

114 年度政府科技發展計畫

績效報告

(D006)

計畫名稱：原子能科技基礎研究及環境建構計畫（1 / 1）

執行期間：

全程：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

本期：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

主管機關：核能安全委員會

執行機關：核能安全委員會綜合規劃組

114 年度政府科技發展計畫審查意見辦理情形表(檔案上傳)

序號	審查意見	辦理情形
壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度		
1	<p>本計畫係核安會為強化原子能科技施政支援體系，拓展原子能科技民生應用研究，建構國內抗輻射電子元件研發環境及半導體光源設備自主能力。計畫之執行符合原計畫之目標及內容，預期關鍵成果多數達成目標，且超過量化指標，如政策建議 4 項、培育人才逾 30 名、研究成果支援監理與產業技術達 20 件，並成功完成衛星太陽能電池 31.05%效率及抗輻射元件驗證，顯示執行進度良好、符合預期。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
2	<p>114 年度原子能科普活動偏鄉區域觸及人次未達預期，係因年度國內出差旅費經立法院大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限，2 場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。針對預期成果的落差，計畫單位提出檢討改進的做法是：嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。建議或可跳脫現有思維框架，設計其他具創意或彈性的傳播機制，一方面維持科普活動辦理地域的觸及廣度並涵蓋偏遠地區，另一方面擺脫對同仁出差旅費是否足額編列的過度依賴。</p>	<p>謝謝委員建議。為降低實體科普展對出差資源之依賴，核安會規劃將原子能科普內容轉化為數位教材，並結合網路平台與社群媒體進行擴散，另輔以遠距互動課程之推動，以突破地域限制，擴大偏鄉地區民眾參與；在有限資源下，兼顧原子能科普推廣執行成效。</p>
貳、計畫經費運用之妥適度		
3	<p>114 年度總預算 53,140 千元，執行數 50,790 千元，預算達成率為 95.58%，含保留款，整體經費執行率約 97.83%，優於 113 年度。各項經費支用均合乎原計畫之規劃。經費主要用於委辦與補助研究計畫及科研環境建置，支出結構合理。雖</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>

	因立法院刪減委辦費而進行小幅流用，但均用於必要工作且說明充分，資本門支出亦符合規劃，整體經費運用屬妥適可接受。	
參、計畫主要成就及成果（重大突破）之價值、貢獻度及滿意度		
3	<p>【量化績效指標達成情形】</p> <p>政策建議 4 項、科普活動觸及 38,485 人次、培育學碩博士 162 人、重點產業人才 30 人、研究成果支援監理及產業 20 件、論文 80 篇與研究報告 41 份、衛星太陽能電池轉換效率達 31.05%，多數指標達成或優於預期，僅偏鄉科普觸及人次略受差旅限制影響未達原訂目標，但說明合理。</p>	謝謝委員肯定及建議，有關科普觸及偏鄉地區部分，核安會規劃將原子能科普內容轉化為數位教材，並結合網路平台與社群媒體進行擴散，另輔以遠距互動課程之推動，以突破地域限制，擴大偏鄉地區民眾參與；在有限資源下，兼顧原子能科普推廣執行成效。
4	<p>【學術成就(科技基礎研究)】</p> <p>發表論文 80 篇、研究報告 41 份、建立跨領域團隊 12 個，涵蓋原子能工程、半導體、醫療與社會科學等領域，顯著提升我國原子能與跨域基礎研究能量。</p>	謝謝委員肯定。
5	<p>【技術創新(科技技術創新)】</p> <p>1.完成抗輻射 GAAFET、FeFET 記憶體、太空太陽能電池及 EUV 光源技術等關鍵成果，建立抗輻射晶片與量測平台，具太空、核能及半導體應用潛力，屬具前瞻性之技術突破。</p> <p>2.應用 3nm 節點平行無光罩直寫微影之電子光學系統設計。其他尚有多項科技技術創新。</p>	<p>1.謝謝委員肯定。</p> <p>2.謝謝委員肯定。</p>
6	<p>【經濟效益(經濟產業促進)】</p> <p>本計畫定位為前端基礎研究及技術發展，較不涉及後端產業營收成長及直接產值效益有限，但透過抗輻射半導體、EUV 材料及量測平台等成果，已奠定未來產業自主與高可靠度市場之長期經濟價值。</p>	謝謝委員肯定。

7	<p>【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】</p> <p>1.細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 7 項專題研究計畫(應用生成式人工智慧及網路多媒體及於原子能科普教育及其成效評估;從包容性科學傳播(ISC)觀點製作原子能科普內容計畫-以性別、多元族群為例;原子小學堂-國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣;核能與輻射知識之互動程式開發;龍華科技大學核子保安教案設計之研究;政府部門推動性別平等業務之實證研究-從培力到實踐;鈾 90 放射栓塞治療不可切除/復發之原發性肝膽惡性腫瘤),有助促進政府與民眾溝通、核能知識科普、性別平等意識,增進國人健康福祉。</p> <p>2.細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 3 項專題研究計畫(以珊瑚鉛同位素及微量元素濃度探討台灣周圍海洋環境之重金屬污染;放射誘變國產毛豆重要品種之抗氣候逆境品系選育及分子特性探討;低放射性廢棄物盛裝容器完整性監測及評估之研究),有助促進環境永續發展。</p>	<p>1.謝謝委員肯定。</p> <p>2.謝謝委員肯定。</p>
8	<p>【其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)】</p> <p>1.科技政策管理:細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」項下「我國原子能科技決策支援體系建構」及「我國原子能管制技術支援體系建構」委託研究計畫,成果可供國內原子能科技政策擘劃及核安管制技術支援體系建立之基礎。</p> <p>2.人才培育:總計培養人才 184 人,其中學士 85 人、碩士 73 人、博士 26 人。</p> <p>3.法規制度:細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 2 項專題</p>	<p>1.謝謝委員肯定。</p> <p>2.謝謝委員肯定。</p> <p>3.謝謝委員肯定。</p>

	<p>研究計畫（美國聯邦際核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析；核能科技類型行政法人之績效估評法制研究(II)），分別揭示研擬小型模組化反應器的核子損害賠償制度的考量重點及核能類型行政法人績效評鑑機制的特殊考量，做為政府機關法制作業的重要參考。</p> <p>4.國際合作：細部計畫1「原子能科技施政支援推動」國際合作與技術交流成果，召開「2025年台美民用核能合作會議」及「第11屆台日核能管制資訊交流會議」，深化與美日在核能安全管理上的合作關係；細部計畫2「原子能科技學術合作研究」補助「新南向核醫診療技術與應用交流」計畫，成功建立臺灣與南亞及亞太多國核醫專業社群之交流平台，促進核醫產業技術升級與國際接軌，強化臺灣於亞太精準醫療鏈結中的關鍵角色。</p> <p>5.推動輔導：透過細部計畫1「原子能科技施政支援推動」推廣科學教育與科普知識，並搭配細部計畫2「原子能科技學術合作研究」強化原子能知識普及，深化社會大眾對科學平權與包容價值的認同。此外，細部計畫2「原子能科技學術合作研究」補助6項專題研究計畫，技術支援政府核安管制業務。</p>	<p>4.謝謝委員肯定。</p> <p>5.謝謝委員肯定。</p>
肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度		
9	<p>本計畫核安會協同國科會建立合作機制以推動原子能科技學術研究，跨部會整合上中下游之量能，補助學研機構執行原子能科技專題研究計畫，合作執行35項研究，以推動原子能科技民生應用，提升安全管制技術，培育原子能科技產業人才，跨部會與跨機構協調良好，發揮資源整合與政策支援功能，共20件計</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>

	畫具有實績。	
伍、後續工作構想及重點之妥適度		
10	<p>1.計畫單位業依業務及政策需求，按各細部計畫目標，提出在現有基礎上滾動檢討精進的作法或後續工作構想，並納入 115 年計畫，均能切合當前國家技術發展的需求方向，具體可行。如規劃後續持續強化抗輻射元件驗證環境、EUV 光源技術及國際合作，同時推動 115 - 118 年策略藍圖，後續推動方向具延續性與可行性。</p> <p>2.細部計畫在執行時所遭遇的困難（例如：不預期的故障、複雜性、穩定度、製程的等待時間、委外製作費用等），均能確實檢討，並提出突破現況的改進措施。</p>	<p>1.謝謝委員肯定。</p> <p>2.謝謝委員肯定。</p>
肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度		
11	<p>【本計畫優點】</p> <p>1.計畫執行符合原設定之目標及內容，除「辦理原子能科普活動」乙項外，餘均達成設定的預期關鍵成果；人力及經費運用妥適。</p> <p>2.本計畫目標明確且執行成效良好，量化績效指標絕大多數能順利達成甚或超越。</p> <p>3.在學術論文、跨域研究、抗輻射晶片與 EUV 光源等技術具體成果顯著，兼具政策支援與社會溝通效益。技術開發如抗輻射元件與半導體光源，建立抗輻射半導體與 EUV 光源關鍵技術，能直接回應國內半導體與太空產業之迫切需求，具前瞻與戰略價值。</p> <p>4.跨部會與產學合作機制完善，在培育跨領域科研人才方面，成果豐碩，總計培養人才 184 人，其中符合未來 3 年重點產業需求共計 30 人，是一亮點。</p> <p>5.科普與政策支援並重，成功將專業核能知識轉化為桌遊及 AI 互動教材，提升大眾信任感與科普</p>	<p>1.謝謝委員肯定。</p> <p>2.謝謝委員肯定。</p> <p>3.謝謝委員肯定。</p> <p>4.謝謝委員肯定。</p> <p>5.謝謝委員肯定。</p>

	<p>觸及率，提升社會溝通與科技治理能力。</p> <p>6.系統性蒐整國際 SMR 與核融合趨勢，為我國能源轉型與法規調適提供科學基礎。</p> <p>7.本計畫之執行成果切合主管機關的執掌及政府施政政策需求。</p>	<p>6.謝謝委員肯定。</p> <p>7.謝謝委員肯定。</p>
12	<p>【建議事項】</p> <p>1.本計畫包括「原子能科技施政支援推動」、「原子能科技學術合作研究」、「原子能科技研發環境建構」三個細部計畫，各具特色，對於達成核安會「推廣原子能科技創新，培育跨域人才」、「建立原子能關鍵技術，促進產業增值」的科技施政目標，支持機關專案規劃、國際合作、科普傳播等科研維運，有其必要性，值得挹注經費，持續積極推動。</p> <p>2.未來核能發電可能捲土重來（配合國際新穎核能科技），因此應提前業務規劃及人才培育。</p> <p>3.在科普教育推廣尚有發展空間應加強。細部計畫 1 目標達成情形「辦理原子能科普活動」乙項，唯其中偏鄉區域總觸及人次未符預期（12,000 人以上），報告中說明係因「年度國內出差旅費遭大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限。爰 2 場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區」，嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。鼓勵跳脫現有思維框架，建議再強化偏鄉與全國性科普推廣策略，設計其他具創意或彈性的傳播機制，一方面維持科普活動辦理地域的觸及廣度並涵蓋偏遠地區，提升社會影響均衡性，另一方面擺脫對於同仁出差旅費是否足額編列的過度依賴。</p> <p>4.宜加速建置「原子能科技決策及</p>	<p>1.謝謝委員建議，為擴大本會施政成果效益委託民間法人持續蒐集研析，並透過學研合作培育原子能跨域人才，建構原子能科研環境，將接軌國際原子能科研趨勢持續挹注經費推動，以厚植原子能科研發展。</p> <p>2.謝謝委員建議，因應未來國內核電廠再運轉可能及國際新穎核能科技趨勢，目前「原子能科技學術合作研究」之「核能與除役安全科技」領域項下，已配合國際發展趨勢於 113 年起逐年投注相關研究經費，並自 115 年進一步增納研究主題及經費資源，進行國際小型模組化反應器等研究，提前培育相關領域人才。</p> <p>3.謝謝委員建議。核安會持續以多元方式推動原子能科普，除辦理展覽活動外，亦透過教師研習及專題演講，強化校園及社會大眾對原子能科學的正確概念。另為降低對出差資源之依賴，刻正規劃科普內容數位化，結合網路平台與社群媒體推廣，另輔以遠距互動課程，以突破地域限制，擴大偏鄉地區民眾參與，並在有限資源下兼顧推廣成效。</p> <p>4.謝謝委員建議，建置「原子能科技決策及管制技術支援平台」部分，近期刻與相關法人商議平台建置內容及初步架構，俟確定後即委託廠商建置，預估 115 年完成採購及建置，以整合國內分散的研發能量與設備。</p> <p>5.謝謝委員建議，針對次世代核能機組 SMR 及 MMR，已就近年蒐集國際資訊及零星先期研究，115 年已執行「低碳及高能量密度之小型模組</p>

	<p>管制技術支援平台」，以整合國內分散的研發能量與設備。</p> <ol style="list-style-type: none"> 5. 針對次世代核能機組(如 SMR)，建議參考國際經驗先行規劃設計簡介與安全分析之預審制度，以縮短未來引進之審核流程。 6. 產業落地與經濟效益尚屬中長期，若能補充 TRL 或技轉指標將更完整。 7. 建議建立技術成熟度(TRL)與產業落地指標，以呈現長期經濟效益。 8. 持續深化與產業及國際研究機構合作，推動關鍵技術驗證與商轉。 9. 強化成果整合與跨計畫串接，以提升整體政策與產業影響力。 	<p>化反應器(SMR)研究」，並於 116 年至 119 年規劃推動「低碳及高能量密度之小型與微型模組化反應器研究」中長程計畫，為引進 SMR 與 MMR 所面臨的核安、核廢、法規調適與實務性議題提供決策依據，以縮短我國引進 SMR 與 MMR 之部署時程。</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. 謝謝委員建議，本計畫項下涉及技術研發部分主要為「原子能科技學術合作研究」及「原子能科技研發環境建構」，其中「原子能科技學術合作研究」屬小規模型專題研究，著重基礎技術與概念可行性探討(TRL1~3)，或產業技術問題改善(TRL4~5)，「原子能科技研發環境建構」屬中型規模技術發展計畫，立基逐年累積成果進行技術示範或系統發展(TRL6~7)，就較具規模計畫而言，「衛星元件開發及輻射驗證環境建構」項下抗輻射太陽電池為 TRL7，抗輻射晶片為 TRL6，短脈衝雷射驗證環境為 TRL7，至「半導體光源設備自主能力建構」開發之 EUV 光源模組為 TRL6。 7. 謝謝委員建議，後續將與本計畫項下各研究團隊評估建立技術成熟度(TRL)與產業落地指標，俾於績效報告呈現長期經濟效益。 8. 謝謝委員建議，本計畫相關學研機構將積極透過國家原子能科技研究院、國家實驗研究院、國家太空中心、工業技術研究院等法人機構介接產業合作，並將研究成果發表國際科技社群，以推動關鍵技術驗證與商轉。 9. 謝謝委員建議，本計畫逐年檢討各補助學研機構研發成果與跨計畫串接，依循 5 大信賴產業與國家希望工程等重要政策，已分別促成 116-119 年「AI 晶片抗輻射研發環境建構」、「放射精準醫學環境建構」等產業導向及民生醫療中長程布局技術發展計畫。
--	--	--

註：請下載格式後，以 word 軟體撰寫編輯，再轉存成未加密之 pdf 檔上傳至系統。
格式中灰色字體說明部份，請於完成編輯後自行刪除。

目錄

【114 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	·1-1
壹、總目標	·····1-2
貳、經費執行情形	·····2-1
參、成果之價值與貢獻度	·····3-1
肆、檢討與展望	·····4-1
伍、其他補充資料	·····5-1
附錄、細部計畫	·····附錄-1
附表、佐證資料表	·····附表-1

【114年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

系統編號	MP11302-0056			
計畫名稱	原子能科技基礎研究及環境建構計畫 (1/1)			
主管機關	核能安全委員會			
執行機關	核能安全委員會綜合規劃組			
計畫類別	<input type="checkbox"/> 政策計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 一般計畫 <input type="checkbox"/> 基礎研究			
全程期間	114年01月01日至114年12月31日			
資源投入	年度	經費(千元)		
	114	51,987		
	合計	51,987		
計畫摘要	<p>本計畫係核安會為強化原子能科技施政支援體系，拓展原子能科技民生應用研究，建構國內抗輻射電子元件研發環境及半導體光源設備自主能力，期透過與國內法人及學研機構合作建立敏捷科技決策支援體系，善用既有國際合作管道拓展國際空間，籌辦原子能科學教育及活動促進民眾認知，與國科會合作補助大專院校推動原子能科技民生應用及環境永續之基礎研究，並整合國內重要原子能科研設施研發抗輻射電子元件及半導體光源技術，計畫採逐年滾動式檢討以達成各項目標，架構如下：</p> <p>一、原子能科技施政支援推動（每年辦理，另含113年至116年「我國原子能施政支援體系建構」專案計畫）</p> <p>二、原子能科技學術合作研究（每年辦理）</p> <p>三、原子能科技研發環境建構</p> <p>（一）衛星元件開發及輻射驗證環境建構（112年至115年）</p> <p>（二）自主半導體光源設備研發環境建構（113年至116年）</p>			
計畫連絡人	姓名	何承軒	職稱	技士
	服務機關	核能安全委員會綜合規劃組		
	電話	02-2232-2082	電子郵件	chhe@nusc.gov.tw

壹、總目標

一、緣起

本計畫係核安會為強化原子能科技施政支援體系，拓展原子能科技民生應用研究，建構國內抗輻射電子元件研發環境及半導體光源設備自主能力，期透過與國內法人及學研機構合作建立敏捷科技決策支援體系，提升機關國際合作機會及拓展國際交流空間，籌辦原子能科學教育及活動促進民眾認知，與國科會合作補助大專院校推動原子能科技民生應用及環境永續之基礎研究，並整合國內重要原子能科研設施研發抗輻射電子元件及半導體光源技術，計畫採逐年滾動式檢討以達成各項目標。

二、總目標及其達成情形

1. 全程總目標：

強化決策支援體系，擴大施政成果效益
推廣民生應用研究，培育國家重點人才
建構良善科研環境，促進產業加值轉型

2. 分年目標與達成情形：

年度	目標	預期關鍵成果	年度計畫目標達成情形(含重大效益)
114	1：強化決策支援體系，擴大施政成果效益	建立外部決策支援體系，並就科技佈局或管制支援議題提出4項政策建議。	建構國內初步核後端安全管制技術及原子能民生應用決策支援平台架構；完成「民國115至118年原子能科技民生應用發展的策略藍圖」之初步規劃；總計提出4項政策建議。
		辦理原子能科普活動，總觸及人次達20,000人以上，其中偏鄉區域，總觸及人次達12,000人以上。	114年全國各地辦理科普活動，累計參與人數達38,485人註。
	2：推廣民生應用研究，培育國家重點人才	每年培育人才至少24名，合於未來3年重點產業所需。	114年度培育人才至少30名，合於未來3年重點產業所需。
		研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題至少12件。	114年度研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題至20件。

3：建立衛星元件抗輻射技術，照射結果優於商用一般規格；完成EUV光源實作	實現衛星太陽能電池轉換效率達31%。	實現衛星太陽能電池轉換效率達31.05%，並完成1 MeV和3 MeV之質子輻射照射，實驗結果顯示太陽能電池具有優異之抗輻射能力。
	發展抗輻射元件製程之TID測試總劑量大於500 krad、晶片設計、異質整合技術，經驗證結果優於商用一般規格。	發展抗輻射元件製程、晶片設計、異質整合技術，其中閘環繞式場效電晶體(GAAFET)及快閃記憶體經輻射驗證結果具備TID 500 krad耐受度(劑量率>50 kRad/hr)，且達元件關鍵參數變化小於10%規格，明顯優於一般商用現貨(COTS)元件規格。
	完成放電電漿光源實驗設計與EUV光源產出。	完成放電電漿產生極紫外光之電極結構設計製作、放電電漿光源之實驗腔體建置、放電電漿之高壓脈衝驅動電路設計製作，以及完成放電電漿光源初步實驗測試，可達5kV以上之脈衝電壓輸出並可產生電漿壓縮放光之關鍵現象。

說明：114年度原子能科普活動偏鄉區域觸及較少，主因係年度國內出差旅費刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限。爰2場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。

三、 主要工作項目推動具體成果

(一) 原子能科技施政支援推動

1.我國原子能科技施政支援體系建構（113 年至 116 年）

完成國內核後端 5 大領域管制技術要項及技術支援團隊盤點，以及國內外原子能科技之醫農工業應用及先進核電技術資訊蒐集，並召開專家學者座談會 7 場，提出我國原子能管制技術支援組織架構，經綜整相關資訊、專家學者意見、近年科技研發成果，提出 4 項政策建議：

(1)提出核後端安全管制技術支援平台架構，可作為未來核安會施政支援平台（管制支援）建置之政策基礎。

(2)彙整國際原子能總署、歐盟、美國、日本、韓國與中國等國原子能科技於醫農工業及環境永續應用資訊，做為核安會未來施政支援平台（科技決策）建置之政策基礎。

(3)彙整國際小型模組化反應器、核融合等新核能技術資訊，做為核安會未來施政支援平台（科技決策）建置之政策基礎。

(4)提出國內原子能科研布局策略，包含「精準放射醫療」、「農業」、「環境」、「量子科技」、「中子科技」、「太空科技」、「工業應用」、「半導體製程」、「人工智慧」及「次世代核能

技術」十大領域，作為核安會後續規劃 115-118 年原子能科技民生應用發展策略藍圖之政策基礎。

2.透過科普推廣活動，提升民眾對核能安全及輻射防護的正確知識，114 年分於 4 月及 11 月辦理「核安總動員 科技樂無限」科普展，結合互動式闖關遊戲與科學桌遊，鼓勵民眾主動探索與學習相關科學知識，累計逾萬人次參加；另自辦 6 場國中、小教師原子能科普教育及實驗操作研習課程，計 148 位教師參與，透過理論與實作並重之課程設計，強化教師專業知能。根據活動問卷回饋，參與者整體滿意度均超過 97%。

3.赴美參加 2025 年台美「NSC/NRC 雙邊核安管制技術交流會議」及「民用核能研發合作資訊交流會議」，並拜會美國國務院、能源部及核能管制委員會等聯邦政府官員，台美雙方就核電廠運轉、先進反應器管制、除役監督、用過核燃料管理及電廠老化評估等議題交換最新技術與管制經驗，並討論小型模組化及微型反應器後續合作方向；赴日出席

「第 11 屆台日核能管制資訊交流會議」，就核能安全與輻射安全管制作為進行交流，涵蓋核電廠管制、核子事故民眾防護及含氫廢水排放等議題，會後參訪福島核電廠除役及相關

分析設施，實地瞭解除役廢棄物處理、含氫廢水排放及放射性核種分析作業，作為我國後續核安管制之重要參考；召開「台美民用核能合作會議」，台美雙方就核電廠安全管制、放射性廢棄物管理技術、緊急應變及輻射防護等領域進行深度交流，並研擬未來雙方合作藍圖，以持續提升管制技術水準。

(二) 原子能科技學術合作研究

1.與國科會共同推動原子能科學技術合作研究計畫，114年度與國內20間大專校院及機關合作執行35項計畫。另114年依例辦理113年度成果發表會，以提升整體研發成果及動能，辦理結果與會者反應踴躍及熱烈。

2.114年共培育學士82人、碩士56人、博士24人，其中30人合於未來3年重點產業所需（IC設計3人、智慧機械17人、精準健康1人、循環農業9人）。

3.研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題20項：

(1)有助政府監理業務（管制支援）：小型模組化反應器、核廢料最終處置、核電廠除役、燃料池水下影像辨識等6項研究成果，可作為政府先進核能技術評估、核電廠除役、核廢

料最終處置及核子保防作業等管制業務之技術支援。

(2)改善產業技術（技術創新）：半導體設備關鍵元件、抗輻射晶片、量測平台、量子材料、管道機器人等 10 項研究成果，強化國內半導體及系統產業自主能立，提升產品可靠度、縮短研發流程，並拓展太空、醫療與高階應用市場競爭力。

(3)解決社會議題（環境永續）：精準醫療、海洋污染監測、作物抗逆境育種及核廢料安全監測等 4 項研究成果，提升國人健康福祉，確保糧食安全，促進環境永續與社會信任。

（三）原子能科技研發環境建構

1.衛星元件開發及輻射驗證環境建構（112 年至 115 年）

(1)太陽電池抗輻射技術發展：進行三元化合物 GaInP 之磊晶品質精進，在優化磊晶參數，增加窗層溫度與提高 V/III 比之後，電池最高轉換效率已達 31.05%；導入多重量子井結構，並完成 1 MeV 和 3 MeV 之質子輻射衰退曲線，實驗結果顯示含多重量子井之太空太陽電池具有優異之抗輻射能力。

(2)元件製程抗輻射技術發展：開發混合式鐵電堆疊(Hybrid HZO)的 FeFET 電晶體，經 1 Mrad_y-ray 輻射照射結果，證實

其介面品質與鐵電層在重新設計後均展現極為優異的抗輻射能力；完成閘環繞式場效電晶體(GAAFET)及快閃記憶體抗輻射製程開發與元件製作，元件經輻射總劑量>500 krad(劑量率> 50 kRad/hr)，達成元件關鍵參數變化小於 10 %的規格，明顯優於一般商用現貨(COTS)元件規格；完成 SiC 商用功率元件在 γ -ray 與中子輻射效應分析，實驗結果顯示其在總游離劑量(TID)與位移損傷(DD)下，均展現優異的抗輻射潛力。

(3)晶片系統抗輻射技術發展：完成抗輻射 D 型正反器 (D Flip-Flop) 的設計與輻射效能驗證，並成功將其應用於 SRAM 的讀寫與控制電路中；基於前期建置之飛秒雷射測試平台，整合錯誤即時偵測、自動化掃描與資料回傳處理，展現高重現性與參數可控性，有效作為高能粒子測試前之模擬替代方案，具備實驗室內快速篩測之潛力；異質整合部分分析不同尺寸的 MOS Varactor 在輻射照射下的實際影響程度，並完成不同尺寸的 NMOS 電晶體電路模擬分析與電路佈局設計。

2.半導體光源設備自主能力建構 (113 年至 116 年)

整合真空腔體、電源電路模組及濃密電漿聚焦(DPF)電極進

行放電測試，初步測試結果顯示產生電漿壓縮的現象。

貳、經費執行情形

一、全程經費

單位：千元；%

總預算數 (A)		總實支數 (B)	總節餘數 (C)	總執行數 (D=B+C)	達成率(%) (E=D/A)		
51,180		49,637	1,151	50,788	99.23%		
各年度	預算數 (F)	實支數 (G)	節餘數 (H)	保留數 (I)	年度執行數 (J=G+H)	年度達成率(%) (K=J/F)	決算數 (G+I)
114	51,180	49,637	1,151	2,350	50,788	99.23%	51,987

二、年度經費

單位：千元；%

	114 年度						備註
	預算數(a)	初編決算數			節餘數(e)	執行率 (d/a)	
		實支數(b)	保留數(c)	合計 (d=b+c)			
總計	51,180	49,637	2,350	51,987	1,151	101.58%	
一、經常門小計	50,286	48,878	2,301	51,179	1,066	101.78%	
(1) 人事費	0	0	0	0	0	%	
(2) 材料費	0	0	0	0	0	%	
(3) 其他經常支出	50,286	48,878	2,301	51,179	1,066	101.78%	
二、資本門小計	894	759	49	808	85	90.38%	
(1) 土地建築	0	0	0	0	0	%	
(2) 儀器設備	0	0	0	0	0	%	
(3) 其他資本支出	894	759	49	808	85	90.38%	

註：

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定決算，故請填列機關初編決算數。
2. 實支數：係指工作實際已執行且實際支付之款項，不包含暫付數。
3. 保留數：係指因發生權責關係經核准保留於以後年度繼續支付之經費。
4. 預算數：原則填寫法定預算數，如立法院尚未通過總預算，則填寫預算案數。
5. 執行率：係指決算數佔預算數之比例
6. 節餘數：係指執行政府節約措施、辦理招標、匯率變動或工程完工，致經費節餘未辦理保留者。

1. 經費支用說明

「原子能科技基礎研究及環境建構計畫」之總計支用經費為 51,125.338 千元。

1. 「原子能科技學術合作研究」項下，其中 3 件計畫主持人業向國家科學及技術委員會申請計畫展期至 115 年度，經費共計 2,350 千元(包含經常門 2,301 千元及資本門 49 千元)

2. 「原子能科技施政支援推動」及「原子能科技研發環境建構」細部計畫，從業務費流用 1960 千元供委託研究計畫使用。

2. 經費實際支用與原規劃差異說明

無

參、成果之價值與貢獻度

一、學術成就(科技基礎研究)

總計發表論文 80 篇，產出研究報告 41 份，培養跨領域團隊 12 個，其中：

- (一)細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」：產出「我國原子能科技決策支援體系建構」研究計畫及「我國原子能管制技術支援體系建構」研究計畫等 2 份研究報告。
- (二)細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」：產出原子能工程科技及社會科學相關跨領域期刊及研討會論文共 69 篇，其中投稿刊登於國內期刊及研討會 18 篇，國外期刊及研討會 48 篇，另產出研究報告 35 份，培養太空科技、半導體、科學教育、媒體傳播、醫療研究、社會研究等 9 個跨領域合作團隊，有助於我國原子能相關領域之基礎研究發展。
- (三)細部計畫 3「原子能科技研發環境建構」：「太陽電池抗輻射技術發展」計畫產出 1 份研究報告及培養 1 個跨領域合作團隊，「晶片系統抗輻射技術發展」計畫發表 1 篇國際研討會論文、產出 1 份研究報告及培養 1 個跨領域合作團隊，「元件製程抗輻射技術發展」計畫共發表 6 篇論文(3 篇國外期刊及 3 篇國際研討會) 及產出 1 份研究報告；「半導體光源設備自主能力建構」計畫共發表研討會論文 4 篇(3 篇國際研討會、1 篇國內研討會)、產出 1 份研究報告及培養 1 個跨領域合作團隊。

二、技術創新(科技技術創新)

(一)細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 10 項計畫，有助改善產業技術問題，具體成果如下：

1. 應用於次 3 奈米節點平行無光罩直寫微影之電子光學系統設計：電子束直寫微影本身特性其曝光效率較低，設計上大多採用低加速電壓以犧牲解析度的方式提高效率以符合產業應用需求，但此舉將加劇 10 奈米半間距以下製像難度，在最新的國際元件與系統藍圖，多電子束直寫微影 (MEBDWL) 被提議作為從 2025 年開始的特殊應用客製邏輯設計的可能解決方案，為使其能應用於先進製程節點，本計畫研發之解析度增進技術結合採用靜電式像差校正相位板之電子光學系統，以便能在保有相對成本效益下，進一步提升解析度，有助於 3 奈米及以下節點先進製程及特殊應用客製邏輯設計之開發，潛在承接廠商為半導體設備及檢測業者。
2. 應用於太空低軌道衛星之耐輻射先進製程數位晶片設計開發：聚焦於低軌道衛星快速發展所帶來的技術挑戰。衛星電子設備需於高能粒子密集的太空輻射環境中長時間穩定運作，而一般商規元件在此環境下可靠度有限，提升其耐輻射能力已成為關鍵課題。數位電路中的 D 型正反器 (D Flip-Flop) 為暫存器、計數器與狀態機等系統之核心元件，其耐輻射能力將直接影響低軌衛星數位系統的運作可靠度。因此，本計畫旨在發展具備耐輻射能力之 D Flip-Flop，並建立適用於太空電子的設計與驗證流程，同時與台大癌醫中心醫院合作，運用既有輻射設施進行耐輻射驗證，以提升我國太空耐輻射晶片設計能力與衛星任務可靠度，潛在承接廠商為晶片設計業者。
3. 快中子非游離能失效應對於金屬-氮化鎵半導體接觸特性之影響研究：提升抗輻射半導體技術：氮化鎵 (GaN) 是新世代高功率、高頻通訊的關鍵材料。本研究針對「快中子」造成的「非游離能失效應」進行探討，有助於釐清輻射對 GaN 元件造成的損傷機制，有助於推動抗輻射晶片的研發。強化極端環境應用的可靠度：本研究聚焦於「金屬-半導體接觸特性」的影響，這對於開發需在核能設施、航太或太空等高輻射環境下運作的電子設備至關重要，能有效提升關鍵零組件的穩定性與壽命。總結而言，此計畫有助於鞏固台灣在高階化合物半導體於核能與抗輻射領域的技術基礎，潛在承接廠商為半導體製造業者。
4. 低能量質子射束劑量調控研究應用於半導體低能量低通量質子照射：建置低能量質子輻照量測平台，可大幅提升國內半導體與太空科技產業的輻射可靠度測試能量。透過 1-6MeV 範圍之能量控制、低通量輻照能力與精準劑量監控技術，國內產業可在設計初期即進行輻射硬度驗證，有助縮短研發流程、提升產品可靠度。此平台亦具模組化與可擴充性，可支援太空用晶片、感測器、電源管理 IC 及材料元件的輻射測試。成果將協助建立國內太空級電子供應鏈之基礎能力，增進產業在高可靠度市場的競爭力，潛在承接廠商為半導體設備及檢測業者。
5. 偏振儀量測極紫外光波段複數折射率：建立以桌上型高次諧波極紫外光源

為基礎之極紫外光譜橢圓偏振量測技術，可在實驗室環境中準確取得材料於 EUV 波段之複數折射率 (n 、 k)。此成果對先進半導體製程具高度產業價值，特別是在 5 nm 及以下節點製程中，EUV 微影所使用之 phase mask 與相關薄膜材料，其光學常數直接影響曝光相位控制、成像精度與製程良率。本計畫所建立之量測方法可提供 phase mask 常用材料在實際 EUV 能量範圍下的高可信度光學參數，有助於材料設計與製程模擬之精準化。此外，本研究結果亦可直接支援 EUV scatterometry 之結構反演與模型建構。由於 EUV scatterometry 對材料光學常數高度敏感，本計畫所提供之可靠 n 、 k 資料可顯著提升結構尺寸與形貌運算之準確性，降低製程量測不確定度。整體而言，本計畫所發展之 EUV 光學常數量測技術，對先進製程材料評估、EUV 量測模型建立及半導體產業關鍵檢測技術之發展，具有實質貢獻與應用潛力，潛在承接廠商為半導體設備及檢測業者。

6. 以高介電層與金屬閘緩衝層工程於矽鍺鍺式電晶體以增進抗輻射特性研究：完成先進 SiGe GAAFET 元件之製作與製程開發、應用合金 high-k 閘介電層以增進 SiGe GAAFET 元件之抗輻射特性、以閘極界面製程改善 SiGe GAAFET 元件之抗輻射特性等。藉由本計畫開發 high-k 界面層製程以增進 SiGe GAAFET 元件抗輻射特性、元件效能與可靠性，對先進積體電路製造技術有應用價值。本計畫開發先進 SiGe GAAFET 元件之抗輻射製程技術、合金 high-k 閘介電層、及閘極界面製程等，可直接應用於先進積體電路晶片製造，對產業與民生有顯著經濟效益。SiGe GAAFET 元件是製造先進積體電路的關鍵技術，所開發低溫氧化及閘極界面製程可提升晶片可靠度，抗輻射晶片也有助於提升我國太空科技與其他高科技產品，潛在承接廠商為半導體製造業者。
7. 高極化量與高可靠度之抗輻射 FeRAM 鐵電電容元件設計與製程研究：利用 MWA 的低熱預算優勢，成功將 ZrN 介面工程與 HZO 鐵電材料整合至後段製程(BEOL)中，這對於目前主流半導體代工極具應用價值。研究證實該元件在輻照後仍維持優異的極化值與穩定性，能直接提升我國衛星通訊供應鏈在「低軌衛星」市場的技術競爭力。此外，具備高可靠度的 FeCAP 亦可延伸應用於車用電子與高階醫療影像設備，協助國內廠商切入全球高階特殊應用晶片(ASIC)市場，拓展綠能永續積體電路之商機，潛在承接廠商為半導體製造業者。
8. 新穎電漿合成半導體量子點及光物理特性應用研究：以高能量密度常壓微電漿技術為核心，建立可在常溫常壓、無毒溶劑條件下量產半導體矽量子點及其表面電漿共振奈米複合材料之關鍵製程，回應現行量子材料製備成本高、製程複雜、難以工業化之產業瓶頸。所開發之微電漿合成技術具備設備簡化、製程彈性高、可連續化與易於模組化等優勢，可直接銜接我國既有半導體與光電產業之製程環境，具高度導入潛力。進一步結合臨場光譜監控與反應動力學分析，建立可複製、可放大的製程設計準則，有助於產業端進行製程最佳化與品質控管。在應用面，本計畫所發展之 SPR 矽量子點複合材料可用於高靈敏光學與拉曼感測，涵蓋生醫快篩、環境監測

與化學感測等高附加價值市場，促進材料、感測與半導體相關產業之技術升級與自主關鍵材料布局，強化我國在前瞻量子材料與感測技術領域之國際競爭力，潛在承接廠商為半導體製造業者。

9. 多模式運動的管道檢測機器人研發：管道機器人可以在管道內爬行進行檢測，多模式設計使得管道機器人可以在不同管徑間運動，亦可在 L 型管與 T 型管中運動。運動中透過機器人上的攝影機，可以取管道內的影像，從而得知管道的使用情況，因此多模式管道機器人可以在各種形式的管道中進行檢測，可以解決現行各種場域的管道檢測問題，例如：煉油廠、核電廠等，潛在承接廠商為系統或機器人開發業者。
10. 極紫外光及以下波段光學元件之保護膜材料開發與微影製像應用(3/3)：計畫建立 EUV 光學薄膜製備技術與提升 EUV 光學元件之使用壽命，提升我國 EUVL 零組件自製與維護之能力，加強我國在此 EUVL 製程上之領先地位，不必受限零組件短缺與維護時程所造成之損失。開發出應用於極紫外光微影技術高反射率元件之保護膜(TiO_2)，從其關鍵性零組件高反射鏡片，作為切入 EUV 製程入口。保護膜可以阻擋氫氣對於 EUV 薄膜的腐蝕，並且可以直接於鏡片上進行清洗，對於 collect mirror 而言，可以延長其使用壽命、避免過度更換、校正等所造成生產製程延宕，降低生產時間成本，提升國內半導體產業競爭力，潛在承接廠商為半導體設備業者。

(二)細部計畫 3「原子能科技研發環境建構」項下「衛星元件開發及輻射驗證環境建構」計畫，因應太空游離輻射對於低軌道衛星造成電子元件劣化及訊號干擾，建立我國電子元件抗輻射關鍵技術及驗證環境，執行項下包含「太陽電池抗輻射技術發展」計畫、「晶片系統抗輻射技術發展」計畫、「元件製程抗輻射技術發展」計畫，搭配細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」強化部分電子元件之開發，具體成果如下：

1. 「太陽電池抗輻射技術發展」計畫以化合物半導體磊晶系統 MOCVD 為技術核心，自行開發設計太空太陽電池磊晶片，並藉由輻射效應的量測與分析，強化前瞻性太空科技的應用與實務。在「質子照射測試與設計優化」方面，創新導入多重量子井結構以增加抗輻射能力，不論是 1 MeV 或是 3 MeV，本實驗均得到比文獻更佳的结果。本研究的執行結合理論和實作，技術包含光電半導體之磊晶、製程與輻射物理等，透過資料收集、數據分析、問題解決等步驟為創新技術提供堅實、均衡的根基。所獲得之創新技術開發成果可實現太空科技自主政策，有助於國防安全之提升。
2. 「晶片系統抗輻射技術發展」計畫完成 ELT SRAM 的下線與量測並實現部分功能，完成抗輻射 D 型正反器 (D Flip-Flop) 的設計與輻射效能驗證。完成一系列針對 FPGA BRAM 之單粒子效應之雷射模擬測試。透過文獻了解不同抗輻射電晶體設計的抗輻射能力並分析不同尺寸的 MOS Varactor 在輻射照射下對於 CV 特性的實際影響程度，用以進行第一版晶片實作的電路模擬分析與電路佈局設計。
3. 「元件製程抗輻射技術發展」計畫成功在多個關鍵領域實現技術創新，為

開發高可靠度電子元件奠定基礎：

新穎記憶體製程與材料開發：

- 鐵電記憶體 (FeFET) 記憶體：成功開發混合型 HZO 結構結合 NH₃ 電漿與 MWA，大幅提升 FeFET 的抗輻射耐久度及可靠度，此為新興記憶體在惡劣環境下應用提供了關鍵製程技術。
- 非揮發性記憶體：驗證 ZrON 快閃記憶體在 1 Mrad 高輻射劑量下仍具備優異耐久性，提供了高性能、高可靠度的非揮發性儲存解決方案，可應用於太空及核能環境。

下一代元件抗輻射設計驗證：

- 先進電晶體：證實新一代閘環繞式 (GAAFETs) 結構對總游離劑量 (TID) 輻射具有優異耐受性，為下一代抗輻射積體電路設計提供了關鍵的結構與製程依據。
- 寬能隙功率元件應用：系統性分析了 SiC 功率元件對 TID 與中子輻射的損傷機制，提供了重要的設計與應用參考資訊，有助於加速高性能 SiC 元件在嚴苛環境下的可靠部署。

這些成果直接轉化為具備產業應用潛力的技術創新，顯著提升我國在尖端半導體元件抗輻射技術領域的競爭力。

(三)細部計畫 3「原子能科技研發環境建構」項下「半導體光源設備自主能力建構」委託研究計畫，因應我國半導體光源設備多仰賴進口，建立國內 EUV 電漿光源自主能力，搭配細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」強化部分關鍵元件開發，具體成果如下：

「半導體光源設備自主能力建構」計畫藉由結合放電電漿模型、電漿輻射模型及電路模擬技術，建置完整 EUV 光源系統模擬架構，並預計加入最佳化方法將發光效率作為最佳化目標，對光源模組之電極形狀尺寸、電路參數、氣體參數等同時進行疊代調整，以期尋找能有效提升光源發光效率之設計參數。此外，團隊也於 2025 年 3 月及 9 月與美國 EUV Tech 公司互訪進行技術交流，該公司致力於研發 EUV 檢測系統，初步討論若本計畫建置之光源模組達到一定規模後，該公司有意願合作使用其檢測設備進行測試，並探討後續自主光源設備商轉之可能性。國內部分預計也將與國儀中心及工研院合作尋找適合的單位，若為業界可能以 EUV 檢測公司為主，學研界則以建置實驗用 EUV 光源為目標。

三、經濟效益(經濟產業促進)

本計畫定位為前端基礎研究及技術發展，較不涉及後端產業營收成長及產值提升。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

(一)社會福祉提升

細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 7 項計畫，有助促進政府與民眾溝通、核能知識科普、性別平等意識，增進國人健康福祉，具體成果如下：

1. 應用生成式人工智慧及網路多媒體及於原子能科普教育及其成效評估：讓社會大眾了解影響生活的尖端科技，本計畫同時橫跨「資通訊」、「原子能」與「大眾科學教育」三大領域，希望為我國「原子能」尖端科技之大眾科學教育能有所貢獻。本計畫所牽涉到的 AI 技術在影片製作中的應用，替這個社會帶來了全新的創作方式和體驗。從文案腳本的生成，到圖片的創作，再到影片的製作，均為我們展現出無可比擬的優勢。然而，AI 技術並不是替代人類創意的工具，而是一個強有力的助手。透過 AI 與人類創意的結合，迎來影片製作的全新時代，並持續把這些應用於原子能科普教育。
2. 從包容性科學傳播 (ISC) 觀點製作原子能科普內容計畫 - 以性別、多元族群為例：以包容性科學傳播觀點探討如何讓原子能科普內容更貼近民眾，包括引起民眾了解原子能民生應用相關知識的興趣，更進一步能將科普知識應用在日常生活中。在包容指標中，本研究聚焦關注性別與多元族群對原子能科普知識的理解與應用，因此今年研究中以女性與新住民族群參與、理解與應用原子能科普展為主要內容，並且協助核能安全委員會在科普展製作宣導影片、拍攝科普教材，以及從包容性科學傳播觀點協助編輯青少年原子能科普教材。
3. 原子小學堂-國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣：適用於國小學童與親子族群的『輻射英雄聯盟』科學桌遊，學童們透過非制式教學管道參與桌遊活動後，透過成效評量的驗證，在原子能基本知識與輻射防護議題的認知與態度上都有正向的果效。『輻射英雄聯盟』科學桌遊，搭配『原子小學堂-國小師生原子能科普推廣教案』、「原子小學堂(進階篇) Atomic Science A to Z」簡報教材(內容涵蓋基本原子能知識與日常生活中應有的環境輻射概念)，提升國小學童族群對能源選擇的認知，進而可能減少因誤解或資訊不足導致的恐慌和反對，減少社會宣導和溝通成本。
4. 核能與輻射知識之互動程式開發：以最新的 AI 技術，開發核能與輻射知識的問答程式。根據使用者所提出的問題，搜尋由核安會所提供的官方資料，並且回答經過官方認證的答案。相關的程式與資料，放置於 Google 的雲端系統上，以利於全年無休，隨時隨地都能使用。除此之外，本計畫把這個程式與 Line 結合，以方便民眾在手機上使用。還可以結合手機的無障礙功能，例如語音輸入和自動朗讀，讓身心障礙人士也能夠利用這個系統，獲得正確的核能與輻射知識。除了 AI 知識問答程式之外，本計畫也維護更新過往的研究成果。將前一年度所開發的電玩遊戲程式，添加了英語版本，以利於向外賓展示，以及新住民使用。
5. 龍華科技大學核子保安教案設計之研究：以台灣大專校院為目標，蒐集並研析國際上核子保安教育與國內專業訓練的做法與成功經驗，進行核子保

安課程的施行方式與教案設計之研究。主要探討了核子保安教育和培訓的背景、方法、預期成果和貢獻。蒐集國際大學和學院開發系統化課程的過程，結合國際經驗和本地背景。研究方法包括文獻回顧、課程設計和教學實施。在龍華華科技大學實施 2 學分的核子保安課程，藉由專家外師的課程教授及學生的回饋反映，整理修改為新的課程設計及教材，持續發展核子保安的課程。

6. 政府部門推動性別平等業務之實證研究-從培力到實踐(2/3)：透過所運用的文件分析法與 BEI 深度訪談法充分掌握核安會負責性平業務同仁的性平意識與業務落實狀況，針對研究成果的六大結論設計符合核安會性平培力實踐 SOP 作為實踐於核安會的性平業務中。因此，接續的第二年研究係以建構會內主司性別平等業務科長／主任層級以上主管，為核安會性平業務建立「縱向貫連」業務連貫，並透過對會內各組科室性別平等業務主管進行性平培力作為、與 CBI 重要事件訪談法進行深度紀錄，逐步實踐原能會組織內之創新推展性別平等措施、推動性別主流化、落實性別平等政策綱領及 CEDAW 等性別平等實質目標。114 年度計畫成果價值在於研究成果能具體落實性平業務的更精進化於核安會組織中，亦能為臺灣政府部門立下實踐性別平等場域的典範：藉由本計畫的研究設計與性平意識培力規劃，在實踐核安會性別平等友善環境之餘，不但可以建立國內公部門實踐性別主流化的示範，更能因此帶動其他政府部門的仿效與投入。此外，對於國際上核能領域（STEM）長久以來面臨性別失衡所衍生的性別不平等實況，核安會的性別平等創新作為更能對國際核能領域產生帶領作用，為臺灣創造科學場域性別平等實踐的正向國際聲量。
7. 釷 90 放射栓塞治療不可切除/復發之原發性肝膽惡性腫瘤：以多種生物標記預測療效、復發風險及評估輔助免疫療法之精準醫療研究：利用病人接受釷 90 治療前後的液態活檢 (liquid biopsy)，萃取 Circulating Cell Free DNA (cfDNA) 後獲得相對有限數量的標靶組基因套組；並利用 Whole Exome Sequencing (WES) 分析來識別釷 90 治療相關的新穎生物標的，找尋對釷 90 治療決策重要的 DNA 或 RNA 指標，以及接受釷 90 放射栓塞治療患者之免疫圖譜分析，深入探索釷 90 治療前後的基因體變化機制並找尋其與免疫治療間的相關性，進而應用於合併免疫療法當中。

(二)環境保護安全

細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 3 項計畫，有助促進環境永續發展，具體成果如下：

1. 以珊瑚鉛同位素及微量元素濃度探討台灣周圍海洋環境之重金屬污染：透過珊瑚骨骼所記錄之長期重金屬元素及鉛同位素比值變化，可進一步建立並瞭解台灣周圍海域過去的海洋環境變遷，預期對台灣附近海域近期之海洋重金屬污染史做出兩項主要的貢獻：
 - (1)首次建立台灣附近海域重金屬污染史，可應用於釐清影響海洋重金屬污染的主要來源及控制因子，對台灣鄰近海域未來如何因應海洋環境

變遷及達到環境永續提供重要之參考資料。

- (2)深入了解工業革命後台灣附近海域受人為活動影響之重金屬污染程度、主要污染來源及傳輸途徑，可作為政府因應人為或工業活動對海洋環境影響的重要參考資料。
2. 放射誘變國產毛豆重要品種之抗氣候逆境品系選育及分子特性探討：全球暖化與極端氣候事件日益頻繁，對全球農業生產體系造成重大衝擊，糧食供應穩定性與營養安全問題面臨前所未有的挑戰，而臺灣地處亞熱帶，農業易受高溫、乾旱、豪雨及淹水等氣候逆境影響，亟需透過作物改良來提升環境適應力，以確保糧食安全並回應健康飲食需求。本計畫以臺灣栽培面積最廣的品種——高雄9號為材料，進行不同程度的誘變處理，期望加速篩選具耐氣候逆境或高機能性之潛力品系。藉由培育兼具生產力、營養價值與環境適應力的大豆新品系，可因應糧食安全與健康需求，並提升農業面對氣候變遷之韌性，進而呼應聯合國永續發展目標 SDGs 2 (消除飢餓)、SDGs 3 (健康與福祉)及 SDGs 13 (氣候行動)。
3. 低放射性廢棄物盛裝容器完整性監測及評估之研究：對於化學工業的儲槽或核廢料處置容器，結構完整性皆是阻絕危害物質外洩的最後防線。研究開發的即時監測系統，如同為這些關鍵設施植入全天候的神經網絡，能在腐蝕期即捕捉訊號，有效防範長達數十年的服役期間可能發生的洩漏風險。此技術將抽象的安全承諾轉化為可視化的科學數據，首要價值在於協助政府落實科學治理。透過掌握即時監測數據，從傳統的長期維護升級為更精準的預知保養，制定具備科學依據的維護決策。這不僅能以客觀證據回應社會大眾對核能與工業安全的疑慮，重建信任，同時亦能避免因過度保守而頻繁汰換設備，大幅減少資源浪費，以實質技術支持環境永續。

五、其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)

(一)科技政策管理

細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」項下「我國原子能科技決策支援體系建構」及「我國原子能管制技術支援體系建構」委託研究計畫，成果可供國內原子能科技政策擘劃及核安管制技術支援體系建立之基礎：

1. 蒐集國外計 34 國有關核能安全管理內、外部技術支援機構(TSO)資訊，完成國內核後端 5 大領域管制技術要項及技術支援組織架構，提出初步核後端安全管理技術支援平台架構，可作為未來核安會施政支援平台（管制支援）建置之基礎。
2. 蒐整國際原子能總署、歐盟、美國、日本、韓國與中國等國原子能科技於醫農工業及環境永續應用資訊，以及國際原子能科研體系、重要政策及合作管道等資訊，做為核安會未來施政支援平台（科技決策）建置之政策基礎。
3. 蒐集國際小型模組化反應器(SMR)及核融合等新核能技術相關資訊，不僅掌握國際間的重要發展現況，亦分析各國的合作模式與相關管制機構的政策與規範，相關資料能為政府能源轉型或核安會未來施政支援平台（科技決策）建置之政策基礎。
4. 提出國內原子能科研布局策略，包含「精準放射醫療」、「農業」、「環境」、「量子科技」、「中子科技」、「太空科技」、「工業應用」、「半導體製程」、「人工智慧」及「次世代核能技術」十大領域，作為核安會後續規劃 115-118 年原子能科技民生應用發展策略藍圖之政策基礎。

(二)人才培育

總計培養人才 184 人，其中學士 85 人、碩士 73 人、博士 26 人：

1. 細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」，培育學士 82 人、碩士 56 人、博士 24 人，其中 30 人（IC 設計 3 人、智慧機械 17 人、精準健康 1 人、循環農業 9 人）合於未來 3 年重點產業所需（參國發會產業人力供需資訊網，如表 3-5-2-1）。
2. 細部計畫 3「原子能科技研發環境建構」，培育學士 3 人、碩士 17 人、博士 2 人。

表 3-5-2-1 原子能科技學術合作研究培育重點產業人才統計表

重點產業別	年均新增需求 (人)	總就業人 數佔比(%)	相關領域
IC 設計	3,073~4,610 (3,842)	5.5~7.9 (6.7)	邏輯設計、電路設計與佈局
通訊	4,717~5,767 (5,242)	4.4~5.3 (4.85)	網通、物聯網裝置等設備
智慧機械	12,167~13,433 (12,800)	10.6	工業機器人、電子及半導體生產用機械設備
人工智慧	3,457~4,227 (3,842)	20.3~22.8 (21.55)	資訊服務與 AI 新創
精準健康	702~776 (739)	3.7~4.1 (3.9)	精準檢測、精準預防、精準診斷、精準治療
循環農業	97~119 (108)	1.3	植物纖維(作物種植端)

(三)法規制度

細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 2 項計畫，有助政府法規制度建立，具體成果如下：

1. 美國聯邦際核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析：對我國核子損害賠償法制修法之啟示：在國內推動小型模組化反應爐（SMR）的發展，除了技術成熟度外，法制面的整備是決定其能否落地的關鍵。根據美國《普萊斯-安德森法案》（PAA）的經驗與國內現行《核子損害賠償法》等法制架構，以下是國內法制主要應注意的關鍵事項：(1)損害賠償責任的「規模化」與「彈性化」，(2)「場址概念」與「多模組」的法律定義。除此之外，與核子損害賠償間接相關的以下法制建構也值得我國借鏡：
 - (1)於管制框架與執照核發，目前國內的核能管制規章仍多停留於「輕水反應爐」（LWR）為藍本，然許多 SMR 採用非輕水技術（如熔鹽爐或氣冷爐），既有規章可能無法直接適用。此外，SMR 的「模組化製造」涉及廠外組裝與整體運輸。因此，將管制標準從「設計規範」轉向風險揭露及績效/結果導向，只要能證明達到同等安全等級，無須限特定技術。另可斟酌 SMR 特性採納「設計認證」（Design Certification）與「合併執照」（Combined License, COL），簡化重複性的審查程序，加速部署。
 - (2)核廢料處理與後端管理法制，SMR 雖然發電量小，但仍會產生用過核燃料及低放射性廢棄物。國內目前對於核廢料最終處置場址的選址（依據《放射性物料管理法》）仍面臨極大法規與社會阻力。在推動 SMR 前，必須先健全核廢後端法制體系，明確定義 SMR 廢棄物的處理權責、提撥基金標準以及與現有電廠廢料合併處理的可行性。

- (3)民間參與與土地使用法規，過去國內核電廠由台電公司壟斷獨佔，但 SMR 的發展可能吸引民間企業（如科學園區業者）自建。現行《電業法》與《核子反應器設施管制法》對於民間設置核能設施的權利義務、安全責任歸屬仍缺乏具體規範。釐清民間業者作為「經營者」的法律地位，並修正土地分區、建築法規與環境影響評估準則（EIA），使 SMR 能在工業區或其他符合安全條件的地區合法設置。當然，如民間參與能順利引進，則於核子損害賠償法制建構回映之主要議題將在民營新進核子反應器設施應如何在舊有台電公司獨佔之核子損害賠償基金池內進行「入池」，這牽涉到公平性、產業發展政策、以及損害賠償之適足性等法律、政治、與經濟因素的交錯考量。
2. 核能科技類型行政法人之績效估評法制研究(II)：從績效行政到平行式績效管理，再到績效管理，最後是績效治理；績效評鑑機制與程序不再是評鑑者單向為之，而是評鑑者與受評鑑者雙向而行，甚至加入其他利害關係人或夥伴成員的觀點。研究計畫針對各種利害關係人就績效評鑑機制的認知、調適與行動等三個層面，進行質性與量化研究，有助於拉近法規範的「應然面」與真實運作的「實然面」的差距，使績效評鑑機制更具有效性。研究發現如下三點：
- (1)核能類型行政法人的績效評鑑機制，應該配合其公共任務的特殊性，進行類型化的設計，無須也不應完全依照行政法人法的法定架構，同時應該納入 ESG 的概念，可以對於該類型行政法人的內部管理優劣進行績效評鑑；此外，亦應了解中層幹部與基層員工對組織整體績效目標與個人績效目標的觀點。
- (2)透過法律實證研究方式以確知評鑑者、受評鑑者及其他利害關係人如何看待核能類型行政法人的績效評鑑機制的的作用。研究所得之資料有助於了解實際運作時在實體面、程序面與組織面的優缺點，進而成為修正相關國原院設置條例與績效評鑑辦法的依據。
- (3)英法兩國對於行政法人的績效評鑑機制，確已成為英法兩國會與民眾了解政府運作的重要資訊來源，因之，學說與實務均採納績效治理模式，著重於績效的社會主觀面向，使績效評鑑機制成為利害關係人對話的管道。

(四)國際合作

1. 細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」國際合作與技術交流成果，召開「2025 年台美民用核能合作會議」及「第 11 屆台日核能管制資訊交流會議」，進行核電廠管制、原子能科技研發及日本福島含氫廢水排放等經驗交流，深化與美日合作關係，拓展雙方進一步合作空間。
2. 細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 1 項「新南向核醫診療技術與應用交流」計畫：以新南向政策為核心，聚焦核子醫學診療技術、制度發展與人才培育之跨國交流，透過兩階段國際研討會與實地參訪，成功建立臺灣與南亞及亞太多國核醫專業社群之交流平台。114 年 7 月

舉辦之「亞太地區核醫現況互動研討會」，邀集印尼、泰國、馬來西亞、越南、日本與澳洲等國核醫專家，透過 SWOT 分析系統性比較各國核醫發展現況、法規瓶頸與臨床需求，並實地參訪國家原子能科技研究院，進行本土核藥（如 TRODAT、MIBG）及影像分析平台之技術對接，建立與印尼 Siloam 等機構之後續合作與遠距判讀交流管道，具高度政策與產業參考價值。第二階段於 12 月 27 日舉辦「精準醫療新視界」核醫國際研討會，邀請日本福島醫大松田博史教授來臺進行腦部精準影像技術示範，並結合美、日、臺專家論壇，成功將國際標準化影像判讀技術導入國內臨床教育體系，促進核醫產業技術升級與國際接軌，強化臺灣於亞太精準醫療鏈結中的關鍵角色。

(五)推動輔導

透過細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」推廣科學教育與科普知識，並搭配細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」強化原子能知識普及，其成果價值與貢獻度如下：

1. 拍攝原子能科普展影片，邀請新住民教師們以母語與民眾交流互動，展現科學教育的多元共融，擴大原子能科普推廣，並增加新住民族群對核能知識的親近感。藉由影像傳遞「科學無國界」的理念，讓更多民眾感受文化與科學交融所帶來的溫度，深化社會大眾對科學平權與包容價值的認同。
2. 以國小師生為主要對象，完成原子能與輻射主題之互動式科普教材與「輻射英雄聯盟」科學桌遊開發，並透過校園及公共場域辦理多場科普推廣及體驗活動，結合遊戲學習，引導民眾認識原子能相關知識。另推廣過程兼顧不同性別及偏鄉族群參與，擴大科普教育觸及範圍，奠定學童原子能科學知識基礎。

(六)管制支援

細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助專題研究 6 項計畫，技術支援政府核安管制業務，具體成果如下：

1. 以全耦合多相流數值模式探討岩體裂隙跨空間尺度之水-力-化耦合系統之初步研究：聚焦於跨空間尺度之水力化（HMC）多物理耦合數值模擬技術，建立可量化描述岩體裂隙演化與自封閉效應之全耦合模擬架構，作為高放射性廢棄物地下深層處置安全性論證（Safety Case）之重要科學基礎。相關技術亦可延伸應用於地熱開發與二氧化碳地質封存等能源前瞻領域。透過突破傳統跨尺度數值評估之限制，本研究有助於於工程規劃階段提前辨識潛在工程障壁失效風險，縮短技術研發與評估週期，並促進深層地質系統由經驗推估邁向具物理基礎之數位孿生分析。相關模擬成果亦可作為核安會於高放射性廢棄物處置與深層地下設施審查過程中，進行裂隙風險評估與長期安全分析之科學參考依據。
2. 事故耐受性核燃料應用於小型模組化反應器之可行性分析：事故耐受性核燃料（ATF）具備在高溫與嚴苛事故條件下維持材料完整性與安全裕度之

能力，可降低爐心損傷風險，提升反應器整體安全性，為近代核能安全發展之關鍵方向。研究以 MCNP6.2 建立高溫氣冷式實驗爐 (HTTR) 模型，評估多種具應用潛力之 ATF 燃料，對臨界度、燃料使用效率及安全相關中子物理參數之影響，以補足既有研究在 ATF 中子物理特性分析方面之不足。結果顯示，ATF 於燃料利用效率上優於原始設計，且運轉期間之中子能譜與溫度係數皆維持於安全容許範圍內，未對反應器控制與安全裕度造成不利影響。本研究亦初步評估 ATF 於燃料管理策略、運轉週期與後端營運之潛在影響，相關成果可作為產業界評估 ATF 實際導入高溫氣冷式反應器時，在燃料選擇上的參考依據。

3. 日本核電廠除役安全評估標準之管制要項研析：在電廠進行除污、拆除之前，需要妥善規劃所有作業，以確保電廠附近民眾及電廠內工作人員的安全。為了依照除役設施特性及除役作業的輻射風險，規劃有效的除役策略、作業程序及安全措施，必須實施安全評估。針對此需求，日本原子力學會於 2023 年出版了「除役計畫安全評估標準」(AESJ-SC-A010:2022)，內容涵蓋安全評估的要求事項、評估步驟、評估模型、放射性物質來源、排放途徑、劑量評估參數、飛散參數設定等，對國內具有高度參考價值。因此，本研究針對該標準進行深入探討，並藉由案例說明安全評估的步驟及除役活動可能造成的事件，進一步提出管制要項之建議，俾利核安會掌握日本除役核電廠安全評估之作法及標準。
4. 國際新型小型模組化反應器發展現況與安全管制要項探討：蒐集國際新小型模組化反應器 SMR 之先進技術要點與最新申照過程與法規討論/演進之發展狀況，對於兩個主要方向政府參考：
 - (1) 技術發展要點包含爐心運轉與安全系統技術，將可提供政府能源決策單位對未來低碳能源布局選擇作為參考依據
 - (2) 申照與法規發展狀況之研析與討論部分，將有助政府核安管制單位未來考量國內發展/引進國際 SMR 技術之相對應安全管制法規之依循、制訂與討論參考。

以上兩點將有助政府在未來對於國際最新 SMR 先進技術與核安管制法規方面能快速與國際接軌，為台灣低碳能源安全提供強有力之技術支援與安全管制。

5. 國際小型模組化反應器爐心設計研析：針對國際間蓬勃發展的小型模組化反應器 (SMR) 之爐心設計進行深入研析。隨著 SMR 技術朝向事故容錯燃料 (ATF)、TRISO 燃料及無硼化 (Soluble-boron-free) 操作等創新設計發展，其相關物理特性。透過幾何 Buckling 計算與 MCNP 模擬證實，由於壓水式 SMR 爐心體積較小，其「中子洩漏率」顯著高於傳統 PWR。研究結果顯示，壓水式 SMR 的中子洩漏率約為 $3.87E-2$ ，較傳統大型反應器的 $1.76E-2$ 高出約 2.2 倍。研究分析了水反射體與重金屬反射體 (如不鏽鋼、碳化鎢) 對爐心反應度的影響。結果顯示，添加反射體能顯著提高爐心邊緣的中子通量分布並降低洩漏，但也會改變功率峰值 (Power peaking)。採用 ATF 與 TRISO 燃料雖能提升安全餘裕，但帶來

新的不確定性。

6. 對應核電廠燃料池水下熱擾動之影像辨識：透過建構縮小比例之實驗水池，系統性模擬用過燃料池環境中因溫度梯度所引發之熱湍流現象，並深入探討其對水下影像所造成的非線性扭曲與解析度劣化問題。在此基礎上，研究同步發展結合深度學習之電腦視覺影像重建與去模糊化技術，將實驗量測所得之影像資料與資料驅動模型有效整合，使重建方法能夠貼近實際物理情境，提升影像還原之準確性與穩定性。透過此一整合式研究架構，不僅可有效復原受熱湍流干擾之水下影像，亦有助於建立可重現、可驗證之影像處理流程。相關成果有助協助核安會執行核電廠核子保防作業用過燃料池核燃料序號檢查及驗證。

肆、檢討與展望

一、計畫執行困難與因應對策

(一)原子能科技施政支援推動

1.方案規劃及計畫管理

- (1)關於國內各產業發展現況之盤點，由於涵蓋之領域範疇廣泛，且與其他技術或產業領域之界定存在重疊情形；此外，就「原子能民生應用技術」之實際使用程度亦難以明確界定。因此，相關內容仍需借助各領域專家學者之專業意見，進一步釐清範疇與定位。
- (2)盤點各領域原子能民生應用技術之產值時，部分市場規模亦存在著估算困難之處。例如非破壞檢測技術方式多元，輻射檢測僅為其中之一，若單獨估算輻射相關部分之市場貢獻，易產生偏差。後續仍需依據更明確之技術使用比例、產業鏈角色及應用深度進行細部分析。
- (3)原子能民生應用技術涵蓋範圍廣泛，然而國內相關技術能量與設備資源尚未形成完整整合體系，導致研究能量分散、資源重複投入，亦使許多研發或產業機構無法即時掌握可使用之國內設備與技術。故建置「原子能科技決策及管制技術支援平台」，並推動跨部會、跨研究機構與產業鏈之資源共享與合作機制，已屬刻不容緩。
- (4)對於次世代核能技術發展與相關國際計畫，繼續尋找與各國合作之可能管道，包括各研討會成果發表論文摘要等等進行蒐集、整理與研析；另由於 SMR 的發展已超過 80 種類型，其設計與能力各不相同，成本差異巨大，因此，下期將重點關注於技術需求、法規研改與可行性評估，特別是建造成本管控的議題。
- (5)透過舉辦 3 場專家學者座談會對國內核後端安全管制現況之探討，認為目前最急迫的是「用過核子燃料乾式貯存」。因為未來 5 年連續接踵而至的有核一、二、三廠室內乾貯計畫之安全審查、密封鋼筒製造稽查、貯存設施建造稽查、運轉演練、試運轉程序書審查、現場運轉稽查等。而由於乾貯設施可能會有 40、60、80 甚至超過 100 年的貯放，故除了在未來 10 年期間內，核一、二廠室外乾貯場對各混凝土護箱及密封鋼筒之老化監視等，更需要有長遠的嚴謹監視計畫規劃；另亦應要求台電公司引進自動監視系統及人工智慧輔助做監視與研判；而上述工作均需要大量專業人力來因應。

2.國際合作與技術交流

- (1)國際交流涉及雙方時程安排、交流議題、設施參訪等多面向考量，有賴雙方事前充分溝通，並適時透過駐外人員協處，俾利會議遂行；「台美民用核能合作會議」原訂於 114 年 12 月舉辦，因受美方預算卡關導致政府停擺影響未能如期召開，經積極溝通協調後，已於 115 年 1 月 20 日至 21 日順利完成舉行。

(2)我國外交處境困難，除定期舉辦官方交流外，亦積極透過民間管道拓展國際關係，114年已直接或間接促成財團法人核能科技協進會分於114年5月與日本放射性廢棄物管理基金及研究中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)交換簽署合作備忘錄及114年8月27日與德國NUKEM Technologies Engineering Services GmbH, Germany 簽署核能設施除役合作備忘錄(圖 4-1-1-1)。



圖 4-1-1-1 核協會與德國 NUKEM 公司簽署除役合作備忘錄

3.科學教育與資訊推廣

- (1)114 年度原子能科普活動偏鄉區域觸及較少，係因年度國內出差旅費經立法院大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限，2 場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。
- (2)核能安全相關議題涉及專業知識與風險溝通，若缺乏適切轉譯及情境連結，將不易引發民眾學習的意願，透過圖像、動畫及桌遊等多元教材設計吸引民眾興趣，並將抽象的輻射概念轉化為與日常生活密切相關的實例，有助於降低理解門檻，提升溝通成效。

(二)原子能科技學術合作研究

檢視年度 35 項計畫期末執行情形，32 項計畫已依原訂目標及期限完成，另有 3 項計畫因研究需要申請且獲同意展期，後續將由計畫協同主持人督促於時限內完成。

(三)原子能科技研發環境建構

1.衛星元件開發及輻射驗證環境建構

(1)太陽電池抗輻射技術發展

太空太陽電池技術包括太陽電池晶片磊晶、電極製程與質子輻射照射等。由於磊晶機台維護不易，加上國原院之 MOCVD 設備已使用超過 10 年，各種不預期之故障相繼發生。然經由同仁依專業判斷與尋求相關研究人員的經驗分享後逐一解決與排除，資訊亦有保留可供未來故障分析做為參考。

(2)晶片系統抗輻射技術發展

目前 ELT SRAM 經下線與量測後僅實現部分功能，在第一次晶片下線後的上板量測中觀察到 ELT SRAM 出現時序相關的功能性問題，導致部分資料無法穩定讀寫，這也表示目前版本的周邊控制與時序設定需針對 ELT cell 的特性做重新調整。在雷射測試之對焦點選擇性與載子生成機制存在界定模糊區，需進一步分析。另為了分析不同尺寸的 MOS Varactor 在輻射照射下，對於 CV 特性的實際影響程度，目前使用單一且不同尺寸的 NMOS 電晶體，進行第一版晶片實作的電路模擬分析與電路佈局設計，尚未使用抗輻射的電晶體設計。

(3)元件製程抗輻射技術發展

執行面臨的主要困難在於輻射測試環境的取得與先進製程的複雜性。首先，進行總游離劑量 (TID) 和中子輻射測試需依賴特定高能輻射源，排程長且資源有限，導致長時間即時量測難度高。其次，新穎元件如 GAAFETs 和 FeFETs 的製程技術困難度高 (如原子層沉積、電漿處理)，良率控制與再現性是重大挑戰。為因應這些困難，團隊採取了兩大對策：積極資源整合與跨單位合作，與國內相關機構建立長期合作以確保輻射測試資源；在製程技術方面，多加利用國內半導體製程相關實驗室 (如台灣半導體研究中心 TSRI 或奈米元件實驗室)，以優化製程參數，並輔以介面工程技術 (如引入電漿與微波退火製程)，有效提升元件良率、減少缺陷並增強抗輻射性能，確保技術創新的可行性與可靠度。

2.半導體光源設備自主能力建構

中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計、試作與應用研究

114 年度電極製作方面，由於國內相關廠商需排單導致製作期程拉長，考量後續仍會持續改良製作電極，將與廠商協調降低未來排程時間，同時也尋找更多潛在合作廠商，以減少製作時程的不確定性，以避免影響放電電漿測試時程。另外，收光鏡部分，由於目前已知國外相關廠商之製作費用相當昂貴，因此後續預計也將與國家儀器科技研究中心及國內廠商就其光學鏡片製作經驗共同逐步研發自主收光鏡製程，並評估國內製作之性能是否符合國際規格。

二、計畫執行可改善事項或後續可精進處

(一)原子能科技施政支援推動

1.方案規劃及計畫管理

- (1)已完成「民國 115 至 118 年原子能科技民生應用發展的策略藍圖」初稿。此策略藍圖的擬定，不僅盤點近年來國內原子能科研相關機構發展與計畫成果，也匯集相關領域的專家學者與業界代表之建議。115 年工作仍將持續進行研析，並向專家學者及業界代表請益，透過深入訪談，滾動式修正當前我國原子能科技民生應用的策略，並於上半年完成策略藍圖定稿。
- (2)114 年度計畫已完成「原子能科技決策及管制技術支援平台」初步規劃方向，115 年度將委託廠商開始建置平台，統整各領域資訊與研究資源，強化國內研發能量。
- (3)我國核管法規目前都是為大型傳統核能機組所制定，未來若打算引進次世代機組，可以參考美國 NRC 的預先審查制度，尤其是設計簡介、分析方法與安全分析三項。先行規劃出一套可行的規則草案，讓台電公司或其他未來有意願投入的廠商，自行評估能夠引進的機組，待未來國際上有 SMR 機組正式開始商轉後，便可加快引進審查的流程與步驟，減少曠日費時的公文往返。
- (4)由於國內高低放射性廢棄物處置仍處於鄰避效應(Not in my backyard, NIMBY)，台電公司處置選址進度停滯，是否會因而再拖延二、三十年，而嚴重影響到處置計畫之推動；故建議仍應對原子能科技人力之培育或再教育(如委託清華大學原科院開核工、核廢處理處置學分課程)，提出實務與具體的行動。

2.國際合作與技術交流

- (1)配合我國外交政策及國際局勢，除持續既有國際原子能總署、美、日、法等定期交流，並妥善運用我國科技優勢，積極尋求新南向及歐洲國家合作管道之契機。
- (2)我國外交處境困難，除定期舉辦官方交流外，亦積極透過民間管道拓展國際關係，如東亞核能論壇(East Asia Nuclear Forum)¹等民間交流平台。

3.科學教育與資訊推廣

- (1)精進科普推廣成效的評估及回饋機制，將現階段以參與人次與滿意度為主的成果呈現，提升為兼具量化、質化分析的評估架構。
- (2)透過依不同年齡及性別進行問卷調查，並結合開放式意見回饋，可掌握民眾對原子能議題的理解，作為調整解說內容、教材難易度及活動設計的依據，有助於優化展覽互動體驗。

¹ [東亞核能論壇 \(East Asia Nuclear Forum\)](#)

(二)原子能科技學術合作研究

因應近期 AI、SDGs、淨零碳排及次世代核能技術之科技趨勢，在未來原子能科技學術合作研究計畫徵求上，將考量相關研究主題，以培育未來國家重點產業人才，另持續精進計畫追蹤管理機制，提升研究成果支援原子能管制、政策規劃、產業技術改善及解決社會議題之效益。在專題研究成果擴散及整合上，亦逐年檢視各研究主題技術成熟度及盤點國內重要設施，跨域整合國內資源布局中長程計畫，以逐步建立良善科研環境，近年配合「AI 新十大建設」、「五大信賴產業-半導體」及「健康臺灣」政策上，已規劃 116 年至 119 年「AI 晶片抗輻射研發環境建構」、「半導體輻射偵檢器研發環境建構」及「放射精準醫學環境建構」計畫，目標建立國內 AI 產業供應鏈抗輻射能力、化合物半導體新核能技術應用及個人化放射醫療研發環境，加速國內 AI 供應鏈產業、次世代半導體技術及精準放射醫學產業發展。

(三)原子能科技研發環境建構

1.衛星元件開發及輻射驗證環境建構

(1)太陽電池抗輻射技術發展

藉由磊晶結構之優化，電池最高轉換效率已達 31.05%；在抗輻射方面則利用新設計之多重量子井結構，使提高電池於質子照射後之剩餘轉換效率，後續將強化製程再現性研究，尤其在高溫製程部分。在性能方面，轉換效率之提高有利於優化產品的功率重量比，有助於實際之衛星應用。後續在可靠度方面將繼續精進，以符合實際衛星任務之需求。

(2)元件製程抗輻射技術發展

目前 FET 元件抗輻射測試多以 n 通道為主，115 年將強化 p 通道 FET 抗輻射測試，讓整體 CMOS 元件抗輻射數據更為完整，並考慮將已成功開發的抗輻射製程或新興元件技術實際應用於航太相關的系統中，並針對實際太空與核能應用需求，進行更深入的輻射效應系統性驗證，如多種輻射複合效應及 SEE 耐受性測試等，以加速技術從實驗室走向實用化，確保我國在極端環境電子元件技術的領先地位。

(3)晶片系統抗輻射技術發展

目前封閉式布局電晶體(ELT)SRAM 量測結果僅部分功能正常，115 年將持續進行 ELT SRAM 晶片下線及實際量測，並設有對照組，以便解決功能性時序問題，聚焦抗輻射技術研發。目前短脈衝雷射平台是用單光子雷射，但雙光子雷射可以測試範圍更廣，後續硬體環境到位，可開始建立相關能量，以利未來異質整合電路抗輻射測試。為了瞭解不同尺寸的 MOS Varactor 在輻射照射下其對於 CV 特性的影響程度，後續在第一版未使用抗輻射設計的 NMOS Varactor 完成後，作為補償電路使用的可變負載元件，將嘗試使用抗輻射電路設計方法，進行後續的整合測試。

2.半導體光源設備自主能力建構

中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計、試作與應用研究

放電電漿模擬機制部分，115 年將嘗試引進 AI 模型協助進行模擬結果預測，以減少模擬時間，並加速模擬參數之收斂；極紫外光光源腔體及溫度與壓力控制系統設計部分，115 年將規劃製作緊緻型的光源腔體，以提升壓力均勻度及減少工作氣體之損耗，並減少實驗測試準備時間；脈衝電源電路部分，115 年將持續尋找高耐壓之二極體開關、儲能電容等關鍵元件，並考量擴充脈衝電源電路系統，加入如波形控制、雜訊抑制、耦合效率提升等研究項目，以進一步提升整體光源模組性能；反射鏡部分，由於可濾出 EUV 波段之反射鏡片較為昂貴尚未取得，現階段尚無法佐證 EUV 波段光之轉換效率，115 年將先採用其他較為可行之濾波方法（頻寬可能涵蓋較廣，但仍屬於 EUV 波段）來計算轉換效率。

伍、其他補充資料

一、跨部會協調或與相關計畫之配合

- (一) 核安會協同國科會建立合作機制以推動原子能科技學術研究，跨部會整合上、中、下游研發之量能，補助學研機構執行原子能科技專題研究計畫，以推動原子能科技民生應用、提升安全管制技術、培育原子能科技與產業創新等跨領域研發人才。114 年結合國內 31 所大專院校及研究機構，由核安會補助 35 項、國科會補助 27 項，共計執行 62 項專題研究計畫。分為核能與除役安全科技、放射性物料安全科技、輻射防護與放射醫學科技、跨域合作與風險溝通 4 大領域，研究主題涵括核電廠安全與除役、核廢料處理、輻射安全、放射醫學科技、智慧半導體電子機械及先進農業等領域之原子能應用相關議題研究。
- (二) 為促成各項研究計畫成果之經驗分享與交流，114 年 6 月 17 日假國立政治大學公共行政及企業管理教育中心與國科會共同辦理 113 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表會（如圖 5.1），共計約 130 人參加，就「核能與除役安全科技」、「放射性物料安全科技」、「輻射防護與放射醫學科技」及「跨域合作與風險溝通」四大領域分 7 場次進行 58 項計畫成果發表，涵蓋核電廠除役、放射性廢棄物處理、輻射安全、核醫藥物、智慧半導體電子機械及先進農業等領域之原子能應用相關議題研究，與會者熱絡參與交流討論。另邀請會內外相關領域專家學者 28 人，分別評選出各場次共計 7 項優良計畫，於各場次結束後進行頒獎，是日各計畫成果論文集已於核安會網站公開，提供各界參閱。
- (三) 計畫係屬任務導向之政策支援研發機制，可及時回應最新政策環境及社會需求，再與其他委託研究計畫或科技計畫等現有研發機制結合支援，為強化各項補助計畫任務導向性及研究成果效益，增進政府與學術單位之交流，協調解決計畫執行困難，核安會同仁亦無償擔任計畫內之協同主持人，共同參與計畫執行及檢討，並依「原子能科技學術合作研究計畫管考作業規定」進行期中查核、成果提報及成果發表三階段管考作業，確保計畫目標落實、研究論文品質、對外資訊公開及學術研究成果共享，各項研究結果均需由協同主持人進行成果效益評估，包含可做為具體管制措施或行政指導，改善產業既有製程、成本、品質等技術議題，或有助政府解決社會議題之公共政策或法規制度等。各計畫累積相當成果後，核安會即整合相關計畫，藉由學研機構跨領域合作及技術互補，妥善運用國內研究用反應器、加速器、輻射源等設施，推動整合型計畫，或與其他委託研究計畫或科技計畫等現有研發機制結合支援，具有相輔相成之效果。



圖 5.1 113 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表會

二、大型科學儀器使用效益及共用分享機制說明

本計畫未購置 1000 萬元以上之大型科學儀器。

三、其他補充說明

原子能科技基礎研究及環境建構計畫

114 年計畫成果完整說明

細部計畫 1: 原子能科技施政支援推動

1. 方案規劃及計畫管理

「我國原子能科技決策支援體系建構」、「我國原子能管制技術支援體系建構」兩件計畫之 114 年度計畫的工作成果如下：

(1) 原子能技術支援組織(TSO)資訊蒐集與研析

原子能科學技術支援組織(Technical and Scientific Support Organizations, TSOs)，是專門提供核能安全、輻射防護及核能設施監管所需技術支持的組織。根據國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)的定義，TSO 係指提供核設施安全審查、法規建議、風險評估與應變支援等功能的組織，得為監管機構內部單位，亦可為具公信力的外部法人機構；因此，可以分為管制機關之內部 TSO 及外部 TSO。以美國為例，其核能管制委員會(NRC)下設的研究辦公室(Office of Nuclear Regulatory Research, RES)即屬於典型的內部 TSO，其主要功能為進行核能安全研究並支援監管標準之制定。日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)則屬於外部 TSO，獨立於日本核能監管單位-原子力規制委員會(Nuclear Regulation Authority, NRA)，為 NRA 提供輻射監測數據、核設施事故評估技術、放射性廢棄物處理與處置評估及除役技術專業建議。114 年度持續蒐集國外計 34 國有關核能安全管制內、外部技術支援機構(TSO)資訊，完成國內核後端 5 大領域管制技術要項及技術支援團隊盤點(圖 5-3-1-1)，並提出初步核後端安全管制技術支援平台架構(圖 5-3-1-2)，可作為未來核安會施政支援平台(管制支援)建置之基礎。

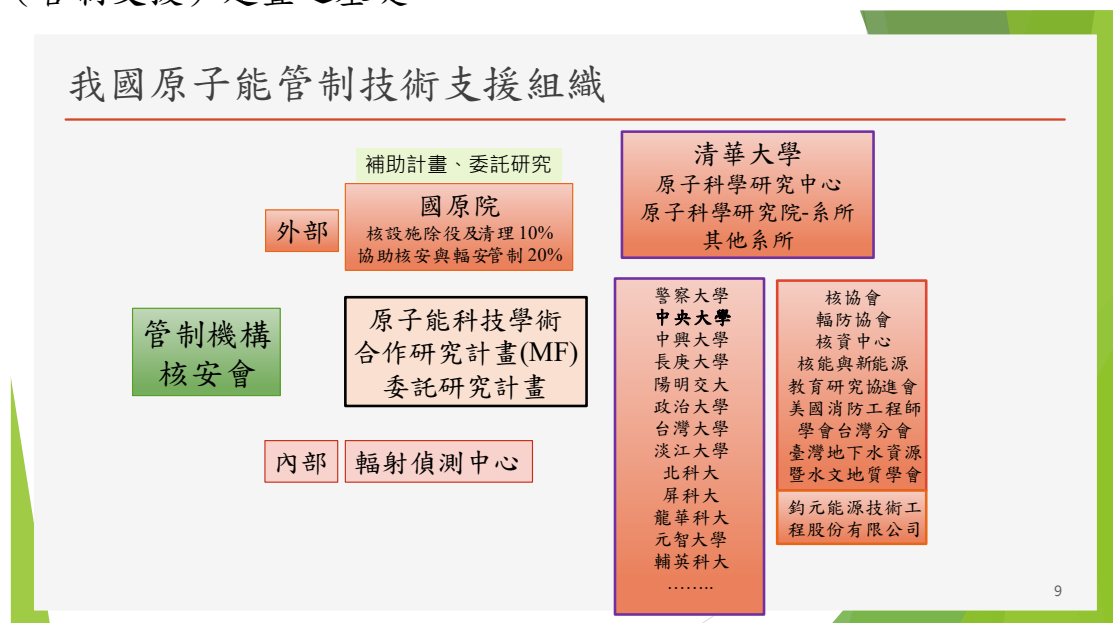


圖 5-3-1-1 我國原子能管制技術支援組織架構



圖 5-3-1-2 核後端安全管制技術支援平台

(2) 國際原子能科技資訊蒐集與研析

114 年度計畫持續針對國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)、歐盟(Europe Union, EU)、美國、日本、韓國與中國等六個國家/組織的原子能科研資訊，進行蒐集、整理與研析。每項資訊再次分為七個技術領域：「精準放射醫療」、「農業與環境」、「量子中子科技」、「太空科技」、「工業應用」、「半導體製程」及「人工智慧」，共蒐集 143 篇相關資訊並彙編成冊。各領域中，「精準放射醫療」有 25 篇、「農業與環境」有 22 篇、「中子量子科技」有 12 篇、「太空科技」有 19 篇、「工業應用」有 36 篇、「半導體製程」有 12 篇及「人工智慧」有 17 篇，將做為核安會未來施政支援平台（科技決策）之原子能科技民生應用知識集。

(3) 次世代核能技術研析及發展策略研析

在次世代核電技術發展方面，114 年度報告蒐集國際小型模組化反應器(SMR)及核融合等次世代核電技術發展現況，以下分別敘述如下：

針對小型模組化反應器(SMR)於各國發展類別，主要參考 International Conference on Small Modular Reactors and their Applications 2024 報告，並蒐集國內外相關時事新聞與研討會論壇資訊，以六個類別說明 SMR 與核電技術目前的發展現況，包括陸基水冷型、艦載水冷型、高溫氣冷型、液態金屬冷卻型、熔鹽冷卻型與微型反應器。

a. SMR

(a) 陸基水冷型

設計採用輕水反應器(Light Water Reactor, LWR)和重水反應器(Heavy Water Reactor, HWR)技術，利用當前大型反應器中普遍採用的成熟技術，因此，通常使用 U-235 濃縮度低於 5%的現有 LWR 燃料設計即可；換料週期則與傳統電廠相當，在 18-24 個月之間，也可以沿用傳統電廠的供應

鏈與監管法規制度。目前有來自 9 個國家的約 14 種陸基水冷 SMR 設計，包括整體式壓水反應器(Integral Pressurized Water Reactor, iPWR)、緊湊型壓水式(主迴路與幫浦完全整合反應器壓力槽內)、環路型壓水式(loop-type PWR)、沸水式(BWR)和用於區域供熱的水池式—水冷反應器(WCR)。

(b) 艦載水冷型

目前有六種艦載 SMR 概念可供部署，皆源自於船舶使用的核動力裝置，設計使用 U-235 濃縮含量較高(接近 20%)，理論上換燃料週期可長達 120 個月(RITM-200M)，其中值得注意的是兩台 KLT-40S 型機組；自 2020 年以來一直在俄羅斯聯邦佩韋克的羅蒙諾索夫院士浮動核電廠(NPP)上運作(換燃料週期 30-36 個月)。另有國家計畫開發浮動式核電廠，如丹麥的 Seaborg Technologies 公司正在設計一款緊湊型熔鹽反應器，發電量為 100 MW(e)，其他還包括中國 ACP100S 與韓國 BANDI。

(c) 高溫氣冷型

以高溫氣冷(Gas-cooled reactor, GCR 或 Hightemperature gas-cooled reactor, HTGR)為流，採用卵石床或棱柱形核心設計，理論上較傳統電廠的束狀設計更為安全；目前共 14 個項目開發或運作中，進度較快的包括位於中國的高溫反應器-球床模組(HTR-PM)，換燃料週期估計在 25-60 個月之間，於 2021 年 12 月併網，並自 2022 年起滿功率運行至今。由於高溫氣冷式產生的單位高階放射性廢物較少(High-level waste, HLW)，因此，美國通用原子電磁系統公司設計的 EM2 高溫氣冷反應器，預計可以使用 30 年以上無需更換燃料。

(d) 液態金屬冷卻型

此種設計採用快中子和液態金屬冷卻劑，包括鈉、純鉛和鉛鈹合金，使用較高濃縮水平的燃料(14%至 20% U-235)，目前進度較為超前的是 BREST-OD-300，這是一種鉛冷快中子反應器(Lead-cooled Fast Reactor, LFR)，正在俄羅斯聯邦謝韋爾斯克建造；其他正在開發的設計包括法國 Newcleo LFR-AS-200、瑞典布萊卡拉 SEALER-55 和西屋公司的鉛冷快中子反應器，還有美國 Oklo 的鈉冷快中子反應器(Sodium-cooled Fast Reactor, SFR)。

(e) 熔鹽冷卻型

使用熔鹽燃料和冷卻劑技術，屬於六種第四代反應器設計之一，主打增強安全性、低壓單相冷卻劑系統、高效率和靈活的燃料循環，加上使用熔融狀態的燃料，消除了與燃料護套故障相關的風險，具有長達 150 個月的長換燃料週期。美國 Terrestrial Energy (USA)公司設計的 IMSR400 反應器換燃料週期為 7 年一次，熔鹽反應器可以主動去除和儲存氣態分裂產物，並在後處理設施中分離鈾系元素回收利用，將廢物的處理期程縮短到幾百年內。

(f) 微型模組化反應器(MMR)

屬於小型 SMR，發電量通常不高於 30 MW(th)，並不限定使用何種冷卻方式，包括輕水、氬氣、熔鹽和液態金屬(也有提出熱管冷卻系統)，微型反應器的目標群體是偏遠地區、災難復原和關鍵服務復原等利基市場，目

前正在開發設計的有 13 個項目。

b.核融合

核融合技術目前仍有三大挑戰，第一是原子核太小，需要外力進行催化提升反應速率；第二是原子核都帶正電，彼此會互相排斥，聚合再一起需要極高且持續的溫度(10 億度電漿)；第三是原子核周邊有許多電子會消耗掉反應的能量，因此，當碰撞反應發生時是否還有足夠能量進行融合，尚待克服。

截至 2024 年 7 月，全球與核融合研究發展相關的廠家數目與投資額度雖然有放緩的跡象，但仍在持續上升中，廠家數量已達 45 家，總投資金額達 71 億美元；其中有 20 家公司成立未滿 5 年，顯見整個行業對未來市場的發展非常樂觀。然而隨著發展進程推進，核融合發展也遭遇不少困難尚待克服，例如在電漿狀態下的持久性、抗輻射的先進材料研發、大型反應器的建造難度及最重要的成本管控；因此，公私合作越趨重要，如美國的”基於里程碑的核融合開發計畫”(Milestone-Based Fusion Development Program)、德國的”核融合 2040 計畫”(Fusion 2040)、日本的”核融合登月計畫”(Fusion Moonshot)、英國的”核融合未來計畫”(Fusion Futures)等，目前大多數公司都預期能在 2030 年代初實現核融合發電。技術發展方面，使用磁約束技術路線的有 23 家、磁慣性約束 5 家、慣性約束 9 家、混合磁/靜電約束 3 家、磁慣性約束 3 家、介子催化核融合 1 家和其他非傳統概念/未說明 3 家等。

(4)國內原子能科研布局規劃

針對國內原子能科技民生應用之研究發展現況，計畫盤點之範圍包括核安會科技發展計畫、原子能科技學術合作研究計畫、科發基金補助計畫等政府支持之研究計畫，並彙整 112-114 年度三份「國際原子能科技民生應用資訊彙編」以及各主要研究及產業機構之公開資料，經與專家學者座談會討論後，提出國內原子能科研布局策略(表 5-3-1-1)。另接續核安會「111 至 114 年原子能科技民生應用發展策略藍圖」，規劃 115 至 118 年策略藍圖初稿(圖 5-3-1-3)，該藍圖將原子能科技於民生應用之議題分為：「健康與民生」、「能資源與環境」、「前瞻應用科技」與「產業經濟」4 大面向；另共有 10 大領域：「精準放射醫療」、「農業」、「環境」、「量子科技」、「中子科技」、「太空科技」、「工業應用」、「半導體製程」、「人工智慧」及「次世代核能技術」，其對應分配到 4 大面向上。

此外，人才為國家之根本，尤其在原子能未來的民生、產業、能資源、環境與永續議題上，教育或基礎研究皆需向下扎根，特別是 SMR、新核能技術(第四代核反應器)與核融合次世代核技術、高能雷射、人工智慧及量子科技等領域。

(5)專家學者座談會

為了能深入了解原子能民生應用各技術領域之研究計畫議題是否合宜，特別安排於 114 年度 4 月至 6 月間舉辦四場座談會，並按七個技術領域類似性，每一場分配 2 至 3 個技術領域來辦理；包括有：「農業與環境」+「工業應用」、「量子中子科技」+「太空科技」+「半導體製程」、「精準放射醫療」+「人工智慧」及「次世代核能技術」+「人工智慧」等 4 場座談會，時間、地點、主題如下：

- a.114 年 4 月 16 日；清華大學綠能館；農業與環境+工業應用。
- b.114 年 5 月 9 日；清華大學綠能館；量子中子科技+太空科技+半導體製程。
- c.114 年 5 月 21 日；臺北榮民總醫院；精準放射醫療+人工智慧。
- d.114 年 6 月 3 日；清華大學李存敏館；次世代核能技術+人工智慧。

另為了解核後端安全管制技術之研究計畫議題是否合宜，特別安排於 114 年度 4-5 月間舉辦三場座談會，並按五個技術領域的類似性，每一場分配 1-2 個技術領域來辦理；包括有：「核設施除役」、「高/低放廢棄物處置」及「低放廢棄物處理/貯存」+「用過核子燃料乾式貯存」等 3 場，時間、地點、主題如下：

- a.114 年 4 月 16 日；集思台大會議中心；核設施除役。
- b.114 年 5 月 7 日；集思台大會議中心；高/低放廢棄物處置。
- c.114 年 5 月 20 日；集思台大會議中心；用過核子燃料乾式貯存。

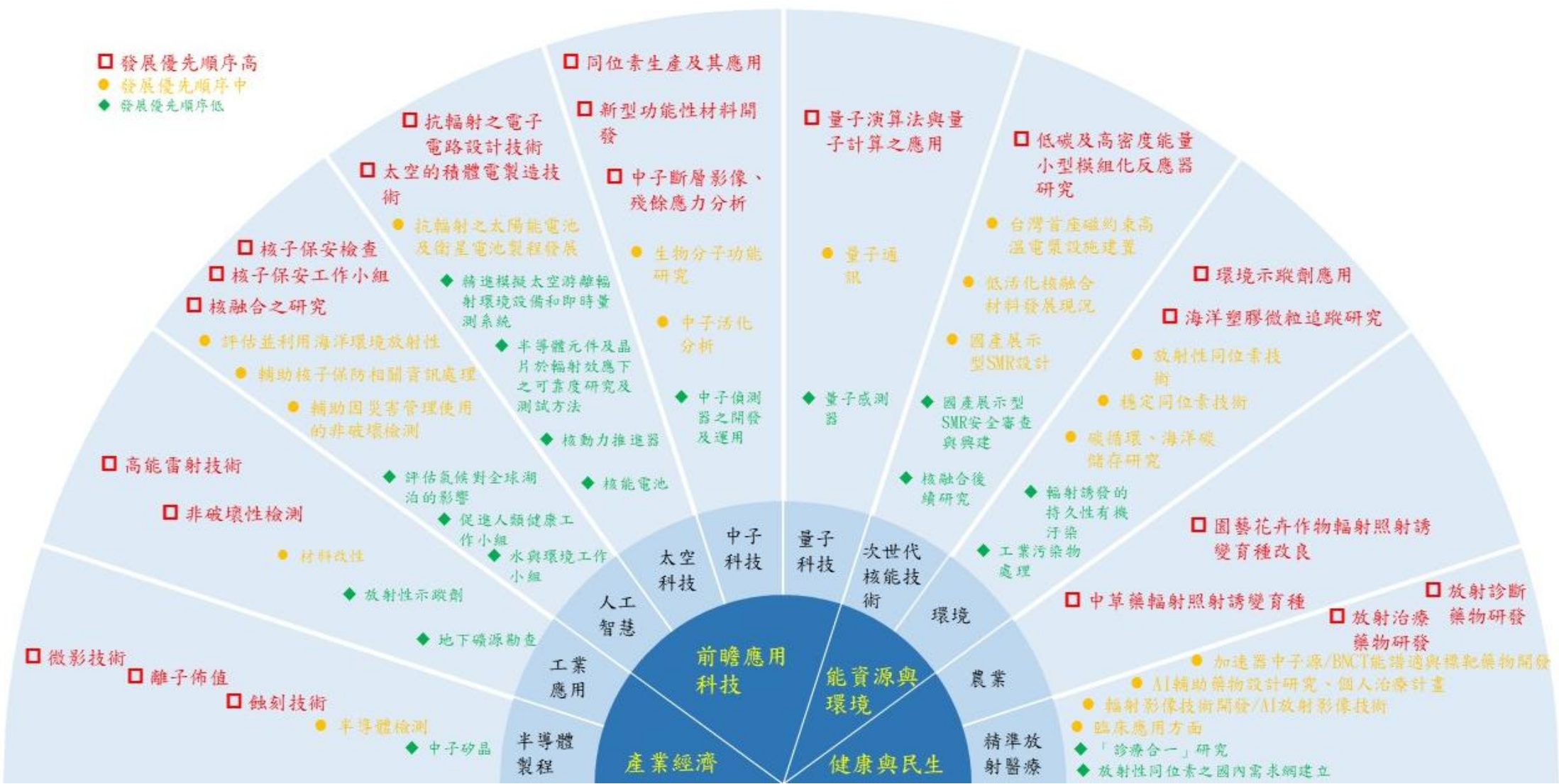


圖 5-3-1-3 「115 至 118 年原子能科技民生應用發展策略藍圖」初稿

表 5-3-1-1 原子能科研布局策略

核心主軸	產業加值					環境永續			
	產業經濟		前瞻應用科技			能資源與環境		健康與民生	
四大面向	產業經濟		前瞻應用科技			能資源與環境		健康與民生	
十大領域	半導體製程	工業應用	太空科技	中子科技	量子科技	次世代核能技術	環境	精準放射醫療	農業
技術項目	<p>A. 國內薄膜製程設備開發、</p> <p>B. EUV(極紫外)關鍵組件的檢測與技術平台建置</p> <p>C. 半導體製程設備技術研發</p>	<p>高能雷射</p> <p>A. 雷射粒子加速</p> <p>B. 同位素純化</p> <p>C. 雷射核融合</p> <p>D. 歐洲極光基礎建設核物理研究((Extreme Light Infrastructure - Nuclear Physics)計畫</p>	<p>太空計畫中半導體晶片抗輻射測試</p> <p>A. 輻射測試 SOP (TID, SEE 等)</p> <p>B. 元件測試資料庫</p> <p>C. 抗輻射太空太陽電池研發</p> <p>D. 以適用任務場景對照策略(如低軌道應用、其他選擇性任務)評估太空環境與地面等效輻射條件對照模型</p>	<p>中子技術應用</p> <p>A. 中子輻射散射研究</p> <p>B. 熱中子與輻射損傷研究</p> <p>C. 中子反射儀(Neutron Reflectometer)研究</p> <p>D. 中子活化分析</p> <p>E. 建立中子源或其他適用輻射平台</p> <p>F. 赴國外(如澳洲)進行中子相關測試研究</p>	<p>量子運算、模擬、通訊及感測和計量：</p> <p>A. 量子電腦及量子模擬器(硬體):超導量子位元、矽量子點與量子光電晶片</p> <p>B. 量子演算法與量子計算之應用(軟體)</p> <p>C. 量子通訊</p> <p>D. 量子感測器</p>	<p>低碳及高密度之小型模組化反應器(SMR)研究</p> <p>A. 反應器運轉安全研究</p> <p>B. 量化風險評估</p> <p>C. 放廢及事故影響評估</p> <p>D. 材料結構及系統安全評估</p> <p>E. SMR 發展趨勢與實務議題研究</p> <p>1. SMR 成本分析</p> <p>2. SMR 執照申請分析</p> <p>3. 離岸式 SMR 核電廠研究</p> <p>4. 國際 SMR 動態研究</p>	<p>A. 海洋碳匯」(藍碳 carbon)) 研究計畫</p> <p>B. 核技術在空氣、土壤與水污染檢測應用</p> <p>C. 海洋「優化核技術以評估與控制沿海地區的微塑料污染」核技術(NUTEC Plastics)研究</p>	<p>核醫藥物創新開發,應用範圍涵蓋：</p> <p>A. 攝護腺癌標靶治療藥物(Lu-177- INER-PSMA)；</p> <p>B. 肝功能評估造影劑(Dolacga Kit)；</p> <p>C. 卵巢癌診療(Ga-68/Lu-177- CHI3L1)；</p> <p>D. 腫瘤血管新生與神經內分泌腫瘤治療(Lu-177- FAPI-X)。</p> <p>E. 診療用放射性同位素研發,包括 Tl-201、Ga-67、I-123、Cu-64、Cu-67、Mo-99 等,涵蓋心臟、腫瘤、神經系統等應用領域。</p>	<p>A. 蘭花改良品質後續規劃</p> <p>B. 中草藥輻射照射誘變育種之發展構想</p>
			<p>輻射照射</p> <p>A. 輻射交聯</p> <p>B. 電子射速及光子射速(X-Ray)輻照</p>	<p>核動力推進器</p> <p>A. 核電推進</p> <p>B. 核熱推進</p>	<p>中子與同步光源相關研究的資訊管</p>		<p>核融合研究</p> <p>A. 核融合材料發展</p> <p>B. 磁約束高溫電</p>		<p>核醫產業之三項策略方向：</p> <p>A. 臨床應用方面：</p>

		應用研究 C. 非破壞檢測 (NDT)		理、資料整合 及產業實務 應用		漿設施建置		推動 AI 模型於 PET 診斷影像的 自動重建、病灶 自動分割與劑量 預測 B. Theranostics 方面：開發結合 AI 與治療影像之 劑量預測與療效 分析模型，支援 病患篩選與個人 化治療規劃 C. 藥物開發方面： 著重於標靶 α 粒子治療 (TAT) 相關藥物研發， 並透過 AI 協助 進行高專利性結 構設計與模擬	
			核能電池						
人 工 智 慧						核子保防核查 人工智慧工作 小組			
						人工智慧輔助 核子保防相關 資訊處理	人工智慧 評估並 利用海 洋環境 放射性		
						核子保安人工 智慧工作小組	水與環 境人工 智慧工	放療中人工智 慧輔助勾畫技 能	

							作小組		
		人工智慧輔助災害管理非破壞檢測				人工智慧用於核融合	人工智慧評估氣候對全球湖泊的影響	人工智慧促進人類健康工作小組	人工智慧支持農業放射性污染修復
人工智慧在原子能的應用									

2. 國際合作與技術交流

參加 2025 年 7 月 7 日至 7 月 10 日召開之台美「NSC/NRC 雙邊核安管制技術交流會議」及「民用核能研發合作資訊交流會議」，並拜會美國國務院、能源部及核能管制委員會等聯邦政府官員，就核能安全管制、先進核子反應器及人才培育等議題進行交流。台美雙方就核電廠運轉、先進反應器管制、除役監督、用過核燃料管理及電廠老化評估等議題交換最新技術與管制經驗，並討論小型模組化及微型反應器後續合作方向。

「台美民用核能合作會議」原訂於 2025 年 12 月在台北舉辦，惟因故順延至 115 年 1 月中下旬召開，於 2026 年 1 月 20 日至 1 月 21 日新北市新板希爾頓酒店宴會樓舉行。台美雙方藉由會議台美雙方將就核電廠安全管制、放射性廢棄物管理技術、緊急應變及輻射防護等領域進行深度交流，並研擬未來雙方合作藍圖，以持續提升管制技術水準。此外，雙方研商 114 年核能合作項目執行情形，並規劃來年合作計畫。會議討論行程結束後，台美雙方代表參訪國家原子能科技研究院(NARI)，以了解在核能技術發展中的最新成果，並作為美方參考。



圖 5-3-1-4 114 年度台美民用核能合作會議

與日本原子力規制委員會(NRA)於 2025 年 10 月 22 至 23 日假日本東京舉行，雙方之交流議題包括台日核電廠運轉與除役安全管制、福島第一核電廠 ALPS 處理水排放管制與因應措施、核子保安與實體防護，以及核電廠除役之放射性廢棄物管制等。另為實地掌握日本福島第一核電廠的 ALPS 處理水排放作業情況，訪團一行會議結束後，於 10 月 16 日參訪福島第一核電廠 ALPS 處理水排放設施與設備，並參訪海洋生物飼育施設與化學分析棟等相關分析試驗場所；亦拜會日本原子能研究開發機構(JAEA)的大熊分析中心，了解該中心受日本政府委託執行 ALPS 處理水第三方分析的作業狀況。



圖 5-3-1-5 第 11 屆台日核能管制資訊交流會議

3.科學教育與資訊推廣

114年核安會以「核安總動員 科技樂無限」為主題辦理2場科普展，分別於國立臺灣科學教育館及新北市永和區仁愛公園舉行，透過互動闖關、科學桌遊及情境體驗等多元方式，引導民眾在輕鬆的友善的氛圍中認識原子能相關知識；並結合新住民教師母語解說及文化元素，展現科學教育兼具專業性與多元包容的特質。2場活動由科教場館延伸至鄰里空間，吸引大量親子家庭參與，成功拉近原子能科學與民眾之間的距離，核安會持續以生活化方式推動科普傳播，逐步增加大眾對核能安全管制的信任。



圖 5-3-1-6 核安會於科教館辦理科普展



圖 5-3-1-7 核安會於仁愛公園辦理科普展

細部計畫 2:原子能科技學術合作研究

114 年核安會與國科會共同推動 64 項原子能科技學術合作研究計畫，其中核安會補助 35 項計畫（核能與除役安全科技 6 項、放射性物料安全科技 2 項、跨域合作與風險溝通 27 項），國科會補助 29 項計畫（放射性物料安全科技 8 項、輻射防護與放射醫學科技 19 項、跨域合作與風險溝通 2 項），有關核安會補助 35 項計畫成果²如下：

1.核能與除役安全科技

(1)應用於輕水式小型模組化反應器結構材料的防蝕技術評估：

水冷式 SMR 因技術較為成熟，主要也是因為現行運轉的核電廠大都是水冷式反應器，因此也是最有可能成為商業化的 SMR。為了提高經濟性與可靠性、維持安全性與延長核電廠的運轉，提供基於科學技術的解決方案與管理系統、結構、組件(Systems, Structures, and Components, SSCs)的老化變成很重要的關注目標。而針對材料的研究，了解長期環境劣化與預測核電廠材料的性能對於 SSC 使用的材料提供運轉限制與減緩老化的方法，可以幫助降低運轉成本，透過使用更好的材料或防蝕技術來改進材料表現以降低維修成本，延長電廠使用的年限。大型核電廠所使用的最新化學與腐蝕控制方法也可能可以應用於輕水式 SMR，因為輕水式 SMR 面臨的材料劣化問題可能會與新一代反應器類似，因為輻射分解的關係，水中的氧化劑為主要的腐蝕因子，不論是壓水式或是沸水式，最基本改善腐蝕性環境，採用加入還原劑以抑制腐蝕，一為現行核電廠常用的加氫技術，另一為考量成本效益與添加容易的醇類添加技術。本研究探討新型材料 XM-19 不銹鋼（UNS S20910）與沸水式反應器（Boiling Water Reactors, BWRs）常用材料 304L 不銹鋼（SS 304L）進行慢應變速率拉伸試驗（Slow Strain Rate Test, SSRT），水環境涵蓋三種不同條件，分別為溶氧量 300ppb、溶氫 1ppm、甲醇水溶液 5ppm，以探討三種不同環境因子對於材料的影響。氧化膜層皆以鎳鐵尖晶石（ NiFe_2O_4 ）為主要成分，在溶氫與甲醇水溶液還原性環境下，SS 304L 與 XM-19 之沿晶應力腐蝕龜裂皆明顯得到抑制。整體而言，XM-19 即使在固溶退火與敏化熱處理後，依舊維持良好的應力腐蝕龜裂抗性，相較於傳統的 304L，XM-19 能在更嚴苛的敏化環境中保持結構強度與韌性，避免 IGSCC 失效。後續研究結果可為 SMBWR 結構組件材料選擇及策略提供有價值的參考。

²其中 3 項計畫因研究需要申請且獲國科會同意展期。

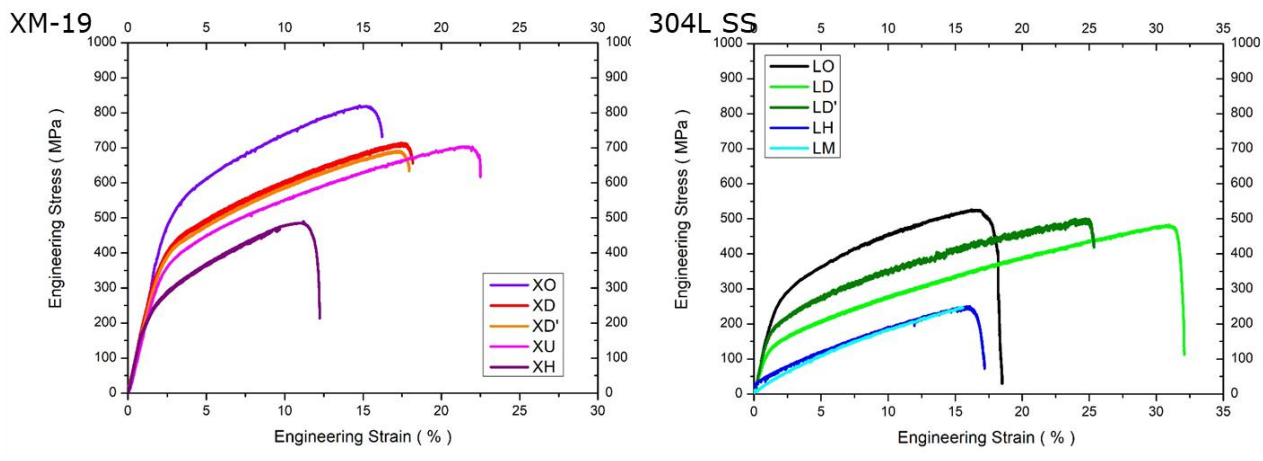


圖 5-3-2-1 XM-19

(2)日本核電廠除役安全評估標準之管制要項研析：

除役計畫安全評估程序如下圖所示。在進行安全評估時，應於可行情況下採用分級方法。依肇始事件之分類，對影響較大的事故單獨設定其飛散參數；對影響較小的事故，則將多個事故合併歸類為具代表性的事故情境並設定其飛散參數。並針對上述事故情境，評估設施周邊一般民眾於事故發生時之有效劑量，確保事故時的劑量低於目標值（不造成顯著輻射曝露風險意味著每次事故的有效劑量評估值不超過 5mSv，且在 5 年內的平均有效劑量不超過 1mSv/y）。

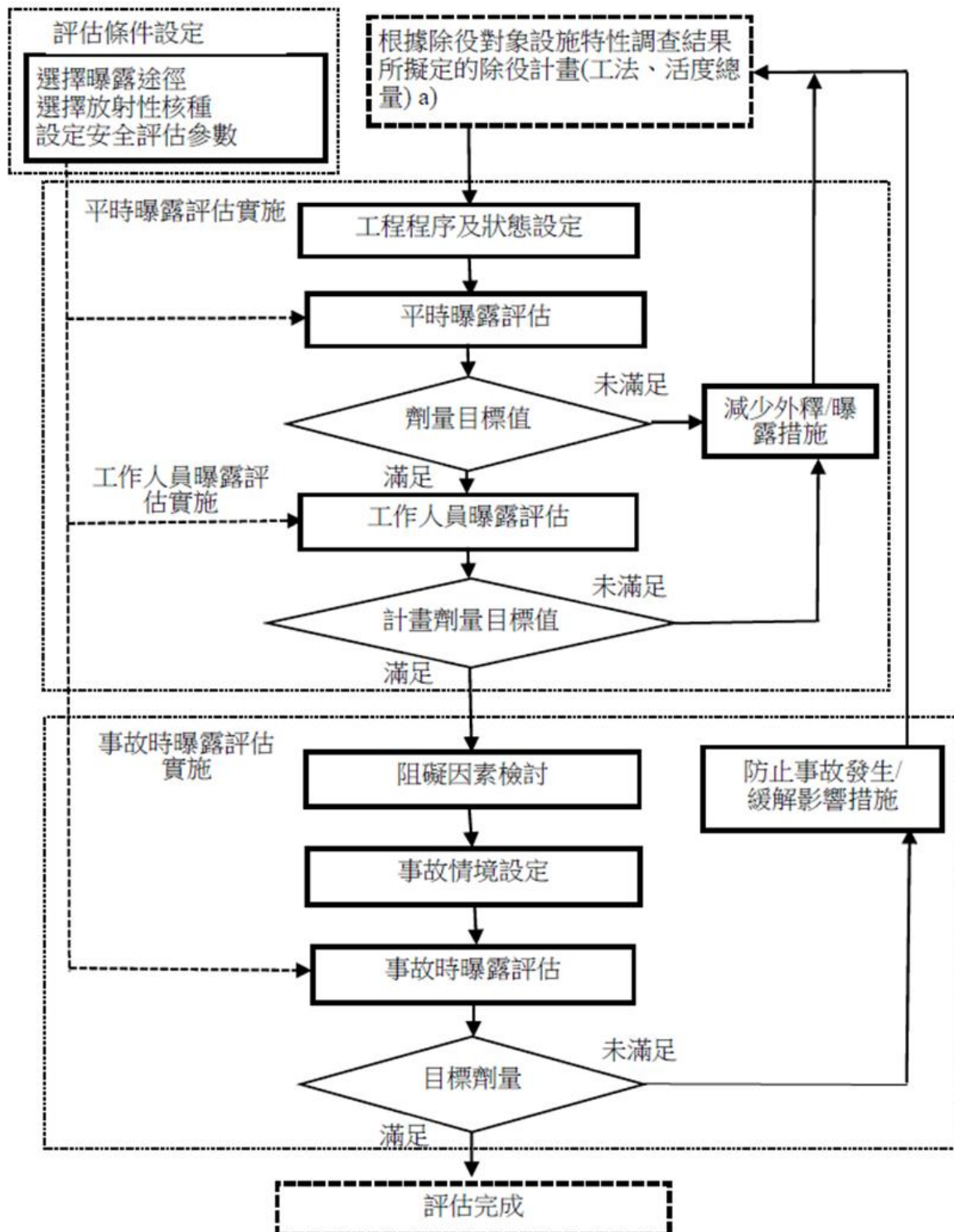


圖 5-3-2-2 除役計畫安全評估實施步驟

(3)核電廠除役過渡階段鐵氧化菌與硫酸還原菌共存對於鐵系金屬材料之影響研究：

微生物誘發腐蝕(Microbiologically-influenced Corrosion, MIC)是由微生物誘發或加速的腐蝕，微生物可能存在於厭氧條件或是好氧條件下，並且在某些情況下可能創造了維持微生物生長的局部環境，造成腐蝕活動的循環，停滯或是低流量的狀態有利於 MIC。MIC 可以發生在任何暴露於非無菌系統的金屬表面，因為微生物的直接或間接活動引起的金屬溶解與機械性質損失有關，核電廠會有額外的、靜態的水系統設計，以及較長的停機時段，可能會讓這些較常使用的材料受到影響。用於核電廠的金屬材料包含鋁、不銹鋼、碳鋼、鎳基合金與銅合金等敏感性材料，即使是非常乾淨的系統，也會使電廠組件有微生物腐蝕發生的可能性，碳鋼中侵蝕的典型特徵是腐蝕產物以突起型式沉積，而不銹鋼與鎳基合金典型的侵蝕特徵為微小的孔蝕，伴有銹蝕的痕跡，孔蝕過深可能會穿透壁厚並導致微小洩漏，特別是在銲接處。針對單一菌種所引起的腐蝕，無法完整解釋微生物腐蝕的行為，因此混合菌種組成的生物膜以及其在金屬表面導致的腐蝕行為更應該進行探討。微生物產生的生物膜與金屬介面間，亦可能形成無氧環境，而使得硫酸鹽還原菌生存於其間。在核電廠停機過渡階段，採用開放式的冷卻水再循環系統，雖然溫度處於較低的狀態，但水質是決定包覆燃料的鋳合金護套及其水循環相關組件結構完整性的重要因素。處於開放式冷卻水的狀態有可能為微生物提供了繁殖的條件，微生物可能會藉由機具操作、補水或是空氣的流動而使其進入冷卻水中，進而使得存在於水中的微生物因活動與代謝而導致腐蝕的產生，也可能因其生成的生物膜影響燃料組件表面熱傳的效果。因此，針對硫酸鹽還原菌與鐵氧化菌共存的環境下，考量停機過渡階段冷卻水組件不同位置的溫度變化，對於碳鋼與敏化 304 不銹鋼進行腐蝕實驗，利用浸沒實驗與電子顯微鏡表面分析，可進一步瞭解 SRB 與 IOB 共存生長對於碳鋼與敏化 304 不銹鋼發生微生物誘發腐蝕的機制，以及可能對組件材料產生的腐蝕行為與腐蝕速率評估，瞭解除役過渡期間不同類群共存時發生的微生物腐蝕對各項組件的影響。目前的研究結果顯示，IOB+SRB 共存時，IOB 在早期測試占主導角色，測試時間增加後則是以 SRB 為主。對於敏化 304 不銹鋼，短時間內 IOB+SRB 共存時比 IOB 單獨存在時較為明顯。長時間測試結果顯示兩菌共存時的變化比 SRB 單獨存在時明顯。對於碳鋼，IOB+SRB 共存時，長時間測試後，37oC 測試比 30oC 測試時變化明顯。針對不銹鋼材料，IOB+SRB 共存產生的孔蝕比個別 IOB 或 SRB 單獨存在時

較多。且 37°C 測試比 30°C 測試時孔蝕數量較多。

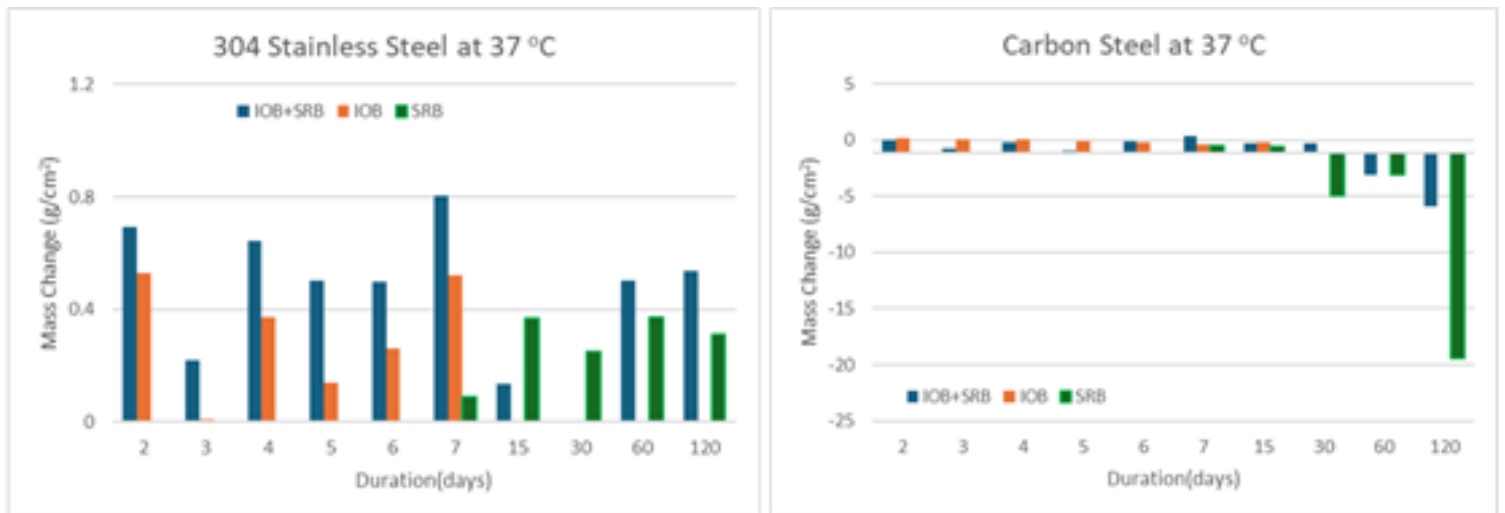


圖 5-3-2-3 IOB 與 SRB 對 304 SS 與 Carbon Steel 造成的質量變化趨勢

(4)事故耐受性核燃料應用於小型模組化反應器之可行性分析：
 以 HTTR 作為參考模型，依 IAEA 公開之設計參數建立 MCNP 計算模型，並與各國計算成果進行驗證，以確保模型之正確性與可信度。研究結果顯示，ATF 應用於 HTTR 可提升爐心有效增殖因數，進而延長運轉時間。就緩速劑與燃料比例變化所引致之影響而言，其整體趨勢與原始設計相符；惟於採用 ATF 條件下，爐心中子能譜呈現較硬化之特性，其中燃料包覆材料差異為主要影響因素。在運轉行為方面，各運轉條件下之溫度反應度係數皆維持負值，且於高溫操作情境中，相較於傳統 UO_2 燃料可提供更為顯著之負反應度回饋，有助於提升爐心之被動安全特性。另一方面，ATF 條件下次鈾系元素產量約增加 4%，可能對後端貯存策略與燃料管理造成較不利之影響，相關效應需於系統設計與燃料循環規劃階段納入整體評估。綜合而言，ATF 在維持中子特性穩定之前提下，可有效提升 HTTR 之燃料使用效率，並兼具較佳之物理與化學穩定性，對先進反應器之設計與發展具有實質之技術助益。

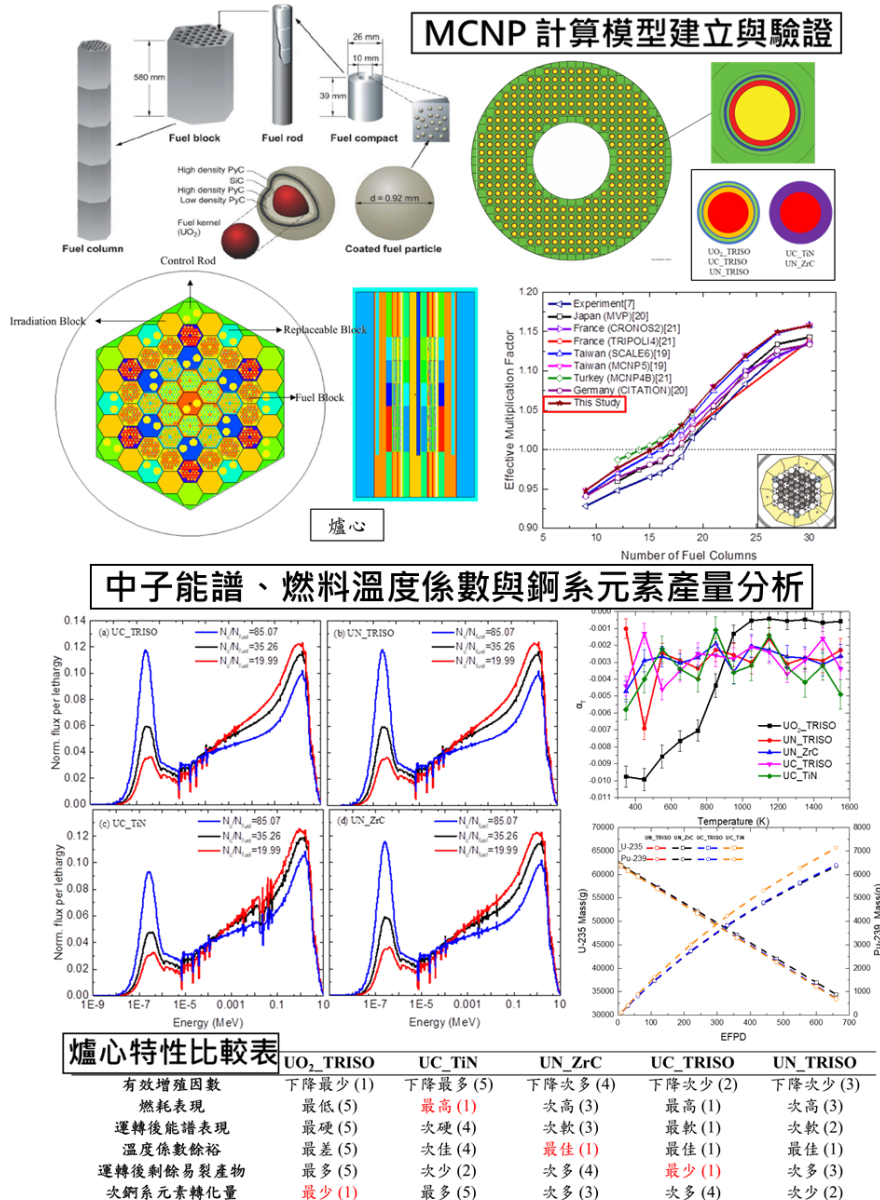


圖 5-3-2-4
5-20

(5)國際新型小型模組化反應器發展現況與安全管制要項探討：

系統性蒐集並比較國際當前最具指標性的小型模組化反應器(Small Modular Reactor, SMR) 案例，並將研究目標鎖定於獲得美國政府支持且市場高度關注、發展迅速、社會寄予厚望甚至台灣未來有應用潛力之關鍵機型，內容包含分析這些反應器的反應器爐心設計與安全防護機制等，探討其技術特徵要點與其在國際 SMR 發展過程之關鍵地位，同時本研究亦將重點放在這些先驅型 SMR 案例如何逐步發展討論並重塑美國現行的核能管制法規架構，特別是在執照審查與安全管制規範上的演進，希冀透過此系統性發展過程的梳理與研析，為我國未來在規劃 SMR 新技術導入應用之法規調適及產業發展策略時，提供兼具前瞻性且務實的安全管制參考依據。下方表 5-3-2-1 表列本研究蒐集研析之 SMR 反應器系統示意圖，包含了 Xe-100 (X-energy Inc.)、NuScale 460 (NuScale Power Inc.)、AP-300 (Westinghouse)、BWRX-300 (GE Hitachi)、Natrium (TerraPower) 等各種先進 SMR 設計，本研究已分別針對其爐心設計及安全系統之技術要點研析討論，各種新型 SMR 之應用技術與審核管制發展現況如表 5-3-2-2 所示。除了技術發展要點之探討，本計畫亦探討美國核管會 (U.S. NRC) 針對新型小型模組化反應器所推動的重要法規革新，重點聚焦於具備「風險導向」與「技術中立」精神的 10 CFR Part 53 草案，以及協助廠商建立設計準則的關鍵指引 RG 1.232 等，論述這些新興法規如何影響申請執照審查流程，分析其對廠商申請策略之具體影響，透過系統性的整理與研析，將美國 NRC 在法規現代化討論過程中的實務經驗，轉化為我國未來可能引進國際新型 SMR 先進技術並建立相對應之核安管制架構時的重要範例與討論依據，提供國內產官學界參考借鏡。

表 5-3-2-1 本研究蒐集研析之小型模組化反應器(SMR)系統圖列表

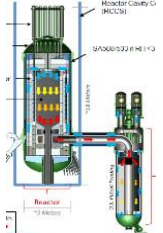

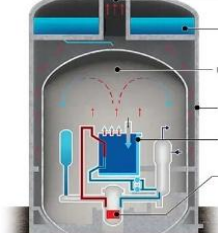

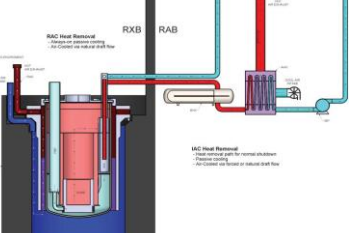
Xe-100	NuScale 460	AP-300	BWRX-300	Natrium
				

表 5-3-2-2 各類小型模組化反應器應用技術與管制/審核發展現況列表

型號	公司	熱/電功率 (MWt/MWe)	類型	燃料形式	審核階段	管制法規
Xe-100	X-energy	200/80	高溫氣冷式反應器	TRISO 顆粒	建造執照(CP)審查中	10 CFR Part 50
NuScale 460	NuScale Power	250/77	壓水式反應器	UO ₂ 燃料棒	標準設計核准 (SDA) 審查中	10 CFR Part 52
AP-300	Westinghouse	990/330	壓水式反應器	UO ₂ 燃料棒	申請前階段	10 CFR Part 52
BWRX-300	GE Hitachi	870/300	沸水式反應器	UO ₂ 燃料棒	準備申請建造執照(CP)	10 CFR Part 50
Natrium	TerraPower	840/345	鈉冷式快中子反應器	金屬燃料 (U-Zr)	建造執照(CP)審查中	10 CFR Part 50

(6)國際小型模組化反應器爐心設計研析：

針對國際間蓬勃發展的小型模組化反應器 (SMR) 之爐心設計進行深入研析。隨者 SMR 技術朝向事故容錯燃料(ATF)、TRISO 燃料及無硼化(Soluble-boron-free) 操作等創新設計發展，其相關物理特性。透過幾何 Buckling 計算與 MCNP 模擬證實，由於壓水式 SMR 爐心體積較小，其「中子洩漏率」顯著高於傳統 PWR。研究結果顯示，壓水式 SMR 的中子洩漏率約為 $3.87E-2$ ，較傳統大型反應器的 $1.76E-2$ 高出約 2.2 倍。研究分析了水反射體與重金屬反射體（如不鏽鋼、碳化鎢）對爐心反應度的影響。結果顯示，添加反射體能顯著提高爐心邊緣的中子通量分布並降低洩漏，但也會改變功率峰值 (Power peaking)。採用 ATF 與 TRISO 燃料雖能提升安全餘裕，但帶來新的不確定性。

表 5-3-2-3 不同規模反應器爐心之中子洩漏趨勢分析

爐心類別	幾何半徑 R (cm)	高度 H (cm)	Buckling B ₂ (cm ⁻²)	中子洩漏趨勢
SMR (小型)	75	200	0.001276	高
傳統 PWR	150	400	0.000339	低
大型爐心	200	600	0.000206	更低

2.放射性物料安全科技

(1)以全耦合多相流數值模式探討岩體裂隙跨空間尺度之水-力-化耦合系統之初步研究：

為回應高放射性廢棄物深層處置中裂隙岩體行為難以跨尺度描述之核心挑戰，本計畫建立以全耦合多相流為基礎之水-力-化（HMC）數值模擬研究架構，系統性探討裂隙於不同空間尺度下對熱能與溶質傳輸行為之影響。本研究於文獻蒐集與技術評估後，選用國際廣泛應用之 TOUGH 系列軟體，發展具在地應用潛力之耦合模擬流程，並以 TOUGHREACT 搭配 MINC 模組作為裂隙岩體描述之主要工具。為驗證裂隙耦合機制並建立跨尺度模擬能力，本計畫由微觀裂隙結構出發，逐步推進至場址尺度岩體模擬，設計多組具代表性之數值案例。結果顯示，MINC 架構可有效描述裂隙與岩體基質間之巢狀結構關係，裂隙之存在將顯著影響水力傳輸速率與熱質分布行為。在場址尺度案例中，於假設背景地下水流存在之情境下，裂隙岩體相較於完整岩體呈現不同之溫度與核種傳輸分布型態，傳輸方向亦受水流影響而產生明顯非對稱特徵(圖 5-3-2-5)，突顯裂隙作為優勢通道對處置場長期行為評估之重要性。此外，為初步評估裂隙於力學作用下之潛在演化行為，本研究亦導入裂隙力學模擬工具進行二維測試，驗證裂隙在應力條件下可能產生之破裂延伸與張裂變形機制，作為後續熱-水-力-化全耦合分析之基礎。本計畫成果顯示，建立跨尺度裂隙耦合數值模擬能力，對於高放射性廢棄物深層處置場之長期安全性評估與 SafetyCase 論證具關鍵支撐價值，亦為後續高解析度數位孿生分析奠定方法學基礎。

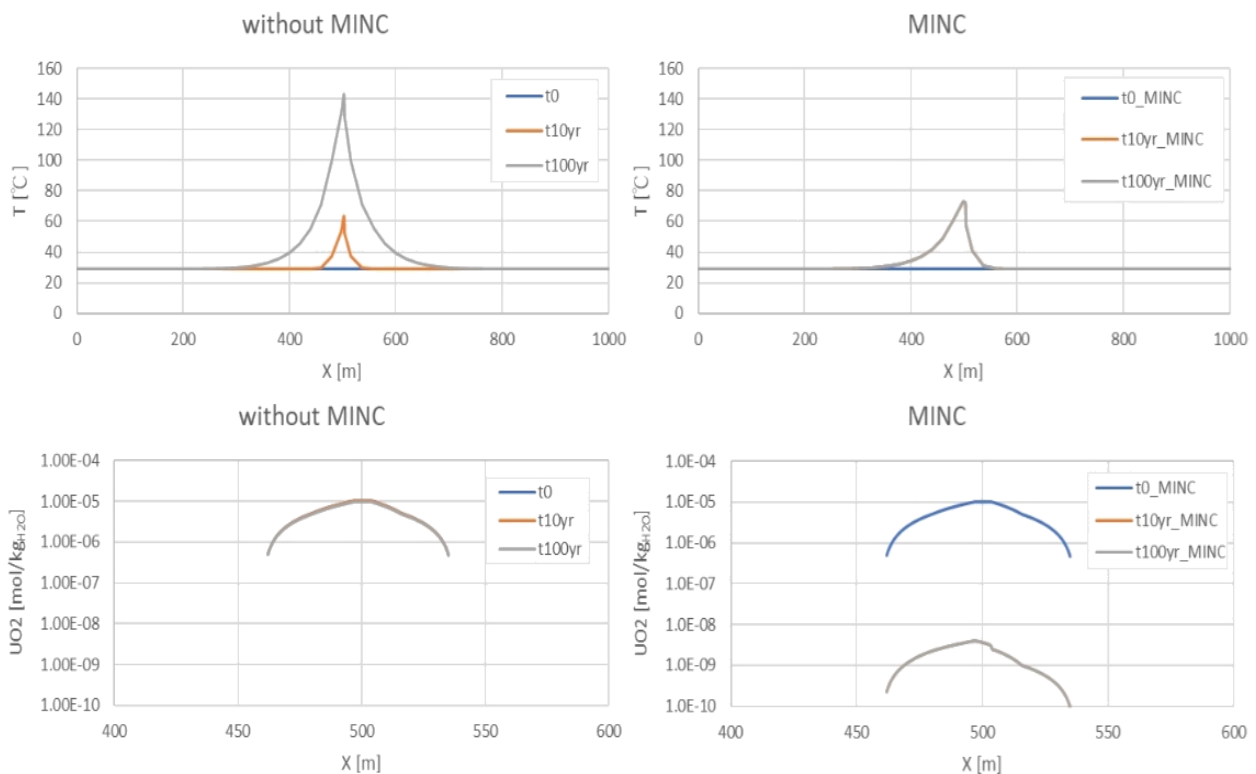


圖 5-3-2-5 溫度與核種傳輸受裂隙岩體之影響時變化

(2) 低放射性廢棄物盛裝容器完整性監測及評估之研究：

本計畫旨在提升低放射性廢棄物盛裝容器之管理效能與使用安全性。計畫執行主軸聚焦於評估複合材料之腐蝕行為、探討環境加速腐蝕影響，以及建立非破壞性在線腐蝕監測技術。114 年度研究已依循規劃取得具體進展，成功建立了一套適用於大氣環境的腐蝕監測架構，並透過加速老化試驗驗證了材料的劣化機制，為後續的安全管制建議提供了堅實的科學數據基礎。本研究針對大氣薄液膜環境，開發創新感測模組（圖 5-3-2-6a-b），利用離子導膜結合電極解決連續監測難題，確保訊號穩定並驗證表面腐蝕變化（圖 5-3-2-6c）。在材料評估上，運用電化學阻抗（EIS）解析全浸泡與大氣環境差異（圖 5-3-2-6d-e），成功量化電荷轉移電阻（ R_{ct} ）動態，精確區分環境因子影響。為預測容器壽命，進一步利用電化學噪訊（EN）進行長期加速試驗（圖 5-3-2-6f-i）。數據顯示點蝕指數（PI）維持高值，確認以局部腐蝕為主要機制；而噪訊電阻（ R_n ）的升降突變，則具體反映了鈍化膜破裂與再修復的動態競爭過程，也以此模式評估複合材料腐蝕情形。本計畫成功整合 EIS 與 EN 交叉分析技術，完整解析了從感測器設計、界面阻抗特徵至長期劣化型態的關聯性。我們利用 PI 與 R_n 等量化指標，精確掌握鍍鋅組件與合金材料在加速環境下的腐蝕演變。這些實證數據除作為篩選抗蝕材料與評估壽命的基準外，所建立的監測系統更能提供低放射性廢棄物容器安全狀態的科學數據，作為主管機關落實管制的依據，確保長期儲存過程中的結構完整性。

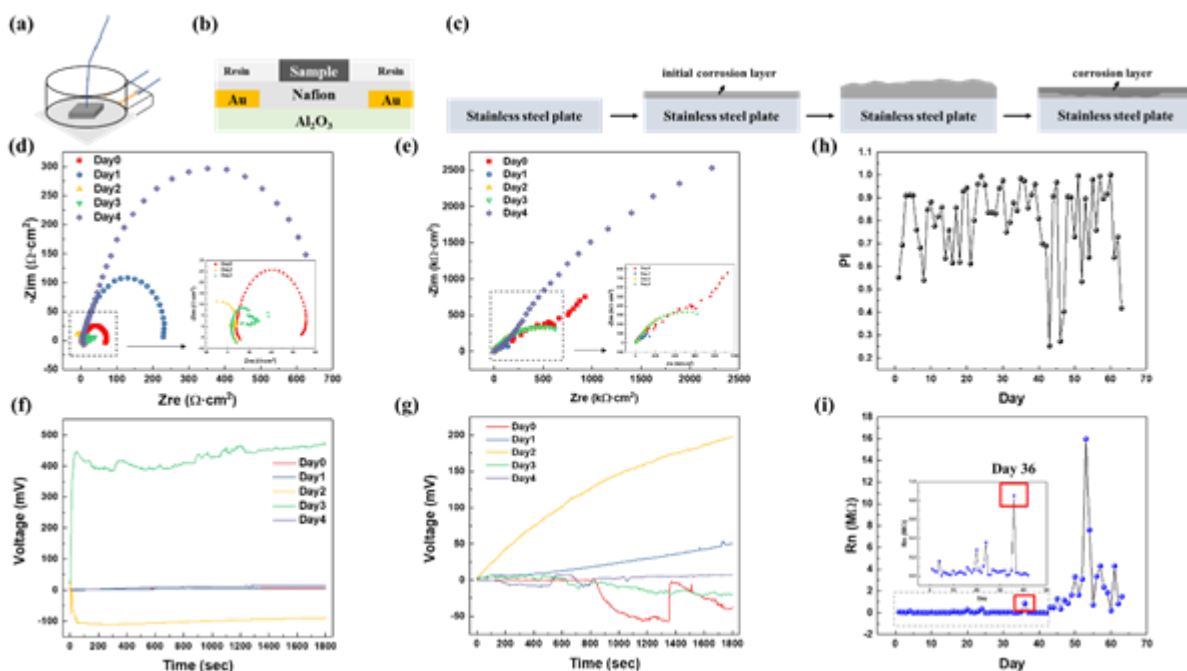


圖 5-3-2-6 大氣腐蝕原位監測系統架構與電化學量測分析。(a)-(b) 監測系統配置與電極感測模組設計；(c) 腐蝕產物演化示意圖；(d)-(e) 全浸泡與大氣環境之 EIS 阻抗圖譜比較；(f)-(g) 不同環境下之電化學噪訊 (EN) 特徵對比；(h)-(i) 長期加速老化試驗之點蝕指數 (PI) 與噪訊電阻 (R_n) 演變趨勢。

4. 跨域合作與風險溝通

(1) 以珊瑚鉛同位素及微量元素濃度探討台灣周圍海洋環境之重金屬污染：

鄰近東亞及東南亞的台灣周圍海域為全球海洋之中受人為活動影響程度最大的海域，因此於台灣附近海域進行重金屬污染相關的研究是刻不容緩的。本研究分析取自蘭嶼南部之微孔珊瑚 (Porites spp.)，建立 1975-2021 年間珊瑚骨骼所記錄之海洋重金屬污染 (Pb/Ca 和 V/Ca) 及鉛同位素比值 ($^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$) 變化，對台灣東部海域重金屬污染來源及傳輸途徑兩個面向進行研究。蘭嶼珊瑚 Pb/Ca 的分析結果 (圖 5-3-2-7(a)) 發現台灣東部海域自 1975 年起逐漸升高，至 2000-2010 期間達到最高值 (~60 nmol/mol)，且具有顯著季節性變化 (冬季約為夏季時期的 2-4 倍高)，顯示鉛的污染來源可能與東亞季風系統之傳輸有關。鉛同位素比值 (圖 5-3-2-7(c)) 指示過去 40 年以來台灣東部海域的鉛來源主要受中國大陸的工業活動、台灣地區含鉛汽油的使用與停用、以及煤炭的使用所影響，且於冬季季風盛行期間，東北季風將帶有中國燃煤鉛同位素訊號的污染物，經長距離傳輸，影響台灣東部海域。此結果與利用 NOAA HYSPLIT 模式所計算之逆軌跡結果相互驗證 (圖 5-3-2-7(b))。2000 年以後雖台灣地區煤炭使用量持續增加，但珊瑚 Pb/Ca 比從 ~60 nmol/mol 下降至 ~30 nmol/mol，可能反映 2010 年後煤炭脫硫處理之成效，大幅降低台灣地區煤炭使用量增加所產生之鉛污染。另一方面，蘭嶼珊瑚 V/Ca 比之記錄於此期間 (1975-2021) 無顯著變化，但值得注意的是 V/Ca 比極高值 (> 300 nmol/mol) 出現在 2005 年，與當年度蘭嶼紅頭村發生大範圍油污事件的時間相近，說明珊瑚 V/Ca 極具潛力記錄與油品污染有關的事件。此外，珊瑚 V/Ca 比亦呈現顯著的季節性對比，冬季季風盛行期間 (11-4 月) 珊瑚 V/Ca 約是夏季季風盛行期間 (5-10 月) 的 1.2-1.5 倍高，顯示控制鈎季節性變化的原因亦與季風系統有關。

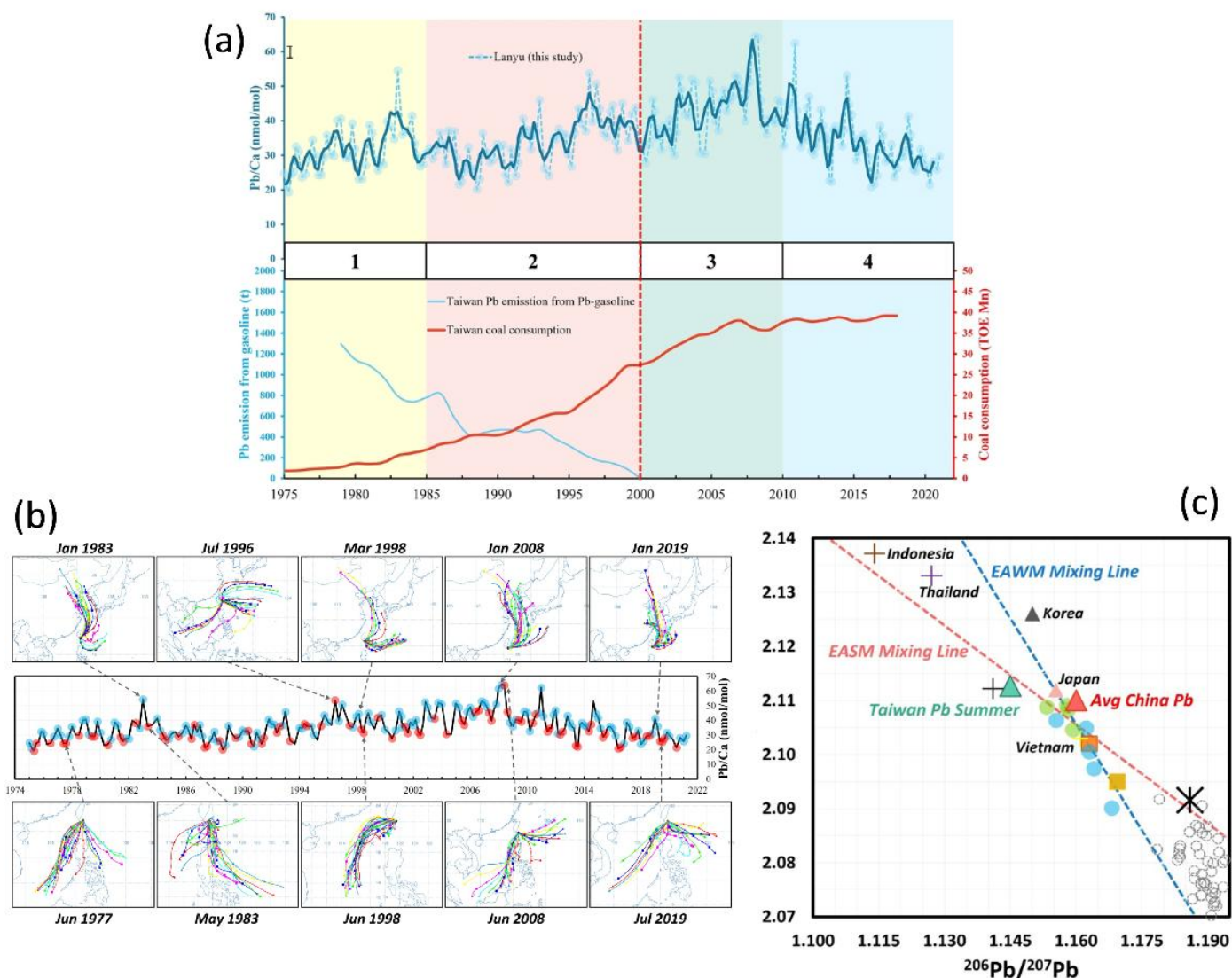
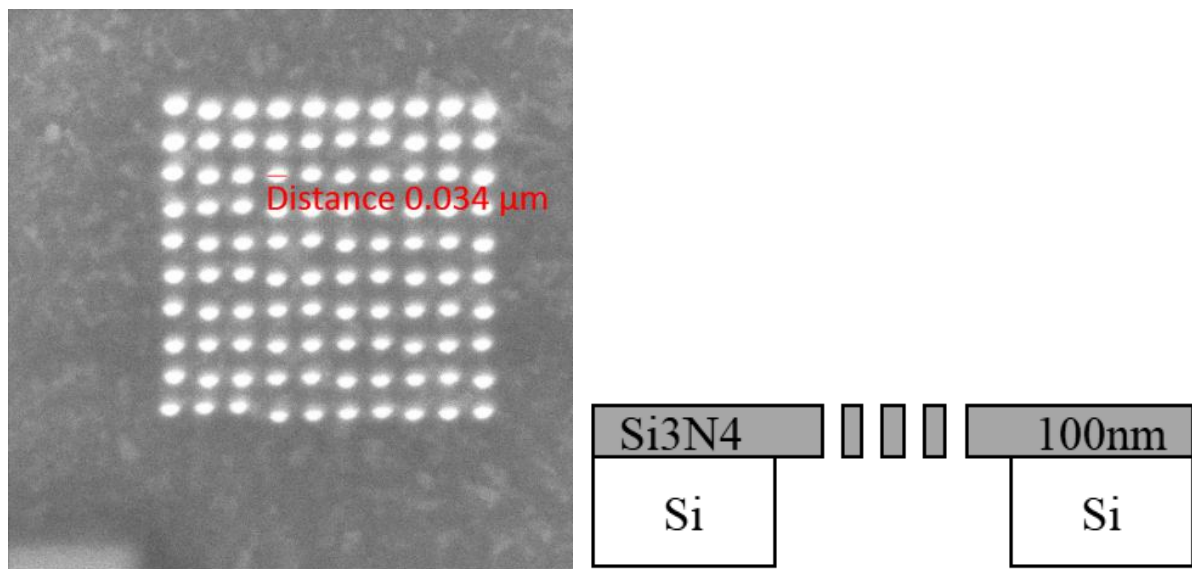


圖 5-3-2-7 (a) 1975-2010 年間蘭嶼珊瑚 Pb/Ca 比之記錄; (b) 以 NOAA HYSPLIT 模式對研究期間 Pb/Ca 比高低值進行氣團逆軌跡分析; (c) 以珊瑚鉛同位素比值追蹤鉛的污染源。

(2)應用於次 3 奈米節點平行無光罩直寫微影之電子光學系統設計(2/3)：

研究設計關鍵電子光學系統(EOS)的可行性，並規劃在後續的前瞻性 MEBDW 開發專案中採用，以便在 IRDS 3 奈米及之後的小批量客製邏輯應用中進行互補 EUV / EBDW 微影。然而，EBDW 微影本身特性其曝光效率較低，設計上大多採用低加速電壓以犧牲解析度的方式提高效率，但會加劇 10 奈米半間距以下製像難度，因此需要開發相應之解析度增進技術，即鄰近效應修正技術並進一步在 EOS 設計中，採用相對具有成本效益的靜電式像差校正相位板以提升解析度。本計畫之研究成果主要分為以下三項(1)電子光學系統靜電式像差校正相位板設計及製作(如圖 5-3-2-8)；(2)藉由互補 EUV / EBDW 微影模擬及鄰近效應修正探討電子光學系統之電子束輪廓需求(如圖 5-3-2-9)；(3)像差校正電子光學系統最佳化設計方法及模擬架構(如圖 5-3-2-10)。



Experiment Condition	
Tool	Orion NanoFab Helim ion microscope
Accelerating Voltage	30 kV
Current	5 pA
Dose	20 nC/μm ²

圖 5-3-2-8 氦離子束直寫微影 Si₃N₄ 薄膜相位版之劑量及製程測試結果比較圖

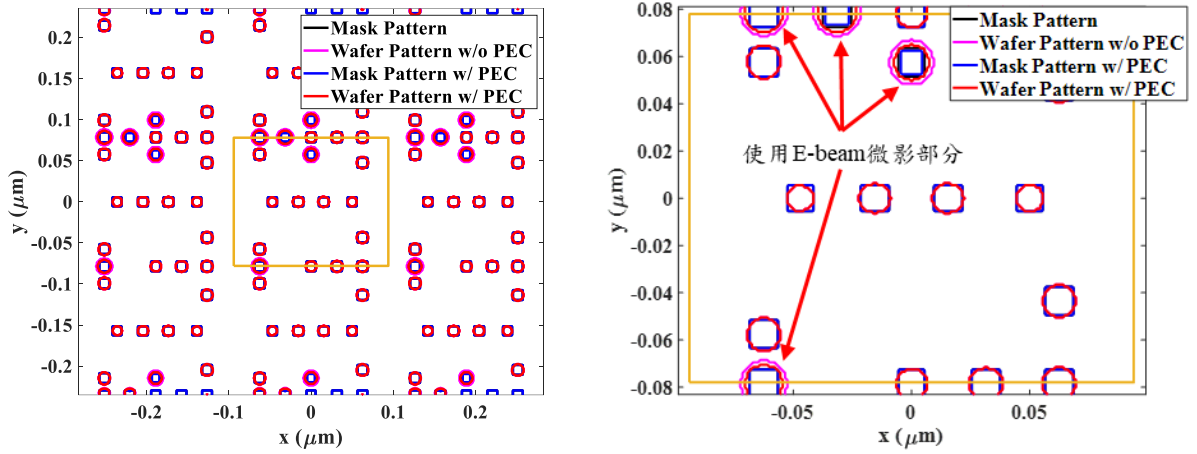


圖 5-3-2-9 ASAP 7nm 的 AND layout 為基礎設計之 2nm AND layout 鄰近效應修正前/後之互補式極紫外光/電子束微影模擬結果

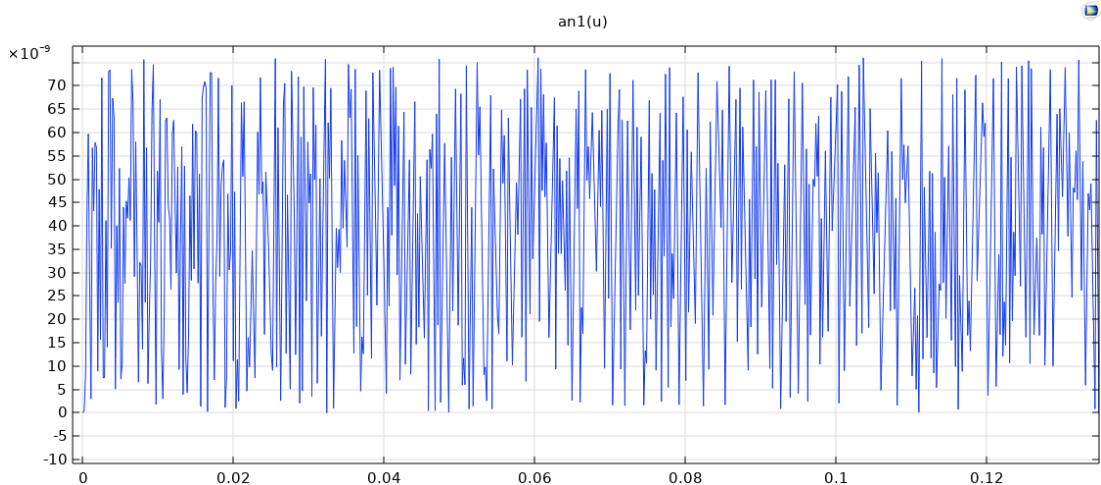
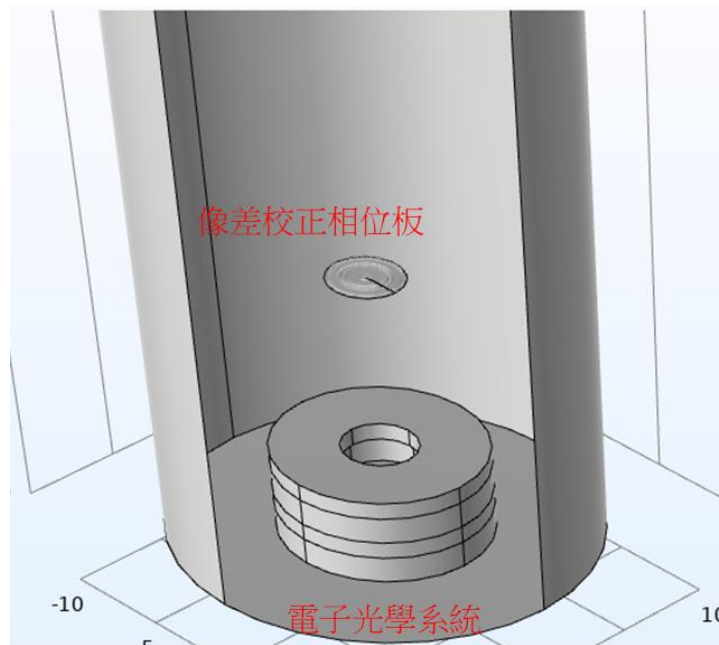
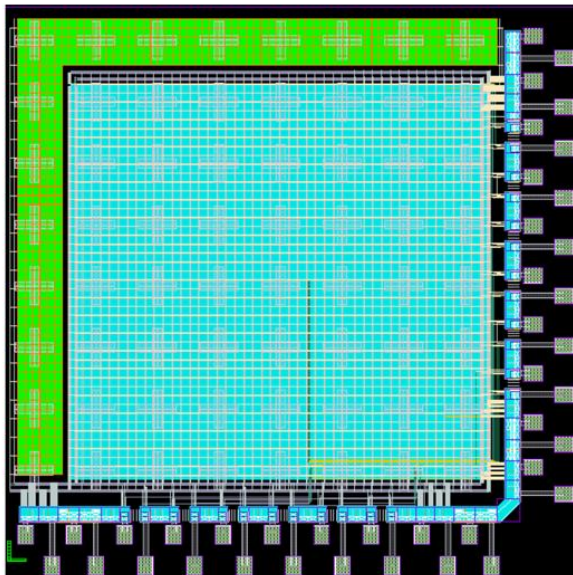


圖 5-3-2-10 像差校正電子光學系統模擬架構(上)；相位板厚度-半徑數據(下)

(3)應用於太空低軌道衛星之耐輻射先進製程數位晶片設計開發：

針對低軌道衛星快速發展所衍生之太空輻射可靠度問題，聚焦於數位電路中關鍵儲存元件—D 型正反器 (D Flip-Flop) 之耐輻射設計與驗證。考量一般商規元件於高能粒子密集的太空輻射環境下易產生單事件效應 (SEE)，進而導致資料錯誤與系統異常，本計畫以電路層級切入，發展具備 SEE 抗擾能力之耐輻射 D 型正反器 Radiation-Hardened Semi-Dynamic Flip-Flop (RH_SDFF)。在電路實作方面，已完成 RH_SDFF 之架構設計，並規劃大規模測試電路，將所設計之 RH_SDFF 串接至十萬級移位暫存器 (Shift Register)，以利於後續輻射實驗中同時驗證大量元件，提升測試結果之統計可信度。測試晶片已完成電路架構設計、晶片佈局 (Layout) 與佈局後模擬 (Post-Simulation)，並透過縮減至 100 級 RH_SDFF 之代表性移位暫存器，驗證在寄生電阻電容影響下之功能正確性。在系統與量測層級方面，已完成對應之 PCB 封裝設計，並採用 COB (Chip on Board) 方式將四顆測試晶片整合於同一片 PCB 上，以提升後續輻射實驗效率。此外，亦搭配專用 socket 設計，使晶片封裝後能方便進行功能量測與輻射測試。計畫期末已完成耐輻射電路設計、測試晶片製作與封裝，目前正進行功能量測，並規劃與台大癌醫中心醫院合作，利用其現有輻射設施進行 SEE 驗證實驗。整體而言，本計畫已建立一套從耐輻射電路設計、晶片實現、系統封裝到輻射驗證之完整研究流程，所累積之設計與測試成果可作為國內發展太空電子與高可靠度晶片技術之重要基礎，並有助於後續產業導入與應用。

(a)



(b)

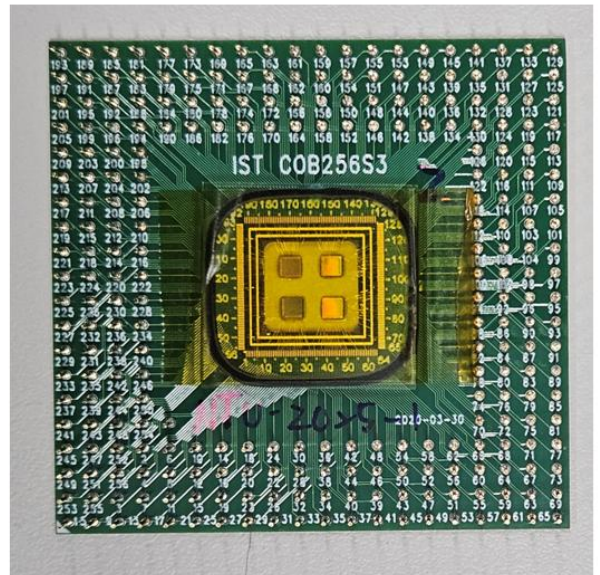


圖 5-3-2-11 (a)測試晶片整體布局圖(layout) (b)測試晶片 COB 實體封裝成果

(4)對應核電廠燃料池水下熱擾動之影像辨識：

聚焦於用過燃料池水下影像在高溫差環境中，因熱湍流效應所導致之嚴重影像扭曲與畫質劣化問題，針對此一長期影響核能設施水下檢測安全與判讀可靠度的關鍵挑戰，提出一套結合物理實驗與智慧影像分析之系統性研究方法。研究首先建構一座縮小比例之實驗水池，如圖 5-3-2-12 所示，透過可控的溫度梯度與流場條件，嘗試重現用過燃料池中因熱對流與折射率不均所引發的影像變形與模糊現象，建立具可重現性的實驗平台，作為後續模型驗證與資料蒐集之基礎。在影像分析方面，本計畫同步發展電腦視覺與深度學習影像重建技術，針對熱湍流造成的非線性空間扭曲與時間變動特性，設計適合水下環境之去模糊化與影像復原模型。透過實驗水池所取得之實際影像資料，進行模型訓練與測試，使深度學習方法能夠有效學習熱湍流干擾的物理特徵，進而提升影像還原的準確性與穩定性。此一作法突破傳統僅依賴數值模擬或單一資料來源的限制，實現物理實驗與資料驅動模型的緊密整合。研究成果顯示，所提出之整合式方法可改善受熱湍流影響之水下影像品質，有助於提升目視檢測與後端自動化影像分析的可靠度。更重要的是，本計畫所建立之實驗平台、影像資料庫與分析流程，為未來發展結合即時溫度監測、流場感測與智慧影像分析之水下檢測系統奠定技術基礎。相關成果可應用於核能設施水下檢查、關鍵結構監測與安全評估，對降低人工作業風險、提升檢測精準度與整體系統安全性，具有其工程應用與研究價值。

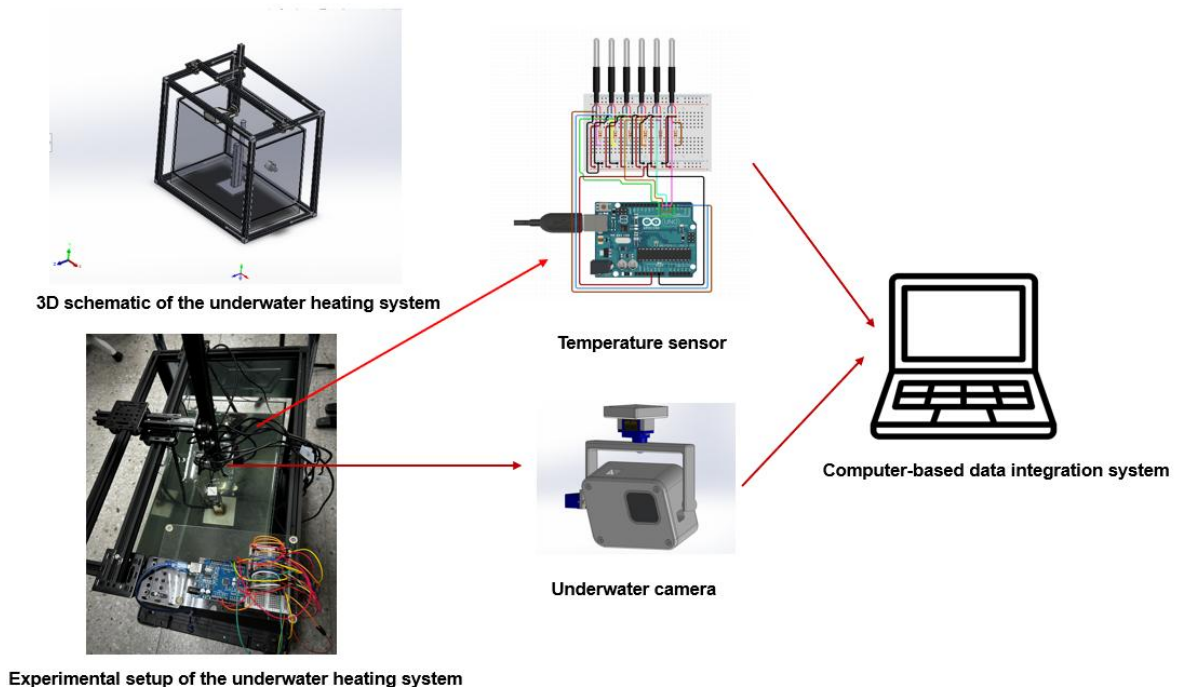


圖 5-3-2-12 縮小比例之實驗水池及其影像分析方式

(5)放射誘變國產毛豆重要品種之抗氣候逆境品系選育及分子特性探討：

根據 113 年秋作挑選出的優良品系持續進行後代栽培，包含產量優良品系以及莖和花器呈紫色品系 (圖 5-3-2-13)。並持續以株高、葉綠素含量和產量性狀進行篩選，經過 114 年春作後挑選出優良品系繼續進行選育以供後續試驗 (圖 5-3-2-13)。同時於品系 M3-2-20-6-1-6 中觀察到果莢特殊性狀，對照組以二粒莢較多、三粒莢率中等，而在此品系中觀察到四粒莢的特徵 (圖 5-3-2-13)，可見其於產量方面具備潛力。目前經選育後獲得具產量潛力的四粒莢品系 (M3-2-20-6-1-6)及紫花紫莖品系 (M2-3-74-4-2、M2-3-74-5-1)，考量 M3 世代之基因型較穩定，後續將繼續培育以確保此優良性狀的穩定性，並進行蛋白質、總多酚類及淹水逆境試驗，透過生理和基因表現量檢測方式選拔出耐氣候逆境的潛力品系，未來期望可獲得具耐逆境與高產特性的毛豆品系，為極端氣候下臺灣地區提供具科學數據支撐之選育對策與基因資源。

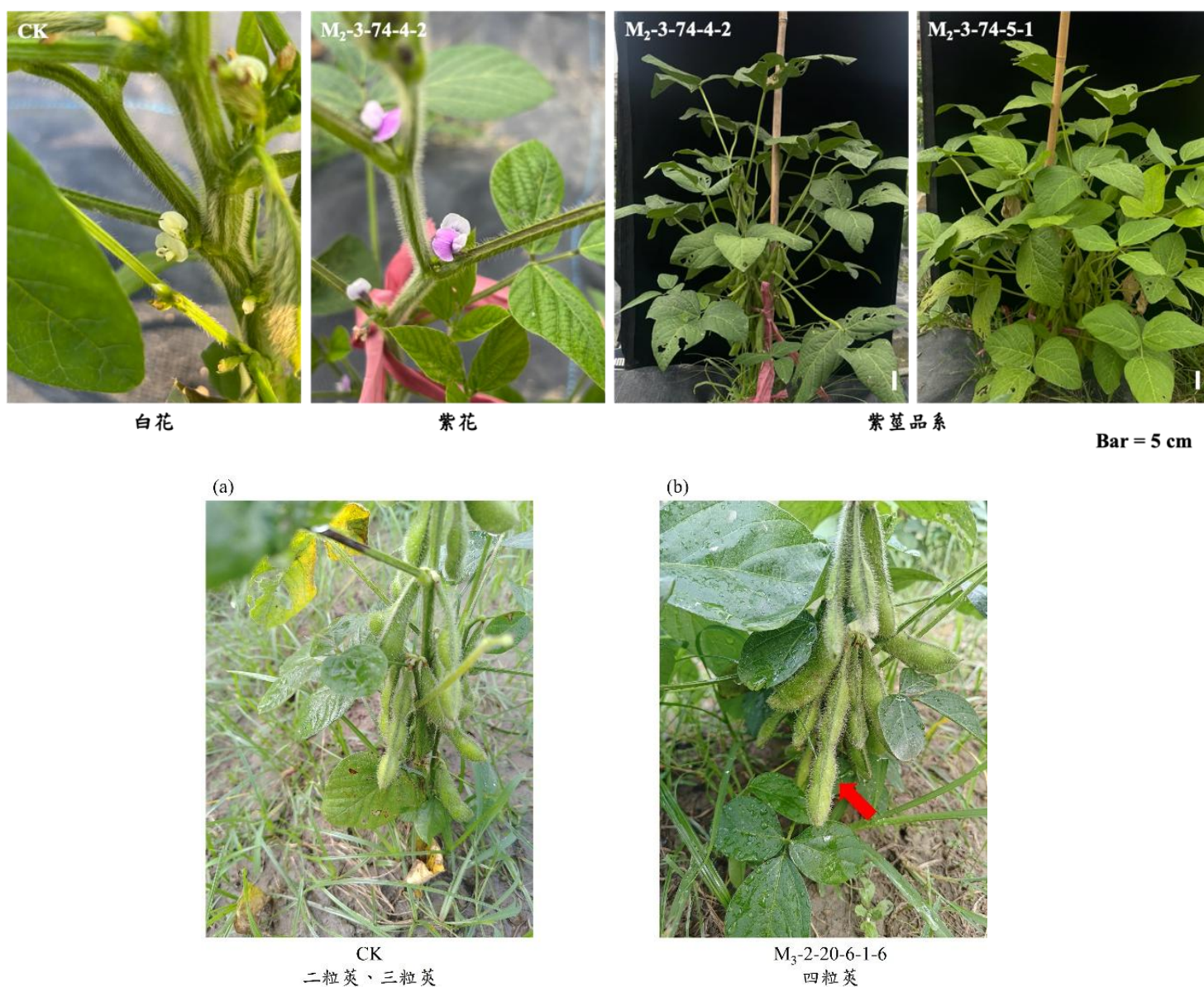


圖 5-3-2-13

(6)核能科技類型行政法人之績效估評法制研究(II)：法律實證分析途徑：

從績效行政到平行式績效管理，再到績效管理，最後是績效治理，針對績效的概念逐步放大，不再僅僅是收益的增減做為評價的唯一標準，相反地，改變成為組織整體的營運表現或工作成果，出於先導概念的轉換，績效評鑑機制亦有所改變；績效評鑑機制與程序不再是評鑑者單向為之，而是評鑑者與受評鑑者雙向而行，甚至要加入其他利害關係人或夥伴成員的觀點。事實上，組織參與者眾多，其代表的利益也分歧，若是不能給予事前擬定績效目標、事中給予共同決策機會，以及事後集體審視績效達成率，將無助於組織的工作成果的提升或改善。因之，有必要針對各種利害關係人就績效評鑑機制的認知、調適與行動等三個層面，進行質性與量化研究，有助於拉近法規範的「應然面」與真實運作的「實然面」的差距，使績效評鑑機制更具有效性。研究發現如下三點：

- a.核能類型行政法人的績效評鑑機制，應該配合其公共任務的特殊性，進行類型化的設計，無須也不應完全依照行政法人法的法定架構，同時應該納入 ESG 的概念，可以對於該類型行政法人的內部管理優劣進行績效評鑑；此外，亦應了解中層幹部與基層員工對組織整體績效目標與個人績效目標的觀點。
- b.透過法律實證研究方式以確知評鑑者、受評鑑者及其他利害關係人如何看待核能類型行政法人的績效評鑑機制的的作用。研究所得之資料有助於了解實際運作時在實體面、程序面與組織面的優缺點，進而成為修正相關國原院設置條例與績效評鑑辦法的依據。
- c.英法兩國對於行政法人的績效評鑑機制，確已成為英法兩國會與民眾了解政府運作的重要資訊來源，因之，學說與實務均採納績效治理模式，著重於績效的社會主觀面向，使績效評鑑機制成為利害關係人對話的管道。

(7)應用生成式人工智慧及網路多媒體及於原子能科普教育及其成效評估：

運用生成式人工智慧影片製作技術(Generative AI Video Creation)，將核安會與相關公務機關所發布的核能安全、輻射防護、能源政策等專業資訊，轉化為大眾易於理解且富有視覺吸引力的科普影片，未來可以透過多平台推廣，提升社會大眾對核能議題的認知與理解。在當前資訊傳播快速的社會，單純以文字與靜態圖片傳遞科學知識，往往難以有效吸引大眾關注。生成式 AI 影片平台的發展，提供了以低成本、高效率製作高品質科普影片的可能性。本計劃即是結合官方可信內容與 AI 自動化影片生成技術，建立一套從文案撰寫到影片輸出的標準流程，以期達到教育與宣導的雙重目標。研究計畫將核安會的官方公告、政策說明、科普文章等，重新編寫為口語化、故事化的短文案，使非專業人士亦能輕鬆理解。研究計畫透過 Sora、Pictory AI、HeyGen 等生成式 AI 平台，自動生成動畫、場景切換與字幕的影片，大幅降低製作時間與成本。未來可以將影片發布於 YouTube、Facebook、Instagram、TikTok 等社群媒體，以及校園與社區教育活動中，讓科普資訊進入更多人的生活場景。另蒐集核安會與相關單位發布的最新資訊，包括核能安全政策、輻射防護指引、核電廠除役計畫、核能科技應用案例等。本計畫將原始資料轉換為簡短、明確、具故事性的科普文案，並加入適合視覺呈現的場景描述與旁白腳本。研究計畫將文案輸入生成式 AI 影片平台，由系統自動生成動畫、配音、字幕與背景音樂，並輸出高畫質影片，並檢視生成影片內容，確保資訊正確、語音清晰、字幕同步，並符合資訊準確性要求，建立依政策變化、科技發展持續更新的科普影片資源。

執行成果能提升核能知識普及率，讓更多人了解核能的原理、應用、安全措施及輻射防護觀念。促進公共溝通，降低大眾對核能的誤解與恐懼，並促進理性討論。提升教育資源的可及性：讓偏鄉、非專業族群也能透過影片快速獲取關鍵資訊。打破傳統科普傳播在成本與速度上的限制，有效縮短專業知識與大眾理解之間的距離，並為我國核能教育與能源轉型議題提供更具影響力的公共溝通途徑。研究計畫總共製作大約 10 部影片，茲將其中 4 部影片的畫面截圖如以下。



圖 5-3-2-14 影片截圖---火星的輻射



圖 5-3-2-15 影片截圖---微波與輻射



圖 5-3-2-16 影片截圖---核災應對



圖 5-3-2-17 影片截圖---放射性物質

(8)快中子非游離能失效應對於金屬-氮化鎵半導體接觸特性之影響研究:

探討第三代半導體氮化鎵 (GaN) 在核能與太空等極端環境下的可靠度。研究聚焦於「快中子」輻射造成的非游離能失效應 (NIEL)，特別針對金屬與 GaN 之間的接觸特性進行深入分析，以驗證其抗輻射能力。針對 GaN 蕭特基二極體 (SBD) 進行不同通量的快中子輻照實驗 (範圍 3.6×10^{12} 至 $1.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)，透過以下三項關鍵測試，完整建立了快中子輻照對元件特性的影響模型，重點成果：(a)接觸電阻特性分析 (TLM Measurement)：透過傳輸線模型 (TLM) 量測，我們分析了輻照前後金屬-半導體接觸電阻的變化。在累積通量達到 $3.6 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 之前，接觸電阻 (R_c) 與片電阻 (R_s) 皆保持穩定。然而，當通量提升至 $1.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 時，元件發生劇烈退化。此現象證實高劑量快中子造成的晶格位移損傷，在半導體表面產生了高密度缺陷，嚴重阻礙載子傳輸。(b)二極體整流特性與位障高度 (Forward I-V Characteristics)：藉由分析蕭特基二極體(SBD) 在不同輻射通量下的電流-電壓 (I-V) 曲線，計算出蕭特基位障高度(Schottky barrier height) 與理想因子 (ideality factor) 的漂移。在低至中度輻照下，理想因子 (n) 保持在 1.1 左右的理想狀態，但在極高通量下 ($1.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$)，理想因子顯著惡化至 1.8，顯示電流傳輸機制由熱放射主導轉變為複合電流主導。位障高度 (ϕ_B) 維持在 0.8 eV 左右，即使在高通量下亦無大幅衰減，顯示金屬-半導體界面的費米能階釘扎 (Fermi-level pinning) 效應相對穩定。(c)電容-電壓特性分析 (C-V Characteristics of SBD)：利用 C-V 量測技術，揭示了典型的「載子移除效應 (Carrier Removal Effect)」。初始載子濃度約為 $1.15 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 。當通量達到 $3.6 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 時，濃度開始顯著下降。至最高通量 $1.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 時，有效載子濃度劇降至約 $4.5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ，降幅超過 60%。此證實了中子輻照產生的受體型缺陷 (Acceptor-like defects) 有效補償了背景施體。

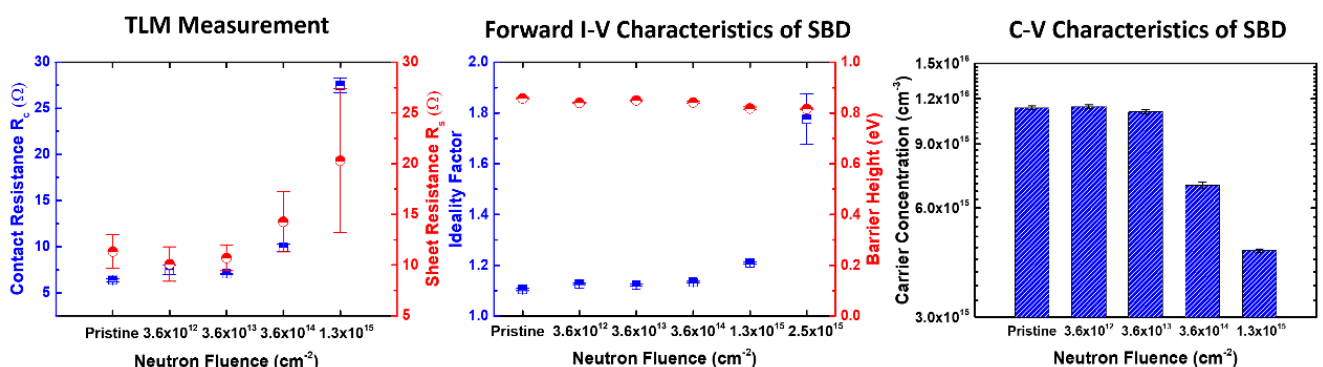


圖 5-3-2-18 (a)接觸電阻特性分析 (TLM Measurement) (b)二極體整流特性與位障高度 (Forward I-V Characteristics) (c) 電容-電壓特性分析 (C-V Characteristics of SBD)

(9)低能量質子射束劑量調控研究應用於應用於半導體低能量低通量質子照射：

針對半導體元件在低能量質子照射下所可能產生的輻射效應，建立一套可精準控制能量、通量與劑量之低能量質子輻照量測平台。太空環境中的質子能量分布從數十 keV 至數百 MeV，其中低能量質子 (<1 MeV) 在穿透深度有限的條件下，會在元件表層造成顯著的電離效應與位移損傷，對先進製程 CMOS、SOI 及混合訊號元件造成不可忽視的影響。然而，目前國內對此能區的質子照射能力有限，亦缺乏可用於低通量條件下的精準劑量量測技術。本計畫首先建立質子束能量校正方法，透過靶材能量損失模型與偵測器能量響應量測，完成 1-6MeV 能區之質子能量定標。其次，針對半導體元件對低通量質子特別敏感的特性，本研究建構可量測單位面積質子通量及累積劑量的偵測系統，包括粒子計數模式與電流積分模式兩種架構，並針對低通量 ($10^4 - 10^6$ p/s·cm²) 環境之量測誤差進行分析與補償。綜合而言，本計畫成功建立低能量質子照射與劑量監控之核心能力，補足國內輻射測試能量缺口，並奠定太空級與高可靠度半導體元件之測試基礎。

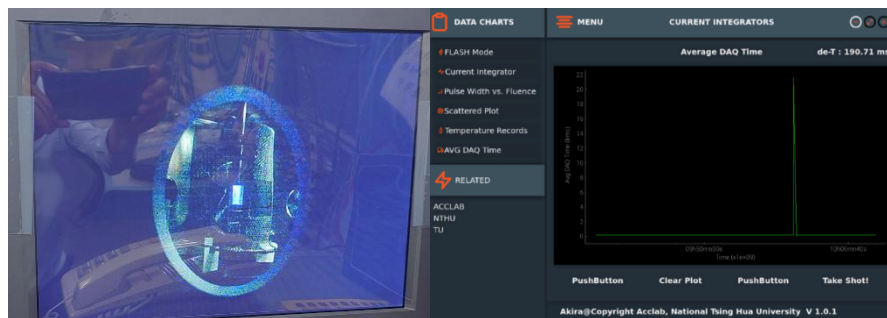


圖 5-3-2-19 質子照射時的樣品與電流/劑量即時監控

(10)偏振儀量測極紫外光波段複數折射率：

建立一套以桌上型高次諧波（High Harmonic Generation, HHG）極紫外光源為基礎之極紫外光譜橢圓偏振量測（EUV Spectroscopic Ellipsometry）平台，可於實驗室環境中準確量測材料在 EUV 波段之複數折射率（ n 、 k ）。相較於傳統仰賴同步輻射光源之 EUV 量測方式，本計畫所發展之系統具備體積小型化、量測彈性高與可擴充性佳等優勢，顯著降低 EUV 光學常數量測之技術門檻。本研究建構具完整偏振解析能力之 EUV 橢圓偏振量測架構，透過反射式偏振分析與 Mueller matrix 模型，能同時重建入射與反射後之 EUV 偏振態，並直接反演材料之光學常數。研究中以 Nb_2O_5 薄膜作為驗證樣品，成功取得其於 40–70 eV 能量範圍內之 n 與 k ，結果與國際常用 CXRO 資料庫高度一致，驗證本量測方法之準確性與可靠性。此外，亦藉由系統內部偏振元件之自洽分析，間接取得鉬（Mo）與金（Au）鏡面於 EUV 波段之有效光學常數，展現本方法對表面狀態與材料差異之高靈敏度。整體而言，本計畫建立之桌上型 EUV 光學常數量測技術，除可作為先進半導體製程中 phase mask 與關鍵薄膜材料之基礎量測工具外，亦能支援 EUV scatterometry 與光學臨界尺寸（OCD）模型建構，對未來先進製程材料評估、結構量測與超快光學研究具有重要應用潛力。

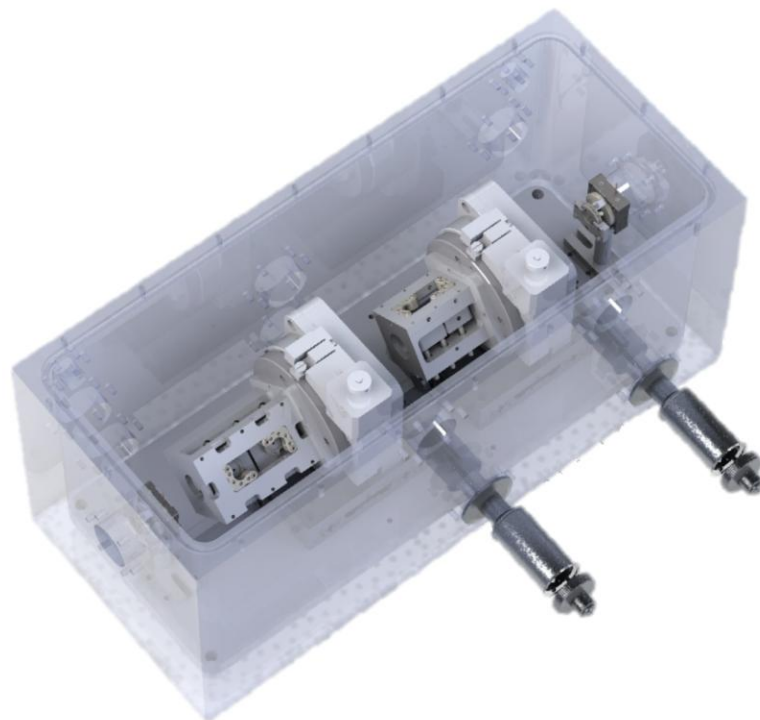


圖 5-3-2-20 本計畫所設計與建構之桌上型極紫外（EUV）橢圓偏振量測系統

(11)高極化量與高可靠度之抗輻射 FeRAM 鐵電電容元件設計與製程研究：
聚焦於基於鈦鋯氧化物(HfZrOx, HZO)薄膜為核心之鐵電電容(FeCAP)元件，探討其在次世代先進記憶體架構中的應用潛力，特別是針對其 CMOS 製程相容性與微縮優勢。然而，鐵電元件在實際應用中常面臨介面缺陷與氧空缺(Oxygen Vacancy, Vo)遷移導致的極化劣化問題，特別是在太空衛星等高游離輻射環境下，輻射能量產生的缺陷電荷會加劇疇壁釘紮(Domain Wall Pinning)並誘發漏電路徑，顯著縮短元件操作壽命。為應對此嚴峻挑戰，本計畫研發一套整合超薄 ZrN 金屬氮化物擴散阻擋層與微波退火(Microwave Annealing, MWA)之創新製程。ZrN 阻擋層具備極高的化學惰性與熱穩定性，透過穿插入 HZO 鐵電層與電極之間，有效阻絕金屬與氧化物間的氧原子互擴散，從源頭抑制 Vo 生成並大幅改善喚醒效應(wake-up effect)。同時，本計畫導入利用極性分子熱震動原理的微波退火技術(Microwave Annealing, MWA)，實現單一局部的高能激發，在極低熱預算條件下誘導正交鐵電相(orthorhombic phase, o-phase)之精準成核，確保了元件與後段製程(BEOL)的完美接軌。在物性分析方面，透過 X 光繞射儀(XRD)鑑定發現，於上介面施作 ZrN (T-ZrN)之樣品在 30.5° 處呈現最強的 o-phase 或是 tetragonal-phase (t-phase)峰值，反映了介面能對鐵電相生長的正面貢獻；相較之下，於下介面施作之樣品(B-ZrN)則因靠近 HZO 初始成核界面，易形成高結晶性之 ZrO₂ 種子層並於退火期間誘發非鐵電性的單斜相(monoclinic phase, m-phase)，證實了 ZrN 空間分佈對於晶相演化動力學具有決定性影響。X 射線光電子能譜儀(XPS)分析亦進一步支持此論點，明確觀察到 ZrN 介面層對於總體氧空缺濃度的顯著壓制作用。
在抗輻射可靠度驗證中，本團隊利用 60Co γ -ray 射源進行 300 krad 至 1 Mrad 的高劑量輻照測試，並施加 ± 4 V/10 μ s 的循環電壓脈衝以模擬實務寫入情境。如圖 5-3-2-21 所示，實驗結果顯示，無介面層之對照組(Control)元件在輻射應力下因 Vo 累積形成滲漏路徑(percolation paths)，導致元件在 104 次循環即發生崩潰失效。而採用 T-ZrN 結構結合 MWA 之元件則展現卓越的輻射韌性(Radiation Resilience)，在承受 1 Mrad 極高劑量輻照後，歷經 10⁸ 次高強度循環操作仍保有高達 36.13 μ C/cm² 之剩餘極化值(Pr)，不僅未出現早期崩潰(breakdown)現象，更維持了穩定的極化量。此研究成果不僅在物理層面釐清介面工程對缺陷抑制的機制，更為我國自主研發航太級抗輻射非揮發性記憶體提供了關鍵的技術路徑。

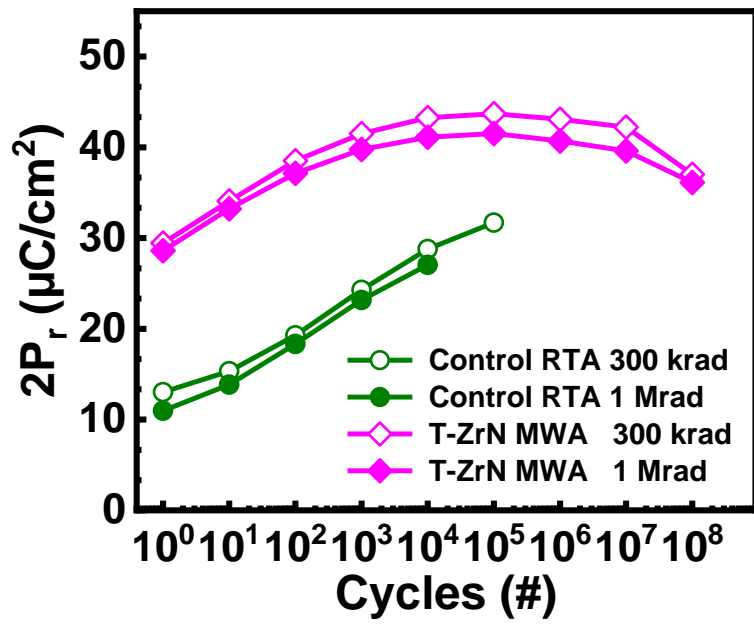


圖 5-3-2-21

(12)新穎電漿合成半導體量子點及光物理特性應用研究：

建立高能量密度常壓微電漿輔助液相合成技術，突破傳統矽量子點製程需高溫、高真空與高成本之前限制，實現於常溫常壓、無毒溶劑條件下可控制備具表面電漿共振特性之半導體矽量子點奈米複合材料。透過系統性調控電漿物理參數、氣體化學與前驅物液相化學，本研究有效提升矽量子點之轉換率達 80%，並可精準調控其發光波長(400-700 nm)。計畫完成建置臨場光譜量測平台 (OES、Raman、UV - vis)，即時解析電漿 - 液相界面反應機制與反應動力學，建立具可複製性與可放大性之製程設計準則。在應用層面，所開發之 SPR 矽量子點複合材料展現優異的拉曼與光學感測表現，可大幅提升分子辨識靈敏度(增強因子 EF~1010)，具應用於生醫快篩、環境污染監測及化學感測之潛力。整體而言，本計畫深化電漿合成量子材料之基礎學理，奠定可供產業導入之關鍵材料與製程技術基礎，有助於推動我國在前瞻量子材料與感測技術領域之自主研發與產業升級。

計畫目標:高能量密度常壓微電漿合成矽量子點複合材料並開發光感測應用

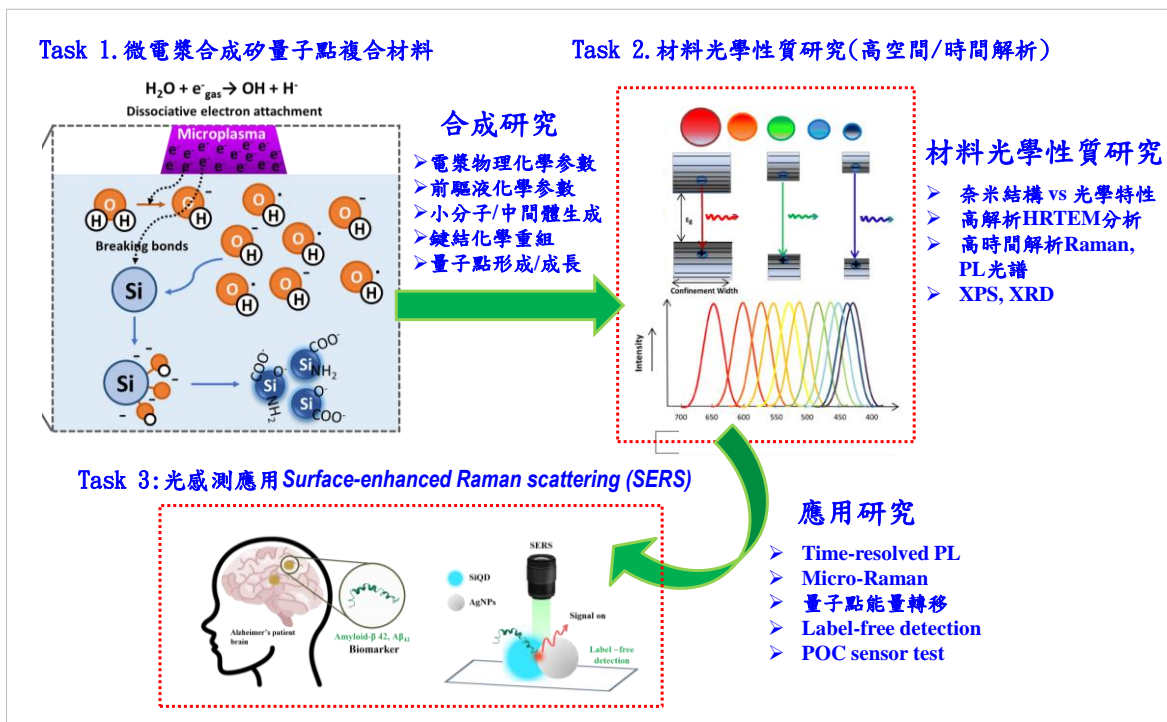


圖 5-3-2-22 高能量密度微電漿合成 SPR 半導體矽量子點奈米複合材料及光感測應用研究)

(13)磁性氧化物與合金材料的電子結構與功能性研究：

合成二維反鐵磁介金屬材料 $R\text{PSe}_3$ ($R=\text{Fe}, \text{Mn}, \text{Ni}, \text{Cr}$)，並透過磁化率量測，X光粉末繞射、X光單晶散射、及中子粉末繞射來研究此系統的物理特性及電子結構之關聯性。使用化學氣相傳輸 (CVT) 法我們已成功合成了高品質的 $\text{Fe}_x\text{Mn}_{1-x}\text{PSe}_3$ 系列晶體。透過使用同步輻射光源的高解析度 X 光粉末射分析，這些晶體的晶格參數隨摻雜濃度呈線性變化。這顯示該系列 Fe/Mn 參雜的單晶樣品已形成了固溶體。此外，磁化率測量表明，反鐵磁轉變溫度 (TN) 可以透過 Mn 取代進行有效調控，為研究二維范德華材料(2D Van der Waals materials)的可調控磁性提供了一個可靠的平台。本計劃的研究項目二是探討雙層鈣鈦礦氧化物 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{TeO}_6$ 中的 A-site 原子在晶體空間的對稱性與電子結構對物理特性的影響。使用固態反應法，我們也已合成一系列高純度的 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Mn}_x)_2\text{TeO}_6$ 粉末樣品。樣品首先以 X 光粉末繞射分析鑒定，接著以 PPMS 量測樣品的磁化率。如圖 5-3-2-23 (b)所示，樣品的反鐵磁相 (antiferromagnetic phase) 轉變溫度隨著 Mn 含量的增加而降低，在 Mn_2TeO_6 時，更呈現一複雜的磁相變。為了了解這些磁相變化，我們也量測了中子粉末繞射。如所示，以 $x=0.5$ 為例，我們觀察到在 $Q \sim 1.5, 2.3, 3.1 \text{ \AA}^{-1}$ 處的繞射峰有明顯的強度增加，以 FullProf 軟體進一步分析可得知這些繞射峰是由磁有序結構所形成的，且具有 K-vector 為 (000) 的 A-type 的磁有序結構。這也符合磁化率的數據。這部分的實驗也已完成。

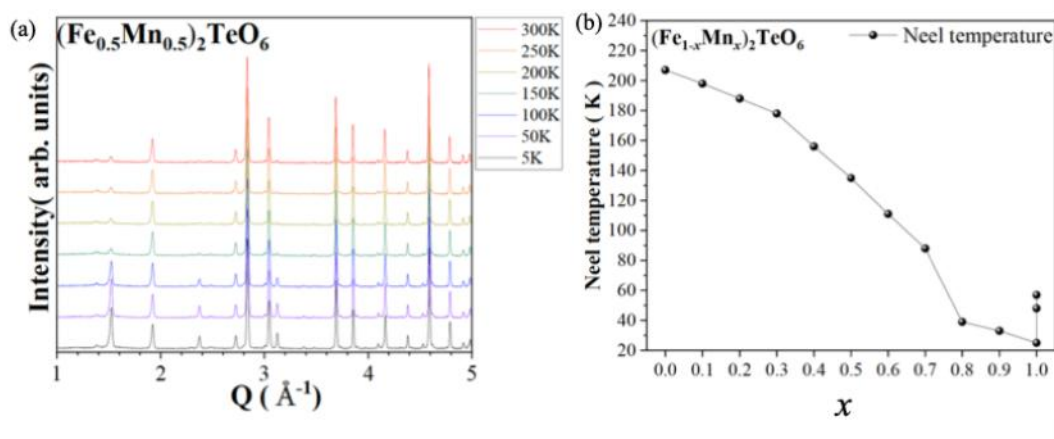


圖 5-3-2-23

(14)美國聯邦際核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析：對我國核子損害賠償法制修法之啟示：

美國《普萊斯-安德森法案》(Price-Anderson Act, PAA)針對小型模組化反應爐(SMRs)核子損害賠償的討論，對台灣《核子損害賠償法》具有重要的政策啟示。本計畫主要根據美國核能管理委員會(NRC)提交給國會的《2021年報告》，其核心論述與對台灣的啟示主要如下：

- a. 賠償額度與技術風險的掛鉤 (與容量分級制度)美國現行制度將 100 MW(e) 以上的大型反應爐納入強制性的「二層級賠償機制」(第一層商業保險與第二層業界集體分攤)。然而，對於 100 MW(e) 以下的反應爐，NRC 擁有裁量權來建立較低的賠償要求，依據因素包括保險成本、設施類型、大小、位置及其潛在風險。台灣目前的賠償額度(新台幣 150 億元)主要是針對傳統大型電廠。面對 SMRs，台灣可參考美國「風險導向」的邏輯，評估是否應針對不同熱功率或電功率規模的 SMRs 設定彈性的賠償責任限額。這有助於降低新技術進入市場的財務門檻，同時確保與其風險規模相稱。
- b. 多模組場址 (Multi-module Sites) 的賠償計算 2005 年的《能源政策法案》針對「模組化反應爐」規定：若多個單機容量在 100 至 300 MW(e) 之間，且總容量不超過 1,300 MW(e) 的模組位於同一場址，可視為「單一反應爐」來計算賠償義務。但對於容量更小的模組(100 MW(e) 以下)，NRC 指出若將其視為多個獨立單位，可能會因單機風險低而僅需購買基礎保險，但若發生影響多單位的事務，其場外風險可能較高而未被保險完全評估。SMRs 的特性是同一場址可能擁有多個小模組，台灣在修法時需明確定義：是將每一模組視為獨立的核子裝置(各自承擔賠償責任)，還是將整個場址(Site)視為一個賠償單位。美國的「合併計算」經驗可作為台灣簡化行政程序與保險成本的參考。
- c. 對公眾賠償的最終保障美國法制上儘管設有賠償限額，惟若事故損失超過法定上限，PAA 授權國會應介入審核並採取必要行動保護公眾(Full and Prompt Compensation)，也就是聯邦政府可能在既有的兩層責任之外，再承擔最終責任，此規定相當程度有助於解決日本福島事件後普遍對賠償限額可能不足與違憲的疑慮與爭議。台灣在推廣 SMRs 時，除了法定的保險或擔保額度外，為避免類似爭執，亦可明確在發生極端事故(即超過現行 150 億元額度時)的政府最終責任，以獲得社會大眾對於新技術落地的信任。

(15) 釷 90 放射栓塞治療不可切除/復發之原發性肝膽惡性腫瘤-以多種生物標記預測療效、復發風險及評估輔助免疫療法之精準醫療研究:

採用全外顯子定序(Whole Exome Sequencing, WES)來分析 cfDNA 的變異情況。文獻發現用標準定序深度的 WES (約 150 倍的定序覆蓋深度), 至少可從含有約 5%~10% 腫瘤含量的腫瘤樣本中, 合理的靈敏度檢測到體細胞變異。於腫瘤組成的變異性, 我們推斷需要對腫瘤含量進行更深入的 WES 定序深度, 才能知道 cfDNA 的預測效果。過去的研究發現識可復發的癌症病患的微小殘留病灶 (Minimal Residual Disease, MRD) 方面表現出顯著的特異性, 但其敏感性有限, 但在手術後立即進行化學治療時, 就與轉移後就有所不同。cfDNA 檢測不僅能證實 MRD, 還能提前幾個月發現復發之可能性。如果治癒需要根除所有可能導致復發的腫瘤細胞, 那麼在 MRD 發生時, 這些細胞的數量可能比影像學檢查顯示復發時要少; 因此, 如找到特異性的方法針對 MRD 就提供更重要的治療癌症的機會。因此, 全面了解驅動癌症進展的分子機制, 對於制定更有效針對 MRD 的治療策略具有重要的潛力。此外, 有一部分未進行 cfDNA 檢測的患者也會復發, 凸顯了我們亟需對 ctDNA 檢測方法進行更深入的探討, 以提高其敏感度。因此, 與有限基因數量的標靶基因組(Panell sequencing)相比, cfDNA 的 WES 分析有望識可與釷 90 治療治療相關的新興基因, 並捕獲對治療決策至關重要的 DNA 特徵。

項目	Pt-1	Pt-2	Pt-3												
主訴/診斷	肝內膽管癌 (CCA)	肝內膽管癌 (primary CCA) + 腺癌轉移 (metastatic adenocarcinoma)	肝內膽管癌 (CCA) 復發												
病史摘要	CKD (洗腎)、HTN、CAD、BPH	高血壓、血脂異常、左乳癌術後 (2022) Letrozole 使用中	2022 診斷 CCA、曾接受 TACE、化療、免疫療法、與 Y90 (2023.11.28)												
Y-90 治療日期與劑量	2024.11.22, Therasphere	2025.02.25, SIRsphere	2025.03.20, Therasphere												
平均腫瘤劑量	400 Gy	250 Gy	1000 Gy												
腫瘤標記變化	2024.11.12 → 2025.05.23 CEA: 3.9→5.7→4.8→4.0 CA199:45.1→62.0→43.4→41.8	2025.02.10 → 2025.11.28 aFP:2.6→31.2→32.0→23.3→26.3→27.6→31.9→37.6→11.9 CEA:3.5→3.2→3.6→2.7 CA199:42.6→38.9→4.34→48.13→82.9→117.0→75.7	2025.03.10 → 2025.12.11 CEA:1.1→1.3→1.6→1.9→1.3→2.2 CA199:12.9→29.35→10.4→5.38→9.31→4.91→9.16→7.6												
術後影像反應評估	6 個月: 主病灶穩定, S6 出現新 satellite nodule	9 個月: 主病灶部分反應 (nearly total Response) 並縮小 (regressive disease)	6 個月: 主病灶完全反應 (Complete Response)												
病理診斷與免疫表現	NA (於振興醫院切片)	肝臟針刺活檢, 腺癌 CK7(+), CK20/ER/ARG1 等(-), 無 BAP1 喪失	切片與活檢顯示中分化膽管癌 CK7(+), GPC3/HepPar1(-), 淋巴結為反應性增生												
基因變化比較	BAP1 p.Y173C (膽管癌常見的腫瘤抑制基因突變) 治療前: VAF 2.9% 治療後: VAF 0.53% 反映 Y90 治療後腫瘤負荷下降, 與治療反應一致	<table border="1"> <thead> <tr> <th>基因</th> <th>Y90 前 VAF</th> <th>Y90 後 VAF</th> <th>意義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IDH1 R132C (腫瘤驅動基因)</td> <td>4.1%</td> <td>未檢出</td> <td>高度可能代表腫瘤 cfDNA 大幅下降 → 治療反應訊號</td> </tr> <tr> <td>PBRM1 E1054* (腫瘤抑制基因)</td> <td>4.6%</td> <td>未檢出</td> <td>與腫瘤相關, 治療後消失 → 可能代表腫瘤負荷下降</td> </tr> </tbody> </table>	基因	Y90 前 VAF	Y90 後 VAF	意義	IDH1 R132C (腫瘤驅動基因)	4.1%	未檢出	高度可能代表腫瘤 cfDNA 大幅下降 → 治療反應訊號	PBRM1 E1054* (腫瘤抑制基因)	4.6%	未檢出	與腫瘤相關, 治療後消失 → 可能代表腫瘤負荷下降	此病人的 cfDNA 不適合作為後續追蹤腫瘤的工具沒有腫瘤特異突變 1. 沒有可用來觀察 VAF 變化的腫瘤訊號 治療前後結果完全相同 → 不代表腫瘤沒有變化 1. cfDNA 本身沒有提供腫瘤相關訊號 2. 無法從 cfDNA 判斷 Y90 是否有效 需要依賴影像學 (CT/MRI) 來評估治療反應
基因	Y90 前 VAF	Y90 後 VAF	意義												
IDH1 R132C (腫瘤驅動基因)	4.1%	未檢出	高度可能代表腫瘤 cfDNA 大幅下降 → 治療反應訊號												
PBRM1 E1054* (腫瘤抑制基因)	4.6%	未檢出	與腫瘤相關, 治療後消失 → 可能代表腫瘤負荷下降												

圖 5-3-2-24

(16)政府部門推動性別平等業務之實證研究：從培力到實踐(2/3)：

根據第一年透過對核安會組織內各單位負責性別平等業務窗口進行業務盤點、採用行為事例訪談法（BEI）等研究方式，得出合適於核安會性別平等作為融入業務的具體實踐方式六大結論，據此研究成果基礎作為 114 年度以主司性別平等業務科長／主任層級以上主管透過焦點團體訪談法尋求核安會性平業務「縱向貫連」的可能性，並透過對會內各組科室性別平等業務主管進行性平培力作為、與重要事件訪談法（CBI）進行深度訪談，以逐步實踐本計畫設定之核安會組織內性平創新推展措施、推動性別主流化、落實性別平等政策綱領、以及落實 CEDAW 等性別平等實質目標。114 年度研究主要成果與發現在於，核安會所編制的「組別」（核安管制組、輻射防護組、報安應變組、核物科管制組、綜合規劃組、人事室等）需要有性平業務規劃撰寫的培力作為、具體落實性平作為一條鞭式的實踐方式與設計，方能有效達到會內性平業務的具體實踐。研究結果顯示，會內具體實踐性平方式，得以各組業務主體出發，所設計之性平業務創新作為便較能引發各組的共鳴，也較能確實達到性平業務融入的實踐成效。惟運用這樣的培力作為，仍須以 SOP 操作實踐方式作為「各組」示範，方能確實達到性平業務考核實際績效，促成會內性平作為的具體實踐，也才能有效達到本研究最終所設定的為核安會立下「實踐性別平等場域典範」的研究目標。因此，促成會內各組別「橫向連結」方式的「培力實踐作為」確有其必要性。本計畫最終目的仍須強調，冀希能為臺灣政府部門立下實踐性別平等場域的典範，除了欲促成公部門性平意識培力規劃，實踐公部門性平友善環境外，更期待能帶動其他政府部門的仿效與投入；同時對於國際上核能領域長久以來面臨性別失衡所衍生的性別不平等實況，臺灣核安會的性平創新作為更能對國際核能領域產生作用，為臺灣創造科學場域性別平等實踐的正向國際聲量。

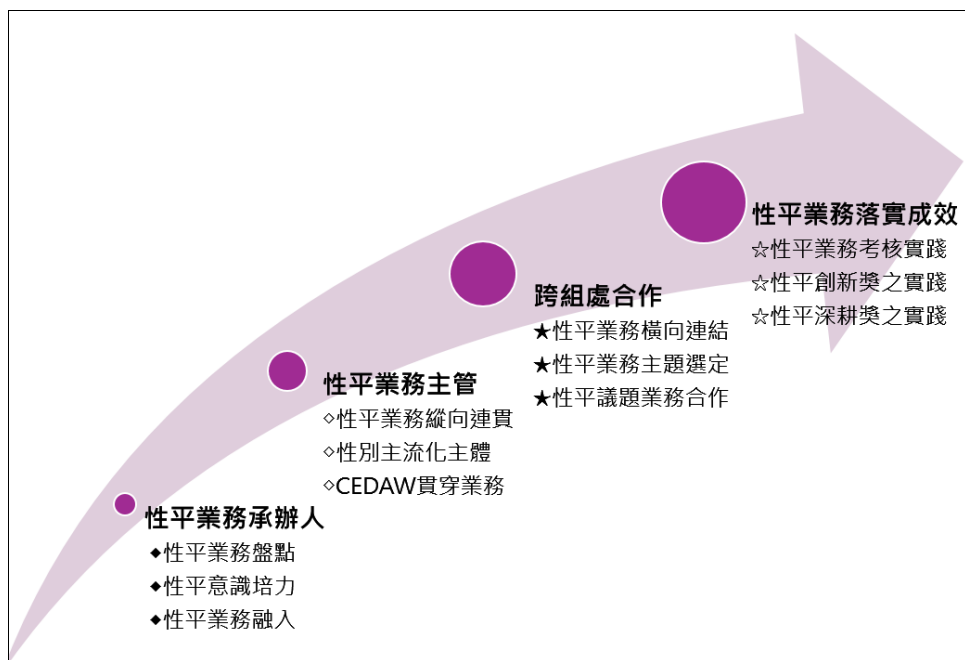


圖 5-3-2-25 114 年度研究成果

(17)從包容性科學傳播 (ISC) 觀點製作原子能科普內容計畫 - 以性別、多元族群為例：

- a. 參與 114 年 4 月 19-20 日於台北國立科學教育館舉辦科普展活動，協助核能安全委員會製作科普展宣傳短片「核安總動員、科技樂無限」、現場活動與展覽攤位介紹的科普傳播影片(下圖 5-3-2-26、27 為宣導短片截圖)。科普影片也聚焦科普展「不分性別、族群」都可以參加的科普展。
- b. 協助核能安全委員會在科普展中規劃「多元共融、核安無界」多元族群展覽攤位，邀請印尼、泰國、越南籍老師，以新住民觀點與語言展示原子能科普內容。並且在科普展現場規劃親子活動，增進民眾對多元族群與原子能科普關聯之理解，亦增進民眾對原子能科普活動之參與感(下圖 5-3-2-25 為現場活動截圖)。
- c. 參與核能安全委員會主編青少年科普書籍「原子，你要去哪裡？」內容整理、與重新編輯工作。
- d. 參與暑期線上科普課程影片企劃製作，規劃 4 個線上課程主題：「環境永續大挑戰」、「輻災防救小英雄」、「彩繪恐龍 X 光片」、「氫水探秘」，結合時事、科學原理與生活應用，企劃適合國中小學生觀看的線上影片內容
- e. 協助核能安全委員會製作 11 月 1-2 日在新北市仁愛公園舉辦的科普展活動，此為原子能科普展第一次來到新北市舉辦，突顯科學傳播不分區域。科普宣傳影片與現場攤位解說的影片也強調包容精神「新北出發，科學零距離」。



圖 5-3-2-26

圖 5-3-2-28

圖 5-3-2-27

圖 5-3-2-29

(18)核子風險溝通之媒體創用人才培育計畫：

本計畫在人才培育方面展現多面向的成果，涵蓋研究論文、畢業專題、大專生研究計畫、媒體創用教學實驗以及短片創作工作坊等多元形式。

首先，在研究論文與畢業專題的指導上，博士生藍道衛參與教學實驗研究計畫與論文寫作，黃世傑、紀淳宸分別製作核能主題動畫與遊戲的畢業專題，洪梓瑜則在鄧宗聖教授的指導下，完成與大專生研究計畫，顯示本計畫在基礎研究與人才養成上的持續投入。

其次，在媒體創用教學實驗方面，參與者來自屏東大學學院背景分布為：理學院 10 人、人社院 6 人、資訊院 2 人、教育學院 1 人、管理學院 1 人；性別分布為女性 6 人、男性 14 人，培養學生媒體素養，更透過創意教學方式，讓學生能以跨領域的方式理解核能議題並嘗試進行風險溝通的報紙設計。再者，《輻務小站》內容轉譯 200 秒短片創作專案工作坊 37 位學生參與理學院 31 人、人社院 5 人、管理學院 1 人；性別分布為女性 20 人、男性 17 人，讓學生能將複雜的核能與輻射知識轉化為簡短而有力的影像敘事，提升科學傳播的可近性與大眾理解度。在學術活動方面，本計畫於 2025 年 10 月 17 日舉辦「藝術、科學、社會國際論壇」，由國立屏東大學理學院、跨領域美感教育卓越領航計畫、USR 計畫主辦，透過圓桌論壇強調跨領域交流，讓參與培育人才的學生可以登台分享並參與進行創作作品與成果的發表。本計畫的最大意義在於，它將核能與輻射科學的專業養成，與人文社會的風險溝通結合，提出了一套兼顧硬技能與軟技能的培育模式。此模式不僅培養了具備技術能力的專業人才，更培養了能夠進行跨領域溝通、理解社會需求、並以創意方式進行科學傳播的新世代人才。



圖 5-3-2-30 國內藝術、科學與社會論壇

(19)原子小學堂：國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣：

以國小學童現有的科學知識程度與生活經驗背景為基礎，融合自然科學領域、生活課程、科技領域與健康範疇不同科目的授課主題，以學生覺得「遇到不會」、「對我有用」的觀點來著手，研發完成「有趣、好玩」具互動式、有劇情與冒險競賽的「輻射英雄聯盟」科學桌上遊戲1套及10頁「原子小學堂（基礎篇）國小師生原子能科普推廣教案」及30頁「原子小學堂（進階篇）Atomic Science A to Z」中、英文簡報教材；同時辦理了51場次「聞『輻』不色變」科普推廣活動，讓國小師生及親子族群、一般民眾藉由參與桌遊活動，融合參與者對原子能各項實務上的應用及危害風險的管理，強化原子能應用於環境生活議題的敏感度，提昇師生、民眾對原子能科學探索的興趣，參加活動人數計有1,418人，其中男性617人、女性801人。

輻射英雄聯盟 卡牌功能介紹



健康的鋼鐵兔



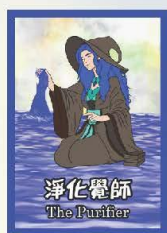
受到輻射污染的變種兔



擁有屏蔽技術，協助鋼鐵兔抵擋【輻射影武者】的攻擊。



可攻擊全體玩家中沒有神盾勇者或時間守衛保護的鋼鐵兔（包括自己）。



能清除輻射污染，讓變種兔恢復成健康的鋼鐵兔（使用後丟棄）。



擁有穿越風暴的能力，帶鋼鐵兔遠離【核爆之刃】的攻擊。



可指定攻擊任一玩家中，沒有疾風行者或時間守衛保護的鋼鐵兔。



讓時間暫停的英雄，讓鋼鐵兔免於核污邪怪、輻射影武者、核爆之刃一次的攻擊（使用後丟棄）。



具先進偵測工具，保護鋼鐵兔免受【核污邪怪】的攻擊。



可指定攻擊任一玩家中，沒有護國戰士或時間守衛保護的鋼鐵兔。

圖 5-3-2-31

(20)核能與輻射知識之互動程式開發：

本計畫把這個程式與 Line 結合，以方便民眾在手機上使用。還可以結合手機的無障礙功能，例如語音輸入和自動朗讀，讓身心障礙人士也能夠利用這個系統，獲得正確的核能與輻射知識。除了 AI 知識問答程式之外，本計畫也維護更新過往的研究成果。將前一年度所開發的電玩遊戲程式，添加了英語版本，以利於向外賓展示，以及新住民使用。



圖 5-3-2-32

(21)龍華科技大學核子保安教案設計之研究：

以「龍華科技大學核子保安教案設計」為主題，針對我國高等教育體系中核子保安教育的建立與推廣進行系統化探討與實證設計。研究的核心在於透過國際經驗的比較、課程內容的在地化轉譯、以及教學實施後的回饋修正，建構一套可於技職院校推行之核子保安教育模式。其成果不僅在於課程的完成，更在於培養學生對核能安全、保安風險與實體防護的整體理解，並為我國未來核安教育體系奠定基礎。本計畫首先透過文獻分析與國際案例蒐集，全面梳理 IAEA、WINS、NNSA、INSEN 等機構所推動之核子保安教育體系。國際核子保安教育的成功經驗顯示，有效的核安教育需同時結合法規、技術、風險評估與文化意識四大要素，並採取跨學科、跨部門及跨國合作的方式進行。本研究據此歸納 IAEA 之核子保安課程模組架構 (NSE1 至 NSE17) 與最新的 21 項 e-learning 模組內容，作為本地課程設計的主要依據。藉由比對各國大學 (如德州農工大學、東京工業大學、King' s College London、KAIST、ANU 等) 的教學內容，本研究確立了我國核子保安教育的五大核心主軸：核能電廠簡介、核子保安概論、法規與國際合作、實體防護系統設計與評估、實務案例與操作演練。在課程實施方面，本研究於龍華科技大學半導體工程系開設「核能與工業安全防護實務」選修課程，規劃為兩學分、共 36 小時的通識性課程。課程講師群涵蓋大學教授、管制單位人員、核能顧問公司專家與研究機構學者，形成跨領域教學團隊。課程設計以實體防護為主軸，結合法規、風險管理、案例分析與實際設備操作，使學生能在理解理論基礎的同時，體驗實務應用。課後調查結果顯示，學生普遍認為「核電廠簡介」與「實體防護操作」最具吸引力，而「法規與國際合作」單元則使其意識到核子保安與國家安全、國際責任之間的連結性。整體而言，課程達成了「提升保安意識、建立防護概念、啟發跨域思維」三項教學目標。根據教學回饋，本研究進一步修訂課程內容與時數配置。未來版本將強化設備演練與現場參訪 (如核能電廠或研究機構)，並整合 WINS 與 IAEA 開放教材，以提升教材的互動性與專業深度。此外，為因應新興科技發展與能源轉型趨勢，課程亦將納入資安與資訊防護、小型模組化反應器 (SMR) 之安全挑戰、及人工智慧於核安監測之應用等新主題，延伸學生的視野與應變能力。

(22)極紫外光及以下波段光學元件之保護膜材料開發與微影製像應用：

延伸前兩年極紫外光研究成果至 Beyond Extreme Ultraviolet (BEUV) 波段，進行設計及分析適合之週期性薄膜和保護膜之材料、結構，以進一步探討應用至未來世代需求之可行性。BEUV 波段使用光源波長為 6.7 nm，依據材料特性，適合該波段反射鏡材料為 Mo 及 B₄C 週期性薄膜。以量測波長為 6.7 nm，入射光與薄膜法線夾角 6° 條件下，光學模擬 Mo/B₄C 週期性薄膜之反射率，其組成結構為 40 個 Mo/B₄C 膜堆(Mo 薄膜厚度為 1.5 nm，B₄C 薄膜厚度為 1.9 nm)。在 BEUV 波段，可得到最高反射率為 45%。因此，本計畫製備此 Mo/B₄C 週期性薄膜與 TiO₂ 保護層薄膜厚度 1 nm，並進行後續量測與分析。Mo 薄膜採用磁控濺鍍(射頻功率 30 瓦)，B₄C 薄膜採用磁控濺鍍(射頻功率 50 瓦)，TiO₂ 則以原子層沉積(atomic layer deposition, ALD)技術製備。Mo/B₄C 週期性薄膜與 TiO₂ 保護層薄膜之(transmission electron microscope, TEM)橫截面影像圖。我們可以看出 Mo/B₄C 週期性薄膜排列方式，確認程式鍍膜穩定性並由圖一橫截面影像分析計算出濺鍍功率參數調整。重新鍍製 BEUV 薄膜，並於最上方沉積膜厚 1nm 之 TiO₂ 薄膜。Mo/B₄C 週期性薄膜之 XRR 分析圖，在低角度區仍有臨界角(θ_c)，在角度 1~5° 內呈現密集且規律的振盪，表示該薄膜為週期性排列及低表面粗糙之特性。圖中曲線振盪間距大致一致，無明顯 beating 或頻率漂移，表示該試片薄膜週期厚度穩定(濺鍍速率控制良好)，無明顯厚度漸變及界面擴散。由以上結果得知，本研究成功鍍製應用於 BEUV 波段之週期性薄膜及其保護膜。

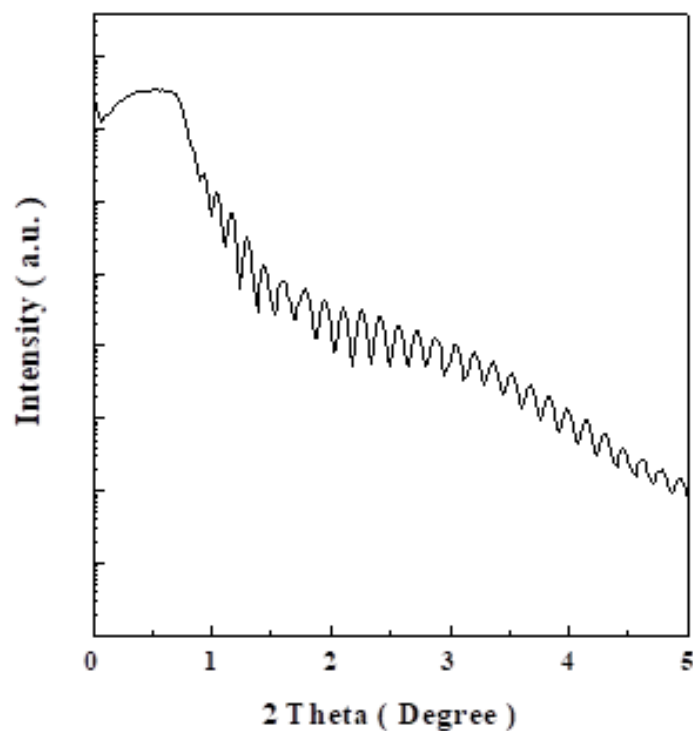


圖 5-3-2-33 Mo/B₄C 週期性薄膜之 XRR 分析圖。

(23)新南向核醫診療技術與應用交流：

本計畫以「新南向核醫技術交流」為核心，鏈結產官學研資源，建立常態性國際合作網絡。第一階段於 114 年 7 月 3-5 日舉辦「亞太地區核醫現況互動研討會」，共 137 人參與，其中國際貴賓 25 位，來自印尼、泰國、馬來西亞、越南、日本與澳洲等國。會中以 SWOT 分析方式比較各國核醫發展現況，並展示臺灣本土核藥與影像分析平台，並安排國家原子能科技研究院參訪及與和信、亞東醫院之學術論壇，成功建立跨國交流與後續合作基礎。問卷顯示外賓滿意度 87.2%，國內與會者滿意度 88%。

第二階段於 114 年 12 月 27 日舉辦「精準醫療新視界」核醫國際研討會，邀請日本松田博史教授進行腦部量化影像技術示範，並透過臨床案例解析與自動化分析軟體（如 eZIS、Q-Striatum）應用說明，顯著提升國內核醫醫師精準影像判讀能力。課程滿意度達 90.8%，顯示具高度學術與臨床影響力。

整體而言，本計畫透過階段性國際交流與國內技術深化，成功促進新南向核醫技術合作、人才培育與臨床標準化，並確立臺灣於亞太核醫與精準醫療領域之重要節點地位。



圖 5-3-2-34

(24)多模式運動的管道檢測機器人研發：

管道內的檢測是一大難題，在髒污或危險環境中更是困難重重，國內煉油廠要汰舊換新，核能發電機組除役，管道檢測是迫切面對的問題。本計畫研發管道機器人可以在管道內爬行進行檢測，透過萬向輪與多一個自由度的設計，使得管道機器人可以在管內進行旋轉運動，並可控制輪子與管壁的摩擦力，以提跨越與爬升能力，以便進行多模式運動。多模式設計使得管道機器人可以在不同管徑間運動，亦可在 L 型管與 T 型管中進行轉彎運動。管道機器人中安裝具邊緣計算的單板電腦(Jason nano mini)、攝影機及電池，使得機器人可以獨立運動，經由 wifi 與單板電腦連線，可以在遠端取得攝影機拍攝管道內的影像，從而得知管道的使用情況。本計畫還包刮實際驗證，以 300mm 與 250mm 管徑製作模擬管道，透過 3D 列印機列印管子連接件，以組合各種型式管道的組合。實驗驗證管道機器人的多模式運動，包括由下往上爬升、由大管道小管、L 型管等運動，實驗驗證多模式管道機器人的運動能力。



圖 5-3-2-35 多模式管道機器人進行爬升運動

細部計畫 3:原子能科技研發環境建構

1.衛星元件開發及輻射驗證環境建構

(1)太陽電池抗輻射技術發展

a.三接面 III-V 族太陽電池是最常使用的薄膜太陽電池形式，最上層是能隙較大的 GaInP 子電池，中層是能隙次之的 InGaAs 子電池，而底層則是直接以鍍基板為材料製作的子電池。由於三接面太陽電池是由三個子電池串聯，因此它們通過的電流必須相同，故總電流會由其中電流最小的子電池決定；而電池的輸出電壓則是三個子電池分別貢獻的電壓和。轉換效率則是電流、電壓與填充因子的乘積。將上層子電池的材料改為四元化合物 AlGaInP 是提升轉換效率的方案之一，主要是可以提升電壓進而提升轉換效率；另一個提升轉換效率的方案是仍使用三元化合物 GaInP，在微調磊晶溫度、氣體流量、V/III 比等參數後，預估可使電流與填充因子再增加，亦有機會達到轉換效率 31%之目標。

b.四元化合物 AlGaInP 的實驗結果發現電壓並沒有如預期高，和過去上層材料為 GaInP 的電池差不多，且電流反而還比較低，因此導致整體效率偏低。從實驗發現在有鋁的情況下效率要繼續提升有困難，尤其是電流下降的現象難以改善。這原因可能在於原本的三元化合物材料 GaInP 結構中，上層子電池和中層子電池的電流已達匹配，當改成四元化合物時上層子電池材料能隙提升，雖然提升能隙有利於提高開路電壓，但也降低了上層子電池的吸收光譜截止波長，使上層子電池吸光變少，電流降低成為限流電池，導致整體的電流明顯下降。在三元化合物 GaInP 之實驗方面，研究中加入少量的 Sb 元素，並調整磊晶溫度、V/III 比等。由調整窗層 AlInP 之磊晶溫度以及 GaInP 和 AlInP 之 V/III 比後，轉換效率有明顯的增加，最高轉換效率達 31.05%(表 5-3-3-1)，完成目標。

表 5-3-3-1 上層子電池材料 GaInP 之實驗結果

Recipe	Solar Cell #	I _{sc} (mA)	V _{oc} (V)	I _m (mA)	V _m (V)	P _m (mW)	F.F	Efficiency (%)
GIP-A	GIP-A-1	13.4	2.56	13.1	2.34	30.57	0.89	28.03
	GIP-A-2	13.7	2.58	13.4	2.32	31.00	0.88	28.43
	GIP-A-3	13.7	2.58	13.4	2.30	30.87	0.87	28.31
GIP-B	GIP-B-1	13.9	2.58	13.6	2.32	31.50	0.88	28.89
	GIP-B-2	13.9	2.58	13.5	2.30	30.98	0.86	28.41
	GIP-B-3	14.0	2.56	13.7	2.30	31.34	0.88	28.74
GIP-C	GIP-C-1	14.2	2.60	13.8	2.36	32.51	0.88	29.81
	GIP-C-2	14.2	2.60	13.7	2.38	32.48	0.88	29.79
	GIP-C-3	14.0	2.60	13.7	2.36	32.21	0.88	29.54
GIP-D	GIP-D-1	14.6	2.64	14.0	2.40	33.67	0.88	30.79
	GIP-D-2	14.5	2.64	14.2	2.40	33.96	0.89	31.05
	GIP-D-3	14.4	2.65	13.9	2.41	33.41	0.88	30.55

- c. 多重量子井 (Multi-Quantum Wells, MQWs) 結構為奈米級膜厚之雙異質結構(double hetero-structure)，外層能勢壁(barrier)以寬能隙之材料像三明治一般將發光主動層能勢井(well)之窄能隙材料夾在中間，且由於材料膜厚僅數奈米之間，其能勢井會量子化為量子井。本計畫利用 MQWs 來改善電池的抗輻射能力。在之前的研究發現經過質子轟擊之後，EQE 下降最明顯的是中層子電池的長波長區段和底部電池。我們在中層子電池增加 MQWs 以彌補長波長區段的損失，且 MQWs 的位置在中層子電池的頂部，這樣便可避免被質子損害。
- d. 在質子照射實驗中，我們以 1 MeV 和 3 MeV 兩個質子能量做照射，每個能量做 5 個不同累積通量(5×10^{10} 、 1×10^{11} 、 5×10^{11} 、 1×10^{12} 、 5×10^{12} p+/cm²) 的測試，並分別畫出 1 MeV 和 3 MeV 兩條衰減曲線。從結果發現在相同質子能量下，累積通量越高則剩餘轉換效率比越低，代表損害越嚴重。而在相同累積通量下，1 MeV 的剩餘轉換效率比均較 3 MeV 低，這代表 1 MeV 質子的破壞性(表 5-3-3-2)比 3 MeV 質子的破壞性更大(表 5-3-3-3)。本實驗結果不論是 1 MeV 或是 3 MeV，均得到比文獻更佳的结果。衰退曲線之取得對未來評估在不同輻射粒子能量和輻射通量之環境中，太空太陽電池之壽命將有所幫助；在實際應用上可確認元件所適合之衛星任務，藉由衛星軌道輻射粒子能譜之資訊輔助，可分析太陽電池是否有足夠之壽命在任務期中提供充足之電力供應。

表 5-3-3-2 質子能量 1 MeV 之實驗結果

Sample	Condition	Isc (A)	Voc (V)	Im (A)	Vm (V)	Pm (W)	F.F.	Efficiency	Ratio
MQ2-1	Before	0.014	2.24	0.014	1.95	0.027	0.84	24.3%	98.7%
	After 5×10^{10}	0.014	2.22	0.013	1.95	0.026	0.84	24.0%	
MQ2-2	Before	0.014	2.24	0.013	1.97	0.026	0.85	24.1%	98.1%
	After 1×10^{11}	0.014	2.26	0.013	2.01	0.026	0.83	23.6%	
MQ2-3	Before	0.014	2.20	0.013	1.93	0.026	0.85	23.8%	89.6%
	After 5×10^{11}	0.013	2.16	0.012	1.89	0.023	0.82	21.4%	
MQ2-4	Before	0.014	2.22	0.013	1.97	0.026	0.85	24.0%	85.7%
	After 1×10^{12}	0.013	2.14	0.012	1.87	0.022	0.80	20.5%	
MQ2-5	Before	0.014	2.18	0.014	1.93	0.026	0.86	24.1%	71.5%
	After 5×10^{12}	0.013	1.99	0.011	1.67	0.019	0.74	17.2%	

表 5-3-3-3 質子能量 3 MeV 之實驗結果

Sample	Condition	Isc (A)	Voc (V)	Im (A)	Vm (V)	Pm (W)	F.F.	Efficiency	Ratio
MQ1-1	Before	0.014	2.26	0.013	1.99	0.026	0.84	24.2%	98.5%
	After 5×10^{10}	0.014	2.26	0.013	2.01	0.026	0.83	23.8%	
MQ1-2	Before	0.014	2.24	0.013	1.99	0.027	0.86	24.4%	93.4%
	After 1×10^{11}	0.013	2.19	0.013	1.95	0.025	0.84	22.8%	
MQ1-3	Before	0.014	2.24	0.014	1.97	0.027	0.86	24.7%	78.3%
	After 5×10^{11}	0.013	2.12	0.011	1.85	0.021	0.76	19.3%	
MQ1-4	Before	0.014	2.21	0.014	1.95	0.027	0.85	24.3%	69.3%
	After 1×10^{12}	0.013	2.05	0.010	1.79	0.018	0.69	16.9%	
MQ1-5	Before	0.014	2.22	0.014	1.95	0.026	0.85	24.2%	44.3%
	After 5×10^{12}	0.012	1.83	0.008	1.43	0.012	0.54	10.7%	

e. 為分析太陽電池在質子照射前後各子電池材料特性之變化，本實驗於質子照射前後分別進行 EQE 之量測，量測結果發現含 MQWs 的中層子電池其吸收波長除了傳統的波段之外，還多了 900 nm~950 nm 的區域，且不論何種質子能量、累積通量，在質子照射後該區域 EQE 並未改變。此區域的 EQE 約占中層子電池的 20%~30%，這便是由 MQW 所貢獻。本研究利用 MQWs 提早吸收約 20%~30% 的長波長入射光，且因 MQWs 放置於中層子電池之表層，再加上 MQWs 的厚度較薄不易受到質子破壞，故 EQE 得以維持。此 MQWs 之波段彌補了 800 nm~900 nm 的衰退，因此剩餘轉換效率比得以提高，太陽電池抗輻射之能力因而提升。為進一步分析各個電性項目照射前後之變化，我們計算各個電性的維持率。結果發現維持率下降幅度較大的是電流，而電壓下降較少，這結果呼應文獻中所提出的損壞機制。由於質子對太陽電池主要的影響是原子位移損害 (Displacement Damage, DD)，這是高能粒子撞擊晶體後，使晶體產生缺陷，這些缺陷會抓住載子而減少自由載子數量或促使電子電洞複合，縮短載子生命期進而減少擴散長度。故這些缺陷使產生之載子在未到達電極前便被捕捉或複合，

因此無法貢獻到電流，故使得電流下降。

(2) 晶片系統抗輻射技術發展

a. 太空商業應用之抗輻射晶片設計開發：

在太空商業應用之抗輻射晶片設計開發旨在設計一個具有抗輻射能力的靜態隨機存取記憶體 (SRAM)。我們已針對上半年度完成的傳統 SRAM 架構進行佈局設計 (Layout) 與後模擬 (Post-Sim)，並確認其結果與前模擬 (Pre-Sim) 相符，確保設計的一致性與可行性。基於此，我們選擇了封閉式佈局電晶體 (Enclosed Layout Transistor, ELT) 作為抗輻射的核心手段，完成封閉式佈局電晶體 (ELT) 佈局設計並順利進行下線，隨後對下線回來的晶片進行了上板量測。本次對傳統 SRAM 晶片的佈局設計 (圖 5-3-3-1) 與後模擬驗證。晶片採用台積電 180nm 製程，整體面積為 1.2mm×1.2mm。在讀寫功能的模擬結果上，前模擬與後模擬是一致的 (圖 5-3-3-2)。

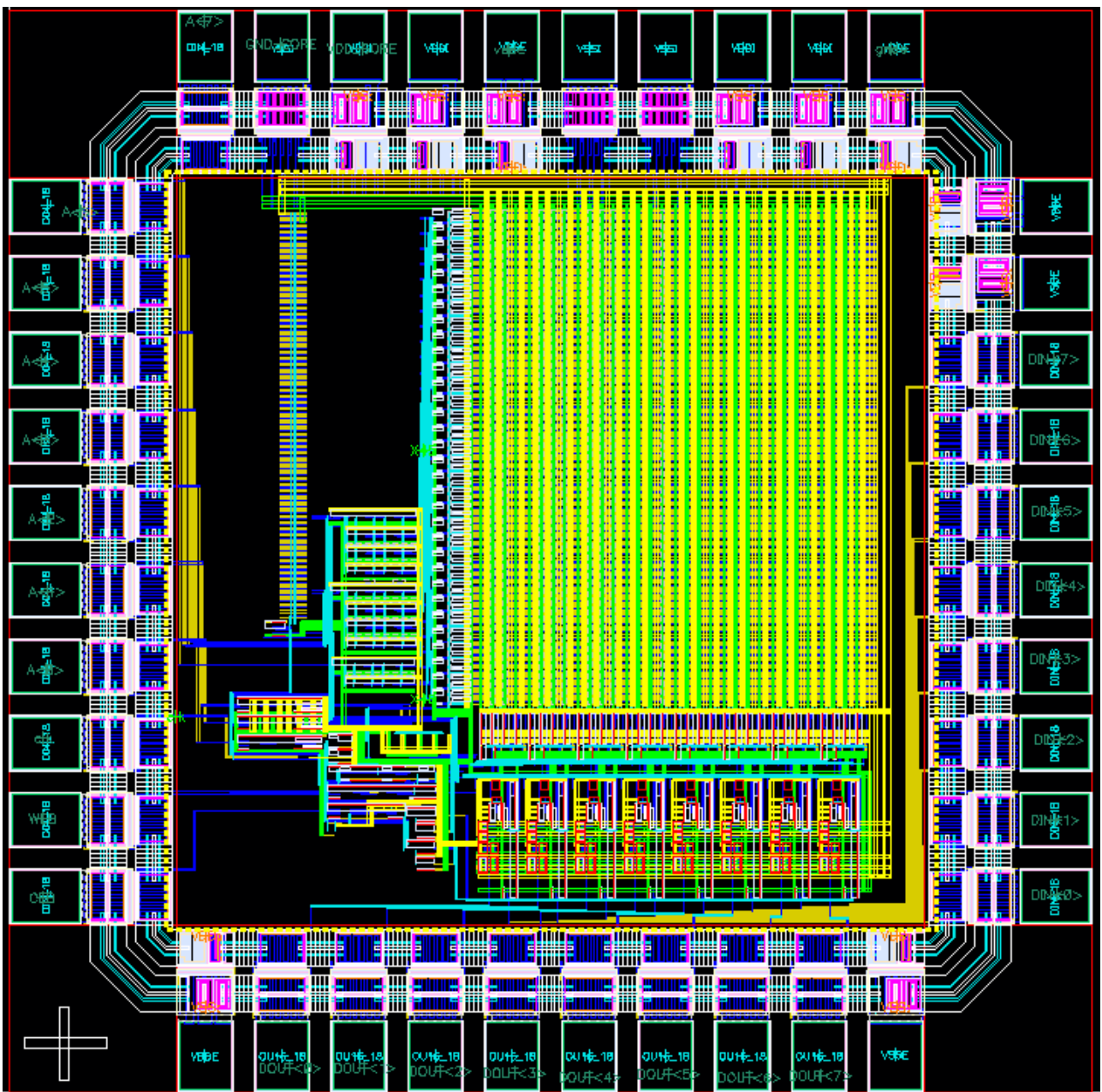


圖 5-3-3-1 傳統 SRAM 之佈局平面圖。

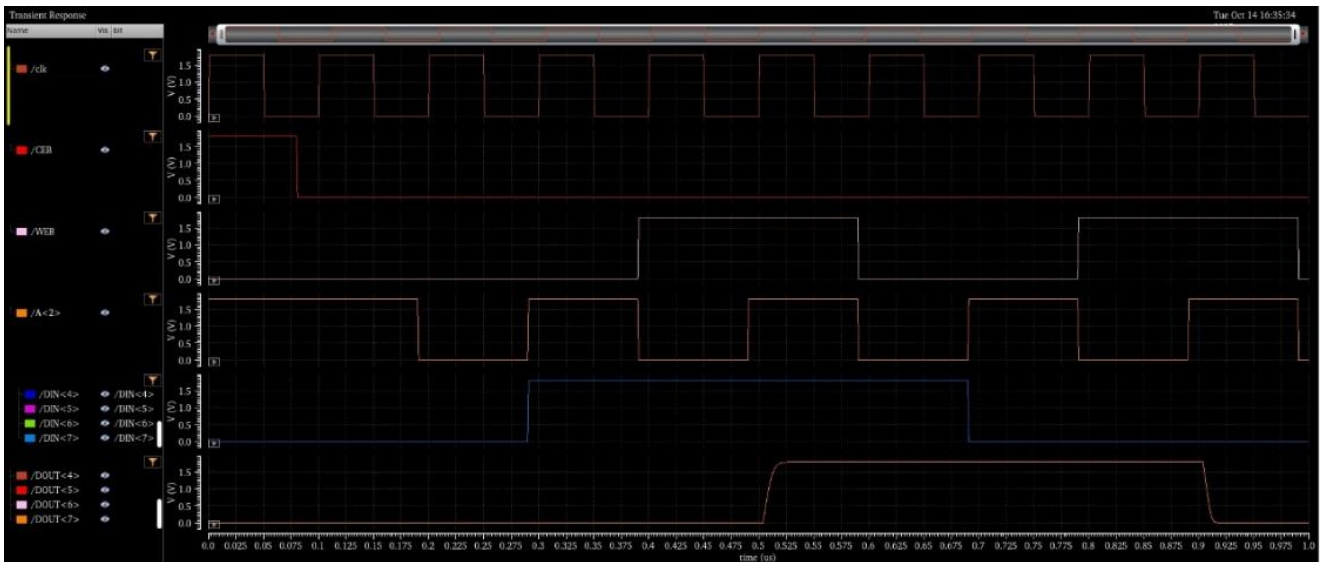


圖 5-3-3-2 後模擬 (post-sim) 之讀寫模

本次量測主要針對使用封閉式佈局電晶體的 SRAM 晶片 (圖 5-3-3-3) 進行初步量測。測試所用的設備包括 DE2 型 FPGA 作為訊號產生與介面控制，DP-3003N 電源供應器提供電壓支持，並使用 FLUKE 15B+ 三用電表進行電壓和電流的測量 (圖 5-3-3-4)。晶片採用 T18 製程和 S/B 40 封裝，測試條件下的電壓為 1.8V，測試頻率設為 50 MHz。

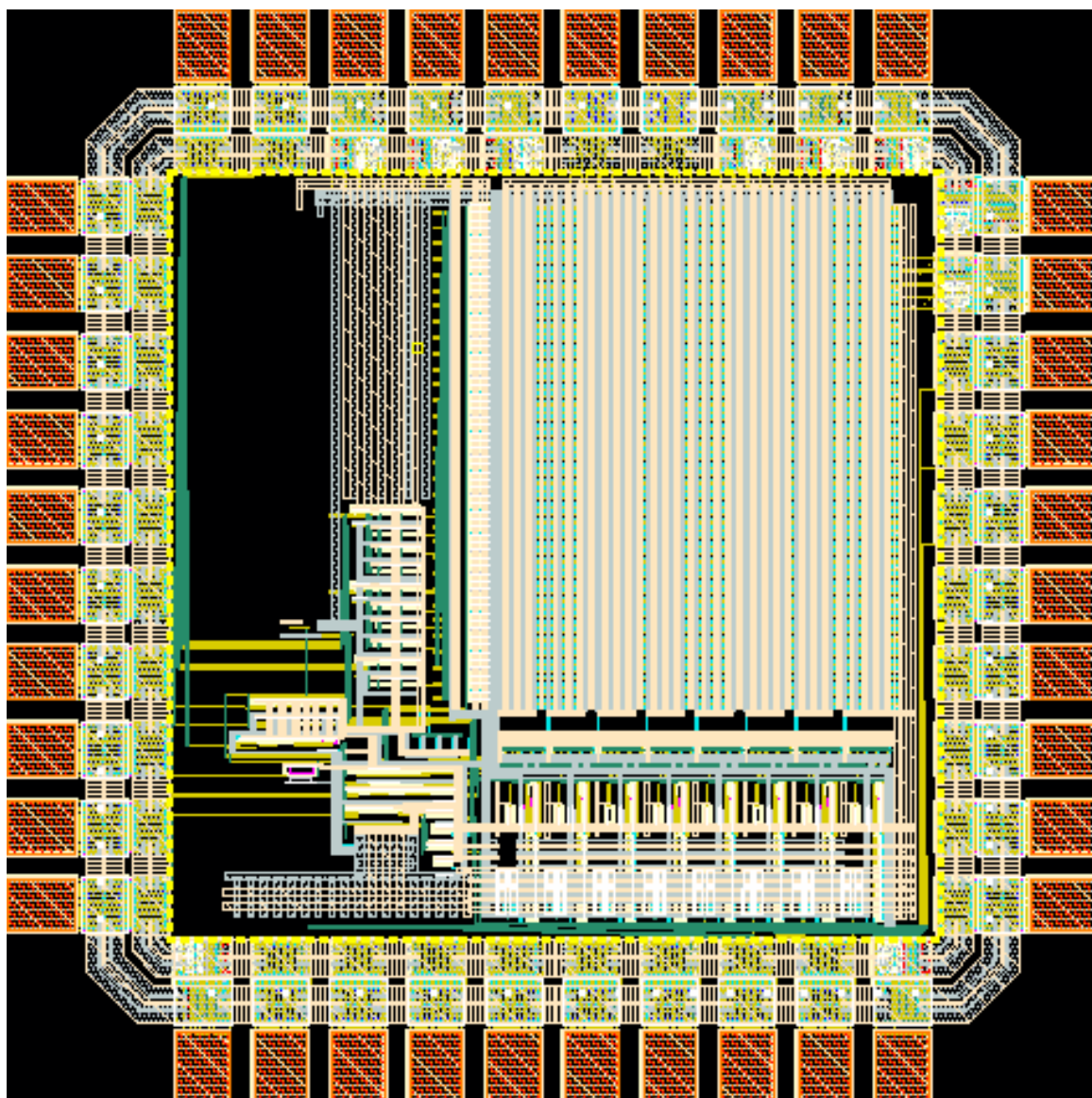


圖 5-3-3-3 ELT SRAM 之佈局平面圖。

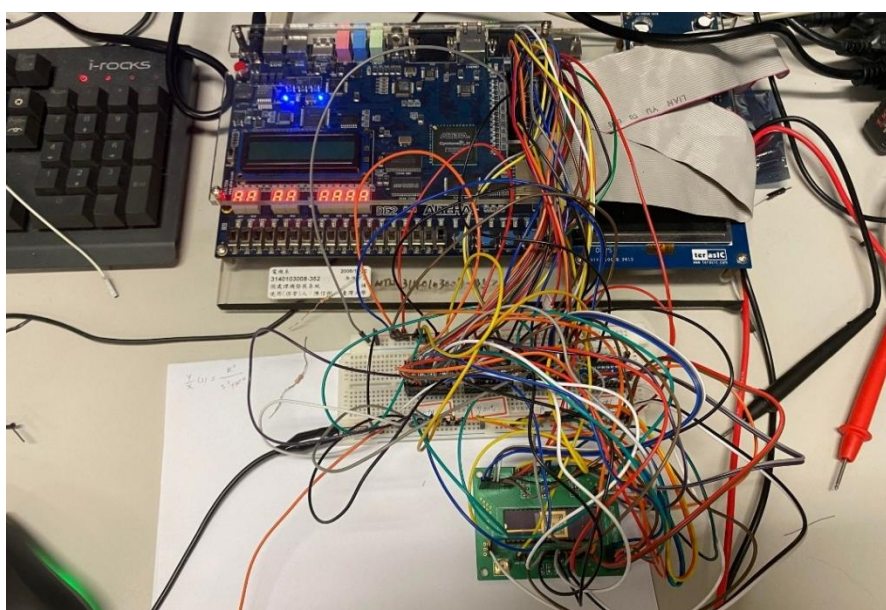


圖 5-3-3-4 量測環境。

測試結果顯示，在資料讀寫過程中出現了時序問題，這導致部分資料無法正確寫入或讀出（圖 5-3-3-5）。進一步分析後，我們推測該問題可能與 ELT 結構對讀寫臨界裕度的影響有關。ELT 結構雖然能有效提高抗輻射能力，但其對電晶體的設計和操作特性可能造成了一定的延遲或不穩定性，從而影響了讀寫過程中的時序穩定性。具體來說，ELT 結構的源極漏極區域包覆設計，雖然增強了抗輻射能力，但也可能使得電晶體的切換速度受到抑制，這可能導致存取時間延長，進而使得資料無法在規定的時間內穩定讀寫。

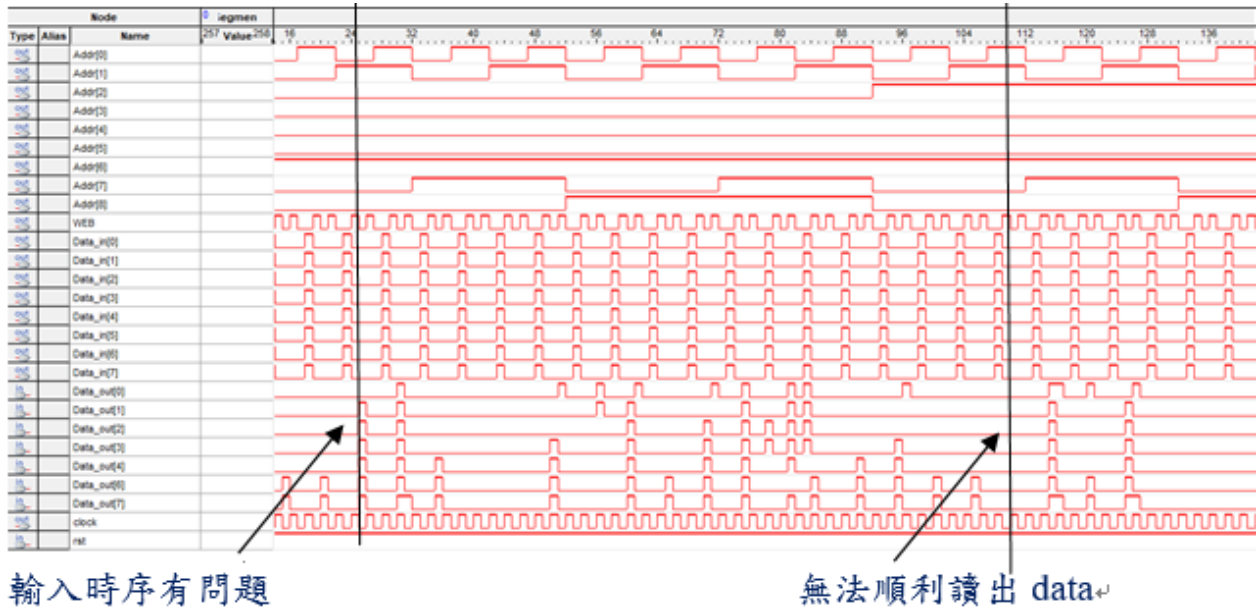


圖 5-3-3-5 量測結果。

b.短脈衝雷射輻射驗證技術：

採用脈衝雷射進行測試的核心目的，是為了建立一套高效率、低成本且具可重複性的單粒子效應（Single Event Effect, SEE）模擬與分析平台。相較於傳統的高能粒子加速器試驗（如重離子或質子照射），雷射測試可在一般實驗室環境中模擬高能粒子與半導體材料交互作用所造成的瞬態電荷沉積與邏輯翻轉現象，從而有效降低實驗成本與門檻，同時避免了質子束測試的安全風險與限制。本研究團隊已完成 800 nm 雷射正照測試，可利用此開發實驗技術作為後續添購不同雷射並採用正照技術的標準。本研究所建置的短脈衝雷射平台，是一套專為背面照射與單粒子效應模擬所設計的三維高精度光學掃描系統。其設計整合了光學聚焦、成像觀測與精密位移控制三大核心模組，能在微米級解析度下完成元件內部電路層的精準定位與能量注入。實際雷射系統如圖 5-3-3-6 所示，主要模組包含了光學系統、成像模組、電動載物台。

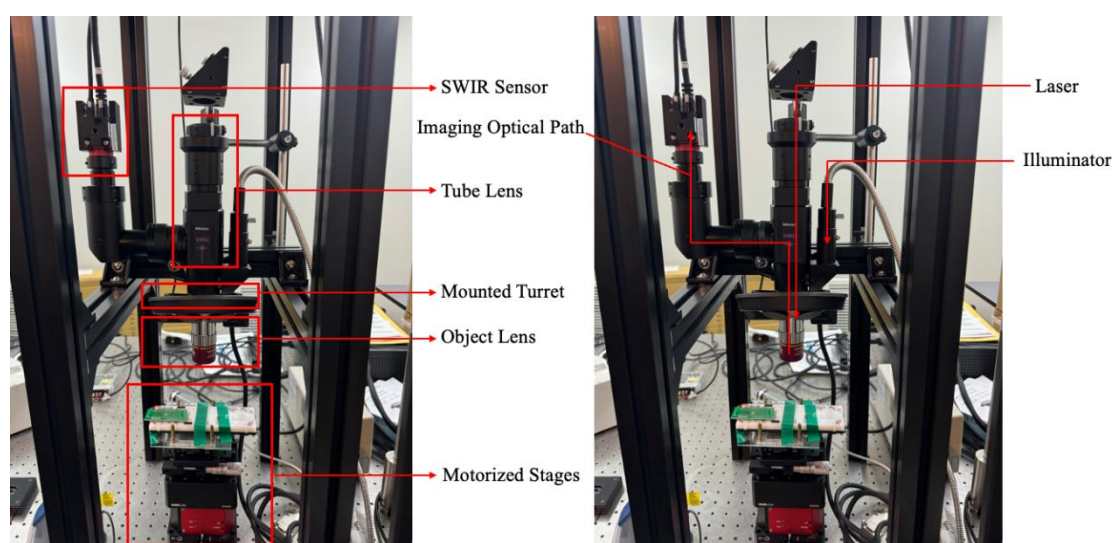


圖 5-3-3-6 雷射平台實際圖。

基於 MOSFET 架構的 Varactor 元件，在接受不同劑量的輻射照射後，其電容-電壓 (CV) 特性曲線會產生變化，因此 MOS Varactor 或是基於 MOS Varactor 的震盪器可評估作為輻射感測器使用。規劃透過 Varactor 電壓控制電容的特性，將基於 MOS Varactor 的可變負載元件與其他主動電路整合，以控制電壓補償 TID 效應對於主動電路之電容特性的影響，使輻射照射後的等效負載接近照射前的等效負載與電路性能。作為補償電路使用的可變負載元件，將嘗試使用抗輻射電路設計方法，降低 TID 效應對於 MOS Varactor 的電壓控制能力造成的可能影響。由於 ELT 電晶體的電路設計比傳統矩形電晶體的設計更加複雜，目前主要透過文獻了解不同抗輻射電晶體設計的抗輻射能力，評估可能可以使用的設計。晶片下線和實作是採用台灣半導體研究中心 (TSRI) 提供的晶片下線服務平台與 EDA Cloud 2.0 環境，進行下線所需的電路模擬與電路佈局繪製。本次下線主要目的為分析不同尺寸的 MOS Varactor 在輻射照射下，對於 CV 特性的實際影響程度，評估對輻射的敏感度。使用 T18 成熟製程，尚未使用抗輻射的電晶體設計。所有電晶體的通道長度 (L) 均設為 0.18 μm ，本次設計為 12 顆 NMOS 電晶體組成的矩陣，電晶體的通道寬度

(W) 尺寸分別為 1~12 μm 。SPICE 電路模擬使用 T18 製程的電晶體模型，分析元件的 IV 及 CV 特性曲線。IV 特性主要是看 Drain 端電壓為 1.8V 的時候，Gate 端電壓變化時的 Drain 端電流變化。CV 特性則是將 NMOS 的 Drain (D) 端、Source (S) 端、Body (B) 端連接在一起，將元件作為 MOS Varactor 可變電容器使用，分析 G 端的電容特性曲線，其電容值將隨著 G 端及 S 端之間的電壓差(VGS)大小來決定。SPICE 模擬除了元件本身以外，也將 IO Pad 的電路加入考量，IO Pad 包含 ESD 保護電路，防止靜電造成電路損壞。IV 與 CV 之特性曲線其模擬結果如圖 5-3-3-7、5-3-3-8 所示。

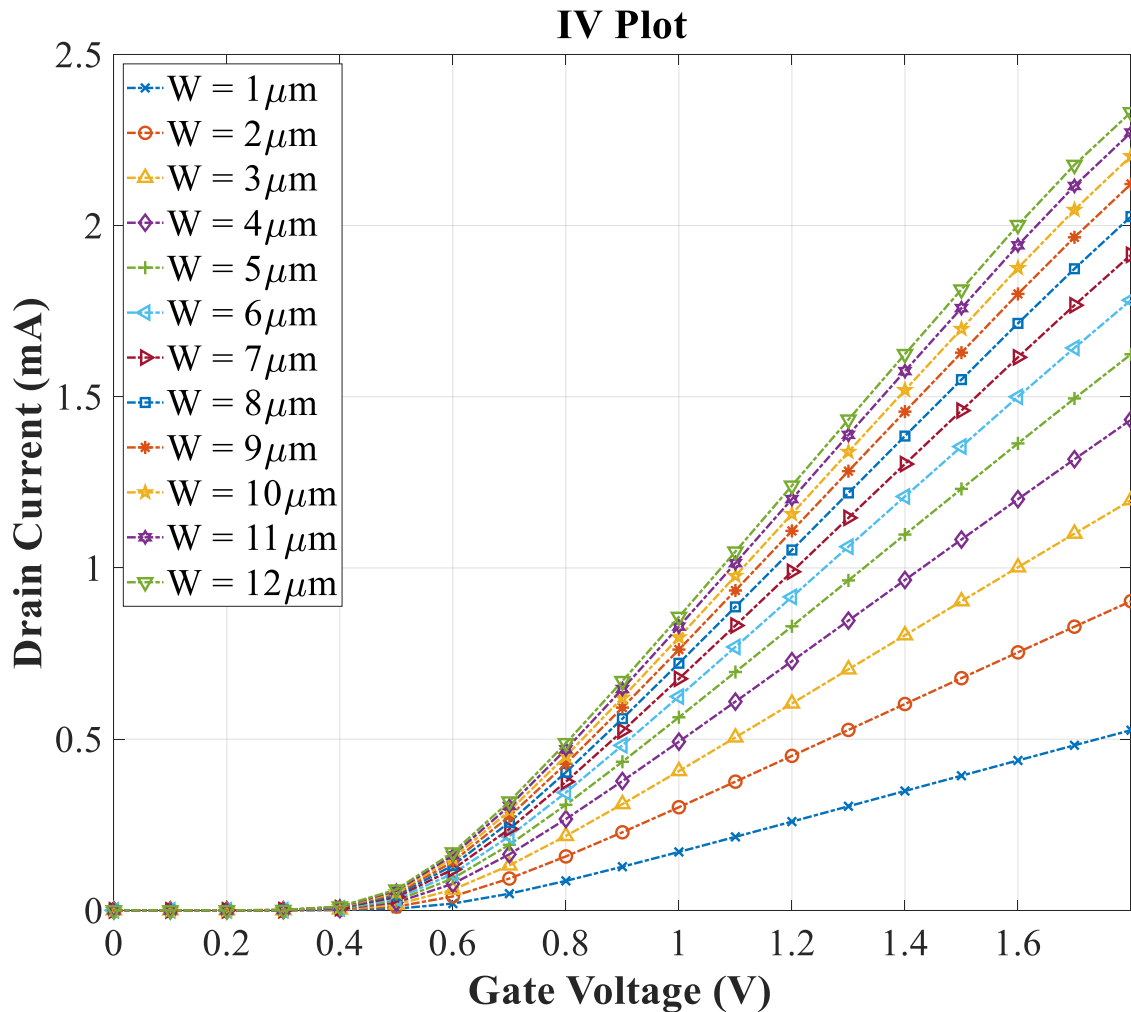


圖 5-3-3-7 IV 特性曲線模擬結果。

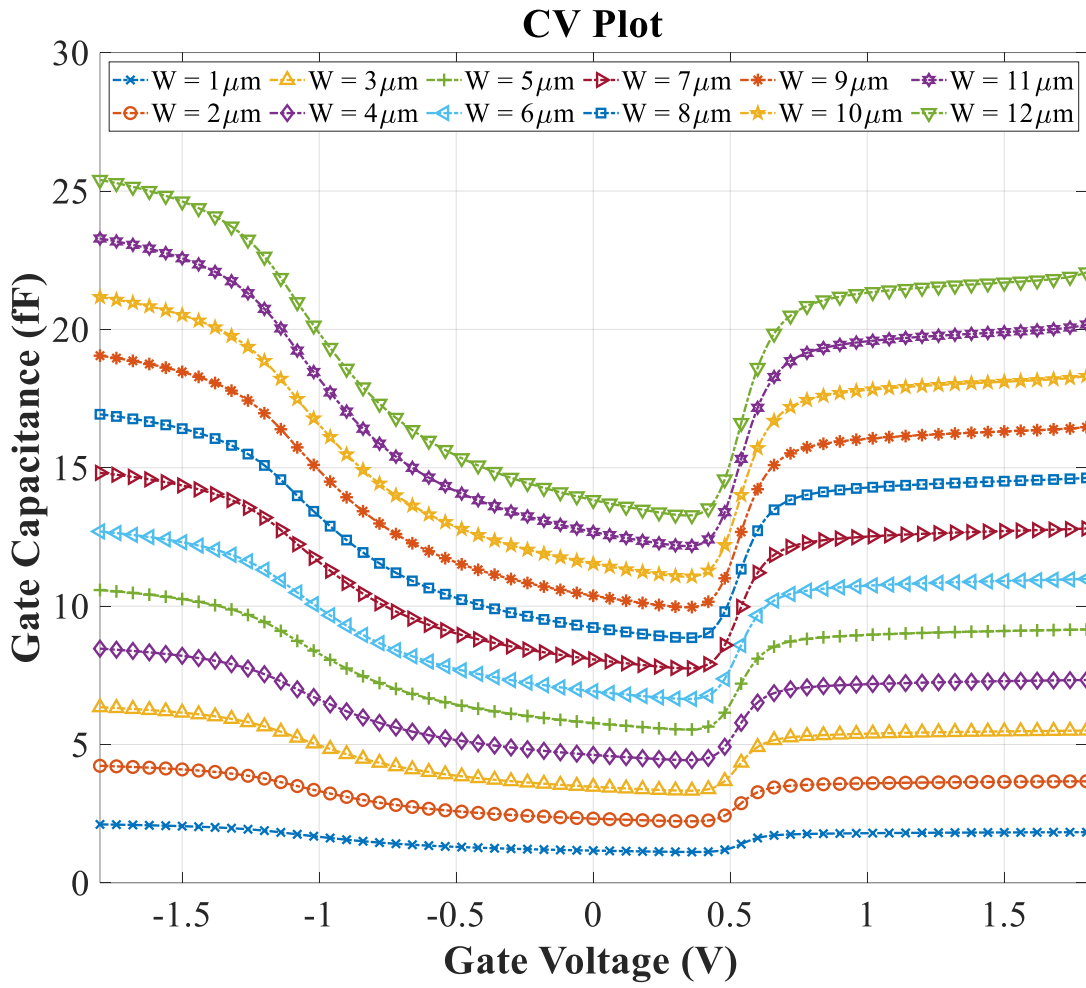


圖 5-3-3-8 CV 特性曲線模擬結果。

c. 抗輻射晶圓等級小晶片異質整合技術：

電路佈局同樣使用 TSRI 提供的 EDA Cloud 環境進行設計，將 12 顆不同尺寸的 NMOS 電晶體分散排列，每顆電晶體的 G 端、D 端、S 端拉至周圍的 IO Pad，加上電源及接地的部分共有 40 個 IO Pad。為了增加電路應用的彈性，因此並未在內部電路將 D 端與 S 端連接在一起。目前已初步通過電路佈局驗證(Layout versus Schematic, LVS)的電路佈局設計如圖 5-3-3-9 所示，正在針對設計規則檢查 (Design Rule Checking, DRC) 的部分進行修正，待 DRC 與 LVS 驗證皆通過後，將進行寄生 RC 參數抽取(Parasitic Extraction, PEX)，同時將溫度及電壓的變動納入考量，進行佈局後的電路模擬分析(Post-layout Simulation)，以確保不同條件下的電路特性仍符合需求。後續將配合 TSRI 的下線時程完成電路設計與晶片下線。分析 MOS Varactor 對於輻射效應的實際影響，以進行後續應用電路的設計。

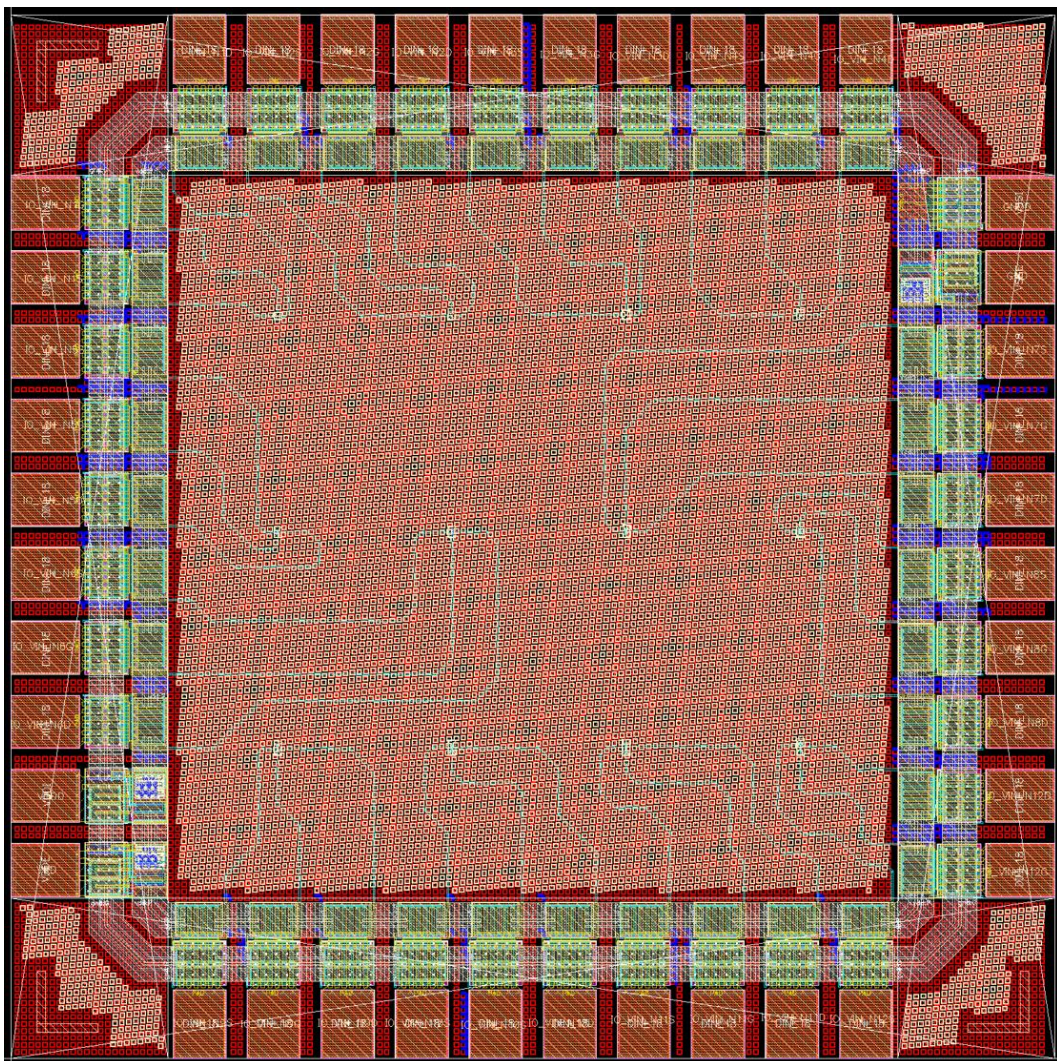


圖 5-3-3-9 電路佈局設計。

(3) 元件製程抗輻射技術發展

本研究計畫涵蓋三個子項，摘述各子項的主要成果與發現如下：

a. 抗輻射之新興記憶體元件開發：開發新穎製程與結構提升鐵電記憶體之可靠度

有鑑於太空科技對大容量、低功耗及高抗輻射非揮發性記憶體的需求日益殷切，本子項旨在開發新型製程與結構，以克服鐵電記憶體 (FeFET) 在極端輻射環境下的可靠度問題。研究重點在於探索不同的 HZO 鐵電層堆疊結構，並結合介面工程技術，以提高元件的耐久度 (Endurance) 及抗輻射能力。本子項成功開發並驗證混合型 HZO (Hybrid-HZO) 結構，並結合氬電漿 NH_3 表面處理與微波退火 (MWA) 的低熱預算製程，顯著提升了 FeFET 抗輻射的可靠性。

(a) HZO 結構優化：

- 研究比較了固溶體 (Solid Solution, SS)、超晶格 (Superlattice, SL) 及混合型 (Hybrid) 三種 HZO 堆疊結構。
- 固溶體結構 (SS-HZO) 雖然初始記憶視窗 (Memory Window, MW) 較寬，但因容易產生缺陷，耐久度在 10^7 次操作後 MW 僅剩約 15%
- 超晶格結構 (SL-HZO) 則能有效抑制氧空缺累積與傳導，在 10^7 次操作後仍能保持約 57% 的 MW，具有較佳的耐久性
- 混合型 HZO 結合了兩者的優點，在提供足夠極化能力的同時，緩解了缺陷造成的問題，在 10^7 次操作後 MW 仍可保留約 38%

(b) 抗輻射製程優化：

- 導入 NH_3 電漿處理 Si 通道表面，可在通道表面形成高品質的 SiN_x ，有效抑制後續退火過程中氧空缺密度較高的 SiO_x 形成，減少介面電荷捕獲。
- 採用 MWA 取代傳統快速熱退火 (RTA)，有助於在低熱預算下減少鐵電層與通道間的介面反應。

(c) 抗輻射成效：

- 經 NH_3 plasma 與 MWA 處理的 Hybrid-HZO 元件，在 TID 輻射照射後，其初始 MW 僅由 2.7 V 衰減至 2.5 V。
- 輻照後的耐久度表現優異，經過 10^7 次的反覆操作後，MW 仍能保有 1.9 V，遠優於一般固溶體元件受輻射後的衰減程度。
- 此最佳化元件在輻照後，仍可實現 2 bits/cell 的多級單元操作，展現其高輻射環境下作為高可靠度記憶體的巨大潛力。

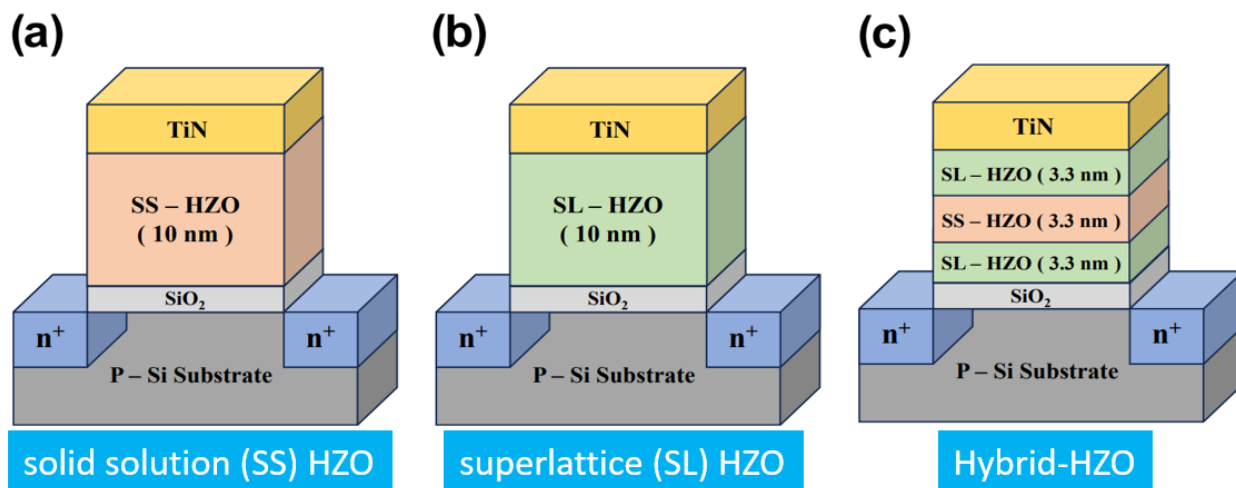


圖 5-3-3-10 三種不同的 HZO 堆疊結構示意圖

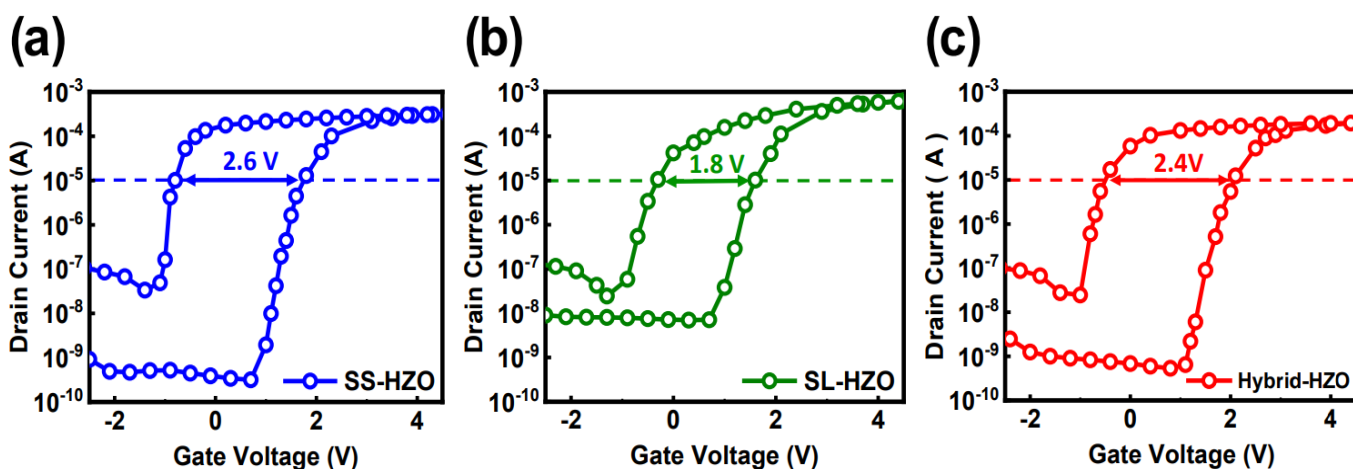


圖 5-3-3-11 三種不同鐵電層 HZO 堆疊結構之 FeFET 元件其 I_D - V_{GS} 特性曲線

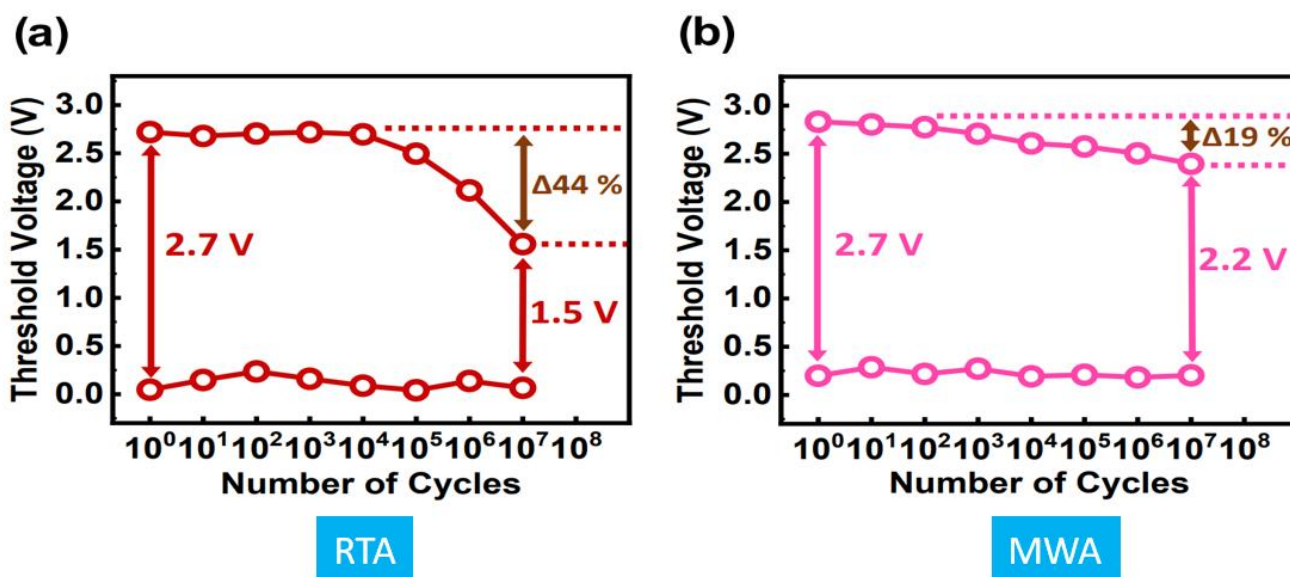


圖 5-3-3-12 Hybrid-HZO 堆疊結構元件採用不同退火方式之耐久度表現：
(a) RTA; (b) MWA

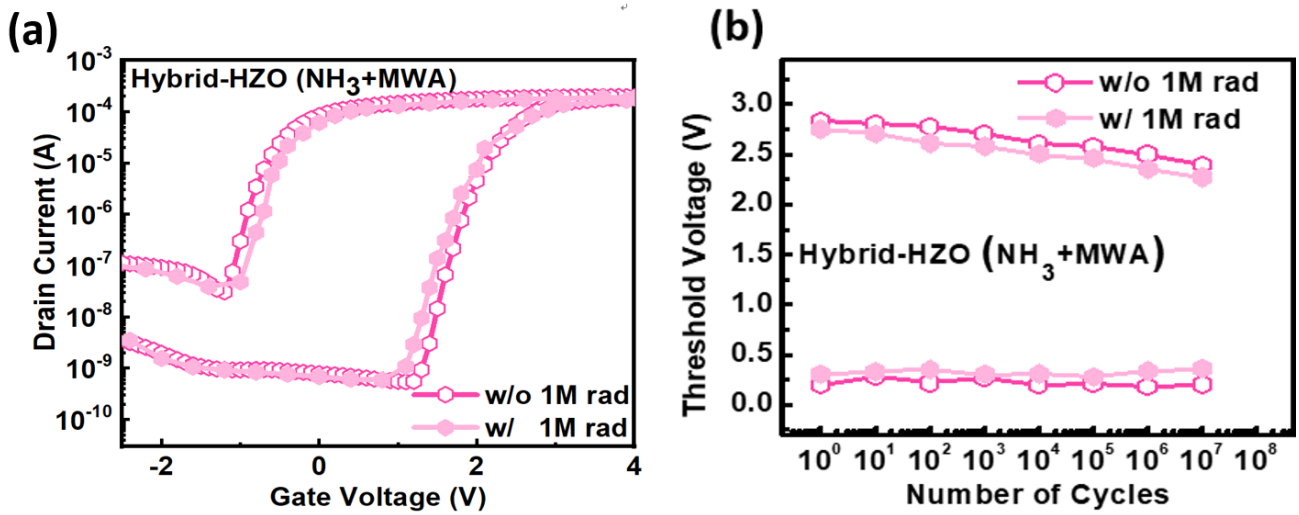


圖 5-3-3-13 Hybrid-HZO 元件(NH₃ plasma 與 MWA)在照射輻射前/後於
 (a) ±5 V 直流掃描下之 ID-VGS 特性曲線與
 (b) ±5 V、5 μs 條件下之耐久度表現

b. 抗輻射之積體電路製程與先進電晶體研究：整合先進場效電晶體與快閃記憶體元件之抗輻射製程開發及分析

隨著積體電路持續微縮，新一代元件結構（如閘環繞式 GAAFET）和新興材料的抗輻射能力，對於太空及極端環境應用至關重要。本子項旨在系統性評估新一代場效電晶體與快閃記憶體元件的抗總游離劑量（TID）輻射能力，並開發具優異抗輻射特性的製程與材料。

(a)先進電晶體結構（GAAFETs）的抗輻射優勢：

- 研究比較了鰭式電晶體（FinFETs）與閘環繞式電晶體（GAAFETs）的抗輻射能力。
- 結果證實 GAAFETs 由於閘極完全包覆通道，靜電控制能力更佳，因此在 TID 輻射照射後，其漏電流 I_{off} 退化比例、次臨界斜率（S.S.）上升量及臨界電壓（ V_T ）飄移量均明顯優於 FinFETs。
- 特別是在高劑量 TID 下，GAAFETs 的結構優勢對於抑制輻射導致的電荷陷阱和介面缺陷生成更為顯著，證明其具備優異的抗輻射特性，是下一代抗輻射 IC 設計的關鍵結構。

(b)新穎非揮發性記憶體（ZrON）的抗輻射製程開發：

- 針對以電荷儲存為原理的快閃記憶體，本子項比較了傳統 ZrO_2 與氮化鋯（ZrON）作為儲存層的抗輻射特性。
- ZrO_2 元件在 100 kRad 輻射劑量下，耐久度和電荷保持力即開始明顯劣化，且在 1 MRad 下劣化更為嚴重。
- ZrON 元件則展現出卓越的抗輻射能力。即使在 1 MRad 高輻射劑量照射後，其寫入/抹除速度、耐久力及電荷保持力等關鍵指標仍保持極為優異的表現。
- 此優異性能歸因於 ZrON 中的氮原子能有效抑制 ZrO_2 儲存層中氧空缺的生成，從而減少輻射引發的電荷陷阱，提供了高性能、高可靠度的非揮發性儲存技術。

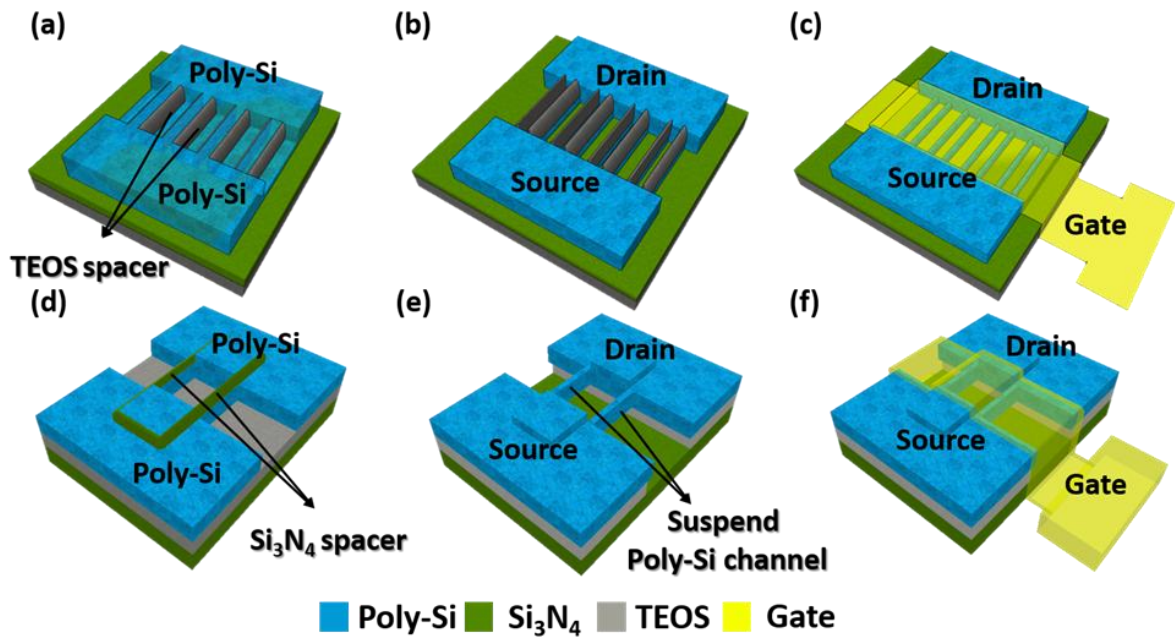


圖 5-3-3-14 (a)-(c) Ω -gate(Fin)、(d)-(f) 奈米線型 Flash 元件製作流程示意圖

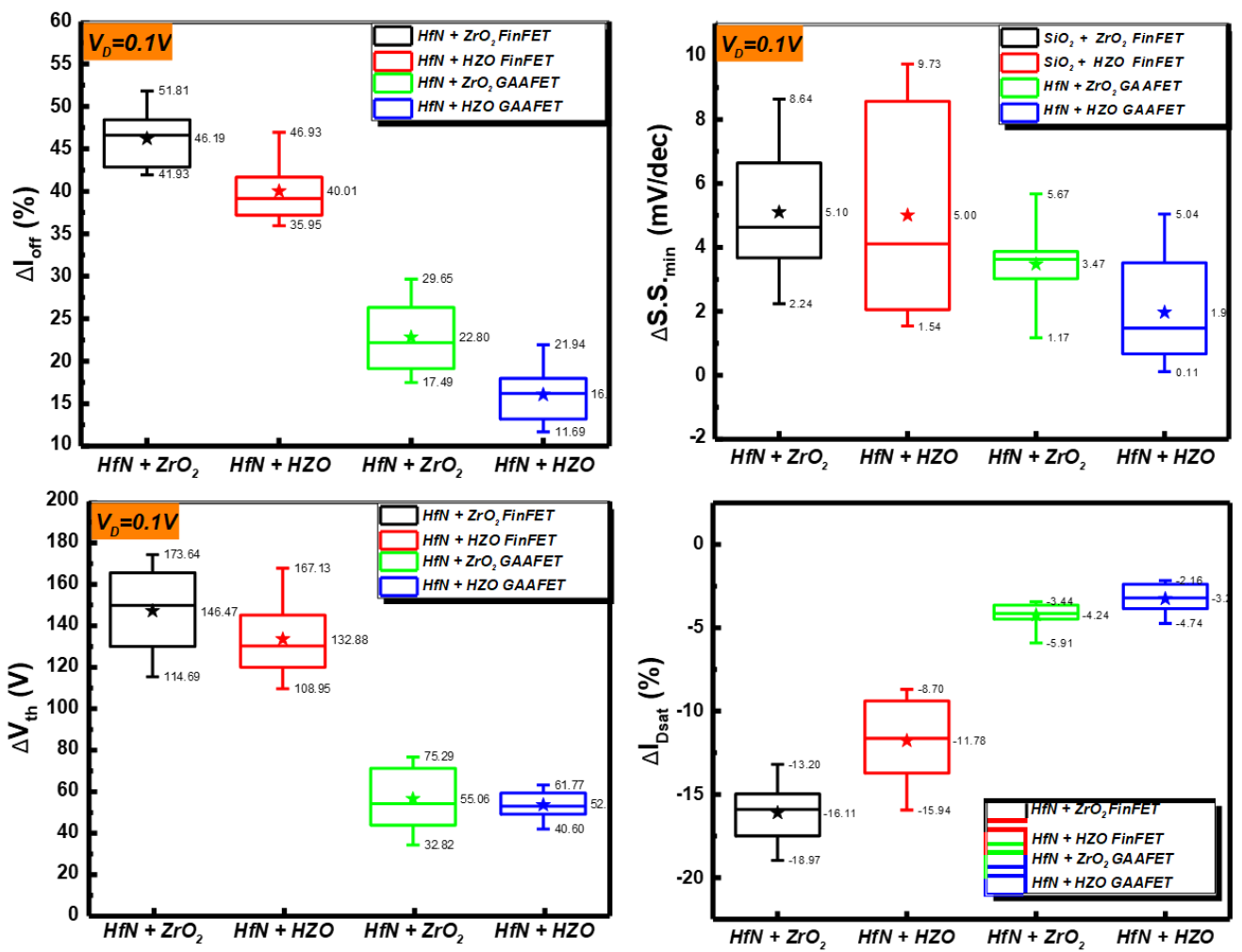


圖 5-3-3-15 輻射傷害對 HfN/ZrO₂ 與 HfN/HZO 矽鍺超晶格通道 n-FinFET / n-GAAFET 元件特性之影響

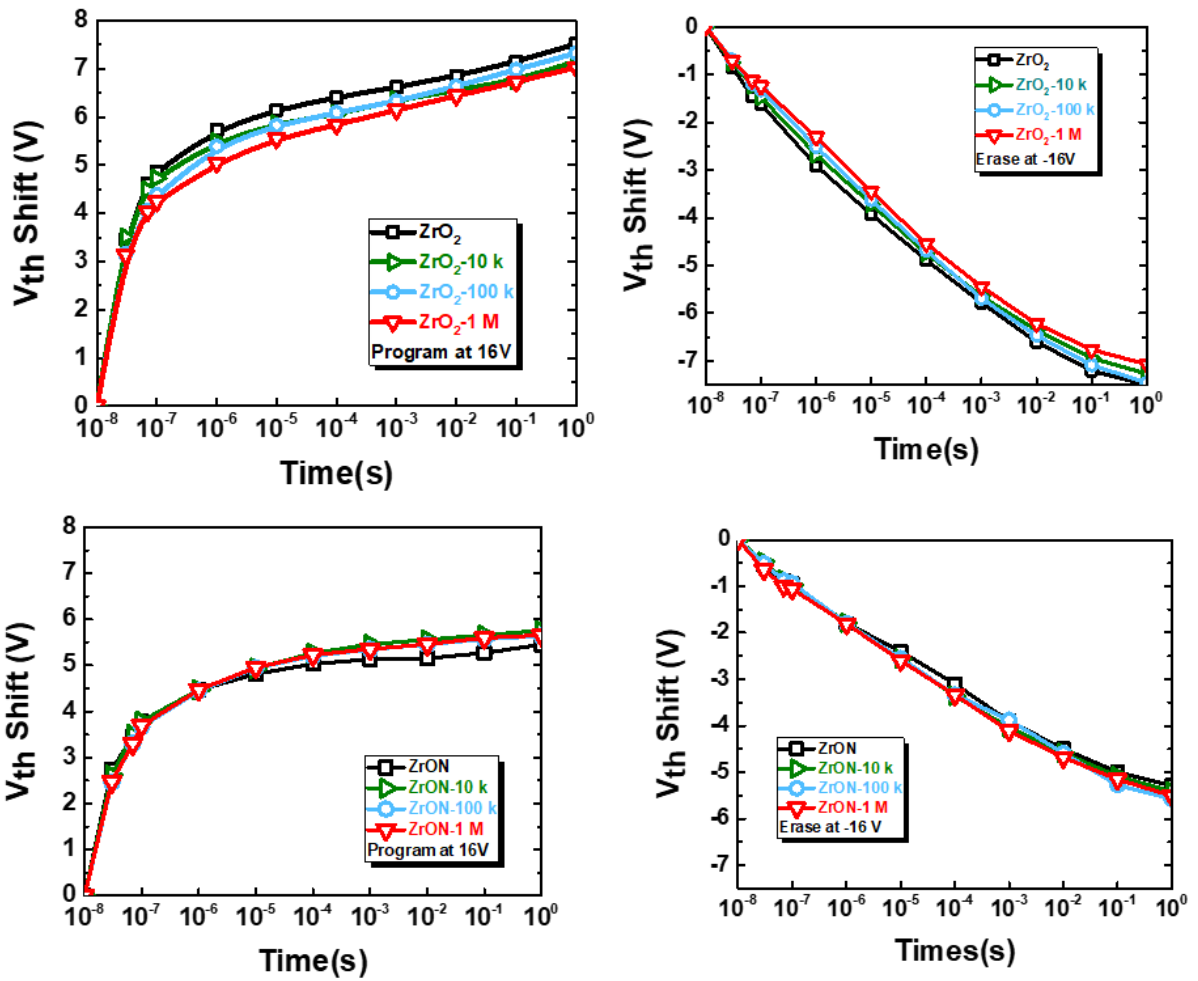


圖 5-3-3-16 快閃記憶體樣品受不同輻射劑量傷害後的特性變化

c. 寬能隙半導體材料與元件之輻射效應評估：SiC 功率元件之各式輻射效應分析

碳化矽 (SiC) 功率元件因其寬能隙特性，被視為太空、核能等嚴苛環境中電源轉換系統的關鍵技術。本子項旨在系統性評估商用 SiC 蕭特基二極體 (SBD)、接面勢壘二極體 (JBS Diode) 以及平面型/溝槽型 MOSFET 元件，對總游離劑量 (TID，以加馬射線模擬) 與總非游離劑量 (TNID，以中子輻射模擬) 的耐受性，以釐清其潛在失效機制。

(a) 對抗 TID (加馬射線) 具高耐受性：

- SiC 二極體 (SBD/JBS)：在高達 10 MRad 的加馬射線照射下，元件的導通電流、順向操作特性及逆向操作特性等電性參數均保持高度穩定，幾乎沒有發生劣化。
- SiC MOSFETs：無論是平面型或溝槽型結構，在 TID 輻射下，其 I-V 特性、導通電流及阻斷能力均保持高度穩定。
- SiC 元件因其寬能隙特性，對 TID 輻射具有優異的固有抗性。9

(b) TNID (中子輻射) 造成顯著性能下降：

- SiC 二極體 (SBD/JBS)：儘管對 TID 具有高耐受性，但中子輻射照射後，二極體的順向導通電流顯著降低，逆向漏電流略有增加。
- SiC MOSFETs：中子輻射亦導致 SiC MOSFETs 的導通電流明顯下降，影響元件性能。
- 損傷機制：中子輻射屬於高能粒子，會直接撞擊 SiC 晶格原子，造成晶格位移損傷，進而產生深能階缺陷 (Deep-level defects)。這些缺陷會捕獲或散射載子，導致載子濃度和遷移率降低，是造成元件性能劣化的主要原因。
- SiC 元件的主要可靠度風險來自中子輻射引發的晶格位移損傷，這為未來 SiC 元件在核能或高能物理環境下的應用設計提供了重要的參考依據。

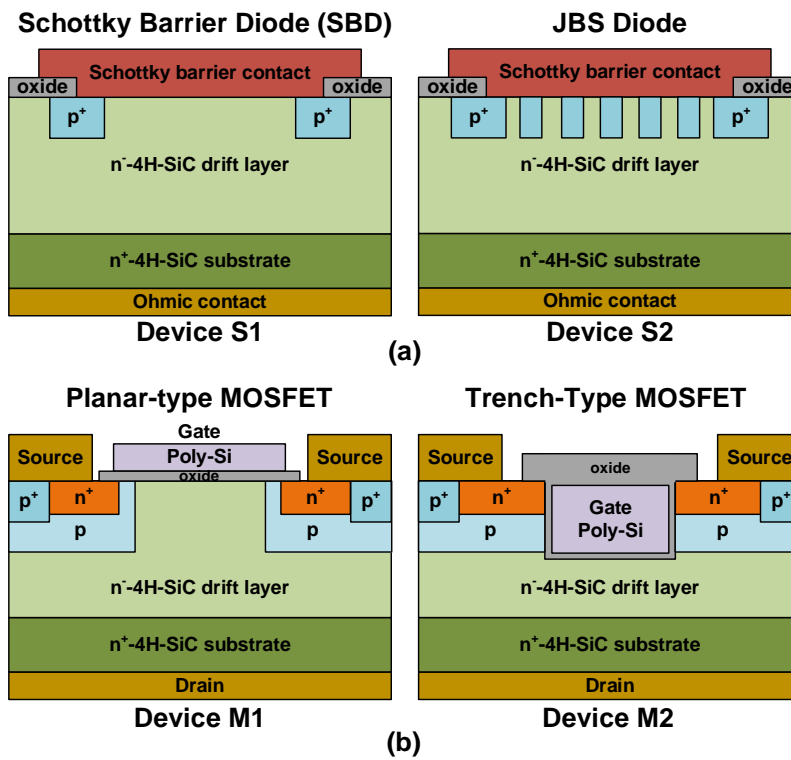


圖 5-3-3-17 (a) SiC SBD 與 JBS Diode ; (b) Planar-type 與 Trench-type SiC MOSFET 結構示意圖

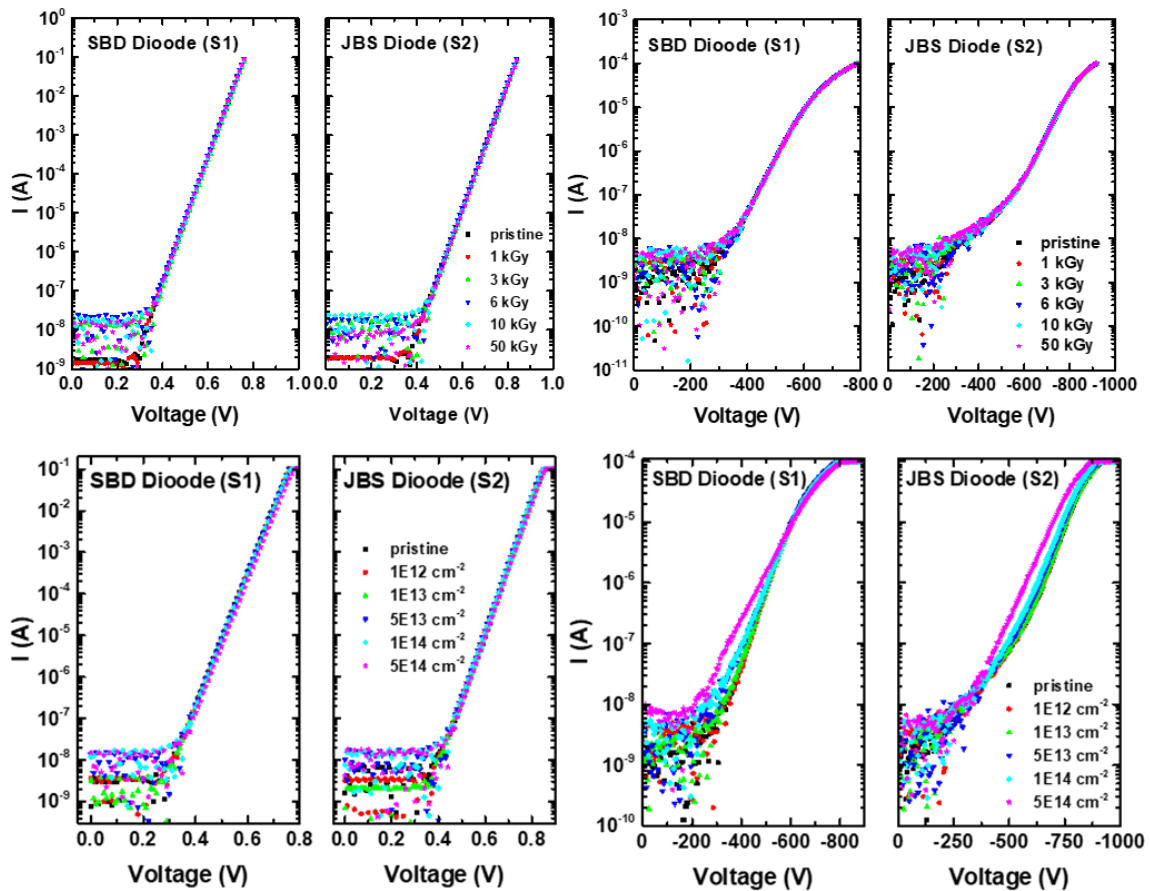


圖 5-3-3-18 SiC SBD 與 JBS Diode 元件特性隨加馬 TID (上圖) 及中子 TNID (下圖) 輻照變化

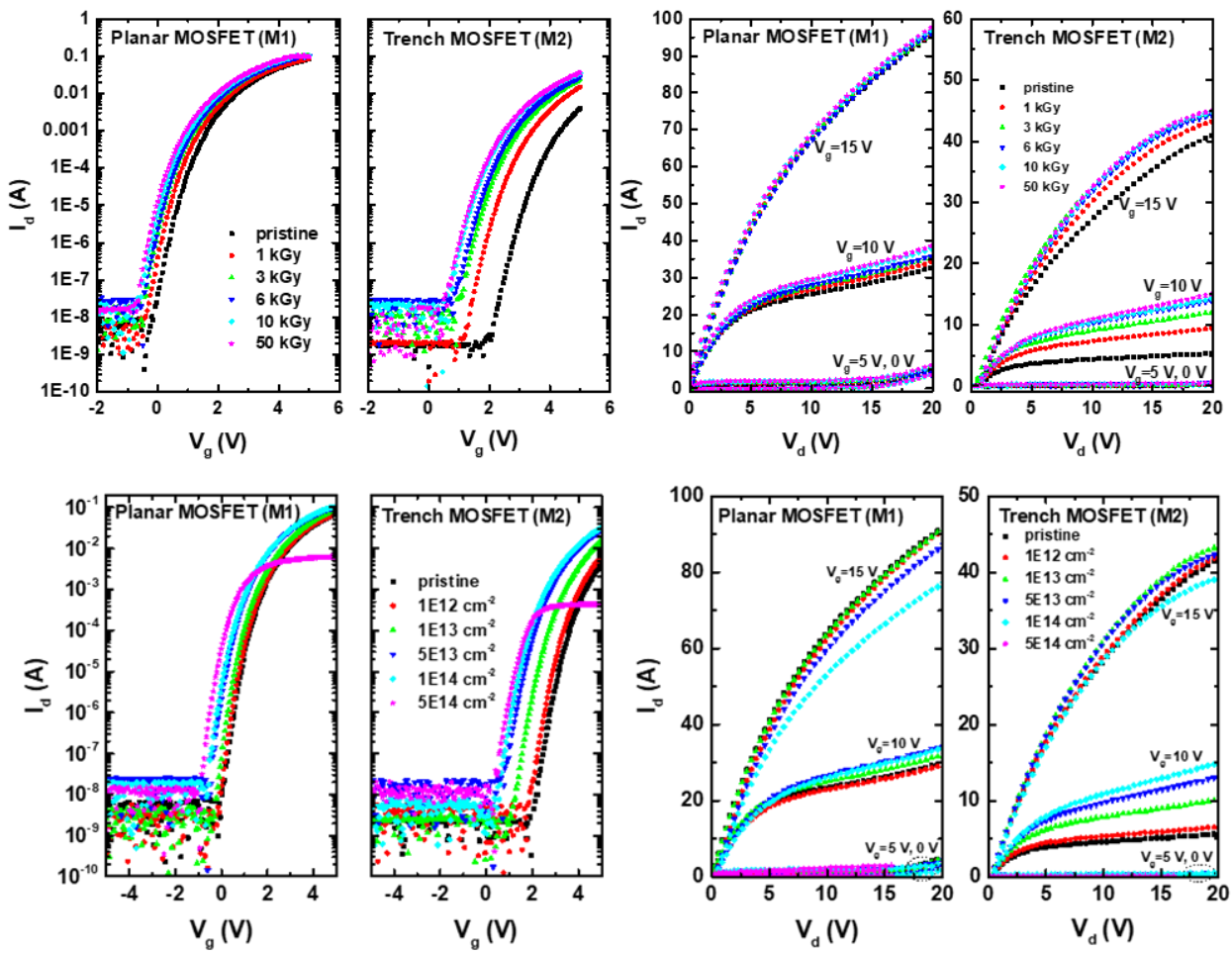


圖 5-3-3-19 平面型與溝槽型 SiC MOSFET 元件特性隨加馬 TID (上圖) 及中子 TNID (下圖) 輻照變化

2.半導體光源設備自主能力建構

中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計、試作與應用研究

a.極紫外光光源收集鏡系統設計、模擬與製作

光源收集鏡的設計目標是透過光學模擬軟體，設計出符合聚光點性質需求的光路，並能兼容不同電極結構的收光鏡系統。本計畫預計採用掠角入射 (grazing-incidence) 光學系統，以實現最大化的收光立體角，並選擇如金或鉑等貴金屬作為鏡面鍍膜材料，以確保在極紫外光波長下具備高反射率。

目前考量複雜度及初步應用將以橢圓面鏡設計為主，並透過光學模擬軟體，探討適合之鏡面材料、尺寸等，未來可再依應用製作合適類型之收集鏡。製作方面，初期測試預計採用之材料、收光效率及尺寸規格如表 5-3-3-3，並已尋求國外產學研單位(如 Rigaku、蔡司、Fraunhofer IWS 及 NTTAT 等)討論設計及委託製作之可行性，惟此類客製鏡片價格昂貴，因此預計也將與國儀中心就其光學鏡片製作經驗共同逐步研發自主收光鏡製程。由於鏡面設計預期會隨最終光源參數調整，因此現階段將以建立設計模擬方法為主，後續待光源架構穩定後再行套用設計方法，往擴大鏡面尺寸以增加收光角度及收光效率之方向進行。散熱需求後續年度將逐步提升之發光功率及收集鏡規格，並估算所需的散熱需求，再決定是否需要解決散熱的方法。

表 5-3-3-3 掠角入射收集鏡設計規格

收集鏡幾何類型	拋物面鏡
鏡面材料	Ru 或 Au
入射面直徑	20 mm
射出面直徑	21.9 mm
收集鏡長度	100 mm
入射面光源距離	500 mm
收光掠角角度	0.5~0.6°
收光效率	0.0067%

b.放電電漿產生極紫外光光源之電極結構優化

本計畫的光源模組開發平台採用發光效率較高的 Z 軸壓縮(Z-pinch)機制。放電電漿模擬流程已完成設計，主要流程為在 COMSOL 上建立電極模型，完成放電電漿的磁流體動力學(MHD)模擬，獲得電漿參數(如溫度、密度)。隨後已團隊建立之自動化程式將這些參數輸入美國國家標準技術研究所(NIST)提供的 FLYCHK 碰撞-輻射原子模型模擬軟體，以計算電漿離子能階分佈及特徵線譜，從而得出輻射頻譜。電極架構選擇上，則先已文獻較完整之 DPF 及架構較單純之 Capillary Z-pinch 先進行模擬，114 年度則以驅動電壓需求相對較低的 DPF 電極先行製作測試。

模擬部分，為定性驗證 MHD 模型模擬 Z-pinch 架構，初步先將保留關鍵結構(如毛細管長度等)之簡化 Capillary Z-pinch 幾何架構於 COMSOL 上進行建模，如圖 5-3-3-20。模擬結果如圖 5-3-3-21 所示，從電漿密度分布來看確實有成功產生 Pinch 區域之分布趨勢。此外，也將 DPF 簡化架構根據實際製作之 DPF 電極參數(如表 5-3-3-4)進行 COMSOL 建模及模擬，其他相關參數如表 5-3-3-5 所示，模擬結果如圖 5-3-3-22 及圖 5-3-3-23 所示，從電漿之溫度及密度分布也可看出電漿有往陽極開口端聚集的趨勢。雖然目前模擬之電漿密度分布數值與文獻上之較高發光效率之電漿密度模擬數值($\sim 10^{24-25} \text{ m}^{-3}$)有所差距(如圖 5-3-3-24)，但其原因主要為考量 MHD 模型建模耦合牽涉到電磁場、流體力學以及熱傳輸等方程式的複雜性，初始模擬條件不夠完善所致，後續將藉由調整相關參數嘗試優化電漿密度分布(Pinch 位置、大小等)，以尋找較適合之模擬參數。後續年度將評估使用基於 PIC 方法(如 Vsim 等)的電漿模擬軟體建立較精準之氣體崩潰初始條件，以進一步提升精度並優化光源設計，逐步提升發光功率。

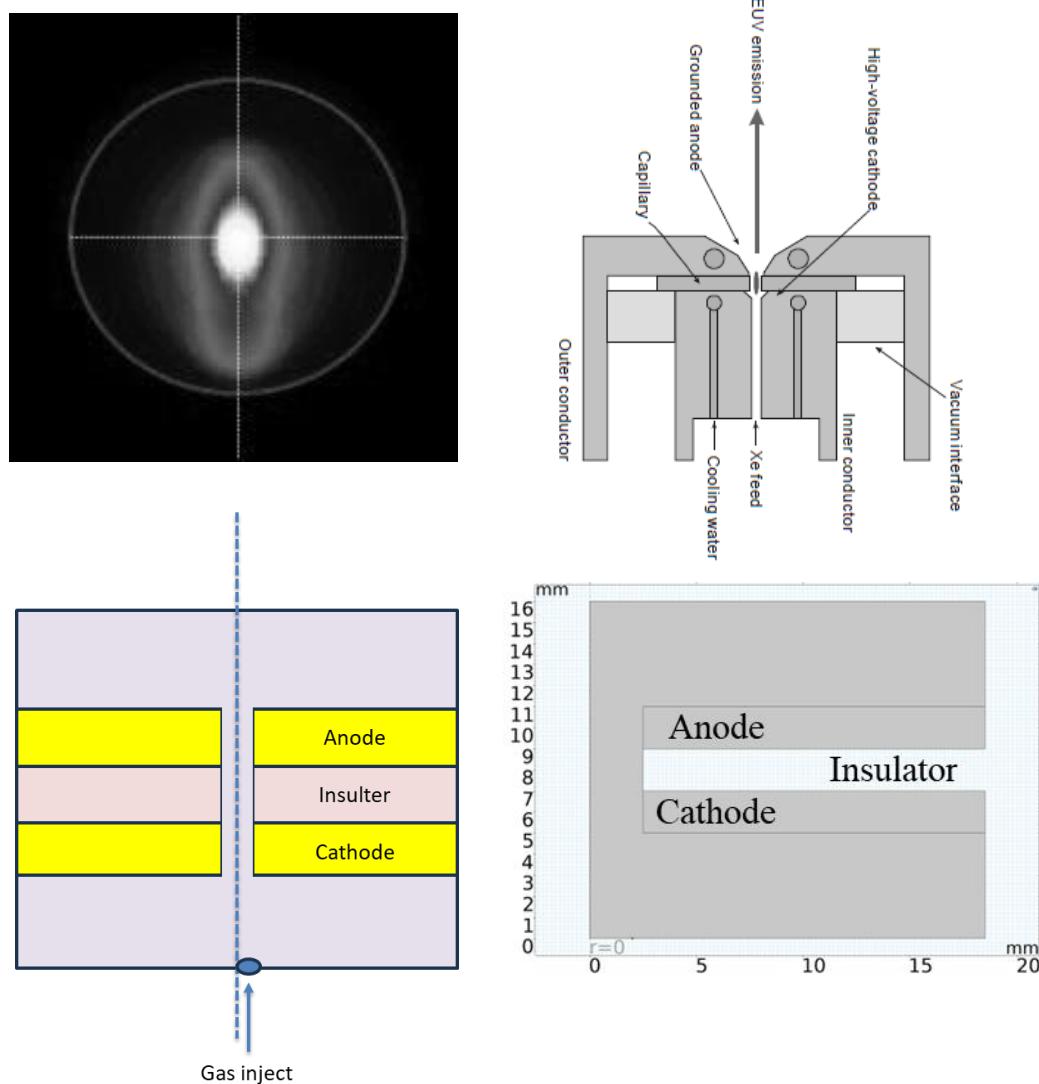


圖 5-3-3-20 參考之 Capillary Z-pinch 電極結構及 pinch 電漿之 CCD 影像(上); COMSOL 電極結構幾何模型(下)

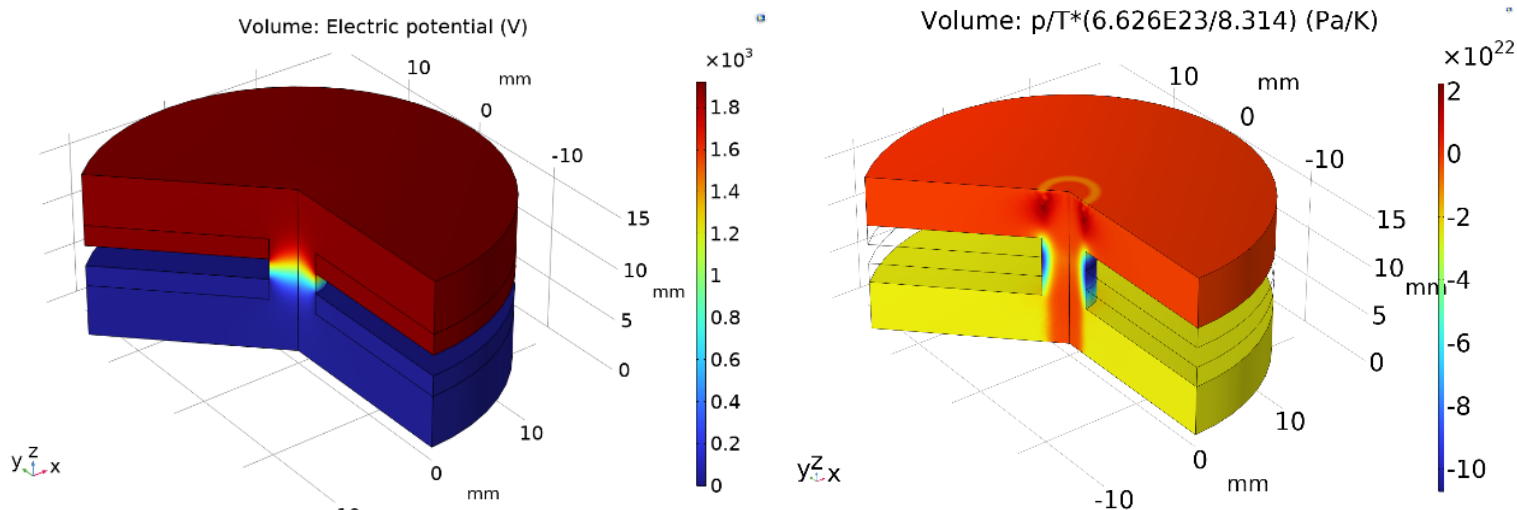


圖 5-3-3-21 Capillary Z-pinch COMSOL 電漿放電模擬結果：電位分布(左)；
密度分布(右)

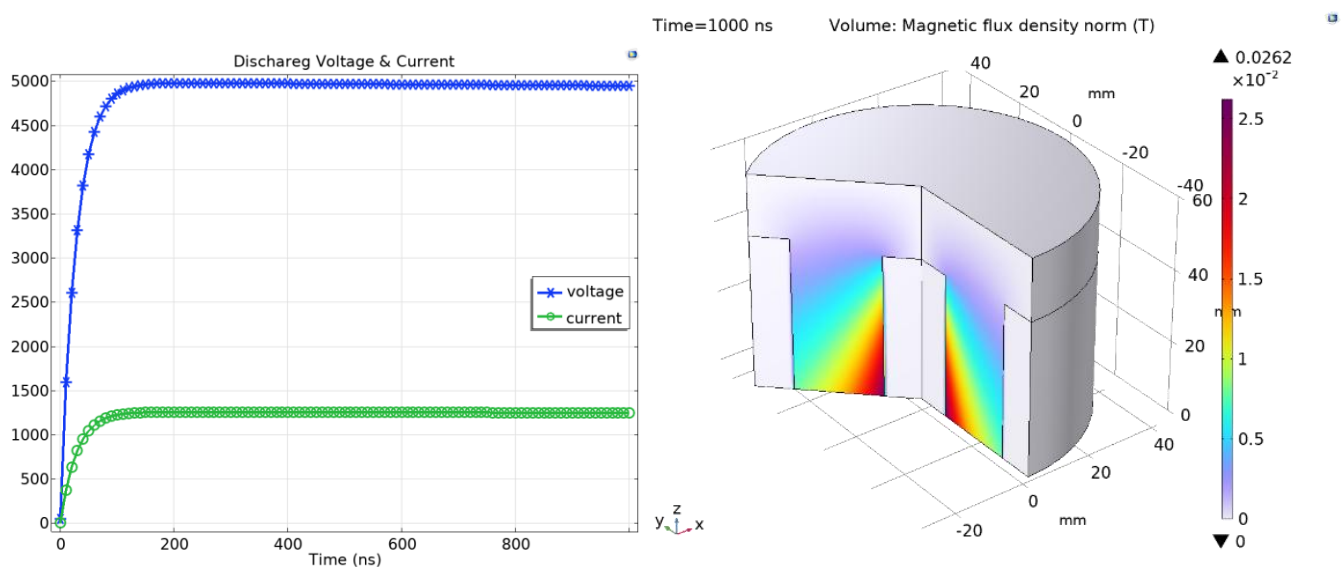


圖 5-3-3-22 DPF 電極結構 COMSOL 模擬結果：電壓電流波形(左)；磁場分布(右)

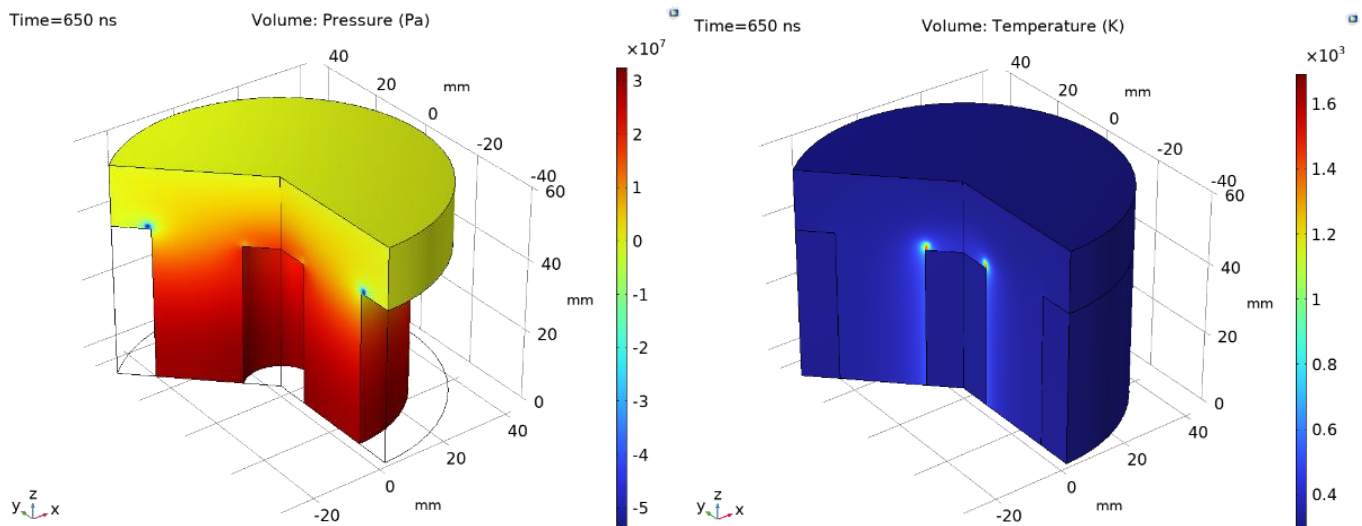


圖 5-3-3-23 DPF 電極結構 COMSOL 模擬結果：壓力分佈(左)；溫度分佈(右)

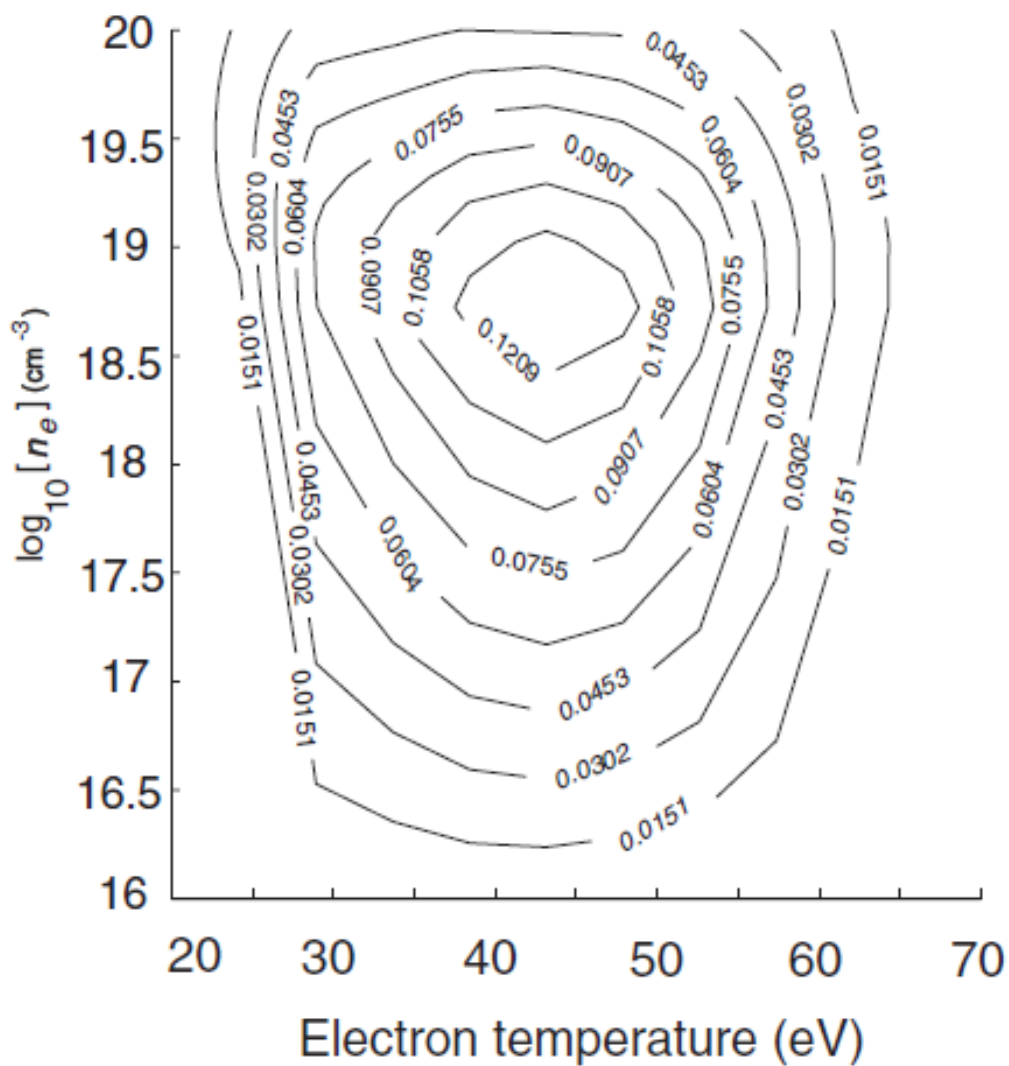


圖 5-3-3-24 基於碰撞-輻射模型計算之電漿轉換效率(單位： $\% \text{ sr}^{-1}$ 於 2% 頻寬內)於不同電子密度和電漿溫度中的等高線圖，最大轉換效率大約在 $10^{18} < n_e < 10^{19} \text{ cm}^{-3}$

表 5-3-3-4 DPF 電極設計參數

參數	設計值
金屬材料	銅
絕緣材料	氧化鋁
陰極內徑	3.2 cm
陰極柱直徑	1 cm
陰極長度	4.3 cm
陽極內徑	0.65 cm
陽極厚度	0.3 cm
陽極長度	4 cm

電極設計製作方面，主要考量 Xenon 氣體之帕邢曲線(如圖 5-3-3-25)以及放電參數進行設計，目前也與合作廠商(旭鼎奈米科技)完成 DPF 架構電極之細部設計及製作，電極 CAD 圖、關鍵尺寸、使用材料及實體照片如圖 5-3-3-26、圖 5-3-3-27 及表 5-3-3-5 所示。後續將以此作為光源模組之原型測試架構，未來將視技術成熟度與資源配置，再逐步擴展至其他結構之設計優化與驗證，並將選用耐熱性、導熱性、抗侵蝕及電阻較低的幾種材料組合進行製作及測試，以進一步提升電極壽命及發光功率，建立更完整的技術基礎。

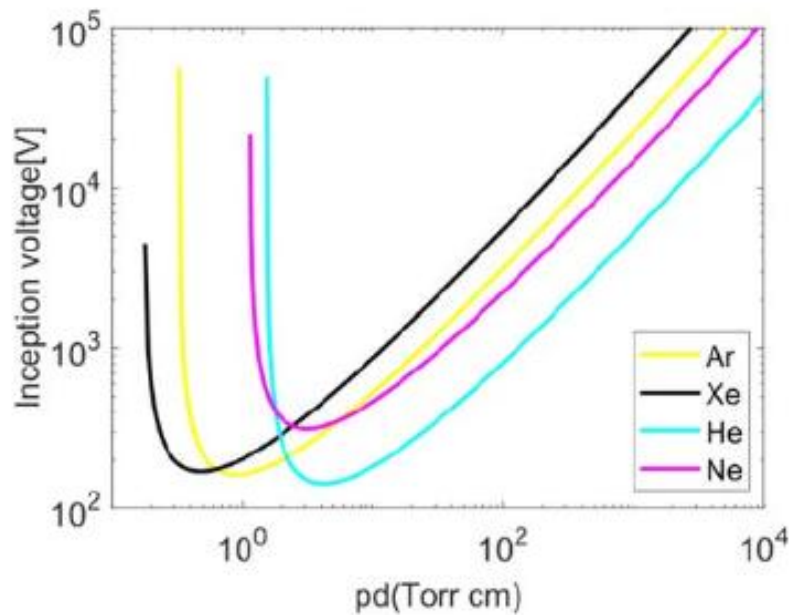


圖 5-3-3-25 不同氣體於室溫之帕邢曲線

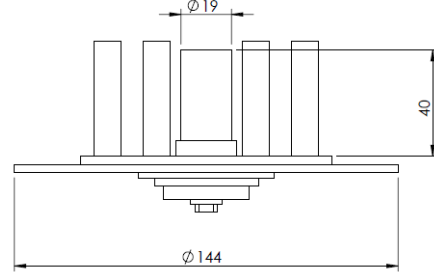
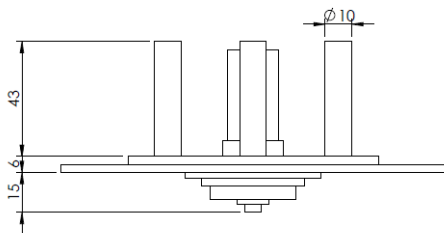
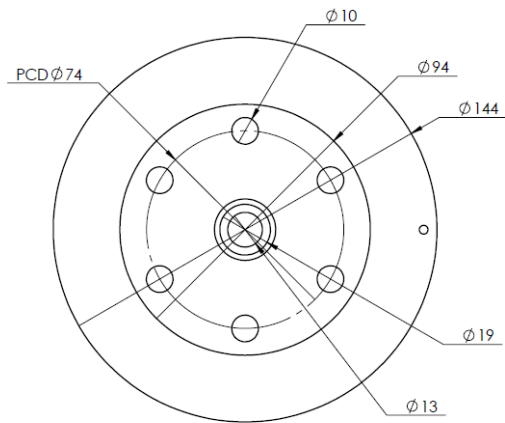
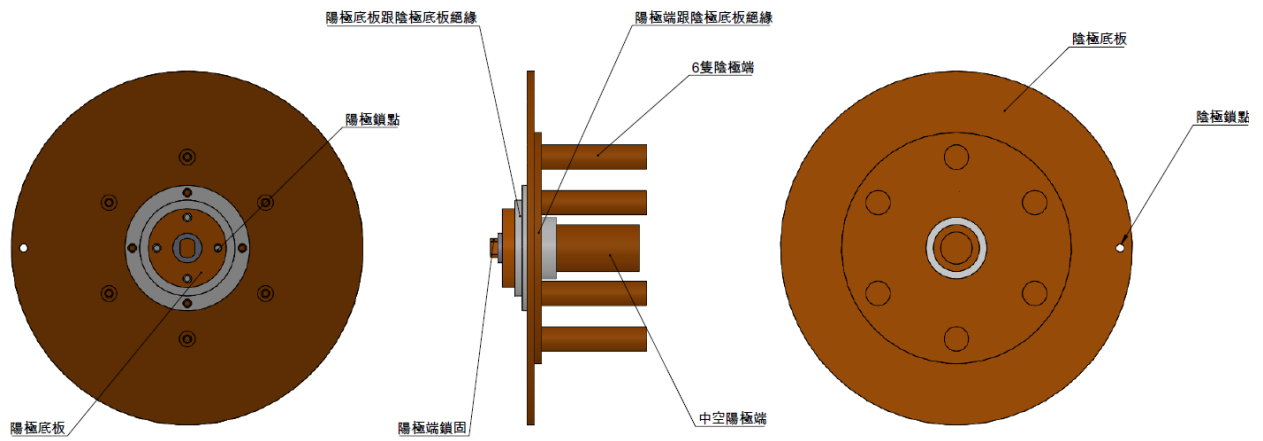


圖 5-3-3-26 DPF 架構電極設計 CAD 圖



圖 5-3-3-27 DPF 電極照片

表 5-3-3-5 COMSOL DPF 模擬參數

參數	數值
電容值	30 μF
電容初始電壓	5 kV
電感值	110 nH
電阻值	12 m Ω
初始溫度	300 K
初始壓力	0.01 Torr

c. 極紫外光光源腔體及溫度與壓力控制系統設計製作

腔體結構及以過去本團隊與國儀中心合作設計製造的極紫外光製程腔體為基礎並參考文獻中的極紫外光光源腔體設計(如 Cymer DPF 與布拉格捷克理工大學 Capillary Z-pinch 光源模組) 進行修改。目前真空腔體系統已建置工作氣體氣流控制及輸入模組、真空幫浦模組、壓力監控模組及光感測器、CCD、出光孔位以及電極和電源 feedthrough 孔位，架構圖、實體設備照片及設備列表如圖 5-3-3-28 和表 5-3-3-6 所示。待近期電極製作完成後即可進行系統原型整合測試。

真空系統方面，腔體未通工作氣體時可抽至 10^{-6} Torr 以下真空度，符合運作需求。散熱部分，以本計畫現階段採購的 1kW 高壓直流電源，其散熱能力至多需 700W 至 1kW，待光源模組可穩定運作後，導入一般水冷散熱設備於電極基座應足以應付，後續逐步提升功率後再參考文獻提到之中空電極設計增加散熱接觸面積以提高散熱能力。

電漿量測系統部分，目前已採購 AXUV100G 光感測器，用於量測 EUV 能量及定義發光功率，CCD 部分現有的 X-Ray CCD Camera (PI-MTE:2048B) 也將用於量測電漿光源尺寸、收光品質及監控其穩定性，後續將再自製或採購 Zr 薄膜濾波片，以吸收非目標頻段光。

後續年度真空腔體相關模組之優化將借重國儀中心於腔體設計製作方面之經驗，規劃陸續建置其他必要之設備及模組。

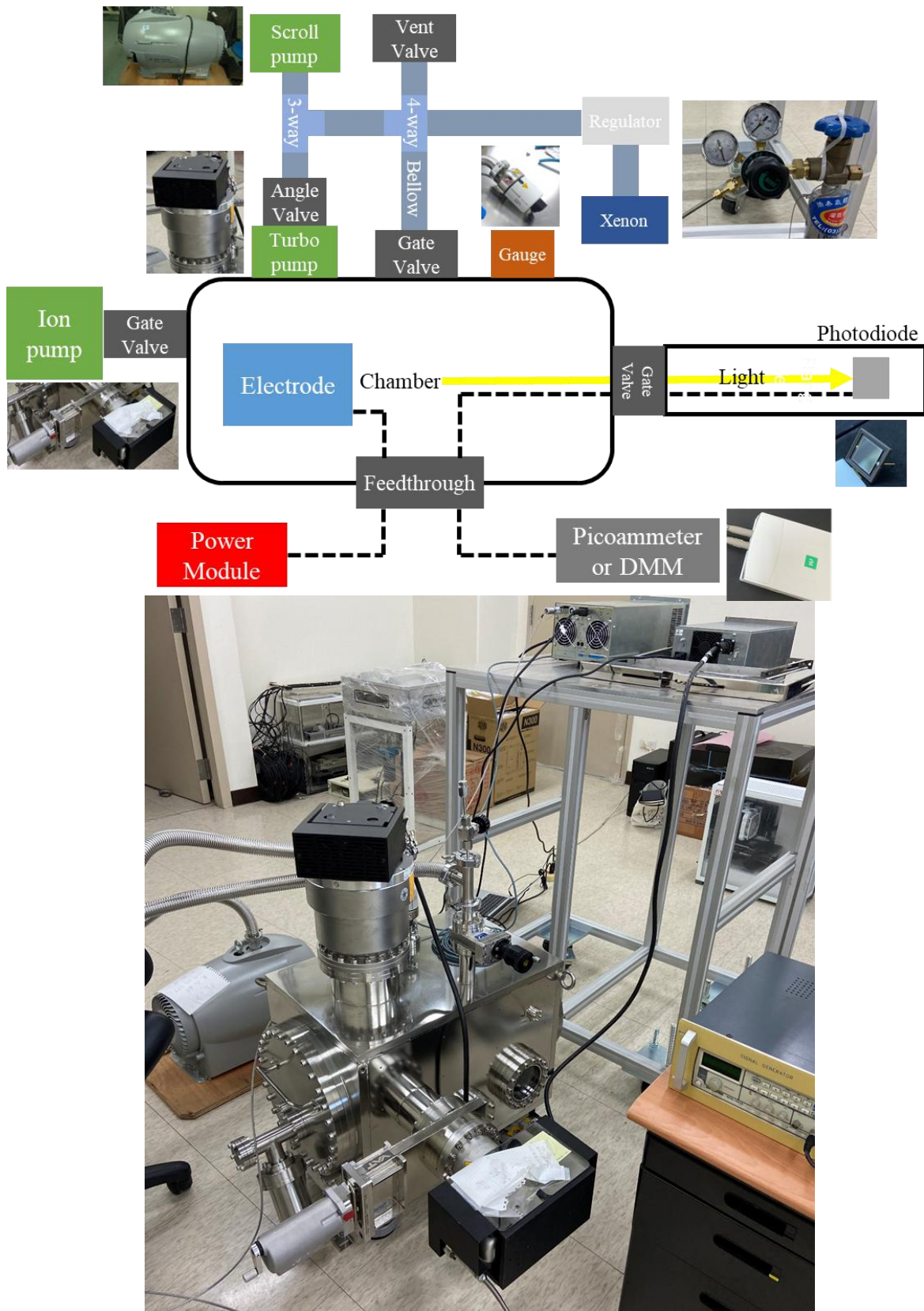


圖 5-3-3-28 真空腔體系統架構圖及實體照片

表 5-3-3-6 真空腔體系統設備列表

設備名稱	廠牌型號	型號
渦輪幫浦	PURGE	訂製品
乾式幫浦	Agilent	IDP-15 Scroll Pump
離子幫浦	Agilent	Valcon Plus 75 StarCell Ion Pump
真空計	Pfeiffer Vacuum	PKR 251
光感測器	Opto Diode Corp	AXUV100G
CCD 相機	Princeton Instruments	PI-MTE:2048B

d. 高壓脈衝電源電路設計製作

電源電路部分目前本團隊已完成初版優化之磁脈衝壓縮電路架構設計以及電容充放電模擬，並先進行低功率之測試驗證架構可行性，後續待設備及元件完備後再逐步提高至目標規格，以完成符合需求規格之優化電源模組。目前藉由 SIMPLIS 8.4 版進行高壓脈衝電路之模擬。其中輸入電壓 $V_{in}=200V$ ，輸出電壓 $V_o=9kV_{pulse}$ ，脈衝重複頻率 $f_s=5kHz$ ，升壓變壓器匝數比 $N_1:N_2=3:90$ ，負載電阻 $R_L=2k\Omega$ 。圖 5-3-3-29 所示為擬實現磁脈衝壓縮電路之系統架構圖，其模擬之輸出電壓 V_o 可達 $9kV$ 之正脈衝特性，如圖 5-3-3-30 所示。圖 5-3-3-31 所示為系統主電路中之功率開關之 v_{gs} 及 v_{DS} 模擬波形。另外，圖 5-3-3-32 所示為升壓變壓器一次側及二次側之電壓波形，如圖所示藉由可飽和鐵芯的特性使得變壓器兩側大部分時間解耦而產生脈衝電壓的輸出，圖 5-3-3-33 為可飽和電感電壓之模擬結果。

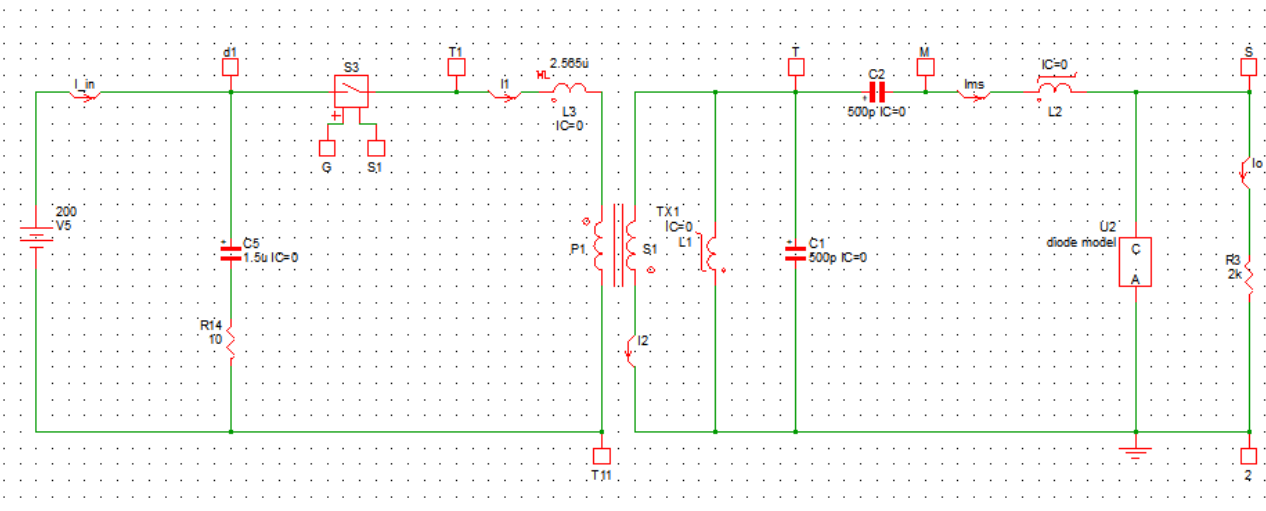


圖 5-3-3-29 磁脈衝壓縮電路模擬之系統架構圖

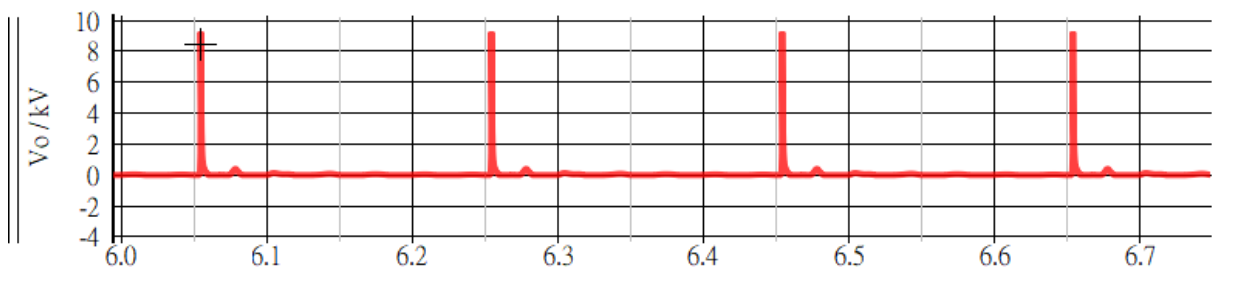


圖 5-3-3-30 輸出正脈衝電壓($V_o=9.95\text{kV}$)模擬結果

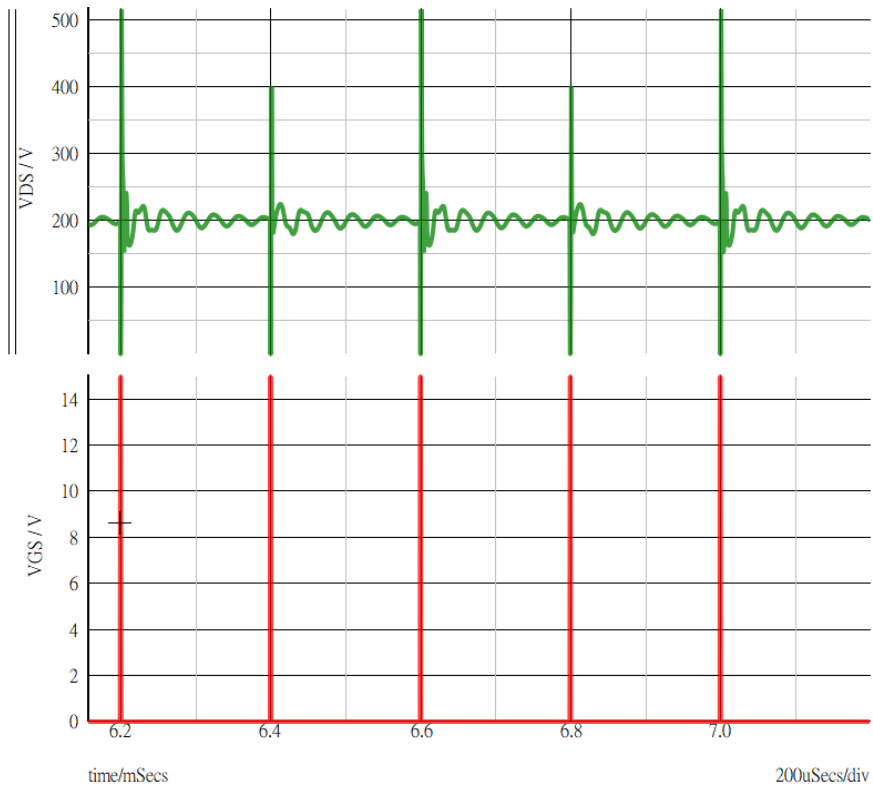


圖 5-3-3-31 開關 v_{gs}, v_{DS} 之模擬結果

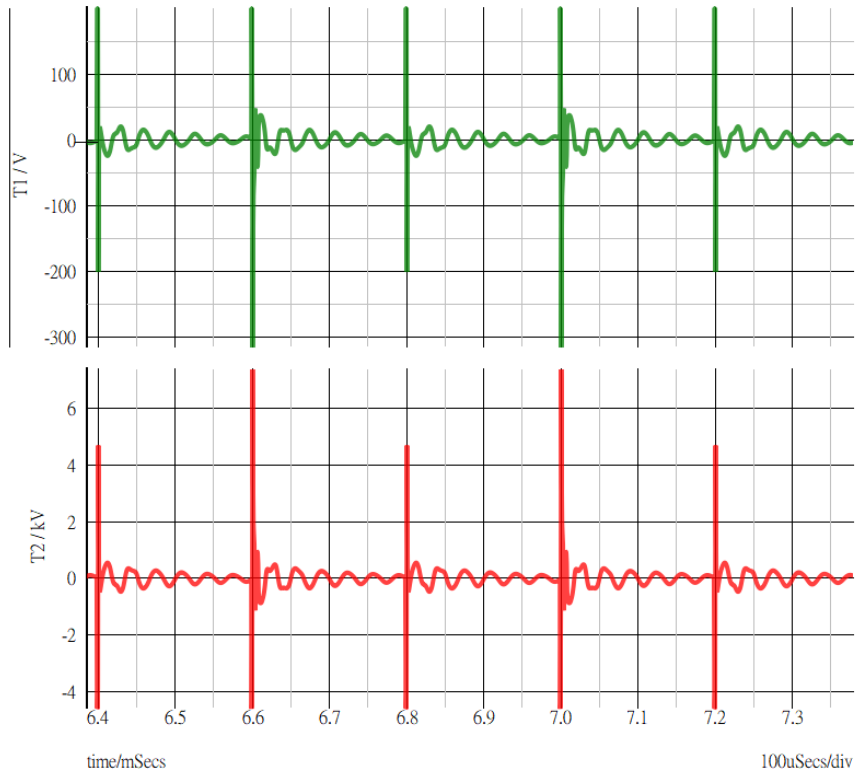


圖 5-3-3-32 變壓器一次側,二次側電壓模擬結果

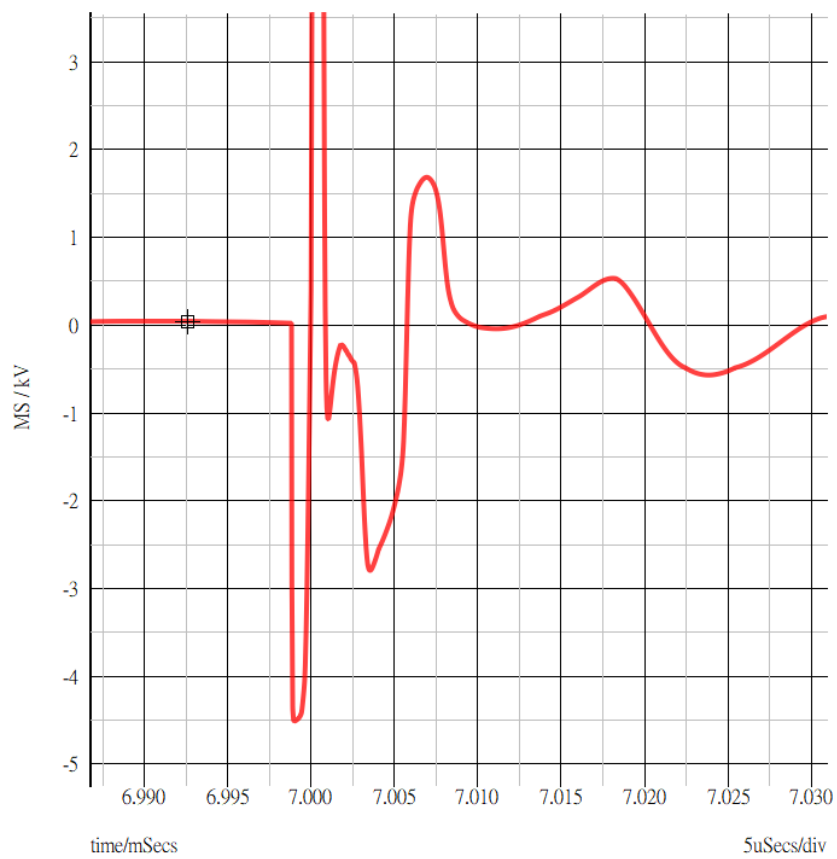


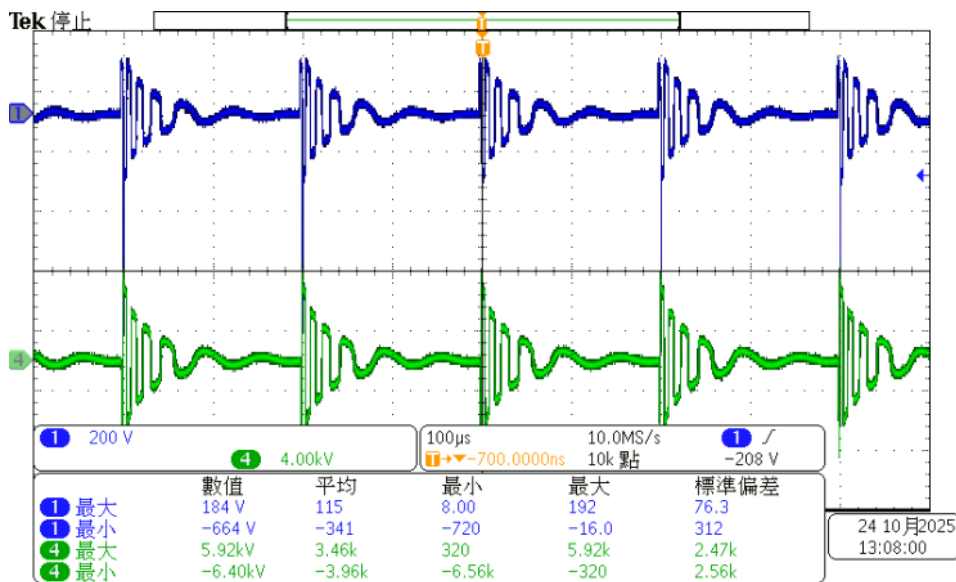
圖 5-3-3-33 可飽和電感電壓之模擬結果

電路測試部分，本計畫主電路之各項基本功能實測數據如表 5-3-3-7 所示，包括系統之輸入、輸出電壓、變壓器一、二次側電壓、可飽和電感電壓、輸入、輸出電流及功率開關的各項參數。

表 5-3-3-7 系統主電路之各項實測數據

負載 $R_L=2k\Omega$ ，條件下	
V_{in}	200V
$V_{o-pulse}$	10kV
變壓器一次側 V_{pri}	184V
變壓器二次側 V_{sec}	5.92kV
變壓器匝數比 n	23
可飽和電感 MS	$V_{ms,max} = 5.6kV$ $V_{ms,min} = -4kV$
I_{in}	1A
I_o	$I_{o,max} = 0.18A$ $I_{o,min} = -0.432A$
I_{MS}	$I_{MS,max} = 0.4A$ $I_{MS,min} = -0.128A$
f_s	5kHz
v_{gs}	18.4V
v_{DS}	880V
Duty cycle	1%

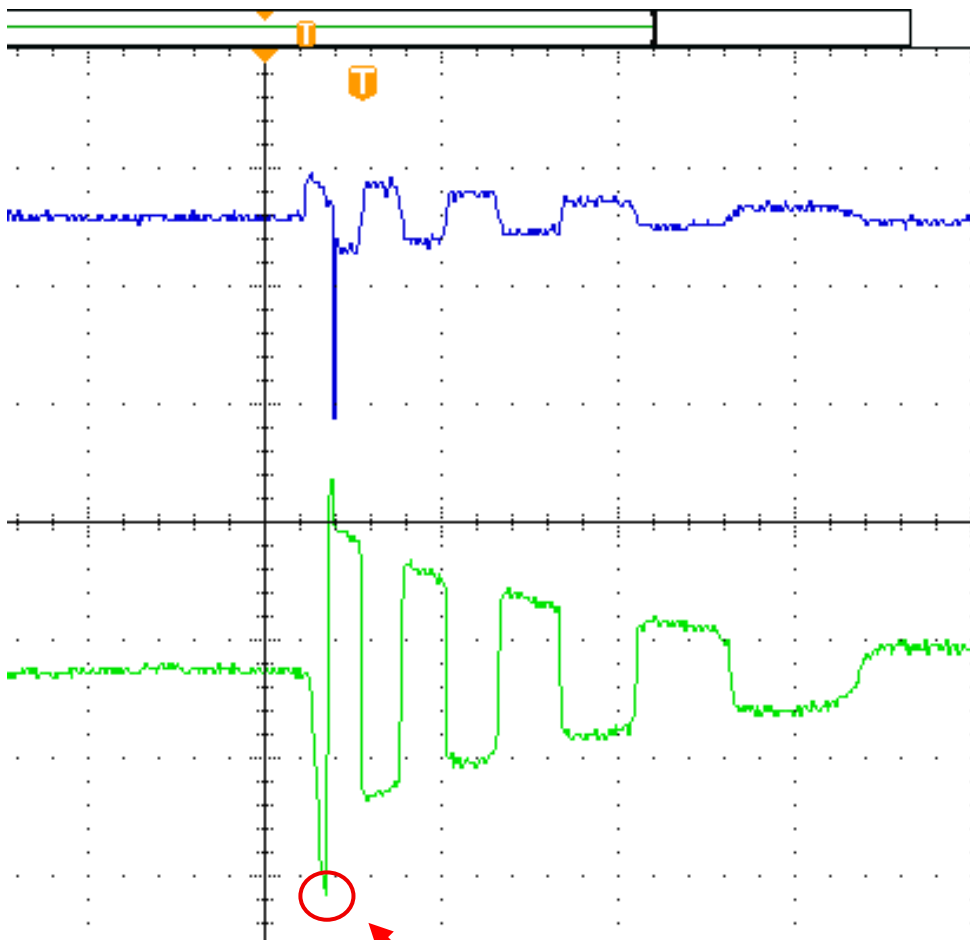
測試波形部分，圖 5-3-3-34 所示為變壓器一次側、二次側的電壓，將其操作週期展開後可觀察到可飽和變壓器發生飽和的位置(如圖 5-3-3-35)。圖 5-3-3-36 所示為輸出電壓的實測波形，最高電壓約達 10kV，由圖 5-3-3-37 可觀察其脈寬約為 8.2 μ s。圖 5-3-3-38 為可飽和電壓之電壓波形。圖 5-3-3-39 為系統測試之實體照片，測試環境已盡可能做好絕緣措施，操作人員亦已戴護目鏡及絕緣手套等裝備後才進行相關測試，如圖 5-3-3-40 所示。先前亦已至台大竹北校區進行移地測試，如圖 5-3-3-41 所示，以減少後續電極製作完成進行整合測試可能遭遇之問題。



一次側電壓

二次側電壓

圖 5-3-3-34 變壓器電壓波形



一次側電壓

二次側電壓

變壓器於此處發生飽和，且二次側電壓極性反轉

圖 5-3-3-35 變壓器電壓波形放大圖

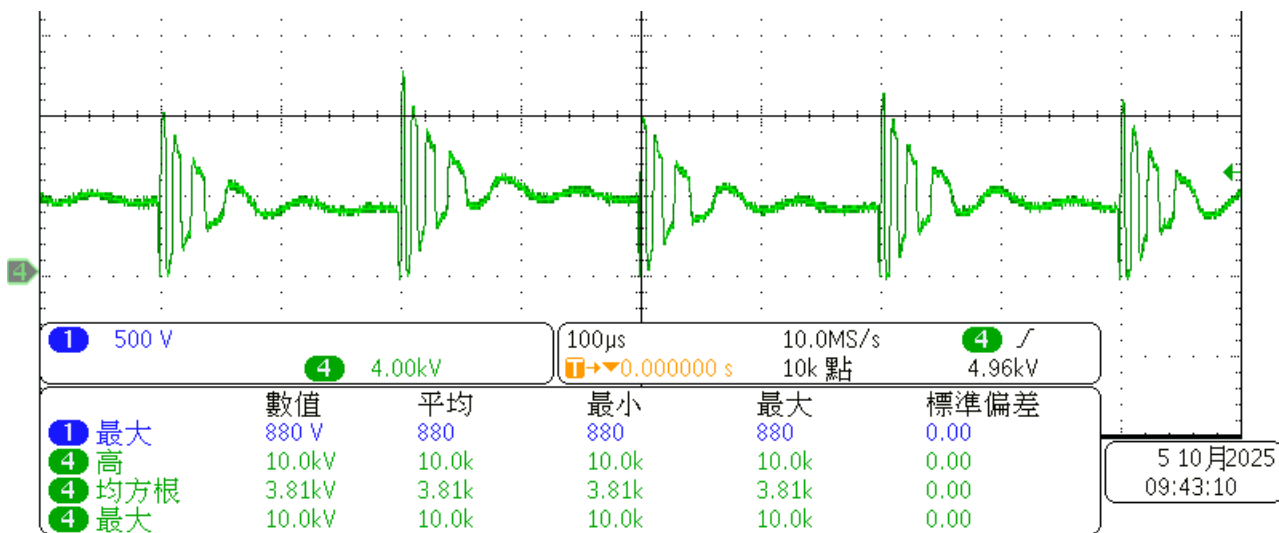


圖 5-3-3-36 輸出電壓 Vo 之波形圖

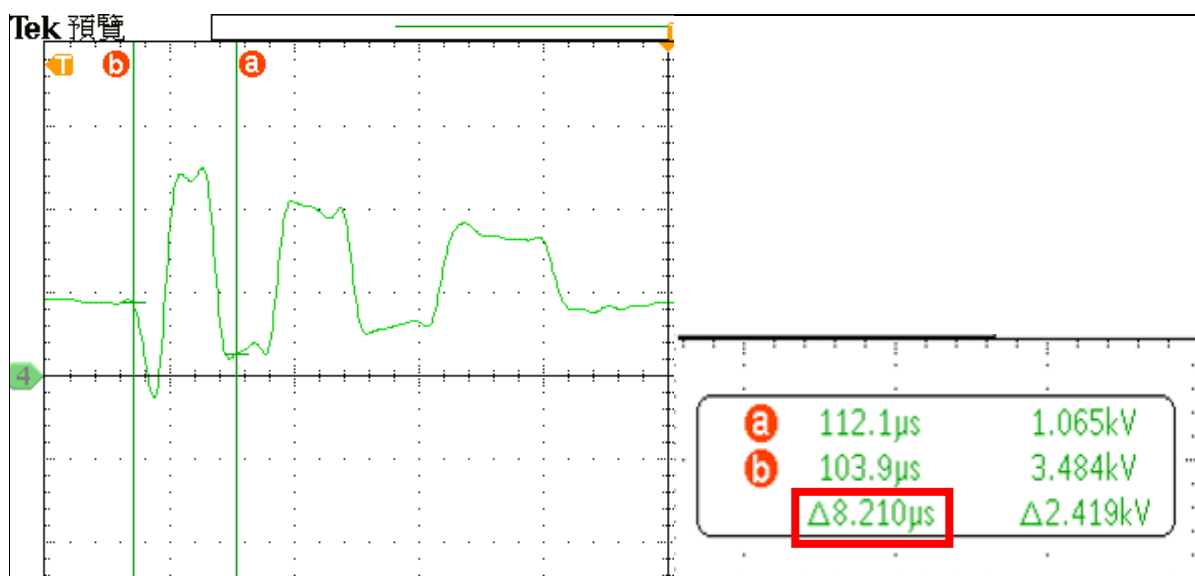


圖 5-3-3-37 輸出電壓 Vo 之波形放大圖及脈寬

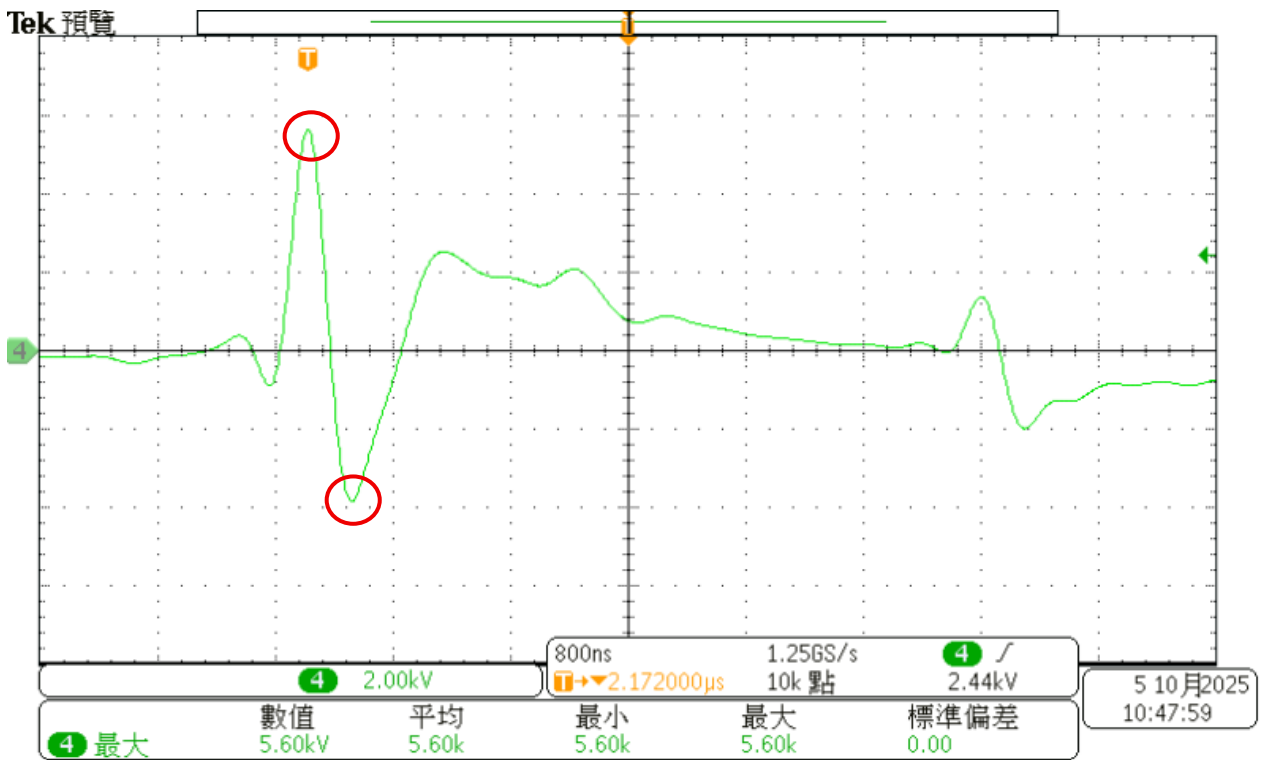


圖 5-3-3-38 可飽和電感電壓波形圖(紅色圈為飽和點)

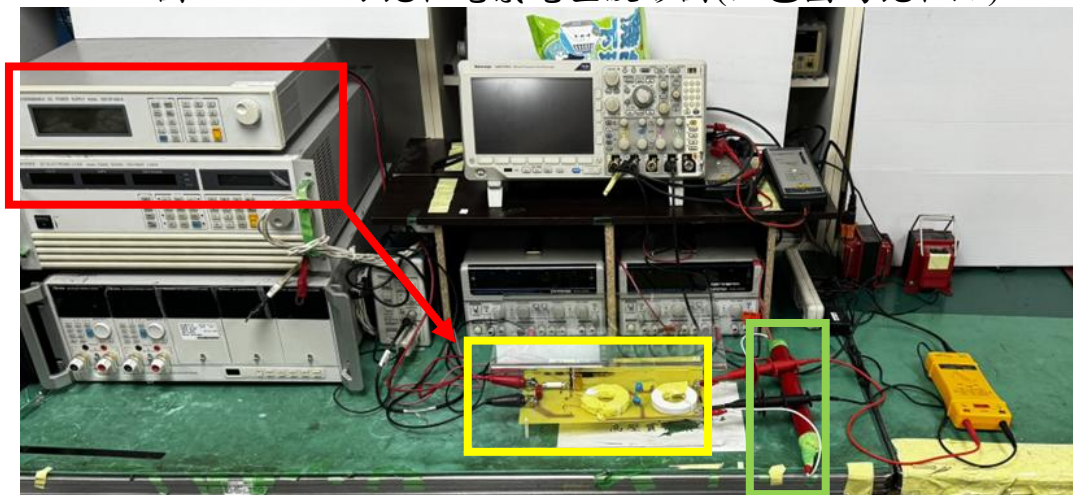


圖 5-3-3-39 磁脈衝電路實體照片(紅色框：電源供應器輸出 200V；黃色框：磁脈衝壓縮電路；綠色框：輸出負載 2kΩ)



圖 5-3-3-40 實驗人員安全措施示意圖

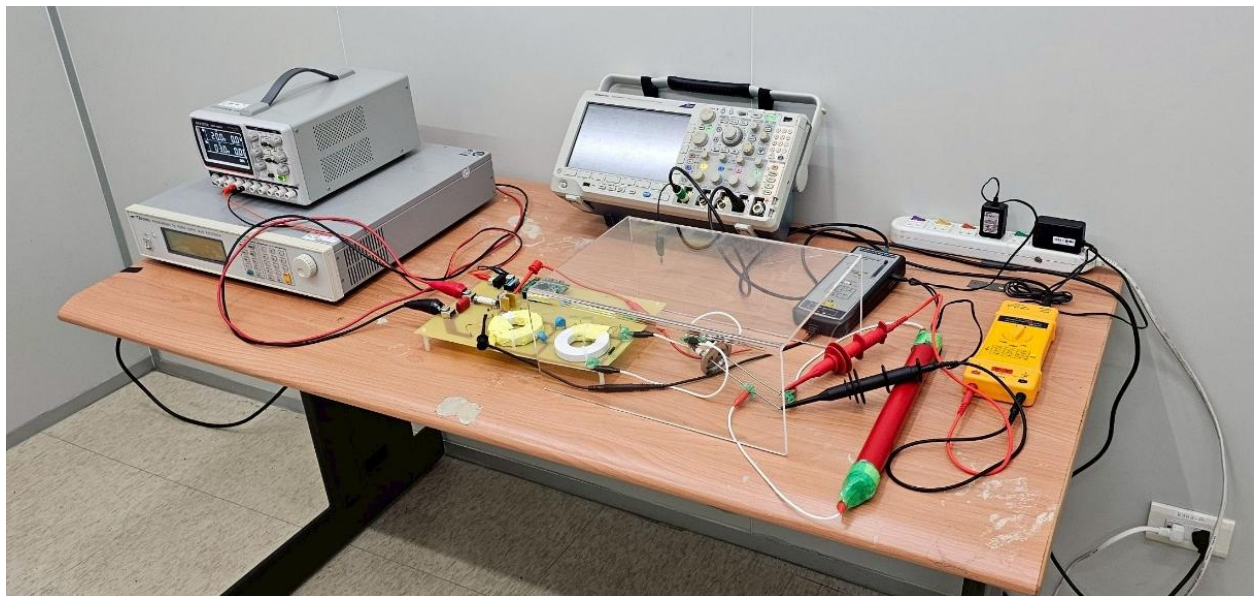


圖 5-3-3-41 台大竹北校區碧禎館實驗室電路移地測試

e. 放電電漿產生極紫外光源整合測試

放電電漿發光整合測試部分，目前本團隊已完成初步整合真空腔體、電源電路模組及 DPF 電極進行測試，測試架構如圖 5-3-3-42。

初步測試結果可產生放電電漿，在輸入電壓於 140V(輸出脈衝電壓約 4.6kV)時尚未看到陽極前端有明亮區域(如圖 5-3-3-43)，而在輸入電壓大於等於 155V 時(輸出脈衝電壓約 5.5kV)可於陽極前端產生較為明亮的區域(如圖 5-3-3-44)，推測應有產生電漿壓縮的現象，大致符合 DPF 電極設計之工作電壓(4-5kV)。相關實驗參數及量測數據如表 5-3-3-8，後續將再對產生之電漿光源進行分析以得到轉換效率及發光功率，並逐步完善各模組以穩定提升發光功率。

表 5-3-3-8 放電電漿發光實驗參數

參數	數值
壓力 (Torr)	1.5×10^{-1}
輸入電壓 (V)	100、120、140、155、165、185、 190、200、205
最大輸出脈衝電壓 (V)	6.96 k
最大輸出脈衝電流 (A)	6.1
輸出脈寬 (μs)	1.48

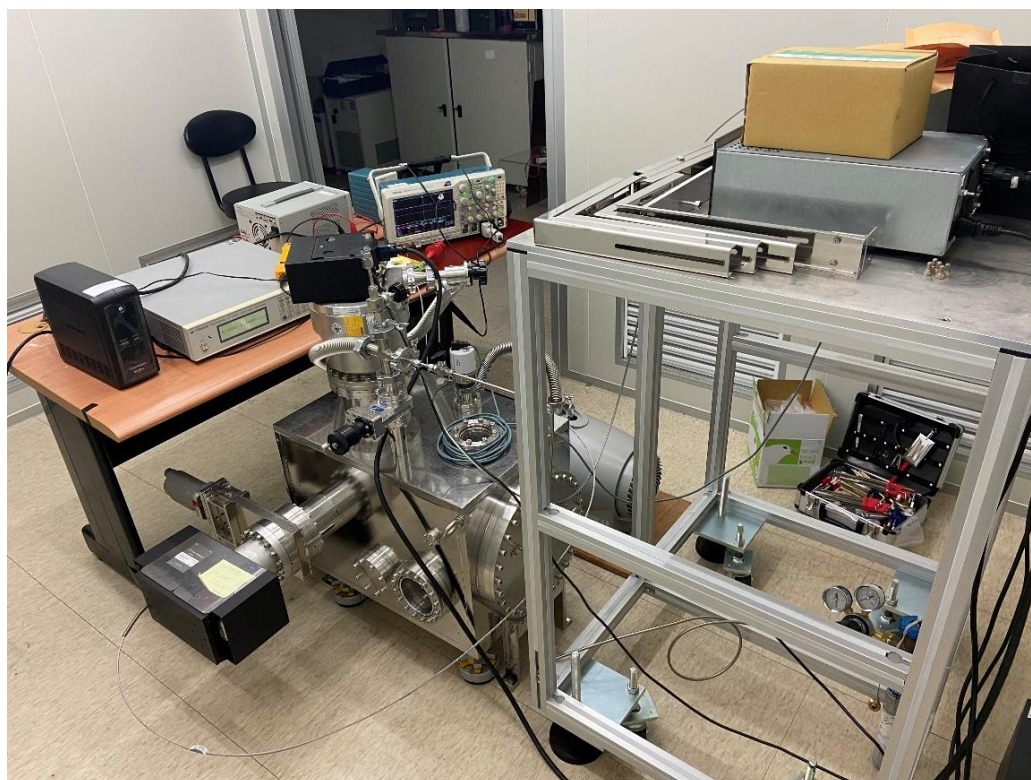


圖 5-3-3-42 台大竹北校區碧禎館實驗室放電電漿整合測實體照片

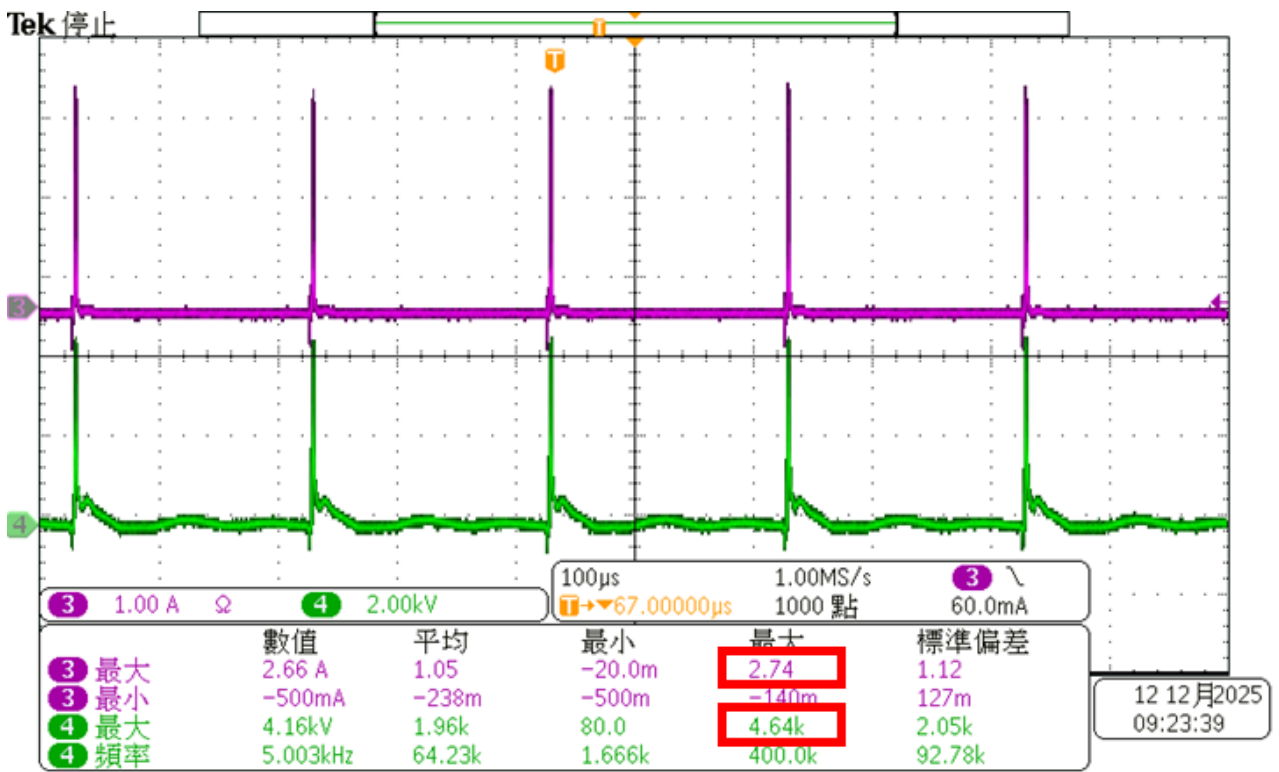
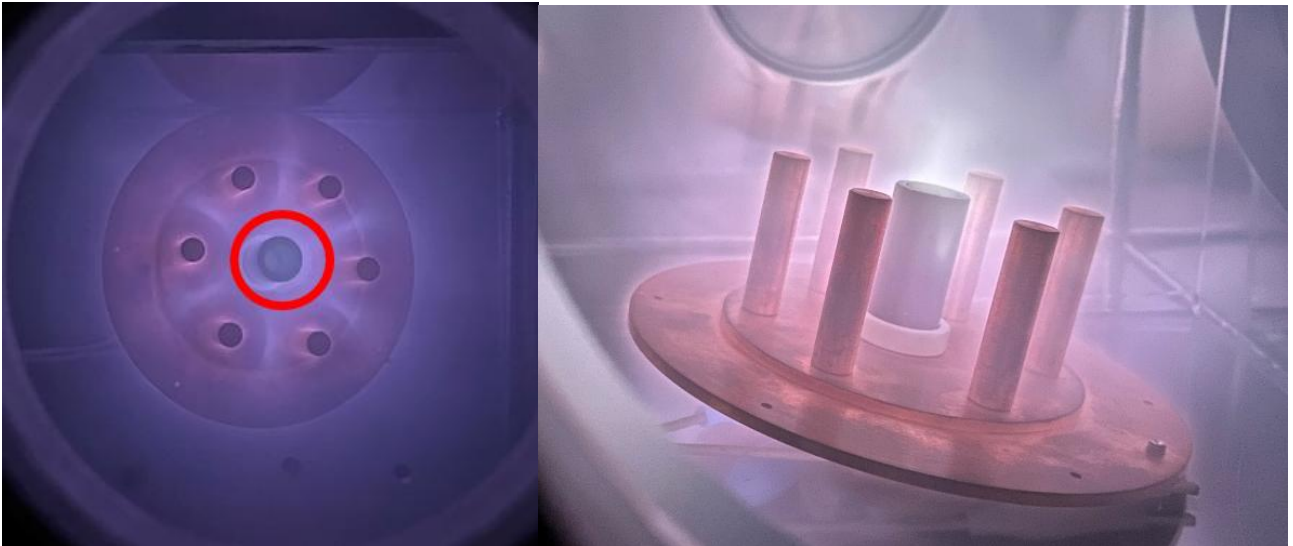


圖 5-3-3-43 輸入電壓 140 V 之電極放電照片(上)及量測電壓電流波形(下)

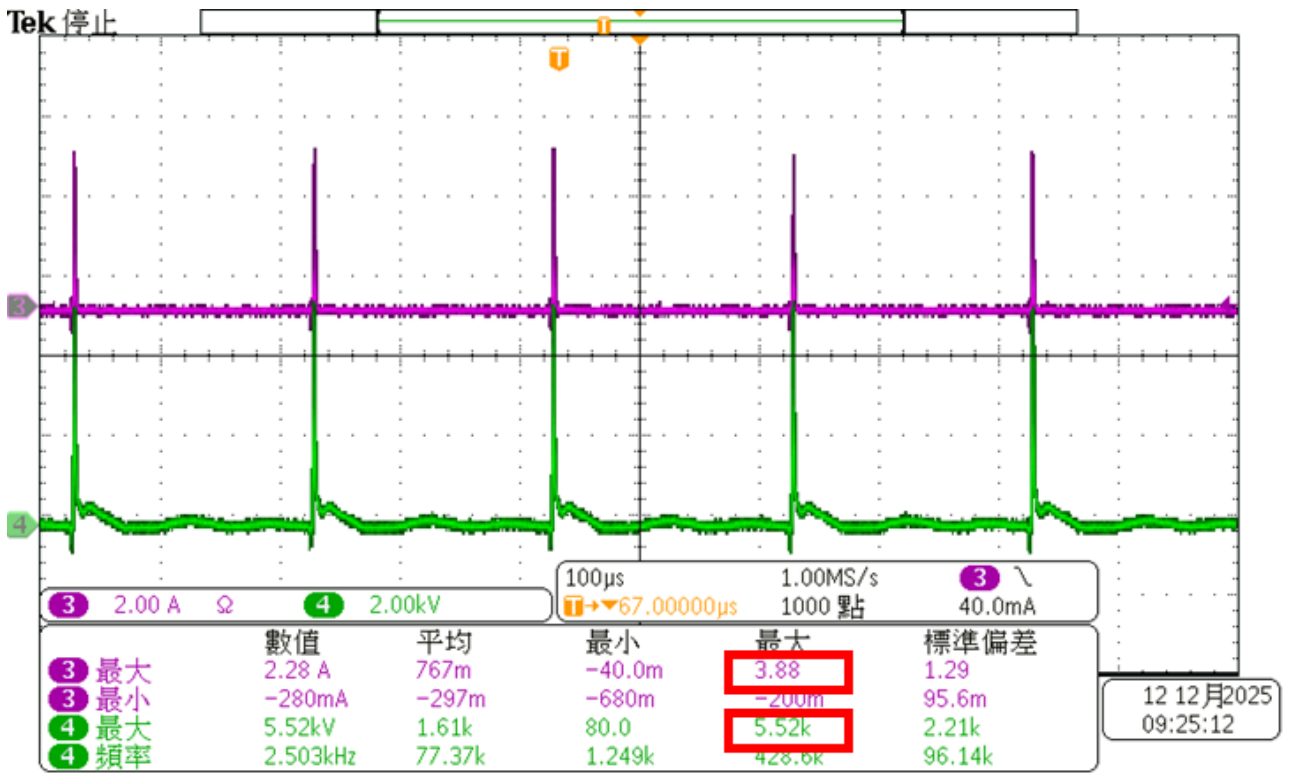
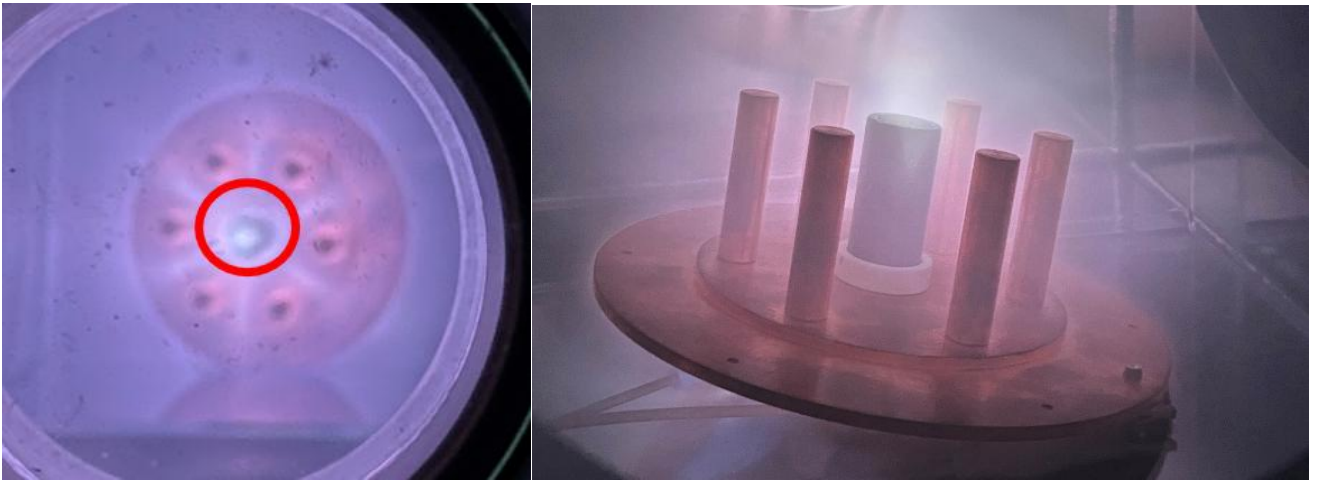


圖 5-3-3-44 輸入電壓 155 V 之電極放電照片(上)及量測電壓電流波形(下)

三、其他補充說明

細部計畫	執行機構	法定數 (千元)	占比(%)
1.原子能科技施政支援推動	核安會、財團法人核能資訊中心、財團法人核能科技協進會、財團法人核能與新能源教育協進會、國中小學校	3,980	7.78%
2.原子能科技學術合作研究	核安會、國科會	29,933	58.49%
3.原子能科技研發環境建構	核安會、國原院、臺灣大學、清華大學	16,153	31.56%

附錄、細部計畫

一、全程架構及經費

項目	年度	114年度 決算數（執行率）
科技計畫總計		51,987(101.58%)
原子能科技施政支援推動	小計	5,846(146.88%)
	(一)經常支出	5,791(149.02%)
	1. 人事費	0(%)
	2. 材料費	0(%)
	3. 其他經常支出	5,791(149.02%)
	(二)資本支出	55(58.51%)
	1. 土地建築	0(%)
	2. 儀器設備	0(%)
	3. 其他資本支出	55(58.51%)
原子能科技學術合作研究	小計	29,933(96.56%)
	(一)經常支出	29,833(96.55%)
	1. 人事費	0(%)
	2. 材料費	0(%)
	3. 其他經常支出	29,833(96.55%)
	(二)資本支出	100(100.00%)
	1. 土地建築	0(%)
	2. 儀器設備	0(%)
	3. 其他資本支出	100(100.00%)
原子能科技研發環境建構	小計	16,208(100.05%)
	(一)經常支出	15,555(100.35%)
	1. 人事費	0(%)
	2. 材料費	0(%)
	3. 其他經常支出	15,555(100.35%)

	(二)資本支出	653(93.29%)
	1. 土地建築	0(%)
	2. 儀器設備	0(%)
	3. 其他資本支出	653(93.29%)

二、年度執行摘要

細部計畫 1	原子能科技施政支援推動	計畫屬性	組織維運/類業務	執行機關	核能安全委員會綜合規劃組
重點描述	一、方案規劃及計畫管理 二、國際合作與技術交流 三、科學教育與資訊推廣				
預算數(千元)	決算數(千元)	執行率(%)	節餘數(千元)	總人力(人年) 實際/規劃	
3,980	5,846	146.88%	39	11/11.0	
其他資源投入	因委辦費經立法院大幅刪減，考量計畫執行合理性及必要性，由核安會公務預算流用經費 135.5 千元支應。				
預期關鍵成果		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/合作對象	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 1-1:建立外部決策支援體系，並就科技佈局或管制支援議題提出 4 項政策建議。 細部計畫預期關鍵成果說明： 無		已完成「我國原子能管制技術支援體系建構」、「我國原子能科技決策支援體系建構」等委託研究計畫期末報告審查作業，已撥付第三期款項，召開專家學者座談會 7 場，提出我國原子能管制技術支援組織架構以及 115-118 年原子能科技民生應用發展策略藍圖草案，並已就科技佈局或管制支援相關議題提出至少 4 項政策建議。		核安會/產業界/財團法人核能資訊中心、財團法人核能科技協進會、財團法人核能與新能源教育協進會	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 1-2:辦理原子能科普活動，總觸及人次達 20,000 人以上，其中偏鄉區域，總觸及人次達 12,000 人以上。		辦理原子能科普活動，114 年度總觸及人次達 38,485 人，成果豐碩。		核安會/國中、國小學生/國中小學校	

細部計畫預期關鍵成果說明： 無		
遭遇困難與因應對策	114 年度原子能科普活動偏鄉區域觸及較少，係因年度國內出差旅費經立法院大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限，2 場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。	

細部計畫 2	原子能科技學術合作研究	計畫屬性	人才培育	執行機關	核能安全委員會綜合規劃組
重點描述	一、核能與除役安全科技 二、放射性物料安全科技 三、輻射防護與放射醫學科技 四、跨域合作與風險溝通				
預算數 (千元)	決算數 (千元)	執行率 (%)	節餘數 (千元)	總人力 (人年) 實際/規劃	
31,000	29,933	96.56%	1,066	2/2.0	
其他資源投入					
預期關鍵成果		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/合作對象	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 2-1:每年培育人才至少 24 名，合於未來 3 年重點產業所需。 細部計畫預期關鍵成果說明： 無		114年度本會共計補助旨揭 35 件計畫，其中 3 件計畫主持人業向國家科學及技術委員會申請計畫展期至 115 年度，專題研究計畫成果報告陸續繳交中，未完成計畫聯絡人持續追蹤後續執行。		核安會/學術界/國科會	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 2-2:研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題至少 12 件。 細部計畫預期關鍵成果說明： 無		114年度本會共計補助旨揭 35 件計畫，其中 3 件計畫主持人業向國家科學及技術委員會申請計畫展期至 115 年度，專題研究計畫成果報告陸續繳交中，計畫聯絡人持續追蹤。		核安會/學術界/國科會	

遭遇困難與因應對策

補助 35 項計畫有 3 項計畫因研究需要申請且獲同意展期，後續將由計畫協同主持人督促於時限內完成。

細部計畫 3	原子能科技研發環境建構	計畫屬性	產業技術研發	執行機關	核能安全委員會綜合規劃組
重點描述	一、衛星元件開發及輻射驗證環境建構 -太陽電池抗輻射技術發展 -元件製程抗輻射技術發展 -晶片系統抗輻射技術發展 二、半導體光源設備自主能力建構 -中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計				
預算數 (千元)	決算數 (千元)	執行率 (%)	節餘數 (千元)	總人力 (人年) 實際/規劃	
16,200	16,208	100.05%	46	12/12.0	
其他資源投入	因委辦費經立法院大幅刪減，考量計畫執行合理性及必要性，由核安會公務預算流用經費 55 千元支應。				
預期關鍵成果		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/合作對象	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 3-1:實現衛星太陽能電池轉換效率達 31%。 細部計畫預期關鍵成果說明： 無		進行三元化合物 GaInP 之磊晶品質精進，在優化磊晶參數，增加窗層溫度與提高 V/III 比之後，電池最高轉換效率已達 31.05%；導入多重量子井結構，並完成 1 MeV 和 3 MeV 之質子輻射衰退曲線，實驗結果顯示含多重量子井之太空太陽電池具有優異之抗輻射能力。		核安會/太空中心、產業界/學研機構	
涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 3-2:發展抗輻射元件製程之 TID 測試總劑量大於 500 krad、晶片設計、異質整合技術，經驗證結果優於商用一般規格。		已完成短脈衝雷射測試平台建置及 SiC 功率元件的電性量測結果，已於年底能達成目標。		核安會/太空中心、產業界/學研機構	

<p>細部計畫預期關鍵成果說明： 無</p>		
<p>涉及科技計畫層級之預期關鍵成果： 3-3:完成放電電漿光源實驗設計與 EUV 光源產出。</p> <p>細部計畫預期關鍵成果說明： 無</p>	<p>整合國內學研機構電漿物理、脈衝電源及半導體微影研發能量，發展中小功率極紫外光/超極紫外光光源等關鍵技術，目前已初步整合真空腔體、電源電路模組及濃密電漿聚焦(DPF)電極進行放電測試，初步測試結果顯示產生電漿壓縮的現象。</p>	<p>核安會/產業界/學研機構</p>
<p>遭遇困難與因應對策</p>	<p>無</p>	

附錄、細部計畫

一、 全程架構及經費

年度		113 年度 決算數	114 年度 決算數 (執行率)	115 年度 預算數	116 年度 申請數	備註
項目						
科技計畫總計		45,862.854	51,179.743	62,531	77,777	
一、細部計畫 1 原子能科技施政支 援推動	小計	4,500.938	5,846 (147%)	8,231	7,577	
	(一)經常支出	4,389.138	5,791 (149%)	7,231	7,377	
	1.人事費	0	0	3,400	3,400	
	2.材料費	0	0	100	100	
	3.其他經常支出	4,389.138	5,791 (149%)	3,731	3,877	
	(二)資本支出	111.8	55 (58.51%)	1,000	200	
	1.土地建築	0	0	0	0	
	2.儀器設備	0	0	0	0	
	3.其他資本支出	111.8	55 (58.51%)	1,000	200	
二、細部計畫 2 原子能科技學 術合作研究	小計	29,000	29,933.4 (96.56%)	34,000	36,000	
	(一)經常支出	28,900	29,833.4 (96.55%)	33,900	35,900	
	1.人事費	0	0	0	0	
	2.材料費	0	0	0	0	
	3.其他經常支出	28,900	29,833.4 (96.55%)	33,900	35,900	
	(二)資本支出	100	100 (100%)	100	100	
	1.土地建築	0	0	0	0	
2.儀器設備	0	0	0	0		

	3.其他資本支出	100	100 (100%)	100	100	
三、細部計畫 3 原子能科技研 發環境建構	小計	12,361.916	16,208.3 (100.05%)	20,300	34,200	
	(一)經常支出	11,686.916	15,555 (100.36%)	19,800	32,350	
	1.人事費	0	0	11,320	14,400	
	2.材料費	0	0	5,620	11,050	
	3.其他經常支出	11,686.916	15,555 (100.36%)	2,860	6,900	
	(二)資本支出	675	653.3 (93.33%)	500	1,850	
	1.土地建築	0	0	0	0	
	2.儀器設備	0	0	0	0	
	3.其他資本支出	675	653.3 (93.33%)	500	1,850	

二、 年度執行摘要

細部計畫 1	原子能科技施政支援推動	計畫屬性	組織維運/類業務	執行機關	核能安全委員會
重點描述	一、方案規劃及計畫管理 二、國際合作與技術交流 三、科學教育與資訊推廣				
預算數 (千元)	決算數 (千元)	執行率 (%)	節餘數 (千元)	總人力 (人年) 實際/規劃	
3,980	3,980	100	39	11	
其他資源投入	因委辦費經立法院大幅刪減，考量計畫執行合理性及必要性，由核安會公務預算流用經費 135.5 千元支應。				
預期關鍵成果		關鍵成果達成情形		主要成果使用者/服務對象/合作對象	
建立外部決策支援體系，並就科技佈局或管制支援議題提出 4 項政策建議。		提出我國原子能管制技術支援組織架構；並提出核後端管制支援平台、國際發展趨勢、新核能技術、科研布局策略等 4 項政策建議。		核安會/產業界/財團法人核能資訊中心、財團法人核能科技協進會、財團法人核能與新能源教育協進會	
辦理原子能科普活動，總觸及人次達 20,000 人以上，其中偏鄉區域，總觸及人次達 12,000 人以上。		114 年全國各地辦理原子能科普活動，總觸及人次達 38,485 人。		核安會/國中、國小學生/國中小學校	
遭遇困難與因應對策		114 年度原子能科普活動偏鄉區域觸及較少，係因年度國內出差旅費經立法院大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限，2 場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。			

細部計畫 2	原子能科技學術合作研究	計畫屬性	人才培育	執行機關	核能安全委員會
重點描述	一、核能與除役安全科技 二、放射性物料安全科技 三、輻射防護與放射醫學科技 四、跨域合作與風險溝通				
預算數 (千元)	決算數 (千元)	執行率 (%)	節餘數 (千元)	總人力 (人年) 實際/規劃	
31,000	27,583.4	96.56	1,066.6	2	
其他資源投入					
預期關鍵成果	關鍵成果達成情形	主要成果使用者/服務對象/合作對象			
每年培育人才至少 24 名，合於未來 3 年重點產業所需。	114 年度培育人才 30 名，合於未來 3 年重點產業所需。	核安會/學術界/國科會			
研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題至少 12 件。	114 年度研究成果有助政府監理業務、改善產業技術或解決社會議題至 20 件。	核安會/學術界/國科會			
遭遇困難與因應對策	補助 35 項計畫有 3 項計畫因研究需要申請且獲同意展期，後續將由計畫協同主持人督促於時限內完成。				

細部計畫 3	原子能科技研發環境建構	計畫屬性	產業技術研發	執行機關	核能安全委員會
重點描述	一、衛星元件開發及輻射驗證環境建構 (一)太陽電池抗輻射技術發展 (二)晶片系統抗輻射技術發展 (三)元件製程抗輻射技術發展 二、半導體光源設備自主能力建構 中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計、試作與應用研究				
預算數(千元)	決算數(千元)	執行率(%)	節餘數(千元)	總人力(人年) 實際/規劃	
16,200	16,153.3	99.71	46.7	12	
其他資源投入	因委辦費經立法院大幅刪減，考量計畫執行合理性及必要性，由核安會公務預算流用經費 55 千元支應。				
預期關鍵成果	關鍵成果達成情形	主要成果使用者/服務對象/合作對象			
實現衛星太陽能電池轉換效率達 31%。	實現衛星太陽能電池轉換效率達 31.05%，並完成 1 MeV 和 3 MeV 之質子輻射照射，實驗結果顯示太陽能電池具有優異之抗輻射能力。	核安會/太空中心、產業界/國原院			
發展抗輻射元件製程之 TID 測試總劑量大於 500 krad、晶片設計、異質整合技術，經驗證結果優於商用一般規格。	發展抗輻射元件製程、晶片設計、異質整合技術，其中闌環繞式場效電晶體(GAAFET)及快閃記憶體經輻射驗證結果具備 TID 500 krad 耐受度(劑量率> 50 kRad/hr)，且達元件關鍵參數變化小於 10 %規格，明顯優於一般商用現貨(COTS)元件規格。	核安會/太空中心、產業界/臺灣大學、清華大學			

<p>完成放電電漿光源實驗設計與 EUV 光源產出。</p>	<p>完成放電電漿產生極紫外光之電極結構設計製作、放電電漿光源之實驗腔體建置、放電電漿之高壓脈衝驅動電路設計製作，以及完成放電電漿光源初步實驗測試，可達 5kV 以上之脈衝電壓輸出並可產生電漿壓縮放光之關鍵現象。</p>	<p>核安會/產業界/臺灣大學</p>
<p>遭遇困難與因應對策</p>	<p>無。</p>	

附表、佐證資料表

【A 論文表】

題 名	第一作者	發表年(西元年)	文獻類別	成果歸屬
Rapid Ocean Acidification and Coral Calcification Response in the Northern South China Sea: Insights from $\delta^{11}\text{B}$ and B/Ca records in Porites coral	陳洪毅/黃國芳	2025	D	原子能科技學術合作研究
Perspectives for Best Practices in Boron-Based CO ₂ Reconstruction	T. Chalk	2025	D	原子能科技學術合作研究
Response of Coral Calcification to Rapid Ocean Acidification in the South China Sea over the past 43 years	黃國芳	2025	F	原子能科技學術合作研究
Heavy Metal Pollution Recorded in Porites Corals from Lanyu Islet, southeast Taiwan	戴育聰	2025	F	原子能科技學術合作研究
Historical Records of Marine Heavy Metal Pollution in Southeast Taiwan: Insights from Coral Geochemistry	戴育聰	2025	E	原子能科技學術合作研究
臺灣地區海洋鉛污染歷史紀錄：來自珊瑚地球化學的觀點	戴育聰	2025	E	原子能科技學術合作研究
Model-based optical proximity correction for talbot lithography considering the non-paraxial Talbot effect	柯志璋	2025	F	原子能科技學術合作研究
Camouflage circuit design and complementary lithography techniques with proximity effect correction for IC security	蔡佳勳	2025	F	原子能科技學術合作研究
The effect of thermal annealing on the surface roughness and optical properties of periodic Mo/Si films with TiO ₂ film for EUV application	李昭德	2025	F	原子能科技學術合作研究
Flow-Guided Image Restoration with Deep Neural Network for Underwater Thermal Image Distortion	Guan-Lin Huang	2025	E	原子能科技學術合作研究

輻射誘變台灣重要毛豆品種，分子選育具抗逆境潛力之品系	邱子耘	2025	A	原子能科技學術合作研究
Using Radiation to Induce Mutation in Important Edamame Varieties in Taiwan to Select Superior Lines with Potential to Resist Stress.	Zih-Yun Ciou	2025	F	原子能科技學術合作研究
Development of a Mutant Library for a Key Taiwanese Edamame Variety Using Cobalt-60 Gamma Radiation-Induced Mutagenesis.	Yu-Ren Lai	2025	F	原子能科技學術合作研究
〔觀點對話〕法學議題的實證研究途徑——回應〈司法審查下的官僚裁量權：從交易成本觀點檢視大法官解釋對違法行政命令修訂的影響〉	紀和均	2025	B	原子能科技學術合作研究
Cheng-Hsing Chiang (江承興) and Kun-Chou Lee* (李坤洲), “A Retrieval-Augmented Generation with Dual-Similarity Verification for Nuclear Energy Knowledge Q&A”	江承興	投稿中	D	原子能科技學術合作研究
在模擬小型模組化沸水式反應器水環境敏化處理 304L 與 XM-19 不銹鋼的應力腐蝕龜裂之研究	侯冠宇	2025	E	原子能科技學術合作研究
Alleviating High Temperature Magnesium Implanted Radiation Damage of GaN Through Nitrogen Plasma Surface Treatment	林亞勳	2025	D	原子能科技學術合作研究
Comparison of Total Ionizing Dose Effects in GaN HEMTs with p-GaN Gate Structure and Cascode Configuration	楊鎮宇	2025	F	原子能科技學術合作研究
Characterization of Displacement Damage in 4H-SiC Crystals Induced by Neutron Irradiation	趙得勝	2025	F	原子能科技學術合作研究
高能中子輻照對 p-GaN HEMT 閘極介電層崩潰壽命與可靠度之影響	業淳學	2025	E	原子能科技學術合作研究

Surface Hydrogen Coverage on Pt/Graphene Measured by Carbon Ion ERDA	陳建旭	2026	D	原子能科技學術合作研究
Depth Profiling of Hydrogen in Pt/Graphene Using Carbon Ion ERDA	陳建旭	2025	F	原子能科技學術合作研究
Experimental Demonstration of Radiation Damage Suppression in multi-gate MOS Devices	Dun-Bao Ruan	2025	D	原子能科技學術合作研究
Wake-Up-Free and High-Endurance Ferroelectric Capacitors Enabled by Co-Optimization of ZrN Interface Engineering and Microwave Annealing	Sheng-Ying Lu (盧聖穎)	2025	F	原子能科技學術合作研究
硫酸鹽還原菌與鐵氧化菌共存的微生物腐蝕對於除役過渡階段核電廠冷卻系統組件影響	徐于茹	2025	E	原子能科技學術合作研究
Comparison of neutronics performance of various TRISO fuels	陳彥新 (Yan-Xin Chen)	2025	D	原子能科技學術合作研究
Effects of Ultrasonic Vibration Frequency on Heat Transfer Enhancement in Pool Conditions	Chen-Chi Hung(洪辰祈)	2025	F	原子能科技學術合作研究
Plasma-Tailored Carbon Dots with Atomic-Level sp^2/sp^3 Hybridization for Programmable Band Structures and Optothermal Functionality	Muhammad Hussnain Akmal	2025	D	原子能科技學術合作研究
Single-Molecule-Sensitive Three-Dimensional Atomic Heterostructures with Extreme Light-Matter Coupling	Yi-Jui Yeh	2025	D	原子能科技學術合作研究
Plasma-Guided Green Synthesis of Crystalline Graphene Quantum Dots for Broad-Spectrum Antiviral Applications	Ren-Jie Weng	2025	D	原子能科技學術合作研究
Plasma-Engineered Anisotropic Nanostructures with Multipolar Plasmon Coupling for Label-Free Biosensing	Tzu-Hsiang Chien	2025	D	原子能科技學術合作研究

Structural symmetry and regular octahedral atomic coordination in nanostructured NiMoO ₃ for supercapacitor electrode applications	Thanigai Arul Kumaravelu	2025	D	原子能科技學術合作研究
Bifunctional NiCo-CuO Nanostructures: A Promising Catalyst for Energy Conversion and Storage	Thanigai Arul Kumaravelu	2025	D	原子能科技學術合作研究
Proton irradiation induced-modifications in electrochromic WO ₃ -Ta ₂ O ₅ thin films: from electronic structure to space survivability	<u>Hou-Yi Huang</u>	2025	D	原子能科技學術合作研究
Experimental and theoretical evidence of weak spin-lattice coupling in the double perovskite Sr ₂ YRuO ₆	Hsiang-Lin Liu	2025	D	原子能科技學術合作研究
美國聯邦核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析：對我國核子損害賠償法制修法之啟示	宋名晰	撰寫中	A	原子能科技學術合作研究
Impact of Social Media Addiction on Anxiety Symptoms as Modified by Social Support and Its Subscales.	Chuan-Rong Yeh, Han T. Vo, Cheng-Yu Lin, Chih-Feng Lai, Tru C. Tran Le, Shwu-Huey Yang, Jane C.-J. Chao, Pei-Shan Tsai, & Tuyen V. Duong	2025	D	原子能科技學術合作研究
The Association between Various Menstrual Disorders and Well-being Was Mediated by Anxiety: A Cross-sectional Study.	Chuan-Rong Yeh, Han T. Vo, Cheng-Yu Lin, Heng-Kien Au, Chih-Feng Lai, Sheng-Chih Chen, & Tuyen V. Duong	2025	D	原子能科技學術合作研究

媒體倫理到風險敘事：核能議題的跨學科教學實驗	鄧宗聖	投稿中	B	原子能科技學術合作研究
青年世代的科學傳播創作實驗：核能安全委員會〈輻務小站〉知識轉譯影像企劃研究	鄧宗聖	投稿中	E	原子能科技學術合作研究
Mediating Nuclear Risk in a Student Newspaper Project: Exploring media literacy through student-led message design, combining algorithmic text and human-centred layout in a nuclear storytelling experiment	Tzong Sheng Deng	投稿中	C	原子能科技學術合作研究
從核電廠除役淺談培育社會信任的風險溝通人才與環境	鄧宗聖	2026	G	原子能科技學術合作研究
怎麼說，才讓人願意聽？談核能風險溝通的原則	鄧宗聖	2026	G	原子能科技學術合作研究
輻射科學專業養成的人文溝通力	鄧宗聖	2026	G	原子能科技學術合作研究
Art-Based Learning Across Disciplines	Tzong Sheng Deng	2025	F	原子能科技學術合作研究
High-reflective cylindrical-nanostructure multilayer mirrors for extreme ultraviolet radiation	Chih-Chung Wang	2025	D	原子能科技學術合作研究
Effect of insertion layers on the environmental stability of TiO ₂ /SiO ₂ anti-reflective coatings on PMMA substrates	Duy Thanh Cu	2025	D	原子能科技學術合作研究
Direct growth of single-domain epitaxial AlN films on Si(111) by RF/DC magnetron sputtering	Fong-Zhi Chen	2025	D	原子能科技學術合作研究
Development of an innovative low-temperature PEALD process for stress-compensated TiO ₂ and SiO ₂ multilayer anti-reflective coatings	Duy Thanh Cu	2025	D	原子能科技學術合作研究
The effect of thermal annealing on the surface roughness and optical properties of periodic Mo/Si films with TiO ₂ film for EUV application	Chao-Te Lee	2025	D	原子能科技學術合作研究

Integrated UV/IR-cut optical filter with nanoimprinted pyramid diffuser featuring tailored light diffusion and hydrophobicity	Chih-Han Wu	2026	D	原子能科技學術合作研究
The effect of thermal annealing on the surface roughness and optical properties of periodic Mo/Si films with TiO ₂ film for EUV application	Chao-Te Lee	2026	F	原子能科技學術合作研究
Model-based Optical Proximity Correction for Talbot Lithography Considering the Non-Paraxial Talbot Effect	Jr-Wei Ke	2026	F	原子能科技學術合作研究
Camouflage circuit design and complementary lithography techniques with proximity effect correction for IC security	Jia-Syun Cai	2026	F	原子能科技學術合作研究
Large-Area, Continuous Hexagonal Boron Nitride Films Prepared by Magnetron Sputtering and Annealing	Tzu-Hao, Lin	2026	F	原子能科技學術合作研究
Copper Nanoparticle-Modified PLA Nanofibers via Sputtering: Antibacterial Performance and Surface Characteristics	Chih-Chung Wang	2026	F	原子能科技學術合作研究
Heteroepitaxial Growth of high-quality b-Ga ₂ O ₃ Films on c-Al ₂ O ₃ substrate with various O ₂ /Ga flow rate by MOCVD”,	Chih-Chung Wang	2026	F	原子能科技學術合作研究
Optical Constants of Thin Films Fitted by Multi-Angle Reflectance at 13.5 nm Wavelength	Chao-Te Lee	2026	F	原子能科技學術合作研究
Electrochromic Black Coating with Tantalum Pentoxide Films	Thi Cam Tien Truong	2026	F	原子能科技學術合作研究
Optimization-Guided Nanostructure Design for Broadband Solar Absorber with Efficient Solar-Thermal Energy Conversion	Chih-Chung Wang	2026	F	原子能科技學術合作研究
Broadband Solar Absorber Design Using Optimization-Driven Nanostructures for Efficient Solar Thermal Conversion	Chih-Chung Wang	2026	F	原子能科技學術合作研究

Fabrication of Two-Dimensional MoS ₂ /PtS ₂ van der Waals Heterobilayer for Gas Sensor Applications	Yan-Si Jiang	2026	E	原子能科技學術合作研究
Multi-angle reflectance fitting to obtain optical constants of thin films for EUV application	Chao-Te Lee	2026	E	原子能科技學術合作研究
用於極紫外光反射鏡之 TiO ₂ 薄膜研究	李昭德	2026	E	原子能科技學術合作研究
二維二硫化鉬/三維氧化鎵異質結構的晶體結構與光電特性研究	林奕私	2026	E	原子能科技學術合作研究
利用新穎製程技術成長高均勻性硫化鋅及硫化亞銅單原子層二維薄膜並應用於氨氣氣體感測器元件	江彥熹	2026	E	原子能科技學術合作研究
靜電紡絲製備聚乳酸奈米纖維並結合磁控濺鍍銀奈米粒子之抗菌敷料應用	范文森	2026	E	原子能科技學術合作研究
β-環糊精/聚乙烯醇靜電紡絲奈米纖維之氧氣電漿表面改質與應用潛力探討	王晟睿	2026	E	原子能科技學術合作研究
Simulation and Implementation of the Modeling of Forklift with Tricycle in Warehouse Systems for ROS	Kuo-Yang Tu	2025	D	原子能科技學術合作研究
Radiation-Tolerant Study for Space Electronic Components by Proton Beam and Ultrashort Pulse Laser	Jia-Han Li	2025	F	原子能科技研發環境建構
Superior FeFET Reliability and Memory Window by Hybrid Solid-Solution/Superlattice HfZrO _x and Interface Engineering	Tsen-Hsiang Pan	2025	D	原子能科技研發環境建構
Experimental Demonstration of Radiation Damage Suppression in multi-gate MOS Devices	Dun-Bao Ruan	2025	D	原子能科技研發環境建構
Alleviating high temperature magnesium implanted radiation damage of GaN through nitrogen plasma surface treatment	Ya-Xun Lin	2025	D	原子能科技研發環境建構

FeFETs with Enhanced Memory Window and Reliability by Hybrid Ferroelectrics Based on Solid Solution/Superlattice Structures and Interface Engineering	Yu-Cheng Lin	2025	F	原子能科技研發環境建構
Suppression of Ionizing Radiation-Induced Degradation in Gate-All-Around Field Effect Transistor by Structural Surface Engineering	Kuei-Shu Chang-Liao	2025	F	原子能科技研發環境建構
Comparison of Total Ionizing Dose Effects in GaN HEMTs with p-GaN Gate Structure and Cascode Configuration	Chen-Yu Yang	2025	F	原子能科技研發環境建構
Model-based optical proximity correction for talbot lithography considering the non-paraxial Talbot effect	柯志璋	2025	F	原子能科技研發環境建構
Camouflage circuit design and complementary lithography techniques with proximity effect correction for IC security	蔡佳勳	2025	F	原子能科技研發環境建構
The effect of thermal annealing on the surface roughness and optical properties of periodic Mo/Si films with TiO ₂ film for EUV application	李昭德	2025	F	原子能科技研發環境建構
Z-pinch 裝置之電漿動態研究	李建霖	2025	E	原子能科技研發環境建構

註：文獻類別分成 A 國內一般期刊、B 國內重要期刊、C 國外一般期刊、D 國外重要期刊、E 國內研討會、F 國際研討會、G 國內專書論文、H 國際專書論文；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【AA 決策依據表】

名稱	內容	類別	是否被採納	成果歸屬
國原院績效評鑑機制	參考英法兩國對於行政法人的績效評鑑機制，採績效治理模式，配合公共任務的特殊性，對於法人治理優劣進行績效評鑑，同時納入 ESG 的概念，並應了解中層幹部與基層員工對組織整體績效目標與個人績效目標的觀點。	B	C	原子能科技學術合作研究

核賠法修法建議	參考美國「普萊斯-安德森法案」(PAA)等國際經驗，就我國「核子損害賠償法」對於小型模組化反應器(SMR)適用性之修法方向，應考量損害賠償責任的「規模化」與「彈性化」，並明確定義「場址」與「多模組」的法律概念。	B	B	原子能科技學術合作研究
---------	---	---	---	-------------

註：類別分成 A 新建或整合流程、B 重大統計訊息或政策建議報告；是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【B 合作團隊(計畫)養成表】

團隊(計畫)名稱	合作對象	合作模式	團隊(計畫)性質	成立時間(西元年)	成果歸屬
半導體光源設備技術建構團隊	國立台灣科技大學電機工程學系	B	A	2025	原子能科技學術合作研究
應用於太空低軌道衛星之耐輻射先進製程數位晶片設計開發	台大癌醫中心醫院	A	A	2025	原子能科技學術合作研究
核能科技類型行政法人之績效估評法制研究	國立臺北大學法律學系	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
先進光源及材料智慧檢測中心	董崇禮教授	A	C	2016	原子能科技學術合作研究
鈮 90 精準醫療研究團隊	臺北榮民總醫院、臺北醫學大學附設醫院	B	A	2024	原子能科技學術合作研究
公部門推動性別平等業務研究團隊	臺北醫學大學+世新大學+文化部、NCC 等性平會	B+C	A	2024	原子能科技學術合作研究
原子小學堂：國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣	國立臺北護理健康大學	A	A	2024	原子能科技學術合作研究
知識與經驗交流團隊	龍華科技大學、宋大崙教授、陳彥鈞	A	A	2024	原子能科技學術合作研究
極紫外光微影技術開發團隊	國儀中心/台灣大學/同輻中心	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
臺大輻射應用及抗輻射技術研究中心	臺大電機資訊學院、生物資源暨農學院、醫學院、工學院	A	B	2024	原子能科技研發環境建構

國原院質子照射驗證分析實驗室	國原院（物理所、機械所）	B	A	2025	原子能科技研發環境建構
半導體光源設備技術建構團隊	國立臺灣大學/電機工程學系、電子工程學研究所、工程科學及海洋工程學系、國立台灣科技大學電機工程學系、國家實驗研究院國家儀器科技研究中心	B	A	2025	原子能科技研發環境建構

註：合作模式分成 A 機構內跨領域合作、B 跨機構合作、C 跨國合作；團隊(計畫)性質分成 A 形成合作團隊或合作計畫、B 形成研究中心、C 形成實驗室、D 簽訂協議；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【C 培育及延攬人才表】

姓名	機構名稱	學歷	性質	成果歸屬
戴育聰	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
高伯恆	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳正皓	國立臺灣大學電子工程學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
周彥霆	國立臺灣大學電子工程學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究 (IC 設計)
蕭翔騁	國立臺灣大學電子工程學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究 (IC 設計)
黃冠霖	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
曾浚翔	國立臺灣大學	A	A	原子能科技學術合作研究
梁育誠	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
徐翌洋	國立臺北科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林芊秀	國立臺北科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳品涵	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
楊昀蓁	國立臺灣大學新碳勘科技中心	B	A	原子能科技學術合作研究
郭映彤	國立臺灣大學土木系	B	A	原子能科技學術合作研究
劉錫恩	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
張文政	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)

賴昱仁	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
張煜承	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
楊沐晨	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
朱昱愷	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
林玟芸	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
李晴	國立中興大學	C	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
吳宇傑	國立中興大學	C	A	原子能科技學術合作研究 (循環農業)
黃淑芬	國立中興大學國家政策與公共事務研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
侯冠宇	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
許城睿	國立清華大學工程與系統科學系研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
許博勛	清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
盧聖穎	國立清華大學工程與系統科系/半導體學院	B	A	原子能科技學術合作研究
許芯瑜	國立清華大學工程與系統科系/半導體學院	B	A	原子能科技學術合作研究
郭俊毅	國立清華大學工程與系統科系/半導體學院	A	A	原子能科技學術合作研究
徐于茹	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳彥新	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
吳忻融	國立清華大學	A	A	原子能科技學術合作研究
洪兆陽	國立清華大學	A	A	原子能科技學術合作研究
羅宇晨	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林睿楊	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
洪辰祈	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究

李昕儒	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
權玟叡	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
麥庭怡	國立清華大學工程與系統科學系	B	A	原子能科技學術合作研究
石崇佑	國立清華大學工程與系統科學系	B	A	原子能科技學術合作研究
李孟澐	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
劉家維	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
王子宜	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
翁子菱	國立清華大學核子工程與科學研究所	B	A	原子能科技學術合作研究
翁人杰	臺灣科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究
葉侑叡	臺灣科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究
Muhammad Hussnain Akmal	臺灣科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究
簡子翔	臺灣科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳亞琪	臺灣科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
賴君豪	淡江大學	A	A	原子能科技學術合作研究
梁喻惠	淡江大學	A	A	原子能科技學術合作研究
張博鈞	淡江大學	A	A	原子能科技學術合作研究
張承恩	淡江大學	B	A	原子能科技學術合作研究
張承倍	淡江大學	B	A	原子能科技學術合作研究
朱庭妍	淡江大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王浩維	淡江大學	C	A	原子能科技學術合作研究
黃永宏	淡江大學	C	A	原子能科技學術合作研究
蘇冠倫	淡江大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳佩甄	淡江大學	C	A	原子能科技學術合作研究
曹育銘	淡江大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林庭瑩	逢甲大學財經法律研究所碩士班	A、B	A	原子能科技學術合作研究
何珮瑜	台北醫學大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (精準健康)

劉偉俊	國立臺北藝術大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳儀珊	世新大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張唯恩	世新大學	C	A	原子能科技學術合作研究
徐偲爾	國立臺灣藝術大學影創所	A	A	原子能科技學術合作研究
陳祈蓁	國立臺灣藝術大學影創所	A	A	原子能科技學術合作研究
黃柏元	國立臺灣藝術大學影創所	A	A	原子能科技學術合作研究
藍道衛	國立屏東大學	A	A	原子能科技學術合作研究
黃世傑	國立屏東大學	A	A	原子能科技學術合作研究
林宜瑾	國立屏東大學	C	A	原子能科技學術合作研究
紀淳宸	國立屏東大學	C	A	原子能科技學術合作研究
洪梓瑜	國立屏東大學	C	A	原子能科技學術合作研究
黃致中	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
高偉喬	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
張秉豐	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
周秉榆	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
錢澤毓	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
沈子耘	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
王宥凌	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
曲翊玢	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
魏均倫	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
張甄家	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
賴昌廷	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
洪婉臻	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
張子豪	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
柯宥任	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
周均濤	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
黃三	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳貫宇	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究

林秉緯	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
江怡錦	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
張峰川	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
林璇	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳羿澄	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
吳鴻銘	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
姚成樺	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
蘇芷琳	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳藝蕙	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
劉珊珊	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
林逸君	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
賴昌廷	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
洪鈺婷	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
孫政一	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
潘恆毅	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
邱昱翔	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳欣妤	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
戴莞芸	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳沛竹	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
黃宥蓁	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
汪書含	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
康婷俞	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
洪婉臻	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
吳辰姿	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
林政裕	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
方紀軒	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
李彥霆	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
辛孟哲	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究

蘇彥綸	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
董罔倫	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
楊又嘉	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
俞宜婷	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
簡好庭	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陸柏璇	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
夏翎倪	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
謝宇翔	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
王彥程	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
黃信承	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
鍾秉勳	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
施佳潔	國立屏東大學	C	C	原子能科技學術合作研究
謝清順	國立雲林科技大學化學工程與材料學系	B	A	原子能科技學術合作研究
張恩萁	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
邱冠勛	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
吳維珊	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
羅品茹	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張家瑀	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
葉庭安	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
徐語彤	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳昫晴	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張博欽	龍華科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳善妍	龍華科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
王志中	國立臺灣大學	A	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
王政輝	國立臺灣大學	A	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)

林奕私	雲林科大	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
林紘宇	國立高雄科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
洪哲斌	國立高雄科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
王宣燁	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
郭芳芬	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
陳楷森	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
趙俊堯	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
張淳旭	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
郭智凱	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
吳浚睿	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究 (智慧機械)
陳其蔚	國立臺灣大學	A	C	原子能科技研發環境建構
林弘為	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
陳冠吾	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
鮑彥滕	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
張英正	國立臺灣大學	B	C	原子能科技學術合作研究 (IC 設計); 原子能科技 研發環境建構
王正輝	國立臺灣大學	A	C	原子能科技研發環境建構
羅凱文	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
蔡杰達	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
黃琛予	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
黃仲汶	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
姜智元	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構

劉晏妤	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
林伯叡	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
黃博楷	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
蘇揚智	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
楊秉晟	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
邱昱翰	國立臺灣大學	B	C	原子能科技學術合作研究; 原子能科技研發環境建構
田鈞	國立臺灣大學	B	C	原子能科技研發環境建構
許博勛	國立清華大學	B	C	原子能科技學術合作研究; 原子能科技研發環境建構
金治誠	國立清華大學	B	C	原子能科技學術合作研究; 原子能科技研發環境建構
張戎定	國立清華大學	A	C	原子能科技學術合作研究; 原子能科技研發環境建構
潘涇湘	國立清華大學	B	C	原子能科技研發環境建構
林宥成	國立清華大學	B	C	原子能科技研發環境建構
鍾佳蓁	國立清華大學	C	C	原子能科技研發環境建構
楊鎮宇	國立清華大學	B	C	原子能科技學術合作研究; 原子能科技研發環境建構
葉淳學	國立清華大學	C	C	原子能科技研發環境建構
李建霖	國立臺灣大學電機工程學系	A	E	原子能科技學術合作研究 (智慧機械); 原子能科技 研發環境建構
蔡佳勳	國立臺灣大學電子工程學研究所	A	C	原子能科技學術合作研究 (智慧機械); 原子能科技 研發環境建構
唐中平	國立臺灣大學電子工程學研究所	A	C	原子能科技學術合作研究 (智慧機械); 原子能科技 研發環境建構
洪建皓	國立臺灣科技大學電機工程學系	C	C	原子能科技研發環境建構
惠慶陽	國立臺灣科技大學電機工程學系	B	C	原子能科技研發環境建構

註：學歷分成 A 博士(含博士生)、B 碩士(含碩士生)、C 學士(含大學生)；性質分成 B 學程通過、C 培訓課程通過、D 國際學生/學者交換、E 延攬人才；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【D1 研究報告表】

報告名稱	作者姓名	出版年(西元年)	是否被採納	成果歸屬
我國原子能科技決策支援體系建構研究報告	郭瓊文、王仲容	2025	D	原子能科技施政支援推動
我國原子能管制技術支援體系建構研究報告	陳傳宗、廖識鴻、陳條宗	2025	D	原子能科技施政支援推動
以珊瑚鉛同位素及微量元素濃度探討台灣周圍海洋環境之重金屬污染	黃國芳	2025	D	原子能科技學術合作研究
應用於次3奈米節點平行無光罩直寫微影之電子光學系統設計(2/3)	蔡坤諭	2025	D	原子能科技學術合作研究
應用於太空低軌道衛星之耐輻射先進製程數位晶片設計開發	陳信樹	2025	D	原子能科技學術合作研究
對應核電廠燃料池水下熱擾動之影像辨識	李佳翰	2025	D	原子能科技學術合作研究
以全耦合多相流數值模式探討岩體裂隙跨空間尺度之水-力-化耦合系統之初步研究	郭家瑋	2025	D	原子能科技學術合作研究
放射誘變國產毛豆重要品種之抗氣候逆境品系選育及分子特性探討	楊靜瑩	2025	D	原子能科技學術合作研究
核能科技類型行政法人之績效估評法制研究(II)：法律實證分析途徑	紀和均	2025	D	原子能科技學術合作研究
應用生成式人工智慧及網路多媒體及於原子能科普教育及其成效評估	李坤洲	2025	D	原子能科技學術合作研究
應用於輕水式小型模組化反應器結構材料的防蝕技術評估	葉宗洸	2025	D	原子能科技學術合作研究
快中子非游離能失效應對於金屬-氮化鎵半導體接觸特性之影響研究	趙得勝	2025	D	原子能科技學術合作研究

低能量質子射束劑量調控研究應用於應用於半導體低能量低通量質子照射	陳建旭	2025	D	原子能科技學術合作研究
偏振儀量測極紫外光波段複數折射率	陳明彰	2025	D	原子能科技學術合作研究
以高介電層與金屬閘緩衝層工程於矽鍺鍺式電晶體以增進抗輻射特性研究	張廖貴術	2026	D	原子能科技學術合作研究
高極化量與高可靠度之抗輻射 FeRAM 鐵電電容元件設計與製程研究	巫勇賢	2025	D	原子能科技學術合作研究
日本核電廠除役安全評估標準之管制要項研析	許文勝	2025	D	原子能科技學術合作研究
核電廠除役過渡階段鐵氧化菌與硫酸還原菌共存對於鐵系金屬材料之影響研究	王美雅	2025	C	原子能科技學術合作研究
事故耐受性核燃料應用於小型模組化反應器之可行性分析	梁正宏	2025	D	原子能科技學術合作研究
國際新型小型模組化反應器發展現況與安全管制要項探討	陳紹文	2025	D	原子能科技學術合作研究
新穎電漿合成半導體量子點及光物理特性應用研究	江偉宏	2025	D	原子能科技學術合作研究
磁性氧化物與合金材料的電子結構與功能性研究	杜昭宏	2025	D	原子能科技學術合作研究
美國聯邦際核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析：對我國核子損害賠償法制修法之啟示	宋名晰	2025	D	原子能科技學術合作研究
鈮 90 放射栓塞治療不可切除/復發之原發性肝膽惡性腫瘤：以多種生物標記預測療效、復發風險及評估輔助免疫療法之精準醫療研究	藍耀東	2025	D	原子能科技學術合作研究

政府部門推動性別平等業務之實證研究：從培力到實踐(2/3)	林承宇	2025	D	原子能科技學術合作研究
從包容性科學傳播（ISC）觀點製作原子能科普內容計畫－以性別、多元族群為例	單文婷	2025	D	原子能科技學術合作研究
從核電廠除役淺談培育社會信任的風險溝通人才與環境	鄧宗聖	2026	C	原子能科技學術合作研究
怎麼說，才讓人願意聽？談核能風險溝通的原則	鄧宗聖	2026	C	原子能科技學術合作研究
輻射科學專業養成的人文溝通力	鄧宗聖	2026	C	原子能科技學術合作研究
核子風險溝通之媒體創用人才培育計畫	鄧宗聖	2025	D	原子能科技學術合作研究
大專校院核子保安教案設計之研究	蔡裕明	2026	D	原子能科技學術合作研究
高性能異質接面氮摻雜金屬氧化物薄膜電晶體元件製備及其元件輻射特性之研究	李憶興	2026	D	原子能科技學術合作研究
低放射性廢棄物盛裝容器完整性監測及評估之研究	王詩涵	2025	D	原子能科技學術合作研究
原子小學堂：國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣	潘愷	2025	D	原子能科技學術合作研究
核能與輻射知識之互動程式開發	陳彥均	2025	D	原子能科技學術合作研究
龍華科技大學核子保安教案設計之研究	李九龍	2025	D	原子能科技學術合作研究
國際小型模組化反應器爐心設計研析	宋大崙	2025	D	原子能科技學術合作研究
極紫外光及以下波段光學元件之保護膜材料開發與微影製像應用(3/3)	李昭德	2025	D	原子能科技學術合作研究

新南向核醫診療技術與應用交流	洪光威	2025	D	原子能科技學術合作研究
多模式運動的管道檢測機器人研發	杜國洋	2025	D	原子能科技學術合作研究
太陽電池抗輻射技術發展研究報告	葉彥顯、施圳豪、方正豪、蔡世貞、許婉莉	2025	D	原子能科技研發環境建構
晶片系統抗輻射技術發展研究報告	李佳翰、陳信樹、蔡坤諭、林宗男、蕭惠心	2025	D	原子能科技研發環境建構
元件製程抗輻射技術發展研究報告	巫勇賢、張廖貴術、趙得勝	2025	D	原子能科技研發環境建構
中小功率極紫外光/超極紫外光光源設計、試作與應用研究報告	蔡坤諭、李佳翰、李昭德、林長華、李建霖、蔡佳勳、唐中平、惠慶陽、洪建皓	2025	D	原子能科技研發環境建構

註：是否被採納分成 A 院級採納、B 部會署級採納、C 單位內採納、D 存參；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【D2 臨床試驗表】

新藥或新醫療器材之名稱	藥/醫材	申請試驗國家	臨床試驗狀態	成果歸屬

註：臨床試驗狀態分成 A 已申請並進行臨床試驗中、B 臨床試驗結果通過；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【E 學術活動表】

研討會名稱	性質	舉辦日期 (YYYYMMDD)	主/協辦單位	成果歸屬
2025 國際電子元件與材料研討會	B	2025/10/30- 2025/10/31	清華大學	原子能科技學術合作研究
藝術、科學、社會國際論壇	A	2025/10/17- 2025/10/17	國立屏東大學理學院、跨領域美感教育卓越領航計畫、USR 計畫—讓生命不同凡「想」/國立屏東大學師資培育中心、神腦科技文教基金會、屏東縣文化資產維護學會	原子能科技學術合作研究

2025 年新南向核子醫學國際研討會 Interactive Symposium on Nuclear Medicine Status in Asia-Pacific Region	B	2025/7/3-7/5	秀傳醫療財團法人彰濱秀傳紀念醫院/中華民國核醫學學會、國家原子能科技研究院、亞東紀念醫院、和信治癌中心醫院、台北榮民總醫院	原子能科技學術合作研究
2025 年精準醫療新視界：核醫國際學術研討會 Expanding Horizons of Precision Medicine – International Nuclear Medicine Symposium	B	2025/12/27	秀傳醫療財團法人彰濱秀傳紀念醫院、高雄秀傳紀念醫院/中華民國核醫學學會	原子能科技學術合作研究
113 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表會	A	2025/06/17	核能安全委會/國家科學及技術委員會	原子能科技學術合作研究

註：性質分成 A 國內研討會、B 國際研討會、C 兩岸研討會；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【F 形成課程教材手冊軟體表】

名稱	性質	類別	發表年度 (西元年)	出版單位	是否為自由軟體	成果歸屬
原子能科普教育之生成式人工智慧網路多媒體教材	B	B	2026	國立成功大學	否	原子能科技學術合作研究
「核能與輻射知識庫」教材	B	C	2025	龍華科技大學	否	原子能科技學術合作研究
核能與工業安全防護實務教材	B	B	2026	龍華科技大學	否	原子能科技學術合作研究

註：性質分成 A 課程、B 教材、C 手冊；類別分成 A 文件式、B 多媒體、C 軟體(含 APP)、D 其他(請序明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【G 智慧財產資料表】

智財名稱	智財類別	授予國家	有效日期 (YYYYMM)	成果歸屬
------	------	------	---------------	------

薄膜光學常數的測定方法/申請案號 113150360	A	中華民國	2025-12-11~2044-12-23	原子能科技學術合作研究
----------------------------	---	------	-----------------------	-------------

註：智財類別分成 A 發明專利、B 新型/設計專利、C 商標、D 專書著作、E 品種；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【H 技術報告檢驗方法表】

技術或檢驗方法名稱	性質	作者姓名	出版年(西元年)	出版單位	成果歸屬
濺鍍機載台旋轉定位及 load-lock 系統擴建	A	李昭德	2025	國儀中心	原子能科技學術合作研究
氯化鎵高電子遷移率電晶體元件磊晶研究	A	施圳豪	2025	國原院	原子能科技研發環境建構
質子輻射對太陽電池之損害分析	A	葉彥顯	2025	國原院	原子能科技研發環境建構
使用磷化鋁銻鎵子電池的太空太陽電池研究	A	黃厚穎	2025	國原院	原子能科技研發環境建構
太空用太陽能電池驗證規範探討	A	陳俊亦	2025	國原院	原子能科技研發環境建構

註：性質分成 A 技術報告、B 檢驗方法；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【I1 辦理技術活動表】

技術活動名稱	活動性質	活動屬性	舉辦日期 (YYYYMMDD)	參與人數	成果歸屬
農藝展-禾樂農農	B	A	2025/04/28-2025/05/04	2,000	原子能科技學術合作研究
2025 International Intelligent RoboSports Cup (114 國際智慧機器人運動大賽)	B	B	2025/05/24-2025/05/24	700	原子能科技學術合作研究

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【I2 參加技術活動表】

成果名稱	技術活動名稱	活動性質	活動屬性	活動日期 (YYYYMMDD)	主辦單位	是否獲獎(Y/N)	成果歸屬
------	--------	------	------	--------------------	------	-----------	------

「計畫名稱：以珊瑚骨骼硼及鉛同位素探討台灣海域之海洋酸化及鉛污染史」	113 年度「原子能科技學術合作研究計畫」成果發表會	A	A	2024/9/5	核安會	Y	原子能科技學術合作研究
同位素技術於環境永續之應用	「農業與環境、工業活動」座談會	A	A	2025/4/29	財團法人核能資訊中心	N	原子能科技學術合作研究
Using Radiation to Induce Mutation in Important Edamame Varieties in Taiwan to Select Superior Lines with Potential to Resist Stress.	The 11th Asian Crop Science Association Conference (ACSAC11)	A	B	2025/05/19-2025/05/21	台灣農藝學會	N	原子能科技學術合作研究
Development of a Mutant Library for a Key Taiwanese Edamame Variety Using Cobalt-60 Gamma Radiation-Induced Mutagenesis.	The 11th Asian Crop Science Association Conference (ACSAC11)	A	B	2025/05/19-2025/05/21	台灣農藝學會	N	原子能科技學術合作研究
「 Comparison of Total Ionizing Dose Effects in GaN HEMTs with p-GaN Gate Structure and Cascode Configuration 」	IEEE 37th International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs (ISPSD)	A	B	2025/06/01 ~ 2025/06/05	IEEE Electron Devices Society 、 Power Electronics Society	N	原子能科技學術合作研究
「 Characterization of Displacement Damage in 4H-SiC Crystals Induced by	22nd International Conference on Radiation Effects on Insulators (REI-22)	A	B	2025/06/08 ~ 2025/06/13	Higher Technical School of Industrial Engineering UPM	N	原子能科技學術合作研究

Neutron Irradiation」							
「高能中子輻照對 p-GaN HEMT 閘極介電層崩潰壽命與可靠度之影響」	功率半導體材料(氮化鎵&碳化矽)應用元件國際論壇	A	A	2025/10/2	高功率元件應用研發聯盟	Y	原子能學術合作研究
Yttrium-90 radioembolization for unresectable/recurrent primary hepatobiliary malignancies	Cardiovascular And Interventional Radiological Society of Europe Annual Meeting	A	B	2025/09/13~17	Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe	N	原子能學術合作研究
探索女性參與原子能科學研究與決策之意識轉變	國家科學及技術委員會 114 年度「性別與科技研究計畫」聯合成果發表會	A	A	2025/11/21	國科會	N	原子能學術合作研究
改變「寒冷氣候」現象？原子能領域女科學家性別意識變化研究	國家科學及技術委員會 114 年度「性別與科技研究計畫」聯合成果發表會	A	A	2025/11/21	國科會	N	原子能學術合作研究
電化學噪訊腐蝕感測器於不鏽鋼與鍍鋅鋼之原位非破壞性監測與評估	台灣化學工程學會 72 週年年會	B	A	2025/11/29-30	台灣化學工程學會	N	原子能學術合作研究
發射藥 AI 分析模型暨全自動篩檢技術	第 34 屆國防科技學術研討會	A	A	2025/12/12	教育部、國防部	Y	原子能學術合作研究

註：性質分成 A 技術研討會、B 競賽活動、C 技術說明會或推廣活動、D 其他；屬性分成 A 國內技術活動、B 國際技術活動；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【J1 技術移轉及智財授權表】

技術或智財名稱	類別	授權單位	被授權廠商或機構	授權金(千元)	成果歸屬
---------	----	------	----------	---------	------

--	--	--	--	--	--

註：類別分成 A 先期技術移轉、B 軟體/自由軟體授權、C 技術移轉、D 專利授權、E 商標授權、F 品種權授權、G 著作/出版品授權、H 其他項目授權(請述明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【J2 技術輸入表】

輸入技術名稱	輸出國家	輸出(授權)廠商或機構	引進(被授權)廠商或機構	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【K 規範標準及政策法規草案制訂表】

名稱	類別	制定及參採情形	應用範圍	成果歸屬

註：類別分成 A 規範、B 標準、C 法規、D 政策；制定及參採情形分成 A 參與草案或建議方案制訂、B 草案經採納或認可通過、C 發表或公告實施、D 草案存參、E 其他；應用範圍分成 A 機構內、B 國內、C 國際、D 未發表；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【L 促成投資表】

廠商名稱	投資類別	投資金額(千元)	產品名稱	成果歸屬

註：投資類別分成 A 研發投資、B 生產投資、C 新創事業投資；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【M 創新產業或模式建立表】

名稱	性質	產值提升 (千元)	產品名稱	成果歸屬

註：性質分成 A 成立營運總部、B 衍生公司、C 建立產業環境或營運模式、D 促成企業聯盟；投資類別分成 A 研發投資、B 生產投資；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【N 協助提升我國產業全球地位表】

產品/技術/服務名稱	公司名稱	產值(千元)	世界排名	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【O 共通檢測技術服務及輔導表】

服務名稱	服務對象	服務性質	服務收入(千元)	成果歸屬

--	--	--	--	--

註：服務對象分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他；服務性質分成 A 輔導諮詢、B 檢測校正、C 訓練講習、E 工作坊 D 其他(請述明)

【P 創業育成表】

新創廠商名稱	資本額(千元)	年營業額(千元)	成立時間(西元年)	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Q 資訊服務表】

網站或服務名稱	服務對象	服務人次/年	服務收入(千元)	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【R 增加就業表】

廠商名稱	廠商統一編號	增加員工人數	增加之年度	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【S1 技術服務表】

技術服務名稱	服務對象類別	服務對象名稱	服務收入(千元)	成果歸屬
質子電子元件質子照射服務	A	國家原子能科技研究院	370	原子能科技學術合作研究

註：服務對象類別分成 A 國內廠商、B 國外廠商、C 其他(請序明)；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【S2 科研設施建置及服務表】

科研設施名稱	服務件數	服務人次	服務收入(千元)	成果歸屬
低能量低通量質子照射系統	1	1	370	原子能科技學術合作研究

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【T 促成產學合作表】

合作廠商名稱	合作計畫或合約名稱	廠商配合款(千元)	合作參與人數	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【U 智財資金融通表】

智財名稱	廠商名稱	融資機構性質	融資機構名稱	協助取得融資金額(千元)	成果歸屬

註：融資機構性質分成 A 國內融資機構、B 國外融資機構；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【V 能源利用表】

技術或產品名稱	廠商名稱	提升能源效率(%)	節約能源量(%)	二氧化碳減量(公噸)	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【W 提升公共服務表】

服務或措施名稱	行政精簡時間(天)	運輸耗能節省金額(千元)	二氧化碳減量(公噸)	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【X 提高收入表】

措施名稱	受益人數	受益者每人年平均增加收入金額(千元)	增加之年度(西元年)	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Y 資訊平台資料庫表】

資訊平台/資料庫名稱	內容描述	類別	資料筆數	成果歸屬

註：類別分成 Bibliography、Numerical、Factual、Multimedia、Text；成果歸屬請填細部計畫名稱。

【Z 調查成果表】

調查項目名稱	調查面積	圖幅數	調查點筆數	成果歸屬

註：成果歸屬請填細部計畫名稱。

114 年度政府科技計畫績效自評報告審查表 (F003)

計畫名稱：原子能科技基礎研究及環境建構計畫 (1/1)

執行期間：

全程：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

本期：自 114 年 01 月 01 日 至 114 年 12 月 31 日止

執行單位：核能安全委員會綜合規劃組

執行經費：新臺幣 51,180 千元

主管機關：核能安全委員會

中華民國 115 年 3 月 ___ 日

壹、計畫實際執行與原計畫目標符合程度(35%)

(本項目在評核計畫之執行是否符合原計畫之目標及內容，並就所遭遇困難提出有效因應對策，若有差異，經說明後是否可接受)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

1. 本計畫係核安會為強化原子能科技施政支援體系，拓展原子能科技民生應用研究，建構國內抗輻射電子元件研發環境及半導體光源設備自主能力。計畫之執行符合原計畫之目標及內容，預期關鍵成果多數達成目標，且超過量化指標，如政策建議4項、培育人才逾30名、研究成果支援監理與產業技術達20件，並成功完成衛星太陽能電池31.05%效率及抗輻射元件驗證，顯示執行進度良好、符合預期。
2. 114年度原子能科普活動偏鄉區域觸及人次未達預期，係因年度國內出差旅費經立法院大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限，2場自辦大型科普展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區。針對預期成果的落差，計畫單位提出檢討改進的做法是：嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。建議或可跳脫現有思維框架，設計其他具創意或彈性的傳播機制，一方面維持科普活動辦理地域的觸及廣度並涵蓋偏遠地區，另一方面擺脫對同仁出差旅費是否足額編列的過度依賴。

貳、計畫經費運用之妥適度(10%)

(本計畫執行之經費與工作匹配，與原計畫之規劃是否一致，若有差異，其說明是否能予接受。)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

114年度總預算53,140千元，執行數50,790千元，預算達成率為95.58%，含保留款，整體經費執行率約97.83%，優於113年度。各項經費支用均合乎原計畫之規劃。經費主要用於委辦與補助研究計畫及科研環境建置，支出結構合理。雖因立法院刪減委辦費而進行小幅流用，但均用於必要工作且說明充分，資本門支出亦符合規劃，整體經費運用屬妥適可接受。

參、計畫主要成就及成果(重大突破)之價值、貢獻度及滿意度(35%)

(請依計畫在學術成就、技術創新、經濟效益、社會影響及其他領域所獲得成就之價值與貢獻，包含量化指標及質化效益達成情形進行評量，若其達成情形與原列指標與預期成效有所差異，其說明是否合理並予採計。)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90分以上、良：89分-80分、可：79分-70分、待改善：69分-60分、劣：59分以下)

【量化績效指標達成情形】

政策建議 4 項、科普活動觸及 38,485 人次、培育學碩博士 162 人、重點產業人才 30 人、研究成果支援監理及產業 20 件、論文 80 篇與研究報告 41 份、衛星太陽能電池轉換效率達 31.05%，多數指標達成或優於預期，僅偏鄉科普觸及人次略受差旅限制影響未達原訂目標，但說明合理。

【學術成就(科技基礎研究)】

發表論文 80 篇、研究報告 41 份、建立跨領域團隊 12 個，涵蓋原子能工程、半導體、醫療與社會科學等領域，顯著提升我國原子能與跨域基礎研究能量。

【技術創新(科技技術創新)】

1. 完成抗輻射 GAAFET、FeFET 記憶體、太空太陽能電池及 EUV 光源技術等關鍵成果，建立抗輻射晶片與量測平台，具太空、核能及半導體應用潛力，屬具前瞻性之技術突破。
2. 應用 3nm 節點平行無光罩直寫微影之電子光學系統設計。其他尚有多項科技技術創新。

【經濟效益(經濟產業促進)】

本計畫定位為前端基礎研究及技術發展，較不涉及後端產業營收成長及直接產值效益有限，但透過抗輻射半導體、EUV 材料及量測平台等成果，已奠定未來產業自主與高可靠度市場之長期經濟價值。

【社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)】

1. 細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 7 項專題研究計畫(應用生成式人工智慧及網路多媒體及於原子能科普教育及其成效評估；從包容性科學傳播 (ISC) 觀點製作原子能科普內容計畫-以性別、多元族群為例；原子小學堂-國小師生原子能互動式科普教材研發與活動推廣；核能與輻射知識之互動程式開發；龍華科技大學核子保安教案設計之研究；政府部門推動性別平等業務之實證研究-從培力到實踐；鈾 90 放射栓塞治療不可切除/復發之原發性肝膽惡性腫瘤)，有助促進政府與民眾溝通、核能知識科普、性別平等意識，增進國人健康福祉。
2. 細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 3 項專題研究計畫(以珊瑚鉛同位素及微量元素濃度探討台灣周圍海洋環境之重金屬污染；放射誘變國產毛豆重要品種之抗氣候逆境品系選育及分子特性探討；低放射性廢棄物盛裝容器完整性監測及評估之研究)，有助促進環境永續發展。

【其他效益(科技政策管理、人才培育、法規制度、國際合作、推動輔導等)】

1. 科技政策管理：細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」項下「我國原子能科技決策支援體系建構」及「我國原子能管制技術支援體系建構」委託研究計畫，成果可供國內原子能科技政策擘劃及核安管制技術支援體系建立之基礎。
2. 人才培育：總計培養人才 184 人，其中學士 85 人、碩士 73 人、博士 26 人。
3. 法規制度：細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 2 項專題研究計畫（美國聯邦際核子損害賠償制度就小型模組化反應器之規範爭議研析；核能科技類型行政法人之績效估評法制研究(II)），分別揭示研擬小型模組化反應器的核子損害賠償制度的考量重點及核能類型行政法人績效評鑑機制的特殊考量，做為政府機關法制作業的重要參考。
4. 國際合作：細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」國際合作與技術交流成果，召開「2025 年台美民用核能合作會議」及「第 11 屆台日核能管制資訊交流會議」，深化與美日在核能安全管理上的合作關係；細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助「新南向核醫診療技術與應用交流」計畫，成功建立臺灣與南亞及亞太多國核醫專業社群之交流平台，促進核醫產業技術升級與國際接軌，強化臺灣於亞太精準醫療鏈結中的關鍵角色。
5. 推動輔導：透過細部計畫 1「原子能科技施政支援推動」推廣科學教育與科普知識，並搭配細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」強化原子能知識普及，深化社會大眾對科學平權與包容價值的認同。此外，細部計畫 2「原子能科技學術合作研究」補助 6 項專題研究計畫，技術支援政府核安管制業務。

肆、跨部會協調或與相關計畫之配合程度(10%)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

本計畫核安會協同國科會建立合作機制以推動原子能科技學術研究，跨部會整合上中下游之量能，補助學研機構執行原子能科技專題研究計畫，合作執行 35 項研究，以推動原子能科技民生應用，提升安全管制技術，培育原子能科技產業人才，跨部會與跨機構協調良好，發揮資源整合與政策支援功能，共 20 件計畫具有實績。

伍、 後續工作構想及重點之妥適度(10%)

(計畫是否落實檢討改進，並將檢討結果納入後續工作構想？屆期計畫後續是否有推廣或擴散計畫成果效益之措施等？)

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

1. 計畫單位業依業務及政策需求，按各細部計畫目標，提出在現有基礎上滾動檢討精進的作法或後續工作構想，並納入 115 年計畫，均能切合當前國家技術發展的需求方向，具體可行。如規劃後續持續強化抗輻射元件驗證環境、EUV 光源技術及國際合作，同時推動 115 - 118 年策略藍圖，後續推動方向具延續性與可行性。
2. 細部計畫在執行時所遭遇的困難(例如：不預期的故障、複雜性、穩定度、製程的等待時間、委外製作費用等)，均能確實檢討，並提出突破現況的改進措施。

陸、 綜合意見

(對整體計畫之看法，以及是否有其他可提升或創造價值之建議？)

【本計畫優點】

1. 計畫執行符合原設定之目標及內容，除「辦理原子能科普活動」乙項外，餘均達成設定的預期關鍵成果；人力及經費運用妥適。
2. 本計畫目標明確且執行成效良好，量化績效指標絕大多數能順利達成甚或超越。
3. 在學術論文、跨域研究、抗輻射晶片與 EUV 光源等技術具體成果顯著，兼具政策支援與社會溝通效益。技術開發如抗輻射元件與半導體光源，建立抗輻射半導體與 EUV 光源關鍵技術，能直接回應國內半導體與太空產業之迫切需求，具前瞻與戰略價值。
4. 跨部會與產學合作機制完善，在培育跨領域科研人才方面，成果豐碩，總計培養人才 184 人，其中符合未來 3 年重點產業需求共計 30 人，是一亮點。
5. 科普與政策支援並重，成功將專業核能知識轉化為桌遊及 AI 互動教材，提升大眾信任感與科普觸及率，提升社會溝通與科技治理能力。
6. 系統性蒐整國際 SMR 與核融合趨勢，為我國能源轉型與法規調適提供科學基礎。
7. 本計畫之執行成果切合主管機關的執掌及政府施政政策需求。

【建議事項】

1. 本計畫包括「原子能科技施政支援推動」、「原子能科技學術合作研究」、「原子能科技研發環境建構」三個細部計畫，各具特色，對於達成核安會「推廣原子能科技創新，培育跨域人才」、「建立原子能關鍵技術，促進產業加值」的科技施政目標，支持機關專案規劃、國際合作、科普傳播等科研維運，有其必要性，值得挹注經費，持續積極推動。
2. 未來核能發電可能捲土重來(配合國際新穎核能科技)，因此應提前業務規劃及人才培育。
3. 在科普教育推廣尚有發展空間應加強。細部計畫 1 目標達成情形「辦理原子能科普活動」乙項，唯其中偏鄉區域總觸及人次未符預期(12,000 人以上)，報告中說明係因「年度國內出差旅費遭大幅刪減，致同仁出差範圍及活動場次受限。爰 2 場自辦大型科普

展僅能於雙北地區辦理，較難擴及其他縣市及偏鄉地區」，嗣後將透過網路或與偏鄉地區學校合作，降低因預算遭刪減之不確定性。鼓勵跳脫現有思維框架，建議再強化偏鄉與全國性科普推廣策略，設計其他具創意或彈性的傳播機制，一方面維持科普活動辦理地域的觸及廣度並涵蓋偏遠地區，提升社會影響均衡性，另一方面擺脫對於同仁出差旅費是否足額編列的過度依賴。

4. 宜加速建置「原子能科技決策及管制技術支援平台」，以整合國內分散的研發能量與設備。
5. 針對次世代核能機組（如 SMR），建議參考國際經驗先行規劃設計簡介與安全分析之預審制度，以縮短未來引進之審核流程。
6. 產業落地與經濟效益尚屬中長期，若能補充 TRL 或技轉指標將更完整。
7. 建議建立技術成熟度(TRL)與產業落地指標，以呈現長期經濟效益。
8. 持續深化與產業及國際研究機構合作，推動關鍵技術驗證與商轉。
9. 強化成果整合與跨計畫串接，以提升整體政策與產業影響力。

柒、 總體績效評量

評等：優 良 可 待改善 劣

(優：90 分以上、良：89 分-80 分、可：79 分-70 分、待改善：69 分-60 分、劣：59 分以下)

計畫評估委員：_____