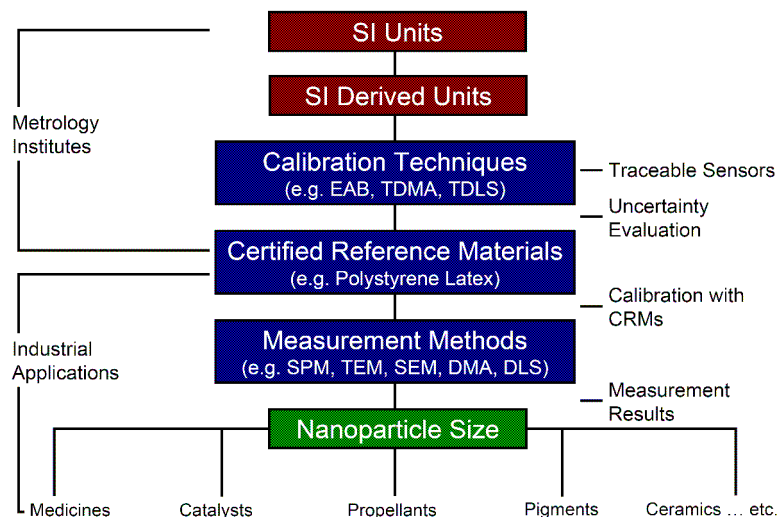


圖 1-28 奈米粒徑量測追溯圖

本計畫與中央大學合作,中央大學製作具均一的各種尺寸聚苯乙烯球(校正標準

物質-Calibrated Material Standards, CMSs), CMSs 是完美的球形聚苯乙烯顆粒，每個樣品包含單一大小的顆粒，亦即其粒度分佈非常窄。我們可以以此「校正標準粒徑」校正量測儀器，包括原子力顯微鏡，掃描式電子顯微鏡，透射式電子顯微鏡，電移動度分析法和動態/偏振光散射儀。目前實驗室開發包括標稱值 100 nm, 200 nm, 250 nm, 300 nm, 450 nm, 和 500 nm，共六種校正標準物質。詳細資料可參考表 1-2:

表 1-2 聚苯乙烯球(校正標準物質-CMSs)

CMS Number	Nominal Diameter	Mean Diameter	Coefficient of Variation (CV)	Solid Content	Vial Volume
CMS-PS-100	□ 100 nm	□ 109 nm	□ 4.9 %	□ 1 %	10 mL
CMS-PS-200	□ 200 nm	□ 181 nm	□ 1.6 %	□ 1 %	10 mL
CMS-PS-250	□ 250 nm	□ 237 nm	□ 2.4 %	□ 1 %	10 mL
CMS-PS-300	□ 300 nm	□ 285 nm	□ 1.8 %	□ 1 %	10 mL
CMS-PS-450	□ 450 nm	□ 457 nm	□ 2.6 %	□ 1 %	10 mL
CMS-PS-500	□ 500 nm	□ 532 nm	□ 2.3 %	□ 1 %	10 mL

### (三)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

本計畫利用差動式電容位移偵測法，來量測低剛性撓性機械結構受力之形變量，並輔以光學干涉儀補足電容式測量法在長度追溯上之不足。此方法可以降低靜電力來自電容梯度變化之不確定度，使靜電力大小與控制電壓有更好之線性關係。

## 【突破之瓶頸】

### (一)奈米粒子形貌與分佈量測技術

#### 1. 場發射環境掃描式電子顯微技術

此為新擴建系統，為了建立計量型 SEM，今年度目標是尋訪並購入適當之 FE-ESEM。在此目標下，一個高解析並含夠大腔體的 SEM 是必要的。在尋訪 SEM 期間已經先期設計計量型平台與不同廠牌型號之 SEM 結合之可能性，ZEISS SUPRA 60 VP 亦是其中之一，並且在一定的經費下購入之 ZEISS SUPRA 60 VP 擁有研究型 SEM 中最大腔體，實為不易。

#### 2. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術

以移動度為基礎的有效密度稱為過渡區域移動度密度(Transition Regime Mobility Density)  $\rho_B^t$ ，依照一般的微粒密度  $\rho_p$  的定義：

$$\rho_p \equiv \frac{m_p}{V} = \frac{6m_p}{\pi d_p^3} \quad (12)$$

可定義成重量與等效移動度體積(Equivalent Mobility Volume)  $V_B^t$  的比值：

$$\rho_B^t \equiv \frac{m_P}{V_B^t} = \frac{6m_P}{\pi d_B^t{}^3} \quad (13)$$

由式(7)與式(12)可以得到：

$$\rho_B^t = \frac{\rho_P}{\kappa^t{}^3} \frac{C^3(d_V)}{C^3(d_B^t)} \quad (14)$$

比較式(14)與式(11)，可以發現到

$$\rho_e^t = \rho_B^t \quad (15)$$

最後，利用式(10)與式(13)可重寫式(15)成：

$$\rho_0 d_a^t{}^2 C(d_a^t) = \frac{6}{\pi} \frac{m_P C(d_B^t)}{d_B^t} \quad (16)$$

由式(16)，吾人可以知道，任一個參數  $m_P$ 、 $d_B^t$  與  $d_a^t$ ，可以由其他兩個參數而求得，而不需清楚的知道過渡區域動力形貌因子  $\kappa^t$  或是微粒密度  $\rho_P$  [1-18~1-20]。

實驗上在缺乏  $m_P$ 、 $d_a^t$  與  $\rho_P$  等資訊的情況下，以單一之微分電移動度分析儀 (Differential Mobility Analyzer, DMA)，僅能獲得  $d_B^t$  值。因此，無法求得動力形貌因子  $\kappa^t$ 。為克服缺乏其他搭配儀器所造成之實驗瓶頸，吾人充分利用微分電移動度分析儀之量測結果，轉而分析團聚之雙連(doublet)與三連(triplet)圓球奈米粒子之動力形貌因子  $\kappa^t$ ，幾何結構中雙連近似 1:2 之圓柱體，而三連近似三角體，成功完成非圓球粒子之動力形貌因子分析。

## (二)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

在設計製作低剛性機械結構方面，本計劃利用改變槽口形狀達成剛性  $\leq 40$  N/m 之要求。一般線切割放電加工機台 (Wire-cut Electro-Discharge-Machining, WEDM)，其加工之極限約在  $150 \mu\text{m}$  左右。雖然國外更先進之 WEDM 可達  $50 \mu\text{m}$ ，但本計劃在維持  $150 \mu\text{m}$  之加工極限下，藉由改變槽口型狀為橢圓型，並調整橢圓參數，設計製作出剛性為  $16.3$  N/m 之撓性機械結構。

## 【待改善之處】

### (一) 奈米粒子形貌與分佈量測技術

#### 1. 場發射環境掃描式電子顯微技術

購入之 SEM 在各項規格指標都優於當初之計畫，然而典型的 SEM 雜訊仍然存在，如影像的漂移，圖 1-7a 縱向圖像有線狀雜訊就是典型的影像漂移。此現象大多來至於電磁雜訊或機械震動，其中機械震動又有可能是平台相對的移動。一般系統



上述現象在一定範圍內皆可接受，然而要成為計量型 SEM 並減少量測不確定性，我們計畫進一步減少環境的影響，如電磁雜訊、聲音的屏蔽，溫度的控制等著手。

## 2. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術

目前最為人所熟知的移動度粒徑量測的儀器是掃描式移動度粒徑分析儀 (Scanning Mobility Particle Sizer, SMPS)[1-21]。之前，多階衝擊器常被用來做為氣動粒徑的離線式重量分析。現在則多使用已商品化的線上量測儀器，如氣動粒徑分析儀 (Aerodynamic Particle Sizer, APS)[1-22] 與電子式低壓衝擊器 (Electrical Low-Pressure Impactor, ELPI)[1-23]。氣膠重量的量測可採用重量分析法(Gravimetric Methods)，或是可線上量測的錐形震盪微量天秤 (Tapered Element Oscillating Microbalance, TEOM)[1-24]。另一種替代的重量量測儀器，氣膠微粒質量分析儀 (Aerosol Particle Mass Analyzer, APM)則是藉由旋轉腔體中微粒所受靜電力與離心力的平衡關係，來量測微粒重量與移動度的比值[1-25, 1-26]。

所有上述的儀器都遭遇到其本身技術的極限，導致量測的參數或是推導之有效密度產生隨機或是系統性的不確定度。例如，對於非球狀微粒，在不同大小的流場[1-27]及外加電場[13]之下，會遭遇到優勢定向的問題。也就是非球狀微粒所受的拖曳力，甚至量測到之氣動等效直徑，皆因微粒不同的定向而有不同的值。非球狀微粒之平均定向動力形貌因子(Dynamic Shape Factor)  $\kappa$  值皆大於一。然而，對於高深寬比(High Aspect Ratio)的微粒(如纖維)，由於微粒不同的定向， $\kappa$  值在不同流場下的變動尤其明顯[1-28, 1-29]。由於小粒徑微粒的擴散作用抵消了微粒的優勢定向，一般預期小粒徑微粒之定向效應問題會較小。文獻[13]量測包含兩顆與三顆圓球微粒的聚集粒子，發現這聚集粒子在小於 1000 V 的 DMA 電場中，通常都是隨機定向；而在超過 4000 V 之下則完全平行於電場方向。由於非球狀微粒的優勢定向問題，造成無法合適的預測其有效密度。

嚴格來說，文獻中所有方程式都僅可用於隨機定向，或是在量測過程完全不會改變其優勢定向的微粒。

### (二) 奈米粒子分散技術

國家度量衡標準實驗室肩負著維持國家最高的原級度量衡標準，著眼於奈米量測產業的大量需求出現下，驗證參考物質的開發亦相形重要，因此，FY100 開始將著手以數種化學方法，如無乳化劑乳聚合法、溶膠凝膠法、化學氣相沉積法、水熱法等合成奈米物質並進行分散及篩選。在約 100 nm 左右之尺寸已不易以物理的方式分散，為確保尺寸的單一分布，將進行表面改質的方法，如吸附、直接化學修飾、間接表面修飾、界面劑及溶劑等。分別製作單一成分粒子與氧化物粒子的驗證參考物質。最後將配合影像分析法與特性分析法，經過驗證過程使之成為驗證參考物質。驗證參考物質在保存期間常會產生團聚，而致在量測時造成儀器阻塞，因此在量測



前需先進行適當分散，如以超音波震盪及粒子氣霧化法 添加分散劑或介面改質劑、高壓氣流進行奈米粒子之分散。

### (三)奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

電容位移計的電容極板與偵測電路之間的導線連接方式須進一步改善。目前採用的接法是直接將導線鎖在電容極板之固定螺絲上，可能產生極板表面電壓不均勻之問題，進而影響差動電容之偵測靈敏度。

## 【後續工作構想及重點】

### (一) 奈米粒子形貌與分佈量測技術

#### 1. 場發射環境掃描式電子顯微技術

計量型場發射環境掃描式電子顯微鏡研製中，FY98 建立 FE-ESEM，最佳解析度 1 nm；FY99 整合計量型掃描平台之計量型 FE-ESEM，干涉儀解析度 <1 nm 及計量型平台解析度 2.5 nm，FY100 完成計量型 FE-ESEM 改裝及評估，在量測範圍 300 nm 時，量測不確定度 3 nm，其中選用恰當的計量型平台和平台控制方法是為重點。平台目前考量是純步進式平台，以連續掃描方式作動；或是壓電式平台，以 PID 回饋控制位置二者為方向。定位和控制皆由差動式單光干涉儀(Homodyne Interferometer)。

計量型電子顯微技術是要把電子束掃描模式改為平台掃描模式，此時的電子束控制在 standing mode。因電子束位置在掃描期間無法準確定位，造成量測不確定度增加，因而改以計量型平台做為準確定位之依據[1-30, 1-31]。

電子束位置在掃描期間會有以下幾個問題：

- (1)掃描時近軸的像場和遠軸的像場不一樣，也就是會有像差，此問題雖可以硬體及軟體的方式補償，但是無法評估每個位置的不確定度。
- (2)每次掃描的位準皆被掃描線圈的不確定度所影響，當然也包含雜訊的影響。故每一條線和線位準不同，每一畫面重複掃描亦不同，若以平均的手段處理影像，雖可消除高頻雜訊，但低頻的訊號偏移量無法因而消除反而因多次掃描而變嚴重。
- (3)量測過程中，平台有奈米級的微動而無法量測到，亦造成訊號之偏移。

因此以雷射干涉儀(解析度可遠小於 1 nm)做為位準及平台掃描模式之移動控制，可以確認位置的解析度可遠小於 1 nm，並可幾乎無限次的重現。以此模式進行計量量測，一則可追溯光學波長做為原級系統，一則解決電子顯微鏡長久以來平均模式無法解決低頻的訊號偏移的問題。圖 1-25 為 NIST 所作的實驗結果。圖 I 為以計量型電子顯微技術量測影像，顯然優於傳統模式(圖(b))。

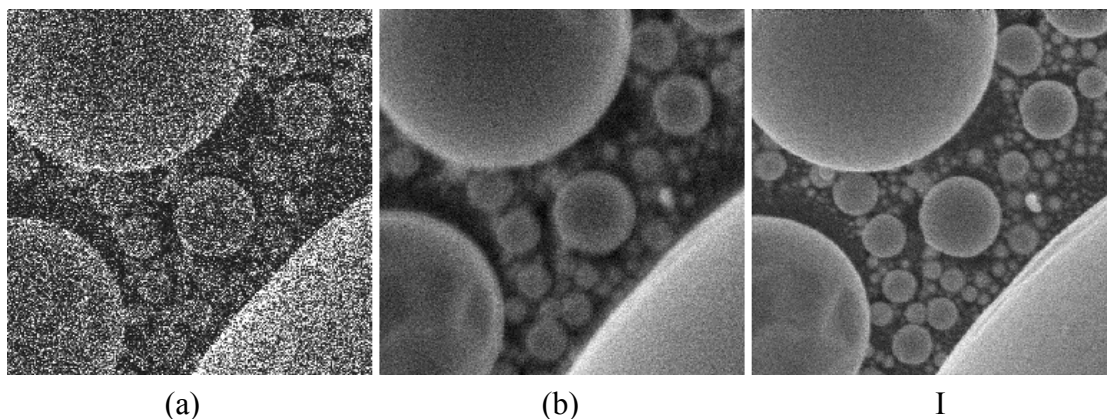
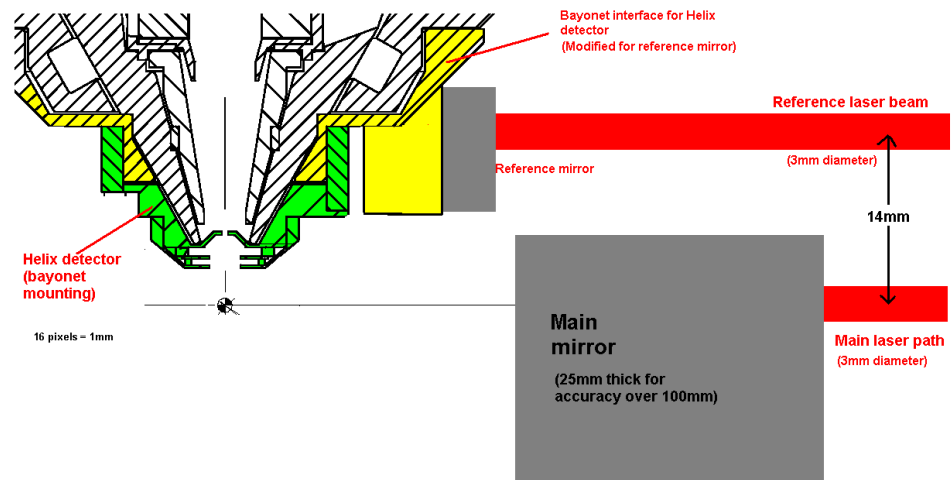


圖 1-25. (a) Single image acquired in 11 ms frame time (50 ns pixel dwell time); (b) Traditionally averaged 70 images; (c) The same 70 images averaged with the new, adaptive method (right). The lateral field of view is 4617 nm.

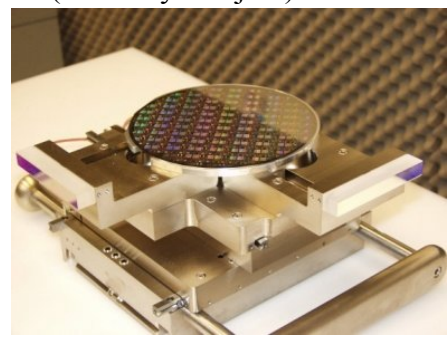
為進一步確保電子束與樣品之相對位置，我們計畫採用以差動式雷射干涉儀 (Differential interferometer) 的結構做為計量型電子顯微鏡系統的控制。此雷射干涉儀參考光束是經由裝置於物鏡末端之反射鏡反射，量測光束則由裝置於平台側邊之反射鏡反射，光束與待測物等高，以減少 Abbe 誤差。圖 1-26(a) 為計量型電子顯微鏡系統之示意圖，圖 1-26(b) 及 (c) 為美國 NIST 計量型 ESEM 的外觀和樣本承載台的照片。



(a) 差動式雷射干涉光路示意圖(Courtesy of Fjeld)



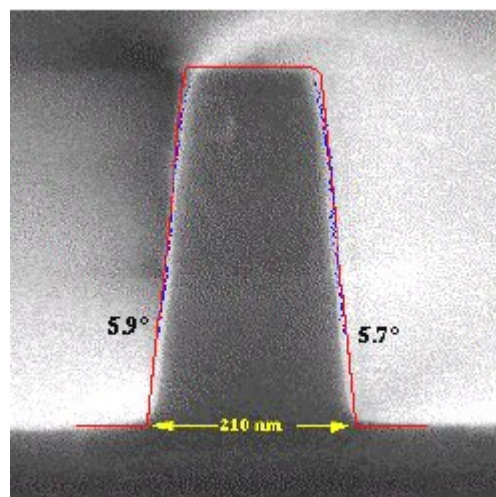
(b)計量型 SEM 外觀



(c)樣本承載台及干涉儀反射鏡

圖 1-26. 計量型電子顯微鏡(Courtesy of NIST)

對應於實際物體之間和量測值，有所謂的邊緣效應。這個效應會產生在待測物的邊緣，訊號顯現特別明亮的效果，進而產生實際尺寸無法定義的問題，如圖 1-27 所示。



Proc. SPIE **5375**, 199 (2004)

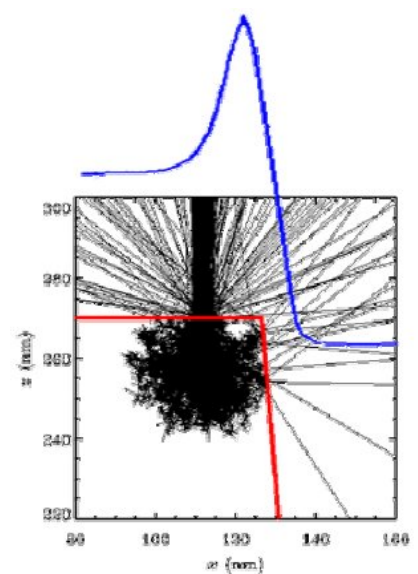


圖1-27 SEM量測邊緣效應

透過模擬二次電子散射行為，以形狀 角度演算 模擬出量測及實際物體的對應。即使經過系統改造的過程，系統還是會受到環境干擾，像是溫度，大氣壓力皆會影

響 SEM 腔體及干涉儀之不確定度，噪音、振動、電磁波都會影響影像品質。最值得注意的是雖然低真空模式可某種程度上解決電荷累積效應但此效應仍然存在，而且無法以計量型電子顯微技術解決，這些課題都是未來將面臨的課題。

## 2. 氣相粒子電移動度等效粒徑量測技術

由於吾人無法將非球狀微粒的形貌及密度完全分開來探討，因此才有了有效密度的概念產生。目前用來量測有效密度的儀器架構可分為兩類，一類是針對未知形貌的微粒，透過量測過渡區域有效密度  $\rho'_e$  來決定微粒的重量及傳輸特性；另一類則是藉由有效密度和其他有關微粒密度的資訊，而得到微粒的形貌。

對具有均勻密度或至少是具有相當規則的有效密度的微粒，可以藉由至少兩部儀器的平行量測而測定  $\rho'_e$  的值。對於來源混合微粒(密度不均勻)的微粒，可以採用串接儀器的架構。第一部儀器先篩選出已知粒徑的準單一分布(Quasi-Monodisperse)氣膠，再由下一部儀器來量測其特性。

下面介紹幾種未來可行的量測儀器架構，平行量測的部份將於儀器名稱間以“-”標示；而串接儀器的架構將以“+”標示。

### SMPS-Impactor

本架構比較以數量為基礎的移動度量測(如 SMPS)和以重量為基礎的氣動資料(如多階衝擊器)。由於必須將縱軸的微粒數量轉換成重量，此步驟和  $\rho'_B$  有關；還需要將橫軸的  $d'_B$  轉換成  $d'_a$ ，此步驟和  $\rho'_e$  有關。因此，此架構已遭遇到相當大的問題。但是由於  $\rho'_e = \rho'_B$ ，藉由下述的演算法將可由 SMPS-impactor 的資料推導出  $\rho'_e$ 。

- 先輸入猜測的  $\rho'_e$  值。
- 利用此值將 SMPS 的數量分布轉換成重量分布，並將  $d'_B$  轉換成  $d'_a$ 。
- 將轉換過的 SMPS 分布對重量做積分。
- 重複步驟 b 至 d，儘量降低兩粒徑分布的最小平方誤差來決定最後的  $\rho'_e$ 。

### SMPS-ELPI

ELPI 和 SMPS 的平行量測可線上測定出  $\rho'_e$  [1-32]。除了一些因為儀器的非理想化因素所造成的限制之外，此架構同時線上測定微粒粒徑及有效密度，可應用於具有固定  $\rho'_e$  的寬廣分布微粒，及具有與尺寸相關  $\rho'_e$  的微粒[1-33~1-35]。

### SMPS-APS(-TEOM)

借由觀察 SMPS 與 APS 的數量-粒徑分布圖中的粒徑值平移差距(橫軸分別是移動度直徑與氣動直徑，兩個值並不相等)，即可測定出  $\rho'_e$  [1-36, 1-37]。由於這兩個儀器的粒徑量測重複範圍相當小，大約介於 600 nm 至 1000 nm 之間，因此適合粒徑為 800 nm 左右的  $\rho'_e$  量測。若要推論到整個粒徑分布與隨後的重量測定，則必須做出形貌與  $\rho'_e$  為定值的假設。如果還可以由 TEOM 來量測重量，則此假設的正確性就可藉由比較 SMPS-APS 的積分結果和 TEOM 直接測定的重量來評估出來。如此等同於比較  $\rho'_e$

與所謂的顯在密度(Apparent Density)，顯在密度為所有微粒重量與所有等移動度體積  $V_B$  的比值。而 APS 的粒徑分布平移差距[1-37]則將 SMPS 的分布拓展到了次微米的等級[1-38]。

### DMA+Impactor

1992 年開始有文獻[1-39]使用此即時架構，將 DMA 串接在已知截止點(Cut-Point)的慣性衝擊器(Inertial Impactor)之前來測定均勻固體與液體微粒的  $\rho_e^t$ 。當步進改變 DMA 的電壓時，衝擊器的上、下游微粒密度的變化都分別以凝核技數器(Condensation Particle Counters, CPC)加以監測。當衝擊器的輸出達到 50%時，此時的  $d_B^t$  對應到已知的截止點  $d_a^t$ ，因此即同時量測到  $d_B^t$  與  $d_a^t$ 。對圓球粒子而言，量測到的密度與總體密度  $\rho_p$  相比，誤差在 4%之內。但是對於 NaCl 微粒而言，量測值  $\rho_e^t = 1860 \text{ kg/m}^3$  卻比其  $\rho_p$  小了 14% [1-39]。這個差距可視為是非球狀 NaCl 微粒的形貌所造成的。

### DMA+ELPI

近年來，有文獻[1-32]利用 DMA+ELPI 系統來量測多分散柴油油煙微粒的  $d_B^t$  ( $75 \text{ nm} < d_B^t < 280 \text{ nm}$ )與  $d_a^t$ 。將其資料代入式(16)以計算微粒重量與移動度直徑的關係，並同時測定碎形維度  $D_f$  值，可以得到  $D_f = 2.22$ ，落於一般觀察柴油油煙微粒的範圍。

### DMA+TEOM

理論上來說，DMA+TEOM 系統可以同時測定  $d_B^t$  和  $m_p$ 。然而，由於 TEOM 的偵測極限相對較差(約  $5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ )，但是對於帶有多電荷的微粒又有很高的靈敏度，需要非常小心的校正以消除多電荷的微粒的影響，因此嚴重影響了此系統在環境氣膠量測上的應用。

### DMA+APM

由於接在 DMA 之後的 APM 為量測重量-電荷比，因此可以分辨帶單一電荷和帶多電荷的微粒的重量差別。文獻[1-40]已證明此技術用來量測城市中空氣微粒的可行性。在其實驗中，於  $100 \text{ nm}$  到  $300 \text{ nm}$  的移動度直徑範圍附近，分辨出了四種不同的有效密度  $\rho_B^t$ 。

不僅是粒子的質量與傳輸特性，如果有額外的總體密度  $\rho_p$  資訊，粒子的形貌因子也可藉由有效密度的量測而得。換言之，如果已知動力形貌因子，也可測定出  $\rho_p$ 。底下將介紹兩種量測形貌的串接儀器架構。

### DMA+Impactor

前面提到有文獻指出採用 DMA+impactor 系統量測之 NaCl 粒子的  $\rho_e^t = 1860 \text{ kg/m}^3$  卻比其  $\rho_p = 2165 \text{ kg/m}^3$  小了 14 %。分析其資料，由式(7)與式(14)可以得到當  $d_a^t = 175 \text{ nm}$ 、 $d_B^t = 111 \text{ nm}$  時， $\kappa^t = 1.093 \pm 0.035$ 。在 3 %的實驗不確定度之下，這個值相當符合理想四方體的連續區域 (Continuum Regime) 形貌因子  $\kappa^c = 1.08$ 。

## DMA+Impactor

DMA 與氣膠質譜儀(Aerosol Mass Spectrometry, AMS)的串聯架構，相當於一個氣動聚焦鏡(Aerodynamic Focusing Lens)，可以由  $d_B^t$  與  $d_a^t$  來測定出  $\rho_e^{ft}$  [1-41]。此方法已經成功用來測定不同型態的氣膠。量測已知  $\rho_p$  的粒子，可以推導出其平均形貌因子  $\bar{\kappa} \equiv \sqrt{\kappa^t \kappa^f}$  [1-42]。如果可以單獨求得  $\kappa^t$ ，在  $\bar{\kappa} \approx \kappa^f$  的假設之下，則此架構可以用來估計出  $\kappa^f$ 。其中， $\kappa^f$  為自由分子區域(Free Molecule Regime)的形貌因子。

粒子的動力形貌因子並非為一個定值，其值隨著不同電場強度、不同流場大小與不同的定向而有很大的變化。再者，形貌因子在目前的技術水準之下，並不能單獨由一部儀器的量測結果而求得。必須至少兩部以上不同的儀器彼此搭配，或串連或並聯，測定不同的物理參數，從而求得有效密度；或是經由三部以上的儀器搭配量測，才能求得動力形貌因子值。若是以盡量含括 DMA 所能量測之粒徑範圍(20 nm 至 500 nm)為前提來選擇搭配之儀器，則最佳選擇為 APM (ELPI 的解析度太粗略)。因此，未來若計劃發展氣相粒子的等效粒徑量測系統，以獲取粒子的有效密度  $\rho_B^t$ ，則採 DMA 串接 APM 為最佳選擇。但是若要獲取粒子的動力形貌因子資訊，則必須利用如密度計(Pycnometer)等其它方式量測粒子的密度  $\rho_p$ ，再藉由式(14)來求得動力形貌因子的值。

## (二) 奈米粒子分散技術

本計畫以超音波震盪、添加分散劑以及高壓氣流進行奈米粒子之分散，FY98-99 將分別針對單一成分粒子與氧化物粒子建立分散技術；FY100-101 則將分別針對單一成分粒子與氧化物粒子建立篩選技術；同時，NML 肩負著維持國家最高的原級度量衡標準，及奈米粒子大量使用於傳產、生醫及能源，故驗證參考物質的開發亦相形重要，因此，至 FY100 以後將配合影像分析法與特性分析法，持續製作不同之單一成分粒子與氧化物粒子( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{TiO}_2$ )的驗證參考物質，圖 1-28 為奈米粒子驗證參考物質分散技術流程示意圖。

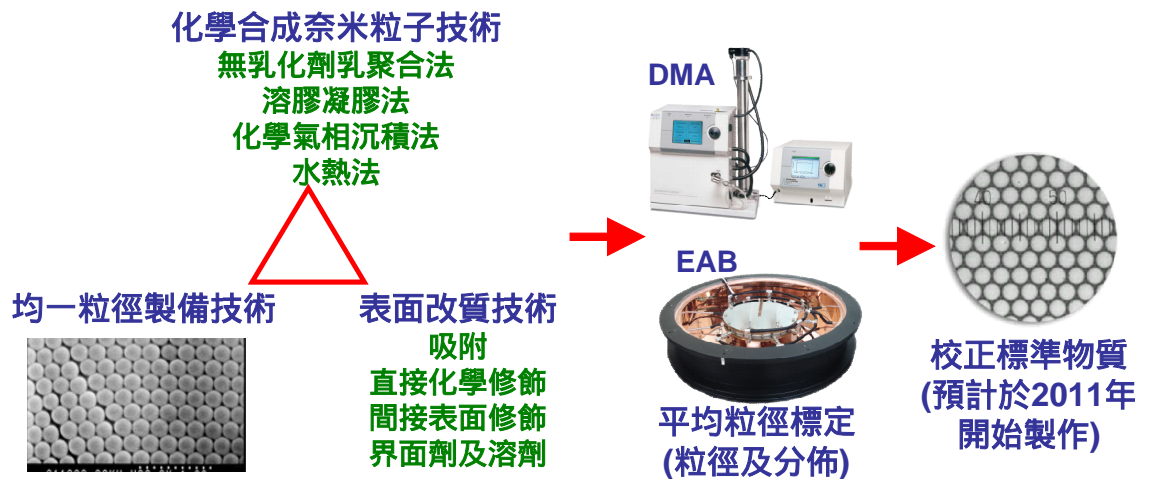


圖 1-28 奈米粒子驗證參考物質分散技術

### (三) 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立

持續研發低雜訊、低剛性之單體撓性結構，並降低電容偵測與靜電力驅動電路之雜訊。此外，本計劃在 FY99 將著重於此測力機構與 1 mg 法碼比對之相關前期工作，共包含了剛性結構之力學特性量測、靜電力控制迴路之建立與調教、力量追溯、地震雜訊隔離、真空系統、以及質量乘載與置放機構之建立等。

## 二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

### 【年度目標】

- (一) 薄膜結構參數量測標準及參考物質質量測技術建立：單一線寬之 SWA、LER 量測技術研究，並完成 SWA 最佳能力分析( $<1^\circ$ )。線寬參考物質( $0.35\ \mu\text{m} < \text{線寬} < 1\ \mu\text{m}$ )。
- (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立：晶圓表面上散射光量測技術建立。晶圓表面最小量測微粒直徑可達 30 nm。
- (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立：薄膜應力量測技術 (thickness $<100\text{nm}$ )。薄膜拉伸量測技術(strain rate  $0.05\ \text{s}^{-1}$ )。薄膜拉伸量測技術(strain rate  $0.05\ \text{s}^{-1}$ )。

### 【本年度成果】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質質量測技術建立

本年度已經建立側壁傾斜角度量測量測技術之量測能力評估，最佳量測能力  $0.87^\circ (<1^\circ)$ ，信賴水準(擴充係數)：95%， $k=2.78$ 。

本年度已經完成線寬標準片(介於  $0.2\ \mu\text{m}$ - $1\ \mu\text{m}$ )之研製，標準片線寬之均勻性小於 10 nm。

#### (二) 薄膜表面特徵量測標準技術建立

系統量測能力為晶圓表面上奈米微粒的直徑範圍為 30 nm ~ 350 nm，表面粗糙度為  $R_a = 10\ \text{nm} \sim 5000\ \text{nm}$ ，表面薄膜厚度範圍為 2 nm ~ 50 nm，並可承載 2 ~ 12 吋的晶圓進行量測。

#### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

本技術以評估菲佐干涉儀量測平面參考鏡面輪廓之不確定度作為後續相關殘留應力量測之基礎，需考慮之評估因素，如雷射光源穩定度、相位移誤差、PZT 非線性誤差、CCD 非線性誤差、A/D 轉換處理誤差、振動與空氣擾動影響等。經評估後，其不確定度之最大來源為參考標準平面輪廓所導入之不確定度。經不確定度評估後，在量測平面輪廓的範圍為直徑 102 mm (4 inch)時，其量測平面輪廓之擴充不確定度為 14 nm (信賴水準為 95%)。

完成薄膜電性差動式快速抖動掃描裝置(Galvanometer 與其支撐座、樣品夾具等)之規格設計與採購後，架設 THz 差動訊號時域頻譜分析量測系統。此系統附有除水性能(相對溼度 $<10\%$ )，可使訊噪比提高一倍。

### 【技術創新】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質質量測技術建立

隨著半導體工業的發展，關鍵尺寸(Critical dimension, CD)因而半導體結構關鍵外形 (Critical shape) 越來越重要，一般把半導體製造的關鍵外形分為四部分：Top CD、



Bottom CD Height 與 Side-wall angle $\alpha$  (SWA) 四個半導體製造關鍵外形參數(如圖 2-1), 我們稱為關鍵尺寸; 值得注意的是隨著半導體製程線寬的縮小, 這些微小的幾何參數都會影響到產品的品質, 未來為了更準確量測關鍵外形, 我們必須發展這些件尺寸的量測技術, 以幫助半導體與奈米科技產業, 增進其產品的品質。除了上述提及之 CD 參數外, 半導體業對於 LER (Line edge roughness) 或 LWR (Line width roughness) 的控制, 重要性尤其日漸顯著。許多研究測試顯示, 在逐漸縮小的線寬, LER 所造成的問題將大大影響到製程中原本的關鍵尺寸(CD)所具備的容許誤差, 進而惡化元件並表現造成良率問題; LER 可以定義為在半導體製程線寬上, 由於線寬邊緣 (line edge) 的不均勻性(如圖 2-2), 相對於直線邊緣的偏差, 一般以偏差的三倍標準差 ( $3\sigma$ ) 作為衡量標準。

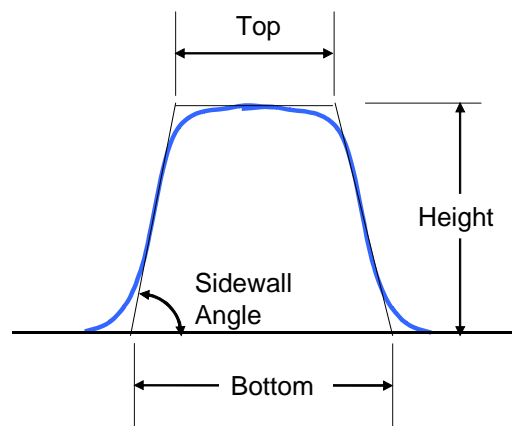


圖 2-1 關鍵外形量測模型的各项參數示意圖

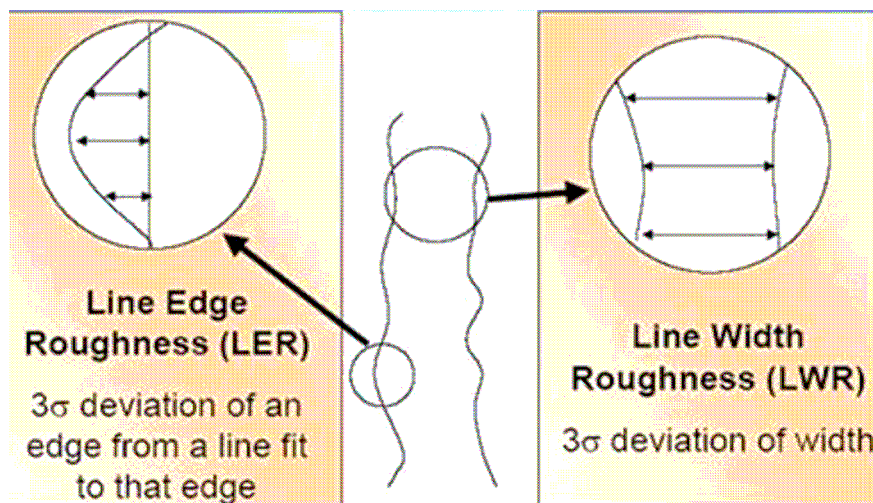


圖 2-2 LER/LWR 參數示意圖

一般而言, 在量測奈米級表面特徵尺寸主要之量測設備為電子掃描顯微鏡(SEM)、穿透式電子顯微鏡 (TEM)、原子力顯微鏡(AFM)等儀器, 這些儀器可量測數十微米至幾

個奈米等級表面特徵，解析度都可達 0.1 nm，但使用 TEM 時，TEM 試片製作依照傳統方法，經切割、研磨、研磨(Dimpler)、離子薄化、鍍碳等過程，準備工作是相當費時費工，且是屬於破壞性檢測，掃描式電子顯微鏡(CD- Scanning electron microscopy, CD-SEM)尚可量測 CD，但受制於 SEM 使用高壓、高速電子，其量測過程會衝擊待測物而造成損壞及高溫燒毀，或者造成光阻性質改變，且只能量測到 2D，對於 SWA 無法進行檢測。另外發展以光學散射量測 CD 技術，但只適用於週期性光柵之線寬量測，無法量測單一線寬，有鑑於此，各國研究單位也積極投入研究的領域。美國 Soluris 公司將 CD-SEM 整合於線上積體電路之關鍵尺寸檢測，因其快速檢測優點，對於 SWA 檢測可以達 1°之準確度，唯需將試片另進行 cross section 切割動作[2-1]。法國研究學者 Foucher 利用 Model X3D from Veeco Instruments 檢測蝕刻後形狀，來決定適用之蝕刻參數[2-2]。美國 SEMATECH 與 NIST 研究學者群在試片傾斜下使用 CD-SEM 進行檢測，透過不同的聚焦距離，可以在 top-view 影像直接量測 SWA，而不需將試片切剖面 [2-3]。另外也有文獻提出使用 CD-SEM 取 Top-Down 影像，藉由電子束撞擊在邊緣之電子訊號強度匯整成一資料庫，之後取量測到之訊號比對資料庫，可得到相近之邊緣形狀[2-4, 2-5]。但 X3D 機台與探針試片成本過高，而傾斜式 SEM 取像所得之輪廓形狀只是近似出，而非直接取得高度資訊。

有鑒於此，本研究進行開發出一種新的原子力顯微鏡 (AFM) 的測量技術，主要用以檢查奈米元件側壁傾斜角的製作狀況。本技術應用原子力顯微鏡，搭配超細探針 (Supper sharp tip)透過試片傾斜一個角度，並結合 AFM 的量測模式，將奈米元件側壁傾斜角掃描出來，並以軟體進行量測分析。為了驗證這種方法，本研究進行參考樣本的量測，除了探討其量測技術外，並估算其量測的擴充不確定度。本量測方法同樣可應用於線邊緣粗糙度(LER)量測。

側壁傾斜角的量測系統包括：一台 AFM 的主體(Type: DI 3100)、一台 AFM 的控制器 (DI 3100 Controler)、一台精密壓電位移裝置(Peizo)控制器(Type: NanoScope IIIa)，量測系統示意圖如圖 2-3 所示。

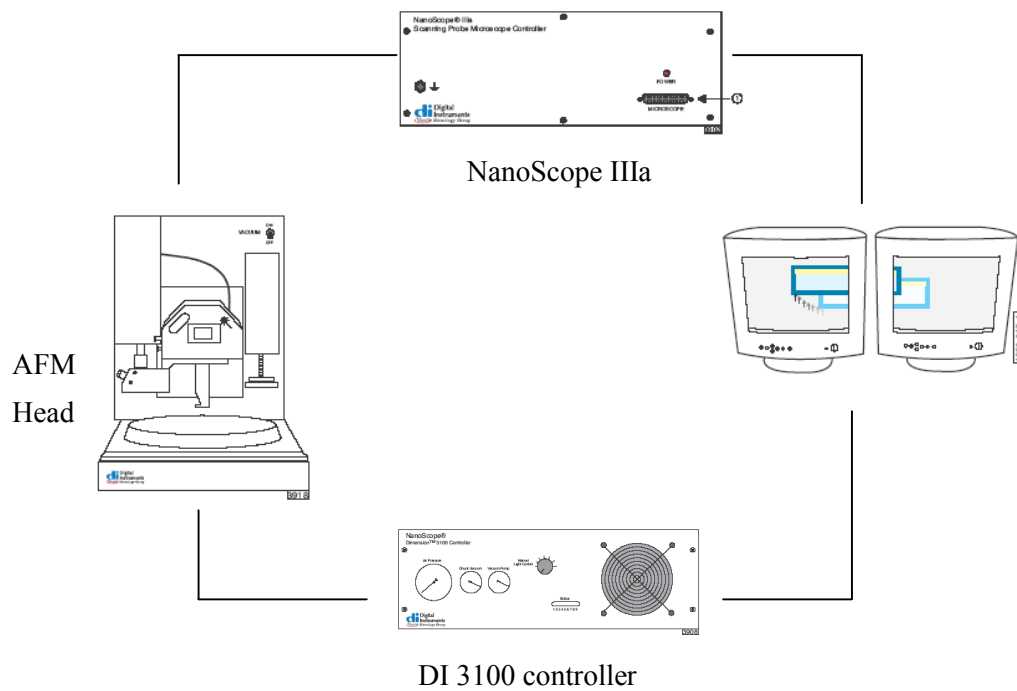


圖 2-3 側壁傾斜角的量測系統(DI 原子力顯微鏡)

側壁傾斜角的量測系統流程如圖 2-4 所示，以求出側壁傾斜角度，有關各項儀器之操作方法，請參閱並熟悉原子力顯微鏡的使用手冊。

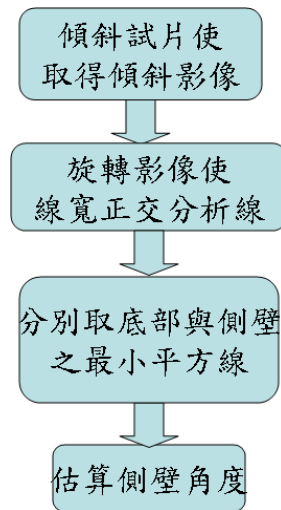


圖 2-4 側壁傾斜角度量測系統流程圖

## (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

晶圓表面特徵的量測與標準建立一直是半導體業界急需的計量技術，而晶圓表面特徵其中包含附著於晶圓表面的奈米微粒(金屬、非金屬)、表面粗糙度、表面薄膜、線距等在製程中均是非常重要的量測參數。本計畫因此設計發展出一套奈米級的晶圓表面特徵量測系統，此套系統可以同時四個角度旋轉用以量測不同的晶圓表面特徵所

發出的散射光，經過散射光偏振分析後即可得知晶圓表面奈米級特徵的尺寸大小與分佈特性等。目前此系統可以量測到晶圓表面上奈米微粒的直徑範圍為 30 nm ~ 350 nm，表面粗糙度為  $R_a = 10 \text{ nm} \sim 5000 \text{ nm}$ ，表面薄膜厚度範圍為 2 nm ~ 50 nm，並可承載 2 ~ 12 吋的晶圓進行量測。

在許多文獻中已經發展和探討了單顆微粒所產生散射光的理論分析，為了要有效的將實驗結果利用雙向橢圓參數來進行分析，圖 2-5 為一個試件座標系統圖用以定義散射光場中的各個角度，其中奈米微粒的半徑為  $a$ 、折射率為  $n_{sph}$ 、微粒與晶圓表面間的距離為  $d$ 、晶圓表面的折射率為  $n_{si}$ 、一個波長為  $\lambda$ 、入射角度為  $\theta_i$  的偏振平面光入射到晶圓表面和奈米微粒上而產生極角為  $\theta_r$  和方位角為  $\phi_r$  的偏振散射光，而一個偏振散射光場可以經由入射和散射光場之間的關係來決定，一般是用 Jones 散射矩陣  $S$  來表示如下[16]：

$$\begin{pmatrix} E_p^{scat} \\ E_s^{scat} \end{pmatrix} = \frac{\exp(ikR)}{R} \begin{pmatrix} S_{pp} & S_{sp} \\ S_{ps} & S_{ss} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_p^{inc} \\ E_s^{inc} \end{pmatrix} \quad 2-1$$

其中  $R$  為散射光場到光偵測器的距離、 $k = 2\pi/\lambda$ ，而  $E^{scat}$  和  $E^{inc}$  分別為散射光和入射光的電場強度，其中下標  $p$  和  $s$  則表示光的偏振方向。

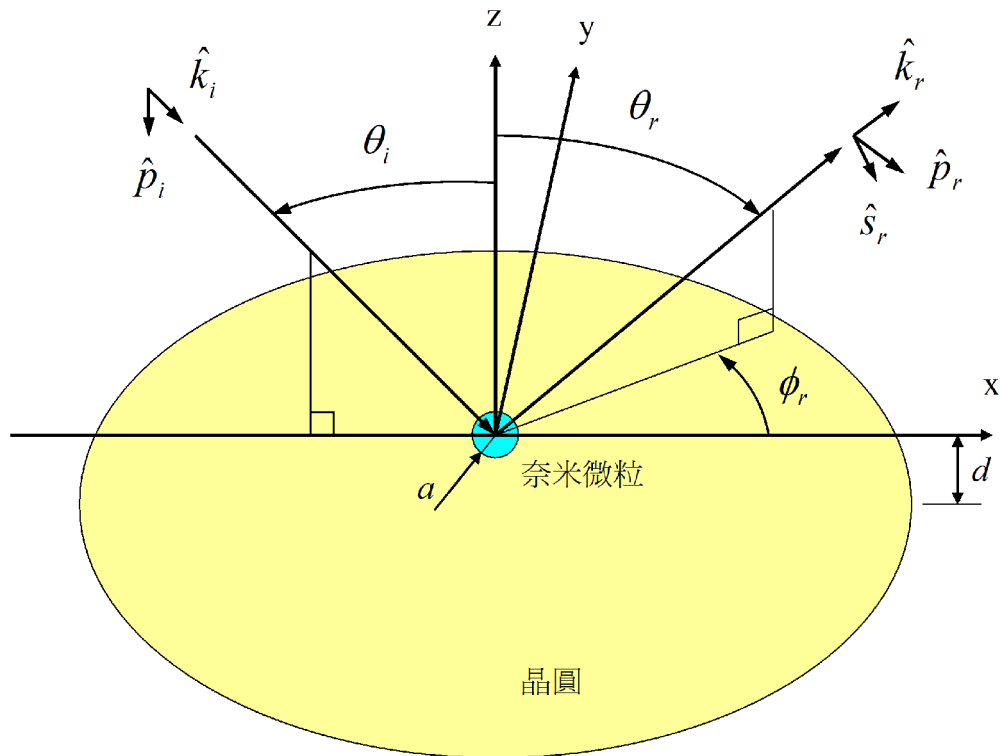


圖 2-5 試件座標系統

本文使用多角度調整光散射儀，用來量測晶圓表面上奈米微粒所發出的散射光，附著在晶圓表面上的奈米微粒有三種粒徑大小，分別是 30 nm 和 100 nm，在量測的時

後均設定  $\theta_i = \theta_r = 45^\circ$  並旋轉  $\phi_r = 0^\circ \sim 180^\circ$ 。圖 2-6 為 8 個 Mueller 矩陣元素在粒徑為 30 nm 和 100 nm 奈米微粒下隨著散射光方位角  $\phi_r$  變化的情況，由圖中可看出粒徑越大 Mueller 矩陣元素的變化幅度也就越大。雙向橢圓參數  $\eta$  和  $P_L$  可經由量測後的 Mueller 矩陣計算出來，圖 2-7 為橢圓參數  $\eta$  和  $P_L$  在隨著粒徑從 30 nm 到 100 nm 的奈米微粒和散射光方位角  $\phi_r$  變化的情況，無論從理論或實驗量測值均可以看出不同粒徑大小的奈米微粒會產生不同的偏振狀態，也就是說其橢圓參數  $\eta$  和  $P_L$  會不相同，也因此在此在實際量測時就可以利用這個特性來加以區分不同的奈米微粒大小。

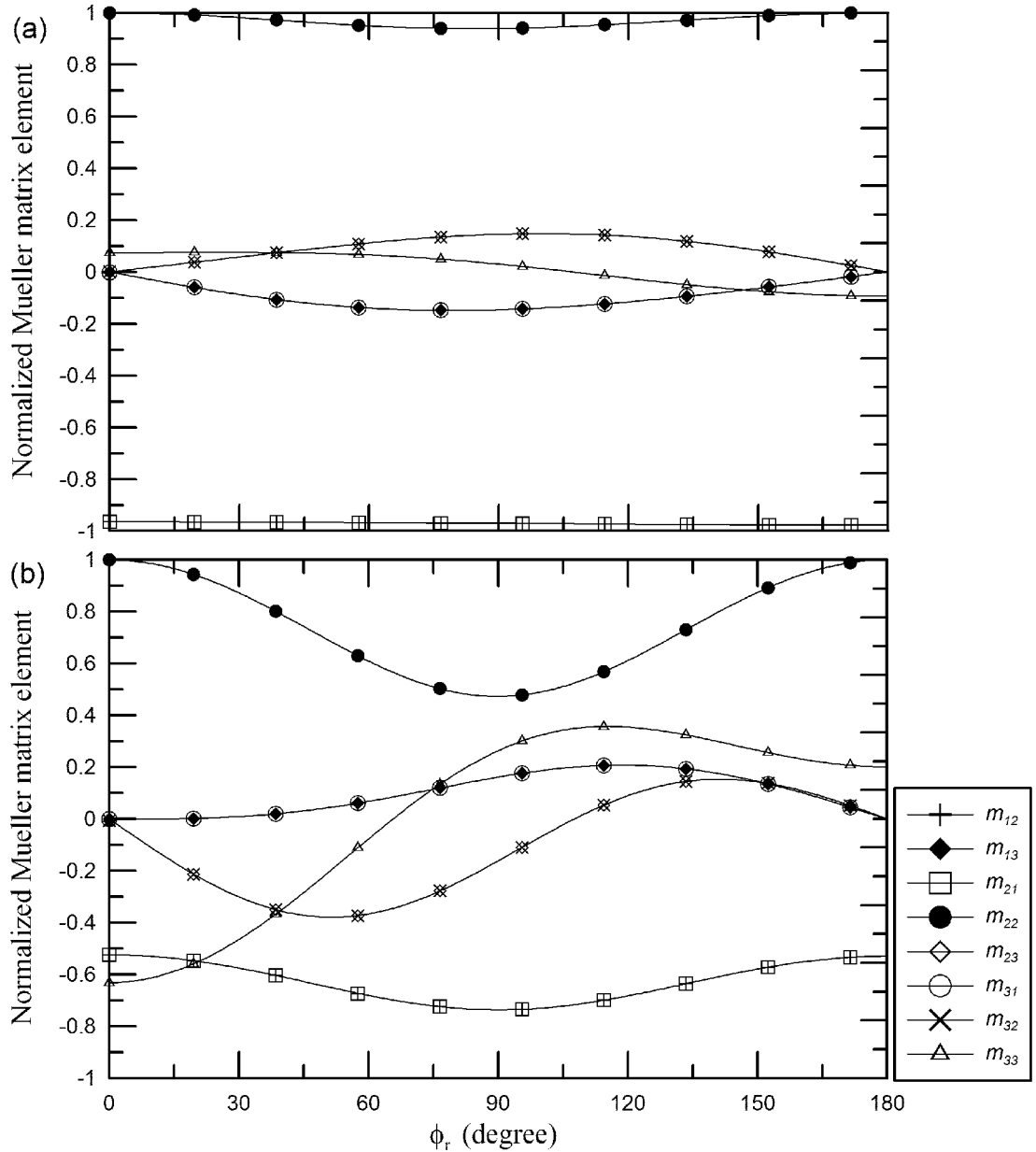


圖 2-6 Mueller 矩陣元素在粒徑為(a) 30 nm 和(b) 100 nm 奈米微粒下隨著散射光方位角  $\phi_r$  變化的情況

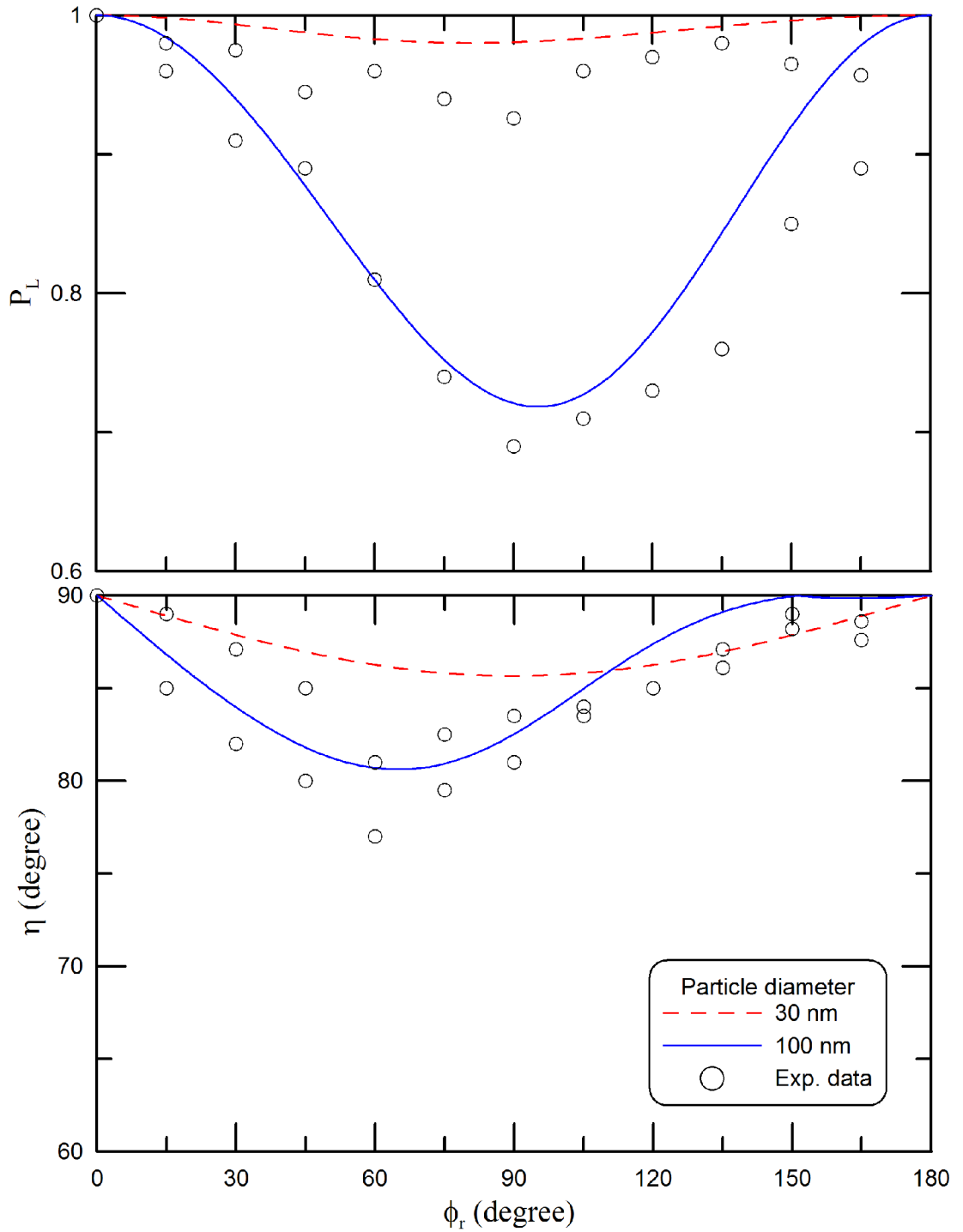


圖 2-7 橢圓參數 $\eta$ 和 $P_L$ 在隨著不同奈米微粒和散射光方位角 $\phi_r$ 變化的情況

由圖 2-7 中橢圓參數 $\eta$ 的變化情形，可以看出每種粒徑大小的奈米微粒都有其獨特的橢圓參數 $\eta$ ，因此奈米微粒的粒徑大小可以經由定義橢圓參數 $\eta$ 的斜率來求得。圖 2-8 為橢圓參數 $\eta$ 的斜率 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 隨著不同粒徑大小而變化的情況，實線部分為理論計算值，圓圈部分則為實際量測值，此量測結果與理論計算結果相當吻合，也證明奈米微粒的粒徑是可以由橢圓參數 $\eta$ 的斜率來求得。經由標準的統計分析之後，評估 $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$ 的不確定度有 95 % 以上的信賴水準。因此偏振散射光量測技術可以用來有效

的量測和評估未知尺寸的奈米微粒。

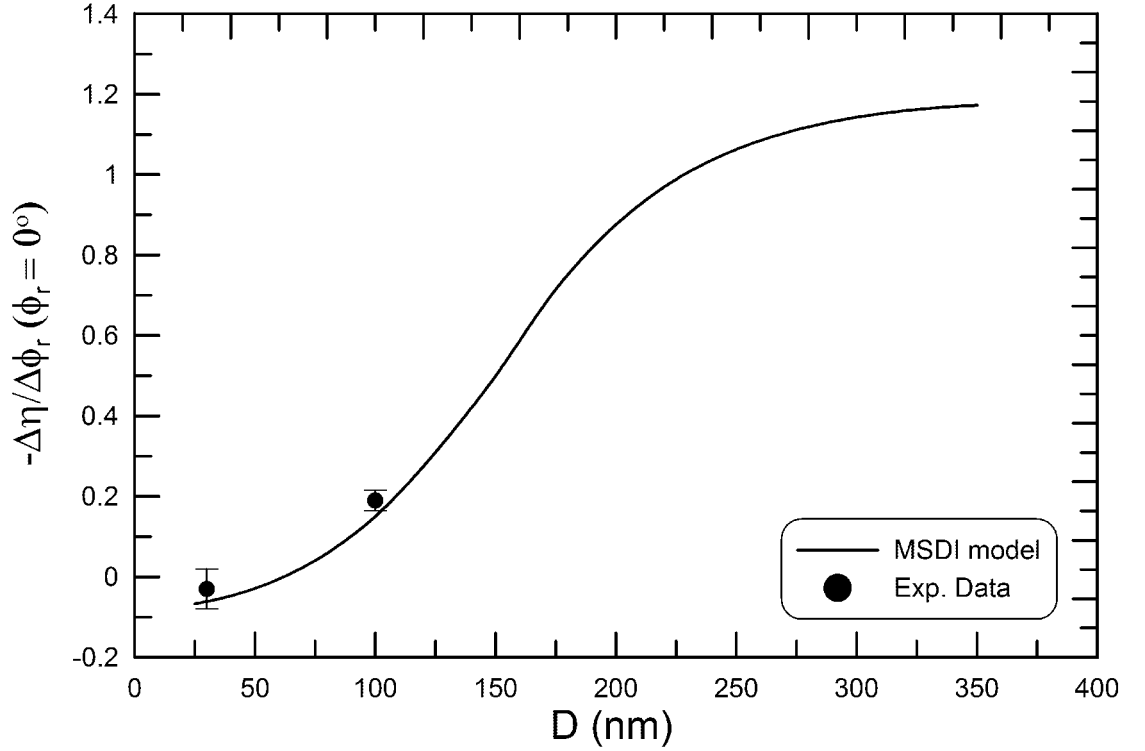


圖 2-8 橢圓參數  $\eta$  的斜率  $-\Delta\eta/\Delta\phi_r$  隨著不同粒徑大小而變化的情況

### (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

#### 薄膜殘留應力量測技術

半導體產業、綠能、生醫、面板與奈微米機電系統等現代科技產業皆需利用薄膜製程。伴隨著製程線寬由早期  $0.25\ \mu\text{m}$  演進至現今小於  $90\ \text{nm}$  的線寬，奈米科技應用於產業市場上越顯得重要。而電子產品壽命除與電特性相關外，其間所產生的薄膜機械性質亦為影響元件可靠度的關鍵因素。如誤判薄膜楊氏模數、薄膜與基材間產生之殘留應力與附著力皆為常造成產品良率(Yield)過低之因素。雖然，薄膜楊氏模數可藉由薄膜材料特性分別由奈米拉伸或奈米壓痕進行量測獲得。而在殘留應力量測上，除需瞭解薄膜楊氏模數外，量測位移變形之菲佐(Fizeau)干涉儀為常用之運用技術。而商用之光學干涉儀缺乏量測範圍不確定度之評估。因此，本研究所建立之全域性相位移光學干涉量測系統，其目的乃藉由光學量測所得之位移資訊，並藉由薄膜力學理論，可獲得薄膜與基材間之殘留應力。透過施加電壓使得壓電陶產生變形，可以分別於不同相位下擷取所相應之光學干涉條紋，本研究將利用四步相位移法，分別於相位角為  $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$  及  $3\pi/2$  下分別擷取四張不同相位之光學干涉影像( $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  及  $I_4$ )，所相對應之光強度分別為：

$$I_1 = I_o + I_r + 2\sqrt{I_o I_r} \cos(\theta)$$

$$I_2 = I_o + I_r + 2\sqrt{I_o I_r} \cos(\theta + \pi/2) \quad 2-3$$

$$I_3 = I_o + I_r + 2\sqrt{I_o I_r} \cos(\theta + \pi) \quad 2-4$$

$$I_4 = I_o + I_r + 2\sqrt{I_o I_r} \cos(\theta + 3\pi/2) \quad 2-5$$

其中  $I_o$  為物光之光強； $I_r$  為參考光之光強； $\theta$  為物光與參考光之初始相位差。根據上述之四張光學影像，可以計算獲得與薄膜基材變形相關全域性相位分佈，即

$$\theta = \tan^{-1} \left| \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \right| \quad 2-6$$

由於方程式(2-6)為一反正切函數，因此所計算之相位會侷限於  $-\pi/2$  與  $\pi/2$  之間，透過將相位重建(Phase unwarping)之技術可以完原出真實之變形資訊。

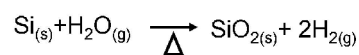
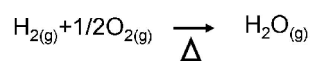


圖 2-9 全域性相位移光學干涉量測系統

### SiO<sub>2</sub> (60nm)薄膜沉積於矽基板之殘留應力量測

以水平爐管(Atmospheric Pressure Chemical Vapor Deposition)之方式成長，以氫氧點火的方式產生水汽，且通入氧氣對氫氣的比例為 1.3~1.5(必須小於 2)。較高之爐管溫度，可避免未反應氫氣累積，發生氫爆。氫氧點火乃是靠氣體通入高溫 Torch(石英材質)，Torch 溫度需高於 650℃，而點火後維持在 350℃ ~ 850℃ 之間，水汽再與矽基板反應形成 SiO<sub>2</sub>。

反應式:





薄膜與基材間之殘留應力: 
$$\sigma_i = \frac{E_s}{1-\nu_s} \frac{t_s^2}{3l^2} \frac{\delta}{t_f}$$

其中:  $E_s$  為基材之楊氏模數;  $\nu_s$  為基材之波松比;  $t_s$  為基材之厚度;  $l$  為試片之長度;

$\delta$  為薄膜基材結構之翹曲變形;  $t_f$  為薄膜之厚度。而量測實驗中相關參數的設定分別

為: 基材之厚度為  $525 \mu\text{m}$ ; 薄膜之厚度為  $60 \text{ nm}$ ; 試片之長度為  $2 \text{ cm}$ ;  $\frac{E_s}{1-\nu_s}$ :  $181$

GPa。而薄膜基材結構之翹曲變形參數的獲得乃藉由光學量測所得之位移資訊(如下圖所示)。由 Stoney equation 可獲得  $60 \text{ nm}$  之二氧化矽薄膜與矽基材間之殘留應力為  $485 \text{ MPa}$ 。

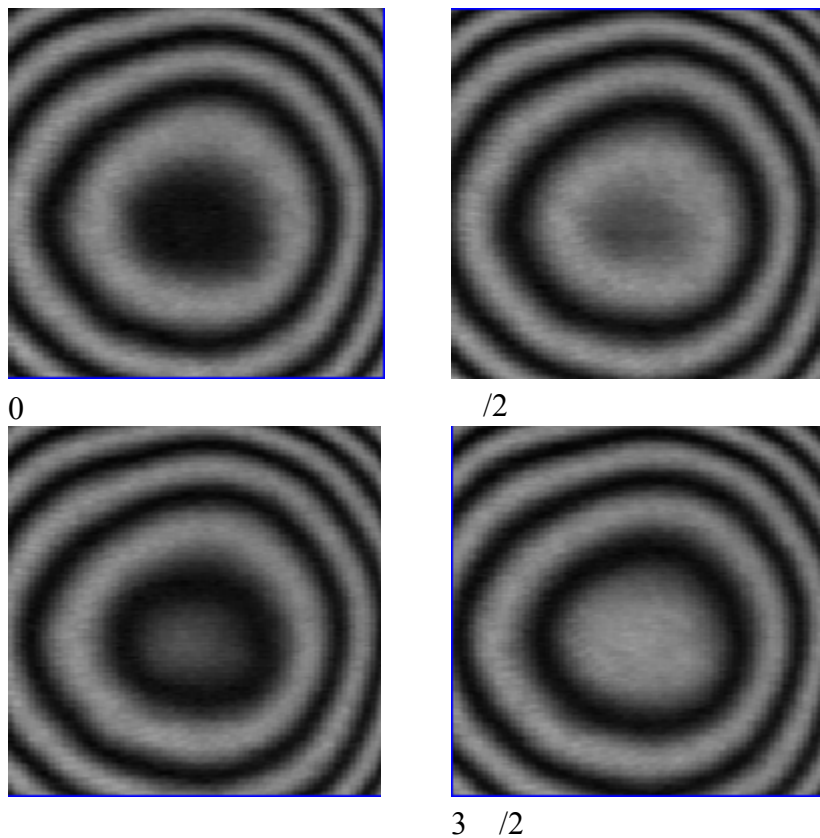


圖 2-10  $\text{SiO}_2$  薄膜( $60\text{nm}$ )之干涉條紋

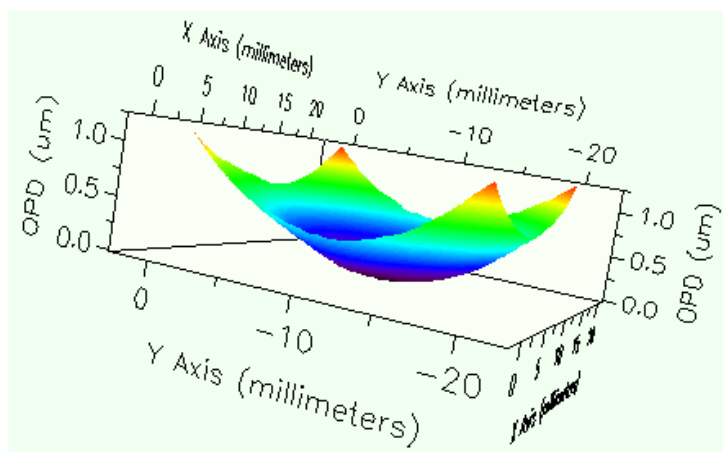


圖 2-11 60 nm 之  $\text{SiO}_2$  薄膜之變形圖

### 薄膜拉伸量測技術

在薄膜拉伸研究中，主要目的為評估微小力量量測系統(N11)在小於  $0.05 \text{ s}^{-1}$  的拉伸應變率下，對薄膜材料機械性質之影響。近年來，新式準直性碳管高分子複合薄膜大量被文獻所提及，然而對其機械性質研究卻不多見。因此，利用垂直式奈米碳管與聚對二甲苯複合薄膜探討微小力量量測系統其應變率對於薄膜性質之影響。在評估中發現，量測薄膜彈性模數值隨應變率之減小而降低。另外，亦利用該機台來進行薄膜相關之動態機械性質量測。在不同應變率下，由試驗量測之動態彈性模數值差異並不明顯。

為瞭解奈米碳管之結構，藉由場發穿透式電子顯微鏡(FETEM)獲得利用鐵膜做為催化劑之奈米碳管影像，如圖 2-12 所示。透過場發影像瞭解單一奈米碳管結晶結構與形貌。從圖 2-12a 中，奈米碳管呈現竹節狀(Bamboo-shape)主要是由於成長碳管混合氣體中氮氣所造成之影響；而圖 2-12b 中，多壁奈米碳管之直徑為 58.46 nm，邊端厚度約為 21 nm，而直徑中空部份直徑則大於 11.75 nm。間距(D-spacing of (0 0 1)) 0.35 nm，符合石墨的晶格參數。圖 2-13 為奈米碳管在沉積聚對二甲苯後之奈米碳管複合薄膜結構斷面圖，未遭包覆之奈米碳管佔極小部份。圖中柱狀形結構，經能量散射光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer)分析其成份，發現具有氯化物(Chloride)為聚對二甲苯之組成成份，可得知柱狀形結構為奈米碳管束經高分子聚對二甲苯包覆後所形成。

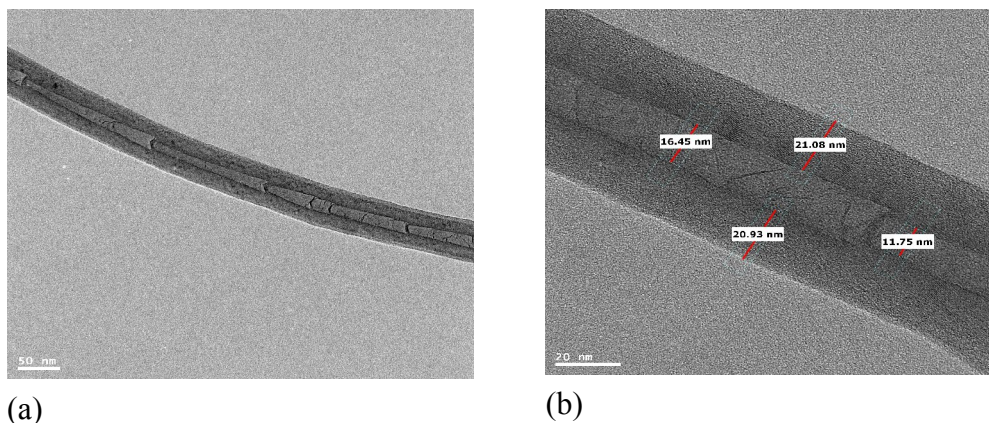


圖 2-12 單根奈米碳管之場發電子顯微鏡影像 (a)竹節狀 (b)管徑

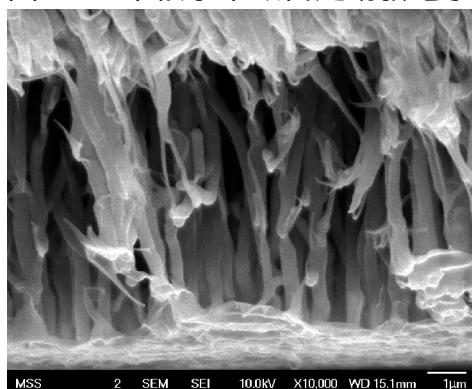


圖 2-13 聚對二甲苯後與奈米碳管複合薄膜結構斷面

### 靜態薄膜彈性模數之量測

在薄膜靜態機械性質量測上，厚度為  $5\ \mu\text{m}$  之聚對二甲苯薄膜應力與應變關係圖如圖 2-14 所示，由結果發現其量測曲線趨勢具有一致性，得到之平均彈性模數為  $4.54\ \text{GPa}$ ，標準差為  $0.20$ 。而在應變率  $0.01\ \text{s}^{-1}$  時，奈米碳管複合薄膜之應力與應變量測結果如圖 2-15 所示，經計算在應變  $0.002$  內薄膜彈性模數為  $1.82\ \text{GPa}$ ，標準差  $0.31$ ；在應變率  $0.005\ \text{s}^{-1}$  時，奈米碳管複合薄膜之應力與應變量測結果如圖 2-16 所示，經計算在應變  $0.002$  內薄膜彈性模數為  $1.65\ \text{GPa}$ ，標準差  $0.22$ ；在應變率  $0.001\ \text{s}^{-1}$  時，奈米碳管複合薄膜之應力與應變量測結果如圖 2-17 所示，計算其應變  $0.002$  內薄膜彈性模數為  $1.40\ \text{GPa}$ ，標準差  $0.16$ 。由結果得知當應變率逐漸減小時，其量測所獲得之薄膜彈性模數值將隨之減少，以應變率  $10^{-3}$  與  $10^{-2}$  兩者彈性模數值之差距達  $29.58\%$  之差異量。

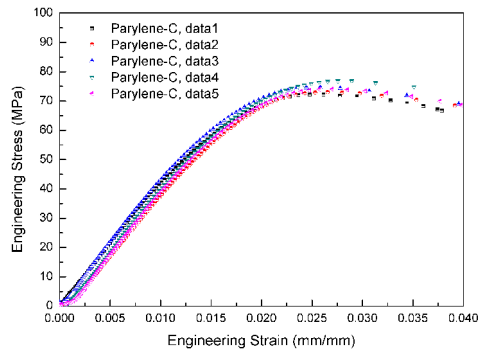


圖 2-14 聚對二甲苯之應力與應變關係圖

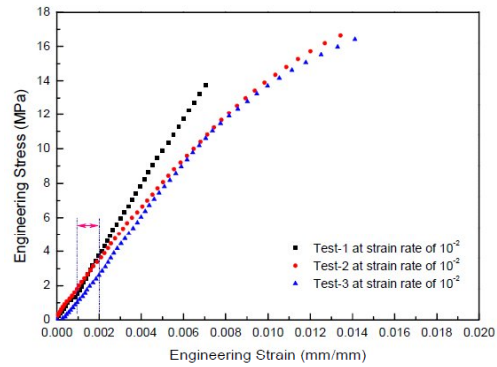


圖 2-15 奈米碳管複合薄膜在拉伸應變率  $10^{-2}$  時之應力與應變關係圖

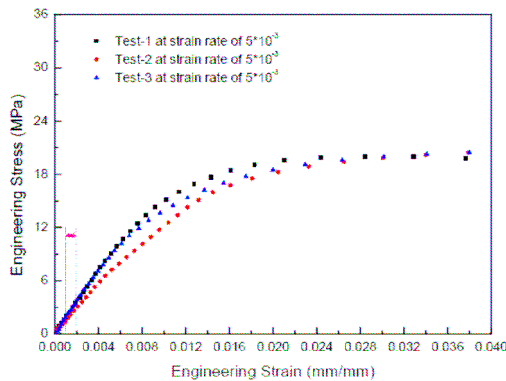


圖 2-16 奈米碳管複合薄膜在拉伸應變率  $5 \times 10^{-3}$  時之應力與應變關係圖

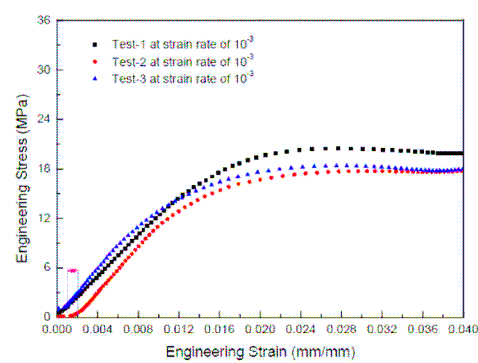


圖 2-17 奈米碳管複合薄膜在拉伸應變率  $10^{-3}$  時之應力與應變關係圖

### 動態薄膜彈性模數之量測

而在動態拉伸試驗中亦採取相同之應變率來進行量測，控制在固定力量振幅為 4.5 mN 與頻率 10 Hz 下之動態試驗。並比較應變率為  $10^{-2}$  與  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  下之結果，分別如圖 2-18 與圖 2-19 所示。在應變 0.002 範圍內計算所獲得之彈性模數分別為 1.64 與 1.59 GPa (標準差各為 0.18 與 0.13)，其差值為 3.14 %。觀察結果得知，在動態機械性質的量測中，由於振動頻率的影響，造成應變率變化在彈性模數值的量測差異上並不明顯，代表動態的彈性模數在試驗中量測值受應變率之影響遠較靜態試驗來得低。

由本次之量測得知，奈米碳管與高分子聚對二甲苯之複合薄膜拉伸試驗中，當應變率逐漸減少時，其量測所獲得之薄膜彈性模數值將受到影響隨之減小，以  $10^{-2}$  與  $10^{-3} \text{ s}^{-1}$  兩不同應變率量測值，產生近三成之誤差；然而在動態量測中，由於動態頻率之影響，不同應變率之彈性模數量測值差異僅約 3.14 %，表示量測之彈性模數值受應變率效應影響並不明顯。另一方面，由靜態與動態兩者間之破壞斷面與應力應變曲線圖得知，雖然在兩量測模式中，試片破壞強度接近，但靜態拉伸試驗結果仍較動態拉伸具有較大之破壞應變。因在靜態拉伸下，奈米碳管束與奈米碳管之軸向機械性質有利於增加薄膜之韌性。

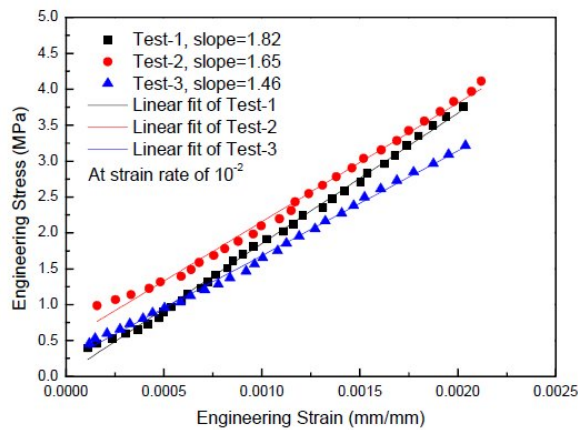


圖 2-18 應變率  $10^{-2}$  時奈米碳管複合薄膜之動態拉伸應力與應變關係圖

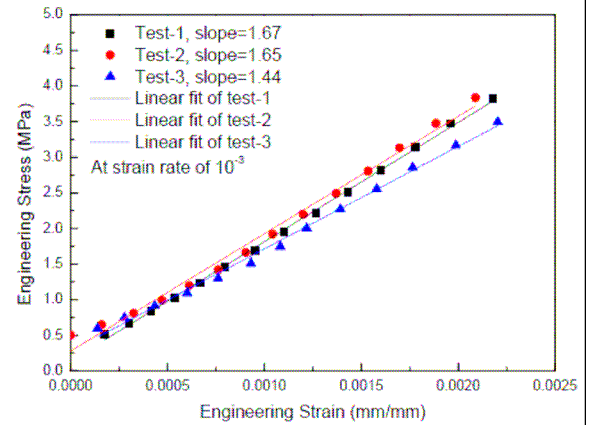


圖 2-19 應變率  $10^{-3}$  時奈米碳管複合薄膜之動態拉伸應力與應變關係圖

### 薄膜電性量測技術

於年初完成差動式快速抖動掃描裝置(Galvanometer 與其支撐座、樣品夾具等)之規格設計與採購後，隨即架設 THz 差動訊號時域頻譜分析量測系統，如圖 2-20 所示。此系統附有除水性能(相對溼度 $<10\%$ )，可使訊噪比提高一倍。

在樣品方面，我們設計與製備一系列不同厚度( $2\ \mu\text{m} \sim 0.1\ \mu\text{m}$ )之  $\text{SiO}_2$  薄膜樣品，薄膜樣品佔了 Si wafer 的一個半面，如圖 2-21 之白色區域所示(黑色區域為 Si 基板)。將其放入系統內之 THz 聚焦處，藉由快速抖動裝置將樣品座快速的 THz 穿透與非穿透訊號之調制，由 LIA(鎖相放大器)1 將原始訊號解調出 5 kHz 之 THz 訊號(reference)後，再藉由另一個 LIA 解調出 THz 之差分訊號( $\sim 20\ \text{Hz}$ )做差動訊號擷取(differential)。

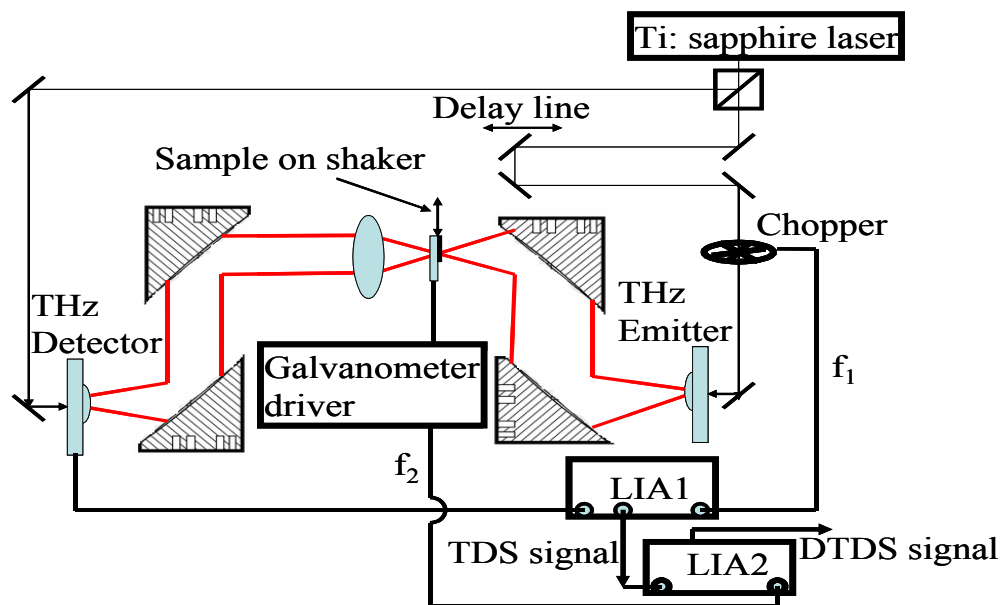


圖 2-20 差動式之 THz 時域頻譜分析量測系統



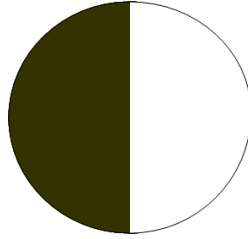


圖 2-21 薄膜樣示意图

圖 2-22 為我們量測 THz 穿透 Si 之 reference 訊號與 Si+ SiO<sub>2</sub>/Si 之差動訊號，可看到清楚的差動波形，樣品抖動幅度~3 mm 由橢偏儀量測 SiO<sub>2</sub> 薄膜厚度為 1.87 μm。圖 2-23 為圖三差動波形之 FFT 頻譜圖，可看到強度訊噪比達 1000，可用之訊號範圍為 0.1 THz~1 THz。

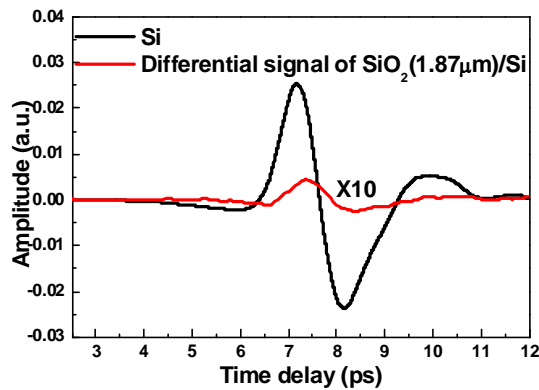


圖 2-22 THz 穿透 Si 之 reference 訊號與 Si+ SiO<sub>2</sub>/Si 之差動訊號

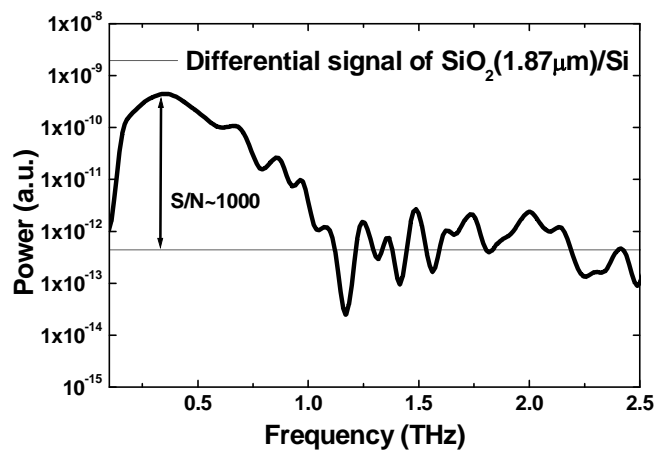


圖 2-23 THz 穿透 Si+ SiO<sub>2</sub>/Si 之差動訊號頻譜

由差動訊號與參考訊號可算出穿透薄膜樣品之訊號，並利用公式 2-7，可以得到

## 折射率頻譜

$$n = \frac{c\phi}{2\pi d\nu} + 1; \quad d = \frac{c\phi}{(2\pi\nu) \cdot (n-1)}$$

2-7

其中  $\phi$  是樣品與參考波頻譜的相位差;  $n$  是薄膜的折射率;  $\nu$  是頻率;  $d$  為薄膜厚度;  $c$  為光速。

我們將實驗結果帶入式 2-7 後, 可得到如圖 2-24(a)所示的折射率頻譜, 可看到此膜厚的折射率與文獻在這個波段的塊材(Si bulk)相當, 相對的也驗證了系統的準確性。圖 2-24(b)則是另一個厚度的 SiO<sub>2</sub> 薄膜折射率頻譜, 雖然其分佈亦與圖五(a)相似, 但訊噪比似乎稍差, 可能是訊號小的緣故。

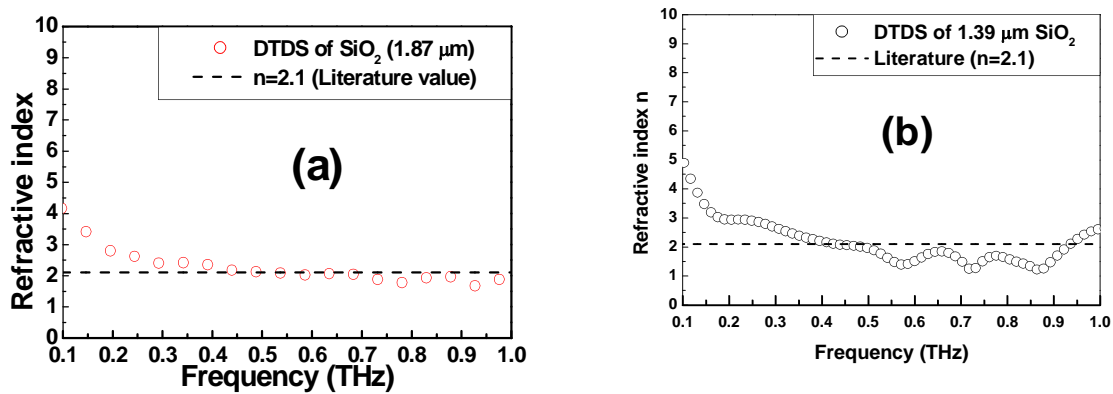


圖 2-24 厚度分別為(a) 1.87 μm 與(b)1.39 μm 之 SiO<sub>2</sub> 薄膜的 THz 折射率頻譜

另外, 我們也量測了  $< 1 \mu\text{m}$  厚度的樣品, 但由於此樣品具有約  $0.5 \mu\text{m}$  的 local thickness variation, 如圖 2-25 所示。因此量到的折射率( $\sim 2.74$ )也與 bulk 的值( $\sim 2.1$ )比較有點差距, 如圖 2-26 所示。

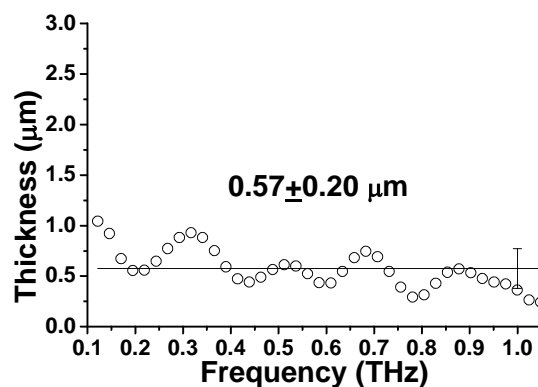


圖 2-25 Si 基板之在周圍約 3 mm 內厚度差異頻譜

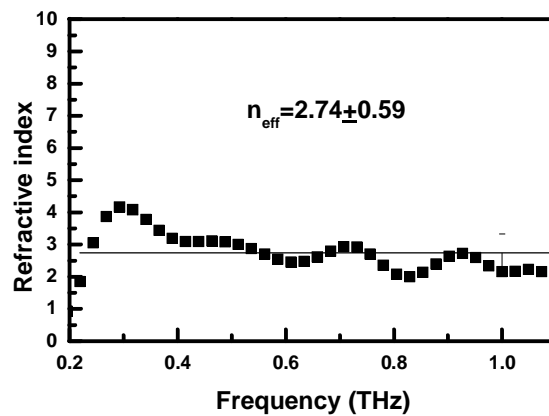


圖 2-26 厚度為  $0.44 \mu\text{m}$  之  $\text{SiO}_2$  薄膜 THz 折射率頻譜

因此，我們已利用差動式兆赫輻射量測系統量測各種膜厚之  $\text{SiO}_2$  差動訊號，訊噪比最佳化後可達 1000。並完成  $\text{SiO}_2$  薄膜之 THz 折射率頻譜量測與不確定度分析。

### 【突破之瓶頸】

#### (一) 薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

一般使用 AFM 量測單一線條的側壁傾斜角時，不會產生量測時探針與結構的干涉現象，但是，量測週期性奈米線距的側壁傾斜角度時，因為量測時將試片傾斜的關係，使 AFM 探針外形尺寸與奈米結構會有幾何外形干涉問題，無法確切量測出奈米結構形貌，所以，測針的半寬角度、量測傾斜角度、線寬尺寸(凹區域) $d$  與線寬高度  $h$  有著相對關係，如圖 2-27 所示。

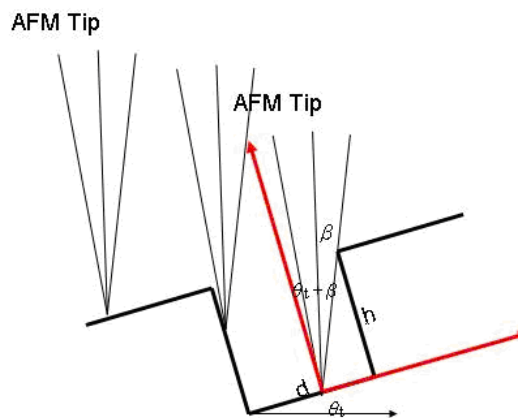


圖 2-27 側壁傾斜角度量測限制示意圖

假設試片具垂直壁，其中， $\theta_t$  為試片傾斜角， $d$  為量測線寬值(凹區域)， $\beta$  為 AFM 探針的半寬角度， $h$  為待測試片的高度，以一般量測時而言  $\theta_t < \beta$ ，為避免產生測針與

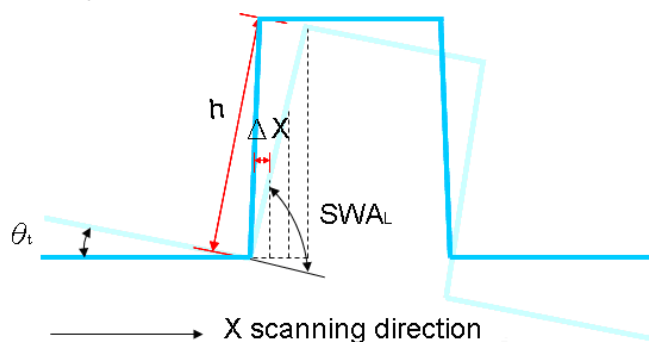


奈米結構的干涉而無法量測，則必須符合  $\frac{d}{2} > h \cdot \tan(\theta_t + \beta)$ ，以實例而言：AFM 探針的半寬角度  $\beta = 7^\circ$ ，試片量測傾斜角度： $\theta_t = 7^\circ$ ，假設待測件的線寬值(凹區域)  $d = 100$  nm，則量測高度不得高於 201 (即  $h < 201$  nm)，才不會造成量測時的干涉，表 2-1 列出一般常見間距標準片所對應之可量測最高高度。

表 2-1 一般常見間距標準片所對應之可量測最高高度

$\beta = 7^\circ, \theta_t = 7^\circ$	Maximum $h$
$d = 100$ nm	$h < 201$ nm
$d = 150$ nm	$h < 303$ nm
$d = 300$ nm	$h < 606$ nm

另外，計算側壁角度所需的量測點數是經由原子力顯微鏡的步進解析度而來，按照原子力顯微鏡的步進解析度配合待測樣本的高度，便可以決定量測到測壁的點數，量測到測壁的點數越多越可以決定組成直線的直線準確度，換言之，至少需要兩點資料才能構成一條直線即  $n > 2$ ，計算程式才可以執行測壁角度的計算，如圖 2-28 所示，其中， $n$  為量測資料點， $h$  為待測樣本的高度， $\theta$  為量測時的傾斜角度， $\Delta X$  為原子力顯微鏡的步進解析度， $SWA_L$  為側壁傾斜角度。



$$n \cdot \Delta X = h \cdot \cos(SWA_L - \theta_t)$$

圖 2-28 側壁傾斜角度量測限制示意圖

側壁傾斜角度校正方式係先以原子力顯微鏡，量測送校之側壁傾斜角度標準片，共取得三維數據(512 x 512)。其中  $x, y, z$  軸的數據是由原子力顯微鏡的壓電位移計量得的變化值，其量測方程式，可用下列式子表示之：

$$SWA_L = (\theta_2 - \theta_1) + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \theta + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad 2-8$$

式中  $\theta_2$  為 Line2 相對水平線之傾斜角度， $\theta_1$  表為 Line1 相對水平線之傾斜角度， $\theta$  為  $(\theta_2 - \theta_1)$  合併項， $\varepsilon_1$  為取樣影像傾斜角度影響誤差項， $\varepsilon_2$  為重複量測項，如圖 2-29

所示，其中  $SWA_L$  為軟體所計算之側壁角度，因此，側壁角度的組合標準不確定度可以下式表示：

$$u_c^2(SWA_L) = \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \theta} \right)^2 u^2(\theta) + \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_1} \right)^2 u^2(\varepsilon_1) + \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_2} \right)^2 u^2(\varepsilon_2) \quad 2-9$$

其中，靈敏係數為

$$\frac{\partial SWA_L}{\partial \theta} = -1 ; \quad \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_1} = 1 ; \quad \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_2} = 1$$

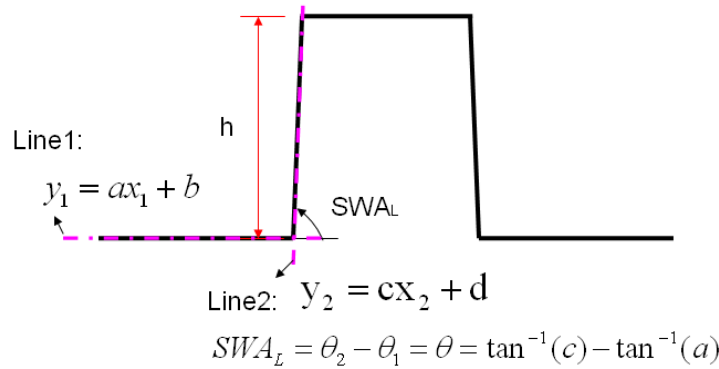


圖 2-29 量測結果示意圖

兩線段  $\theta_1$  與  $\theta_2$  使用最小平方方法來取得  $y = \beta_0 + \beta_1 x$  中之係數  $\beta_0$  與  $\beta_1$ ，即如圖 2-29 中 Line 1 之斜率  $a$  和截距  $b$  為  $\begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (X_1^T X_1)^{-1} X_1^T y_1$ ，Line 2 之斜率  $c$  和截距  $d$  為  $\begin{bmatrix} c \\ d \end{bmatrix} = (X_2^T X_2)^{-1} X_2^T y_2$ ，其中  $X_1 = [1 \ x_1]$ ， $X_2 = [1 \ x_2]$ 。可得到  $\theta$  的一倍標準差為

$$\begin{aligned} \sigma(\theta_2 - \theta_1) &= \tan^{-1}(\sigma(a)) + \tan^{-1}(\sigma(c)) \\ &= \frac{\tan^{-1}\left(\frac{(\sum y_{2i}^2 - (\sum y_{2i})^2 / N) - c^2(\sum X_{2i}^2 - (\sum X_{2i})^2 / N_2)}{N_2 - 2}\right)}{\tan^{-1}\left(\frac{(\sum y_{1i}^2 - (\sum y_{1i})^2 / N) - a^2(\sum X_{1i}^2 - (\sum X_{1i})^2 / N_1)}{N_1 - 2}\right)} \times \frac{(\sum X_{2i}^2 - (\sum X_{2i})^2 / N_2)}{(\sum X_{1i}^2 - (\sum X_{1i})^2 / N_1)} \end{aligned} \quad 2-10$$

式中， $N_1$ 、 $N_2$ 分別為Line 1與Line 2 fitting所取之點數。使用最小平方方法計算的誤

差項，造成誤差主要因素為待測試片之形貌不平整所致，此項不確定度以 $u$ 表示；因每個試片的幾何形貌不同會有不同，故，每次量測樣本必須重新估算本項不確定因素。以德國Nanoscale AFM-CD Standard實際量測為例，經過軟體估算一平面量測點資料之角度，其估算之標準差為 $0.2^\circ$ ：估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\theta_2 - \theta_1) = \frac{0.2^\circ \times 2}{\sqrt{3}}$ 。計算得靈敏係數1，則可得本項不確定度分量 $\frac{0.2^\circ \times 2}{\sqrt{3}} = 0.35^\circ$ 。估計相對不確定性為20%，則可得自由度 12.5。

取樣影像傾斜角度影響：

在計算影像傾斜角度時，乃以擷取垂直斷面的線條點資料作為計算時的依據，假設在擷取垂直斷面時，產生微小角度的 $\alpha$ 變化量，進而造成計算時的誤差，如圖 2-30 所示，其誤差方程式可用以下方程式表示：

$$\varepsilon_1 = SWA_L - \tan^{-1} \frac{Z_L}{X_L + \delta X_L} \quad 2-11$$

其中

$$\delta X_L + X_L = \frac{Z_L}{\cos \alpha}$$

$$X_L = \frac{Z_L}{\tan(SWA_L)}$$

因此可整理(2-11)成如下

$$\varepsilon_1 = \tan^{-1} \frac{Z_L}{X_L} - \tan^{-1} \frac{Z_L}{\left(\frac{X_L}{\cos \alpha}\right)} \quad 2-12$$

假設以一個 $89^\circ$ 的試片為例，取小角度的 $\alpha$ 變化量為 $\pm 2.5^\circ$ ，其誤差為： $SWA_L = 89^\circ$ ， $Z_L = 250 \text{ nm}$ ， $\alpha = \pm 2.5^\circ$ ，則 $X_L = 1.454 \text{ nm}$ ， $\varepsilon_1 = 0.001^\circ$ ，估計其機率分布呈矩形分布，可得 $u(\varepsilon_1) = \frac{0.001^\circ}{\sqrt{3}} = 0.0006^\circ$ 。計算得靈敏係數 1，則本項不確定度分

量 $\frac{0.001^\circ}{\sqrt{3}}$ 。估計相對不確定性為 20%，則可得自由度 12.5。

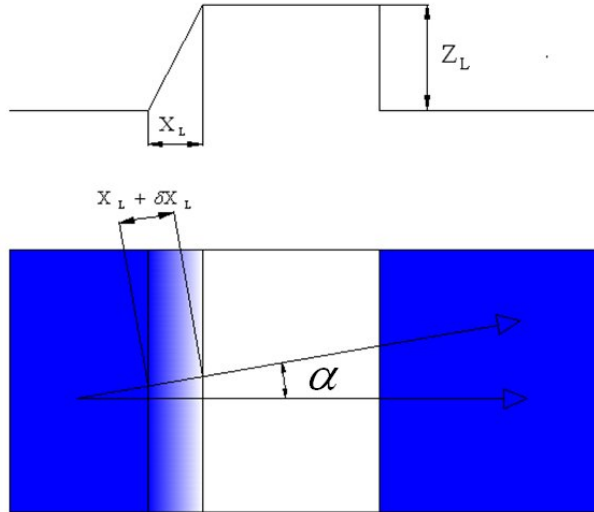


圖 2-30 側壁傾角量測示意圖

#### 量測重複性(\$\varepsilon\_2\$)

量測重複性包含機台本身之重複性與待測樣品本身之均勻性，試片經重複量測後，量測值為五次平均值，可計算標準差其 \$s(\varepsilon\_2)\$，則本項之不確定度分量為

$$u(\varepsilon_2) = \frac{s(\varepsilon_2)}{\sqrt{n}}, \text{ 因量測 5 次，可得自由度 4。}$$

#### 擴充不確定度估算

本系統擴充不確定度如下式所示：

$$u_c^2(SWA_L) = \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \theta} \right)^2 u^2(\theta) + \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_1} \right)^2 u^2(\varepsilon_1) + \left( \frac{\partial SWA_L}{\partial \varepsilon_2} \right)^2 u^2(\varepsilon_2)$$

標準不確定度為：

$$u_c(SWA_L) = \sqrt{u_\theta^2 + (0.0006^\circ)^2 + \frac{s(\varepsilon)^2}{5}} \quad 2-12$$

有效自由度：

根據 Welch-Satterthwaite 公式可計算本量測系統之有效自由度 (\$v\_{eff}\$) 為：

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^n \frac{[c_i u(x_i)]^4}{v(x_i)}} \quad 2-13$$

#### 最佳量測能力分析:

由方程式(2-12)，可得到量測之擴充不確定度，但其包含了兩個變數 \$u\_\theta\$ 與 \$s(\varepsilon\_2)\$，\$u\_\theta\$ 是與待測樣本之形貌有關，假設待測樣本為理想形貌，所以 \$u\_\theta = 0\$，\$s(\varepsilon\_2)\$ 是與量測機台性能與樣本之均勻性有關，以梯形標準片進行測試(量測圖形如圖 2-31)，量測結果 \$54.12^\circ\$、\$54.49^\circ\$、\$54.44^\circ\$、\$55.26^\circ\$、\$55.83^\circ\$，\$s(\varepsilon\_2)\$ 為 \$0.699^\circ\$，代入方程式(6)，可得到最佳

量測能力為  $0.87^\circ(k=2.78)$

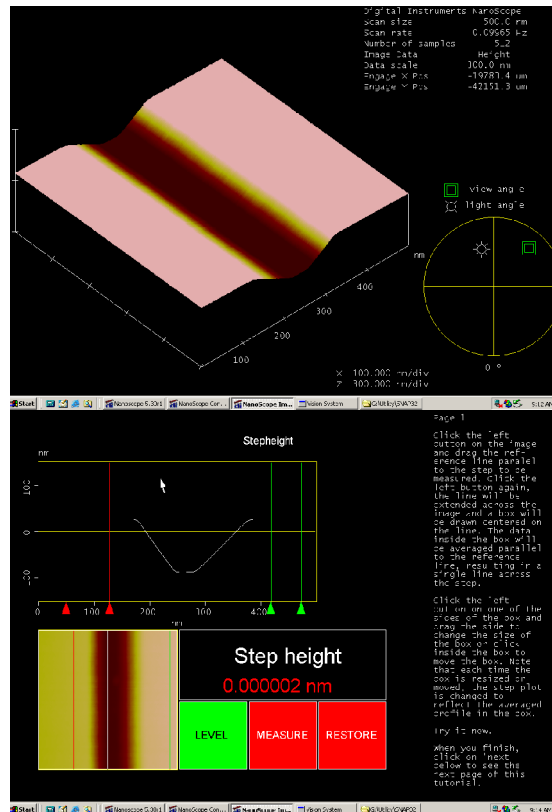
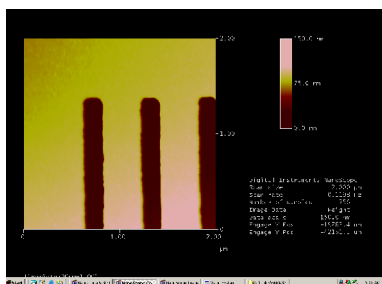


圖 2-31. SWA 試片量測結果圖形

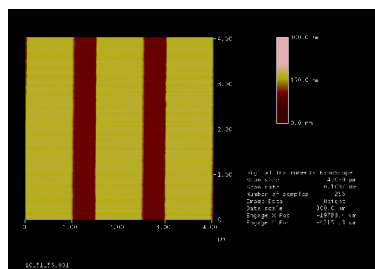
線寬標準片研製:

建立線寬標準片研製技術( $0.2\ \mu\text{m}$  線寬  $1\ \mu\text{m}$ ), 量測結果如下, 其均勻性小於  $10\ \text{nm}$  量測結果如圖 2-32:

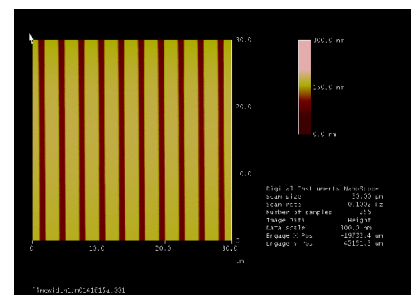
線寬 ( $\mu\text{m}$ )	
設計規格	實際量測值
0.20	0.26
0.50	0.58
1.0	1.20



(a)  $0.2\ \mu\text{m}$



(b)  $0.5\ \mu\text{m}$

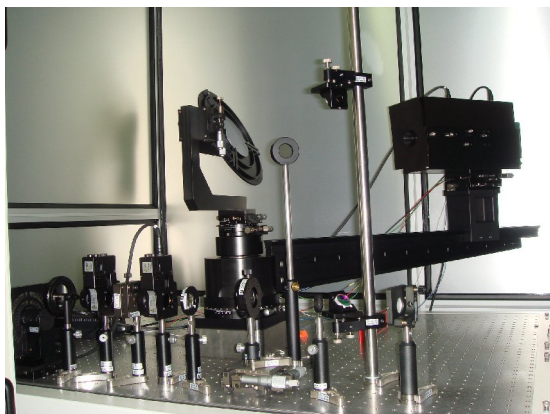


(c)  $1.0\ \mu\text{m}$

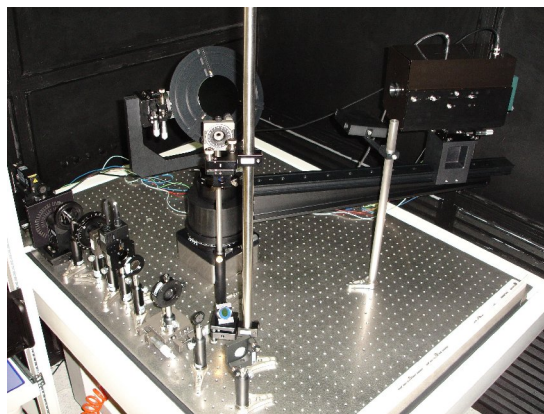
圖 2-32 線寬標準片量測結果

## (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

本計畫進行了許多系統改良，包括提高量測環境潔淨度至 Class 1、量測環境暗室化、提高雷射光源強度至 100 mW、光源部分和量測儀器部分之漏光防護、量測鏡組調置最佳化等，如圖 2-33，因此目前利用晶圓表面微粒之偏振散射光量測分析技術可以量測到最小粒徑為 30 nm。



(a)改善前



(b)改善後

圖 2-33 偏振散射光量測系統改良

## (三) 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

### 菲佐(Fizeau)干涉儀量測平面輪廓之不確定度研究

不確定度分析程序:系統之不確定度分析程序乃依據 ISO/IEC Guide 98-3: 2008 [2-6]。

首先建立量測關係式，受測量（Measurand）為待測面相對於標準參考面之偏移量，則量測關係式表示為：

$$h = \frac{\lambda}{4\pi} \phi + \delta h_{rf} + \delta h_{rep} \quad 2-14$$

其中

$h$  : 待測面輪廓相對於標準參考平面之偏移量；

$\lambda$  : 空氣中的雷射波長(Laser wavelength)。

$\phi$  : 物光與參考光之初始相位移。

$\delta h_{rf}$  : 參考標準平面所導入的誤差。

$\delta h_{rep}$  : 重複量測所導入的誤差。

組合標準不確定度為組合變異數之平方根，組合變異數表示為：

$$u_c^2(h) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial h}{\partial x_i} \right]^2 \cdot u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N [c_i \cdot u(x_i)]^2 \quad 2-15$$

其中

$u(x_i)$  :標準不確定度；  $c_i$  :靈敏係數。

由(2-15)式可求得各分項之靈敏係數，表示如下：

$$c_1 = \frac{\partial h}{\partial \lambda} = \frac{\phi}{4\pi}$$

$$c_2 = \frac{\partial h}{\partial \phi} = \frac{\lambda}{4\pi}$$

$$c_3 = \frac{\partial h}{\partial \delta h_{rf}} = 1$$

$$c_4 = \frac{\partial h}{\partial \delta h_{rep}} = 1 \quad 2-16$$

標準不確定度

雷射波長標準不確定度， $u(\lambda)$

AK-100 菲佐干涉儀之雷射源係採用波長(在空氣中)為 632.8 nm 的 He-Ne 雷射。當量測環境不處於真空狀態時，雷射波長會因空氣折射的影響而改變，因此必須對雷射波長作修正：

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{n} \quad 2-17$$

其中

$\lambda_0$  : 真空中的雷射波長，約為 632.991 nm。

$n$  : 空氣折射率(Refractive index of air)。

實際應用上，雷射波長是以標準狀況為基準而非真空狀態，標準狀況即是指標準空氣所處的環境條件：溫度為 15 °C，壓力為 101,325 Pa，二氧化碳(CO<sub>2</sub>) 含量為 0.045 % Volume，則標準空氣的分散(Dispersion)公式為[2-7 ~ 2-9]：

$$n_s = 1 + 10^{-8} [8,342.54 + 2,406,147 \cdot (130 - \sigma^2)^{-1} + 15,998 \cdot (38.9 - \sigma^2)^{-1}] \quad 2-18$$

其中

$n_s$  : 標準狀況下的空氣折射率。

$\sigma$  : 真空中的波數(Wave-Number)，為真空中之雷射波長的倒數(單位為  $\mu\text{m}^{-1}$ )，即：

$$\sigma = \frac{1}{\lambda_0}$$

當量測環境偏離標準狀態時，空氣折射率會因溫度、壓力、二氧化碳含量及水蒸氣壓等因素的變化而變化。首先就溫度與壓力對空氣折射率的影響作考慮，空氣在溫度 5～30 範圍內，其折射率為：

$$n_{tp} = 1 + \frac{p \cdot (n-1)_s}{96,095.43} \times \frac{[1 + 10^{-8} \cdot (0.601 - 0.00972 \cdot t) \cdot p]}{(1 + 0.0036610 \cdot t)} \quad 2-19$$

其中  $n_{tp}$  是在壓力  $p$  (Pa) 與溫度  $t$  ( ) 時的空氣折射率。

其次考慮二氧化碳含量與水蒸氣對空氣折射率的影響，但事實上，實驗室內二氧化碳含量與水蒸氣的變化量對折射率的影響很小，在此可將其忽略不予以考慮。由上可知影響空氣折射率的主要因素為環境之溫度與壓力。首先考慮溫度偏離標準狀況的情形下，由於實驗室溫度控制在  $(23 \pm 1.5)$  之內，則在溫度變化範圍上、下限的空氣折射率分別為：

$$n_{tl}(21.5 \text{ } ^\circ\text{C}, 101,325 \text{ Pa}) = 1.0002700$$

$$n_{th}(24.5 \text{ } ^\circ\text{C}, 101,325 \text{ Pa}) = 1.0002672 \quad 2-20$$

假設為矩形機率分佈，則溫度變化對空氣折射率之標準不確定度為：

$$u(n_t) = \frac{|n_{th} - n_{tl}|}{2\sqrt{3}} = 8.12 \times 10^{-7} \quad 2-21$$

接著考慮壓力偏離標準狀況的情形下，假設實驗室環境壓力變化在  $\pm 50$  hPa 之內，則在壓力變化範圍上、下限的空氣折射率分別為：

$$n_{pl}(23 \text{ } ^\circ\text{C}, 96,325 \text{ Pa}) = 1.0002553$$

$$n_{ph}(23 \text{ } ^\circ\text{C}, 106,325 \text{ Pa}) = 1.0002819 \quad 2-22$$

假設為矩形機率分佈，則壓力變化對空氣折射率之標準不確定度為：

$$u(n_p) = \frac{|n_{ph} - n_{pl}|}{2\sqrt{3}} = 7.67 \times 10^{-6} \quad 2-23$$



組合溫、濕度影響之標準不確定度，則空氣折射率的標準不確定度為：

$$u(n) = \sqrt{u^2(n_t) + u^2(n_p)} = 7.71 \times 10^{-6} \quad 2-24$$

He-Ne 雷射之真空中波長(或頻率)的穩定度一般小於  $1 \times 10^{-7} \times \lambda_0$  ( $\lambda_0$  約為 632.991 nm)，假設為矩形機率分佈，則真空中雷射波長的標準不確定度為：

$$u(\lambda_0) = \frac{1 \times 10^{-7}}{\sqrt{3}} \lambda_0 = 3.66 \times 10^{-5} \text{ (nm)} \quad 2-25$$

由式(2-17)可推導空氣中雷射波長 之標準不確定度為：

$$\begin{aligned} u(\lambda) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda_0} u(\lambda_0)\right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial n} u(n)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{n} u(\lambda_0)\right)^2 + \left(\frac{-\lambda_0}{n^2} u(n)\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{1.0002686} (3.66 \times 10^{-5})\right)^2 + \left(\frac{-632.991}{1.0002686^2} (7.71 \times 10^{-6})\right)^2} \\ &= 4.88 \times 10^{-3} \text{ (nm)} \end{aligned} \quad 2-26$$

其中  $n=1.0002686$  是在溫度為 23 ，壓力為 101,325 Pa 條件下的空氣折射率。假設相對不確定性  $R\% = 5\%$ ，則雷射波長 之有效自由度為：

$$\nu_\lambda \cong \frac{1}{2} \times \left(\frac{100}{R}\right)^2 = \frac{1}{2} \times \left(\frac{100}{5}\right)^2 = 200 \quad 2-27$$

相位移標準不確定度， $u(\ )$

本系統是藉由 PZT 變形驅動標準參考平面移動而改變相位移，並擷取五張不同相位移之干涉圖，以及運用五步相移演算法計算初始相位。理想上，PZT 變形與作用電壓成一線性(Linearity)關係。但實際上，PZT 變形與作用電壓的關係為非線性(nonlinearity)，導至每一步相移可能產生微小偏差量，則每一步實際相移' 與其對應初始相位移' 分別表示如下：

$$\alpha' = \alpha + \varepsilon \quad 2-28$$

$$\phi' = \phi + \delta\phi \quad 2-29$$

其中  $\delta\phi$  為初始相位移誤差。假設  $\alpha$  很小，由  $\tan \phi = \left( \frac{2(I_2 - I_4)}{I_1 - 2I_3 + I_5} \right) (2 \sin \alpha)$  可導出

$$\tan \phi' \cong \left( 1 + \frac{\varepsilon^2}{2} \right) \tan \phi \quad 2-30$$

則初始相位移誤差為

$$\delta\phi = \phi' - \phi \cong \frac{\varepsilon^2}{4} \sin 2\phi \quad (\text{rad}) \quad 2-31$$

本系統於量測時，藉由 IntelliWave 軟體之 Phase Shifter Calibration 功能調整作用電壓校正 PZT 變形，使相移維持在  $(90 \pm 1)^\circ$  範圍內，即  $(\pi/2 \pm \pi/180)$  rad。因此， $\phi = \pi/180$ ，代入 (3-23) 式可求得初始相位移之最大誤差為：

$$\delta\phi \cong \frac{(\pi/180)^2}{4} \cong 7.62 \times 10^{-5} \quad (\text{rad}) \quad 2-32$$

假設為矩形機率分佈，則  $\delta\phi$  為半寬度，因此相移法對初始相位移所導入之標準不確定度為：

$$u(\delta\phi) \cong \frac{\delta\phi}{\sqrt{3}} \cong 4.40 \times 10^{-5} \quad (\text{rad}) \quad 2-33$$

此外，PZT 的非線性誤差、作用電壓的變異、A/D 轉換處理誤差及 CCD 的非線性誤差等因素均會影響初始相位移的量測不確定度，但因無法得知系統各個組件規格特性，僅引用文獻[2-10]數據估計前述因素對於初始相位移之標準不確定度的貢獻，分別表示如下：

$$u(\phi_{p-p}) \cong 1.81 \times 10^{-3} \quad (\text{rad}) \quad 2-34$$

$$u(\phi_{p-v}) \cong 2.90 \times 10^{-4} \quad (\text{rad}) \quad 2-35$$

$$u(\phi_{p-c}) \cong 4.53 \times 10^{-3} \quad (\text{rad}) \quad 2-36$$

其中

$u(\phi_{p-p})$ ：PZT 非線性誤差所導入的標準不確定度。

$u(\phi_{p-v})$ ：作用電壓變異及 A/D 轉換處理誤差所導入的標準不確定度。

$u(\phi_{p-c})$ ：CCD 非線性誤差所導入的標準不確定度。

另由於環境的振動與空氣擾動會造成相位移的量測誤差，故而本系統安置壓克力罩內以減少空氣擾動，並架設於防振光學桌上以降低振動，使得振動與空氣擾動的影響量小至得以忽略不計。

綜合以上探討，相位移之標準不確定度可由式(2-33)~(2-36)計算求得：

$$\begin{aligned} u(\phi) &= \sqrt{u^2(\delta\phi) + u^2(\phi_{p-p}) + u^2(\phi_{p-v}) + u^2(\phi_{p-c})} \\ &= \sqrt{(4.40 \times 10^{-5})^2 + (1.81 \times 10^{-3})^2 + (2.90 \times 10^{-4})^2 + (4.53 \times 10^{-3})^2} \\ &= 4.89 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad 2-37$$

假設相對不確定性  $R \% = 10 \%$ ，則相位移 之有效自由度為：

$$v_{\phi} \cong \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{R} \right)^2 = \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{10} \right)^2 = 50 \quad 2-38$$

參考標準平面之標準不確定度， $u(\delta h_{rf})$

本系統使用之參考標準平面[2-11]的廠牌/型號/序號為 HOIC/102 mm TF/ ZA010903，經平面量測測試後的 PV(Peak to Valley)值為 0.0494 (為 632.8 nm)，假設為三角形機率分佈，則參考標準平面之標準不確定度與有效自由度  $v_{rf}$  分別為：

$$\begin{aligned} u(\delta h_{rf}) &= \frac{PV/2}{\sqrt{6}} = \frac{0.0494 \lambda/2}{\sqrt{6}} \\ &= \frac{0.0494(632.8)/2}{\sqrt{6}} \cong 6.4 \quad (\text{nm}) \end{aligned} \quad 2-39$$

$$v_{rf} \cong \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{R} \right)^2 = \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{5} \right)^2 = 200 \quad 2-40$$

(假設相對不確定性  $R \% = 5 \%$ )

重複量測之標準不確定度， $u(\delta h_{rep})$

本系統為量測具有高反射率的薄膜試片，因此安裝衰減鏡頭。考慮衰減鏡頭的影響，以一 PV 值  $\lambda/20$  的標準平面鏡作為待測面，重複量測 20 次，其結果之 PV 平均值為 0.0502，PV 最大變異為 0.0118，則重複量測之標準不確定度與有效自由度  $v_{rep}$  分別為：

$$u(\delta h_{rep}) = \frac{PV/2}{\sqrt{3}} = \frac{0.0118\lambda/2}{\sqrt{3}} \quad (\text{nm}) \quad 2-41$$

$$= \frac{0.0118(632.8)/2}{\sqrt{3}} \cong 2.2$$

$$v_{rf} \cong \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{R} \right)^2 = \frac{1}{2} \times \left( \frac{100}{5} \right)^2 = 200 \quad 2-42$$

(假設相對不確定性  $R\% = 5\%$ )

組合標準不確定度  $u_c$

將之 2-26、2-37、2-39、2-41 式代入(2-15)式，開平方根可求得組合標準不確定度  $u_c$ ，計算如下：

$$u_c(h) = \sqrt{\left( \frac{\phi}{4\pi} \right)^2 \cdot u^2(\lambda) + \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \cdot u^2(\phi) + u^2(\delta h_{rf}) + u^2(\delta h_{rep})}$$

$$= \sqrt{\left( \frac{2\pi}{4\pi} \right)^2 \cdot (4.88 \cdot 10^{-3})^2 + \left( \frac{632.8}{4\pi} \right)^2 \cdot (4.89 \cdot 10^{-3})^2 + (9.0)^2 + (1.3)^2} \quad 2-43$$

$$\cong 6.7 \quad (\text{nm})$$

依 Welch-Satterthwaite 方程式計算有效自由度  $v_{eff}$ ：

$$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u^4(\lambda)}{v_\lambda} + \frac{u^4(\phi)}{v_\phi} + \frac{u^4(\delta h_{rf})}{v_{rf}} + \frac{u^4(\delta h_{rep})}{v_{rep}}}$$

$$= \frac{(6.7)^4}{\frac{(4.88 \cdot 10^{-3})^4}{200} + \frac{(4.89 \cdot 10^{-3})^4}{50} + \frac{(6.4)^4}{200} + \frac{(2.2)^4}{19}} \quad 2-44$$

$$\cong 246$$

擴充不確定度

本系統之擴充不確定度  $U$  係組合標準不確定度  $u_c$  與擴充係數  $k$  之乘積(不確定度分量表如表二所示)。擴充係數  $k=1.97$  為由具有有效自由度  $v_{eff}=246$  分配所得，相對應 95 %

之信賴水準。所以擴充不確定度為：

$$U = k \times u_c = 1.97 \times 6.7 \cong 14 \quad (\text{nm})$$

目前文獻上關於微奈米薄膜殘留應力之研究，大多採用彎曲樑(Bending beam)之方法，亦即利用幾何光學(Geometrical optics)方法之方式獲得薄膜之殘留翹曲(Residual warpage)，此方法係沿薄膜結構之某一線上之進行掃描，透過光檢測器上光點之變化，計算薄膜之殘留翹曲量，再藉由微小薄膜力學理論推算薄膜內部之殘留應力，此方法最為人詬病之處在於所獲得之殘留翹曲量精度不足。本研究採用具全域性之光學干涉殘留應力量測技術，可利用光學干涉全域性之優點外，更準確地獲得薄膜內部之殘留應力。在薄膜拉伸量測技術方面，在靜態量測下，計算所獲得之楊氏模數受應變率影響十分明顯。此一結果，有助於解決先前機台於工服服務時，對於相同材料在不同拉伸機台量測下產生差異之影響。而在比較相同應變率下靜態與動態拉伸量測，得知量測系統的靜態楊氏模數受應變率影響遠高於動態量測之結果。

差動式兆赫輻射頻譜法一方面突破了薄膜量測電性時所遇到的人為電性接觸的缺點，亦將突破了原來一般 THz 系統僅能量測到 $>1 \mu\text{m}$ 的薄膜的瓶頸。

## 【待改善之處】

### (一)薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

小於 $1 \mu\text{m}$ 線寬標準片製程，是採用電子束配合黃光微影製程，所以機台帶動電子束移動之直線度，會影響線寬標準片之均勻性，均勻性小於 $10 \text{ nm}$ ，對於 $1 \mu\text{m}$ 線寬而言，約有 $1\%$ 誤差量，但對於 $0.2 \mu\text{m}$ 線寬而言，誤差量增大到 $5\%$ 。

量測 SWA 接近 $90^\circ$ 之待測試片時，垂直邊量測到的點數相對變少(約 $2-5$ 點)，量測點數愈少則相對應 SWA 誤差會愈大，所以量測時，需盡量將試片傾斜量測，以增加垂直邊量測點數。

### (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

若要量測到更小的奈米微粒粒徑( $< 30 \text{ nm}$ )，則需要置換短波長雷射光源才能進行量測。

### (三)奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

有關拉伸試驗中應變率對複合薄膜機械性質影響之結果，由研究得知隨應變率的減少，楊氏模數的量測值將隨之減小，代表應變率的改變會對量測結果造成一定程度的差值(Deviation)。但應變率在 $10^{-5}$ 以下之情形，對於楊氏模數計算之影響是否仍維持相同較大之差異性，需較長時間試驗以利統計量測結果之進行。因試片需於機台上維持長時間試驗，後續將透過調整機台校正服務與技術移轉之時間，持續對此一現象進行研究。而動態試驗中，頻率變化對於動態楊氏模數量測結果之影響亦有待進一

步的比較探討。

薄膜電性:目前量測薄膜 $<1\ \mu\text{m}$  時會遇到基板厚度不均時所遇到的量測準確度問題, 另外由於  $\text{SiO}_2$  吸收係數太小, 可能會造成未來計算介電常數虛數時的不準。

## 【後續工作構想及重點】

### (一)薄膜結構參數量測標準及參數量測標準及參考物質量測技術建立

隨著線寬製程愈小, 對應要量測之 CD 參數會愈多, 所以在 45 nm 以下製程, 除了現有 CD 參數外, 也需量測線邊緣表粗(Line edge roughness, LER)/線寬表粗(line width roughness, LWR), LER 可延續 SWA 量測方法, 再加上表粗之計算分析, 但 LWR 量測, 會受到 AFM 探針形貌干涉影響, 需採用線寬量測方法, 以兩次不同傾斜方向量測後, 再以疊合方法組合出量測形貌, 並計算出 LWR。在線寬製程更小時, 如 30 nm 或 22 nm 線寬製程, AFM 探針尺寸最小為 2~5 nm, 對 CD 量測時造成誤差影響量相對而言會愈大, 研究 SAXS 技術量測 CD 技術, 可滿足 CD 量測追溯需求。

### (二)薄膜表面特徵量測標準技術建立

將進行量測系統再精進改良, 如置換短波長雷射光源和相關鏡組、修改量測機構使其輕量化等, 以量測到更小的奈米微粒粒徑( $< 30\ \text{nm}$ )。

### (三)奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立

由前瞻研究瞭解微奈米機械性質量測系統應變率設定將影響薄膜機械性質楊氏模數量測之結果。然而, 對於不同薄膜材料之影響程度是否相同, 需進一步對各種薄膜進行探討。為將研究與產業更進一步的連結, 後續將針對常用之半導體薄膜材料, 厚度 500 nm 之薄膜進行拉伸應變率之探討並透過整合於同一晶圓上, 同時與奈米壓痕量測之結果進行比對。此兩套系統皆經力量與位移之校正, 可用於在楊氏模數量測結果之不確定度評估。除持續瞭解應變率之影響外, 亦嘗試透過奈米拉伸與壓痕之結合, 找出薄膜材料之浦松比對量測結果之影響, 有助對於薄膜機械性質量測標準之建立。在薄膜殘留應力量測方面, 然當元件使用溫度過高時, 此時除了原本之殘留應力之效應外, 更會造成薄膜與基材間之熱應力(Thermal stress)之產生, 與原本殘留應力之加乘結果亦會危及到元件本身之可靠度, 未來將研究與建立熱應力量測系統, 以建立與強化元件於製程溫度下之應力量測能力。

薄膜電性:考慮購買低 local thickness variation 之樣品或改成反射式的量測系統。另外也將考慮薄膜樣品換成其他對於 THz 吸收率稍微大一些的薄膜材料。

### 三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫

#### 【本年度目標】

- (一)奈米諮議會成立與運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。
- (二)規劃向 ISO 或 IEC 或 VAMAS 提案項目。
- (三)重點參加 ISO/IEC/VAMAS/ANF 之 TC 相關會議，國際奈米相關標準文件資料之蒐集整理，更新國際奈米相關標準之發展資訊、徵詢國內對發展中提案意見、並依各個國際標準組織規定的流程對提案作意見陳述或修改提案內容。
- (四)奈米標準文件相關資料平台的建置。

#### 【本年度成果】

- (一)奈米諮議會成立與運作，整合國內的奈米標準的意見與需求。

台灣奈米標準技術諮議會（Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC）2009 年 6 月 26 日在經濟部標準檢驗局舉辦成立大會，由奈米國家型科技計畫總主持人吳茂昆擔任召集人，本諮議會由奈米國家型科技計畫辦公室、經濟部標準檢驗局指導設立，並委由工研院量測技術發展中心擔任秘書處，協助奈米標準技術諮議會之運作。成立大會有標準檢驗局、國衛院、環保署、工研院、電機電子公會、機器工業公會、台灣奈米技術產業發展協會、SEMI 台灣、微系統暨奈米科技協會、國家奈米元件實驗室、國家儀器科技研究中心、台大、成大、台積電、台灣永光化學、漢民科技、UL 台灣、閎康科技等奈米技術相關產政學研共一百多位專家學者參加，並有二十六位代表將出任諮議會委員。奈米標準技術諮議會的正式成立，可為國內外之奈米標準提供更多之貢獻及指導，未來我國奈米標準的制訂，將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準，並藉諮議會作為與國際標準協調平台的運作，讓奈米標準的訂定與國際同步，同時讓台灣新興的奈米產品與科技產業獲得通行全球的保證。



成立大會首先由吳茂昆計畫總主持人致詞，他指出目前奈米國家型科技計畫已進入第二期，會以奈米技術於各產業領域之應用為主，再加上國內最新奈米技術的發展，無論在前瞻研究、產品研發、奈米檢測技術、奈米標準驗證等均達國際尖端水準，所以標準的制訂對奈米產業發展至關重要。奈米標準技術諮議會成立後，更可為國內外之奈米標準提供更多之貢獻及指導。經濟部標準檢驗局局長陳介山接著致詞表示，奈米產品是新興科技產業，但現今國內外均缺乏相關標準。在全球化經濟的影響下，標準不只是研發生產製造檢驗之依據，也是經貿之採購及驗收依據，它關係著產品的安全、健康環保，所以在相關產業之生產檢驗、經貿及產品安全等檢驗關卡顯得格外重要。為提升國內奈米相關產業的國際競爭力，奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步；同時積極建構奈米技術相關標準之資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。隨後諮議會秘書處報告籌備工作的經過，並對諮議會架構及創始會員簡短的介紹。

目前全球奈米產品每週不斷的增加，全球相關產業未來 10 年估計提供 200 萬個工作機會、產值將達一兆美元；2009 年全球奈米產品銷售額達 10 億美元，相關標準制定有強烈需求，台灣更應積極參與奈米國際標準制定。台灣過去儘管在產品研發、製造能力深具優勢，但因非聯合國會員，無法藉由參與國際標準組織（ISO）、國際電工委員會（IEC）等國際性標準組織活動，主導相關國際標準制定，連帶影響國內業者商機。台灣目前為亞太奈米聯盟（ANF）15 個會員經濟體之一；依國際性標準組織架構機制與



運作方式，可藉由台灣奈米標準技術諮議會在國內成立的技術工作小組，透過 ANF 向 ISO、IEC 提案、提供意見、提供技術內容等方式，參與、影響對台有利的國際標準制定。奈米科技蓬勃發展至今不逾 10 年，國際間尚未有相關標準獲認可，唯台灣發展奈米科技基礎已獲國際肯定，透過參與 ANF「巧妙的安排」，提出台灣的發展經驗與國際討論、結合，並參與國際標準制定，對台灣而言是相當重要。

ISO: International Organization for Standardization  
 IEC: The International Electrotechnical Commission  
 VAMAS: Versailles Project on Advanced Materials and Standards  
 ASTM: American Society for Testing and Materials  
 ANF: Asia Nano Forum

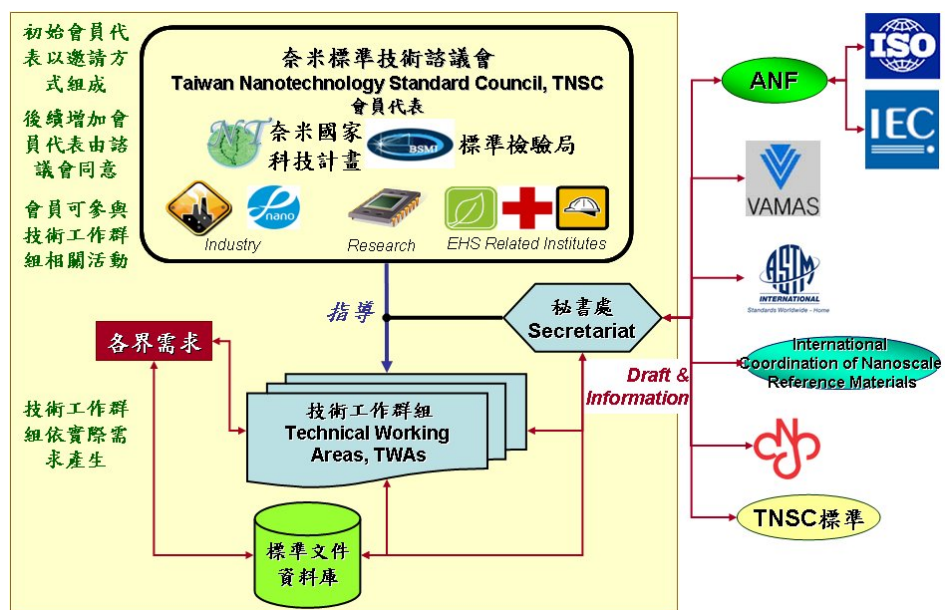


圖 3-2 奈米標準技術諮議會架構與運作方式

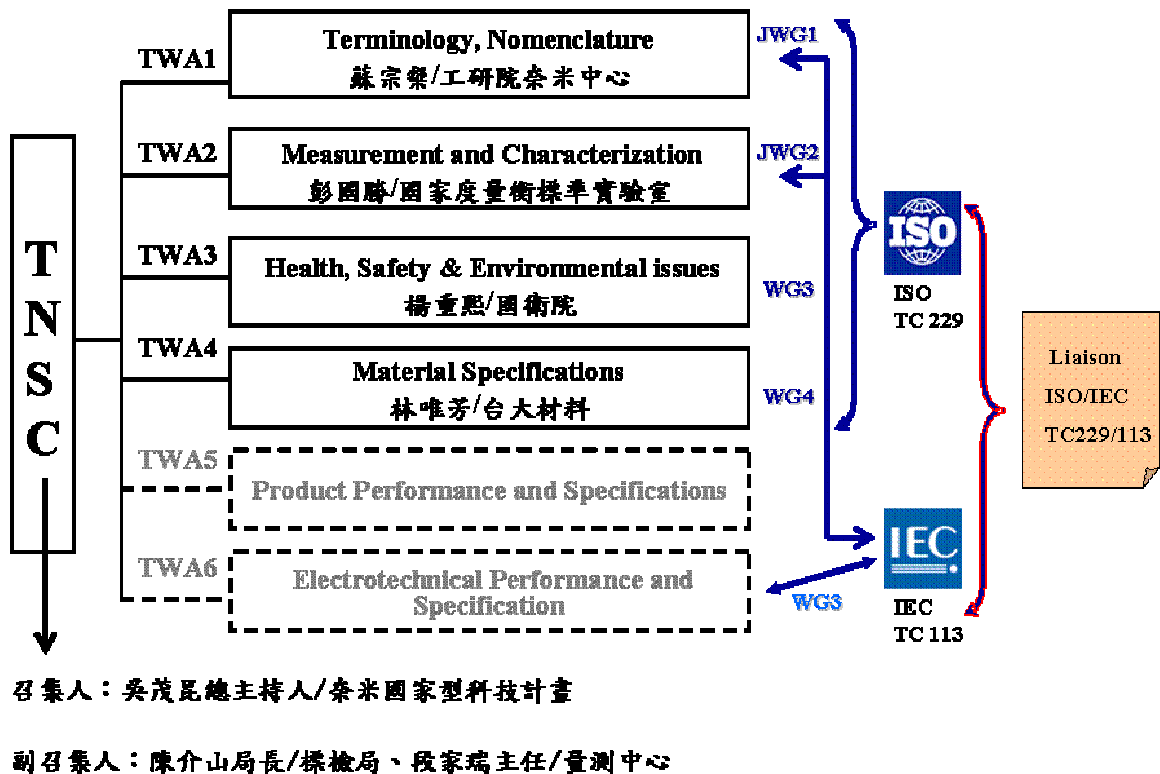


圖 3-3 奈米標準技術諮議會、其轄下目前成立之四個技術工作組（TWA）與國際組織關係圖

奈米標準技術諮議會的工作主體（技術工作組，TWA）與召集人，起始階段成立的四個技術工作組：術語與命名、量測與特性分析、健康安全環境及物質規格。

接著諮議會啟動儀式由經濟部標準檢驗局局長陳介山暨諮議會副召集人、奈米國家型科技計畫總主持人暨諮議會召集人吳茂昆、國家度量衡標準實驗室主任暨諮議會副召集人段家瑞，共同插旗宣布起跑。在啟動儀式後，吳茂昆主持了二個提案審定以便使後續的工作組的實質工作順利展開：(一)奈米標準技術諮議會設置要點(二)技術工作組召集人及年度工作規劃，二項提案皆全數同意通過。會後並進行了交流茶會與留影。



圖 3-4 台灣奈米標準技術諮議會 2009 年 6 月 26 日舉辦成立大會，圖為諮議會出席部分會員代表與委員合照。

奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步；同時積極建構奈米技術相關標準之資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。除推動國際一流水準的奈米標準，俾便對於奈米技術商品化過程中的每一個階段，能真實地理解與掌握製造過程，確保產品品質，更進一步地，溝通調和國際標準，增進環境、健康與安全等風險評估，藉由具公信力的量測數據，消釋大眾對於奈米產品功效與安全疑慮，從而促進奈米技術的蓬勃發展與商品化。

## 98 年台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)各技術工作組(TWA)工作成果

### 1. TWA 1 部份

#### (1)奈米標準技術第一工作組(TWA 1)簡介：

- 成立宗旨：奈米技術標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第一工作組任務：負責 Terminology and Nomenclature 技術規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第一工作組成員共 10 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 10%、學界單位代表比例占 50%及政府主管機關代表比例占 40%。

#### 第一工作組成員：

主席：蘇宗榮 主任(工研院奈米科技研發中心)		秘書：李嘉真
第一工作組成員	單位代表	職稱
吳國龍	經濟部標準檢驗局	技正
阮國棟	行政院環境保護署永續發展室	執行秘書
張宣武	行政院環境保護署永續發展室	組長
林慶隆	國立編譯館	主任
林鴻明	大同大學材料工程學系	教授
楊美惠	台灣大學化學系	教授
葉孟考	清華大學動力機械工程學系	教授
洪肇嘉	雲林科技大學環境與安全衛生工程系	教授
黃萬居	台北市立教育大學自然科學系	教授

#### (2)第一工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：98 年 8 月 14 日（星期五）下午 14:30～16:00  
假於工業技術研究院光復院區 16 館 223 會議室辦理  
會議內容探討：A. TNSC 秘書處報告  
台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)籌備工作說明  
B. 主席報告  
工作執掌與任務說明  
C. 參加奈米國際標準技術委員會代表報告  
國際標準組織發展現況  
D. 工作組秘書報告  
TWA 1 奈米標準工作說明  
(A)技術工作組的主要工作  
(B)TNSC 奈米標準工作制訂流程  
使用表單介紹說明

- i. TWA 提案單
- ii. TWA 審核意見表

- E. 討論 TWA 1 擬制訂標準之議題
- F. TWA1 臨時動議

會議總結： A. 與會專家同意奈米標準技術第一工作組 - 術語與命名今年度規劃之專注領域與任務研究工作項目。

- B. 今年度使用 ISO TC229 WG1 已出版文件 ( ISO/TS 27687: Nanotechnologies- Terminology and definitions for nano-objects ) 進行中文化制定，9 月底前將中文化文件傳給各專家審閱，於 10 月份攜至 ISO TC229 會議討論。
- C. 請各位專家針對國內優先需求的術語與命名與藍圖研究提供相關資料。
- D. 請 TNSC 秘書處姚斌誠研究員協助跨群組協調部分。
- E. 委員們有提案權跟建議新增委員名單的權力，歡迎各位委員推薦專家加入本工作組，讓今年度規劃之專注領域與任務研究工作項目能圓滿達成。

- 第二次會議召開：98 年 9 月 29 日(星期二 ) 下午 14:30 ~ 16:30

假於台北科技大樓 4 樓 4006 室會議室辦理

會議內容探討： A. 依據奈米標準技術第一工作組 98 年第 1 次工作籌備會會議結論，提案 ISO/TS 27687: Nanotechnologies- Terminology and definitions for nano-objects 之中文化，會議就中文化文件內容提供相關資訊，進行討論與修改。

會議總結： A. 針對 ISO/TS 27687: Nanotechnologies- Terminology and definitions for nano-objects 進行中文化討論，彙整委員意見，完成奈米技術 — 奈米體 (nano-objects)的術語與定義 — 奈米粒子、奈米纖維及奈米板技術文件修改版本第二版。

- B. 修改完成的第二版將請各位專家委員提供相關建議，並於 10 月份送至 ANF summit 會議中提出，及在 TC 229 會議中與大陸學者相互討論。

- 經各委員及秘書處同仁多方查證，以 e-mail 往還討論、再次修正意見與校對，10/13 完成 ISO/TS 27687 中文化文件修改版本第五版，即由蘇宗粲主任 10/17 攜至以色列的 ISO TC 229 年度會議中討論。
- 蘇主任 10/13 也已先行將我方(TNSC)所擬的 TS 27687 中文化文件草稿轉寄大陸對應 ISO 委員代表沈電洪博士及王利民教授，徵詢意見，俾努力縮短雙方在簡體和繁體中文奈米詞彙達成一致共識之時間。

工作組會議成員照片：



圖 3-5 第一技術工作組會議成員照片

(3)結論（未來工作規劃）

- 已完成「ISO/TS 27687: 2008 奈米技術 - 奈米體的術語與定義—奈米粒子、奈米纖維及奈米板」中文化 Working Draft 第 5 版修改。
- 12 月 10 日(星期四) 10:00 ~ 12:00，假工研院量測中心光復院區 16 館 223 會議室，召開第 3 次工作會議，會議中將進行「ISO/TS 27687: 2008 奈米技術 - 奈米體的術語與定義—奈米粒子、奈米纖維及奈米板」中文化 Working Draft 的討論與意見交換。
- 未來針對國內優先需求的術語與命名與藍圖研究，提供相關資料並進行明年度規劃。

## TWA 新工作項目提案(New Working Item Proposal)提案單

提案題目		ISO Terminology-Nano-objects 中文化	編號	
TWA 組別		第一工作組	日期	98.9.1
提案單位/提案人		工研院奈米中心/蘇宗絜		
提案內容	擬制定標準之主旨	與 ISO 奈米術語接軌		
	擬制定標準之目的用途（提供何者單位/機構/產業使用）	提供奈米相關之產學研政單位統一詞彙		
	擬制定標準之適用範圍	奈米科技相關之詞彙		
	擬制定標準之內容概述	奈米體的詞彙與定義 -- 奈米微粒、奈米纖維和奈米板		
	標準制定之參與機構或人員	工研院奈米科技研發中心 蘇宗絜 主任 經濟部標準檢驗局 吳國龍 技正 行政院環境保護署永續發展室 阮國棟 執行秘書 行政院環境保護署永續發展室 張宣武 組長 國立編譯館 林慶隆 主任 台灣大學化學系 楊美惠 教授 大同大學材料工程學系 林鴻明 教授 臺北市立教育大學自然科學系 黃萬居 教授 清華大學動力機械工程學系 葉孟考教授 雲林科技大學環境與安全衛生工程系 洪肇嘉教授		
審核	TWA 成員審核意見：			
審核	審核日期： <div style="float: right;">TWA 主席：</div>			



## 2. TWA 2 部份

### (1)奈米標準技術第二工作組(TWA 2)簡介：

- 成立宗旨：奈米標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第二工作組任務：負責 Measurement and Characterization 技術  
規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第二工作組成員共 9 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 56%、  
學界單位代表比例占 22%及產業界代表比例占 22%。

### 第二工作組成員：

主席：彭國勝 組長(國家度量衡標準實驗室)		秘書：陳秀貞
第二工作組成員	單位代表	職稱
林仁輝	成功大學微奈米科技研究中心	中心主任
李紫原	清華大學奈微與材料科技中心	中心副主任
謝詠芬	閎康科技股份有限公司	總經理
林進祥	台灣積體電路製造股份有限公司 製造技術中心	處長
蕭銘華	財團法人國家實驗研究院儀器科技研 究中心 微奈米加工技術廠	廠長
陳朝榮	工業技術研究院量測技術發展中心 動態工程量測研究室	室主任
傅尉恩	工業技術研究院量測技術發展中心 長度研究室	研究員
姚斌誠	工業技術研究院量測技術發展中心 主任室產業標準推動辦公室	研究員

### (2)第二工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：98 年 5 月 26 日(星期二) 下午 14:30 ~ 16:00  
假於工業技術研究院光復院區 16 館 223 會議室辦理  
會議內容探討：A. TNSC 秘書處報告。  
台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)籌備工作說明  
B. 主席報告  
工作執掌與任務說明  
C. 參加奈米國際標準技術委員會代表報告  
國際標準組織發展現況  
E. 工作組秘書報告  
TWA 2 奈米標準工作說明

(A)技術工作組的主要工作

(B)TNSC 奈米標準工作制訂流程

使用表單介紹說明

i. TWA 提案單

ii. TWA 審核意見表

E. 討論 TWA 2 擬制訂標準之議題

F. TWA2 臨時動議

會議總結： A. 會議目的在 6/26 TNSC 成立前各委員相互認識及瞭解奈米標準技術諮議會(TNSC)的工作。

B TNSC6/26 成立， TWA2 年度規畫報告，擬訂的標準及未來工作方向，由主席規劃或由各委員提議之。

工作組會議成員照片：



圖 3-6 第二技術工作組會議成員照片

(3)結論（未來工作規劃）

- 訂於 98 年 12 月中旬辦理\_第二次工作組會議。

### 3. TWA 3 部份

#### (1)奈米標準技術第三工作組(TWA 3)簡介：

- 成立宗旨：奈米技術標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第三工作組任務：負責 Health, Safety & Environmental issues  
技術規劃、制訂活動之辦理
- 成立奈米標準技術第三工作組成員共 9 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 45%、  
學界單位代表比例占 22%及政府主管機關代表比例占 33%。

#### 第三工作組成員：

主席：楊重熙 主任(國家衛生研究院 奈米醫學中心)		秘書：葉佳宜
第三工作組成員	單位代表	職稱
石東生	勞工安全衛生研究所	所長
阮國棟	行政院環境保護署永續發展室	執行秘書
蔡春進	國立交通大學環境工程研究所	教授
王德原	行政院衛生署藥物食品檢驗局第二組三 科	科長
林雲漢	行政院衛生署科技發展組	博士
廖寶琦	成功大學微奈米科技研究中心	教授
賴惠敏	工業技術研究院生技與醫藥研究所藥物 資源研究室	主持人
陳朝榮	工業技術研究院量測技術發展中心 動態工程量測研究室	室主任

#### (2)第三工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：98 年 9 月 11 日（星期五）上午 10:00 ~ 12:00  
假於工業技術研究院光復院區 16 館 223 會議室辦理

會議內容探討：A. TNSC 秘書處報告。

台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)籌備工作說明

B. 主席報告

工作執掌與任務說明

C. 參加奈米國際標準技術委員會代表報告

國際標準組織發展現況

D. 討論 TWA 3 擬制訂標準之議題

E. TWA 3 臨時動議

會議總結： A. 建議國內外關於奈米標準的相關資訊能即時同步分享，透過網路或會議  
召開。

B 提議奈米產品/材料製造與處理場所之勞工安全防範與環境安全防護，

訂定標準化。

- C. 提議民生用品之奈米產品/材料，就健康 安全與環境議題訂定其相關技術標準化。
- D. 提議奈米產品/材料的標示，針對標示項目訂定標準化，此部分與第一工作組相關，可進行協調。
- E. 提議將奈米國家型計畫第一期的產出與成果，整理相關資料進行，以提供奈米標準技術參考與未來方向之規劃。
- F. 根據 ISO/IEC 的原則，第三工作組的議題主要為產品製造過程與最終安全，建議不干涉國內主管機關的權責。
- G. 請專家針對健康、安全與環境相關議題，就國內優先需求與藍圖研究，再進一步提供相關資料。

工作組會議成員照片：



圖 3-7 第三技術工作組會議成員照片

### (3)結論（未來工作規劃）

- 未來針對健康 安全與環境相關議題就國內優先需求與藍圖研究，提供相關資料並進行明年度規劃。
- 將陸續召開工作會議，規劃提出新工作項目案。
- 奈米技術標準制定的方向將朝向勞工安全、民生用品、產品標示等提議新工作項目案。

#### 4. TWA 4 部份

##### (1)奈米標準技術第四工作組(TWA 4)簡介：

- 成立宗旨：奈米材料規格標準之規劃、制訂與相關研究工作
- 奈米標準技術第四工作組任務：負責 Material Specifications 技術  
規劃、標準制訂活動之辦理
- 奈米標準技術第四工作組成員目前有 6 位(不含秘書)，來自研究單位代表比例占 33%、  
學界單位代表比例占 67%。

##### 第四工作組成員：

主席：林唯芳(國立台灣大學高分子科學與工程學研究所)		秘書：金瑞熙
第四工作組成員	單位代表	職稱
蔡豐羽	國立台灣大學材料系	教授
游萃蓉	國立清華大學材料系	教授
洪銘輝	國立清華大學材料系	教授
陳哲陽	工研院材化所	組長
林麗娟	工研院材化所	研究員

##### (2)第四工作組活動與進度：

- 第一次會議召開：98 年 11 月 6 日(星期五) 上午 10:00 ~ 12:00  
假於工業技術研究院光復院區 16 館 223 會議室辦理  
會議內容探討：A. TNSC 秘書處報告。  
台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)籌備工作說明  
B. 主席報告  
TWA 4 Material specifications 國際標準組織發展現況  
C. 工作組秘書報告  
TWA 4 奈米標準工作說明  
(A)技術工作組的主要工作  
(B)TNSC 奈米標準工作制訂流程  
使用表單介紹說明  
i. TWA 提案單  
ii. TWA 審核意見表  
D. 討論 TWA 4 擬制訂標準之議題  
E. TWA 4 臨時動議  
會議總結：A. 本工作組目前著重於 material specifications，當涉及材料之應用時，可考  
量由其他相關 TWA 負責做進一步的深入研討。

- B. 參與 ISO 會議或活動，如有議題與國內廠商重大相關，請提供資料給廠商參考，例如 titanium dioxide、calcium carbonate 等。國內廠商若有相關意見及議題，亦可進行蒐集並邀請有關專家加入本工作組參與研討，有助於事項議題在 ISO 會議中合理地提出或討論。
- C. 請秘書處就奈米銀與 Silicon dioxide 奈米物質標準草案之研擬，納入並綜整於本工作組討論所得之 roadmap。
- D. 在研擬與討論標準草案過程中，如有適當專家與業界可參與，請各位委員隨時(或透過秘書處)提出推薦給主席，以便進行邀請。
- E. 邀請國家標準檢驗局的代表來參與提案討論會議，以利國家奈米標準的制定。
- F. 預定每年開會二次，如有重要提案可以加開。

工作組會議成員照片：



圖 3-8 第四技術工作組會議成員照片

## (二) 奈米標準文件相關資料平台的建置。

台灣奈米標準技術諮議會(Taiwan Nanotechnology Standard Council, TNSC)」，主要功能是指導、審定轄下，各個針對 ISO / TC 229、IEC / TC 113 等奈米國際標準技術委員會，所對應之「奈米標準技術工作組(Technical Working Area, TWA)」，其對標準制定的規劃與產出，並期藉由奈米標準技術諮議會的運作，建立奈米技術標準發展的平台，台灣奈米標準技術諮議會(TNSC)資訊網即是透過網路平台，進行相關的資訊交流、分享，意見與需求整合，凝聚國內共識，接軌國際奈米標準組織，其網頁架構如圖 3-9 所示，主要包含首頁、關於本站、諮議會介紹、諮議會活動、產業活動情報、標準資料資訊、標準網站連結及會員服務等，資訊網主要內容如表 3-1 所示。

網站的維護管理將由偉瑟科技有限公司採用 MS Windows 2000 server(空間 1G) 以及 MS SQL Server 2000(空間 15M)進行網站的代管，網站架設在中華電信機房，網址：



www.tnsc.org.tw，網頁資料檔及資料庫的備份每週執行一次，避免檔案損毀或遭病毒攻擊後，造成資料的流失。

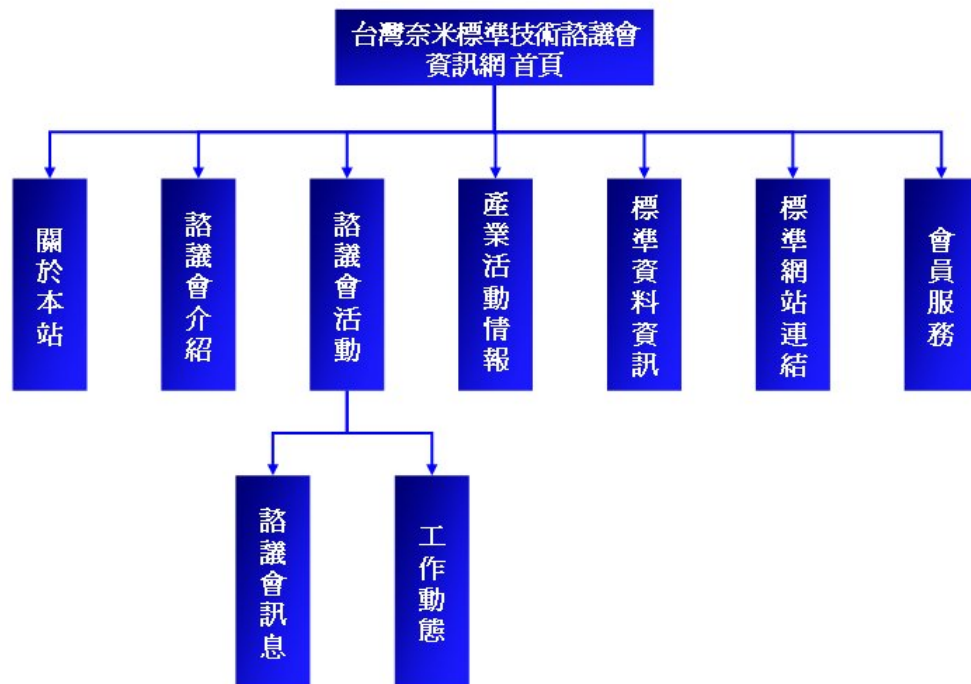


圖 3-9 台灣奈米標準技術諮議會資訊網網頁架構

表 3-1 奈米標準技術諮議會資訊網內容

名稱	說明	圖示
資訊網首頁	自動顯示諮議會最新訊息及產業活動情報標題，點選標題，進入詳細頁觀看。	
關於本站	介紹台灣奈米標準技術諮議會資訊網成立背景、宗旨，為靜態網頁，無法由後台進行修改編輯。	
諮議會介紹	介紹奈米標準技術諮議會組織架構、工作小組成員及各工作小組的任務，為靜態網頁，無法由後台進行修改編輯。	
諮議會活動	諮議會活動包含諮議會訊息及工作動態兩個部份，諮議會訊息提供諮議會的活動訊息，並顯示各工作小組的主席、秘書及連絡方式，為開放的網頁；工作動態則是限制只有諮議會工作小組成員才可進入，主要提供工作小組諮議會開會記錄，決議事項，或提案內容等。此部份為動態網頁，需設定秘書人員進行資料的上傳、修改、刪除。	



[illegible]

### 【效益與影響】

奈米產品是新興科技產業，但現今國內外均缺乏相關標準。在全球化經濟的影響下，標準不只是研發生產製造檢驗之依據，也是經貿之採購及驗收依據，它關係著產品的安全、健康環保，所以在相關產業之生產檢驗、經貿及產品安全等檢驗關卡顯得格外重要。

為提升國內奈米相關產業的國際競爭力，奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步。支持國內積極發展奈米技術相關標準，建構資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。

目前奈米國家型科技計畫已進入第二期，會以奈米技術於各產業領域之應用為主，

再加上國內最新奈米技術的發展，無論在前瞻研究、產品研發、奈米檢測技術、奈米標章驗證等均達國際尖端水準，所以標準的制訂對奈米產業發展至關重要。奈米標準技術諮議會成立後，更可為國內外的奈米標準提供更多貢獻及指導。

#### 【執行中突破之困難】

台灣儘管在產品研發、製造能力深具優勢，但因非聯合國會員，無法藉由參與國際標準組織（ISO）、國際電工委員會（IEC）等國際性標準組織活動，主導相關國際標準制定，連帶影響國內業者商機。台灣目前為亞太奈米聯盟（ANF）15 個會員經濟體之一；依國際性標準組織架構機制與運作方式，可藉由在國內成立的工作小組，透過 ANF 向 ISO、IEC 提案、提供意見、提供技術內容等方式，參與、影響對台有利的國際標準制定。目前已成為 ISO TC 229 category A liaison 及 IEC TC 113 WG3 category D liaison 會員，可參與第一手標準討論，並有機會加入某些提案的制定小組。

#### 【後續工作構想及重點】

由於國際標準組織（ISO、IEC），以及其他先進國家如美、英、日、中國、以色列等均有標準制訂委員會等機構，並積極制訂奈米相關標準。因此奈米標準技術諮議會之成立及運作，將參考國際標準組織模式，屬於任務型之委員會，負責規劃與審定奈米相關標準的制訂；另一方面，也作為國際標準組織 ISO / TC 229 及國際電工委員會 IEC / TC 113 等奈米國際標準技術委員會所對應的國內委員會，協助制訂相關國際標準。奈米標準的制訂將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準。分別研擬奈米相關名詞的定義、產品功效、計量特性、健康安全環境及原料特性等標準。

#### 四、成果與推廣

##### 1.年度量化成果

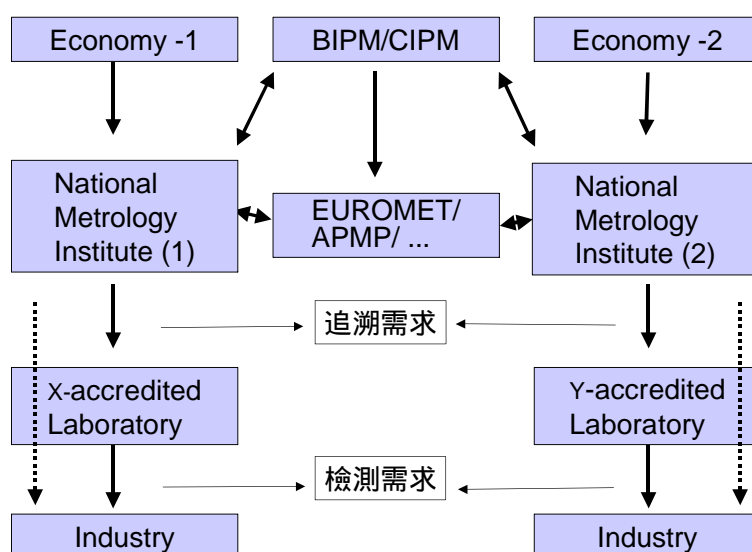
項目		目標值 【實際值】			
		奈米粒子/ 線之尺寸 形貌與功 能性量測 標準追溯 分項	薄膜結構 與特性量 測標準追 溯分項	奈米國 際量測 與產品 標準推 動	小計
專利	申請	1【0】件	1【0】件	0【0】件	2【0】件
	獲得	-【1】件	-【0】件	-【0】件	-【1】件
論文	國內期刊	2【4】篇	4【6】篇	1【1】篇	7【11】篇
	國內研討會	2【3】篇	5【5】篇	1【1】篇	8【9】篇
	國外期刊	2【2*】篇 (*含2篇SCI)	3【6*】篇 (*含6篇SCI)	0【0】篇	5【8】篇 (*含8篇SCI)
	國外研討會	2【5】篇	4【9】篇	0【1】篇	6【15】篇
研究報告	技術	5【10】篇	6【10】篇	1【2】篇	12【22】篇
	訓練	2【3】篇	3【6】篇	2【2】篇	7【11】篇
學術 成就	研究團隊	跨團隊研究(清大、成大、中興、材化所、機械所與量測中心)。			
	博碩士培訓	台清交、台科大等共有 17 位博碩士參與計畫。			
	辦理學術活動	辦理國內研討會 3 場；論壇 2 場。			
	國際比對	參與 Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)舉辦之二氧化矽奈米粒徑之動態光散射法 (DLS)比對量測。			
技術 創新	技術移轉	技轉龍華科大、東海大學、中央大學、五鈴、國科企業等五案，共 577.665 千元(不含稅)。			
	衍生應用	協助奈米標章產品驗證規範之奈米性檢測方法研擬：AFM、SEM 與 DLS 共三件。			
經濟效 益	共通/檢測技術服務	提供產學研校正服務 240 件，金額達 2,587 千元(由 NML 計畫統一繳交國庫)。			

社會影響	資訊服務	接待參觀實驗室 293 人次。
其他效益	參與或制訂計畫技術規範或檢測方法	(1)ISO 標準 Terminology-Nano-objects 中文化_奈米技術 – 奈米體的術語與定義 — 奈米粒子、奈米纖維及奈米板(草案)； (2)使用於太陽能電池的奈米產品_二氧化鈦奈米柱(nanorod) 標準技術規範(提案報告)； (3)使用於太陽能電池的奈米產品_碳簇衍生物 PC <sub>60</sub> BM 標準技術規範(提案報告)共 3 件
	建立資料庫	建立奈米標準資訊網頁，網址：www.tnsc.org.tw。

## 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) 參加及協辦 APEC Forum 活動

—協辦 98.10.7-8 假台北世貿舉行之 2009 APEC Nanoproducts Measurement Technology Forum，主題著重於奈米產品之驗證方法，共同研討相關議題，目標在於防止非奈米級產品在市場中不實之推廣、確保民眾的健康安全，並藉此增進大眾對於奈米產品之了解與。會中邀請國內外政府單位、民間企業、研發單位及學術界之相關學者、專家共同分享最新、最先進的奈米分析及量測技術，並確認與推展符合未來市場需求之奈米標準檢測方法，計有澳大利亞、美國、日本、韓國、中國、與中華民國 6 個經濟體，118 人參加。

(2) 技術移轉：

- 2-1 龍華科技大學 - 非專屬之奈米微力於原子力顯微鏡之微力校正技術授權 (技術授權金未稅 190.476 千元)
- 2-2 五鈴 - 線寬線距量測技術授權應用 (技術權利金未稅 187.189 千元)
- 2-3 東海大學 - 微奈米機械性質量測系統技術授權運用(技術授權金未稅 100 千元)
- 2-4 中央大學 - 微奈米機械性質量測系統技術授權運用(技術授權金未稅 50 千元)
- 2-5 國科企業 - 微/奈米機械性質量測系統技術授權運用(技術授權金 50 千元)

(3) 舉辦技術研討會/論壇/說明會/參展

- 3-1 0521 舉辦「奈米粒徑量測技術研討會」，共有 11 家廠商；32 人次參加。
- 3-2 0911 舉辦「奈米拉伸與壓痕力學量測技術研討會」，共有 15 家廠商；26 人次參加。
- 3-3 1201 舉辦「奈米薄膜檢測技術研討會」，共有 10 家廠商；19 人次參加。
- 3-4 0714 舉辦「奈米材料應用與檢測標準技術論壇」，有陳局長、及產官學研代表：和成欣業陳世傑協理、錦鉦企業吳宥德特助、台灣區石礦製品工業同業公會/豐鼎光波奈米科技鍾源淵董事長、勞工安全衛生研究所張振平組長、廣融陳仁英總經理、中興大學奈米科技中心林耀東教授、工研院材化所陳哲陽組長、及本計畫主持人張啟生博士等 9 人與會(附件十一)。
- 3-5 1013 舉辦「奈米薄膜檢測標準技術論壇」，有陳局長、及各界代表：台積電李佩元副理、台灣思百吉鍾明光經理、交大電子工程學系鄭晃忠教授、中央大學薄膜技術中心李正中主任 清華大學奈微與材料科技中心李紫原副主任、成大微奈米科技研究中心林仁輝主任、及本計畫主持人張啟生博士等 8 人與會(附件十一)。
- 3-6 0805-0808 參加 2009 台北國際自動化科技大展，展出 1  $\mu\text{m}$  以上線寬、階高與表粗標準片。
- 3-7 1007-1009 於台北世貿，以經濟部標準檢驗局主題館的方式，參展 2009 台灣奈米科技展，展場分主題形象、奈米粉體計量標準、薄膜計量標準、奈米標準調和四區，展出型式包括實體、看板海報、模型及電視播放影帶等不同形態。

3-8 1201 於標檢局大禮堂參加成果展，展示奈米材料應用與檢測標準、及薄膜檢測標準技術，展出型式包括看板海報、影片及自製標準粒子驗證參考物質

(4) 受邀演講

4-1 0417 陳朝榮博士，應邀至元智大學機械系，演講「Development of nanometrology at CMS/ITRI」。

(5) 國際比對：參與 Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)舉辦之二氧化矽奈米粒徑之動態光散射法(DLS)比對量測。

98年2月26日IRMM邀請參加其舉辦之30 nm 二氧化矽(Silica)奈米粒子量測能力試驗，CMS以動態光散射法(DLS)進行量測，量測結果如下表，比對結果被接受且被邀請成為IRMM的合作伙伴，成為其開發的奈米粒子驗證參考物質的驗證實驗室之一。

Test Sample No.	Measured Value [nm]						Average [nm]	Measurement Uncertainty [nm]
	1	2	3	4	5	6		
0164	30.73	30.77	30.03	29.92	28.93	28.91	29.88	2.18
068	30.54	29.07	32.00	29.65	30.04	30.16	30.24	2.55

(6) 計畫迄今新擴建的8套國家標準量測系統：角度校正系統-大角度校正系統(D07)、角度校正系統-小角度校正系統(D08)、階高校正系統(D21)、奈米薄膜量測系統(D22)、奈米壓痕量測系統(N10)、力量比較校正系統(四)(N11)、奈米粒徑量測系統(V05)、微流量量測系統(F11)，FY98共提供240件的服務、收入2,587仟元，共由NML計畫統一繳庫。

## 陸、結論與建議

### 一、奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項計畫

國家度量衡標準實驗室在奈米粒子計量標準研究中，已陸續建立動態光散射法、微分電移動度分析法、和電重力氣膠平衡法等三套奈米粒徑量測系統。這三套儀器均是假設粒子是圓球狀的特性來量測奈米粒子的直徑，有鑑於產業所大量生產的奈米材料並非全是圓球狀，除量測其粒徑外，也有必要瞭解其形貌，本計畫於FY98開始建立計量型場發射環境掃描式電子顯微鏡，可量測各種形狀的奈米粒子及所量得尺寸均能追溯到SI單位的公尺定義，並與微分電移動分析法及動態光散射法，用於研究奈米粒子的等效粒徑。

從奈米材料被研究出來及應用於工業產品或民生產品後，大家就開始擔心對環境及人體的安全危害，有關奈米材料毒性、環境安全衛生等研究是大眾關心的議題，國際標

準組織 ISO 的奈米技術諮議會 TC 229、OECD(Organization for Economic Co-operation and Development)及各國勞工安全衛生組織(如美國 National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)都認為奈米材料驗證參考物質對奈米技術的研究發展及環境安全衛生相關研究非常重要，國際上量測標準相關機構如凡爾賽先進材料與標準計畫會議 VAMAS(Versailles Project on Advanced Materials and Standards)、歐盟參考物質與量測研究所 IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements)、美國 NIST 等開始製備各種奈米材料驗證參考物質及舉辦奈米材料的國際比對，本計畫將陸續研究台灣產業所需的奈米粒子驗證參考物質，參與或舉辦奈米粒子量測國際比對，期能滿足國內奈米標章及奈米技術應用產業的標準追溯需求及達成奈米粒子量測標準的國際一致性。

當系統或零組件的尺寸逐漸趨近奈米等級時，材料的物理特性或是結構的機械特性都將與其在巨觀結構時大不相同，因此奈米微觀力學(Nanomechanics)、奈米磨潤學(Nanotribology)等微觀材料物性與機械性質的量測分析研究，也變為愈來愈重要。奈米微力標準的建立，就是要提供微觀力學研究中，微小力量的標準追溯。此微力標準量測技術結合了微小力量量測、驅動技術與標準追溯方法。其應用範圍將包含微/奈米材料或結構測試中，所有與力量相關之測量。例如：薄膜硬度量測、微/奈米結構之楊氏模數(Young's modulus)量測、微/奈米結構之塑性(plasticity)量測、微懸臂樑之力常數(the force constant of cantilever)量測等。本計畫期積極建立微力量測技術與追溯技術，並尋求參與國際合作，以支援本地奈米相關產業量測追溯的需求。而這些微力標準機構的定義目前是以能實現 10  $\mu$ N(微牛頓)以下的力定義作為微力尺度。

## 二、薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫

薄膜結構與特性量測標準追溯分項計畫，分別依計畫進度完成計畫目標：

(一)“薄膜結構參數量測標準及參考物質量測技術建立”，包括了單一線寬之SWA、LER量測技術研究，完成SWA最佳能力分析( $<1^\circ$ )，以及線寬參考物質的製作( $0.35 \mu\text{m} < \text{線寬} < 1 \mu\text{m}$ )。執行重點為側壁角度(SWA)量測方法建置與最佳量測能力(BMC)分析，經測試與評估，BMC為 $0.87^\circ$ (95%信賴區間， $k=2.78$ )。此外亦協助奈米標章建立奈米尺度測試標準操作程序(AFM)。未來除了建立CD參數之標準追溯外，也將加強與奈米標章合作，建立奈米尺度檢測標準作業程序，與奈米相關產品檢測技術研究與開發。

(二)“薄膜表面特徵量測標準技術建立”，包括晶圓表面上散射光量測技術建立，晶圓表面最小量測微粒直徑可達 30 nm。晶圓表面特徵的量測與標準建立，一直是半導體業界急需的計量技術，而晶圓表面特徵其中包含附著於晶圓表面的奈米微粒(金屬、非金屬)、表面粗糙度、表面薄膜、線距等在製程中均是非常重要的量測參數。本計畫因此設計發展出一套奈米級的晶圓表面特徵量測系統，此套系統可以同時四個角度旋轉用以量測不同的晶圓表面特徵所發出的散射光，經過散射光偏振分析後即可得知

晶圓表面奈米級特徵的尺寸大小與分佈特性等。目前此系統可以量測到晶圓表面上奈米微粒的直徑範圍為 30 nm ~ 350 nm，表面粗糙度為  $R_a = 10 \text{ nm} \sim 5000 \text{ nm}$ ，表面薄膜厚度範圍為 2 nm ~ 50 nm，並可承載 2 ~ 12 吋的晶圓進行量測。

(三)“奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立”，包括薄膜應力量測技術 (thickness < 100 nm) 和薄膜拉伸量測技術 (strain rate  $0.05 \text{ s}^{-1}$ )、薄膜拉伸量測技術 (strain rate  $0.05 \text{ s}^{-1}$ )。在薄膜殘留應力量測技術方面，相較於傳統之彎曲樑 (Bending beam) 之量測方法，本研究採用具全域性之光學干涉殘留應力量測技術，利用光學干涉全域性之優點，可更準確地獲得薄膜內部之殘留應力。在薄膜拉伸量測技術方面，乃評估微小力量量測系統 (N11) 在小於  $0.05 \text{ s}^{-1}$  的拉伸應變率下，對薄膜材料機械性質之影響。量測結果顯示：在相同應變率下，量測系統之靜態楊氏模數受應變率影響遠高於動態量測之結果。即在靜態量測下，計算所獲得之楊氏模數受應變率影響十分明顯。此結果將有助於了解在相同材料於不同拉伸機台模式量測下所產生之差異與影響。

另外，奈米薄膜電性本計畫設計了一個快速抖動掃描裝置，並架設 THz 差動訊號時域頻譜分析量測系統，完成量測  $1.87 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $1.39 \text{ }\mu\text{m}$  與  $440 \text{ nm}$  膜厚  $\text{SiO}_2$  之 THz 差動式穿透訊號。完成  $\text{SiO}_2$  薄膜之 THz 折射率頻譜量測與不確定度分析，量測範圍從 0.1 THz 到 1 THz，訊噪比最佳化後可達 1000。並完成  $\text{SiO}_2$  薄膜之 THz 折射率頻譜量測與不確定度分析。在膜厚  $> 1 \text{ }\mu\text{m}$  的情形下，折射率與文獻值相當，但  $< 1 \text{ }\mu\text{m}$  時則由於基板厚度不均，造成量測結果與理論有較大的誤差。

### 三、奈米國際量測與產品標準推動分項計畫

未來我國奈米標準的制訂，將參照國內外需求，由國內專家學者組成技術工作組，起草制訂相關奈米標準，並藉諮議會作為與國際標準協調平台的運作，讓奈米標準的訂定與國際同步，同時讓台灣新興的奈米產品與科技產業獲得通行全球的保證。奈米標準技術諮議會正可作為與國際標準協調的平台，讓標準的訂定與國際同步；同時積極建構奈米技術相關標準之資訊分享與交流平台，整合各界意見、凝聚共識，促進國內奈米產業加速發展。除推動國際一流水準的奈米標準，俾便對於奈米技術商品化過程中的每一個階段，能真實地理解與掌握製造過程，確保產品品質，更進一步地，溝通調和國際標準，增進環境、健康與安全等風險評估，藉由具公信力的量測數據，消釋大眾對於奈米產品功效與安全疑慮，從而促進奈米技術的蓬勃發展與商品化。



## 附 件

附件一、新台幣伍百萬以上儀器設備清單·····	123
附件二、國外出差人員一覽表·····	124
附件三、專利成果統計一覽表·····	127
附件四、論文一覽表·····	128
附件五、研究報告一覽表·····	135
附件六、研討會/成果發表會/說明會一覽表·····	138
附件七、研究成果統計表·····	139
附件八、中英文對照表·····	140
附件九、參考文獻索引·····	143
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·····	148

## 附件一、 新台幣伍百萬元以上儀器設備清單

單位：新臺幣仟元

儀器設備名稱	主要功能規格	預算數	單價	數量	總價	計畫執行中之功能
場發射環境掃描式電子顯微鏡 (FE-ESEM)	ZEISS SUPRA 60VP: ● Resolution(高真空): WD 2 mm ≤ 1.0 nm at 15 kV ≤ 1.7 nm at 1 kV ≤ 3.5 nm at 0.2 kV ≤ 4.0 nm at 0.1 kV ● Resolution(可變真空): WD 2 mm ≤ 2.0 nm at 30 kV ● Accelerating voltage: 0.2 Kv to 30 kV ● Electron gun: Schottky Field Emission ● Specimen chamber: 直徑 520 mm × 高 300 mm ● Specimen: 可放入 8 英吋直徑的樣品 ● Specimen stage: Eucentric goniometer stage 5 axis(X, Y, T, R, Z) motor control: X: 152 mm, Y: 152 mm, Z: 43 mm, Rotation: 360°, Tilt: -15° to 60° ● 能量色散頻譜 Energy Dispersive Spectrometer (EDS)	12,000	11,959	1	11,959	本計畫將同時利用影像分析法與特性分析法進行工業級奈米粒子之量測與分析。在影像分析法中，為達更好的雜訊比，同時降低電子聚集的問題，並且能夠針對更多種類的樣品進行量測，本計畫擬發展一套可變真空度、具高分辨率之微小電子槍、以及搭載高精確度真空雷射干涉儀樣本平台之計量型 FE-ESEM，用以檢測奈米粒子之尺寸與形貌。同時配合第一期奈米標準計畫所發展之電遷移率分析儀量測系統與動態光散射儀量測系統，進行奈米粒子之電遷移率與動態光散射等效粒徑分佈的理論基礎與量測方法建立。

註：本年度計畫書中，規劃採購之「場發射環境掃描式電子顯微鏡(SEM)」，因為國外採購案，以美金計價，98 年 2 月開始進行採購程序時，因匯率因素，造成預算不足，故以「分次採購程序」執行計畫設備採購工作，先進行設備主體之採購(4 月 2 日決標金額 USD309,800)，

至 9 月，依合約驗收付款，因匯率改變而產生設備採購結餘款，故再次採購該台設備中「能量色散頻譜模組」，補足該設備可分析奈米粒子成份之功能。

## 附件二、 國外出差人員一覽表

### ☑短期訓練

出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
發表論文	• 參加(美國氣膠協研究協會)AAAR 28th 研討會，發表論文，及參訪明尼蘇達大學	AAAR 28 <sup>th</sup> Conference、明尼蘇達大學/美	98.10.25-98.11.1	翁漢甫	• 奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立子計畫成員	• 參加國際研討會發表論文，增進國際能見度，同時進行技術交流並蒐集奈米粒子(氣膠)與材料的生成、安全、控制等世界最新研究內容。	1
發表論文	• 參加「Nanotech 2009」國際研討會發表論文。	Nanotech 2009/美	98.5.2-98.5.9	林志明	• 奈米粒子形貌、分佈及分散量測標準技術建立子計畫主持人	• 參加國際研討會發表論文，增進國際能見度，同時進行技術交流並蒐集國際奈米科技與奈米粒子相關研究進展與應用模式，掌握技術發展趨勢與現況。	2
發表論文	• 參加 IMEKO 國際研討會發表論文。	IMEKO 2009/ 葡萄牙	98.9.5-98.9.13	潘小晞	• 奈米粒子/線功能性量測標準技術建立子計畫主持人	• 參加國際研討會發表微力機構校正技術論文，與該領域專家針對微力技術及質量測定技術進行交流，並蒐集微施力範圍探針微力技術發展趨勢。	3
發表論文	• 參加 ASPEN 2009 及 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference，發表研究論文，並至東京參訪 NMIJ/AIST	ASPEN 2009 及 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference/ 日本	98.11.10-98.11.20	潘善鵬	• 薄膜結構參數量測標準及參考物質質量測技術建立子計畫成員	• 參加國際研討會發表論文，增進國際能見度，同時進行技術交流並蒐集奈米製造與奈米量測技術最新研發成果資訊。	4
發表論文及訪問	• 參加「2009 Denver X-ray Conference」發	2009 Denver	98.7.26-98.8.7	傅尉恩	• 奈米技術計量標準	• 發表論文，增進國際能見度，蒐集國際 X-ray 相關研	5

出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
	表論文；並參訪 NIST。	X-ray Conference；NIST /美			計畫協同計畫主持人	究進展與應用模式。	
發表論文	• 參加「2009 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics」發表論文。	2009 Frontiers of Characterization and Metrology for Nanoelectronics/美	98.5.10-98.5.17	劉承揚	• 薄膜表面特徵量測標準技術建立子計畫主持人	• 參加國際研討會發表論文，增進國際能見度，並可蒐集美國在奈米電子計量方面的相關量測、系統、儀器與廠商資訊。	6
發表論文	• 參加 22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference，發表研究論文，並至東京參訪 NMIJ/AIST	22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference/日本	98.11.12-98.11.20	吳忠霖	• 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立計畫成員	• 參加國際研討會發表論文，增進國際能見度，同時進行技術交流並蒐集奈米量測技術最新研發成果資訊。	7
發表論文	• 參加 Diamond 2009 發表論文	Diamond 2009/希臘	98.9.4-98.9.12	遲雅各	• 奈米薄膜機電特性與化學性質量測標準技術建立子計畫主持人	• 參加 20 屆歐洲鑽石類鑽材料、碳管及氮化物研討會，發表論文，除展現研究成果外，並可與專家討論交流，蒐集國際技術發展情形。	8
參加會議	• 參加 IEC TC113 meeting	IEC TC 113 meeting/大陸	98.4.12-98.4.17	姚斌誠	• 奈米國際量測與產品標準推動分項計畫主持人	• 參與國際奈米相關標準的制定，有助於國內產業的發展。	9
參加會議	• 參加 ISO TC 229 meeting	ISO TC 229 meeting/美	98.6.7-98.6.14	姚斌誠	• 奈米國際量測與產品標準推	• 參與國際奈米相關標準的制定，有助於國內產業的發展。	10

出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益	計畫書項次
					動分項計畫主持人		
參加會議	• 參加 VAMAS Steering Committee meeting	VAMAS Steering Committee meeting/英	98.5.11-98.5.16	傅尉恩	• 奈米技術計量標準計畫協同主持人	• 參與 VAMAS 之奈米國際標準制定，收集奈米標準發展資料。	11
參加會議	• 參加 ISO TC 229 meeting	ISO TC 229 meeting/美	98.6.7-98.6.14	蘇宗榮	• 奈米國際量測與產品標準推動計畫成員	• 參與國際奈米相關標準的制定，有助於國內產業的發展。	11
參加會議	• 參加 73rd IEC General Meeting 中之 ISO/TC 229/JWG 及 ISO/TC 229 會議	ISO/TC 229/JWG 及 ISO/TC 229/以色列	98.10.17-98.10.24	姚斌誠 蘇宗榮 彭國勝	• 奈米國際量測與產品標準推動分項主持人及計畫成員	• 參與奈米國際活動，掌握國際最新資訊，有助推動執行台灣奈米諮議會業務，期推動奈米產業的發展。	12-13
訪問	• 拜訪 NIST, E. Fjeld Company	NIST, E. Fjeld Company/美	98.8.2-98.8.8	何信佳	• 奈米粒子形貌、分布及分散量測標準技術建立子計畫成員	• 訪問已有改裝計量型 FE-ESEM 的國家標準實驗室 NIST 及 E. Fjeld 公司。	14

☒長期訓練

項次	出差性質	主要內容	出差機構/ 國家	期間	參加人員姓名	在本計畫擔任之工作	對本計畫之助益
1	客座研究	• 赴日本 NIMS 從事為期 3 個月的客座研究。客座題目與 D22-X 光薄膜量測系統應用相關，內容為「X-Ray Metrology for thin Film Characterizations」	日本	98.8.24-98.11.20	張詠晴	• 薄膜表面特徵量測標準技術建立子計畫成員	• 瞭解日本 NIMS 薄膜量測技術與系統，有助於計畫規劃及執行薄膜量測的相關研究及系統應用領域。

### 附件三、專利成果統計一覽表

專利獲證：本年度獲證 1 件

類別	專利名稱	申請日期	專利申請國	申請案號/專利號碼	申請人	所屬分項
發明	流量測量裝置及其制造方法	20051213	中國大陸	200510129617.4/ZL200510129617.4	蘇峻民、莊漢聲、何宜霖	粒子分項

專利申請：

類別	專利名稱	申請日期	專利申請國	申請人	所屬分項	執行狀況說明
發明	表面檢查燈具	20091104	中華民國	陳宏豪、潘小晞、蔡友立、楊進忠	粒子分項	已通過工研院專利評審會，編號 P07980030TW，進行申請程序中。
發明	快速檢測晶圓表面上微粒及缺陷的掃描式偏振散射光量測裝置	20091130	中華民國	劉承揚、傅尉恩	薄膜分項	已送交工研院專利評審會，待排入評審會議程。

附件四、論文一覽表

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Nanonewton Force Generation and Detection Based on a Sensitive Torsion Pendulum (SCI)	2009/04/01	IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement	陳生瑞、潘小晞	國外期刊	5	美國	粒子
Measurement of the Cotton-Mouton Effect in Nitrogen, Oxygen, Carbon Dioxide (SCI)	2009/08/05	Chemical Physics Letters	陳生瑞、潘小晞、梅賢豪、倪維斗		6	英國	粒子
Evaluation of Uncertainty in Nanoparticle Size Measurement by Electro-gravitational Aerosol Balance	2009/05/03	Nanotech Conference & Expo 2009	林志明、余大昌、潘善鵬、翁漢甫、陳朝榮	國外研討會	4	美國	粒子
Nanoparticle Size Characterization of 100 nm NIST SRM 1963a by Electro-Gravitational Aerosol Balance System with Uncertainty Analysis	2009/10/26	American Association for Aerosol Research	林志明、余大昌、翁漢甫、傅尉恩、陳朝榮		1	美國	粒子
Measurement of the particle diameters by differential mobility analysis	2009/10/26	American Association for Aerosol Research	林志明、余大昌、翁漢甫、王聖涵		1	美國	粒子
Sub-Milligram Weight Subdivision and Application in Force Calibration of Nanoindenter	2009/06/11	XIX IMEKO World Congress	段靜芬、潘小晞、潘福隆、林以青、吳忠霖		4	葡萄牙	粒子

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Uncertainty Analysis on Precision Measurement of 20 nm to 1000 nm polystyrene utilizing Dynamic Light Scattering	2009/11/19	International Microprocesses and Nanotechnology Conference	潘善鵬、翁漢甫、林志明、呂宗熙	國外研討會	2	日本	粒子
NIST 微力技術及 CMS 微力技術之發展	2009/01/03	量測資訊	潘小晞、陳生瑞、陳宏豪、段靜芬、林以青、潘福隆、楊豐瑜、吳忠霖、張啟生	國內期刊	8	中華民國	粒子
真空系統的量測與查漏技術	2008/12/19	化工資訊與商情	陳宏豪		8	中華民國	粒子
時間解析兆赫波頻譜技術與應用	2009/04/01	物理雙月刊	何信佳、徐國謙、齊正中		5	中華民國	粒子
微力產生與量測技術概觀	2009/11/02	量測資訊	陳生瑞、潘小晞		7	中華民國	粒子
電移動度分析法奈米粒徑量測系統不確定度評估	2009/07/10	第十三屆奈米工程暨微系統技術研討會	林志明、翁漢甫、余大昌、陳朝榮	國內研討會	4	中華民國	粒子
電重力氣膠平衡法奈米粒徑量測系統不確定度評估	2009/07/10	第十三屆奈米工程暨微系統技術研討會	余大昌、林志明、潘善鵬、翁漢甫、陳朝榮		4	中華民國	粒子
以扭稱測定標準法碼殘磁之研究	2009/08/25	海峽兩岸現代精度理論及應用學術研討會	潘小晞、林以青、陳生瑞		4	中華民國	粒子



論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Measurement Uncertainty of Nano Bionix Universal Testing System (SCI)	2008/10/08	Sensors and Materials	吳忠霖、潘福隆、段靜芬、陳生瑞	國外期刊	13	日本	薄膜
Polarized Angular Dependence of Out-of-Plane Light-Scattering Measurements for Nanoparticles on Wafer (SCI)	2009/04/10	Optics Communications	劉承揚、傅尉恩		7	荷蘭	薄膜
Surface Qualities After Chemical-Mechanical Polishing on Thin Films (SCI)	2009/03/31	Thin Solid Films	傅尉恩、林增耀、陳炤彰、陳孟科		7	美國	薄膜
Static and Dynamic Mechanical Properties of Polydimethylsiloxane/Carbon Nanotube Nanocomposites (SCI)	2009/07/01	Thin solid films	吳忠霖、林學楚、徐炯勛、葉銘泉、方維倫		7	荷蘭	薄膜
Improvement of Specimen Preparation Process for Bulge Test Using the Combination of XeF2 and Deep Reactive Ion Etching (SCI)	2009/06/22	Japanese Journal of Applied Physics	吳忠霖、葉銘泉、方維倫		6	日本	薄膜
Small Angle X-ray Scattering measurements	2009/08/31	Thin solid films	傅 尉 恩 、 Cheng		4	美國	薄膜

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
of Spatial Dependent Linewidth in Dense Nanoline Gratings (SCI)			Wen-Li				
Polarized Optical Scattering Measurements of Metallic Nanoparticles on a Thin Film Silicon Wafer	2009/05/12	2009 International Conference on Frontiers of Characterization and Metrology	劉承揚、劉子安、傅尉恩	國外研討會	6	美國	薄膜
Polarized Optical Scattering Measurements of Metallic Nanoparticles Upon a Silicon Wafer	2009/06/18	SPIE Conference-Optical Metrology-Modeling Aspects in Optical Metrology	劉承揚、傅尉恩		8	德國	薄膜
Polarized Optical Scattering Measurement of Surface Micro-Roughness	2009/07/08	12th International Conference on Metrology and Properties of Engineering Surfaces	劉承揚、劉子安、傅尉恩、陳國棟、林增耀		6	波蘭	薄膜
Effect of Focused Ion Beam Post-Treatment on the Diamond-Like Carbon Films Synthesized by RF plasma Enhanced Chemical Vapor	2009/07/08	The Tenth International Symposium on Sputtering and Plasma Processes	遲雅各、曾信雄、宋長泰		4	日本	薄膜

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
Post-Deposition Annealing Analysis for HfO <sub>2</sub> Thin Films Using GIXRR/GIXRD	2009/05/11	2009 International Conference on Frontiers of Characterization and Metrology	傅尉恩、張詠晴、陳怡菁	國外研討會	4	美國	薄膜
Influence of Plasma Post-Treatment on Diamond-Like Carbon Films Synthesized by RF Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	2009/09/02	European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes, and Nitrides	遲雅各、林以青、段靜芬、曾信雄、方彥理		2	希臘	薄膜
Precision Measurement of Sub 50 nm Linewidth by Stitching Double-tilt Images	2009/10/26	2009 Microprocesses and Nanotechnology Conference	潘善鵬、劉惠中、陳智榮、陳炤彰		6	日本	薄膜
Mechanical Properties of Vertically Aligned Multi-Walled Carbon Nanotube/Parylene Nanocomposites	2009/10/02	International Microprocesses and Nanotechnology Conference	吳忠霖		2	日本	薄膜
Structural Analysis for Ultra-Thin HfO <sub>2</sub> Films Based on X-ray Methods	2009/11/05	X 線分析討論會	傅尉恩、張詠晴		2	日本	薄膜
晶圓表面奈米級微粒附著物之偏振散射光量測技術	2009/04/17	台灣奈米會刊	劉承揚、傅尉恩	國內期刊	10	中華民國	薄膜

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
奈米微粒附著於薄膜晶圓表面的偏振散射光量測技術	2009/03/16	量測資訊	劉承揚、劉子安、傅尉恩	國內期刊	7	中華民國	薄膜
雙傾斜之影像疊合法量測 100 奈米以下線寬技術研究	2009/08/01	電子月刊	劉惠中、潘善鵬、陳朝榮、陳智榮、陳炤彰		10	中華民國	薄膜
使用偏振散射光分析技術量測晶圓表面奈米微粒粒徑	2009/10/12	機械月刊	劉承揚、傅尉恩		12	中華民國	薄膜
薄膜機械性質量測技術簡介	2009/11/01	量測資訊	吳忠霖		6	台灣	薄膜
類鑽碳膜之機械性質量測與其材料分析	2009/11/01	量測資訊	遲雅各、張啟生、林以青、段靜芬、曾信雄、方彥理		5	台灣	薄膜
多壁奈米碳管/聚二甲基矽氧烷奈米複材之機械及物理性質	2008/11/29	中華民國力學學會第三十二屆全國力學會議	吳忠霖、林學楚、黃建銘、葉銘泉	國內研討會	4	中華民國	薄膜
薄膜晶圓表面上奈米金屬微粒之偏振散射光量測技術	2009/07/09	奈米工程及微系統技術研討會	劉承揚、傅尉恩		4	中華民國	薄膜
晶圓奈米微粒檢測標準件之研製	2009/09/25	台灣氣膠學會年會暨第十六屆氣膠研討會	余大昌、林志明、傅尉恩、劉承揚		1	中華民國	薄膜
光聚合複合樹脂之微機械性質研究	2009/11/27	材料年會	李德美、吳鳳森、遲		4	台灣	薄膜

論文名稱	發表日期	期刊/會議	作者	分類	頁數	國家	所屬分項
			雅各、林以青				
利用兆赫時域頻譜法做二氧化矽次微米薄膜分析之限制	2009/12/12	2009 年台灣光電科技研討會暨國科會光電學門研究成果發表會	劉子安、游博文、傅尉恩、張詠晴、彭錦龍、劉承揚		3	台灣	薄膜
Nanoscale Length Calibration: Artefacts and Testing by Comparison	2009/11/13	International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology	潘善鵬、姚斌誠	國外研討會	2	美國	國標
奈米標準技術諮議會正式成立—驅動台灣奈米技術、標準與產業邁向全球	2009/07/15	台灣奈米會刊	周隆亨、姚斌誠	國內期刊	4	中華民國	國標
功能性奈米材料在大理石上的應用	2009/12/10	台北國際建築建材暨產品展----「石材發展策略及建築應用」研討會	許智偉、鍾源淵、陸慧琪	國內研討會	7	中華民國	國標

附件五、研究報告一覽表

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
奈米粒徑校正程序-電重力氣膠平衡法	2009/06/25	中文	非機密	44	余大昌、林志明、翁漢甫、潘善鵬	粒子
奈米粒徑校正系統評估報告-電重力氣膠平衡法	2009/06/25	中文	非機密	26	余大昌、林志明、翁漢甫、潘善鵬	粒子
高壓氣流分散裝置細部設計	2009/07/08	中文	機密	9	林志明、王聖涵、何信佳、余大昌、翁漢甫、陳朝榮	粒子
低剛性機械結構之設計製作與實驗結果	2009/09/08	英文	非機密	13	陳生瑞、潘小晞	粒子
氣相粒子電移動度等效粒徑理論分析	2009/11/16	中文	非機密	16	余大昌、陳朝榮、林志明	粒子
奈米尺寸測試標準操作程序-動態光散射儀器法	2009/11/13	中文	非接密	6	翁漢甫	粒子
出國訓練報告 - Nanotech Conference & Expo 2009	2009/06/11	中文	非機密	3	林志明	粒子
參加美國氣膠協會 28 屆研討會中得與出國報告	2009/11/06	中文	非機密	5	翁漢甫	粒子
參加 IMEKO2009 計量技術交流出國報告	2009/10/26	中文	非機密	24	潘小晞	粒子
應用超快雷射刻劃微晶矽薄膜太陽能電池絕緣製程參數最佳化之研究	2009/11/18	中文	非機密	32	梁辛瑋、潘小晞	粒子
高壓氣流分散裝置『奈米金、銀、碳、PS 球』測試報告	2009/12/23	中文	機密	24	王聖涵、何信佳、余大昌、翁漢甫、陳朝榮	粒子
場發射環境掃描式電子顯微鏡測試報告	2009/12/15	中文	非機密	18	何信佳、賴識翔	粒子
奈米尺寸測試標準操作程序-掃描式電子顯微鏡 (SEM)儀器法	2009/12/23	中文	非機密	14	何信佳	粒子

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
薄膜表面特徵與界面散射之數值分析與實驗量測期中報告	2009/08/03	中文	非機密	9	劉承揚、吳乾琦	薄膜
AK-100 菲佐(Fizeau)干涉儀量測平面輪廓之不確定度研究	2009/10/23	英文	非機密	17	吳國真	薄膜
側壁傾斜角度量測方法研究報告	2009/11/23	中文	機密	12	潘善鵬、劉惠中、陳智榮	薄膜
標準件研製結果報告	2009/12/14	中文	機密	11	潘善鵬、劉惠中	薄膜
奈米尺度測試標準操作程序原子力顯微鏡(AFM) 技術報告	2009/11/27	中文	機密	10	潘善鵬、劉惠中	薄膜
小角度散射用於半導體產業中量測關鍵尺寸之應用	2009/12/23	中文	非機密	9	陳國棟	薄膜
薄膜殘留應力量測技術	2009/11/19	中文	非機密	22	遲雅各、吳國真、林以青	薄膜
微奈米機械性質量測系統拉伸應變率對奈米碳管複合薄膜之影響	2009/11/10	中文	非機密	20	吳忠霖、潘福隆、段靜芬	薄膜
以兆赫時域頻譜法分析二氧化矽次微米薄膜	2009/11/12	中文	非機密	7	劉子安、游博文、傅尉恩、張詠晴、彭錦龍、劉承揚	薄膜
2009 奈米電子計量與特徵技術發展研討會之出國訓練報告	2009/07/08	中文	非機密	4	劉承揚	薄膜
2009 Denver X-ray Conference 出國訓練報告	2009/09/09	英文	非機密	8	傅尉恩	薄膜
2009 日本 MNC 研討會出國報告	2009/12/10	中文	非機密	26	吳忠霖	薄膜
出國訓練報告	2009/12/08	中文	非機密	19	潘善鵬	薄膜

報告名稱	發表日期	語言	密等	頁數	作者	所屬分項
2009 希臘 20th European Conference on Diamond, Diamond-Like Materials, Carbon Nanotubes and Nitrides 研討會出國報告	2009/10/13	中文	非機密	6	遲雅各	薄膜
日本 NIMS 客座出國訓練報告	2009/12/10	中文	非機密	14	張詠晴	薄膜
薄膜表面特徵與界面散射之數值分析與實驗量測期末報告	2009/12/23	中文	非機密	27	吳乾琦	薄膜
奈米國際量測與產品標準	2009/08/14	中文	非機密	43	姚斌誠、林唯芳	國標
VAMAS SC 34 Meeting 出國報告	2009/06/25	英文	非機密	10	傅尉恩	國標
參加 ISO TC 229 會議出國報告	2009/11/18	中文	非機密	19	彭國勝	國標
奈米國際量測與產品標準期末報告	2009/12/23	中文	非機密	80	姚斌誠、林唯芳	國標



附件六、研討會/論壇一覽表

項次	研討會名稱	舉辦期間 (起~迄)	舉辦 地點	廠商 家數	參加 人數
1	奈米粒徑量測技術研討會	2009/05/21	新竹	11	32
2	奈米拉伸與壓痕力學量測技術研討會	2009/09/11	新竹	15	26
3	奈米材料應用與檢測標準技術論壇	2009/07/14	台北	8	9
4	奈米薄膜檢測標準技術論壇	2009/10/13	台北	8	8
5	奈米薄膜檢測技術研討會	2009/12/01	新竹	10	19

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/論壇		
	獲證	申請		國內 發表	國外 發表	技 術	調 查	訓 練	產 品	製 程	應 用 軟體	技 術		項 數	家 次	項 數	家 次	場 次	人 數	日 數
1.奈米粒子/線之尺寸 形貌與功能性量測標 準追溯分項	1	0	-	7	7	10	-	3	-	-	-	-	-	3	5	8	240	2	41	2
2.薄膜結構與特性量 測標準追溯分項	0	0		11	15	10		6										3	53	3
3.奈米國際量測與產 品標準推動分項	0	0		2	1	2		2												
小 計	1	0	-	20	23	22	-	11	-	-	-	-	-	3	5	8	240	5	94	5
合 計	1	0	-	43		33			-				-	-		-		-		

註：

- 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。
- (4)本年度已申請專利二項(詳細資料如附件三)，正進行相關申請程序中，尚未取得申請案號。

# 附件八、中英文對照表

簡 稱	全 名	中文譯名
AAAR	American Association for Aerosol Research	美國氣溶膠研究協會
AFM	Atomic Force Microscope	原子力顯微鏡
APMP	Asia-Pacific Metrology Programme	亞太計量組織
APS	Aerodynamic Particle Sizer	氣動粒徑分析儀
APM	Aerosol Particle Mass Analyzer	氣膠微粒質量分析儀
BCC	Business Communications Company	美國專業市調公司
BET	Brunauer, Emmett, and Teller	BET 比表面積量測方法
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures 《International Bureau of Weights and Measures》	國際度量衡局
BNM	Bureau National de Me'trologie	法國國家計量局
CEM	Centro Español de Metrologia	西班牙
CMS	Center for Measurement Standards	量測技術發展中心
CPC	Condensation Particle Counter	凝核計數器
CRM	Certified Reference Material	驗證參考物質
CSIRO	Commonwealth Science and Industrial Research Organization	澳大利亞聯邦科學與工業研究院
DFM	Danish Institute of Fundamental Metrology	丹麥基礎計量研究院
DLS	Dynamic Light Scattering	動態光散射法
DMA	Differential Mobility Analyzer	微分電移動度分析儀
DUV	Deep ultraviolet	深紫外
EAB	Electro-gravitational Aerosol Balance	電重力氣膠平衡法
ELPI	Electrical Low-Pressure Impactor	電子式低壓衝擊器
FE-ESEM	Field Emission Enviromental Scanning Electron Microscope	場發射環境掃描式電子顯微鏡
GUM	Central Office of Measures (Główny Urząd Miar GUM) POLAND	波蘭計量組織
GXR	Grazing Angle X-ray Reflectometry	X 射線掠角反射術
ICT	Instrument Calibration Technique	儀器校正程序
IMGC	Instituto di Metrologia 'G. Colonnetti	義大利國家計量標準組織
IRMM	Institute for Reference Materials and Measurements	參考物質與量測研究所
ISO	the International Organization for Standardization	國際標準組織

簡 稱	全 名	中文譯名
KRISS	Korea Research Institute of Standards and Science	韓國標準與科學研究院
LDV	Laser Doppler Velocimetry	雷射都卜勒流體測速
MEIS	Medium Energy Ion Scattering	中等能量離子散射
METAS	Swiss Federal Office of Metrology and Accreditation	瑞士國家計量局
MSDS	Material Safety Data Sheets	物質安全資料表
MSVP	Measurement System Validation Procedure	量測系統評估報告
NIM	National Institute of Metrology	中國計量科學研究院
NIST	National Institute of Standards and Technology	美國國家標準與技術研究院
Nmi	Nederlands Meetinstituut 《Netherlands Measurements Institute》	荷蘭量測研究院
NMIJ	National Metrology Institute of Japan	日本國家計量研究院
NML	National Measurement Laboratory , R.O.C	中華民國國家度量衡標準實驗室
NPL	National Physical Laboratory	英國國家物理實驗室
NRLM	National Research Laboratory of Metrology	日本計量研究所 ( 現已改為 NMIJ )
NSF	National Science Foundation	美國國家科學基金會
OELs	Occupational Exposure Limits	職業暴露限制
OFMET	the Swiss Federal Office of Metrology	瑞士國家計量辦公室
PIV	Particle Image Velocimetry	粒子影像流速儀
PFG-NMR	Pulsed Field Gradient Nuclear Magnetic Resonance	脈衝梯度場核磁共振法
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	德國聯邦物理技術研究院
RM	Reference Material	參考物質
SAXS	Small Angle X-Ray Scattering	小角度 X 光散射
SE	Spectroscopic Ellipsometry	橢圓偏光量測術
SEM	Scanning Electron Microscope	掃描式電子顯微鏡
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer	掃描式移動度粒徑分析儀
SPIP	Scanning Probe Image Processor	探針掃描影像處理軟體
SPM	Scanning Probe Microscope	掃描探針顯微鏡
SRD	Standard Reference Data	標準參考數據

簡 稱	全 名	中文譯名
SRM	Standard Reference Material	標準參考物質
STM	Scanning Tunneling Microscope	穿隧掃描顯微鏡
SWE	Single Wavelength Ellipsometer	單波長橢圓偏光儀
TC	Technical Committee	技術委員會
TEM	Transmission Electron Microscope	穿透式電子顯微鏡
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance	錐形震盪微量天秤
VNIM	DI Mendeleyev Institute for Metrology	俄羅斯計量組織

附件九、參考文獻索引

編號	出 處
奈米粒子/線之尺寸形貌與功能性量測標準追溯分項	
1-1	“SUPRA 60 VP G34- SUPRA 60 VP de 01”, ZEISS.
1-2	“SmartSEM V05.03”, ZEISS, May 2009.
1-3	“SmartSEM user interface”, ZEISS, September 2009.
1-4	Kasper, Gerhard, “Dynamics and Measurement of Smokes. I Size Characterization of Nonspherical Particles”, Aerosol Science and Technology, 1:2, 187 – 199, 1982.
1-5	Baron, P. A., & Willeke, K., Aerosol measurement. New York: Wiley Interscience, 2001.
1-6	Allen, M. D., & Raabe, O. G., “Slip correction measurements of spherical solid aerosol particles in an improved Millikan apparatus”, Aerosol Science and Technology, 4, 269–286, 1985.
1-7	張有義、郭蘭生編譯，「膠體及界面化學入門」，高立出版社，台北市，1997。
1-8	B. V. Derjaguin and L. D. Landau, “Theory of Stability of Strong Charge Lyophobic Sols and of the Adhesion of Strong Charged Particles in Solutions of Electrolytes”, Acta Physicochimica URSS, 14, pp. 633-662, 1941.
1-9	E. J. Verwey and J. T. G. Overbeek, Theory of the Stability of Lyophobic Colloid, Elsevier, Amsterdam, 1948.
1-10	J. A. Molina-Bolivar, F. Galisteo-Gonzalez, and R. Hidalgo-Alvarez, “Repeptization Determined by Turbidity and Photon Correlation Spectroscopy Measurements: Particle Size Effects”, Journal of Colloid Interface and Science, 195(2), pp. 289-298, 1997.
1-11	Anastassakis and N. Georgios, “Separation of Fine Mineral Particles by Selective Magnetic Coating”, Journal of Colloid Interface and Science, 256(1), pp. 114-120, 2002.
1-12	Litton, M. Gary, and T. M. Olson, “Particle Size Effects on Colloid Deposition Kinetics: Evidence of Secondary Minimum Deposition”, Colloid and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects, 107, pp. 273-283, 1996.
1-13	B. R. Sujoy and D. A. Dzombak, “Colloid Release and Transport Processes in Natural and Model Porous Media”, Colloid and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects, 107, pp. 245-262, 1996.
1-14	N. Lobontiu, “COMPLIANT MECHANICS Design of Flexure Hinges”,

編號	出 處
	CRC PRESS 2003.
1-15	S.T. Smith et al, “Elliptical flexure hinges”, Rev. Sci. Instrum. 68 (3), March 1997.
1-16	V. Josselin, P. Touboul and R. Kielbasa, “Capacitive detection scheme for space accelerometers applications”, Sensors and Actuators, 78, pp. 92-98, 1999.
1-17	J.W. Weber, et al, “Position sensors for flight testing of LISA drag-free control”, 2003, Gravitational-Wave Detection, Mike Cruise, Peter Saulson, Editors, Proceedings of SPIE 4856, pp. 31-42, 2003.
1-18	Fernandez de la Mora, J., de Juan, L., Liedtke, K., & Schmidt-Ott, A., “Mass and size determination of nanometer particles by means of mobility analysis and focused impaction”, Journal of Aerosol Science, 34, 79–98, 2003.
1-19	Loscertales, I. G., “Mass diameter versus aerodynamic diameter of nanoparticles. Implications on the calibration curve of an inertial impactor”, Journal of Aerosol Science, 31, 923–932, 2000.
1-20	Park, K., Cao, F., Kittelson, D. B., & McMurry, P. H., “elationship between particle mass and mobility for diesel exhaust particles”, Environmental Science and Technology, 37, 577–583, 2003.
1-21	Wang, S. C., & Flagan, R. C., “Scanning electrical mobility spectrometer”, Aerosol Science and Technology, 13(2), 230–240, 1990.
1-22	Wang, H.-C., & John, W., “Particle density correction for the aerodynamic particle sizer”, Aerosol Science and Technology, 6(2), 191–198, 1987.
1-23	Keskinen, J., Pietarinen, K., & Lehtimaeki, M., “Electrical low pressure impactor”, Journal of Aerosol Science, 23(4), 353–360, 1992.
1-24	Patashnick, H., & Rupprecht, E. G., “Continuous PM-10 measurements using the tapered element oscillating microbalance”, Journal of the Air and Waste Management Association, 41(8), 1079–1083, 1991.
1-25	Ehara, K., Hagwood, C., & Coakley, K. J., “Novel method to classify aerosol particles according to their mass-to-charge ratio—aerosol particle mass analyzer”, Journal of Aerosol Science, 27(2), 217–234, 1996.
1-26	Olfert, J. S., & Collings, N., “New method for particle mass classification—the Couette centrifugal particle mass analyzer”, Journal of Aerosol Science, 36(11), 1338–1352, 2005.
1-27	Cheng, Y. S., Chen, B. T., Yeh, H. C., Marshall, I. A., Mitchell, J. P., & Griffiths, W. D., “Behavior of compact nonspherical particles in the TSI

編號	出 處
	aerodynamic particle sizer Model APS33B: Ultra-Stokesian drag forces”, Aerosol Science and Technology, 19(3), 255–267, 1993.
1-28	Kasper, G., & Shaw, D. T., “Comparative size distribution measurements on chain aggregates”, Aerosol Science and Technology, 2, 369–381, 1983.
1-29	Kasper, G., & Wen, H. Y., “Dynamics and measurements of smokes IV—comparative measurements with an aerosol centrifuge and an aerodynamic particle sizer APS33 using submicron chain aggregates”, Aerosol Science and Technology, 3, 405–409, 1984.
1-30	Michael T. Postek, “Scanning Electron Microscope-based Metrological Electron Microscope System and New Prototype Scanning Electron Microscope Microscope Magnification Standard”, Scanning Microscopy, Vol. 3, No. 4, pp. 1087-1099 (1989).
1-31	Michael T. Postek, “Critical Issues in Scanning Electron Microscope Metrology”, J. Res. Natl. Stand. Technol. 99, 641 (1994).
1-32	Van Gulijk, C., Marijnissen, J. C. M., Makkee, M., Moulijn, J. A., & Schmidt-Ott, A., “Measuring diesel soot with a scanning mobility particle sizer and an electrical low-pressure impactor: Performance assessment with a model for fractal-like agglomerates”, Journal of Aerosol Science, 35(5), 633–655, 2004.
1-33	Ristimäki, J., Virtanen, A., Marjamäki, M., Rostedt, A., & Keskinen, J., “On-line measurement of size distribution and effective density of submicron aerosol particles”, Journal of Aerosol Science, 33, 1541–1557, 2002.
1-34	Virtanen, A., Ristimäki, J., Marjamäki, M., Vaaraslahti, K., Keskinen, J., & Lappi, M., “Effective density of diesel exhaust particles as a function of size”, SAE Technical Paper, Advances in Emissions Measurement and Testing (SP-1678) 2002-01-0056, 2002.
1-35	Virtanen, A., Ristimäki, J., & Keskinen, J., “Method for measuring effective density and fractal dimension of aerosol agglomerates”, Aerosol Science and Technology, 38, 437–446, 2004.
1-36	Karg, E., “The density of ambient particles from combined DMA and APS data”, Journal of Aerosol Science, 31, 759–760, 2000.
1-37	Khlystov, A., Stanier, C., & Pandis, S. N., “An algorithm for combining electrical mobility and aerodynamic size distributions data when measuring ambient aerosol”, Aerosol Science and Technology, 38,



編號	出 處
	229–238, 2004.
1-38	Pitz, M., Cyrys, J., Karg, E., Wiedensohler, A., Wichmann, H.-E., & Heinrich, J., “Variability of apparent particle density of an urban aerosol”, <i>Environmental Science and Technology</i> , 37, 4336–4342, 2003.
1-39	Kelly, W. P., & McMurry, P., “Measurement of particle density by inertial classification of differential mobility analyzer-generated monodisperse aerosols”, <i>Aerosol Science and Technology</i> , 17, 199–212, 1992.
1-40	McMurry, P. H., Wang, X., Park, K., & Ehara, K., “The relationship between mass and mobility for atmospheric particles: A new technique for measuring particle density”, <i>Aerosol Science and Technology</i> , 36(2), 227–238, 2002.
1-41	Slowik, J., Stainken, K., Davidovits, P., Williams, L., Jayne, J., Kolb, C. et al., “Particle morphology and density characterization by combined mobility and aerodynamic diameter measurements. Part 2: Application to combustion-generated soot aerosols as a function of fuel equivalence ratio”, <i>Aerosol Science and Technology</i> , 38, 1206–1222, 2004.
1-42	Schneider, J., Weimer, S., Drewnick, F., Borrmann, S., Helas, G., Gwaze, P., et al., “Mass spectrometric analysis and aerodynamic properties of various types of combustion-related aerosol particles”, <i>International Journal of Mass Spectrometry</i> , 258, 37–49, 2006.
薄膜結構與特性量測準追溯分項	
2-1	Dmitry V. Gorelikov, Jason Remillard, and Neal T. Sullivan, “CD-SEM-based Critical Shape Metrology of integrated circuits,” <i>Proceedings of SPIE Vol. 5375</i> , pp 605-613 (2004)
2-2	J. Foucher, A. Pikon, C. Andes, J. Thackeray, Impact of Acid Diffusion Length on Resist LER and LWR measured by CD-AFM and CD SEM, <i>Proc. of SPIE Vol. 6518</i> pp. 65181Q (2007)
2-3	Bunday, B. Allgair, J. Solecky, E.; Archie, C. Orji, N. G. Beach, J. Adan, O. Peltinov, R. Bar-zvi, M. Swyers, J., “The Coming of Age of Tilt CD-SEM,” <i>Proceedings of the SPIE, Volume 6518</i> , pp. 65181S (2007).
2-4	J. R. Price, P. R. Bingham, K. W. Tobin, and T. P. Karnowski, “Estimating cross-section semiconductor structure by comparing top-down SEM images,” in <i>Machine Vision in Industrial Inspection XI</i> , <i>Proc. SPIE 5011</i> , pp. 161–170 (2003)
2-5	Philip R. Bingham, Jeffery R. Price, Kenneth W. Tobin, Thomas P. Karnowski, Semiconductor sidewall shape estimation, <i>Journal of</i>

編號	出 處
	Electronic Imaging, Vol. 13, pp. 474-485 (2004)
2-6	“Uncertainty of measurement-Part3: Guide to the expression of uncertainty in measurement”, ISO/IEC Guide 98-3, (2008).
2-7	K.P. Birch and M.J. Downs, "Correction to the updated Edlén equation for the refractive index of air," Metrologia 31, (1994), p. 315-316.
2-8	K.P. Birch and M.J. Downs, "An updated Edlén equation for the refractive index of air," Metrologia 30, (1993), p.155-162.
2-9	Bengt Edlen, “The Refractive Index of Air”, Metrologia 2 (1966), p.71-80.
2-10	T. Takatsuji, S. Osawa, T. Kurosawa, “Stability of the reference flat used in Fizeau interferometer and its contribution to measurement uncertainty”, Proc. SPIE, Vol. 5190 (2003), p. 431-439.
2-11	TF 測試報告，98M1-146-001，財團法人國家實驗研究院儀器科技中心，民國 98 年。

附件十

經濟部標準檢驗局度量衡及認證類委辦科技計畫績效評估報告

93.11.29 核定

一、基本資料：

1.計畫名稱：奈米技術計量標準計畫(6/6)

2.執行機關(單位)：工研院量測中心

3.經費：97 年預算數：47,091 仟元、簽約數：46,900 仟元

98 年預算數：64,000 仟元

98 年簽約數：63,400 仟元

二、評分表：

國家標準實驗室績效評估評分表

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

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
	在 97%~100%之間。	在 97%~93%以內者。	在 93%~88%以內者。	在 88%~80%以內者。	用比在 80%以下者。			
(2)資本支出預算控制結果	依年終資本支出預算執行率給分。					8%	100	8
評分說明	如計畫無資本門預算，則「資本支出預算控制結果」項目權數為 0，而「預算控制情形」權數調整為 12%，另 2.計畫執行之「進度控制情形進度控制結果」、「各項查證改善」及「進度控制結果」三項權數分別調整為 5%。							
4.行政作業						12%	99	11.88
(1)各項計畫書及契約書	均能依限完成;且未有退件修訂者。	逾期 5 日以下完成者;或曾退件修訂 1 次。	逾期 5~10 日以內完成者;或曾退件修訂 2 次。	逾期 10~15 日以內完成者;或曾退件修訂 3 次。	逾期超過 15 日完成者;或曾退件修訂超過 3 次。	3%	99	2.97
評分說明	1.若依政府政策需要或本局要求變更各項計畫書及契約書內容，該次修正得不列入績效評估。 2.本項退件修訂係指本局正式函文通知者。							
(2)進度報表	各項進度報表依格式詳實填寫,且如期填送。	各項進度報表依格式詳實填寫,且填送平均逾期 3 日以下者。	各項進度報表尚能依格式詳實填寫,且填送平均逾期 3~5 日以內者。	各項進度報表依格式填寫,且填送平均逾期 5~7 日以內以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
(3)配合度	均能完全配合提供主管機關有關計畫之要求,且如期提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求,且平均逾期 3 日以下提供必要之資料或協助。	大多能完全配合提供主管機關有關計畫之要求,且平均逾期 3~5 日以內提供必要之資料或協助。	部分能完全配合提供主管機關有關計畫之要求,且平均逾期 5~7 日以內提供必要之資料或協助。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
(4)各項執行報告	各項執行報告依格式詳實填寫,且如期填送。	各項執行報告依格式詳實填寫,且填送逾期 5 日以下者。	各項執行報告依格式詳實填寫,且填送逾期 5~10 日以內者。	各項執行報告依格式填寫且填送逾期 10~15 日以內者;或雖依格式填寫,但資料不詳實,且填送逾期 10 日以下者。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3%	99	2.97
二、個別指標						55%	98	54
1.研發成果						9%	98	8.82
(1)期刊、論文、研究報告發表數	期刊、論文、研究報告發表總數數較前年增加 10% 以上;或其中列入 SCI 期刊超過總數 10%以上;或國際性發表超過總數 30%以上。	期刊、論文、研究報告發表總數數較前年相同或增加 0%~10% 以內;或其中列入 SCI 期刊佔總數 0%~10%以內;或國際性發表佔總數 20%~30%。	期刊、論文、研究報告發表總數數較前年減少 0%~15%以內;或國際性發表佔總數 15%~20%。	期刊、論文、研究報告發表總數數較前年減少 15%~30%以內;或國際性發表佔總數 5%~15%。	期刊、論文、研究報告發表總數數較前年減少 30%以上;或國際性發表佔總數 5%以下。	4% (2~4%)	100	4
評分說明(佐證)	1.97 年：期刊、論文、研究報告發表總數：66 篇；其中國際論文發表總數：19 篇；其中列入 SCI 期刊總數：2 篇。 2.98 年：期刊、論文、研究報告發表總數：76 篇(較 FY97 增 15.2%)；其中國際性發表總數：23 篇(佔發表總數的 53.5%)；其中列入 SCI 期刊總數：8 篇(較 FY97 增 300%)。 3.上三項衡量指標得擇優評分。							

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
(2) 專利權核准數 專利權授權(應用)收入及新技術引進項數	專利權核准數 專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年增加 5%以上者。	專利權核准數 專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年相同或增加 0%~5%者。	專利權核准數 專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少 0%~15%者。	專利權核准數 專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少 15%~30%者。	專利權核准數、專利權授權(應用)收入及新技術引進項數較前年減少 30%以上者。	4% (2~4%)	95	3.8
評分說明(佐證)	1.97 年：專利權核准數：1 件數；專利權授權(應用)收入：0 元；新技術引進總項數：0 項數。 2.98 年：專利權核准數：1 件數(較 FY97 減 0 %)；專利權授權(應用)收入：0 元(較 FY97 減 0 %)；新技術引進總項數：0 項數(較 FY97 減 0 %)。 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%)	100	1
評分說明(佐證)	1.97 年：研發成果運用及移轉之件數、廠家數：0 件數；其實際收入金額：0 元。 2.98 年：研發成果運用及移轉之件數、廠家數：5 件數(較 FY97 增 %)；其實際收入金額：577,665 元(較 FY97 增 %)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
2.技術能力						15%	98	14.61
(1) 技術發展	技術發展投入經費比率較前年增加 5%以上者；或標準能量新建及擴建完成套(項)數較前年增加 5%以上者。	技術發展投入經費比率較前年相同或增加 0%~5%者；或標準能量新建及擴建完成套(項)數較前年相同或增加 0%~5%者。	技術發展投入經費比率較前年減少 0%~10%以內者。	技術發展投入經費比率較前年減少 10%~20%以內者。	技術發展投入經費比率較前年減少 20%以上者。	5% (4~6%)	99	4.95
評 分 說 明 ( 佐 證 )	1.97 年：技術發展投入經費：46,900 元；標準能量新建及擴建完成套(項)數：1 套(項)。 2.98 年：技術發展投入經費：63,400 元(較 FY97 增 35%)；標準能量新建及擴建完成套(項)數：0 套/項(較 FY97 減 %)。 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%)	95	5.7
評 分 說 明 ( 佐 證 )	1.97 年：參與國際比對及國際能力試驗：1 項次；主辦國際比對及國際能力試驗：1 項次。 2.98 年：參與國際比對及國際能力試驗：1 項次(較 FY97 減 0 項次)；主辦國際比對及國際能力試驗：1 項次。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(3) 標準技術之研發	標準技術大多為國際領先群之地位，能提升實驗室研發能力，大多能建立獨立自主之	標準技術部分為國際領先群之地位，能提升實驗室研發能力，大多能建立獨立自主之	標準技術部分為國際追隨者之地位，部分能建立獨立自主之國家原級標準。	標準技術大多為國際為追隨者之地位，大多無法建立獨立自主之國家原級標準。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	4% (4~6%)	99	3.96

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
	國家原級標準。	國家原級標準。						
3. 技術推廣與服務						15%	98	14.85
(1)技術服務或移轉	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年增加 5%以上者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年相同或增加 0%~5%者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少 0%~15%以內者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少 15%~30%者。	每百萬元之技術服務或移轉之件數、廠家數或移轉權利金額較前年減少 30%以上者。	3% (4~6%)	95	2.85
評分說明(佐證)	1.97 年：技術服務或移轉之件數、廠家數：0 件數；其移轉權利金額：0 元。 2.98 年：技術服務或移轉之件數、廠家數：0 件數(較 FY97 增 0%)；其移轉權利金額：0 元(較 FY97 減 0%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(2)技術研討會與說明會之場次/人次	技術研討會與說明會之場次或人次較前年成長 5%以上者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年相同或成長 0%~5% 以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少 0%~15% 以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少 15%~30% 以內者。	技術研討會與說明會之場次或人次較前年減少 30%以外者。	6% (4~6%)	100	6
評分說明(佐證)	1.97 年：技術研討會/說明會之場次：2 場次；其參加總人次：52 人次。 2.98 年：主協辦技術研討會/說明會之場次：5 場次(較 FY97 增 150%)；其參加總人次：94 人次(較 FY97 增 81%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(3)校正服務	校正服務件數或收入金額較前年成長 5%以上者。	校正服務件數或收入金額較前年相同或成長 0%~5%以內者。	校正服務件數或收入金額較前年減少 0%~15% 以內者。	校正服務件數或收入金額較前年減少 15%~30% 者。	校正服務件數或收入金額較前年減少 30% 以外者。	6% (4~6%)	100	6
評分說明(佐證)	1.97 年：校正服務件數：210 件數。 2.98 年：校正服務件數：240 件數(較 FY97 增 14.3%)。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
4.資源運用						6%	97	5.82
(1)人力運用	計畫執行人力(經費)較前年減少 5%以上者，但績效提升，執行工作(項目)增加。	計畫執行人力(經費)較前年相同或減少 0%~5%以內者，但績效提升，執行工作(項目)增加。	計畫執行人力(經費)較前年增加 0%~10% 以內者，但執行工作(項目)無增加。	計畫執行人力(經費)較前年增加 10%以上者，但執行工作(項目)無增加。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3% (2~4%)	95	2.85
評分說明(佐證)	1.97 年：經費：19,452 元；其計畫執行人力：15.5 人年。 2.98 年：經費：20,938 元(較 FY97 增 7.6%)；其計畫執行人力：17 人年(較 FY97 增 9.7%)，依奈米國家型計畫規劃奈米國際量測與產品標準推動分項計畫。 3.上二項衡量指標得擇優評分。							
(2)設備購置與有效利用	設備購置預算執行嚴格控制，並均能符合產業需求，有效利用，無閒置情形，且均依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並大多能符合產業需求，有效利用，無閒置情形，且均依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並大多能有效利用，且依使用期限保固使用。	設備購置預算執行嚴格控制，並分能有效利用，無法依使用期限保固使用，且需送修。	未在前四項衡量基準涵蓋範圍者。	3% (2~4%)	99	2.97

評估項目	衡 量 標 準					權數	自評 分數	加權 得分
	100-96 分	95-80 分	79-60 分	59-40 分	39-1 分			
5.自訂項目	受託機關(單位)經考量各計畫屬性後，「共同指標」及「個別指標」各小項仍有不足之處，或有特殊之成效、表現、經濟效益、社會效益等非量化事績，可依實際需要自行訂定合適指標項目或說明，並予評分。					10%	99	9.9
評分說明(佐證)	<p>1.論文發表 43 篇(含 8 篇 SCI)，國外發表 23 篇，遠超目標。</p> <p>2.技術移轉 5 家次收入達 577.665 千元；並提供產學研標準量測服務 240 件，金額達 2,587 千元。</p> <p>3. 98 年 2 月 26 日歐洲標準參考物質中心 IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements)邀請本計畫參加 30 nm Silica 奈米粒子量測能力試驗。以動態光散射法(DLS)量測的比對結果被接受，受邀成為 IRMM 的合作伙伴，接受 IRMM 委託測試其開發的奈米粒子驗證參考物質。</p> <p>4.協助奈米標準產品驗證規範之奈米性檢測方法研擬：AFM、SEM 與 DLS 共三件。</p> <p>5.於 7 月 14 日及 10 月 13 日，辦理奈米標準技術系列的論壇活動共二場，分別針對奈米材料應用與檢測標準及奈米薄膜檢測標準二主題，召集產政學研專家，針對奈米標準量測技術、產業應用及奈米的 EHS 議題，進行交流與討論，整合國內共識。</p> <p>6.於 6 月 26 日正式成立台灣奈米標準技術諮議會，並假經濟部標檢局大禮堂舉辦成立大會，奈米國家型科技計畫總主持人吳茂昆擔任召集人，經濟部標準檢驗局陳局長及國家度量衡標準實驗室段主任擔任副召集人。並委由工研院量測中心擔任秘書處，協助奈米標準技術諮議會之運作。成立大會有標準檢驗局、國衛院、環保署、工研院、電機電子公會、機器工業公會、SEMI 台灣、台大、成大、台積電、台灣永光化學、漢民科技、閎康科技等奈米技術相關產政學研共三十餘位代表參加，並將出任諮議會委員，期藉由奈米標準技術諮議會的運作，建立奈米技術標準發展的平台，配合國內產業發展的檢測標準需求，進行相關的資訊交流、分享，與意見整合，凝聚國內共識，接軌國際奈米標準組織。</p> <p>7.協辦 98.10.7-8 假台北世貿舉行之 2009 APEC Nanoproducts Measurement Technology Forum，主題著重於奈米產品之驗證方法，共同研討相關議題，目標在於防止非奈米級產品在市場中不實之推廣、確保民眾的健康安全，並藉此增進大眾對於奈米產品之了解與。會中邀請國內外政府單位、民間企業、研發單位及學術界之相關學者、專家共同分享最新、最先進的奈米分析及量測技術，並確認與推展符合未來市場需求之奈米標準檢測方法，計有澳大利亞、美國、日本、韓國、中國、與中華民國 6 個經濟體，118 人參加。</p>							
總 分	98.65					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。