

政府科技發展中程個案計畫書

審議編號：110-1901-02-20-02

科技部(財團法人國家同步輻射研究中心)
「突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫」

計畫全程：110 年 1 月至 114 年 8 月

目 錄

壹、基本資料及概述表(A003)	3
貳、計畫緣起	10
一、政策依據	10
二、擬解決問題之釐清	10
三、目前環境需求分析與未來環境預測說明	12
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	17
參、計畫目標與執行方法	21
一、目標說明	21
二、執行策略及方法	24
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	50
四、與以前年度差異說明	51
五、跨部會署合作說明	52
肆、近三年重要效益成果說明	53
伍、預期效益及效益評估方式規劃	55
陸、自我挑戰目標	56
柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源	57
捌、儀器設備需求	67
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	68

壹、基本資料及概述表(A003)

審議編號	110-1901-02-20-02		
計畫名稱	突破半導體物理極限與鏈結 AI 世代計畫		
申請機關	科技部		
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）、科技部自然科學及永續研究發展司		
預定 計畫主持人	姓名	羅國輝	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 luo@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，透過整合核心設施與尖端科學儀器建立聯合實驗室，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、預期關鍵成果及其與部會科技施政目標之關聯	計畫目標	預期關鍵成果	與部會科技施政目標之關聯
	O1 接軌國際半導體，發展次世代臨場檢測關鍵設備	開發全球首創可整合於叢集式之半導體製程臨場檢測設備模組，並建立極紫外光（EUV）微影元件檢測服務平台	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
	O2 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	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 8 名尖端儀器技術的開發技術人才	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

	<p>O3 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</p>	<p>發展適合 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之半導體二維薄膜繞射檢測技術與臨場高階 X 光電子能譜檢測技術</p>	<p>跨領域整合資源設施，提升研究資源綜效</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 ___ % <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>		
<p>資通訊建設計畫</p>	<p><input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否</p>		

政策依據	1. 前瞻基礎建設特別條例／數位建設／建設下世代科研與智慧學習環境／自研自製高階儀器設備與服務平台 2. 晶片設計與半導體產業推動方案：晶片設計與半導體產業推動方案 3. 行政院 109 年度施政方針：十二、以領先全球的半導體及資訊與通信科技(ICT)產業優勢為基礎，加速人工智慧(AI)晶片關鍵技術研發，鏈結國際 AI 創新契機，建構 AI 人才、技術、場域、產業生態系，孕育 AI 新興應用及產業創新。 4. 國家科學技術發展計畫目標四、強化科研創新生態體系／策略 3.為提升國際學術競爭力，持續優化研究設施與學術環境／措施(2)健全研究基礎設施與資源共享。				
計畫額度	■ 前瞻基礎建設額度 110 年度 <u>168,000</u> 千元 111 年度 <u>168,000</u> 千元				
執行期間	110 年 01 月 01 日 至 111 年 12 月 31 日				
全程期間	110 年 01 月 01 日 至 114 年 08 月 31 日				
前一年度預算	年度	經費(千元)			
	109	418,000			
資源投入	年度	經費(千元)			
	110	168,000			
	111	168,000			
	112	126,000			
	113	126,000			
	114	84,000			
	合計	672,000			
	110 年度	人事費	0	土地建築	0
		材料費	13,900	儀器設備	115,000
		其他經常支出	39,100	其他資本支出	0
		經常門小計	53,000	資本門小計	115,000
		經費小計(千元)		168,000	
	111 年度	人事費	0	土地建築	0
材料費		13,900	儀器設備	115,000	
其他經常支出		39,100	其他資本支出	0	
經常門小計		53,000	資本門小計	115,000	
經費小計(千元)		168,000			

中程施政計畫 關鍵策略目標	1. 科技部中程施政計畫（106 至 109 年度）：壹、施政綱要／三、以學術創新支援新興產業關鍵技術，帶動創新產業 2. 科技部中程施政計畫（106 至 109 年度）：壹、施政綱要／四、以共享經濟精神，跨域整合資源，發揮研究設施最大效益。					
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，透過整合科技部（自然司）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				
	110 年度 概估經費(千元)	46,500	計畫 性質	產業應用技術 開發	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)
	111 年度 概估經費(千元)	46,500				
	細部計畫 重點描述	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。				
	主要績效指標 KPI	開發全球首創可整合於叢集式之半導體製程臨場檢測設備模組，並建立極紫外光（EUV）微影元件檢測服務平台，完成先進封裝三維光學檢測技術平台與系統。				
	細部計畫 2 名稱	建立前瞻材料物性化性功能高解析技術				
	110 年度 概估經費(千元)	46,500	計畫 性質	基礎研究核心 設施建置與運 維	預定執 行機構	科技部自然科 學及永續研究 發展司
	111 年度 概估經費(千元)	46,500				
	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技術網				

		路，發展檢測先進材料物性化性功能之設備與技術，開發可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析的顯微影像探測儀器及技術，以利開啟研究新契機，並深化及整合我國頂尖技術及跨領域人才。				
	主要績效指標 KPI	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。				
	細部計畫 3 名稱	前瞻半導體臨場檢測技術建置				
	110 年度概估經費(千元)	75,000	計畫性質	基礎研究核心設施建置與運維	預定執行機構	財團法人國家同步輻射研究中心
	111 年度概估經費(千元)	75,000				
	細部計畫重點描述	建立 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之設施與檢測技術，包含具備精準樣品選位載台與高解析度偵檢器系統並搭配各種臨場樣品環境的半導體二維薄膜繞射技術，以及且高價態分辨率及高靈敏度的新世代半導體臨場高階 X 光電子能譜技術。				
	主要績效指標 KPI	發展適合下世代半導體材料研究與臨場檢測的二維薄膜繞射、臨場高階 X 光電子能譜等非破壞性尖端標靶式 X 光檢測技術，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。				
前一年計畫或相關之前期程計畫名稱						
前期計畫或計畫整併說明	本計畫分項(一)「前瞻半導體製程臨場檢測設備研發」，為「自研自製高階儀器設備與服務平台計畫」分項(二)「支援產業創新之關鍵儀器設備與服務平台」之延續計畫					
近三年主要績效	<ol style="list-style-type: none"> 1. 小型步進式曝光機(5μm)與對準式曝光機(2μm)之系統組裝、測試與優化，整合投影鏡頭、光源系統、光罩/晶圓對位平台與整機結構等，此技術將導於國內產業，協助國內設備商彌縫技術缺口，促使設備產業升級與完善。 2. 成功開發適合高功率元件製程與低損耗及高效率電路，與環球晶圓、晶電進行氮化鎵高功率元件整合；綠色高功率元件技術的原子層蝕刻設備，與晶圓大廠 T 公司進行 3 奈米金屬連導線等生產技術的確認與開發。相關製程技術導入 4 吋原子層蝕刻/沉積系統自製，提供清大製作 TEM 試 					

	<p>片保護層之關鍵設備。</p> <p>3. 建立六吋 cluster ALD/Thermal ALE 製程平台，國際前驅物大廠(如：美商 RASIRC 與法商 Air Liquid)亦使用此平台以服務國內半導體廠進行先期研究，也間接促使台大、交大、中山大學、半導體中心與日本等學研機構共同使用 ALD 聯合實驗室之 coupon ALD 系統。</p> <p>4. 成功建立晶圓對晶圓及晶粒對晶圓之對準接合製程技術，並同時以 3D 封裝及 RDL 結合 LED 元件，成功以 3D 封裝方式點亮 LED 元件，可應用於高端先進 3D 元件、微機電封裝製程，以及高功率元件封裝等三大應用。</p> <p>5. 儀科中心自製 ALE/ALD 設備導入半導體中心驗證場域，利用該自製設備成功發展 5nm GAA 元件並將相關研究成果發表於 IEDM 2019，並獲選為年度重要突破研究論文。</p> <p>6. 國輻中心光源設施產出論文遠高於前五年，且論文平均 I.F.由 103 年 4.4 攀升至 108 年 6.98，半導體大廠年使用達 1,000 小時以上，另整合材料分析公司資源鏈結廠商合作。且運用光源實驗技術，首度證實單層二硫化鉬半導體室溫下就足以改變鄰近鐵磁薄膜的磁特性；發現超越摩爾定律的二硒化鎢單層二極體，其電性改變不需金屬電極的加入，大幅降低干擾並增加運算速度，均可直接受益於新穎半導體材料開發。</p>			
跨部會署計畫	<input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否			
	合作部會署		110 年度經費(千元)	
			111 年度經費(千元)	
	負責內容			
	合作部會署		110 年度經費(千元)	
			111 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、臨場高階 X 光電子能譜 Semiconductor; Advanced Materials; Wisdom Monitoring; High resolution; Internet of Things; Interdisciplinary; EUV; Cluster; AI; IoT; 2D thin film diffraction; HAXPES;</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

依據蔡英文總統 109 年 5 月 20 日就職演說點出的六大核心戰略產業：持續強化資訊及數位相關產業發展，利用半導體和資通訊產業的優勢，全力搶占全球供應鏈的核心地位。在蔡總統的肯定與支持下，半導體被國家發展規劃列為戰略型產業。

依據「前瞻基礎建設特別條例」第四條所定前瞻基礎建設之數位建設，以及行政院「數位國家·創新經濟發展方案（2017-2025 年）」辦理，為型塑臺灣發展新利基，「建設下世代科研與智慧學習環境」為其五大推動主軸之一，特別是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，科技部基於發展前瞻技術必要的轉型與技術整合需求，整合財團法人國家同步輻射研究中心（以下簡稱國輻中心）、財團法人實驗研究院（以下簡稱國研院）以及相關學研單位等資源，運用法人產學服務能量及國家級實驗室能量，進行研發環境升級，掌握次世代半導體關鍵技術的發展，建立我國半導體產業的自主創新科技實力，加速產業數位轉型。

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）量產之半導體廠的國家，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 資通訊技術應用的浪潮，是當前科技產業發展的重要議題。

科技部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

(如圖 1)，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。

特別是半導體產業的先進製程進入 7nm 節點以下，製程將仰賴 EUV 微影技術，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。面對未來高度的不確定性，完備研究基礎設施以確保科研環境競爭力，是建立數位國家不可或缺的要害。「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，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。

為此，科技部整合儀科中心、國輻中心等法人產學服務能量與國家實驗室資源，以及相關學研單位的專業技術與儀器設備，形成聯合實驗室與服務平台，將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。

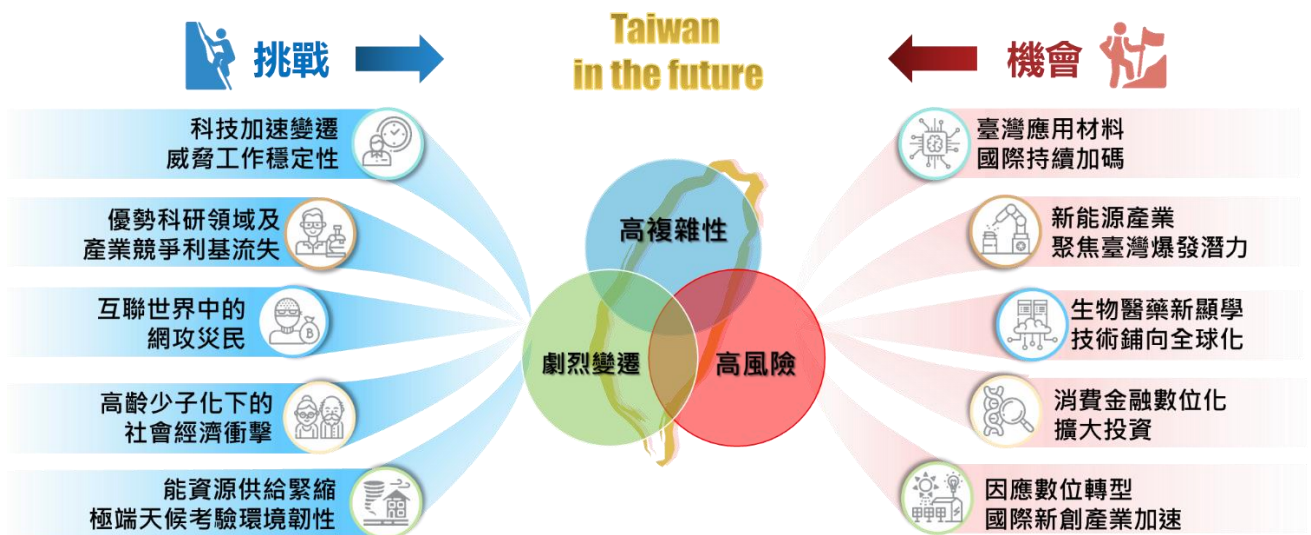


圖 1：新世代數位世界的科技挑戰

[資料來源：國研院科政中心(2018)、遠見雜誌(2020)]

三、目前環境需求分析與未來環境預測說明

我國半導體產業在全球科技、產業、經濟、軍事、及政治層面的影響力扮演舉足輕重的角色，因此有台灣「矽盾」的說法。為持續保有半導體產業的國際優勢，並實現蔡總統「數位國家、智慧島嶼」的國家發展願景，本計畫以國家永續發展戰略高度，藉由盤點並確認我國既有「地、產、人」的資源優勢、在地獨特性、核心價值等，運用設計手法，執行半導體及鏈結 AI 世代計畫推動項目，並放眼未來的國際競爭形勢，盡速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，如圖 2 所示，形成聯合實驗室與服務平台，透過整合國家級實驗室能量，深植國內專業技術，並提升我國產學研界的競爭力。



圖 2：本計畫整合國家級實驗室能量示意圖
（灰底部分非本計畫執行範圍，惟可鏈結資源應用）

次世代半導體發展主要有三方面的技術有待突破，包含：先進半導體材料、封裝技術以及微影技術，本計畫旨在整備基礎核心設

施，俾利快速因應後摩爾定律時代所遭遇的新穎材料尋找、微影技術與測試。事實上，半導體發展已然遭遇諸多物理限制，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，伴隨著線寬縮小的趨勢，使用的波長勢必縮短，BEUV (Beyond extreme ultraviolet) 中心波長 6.7nm，更是被視為 EUV 的下一代技術發展。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 3nm 廠房。而一般認為 3nm 是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。

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）。

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。

現今半導體產業在晶片生產過程中也是利用拉曼光譜來解析薄膜的表面與介面狀況，但往往於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。在此過程，由於與大氣接觸的關係，大氣中的氣體分子或多或少影響到薄膜的表面狀況，甚至連帶影響到更深層的鍵結情形而使最後量測結果失真。在製程持續微縮進程下，薄膜表面與介面佔整個薄膜的比例越來越高，這意味著，大氣污染而導致量測失真的議題愈顯重要。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，此舉無法即時測得材

料資訊，且較耗費材料成本。有鑒於此，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。

半導體產業在晶片生產過程，是利用角解析 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，大氣污染而造成量測誤差的議題愈顯重要。

在微影技術上，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污染，將是下個世代半導體製程發展決勝的關鍵點，目前半導體相關產業（晶圓製造商/前驅物商/FA 分析商）對於淺層薄膜成分臨場分析模組也需求恐急。此外，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，除目前已與國輻中心合作開發進行的退火功能，儀科中心規劃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，為運用其優異光源特性，國輻中心自行設計、自行組裝建置光束線實驗設施，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，以研發新穎奈米材料均有極大助益，目前國輻中心光源設施已有不少半導體材料的研究議題，近期重要發表成果包含成大物理系吳忠霖教授與國輻中心陳家浩博士組成團隊研發超越摩爾定律的二維單原子層二極體，並在自然通訊雜誌上發表成果，又如國輻中心研究團隊首度實驗證實，厚度僅 0.7 奈米的單層二硫化鉬半導體就足以改變鄰近鐵磁薄膜的磁特性，使之在室溫下出現穩定的磁異向性，此發現預期可直接受益於新穎半導體材料開發。由於光源設施對半導體研發與產業應用的助益，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，協助廠商與法人研究機構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。

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 3 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）實驗室配置，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。

為最有效發揮資源整合效益，科技部（自然司）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，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。

在社會經濟面，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。

在產業技術面，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。

在學術研究面，建立高解析分析實驗設施與技術為半導體新穎材料研究提供直接的助力，以 108 年度國輻中心光源設施所產出論文平均影響力達 7.89，已可顯見對尖端科研之助益，在未來光源設施實驗技術網更見完善下，預期將引導台灣學術研究邁入下一波高峰。

在人才培育面，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。

各項影響說明，詳述如下：

(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、儀科中心國家級實驗室、國輻中心光源設施等資源，整合形成聯合實驗室與服務平台，建置具高解析的先進材料物性化

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，提供適合以低掠角的方式進行超薄薄膜的 X 光繞射技術，以及可搭配各種臨場樣品環境的高階 X 光電子能譜技術，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、自行組裝，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。由於實驗設施建造技術門檻極高，在機械傳動設計、精密度、平整度、解析力、重現性、變形量及減震要求上很高，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，還可配合政府的「新南向政策」，進而拓展國際市場。

儀科中心更進而推動發展分析檢測儀器自研自製，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。

2019 年 10 月台積電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，開發中的 5 奈米 EUV 製程可能會在 2021 年量產，由此可見 EUV 技術導入現今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。以經濟規模來說，2018 年全球光阻劑與光罩市場規模分別為 18 億與 40 億美元，同年亞洲區光罩檢測設備達 400 萬美元，製程技術隨著線寬縮小，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之良率以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。因應儀科中心開發符合半導體產業所設備，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，可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，將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。另一方面，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 光學檢測設備的內銷活動，為具備高效能與較低設備成本之先進封測設備，且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，設備應用範圍擴大亦將有助於促進整體量檢測產業發展。

(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。

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。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

政府為振興經濟、帶動整體經濟動能，因應國內外新產業、新技術及新生活趨勢，推動促進轉型之國家前瞻基礎建設，特制定「前瞻基礎建設特別條例」。「數位建設」為前瞻基礎建設之一環，是依據行政院「數位國家·創新經濟發展方案（2017-2025年）」之架構規劃而成，跳脫傳統偏重硬體的公共建設思維，首度推動網路安全、數位文創、智慧城鄉、智慧學習及科研設施等軟性基礎建設，並以「建設下世代科研與智慧學習環境」是五大推動主軸之一，創新國民教育環境，並發展我國自主人工智慧高速運算平臺及科研設施，支持產學研開拓前瞻科技領域，加速產業數位轉型。

科技部秉於數位建設精神，整合自然司與所屬法人資源，規劃以前瞻特別預算加速國際級半導體相關科研設施建置，並採自行設計、自行組裝方式建置半導體應用所需高解析臨場 X 光檢測設施與技術，並結合相關學研單位之高解析分析儀器與技術，以及儀科中心累積自研自製檢測設備研究能量，形成聯合實驗室與服務平台，提供半導體材料研究與 EUV 檢測服務，以配合鞏固國內半導體優勢，及早建構 AI 世代所亟需的製程微縮、低耗能、高運算量等核心技術。

計畫全程總目標					
鞏固自由探索研究環境，厚植科技立國能量 跨領域整合資源設施，提升研究資源綜效					
年度	第一年 民國 110 年	第二年 民國 111 年	第三年 民國 112 年	第四年 民國 113 年	第五年 民國 114 年
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	1.完成叢集式線上 XRD 即時檢測開發，AR-XPS、光罩缺陷檢測	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	1.完成搭配臨場監控製程驗證與打樣測試；多功能式 EUV 微	1.完成搭配臨場監控製程平台優化與打樣測；多功能式 EUV

	<p>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。</p> <p>2.開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術。</p> <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>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。</p> <p>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站設計。</p>	<p>上檢測整合，RTP 模組開發，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。</p> <p>2.開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術及多空間高解析影像探測技術與即時動態解析技術，並於實空間、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。</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。</p>	<p>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。</p> <p>2.開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術及多空間高解析影像探測技術與即時動態解析技術，並於實空間、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。</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。</p>	<p>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。</p> <p>2.開發前瞻材料物性化性功能解析實驗技術及多空間高解析影像探測技術與即時動態解析技術，並於實空間、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。</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。</p>
--	---	--	---	---	--

<p>預期 關鍵 成果</p>	<p>1.完成拉曼臨場監控設計與系統建置、橢集式真空系統組件、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。</p> <p>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。</p>	<p>1.建置 XRD 線上檢測設備、建置 AR-XPS 並整合六吋載台與完成淺層量測測試、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。</p> <p>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。</p>	<p>1.完成臨場監控與沉積系統整合、RTP 模組建置與加熱均勻性測試、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。</p> <p>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。</p> <p>3.完成半導體半導體臨場高階 X 光電子能譜技術建置。</p>	<p>1.完成 12 吋 TMDs 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。</p> <p>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 8 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。</p> <p>3.完成半導體二維薄膜繞射檢測技術建置，以及臨場檢測技術所需實驗環境系統建置。</p>	<p>1.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。</p> <p>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 8 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。</p> <p>3.臨場高階 X 光電子能譜技術調校開放使用，進行半導體廠商委託案測試驗證。半導體二維薄膜繞射檢測技術進行優化及測試驗證。</p>
-------------------------	--	---	--	---	--

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3分項，架構如圖3所示，並規劃以五年期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，各分項執行策略與方法分述如下。

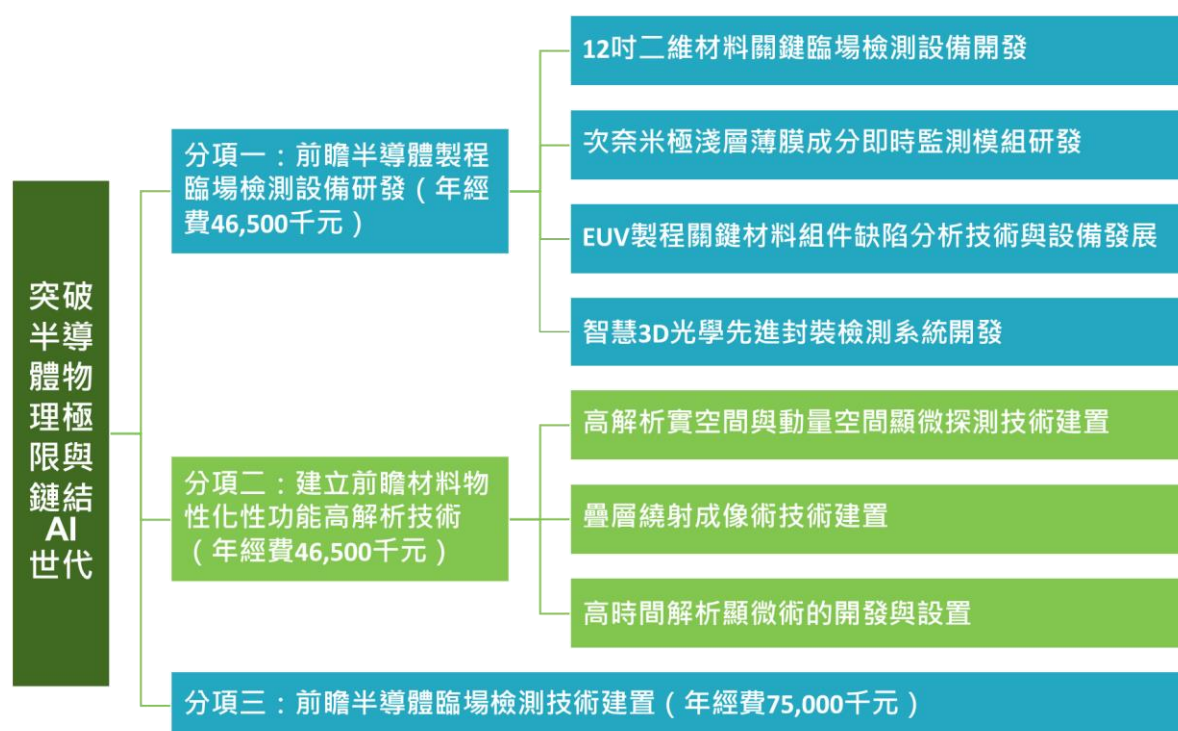


圖 3：計畫架構圖

(一) 前瞻半導體製程臨場檢測設備研發執行策略及方法

1. 分年重點工作內容與經費需求

年度	年度重點工作內容	經費需求
110年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 開發拉曼光譜臨場監控設備。 2. 建置叢集式真空系統組件。 3. 開發超高真空樣品載台。 4. 研發 3D 光場成像系統技術與演算法。 5. 打造封裝用無光罩曝光機關鍵核心引擎。 	46,500 千元
111年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 開發叢集式線上 XRD 即時檢測。 2. 建置 AR-XPS。 3. 建置光罩缺陷檢測模組。 4. 可見光 3D 檢測系統之建置及系統整測與驗證。 5. 打造封裝用無光罩曝光機光源技術。 	46,500 千元
112年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 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。 2. 開發 RTP 模組。 3. 建置反射率檢測模組。 4. 近紅外光 3D 光場相機系統建置(工程體)與測試。 5. 打造封裝用無光罩曝光機抗振平台系統。 	34,875 千元
113年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 搭配臨場監控製程驗證與打樣測試。 2. 多功能式 EUV 微影元件檢測平台自動化整合。 	34,875 千元

	<ul style="list-style-type: none"> 3. 整合 AI 技術之 3D 檢測技術智能檢測軟體開發。 4. 打造封裝用無光罩曝光機原型系統。 	
114 年	<ul style="list-style-type: none"> 1. 完成搭配臨場監控制程平台優化與打樣測。 2. 多功能式 EUV 微影元件檢測平台之整合與優化。 3. 整合 AI 技術之 3D 檢測技術精進及軟體優化。 4. 封裝用無光罩曝光機原型系統調校優化。 	23,250 千元

2. 核心技術

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之良率以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。因應本中心開發符合半導體產業所設備，購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，可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汙染，將是下個世代半導體製程發展決勝的關鍵點，目前半導體相關產業 (晶圓製造商/前驅物商/FA 分析商) 對於淺層薄膜成分臨場分析模組也需求急迫。另一方面，為加深學研界在下世代半導體製程發展與研究的力道，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，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。

微影 (Lithography) 技術的發展，已經從早期的 G-line (436 nm)、I-line (365 nm) 發展至目前的 ArF (193 nm) 也因為半導體製程所需的線寬越來越小，ArF 微影技術發展已逐漸慢慢接近其物理極限，無法滿足現況需求，ArF 搭配浸潤式顯影與多重曝光技術，僅可使用至 7nm 製程，7nm 節點以下製程將 EUV 微影技術，以確保先進製程持續發展與摩爾定律的持續推進，自台積電宣布其領先業界導入 EUV 微影技術之 7 奈米強效版 (N7+) 製程，代表著 EUV 的世代已經來臨。隨著 EUV 微影技術投入量產，逐年累積之 EUV 曝光晶圓數於 2019 年開始突破性成長，2019 年僅半年時間即累積了 1 百萬片，未來先進半導體製程將以 EUV 逐漸取代 ArF 與多重曝光技術，此外除了 Logic 製造需求，DRAM 製造的投入，也將提高 EUV 技術需求。因此藉由本計畫之執行，除可提供半導體晶圓製造廠商檢測微影相關組件外，更重要目標是希望藉由服務平台建立，可協助相關產業升級，使原有 193nm ArF 零組件供應商可切入 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。

透過國研院儀科中心結合本計畫推動之國內半導體封測設備商，投入先進封裝三維光學檢測系統之核心三維光場成像技術與光機電系統開發。以及封裝型之曝光製程設備能提供跨越高速計算、儲存、傳輸、感測、低功耗與智慧處理等功能。「More than Moore」的趨勢形成全仰賴於物聯網、生醫電子、行動裝置與智慧工業的發展，為更符合使用者體驗效益的市場發展。

3. 技術應用概述

國家級實驗室之研發能量開始挹注到半導體設備產業，對於技術提升建立良好基礎，同時也為日後相關研究機構與學術機構，於半導體關鍵元組件開發和自動化光學檢測相關產業之合作方向與內容立下成功範例。同時，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，及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。

產業界現有技術分析設備與製程設備各自獨立，晶片於製程結束後須破真空從製程設備中取出，再置入分析設備，過程中還須以保護層（capping layer）覆蓋於晶片表面，以減少晶片與大氣接觸，導致工序增加及表面薄膜汙染。由於半導體大廠技術進展之需求，FA 廠提出建立 in-situ 分析應對方案。除 FA 廠已與國輻中心合作開發分析設備內含退火功能外，儀科中心將進一步連結製程與分析設備，以發展未來半導體先進開發所需。

為因應半導體先進製程技術開發所需，二維材料過渡金屬硫屬化合物（Transition Metal Dichalcogenides, TMDs）是目前應用於 3 奈米製程以下最佳候選材料，然而材料品質決定元件效率與壽命，因此開發關鍵臨場量測技術及線上檢測次系統來因應二維材料系統在成長時的即時量測，進而提高製程良率與降低材料成本等因素，由於二維材料薄膜生長的穩定性會直接影響成膜品質，為達到量測的精準性、高響應速度與非破壞檢測等條件。因此要獲得高品質材料製程除了上述技術外，還必須透過進一步特性分析以了解 2D 材料缺陷以及表面生成物（即氧化物、氮化物、氟化物、硫化物等）。

在系統開發的主要範圍為 3D 光場成像系統技術平台及其關鍵元組件，及整合 AI 技術之三維檢測技術平台與系統等執行策略與技術建置方式為：先發展可見光波段光場成像系統技術及三維光學檢測技術之平台與系統，並建立 3D 光場成像系統之設計分析、3D 資料處理與演算法、微透鏡陣列之設計製造與擇優、整合 AI 技術之光場影像解析度提昇與 3D 檢測之演算法與軟體等關鍵性技術。

然後再逐年完成近紅外光波段與 UV 紫外光波段之光場成像系統技術及三維光學檢測技術之平台與系統等。並於第四年協助半導體封測設備商申請政府相關前瞻設備技術開發合作計畫或直接協助其開發先進半導體封測設備，亦可協助學研界進行相關 3D 光場成像系統或檢測系統的特殊研究需求與應用，以期將技術研發成果擴散至產學研界，提升我國量檢測技術與產業競爭

力。

藉由儀科中心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，將可實現核心系統的場域驗證與技術移轉。

4. 科學效益

本計畫規劃建立連結製程/分析設備之先進半導體產學共用平台，並與清華大學、交通大學、半導體中心、國輻中心等產學研機構共同使用，開發先進高覆蓋性 Self-limited 薄膜材料製程，以因應未來半導體元件製程需求，並協助國內學研單位與相關半導體及光電相關產業之研發。

伴隨著線寬縮小的趨勢，使用的波長勢必縮短，BEUV (Beyond extreme ultraviolet)，中心波長 6.7nm，更是被視為 EUV 的下一代技術發展。透過建置 EUV 元件檢測設備與服務平台，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，並提供國內產業 EUV 元件檢測服務。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。

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，不僅補足技術層級間隙，更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。

5. 產業技術與應用效益

將國家級實驗室之研發能量挹注到半導體設備產業，不僅協

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，及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，對於技術提升建立良好基礎，也為日後半導體關鍵元組件開發、自動化光學檢測等相關產業與學研機構之合作方向與內容立下成功範例。

產業界現有技術分析設備與製程設備各自獨立，晶片於製程結束後須破真空從製程設備中取出，再置入分析設備，過程中還須以保護層（capping layer）覆蓋於晶片表面，以減少晶片與大氣接觸，然而由於過程中，大氣中的氣體分子或多或少影響到薄膜的表面狀況，甚至連帶影響到更深層的鍵結情形而使最後量測結果失真，在製程持續微縮進程下，薄膜表面與介面佔整個薄膜的比例越來越高，導致工序增加及表面薄膜污染，這意味著，大氣污染而導致量測失真的議題愈顯重要。由於半導體大廠技術進展之需求，FA 廠提出建立 in-situ 分析應對方案，並已與國輻中心合作開發退火功能，儀科中心將更進一步連結製程與分析設備，發展更多元符合半導體先進開發之需求。

本計畫所建置之多功能式 EUV 微影元件檢測平台包含反射鏡與光罩檢測，及光阻特性檢測等兩大類別，分述如下：

(1) 反射鏡與光罩檢測部分：

EUV 微影為超高真空環境下以反射式光學元件進行曝光，故其所需相關元件特性要求將有別於現有材料，且反射鏡採用多層膜式反射鏡，主要結構為 Mo/Si 週期性多層膜；而 EUV 光罩為以其反射鏡為基底於上覆蓋吸收層，於吸收層上繪製出所需光罩圖案（如圖 4），故除光罩圖案正確性以外，多層膜鍍製時所產生的缺陷，表面缺陷、顆粒等，皆會影響後續曝光微影之正確性。

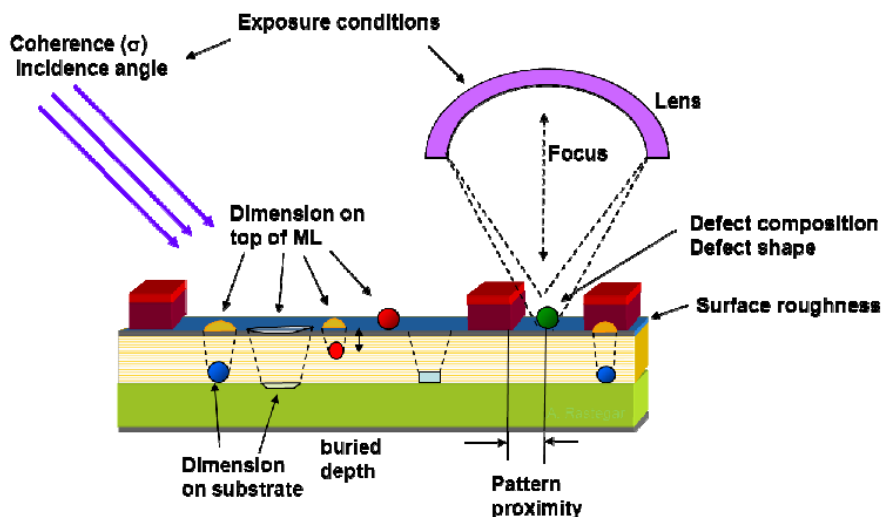


圖 4、EUV 光罩缺陷示意圖

現有 EUV 光罩檢測方式有：電子束檢測、AFM 探針掃描、光學檢測等方式，其優劣分析如表 1，其中電子束與 AFM 檢測雖解析度高，但檢測速度過慢，且僅能進行光罩表面缺陷檢測，難以深入多層膜檢測結構深層缺陷，由光罩之光學缺陷檢測技術發展來看，強度足夠 EUV 光源取得不易，通常以 266nm 光源進行檢測，因其光學物理極限僅可滿足半間距 32nm 之檢測，若採用 EUV 光源，可進一步提升解析度，檢測長波長無法偵測之缺陷。因此，儀科中心規劃使用 EUV 光源，達到速度、解析度皆佳之光罩分析，並可分析多層膜缺陷等功能。

表 1、光罩缺陷檢測方式優劣

	電子束檢測	AFM 探針掃描	光學缺陷檢測
檢測速度	慢	慢	快
解析度	優	優	優 (EUV 光源)
多層膜缺陷	否	否	可

此外，由於 Mo/Si 多層薄膜間的元素擴散程度會明顯影響 EUV 反射鏡的反射率，其光學特性會收到表面氧化或污染而衰變，故對多層薄膜界面特性的檢驗亦為重要議題。而國輻中心同步光源具有波長可調變的優點，可對 Mo/Si 多層薄膜進行入射光波長（能量）相關的反射率量測，反射率的波形、能量位置與強度能反應出多層薄膜的有序性、表面及界面型態，因此結合使用同步光源 SR EUV，可提供更深入分析多層膜缺陷等功能。

(2) 光阻特別檢測部分：

由於商用設備所產生出的 EUV 光源含蓋了寬能量光譜的範圍，此被稱之為帶外（Out-of-band, OOB）輻射。EUV 光阻劑對於 EUV 與 OOB 波段的輻射皆相當敏感，是因為相當數量的 EUV 光阻劑係基於 193 nm 和 248 nm 光源所設計的材料。在光刻工藝中，OOB 輻射所導致的某些破壞性影響可以以光阻劑膜厚度損失的形式觀察到，因而導致圖形輪廓的損害。因此，開發對 OOB 輻射低靈敏度的 EUV 光阻劑顯得非常重要，而可產生 OOB 波段的國輻中心同步光源即有助於 EUV 光阻劑的研發工程，用以評估不同化學結構的 EUV 光阻劑對於 OOB 輻射的影響。並可藉由干涉微影技術可評估 EUV 光阻劑的特性，包含圖形化的分辨率及對於 LER 與 LWR 的影響。該技術需要同調性的光源使經過光柵結構後會形成干涉條紋，而由聚頻磁鐵產生的同步 SR EUV 光源具有較佳的同調性，成為一項強大的 EUV 光阻評估工具。

事實上，因光源不易取得關係，光阻劑接觸到 EUV 會產生之化學變化、釋氣，光阻劑的解析度、感光度、LER（Line Edge Roughness）、LWR（Line Width Roughness）等材料特性皆有待研究，其缺陷產生原理如圖 5，儀科中心亦期望藉由該設備之建立可加速研究開發進程。

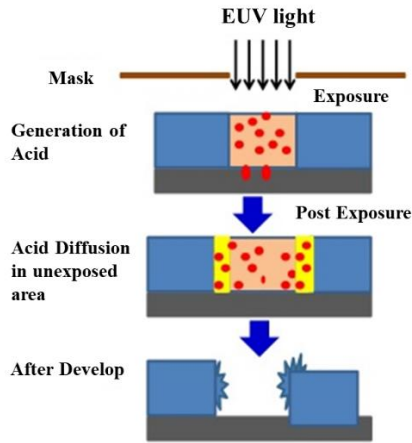
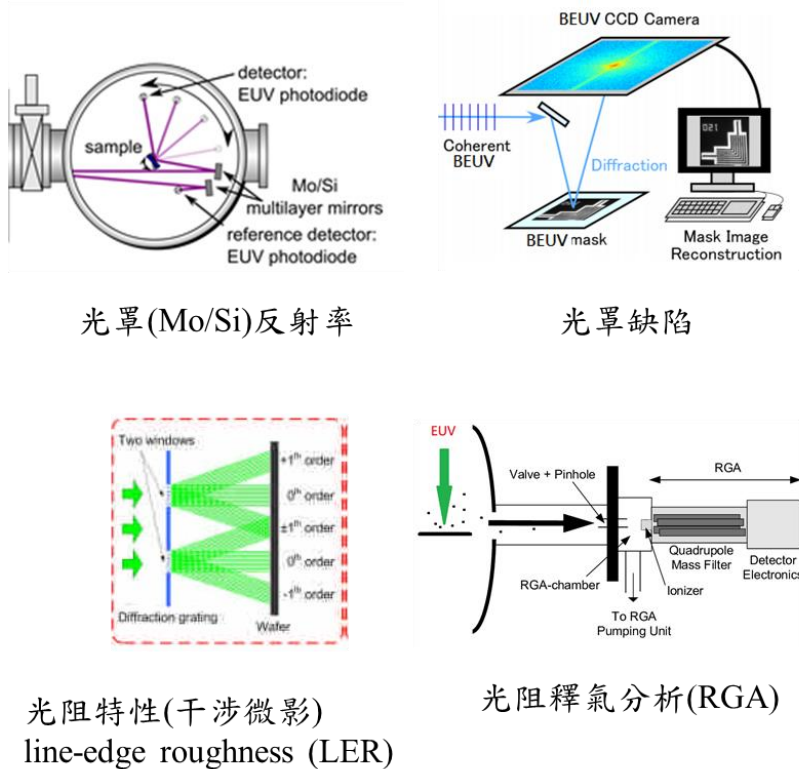


圖 5、EUV 光阻缺陷產生示意圖

儀科中心將透過本計畫建立多功能式 EUV 微影元件檢測平台，該檢測平台可針對 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，EUV 元件檢測項目之示意圖如圖 6。



光罩(Mo/Si)反射率

光罩缺陷

光阻特性(干涉微影)
line-edge roughness (LER)

光阻釋氣分析(RGA)

圖 6、EUV 元件檢測項目之示意圖

6. 重要性與發展趨勢

本計畫補強服務平台即時分析不足之處，除探討基板表面成分、官能基變化是否符合擇區薄膜成長/蝕刻特性課題之外，在原本營運模式內設備與製程服務增加 in-situ 分析服務。藉此強化儀科中心即時薄膜分析能量，加深產研界夥伴與中心合作黏著度，並拉大與國內外類似服務平台之技術壁壘。

現今半導體產業在晶片生產過程中也是利用此設備來解析薄膜的表面與介面狀況，但往往於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。在此過程，由於與大氣接觸的關係，大氣中的氣體分子或多或少影響到薄膜的表面狀況，甚至連帶影響到更深層的鍵結情形而使最後量測結果失真。在製程持續微縮進程下，薄膜表面與介面佔整個薄膜的比例越來越高，這意味著，大氣污染而導致量測失真的議題愈顯重要。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，此舉無法即時測得材料資訊，且較耗費材料成本。有鑒於此，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。

且由於 EUV 技術導入半導體製程顯然勢在必行，EUV 微影所需之相關元件必須加速開發，以便及時切入 EUV 產業供應鏈，本計畫所建置服務平台有助於帶動原有 193nm ArF 零組件供應商可切入 EUV 產業供應鏈；此外，透過本計畫研發之 3D 光學檢測設備的內銷活動，以具備高效能與較低設備成本之先進封測設備，將有助於促進整體量檢測產業發展。除可應用於半導體先進封裝（如 3DIC）之檢測設備外，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設備，以提高應用範圍及生產品質與產業競爭力。

本計畫以跨領域整合的儀器與設備研發，促成最新穎的科學發現，同時為解決科學探索所研發之創新技術培育具冒險與創新的產業人才，並帶動新產業發展與提升世人的生活品質，將推動

高階製程系統自製以開創新的產品與產業契機，亦為未來孕育符合數位時代社會與產業需求的高階研發人才。並藉由推動「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，掌握封裝製程設備自製能力，降低對國外設備採購依賴，強化我國科技研發環境與產業生態鏈。

(二) 建立前瞻材料物性化性功能高解析技術規劃與方法

1. 重點工作內容與經費需求

本分項 110 至 114 年分年經費需求分為 46,500 千元、46,500 千元、34,875 千元、34,875 千元、23,250 千元，全程合計 186,000 千元。

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。

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，也將同時支援產、學研界需要的多參數檢測服務，以優質的工藝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，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。

2. 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) 疊層繞射成像術（ptychography）的技術開發與設置：

疊層繞射成像術可經由可見光、X 光、和電子來完成，需要同時結合實空間的精密定位、相空間的高解析繞射圖樣、和快速的數據計算。理論上此技術可提供與相差修正影像同等級的原子級實空間影像。此技術為國際熱門研發課題，國內正逐漸起步且已有數個學研單位開始建立技術，整合發展後可達成技術躍昇並完善我國科技核心技術網。

(3) 高時間解析顯微術的開發與設置

原位操作（in-operando）顯微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原位操作顯微術結合，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。

3. 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。

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）。

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。

4. 科學效益

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研界關鍵頂尖技術服務。

5. 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，科技部（自然

司)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。

6. 重要性與發展趨勢

在半導體極限之後的新世代科技發展,例如低維度半導體,量子科技所需的量子材料、和數位資訊追求的高密度電子自旋控制與量測技術等,將大量仰賴新穎材料的開發和對應的物性化性探測技術來突破。由於未來的趨勢需要將功能性材料微型化的同時一併優化其功能,所以相對未來的分析儀器需要有在實空間與動量空間進行高解析影像顯微探測的能力,以及即時的動態解析。本分項計畫所發展的材料物性化性解析實驗技術,將構築科技與產業發展所需的基礎核心設施及技術網路,不但可以開啟研究新契機,亦可培育我國高端專業技術跨領域人才。

(三)前瞻半導體臨場檢測技術建立策略及方法

1. 分年重點工作內容與經費需求

年度	年度重點工作內容	經費需求
110年	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成具備精準樣品選位載台、高解析度偵檢器系統並適合進行半導體二維薄膜繞射技術設計。 2. 完成具非破壞性檢測、高價態分辨率、原子級靈敏度,探測深度可達 5 奈米厚度以下的新世代半導體臨場高階 X 光電子能譜技術設計。 	75,000 千元
111	完成關鍵元件、控制回饋與安全連鎖系統等圖面設計並發包,並進行前端區及輻射屏蔽	75,000

年	屋建置;配合半導體臨場檢測分析技術需求自行設計並完成二維薄膜繞射及高階 X 光電子能譜之半導體臨場實驗環境系統與實驗站規劃，並且發包採購。	千元
112年	關鍵元件陸續到貨驗收並自行組裝，完成半導體二維薄膜繞射之光學系統基礎建置，並且半導體臨場實驗環境系統與實驗站部分設備到貨開始進行驗收。	56,250千元
113年	自行組裝並完成半導體臨場高階 X 光電子能譜技術設施建置，並整合測試發展適合 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之臨場高階 X 光電子能譜檢測分析技術。	56,250千元
114年	優化臨場高階 X 光電子能譜檢測分析技術，進行相關性能測試及驗證。自行組裝並完成半導體二維薄膜繞射技術設施建置，並整合測試發展適合 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之二維薄膜繞射檢測分析技術。	37,500千元

2. 設計概念與技術規格

當半導體元件的區塊微縮至幾個奈米，元件中的每一個原子的空間排列及電子狀態對元件性能的影響比重都大幅增加，也容易受探測工具的干擾失去原貌。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，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，規劃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。

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，以維持國內半導體產業的國際領先地位。

事實上，非破壞性的高空間-時間解析半導體臨場檢測技術，已成為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。此時，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。

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。

此外，由於半導體廠對於臨場材料分析量測的需求漸增，期能即時觀察到薄膜材料於真實製備過程中所產生的特性行為變化，將有助於先進製程條件開發與縮短半導體材料研發時程。國輻中心將優化工具時間解析之 X 光繞射臨場設備，臨

場觀察熱退火條件對於半導體薄膜材料之相變效應及缺陷的影響，了解薄膜材料的熱力學行為及取得最佳化的製程條件。

3. 科學效益

當材料的尺度不斷縮小到奈米級時，由於量子侷限效應（Quantum size effect）、小尺寸效應（Small size effect）及其表面積與體積的比值變大所造成的表面效應（Surface effect）等因素，導致材料對光、熱力學、電磁、力學等許多性質展現其與塊材（Bulk materials）之差異，如半導體能隙增大、熔點降低、光吸收度顯著增加及矯頑力增加，且由於量子穿隧效應（Quantum tunneling effect）和庫倫阻塞（Coulomb blockade）效應的影響，奈米半導體材料擁有更高的光電轉換及傳輸效率，並藉著奈米尺度材料的特殊性質，也促成新穎材料研究與創新應用。本計畫所發展半導體臨場檢測技術，結合二維薄膜繞射、高階 X 光電子能譜等技術以及退火模擬系統、薄膜半導體外加氣體腔體系統等半導體專門量測環境與設備，形成特別適用於半導體應用研究的檢測分析技術，其科學應用效益如下：

A. 前瞻半導體二維材料研究：

薄膜樣品是半導體及光學元件最重要的應用型式，在追求突破物理極限的新世代半導體應用上，薄膜越做越薄，甚至發展為單層二維材料。半導體先進製程的薄膜材料研發工程，利用半導體二維薄膜繞射技術可以取得晶體結構、材料密度、缺陷濃度及界面型態，可以藉由這些重要的資訊來改善半導體元件電性的表現。而半導體臨場高階 X 光電子能譜技術可以臨場觀測二維材料價態、電子組態、電性、結構等變化，對二維材料的奈米元件進行非破壞性量測（相較於 TEM），快速得到材料的電子結構資訊，有助加速次世代半導體元件開發進程。

此外，由於半導體廠對於元件工作態下的缺陷孳生、分佈

及結構疲勞檢測，以及二維材料臨場分析量測的熱切需求，本計畫將發展即時元件原位的二維薄膜掠角 X 光繞射結構檢測設備及分析技術，可即時觀測監控半導體元件於真實工作環境下或二維材料製備過程中的特徵結構變化。此將大有助於找出元件製程、操作環境、與缺陷產生機制的重要關聯性，進而達到快速的製程-檢測疊代修正，縮短半導體元件與相關二維材料的研發時程。國輻中心所將發展的具時間及空間解析之半導體二維薄膜 X 光繞射技術，可藉由掠角入射薄膜的方式，讓繞射的 X 光訊號浮射出薄膜，避開傳統穿透式繞射訊號無法穿透元件矽基材的窘境。以此技術可在複製的半導體元件工作狀態環境下進行臨場的半導體元件結構衰變行為檢測；也可檢測出二維薄膜材料製備過程中的可能結構相變效應及原子缺陷排列的數量及分佈，及其對後續元件表現的影響。此將大有助於減低半導體元件重複製備測試的損耗及加快元件優化的研發時程。

B. 次世代半導體與金屬接面製程研究與開發：

本計畫所發展半導體臨場檢測技術，具有高亮度、高價態解析等特色，可以提供材料局部電子結構、幾何結構等資訊，對於尖端材料開發有著極大的優勢。尤其是在突破半導體物理極限的奈米薄膜元件或是新穎二維元件研究與發展，更是有著極大的助益。例如在次世代半導體材料研究中，首先被考慮用於 5 奈米以下製程的是二維材料 - MoS₂，用於電晶體的通道 (channel)。主要的好處是它的漏電流遠較矽小幾個數量級，因此功耗也很小。造成這現象的主要原因是 MoS₂ 的電子等效質量 (effective mass) 較矽大 3 倍左右，因此晶體管在「關」的狀態下漏電流小，代價是在「開」的狀況下通過的電流也小。但是 MoS₂ 的飽和電流並不會限制它繼續微縮，實驗上已展示將之用在 1D2D FET (1D gated, 2D semiconductor FET) 擁有極佳的性質，這使得 MoS₂ 在次奈米的電晶體應用上比矽為佳，這是目前最熱門的研發方向。而硬 X 光光電子發射能譜靈敏度可以準確量測到小於 1

奈米厚度的薄膜訊號，再加上高穿透深度，是少數可以量測 5 奈米以下的電子元件閘極或是異質接面的非破壞性量測方法，更是研究突破半導體物理極限的一個重要且強大的量測分析工具。例如在 MoS_2 與金屬接面的接觸阻抗研究，一直是台積電與各大學研究單位重要課題。

因為傳統分析工具-TEM 為破壞性檢測，在奈米尺度下使用離子槍轟擊 MoS_2 與金屬接面可能產生不可預知的變化，因而無法得知正確的資訊而影響開發時程。而且配上在成長薄膜的同時臨場量測硬 X 光光電子發射能譜，更可以獲得正確的材料資訊。所以非破壞性檢測且具有臨場量測功能的檢測技術就是一個非常重要且無可取代的研究工具。

C. 高介電材料開發與製程研究：

由於半導體製程不斷的進步，尤其在未來更是會縮小到 5 奈米以下，所以新穎高介電材料開發是一個重要的研究課題。目前高介電材料以解決在元件尺寸縮小的情況下減少閘極漏電流為一直以來的研究趨勢，而氧空缺與參雜問題更是高介電材料開發的重大關鍵，而在透過半導體臨場檢測技術，能夠準確的量測各種氧化物與參雜化合物的價態與分佈，更可以利用其非破壞與高穿透力的優點，研究高介電材料與金屬接面的晶體與電子結構，藉以進一步的提供詳細的價態與電子結構訊息給研究人員，藉以研究如何地降低其界面阻抗，相較於傳統的 TEM 分析，減少因離子槍轟擊所衍生的實驗數據失真問題。對於高介電材料研究與開發上有極大的助益。

D. 半導體材料退火製程研究與開發：

在半導體製程中，退火一直是一個重要的步驟，但是在目前的分析方法上面，無法直接量測到退火過程中材料或

是介面對於退火過程的變化與反應，但是藉由半導體臨場檢測技術的高穿透力、非破壞性與靈敏的元素鑑別率，再加上臨場的實驗環境，可以完整地量測到半導體退火過程中材料的組成與結構變化或是材料介面的價態變化以及分佈情況，研究人員可以清楚的掌握退火過程中材料與介面變化，進而改善製程，增加研發的速度。例如 HfO_2 在退火時在 Si 或是 InGaAs 等基板上氧會有重新再分佈的情況 (oxygen redistribution phenomenon) 發生，半導體臨場檢測技術可以提供此重要能譜數據給予製程人員，藉以改善優化製程條件與縮短製程開發時程。

E. 元件的動態電子結構、價態與成分分析

透過臨場量測環境，以及硬 X 光真空需求較低的特色，臨場檢測技術可以提供研究人員元件動態的電子結構、價態與成分分析，例如可以在元件通電工作時，同時量測動態的變化，這對於其他傳統分析工作來講是一大優勢，可以提供另一方面的數據給予研究與開發人員，這對於在增進半導體良率或是除錯方面，擁有極大的助益。又如在 $\text{MoS}_2/\text{GdFeNiO}_3$ 的介面上，再施加電場的情況下會有電荷極化產生，而藉由半導體臨場檢測技術可以量在施加正副電場下各別元素特徵峰偏移，藉以判定極化情形，這是再一般靜態環境下所無法量測到的，所以動態量測對於研究人員再判定電子元件的電子特性會有極大的幫助。

4. 產業應用潛力

隨著半導體製程邁向個位數奈米節點，如何跨越電晶體微縮的物理極限、延續摩爾定律 (Moore's Law) 壽命，成為目前相關技術研發的焦點，其中能取代矽的新穎半導體材料就是熱門研究議題，例如常見的具有導體特性的石墨烯，有半導體能隙的過渡金屬硫化物 MoS_2 、 WS_2 ，高介電係數絕緣體

氮化硼 (BN) 等。眾所皆知半導體材料共歷經三個發展階段，第一代主要發展矽 (Si)、鍺 (Ge) 等基礎功能材料；第二代則由兩種以上元素組成的化合物半導體材料，以砷化鎵 (GaAs)、磷化銦 (InP) 等為代表；第三代則是氮化鎵 (GaN)、碳化矽 (SiC) 等寬頻化合物之半導體材料。根據近期新聞報導，台積電將攜手意法加速開發第三代高頻率、高壓的氮化鎵 (GaN) 半導體新材料，期由氮化鎵所製成的電晶體因為成本效益與元件的可靠度被用來替換功率日益老化的矽基 MOSFET，然而氮化鎵元件製程之癥結問題還是在於是否能製成穩定與高品質之薄膜材料，特別是氮化鎵薄膜材料因異質磊晶成長，造成薄膜大量缺陷及高比例錯位缺陷進而影響材料的品質，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。

此外為了滿足現今市場對於電晶體具體積小、省功率、降低成本及提高速度的需求，目前已知把氧化層材料由原先的二氧化矽氧化層，改為使用高介電 (High-k) 新材料，即高介電絕緣層，能有效降低閘極漏電流，其中二氧化鈣 (HfO_2) 為最近幾年最廣泛研究之高介電材料。國輻中心長期與產業界密切合作，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，業務客群包含半導體廠商與法人研究機構等。與半導體大廠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，將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。

二維半導體材料的開發已經進入一個新的階段，二硫化鉬 (MoS_2)、二硒化鉬 (MoSe_2)、二硒化鎢 (WSe_2)、氮化硼 (BN)、石墨烯等如今都被廣泛的研究於 5 奈米以下的製程，這些材料是否能夠進行量產的關鍵還是在於如何製作成穩定且高品質的半導體元件，利用半導體臨場檢測技術可即時觀測二維

薄膜製程中的二維有序結構形成與相變化，如同一雙銳利的光眼，可快速有效的從眾多的製程參數條件組合中，臨場分辨標定出一組最佳的薄膜製程參數，可有效降低半導體的重複製備-改善的周期，縮短優化製程的時間；再結合六軸高自由度精準選系統以及高解析度二維偵檢器可以精準且全面性的分析整個二維薄膜材料介面及 3D 奈米材料半導體的成分組成與結構缺陷，搭配臨場環境設備，可以模擬半導體製程的環境，進行原位分析，對於半導體製程有非常大的幫助。

5. 重要性與發展趨勢

本計畫所建立半導體臨場檢測技術在製程上的應用非常廣泛，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。

6. 營運管理

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。

在未來營運管理方面，國輻中心設施開放使用之後，不會僅限於用戶服務，還會負擔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；另依實際需求作為「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，對於所建置大型共用研究設施，國輻中心將每五年提供設施績效評估報告，邀請外部專家審核與評鑑，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既定目標及績效，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

本計畫所在規劃期間均已進行建置風險評估，分析可能遭遇之困難、瓶頸，並已研擬解決方式或對策，說明如下：

工作項目	風險評估	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，推進至業界 8 吋/12 吋量產評估階段，為國內半導體工業生產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>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 部分高階儀器設備諸如電子顯微鏡仰賴進口且價格昂貴。 2. 就業市場前景不明，影響高階人才投入相關技術研發工作的意願。 3. 近來中日韓三國持續對基礎核心實驗設施投注 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 精進自主儀器建製和技術開發的能力和擴大國內科技市場來活絡人才的需求是根本的解決之道。 2. 需要在相關儀器和分析技術持續投資方可避免人才出走及流失我國以

工作項目	風險評估	解決方式與因應對策
	大量資源。若國內無法建立與其相當甚或更佳先進儀器與量測技術，不僅多年建立起的前瞻材料利基將無以為繼，科技競爭力亦將落後周邊國家，人才亦會流失。	往在先進材料所建之利基。而透過聯合實驗來建構核心設施是將有限資源最大化的作法。
前瞻半導體臨場檢測技術建置	國輻中心已累積非常多相關光束線實驗設施建置、實驗與檢測技術發展、運作管理經驗，發展本計畫半導體臨場檢測技術風險並不高，最大風險為目前全世界因新型冠狀病毒所致，國際採購作業時程恐受影響。	目前全世界因新型冠狀病毒所致，大多國外企業與貨運都有一定程度影響，故採購國外大型元件必須提早規劃發包製作，排除延遲到貨的風險。

四、與以前年度差異說明

多年期計畫請簡扼說明每年度差異之處，差異項目可為年度階段性目標、執行重點、績效指標等。

年度 差異項目	107 年度	108 年度	109 年度	110-111 年度
分項一：前瞻半導體製程臨場檢測設備研發	建立 3D 多功能智慧型晶片異質封裝製程技術，協助開發半導體步進式曝光機。 GaN 元件平台服務技術進行原子	提升 3D 封裝用曝光機設備製程能力及應用(線寬小於 2um、線距小於 4um)。 優化及提升原	完成國內第一部「人工智慧、物聯網、車聯網等先進多功能異質整合晶片之製造關鍵設備 3D 封裝製程	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

	層蝕刻設備製程驗證	子層蝕刻設備製程能力及應用，接軌半導體科技業製造需求。	曝光機」。完成國內第一部先進半導體原子層蝕刻設備功能展示。	製程良率與可靠度。
分項二：建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	(新提計畫，無以前年度差異說明)	(新提計畫，無以前年度差異說明)	(新提計畫，無以前年度差異說明)	建立實空間與動量空間等高解析技術，並整合形成聯合實驗室。
分項三：前瞻半導體臨場檢測技術建置	(新提計畫，無以前年度差異說明)	(新提計畫，無以前年度差異說明)	(新提計畫，無以前年度差異說明)	針對半導體應用需求專門設計結合台灣光子源優異特性與半導體臨場實驗環境系統的設施與臨場檢測技術。

五、跨部會署合作說明

本計畫無跨部會署合作，但整合科技部所屬法人資源，建置半導體研發所需實驗設施與檢測設備所需，懇請委員支持。

肆、近三年重要效益成果說明

本計畫為五年期計畫之第一年，計畫包含三分項，其中僅分項一「前瞻半導體製程臨場檢測設備研發」具有前期計畫，前期計畫為「自研自製高階儀器設備與服務平台計畫（106-109年）」其重要成果如下：

● 前瞻半導體製程臨場檢測設備研發

小型步進式曝光機（5 μ m）與對準式曝光機（2 μ m）之系統組裝、測試與優化，整合投影鏡頭、光源系統、光罩/晶圓對位平台與整機結構等，此技術將導於產業，協助科○、清○、川○與上○等設備商完成技術缺口彌縫，促使設備產業升級與完善。

成功開發完成適合高功率元件製程與低損耗及高效率電路，與環球晶圓、晶電進行氮化鎵高功率元件整合；綠色高功率元件技術的原子層蝕刻設備，與晶圓大廠T公司進行3奈米金屬連導線等生產技術的確認與開發。相關製程技術導入4吋原子層蝕刻/沉積系統自製，提供清華大學製作TEM試片保護層之關鍵設備。

建立六吋 cluster ALD/Thermal ALE 製程平台，國際前驅物大廠（如：美商 RASIRC 與法商 Air Liquid）亦使用此平台以服務國內半導體廠進行先期研究，也間接促使台灣大學、交通大學、中山大學、半導體中心與日本等學研機構共同使用 ALD 聯合實驗室之 coupon ALD 系統。

成功建立並完成晶圓對晶圓及晶粒對晶圓之對準接合製程技術，並同時以 3D 封裝及 RDL 結合 LED 元件，成功以 3D 封裝方式點亮 LED 元件，可應用於高端先進 3D 元件、微機電封裝製程，以及高功率元件封裝等三大應用：與奇美實業進行晶圓接合製程驗證、與奇景光電合作進行光電元件微機電封裝技術開發、提供聯穎光電晶背散熱模組製程服務，另與矽谷新創公司擴大晶圓級 3D 封裝計畫。

儀科中心自製 ALE/ALD 設備導入半導體中心驗證場域，利用該自製設備成功發展 5nm Gate-All-Around MOSFETs 元件選擇性蝕刻製程並將相關研究成果發表於半導體電子元件最具代表性

的旗艦會議 IEDM 2019，並獲世界同儕肯定獲選為年度重要突破研究論文。

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. **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。
4. **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汙染。
5. **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

110 年度

完成拉曼臨場監控系統建置，可即時了解二維材料成長形態，協助產學研界進行新世代半導體二維材料電晶體與材料特性研究。

111 年度

完成建置 XRD 線上檢測設備，為材料成長時可提供晶體資訊的重要技術設備。

柒、經費需求/經費分攤/槓桿外部資源

經費需求表(B005)

經費需求說明

- 一、本計畫全程 6.72 億元。計畫共計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 3 個分項，以設備費為主，主要用於開發臨場監控設備及實驗技術所需之零組件、元件與儀器設備等，業務費則為開發臨場監控設備及實驗技術所需之加工製作、安裝、測試等工作所需之相關業務費。
- 二、本計畫擬採購之零組件、元件與設備，均為建置開發國際級設施所必須，符合前瞻基礎建設之數位建設的推動主軸「建設下世代科研與智慧學習環境」，以及符合國家科學技術發展計畫重要推動策略「持續優化研究設施與學術環境」、「健全研究基礎設施與資源共享」。

單位：千元

細部計畫名稱	計畫性質	110 年度			111 年度			112 年度			113 年度			114 年度		
		小計	經常支出	資本支出	小計	經常支出	資本支出	小計	經常支出	資本支出	小計	經常支出	資本支出	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	基礎研究核心設施建置及維護	46,500	36,000	10,500	46,500	36,000	10,500	34,875	27,000	7,875	34,875	27,000	7,875	23,250	18,000	5,250

二、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	基礎研究核心設施建置及維護	46,500	6,000	40,500	46,500	6,000	40,500	34,875	4,500	30,375	34,875	4,500	30,375	23,250	3,000	20,250
三、前瞻半導體體臨場檢測技術建置	基礎研究核心設施建置及維護	75,000	11,000	64,000	75,000	11,000	64,000	56,250	8,250	48,000	56,250	8,250	48,000	37,500	5,500	32,000

110 年度經費需求表

經費需求說明

本計畫包含 3 個分項，110 年度經費需求說明如下：

(一)分項一「前瞻半導體製程臨場檢測設備研發」：110 年度經費共計 46,500 千元，工作重點為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。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.資本支出：合計 10,500 千元，為臨場監控設備開發建置所需之零組件與元件。
- 3.經常支出：前瞻半導體臨場檢測設備建置所需之加工製作、安裝、測試等工作所需之相關業務費，合計 36,000 千元；另需進行前瞻相關技術推廣交流合作洽談以及研究參訪等出國差旅需求。

(二)分項二「建立前瞻材料物性化性功能高解析技術」：110 年度經費共計 46,500 千元，主要在建立前瞻材料物性化性功能高解析技術能量，經費主要用以購置科學儀器、設備及相關元件，協助相關學研單位強化材料分析量能，並形成聯合實驗室，高達 87%為設備費。

(三)分項三「前瞻半導體臨場檢測技術建置」：110 年度經費共計 75,000 千元，主要工作重點為完成臨場檢測技術與設施設計，進行光學鏡、鏡箱、單光儀等重要光學元件規格訂定與發包採購，經費主要用以購置科學儀器、設備與相關元件，高達 87%為設備費，而經常支出則為設施建置與技術發展所需之加工製作、安裝、測試等工作所需之相關業務費。另，無編列人事費，所需正式人力由「國輻中心業務推動與設施管理計畫」支援。

單位：千元

計畫名稱	計畫性質	預定執行機構	細部計畫重點描述	主要績效指標 KPI	110 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	基礎研究 核心設施 建置及維運	財團法人 國家實驗 研究院 (台灣儀 器科技研 究中心)	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。	開發全球首創可整合於叢集式之半導體製程臨場檢測設備模組，並建立極紫外光 (EUV) 微影元件檢測服務平台，完成先進封裝三維光學檢測技術平台與系統。	46,500	0	10,900	25,100	0	10,500	0
二、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	基礎研究 核心設施 建置及維運	科技部自 然科學及 永續研究 發展司	建立科技與產業發展所需的基礎核心設施及技術網路，發展檢測先進材料物性化性功能之設備與技術，開發可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析的顯微影像探測儀器及技術，以利開啟研究新契機，並深化及整合我國頂尖技術及跨領域人才。	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。	46,500	0	3,000	3,000	0	40,500	0

<p>三、前瞻半導體臨場檢測技術建置</p>	<p>基礎研究核心設施建置及維運</p>	<p>財團法人國家同步輻射研究中心</p>	<p>建立 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之設施與檢測技術，包含具備精準樣品選位載台與高解析度偵檢器系統並搭配各種臨場樣品環境的半導體二維薄膜繞射技術，以及且高價態分辨率及高靈敏度的新世代半導體臨場高階 X 光電子能譜技術。</p>	<p>發展適合下世代半導體材料研究與臨場檢測的二維薄膜繞射、臨場高階 X 光電子能譜等非破壞性尖端標靶式 X 光檢測技術，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。</p>	<p>75,000</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>11,000</p>	<p>0</p>	<p>64,000</p>	<p>0</p>
------------------------	----------------------	-----------------------	--	--	---------------	----------	----------	---------------	----------	---------------	----------

111 年度經費需求表

經費需求說明

本計畫包含 3 個分項，111 年度經費需求說明如下：

(一)分項一「前瞻半導體製程臨場檢測設備研發」：111 年度經費共計 46,500 千元，工作重點為完成叢集式線上 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。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.資本支出：合計 10,500 千元，為臨場監控設備開發建置所需之零組件與元件。
- 3.經常支出：前瞻半導體臨場檢測設備建置所需之加工製作、安裝、測試等工作所需之相關業務費，合計 36,000 千元；另需進行前瞻相關技術推廣交流合作洽談以及研究參訪等出國差旅需求。

(二)分項二「建立前瞻材料物性化性功能高解析技術」：111 年度經費共計 46,500 千元，主要在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動態解析技術，經費主要用以購置科學儀器、設備及相關元件，協助相關學研單位強化材料分析量能，並形成聯合實驗室，高達 87% 為設備費。

(三)分項三「前瞻半導體臨場檢測技術建置」：111 年度經費共計 75,000 千元，主要工作重點為完成臨場檢測技術與設施設計，關鍵元件、控制回饋與安全連鎖系統、輻射屏蔽屋、半導體臨場實驗環境系統等規劃設計並發包採購等，經費主要用以購置科學儀器、設備與相關元件，高達 85% 為設備費，而經常支出則為設施建置與技術發展所需之加工製作、安裝、測試等工作所需之相關業務費。另，無編列人事費，所需正式人力由「國輻中心業務推動與設施管理計畫」支援。

單位：千元

計畫名稱	計畫性質	預定執行機構	細部計畫重點描述	主要績效指標 KPI	111 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	基礎研究核心設施建置及維護	財團法人國家實驗研究院（台灣儀器科技研究中心）	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。	開發全球首創可整合於叢集式之半導體製程臨場檢測設備模組，並建立極紫外光（EUV）微影元件檢測服務平台，完成先進封裝三維光學檢測技術平台與系統。	46,500	0	10,900	25,100	0	10,500	0
二、建立前瞻材料物性化性功能高解析技術	基礎研究核心設施建置及維護	科技部自然科學及永續研究發展司	建立科技與產業發展所需的基礎核心設施及技術網路，發展檢測先進材料物性化性功能之設備與技術，開發可於實空間、動量空間提供高影像解析或高時間解析的顯微影像探測儀器及技術，以利開啟研究新契機，並深化及整合我國頂尖技術及跨領域人才。	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。	46,500	0	3,000	3,000	0	40,500	0

<p>三、前瞻半導體臨場檢測技術建置</p>	<p>基礎研究核心設施建置及維護</p>	<p>財團法人國家同步輻射研究中心</p>	<p>建立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之設施與檢測技術，包含具備精準樣品選位載台與高解析度偵檢器系統並搭配各種臨場樣品環境的半導體二維薄膜繞射技術，以及且高價態分辨率及高靈敏度的新世代半導體臨場高階X光電子能譜技術。</p>	<p>發展適合下世代半導體材料研究與臨場檢測的二維薄膜繞射、臨場高階X光電子能譜等非破壞性尖端標靶式X光檢測技術，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。</p>	<p>75,000</p>	<p>0</p>	<p>0</p>	<p>11,000</p>	<p>0</p>	<p>64,000</p>	<p>0</p>
------------------------	----------------------	-----------------------	--	--	---------------	----------	----------	---------------	----------	---------------	----------

經費分攤表(B008)

110 年度

跨部會 主提/申請機關 (含單位)	細部計畫名稱	負責內容	110 年度額度(千元)			
			一般科技施政	重點政策	前瞻基礎建設	申請數合計
無						
各額度經費合計						

111 年度

跨部會 主提/申請機關 (含單位)	細部計畫名稱	負責內容	111 年度額度(千元)			
			一般科技施政	重點政策	前瞻基礎建設	申請數合計
無						
各額度經費合計						

捌、儀器設備需求

(如單價 1000 萬以上儀器設備需俟受補助對象申請通過才採購而暫無法詳列者，嗣後應依規定另送科技部審查)

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、主管機關各學術司之學門規劃、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，亦將由科技部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。