

政府科技發展中程個案計畫書
科技發展類前瞻基礎建設計畫

審議編號：114-1901-02-20-01

國家科學及技術委員會
(財團法人國家同步輻射研究中心、財團法人國家
實驗研究院台灣儀器科技研究中心、國家科學及技
術委員會自然科學及永續研究發展處)

「突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫」

(核定本)

計畫全程：110 年 1 月至 114 年 8 月

中華民國 113 年 10 月

目 錄

壹、基本資料及概述表(A003)	1
貳、計畫緣起	7
一、政策依據	7
二、擬解決問題之釐清	8
三、目前環境需求分析與未來環境預測說明	9
四、本計畫對社會經濟、產業技術、生活品質、環境永續、學術研究、 人才培育等之影響說明	13
參、計畫目標與執行方法	18
一、目標說明	18
二、執行策略及方法	28
三、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或 對策	44
四、與以前年度差異說明	45
五、跨部會署合作說明	45
六、與本計畫相關之其他預算來源、經費及工作項目	45
肆、前期重要效益成果說明	46
伍、預期效益及效益評估方式規劃	80
陸、自我挑戰目標	81
柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源	83
捌、儀器設備需求	88
玖、就涉及公共政策事項，是否適時納入民眾參與機制之說明	89

壹、基本資料及概述表(A003)

審議編號	114-1901-02-20-01		
計畫名稱	突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫(5/5)		
申請機關	國家科學及技術委員會		
預定執行機關 (單位或機構)	財團法人國家同步輻射研究中心、財團法人國家實驗研究院(台灣儀器科技研究中心)、國家科學及技術委員會自然科學及永續研究發展處		
預定 計畫主持人	姓名	徐嘉鴻	職稱 主任
	服務機關	財團法人國家同步輻射研究中心	
	電話	(03)578-0281#8311	電子郵件 chsu@nsrrc.org.tw
計畫摘要	台灣正面臨經濟產業新舊動能轉換的關鍵時刻，本計畫以國家永續發展戰略高度，因應國家重要經濟戰略要角的半導體所需，執行半導體及鏈結 AI 世代計畫推動項目，透過整合國研院儀科中心自製設備技術、國輻中心光源實驗設施與技術等國家實驗室能量，以及國科會自然處整合學研界高解析實驗能量，鎖定半導體產業未來所需臨場檢測設備、非破壞性快速精準標靶式 X 光檢測技術等進行研發與建置，並超前發展極紫外光材料與元件量測設備建置，以提供產學研界賴以進行前瞻研發的實驗利器與檢測設備，俾利深植國內專業技術並提升國際競爭力。		
計畫目標、預期 關鍵成果及與部 會科技施政目標 之關聯	計畫目標及預期關鍵成果		與部會科技施政 目標之關聯
	114 年度		
	目標 1: 接軌國際半導體，發展次世代臨場檢測關鍵設備 關鍵成果 1: 完成叢集式臨場檢測設備建置(包含：拉曼光譜臨場檢測設備、XPS 光譜臨場檢測設備)；完成多功能式 EUV 微影元件檢測設備建置；完成 3D 光場模組建置。	國家科學及技術委員會：2：深耕基礎卓越研究，推動研發成果創新價值	
目標 2: 開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術，形成高解析聯合實驗室 關鍵成果 1: 發展可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析的探測儀器及技術，並形成聯合實驗室與研究團隊，並培育 10 名以上尖端儀器技術的開發技術人才。 關鍵成果 2: 完成建置原子針尖斷層影像量測平台及尖端能譜量測平台之建置及相關配合對應技術之進階開發，開放學研產界使用，	國家科學及技術委員會：2：深耕基礎卓越研究，推動研發成果創新價值		

	<p>產學研界對檢測技術問題回饋與解決。</p>	
	<p>目標 3：針對次世代半導體應用，發展非破壞性的尖端標靶式高解析臨場檢測技術之國際級能力。</p> <p>關鍵成果 1：完成半導體二維薄膜繞射光束線的臨場環境設備建置，如溫度、壓力以及氣氛等，並且開放用戶申請與實驗進行。</p>	<p>國家科學及技術委員會：2：深耕基礎卓越研究，推動研發成果創新價值</p>
<p>預期效益</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.本計畫整合儀科中心、國輻中心的產學服務能量與國家級實驗室資源，以及相關學研單位的專業技術與儀器設備，形成高解析聯合實驗室與 EUV 服務平台，為半導體產業在新穎材料開發、核心製程技術、缺陷分析等科技研究做出突破性貢獻，並增進我國半導體產業實力與全球競爭力。 2.透過前瞻半導體製程臨場檢測設備研發，建置臨場檢測設備，首創 in-situ 製程量測，可在製程階段提供臨場量檢測數據，提供產學研界半導體製程研發，提升製程良率與可靠度。目前國內外設備商尚無提供此關鍵設備，該技術的開發將開啟半導體全新的製程量檢測模式。 3.整合跨領域法人研究機構，研發 EUV 微影元件檢測設備並建置 EUV 服務平台，加速國內 EUV 微影技術發展與促進國內相關產業升級，預期每年提供國內產學研界 EUV 微影元件檢測服務平台 3 次以上，全程 3 個以上國內學研單位投入製作 EUV 微影技術研發。 4.建立物性化性功能高解析技術、多空間高解析顯微影像與即時動態解析探測儀器及技術，形成尖端跨領域材料分析實驗室，培育高階儀器技術人才及跨域研發團隊，帶動科學設備自我裝配能力，確保我國研發技術創新能力，並銜接經驗與知識以達永續發展。 5.運用光源設施具高準直度、高亮度等特性，建立適合以低掠角的方式進行半導體超薄薄膜研究的二維薄膜繞射技術、可臨場觀測並進行非破壞性量測的半導體臨場高階 X 光電子能譜技術，提供一般市售儀器無法達到的原位元件工作態下的結構檢測能量，卻是先進半導體材料研發急需的實驗檢測技術。 	
<p>計畫群組及比重</p>	<p><input type="checkbox"/> 生命科技 ___ % <input checked="" type="checkbox"/> 環境科技 <u>70</u> % <input type="checkbox"/> 數位科技 ___ %</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 工程科技 <u>30</u> % <input type="checkbox"/> 人文社會 ___ % <input type="checkbox"/> 科技創新 ___ %</p>	
<p>計畫類別</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> 前瞻基礎建設計畫</p>	
<p>前瞻項目</p>	<p><input type="checkbox"/> 綠能建設 <input checked="" type="checkbox"/> 數位建設 <input type="checkbox"/> 人才培育促進就業之建設</p>	
<p>推動 5G 發展</p>	<p><input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否</p>	

中長程個案計畫	■ 是，中長程個案計畫名稱：突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫			
資通訊建設計畫	□ 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否			
政策依據	1. FIDP-20210207040000：前瞻基礎建設計畫(110年修訂版)：4.7.4 突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫 2. NSTP-20210202010000：國家科學技術發展計畫(民國110年至113年)：2-2-1.超前部署重點特色領域 3. STWB-01120201010100：中華民國科學技術白皮書(112-115年)：1.鞏固既有優勢，以國際合作接軌創新資源，共創我國次世代半導體發展優勢 4. STWB-01120601020100：中華民國科學技術白皮書(112-115年)：1.善用公共科研機構，支持前瞻技術發展 5. EYGUID-01130512000000：行政院113年度施政方針：十二、聚焦核心議題及前瞻技術科研創新，發展前瞻半導體及資通訊等關鍵技術，驅動臺灣競爭力領先國際；加速完善臺灣未來十年各項前瞻科技平臺，強化科研與半導體國際人才培育環境。			
計畫額度	■ 前瞻基礎建設額度			
執行期間	114年01月01日至114年8月31日			
全程期間	110年01月01日至114年8月31日			
前一年度預算	年度	經費(千元)		
	113	113,000		
資源投入	年度	經費(千元)		
	110	167,500		
	111	167,500		
	112	113,000		
	113	113,000		
	114	84,000		
	合計	645,000		
	114年度	人事費	---	土地建築
	材料費	6,100	儀器設備	63,500
	其他經常支出	14,400	其他資本支出	---
	經常門小計	20,500	資本門小計	63,500
	經費小計(千元)		84,000	

部會施政計畫關鍵策略目標	深耕基礎卓越研究，推升研發成果創新價值			
本計畫在機關施政項目之定位及功能	面臨後摩爾定律時代，以及迎向 AI 應用發展機遇的重要轉折點，本計畫定位為台灣產學研界於下世代半導體研發技術後盾，透過整合國科會(自然處)及所屬法人資源，進行研發環境升級，運用儀科中心、國輻中心等國家級實驗室資源與產學研服務能量，建置尖端科學儀器與實驗設施、開發自研自製檢測設備與核心技術，以利各界發展次世代半導體關鍵技術，建立我國半導體產業的自主創新科技實力。			
計畫架構說明	依細部計畫說明			
	細部計畫 1 名稱	前瞻半導體製程臨場檢測設備研發		
	114 年度概估經費(千元)	23,250	計畫屬性	E. 產業技術研發
	主管機關	國家科學及技術委員會	預定執行機構	財團法人國家實驗研究院 台灣儀器科技研究中心
	細部計畫重點描述	完成叢集式半導體製程拉曼檢測、XPS 檢測模組與製程整合分析技術驗證、完成多功能式 EUV 檢測平台建置，以及 3D 光場檢測模組建置，藉由製程數據蒐集與分析後回饋進行模組系統優化，最終使其成為符合先進半導體製程之設備與檢測模組，並協助國內半導體設備產業進入高附加價值之半導體製程設備供應鏈，提升國內廠商半導體設備自製能力，同時佈局下世代半導體製程與設備產業，將國內半導體檢測設備能力再升級。		
	預期關鍵成果	114 年預期關鍵成果： 1. 完成叢集式臨場檢測設備建置(包含：拉曼光譜臨場檢測設備、XPS 光譜臨場檢測設備)； 2. 完成多功能式 EUV 微影元件檢測設備建置； 3. 完成 3D 光場模組建置，並優化叢集式臨場監控制程平台，提供合作研究與相關製程測試。		
	細部計畫 2 名稱	建立前瞻材料物性化性功能高解析技術		
	114 年度概估經費(千元)	23,250	計畫屬性	D. 基礎研究
	主管機關	國家科學及技術委員會	預定執行機構	國科會自然科學及永續研究發展處
	細部計畫重點描述	建立科技與產業發展所需的基礎核心設施及術網路，發展檢測先進材料物性化功能之設備與技術，開發可於實空		

		間、動量提供高影像解析或高時間解析的顯微探測儀器及技術，以利開啟研究新契機並深化整合我國頂尖技術及跨領域人才。		
	預期關鍵成果	114 年預期關鍵成果： 1. 整合尖端跨領域分析技術形成聯合實驗室，提供技術檢測服務以橋接學術科研與業界應用，並培養高階儀器技術人才及研發團隊。 2. 透過所發展的量測服務與國內半導體及材料等相關領域研究團隊建立長期合作模式，以培養相關領域研究團隊有獨立操作量測儀器與研究的能力，並逐步養成新生代的年輕研究人員，形成永續研發生態體系。		
	細部計畫 3 名稱	前瞻半導體臨場檢測技術建置		
	114 年度概估經費(千元)	37,500	計畫屬性	D. 基礎研究
	主管機關	國家科學及技術委員會	預定執行機構	財團法人國家同步輻射研究中心
	細部計畫重點描述	建立半導體製程元件結構檢測，及相關二維材料研發與性能測試需求之設施與檢測技術，完成臨場樣品環境設備，並搭配半導體二維薄膜繞射技術，以滿足不同用戶及各種實驗需求。		
	預期關鍵成果	114 年預期關鍵成果： 1. 完成樣品臨場環境設備的架設與系統整合。 2. 實驗站出光進行實驗並且至少兩個團隊進行實驗數據收取。		
前一年計畫或相關之前期程計畫名稱	113-1901-02-20-01：突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫(4/5)			
前期主要績效	1. 完成 X 光線上/機邊檢測模組，及叢集式腔體整合之銜接模組，可進行材料微結構鑑定，及非破壞性的薄膜材料結構分析。其採用 1.54 Å 波長的 X 光進行晶體繞射分析可滿足目前大多數材料的晶體量測。 2. 完成機邊量測垂直面低掠角 X 光繞射儀 (in-plane GID XRD)，其為一即時且非破壞性之檢測設備。除具有傳統量測法向量面的 Coplane 模式，另有可量測垂直面的 Non-coplane 模式，可即時切換模式對不同晶面進行量測。 3. 截至 112 年底，已補助 2 組研究團隊，發表國內及國際期刊與會議論文 62 篇，專利申請 5 件(獲證 2 件)，促成國際合作計畫 3 件，及培育高階			

	<p>半導體研發人才 30 位，包含 15 位碩士生及 15 位博士生。</p> <p>4. 陽明交大研究團隊利用激發探測光譜技術首次直接觀察到 Alq3 分子與不發光 Si 晶圓間的能量傳遞現象。此技術可應用於各式半導體量子材料或元件間能量傳遞之檢測與分析。另已完成具微米空間及飛秒時間解析的 tr-MIC 光譜量測系統，並開放技術檢測服務，預估每年可提供 2100 小時的服務時間。</p> <p>5. 台大研究團隊研發 S/TEM-APT 共用載台技術(簡稱 APTEM 技術)，已完成技術整合並實現 S/TEM-APT 交互分析技術。</p> <p>6. 完成半導體二維薄膜繞射光束線及其安全連鎖系統之建置及竣工檢查，及台灣第一座可同時使用同步輻射與 X 光光源的高能光電子能譜實驗設施之建置，將可無損害樣品系統且精確分析樣品各內膜層與介面層之元素分析、化學價態與電子組態。</p>			
跨部會署計畫	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 (若屬跨部會合作計畫，請續填說明。)			
	合作部會署 1		114 年度經費 (千元)	
	負責內容			
	合作部會署 2		114 年度經費 (千元)	
負責內容				
中英文關鍵詞	<p>半導體、先進材料、智慧觀測、高解析、聯網式、跨領域、極紫外光、叢集式、人工智慧、物聯網、二維薄膜繞射</p> <p>Semiconductor; Advanced Materials; Wisdom Monitoring; High resolution; Internet of Things; Interdisciplinary; EUV; Cluster; AI; IoT; 2D thin film diffraction</p>			
計畫連絡人	姓名	林宜燕	職稱	主辦
	服務機關	財團法人國家同步輻射研究中心		
	電話	03-5780281#8324	電子郵件	lin.joyce@nsrrc.org.tw

貳、計畫緣起

一、政策依據

為強化半導體和資通訊產業的優勢，我國積極搶占全球供應鏈的核心地位，傾力發展半導體成為國家發展中的戰略型產業。從「前瞻基礎建設特別條例」(2017年)所定前瞻基礎建設之數位建設，及行政院「數位國家創新經濟發展方案(2017-2025年)」中「建設下世代科研與智慧學習環境」可知核心設施與共用平臺是支援尖端學術研究、發展創新關鍵技術、培育高階人才必要的基礎條件。

國家科學及技術委員會(以下簡稱國科會)秉於數位建設精神，整合轄下自然科學及永續研究發展處(以下簡稱自然處)與所屬法人(財團法人國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心(以下簡稱儀科中心)、財團法人國家同步輻射研究中心(以下簡稱國輻中心))的國家級實驗室及產學服務能量，提出「突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫」(已列入前瞻基礎建設計畫(110年修訂版))，以落實國家科學技術發展計畫(民國 110 年至 113 年)中超前部署重點特色領域、中華民國科學技術白皮書(112-115 年)中鞏固既有優勢，共創我國次世代半導體發展優勢，並善用公共科研機構，支持前瞻技術發展、及行政院 111~113 年度施政方針中推升我國半導體及資通訊科技(ICT)產業國際競爭優勢，進行 Å 世代及次世代化合物半導體等前瞻關鍵技術布局，發展前瞻半導體及資通訊等關鍵技術，提升我國半導體產業的自主創新科技實力。

「突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫」之分工負責為：(1) 前瞻半導體製程臨場檢測設備研發(儀科中心)、(2) 建立前瞻材料物性化性功能高解析技術(自然處)、及(3) 前瞻半導體臨場檢測技術建置(國輻中心)，鎖定半導體產業未來所需之臨場檢測設備、非破壞性快速精準標靶式 X 光檢測技術等進行研發與建置，並超前發展極紫外光材料與元件量測設備，提供產學研界賴以進行前瞻研發的實驗利器與檢測設備，將能深植國內專業技術並提升國際競爭力。

二、擬解決問題之釐清

台灣是全球首先導入極紫外光(Extreme ultraviolet, EUV)量產半導體的國家，引領全球半導體產業的發展趨勢，因應新技術與新規格的導入將使我國半導體產業鏈面臨新挑戰。整合既有的前瞻基礎研究設施與科技能量的優勢，超前掌握前瞻的關鍵技術與相關產業升級的佈局，持續保持我國半導體產業的國際競爭力，迎接 AI 科技發展與 5G 資通訊技術應用浪潮，是當前科技產業發展的重要議題。

國科會肩負推動全國整體科技發展、支援學術研究，以及發展科學園區等三大任務，其願景在於運用創新科技解決社會重大問題、創造產業新機會以實現永續社會。而我國正面臨全球化下新世代數位世界的科技挑戰，具有高複雜性、劇烈變遷及高風險之特質，面對高度不確定性的未來，社會、經濟與環境正在全球數位化的風潮下出現結構性的改變，而帶動數位經濟的科技創新也因為身處高複雜性、高風險性、和高不確定性的環境而充滿挑戰。

在評估半導體產業先進製程將仰賴 EUV 微影技術的預警下，相對應之關鍵組件與技術、新穎材料研發、檢測設備等產業供應鏈皆遭遇升級的考驗。就工程定義來說，國內半導體產業面臨：(1)核心元件諸如微透鏡陣列等，仰賴國外廠商且價格昂貴；(2)ICT 技術與人才未能與半導體設備自研、自製充分整合；(3)智慧型半導體自動化檢測技術的創新研發能量不足；(4)本土在高階儀器設備的研發投入較輕，多著重於製程方法與材料的優化等問題。

為此，國科會整合儀科中心、國輻中心等法人產學服務與國家實驗室資源，及相關學研單位的專業技術與儀器設備，形成聯合實驗室與服務平台，以自有技術開發臨場監控/線上檢測系統為核心，協助驗證二維材料製程，包含關鍵零組件開發、光學設計、機構傳輸與檢測分析等技術能量，建立自製設備的製程與開發能力，完成整合性製程驗證，包含自製設備與製程的 Turn-Key，協助有意發展下世代半導體製程與設備的廠商，加速進入產業整合與製程驗證。

另，利用客製化的光學透鏡設計製作技術、設備建置微透鏡元件，及設計整體機構系統並製作組裝，建立 3D 光場檢測技術平台，協助學術及業界廠商進行 Prototype 實驗技術開發。之後與合作廠商合作進行測試技術驗證，再藉由國家實驗室長年累積的精密光學/光機、真空鍍膜、衛星酬載與步進式曝光機的經驗及能量來針對具市場出口的核心引擎研發，並聯合產業與學術端來進行技術整合，實現核心系統的場域驗證與技術移轉。

「工欲善其事，必先利其器」，台灣應該前瞻部署，在韌性社會的目標下，建立科技與產業發展所需的相應基礎核心設施，槓桿我國尖端科研能量，為半導體產業在新穎材料開發、核心製程技術、缺陷分析(Defect Analysis)科技上做出突破性的貢獻，拓展跨領域技術整合的廣度與深度，為產業創新與突破科學極限之前瞻研究提供利器，以面對未來趨勢，加速突破瓶頸，強化台灣的科技實力，帶動未來的科研優勢及機會。

三、目前環境需求分析與未來環境預測說明

次世代半導體發展主要有待突破的技術有：先進半導體材料、封裝技術及微影技術，半導體發展因而遭遇諸多物理限制。另，對於半導體大廠而言，製程是必須不斷追求的技術，良率更是致勝的關鍵，因此，臨場檢測、即時監測、缺陷分析與故障分析(Failure Analysis, FA)亦是重中之重，各式檢測設備與技術升級，也成為半導體上下流在導入實際量產時迫切需要解決的環節。因此，面對半導體後摩爾定律時代的來臨，必須透過整合核心設施與關鍵技術，建置尖端科學儀器與實驗設施，開發自研自製檢測設備與核心技術，並形成聯合實驗室與服務平台，讓半導體產業技術研發有厚實的基礎研究實力與性能優異的實驗設施作為後盾，才能因應半導體產業所面臨的物理極限問題及鏈結 AI 世代的各種應用需求(如：5G、物聯網、自駕車等)。

現今半導體產業在晶片生產過程中是利用拉曼光譜或角解析 X

射線光電子能譜(Angle Resolved X-ray Photoelectron Spectroscopy, AR-XPS) 來解析薄膜的表面與介面狀況，但往往在製程結束後需要透過破真空的方式將晶片取出，再置入分析設備。在傳遞過程中，樣品與大氣接觸後大氣中的氣體分子影響到薄膜的表面狀況，連帶影響到更深層的鍵結而導致量測結果產生誤差或失真。隨著半導體製程持續微縮，薄膜表面與介面佔整個薄膜的比例逐漸提高，這意味著因大氣污染而造成量測誤差的議題愈顯重要。

目前業界 HW/CW-CVD 機台所搭配的測量系統，大部分為分段檢測，無法即時測得材料資訊，且較耗費材料成本。有鑒於此，在開發自研自製 HW/CW-CVD 設備的同時，相關的量測系統也應被重視。目前 in-situ 拉曼量測監控技術多數應用於液態與化學合成上，其監控技術與薄膜成長臨場監控有所不同，因此透過 in-situ 拉曼分析可即時了解二維材料成長形態。

此外，以微影技術來說，ArF 微影技術發展已逐漸接近其物理極限。當半導體產業製程進入 7nm 以下，製程將仰賴 EUV 微影技術，即先進半導體製程將以 EUV 逐漸取代 ArF。因此，將 EUV 製程設備與分析設備串聯，進行臨場分析以避免傳遞過程對晶片的汙染，將是下個世代半導體製程發展決勝的關鍵點。

台積電是全球首先導入 EUV 量產 7nm 製程之半導體廠商，5nm 製程也隨之量產，並已佈局 2nm 廠房。如要再進一步發展將面臨製程微縮的物理極限，必須仰賴創新技術上的突破，尋找能取代矽(Si)為基礎的半導體材料，目前熱門的研究議題例如二維材料、氮化硼、氮化鎵等，才能因應製程微縮化所面臨的功耗與漏電流、不同材料整合間熱膨脹係數差異等問題，以開拓未來 AI 世代所需的高運算量、低耗能、小尺寸等半導體元件需求。

本計畫規劃建立多功能式 EUV 微影元件檢測平台，可針對 EUV 微影技術相關元件如：光阻、光罩、空白光罩以及光學鏡片，於超高真空環境下進行反射鏡反射率、光罩缺陷、光阻釋氣與 LER 等特性

分析，因應半導體大廠技術進展之需求，建立 FA 廠所需 in-situ 分析應對方案。儀科中心目前已與國輻中心合作開發進行的退火功能，將進一步連結製程與分析設備，提供更多元符合半導體先進開發之需求，並將可協助國內原先 193nm ArF 微影零組件、材料供應商切入 EUV 供應鏈，提供所需相關技術與產品。因此，藉由本計畫之執行，不僅提供半導體晶圓製造廠商檢測微影相關組件的服務平台，更期望藉由服務平台建立，協助相關產業升級，讓原有 193nm ArF 供應商切入 EUV 產業供應鏈，並更進一步提升自製自研檢測儀器設備本土化，協助國內學研界前瞻技術之開發。

由於所有的新穎材料突破皆與其物性與化性密切相關，因此全世界各科技大國皆投入大量資源開發先進的分析檢測儀器與實驗設施，以協助具備新穎功能的材料開發，搶占半導體版圖。特別是台灣擁有全球最亮的同步光源之一(由國輻中心自行設計、組裝建置)，其規格與功能均屬國際級尖端設施，在光電子能譜術、角解析光電子能譜術、X 光散射能譜、X 光吸收光譜、X 光顯微術等光束線實驗技術，對應用於半導體奈米元件結構及其介電特性、磁性、光電性質與相關電子結構研究，及研發新穎奈米材料均有極大助益。

由於光源設施對半導體研發與產業應用的助益，目前半導體大廠每年使用光束線時數約 1,000 小時，技術上擴及 X 光繞射/散射、反射率、吸收、光電子能譜等，主要協助進行超薄半導體材料分析，以及高介電(high-k)材料漏電等缺陷分析；此外，國輻中心亦整合國內材料分析公司能量，提供同步光源技術與材料分析公司共同合作，協助晶電、穩懋、聯享光電、工研院等深入探討半導體材料的特性，解決半導體產業界所面臨的新材料研發關鍵問題、產品缺陷及故障成因等。

為因應次世代半導體戰略需求，有必要更積極運用大型研究設施優異特性，鎖定台灣未來先進半導體研究需求，讓國際級尖端光源設施成為推動半導體前瞻研究的實驗利器與堅實後盾。特別是先進半導體元件因具有非破壞式讀取、低功率及高反應速度等優點，被認

為有機會突破摩爾定律的物理極限，半導體大廠相繼投入研發，隨著半導體晶片逐漸往 2 奈米或以下的技術方向發展，晶片結構尺度大幅縮小，而半導體材料中(尤其為金屬氧化物層)的缺陷濃度一直以來為探測的難題，薄膜內的缺陷會導致電荷被束縛而增加元件的漏電現象，隨著半導體製程愈趨先進，積體電路對於缺陷的容忍度也越來越低。此時，如何以非破壞的方式，精準分析半導體元件內各層超薄薄膜的晶體結構、界面型態與電子能帶，提供晶片材料特性與結構的設計基礎，已成為次世代半導體技術突破的主要關鍵之一。

傳統上，半導體廠主要以電子顯微技術進行材料特性鑑定與元件的故障分析，然而，電子顯微技術需要對樣品切片以破壞性的方式進行檢測，且僅能提供相當局部區域的資訊，對於晶體內的缺陷及原子的電子結構等較不易分析。此外，半導體元件的薄膜界面化學型態及電子能帶結構傳統上為利用軟 X 光光電子能譜進行分析，但由於有限的光電子平均自由路徑限制了探測的深度，難以應用於元件的多層薄膜結構的研究，若改採用同步光源的硬 X 光光電子能譜，則可使得光電子的逃脫深度較軟 X 光光源大 10 倍以上，使得量測外加偏壓操作下的元件成為可能，臨場呈現出元件在運作下所導致的能帶偏移及深層的元素價態變化，並可分析較複雜的多層薄膜結構的元素濃度分布，提供半導體元件結構設計的重要資訊。

由於台灣光子源具有高準直度與高亮度等特性，且硬 X 光靈敏度可準確量測到小於 1 奈米厚度的薄膜訊號，再加上高穿透深度，因此，國輻中心針對半導體需求，規劃建置半導體二維薄膜繞射及半導體臨場高階 X 光電子能譜等尖端精準標靶式 X 光探測技術，運用精準的樣品選位載台與高解析度偵檢器系統，搭配各種臨場樣品環境，是全世界少數具有非破壞性檢測、高價態分辨率且靈敏度可達 5 奈米厚度以下的硬 X 光尖端設施，並且具有多樣化的臨場(動態量測)實驗站配置，為國際上少數擁有強大薄膜半導體應用潛力的先進設施。前述技術結合運用光源優異特性，能進行原位元件工作態下的結構檢測，是一般市售儀器無法提供的能力，卻是目前先進半導體材料

研究非常需要的分析技術。

為能最有效發揮資源整合效益，國科會(自然處)推動建置聯合實驗室觀念，規劃透過聯合相關學研單位個別專業技術形成跨域團隊，並鏈結國研院儀科中心、國輻中心光源設施等，建立結合物性化性核心檢測技術網，對我國科技研發之關鍵技術進行整合，並開發尖端研究核心技術及培育我國高端專業設備跨領域人才，以達到建立科技與產業發展所需的相應基礎核心設施目標。

四、本計畫對社會經濟、產業技術、生活品質、環境永續、學術研究、人才培育等之影響說明

本計畫整合既有的前瞻基礎研究設施與學研服務能量的優勢，預期將提昇我國次世代半導體產業的研發能力，帶動產業供應鏈的升級與相關產業的技術發展，促進產業的研發投入，提昇國際競爭力。各項影響述明如下：

(一)社會經濟與產業技術

透過完善基礎核心設施，結合相關學研單位高解析分析儀器與研究團隊，再運用儀科中心、國輻中心等國家級實驗室之研發能量挹注到半導體產業，將有助於對半導體新穎材料開發、核心製程技術、缺陷分析科技上的突破，特別是同步光源的高準直度、高亮度等特性可提供一般市售儀器無法提供的分析能力；此外，推動發展分析檢測儀器自研自製，建立本土自主化的先進封裝製程設備，成功建立自主核心技術，預期進一步促成原有 193nm ArF 供應商切入 EUV 產業供應鏈。

建置具高解析的先進材料物性化物分析儀器，發展尖端精準標靶式 X 光探測技術以提供 3 奈米或以下之先進半導體所需非破壞性之臨場檢測技術，以建構優質半導體與前瞻材料研發環境，提供更利於產學研取得優質技術服務支援以拓展前瞻課題，繼之

透過合作研究、成果移轉、技術輔導及委託研究等方式，相關研發能量將可以逐步落實於國內半導體產業應用，以協助廠商強化核心競爭力，提升創新研發自主性，厚植台灣半導體產業的國際競爭力並引領發展。

本計畫不僅整合國際級尖端設施資源，為半導體材料研發能量提升建立良好基礎，以非破壞的光源實驗技術，提供精準標靶式 X 光檢測技術，精準分析元件內各層超薄薄膜的晶體結構、界面型態與電子能帶，提供晶片材料特性與結構的設計基礎，配合以低掠角的方式進行超薄薄膜的 X 光繞射技術，及可搭配各種臨場樣品環境的高階 X 光電子能譜技術，將成為協助次世代半導體突破物理極限的重要關鍵技術，解決半導體製程微影化所遭遇的多種探測難題與缺陷分析困境。

由於本計畫所建置光束線實驗設施皆由國輻中心自行設計及組裝，建置過程中相關的真空腔體、機械加工、電解拋光等精密工程將由國內專業廠商依實驗設施之特殊需求合力完成。惟實驗設施建造技術門檻高，在機械傳動設計、精密度、平整度、解析力、重現性、變形量及減震要求嚴謹，國內廠商透過建置過程，可從中累積經驗及提升專業技術，若未來東協、南亞及紐澳等國家有類似需求，還可配合「新南向政策」，進而拓展國際市場。

儀科中心推動自研自製發展分析檢測儀器，運用國家級實驗室之研發能量挹注到半導體設備產業，協助自動光學檢測產業進入高附加價值之半導體封裝設備供應鏈，輔導國內光學檢測產業邁向高附加價值之封測設備供應鏈。透過研發國內自主化設備，能將設備成本降低為進口設備的三分之一，及降低設備維修與零組件成本、提高維護效能，系統效能提升二倍以上，對於中、下游產業連帶降低生產成本、提升產品競爭力，末端產品價格也隨之降低，增加市場流通性，促使市場擴張，刺激消費者需求，於是市場活絡，形成循環，帶動中、下游產業發展。另，透過推動「先進製程及設備產學研發聯盟」，藉由產業聚落的聯合發展，建

立本土自主化的先進封裝製程設備，成功建立自主核心技術，可導入建立物聯網、行動裝置與智慧應用領域的異質封裝產業 α -site 驗證展示場域，並透過輔導協助 2-3 家國內設備/維修業者跨越研發門檻，掌握封裝製程設備自製能力，則將逐步降低對國外設備採購依賴，強化我國半導體研發環境與產業生態鏈。

台積電於 2019 年 10 月宣布其領先業界導入 EUV 微影技術之 7 奈米強效版(N7+)製程，三星亦規劃 2020 年量產 6 奈米 EUV 製程，目前 5 奈米製程於 2020 年業繼 7 奈米 FinFET 強效版(N7+)之後第二代使用極紫外光(EUV)技術的製程開始生產。由此可見 EUV 技術導入半導體製程勢在必行，期藉由本計畫建立之多功能式 EUV 微影元件檢測平台，協助國內原先 193nm ArF 微影零組件、材料供應商切入 EUV 供應鏈，提供所需相關技術與產品。以經濟規模而言，2022 年全球光阻與光罩市場規模分別為 37.6 億與 47 億美元，全球半導體光罩的市場規模預測將從 2022 年的 55 億 8,532 萬美元到 2029 年達到 77 億 3,928 萬美元，在 2023 年~2029 年的預測期間內預計將以年複合成長率 4.67% 的速度成長。據以預估未來 EUV 產業規模將逐漸龐大。

結合自身研發能量於叢集式二維材料製程設備開發 HW/CW-CVD 拉曼光譜臨場監控(in-situ)與 X 光繞射線上檢測設備，藉由光學性質即時分析回饋進而提高製程良率及探討材料成長機制。透過 in-situ 拉曼分析可即時了解二維材料成長形態；另一方面，機邊 XRD 分析技術開發是針對材料成長時提供晶體資訊的重要技術。儀科中心為因應開發符合半導體產業所需，建置符合高科技設備安全基準(SEMI S2)認證之 12 吋矽晶圓傳輸平台，配合製程驗證與元件特性佐證等上中下游完整技術發展，引領國內真空技術與半導體技術發展，協助國內產業突破現有技術障礙。

將製程設備與分析設備串聯進行臨場分析以避免傳遞過程對晶片的污染，是下個世代半導體製程發展決勝的關鍵點，淺層薄膜成分臨場分析模組也成為晶圓製造商/前驅物商/FA 分析等半

導體上下游皆迫切需求的產業技術。另，為加深學研界在下世代半導體製程發展與研究的力道，透過建置 AR-XPS 模組，開發超高真空分析模組與 RTP 模組，並整合儀科中心現有的六吋叢集式傳輸腔體，連結現有元件製程所需 ALD、ALE 模組，將提供學研界領先的研發平台，深化國內半導體產學在尖端製程研發能量。

此外，本計畫所研發 3D 光學檢測設備為具備高效能與較低設備成本之先進封測設備，除可應用於半導體先進封裝(如 3DIC)外，亦可應用於太陽能板、PCB、LED 等產業之先進封裝三維光學檢測，不僅有助提高半導體產業的生產品質與產業競爭力，設備應用範圍擴大將有助於促進整體量檢測產業發展，持續保有我國半導體產業的國際優勢，即是持續強化台灣的「矽盾」，讓我國在全球變局中站穩腳步，進而實現「數位國家、智慧島嶼」的國家發展願景，邁向 AI 及次世代資通訊時代的科技新生活。

(二)學術研究與人才培育

優質的工藝技術是經濟發展的基礎，其中高解析分析技術的建立更能夠為先進材料研究提供直接的助力。因此，本計畫發展客製化之頂級工藝係整合技術與光束線實驗技術，藉其開發可在實際空間與動量空間對先進材料物性和化性功能進行高影像解析或時間解析的分析技術。由於高解析探測的特徵是能夠對微奈米尺度的物件進行分析，要在相關分析中加入物性、化性、甚至時間解析的能力，需要諸多專業技整合。倘透過形成聯合實驗室，將可有效發展整合資源效益。

目前全世界產學研界皆因為數位科技的發展而對儀器開發與實驗技術人才有很大的需求。然而此類人才涉及跨專業整合而不易培養，透過本計畫整合開發儀器與建置實驗設施，將可提升我國科技與學術研發的競爭力，經此培養之高階儀器技術人才及研發亦將成為再次提升我國科技實力的尖兵。預計在本計畫的儀器建置及研發過程中，每年能培育 10 名碩博士生之高階研究人

才。於前瞻技術聯合實驗室建立後成為儀器服務設施開放使用，能夠擴大培養更多相關領域研究能量及人才。

在學術研究上，建立高解析分析實驗設施與技術可為半導體新穎材料研究提供直接的助力，輔以尖端科研之助益，在未來光源設施實驗技術網更見完善的情形下，預期將引導台灣學術研究邁入下一波高峰。而，透過聯合實驗室可整合培育高階儀器與實驗技術人才，成為提升我國科技實力的尖兵，並投入產學研界協助我國提升科技與學術研發的競爭力。此外，我國地狹卻擁有大量優秀學術研究人力與工程人才，透過鏈結學研成果至產業端，補足技術層級間隙，並形成聯盟聚落之組成各司其職，將能較國外大廠有更高的研發機動力，高速解決各種困難節點。

參、計畫目標與執行方法

一、目標說明

台灣正面臨經濟產業新舊動能轉換的關鍵時刻，本計畫以國家永續發展戰略高度，因應國家重要經濟戰略要角的半導體所需，執行半導體及鏈結 AI 世代計畫推動項目，透過整合國研院儀科中心自製設備技術、國輻中心光源實驗設施與技術等國家實驗室能量，以及自然處整合學研界高解析實驗能量，鎖定半導體產業未來所需臨場檢測設備、非破壞性快速精準標靶式 X 光檢測技術等進行研發與建置，並超前發展極紫外光材料與元件量測設備建置，以提供產學研界賴以進行前瞻研發的實驗利器與檢測設備，俾利深植國內專業技術並提升國際競爭力。

計畫全程總目標(end point)					
深耕卓越研究，打底科技研發能量：跨領域整合資源設施，提升研究資源綜效；鞏固自由探索研究環境，厚植科技立國能量。					
里程碑(milestone)					
年度	第一年 民 110 年	第二年 民 111 年	第三年 民 112 年	第四年 民 113 年	第四年 民 114 年 (8 月)
年度 目標	1. 完成拉曼光譜臨場監控設備開發，叢集式真空系統組件建置，開發超高真空樣品載台，3D光場成像系統技術與演算法研發，並打造封裝用無光罩曝光機關鍵核心引擎。 2. 開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術。	1. 完成叢集式線上 XRD 即時檢測開發，AR-XPS、光罩缺陷檢測模組、可見光3D檢測系統建置，並打造封裝用無光罩曝光機光源技術。 2. 開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術及結合多空間高解析影像探測技術與即時	1. 完成叢集式二維材料製程關鍵系統與拉曼臨場監控/XRD線上檢測整合；EUV微影元件檢測平台反射率檢測模組；近紅外光3D光場相機系統建置(工程體)，並打造封裝用無光罩曝光機抗振平台系統。 2. 開發前瞻材料物性化性功	1. 完成搭配臨場監控制程驗證與打樣測試；多功能式EUV微影元件檢測平台自動化整合；整合AI技術之3D檢測技術智能檢測軟體開發；打造封裝用無光罩曝光機原型系統。 2. 開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術及多空	1. 完成搭配拉曼臨場監控制程平台優化與打樣測試；多功能式EUV微影元件檢測平台之整合與優化；整合AI技術之3D檢測技術精進及軟體優化；封裝用無光罩曝光機原型系統調校優化。 2. 開發前瞻材料物性化性功能解析實驗

	<p>3.完成針對半導體應用之二維薄膜繞射、高階X光電子能譜等尖端精準標靶式X光探測技術與設施設計。</p>	<p>動態解析技術。</p> <p>3.發展半導體二維薄膜與半導體臨場高階X光電子能譜技術所需臨場實驗環境系統與實驗室設計。</p>	<p>能解析實驗技術及多空間高解析影像探測與即時動態解析技術，前瞻材料物性化性功能高解析實驗室之技術優化，重要技術交互分析比對或相關材料分析資料庫建置。</p> <p>3.發展半導體二維薄膜與半導體臨場高階X光電子能譜技術與設施建置。優先開放臨場高階X光光電子發射能譜之部分功能，供用戶測試與使用，可以非破壞性檢測方式量測二維材料與半導體材料與元件之X光光電子能譜。提供研發人員材料與元件之電子組態與化學價態等</p>	<p>間高解析影像探測技術與即時動態解析技術，前瞻材料物性化性功能高解析實驗室之合作共同技術開發，合作服務實驗之標準化流程建置及產業相關技術服務推展。</p> <p>3.發展半導體二維薄膜繞射技術。完成半導體臨場高階X光電子能譜技術尖端精準標靶式X光探測技術開發及進行調校。在臨場高階X光電子實驗室增加X光光源設置，搭配同步輻射光源可以24小時全天候開放給國內用戶使用。</p>	<p>技術及多空間高解析影像探測技術與即時動態解析技術，前瞻材料物性化性功能高解析實驗室合作技術實作回饋與服務品質再提升。完成建置並開放高階技術對外服務平台系統。</p> <p>3.完成半導體二維薄膜繞射技術尖端精準標靶式X光探測技術開發及進行調校。完成臨場高階X光光電子發射能譜實驗站之建置，為台灣第一座高階X光光電子發射能譜實驗站。具有非破壞性檢測、高價態分辨率且靈敏度可達2奈米厚度以下等優勢，並具有半導體材料與元件之專門量測環境與條件，加強二維材料與半導體元件開發。</p>
--	--	--	---	---	---

<p>預期關鍵成果</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成拉曼臨場監控設計與系統建置、叢集式真空系統組件、多功能式 EUV 微影元件檢測平台腔體設計與建置、3D 光場成像系統技術與演算法研發，以及數位光學複合直曝鏡頭測試原型。 2. 透過計畫補助，建置及培育 2 個技術開發研究團隊及聯合實驗室，針對材料，發展具備物性化性功能解析的探測儀器及技術。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建置 XRD 線上檢測設備、建置 AR-XPS 並整合六吋載台量測測試、完成光罩檢測平台光路設計與影像分析測試、可見光 3D 檢測系統之建置及系統整測與驗證，以及完成集束型紫外 LED 曝光光源。 2. 透過計畫補助，建置及培育 2 個技術開發研究團隊及聯合實驗室，針對材料物性化性提供高影像解析或高時間解析的探測儀器及技術。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成拉曼臨場監控/XRD 臨場監控與沉積系統整合；完成 EUV 微影元件檢測平台反射率自動化量測開發；近紅外光 3D 光場相機系統建置(工程體)與測試，以及完成光學定盤與抗振機構。 2. 透過計畫補助，建置及培育 2 個技術開發研究團隊及聯合實驗室，針對材料，發展具備物性化性功能解析，可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析的探測儀器及技術。 3. 完成半導體二維薄膜繞射光束線建置及出光測試。完成半導體二維薄膜繞射與半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗設備組裝測試並開放部分功能供用戶使用。可初步量測 5 奈米以下之二維材料與 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成大面積二維材料薄膜成長監控與材料驗證，至少 1 項學研合作案及 1 項廠商測試打樣案，完成多功能式 EUV 微影元件檢測平台建置。 2. 透過尖端儀器技術的開發，訓練及培養高階技術人才及研發團隊。計畫預計培育 10 名高階技術人才，並保障不同性別(尤其是女性)之專業人才參與計畫。 3. 完成半導體二維薄膜檢測技術實驗站系統整合與試車，並邀請外部用戶參與實驗測試。整合 X 光光源與半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗設施。可以 24 小時全天候提供用戶使用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成多功能式 EUV 微影元件檢測平台之整合優化與測試打樣；完成整合 AI 技術之 3D 檢測技術精進及智能檢測軟體開發，以及完成數位光學複合直曝驗證。 2. 透過尖端儀器技術的開發，訓練及培養高階技術人才及研發團隊。計畫預計培育 10 名高階技術人才，並保障不同性別(尤其是女性)之專業人才參與計畫。 3. 完成半導體二維薄膜繞射與臨場高階 X 光電子能譜實驗設備試車，並開放用戶使用。具有非破壞性檢測、高價態分辨率且靈敏度可達 2 奈米厚度以下，並具有半導體材料與元件之專門量測環境與條件。
---------------	---	---	--	--	--

			半導體元件。		
年度目標達成情形(重大效益)	<p>1. 完成建置拉曼光譜機邊量測模組與即時監控模組切換設計，除了可搭配大面積CVD製程即時分析外，亦可切換機邊檢測藉以提高支援二維材料檢測之機動性。</p> <p>2. 完成AR-XPS超高真空腔體測漏，漏率$< 3.8 \times 10^{-12}$ torr.L/se、真空度約7.8×10^{-9} torr，以及腔體isolation設計(對應turbo pump、升降載台、傳輸平台)。</p> <p>3. 完成各項檢測模組光路整合、檢測動作機構設計與腔體設計初步規劃，包含：各檢測模組所需光路，整合EUV光阻、光罩與反射率檢測功能所需之光路模組，進行EUV微影元件檢測平台系統設計與建置。</p> <p>4. 完成微透鏡陣列的優化設</p>	<p>1. 完成拉曼臨場監控模組與微距平台整合，包含微距平台、雷射激發光源、檢測與取像探頭、光譜儀等，符合試片尺寸為4-8吋；完成AR-XPS超高真空腔體開發，驗證晶圓來回傳輸與反覆升降可確保在整個傳輸及量測過程中的穩定性。</p> <p>2. 完成多功能式EUV檢測腔體內高真空移動平台建置與光罩檢測模組設計與製作；完成可見光波段光場成像系統(工程體)之系統細部設計與分析，含鏡頭+光圈+同軸光源模組+MLA+影像感測器之光學設計與容差分析。</p> <p>3. 完成高功率雷射光源及電子能量分析儀之採購，架設能譜儀之進階設</p>	<p>1. 完成機邊量測垂直面低掠角X光繞射儀(in-plane GID XRD)建置，可藉由XRD量測二維薄膜材料的晶體結構資訊，為一即時且非破壞性之檢測設備；完成in-situ XPS X-ray光源安裝、光源degas、電極偏壓調節測試、analyzer吊掛安裝，以及背景雜訊降噪處理。</p> <p>2. 完成EUV干涉微影測試週期性點陣列與線陣列結構設計，以氦離子束直寫光阻再進行Ni濺鍍，結構設計與製作完成之光罩以SEM驗證；完成近紅外光波段工程體系統初步設計，DOF約700 um，FOV約1.1×0.9 mm，原始深度解析度約40 um，平面解析度約8 um，主鏡頭規格確認</p>	(暫無)	(暫無)

	<p>計、以超精密加工製作微透鏡陣列模仁及光學塑膠射出成型微透鏡陣列之評估設計；並完成AI運算電腦平台建置與測試，及相關機器學習模型與開源計畫的效果評估分析，並根據選定的機器學習模型建構平台以進行實測。</p> <p>5. 完成無光罩曝光機關鍵核心引擎的光學設計(包含：容差與雜散光分析)、光學鏡片與鏡筒機構研發與效能評估。</p>	<p>施。</p> <p>4. 原子針尖斷層影像儀完成安裝及設置啟用。</p> <p>5. 完成半導體二維薄膜繞射檢測技術概念設計報告書(通過國際專家審核)，臨場高階X光光電子能譜實驗站設計。</p>	<p>完成。</p> <p>3. 完成具微米空間及飛秒時間解析的tr-MIC光譜量測系統建置，以及完成時間解析角析式光電子能譜技術開發，並已開放技術檢測服務。</p> <p>4. S/TEM-APT共用載台技術(簡稱APTEM技術)已完成技術整合並實現S/TEM-APT交互分析技術。</p> <p>5. 完成半導體二維薄膜繞射光束線及其安全連鎖系統之建置及竣工檢查，及台灣第一座可同時使用同步輻射與X光光源的高能光電子能譜實驗設施之建置，將可無損害樣品系統且精確分析樣品各內膜層與介面層之元素分析、化學價態與電子組態。</p>		
--	--	--	--	--	--

預估本計畫完成後，可達成之技術有：

1. 建置臨場檢測設備，首創 *in-situ* 製程量測，可在製程階段提供臨場量

檢測數據，提供產學研界半導體製程研發，提升製程良率與可靠度。目前國內外設備商尚無提供此關鍵設備，該技術的開發將開啟半導體全新的製程量檢測模式。

2. 建置原子針尖斷層影像儀服務平台目標成為世界半導體領域之 APT 分析重鎮，在技術開發項上會研發原子針尖斷層影像儀之前瞻技術或資料庫，包括試片製作、質譜分析、數據重構、數據分析等項目，其中重構校正程序、摻雜校正資料庫、自製載台及發展 S/TEM-APT 交互分析 (correlative characterizations) 技術及服務為臺灣在本計畫中之獨特技術項目。
3. 目前國際上的 TR-ARPES，因各研究團隊研究課題的差異，時間解析度約為 100 as ~ 500 fs，能量解析度約為 10 - 300 meV，使用之激發雷射光子能量為 10 meV 至 10 eV。因雷射光源與物理上的限制，並沒有任何一個 TR-ARPES 系統能夠包括所有的實驗條件。本計畫完整執行後，可提供寬廣的激發條件(200 nm-16 μm)。另外，透過高功率雷射光源，可提供足夠的 EUV 光源亮度(光通量>10¹³ photons/s)，大幅縮短量測時間。在廣泛的新穎材料研究領域中，與國際領先團隊站在同一水平。
4. 現階段國際間在使用及發展時間解析光電子能譜術的同步輻射設施及其時間解析分別為德國 BESSY II 約 60 ps、法國 SOLEIL 約 50 ps、日本 SPring-8 約 50 ps、UVSOR 在 μs 範圍。本計畫規劃之時間解析光電子能譜術完成後，能量範圍可達 200 eV 至 3000 eV，全能量範圍之能量解析力皆大於 10000，光子數量大於 10¹³ 且光斑大小為 10 μm × 10 μm，時間解析約為 < 30 ps。所有數據皆顯示這將會是一個領先國際的多功能時間解析光電子能譜術實驗系統。
5. 半導體二維薄膜繞射檢測技術透過特別優化偵檢器系統及相關系統，包含使用快速讀取、高解析度且大面積的二維平面偵檢器，針對半導體及光學元件最重要的薄膜樣品，可提供更強的光源、更有效率的偵檢器、更多的自由度，以及更佳的外加環境控制。配置各種非常態臨場設備，尤其合適於模擬半導體製程中如退火條件與半導體材料的相變化效應及缺陷的影響。此外，由於樣品載台使用六軸高自由度精準選位系統，

可以準確的選取半導體表面各區域進行量測分析，便利於進行薄膜樣品選區（mapping）繞射實驗，也特別適合以極低掠角的方式進行超薄薄膜的 X 光繞射技術分析，可快速、有效、準確地解析薄膜的結構、成份比例、密度、缺陷濃度以及介面型態等重要資訊，是國際間少數能夠提供如此高彈性實驗選擇與強大半導體應用潛力的實驗站。

6. 高能 X 光光電子能譜實驗站預計完成後是世界第一座可以快速更換實驗腔體(在超高真空腔體與臨場電化學腔體進行快速切換)的高能光電子能譜儀分析，能量範圍可涵蓋 0-10keV，能量解析度可達 50meV。此規格在國際上均為領先且具有極大的競爭優勢。

本計畫全程及分年技術指標規劃如下：

1. 全程技術指標：

- (1) 因應半導體產業面臨的製程物理極限，發展次世代半導體關鍵技術，包含首創可整合於叢集式之半導體臨場製程量測之關鍵設備。
- (2) 利用台灣光子源超高亮度 X 光提供 2 奈米薄膜層厚度，甚或極限次奈米厚度之次世代半導體二維薄膜繞射量測或高能光電子能譜量測。
- (3) 建造世界第一座可以同時操作在超高真空與近室壓的光電子能譜實驗站，涵蓋 X 光能量範圍 10keV 與能量解析度可達 50meV，且利用 TPS 高輝度的特性，為世界光電子能譜量測靈敏度最高實驗站之一，可量測 2 奈米尺度半導體材料與元件。
- (4) 建置我國第一部原子針尖斷層影像儀服務平台及技術研發團隊，為尖端晶體材料或先進元件之研究創新提供高解析且高精準的三維元素分佈。
- (5) 提供時間解析角析式光電子能譜、時間解析光電子能譜、時間解析可見光及紅外光吸收光譜的量測服務。

2. 分年技術指標：

110 年技術指標：

- (1) 完成拉曼光譜臨場監控設備自主開發，關鍵性組件包含長工作距離光學鏡組、光學反射鏡/濾光片等，檢測厚度 $< 30\text{nm}$ 薄膜。
- (2) 完成開發叢集式超高真空樣品載台，真空度 $< 1 \times 10^{-8}$ torr。
- (3) 完成 3D 光場成像系統設計分析與影像還原演算法研發，關鍵組件可見光波段微透鏡陣列。
- (4) 建造涵蓋 X 光能量範圍 10keV 與能量解析度可以達 50meV 光電子能譜實驗站。
- (5) 完成半導體二維薄膜繞射檢測技術概念設計，關鍵技術指標：半導體薄膜結構分析至少 10nm 厚度薄膜。

111 年技術指標：

- (1) 自主開發叢集式設備之線上 XRD 檢測模組系統，關鍵性技術將著重於系統與叢集式腔體連接端與樣品取放機構設計，試片尺寸為 4-8 吋。
- (2) 完成超高真空移動平台建置，載台重複精度 $< 1\mu\text{m}$ 。
- (3) 完成超高真空腔體開發，其漏率 $\leq 1 \times 10^{-9}$ torr·L/sec 並安裝 X 光源模組。
- (4) 完成可見光波段 3D 光場成像系統建置，關鍵技術建立 $5\mu\text{m}$ 空間解析度之三維檢測。
- (5) 建造涵蓋 X 光能量範圍 10keV 與能量解析度可以達 50meV 光電子能譜實驗站。
- (6) 完成半導體二維薄膜繞射實驗站設備細節規劃，建置實驗站設備(大型二維偵檢器等)，關鍵指標偵檢器 pixel size= $75 \times 75\mu\text{m}^2$ ，且 sensitive area $> 300 \times 300\text{mm}^2$ 。
- (7) (原子針尖斷層影像儀服務平台)進行 S/TEM-APT 共用載台技術(APTEM 技術)技術開發
- (8) (尖端能譜量測平台) 完成 515 nm HHG 之 EUV 脈衝光源建置

(EUV @ 30 eV – 60 eV in Ar $\sim 10^{13}$ photons/s, EUV @ 70 eV – 80 eV in He $\sim 10^{12}$ photons/s)

112 年技術指標：

- (1) 完成線上 XRD 檢測模組系統與拉曼臨場監控模組，關鍵性指標進行 < 8 吋樣品傳輸測試及驗證。
- (2) EUV 光罩缺陷檢測模組建置，取得與理論相符之光罩繞射圖譜。
- (3) 完成近紅外光波段 3D 光場成像系統建置，關鍵技術建立具 10 μ m 空間解析度之 NIR 三維光學檢測。
- (4) 進行光源整合及半導體二維薄膜繞射實驗站建置與設備測試，關鍵性指標樣品載台平移重複性精度達 $\pm 0.2 \mu\text{m}$ ，樣品至偵檢器距離可調性 10-1200cm。
- (5) (原子針尖斷層影像儀服務平台) FIB 試片製作服務與數位影像實驗室建置，矽基半導體摻雜校正技術，MRAM 元件與化合物半導體(GaN)整合性研究技術開發等。
- (6) (尖端能譜量測平台)時間解析角析式光電子能譜量測技術開發及提供服務。

113 年技術指標：

- (1) 完成自主研發線上 XRD 檢測模組系統與拉曼臨場監控模組，關鍵性指標薄膜厚度 < 30nm 之 X 光反射訊號與拉曼光譜訊號。
- (2) 完成 EUV 反射率檢測模組建置，並取得特定角度反射率量測。完成快速熱處理製程(RTP)模組開發。
- (3) 整合 AI 技術之 3D 檢測技術智能檢測軟體開發，關鍵組件 UV 光波段 3D 光場成像系統建置及 3D 檢測 AI 技術。
- (4) 整合近室壓系統，建立多元化的高能光電子能譜量測環境。進行半導體二維薄膜繞射光束線出光及實驗站整合測試，關鍵性指標 X 光能量 10-30keV 且 X 光點大小 300 \times 300 μm^2 ，能量解析度達 2×10^{-4} 。

- (5) (原子針尖斷層影像儀服務平台)Si 與 GaN 半導體摻雜校正資料庫開發、MTJ 界面、AlGaIn 非均性研究等。
- (6) (尖端能譜量測平台)升級時間解析角析式光電子能譜，完成飛行時間解析光電子能譜儀技術開發。完成多通道式鎖相放大量測技術的設計及建置，將可提升時間解析可見光及紅外光吸收光譜的訊雜比 1~2 個數量級。

114 年技術指標：

- (1) 完成樣品成長之臨場/線上檢測，並測量到二維材料訊號，關鍵性指標薄膜厚度 $< 30\text{nm}$ 拉曼光譜訊號 $\sim 350\pm 5\text{cm}^{-1}$ 。優化臨場監控製程平台與打樣測試。
- (2) 完成 EUV 光阻檢測平台建置，取得干涉微影後之樣品蝕刻 SEM，並完成多功能式 EUV 微影元件檢測平台之整合與自動化。
- (3) 完成整合 AI 技術之 3D 檢測技術精進及軟體優化，關鍵技術整合 AI 技術與空間演算法來提升提高檢測系統精度。
- (4) 完成實驗設施軟硬體設備整合測試，半導體二維薄膜繞射實驗設施 X 光能量範圍可達 10-20 keV 目標，X 光能量解析力可達 2,000 以上，即 X 光能量解析度優於 5×10^{-4} ；高能 X 光電子能譜實驗站 X 光能量範圍 10keV 以下，X 光能量解析可小於 0.3eV。
- (5) 原子針尖斷層影像儀服務平台)完成原子針尖斷層影像儀服務平台建置，包含：原子針尖斷層影像儀、FIB 試片製作服務、數位影像實驗室、儀器預約系統與辦法(含專家諮詢系統)、定期教學與培訓課程。以及原子針尖斷層影像儀之前瞻技術或資料庫，發展 S/TEM-APT 交互分析(correlative characterizations)技術與服務，綜整儀器研究服務國內外學界、研究法人、業界之尖端半導體材料與元件研究。
- (6) (尖端能譜量測平台)提供時間解析角析式光電子能譜、時間解析光電子能譜、時間解析可見光及紅外光吸收光譜的量測服務，完成 EUV 脈衝光源的建置及提供時間解析光譜所需之關鍵光源。

透過合作研究，協助相關年輕研究人員的養成，形成永續研發生態體系。

整體來說，本計畫全程技術指標經評估後與現行國際 Roadmap 相較屬於超前。主要係因目前國內外尚無相關半導體製程臨場檢測叢集式設備，此成果將可超前專利佈局。另，利用台灣光子源超高亮度 X 光提供 2 奈米薄膜層厚度甚或極限次奈米厚度之次世代半導體二維薄膜繞射量測或高能光電子能譜量測，此技術指標較現行國際 Roadmap 亦為領先。再者，本計畫所徵求之專案計畫在(1)時間解析：光脈衝寬至飛秒級，相比頂級商用系統優異數倍。(2)空間解析：實空間(<奈米)、動量空間，光學級超越次繞射極限解析技術，並應用於半導體材料。(3)能譜及頻譜高寬範圍之寬頻解析力等重要目標解析度突破。預計相對應之規劃指標在各分項皆超越市售商用系統外，藉由綜合多重維度檢測下於綜合量測效應上更能有大幅度躍升。

未來國內產學研界都將可使用本計畫所研發之技術及設備。預期半導體製程臨場檢測叢集式設備及技術可客製化導入國內學研團隊(如：清大、交大、中山)；前瞻半導體製程臨場檢測服務平台可為國內產學研界(如：台大、清大、交大、中山、半導體中心與台積電)提供尖端製程領域之「前瞻技術實現」的平台。對促進發展關鍵性設備組件，提升我國在國際上半導體領域之研發能量綜效相當有益。目前對未來使用者已知有台積電與國輻中心之委託案，或陽明交通大學國際半導體產業學院胡正明院士之高教深耕計畫。

二、執行策略及方法

本計畫執行策略係以整合核心設施資源，建置尖端科學儀器與實驗設施、開發自研自製檢測設備與核心技術，形成聯合實驗室與服務平台，以深植國內專業技術，並提升我國產學研界的競爭力。

計畫項下包含前瞻半導體製程臨場檢測設備研發、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術、前瞻半導體臨場檢測技術建置等細部

計畫，架構如下圖所示，並規劃於 110~114 年間完成研發半導體製程臨場檢測設備、非破壞性的高空間-時間解析力的精準標靶式 X 光檢測技術，並形成材料分析聯合實驗室與 EUV 服務平台。各分項計畫除獨立執行外，亦相互協助與合作。其中 EUV 製程關鍵材料組件缺陷分析技術與設備發展所使用之 EUV 光源即來自同步輻射光源作為前期驗證，儀科中心與國輻中心技術可為相互互補。另，由自然處補助之相關計畫將在時間解析之 EUV 項目與儀科中心共同合作，在能譜技術方面與國輻中心積極合作研發建置。



各細部計畫執行策略說明如下。

細部計畫名稱	執行策略說明(請依細部、子項計畫逐層說明)
前瞻半導體製程臨場檢測設備研發	1.結合自身研發能量於叢集式二維材料製程設備開發 HW/CW-CVD 拉曼光譜臨場監控(<i>in-situ</i>)與 X 光繞射線上檢測設備，藉由光學性質即時分析回饋進而提高製程之良率以及探討材料成長機制。透過 <i>in-situ</i> 拉曼分析可即時了解二維材料成長形態；另一方面，機邊 XRD 分析技術開發是針對材料成長時提供晶體資訊的重要技術，配合製程驗證與元件特性佐證等上中下游完整技術發展，引領國內真空技術與半導體技術發展，協助國內產業突破現有技術障礙。 2.透過建置 EUV 元件檢測設備與服務平台，與國家同步輻射研究中

心合作，預期吸引至少兩個國內學研單位投入製作 EUV 技術研發，促使國內半導體廠與學研單位於本平台進行 EUV 技術元件與材料開發，並提供國內產學業 EUV 元件檢測服務。

3.建置臨場檢測設備，首創 in-situ 製程量測，可在製程階段提供臨場量檢測數據，提供產學研界半導體製程研發，提升製程良率與可靠度。目前國內外設備商尚無提供此關鍵設備，該技術的開發將開啟半導體全新的製程量檢測模式。

4.計畫執行前後的技術現況以及與全世界最先進技術的比較

計畫執行前 技術現況	計畫執行後 技術現況	全世界最先進技術
<p>現今半導體產業在晶片生產過程中是利用角解析 X 射線光電子能譜來解析薄膜的表面與介面狀況，但在傳遞過程中，樣品與大氣接觸後大氣中的氣體分子影響到薄膜的表面狀況，連帶影響到更深層的鍵結而導致量測結果產生誤差。隨半導體製程持續微縮，薄膜表面與介面佔整個薄膜的比例逐漸提高，大氣污染而造成量測誤差的議題愈顯重要。</p>	<p>本分項所研發之半導體量檢測設備自製，以推動半導體量檢測設備在地化與設備研發的任務，目前儀科中心開發半導體製程臨場檢測叢集式設備在強化商業化應用方面，透過本計畫執行階段性成果已吸引應用奈米科技與廣繼科技簽訂委託研究案；同時與台積電、Merck 等進行叢集式檢測技術先期研究；在學研界合作方面，本計畫所衍生之製程與檢測設備模組獲得國內指標性單位清華大學與陽明交大使用並認同，透過該叢集式研究平台陸續撰寫成研究論文並發表。透過本計畫執行所衍生階段性檢測技術與相關模組已獲得產學研界高度合作認同，並更貼近產學研所需之前瞻研</p>	<p>國內外尚無相關半導體製程臨場檢測叢集式設備，此計畫成果將進行超前專利佈局，其相關技術指標屬超前部屬規劃。</p>

究。

5.每半年預計達成之量化技術規格為：

110.06：完成拉曼三波段濾光片設計與優化、XPS 超高真空樣品載台設計圖一式、EUV 檢測模組光路整合設計，以及可見光 3D 光場成像系統設計分析，影像強化後解析度規格 5 um/pixel。

110.12：完成拉曼三波段濾光片鍍製，規格如設計 (453 nm：R<1% @ 457nm±5nm R>90% @ 480nm—700nm；532 nm：R<1% @ 532nm±5nm；R>90% @ 560nm—700nm；638 nm：R<1% @ 638nm±5nm；R>90% @ 670nm—700nm；400nm—600nm)、XPS 腔體與升降載台組裝及測漏，真空度 <1×10⁻⁸ torr、EUV 腔體通過漏率測試 <1×10⁻¹⁰ torr*L/sec，與真空度測試，真空度 <1×10⁻⁸ torr，以及可見光 3D 光場成像系統原型(影像強化後的平面解析度 5 um/pixel)，3D 影像還原演算法與軟體模組(v1)初步測試。

111.06：完成臨場監控 Raman 光譜模組 (工作溫度：RT-300°C；工作距離：<5cm)、X-ray 光源安裝與測試，含燈絲 degas(Al&Mg 靶)及高壓負載測試(Max 15 kV /3.15 A)、移動平台零組件採購到貨，載台垂直轉動範圍 0—80 度，以及近紅外光 3D 光場成像系統設計分析，影像強化後解析度規格 10 um/pixel。

111.12：完成臨場監控 12 吋 CVD 製程設備開發 (基板尺寸<12 吋；工作溫度<1000 °C；加熱均勻度：99%±1%)、Analyzer 安裝與測試，含背景雜訊降噪(noise intensity<100 counts/s)與升降載台工作距離調整、完成光罩檢測模組組裝與光路校正，以及完成近紅外光 3D 光場成像系統原型，影像強化後的平面解析度 10 um/pixel。

112.06：完成機邊 XRD 模組開發 (檢測厚度：<30nm 薄膜品質)、XPS 分析圖譜 binding energy 校正(Au、Ag、Cu)、完成干涉微影細部光學與元件治具設計，以及 UV 光 3D 光場成像系統設計分析，影像強化後解析度規格 10 um/pixel。

112.12：完成機邊 XRD 模組與叢集式腔體對接設計，樣品尺寸為 4—8 吋、XPS *ex situ* ALD AlN 薄膜成分分析測試數據一組、EUV 干涉微影曝光測試，並獲得光阻特性分析，以

	<p>及完成近紅外光 3D 光場成像系統工程體(影像強化後解析度 10 um/pixel)，成以 AI 技術強化 3D 影像還原演算法與軟體模組(v1)，以降低雜訊來提升 3D 影像正確性。</p> <p>113.06：完成線上 XRD 檢測模組系統與拉曼臨場監控模組，並進行< 8 吋樣品傳輸測試及驗證、XPS RTP 模組設計圖一式、EUV 絕對反射率模組組裝與光路校正，以及 UV 光 3D 光場成像系統原型，影像強化後平面解析度 10 um/pixel。</p> <p>113.12：完成線上 XRD 檢測模組系統與拉曼臨場監控模組，並測量到材料訊號(薄膜厚度<30nm之 X 光繞射訊號與拉曼光譜訊號)、製作組裝 RTP 模組並完成 800°C均溫量測、完成絕對反射率歸零與量測測試，角解析度 0.1 度，以及 UV 光 3D 光場成像系統工程體(影像強化後解析度 10 um/pixel)，以 AI 技術強化 3D 影像還原演算法與軟體模組之優化。</p> <p>114.08：完成樣品成長時之臨場/線上檢測，並測量到 WS₂ 材料訊號(薄膜厚度< 30nm 拉曼光譜訊號~350±5 cm⁻¹)、<i>in situ</i> XPS 專用試片載盤製作一組與 <i>in situ</i> ALD AlN 薄膜成分分析測試數據一組、連續式曝光與再現性測試，以及 3D 光學檢測技術與軟體優化，完成適用於可見光、近紅外光、UV 光系統之解析度強化機器學習平台整合測試。</p>
<p>建立前瞻材料物性化性功能高解析技術</p>	<p>為突破半導體的極限問題，本分項預期透過跨域團隊來建立結合顯微術的物性化性核心檢測技術網。由於先進元件的製備技術已經讓尺寸、介面結構、甚或元件間距，成為影響元件/材料特徵行為的重要參數，所以新世代的物性與化性探測技術經常需要能夠同時分辨隨著受檢物的尺寸、介面與位置而改變的物理性質。目前一個極具挑戰且足以影響我國在電子與光電產業競爭力的的關鍵檢測技術即是在物性化性檢測中加入具備實際空間、動量空間、與時間解析能力的顯影術，足以同時分析元件或材料的原子結構、電子能帶以及動態行為。此技術的建置需要結合多個專業方得以達成，因此將透過建置核心實驗室的方式來聯合個別專業技術來建置高解析顯影檢測技術，並預期藉此形成跨領域尖端技術網路，將可以為國內產學研界的研發帶入全新的動能與契機。</p> <p>聯合實驗室所建置的儀器設備除了進行前瞻性的基礎和應用科學研究，也同時支援產學研界需要的多參數檢測服務，以優質的工藝</p>

技術實質參與應用科技的創新，並將對我國科技研發之關鍵技術進行整合，開發尖端研究核心技術及培育我國高端專業設備跨領域人才，達到建立科技與產業發展所需的相應基礎核心設施目標。

1.設計概念與核心技術規格

(1)高解析實空間與動量空間顯微探測儀的設置及技術開發：

實空間的顯微術可經由可見光、X 光和電子來完成。加入動量空間顯微成像之功能則可以使微區電子結構或是晶格結構的分析成為可能。動量空間的成像可以透過在成像機制中加入可以調控繞射面 (diffraction plane) 和成像面 (imaging plane) 的能力來達到。動量空間的量測對於具備異向性 (anisotropy) 的物理量的判定有其顯著的優勢。當今低維度半導體課題，就是利用其特殊的原子結晶結構和不同的原子層堆疊順序來建構出具有特殊異向性的功能性系統。目前國內已有數個學研單位擁有個別的技术，整合發展後可達成技術躍昇並完善我國科技核心技術網。

(2)原子針尖斷層影像 (Atom Probe Tomography) 的技術開發與設置：

原子針尖斷層影像 APT 將是一個關鍵顯微分析技術，它能夠提供奈米/次奈米尺度下之三維元素分佈，能有效彌補 S/TEM 與 SIMS 彼此在空間解析力與成份解析力差異的不足，提供半導體及晶體材料與元件研究一種高解析的內空間解析，以啟發科學家對材料更深入的了解。我國目前完全沒有公開可使用之 APT 分析設備，本研究計畫不僅對尖端半導體及晶體材料研究產生貢獻，也能強化我國在此領域之分析能力，提昇材料科學與固態物理研究之量能。

(3)高時間解析能譜術的開發與設置：

當前瞻半導體元件結構尺寸趨近於原子級尺度時，半導體元件之效能表現將從材料塊材特性轉換為由原子級缺陷，與異質材料介面結構、電性所主導。檢測半導體材料之侷域性的電子結構、功函數、載子濃度、閘極調控等特徵電性，儼然成為提供突破半導體元件關鍵電性表現之重要資訊。時間解析能譜術是近期新興的技術，尤其是它有可能為半導體、能源科技帶來全新的知識，目前它在國際間的發展還處於起步階段。若將時間解析能力與相關電性能譜技術結合，將可以提升我國相關技術能力至領先地位。國內已有數個學研單位開始建立個別的相關技術，整合發展後可達成技術躍昇並完善我國科技核心技術網。

2. 國際比較

持續開發新穎(人工)材料及其在(電子/光電)元件的應用是各科技大國努力的目標。從固態元件尺寸持續縮小的趨勢來看，未來的製備技術門檻必然會越來越高，但是完整的研發除了包含必要的製造技術以外，還需要有相對應的特性檢測能力。隨著功能性元件需要在微型化的同時優化其功能，且具備新穎特性的(低維度)材料通常無法以肉眼辨識，發展能夠結合顯微/顯影的檢測技術已經成為突破半導體極限，發展新世代科技的當務之急。

材料顯微結構分析一直以來存在著三個重要的突破方向，其一是超高空間解析度，目前球面像差校正掃描穿透式電子顯微鏡(STEM)已經可以達到 sub-Ångstrom 等級；其二是化學解析力，在化學成份分析上一方面要能夠判別元素種類，另一方面同時追求超高成份解析力(或稱偵測極限)；其三是三維顯微結構的解析，電子顯微鏡一般僅能呈現二維之影像，經三維重構演算法運算將對空間解析度造成犧牲。事實上在顯微結構分析中空間解析力與成份解析力是相互窮拮的，高解析 STEM 雖然能達到原子級 column-to-column 的空間解析能力，但配合之 EELS 或 X-ray EDS 成份分析之偵測極限大約在 10 at. %，而這兩者在不同元素的分辨與偵測也有侷限，SIMS 雖然能夠達到極高的偵測極限，但是在空間解析度上，即使是 NanoSIM 也僅約可達 50 nm，面對複雜之材料與元件顯微結構時有所侷限。若再考慮材料或元件之三維結構，將發現傳統之顯微分析技術難以提供解達。然而，沒有被觀察到的不代表不存在，尤其當代材料與元件的發展是奈米/次奈米化、低維度化以及複雜化同時發生，材料內部細微的變化未能被探知，故失去正確理解並模擬材料性能之機會。

本研究計畫之重要性在於建立我國第一個學研單位能夠使用的 APT 設備與平台。但我國僅有台積電設置有一部 APT 設備，而世界上目前已經有超過 100 台的 APT 儀器，而材料研究大國如美國、英國、德國、比利時、日本、韓國、中國、澳洲...等都購置有多台 APT 設備於大學或研究中心，我國在這個領域的發展雖然較慢，以我國在材料與固態物理研究的蓬勃發展，除了尖端晶體材料研究計畫外，還有 A 世代半導體計畫等重要計畫，另外材料相關之高教深耕研究中心也相當多，設置一個公開的 APT 研究與服務平台來輔助我國各種材料的分析與研究非常重要的。此外，APT 之影像數據是一種三維的大數據，在基礎教育上能夠培育學生以數

學以及程式來分析材料的內空間特徵，並且更容易連結其他模擬技術，因此本計畫認為 APT 技術以及它的數據分析能夠成為數位教育上的重要案例。

常見的二維實際空間(real space)顯微顯影技術有兩個做法，(1)以探針掃描；(2)以透鏡放大。前者是將探針擷取的訊號以單一像素(pixel)順序紀錄的方式來建立影像，而後者則是利用透鏡來收集訊號並同時記錄在影像中的每一個像素。至於三維顯影的需求，則可以在二維顯影術上加入樣品旋轉的機制來達成。目前無論國際上或國內，皆有團隊專精於以探針技術為主的掃描式穿隧顯微鏡(scanning tunneling microscope; STM)、掃描式電子顯微鏡(scanning electron microscope; SEM)、掃描式光電子顯微鏡(scanning photoelectron microscope; SPEM)、掃描式穿透 X 光顯微鏡(scanning transmission X-ray microscope; STXM)、和原子力顯微鏡(atomic force microscope; AFM)，或是以透鏡為主的穿透式電子顯微鏡(transmission electron microscope; TEM)、穿透式 X 光顯微鏡(transmission X-ray microscope; TXM)、和光電子顯微鏡(photoemission electron microscope; PEEM)等方式進行。

另一方面，檢測物質特性的常見作法是以光譜分析的方式來進行；藉由量測樣品在受到不同頻率/能量的光或電微擾後所出現的特徵反應；如晶格的震動和旋轉、光子的吸收或再發射，來鑑定受測樣品在選定能量範圍內之特徵電子能階結構。目前國際上或國內，在螢光與拉曼等雷射光譜術(fluorescence and Raman spectroscopy)、X 光吸收與發射能譜術(X-ray absorption and emission spectroscopy)、光電子能譜術(X-ray photoemission spectroscopy)、角解析光電子能譜術(angle-resolved photoemission spectroscopy)、和彈性與非彈性 X 光散射能譜(elastic/inelastic X-ray scattering spectroscopy)等技術亦皆有技術專精的團隊在以之進行相關研究。

由於顯微/顯影術和光譜分析技術都有類似的光源照射和數據擷取機制，所以將兩者結合在同一儀器上進行能譜顯微(spectro-microscopy)或是顯微能譜(micro-spectroscopy)的分析已被認為可行。目前國內在台灣大學的光電工坊與國輻中心的顯微實驗站是少數幾個已經建立起一定基礎的研究團隊。但是國內至今尚付之闕如的實驗技術是將相關的顯微技術從實際空間延伸到動量空間(momentum space)，並加入時間解析的能力。這個整合技術在國際間也是剛起步，如能重點發展，整合國內數個擁有個別技術的學

研單位，有機會在技術上取得領先，協助拓展新世代科技。

自然處提出上述之前瞻服務平台計畫，最重要的創新是來自國內研究團隊的突破核心技術，並以目前國際研究領域發展最前沿的儀器做為發展基礎來開拓。

(1)在 Atom Probe Tomography 原子針尖斷層影像儀計畫中，將基於團隊過去豐富的研究經驗，開發「異質結構之重構失真校正技術」，此項分析技術為重要的分析軟體，將可以使台灣學研界，除了擁有最先進的 APT 儀器之外，更具有最先進解析能力的解讀分析技術，並應用於半導體材料及先進低維材料檢測技術等。此外，就樣品分析能力技術而言，團隊將開發新型「S/TEM-APT」共用載台之分析技術，此項突破技術將能結合 3 維 APT 分析儀器與傳統的 S/TEM 電子顯微儀搭配，更具包容性與單一樣品同時進行各種交叉量測的多功能性。

(2)在「尖端能譜量測平台」計畫中，將以高解析的電子能譜儀用以搭配台灣領先國際的光源設備：同步輻射光源、多波段極高時間解析脈衝雷射光源，藉由光電子的實空間、動量空間及時間解析，了解材料內部的精細電子結構與其動態變化。由此可知，此計畫的突破技術點在於將前沿電子能譜儀設備結合多面向的先進光源，這樣的跨域合作將結合台灣頂尖的表面物理及光學物理領域專家，以疊加的前瞻技術創造新的核心價值。

3.科學效益

未來計畫研究團隊在核心設施儀器建置完成，核心技術發展的同時，也將規劃成立量測服務平台。量測服務將因應儀器特性，規劃可能以委託及合作兩種模式進行。委託案件將由計畫團隊派員完成量測分析；合作案件則每年分配固定的實驗時段，由用戶團隊派出研究人員或學生參與量測，由計畫團隊提供相關教學訓練，並協助其人員執行實驗與實驗數據之分析討論。不管是委託或合作模式皆能提升台灣研究團隊在學術論文發表及產業研發上的品質與優勢，其中合作模式更能進一步培養相關科技人才。此類尖端跨領域材料分析實驗室將協助突破我國在開發關鍵半導體零組件、功能性材料與元件、及量子科技所遭遇的瓶頸。此科技設施及核心實驗室亦將提供國內外學研產界關鍵頂尖技術服務。

4.產業應用效益

整體總計畫完成後，將從技術開發及分析鑑定等高階研究皆有整合開發的經驗，國內學界和產業界能有豐富的相關人才和開發經驗。透過本計畫的執行，期望在半導體物理極限突破後之產學相關應用平台能佔有領先地位，國科會（自然處）於本計畫中除於學術單位中擔任督導角色外，也做為橫向資訊交流平台和產業商機媒介角色，帶動整體向上提升。

5.目前國際現況以及計畫執行規劃比較

項目	我國現況	執行後	國際現況	領先技術概況
APT, LEAP 數量	1 (TSMC) 0 (Open Source)	1 (TSMC) 1 (NTU/TSRI) LEAP 5000 XR 高階設備	>100 APs 在 IMEC、Samsung、KIST、POSTECH、Fraunhofer IWKS、USyd、NIMS 都有半導體相關研究。	Cameca Inc.最新產品為 LEAP 6000 (2021 年底發表)
重構校正技術	與台積電完成部分程序，Si/SiGe Interface (低場差重構校正)	將於本案配合半導體發展持續精進，Si/TiN or MRAM Interface (高場差重構校正)	僅 Cameca Inc. 公司與 Max Planck 表有相關程序。	Density Relaxation 法(已經整合於商用軟體中)
APT Microtip Array	無	由 TSRI 試製，可配合 TEM 載台。	除 Cameca 原廠外，僅 USyd 發表有相關技術與產品。	Cameca 之標準載台 (無法配合 TEM)
APT-TEM Correlation holder	無，間接得知台積電嘗試開發，但目前現況不詳。	目標由 NTU 與 Fishione 共同研發，以半導體元件為發展目標。 APT + Cs-HRSTEM (Resolution: 0.06 nm in 2D image)	Fishione 販售有泛用型 APT-TEM Correlation holder, USyd 則開發有自用之載台，台灣計畫主持人為參與者。	泛用型 APT-TEM Correlation holder
時間解析角析式光電子能譜 (tr-ARPES)	(1)時間解析度：~300 fs (2)EUV 光脈衝能量範圍：30 - 70	(1)時間解析度：<200 fs (2)EUV 光脈衝能量範圍：30 -	目前國際上的 Tr-ARPES，因各研究團隊研究課題的差異，時間解析	本計畫規劃之時間解析角析式光電子能譜儀完成後，可提供寬廣的激發條件(200

		eV (3)動量空間解析度： ± 0.4 (1/Å) (4)激發光波長範圍：200 nm – 2 μm (5) 時間解析角析式光電子能譜(tr-ARPES)的 EUV 探測光源入射光通量： 10^{11} photons/s (Review of Scientific Instruments 94 (2023) 055106)	300 eV (3)動量空間解析度： ± 1.07 (1/Å) (4)激發光波長範圍：200 nm – 16 μm (5) 時間解析角析式光電子能譜(tr-ARPES)的 EUV 探測光源入射光通量： $> 10^{13}$ photons/s	度約為 100 as ~ 500 fs，能量解析度約為 10 - 300 meV，使用之激發雷射光子能量為 10 meV 至 10 eV。因雷射光源與物理上的限制，並沒有任何一個 Tr-ARPES 系統能夠包括所有的實驗條件。	nm – 16 μm)及足夠的 EUV 光源亮度(光通量 $> 10^{13}$ photons/s)，大幅縮短量測時間及增加訊雜比。此規格已進入國際上此一領域的領先群中。目前國際領先團隊為 2×10^{10} photons/s
時間解析光電子能譜 (tr-PES)	無		(1)時間解析度： < 30 ps (2) X 光能量範圍：200 - 3000 eV	現階段國際間在使用及發展時間解析光電子能譜術的同步輻射設施及其時間解析分別為德國 BESSY II 約 60 ps、法國 SOLEIL 約 50 ps、日本 Spring-8 約 50 ps、UVSOR 在 μs 範圍。	本計畫規劃之時間解析光電子能譜儀完成後，能量範圍可達 200 eV 至 3000 eV，全能量範圍之能量解析力皆大於 10000，光子數量大於 10^{13} 且光斑大小為 $10 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ ，時間解析約為 < 30 ps。所有數據皆顯示這將會是一個領先國際的多功能時間解析光電子能譜術實驗系統。
<p>6.分年預計達成之量化技術規格為：</p> <p>111 年：完成原子針尖斷層影像儀建置及具實空間、動量空間及時間解析之尖端能譜量測平台初步技術開發及服務。</p> <p>112 年：FIB 試片製作服務與數位影像實驗室建置，矽基半導體摻雜校正技術，MRAM 元件與化合物半導體(GaN)整合性研究技術開發等。時間解析角析式光電子能譜量測技術開發</p>					

	<p>及提供服務。</p> <p>113 年：Si 與 GaN 半導體摻雜校正資料庫開發、MTJ 界面、AlGaIn 非均性研究等。升級時間解析角析式光電子能譜，完成飛行時間解析光電子能譜儀技術開發。完成多通道式鎖相放大量測技術的設計及建置，將可提升時間解析可見光及紅外光吸收光譜的訊雜比 1~2 個數量級。</p> <p>114 年：Microtip 載座自製技術，化合物半導體、無機鈣鈦礦量子點材料性能研究、3 nm 製程(或以下)半導體元件整合性研究。提供時間解析角析式光電子能譜、時間解析光電子能譜量測服務，提供高訊雜比的時間解析可見光及紅外光吸收光譜量測服務。</p>
<p>前瞻半導體臨場檢測技術建置</p>	<p>非破壞性的高空間-時間解析半導體臨場檢測技術是次世代半導體技術突破的主要關鍵之一，主要係因隨著半導體晶片逐漸往 3 奈米或以下的技術方向發展，薄膜樣品是半導體及光學元件最重要的應用型式，薄膜越做越薄，甚至發展為單層二維材料，這些材料需要更強光源，更有效率的偵檢器，更多自由度，以及更精密的材料外加環境控制，以加速完成新穎元件的開發。此外，半導體材料中(尤其為金屬氧化物層)的缺陷濃度一直以來為探測的難題，薄膜內的缺陷會導致電荷被束縛而增加元件的漏電現象，隨著半導體製程愈趨先進，積體電路對於缺陷的容忍度也越來越低。故，如何以非破壞的方式，精準分析元件內各層超薄薄膜的晶體結構、界面型態與電子能帶，提供晶片材料特性與結構的設計基礎，成為次世代半導體技術突破的主要關鍵。</p> <p>為因應未來 3 奈米或以下的半導體製程元件結構檢測，及相關二維材料研發及性能測試需求，本計畫規劃運用台灣光子源高空間解析度、高時間解析度、同調性光源等特色，建立非破壞性的高空間-時間解析力的前瞻實驗技術，扮演最精細、敏銳且溫和的光眼(相較於電子顯微鏡的高能電子束)，提供精準標靶式 X 光檢測技術，能精準從奈米元件的區塊中檢測出原子級的缺陷、電子傳遞特性，也能進行大區塊的結構及缺陷搜尋掃描。</p> <p>本計畫所規劃開發的半導體臨場檢測技術，為尖端精準標靶 X 光探測技術，也是非破壞性高空間-時間解析半導體材料分析工具，包含半導體二維薄膜繞射檢測技術及半導體臨場高階 X 光電子能譜技術，是目前現有國內所未有、尚待研發的探測技術，可在下世代 3 奈米或以下之半導體元件及原子層二維材料研發中，扮演快速且即</p>

時的結構資訊探測、解讀，以作為回饋半導體奈米元件製程參數的快速修正改進及新二維材料研發的利器，將有機會縮短國內在半導體元件奈米微縮的製程技術研發

半導體二維薄膜繞射檢測技術透過特別優化偵檢器系統及相關系統，包含使用快速讀取、高解析度且大面積的二維平面偵檢器，針對半導體及光學元件最重要的薄膜樣品，可提供更強的光源、更有效率的偵檢器、更多的自由度，以及更佳的外加環境控制。配置各種非常態臨場設備，尤其合適於模擬半導體製程中如退火條件與半導體材料的相變化效應及缺陷的影響。此外，由於樣品載台使用六軸高自由度精準選位系統，可以準確的選取半導體表面各區域進行量測分析，便利於進行薄膜樣品選區(mapping)繞射實驗，也特別適合以極低掠角的方式進行超薄薄膜的 X 光繞射技術分析，可快速、有效、準確地解析薄膜的結構、成份比例、密度、缺陷濃度以及介面型態等重要資訊，是國際間少數能夠提供如此高彈性實驗選擇與強大半導體應用潛力的實驗站。

半導體臨場高階 X 光電子能譜技術是全世界少數具有非破壞性檢測、高價態分辨率且靈敏度可達 5 奈米厚度以下，並針對半導體應用設計樣品量測腔體、電場、退火等半導體專門量測環境與設備，以避免交互汙染，由於具有多樣化的臨場(動態量測)實驗站配置的硬 X 光能譜設施，易於臨場觀測二維材料的價態、電子組態、電性、結構等變化，更可以對二維材料的奈米元件進行非破壞性量測(相較於 TEM)，可以大幅縮短發展次世代電子元件的過程。此外，透過使用更換主腔體具有室壓與高真空兩用的不同實驗，其中室壓實驗預計可以操作在 0.5 大氣壓下，可量測液態樣品或是固液介面，對於半導體的 CMP 製程或是光阻等有機物材料的開發有所幫助。例如在 CMP 研磨矽晶圓去除氧化矽的過程中，可以藉由量測氧化矽的特徵峰與強弱變化，藉以了解研磨液移除氧化矽的效率與移除過程，由此開發新的化學研磨液或是改善 CMP 製程條件。另一高真空實驗規劃為半導體材料與製程開發檢測腔體，預計操作在超高真空之下，實驗腔體建置多種臨場環境，例如外加電場、溫度控制等，對於半導體材料開發與電子元件特性量測提供靜態與動態不同的實驗方法，藉由多樣化的實驗方法快速的幫助研究人員開發次世代半導體材料或是改善製程上的參數，縮短研發時程。

本計畫所建立半導體臨場檢測技術，能夠有效的分析氮化鎵薄膜半導體，標示缺陷區塊以及組成與結構分析，並且可即時觀察薄膜材料於真實製備過程中所產生的特性行為變化，有助於改善半導體

製程良率的提升和製造成本之下降。在製程上，半導體臨場檢測技術的應用也非常廣泛，能以非破壞性的分析方法探討材料的各種結構特性，包括晶相的定性與定量分析、結晶度分析與殘餘應力的分析，甚至可以在不同環境下進行分析，如高低溫、壓力與濕度等，對半導體產業來說是一種既便利又極為重要的分析工具，其重要性無庸置疑。目前 X 光繞射技術發展至今已經非常純熟，而半導體二維薄膜繞射技術進一步提供更精細結構分析，更大量且快速的數據收集與分析，以及多種臨場的原位 X 光繞射實驗設備發展，以協助國內半導體產業突破現有的瓶頸，取得關鍵技術。此外，由於硬 X 光具有高穿透率的優點，在薄膜樣品有極大的應用優勢，本計畫結合光源設施優異特性、實驗技術以及多種半導體臨場實驗環境系統建立半導體臨場檢測技術，在半導體應用上，將是國輻中心與半導體廠商主要合作的重要量測技術，提供其開發次世代半導體製程與元件時重要的製程參數，對於引領台灣半導體產業升級與拓展研發量能均有極大的助益。

本計畫執行前後的技術現況以及與全世界最先進技術的比較：

計畫執行前 技術現況	計畫執行後 技術現況	國際類似功能實驗站 (丹麥光源 DanMAX)	全世界最先進技術
1. X 光點大小約 $1 \times 1 \text{mm}^2$ ，flux 約 10^{10} 。 2. 偵檢器 MAR345 讀取速度約 100 秒且面積較小，pixel size $100 \times 100 \text{um}^2$ 。 3. 樣品載台擁有 XYZ 三軸。	1. X 光點大小約 $300 \times 300 \text{um}^2$ ，flux 可達到 6×10^{11} 。 2. 偵檢器 frame rate 達 25Hz，pixel size $75 \times 75 \text{um}^2$ 。 3. 樣品載台使用六軸高自由度精準選位系統，可以準確的選取半導體表面各區域進行量測分析，便利於進行薄膜樣品選區 (mapping) 繞射實驗，也特別適合以極低掠角的方式進行超薄薄膜的 X	台積電每年均有委託國輻中心量測高能 X 光光能譜，但是由於舊有的設施無臨場量測功能且時間稀少與交通不便(舊有設施在日本)，所以在新設施已加入臨場量測功能。	1. X 光點大小約 $1000 \times 1000 \text{um}^2$ (可變)，flux 約 $6 \times 10^{11} \sim 10^{12}$ 。 2. 偵檢器 frame rate 達 250Hz，pixel size $172 \times 172 \text{um}^2$ 。 3. 樣品載台使用六軸系統。

光繞射技術 分析。 (預計 113 年 度進行測試後 更新結果。)		
---	--	--

本計畫每半年預計達成之量化技術規格為：

110.06：(1)半導體二維薄膜繞射檢測技術之光學元件概念設計
(Energy range：10 – 30 keV；Flux： $\geq 1 \times 10^{11}$ photons·s⁻¹；Energy resolution ($\Delta E/E$)： $\leq 2 \times 10^{-4}$ with Si (111) crystal；Beam size： $\leq 300 \times 300 \mu\text{m}^2$ (H × V, FWHM)；High-order harmonics (flux_{3rd} / flux_{1st})： $\leq 10^{-4}$ ；Beam divergence (in vertical direction)： $\leq 5 \times 10^{-4}$ rad)。

(2)半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗站概念設計(Energy range：3 – 10 keV；Energy resolution： ≥ 300 meV；Beam size： $\leq 10 \times 10 \mu\text{m}^2$ (H × V, FWHM))

110.12：半導體二維薄膜繞射檢測技術概念設計(半導體薄膜結構分析至少 10nm 厚度薄膜)。建造涵蓋 X 光能量範圍 10keV 與能量解析度可達 50meV 光電子能譜實驗站。

111.06：二維平面偵檢器規格 pixel size 75×75um²。

111.12：建置輻射屏蔽屋(含水氣電力系統)。

112.06：大型光學元件(準直鏡、雙晶體單光儀及聚焦鏡等)現場安裝測試。

112.12：實驗站系統現場安裝：進行光源整合及半導體二維薄膜繞射實驗站建置與設備測試，關鍵性指標樣品載台平移重複性精度達±0.2 μm，樣品至偵檢器距離可調性 10-1200cm。

113.06：光束線出光: X 光能量 10-25keV，能量解析度 2×10^{-4} 。

113.12：實驗站系統整合及試車，半導體二維薄膜繞射實驗站光點大小 300×300 um²、高能 X 光光電子能譜實驗站能量範圍可涵蓋 0-10keV，能量解析度可達 50meV。

114.06：開放用戶使用。

國輻中心長期與產業界密切合作，例如「台積電同步光源虛擬實驗室」以及汎銓科技的「元件失效與材料特性分析」合作案等，都是利用 X 光繞射技術來針對薄膜半導體或光電半導體進行研究，薄膜

厚度從數奈米到數十微米都可獲得良好訊號，業務客群包含晶電、穩懋、聯享光電、工研院等。與台積電的合作計畫已經邁入第七年了，特別是本計畫所發展的半導體臨場檢測技術是特別優化適合進行半導體薄膜實驗，預期可滿足產業界對次世代半導體原位元件工作態下的結構檢測需求。

本計畫所發展半導體臨場檢測技術與設施，後續均由國輻中心進行運轉維護管理，所需經費由「國輻中心業務推動與設施管理」科技發展計畫支應，負責維持設施之正常營運與共通性事務之順利執行，設立友善便利的服務窗口，提供優質的研究環境與服務，並完善執行輻射安全相關設施之運轉與功能提升，使國內外研究人員能於國輻中心安全順利的進行各項基礎研究與創新實驗。

在設施開放使用後，國輻中心提供用戶服務，及負起人才的培育及科學研究與產業的連結。因此，設施使用時段分實驗服務、運轉維護、科學合作研究、教育訓練、產學推廣等五大面向規劃營運。

- 「實驗服務」面向：提供國內外用戶申請使用進行科學研究，申請方式採公開徵求，經國輻中心計畫審查委員會審查獲選後核定時段使用，由於所發展技術為世界級尖端且新穎規格，為免用戶缺乏使用經驗以致於無法有效利用，中心將有用戶支援團隊提供用戶實驗指導，以提升設施使用效率及實驗成功率。
- 「運轉維護」面向：除定常性維護外，很大部分在進行同仁後續技術開發升級及技術引進，目的在持續發展實驗技術與進行設施優化，使設施除可正常運轉外，對於困難的研究課題也能提供適當的解決方法，避免因經年使用後不合時宜。
- 「科學合作研究」面向：提供同仁進行自主與合作研究。
- 「教育訓練」面向：每年針對年輕用戶與研究人員舉辦研習營及訓練課程，對於實驗技術原理與數據處理分析進行深入教學與實作，培育國內的光源應用專業人才。
- 「產學推廣」面向：藉由優異的實驗技術及相關服務支援，預期可吸引到產業用戶付費使用。

此外，對於大型共用研究設施，國輻中心每五年提供設施績效評估報告，邀請外部專家審核評鑑，針對資源投入、成果產出、執行績效及研究社群需求度等評估運作效益，檢視設施運用是否達成目標及績效，作為繼續執行或改進的依據；此外，亦將配合性別平等相關法規，在設施開放使用後，合宜收集用戶性別使用統計資料。

三、達成目標之限制、執行時可能遭遇之困難、瓶頸與解決的方式或對策

細部計畫	執行時可能遭遇之困難	解決方式與因應對策
<p>前瞻半導體製程臨場檢測設備研發</p>	<p>目前本土在高階儀器設備的研發投入較輕，多著重於製程方法與材料的優化，且高階儀器設備的核心模組研發成本高昂且需要長年經驗來逐步累積。所幸我國地狹卻擁有大量優秀學術研究人力與工程人才，透過聯盟聚落之組成各司其職，將能較國外大廠有更高的研發機動力，高速解決各種困難節點。藉由國產自製半導體設備的核心引擎，可協助國內各方產業進入高附加價值之半導體製程設備供應鏈。</p>	<p>透過本計畫先進研究環境的驗證，協助國內半導體產學研界引入更多具創意性的研究構想與實務驗證，降低學用落差，協助半導體相關領域碩博士研究生參與研發轉譯、創業構想形塑商品化，培養創新研發能力，並實踐校園創業精神。</p>
<p>建立前瞻材料物性化性功能高解析技術</p>	<p>在國際晶片荒等因素，國外廠商對於重要中大型研究設備(特別是客製化儀器設施)偶有無法如期履約交貨之情形。</p>	<p>後續在計畫執行期間將持續與相關廠商溝通確保儀器進度。</p>
<p>前瞻半導體臨場檢測技術建置</p>	<p>購案決標後，因受國際疫情影響，部分國外進口零組件及晶片發生未能如期履約或短缺的情形，除對於廠商加緊購案進度追蹤，積極督促購案執行，另亦依合約規定罰則扣款。</p>	<p>提醒廠商務必確認庫存與交貨期，以避免影響計畫進度。另為預防國內外疫情起伏衝擊，對購案須提前規劃及執行，排除延遲到貨的風險，降低對計畫執行的影響。</p>

四、與以前年度差異說明

年度 差異項目	112-113 年度	114 年度
核心技術規格 項目	自然處核定之專題計畫中新增原子針尖斷層影像(Atom Probe Tomography)的技術開發與設置之項目。本技術將提供材料內空間高空間解析度及高偵測極限之三維元素分佈。相關整合技術可針對相關半導體材料元件等提供先前未來獲得的三維內空間解析，以啟發學研產業對材料製程、結構、性能之新洞見。	(無差異)
核心技術文字	自然處核定之專題計畫因應技術聚焦，變更為「高時間解析能譜術的開發與設置」。	(無差異)
執行重點	設備/元件到貨現場組裝以及出光測試完成建造。	設備/元件完成建置，持續出光測試並開放實驗團隊申請使用。

五、跨部會署合作說明

本計畫無跨部會署合作。

六、與本計畫相關之其他預算來源、經費及工作項目

預算來源	經費(千元)	工作項目
科技發展	0	
公共建設	0	
基本需求 (部會施政+社會發展)	0	
其他(如作業基金)	0	

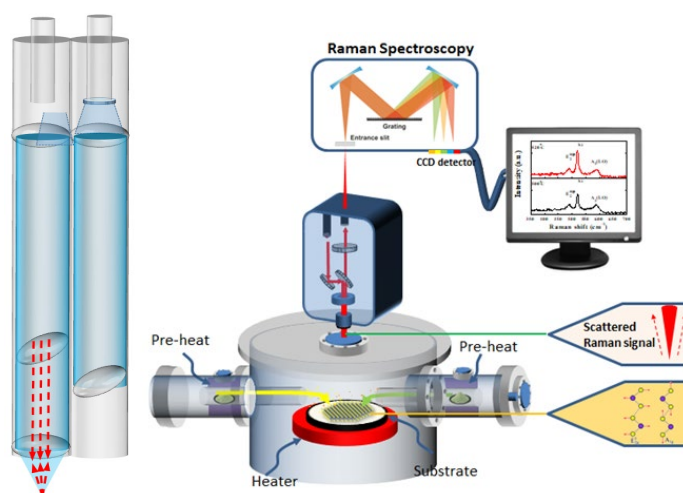
肆、前期重要效益成果說明

一、分年度重要執行成果

(一) 前瞻半導體製程臨場檢測設備研發計畫

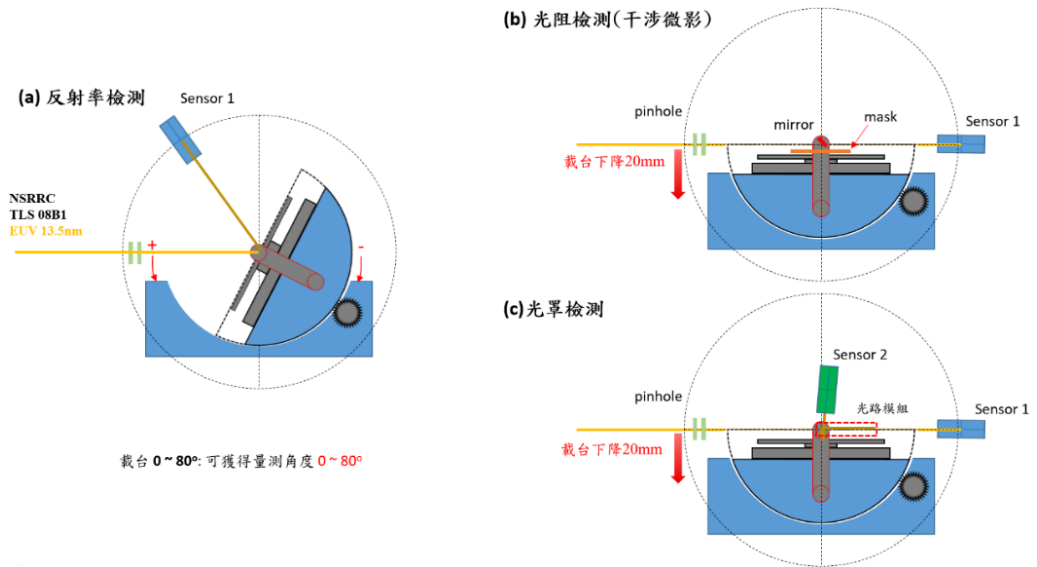
110 年度：

1. 二維材料薄膜生長的穩定性會直接影響成膜品質，本計畫採用適於動態量測之雷射拉曼臨場監控模組進一步分析 2D 材料缺陷以及表面生成物 (即氧化物、氮化物、氯化物、硫化物) 等特性以即時回饋製程參數調整提高良率。另採用拉曼探頭組 (含分光鏡與濾光片等鏡組) 進行擇區量測，同時搭配散熱套筒，以避免高溫時導致腔體內不易散熱而導致過溫。分析設備系統需求模組組件共包括高功率雷射光源與擴束器、分光光譜儀、電耦合偵測器(charge coupled device, CCD)等，開發之拉曼臨場監控光學路徑、組件與系統架構。



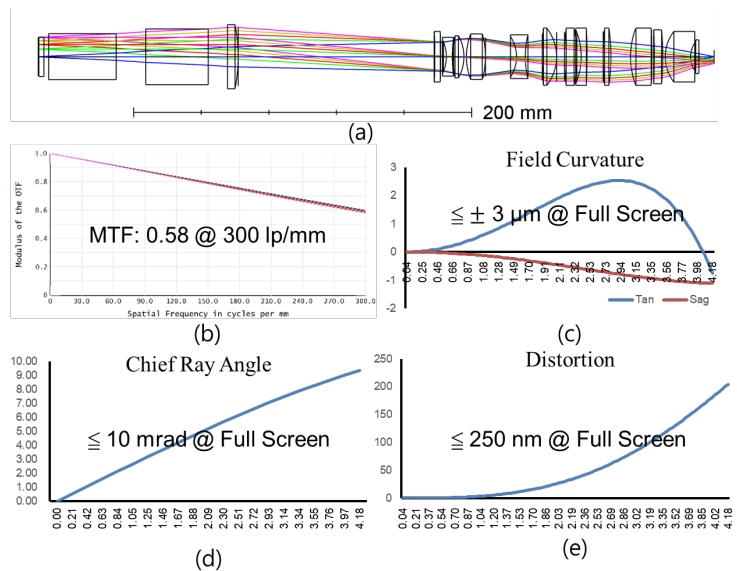
平底圓柱形石英套管以及拉曼臨場監控光學路徑、組件與系統架構

2. 多功能式 EUV 微影元件檢測平台腔體設計與建置計畫與台大蔡坤諭、李佳翰老師及中央郭倩丞老師合作，整合 EUV 光阻、光罩與反射率檢測功能所需之光路模組，進行 EUV 微影元件檢測平台系統設計與建置。現階段已完成各檢測模組光路整合、檢測動作機構設計與腔體設計初步規劃。



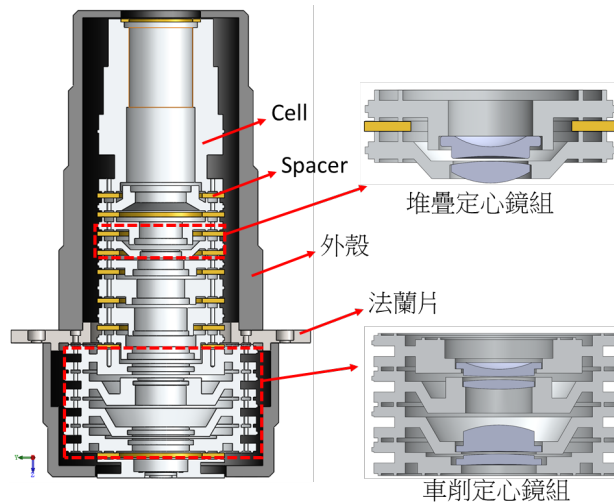
(a) 反射率檢測、(b) 光阻檢測與(c) 光罩檢測模組光路示意圖

3. 設計開發無光罩曝光機關鍵核心引擎，完成光學品質驗證後，開始進行鏡片製作與組裝的容差分析，在不考慮組裝公差的情況，其光學成像品質非常接近一開始的理想設計：MTF 為 0.58 @ 300 lp/mm、Chief Ray Angle ≤ 10 mrad、Distortion ≤ 250 nm、Field Curvature $\leq \pm 3 \mu\text{m}$ 。



無光罩曝光機關鍵核心引擎，重製部分鏡片與補償後之投影鏡頭光學品質。(a) 系統光路圖、(b) MTF 曲線、(c) Field Curvature 曲線、(d) Chief Ray Angle 曲線以及 (e) Distortion 曲線

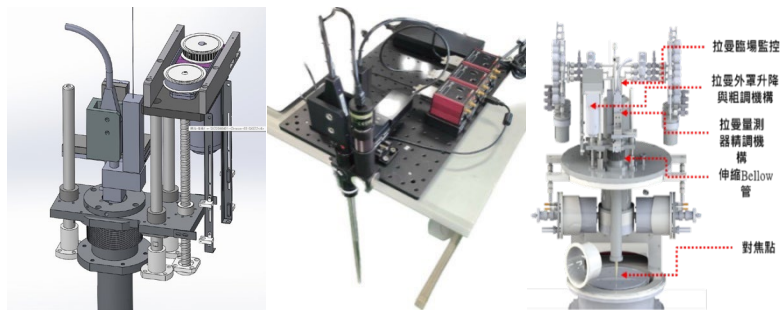
4. 無光罩曝光機於鏡機構設計的部分，為了減少組裝誤差對於成像品質的影像。部分鏡片以翼型結構設計，因此機構的鎖固應力不會傳導至鏡片有效範圍。從分析結果得知，鎖固應力對於鏡頭成像品質影響甚微（僅 2%）。



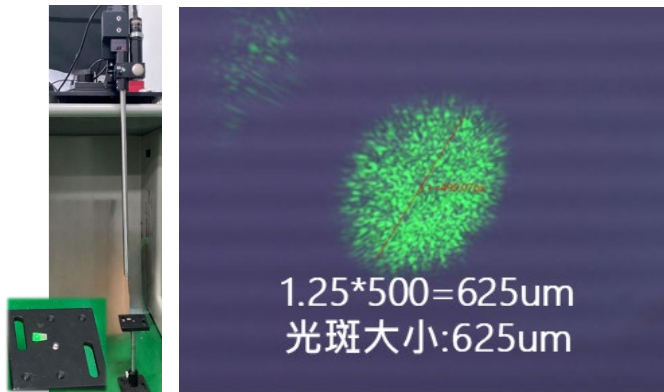
無光罩曝光機關鍵核心引擎機構設計剖面圖

111 年度：

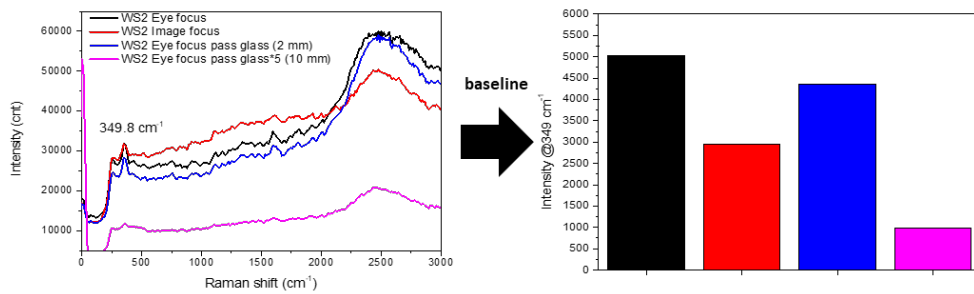
1. 完成拉曼臨場模組與微距平台進行整合設計，涵蓋了 XYZ 軸向調整（移動解析度： $<1\text{ }\mu\text{m}$ ），同時更改設計延長拉曼量測工作距離至 10 cm，以防止對製程氣流密度造成影響。另，將整合完成之拉曼模組進行檢測測試，測得其最小光斑約為 625 μm ；同時光譜資訊在不同樣品下，均可檢測其拉曼訊號。然而，探頭於真空中為了避免鏡組表面被製程氣體影響而導致汙染，因此在設計上會由一透明視窗進行封合，在樣品上加裝石英透鏡後雖會減低拉曼強度，但仍然可檢測其拉曼訊號，說明該拉曼臨場檢測模組已可應用於製程中進行量測。



拉曼臨場檢測模組與系統整合示意圖

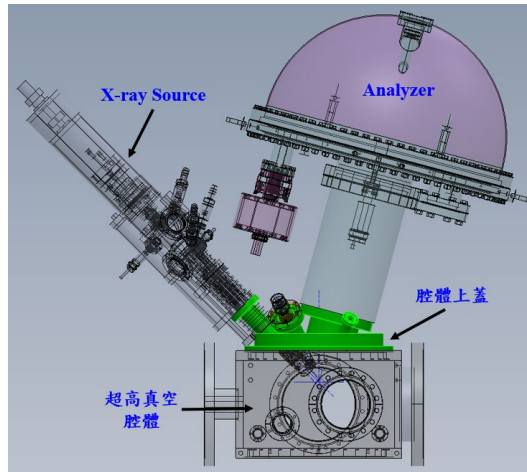


拉曼臨場檢測模組實機雷射光斑測試圖

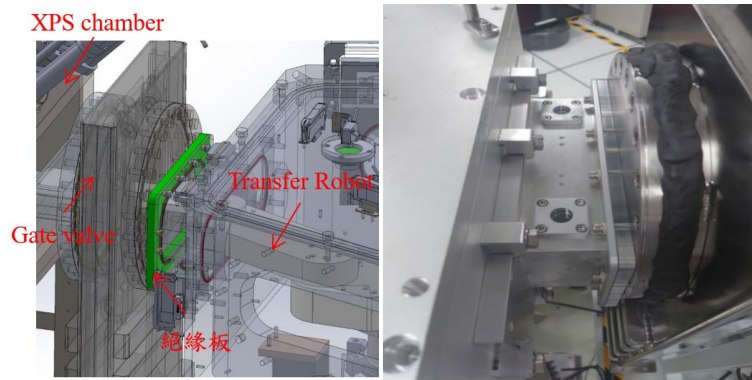


不同樣品與模擬拉曼探頭真空封合測試結果

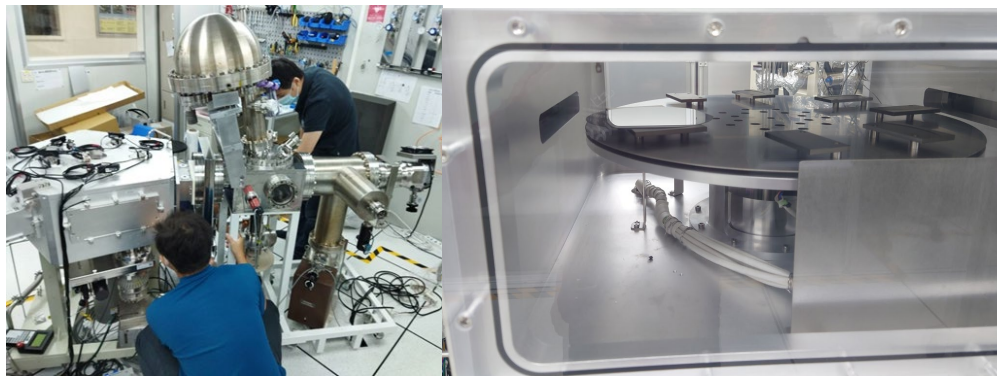
2. 完成建置 XPS 超高真空腔體與安裝 X 光源，其中包含超高真空腔體的設計與製作、晶圓傳輸測試以及 X 光源的功能測試。



超高真空腔體與分析模組銜接上蓋設計



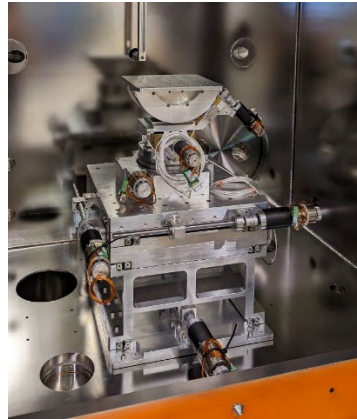
傳輸平台絕緣銜接 port 設計(左)與組裝(右)



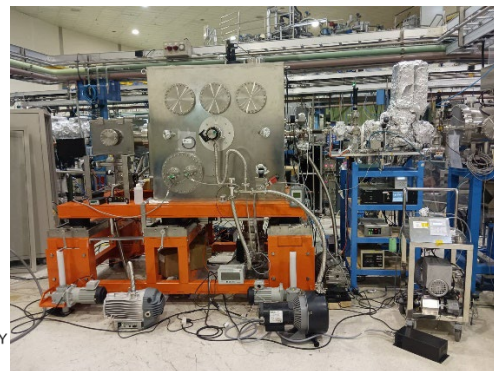
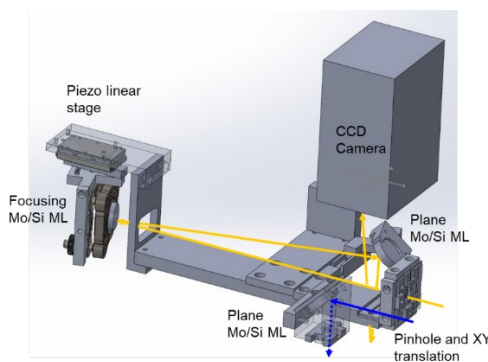
XPS 腔體與傳輸腔體 docking 與 6 吋晶圓傳輸至 XPS 模組測試

3. 完成多功能式 EUV 檢測腔體內高真空移動平台建置與光罩檢測模組設計與製作。高真空移動平台除 XYZ 方向移動以外，同時具備沿 XYZ 三軸向旋轉 (Pitch、Roll、Yaw)，共計六軸。多功能式 EUV 檢測平台所用之光罩檢測方式為 Coherent Scatterometry Microscope (CSM) 方法，為了使本檢測平台具多

功能檢測模組，將光路機構連結一起，並搭配滑軌滑塊設計，使其可進行模組式功能切換，並嘗試將系統與同步輻射光源進行銜接，調整光路並抽真空達到所需真空度。

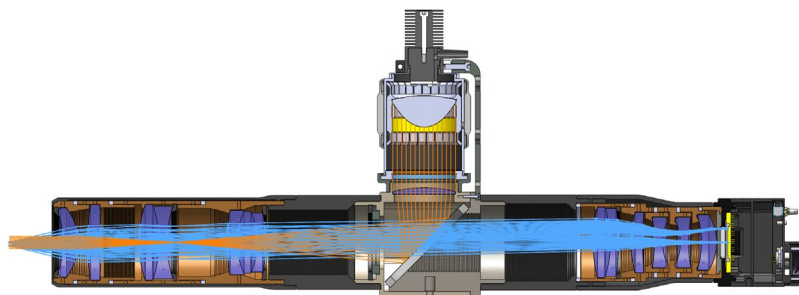


六軸高真空移動平台於腔體定位

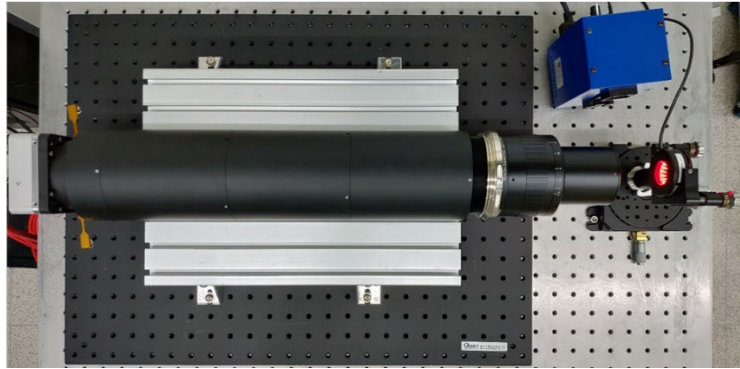


EUV 多功能檢測平台光罩檢測光路設計與銜接同步輻射光束線

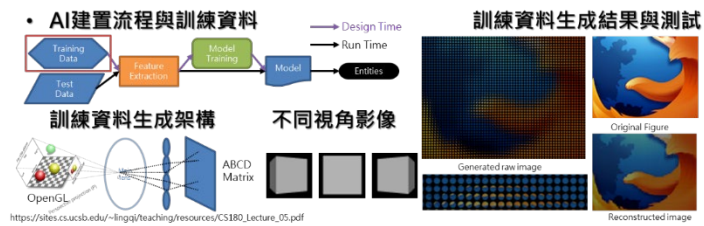
4. 完成可見光波段光場成像系統（工程體）之系統細部設計與分析，含鏡頭+光圈+同軸光源模組+MLA+影像感測器之光學設計與容差分析。根據鏡片材料量測所得光學參數微調之光學設計與鏡片及機構設計，完成可見光工程體精進版之具有可調光圈與同軸光源的 3D 光場成像系統的組裝調校與取像測試。



可見光 3D 光場成像系統 (工程體) 之系統細部設計與分析

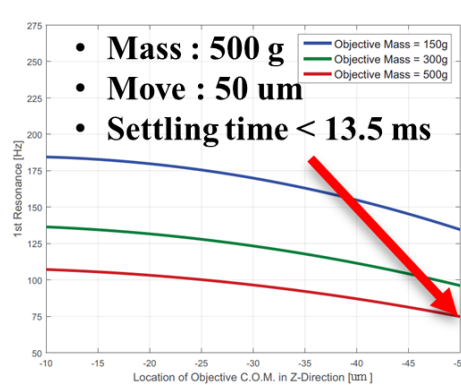


3D 光場成像系統實驗架構圖與實體圖



AI 建置流程及訓練資料模擬的架構與初步模擬結果

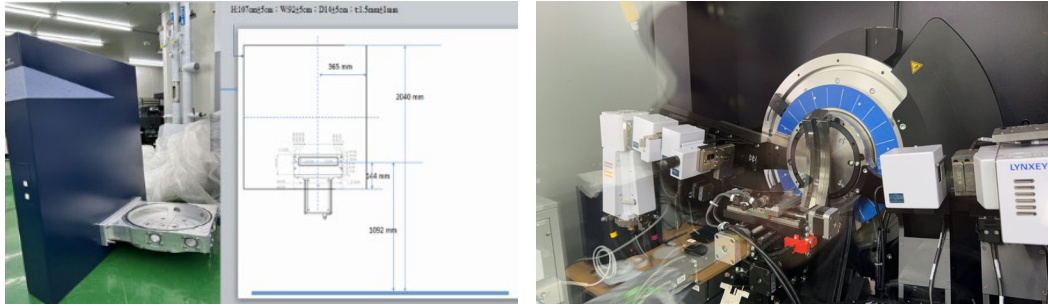
5. 無光罩曝光機完成直曝鏡頭組裝與測試、對焦補償功能之測試與驗證，以及曝光光源測試與功能驗證。直曝鏡頭的組裝偏心誤差 < 22 角秒，鏡間距誤差 < 2 μm 。符合曝光光學品質要求。



無光罩曝光機對焦補償功能驗證測試數據

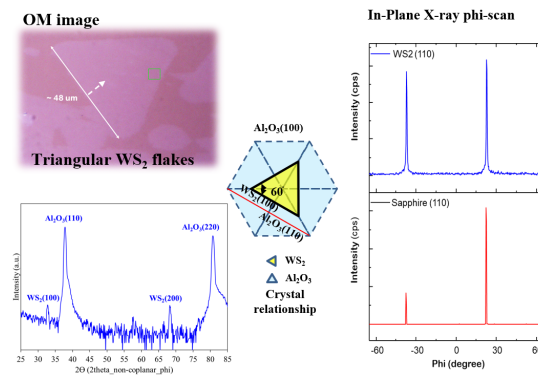
112 年度：

1. 完成與叢集式腔體整合之銜接模組，機邊量測垂直面低掠角 X 光繞射儀 (in-plane GID XRD)，可藉由 XRD 量測二維薄膜材料的晶體結構資訊，為一即時且非破壞性之檢測設備。除了傳統量測法向量面的 Coplane 模式，另可量測垂直面的 Non-coplane 模式，可即時切換模式對不同晶面進行量測。



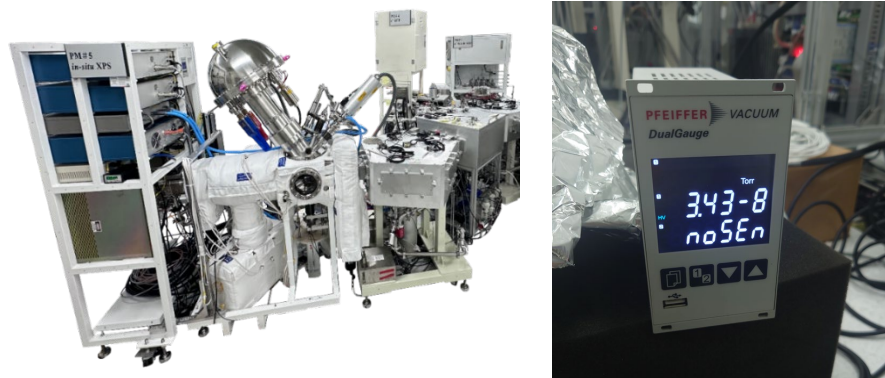
X 光線上/機邊量檢測叢集式腔體整合之銜接模組與機邊量測垂直面低掠角 X 光繞射儀

2. 完成建置 X 光線上/機邊檢測模組進行材料微結構鑑定，及二維材料不同試片之量測，確認二維材料成長與基板相關性，同時建立二維材料成長機制資料庫，晶體尺寸已達 $> 48 \mu\text{m}$ ，且趨於單一方向排列，後續利用 IP-XRD 進一步驗證二維材料與基板間之磊晶關係，加速我國提高半導體先進製程研發能力與國際競爭力，並落實成為產業應用於叢集式系統之二維材料沉積設備與即時/線上監控模組，此成果預計導入產業製造現場應用，協助國內產業實現半導體先進製程國產設備開發。



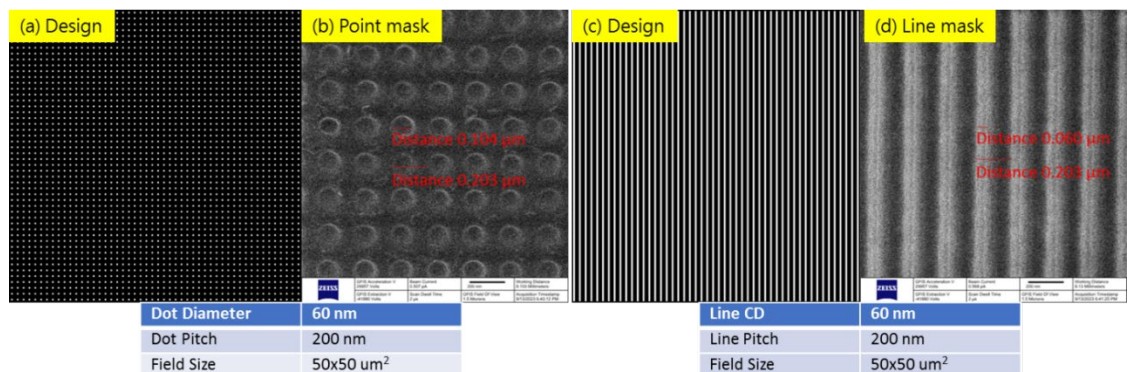
X 光線上/機邊檢測模組進行材料微結構鑑定

3. 完成次奈米極淺層薄膜成分即時監測模組中之 *in-situ* XPS 關鍵組件開發：X-ray 光源安裝、光源 degas、電極偏壓調節測試、analyzer 吊掛安裝，以及背景雜訊降噪處理，且上述關鍵組件安裝完成後系統真空度可達 5×10^{-8} torr 以下。



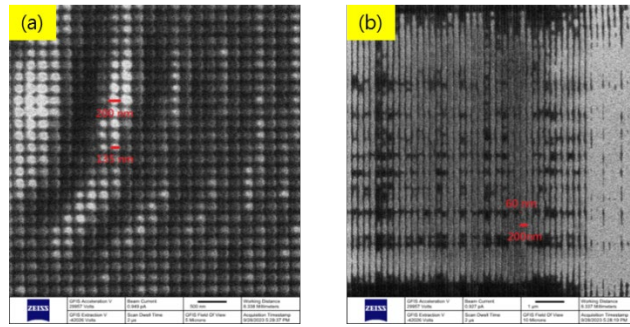
in-situ XPS 檢測設備實機與真空度驗證

4. 多功能式 EUV 微影元件檢測平台干涉微影測試部分設計週期性點陣列與線陣列結構，點陣列直徑與線寬度為 60 nm，pitch 200 nm，以氬離子束直寫光阻再進行 Ni 濺鍍，結構設計與製作完成之光罩 SEM 圖。後續將持續調整參數進行優化。建置 EUV 製程關鍵材料組件（光阻、光罩，以及反射鏡）缺陷分析技術與設備，幫助國內學研界進行前瞻半導體研究初期製程驗證，提升國內半導體 EUV 產業製造現場製程良率與學研界之前瞻研究。



(a)(b) 分別為點陣列設計與製作完成之光罩 SEM，

(c) (d) 分別為線陣列設計與製作完成之光罩 SEM

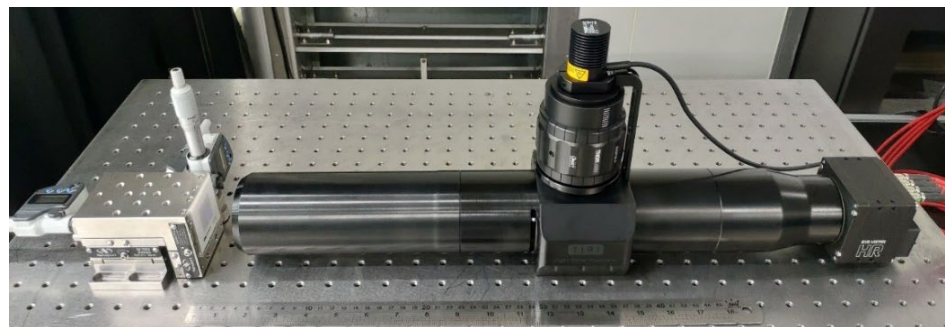


光阻以 (a) 點陣列與 (b) 線陣列光罩經 EUV 曝光後之 SEM 圖

5. 開發智慧 3D 光學先進封裝檢測系統，設計近紅外光 3D 光場成像系統工程體，除了設計合適的放大率外，也設計出可搭配市售微透鏡陣列規格的焦比，以節省製作微透鏡陣列的成本與時間。另在 3D 光場成像系統工程體的光學主鏡頭中加上同軸光源，可改善上述光照不均勻的問題。

	Object	Main Lens	Micro lens (Rectangle arrangement)	Sensor		
Input		Magnification	-5.67	Pitch	0.005	
		Focal length	25	Height for a microlens	0.117	
		Max. chief ray angle	undefined	Pitch	6.4	
		Max. sensor diag. size	8.2	Array width	5.12	
Parameters	Height for a microlens	0.093795	Object distance	29.40917	Pitch of micro-image	0.309085
	Pitch of FOV of a lens	0.045627	Image distance	166.75	Stray light half range	0.173915
	Usable height	0.093795	Exit pupil height	4.803078	No stray light x range	0.135171
	# of lens see one point	4	Exit pupil distance	166.75	Usable height	0.117
		F-number	2.602498	Optimized height	0.126085	
Result	XY resolution	0.00401		Pixel usage in x axis	0.757073	
	Z resolution	0.02091		2D Pixel usage	0.573159	
	Field of view (width)	1.12875				
	Field of view (height)	0.903				
	Depth of field (strict)	0.12473				

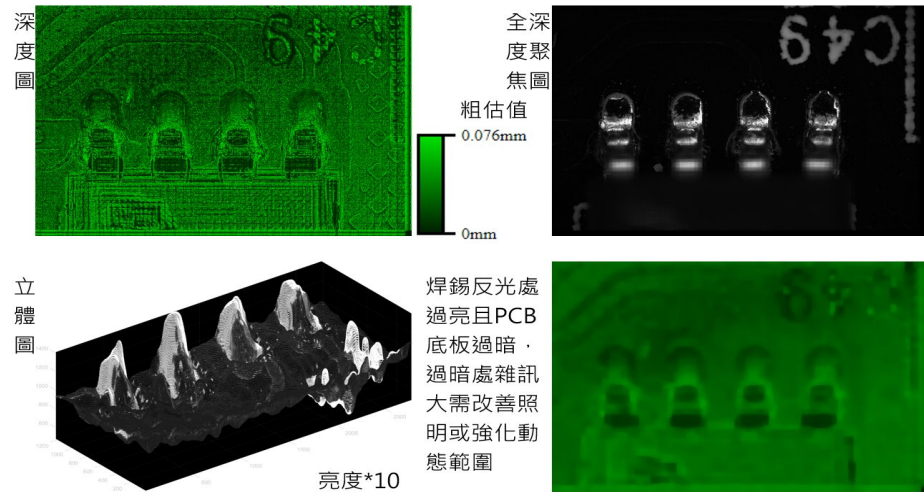
近紅外光波段之 3D 光場成像系統工程體初始設計



3D 光場成像系統實驗架構圖與實體圖

6. 3D 光場成像技術除可應用於半導體封裝檢測(例如 3D IC)，也可依不同的應用修訂系統需求規格並進行設計修訂與製作，以檢測具有不同尺度與形狀的待測標的物。使用網路上公開的光

場相機原始影像進行演算法開發測試，將可分析更多種類的樣品，如 MEMS、PCB、機密機械元件、土木結構、建築物等之量檢測，及消費型 3D 光場相機等，也期待能應用在各種情境，如即時影像還原檢測等。



3D 光場成像系統針對電子載板初步測試與分析

7. 本分項計畫所研發自製之半導體量檢測設備，以推動半導體量檢測設備在地化與設備研發的任務，目前儀科中心開發半導體製程臨場檢測叢集式設備在強化產業鏈結合作應用方面，階段性成果已吸引應用奈米科技與廣繼科技簽訂委託研究案；同時與台積電、Merck 等進行叢集式檢測技術先期研究；在學研界合作方面，本計畫所衍生之製程與檢測設備模組獲得國內指標性單位清華大學與陽明交大使用並認同，透過該叢集式研究平台陸續撰寫成研究論文發表。透過本計畫執行所衍生階段性檢測技術與相關模組已獲得產學研界共同合作，其研發成果更貼近產學研所需之前瞻研究。
8. 在次奈米極淺層薄膜成分即時監測模組研發上，包含清大、陽明交大、台積電、Merck 等廠商對於儀科建置之即時成分分析感興趣或洽談合作可能，研究方向包含高純度氮化物薄膜、原子層蝕刻、二維材料分析或選擇性沉積等先進半導體技術。多功能式 EUV 微影元件檢測平台腔體設計與建置，計畫執行時與台灣大學、中央大學及國輻中心研究團隊進行開發合作。智慧 3D 光學先進封裝檢測系統開發，與北科大研究團隊合作開

發適用於 3D 光場成像系統的機器學習模型，亦與均華精密公司洽談評估開發 3D 光場成像系統。

9. 此外，112 年度於「2023 臺灣國際半導體展」展示先進半導體製程設備並安排資深專家到場與產業先進對談，落實產業技術交流及深化合作，同時舉辦「2023 半導體設備原子級薄膜製程技術交流會」，聚焦於半導體製程技術的關鍵應用，並邀請來自業界及學術界的專家學者分享最新技術、材料及相關應用，落實產學研合作，促成前瞻半導體製程設備在地化契機。

(二)建立前瞻材料物性化性功能高解析技術

110 年度：

在 110 年度間規劃推動二件關鍵技術設備儀器的研發：1.建置 Atom Probe Tomography 原子針尖斷層影像儀，2.建置具實空間、動量空間及時間解析之尖端能譜量測平台。分述如下：

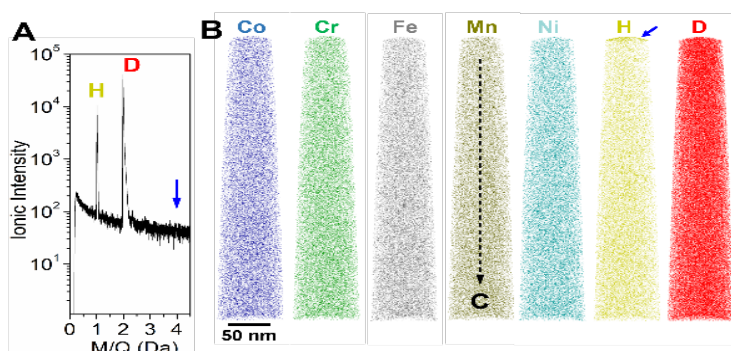
1. 建置 Atom Probe Tomography 原子針尖斷層影像儀：目標建立一個原子針尖斷層影像儀之顯微分析平台，此平台將以國研院台灣半導體研究中心之先進製程、顯微分析與性能量測設備來整合 APT 之應用廣度，同時發展 APT 質譜分析、數據重構與數據分析之技術，與穿透式電子顯微鏡及二次離子質譜儀共同交互分析技術，為材料提供未見的三維內空間解析，以啟發科學家及產業對材料製程、結構、性能之新洞見。。
2. 建置具實空間、動量空間及時間解析之尖端能譜量測平台：於建置具實空間、動量空間及時間解析之尖端能譜量測平台之計畫中，將建立一具可以同時提供能量、實空間、動量空間及時間共 4 個維度(4D)的完整資訊。計畫完成技術開發後，將能將特殊物性化性及動力學方面資訊研究分析能夠一次到位。

111 年度：

1. 補助 2 組研究團隊，發表國內外期刊與會議論文 26 篇；專利申請 3 件，促成國際合作計畫 2 件，培育高階半導體研發人才 23

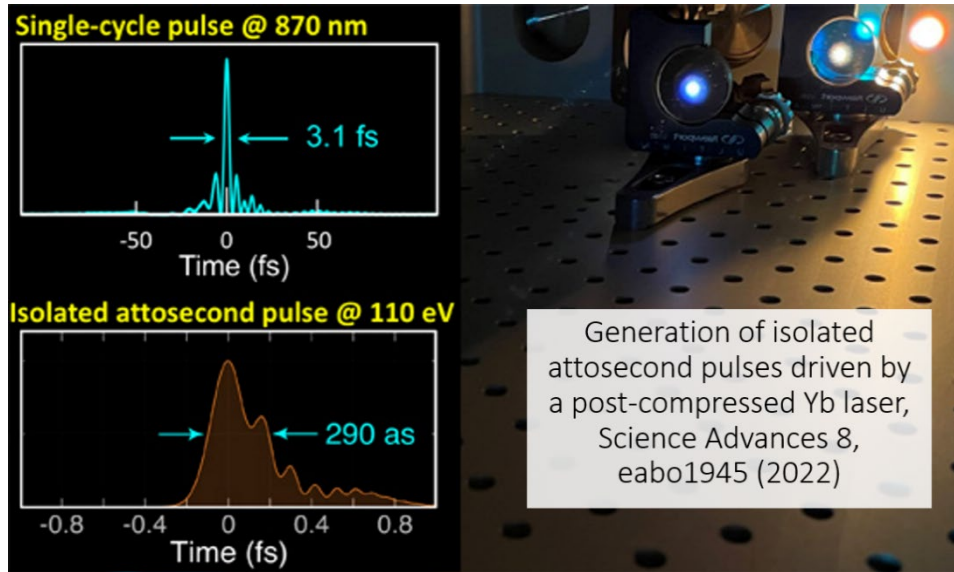
位，包含 11 位碩士生及 12 位博士生。

2. 台大研究團隊：即將完成 APT 原子針尖斷層影像儀之建置，預計於 112 年第一季於國內正式啟用。技術發展方面以 APT 技術分析 CoCrFeMnNi 高熵合金之氫(氘)捕集量，實驗結果證明其氫(氘)捕集量可達 1 at.% 以上，並且為可擴散氫(氘)；持續解析 Atom Probe 質譜，在 multiple hit 質譜中確實發現微弱的 D₂⁺ 訊號，其顯著性仍待以 Saxey Plot 解析中。



CoCrFeMnNi 高熵合金之氫(氘)捕集含量分析(A)氫與氘之質譜範圍以及(A)各原素之三維分佈

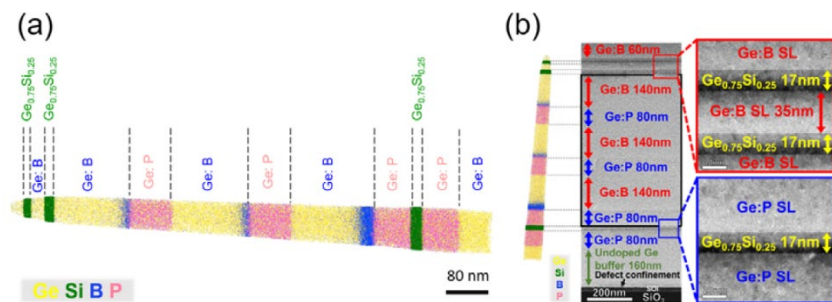
3. 陽明交大研究團隊：於時間解析能譜技術方面，研究團隊在如何產生「超短脈衝」上有了重大突破：研發新脈衝壓縮技術，可有效壓縮脈衝至單一週期，譬如 1030 奈米光，單一週期即為 3 飛秒。使用此單週期脈衝產生高次諧波後，脈衝更短至 290 埃秒(埃秒 = 10^{-18} 秒)，這樣的埃秒脈衝擁有極高的時間解析能力，將清楚解析電子在奈米世界的運動行為，相當於擁有埃秒時間解析度的示波器。未來除能了解原子、分子、材料的電訊號及磁訊號地處理的極限速度，在工業上，將有助於研發更快地電晶體及磁阻式隨機存取記憶體，該創新突破已申請美國、歐洲專利，且刊登於國際指標期刊《Science Advances》。



研發新脈衝壓縮技術，可有效壓縮脈衝至單一週期

112 年度：

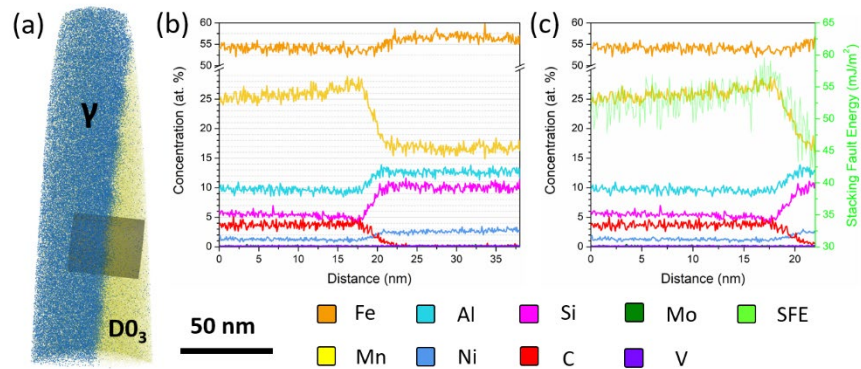
1. 補助 2 組研究團隊，發表國內外與會議論文 62 篇，專利申請 5 件(已獲證 2 件)，促成國際合作計畫 3 件，培育高階半導體研發人才 30 位，包含 15 位碩士生及 15 位博士生。
2. 台大顏鴻威研究團隊：
 - (1) 研究半導體垂直堆疊 GeSi 通道及多重 P/N 接面 CFET 之原子針尖斷層分析，成功以 Laser Mode 獲得垂直堆疊 GeSi 通道及多重 P/N 接面 CFET 之重構數據。此數據能以 Ge 之晶面間距進行精準重構，如下圖(b)所示，APT 之數據所呈現之結構尺寸與 TEM 影像所獲之尺寸完全相符，以此為例，可知 APT 能夠以單一數據呈現一個複雜多層結構，並且擁有三維度資訊力、高空間解析力、高成份解析力之特色。



垂直堆疊 GeSi 通道及多重 P/N 接面 CFET 之 Vout

端 APT 三維原子分佈與(b) TEM 之比對驗證。

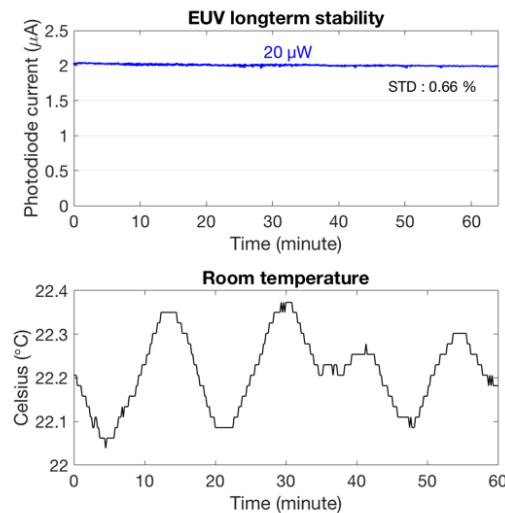
- (2) 發展高熵輕量鋼之性能可達 1350 MPa 以上，延伸率達 40% 以上，經 APT 分析可獲得從 D03 相至 FCC 相的成份濃度變化，這樣的成份分布帶入本研究室發展的熱力學模型計算疊差能的變化(stacking fault energy, SFE)，發現成分濃度的梯度帶來 SFE 的梯度，而在界面處 SFE 較高，有助於差排增生，晶粒內部 SFE 較低，有助於變形雙晶生成，這樣的變形機制能使搭排密度達到 $6 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ 以上，使材料達到高強度且高延性的機械性能。(見下圖)



Atom probe analysis of FCC/D03 interface: (a) 3D reconstruction showing elemental distribution, (b) the concentration profiles and (C) the profile of stacking fault energy (SFE).

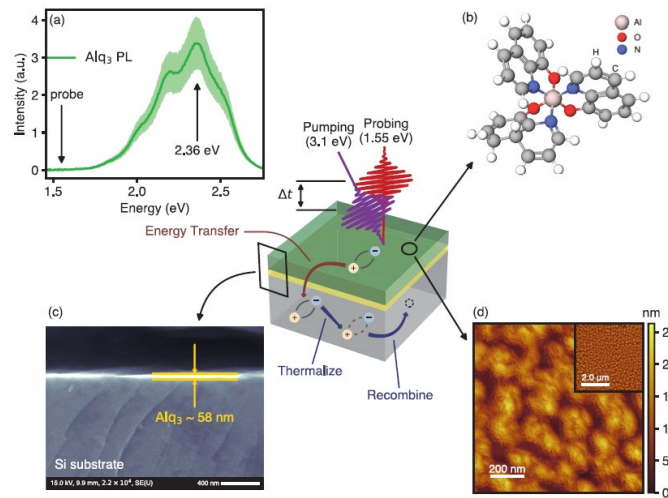
3. 陽明交大羅志偉研究團隊：

- (1) 完成用 23 fs 產生 EUV 的量測，EUV 亮度達到 2×10^{12} photon/s，下圖為 EUV 穩定性量測，其在一個小時內的標準差為 0.66%，已達穩定性測試標準。(見下圖)



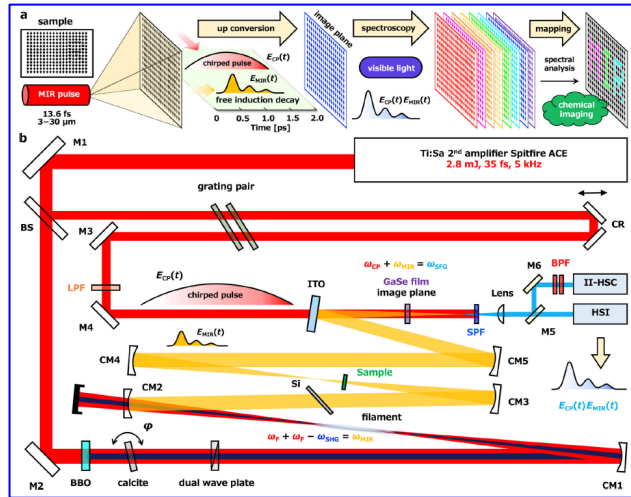
23-fs IR 產生的 20 μW 極紫外光(60 eV)及其穩定性量測，即使溫度有 0.2oC 浮動，相較以往光亮度與溫度有關係，現已解決。

- (2) 開發直接觀察量子材料間能量傳遞的激發探測光譜技術，用激發探測光譜技術突破此長久以來的障礙，首次直接觀察到 Alq3 分子與不發光 Si 晶圓間的能量傳遞現象，此技術可進一步用在各式半導體量子材料或元件間能量傳遞之檢測與分析。(見下圖)

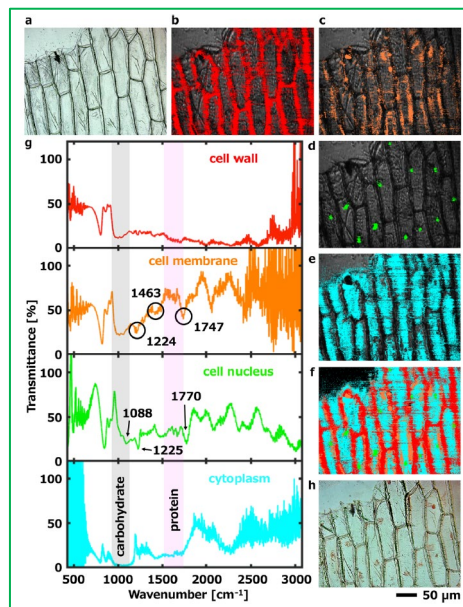


利用激發探測光譜直接觀察 Alq3 分子與 Si 晶圓之間的超快能量傳遞過程。

- (3) 研究成功讓中紅外光影像具有頻譜解析能力($2.6\text{-}3.7\text{ cm}^{-1}$ @ $640\text{-}3015\text{ cm}^{-1}$)及分辨空間中各式化學成分，同時以無須掃描的技術高速成像 (640×480 pixel image in 8 s)。此紅外光影像具頻譜解析能力，由於許多有機分子或光頻聲子的特徵頻譜恰好落在中紅外光頻段，因此可利用此技術檢測吸附在半導體材料或元件上之有機分子。進一步說，若半導體材料中的光頻聲子因缺陷或摻雜而改變其特徵頻譜，預期將可利用此技術進行非破壞檢測，有望能夠分辨出半導體材料中的缺陷或摻雜種類。(見下圖)



全頻譜中紅外光之高速化學成像技術之概念圖及實驗系統圖。



洋蔥(A. cepa)鱗莖葉表皮細胞的中紅外高光譜成像及其各個化學成分之中紅外光譜。

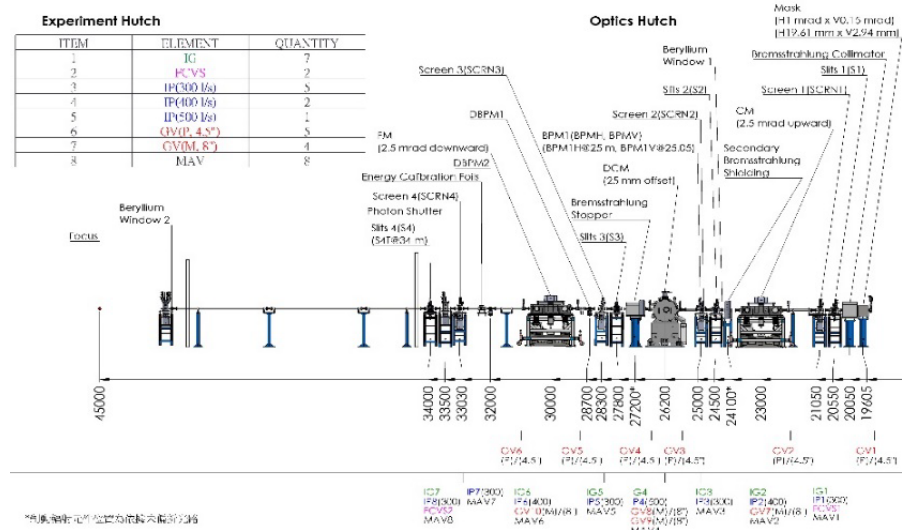
(三) 前瞻半導體臨場檢測技術建置

110 年度：

1. 半導體二維薄膜繞射光束線實驗設施

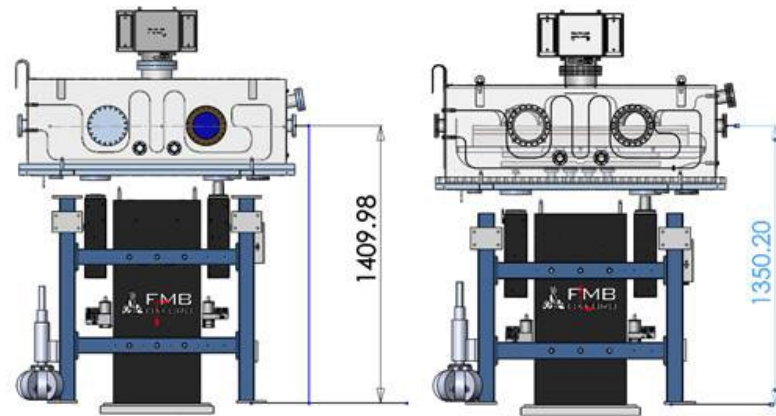
- (1) 完成半導體二維薄膜繞射檢測技術設計報告書，並且依照國外專家提供之意見進行光束線設計更新。其中重要光學元件：準直鏡面/鏡箱、聚焦鏡面/鏡箱、雙晶體單光儀及之設計細節

皆已完成，且發包採購。



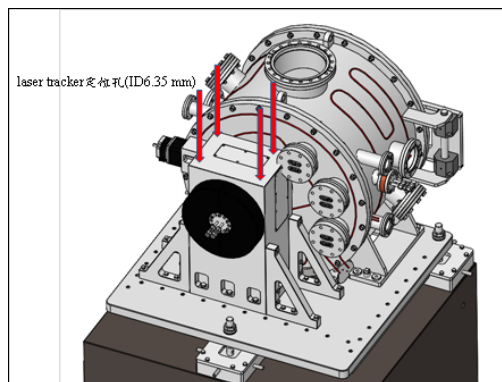
圖一 TPS 20A光束線元件名稱、位置、閥門及真空計畫圖(20210223)

半導體二維薄膜繞射檢測技術之各元件的名稱、位置及真空設計圖面



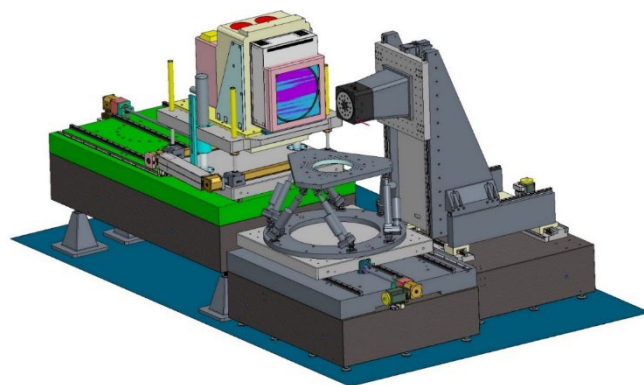
準直鏡箱 3D 設計圖

聚焦鏡箱



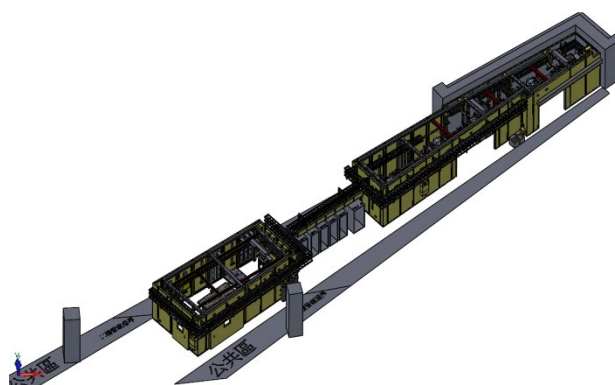
雙晶體單光儀之 3D 設計圖

- (2) 完成前端區真空系統組裝及測試，並已於 12 月吊掛至儲存環內安裝。另已完成實驗站整體規劃，由一大型二維偵檢器搭配多功能實驗站組成。



大型二維偵檢器 示意圖

- (3) 提前執行輻射屏蔽屋之建置(原訂於 111 年執行)，目前已完成輻射屏蔽屋之細節規劃，分成光束線輻射屏蔽屋、實驗站輻射屏蔽屋以及實驗數據區等，預定 111 年上半年可完成建造工作。

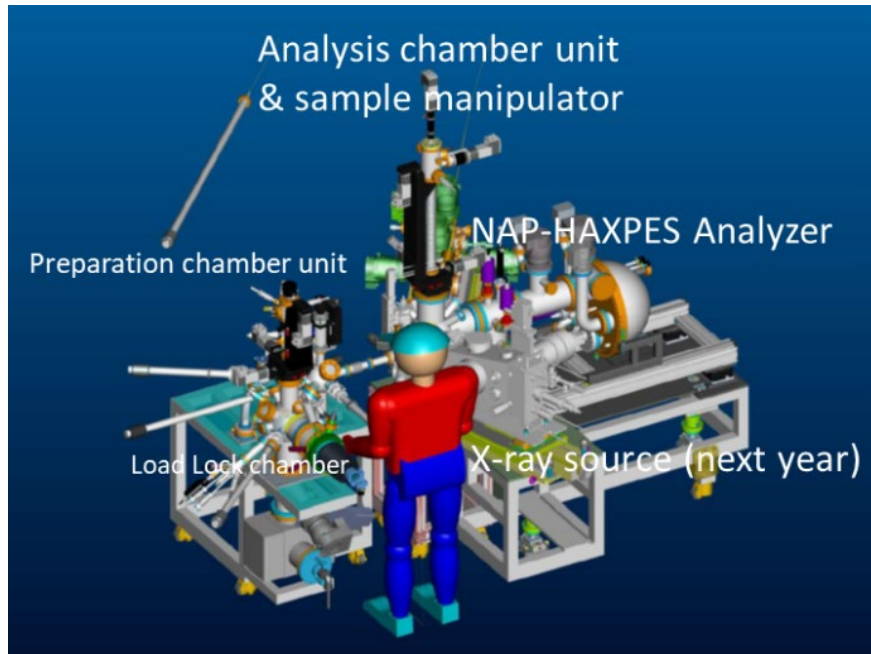


輻射屏蔽屋設計圖

2. 半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗設施

- (1) 完成高階 X 光光電子能譜實驗站設計與發包採購，預計完成後是世界第一座可以快速更換實驗腔體(在超高真空腔體與臨場電化學腔體進行快速切換)的高能光電子能譜儀分析，能量範圍可涵蓋 0-10keV，能量解析度可達 50meV。搭配

TPS47A 高亮度與高解析光束線之後，可以成為世界高能量解析度與高靈敏度高能光電子能譜實驗站之一，可量測 2 奈米尺度之半導體材料與元件光電子能譜，為國內外產學研發展次世代半導體有所助益。



高階 X 光光電子能譜實驗站示意圖

111 年度：

1. 半導體二維薄膜繞射光束線實驗設施

- (1) 完成輻射屏蔽屋及其基礎設施水氣、電力及消防系統之建置；並完成準直鏡箱及聚焦鏡箱之現場定位安裝。
- (2) 完成大型二維偵檢器及偵檢器載台桌之細節規劃與設計規格，並進行採購作業，預計可於 112 年度完成。



輻射屏蔽屋建造完成圖



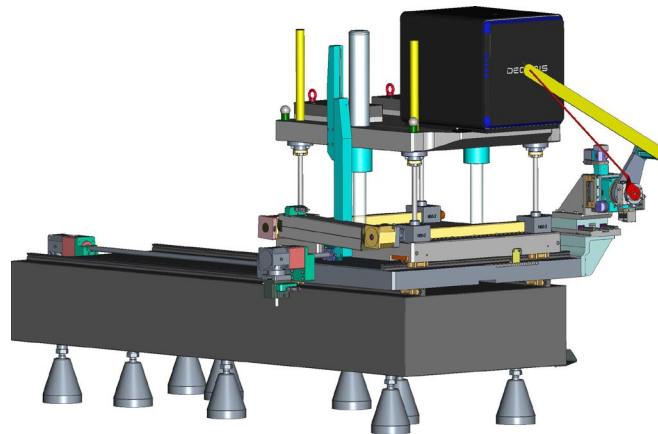
準直鏡箱安裝現場



聚焦鏡箱安裝現場

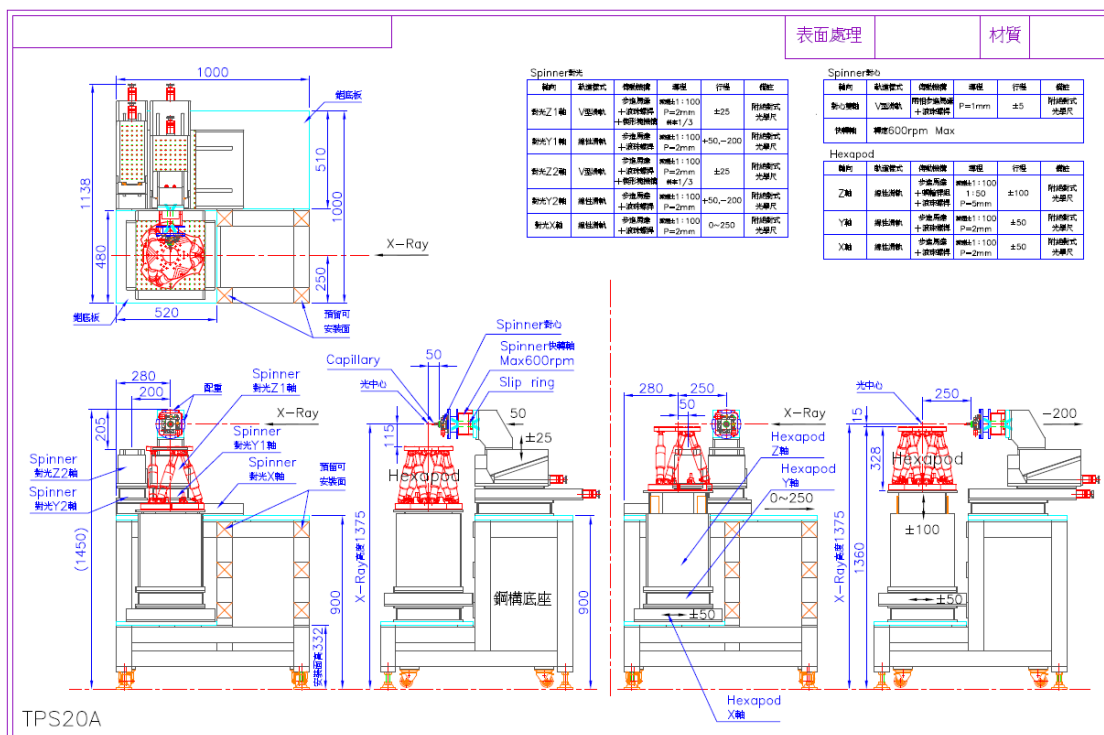
	Dectris EIGER2 S 16M
Number of modules (W x H)	4 x 8
Sensitive area (mm ²)	311.1 x 327.2
Pixel size (μm ²)	75 x 75
Total number of pixels	4148 x 4362
Count-rate capability (photons/s/pixel)	10 ⁷
Frame rate (Hz)	25
Sensor thickness (μm ²)	Silicon 450
Recommended energy range (keV)	6-40

大型二維偵檢器規格表



偵檢器載台桌設計示意圖

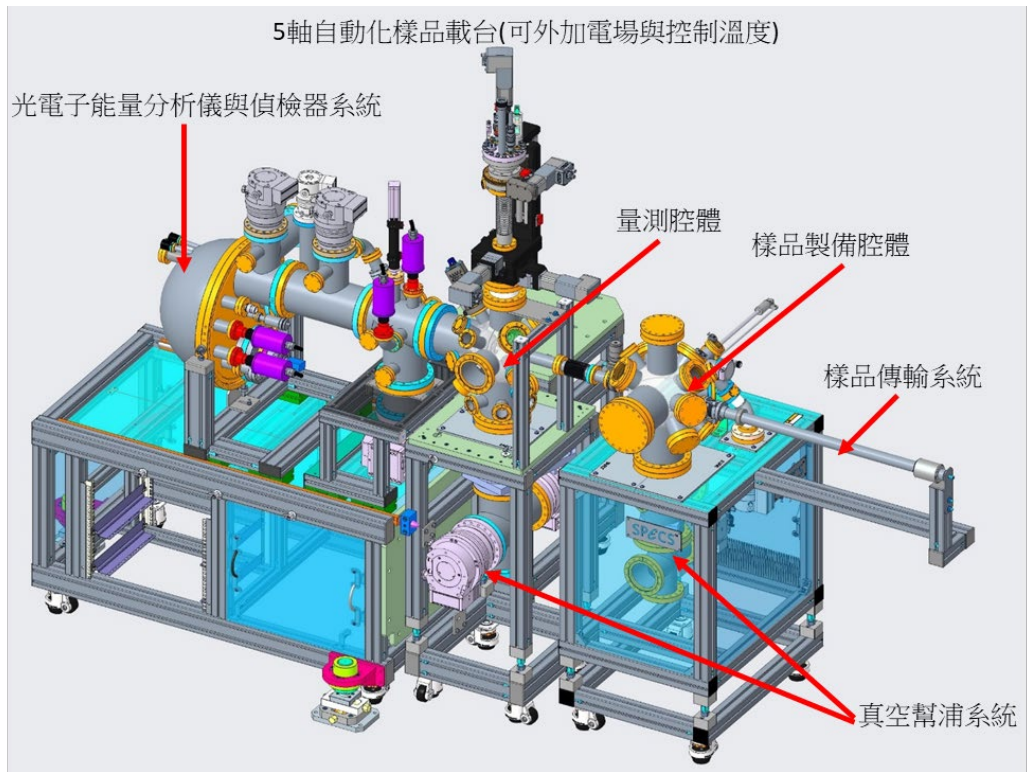
- (2) 完成實驗站樣品桌設計規劃，將具有精密掃描薄膜樣品位置之功能，並且能夠靈活的切換各種臨場樣品環境設備。預計將於 112 年進行購置。



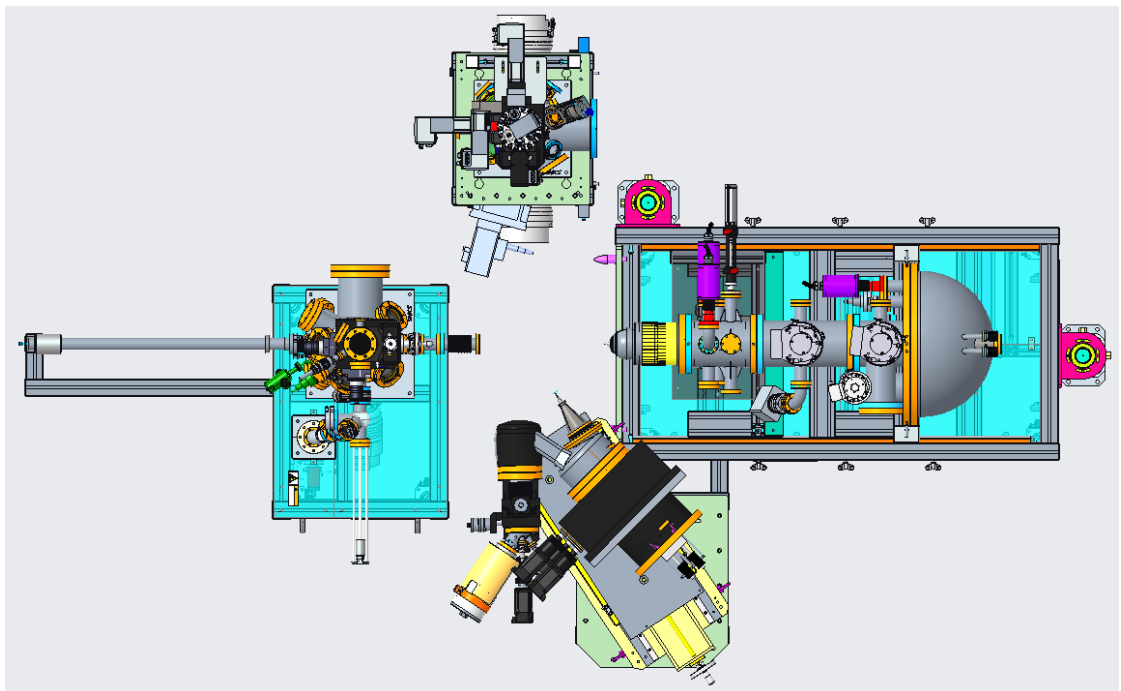
實驗站樣品桌設計圖

2. 半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗設施

- (1) 完成高階高能光電子能譜實驗設施設計，已開始在德國 SPECS 公司製作，預計 112 年第 3 季運抵台灣。為世界第一座可以快速切換實驗腔體且具備多樣化的臨場量測方式的高能 X 光光電子能譜實驗設施。可提供用戶進行非破壞性動態檢測半導體材料與元件光電子能譜。結合 TPS 47A 光束線提供之優質同步輻射光源，能量範圍可涵蓋 3.2-10keV，擁有高價態分辨率(<100meV)、原子級靈敏度(<2 奈米)，探測深度可達 7 奈米厚度以下(原目標 5 奈米)，可滿足台灣半導體業 2023-3 奈米、2025 年達到 2 奈米製程目標之需求，具有前瞻性且為國際一流水準之實驗站。



台灣第一座非破壞性臨場檢測高階高能光電子能譜實驗站



世界第一座可以快速切換實驗腔體之高能光電子發射能譜實驗站(組合模式)

112 年度：

1. 半導體二維薄膜繞射光束線實驗設施(含光束線及實驗站)

(1) 完成半導體二維薄膜繞射光束線建置，包括：

- 完成光束線建造工程圖面細節設計及審查。
- 完成準直鏡箱及聚焦鏡箱的驗收及現場安裝，並通過精密定位、真空烘烤及超高真空之測試。
- 完成首座第二代偏轉磁鐵共通元件的設計與安裝，包含優化 mask、Bremsstrahlung collimator、BPM、Mono slits 與 Mono beam screen 等元件的真空機構設計，推動全光束線採用絕對式光學尺，簡化停電後的復機程序。
- 光束線安全連鎖系統文件於 8 月完成文件審查，並且於 10 月完成所有硬體建置，業於 12 月完成內部測試以及竣工檢查。



安裝完成的光束線設備。

(2) 進行半導體二維薄膜繞射實驗站建置，陸續完成：

- 完成六軸樣品精密調整機構、實驗樣品桌椅之驗收安裝及通過測試。實驗站數據儲存系統業已規劃完成。
- 完成實驗站 X 光控制與準直系統細節設計、製作及系統組裝。
- 大型二維偵檢器(Eiger2 S 16M)業到貨測試中，後續將安排原

廠工程師來台進行安裝測試及教育訓練。



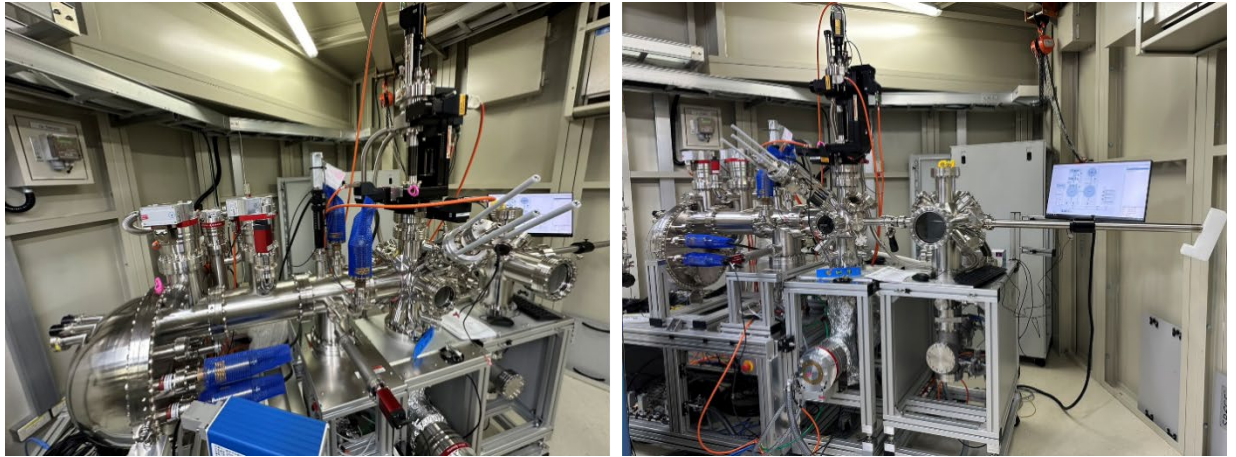
組裝完成的 X 光控制系統。



Eiger2 S 16M 大型二維偵檢器。

2. 半導體臨場高階 X 光電子能譜實驗站

- (1) 完成高能光電子能譜實驗設施之組裝作業，包括光電子能量分析儀模組、主系統量測腔體模組與樣品準備腔體連結安裝，並開始進行設施功能與進行實驗測試。此為台灣第一座可同時使用同步輻射與 X 光光源之高能 X 光光電子能譜實驗設施，藉由使用不同光源與可調變能量的優點，可以非破壞性分析樣品在不同深度下元素分佈與化學組態，預計下年度開始開放用戶與廠商申請使用。



高能光電子能譜實驗設施

- (2) 與 SPECS 公司完成 Al/Cr 雙靶材 X 光光源設計圖討論與確認，SPECS 公司將依照設計圖按圖製造使用於國輻中心高能 X 光光電子實驗設施，預計光斑大小可達 $< 200\mu\text{m}$ ，光通量可達 1×10^{10} cps/sec，並可同時在超高真空與近室壓環境之下操作實驗。
3. 本計畫將建立適合以低掠角的方式進行半導體超薄薄膜研究的二維薄膜繞射技術、可臨場觀測並進行非破壞性量測的半導體臨場高階 X 光電子能譜技術，以國輻中心長期密切合作之產業界，例如「台積電同步光源虛擬實驗室」以及汎銓科技的「元件失效與材料特性分析」合作案等來說，都是利用 X 光繞射相關技術來針對薄膜半導體或光電半導體進行研究，薄膜厚度從數奈米到數十微米都可獲得良好訊號，業務客群包含晶電、穩懋、聯享光電、工研院等，與台積電的合作計畫亦已邁入第七年。本計畫所發展的半導體臨場檢測技術是特別優化適合進行半導體薄膜實驗，預期可滿足產業界對次世代半導體原位元件工作態下的結構檢測需求。

二、里程碑達成情形

里程碑	達成情形說明
110 年度	

里程碑	達成情形說明
1. 完成臨場監控設備設計規劃與關鍵性組件自主開發 (光學鏡組、超高真空樣品載台光、3D 光場成像系統)。	已達成。
2. 完成台灣光子源前瞻實驗檢測技術概念設計。	已達成。
3. 盤點國內產研相關人才，規劃聯合重點開發實驗室，並透過實驗技術發展與設備開發，培育 12 名博碩士級技術人才。另外藉由短期教育訓練、工作坊、技術交流會等邀請學界及產業參與技術研發，擴大人才培植面向。	因於初次徵案所收計畫與徵求預期規劃有所落差，顯無法達到原規劃四年後之技術指標，在計畫寧缺勿濫之狀況下全數不通過補助並隨即啟動第二次徵件計畫作業。截至 110 年底，核定專題計畫 2 件，培育碩博士生 2 名。因核定時程比起原規劃有所延誤，導致建置項目未能達到原目標值。將持續責成研究團隊趕上原預期執行進度，將對國內的科學科技研究及半導體產業分析、以至於人才培育均有所助益。
111 年度	
1. 叢集式臨場監控關鍵設備建置與介面設計 (樣品取放機構設計、真空腔體與移動平台建置、建立具 5 μm 空間解析度之三維檢測)。	<p>(已達成)</p> <p>1. 完成拉曼臨場監控模組與微距平台整合，包含微距平台、雷射激發光源、檢測與取像探頭、光譜儀等，同時檢測焦距可達 10 公分，避免干擾製程氣流以及拉曼探頭取像驗證，符合試片尺寸為 4-8 吋。</p> <p>2. 完成 AR-XPS 超高真空腔體開發，其漏率 $< 3.8 \times 10^{-12}$ torr·L/sec，並完成 X 光源模組安裝及功能驗證，同時搭配載台升降功能測試，經過多次晶圓來回傳輸與反覆升降可確保在整個傳輸及量測過程中的穩定性。</p> <p>3. 完成多功能式 EUV 檢測腔體內高真空移動平台建置與光罩檢測模組設計與製作。高真空移動平台除 XYZ 方向移動以外，同時具備沿 XYZ 三軸向旋轉 (Pitch、Roll、Yaw)，共計六軸，其中 XY 軸解析度 $< 0.1 \mu\text{m}$，Z 軸解析度 $< 0.02 \mu\text{m}$；沿 Y 軸旋轉可達角度 80°，以便未來進行不同角度反射率量測，符合本計畫檢測樣品的需求規格。</p>

里程碑	達成情形說明
	4.完成可見光波段光場成像系統(工程體)之系統細部設計與分析,含鏡頭+光圈+同軸光源模組+MLA+影像感測器之光學設計與容差分析之光學設計與容差分析,光學性能可達平面解析度 5 um。
2.2 年期階段性目標完成半導體薄膜二維繞射光束線關鍵設備細部設計及光電子能譜實驗設施關鍵設備細部設計。依關鍵設備細部設計參數進行模擬,確保 X 光能量範圍可達 10-20 keV 目標, X 光能量解析力可達 2,000 以上,即 X 光能量解析度優於 5×10^{-4} , 全程 5 年目標依此建高解析度的量測技術與裝置。	(已達成) 完成半導體薄膜二維繞射光束線關鍵設備細部設計及光電子能譜實驗設施關鍵設備細部設計,刻正依規劃進行採購安裝。依關鍵設備細部設計參數進行模擬結果可達全程目標。
3. 聯合實驗室之材料開發、高階檢測技術等概念評估及技術研究雛型測試,進行設備建置,並透過實驗技術發展與設備開發,培育 12 名博碩士級技術人才。另外藉由短期教育訓練、工作坊、技術交流會等邀請學界及產業參與技術研發,擴大人才培植面向。	(已達成) 補助 2 組研究團隊並培育高階半導體研發人才 23 位,包含 11 位碩士生及 12 位博士生。 1.台大研究團隊: 最後一期設備採購「原子針尖斷層影像儀:脈衝雷射系統部件」已到貨並展開安裝,擬於 112 年 1 月底完成安裝,並於 112 年 2 月正式啟用,並進行 FIB 試片製備平台之培訓。 2.陽明交大研究團隊: (1)完成高功率雷射光源之採購及驗收,規格達標。 (2)完成雷射實驗室溫溼度控制及相關電力設施設計,各項設施安裝中。移動光學桌及雷射已重新校準恢復送入 CASCADE 的光路產生 25 飛秒。 3.目前共計 23 位碩博士生參與計畫。
112 年度	
1. 完成臨場監控設備樣品傳輸測試及驗證 (EUV 光罩缺陷檢測模組建置、3D 光場成像紅外光波段檢測)。	(已達成) 完成干涉微影規劃,採用 Talbot lithography 方式進行,模組設計 45 度反射,將 EUV 光源轉為垂直方向進行曝

里程碑	達成情形說明
	<p>光，檢測用小型光罩放置模組光罩放置處，以距離晶圓 37—370 mm 進行干涉微影；光罩放置治具設計有三點突出點，用以檢測光罩水平，調整在台水平度與光罩平行之用；光罩試片尺寸為 10 mm×10 mm，曝光 window 尺寸為 3 mm×3 mm，規劃進行光罩製作及模組功能測試；完成近紅外光波段工程體系統初步設計，DOF 約 700 um，FOV 約 1.1×0.9 mm，原始深度解析度約 40 um，平面解析度約 8 um，主鏡頭規格確認完成，細部光學設計與分析進行中，MLA 與相機已完成採購作業。</p> <p>EUV 光罩缺陷檢測平台建置，目前完成建置項目與規格如下：完成光阻特性評估 (mask pattern field size 50um × 50um，X、Y stage ± 100mm)，以及光罩缺陷檢測 (Coherent EUV Scatterometry Microscope, CSM，入射角度 6 度)，後續規劃完成反射率檢測 (入射角 0—85 度反射率量測)，並於 114 年完成整機自動化優化調適。3D 光場成像紅外光波段檢測，目前已建置完成，可提供相關服務規格如下：視野 1.1 mm × 0.9 mm，景深約 500 um，平面解析度 8 um，深度解析度 40 um。解析度與待檢標的物的表面特性相關，可以超解析強化演算法來再提高解析度。</p>
<p>2. 完成半導體薄膜二維繞射光束線關鍵設備建置，光電子能譜實驗設施關鍵設備建置。關鍵設備測試精度，X 光能量解析力可達 2,000 以上，即 X 光能量解析度優於 5×10^{-4}。</p>	<p>(已達成)</p> <p>完成半導體薄膜二維繞射的關鍵設備及共通元件建置與測試，X 光能量解析力已達 2,000 以上(X 光能量解析度優於 5×10^{-4})，並通過安全連鎖系統的竣工檢查，將進入出光測試階段。光電子能譜實驗設施關鍵設備亦已完成安裝，刻正持續進行標準片測試與儀器校準，其中各種標準片的測試已完成。預計 113 年第 2 季可完成儀器各項校準工作，113 第 3 季可開始邀請用戶前來使用。</p>
<p>3. 原子針尖斷層影像平台之試片製作服務與數位影像實驗室建置及尖端能譜量測平台之角析</p>	<p>(已達成)</p> <p>1. Atom Probe User Workshop 擬於 113 年 2 月 19 日舉辦，同時盛邀德國學者</p>

里程碑	達成情形說明
<p>式光電子能譜量測技術開發。前瞻材料物性化性功能高解析實驗室之技術研發及量測參數優化，重要技術交互分析比對或相關材料分析資料庫建置。並透過實驗技術發展與設備開發，培育 10 名博碩士級技術人才。另外藉由短期教育訓練、工作坊、技術交流會等邀請學界及產業參與技術研發，擴大人才培植面向。</p>	<p>Peter Felfer 進行專題演講。(台大顏鴻威研究團隊)</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. MRAM (STT-MRAM 或 SOT-MRAM)之 APT 分析已與白奇峰教授(臺大材料)合作，並從前一年度開始已經取得部分研究成果，擬於近期整合數據發表。(台大顏鴻威研究團隊) 3. 時間解析角析式光電子能譜目前預估每年可提供 2100 小時的服務時間，其中大約 1000 小時進行用戶服務(包括陽明交大林俊源、師大藍彥文、中研院原分所謝雅萍、中研院物理所李尚凡、義大利 T-Rex 的 Dr. Wibke Bronsch、Dr. Alberto Crepaldi、日本 Tohoku University 的 Prof. Takafumi Sato 等)。(陽明交大羅志偉研究團隊) 4. 目前共計 30 位碩博生參與計畫。 5. 有關於原子針尖斷層影像(APT)技術數位影像實驗室平台之建置情形已完成 APT 設備的採購定位，將陸續完成完整的服務平台，包含針尖試片製備及數據重構等，重點目標將放在半導體材料之摻雜定量驗證、化合物半導體摻雜分析、材料異質界面之影像分析及磁性記憶體之異質界面分析等項目進行技術開發。另，角析式光電子能譜量測技術已完成系統之整合及測試，系統的相關規格如下：(1) 時間解析度為~180 fs；(2) 激發光波長範圍為 350 – 2600 nm；(3) HHG (High Harmonic Generation)探測光能量範圍為 33 - 70 eV；(4) 探測光亮度最高可達 ~1011 photons/s (@10 kHz)；(5) 能量解析度~176 meV。詳細規格與測試結果已發表在 2023 年 5 月的國際期刊上[Review of scientific instruments, 94, 055106 (2023)]。未來希望有更好的良測品質，規劃升級 HHG 探測光的光子能量到 80 eV 及結合圓偏振光的產生(目前為線偏振)，將可以探討研究半導體及量子材料及操控其物理特性。相關材料分析資料庫則在持續收集更多數據中，規劃進行 APT、SIMS 與 TEM-EELS 摻雜元素濃度訊號收集並交互分

里程碑	達成情形說明
	析校正以達元素定量分析及空間解析資料庫功能。
113 年度	
1. 完成自主研發線上檢測模組系統與監控模組量測 (取得拉曼光譜訊號、特定角度反射率量測、3D 光場 AI 檢測技術)。	持續辦理中。
2. 完成半導體薄膜二維繞射光束線組裝測試，光電子能譜實驗設施組裝測試。X光能量範圍可達 10-20 keV。	持續辦理中。
3. 原子針尖斷層影像量測平台有關摻雜校正技術及資料庫開發、尖端能譜量測平台之飛行時間解析光電子能譜儀技術開發。前瞻材料物性化性功能高解析實驗室之合作共同技術開發，合作服務實驗之標準化流程建置及產業相關技術服務推展。並培育 10 名博碩士級技術人才。另外藉由短期教育訓練、工作坊、技術交流會等邀請學界及產業參與技術研發，擴大人才培植面向。	持續辦理中。

三、可量化經濟效益

暫無。

四、不可量化經濟效益

110 年度：

1. 整合相關學研機構材料物性化性功能高解析儀器與技術，並針對次世代半導體應用建置次奈米的半導體製程元件結構檢測及相關二維材料研發及性能測試需求所需之臨場檢測技術，形成跨領域材料

分析聯合實驗室，提供國內外學研產 研界關鍵頂尖技術服務，協助突破我國在開發半導體關鍵零件、功能性材料與元件、及量子科技所遭遇的瓶頸。

2. 計畫將建立物性化性功能高解析技術，形成尖端跨領域材料分析實驗室，透過尖端儀器技術的開發，訓練及培養高階儀器技術人才及跨域研發團隊計畫，計畫全程預計培育 12 名以上高階技術人才(110 年培育 2 位)，並保障不同性別(尤其是女性)之專業人才參與計畫。計畫帶動科學設備自我裝配架設能力，確保我國研發技術創新能力，並銜接經驗與知識以達永續發展。
3. 發展客製化之頂級工藝整合技術與光束線實驗技術，並藉之來開發可以在實際空間與動量空間對先進材料物性和化性功能進行高影像解析或時間解析的分析技術，由於高解析探測的特徵是能夠對微奈米尺度的物件進行分析，要在相關分析中加入物性、化性、甚至時間解析的能力，需要諸多專業技整合，透過形成聯合實驗室，將可有效發展整合資源效益。
4. 目前全世界產學研界皆因為數位科技的需求而對儀器開發與實驗技術人才有很大的需求，然而此類人才涉及跨專業整合而不易培養，透過整合開發儀器與建置實驗設施，將可提升我國科技與學術研發的競爭力，經此培養之高階儀器技術人才及研發亦將成為再次提升我國科技實力的尖兵。
5. 國輻中心一直以來都有利用高能光電子能譜協助台積電進行新穎半導體製程研發與改良，預計在高能 X 光光電子能譜實驗站完成後，可以加速台積電在 2 奈米製程上的研發及量產，協助台灣半導體等產業發展二奈米半導體製程。以晶圓代工龍頭台積電為例，如果二奈米半導體技術順利完成且量產，每年將增加 7 萬以上就業人次，帶動約 22 兆的關聯產值。

111 年度：

1. 2022 國際半導體展「國研院先進半導體設備與製程技術」在地化成果發表會。先進化合物半導體材料製程與量測設備將是下世代半導體材料前瞻議題，攸關台灣半導體產業在國際上的領先關鍵，國研院儀科中心在國家政策引領下將核心技術實踐應用於半導體設備自主化，透過整合儀科中心核心設施與尖端科學儀器，鎖定半導體產業先進製程未來所需臨場檢測設備，提供產學研界進行前瞻性之研發，於 9 月 15 日半導體展創新技術發表會現場發佈最新研發成果，藉此推廣相關技術服務。
2. 帶動前瞻半導體材料相關研發技術發展，將突破技術廣泛運用在電子相關產業；促使產業投資並帶動更多基礎零件開發，從而將元件應用在更多產品上創造更多經濟效益，使科技更加貼近人性。
3. 半導體薄膜二維繞射及臨場高階 X 光電子能譜實驗設施的設計與運作涉及高精密及高自由度，執行過程中同時也培育具有整合各種專業能力的人力，有益於提升我國學科研界的競爭能量。

112 年度：

2023 國際半導體展前瞻半導體技術設備推廣。儀科中心是國內唯一可提供尖端科學研究所需之客製特規儀器設備的研發單位，客製化開發目前市面上「不存在」的開創性儀器，協助學研界實現創意的科研儀器創新基地，也是產業界突破技術瓶頸的最佳合作夥伴！儀科中心發展下世代前瞻關鍵儀器之自主研發與二維材料應用服務平台，於「SEMICON Taiwan 2023」展示先進製程設備及客製特規光學元件服務成果，並安排儀科中心光學領域與真空技術的資深專家到場與產業先進對談，了解技術需求及瓶頸，藉由對話交流開啟合作的可能性！

Inspire Innovation. Empower Sustainability. **SEMICON TAIWAN** 國際半導體展

儀科中心一對一技術對談專區
Meet TIRI's Experts at SEMICON Taiwan 2023

抓準機會，在台灣半導體展與儀科的專家對談，交流對談開啟合作的契機，實現您的創意，解決您的瓶頸，儀科中心會是您最佳的客製開發夥伴！

NAR Labs 國家實驗研究院
台灣儀器科技研究中心

地點 | 台北南港展覽館一館 1 樓 ● 地址 | 台北市南港區經貿二路 1 號 ● 日期 | 2023 年 9 月 6-8 日



真空鍍膜設備與製程客製服務
陳忠忠 組長



真空鍍膜設備與製程客製服務
林嘉鴻 組長



AOI 與光學元件客製服務
陳嘉鴻 組長





真空鍍膜設備與製程客製服務
陳嘉鴻 組長



光學元件客製服務
陳嘉鴻 組長



光學元件客製服務
洪敏傳 組長



影像光譜儀器客製服務
劉偉人 組長



攤位編號
Booth number **K2188**

活動詳情，請掃QR CODE

儀科中心光學領域與真空技術的資深專家到場與產業先進對談

伍、預期效益及效益評估方式規劃

1. **躍升關鍵科技設施**：整合相關學研機構材料物性化性功能高解析儀器與技術，並針對次世代半導體應用建置 3 奈米或以下的半導體製程元件結構檢測及相關二維材料研發及性能測試需求所需之臨場 X 光檢測技術，形成跨領域材料分析聯合實驗室，提供國內外學研產研界關鍵頂尖技術服務，協助突破我國在開發半導體關鍵零件、功能性材料與元件、及量子科技所遭遇的瓶頸。
2. **強化永續性國家尖端技術**：發展新穎材料分析與實驗技術、半導體製程臨場檢測技術、智慧化儀器系統整合、精密關鍵元組件等高端技術，將科研成果轉換成實質檢測技術，帶動科學設備自我裝配能力，確保技術創新能力。
3. **自研自製儀器與服務平台**：建立兩套六吋叢集式系統，儀科中心現已建立傳輸平台 1 用以連結低真空 ($> 1 \times 10^{-3}$ torr) 製程設備，後續擬開發傳輸平台 2 連結需高真空度 ($< 1 \times 10^{-6}$ torr) 下操作之分析設備，兩傳輸平台透過傳輸腔 (LUL) 傳遞樣品，使得成長薄膜可在真空環境下傳遞至即時分析模組，避免途中破大氣造成樣品污染。
4. **深耕跨領域頂尖團隊**：培育具高階儀器、高解析實驗技術等跨領域人才與研究團隊，成為提升我國科技實力的尖兵，並投入產學研界協助我國提升科技與學術研發的競爭力。

陸、自我挑戰目標

114 年度：

1. 完成樣品成長時之臨場/線上檢測，並測量到 WS_2 材料訊號(薄膜厚度 $< 25\text{nm}$ 拉曼光譜訊號 $\sim 350 \pm 5 \text{ cm}^{-1}$)、*in situ* ALD AlN 薄膜成分分析測試數據 3 組。
2. 未來規劃導入 APTEM: Correlated Mode 結構分析。這項規劃將與清華大學工學院陳健群教授的 Å 世代半導體計畫案進行跨專案計畫及跨領域的合作。此舉會將 STEM 技術提取的訊息與 Atom Probe 技術分析的成分分佈資訊進行整合。這樣的技術整合能夠為先進半導體及其元件提供更豐富的相關性資訊，特別在未來的化學元素結構性質相關特性的技術開發有所助益。
3. 半導體薄膜二維繞射實驗設施提供 5 組以上實驗團隊進行實驗研究。

112 年度及 113 年度挑戰目標及達成情形：

年度	挑戰目標	達成情形
112	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成機邊 XRD 模組開發 (檢測厚度：$< 30\text{nm}$ 薄膜品質) 與叢集式腔體對接設計(樣品尺寸為 4–8 吋)。 2. 完成近紅外光 3D 光場成像系統工程體(影像強化後解析度 10 um/pixel)。 3. 進行光源整合及半導體二維薄膜繞射實驗站建置與設備測試，關鍵性指標樣品載台平移重複性精度達 $\pm 0.15 \text{ }\mu\text{m}$，樣品至偵檢器距離可調性 10-1300cm 以獲得更高解析度數據。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成 XRD 機邊量測垂直面低掠角 X 光繞射儀 (in-plane GID XRD) 建置，可藉由 XRD 量測二維薄膜材料的晶體結構資訊，為一即時且非破壞性之檢測設備。 2. 完成近紅外光波段工程體系統初步設計，DOF 約 700 um，FOV 約 $1.1 \times 0.9 \text{ mm}$，原始深度解析度約 40 um，平面解析度約 8 um，主鏡頭規格確認完成。 3. 完成半導體二維薄膜繞射實驗站建置與設備測試，關鍵性指標樣品載台平移重複性精度達 $\pm 0.15 \text{ }\mu\text{m}$，樣品至偵檢器距離可調性 10-1500cm 以獲得更高解析度數據。

年度	挑戰目標	達成情形
113	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成線上 XRD 檢測模組系統與拉曼臨場監控模組，並測量到材料訊號(薄膜厚度$< 30\text{nm}$之 X 光繞射訊號與拉曼光譜訊號)。 2. 完成絕對反射率歸零與量測測試，角解析度 0.1 度，以及 UV 光 3D 光場成像系統工程體(影像強化後解析度 10um/pixel)，以 AI 技術強化 3D 影像還原演算法與軟體模組之優化。 3. 於原子針尖斷層影像 (Atom Probe Tomography) 的技術開發與設置中，因應未來第三代化合物半導體及未來綠能與半導體相關產業之技術需求，增列 SiC 半導體結構分析資料庫，多價數金屬電池系統電極材料及鈣鈦礦量子點材料之結構分析。於尖端能譜量測技術開發及服務平台中，再進一步提升時間解析度$< 10\text{ps}$(包含 tr-ARPES 和 tr-PES)，以及激發能量波長加大範圍延伸至 EUV 之範圍 $20\text{nm}-16\text{um}$。 4. 半導體二維薄膜繞射實驗站系統整合及試車，並邀請外部用戶(至少 3 組)參與實驗測試。實驗站光點大小 $300\times 300\text{um}^2$、高能 X 光光電子能譜實驗站能量範圍可涵蓋 $0-10\text{keV}$，能量解析度可達 50meV。 	<p>(截至 113 年 4 月執行情形)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 整合拉曼探頭模組於 12 吋腔體可檢測到材料 (厚度$< 10\text{nm}$) 拉曼與晶體繞射訊號。 2. 絕對反射率歸零與量測測試，角解析度可達 0.1 度，將有助於進行前瞻半導體研究初期製程驗證，提升半導體 EUV 產業製造現場製程良率與學研界之前瞻研究；完成紫外光高角度與低角度環形光照明對光場深度偵測效果的測試與分析，需依待測物表面特性調整光源才能得到較好的深度偵測結果。 3. 於原子針尖斷層影像(Atom Probe Tomography) 的技術開發中，現先針對半導體及 MRAM 元件之技術開發，對於第三代半導體 GaN 和 SiC 材料在試片製備以及實驗偵測上有其困難度，此議題仍待團隊持續突破。於尖端能譜量測技術開發及服務平台將搭建激發能量至 1030nm (1.2eV) / 515nm (2.4eV) / 343nm (3.6eV)。 4. 持續進行實驗設施試車規劃，並與用戶洽談實驗/合作題目中。

柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源

經費需求表(B005)

單位：千元

細部計畫名稱	計畫屬性	114 年度(8 月)		
		小計	經常支出	資本支出
一、前瞻半導體製程臨場檢測設備研發	E. 產業技術研發	23,250	18,000	5,250
二、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	D. 基礎研究	23,250	0	23,250
三、前瞻半導體臨場檢測技術建置	D. 基礎研究	37,500	2,500	35,000

- A. 組織維運/類業務：常態性支持與維運法人組織運作，或為支持科研發展衍生之常規性業務或研究等計畫。
- B. 資通訊建設：以資通訊設備建置為計畫核心，目的在於推動資訊化社會之建設，建構完善基礎環境，規劃資訊通信關鍵應用，以帶動資訊國力提升。
- C. 人才培育：計畫主軸係以人才培育為核心策略，以人力資本的投入帶動基礎研究、產業發展或轉型及公共民生之發展。
- D. 基礎研究：非以專門或特定應用/使用為目的，成果不特別強調與產業的連結性；或為目前已知或未來預期面臨之問題，但尚缺乏廣泛知識基礎而進行之研究。本屬性涵蓋基礎研究核心設施。
- E. 產業技術研發：進行與產業連結性高之相關技術研究與開發。
- F. 產業服務與應用：將科技研究與技術應用於產業，進而推動產業發展，包括技術及產品應用或產業輔導等。
- G. 環境永續與社會發展：具永續性或有助於民生及公共福祉之公共資源、公共服務、科技政策等，於短、中、長期可促進各類人民福祉之提升、環境之保全與安全之促進。

114 年度經費需求表

經費需求說明

- 一、分項一「前瞻半導體製程臨場檢測設備研發」：114 年度經費共計 23,250 千元，工作重點為完成搭配臨場監控製程驗證與打樣測試；多功能式 EUV 微影元件檢測平台自動化整合；整合 AI 技術之 3D 檢測技術智能檢測軟體開發。謹說明如下：
- 1.人事費：本計畫無編列人事費，所需正式人力由「台灣儀器科技研究中心」編制內人力支援。
 - 2.經常支出：合計 18,000 千元，為臨場檢測設備建置所需之加工製作、安裝、測試等、自主研發設備零組件費與核心設施維運費、委託學研單位相關費用，及國內半導體技術研討會與相關推廣會議。
 - 3.資本支出：合計 5,250 千元，為臨場監控設備開發建置所需之零組件與元件。
- 二、分項二「建立前瞻材料物性化性功能高解析技術」：114 年度經費共計 23,250 千元(全數為資本支出)，工作重點為(1)我國第一個學研單位能夠使用的原子針尖斷層影像儀(Atom Probe Tomography, APT)之顯微分析平台將持續開放服務及研究升級，包括原子針尖斷層影像儀服務、FIB 試片製作服務、數位影像實驗室、儀器預約系統與辦法(含專家諮詢系統)、定期教學與培訓課程，及原子針尖斷層影像儀之前瞻技術或資料庫，發展 S/TEM-APT 交互分析(correlative characterizations)技術與服務，綜整儀器研究服務國內外學界、研究法人、業界之尖端半導體材料與元件研究。(2)建立台灣第一個具有實空間、動量空間及時間解析之尖端能譜量測平台，提供時間解析角析式光電子能譜、時間解析光電子能譜量測服務，提供高訊雜比的時間解析可見光及紅外光吸收光譜量測服務，完成 EUV 脈衝光源的建置及提供時間解析光譜所需之關鍵光源。
- 三、分項三「前瞻半導體臨場檢測技術建置」：113 年度經費共計 37,500 千元，工作重點為進行半導體二維薄膜繞射光束線出光及實驗站整合測試，及開放用戶申請使用，進行實驗或合作計畫。資本支出：主要為半導體二維薄膜繞射檢測技術之各種臨場環境設備採購與系統整合，購置高能量區間二維偵檢器，合計 35,000 千元。經常支出：實驗站元件之加工整合及優化臨場實驗環境等，合計 2,500 千元。

114 年度經費需求表

單位：千元

計畫名稱	細部計畫重點描述	預期關鍵成果	114 年度						
			小計	經常支出			資本支出		
				人事費	材料費	其他費用	土地建築	儀器設備	其他費用
一、前瞻半導體製程臨場檢測設備研發	完成叢集式半導體製程拉曼檢測、XPS 檢測模組與製程整合分析技術驗證、完成多功能式 EUV 檢測平台建置，以及 3D 光場檢測模組建置，藉由製程數據蒐集與分析後回饋進行模組系統優化，最終使其成為符合先進半導體製程之設備與檢測模組，並協助國內半導體設備產業進入高附加價值之半導體製程設備供應鏈，提升國內廠商半導體設備自製能力，同時佈局下世代半導體製程與設備產業，將國內半導體檢測設備能力再升級。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成叢集式臨場檢測設備建置(包含：拉曼光譜臨場檢測設備、XPS 光譜臨場檢測設備)。 2. 完成多功能式 EUV 微影元件檢測設備建置。 3. 完成 3D 光場模組建置，並優化叢集式臨場監控制程平台，提供合作研究與相關製程測試。 	23,250	0	6,100	11,900	0	5,250	0
二、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	建立科技與產業發展所需的基礎核心設施及術網路，發展檢測先進材料物性化功能之設備與技術，開發可於實空間、動	<ol style="list-style-type: none"> 1. 整合尖端跨領域分析技術形成聯合實驗室，提供技術檢測服務以橋接學術科研與業界應用，並培養高階儀器技 	23,250	0	0	0	0	23,250	0

	量提供高影像解析或高時間解析的顯微探測儀器及技術，以利開啟研究新契機並深化整合我國頂尖技術及跨領域人才。	術人才及研發團隊。 2. 透過所發展的量測服務與國內半導體及材料等相關領域研究團隊建立長期合作模式，以培養相關領域研究團隊有獨立操作量測儀器與研究的能力，並逐步養成新生代的年輕研究人員，形成永續研發生態體系。								
三、前瞻半導體臨場檢測技術建置	建立半導體製程元件結構檢測，及相關二維材料研發與性能測試需求之設施與檢測技術，完成臨場樣品環境設備，並搭配半導體二維薄膜繞射技術，以滿足不同用戶及各種實驗需求。	1. 完成樣品臨場環境設備的架設與系統整合。 2. 實驗站出光進行實驗並且至少兩個團隊進行實驗數據收取。	37,500	0	0	2,500	0	35,000	0	0

經費分攤表(B008)

114 年度

跨部會 主提/合提機關 (含單位)	細部計畫名稱	負責內容	預期關鍵成果	經費額度
無				
經費合計				

捌、儀器設備需求

申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器送審彙總表(B006)

申請機關：財團法人國家同步輻射研究中心

(單位：新臺幣千元)

年度	編號	儀器名稱	使用單位	數量	單價	總價	優先順序		
							1	2	3
114	1	高能量區間二維偵檢器	材料科學小組	1	35,000	35,000	✓		
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
總計									

填表說明：

1. 申購單價新臺幣 1000 萬元以上科學儀器設備者應填列表。
2. 本表中儀器名稱以中文為主，英文為輔。
3. 本表中之優先次序欄內，請確實按各項儀器採購之輕重緩急區分為第一、二、三優先。
 - (1) 「第一優先」係指為順利執行本計畫，建議預算有必要充分支援之儀器項目。
 - (2) 「第二優先」係指當本計畫預算刪減逾 10%時，得優先減列之儀器項目。
 - (3) 「第三優先」係指當本計畫預算刪減逾 5%時，得優先減列之儀器項目。

玖、就涉及公共政策事項，是否適時納入民眾參與機制之說明

本計畫旨在透過整合核心設施與尖端科學儀器建立聯合實驗室與服務平台，透過專注獨特關鍵研究技術的培養，如尖端儀器量測技術與計算方法等，帶動相關領域研發品質、厚植國內基礎研究能力。對於台灣光子源前瞻實驗設施建置，為促使相關規劃周延，確實反映學研產界的研究需求以及優先順序，研提實驗設施建置前，已納入使用者參與機制，參考已提供國內外學研產界服務之大型共用研究設施的用戶群意見、主管機關各學術處之學門規劃、以及國輻中心董監事會、科學諮議委員會及學術發展委員會之意見，適時舉行國輻中心大型共用研究設施設置計畫的公開徵求與審查作業，通過審查之計畫，經主管機關同意方據以納入。此外，亦已由國科會公開徵求新穎材料物性化性功能高解析技術計畫，包含網路公告及函知各計畫受補助單位，符合資格者得經所屬機構(任職機構或大專院學校)提出申請，申請案經送審查通過者，補助相關經費以開發可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析儀器及技術，達到提升研究競爭力以達到國際間領先地位，為前瞻科技產業尋找新的契機，開創國內科技研究的長期價值。