

112 年度政府科技發展計畫 績效報告書 (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 112 年 1 月 1 日 至 112 年 12 月 31 日止

本期：自 112 年 1 月 1 日 至 112 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

目 錄

【112 年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】	5
第一部分	10
壹、目標與架構 (系統填寫).....	11
一、總目標及其達成情形	11
二、架構 (系統產出，不另行填寫).....	13
三、細部計畫與執行摘要	15
貳、經費執行情形	22
一、經資門經費表 (E005)	22
二、經費支用說明	24
三、經費實際支用與原規劃差異說明	24
第二部分	25
壹、成果之價值與貢獻度	26
貳、檢討與展望	33
參、其他補充資料	36
一、跨部會協調或與相關計畫之配合	36
二、大型科學儀器使用效益說明	38
三、其他補充說明(分段上傳)	38
附表、佐證資料表	127

【112年度政府科技發展計畫績效報告基本資料表(D003)】

審議編號	112-2001-11-28-01					
計畫名稱	原子能科技基礎研究及環境建構計畫					
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) 國家原子能科技研究院 國立台灣大學 國立清華大學 財團法人核能資訊中心 財團法人核能與新能源教育協進會 財團法人核能科技協進會					
計畫主持人	姓名	李綺思	職稱	組長		
	服務機關	核能安全委員會綜合規劃組				
	電話	02-2232-2040	電子郵件	chiszul@nusc.gov.tw		
計畫類別	☐ 政策計畫 ☒ 一般計畫 ☐ 基礎研究 ☐ 前瞻計畫					
重點政策項目	☐ 數位經濟與服務業科技創新 ☐ 亞洲·矽谷 ☐ 智慧機械 ☐ 綠能產業 ☐ 生醫產業 ☒ 國防產業 ☐ 新農業 ☐ 循環經濟圈 ☒ 晶片設計與半導體前瞻科技 ☐ 文化創意產業科技創新 ☐ 其他_____					
前瞻項目	☐ 綠能建設 ☐ 數位建設 ☐ 人才培育促進就業之建設					
計畫群組及比重	生命科技__% 環境科技__% 數位科技__% 工程科技 <u>29</u> % 人文社會__% 科技創新 <u>71</u> % 請依群組比重填寫，需有比重最高之群組，且加總須 100%。					
執行期間	112 年 1 月 1 日 至 112 年 12 月 31 日					
全程期間	112 年 1 月 1 日 至 112 年 12 月 31 日					
資源投入 (以前年度 請填決算數)	年度	經費(千元)		人力(人/年)		
	112	36,013.003		22		
	合計	36,013.003		22		
	112 年度	經費項目		預算數(千元)	決算數(千元)	執行率 (%)
		經常門	人事費	0	0	0
			材料費	1,200	1,184.19	98.68
			其他經常支出	38,543	33,697.875	87.43
			小計	39,743	39,160.065	98.53
	資本	土地建築		0	0	0
		儀器設備		1,100	1043.308	94.85

		門	其他資本支出	94	87.63	93.22
			小計	1,194	1,130.938	94.72
			經費合計	40,937	40,291.003	98.42
政策依據	1. NSTP-20210102020000：國家科學技術發展計畫(民國 110 年至 113 年)：1-2-2.培育國家重點領域人才 2. NSTP-20210201010000：國家科學技術發展計畫(民國 110 年至 113 年)：2-1-1.建立科技決策支援體系 3. NSTP-20210202020000：國家科學技術發展計畫(民國 110 年至 113 年)：2-2-2.跨域整合挑戰重大課題 4. PRESTSAIP-01090402030800：六大核心戰略產業推動方案： 4.8 建立太空零件檢測平台及進行國產元件飛試驗證 111-114 年原子能科技民生應用發展策略藍圖					
本計畫在機關施政項目之定位及功能	「推廣原子能科技創新，培育跨域人才」 一、善盡國際核子保防義務，在平等互惠原則下，積極國際合作交流，以技術提升外交軟實力；妥善運用原子能技術，實踐聯合國永續發展目標（SDGs）。 二、鼓勵原子能及其衍生技術於醫、農、工業之多元發展，因應半導體、人工智慧、衛星通訊、永續發展之趨勢，規劃推動具創新挑戰及產業應用價值之原子能專題研究計畫，引領學者深入探討並協助政府尋找解決方案。 三、以長期挹注為原則，強化原子科技跨領域整合之基礎研究及科學實驗，並推動社會需求導向研究，加強人文與科技的融合，促成跨學科與跨領域以及原子科技基礎研究間的相互融合協作，兼顧前瞻科學及人文社會之多元人才培育。 四、推廣原子能科普教育，培養民眾媒體及網路資訊識讀能力，提升全民科學素養。 「建立原子能關鍵技術，促進產業加值」 建構國內電子元件輻射驗證環境，發展太陽電池及晶片抗輻射關鍵技術，促進電子元件產業加值化，以支持太空產業發展。					
計畫摘要	(由管考系統帶入) 細部計畫 1:原子能國際交流與科普傳播 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 細部計畫 2:原子能科技學術合作研究 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					

	細部計畫 3: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、元件製程抗輻射技術發展 三、晶片系統抗輻射技術發展			
計畫目標與預期關鍵成果之達成情形			原設定 (系統帶入計畫書填寫資料，不可修改)	達成情形 (系統帶入管考填寫資料，可修改)
	計畫目標 1	預期關鍵成果 1	每年培育人才至少 20 名，合於未來 3 年重點產業所需。	培育未來 3 年重點產業「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域之學、碩、博士共計 31 名，改善人力缺口。
		預期關鍵成果 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 10 件。	研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務計 6 件、改善能源及半導體產業技術問題計 3 件、調適氣候變遷議題計 2 件，合計 11 件。
	計畫目標 2	預期關鍵成果 1	在 1MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率達 65%。	在 1 MeV 質子照射環境下，太陽電池轉換效率維持率平均達 65.65%。
		預期關鍵成果 2	完成質子束總游離劑量及短脈衝雷射單事件效應驗證技術開發。	1.完成質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現出更高的韌性。 2.整合完成短脈衝雷射垂直及二維平台，並進行晶片抗輻射驗測初步測試。
計畫效益與重大突破	請盡量以條列方式，總字數 600 字為限，說明本計畫實際達成之效益及影響 一、辦理台日、台法定期交流會議，深化雙方合作關係；112 年度自辦原子能科普展總計 5 場（含線上策展），累計人次達 11,945 人，遠高於原規劃目標 4,000 人。			

	二、培育未來 3 年重點產業「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域之學、碩、博士共計 31 名，改善人力缺口；研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務 6 件、改善能源及半導體產業技術問題 3 件、調適氣候變遷議題 2 件，合計 11 件。 三、在 1 MeV 質子照射環境下，太陽電池轉換效率維持率平均達 65.65%；完成質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現出更高的韌性；整合完成短脈衝雷射垂直及二維平台，並進行晶片抗輻射驗測初步測試。
遭遇困難與因應對策	如計畫遭遇困難或落後，請說明原因及因應對策；如無請填寫「無遭遇困難或落後」。 一、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；科普推廣受限人力資源有限，無法持續提升推廣人次，透過與其他科教組織合作、分齡分眾推廣、深耕偏鄉等多元面向，以在有限資源，最大化推廣效益。 二、國家重點產業人才需求每年缺口不一，可能導致人才培育成果不如預期，需因應產業趨勢適時調整研究主題，另原子能管制有別學術研究，可能導致研究成果無法切合管制實務所需，需積極與計畫主持人溝通並強化進度掌控。 三、太空衛星元件包含太陽電池與各式電子元件，牽涉輻射物理、材料與電子工程等相關專業領域，難以由單一之研究單位完成。藉由相關領域的研究人員共同參與，強化研究能量及加強學術交流，以籌組研究團隊方式進行相關主題之研究，遂達成計畫之效益。
後續精進措施	請說明本計畫執行之發現及後續精進規劃，以持續提升計畫效益。 一、配合我國外交政策及國際局勢，將妥善運用我國科技優勢，積極尋求新南向及中東歐國家合作管道之契機；考量原子能科普資訊偏鄉地區較為不易取得，未來採線上及實體併行深耕偏鄉地區推廣，並積極與國內科學教育組織共同合作，開發科普教材及運用新興載具的遊戲，將多元、淺顯易懂的原子能知識，進行分齡、分眾的推廣與傳播，以擴大成果效益。 二、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。 三、太陽電池將藉由調整 GaInP 上層與 InGaAs 中層子電池吸收層之磊晶，以減少因子電池受輻射破壞而導致轉換效率衰退，達

	成於 1MeV 質子照射環境下，轉換效率維持率達 70%之目標；元件製程部分，將透過材料、介面工程、元件結構與電壓脈衝改善電晶體與記憶體之抗輻射能力；晶片系統部分，已分別完成抗輻射電壓轉換器設計及異質整合製程之 ROM 晶片下線，未來將運用短脈衝雷射測試平台對於電壓轉換器進行抗輻射測試，並對於 ROM 晶片進行質子照射測試。			
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		
	電話	02-2232-2082	電子郵件	chhe@nusc.gov.tw

第一部分

註：第一部分及第二部分（不含佐證資料）合計頁數建議以不超過 200 頁為原則，相關有助審查之詳細資料宜以附件方式呈現。

壹、目標與架構（系統填寫）

(計畫目標與架構之呈現方式應與原科技計畫書一致，如實際執行與原規劃有差異或變更，應予說明；另績效報告著重實際執行與達成效益，請避免重複計畫書內容。)

一、總目標及其達成情形

1. 全程總目標：深化國際合作關係，提升全民科學素養；推廣民生應用研究，培育國家重點人才；建立輻射驗證環境，提升產業附加價值
2. 分年目標與達成情形：請填寫為達成上述計畫總目標，各年度計畫分年目標及其達成情形。

年度 ¹	分年目標 ²	達成情形 ³
第一年 推廣民生應用研究，培育國家重點人才	1-1 每年培育人才至少 20 名，合於未來 3 年重點產業所需。 1-2 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 10 件。	1-1 培育未來 3 年重點產業「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域之學、碩、博士共計 31 名，有助改善未來重點產業人力缺口。 1-2 研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務計 6 件、改善能源及半導體產業技術問題計 3 件、調適氣候變遷議題計 2 件，合計 11 件。
第一年 建立輻射驗證環境，提升產業附加價值	2-1 在 1MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率達 65%。 2-2 完成質子束總游離劑量及短脈衝雷射單事件效應驗證技術開發。	2-1 在 1 MeV 質子照射環境下，太陽電池轉換效率維持率平均達 65.65%。 2-2 完成質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現出更高的韌性；整合

		完成短脈衝雷射垂直及二維平台，並進行晶片抗輻射驗測初步測試。
--	--	--------------------------------

備註：

- 1.年度：請依計畫書期程撰寫，須填寫全程，第一年度請置於最上。單年計畫僅填寫該年度即可。
- 2.目標：請依計畫書規劃撰寫，質量化皆可。
- 3.達成情形請依目標簡要說明進展或重要成果，未來年度可填「-」。若有未達成、未完全達成或其他需要說明或圖示之處，請於下方填寫。

說明：

二、架構 (系統產出，不另行填寫)

細部計畫		主持人	執行機關	計畫目標	本年度效益、影響、重大突破
名稱	預算數/ (決算數) (千元)				
原子能國際交流與科普傳播	2,037 (2,040.63)	李綺思	核能安全委員會綜合規劃組	深化國際合作關係，提升全民科學素養：透過既有合作管道定期召開技術交流會議掌握國際資訊，並持續深化我國與歐、美、日及聯合國原子能科技合作關係，並伺機尋求契機促成合作協議、備忘錄之簽署，以拓展我國國際空間，每年交流議題視國內外情勢及雙方共識滾動式檢討，112 年議題著重核電廠除役經驗、日本氙水排放資訊及核子保防協調等；持續推廣原子能科學教育並舉辦各式活動，促進民眾關切原子能事務公共議題及瞭解科技民生應用資訊，112 年宣導議題視時勢及科研成果逐年滾動檢討，包含核電廠除役、核廢料議題、食品輻射檢測、原子能科技民生應用等科普資訊，另因應國人關切開放日本福島 5 縣市食品進口議題，聚焦食品輻射檢測技術及能量宣導。	1. 112 年度辦理「台法輻射防護與核能安全交流會議」及赴日參加「第 9 屆台日核能管制資訊交流會議」等國際會議 2 場符合原規劃目標。 2. 112 年度自辦原子能科普展總計 5 場(含線上策展)，累計人次達 11,945 人，遠高於原規劃目標 4,000 人，成果豐碩。
原子能科技學術合作研究	27,000 (27,000)	李綺思	核能安全委員會綜合規劃組	推廣民生應用研究，培育國家重點人才：因應國際趨勢及國內產業人力需求逐年滾動修正，並以長期經費挹注為原則，推動原子能科技基礎研究，厚實國家科技能量，提升國際競爭力，並培育核電廠除役、核廢料管理、輻射作業及放射醫學科技人才，以及因應重點產業人力短缺問題，培育與原子能科技相關之人工智慧、半導體	1. 培育未來 3 年重點產業「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域之學、碩、博士共計 31 名，有助改善未來重點產業人力缺口。 2. 研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務計 6 件、改善能源及半導

				及材料檢測分析等新興科技跨領域人才。112 年經徵詢專家學者討論結果，研究主題涵括核電廠除役、核廢料處理、輻射安全、放射醫學科技，並強化半導體、人工智慧、材料分析等重點產業，以及聯合國永續發展目標相關議題研究。	體產業技術問題計 3 件、調適氣候變遷議題計 2 件，合計 11 件。
衛星元件開發及輻射驗證環境建構	11,900 (11,260.373)	李綺思	核能安全委員會綜合規劃組	建立輻射驗證環境，提升產業附加價值：因應國際低軌道通訊衛星商業化趨勢，整合國內加速器、輻射源及高能雷射設施，建構抗輻射電子元件研發環境，並槓桿半導體製程、設計、封裝等產業優勢，發展抗輻射太陽電池及晶片等關鍵技術，以促進國內電子元件產業加值化，布局全球衛星產業供應鏈市場。規劃 4 年分階段實施，並視每年成果檢討修正，112 年目標以建置國內衛星元件輻射驗證環境為主，113 年著重完整評估衛星元件抗輻射技術及方法，114 年以實現電子元件抗輻射能力為目標，115 年以達成電子元件抗輻射能力優於商用太空規格為目標。	1.在 1 MeV 質子照射環境下，太陽電池轉換效率維持率平均達 65.65%。 2.完成質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現出更高的韌性；整合完成短脈衝雷射垂直及二維平台，並進行晶片抗輻射驗測初步測試。

三、細部計畫與執行摘要

本段落資料由系統自動帶入，部分項目請依執行進度更新，完整執行內容請以附件上傳方式提供。

細部計畫 1	原子能國際交流與科普傳播	計畫性質	科技政策規劃與管理
主持人	李綺思	執行機關	核能安全委員會綜合規劃組
計畫規劃內容			
計畫目標	深化國際合作關係，提升全民科學素養：透過既有合作管道定期召開技術交流會議掌握國際資訊，並持續深化我國與歐、美、日及聯合國原子能科技合作關係，並伺機尋求契機促成合作協議、備忘錄之簽署，以拓展我國國際空間，每年交流議題視國內外情勢及雙方共識滾動式檢討，112 年議題著重核電廠除役經驗、日本氙水排放資訊及核子保防協調等；持續推廣原子能科學教育並舉辦各式活動，促進民眾關切原子能事務公共議題及瞭解科技民生應用資訊，112 年宣導議題視時勢及科研成果逐年滾動檢討，包含核電廠除役、核廢料議題、食品輻射檢測、原子能科技民生應用等科普資訊，另因應國人關切開放日本福島 5 縣市食品進口議題，聚焦食品輻射檢測技術及能量宣導。		
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		
預期成果	一、辦理國際交流會議 2 場。 二、自辦原子能科普展 4 場（含線上策展），人次達 4,000 人。		
計畫投入			
預算數（千元）／ 決算數（千元）／ 執行率	2,037/2,030.63/99.69%	總人力（人年） 實際／（規劃）	11/11
其他資源投入	無。		
主要工作項目	本年度重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象	
方案規劃及計畫管	委託財團法人，分別執行「我國原子能安全管理支援	核安會/產業界/財團法人核能資訊中心、財團法人核能	

理	體系先期評估」及「我國原子能科技決策支援體系先期評估」研究計畫，並就科技佈局或管制支援議題初步提出 5 項政策建議。	科技協進會、財團法人核能與新能源教育協進會
國際合作與技術交流	112 年度辦理「台法輻射防護與核能安全交流會議」及赴日參加「第 9 屆台日核能管制資訊交流會議」等國際會議 2 場符合原規劃目標。	核安會/外交部/日本原子力規制委員會(NRA)、法國輻射防護與核能安全研究所(IRSIN)
科學教育與資訊推廣	112 年度自辦原子能科普展總計 5 場（含線上策展），累計人次達 11,945 人。	核安會/國中、國小學生/國中小學校
本年度效益、影響、重大突破		
1.辦理台日、台法定期交流會議，深化雙方合作關係。 2.自辦原子能科普展總計 5 場（含線上策展），累計人次達 11,945 人，遠高於原規劃目標 4,000 人。		
遭遇困難與因應對策		
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。 2.科普推廣受限人力資源有限，無法持續提升推廣人次，透過與其他科教組織合作、分齡分眾推廣、深耕偏鄉等多元面向，以在有限資源，最大化推廣效益。		

細部計畫 2	原子能科技學術合作研究	計畫性質	D.基礎研究
主持人	李綺思	執行機關	核能安全委員會綜合規劃組
計畫規劃內容			
計畫目標	推廣民生應用研究，培育國家重點人才：因應國際趨勢及國內產業人力需求逐年滾動修正，並以長期經費挹注為原則，推動原子能科技基礎研究，厚實國家科技能量，提升國際競爭力，並培育核電廠除役、核廢料管理、輻射作業及放射醫學科技人才，以及因應重點產業人力短缺問題，培育與原子能科技相關之人工智慧、半導體及材料檢測分析等新興科技跨領域人才。112 年經徵詢專家學者討論結果，研究主題涵括核電廠除役、核廢料處理、輻射安全、放射醫學科技，並強化半導體、人工智慧、材料分析等重點產業，以及聯合國永續		

	發展目標相關議題研究。		
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		
預期成果	一、論文產出 40 篇 二、人才培育 65 人		
計畫投入			
預算數（千元）／ 決算數（千元）／ 執行率	27,000/27,000/100%	總人力（人年） 實際／（規劃）	2/2
其他資源投入	國家科學技術發展基金		
主要工作項目	本年度重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象	
人才培育	112 年度原子能科技學術合作研究共補助 32 項計畫，截至 12 月底達成 27 項研究成果評估，計培育學、碩、博士 161 人，論文產出 73 篇，其中 31 人合於未來 3 年重點產業所需「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域，其中有 5 項計畫，業經國科會同意展期至 113 年，後續再進行追蹤完成，並針對計畫不足部分逐年檢討修正。	核安會/產業界/大專院校	
研究成果效益	研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務計 6 件、改善能源及半導體產業技術問題計 3 件、調適氣候變遷議題計 2 件，合計 11 件。	核安會/產業界、民眾/大專院校	

成果發表	112 年 6 月 9 日假國立臺灣師範大學進修推廣學院與國科會共同辦理 111 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表會，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 57 項計畫成果發表，並邀請各界參與研究成果之發表暨討論，共計約 160 人參加，本次成果發表會邀請會內外專家學者 28 人分組評核併行優良計畫評選，各場次皆評選出優良計畫 1 名，與會者反應踴躍及熱烈。	核安會/學術界/國家科學及技術委員會、大專院校
本年度效益、影響、重大突破		
1.培育未來 3 年重點產業「農產品物流冷鏈」、「智慧機械」、「航太」、「太陽光電」領域之學、碩、博士共計 31 名，改善人力缺口。 2.研究成果有助政府民眾溝通、電廠管制、法制業務計 6 件、改善能源及半導體產業技術問題計 3 件、調適氣候變遷議題計 2 件，合計 11 件。		
遭遇困難與因應對策		
國家重點產業人才需求每年缺口不一，可能導致人才培育成果不如預期，需因應產業趨勢適時調整研究主題，另原子能管制有別學術研究，可能導致研究成果無法切合管制實務所需，需積極與計畫主持人溝通並強化進度掌控。		

細部計畫 3	衛星元件開發及輻射驗證環境建構	計畫性質	E.產業技術研發
主持人	葉彥顯	執行機關	國家原子能科技研究院
計畫規劃內容			
計畫目標	建立輻射驗證環境，提升產業附加價值：因應國際低軌道通訊衛星商業化趨勢，整合國內加速器、輻射源及高能雷射設施，建構抗輻射電子元件研發環境，並槓桿半導體製程、設計、封裝等產業優勢，發展抗輻射太陽電池及晶片等關鍵技術，以促進國內電子元件產業加值化，布局全球衛星產業供應鏈市場。規劃 4 年分階		

	段實施，並視每年成果檢討修正，112 年目標以建置國內衛星元件輻射驗證環境為主，113 年著重完整評估衛星元件抗輻射技術及方法，114 年以實現電子元件抗輻射能力為目標，115 年以達成電子元件抗輻射能力優於商用太空規格為目標。		
重點描述	一、太陽電池抗輻射技術發展 二、元件製程抗輻射技術發展、 三、晶片系統抗輻射技術發展		
預期成果	一、論文產出 2 篇 二、跨機構合作團隊 2 個 三、衛星元件抗輻射檢驗方法 3 項		
計畫投入			
預算數（千元）／ 決算數（千元）／ 執行率	11,900/11,260.373/94.62%	總人力（人年） 實際／（規劃）	9/9
其他資源投入	無。		
主要工作項目	本年度重要成果	主要成果使用者/服務對象/合作對象	
太陽電池抗輻射技術發展	子項計畫「太陽電池抗輻射技術發展」 1.測試降低金屬電極與半導體間之電阻，以 CTLM 方式研究在不同退火溫度下，特徵接觸電阻率之變化，以獲得最低之接觸電阻。 2.透過半導體結構優化，在 1 MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率平均已達 65.65%。	國家原子能科技研究院/太空中心、產業界/臺灣大學、清華大學	
元件製程抗輻射技術發展	子項計畫「元件製程抗輻射技術發展」 1.參考太空中低軌道衛星在范艾倫輻射帶(Van Allen belt)內層可能承受的質子輻射，估算其能量約為 10	清華大學/太空中心、產業界/臺灣大學、國家原子能科技研究院	

	MeV，並使用固定的質子通量率(flux) (8.33×10^{10} ions/cm²/s)，分別對鐵電記憶體元件進行 10 分鐘和 50 分鐘的質子束照射，總質子流量分別為 5×10^{13} ions/cm² 和 2.5×10^{14} ions/cm²。另計畫首次探討質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體之特性影響，其中 HZO 鐵電層之 Zr 含量範圍從 40 %到 67 %，而質子流量最高達 2.5×10^{14} ions/cm²。 2.研究 MOSFET 與 FinFET 元件受 Co-60 輻射照射後，MOSFET 的飽和電流衰退明顯，FinFET 飽和電流僅有些微的劣化，呈現較佳的抗輻射能力。 3.研究 Ar+與 He+輻照對於 GaN 磊晶層及中子輻照對於 4H-SiC 基材的影響，當輻照通量達到損傷程度相當於 dpa 最大值為 11 時，載子移除率約為 32.5%。	
晶片系統抗輻射技術發展	子項計畫「晶片系統抗輻射技術發展」 1.已經完成傳統 SWR 與抗輻射 SWR PCB 之設計及傳統與抗輻射 SWR PCB 下線。 2.有關短脈衝雷射輻射驗證平台設計部分，已整合完成垂直平台及二維平台。 3.有關異質整合製程之 ROM 晶片電路佈局設計已完成，預計 112 年 12 月底前完成 T18 製程之晶片，後續將進行 ROM 晶片的量測與功能測試。	臺灣大學/太空中心、產業界/清華大學、國家原子能科技研究院
本年度效益、影響、重大突破		
1.測試太陽電池金屬電極與半導體間之電阻，以獲得最低之接觸電阻，並透過半導體結構優化，在 1 MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率平均已達 65.65%。 2.完成探討質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現		

出更高的韌性(resilience)，不僅呈現高達 2.4 V 的記憶視窗，即使經過 107 次的反覆操作其記憶視窗僅有些微衰減。 3.整合完成短脈衝雷射輻射驗證平台垂直平台及二維平台，並完成脈衝雷射光協助進行晶片之抗輻射照射初步測試。 4.計產出論文 4 篇，跨機構合作團隊 3 個，以及產出太陽電池質子束檢測、鐵電記憶體質子束檢測、電晶體加馬照射、晶片短脈衝雷射檢測方法 4 項。
遭遇困難與因應對策
太空衛星元件包含太陽電池與各式電子元件，牽涉輻射物理、材料與電子工程等相關專業領域，難以由單一之研究單位完成。藉由相關領域的研究人員共同參與，強化研究能量及加強學術交流，以籌組研究團隊方式進行相關主題之研究，遂達成計畫之效益。

貳、經費執行情形

一、經資門經費表 (E005)

1. 初編決算數：因績效報告書繳交時，審計機關尚未審定 112 年度決算，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。

單位：千元；%

	112 年度					113 年度 預算數	114 年度 申請數	備註
	預算數 (a)	初編決算數			執行率 (d/a)			
		實支數 (b)	保留數 (c)	合計 (d=b+c)				
總計	40,937	36,013.003	4,278	40,291.003	98.42%	49,864	55,281	112 年度預算執行情況： 因 112 年度學術合作研究計畫第 2 期款追加經常門經費 165 千元及其中有 5 項計畫展期保留經費門 4,278 千元，
一、經常門小計	39,742	34,882.065	4,278	39,160.065	98.54%	48,868	54,581	
(1)人事費	0	0	0	0		0	0	
(2)材料費	1,200	1,184.19	0	1,184.19	98.68%	0	0	
(3)其他經常支出	38,543	33,697.875	4,278	37,975.875	98.53%	48,868	54,581	
二、資本門小計	1,194	1,130.938	0	1,130.938	94.72%	996	700	
(1)土地建築	0	0	0	0		0	0	
(2)儀器設備	0	0	0	0		0	0	
(3)其他資本支出	1,194	1,130.938	0	1,130.938	94.72%	996	700	

		112 年度 決算數 (執行率)	113 年度 預算數	114 年度 申請數	備註
科技計畫總計		40,291.003 (98.42%)	49,864	55,281	
細部計畫 1 原子能國際交流與科普傳播	小計	2,030.63 (99.69%)	5,896	8,081	
	經常支出	1,943 (100%)	5,800	7,981	
	資本支出	87.63 (93.22%)	96	100	
細部計畫 2 原子能科技學術合作研究	小計	26,968.308 (99.88%)	29,000	31,000	
	經常支出	26,900 (100%)	28,900	30,900	
	資本支出	68.308 (68.31%)	100	100	
細部計畫 3 衛星元件開發及輻射驗證環境建構	小計	11,292.065 (94.89%)	14,968	16,200	
	經常支出	10,317.065 (94.65%)	14,168	15,500	
	資本支出	975 (97.5%)	800	700	

二、經費支用說明

(請簡扼說明各項經費支用用途，例如有高額其他經費支出，宜說明其用途；或就資本門說明所採購項目及目的等。)

(一) 經常門

- 1.材料費：主要用於支應國原院購買 MOCVD 用砷化氫氣體源、砷化鎵磊晶基板、磊晶製程化學藥品、實驗用薄膜膠片等消耗性材料費及實驗室設備零件費等約 1,184.19 千元。
- 2.其他經常支出：主要用於支應委辦費及補助經費，委託費用於支應國家原子能科技研究院、國立清華大學及國立臺灣大學合作執行「衛星元件開發及輻射驗證環境建構」計畫 11,900 千元（結餘款 816.632 千元）。補助經費用於支應國內大專院校合作執行 32 項計畫 26,900 千元（實現數 22,818.692 千元），其中有 5 項計畫，業經國科會同意展期至 113 年。以及會內所需差旅費、審查費、行政管理費、勞務委託費等支出，共計約 1,943 千元。

(二) 資本門

- 1.儀器設備：主要用以購置真空魯式幫浦 145 千元及真空系統磁控濺鍍靶槍 830 千元，共計 975 千元。
- 2.其他資本支出：因應計畫管理需求，汰換筆電設備 2 台約 87.63 千元。

三、經費實際支用與原規劃差異說明

(如有執行率偏低、保留數偏高、經資門流用比例偏高等情形，均請說明。)

(一) 經常門

- 1.整體計畫：合於預期。
- 2.細部計畫：合於預期。

(二) 資本門

合於預期。

第二部分

註：第一部分及第二部分（不含佐證資料）合計頁數建議以不超過 200 頁為原則，相關有助審查之詳細資料宜以附件方式呈現。

參、成果之價值與貢獻度

(請說明計畫執行至今所達成之主要成果之價值與貢獻，亦即多年期科技計畫，請填寫起始年累積至今之主要成就及成果之價值與貢獻度。)

一、學術成就(科技基礎研究)

透過「原子能科技學術合作研究」推動，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 73 篇，其中投稿刊登於國內期刊及研討會 21 篇，國外期刊及研討會 52 篇，另產出研究報告 32 份，養成太空科技、地質水文、材料科學、太陽光電、半導體、科學教育、媒體傳播、法律政策、科技藝術等 23 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。

二、技術創新(科技技術創新)

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，為建立我國電子元件抗輻射技術創新，執行「衛星元件開發及輻射驗證環境建構」計畫，建構太陽電池及晶片抗輻射自主研發能力，並建立電子元件地面輻射驗測環境：

- 1.在 1MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率達 65%：測試太陽電池金屬電極與半導體間之電阻，以獲得最低之接觸電阻，並透過半導體結構優化，在 1 MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率平均已達 65.65%。
- 2.完成質子束總游離劑量及短脈衝雷射單事件效應驗證技術開發：
 - (1)完成探討質子輻照流量對於基於 FeFET 鐵電記憶體特性之影響研究，結果顯示 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體對質子輻照表現出更高的韌性(resilience)，不僅呈現高達 2.4 V 的記憶視窗，即使經過 10^7 次的反覆操作其記憶視窗僅有些微衰減。
 - (2)整合完成短脈衝雷射輻射驗證平台垂直平台及二維平台，並完成脈衝雷射光協助進行晶片之抗輻射照射初步測試。

三、經濟效益(經濟產業促進)

透過「原子能科技學術合作研究」推動，改善產業技術問題：

- 1.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：結合射頻磁控濺鍍與原子層沉積(ALD)技術之特點，開發應用於 EUVL 高反射率元件之保護膜材料與製程技術，保護膜可以阻擋氫氣對於 EUV 薄膜的腐蝕，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，解決目前台灣對於半導體之極紫外光波段高反射鏡之光學薄膜問題，此項混和鍍膜技術有助擺脫對國外 EUV 反射鏡元件廠商的依賴。
- 2.X 光、電子等量子束於氧化亞銅異質奈米結構光電化學產氫膜層之材料分析研究與人才培育（第二年）：利用常壓電漿噴流系統和先前對銅箔的蝕刻處理成功在低溫 300°C 短時間內生長出奈米線，並進一步的結合長時間的退火處理達到高比表面積的氧化亞銅奈米線結構。同時，沉積氧化鋅或二氧化鈦奈米顆粒於氧化亞銅奈米線上來達到 PN 異質結構，增強整體電荷分離的效率，提升太陽能產氫效率。
- 3.中子轉化摻雜技術於氮化鎵磊晶式異質基板之應用可行性評估：研究建立中子轉化摻雜氮化鎵技術，相較於使用離子佈植方式摻雜半導體，可改善晶格損傷與均勻性等問題，另因鎵、鍺已被中國列為出口管制要項，亦有助於提升國內鍺材料供應鏈之韌性。

四、社會影響(社會福祉提升、環境保護安全)

社會福祉提升

透過「原子能科技學術合作研究」推動，提供政府解決社會議題之方法：培力民眾正確面對非核家園之核電廠除役素養觀整合計畫：新媒體溝通策略之解構與建構（2/2）

從提升臺灣民眾正確理解核電廠除役公共議題的討論建構社群媒體訊息的模式，以培力臺灣民眾明瞭「台電」與「核安會」對於除役工作的「職責不同」，同時融入素養導向的新媒體溝通模式，據以建構核安會未來在核電廠除役議題上，能進行有效且精準的社群媒體溝通模式，研究成果已為核安會建構適用新媒體（社群媒體）溝通的原則，針對核電廠除役議題的「分眾」溝通擬定溝通策略準則，藉以促進核安會未來能與不同新媒體分眾，展開核電廠除役議題有效且正確的政策溝通，開創不同社群媒體的分眾能正確理解核安會「確

保核能安全」與「原子能民生應用永續發展」為主體的核電廠除役新媒體分眾溝通模式，作為未來核安會新媒體政策溝通策略的藍圖。

環境保護安全

透過「原子能科技學術合作研究」推動，促進環境永續發展：

- 1.以珊瑚骨骼硼及鉛同位素探討台灣海域之海洋酸化及鉛汙染史：分析取自東沙環礁北礁台之現生微孔珊瑚（*Porites* spp.），分別針對南海北部之海洋酸化與海洋鉛污染源追蹤及傳輸路徑兩個面向深入研究。目前觀測到的酸化趨勢雖尚不具統計意義（ $p < 0.05$ ），但已經確立應用東沙珊瑚骨骼中硼系統重建南海北部海洋環境的可行性。珊瑚骨骼 Pb/Ca 的分析結果則顯示南海北部的鉛汙染已超出預期。
- 2.放射誘變在毛豆適應極端氣候育種之研究：透過誘變庫生理性狀資料篩選出具高機能性之毛豆潛力品系或培育出抗氣候逆境（如：乾旱、淹水...等）之毛豆潛力品系，以及豆科種子利用輻射誘變之放射劑量選擇參考依據，進而快速篩選出抗氣候逆境、高產量或食味品質優良等特性的潛力品系，提供毛豆育種選拔參考，以增加毛豆優良品系的選擇，供未來毛豆新品種育成應用，以因應極端氣候可能影響農作物的產量和品質。

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

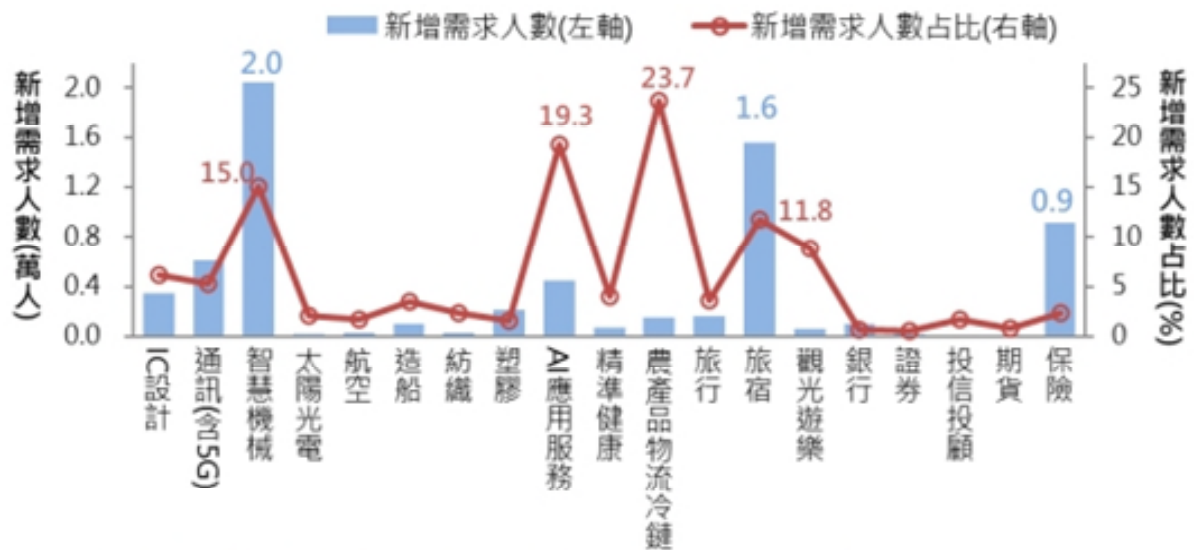
委託財團法人核能資訊中心辦理「我國原子能科技決策支援體系先期評估」研究計畫，蒐集國際原子能總署、歐盟、美國、日本、中國等國際重要組織與國家，在國際原子能科研體系、重要政策及合作管道等資訊，作為我國借鏡國際趨勢擬訂原子能科技政策之參考。

(二)人才培育

透過「原子能科技學術合作研究」推動，培育學、碩、博士 161 人，其中 31 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，如圖 3.5.1)。

智慧機械	太陽光電	航太	農產物流	合計
9 人	6 人	10 人	6 人	31 人

表 3.5.1:原子能科技學術合作研究培育重點產業人才統計表



註：新增需求人數占比係指產業新增需求人數占該產業就業人數之比例。

圖 3.5.1:112-114 年重點產業人才平均每年新增需求人數及其占比

(三)法規制度

透過「原子能科技學術合作研究」推動，協助政府法規制度建立與行政自省。

- 1.當代原子能法重要法律議題及訴訟案例研析(II)：探討國際法學刊物核能法學學報 (Nuclear Law Bulletin (NLB)) 內所摘錄之各國代表性核能訴訟資料，並研究整理分析國內近年重要的原子能訴訟之案例，涵蓋約十四個國家或區域之重要原子能判決 (歐盟、德國、義大利、瑞典、瑞士、斯洛伐克、荷蘭、捷克、英國、美國、芬蘭、法國、加拿大、比利時等)，相關分析及成果可提供核安會行政程序檢討及行政訴訟策略之參考依據。
- 2.原子能訴訟案例探討與研析：聚焦各國訴訟與國際核能法規間之關聯：本研究以國際核能訴訟案件資料庫為基礎，探討國際核能法制與各國核能相關訴訟案件之間的互動關係，相關分析及成果可提供核安會後續國際公約參與與締約之參考。

(四)國際合作

我國多年來已與歐、美、日建立原子能交流合作管道，近年因國際貿易保護趨勢及半導體供應鏈議題，我國逐漸成為國際關注焦點，亦為我國拓展原子

能國際合作之良好契機，本計畫執行，無論在核電廠除役技術交流、國際原子能資訊蒐集、核子保防工作推動等，除持續性深化既有國際原子能總署、美、日、法合作管道外，尋求新國際組織事務之參與機會，以建立良性且關鍵之國際人脈，並透過核電廠除役管制經驗及原子能科技研發等軟實力提升國際能見度。

(五)推動輔導

- 1.核安會分別於花蓮及台中自辦「花蓮愛科學 原子 GO 探險趣 x 行動科教館」及「原子 GO 探險趣」科普展 2 場，透過互動遊戲、模型展示和淺顯解說，讓參觀民眾在遊戲中瞭解生活環境中與原子能科學有關的知識，累計參與人次 7,746 人，並以數位傳播方式，提供國小及國中分齡分眾的網路影音課程與手作教材，像是繪本導讀、認識災防包、指紋採集實驗等內容，透過輕鬆活潑的解說及動手體驗，引導學生在學習科普知識之餘，也能對原子能科學及綠能研發產生興趣，總計有 3,992 人次參與(國小 2,582 人次、國中 1,410 人次)，報名學校分布於新北市、新竹市、新竹縣、彰化市、嘉義市、雲林縣、台南市、高雄市、屏東縣及連江縣，計 10 個縣市。
- 2.透過「原子能科技學術合作研究」與大專院校共同合作，推動國中小、高中及大專生之科普知識、科技素養及性平意識之養成，並製作教案及教材，提供核安會使用。
 - (1)科技與藝術人文互融的跨域探究：針對藝術學院學生進行核電基礎、核安處置、環境輻射及輻射於文資保存應用等方面之科技素養培育，以促進藝術學生對於原子能科技之啟發與創作，兩門課程共計有 92 名藝術學院學生修課。
 - (2)以性別平等與跨文化視角進行原子能科普傳播之研究：從性別平等、包容性科學傳播（含括偏遠區域、教育弱勢或不同文化、族群等）角度檢視國內科學傳播的實踐情形，並以原子能科學傳播領域為主要觀察領域，藉由計畫執行，檢視跨文化原子能科學傳播的實踐情形，與反思未來如何促使包容性科學傳播之實踐。
 - (3)化學遊樂趣 — 從貴重氣體到原子能科學：以兩台貨車改裝之化學車與分析車做為實驗載具及魔術秀舞台，帶著各式各樣的化學教育資源

進入全國不同區域之國中小、高中校園舉辦化學教育推廣，另提供專業的輻射及化學實驗課程給高中生，同時也支援全臺不同地區舉辦之大型科普教育推廣活動，以協助社會大眾不同族群有機會認識原子能與輻射知識。

- (4)「原」來是這樣！原子能科普教材研發與活動推廣：透過化學、物理、科技、教育與教材開發等專家提供意見，以其理化知識為基礎，融合生活科技與健康教育範疇的應用，完成兩套目標族群學生適用的「原子少年學堂」科學桌上遊戲：青蛙王子變身記及「原」來是這樣：中學生的24堂原子課。同時至全省各國中辦理了29場次「原來是這樣」研習活動（包括桌遊競賽與輻射儀器環境實務檢測），讓學生藉由參與原子能科普桌遊活動，進一步活化其原子知識基礎學習，提升對原子能應用範疇理解的深度與廣度；共有585位（女性：318人，54.3%，男性：267人，45.6%）師生共同參與，科普推廣活動辦理總時數累積計有56小時；活動結束後對學習者進行科學桌遊學習成效評量，成效均達4.0分以上（滿級分5分），且原子能知識評量的正確率達87.3%以上。

- (5)科展用核能與輻射知識之跨平台電玩遊戲：以核電廠除役為主題，製作科展用電玩遊戲「核電廠除役大作戰」，讓民眾知道核電廠除役的相關知識，包含了用過核燃料棒的移出和乾式貯存，核反應爐的除汙與切割，核電廠拆除、輻射偵測與恢復綠地等等，所開發的相關成果，已授權給核安會用於科展活動中提供參觀民眾體驗。

(六)管制支援

透過「原子能科技學術合作研究」推動，對於核電廠除役、核子保安管制所面臨實務議題，系統性蒐集國際資訊、管制要求及經驗回饋，以協助核安會解決核電廠管制業務所面臨實務挑戰。

- 1.核電廠消防設備於除役階段之維護管理策略研究：核電廠永久停機後，消防防護目標不再是安全停機而轉變成保護用過燃料池中的剩餘用過核燃料，以防止火災造成放射性物質的釋放或擴散。藉由實地探勘核一廠內部的消防設備，對照國外的法規所建議除役中的核電廠應維持火警探

測器、滅火器、自動滅火系統、消防栓設備的功能，進行比較，瞭解目前實際狀況及進度，並參考國際上歷史火災案例為基礎，建議應定期由第三公正單位現場勘察，以不同視角對核電廠除役過程做滾動式檢討。

2.提升除役階段之核設施核子保安組織管理與危機意識及其成效評估研究：

透過國際資料研析發現，核子保安文化的建立，可以強化除役階段核設施核子保安組織管理與危機意識，因此參考 IAEA 相關核子保安文化的資料，對於除役階段所面臨的變化，提出相關的核子保安文化推動方案。在最高管理層的承諾(核子保安政策)下使用 PDCA(P 計畫-D 執行-C 審查-A 修正)的四部步驟，持續改善。建議的推動方案為 (1)建立除役階段核子保安政策、(2)核子保安文化自我評估、(3)評估結果分析、(4)建立核子保安文化計畫、(5)施行核子保安文化計畫並定期檢視，然後重複(2)-(5)持續改善核子保安文化。。

3.壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析：廣泛蒐集國外核電廠除役拆除的相關經驗，包括美國(6 個)、歐洲(3 個)及日本(1 個)除役核電廠在拆除階段的相關作法，並彙整各國際案例重點，提出相應之管制建議。

肆、檢討與展望

(請檢討計畫執行可改善事項或後續可精進處，並說明後續工作構想重點與未來展望等；屆期計畫請強化說明後續是否有下期計畫、計畫轉型或整併、納入機關例行性業務、或其他推廣計畫成果效益之作為等。)

細部計畫 1: 原子能國際交流與科普傳播

一、方案規劃及計畫管理

112 年已整合核安會委託財團法人，辦理「我國原子能安全管制支援體系先期評估」研究計畫及「我國原子能科技決策支援體系先期評估」研究計畫，就原子能科技民生應用，且參酌原子能科技民生應用發展策略藍圖並蒐集世界各關鍵單位與國外有關研析原子能科研體系、重要政策及可能之合作管道，以及國際核安管制技術支援組織體系等，並促成未來 4 年「我國原子能施政支援體系建構」計畫，俾核安會未來建立科技智庫及技術支援體系之參考。

二、國際合作與技術交流

核安會多年來已與歐、美、日建立原子能交流合作管道，近年因國際貿易保護趨勢及半導體供應鏈議題，我國逐漸成為國際關注焦點，亦為我國拓展原子能國際合作之良好契機，本計畫執行無論在原子能管制技術交流、國際原子能資訊蒐集、核子保防工作推動等，除持續性深化既有國際原子能總署、美、日、法合作管道外，尋求新國際組織事務之參與機會，以建立良性且關鍵之國際人脈，並透過核電廠除役管制經驗及原子能科技研發等軟實力提升國際能見度。未來配合我國外交政策及國際局勢，將妥善運用我國科技優勢，積極尋求新南向及中東歐國家合作管道之契機。

三、科學教育與資訊推廣

- (一) 核安會自 108 年起自辦原子能科技科普展，透過科普教育可提升全民正確的原子能知識，根據活動後滿意度調查問卷統計，參加實體科普展民眾多具地緣關係，為擴大原子能科普知識的傳播，核安會思考以數位學習方式推廣原子能科普，並規劃以班級為報名單位之原子能線上科普研習活動，透過觀看科普影片與手作課程，認識原子能民生應用、緊急應變民眾防護行動與綠能科技相關科普知識，藉由網路無距離的限制，讓科普活動擴展至過去未曾辦理實體科普展的縣市，包括花蓮縣、屏東縣偏鄉地區的原住民學生也能參與學習，提升了原子能科普的觸及廣度。
- (二) 核安會自辦原子能科普除讓民眾認識原子能知識外，亦可吸引學子投入原子能相關學術領域，有利人才儲備。因此，為讓實體科普活動達較佳的知

識傳播效益，在時間可以配合的情況下，將邀請在地國、高中生擔任攤位解說員，並提供原子能科普課程及解說訓練，讓同學們進一步探索原子能知識，並藉由與民眾溝通互動的回饋，培養對科學的興趣及感受科學學習的樂趣。此外，也與策展週邊的國小合作辦理暑期學習活動，設計原子能知識學習單，提供國小學童策展後有延伸學習的機會。

- (三) 在自辦科普展方面，考量偏鄉地區資源有限，原子能科普資訊相較都會地區較為不易取得，未來將深耕偏鄉地區原子能科普推廣，並運用網路之無遠弗屆持續線上推廣，並積極與國內科學教育組織共同合作，開發科普教材及運用新興載具的遊戲，將多元、淺顯易懂的原子能知識，進行分齡、分眾的推廣與傳播，以擴大推廣效益。

細部計畫 2: 原子能科技學術合作研究

- (一) 110-112 年藉由學術合作研究推動，共產出論文 148 篇，培育人才 342 人，研究報告 68 篇（詳如表 4.2.1），領域涵括核能安全、輻射防護、放射醫學、人工智慧、半導體、太空科技、量子技術、綠能材料、環境永續、人文藝術、法律及公共政策，研究成果除可支援核安會管制及政策規劃，建立自主核醫產業技術，並因應前瞻科技及產業需求，培育跨領域人才

績效指標項目	110 年實際量化值	111 年實際量化值	112 年實際量化值
論文	國內外期刊 22 篇 國內外研討會論文 12 篇 國內專書論文 1 篇	國內外期刊 21 篇 國內外研討會論文 20 篇 國內專書論文 0 篇	國內外期刊 26 篇 國內外研討會論文 45 篇 國內專書論文 1 篇
合作團隊	12 個	12 個	23 個
人才培育	博碩士 49 人 大學生 15 人	博碩士 66 人 大學生 54 人	博碩士 100 人 大學生 58 人
研究報告	24 篇	27 篇	17 篇
辦理學術活動	a 國內研討會：3 b 國際研討會：0 c 兩岸研討會：0	a 國內研討會：1 b 國際研討會：0 c 兩岸研討會：0	a 國內研討會：3 b 國際研討會：1 c 兩岸研討會：0
科技知識普及	a 推廣活動：50	a 推廣活動：82	a 推廣活動：8
決策依據	提供政策建議或重大統計訊息數：1	提供政策建議或重大統計訊息數：3	提供政策建議或重大統計訊息數：10

表 4.2.1 原子能學術合作計畫績效成果

(二) 近 3 年核安會與國科會共同補助計畫數及經費支出詳如表 4.2.1，因應行政院施政方針拓展原子能科技民生應用，計畫申請數逐年增加，已逐年調高經費編列，另為厚實基礎科學探索及強化民生應用長期研究，將鼓勵徵求多年期計畫之申請，以深化成效益，並依執行情形逐年滾動式檢討。

年度	補助計畫(件)	補助院校(所)	補助經費(千元)
110	53	27	42,232
111	57	27	45,015
112	57	25	48,603

表 4.2.2 近 3 年計畫投入數及經費支出

(三) 透過原子能科技在農業、機器人、半導體及太空科技之跨域合作研究，在國家未來重點產業所需人才培育已有不錯效果，因應近期 AI、SDGs、淨零碳排及次世代核能技術之科技趨勢，在未來研究主題徵求上亦將考量相關研究主題，並加強計畫追蹤管理，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等效益。

細部計畫 3: 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

以 MOCVD 太陽電池磊晶設備，研發設計太空用多接面太陽電池片，目前大面積(8 cm × 4 cm)太陽電池之最佳轉換效率可達 29.1%，已具國際商售太空電池水準。在以試片大小 1 cm x 1 cm、質子能量 1 MeV、通量 1012 p+/cm² 照射結果，太陽電池之剩餘轉換可高於 65.65%。考量上層與中層子電池對三接面太陽電池之電性影響最鉅，而在輻射環境下其特性衰變亦是最為明顯。未來將藉由調整 GaInP 上層與 InGaAs 中層子電池吸收層之磊晶，以減少太陽電池因子電池受輻射破壞而導致轉換效率衰退，達成於 1MeV 質子照射環境下，轉換效率維持率達 70%之目標。

二、元件製程抗輻射技術發展

電子元件種類相當多元，且其輻射效應之實驗參數與影響因子眾多，關鍵之務應先釐清各輻射源可能的作用機制，並依元件結構及輻照實驗條件等進行深入地分析。此外，國內目前可使用的高能粒子輻照設施相對較為不足，未來應構思籌建適用的加速器設施或整合目前國內可用的資源，以因應太空科技持續推展的需求。本年度分別對於 FeFET 鐵電記憶體在質子束流量輻照後的性能、MOSFET 和 FinFET 電晶體在不同輻射劑量率下之總游離劑量(TID)效應，以及中子及重離子對於寬能矽材料之位移損傷(DD)進行完整元件及材料劣化分析，

未來工作重點包括：(一)以材料、元件結構與電壓脈衝改善 FeFET 鐵電記憶體之抗輻射能力；(二)FinFET 與 GAAFET 之抗輻射氧化層製程開發及分析；(三)SiC MOS 電容元件及其輻射效應分析。

三、晶片系統抗輻射技術發展

- (一) 蒐集單事件效應對傳統電壓轉換器(conventional DC/DC converter)影響之相關文獻，並針對影響電路進行相關防護電路設計之文獻搜索，藉由電路模擬軟體模擬並驗證相關電路抵禦單事件效應之能力，並據此設計抗輻射電壓轉換器(Rad-tolerant DC/DC converter)，將繼續其他電路之單事件效應影響文獻搜索與模擬驗證，後續將進行短脈衝雷射單事件效應驗證實驗，驗證其抗輻射性能並作為未來抗輻射性能改善之指標。
- (二) 透過文獻目前已對異質整合之多層連線的 RC 等效電路建模有初步了解，同時也已完成用於異質整合製程之 ROM 晶片電路佈局設計，並於 112 年 8 月完成 T18 製程之晶片下線製作申請，將於 112 年 11 月底前收到製作完成之晶片，後續將進行 ROM 晶片的量測與功能測試，並與 TSRI 工程師學習晶片級封裝整合技術。本次設計之 ROM 晶片為尚未考慮抗輻射設計的標準電路，後續將另外設計一版具有抗輻射設計的 ROM 晶片。目前先進行標準電路設計的原因，主要是希望先確認小晶片異質整合技術實作的可行性，且後續抗輻射 ROM 晶片實作後，也需要一組標準電路的 ROM 晶片，做抗輻射的性能比較，因此先設計標準電路的 ROM 晶片。
- (三) 目前同時也參考 TSRI 提供的 design rule 進行主動中介層晶片設計，主動中介層之電路設計完成後，將使用 HSPICE 軟體結合 RC 等效電路模型與 TCAD 軟體進行多層連線的電性與抗輻射特性分析。後續規劃使用相同的 T18 製程進行主動中介層晶片實作，並透過與 TSRI 合作進行的異質整合技術，將子計畫一設計的 SRAM 晶片和子計畫三設計的 ROM 晶片與主動中介層晶片進行封裝整合。預計 113 年使用國原院提供的質子束射線對異質整合封裝後的晶片進行照射實驗。

伍、其他補充資料

一、跨部會協調或與相關計畫之配合

核安會與國科會 112 年「原子能科技學術合作研究」共計推動 57 項計畫（核安會 32 項、國科會 25 項），由國科會統籌計畫之簽約執行，核安會負責計畫之績效管考，國內計有 25 所公私立大專院校、醫院及機他研究機構共同參與，堪稱國內整合原子能專題計畫之執行典範。

為促成各項研究計畫成果之經驗分享與交流，112 年 6 月 9 日假國立臺灣師

範大學進修推廣學院與國科會共同辦理 111 年度原子能科技學術合作研究計畫成果發表會，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 57 項計畫成果發表，並邀請各界參與研究成果之發表暨討論 (如圖 5.1.1 至圖 5.1.4)，共計約 160 人參加，本次成果發表會邀請會內外專家學者 28 人分組評核併行優良計畫評選，各場次皆評選出優良計畫 1 名，與會者反應踴躍及熱烈，是日計畫成果論文集已於核安網站公開，提供各界檢閱。

本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，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 5.1.1 核能與除役安全科技



圖 5.1.2 放射性物料安全科技



圖 5.1.3 輻射防護與放射醫學科技



圖 5.1.4 跨域合作與風險溝通

二、 大型科學儀器使用效益說明

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(分段上傳)

原子能科技基礎研究及環境建構計畫

112 年計畫成果完整說明

細部計畫 1: 原子能國際交流與科普傳播

一、方案規劃及計畫管理

核安會委託財團法人，辦理「我國原子能安全管制支援體系先期評估」研究計畫及「我國原子能科技決策支援體系先期評估」研究計畫，並就科技佈局或管制支援議題提出 5 項政策建議。

「我國原子能安全管制支援體系先期評估」研究計畫：

針對除役階段監管機構的需求、TSO 組織及 IAEA 相關運作標準、未來規劃和討論。

1. 蒐集國際原子能總署對於核安管制技術支援組織(TSO)規範及重要文件：

IAEA 為推行 TSO 的組織分享，每年有定期會議，便於各方進行交流學習，我們可以藉由整理這些資料，作為台灣進行 TSO 管理規劃的參考。IAEA TSO 主要的參考文件如：IAEA, “TECHNICAL SUPPORT TO NUCLEAR POWER PLANTS AND PROGRAMMES, IAEA NUCLEAR ENERGY SERIES No. NP-T-3.28,” IAEA, 2018. 及 IAEA, “Technical and Scientific Support Organizations Providing Support to Providing Support to Regulatory Functions, IAEA-TECDOC-1835,” IAEA, 2018.；而 2022 IAEA 舉辦的 Conference on Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations (TSO) in Enhancing Nuclear Safety and Security 2022，則是目前 TSO 的趨勢，建議將其整理，可以作為台灣進行 TSO 規劃管理的依據。

2. 因應我國核電廠除役及核後端管制要項，就我國多元技術支援組織所需，與國際同行審查管道的項目，提出整體規劃及建議。

目前台灣相關的 TSO 如清華大學原子科學院、原子科學技術發展中心、國家原子科技研究院(原核能研究所)、核能科技協進會、輻射防護協會、核能資訊中心，都有其相關領域及專家群，如能依需要整合各組織的功能、特長，再予訓練分工交付任務，則可以協助核能安全委員會的管制工作。初步建議：規劃每年定期進行 TSO 及學者專家們的會議，以管制需求的相關主題進行議題討論，或是監管的法規，讓 TSO 及學者專家們，了解監管機關的原則、核心價值與需求。

「我國原子能科技決策支援體系先期評估」研究計畫：

1.蒐集國際原子能總署、歐盟、美國、日本、中國等國際重要組織與國家，在國際原子能科研體系、重要政策及合作管道等資訊。

依照核安會 111-114 年度「原子能科技民生應用發展策略藍圖」中，規劃之 8 大領域：「精準放射醫療」、「糧食和農業」、「環境與水資源」、「量子科技」、「中子科技」、「太空科技」、「工業應用」及「半導體製程」，茲列出本計畫蒐集之資料與對應之領域，表列如下。

類 別	資料名稱	對應 8 大領域
1.1 組織與作業方式	<u>1.1.1 核子科學與應用部門</u>	
	<u>1.1.2 國際原子能總署海洋環境實驗室分部</u>	
	<u>1.1.3 糧農組織/國際原子能總署糧食和農業核子技術聯合中心</u>	
	<u>1.1.4 理化科學司</u>	
	<u>1.1.5 塞伯斯多夫實驗室</u>	
	<u>1.1.6 研究合約管理科</u>	
1.2 醫學領域	<u>1.2.1 癌症治療行動計畫</u>	精準放射醫療
	<u>1.2.2 新 CRP：潛在 Lutetium-177 放射性藥物的開發、設計、放射性標記和非臨床評估 (F22078)</u>	精準放射醫療
1.3 農業領域	<u>農業領域</u>	糧食和農業
1.4 工業領域	<u>工業領域</u>	工業應用
1.5 環境永續領域	<u>1.5.1 環境領域</u>	環境與水資源
	<u>1.5.2 使用核子技術對抗塞浦路斯的埃及斑蚊</u>	環境與水資源
1.6 其他應用	<u>1.6.1 核子應用的人工智慧</u>	
	<u>1.6.2 機器人、人工智慧和 3D 模型</u>	
	<u>1.6.人工智慧和醫學影像在解決人畜共患病方面的作用</u>	精準放射醫療
	<u>1.6.4 利用加速器進行尖端研究與開發</u>	
1.7 重要政策與合作管道	<u>國際原子能總署--重要政策與合作管道</u>	

表 5.3.1 國際原子能總署

類 別	資料名稱	對應 8 大領域
2.1 組織與作業方式	<u>2.1.1 歐洲原子能共同體</u>	
	<u>2.1.2 歐洲放射醫學會</u>	
	<u>2.1.3 歐洲社會科學和人文領域與游離輻射相關研究平台</u>	
	<u>2.1.4 歐洲醫療輻射防護研究聯盟</u>	
	<u>2.1.5 歐洲聯合研究平臺</u>	
2.2 醫學領域	<u>歐盟放射醫學設備與服務量能</u>	精準放射醫療
2.3 農業領域	<u>歐盟食物輻射照射</u>	糧食和農業

2.4 重要政策與合作管道	<u>歐盟--重要政策與合作管道</u>	
---------------	----------------------	--

表 5.3.2 歐盟

類 別	資料名稱	對應 8 大領域
3.1 組織與作業方式	<u>美國能源部之國家實驗室</u>	
3.2 一般與產業價值	<u>輻射應用之全球市場</u>	工業應用
3.3 重要政策與合作管道	<u>美國--重要政策及合作管道</u>	

表 5.3.3 美國

類 別	資料名稱	對應 8 大領域
4.1 組織與作業方式	<u>4.1.1 量子科學技術開發機構</u>	量子科技
	<u>4.1.2 原子能技術合作</u>	
4.2 醫學領域	<u>4.2.1 硼中子捕獲療法(BNCT)</u>	精準放射醫療
	<u>4.2.2 粒子治療(質子治療法和重離子療法)</u>	精準放射醫療
	<u>4.2.3 放射性同位素管理</u>	精準放射醫療
4.3 農業領域	<u>4.3.1 農業輻射領域應用</u>	糧食和農業
4.4 工業領域	<u>4.4.1 工業輻射領域應用</u>	工業應用
4.5 研究領域	<u>4.5.1 日本輻射研究現況</u>	
4.6 重要政策與合作管道	<u>日本--重要政策與合作管道</u>	

表 5.3.4 日本

類 別	資料名稱	對應 8 大領域
5.1 組織與作業方式	<u>5.1.1 河南省核學會</u>	
	<u>5.1.2 河南省原子農學會</u>	
	<u>5.1.3 中國核學會</u>	
	<u>5.1.4 中國原子能農學會</u>	
	<u>5.1.5 中國同位素與輻射產業協會</u>	
	<u>5.1.6 中國核儀器產業協會</u>	
	<u>5.1.7 河南省輻射加工工程研究中心</u>	
	<u>5.1.8 河南省核能農學重點實驗室</u>	
	<u>5.1.9 河南省中國科學院科技成果轉移轉化中心現代農業分中心</u>	
	<u>5.1.10 河南省核子技術農業應用院士工作站</u>	
	<u>5.1.11 中國核能產業協會</u>	

5.2 醫學領域	<u>5.2.1 新的治療診斷學有助於胰臟癌的早期檢測和有效治療</u>	精準放射醫療
	<u>5.2.2 中國研究組提出了醫用同位素 ⁹⁹Mo 的生產新方法</u>	精準放射醫療
	<u>5.2.3 科學島團隊在核融合中子源生產醫用同位素研究取得進展</u>	精準放射醫療
5.3 農業領域	<u>5.3.1 一種新的輻照技術可有效延長冬棗保鮮期</u>	糧食和農業
	<u>5.3.2 重離子輻射誘變育種效率和質量有望提升</u>	糧食和農業
	<u>5.3.3 科學島團隊在水稻抗草銨磷基因發掘和功能研究方面取得突破性進展</u>	糧食和農業
5.4 工業領域	<u>5.4.1 北京同步輻射裝置助力中國科學家發現首個液氮溫區鎳氧化物高溫超導體</u>	工業應用
	<u>5.4.2 五大領域將成未來產業創新前沿</u>	工業應用
	<u>5.4.3 創新驅動戰略是如何實施的一來自浙江、安徽兩省的調研</u>	工業應用
	<u>5.4.4 CSNS 能量分辨中子成像譜儀成功出束</u>	中子科技
	<u>5.4.5 CSNS 高能非彈譜儀成功出束</u>	工業應用
	<u>5.4.6 國務院：至 2035 年，建成以量子計量為核心的先進測量體系</u>	量子科技
	<u>5.4.7 量子飛躍未來可期</u>	量子科技
	<u>5.4.8 科學家首次實現在原子尺度上研究同位素介面</u>	
5.5 環境永續領域	<u>5.5.1 核環境科學</u>	環境與水資源
5.6 其他應用	<u>5.6.1 中國核子技術應用的兆市場</u>	
	<u>5.6.2 中國核子技術應用產業發展報告(2023)核心報告</u>	
	<u>5.6.3 中國輻射科技之現況與前景摘譯</u>	
5.7 重要政策與合作管道	<u>中國--重要政策與合作管道</u>	

表 5.3.5 中國

2. 原子能科技施政決策平台之網頁架構規劃。

建置原子能科技決策支援體系平台，期以持續滾動展現世界上發展的最新趨勢，以拓展我國之原子能應用科技。分為「各國原子能應用研發組織概述」、「各領域重要研發課題與分析」、「各領域發展最新消息」、「我國原子能科技研發應用成果」及「聯繫與合作方式」等 5 大區塊，各區塊所提供之資訊內容如圖 5.3.1，簡介如下：

(1) 各國原子能應用研發組織概述

說明包括國際原子能總署(IAEA)、歐盟(EU)、美國、日本、中國與其他國家，在推動原子能應用科技各領域的重要研發機構。

(2)各領域重要研發課題與分析

蒐集國際原子能總署、歐盟、美國、日本與中國於各相關領域最新之研發課題，並定期邀請相關行業之專業人士討論分析其對應之關鍵技術、產業價值與人才需求等資訊。

(3)各領域發展最新消息

蒐集包括國際原子能總署、歐盟、美國、日本與中國於領域內最新發展之時事新聞與專題報導。並持續關注世界各國舉辦之原子能應用科技研討會。

(4)我國原子能科技研發應用成果

彙總國內原子能科技各領域歷年重要研發計畫概要，技術轉移以促進民間產業建立技術與拓展外銷之實績等資訊。

(5)聯繫與合作方式

針對核安會相關研究計畫之規劃程序，並提供國內外合作計畫之推行方式，俾供相關研究與產業單位積極配合參與。並應提供聯繫方式，可有效答覆各項應用課題計畫之問題。



圖 5.3.1 原子能科技決策支援體系平台架構及各研究領域資訊

二、國際合作與技術交流

1. 「台法輻射防護與核能安全交流會議」首次在 112 年 4 月 19 至 20 日於台灣舉行，台法雙方於會中分別針對核能安全、輻射防護、緊急應變、核廢料處理與處貯、環境輻射偵測及原子能科技研發等議題進行專題簡報及交流討論。4 月 21 日我方安排法方專家參訪國原院氫水分析實驗室、國家標準實驗室、放射化學分析實驗室、放射性廢棄物自動貯存設施及 TRR 反應爐

拆解作業場所等，並討論未來雙方合作規劃。

2. 「第 9 屆台日核能管制資訊交流會議」順利在 112 年 10 月 30 日至 31 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理、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 11 月 1 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 5.3.2. 台日核能管制資訊交流會議

三、科學教育與資訊推廣

(一) 112 年核安會第 1 場「花蓮愛科學 原子 GO 探險趣 x 行動科教館」科普展，於在 4 月 30 日至 5 月 1 日假花蓮花崗國中舉辦，2 天活動吸引大量師生與家長踴躍參與，總計 4,274 人次入場參觀。現場規劃了「輻射應用」、「核廢除役」、「輻災應變與海洋保育」及「綠能科技」4 大主題 16 個科學闖關攤位，藉由互動遊戲、模型展示及同仁淺顯解說，讓學子從玩中認識原子能有關的科普知識並瞭解遊戲的科學原理。另也因應日本即將排放含氚廢水的話題，設計「海底撈輻射 儀器來偵測」及「氚偵螢現」2 個展項，透過體驗及溝通，讓參觀者瞭解政府的安全管制及其相關的科普知識。



圖 5.3.3：「花蓮愛科學 原子 GO 探險趣 x 行動科教館」科普展-花蓮場

(二) 112 年核安會第 2 場「原子 GO 探險趣」科普展，於 8 月 12 日到 13 日在台中廣三 SOGO 百貨公司廣場辦理，讓在地民眾可於暑假期間體驗趣味的科學遊戲，2 天活動總計吸引約 3,472 人次的民眾參觀。透過互動遊戲、模型展示和淺顯解說，讓參觀民眾在遊戲中瞭解生活環境中與原子能科學有關的知識，另因應日本排放氚廢水，也特別設計「海底撈輻射 儀器來偵測」及「氚偵螢現」闖關項目，以充滿趣味與教育性的模擬實驗，讓參觀民眾瞭解政府積極因應作為及輻射偵檢數據的科學意義。



圖 5.3.4：「原子 GO 探險趣」科普展-台中場

(三) 為推廣原子能科普知識，112 年核安會持續以數位傳播方式，提供國小及國中分齡分眾的網路影音課程與手作教材，像是繪本導讀、認識災防包、指紋採集實驗，以及小型風機組裝等內容，透過輕鬆活潑的解說及動手體驗，引導學生在學習科普知識之餘，也能對原子能科學及綠能研發產生興趣，此外，藉由網路無遠弗屆的效能，也使其他未曾辦理過實體科普展地區的學生，有機會認識原子能科普知識，本次活動總計有 3,992 人次參與(國小 2,582 人次、國中 1,410 人次)，報名學校分布於新北市、新竹市、新竹縣、彰化市、嘉義市、雲林縣、台南市、高雄市、屏東縣及連江縣，計 10 個縣市。

細部計畫 2: 原子能科技學術合作研究

本計畫機制實施迄今將近 20 年，對整合原子能科技研發資源及應用發展、支援政策性研究及人才培育等構面，已發揮彈性及務實功效，特別是可適時連結國內各研發機構支持未來核能安全委員會所需管制技術及能量。

為落實各補助計畫研究成果符合原任務導向規劃，核安會因應組織改造已重新修定「原子能科技學術合作研究計畫管考作業規定」，各計畫需求單位已完成期中進度查核表 57 件，查核皆已完成核章。期末截至 12 月底共實現 27 項計畫，共產出論文 76 篇，培育人才 164 人，研究報告 19 篇，其中有 5 項計畫，業經國科會同意展期至 113 年，後續再進行追蹤完成，並針對計畫不足部分逐年檢討修正。

一、核能與除役安全科技

1. 核電廠消防設備於除役階段之維護管理策略研究

核電廠除役期間，消防設備的有效性和完整性對於確保安全運行至關重要，台灣核電廠陸續進入除役階段，但除役期間的核電廠將面臨不同以往的火災風險，由於除役期間電廠結構和操作的變化，火災風險和火載量都與運行中核電廠有所不同。本研究根據國外法規、文獻、災例，探討除役期間核電廠容易發生火災的高風險區域及較容易發生的火災類型。永久停機後，消防防護目標不再是安全停機而轉變成保護用過燃料池中的剩餘用過核燃料，以防止火災造成放射性物質的釋放或擴散。火災風險分析應考慮可能增加的易燃物、使用明火及可能產生火花的施工作業。

除了消防防護計畫的制定，當火災發生時也必須依賴消防設備以達成除役期間的消防防護目標，包含：快速偵測、控制和撲滅可能導致放射性危害的火災，本次研究藉由實地探勘核一廠內部的消防設備，對照國外的法規所建議除役中的核電廠應維持火警探測器、滅火器、自動滅火系統、消防栓設備的功能，

進行比較，給予結論及建議。此次研究也根據實地探勘核一廠的經驗進行火災模擬，以火災發生狀況之危險度作為維護管理及相關策略之評估，並納入不同火源(火災危險度)、有無機械式排煙設備之情形比較；並探討核電廠內員工避難疏散所需時間。

因各國對核電廠之資料嚴格保護及保守，極難取得國際上相關除役資料，可由消防專業領域預防、搶救、調查對有限之資料、照片及圖表做分析，以獲得有用資訊供參考決策。對現場實地調查，瞭解目前實際狀況及進度，並參考國際上歷史火災案例為基礎。並建議應定期由第三公正單位現場勘察，以不同視角對核電廠除役過程做滾動式檢討。

項目	情境一	情境二	情境三	情境四
能見度 達危險指標時間	461 秒	129 秒	511 秒	135 秒
CO 一氧化碳濃度 達危險指標時間	479 秒	176 秒	541 秒	198 秒
偵煙式探測器 動作時間	63 秒	48 秒	63 秒	48 秒
模擬時間終了 測定點溫度(攝氏)	136 度	148 度	70 度	70 度

表 5.3.1：國際上歷史火災案例

2. 提升除役階段之核設施核子保安組織管理與危機意識及其成效評估研究

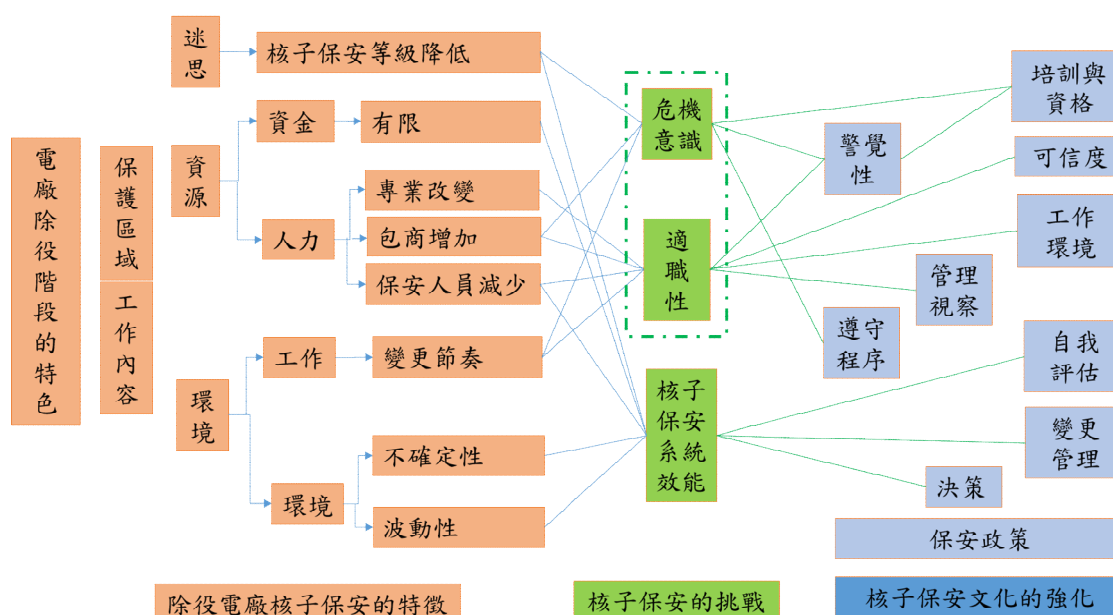


圖 5.3.5: 役電廠特色、核子保安挑戰及核子保安文化強化建議

除役階段的核能電廠，因為無運轉的活動，反應器運轉可能發生的許多核子事故將不會發生，因此威脅風險變更；除役階段保護的重點由反應器爐心的燃料變更為用過核子燃料及維持用過核子燃料於安全冷卻狀態的相關設備；除此之外，除役過程長達 25 年，在廠址內會有各種設施的改變，如放射性污染設備、結構或物質拆除或移出及貯存，以及人員變動，如減少運轉人員及增加除役人員等現象。

經本研究分析，除役階段發現核子保安等級降低迷思、人員專業改變、包商增加、資金有限、變更節奏、及除役工期計畫不確定性等因素可能會影響，產生危機意識、適職性及核子保安效能等核子保安的挑戰，本研究在保安政策及強化核子保安文化下，提出建議緩解以上的挑戰(圖 1)。表 5.3.2 則作較為細節的描述。

本研究計畫搜尋國際資料，發現核子保安文化的建立，可以強化除役階段核設施核子保安組織管理與危機意識，因此參考 IAEA 相關核子保安文化的資料，對於除役階段所面臨的變化，提出相關的核子保安文化推動方案。在最高管理層的承諾(核子保安政策)下使用 PDCA(P 計畫-D 執行-C 審查-A 修正)的四部步驟，持續改善。建議的推動方案為 (1)建立除役階段核子保安政策、(2)核子保安文化自我評估、(3)評估結果分析、(4)建立核子保安文化計畫、(5)施行核子保安文化計畫並定期檢視，然後重複(2)-(5)持續改善核子保安文化。

對於圖 1 的危機意識、適職性、及核子保安系統效能，選擇適當的核子保安文化指標進行強化，如課程訓練強調危機意識、說明除役電廠的威脅；進行明確的核子保安培訓計畫，人員要求和資格標準；建立加班監控機制防止加班影響核子保安效能；管理層通過視察及聽取人員意見，確認現場績效，然後採取行動糾正缺陷；核子保安功能的變更程序化，評估確保效能及更新後的保安程序可輕易獲得等。

除役階段的核能電廠可藉由核子保安文化的建立，以強化組織管理與危機意識及其成效。

環境特色項目	現象	影響
人力資源	(a)營運人員減少 (b)核子保安人員減少 (c)除役包商人員增加 (d)知識任務需求不同	(a)適職性及疲勞管理 (b)保安文化建立與維護
資金來源	(a)有限	(a)保安設備更新維護 (b)保安培訓教育訓練
核子保安系統	(a)區域規劃移動或拆除 (b)區域用途改變	(a)保安系統空窗期 (b)保安設備覆蓋性及效能

變更的節奏	(a)更快且更頻繁 (b)工作環境的複雜性高於營運時平穩狀態	(a)勞動力 (b)在內部人為的惡意活動
不確定性及波動性	(a)工期、計畫期程順序、及花費金額可能會有極大的波動性	(a)風險接受度

表 5.3.2:除役的環境與影響

3. 壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析

為達成我國 2025 年非核家園之目標，台電公司已陸續向管制機關提交國內三座核電廠之除役計畫，其中，核三廠是國內唯一的壓水式核電廠。考量壓水式反應器的重要組件及廠房配置迥異於沸水式反應器，其相應之拆除規劃，例如各廠房拆除時機及時序等，可能與沸水式反應器有所不同，故藉由本研究廣泛蒐集國外核電廠除役拆除的相關經驗，包括美國(6 個)、歐洲(3 個)及日本(1 個)除役核電廠在拆除階段的相關作法，並彙整各國際案例重點，以提出相應之管制建議(流程如下圖所示)。

壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析流程圖

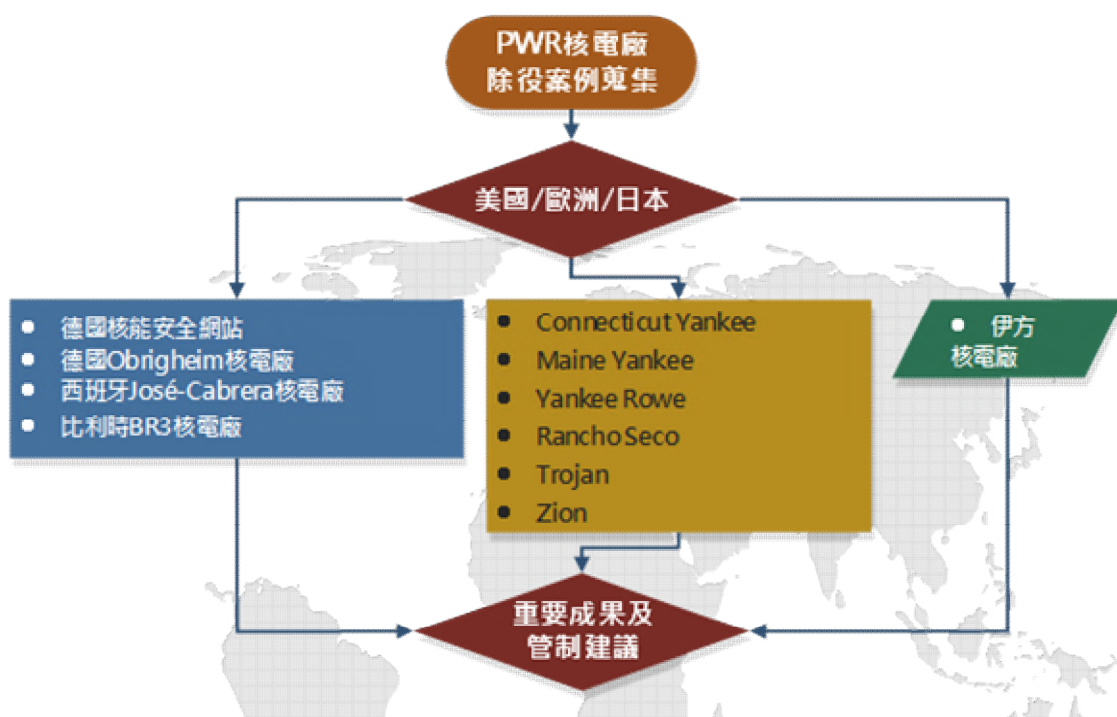


圖 5.3.6: 各國際案例重點及管制建議

各國際案例重點

主要成果與建議如下：

- (一)選擇立即拆除策略的拆除順序，都是從低污染到高污染或被活化的組件。
- (二)美國 PWR 電廠拆除 RPV 的程序，分為 2 種方法：

- (1)第一種方式是在移除 RPV 及其內部組件前，先將其分段，Connecticut Yankee、Maine Yankee、Yankee Rowe 及 Rancho Seco 核電廠均採用該選項。
- (2)第二種方式是將 RPV 連同內部組件，在沒有分段及分離的情況下一起移除。Trojan 核電廠即採用這種程序，將完整的放射性廢棄物視為一體，運往處置場。
- (三)在主要系統中，由於 RPV 的尺寸較大且具高放射性，故蒸汽產生器及調壓槽比 RPV 更早被拆除。
- (四)拆除作業可以逐區分配除役工作許可證(Rancho Seco NPP)來進行；許可證明確定義要拆除的項目、拆除的順序，並記載該區內的任何危險或有害物質，以及處理的方式。
- (五)除役期間，最重要的是工業安全及保健物理人員。
 - (1)現場監督人員需要接受培訓，以更加熟悉職業安全衛生法則。
 - (2)建議將建築標準納入安全手冊及電廠程序書中。
 - (3)建議電廠保持輻射防護管制及擬定對作業人員關注的方案，任何授權都必須經過電廠員工的仔細監督。
- (六)應簡化或盡可能刪除除役期間過多的程序。
- (七)拆除工作步驟中，最重要的是”分類”。
 - (1)必須在拆卸(切割)後盡快進行，以確保其可追溯性，即它來自哪裡，及其歷程為何？
 - (2)必須提前做好材料分類的準備，以加快作業速度。

作業員必須知道材料的目的地，而這取決於污染程度、碎片的幾何形狀、材料成分、污染的性質等。

4. 小型模組化反應器發展現況與安全性探討

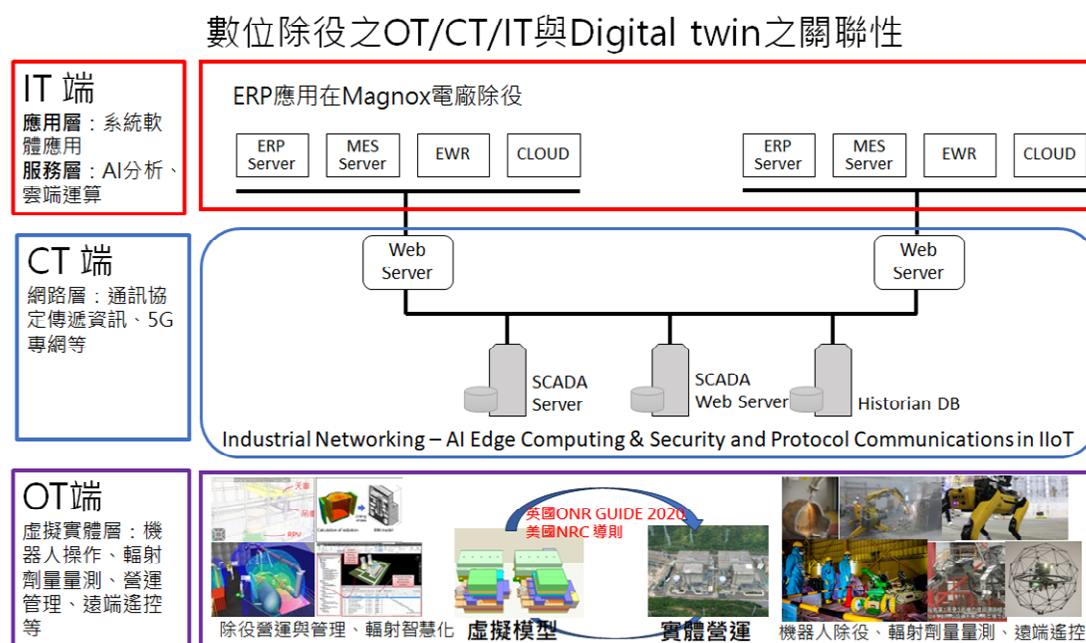
本計畫蒐集全球各國正在發展的各類型 SMR 相關資料文獻與國際案例，包含全球各國對於 SMR 執照申請許可的規範與要求與 SMR 相關的安全評估與環境影響的部分。SMR 的部署已達到幾個重要的里程碑，像是俄羅斯 Akademik Lomonosov 浮動式 SMR 配置兩個模組 KLT-40S 於 2019 年 12 月並聯發電，2020 年 5 月開始商轉。中國大陸的 HTR-PM 示範點於 2021 年 12 月併入電網，為兩個核反應器配置一個渦輪機，2022 年 12 月達到全功率運轉。阿根廷 CAREM25 正在建造，預計 2026 年達到第一次臨界。中國大陸 ACP100 於 2021 年 7 月開始興建，目標為 2026 年開始商轉。美國 NuScale Power

Module™標準設計於 2020 年 9 月已經 NRC 批准，後續 NuScale SMR 設計可以在美國使用。SMR 與大型反應器(LR)對於環境影響的性質上並無太大差異，預計會是幅度上的不同。SMR 的特性可能具有特定的環境影響，反應在環境影響評估(EIA)報告，因其特定的特徵，如發電量、場址的佔地面積、模組化設計、非電力應用、場址位置、地下建造、燃料更新、輻射源與廢棄物管理等，可能會使 EIA 與大型反應器有所不同。多個 SMR 部署，這影響可能比單個 SMR 更大，EIA 也須考慮此種影響，同樣地，如果隨著時間而在同一場址增建多個 SMR，EIA 也應相對應的修正。由於 SMR 設計與安全特性的不同，SMR 的事故機率與環境後果預計會與 LR 不同。SMR 獨特的選址，例如地面下與海上，與 LR 相比，可能產生不同事故場景與環境後果，例如浮動式 SMR 組件釋放碳氫化合物至周圍水中環境，而海上 SMR 事故遠離海岸或是人口密集區，對於人類健康的影響可能是低於陸上的 LR。各國對小型化模組反應器的法規現況，主要還是依照現有的法規進行，適用任何核能安全法規的基本安全原則，主要差異在於其規模與設計的不同，有些安全要求可能不同，如選址、建造、運轉要求、緊急應變等。針對緊急應變計畫區，SMR 的設計特性使得此類型的緊急應變計畫區應與傳統核電廠所涵蓋的緊急應變計畫區要有所不同。緊急準備計畫的要求應與輻射源項、分裂產物釋放和相關劑量特性相對應，SMR 廠址的緊急應變計劃應該考慮到較少輻射源項和被動設計特徵的影響而調整為相應的水準。

為了要實現將全球暖化溫度限制在遠低於 2°C 以下，需要在全世界各國改變能源的生產與消費的方式，也需要廣泛地使用低碳能源技術，包含各種再生能源、能源效率措施、先進車輛、碳捕獲與儲存、以及核能等。SMR 是先進的核子反應器，可以產生大量的低碳電力，為實現全球氣候目標與能源供應安全做出重要的貢獻。目前世界各國正在積極發展 SMR 設計與建造計畫，本計畫透過蒐集全球各國正在發展的各類型 SMR 相關資料文獻與國際案例，經由 SMR 技術資訊的探討，可以提升國內未來針對 SMR 研發能力與發展潛力。基於現有的核能技術，增進國內對於未來可能商轉的 SMR 新技術發展的瞭解，而且 SMR 對於能源安全性與碳排問題具有正面的影響力，可以降低未來碳稅的徵收與出口產品的競爭力。針對 SMR 場址的選擇，其中一項便是重新使用燃煤電廠的場址，可以由 SMR 取代已除役與即將除役燃煤電廠的供電，可以在減碳能源網絡中擔任至關重要的角色。再者，了解 SMR 相關的安全特性與其對於環境的影響，便於未來進行 SMR 評估與審查，也可以讓大眾更清楚相關資訊的重要性與正確性。決定緊急應變計畫區(EPZ) 的大小範圍時，探討縮小 SMR 的 EPZ 可能性，因其具備較少輻射源項和被動設計特徵，若有事故造

成輻射物種外釋到大氣中相對傳統的大型輕水式反應器來說應較輕微，可以降低核能對於周圍環境的影響，也可降低大眾對於輻射的疑慮。

5. 數位雙生技術在核能電廠除役之應用經驗與安全管制導則之研議



近年來，工業 4.0 在智慧製造方面結合物聯網、大數據雲端/邊緣運算、人工智慧到機器人與 5G 的發展，在智慧製造方面大步邁進，達到虛實整合的目標。有效融合資訊科技(Information Technology, IT)、營運科技(Operation Technology, OT)與通訊科技(Communication Technology, CT)，結合開放式數據平台(實體層、網路層與應用/服務層)，形成智慧製造整合架構，鏈結雲端與資料分析應用，有效邁進工業 4.0 核心領域。

雖然由於核能安全法規的保守性，造成核能工業的數位化緩慢進行。但歐盟與 IAEA 都注意到數位技術(Digital Technologies)已被公認為是核能工業的一個讓人興奮的議題。英國政府代表商業、能源和工業策略部(Business, Energy, Industrial Strategy, BEIS)和國家核能實驗室(National Nuclear Laboratory, NNL)更推動工業 4.0 的設計、建造、運轉、除役與維護概念，建立前瞻性核能技術(Advanced Nuclear Technologies, ANTs)，來進行核能設施資產的生命週期管理。前瞻性技術在核能設施除役方面的應用與發展，本計畫將成熟的智慧工廠數位化延伸到核能除役的應用。

(1)OT 端：數位雙生虛實整合層，建立數位雙生或建築資訊模型，將虛擬除役模型與除役廠址實體操作整合

核能環境內的應用、在計畫交付和品質保證中的角色扮演、資產管理維

護和可操作性、數位資訊共享標準、電廠外模組化製造以及設計建造營運的數位化。

(2)CT 端：網路層之數位資產的合作和安全(Collaboration and security of digital assets)

安全的資訊共享、涉及敏感數據共享的合作、建立通用的跨行業數位化方法以探索區塊鏈和網絡安全技術、達成跨行業合作的數位生態系統。考慮最先進的 5G 專網，可進行虛擬實境與擴充實境之遠端遙控與培訓。

(3)IT 端：雲端技術和大規模計算(Cloud technologies and large-scale computing)

國家重要的數位基礎設施，以支持新的核能建設。人工智慧和高保真計算模擬(Artificial intelligence and high-fidelity computer simulation)。企業資源管理(ERP)已在 Magnix 核能電廠除役中應用。

二、放射性物料安全科技

1. 利用 UDEC-Voronoi 模擬處置隧道之開炸損傷區研究

本研究隧道開炸採 UDEC 離散元模型尺寸 10x10m，搭配 voronoi 塊體的平均邊長 $Edge=0.1m$ ，塊體內有限差分網格 zone 邊長約 $0.01m$ ，母岩性質採離島花崗岩參數；模型四面邊界設為滾支座，並承受均向現地應力($K=1$)。先經大地應力平衡運算後，再將隧道輪廓的周邊孔範圍內之岩石先行挖除並使應力重整平衡；次於預設炸藥孔徑 $4.8cm$ 、孔距 $50cm$ ，炸孔內施加爆炸壓力 $P=750MPa$ 進行模擬靜態開炸損傷作用，並觀察其裂隙發展型態與裂紋方位及估計開炸損傷範圍。

模擬隧道開炸後主要研究成果，可觀察處置隧道裂隙發展型態分佈(如下圖所示):可發現裂隙的延伸會沿著 voronoi 塊體間的接觸邊界發展，並可將隧道四周裂隙長度、數量分別統計，獲知: 頂拱開炸的破裂總長度與數量最多、但損傷深度以底面約 $0.2m$ 略大於頂拱及兩側壁(大約 $0.12m$);破裂方位多沿斜交於隧道邊界發展，判斷頂拱有 57%破裂方向受到鄰孔所牽引、底面受牽引的數量則較少(47%)、兩側壁破裂分別為 64%及 26%，其比例左右不均與預設圓炸孔邊 voronoi 塊體規則度有關。

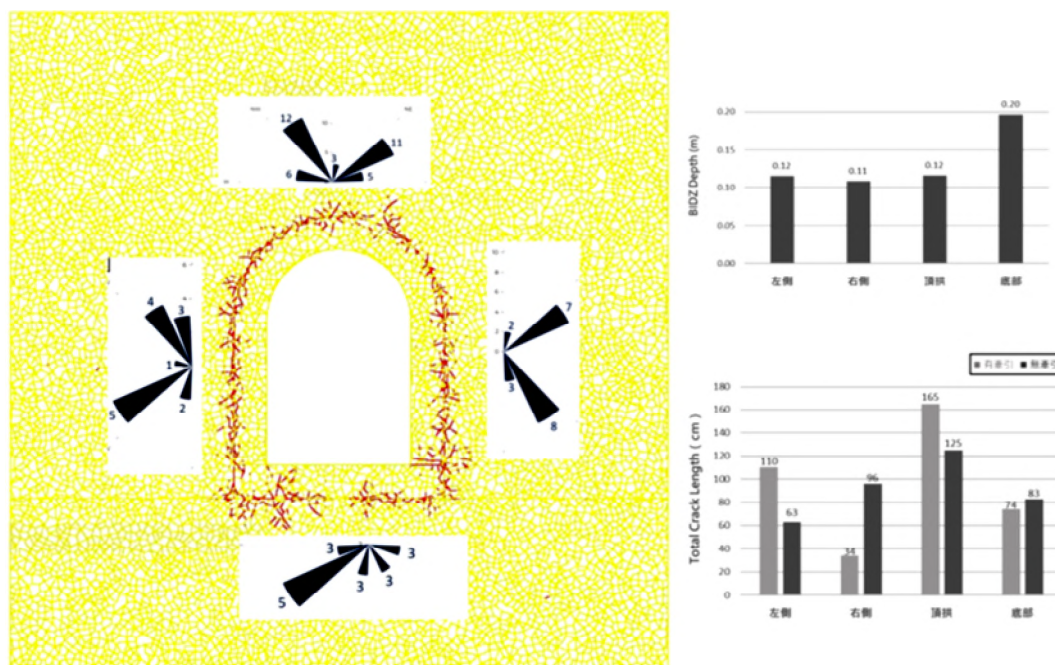


圖 5.3.7:模擬隧道開炸裂隙發展方向分布及破裂深度與數量統計

在高放坑道處置設施建造上，以鑽炸法開挖處置隧道勢必造成之坑道壁周圍現場母岩的破裂損傷，因而常使開挖損傷區(EDZ)滲透係數增高，長期則易形成地下水之優勢流通管道，可能造成提高核種外釋的風險。本研究模擬方式是利用在 UDEC 內結合 vononoi 多邊形塊體元素功能之技術，在處置隧道壁附近母岩自動配置多邊形塊體狀元素，可更有效模擬觀察硬岩之破裂發展軌跡，該經驗可提供我國對坑道開炸爆壓引致之處置母岩破裂之行為模擬，進一步增進對處置隧道之開挖損傷問題之瞭解；亦可提供未來於處置安全評估或驗證設計中，針對地質處置坑道開炸損傷的一平行驗證工具。

藉由本研究支持，本單位已培育養成一位碩士級畢業的地質處置坑道岩石力學專業人才訓練，使其習得 UDEC-Voronoi 數值模擬技巧之使用及處置設計重點，目前並進一步去繼續就讀博士層級研究，可為本土地質處置儲備未來人才。本計畫也提供本校淡江大學與國防大學研究團隊在 UDEC 模擬技術的合作更精進，亦觸發更多後續持續合作研究的機會。研究成果所完成之報告書一冊，也可提供將來我國後進在模擬處置坑道開挖 EDZ 主題進一步研究之參考使用。

本研究之成果主要可應用於瞭解隧道開炸技術內之光面開炸(smooth blasting)炸孔幾何配置的設計，主要包含相鄰炸孔之距離對新生張力破裂縫間之發展及連接行為，該技術可用於降低開挖隧道對母岩的損傷及其所衍生透水性問題；本項技術實際亦可應用於交通道路岩坡開炸面品質之控制上。本研究成果之數值模擬過程，對挑選炸孔孔徑及孔距兩者搭配組合之經驗，將有助提昇鑽炸隧道開挖面之炸孔設計觀念；並進一步獲知鑽炸對隧道頂拱及側壁、及

地面所造成損傷破裂的深度範圍及其發展延伸方向，尤其發現對處置隧道底面的破裂損傷範圍會略深於兩側壁，其破裂縫方位常斜交於炸孔連線或隧道輪廓線，應可供應用於阻水灌漿封填改良範圍與改良方向之設計決定與施工對策所參考。

三、跨域合作與風險溝通

1. 以珊瑚骨骼硼及鉛同位素探討台灣海域之海洋酸化及鉛汙染史

本研究分析取自東沙環礁北礁台之現生微孔珊瑚 (*Porites* spp.)，分別針對南海北部之海洋酸化與海洋鉛污染源追蹤及傳輸路徑兩個面向深入研究。首先根據珊瑚骨骼 B/Ca 與硼同位素重建珊瑚體內鈣化液碳酸鹽系統以及周遭海水 pH 值 (pH_{sw})。根據 McCulloch et al. (2017) 所提出的珊瑚體內鈣化作用模型，冬季較高的鈣化液 pH (pH_{cf}) 以及較低的碳酸根離子濃度 ([CO₃²⁻]_{cf}) 是珊瑚主動調控鈣化液 pH_{cf} 的結果。依此在生長環境更為惡劣的冬天透過珊瑚生理機制主動調控，維持體內適合鈣化作用進行的微環境。此外，根據 1998 到 2009 年間 SEAT 觀測資料顯示，南海北部正以每年 0.0021 ± 0.0013 pH unit 速度逐年下降；然而珊瑚體內鈣化液之 pH_{cf}、[CO₃²⁻]_{cf}、碳酸鹽飽和程度 (Ω_{cf}) 仍保持相對穩定，特別是在環境惡劣的冬季，體內的鈣化環境並未明顯受到影響，表明珊瑚的生理調控機制不僅有助於適應環境的季節變化，也能夠幫助珊瑚抵抗長期的海洋酸化。本研究的 pH_{sw} 重建分別比較三條已發表並適用於 *Porites* spp. 的經驗公式，結果顯示 D'Olivo et al. (2019) 所提出之 pH_{cf}-pH_{sw} 經驗公式在考慮海水表面溫度影響後，重建結果最符合 SEATS 的觀測結果。此結果可作為往後以珊瑚骨骼硼同位素重建季節性解析度的海水 pH_{sw} 時重要的參考依據。而將此公式延伸重建南海過去近二十年來的記錄發現 1993 到 2010 年間南海北部正以 0.0035 ± 0.0027 pH unit 速度逐年下降。受限於重建時長度及有限的資料點，目前觀測到的酸化趨勢雖尚不具統計意義 ($p < 0.05$)，但已經確立應用東沙珊瑚骨骼中硼系統重建南海北部海洋環境的可行性。未來若可將重建時間進一步回推至工業革命以前，將有機會完整地觀察到南海北部海洋受到人為活動影響之記錄。

珊瑚骨骼 Pb/Ca 的分析結果則顯示南海北部在 1993 至 2010 年間近 20 年的鉛汙染逐漸累積，其海洋鉛的汙染程度增加將近一倍，顯示南海北部的鉛汙染已超出預期。同時，珊瑚骨骼 Pb/Ca 呈現鮮明季節性對比，珊瑚於冬季季風期間 (11 月~4 月) 記錄到較高的 Pb 濃度，約是夏季 (6 月~9 月) 的 2-3 倍，表示鉛汙染的傳播與東亞季風系統之間存在可能的連結。鉛同位素分析結果顯示冬季季風期間，珊瑚骨骼所記錄到的鉛同位素有較大的變化，而整體與東亞各個城市所排放的氣膠 (Asian aerosols) 具有相似的同位素特徵。此結果說明南海北部鉛汙染的可能傳播途徑如下：陸地上的汙染源排放鉛進入大氣後吸附於氣溶膠上，經由大氣傳輸擴散，特別是東北季風將帶有中國燃煤或燃油鉛同位素訊號的鉛汙染長距離傳輸，影響範圍擴及南海北部中心。

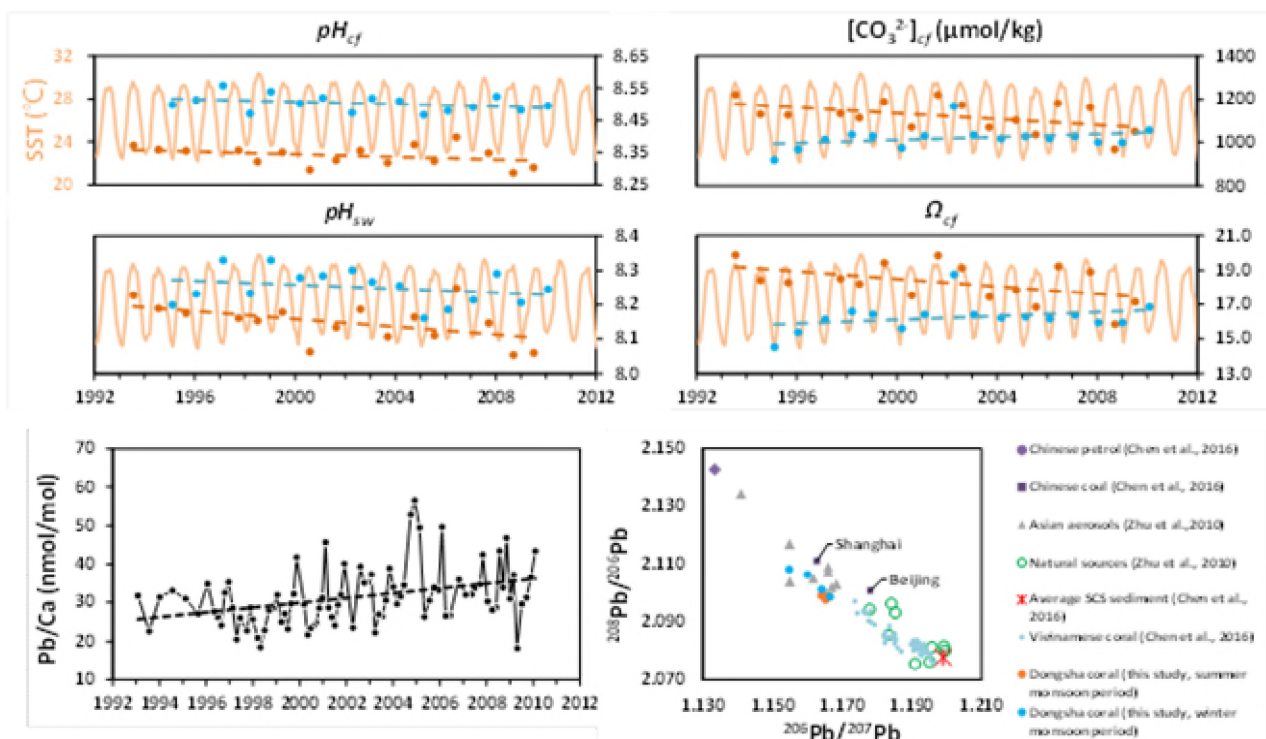


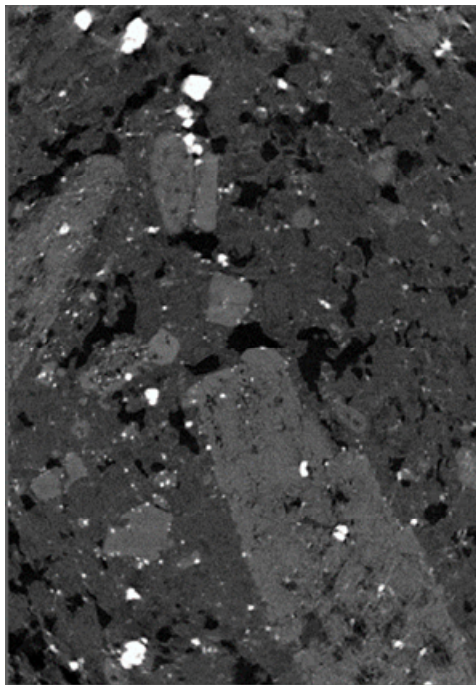
圖 5.3.8: 珊瑚體內鈣化液之 pH_{cf} 、 $[CO_3^{2-}]_{cf}$ 、碳酸鹽飽、程度 (Ω_{cf}) 及鉛污染數量統計

2.以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析-以顆粒床堆積與 X 光影像建立虛擬地質三維結構

本計畫利用 X 光電腦斷層掃描技術建立岩心內部結構。以北市士林區鵝尾山之岩心影像為例，輸出成能以電腦輔助設計(CAD)軟體開啟的檔案，建立後續計算流體力學所需的網格結構。

圖 5.3.9 為鵝尾山岩心某截面下電腦斷層影像，整體影像的邊界範圍為 $11.24 \times 11.09 \times 12.29$ [mm]³，解析度為 $6\text{ }\mu\text{m}$ ，圖 5.3.9 (a)為原始影像，圖 5.3.9 (b)是經過劃分後的平面影像，深藍色是孔洞部分，黃色、綠色、白色分別對應密度由小至大的物質。圖 5.3.10 為鵝尾山岩心孔洞之 3D 電腦斷層影像，而圖 5.3.11 則為其所有孔洞的深度及體積分布圖。其最大孔洞深度及體積中位數的數值相近，但無法看出岩心內的孔洞有明顯的聯通現象，這樣的樣品無法以計算流體力學計算水流從入口流至出口的滲透率。

(a)



(b)

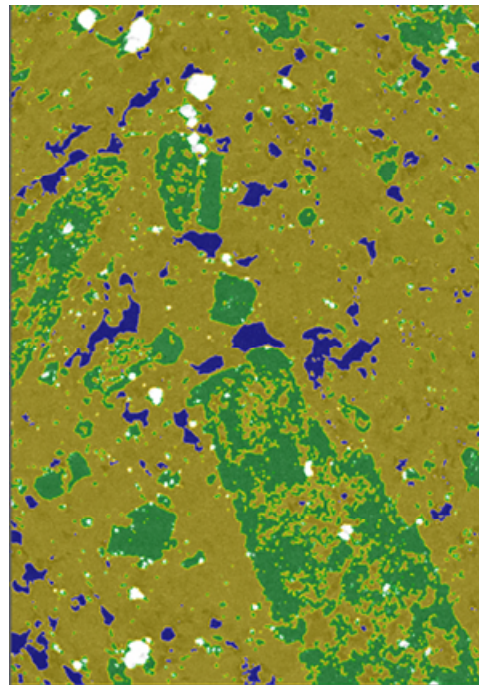


圖 5.3.9:鵝尾山岩石某截面之電腦影像。(a)原始影像、(b)依灰階值劃分後之影像。

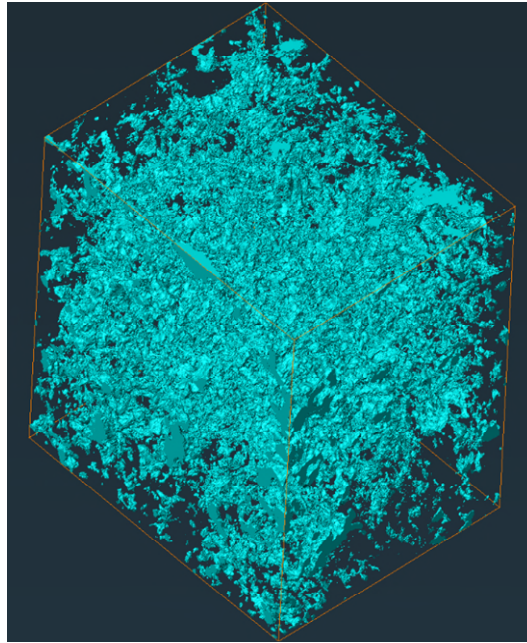


圖 5.3.10:鵝尾山岩心孔洞之 3D 電腦斷層影像。

(a)

(b)

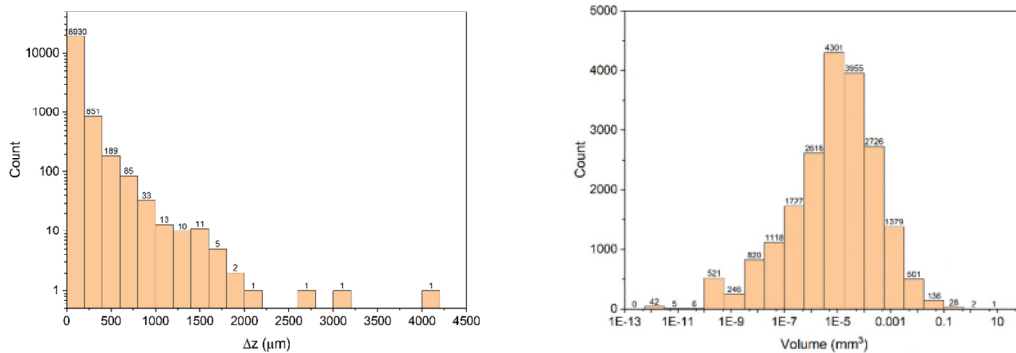


圖 5.3.11:所有孔洞的深度及體積分布圖

本研究以 X 光對岩心進行斷層掃描，最大價值在於此技術在獲取土壤岩心內部資訊時，可以避免破壞土壤岩心內部的結構。本研究一方面能設計虛擬顆粒填充床，也應用 X-ray 二維成像轉三維，並以平滑化修飾影像建立三維地層結構。結果證實此技術在不破壞岩心構造的同時，亦可以獲得岩心內部孔洞分布，未來亦可利用此技術分析化石或是其他珍稀岩礦之內部資訊。另一方面本計畫也善用應離散元素法(Discrete Element Method)為虛擬顆粒床堆疊工具，可測試理論堆疊模型。

近年來，各國致力於減少二氧化碳排放進行多項研究及規劃，減少大氣中二氧化碳的其中一個方式即為二氧化碳封存，而欲將二氧化碳封存於地底，需要嚴格檢視地層的各種資訊，以防洩漏。本研究提供了真實岩心內部的孔隙度分布模型，未來希冀能以數值模擬判斷岩盤是否可作為碳封存的選址，並納入

之後淨零碳排的碳封存項目中需進行審核的流程之一。

此外，研究岩心中的孔隙度分布對於水文學、地質學、農業皆有所應用。水文學方面可以預測岩心的飽和與非飽和滲透，達成防範天然洪水災害，地質學及農業可以利用孔隙度區隔土壤與栽種作物。因此，本研究於多個領域皆可發揮重要的價值。

3.放射誘變在毛豆適應極端氣候育種之研究

因應全球氣候變遷，極端氣候頻度發生率增加，可能導致農作物面臨各項氣候逆境，進而影響農作物的產量和品質。毛豆為臺灣重要的外銷農作物之一，每年為臺灣帶來龐大產值及外匯，其中毛豆品種-高雄九號佔臺灣毛豆契作面積的 68.7%，為臺灣最主要的栽培品種，為因應氣候變遷可能導致其產量和品質下降的問題，本計畫藉由鈷 60 輻射誘變的方式對毛豆種子進行四種不同程度 (150 Gy/h、200 Gy/h、250 Gy/h 和 300 Gy/h) 的輻射誘變，於植株的營養生長期和生殖生長期進行外表型性狀調查，性狀資料包含種子萌發率、株高、葉綠素含量和始莢日等生理性狀資料蒐集，目前已完成毛豆一年兩批的田間試驗，每批試驗約近百株的毛豆生理資料，初步建立及擴增臺灣毛豆品種高雄九號的誘變庫，並亦初步篩選出具有優良生理性狀的誘變品系。

於計畫執行期間透過誘變庫生理性狀資料可篩選出具有高機能性之毛豆潛力品系或培育出抗氣候逆境 (如：乾旱、淹水...等) 之毛豆潛力品系，以及豆科種子利用輻射誘變之放射劑量選擇參考依據，亦於田間試驗期間培養所有參與之大專生、研究生或助理，具有正確的實驗觀念及創新的思考，且對試驗研究之具獨立性、創新思考及解決問題的能力，培育具備專業農藝生理背景知識的人才。期許未來透過計畫執行的成果可縮短臺灣毛豆品種的育種時長，進而快速篩選出抗氣候逆境、高產量或食味品質優良等特性的潛力品系，提供毛豆育種選拔參考，以增加毛豆優良品系的選擇，供未來毛豆新品種育成應用，進而提升台灣毛豆產業產值、外匯收入及國際競爭力。

(a)



(b)



圖 5.3.12:毛豆品種高雄九號種植紀錄

(a)以穴盤育苗的方式進行種子萌發。(b)將發芽的種子以盆栽的方式種植並進行後續外表型性狀調查

4.使用太空環境下之半導體元件及相關電路輻射驗證平台培育前瞻原子科學人才(II-III)

本計畫延續第一年之研究成果，進行第二年之相關研究，目的為達成使用太空環境下之半導體元件及相關電路輻射驗證平台，並透過研究加以培育前瞻原子科學人才。本年度的研究主要專注在增進並改善高能脈衝雷射對半導體元件之單事件效應的實驗架構，並同時評估質子束對半導體元件產生之單事件效應的實驗規劃，藉此研究目的來達到培育前瞻原子科學人才。圖 1 所示為我們經過改進之實驗架設，顯示該架設可用來量測晶片太空單事件效應的架構，在我們的實驗結果中顯示了利用雷射照射晶片確實能量測到產生之單事件效應，證實架設雷射測試電路輻射驗證平台確實有效。除進行相關實驗之外，本計畫也善用機會，和相關研究團隊討論，參訪不同的研究設施，今年並有國內和國外研究團隊參訪我們實驗室架構之利用雷射的電路輻射驗證平台並進行學術交流，多次的實驗和參訪和討論都能達成訓練原子科學人才之目的。

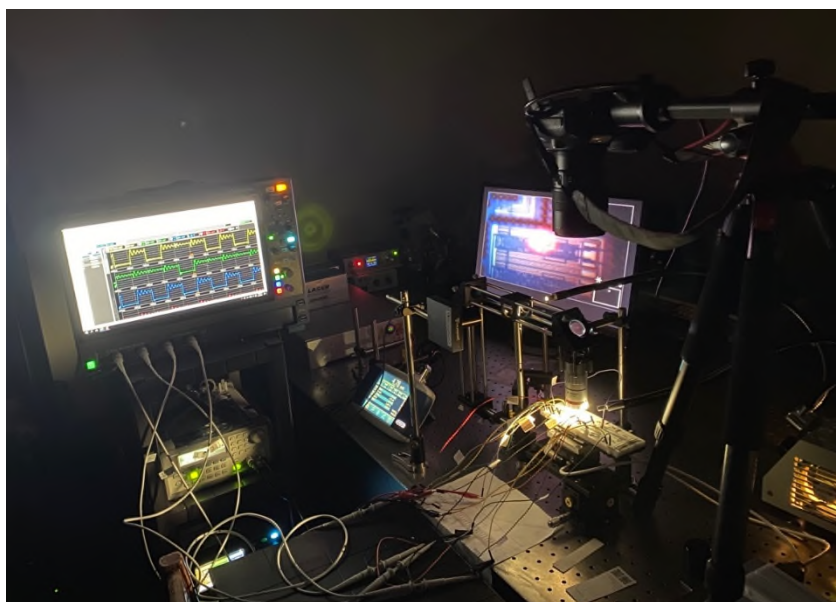


圖 5.3.13:改進之晶片太空單事件效應之實驗架設

本計畫目前的主要成果在改進使用高能脈衝雷射來進行半導體電路之單事件效應的實驗操作流程便利性，本團隊目前優化高能雷射脈衝實驗之流程，針對實驗過程的參數和取樣的流程排序順暢畫，並透過電子量測設備紀錄量測實驗之資訊，用已提供後續數據分析，目前雷射平台可進行基本的照射量測，並可透過平台的移動來尋找電路之敏感節點，有助於修正電路的抗輻射性能。

本年度除了接續前一年度利用質子束對半導體元件或電路單事件效應與高能脈衝雷射實驗比較之外，今年度，也針對高能脈衝雷射實驗進行更多的實驗，並收集更多之實驗數據，將所得到的實驗數據進行互相對比，將能提供利用高能脈衝雷射於抗輻射晶片設計之寶貴的電路設計規畫，並透過電路模型

的重設計，能有更準確的等效模型可供評估。

本計畫除了研究之外，也透過多次不同研究實驗機構的參訪，來提升參與本計畫和有興趣輻射及原子能科技之學生的研究興趣，在計畫執行期間，參觀相關粒子束設施與環境，並配合核能安全委員會參與相關會議討論及參訪重要研究設備，如下圖 2 為參與研究計畫同學參訪新加坡南洋理工科技大學之研究實驗設施，在透過研究實驗，參訪和會議的交流中，逐步達到本計畫之培訓原子能科技人才的目的。



圖 5.3.14:參訪新加坡南洋理工科技大學之研究實驗設施

5.以磊晶鍺層整合種子層、應力層與新穎結晶回火技術實現抗輻射之鐵電記憶體元件

FeFET 鐵電記憶體近年來引起學界與業界的高度重視，被認為是最具潛力的新形態記憶體之一。基於 Si 通道之 FeFET 鐵電記憶體是目前主要的研究對象，然而 2 奈米製程以下採用之 Ge 通道應用於 FeFET 鐵電記憶體仍相當欠缺，目前僅有本團隊曾報導的 Ge p-FeFET (p 型 Ge 通道之鐵電記憶體)及其抗輻射能力之影響(已發表於 2022 年之 IEEE Electron Device Letters)，但製程挑戰更高的 Ge n-FeFET (n 型 Ge 通道之鐵電記憶體)則是文獻尚未探討過的元件。本研究採用 HfZrO_x (HZO) 為鐵電材質，以圖 5.3.15 的元件結構並採用 GeO₂/Al₂O₃ 介面層製作 Ge n-FeFET (標示為 AlO/HZO 元件)。為了探討不同介面層對於元件效能之影響，GeO₂/HfN 介面層也進行分析(標示為 HfN/HZO 元件)。此外，為了研究薄膜鐵電性與否對於記憶體元件之影響，圖 5.3.15 的元件結構將以 HfO₂ 取代 HfZrO_x 進行比較(標示為 AlO/HfO 元件)。圖 5.3.16 為施加 +5 V/-3 V pulse 達 1 μ s 後進行讀取的特性曲線。無論是哪一種介面層，施加 +5 V/-3 V 偏壓分別會使元件呈現 high-V_t 與 low-V_t 狀態，這意味著元件是仰賴電荷儲存(charge storage)，而非電耦極(dipoles)的方向來進行狀態的改變，其中 AlO/HZO 元件的記憶視窗(memory window, MW)高達 2.1 V，而 AlO/HfO 元件之 MW 僅小於 0.3 V。此現象代表 HZO 與 AlO 分別扮演著類似快閃記憶體中的穿隧氧化層(tunnel oxide)與電荷陷阱層(charge trapping layer)的角色，故元件呈現快閃記憶體的特性，而非鐵電記憶體之性質。儘管如此，從 AlO/HZO 與 AlO/HfO 元件極大的 MW 差異可確認 HZO 的鐵電性仍扮演著提升 MW 的關鍵的角色。比較 AlO/HZO 與 AlO/HfO 元件之能帶圖可知，具有極化之 HZO 因為電耦極的原因使得 AlO 的能帶彎曲更加顯著，也就是穿隧氧化層之電場較高，在施加相同的電壓下會有更多的電子由通道注入到 HZO 電荷陷阱層，對於實現低電壓操作有相當的助益。值得一提的是，快閃記憶體最大的發展瓶頸之一在於其施加電壓通常需要大於 ± 10 V 且 100 μ s 之 pulse 方能進行電子的寫入/抹除，而本研究的特色之一在於施加 1 μ s 之 +5 V/-3 V pulse 即可獲得相當可觀的 MW。在操作電壓上的重大進展歸因於具有鐵電性的 HZO，除了發揮上述強化介面層電場的功能外，其電耦極的電場有助於保留注入的電子，因此本元件結構也可以省去傳統快閃記憶體的 blocking oxide，這對於微縮操作電壓也相當重要。整體而言，本元件結構可以提升載子寫入/抹除的速度，或可以較小的操作電壓達到相同的記憶視窗，可以大幅降低操作功耗。另一方面，與傳統認知的鐵電記憶體相較之下，此元件亦可完全避免讀取延遲(read latency)的限制，可以算是兼顧快閃記憶體與鐵電記憶體優點的元件。文獻上這類整合兩種類型記憶體特性的研究近期也引起注意，是一項值得投入

資源的研究領域。

另一方面，由於與 HfN/HZO 元件相較之下，AlO/HZO 元件具備更高的 MW，因此本計畫採用 AlO/HZO 元件進行後續抗輻射的研究，輻射源以 γ -ray 為主。圖 5.3.17 顯示了元件在 γ -ray 照射劑量達 300 krad 與 1 Mrad 後，其特性曲線的變化。最明顯的變化在於未照射輻射前，MW 達 2.1 V，一旦照射輻射後，無論劑量高低，其 MW 大約都衰減至 1.7 V，此衰減幅度與本團隊先前發表的 Ge p-FeFET 其衰減幅度相仿。值得注意的是，此 MW 衰減主要都來自於 low-Vt 狀態的劣化。事實上，low-Vt 狀態源於電子自 HZO 電荷陷阱層移除，而經輻射照射後的元件其介面層推測產生一些正電荷，導致電子不易移除。儘管如此，無論照射輻射與否，如圖 5.3.18 所示，元件均展現之資料保存能力 (retention)，這也證實元件即使沒有 blocking oxide，其資料保存仍幾乎不受輻射照射之影響。

圖 5.3.15

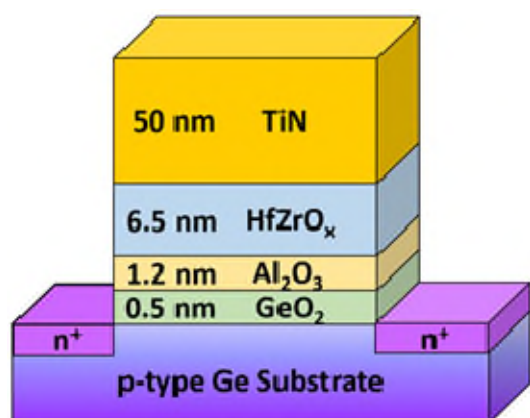


圖 5.3.16

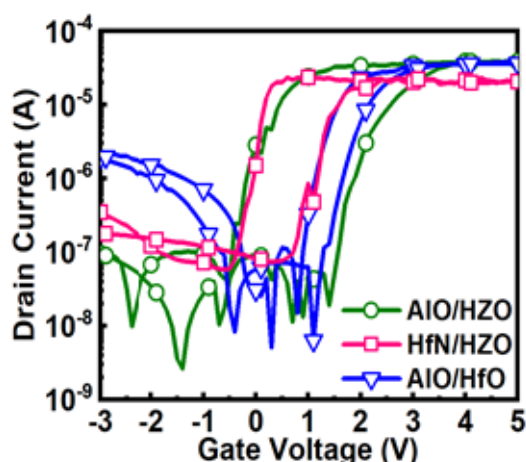


圖 5.3.17

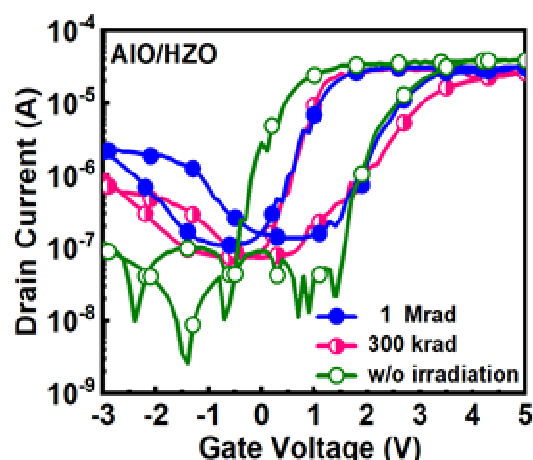
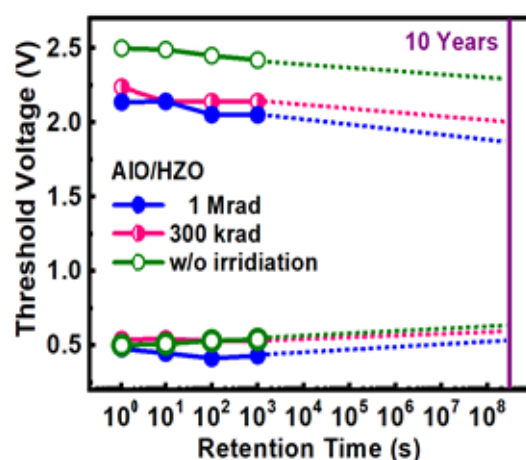
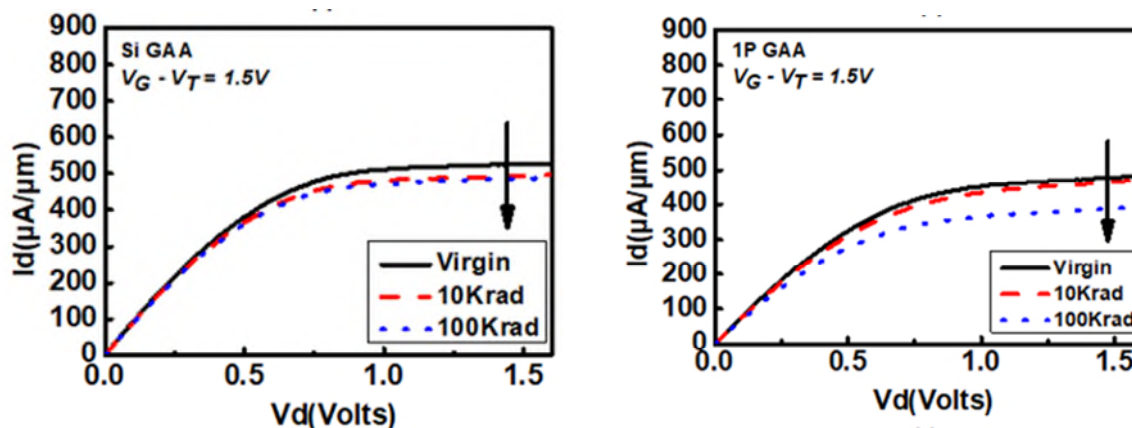


圖 5.3.18



6.先進矽鍺場效電晶體元件之製程與抗輻射特性研究

如下圖 5.3.19 之 Si GAAFET、SiGe GAAFET 之輻射效應分析結果，可看出 SiGe 元件輻射造成較大的元件導通電流衰退。因此，在使用高移動率的 SiGe FET 雖可能增進導通電流，但是它的抗輻射能力也較差。

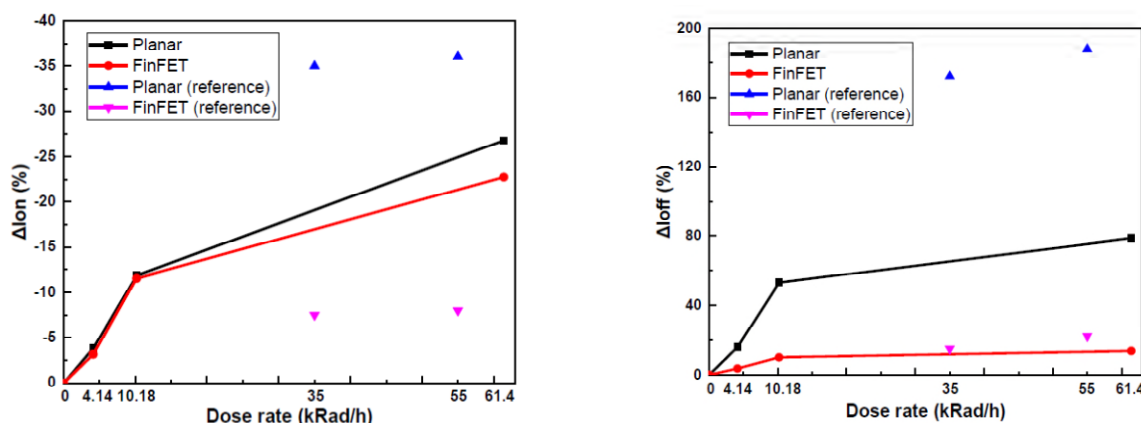


(a) I_d vs V_d of Si FET

(b) I_d vs V_d of SiGe FET

圖 5.3.19: Si, SiGe GAAFET 之製作與輻射效應量測

從下圖 5.3.20 之 MOSFET, FinFET 之輻射劑量率效應量測分析結果，可看出劑量率越高， I_{on} 的衰減越多、 I_{off} 的增加也越多，表示當元件在高輻射劑量率下造成較大的元件傷害。因此，元件應用在太空環境之抗輻射檢測時，必須考慮因短時間之高劑量率可能導致它的抗輻射能力也較差，所以評估抗輻射總劑量必須做更保守的餘裕。



(a) Delta I_{on} vs Dose rate of FET

(b) Delta I_{off} vs Dose rate of FET

圖 5.3.20: MOSFET, FinFET 之輻射劑量率效應量測

本計畫成果之價值，在學術方面探討 SiGe 鰭式電晶體(FinFET)、SiGe 閘環繞電晶體(GAAFET)元件之抗輻射特性分析與比較等。結果發現元件經輻射傷害，造成較大的元件導通電流衰退。SiGe 通道雖具較高移動率，但界面原子鍵結較弱，熱穩定也較差。GAAFET 元件之輻射傷害機制研究，具有深入學術價值。

本計畫之貢獻，在技術創新上完成先進 SiGe FinFET、GAAFET 元件之製作與製程開發、開發銻縮合製程以增進 SiGe FinFET、GAAFET 元件之抗輻射特性等。國際合作上，矽銻場效電晶體元件之通道結構設計，與印度 IIT-Patna 合作研究，本計畫製作 Fin/GAAFET 以提供對方進行量測，並與模擬的元件參數做校正。人才培育上，先進矽銻場效電晶體元件之製程研究，培育了幾位碩士級以上之專業人才，可立即投入半導體製造公司所需。此計畫研究成果，可促進大學、國家太空中心之合作研究。

本計畫之應用，在經濟效益上開發先進 SiGe FinFET、GAAFET 元件之製程技術，可直接應用於先進積體電路製造，對產業與民生有顯著經濟效益。社會影響上，SiGe FinFET、GAAFET 元件是製造先進積體電路的關鍵技術，抗輻射晶片也有助於提升我國太空科技。

7. 中子轉化摻雜技術於氮化鎵磊晶式異質基板之應用可行性評估

中子轉化摻雜 (Neutron Transmutation Doping, NTD) 是一種專門的材料摻雜方法，能夠在半導體材料中提供精確控制且極為均勻的電性摻雜。儘管已有初步的實驗結果，但 NTD 應用於氮化鎵 (Gallium Nitride, GaN) 仍然存在與中子損傷和雜質活化相關的一些技術問題。因此，本研究的目的是針對中子照射參數和退火溫度對於氮化鎵材料的影響進行深入探討，以解決並改善 NTD-GaN 可能的問題。首先，將藍寶石上生長的異質磊晶氮化鎵薄膜 (GaN on sapphire) 置於 THOR 反應器中，使用不同比例的熱中子和快中子通量照射管 (VT-6、VT-E、VT-F) 進行中子照射，實驗參數如表 5.3.2 所示。之後，在氮氣中以不同溫度對中子照射的樣品進行退火，修復中子損傷，並相應地活化轉化的原子核。隨後，利用各種光譜分析和霍爾效應測量等方法，對中子照射和退火溫度相關的製程參數對氮化鎵磊晶薄膜的材料特性影響進行分析。由分析結果顯示，氮化鎵的微結構和電導特性強烈相依於中子照射參數和退火溫度。NTD-GaN 中的晶格損傷與快中子的通量高度相關，而增加退火溫度有助於回復中子照射損傷和缺陷，同時也促使轉化摻雜原子的活化，在 1100°C 退火時可實現高達 95% 的活化率。因此，本研究的結果已初步建立中子轉化摻雜技術應用於氮化鎵材料的參數評估與研究基礎，有助於未來持續的學術鑽研及確立 NTD-GaN 的最佳化製程參數。本研究相關的重要結果摘述如下：

- 圖 5.3.21 為完成中子照射後樣品的 SIMS 分析，圖二為利用 HPGe 偵檢器量測轉化核種的加馬衰變特徵峰譜，由結果可確認樣品中存在經中子轉化的 ^{72}Ge 、 ^{70}Ge 摻雜核種，藉此證實氮化鎵樣品中鎵 (Ga) 元素的中子轉換摻雜效應。
- 圖 5.3.23(a) 與 (b) 所示為樣品 A 與 C 藉由 HPGe 偵檢器量測轉化核種的加馬衰變特徵峰譜活度計算所得的摻雜濃度與理論轉化濃度的比較，由 HPGe 推估的濃度與理論濃度極為接近，而其誤差來源應可歸因於分裂中子源的通量率誤差所致。
- 圖 5.3.24(a) 與 (b) 所示為 XRD θ -2 θ 繞射與 rocking curve 的分析結果，快中子通量高的樣品所受到的輻射損傷較為明顯，由此推知若期望有較好的摻雜效果並減緩材料的輻射損傷，使用較高熱/快中子比例的照射管應是較理想的選擇。
- 圖 5.3.25 所示為霍爾效應量測結果，載子濃度或載子活化率隨退火溫度上升而增加，並於退火溫度達 1100°C 時，達到約 95% 的預估濃度轉化率。由此可知中子輻照樣品在發生轉化效應之後，需要在一定的溫度下才可以使得被轉化的摻雜原子回到晶格位置而具備電性活化，並修復經由快中子照射所造成的輻射損傷。

- 圖 5.3.26 所示為 UV-Visible 吸收光譜量測結果，經過照射後的樣品出現明顯的光吸收現象，且光吸收現象的回復也與退火溫度呈正相關。此外，根據 Tauc 方法評估能隙與退火溫度的相關性，結果顯示能隙的大小隨著退火溫度的增加逐漸接近原始值。
- 圖 5.3.27 所示為中子輻照樣品隨著退火溫度變化的光致發光 (photoluminescence, PL) 光譜，經過中子照射後，氮化鎵的近帶隙發光 (near-band-edge emission, NBE) 強度急劇下降。隨著退火溫度的增加，其發光強度則呈現逐漸回復的趨勢。退火處理不僅促進了摻雜原子的活化，也進一步消除氮化鎵晶體中的非輻射復合缺陷。然而，即使在 1100°C 的退火溫度下，NBE 發光的峰值強度仍然無法達到未照射的水平，此表示中子照射造成的缺陷尚未完全修復。

Sample No.	Irradiation Tube	P (MW)	t _{irrad} (s)	Φ_t (n/cm ²)	Φ_f (n/cm ²)	Φ_t/Φ_f ratio
Experiment I						
A	VT-6	1.7	12600	2.40×10^{16}	4.99×10^{15}	4.81
B	VT-E	1.7	1260	2.40×10^{16}	3.50×10^{16}	0.69
Experiment II						
C	VT-F	1.7	21600	5.81×10^{17}	4.62×10^{17}	1.26

表 5.3.2: THOR 反應器之中子輻照參數

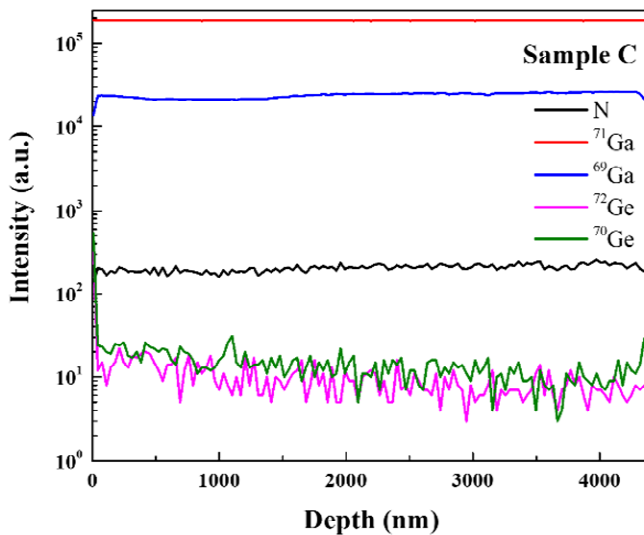


圖 5.3.21: SIMS 分析結果

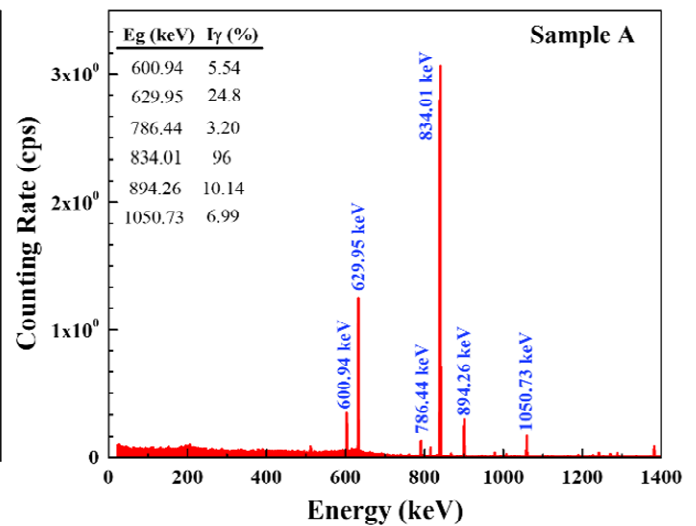


圖 5.3.22: HPGe 能譜分析結果

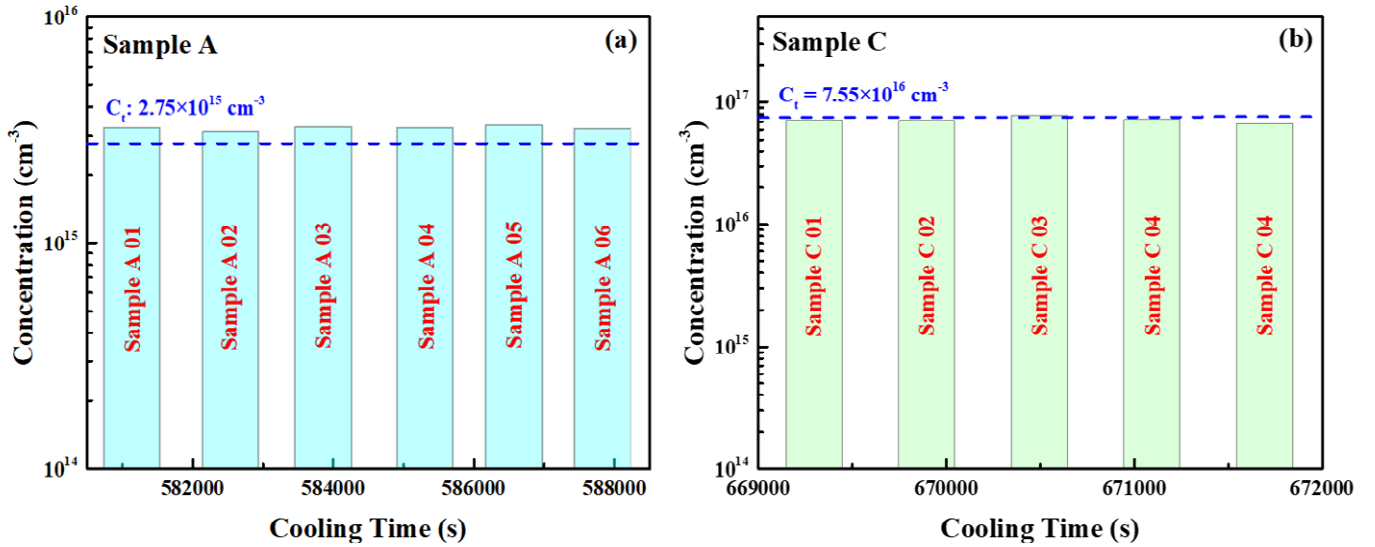


圖 5.3.23: Ge 轉化濃度計算結果：(a) 樣品 A 與 (b) 樣品 C

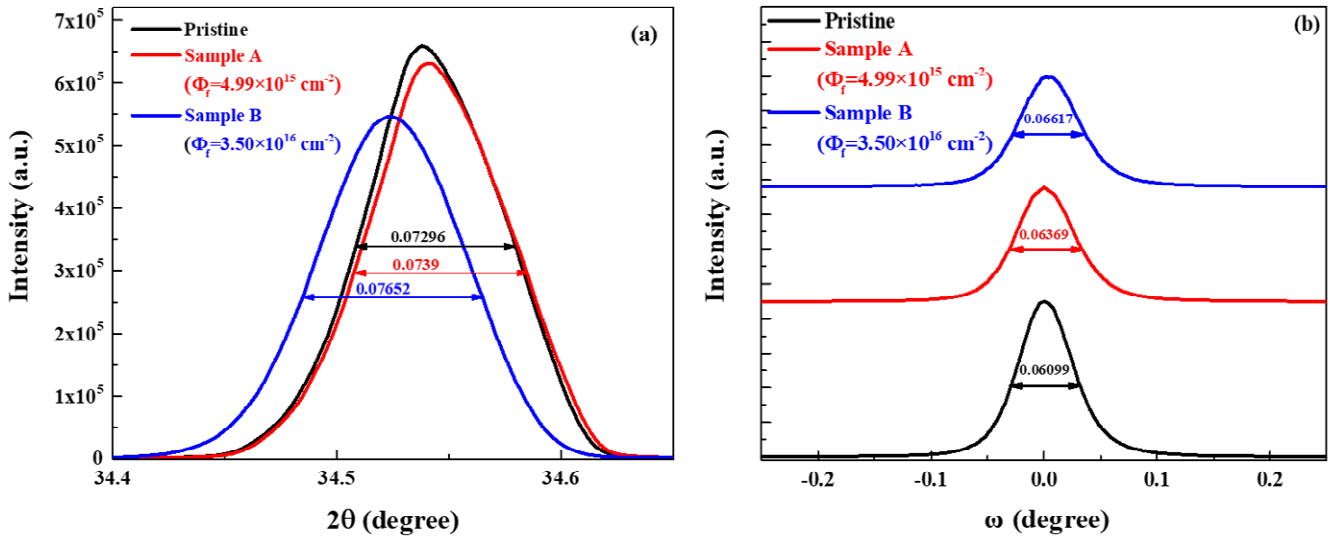


圖 5.3.24: 中子轉化摻雜試片之 (a) XRD θ - 2θ 繞射圖譜與 (b) XRD rocking curve 分析結果

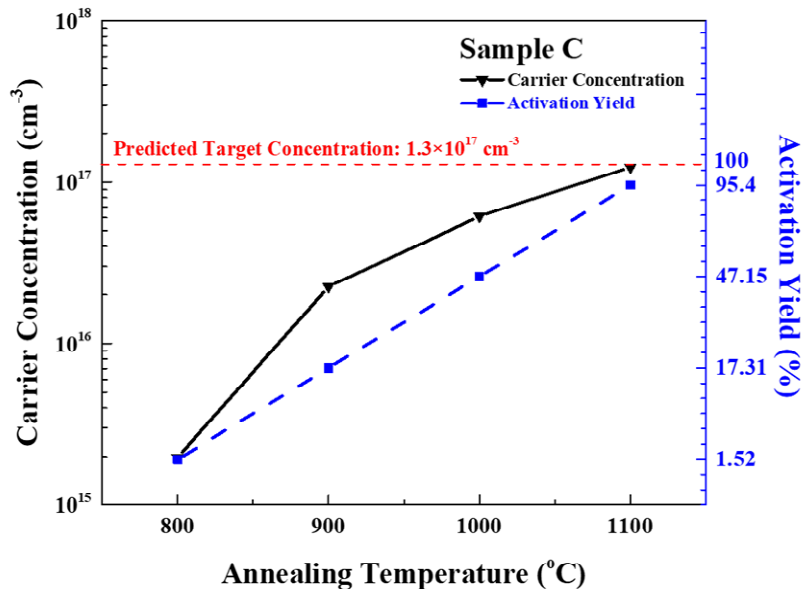


圖 5.3.25: 中子轉化摻雜試片之載子濃度與活化率隨退火溫度之變化

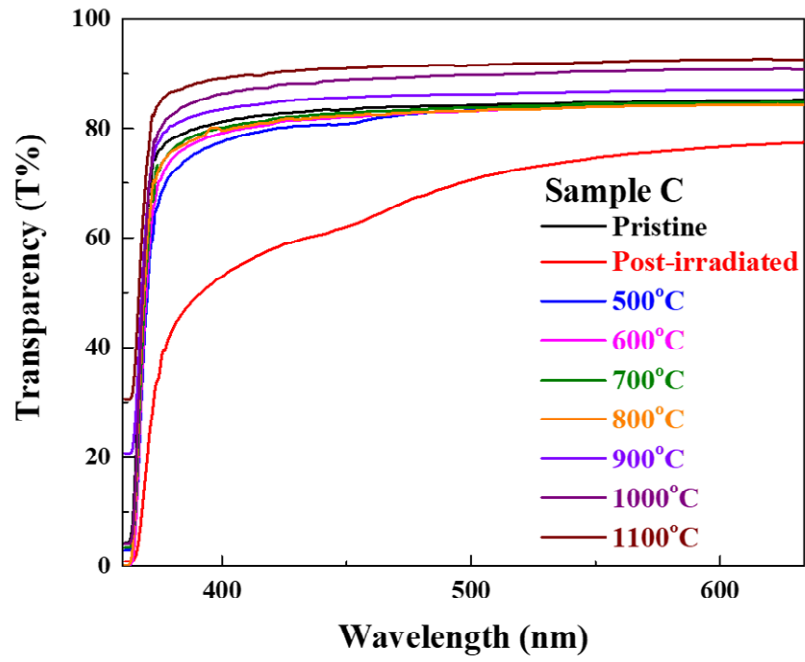


圖 5.3.25: 中子轉化摻雜試片之 UV-Visible 吸收光譜隨退火溫度之變化

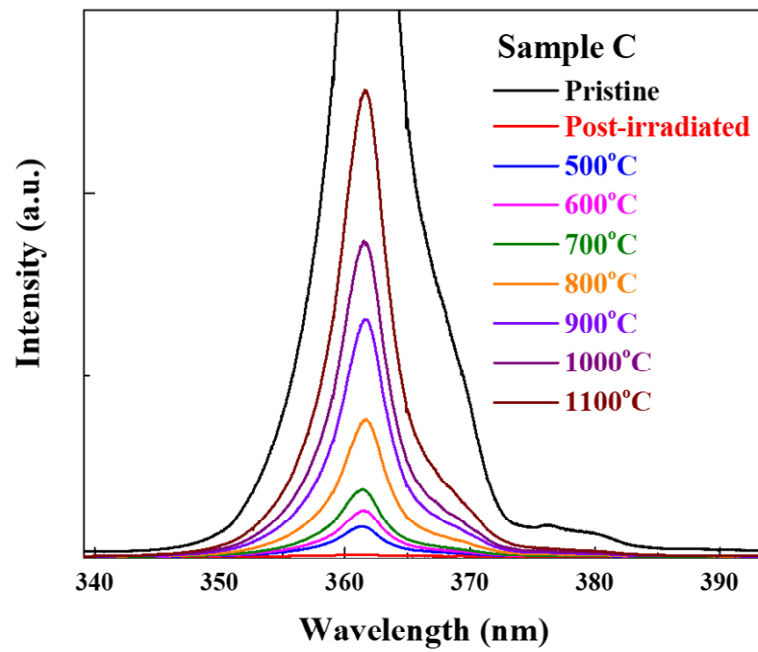


圖 5.3.26: 中子轉化摻雜試片之光致發光能譜隨退火溫度之變化

8. 新型耐火高熵合金應用於高輻射場域之特性分析研究

本計畫針對 HfMoNbTaTi 及 HfMoNbTaZr 兩成份之耐火高熵合金經多能量氦離子輻照後所造成的輻射損傷研究，包括在輻照前後表面硬度變化、損傷區之晶格常數及微結構變化等，希望能透過本計畫研究成果了解不同組成成份對於耐火高熵合金之抗輻射性影響。

奈米壓痕機量測試片表面硬度表示(在本計畫採用的量測深度約距表面 250nm)，在受輻照後，兩成份之耐火高熵合金的表面硬度均呈現輕微下降(如圖 5.3.27)，HfMoNbTaTi 及 HfMoNbTaZr 的變化量分別為 2.35% 及 3.84%，與其他相關文獻表示輻照後的硬度上升不一致。在受離子輻照後，入射離子的撞擊對表面晶格造成一定程度的輻射損傷，但也透過短程之原子位移消除部分本質缺陷，造成量測出的硬度有些微的下降。

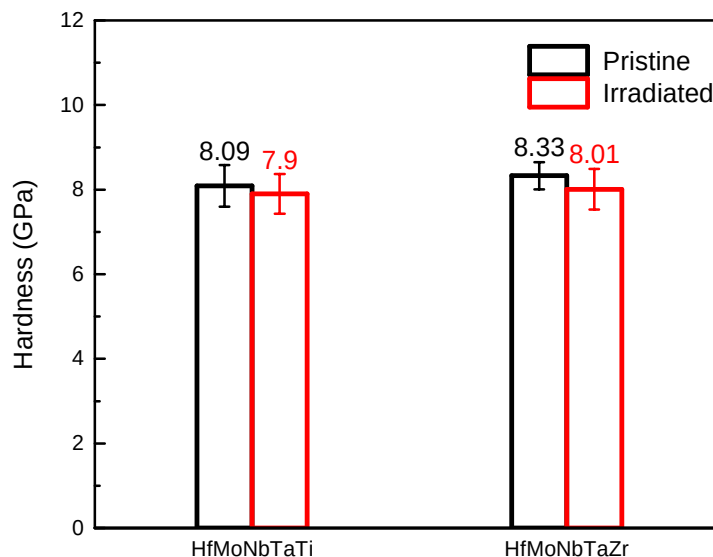


圖 5.3.27

在晶格常數部分，透過 GIXRD 的結果可以得知兩成分高熵合金在受輻照前後都維持 BCC 結構，並未產生新的相，但兩者呈現不同的趨勢。在 HfMoNbTaTi 合金中(如圖 5.3.28,a)各結晶平面特徵峰未發生位移，峰值強度反而略有上升，顯示輻照後該合金表面的結晶程度並未減弱，反而略有提升。相反地，在 HfMoNbTaZr 合金中 (如圖 5.3.28,b)，受輻照後各結晶平面特徵峰均呈現向右偏移，且峰值強度下降，代表在輻照後，表面損傷層之晶格常數稍微減小 (其變化量約為 0.74%)，其結晶程度也有降低。

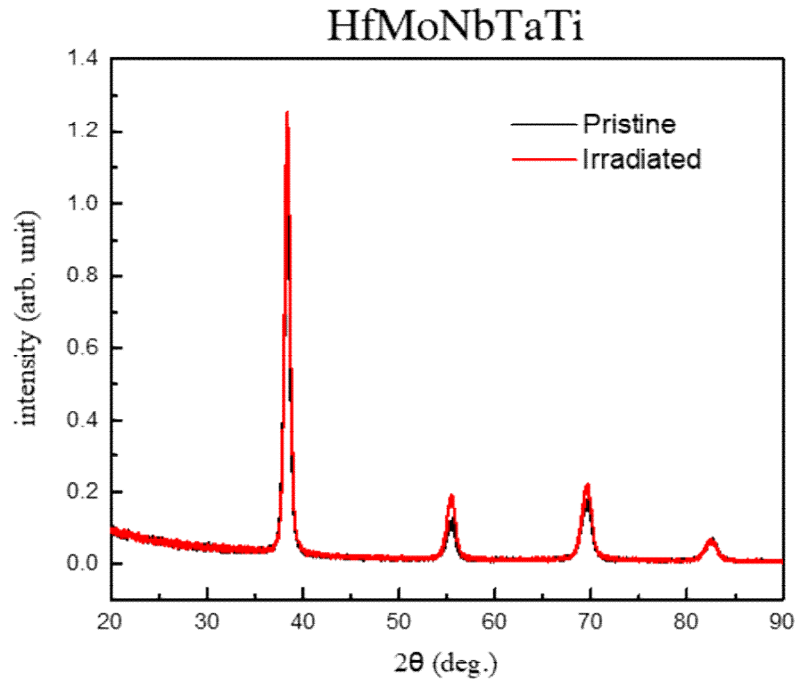


圖 5.3.28(a)

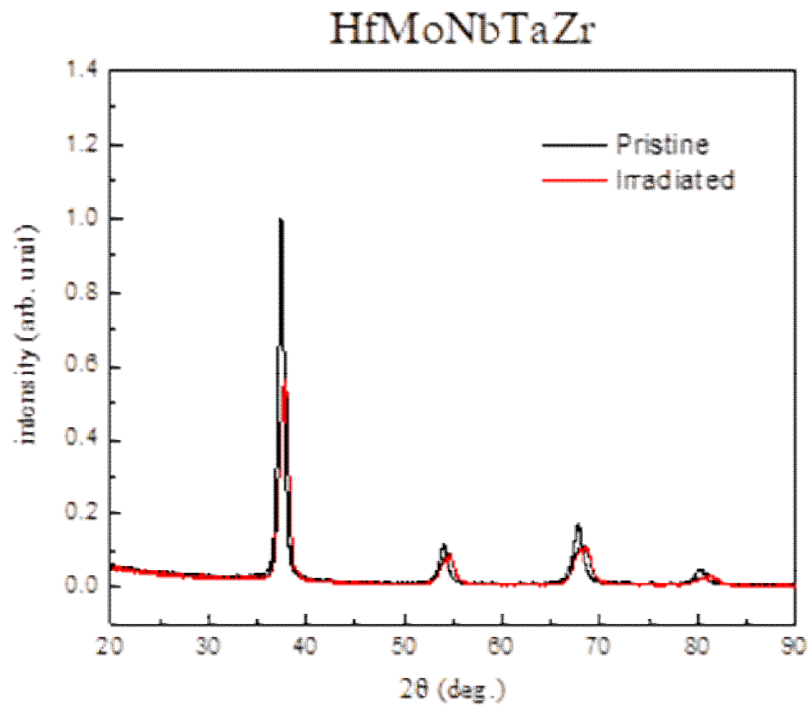


圖 5.3.28(b)

透過 AFM 可量測兩成分之耐火高熵合金在受輻照前後表面的高低差 (如圖 5.3.29)，試片在進行氦離子輻照前先利用耐熱膠帶覆蓋一部分表面，以保護此區域受離子轟擊。在本研究中，因為試片表面有些許起伏，因此先將邊界兩側取平均高度後再進行高低差比較，HfMoNbTaTi 及 HfMoNbTaZr 的測出的高

低差分別為 28.78 及 30.15nm。

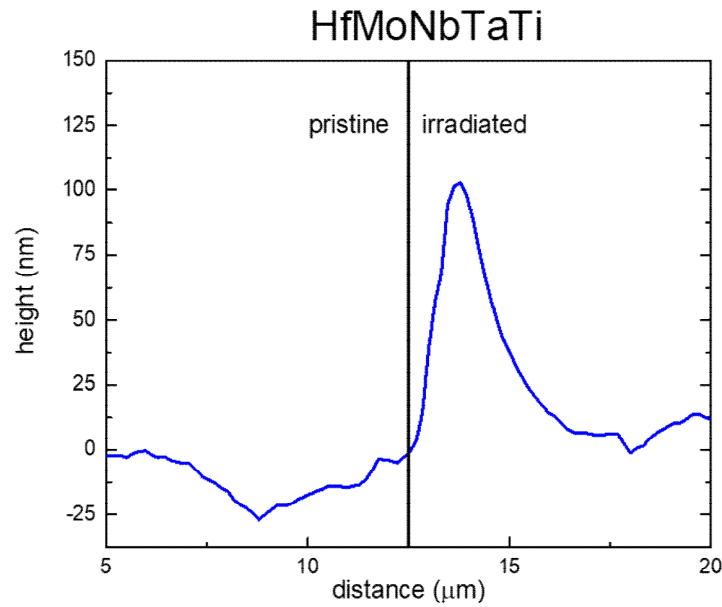


圖 5.3.29 (a)

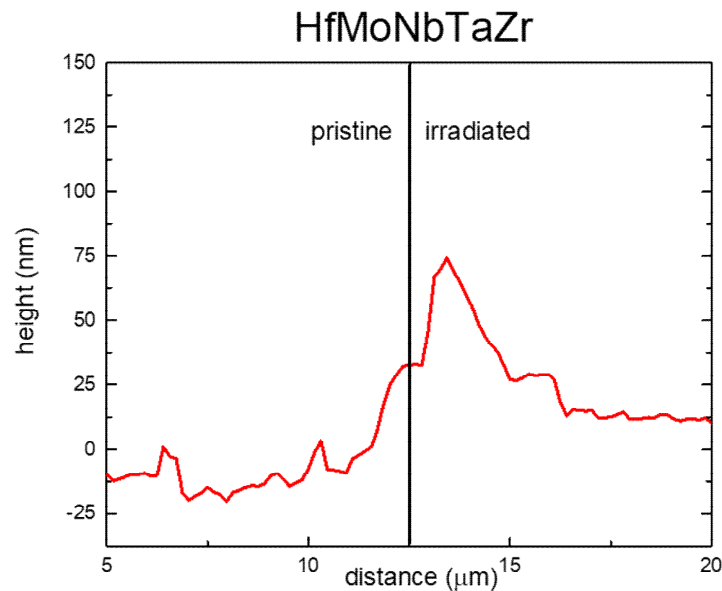


圖 5.3.29 (b)

圖 5.3.30(a)為 HfMoNbTaZr 在輻照前的 TEM 影像圖，表面仍有許多缺陷(顏色較深區)，造成這些缺陷的原因主要是本研究中選用的耐火高熵合金試片為鑄錠態(As-cast state)，因此在凝固時會保留部分本質缺陷。相較之下，圖 5.3.30(b) 為 HfMoNbTaZr 在輻照後的 TEM 影像圖，在虛線附近(距表面約 250nm 處，與奈米壓量測的區域一致)的缺陷密度較低，代表部分缺陷因入射的氦離子使得晶格原子進行短程位移，進而消除部分缺陷，這與我們在硬度量

測的推測一致。

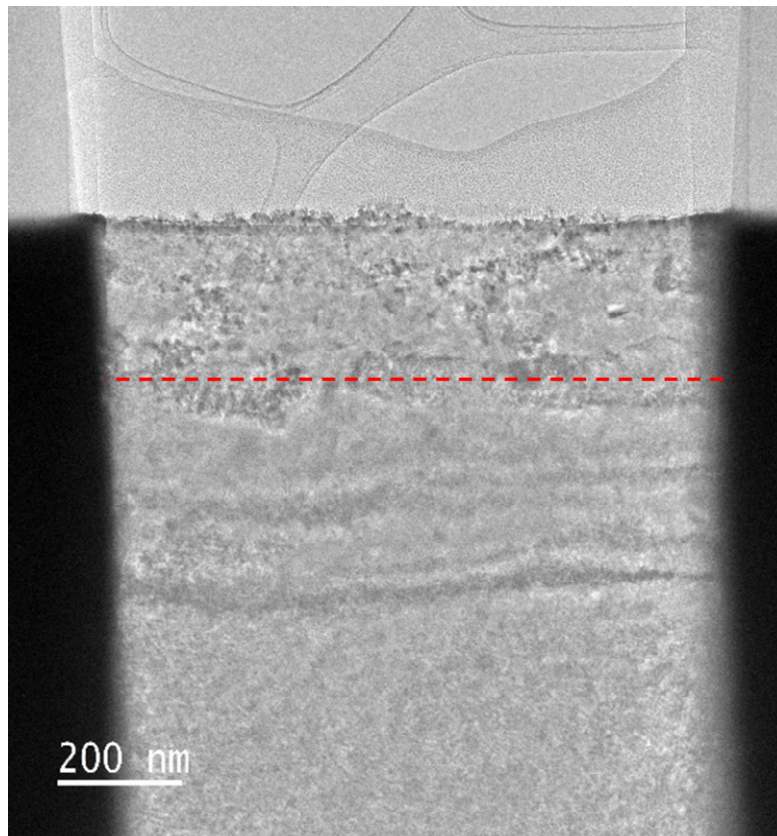


圖 5.3.30 (a)

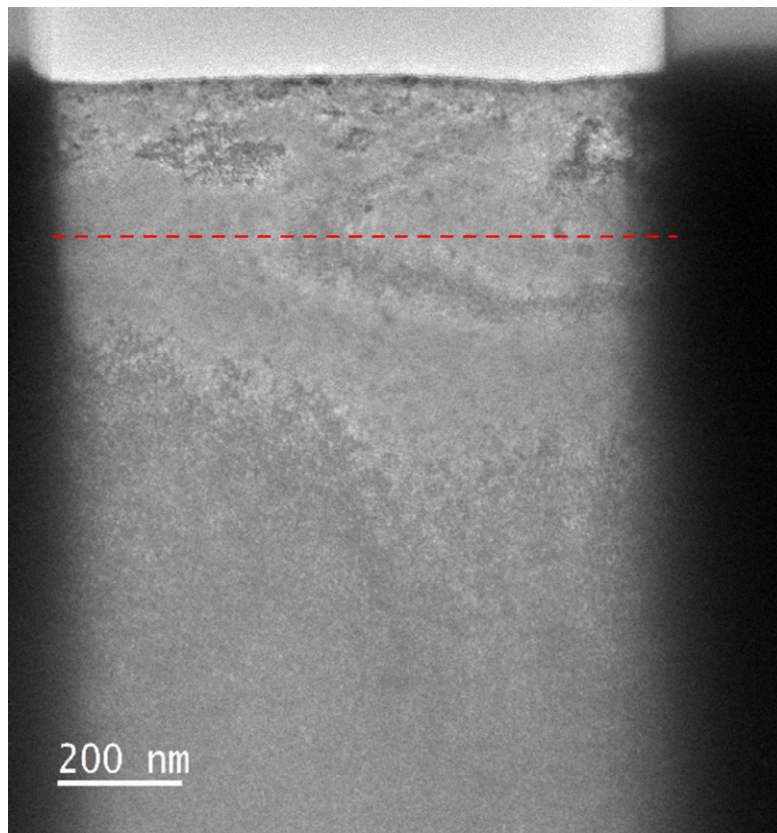


圖 5.3.30 (b)

9.發展極紫外光干涉儀與精密複數折射率量測之應用

本計畫旨在發展適用極紫外光(extreme ultraviolet,EUV)之馬赫-曾德爾干涉儀(Mach-Zehnder interferometer)，此干涉儀將穿過樣品的物光和不穿過樣品的參考光經過光柵繞射並重疊在相機上，可以觀察到不同頻率在空間上的干涉條紋。利用此干涉條紋可以得到不同頻率的相位及強度變化，以此得到樣品的複數折射率。

如圖 5.3.31(a)所示，在此極紫外光干涉儀的實驗中，三飛秒、豪焦耳級紅外光脈衝被聚焦到充滿氫氣的半無限氣室中以產生極紫外光。然後極紫外光會穿透鋁箔過濾器，而其餘基光會被阻擋。極紫外光由石英反射鏡和鍍涂覆的橢圓反射鏡以 6 度的掠射角反射。透過橢圓反射鏡，極紫外光會被聚焦在干涉儀的分光鏡之後。極紫外光經由分光鏡在空間上分成上下兩道光，其中由下半部分光鏡反射的極紫外光會聚焦在樣品上作為物光，另一道光則是作為參考光。兩道光會分別被反射鏡反射，然後由光束組合器共線反射。而後此共線光將會被 KB 鏡組(Kirkpatrick-Baez mirror)聚焦並被錐形光柵繞射，而後干涉條紋可成像在 X 光數位相機(CCD)上。

圖 5.3.31 (b)為所實現之極紫外光干涉儀架設，其底座由兩個鋁製平台組成，可以調整上面平台的三個測微器以校準入射光。考慮到熱漲冷縮效應，此干涉儀中的反射鏡及其下的平台皆由石英製成，其中相接的平面皆被拋光，反射面則是被高度拋光以減少極紫外光散射。干涉儀內的上側光束組合器是用奈米級平移台調整，並以此控制微調一臂的光行徑方向及兩道光的时间差。入射光由圖右側向左入射，其會被上側分光鏡以 7 度掠射角反射，並被下側分光鏡以 3 度掠射角反射。而後分別被以 4 度掠射角反射，最終兩道光會被光束組合器反射。

圖 5.3.31 (c)為實驗所量測取得之干涉條紋，圖中間白色方框中斜度較大、密度較高的條紋是由兩道光干涉的條紋，然而其他區域的條紋則肇因於紫外光光束面積超出反射鏡和光柵而造成的邊緣繞射條紋，使得實驗無法從此含繞射條紋之區域取出正確的相位資訊。究其原因為在目前的架設中，進入干涉儀前的橢圓面鏡焦距只有 20 公分，使得紫外光束在聚焦後發散過快造成光束投影面積較後續的反射鏡為大所致。此外，此干涉儀對入射光的光路要求較高，當入射光的位置或方向有偏差時，兩道光的強度比例會有較大變化。目前我們將半無限氣室前的光圈置於 xy 二維平移台，以此微調入射極紫外光干涉儀的光路，但因為光束在干涉儀後還經過多面鏡子之反射，並因光束尺寸大於反射鏡使實驗上尚無法獲得良好的干涉條紋結果。

目前計畫將干涉儀稍作設計修改如圖 5.3.31 (d)所示。重要改動之處為在

干涉儀中的一道光路加上平移台(圖中紅色箭頭處)，並以壓電元件控制移動。當控制此平移台移動時，該道光路的光程會有所改變，所以干涉儀造成的繞射條紋將會有改變，然而邊緣繞射條紋不會變動，如此即有望可以有效分辨出干涉儀造成的繞射條紋，從而正確取得相位資訊。

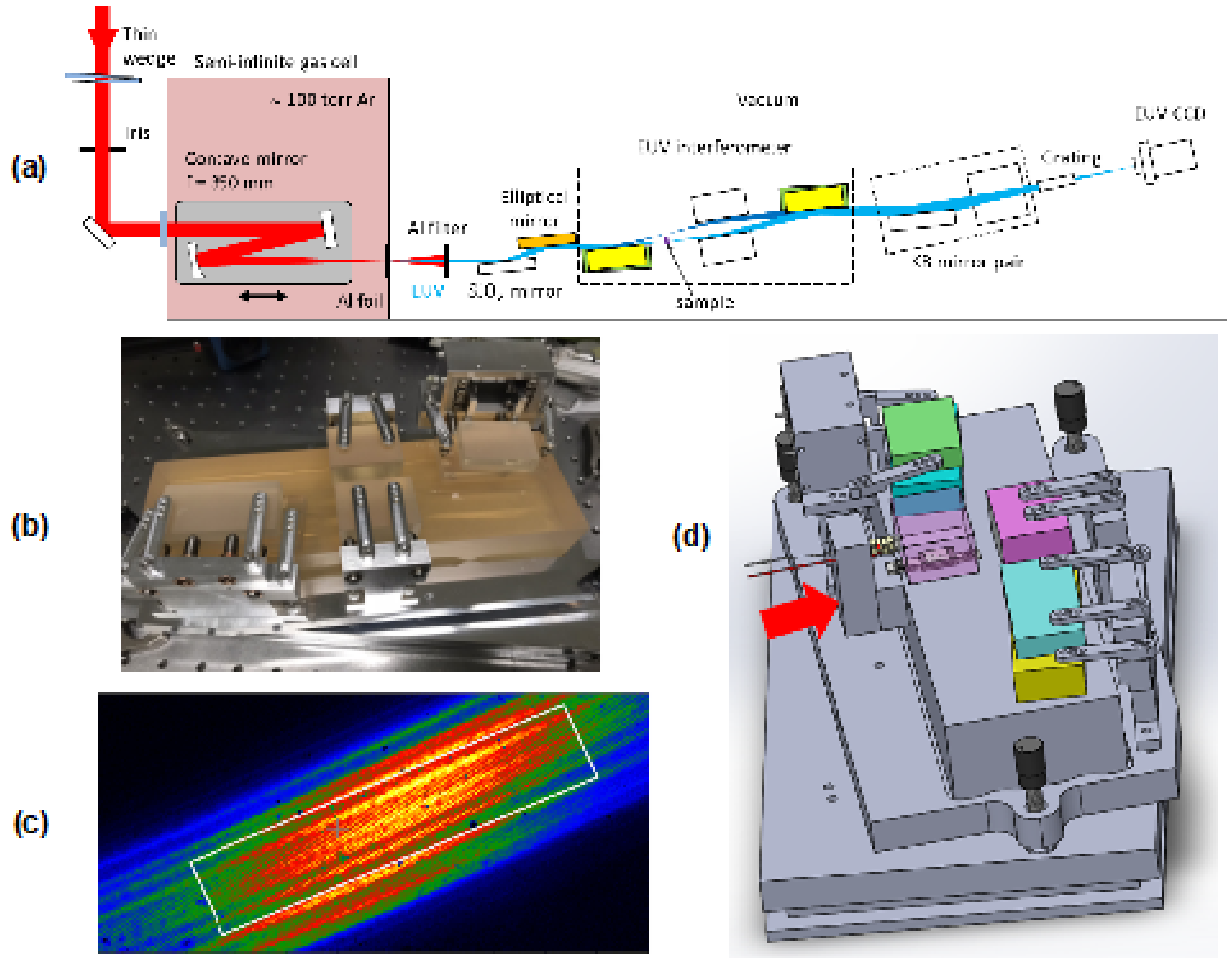


圖 5.3.31(a)極紫外光(EUV)馬赫-曾德爾干涉儀(Mach-Zehnder interferometer)示意圖。極紫外光由 3 飛秒雷射通過半無限氣室(semi-infinite gas cell)中進行高階諧波產生(high-order harmonic generation, HHG)而產生，而後將極紫外光聚焦到干涉儀器中並最終由數位相機(CCD)接收干涉影像。(b)極紫外馬赫-曾德爾干涉儀架設圖。(c)未放樣品時，極紫外干涉儀重合後的繞射條紋，橫軸為極紫外光能量。此干涉條紋含有相位資訊也有邊緣繞射條紋。(d)修改後之干涉儀架構設計圖。

10.以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析-以 X 光成像地質結構分析地下水滲透性質

本計畫利用計算流體力學(CFD)分析地下水滲透岩心孔洞之情形，並計算其滲透率。岩心孔洞結構幾何模型及網格由子計畫一提供，模擬的入口邊界條件使用速度入口及壓力入口兩種，出口邊界條件皆使用壓力出口，使用的流體為水。

圖 5.3.32、圖 5.3.33 是使用岩心孔洞幾何上半部，分別以使用 1 mm/s 和 10 mm/s 作為速度入口條件得到的壓力分佈等值線圖及流速的流線分布圖。圖 5.3.34、圖 5.3.35 則是使用 1 和 10 Pa 作為壓力入口條件得到的壓力分佈等值線圖及流速流線分布圖。詳細的 CFD 參數與模型設定整理於表 5.3.3。

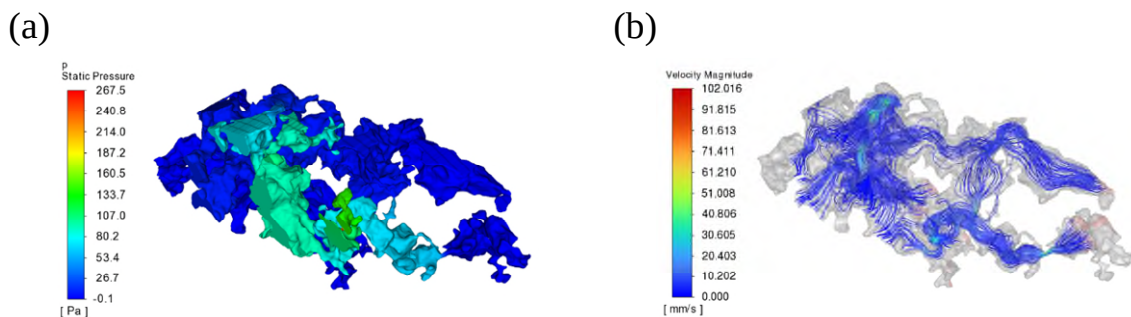


圖 5.3.32:進口條件為 1 mm/s 下，上半部岩心孔洞之(a)壓力分佈等值線圖及(b)流速流線分布圖

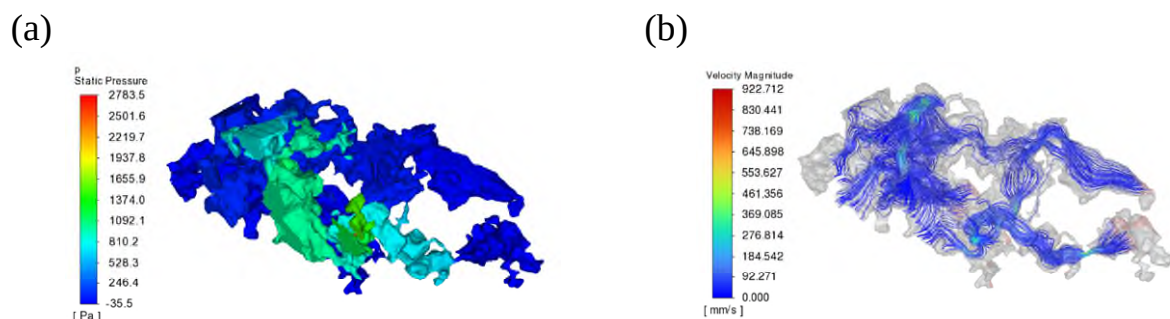


圖 5.3.33:進口條件為 10 mm/s 下，上半部岩心孔洞之(a)壓力分佈等值線圖及(b)流速流線分布圖

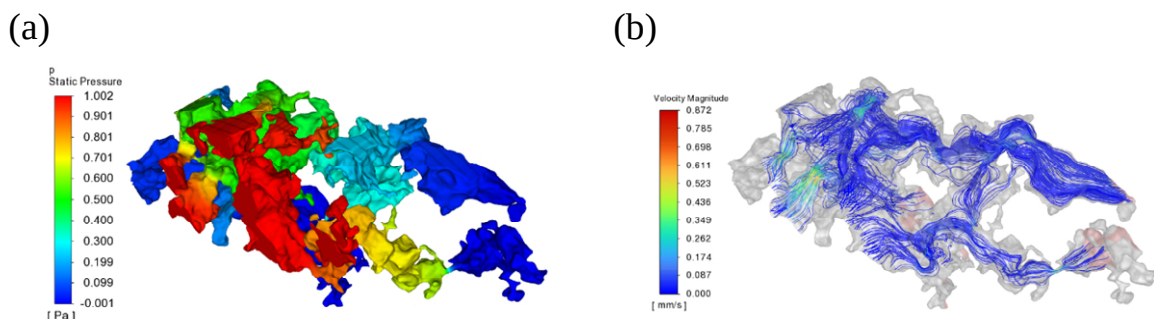


圖 5.3.34:進口條件為 1 Pa 下，上半部岩心孔洞之(a)壓力分佈等值線圖及(b)流速流線分布圖

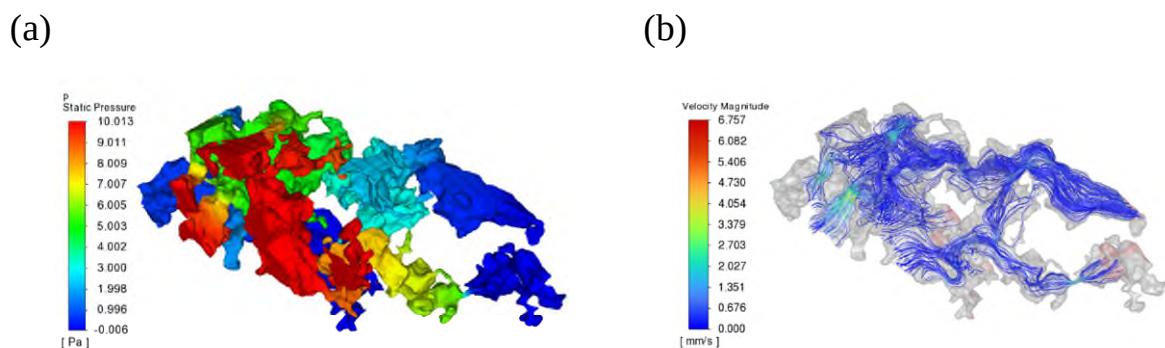


圖 5.3.35:進口條件為 10 Pa 下，上半部岩心孔洞之(a)壓力分佈等值線圖及(b)流速流線分布圖

Boundary condition			
Inlet	1.	Velocity inlet [mm/s]	1, 10
	2.	Pressure inlet (Gauge) [Pa]	1, 10
Outlet		Pressure outlet (Gauge) [Pa]	0
Viscous			
Laminar			
Pressure-velocity coupling			
Scheme		SIMPLE	
Discretization			
Gradient		Least square cell based	
Pressure		Second order	
Momentum		Second order upwind	

表 5.3.3:CFD 邊界條件設定

使用達西定率計算岩心孔洞滲透率，其公式列於方程式(1)，經改寫後的方程式(2)可直觀計算滲透率：

$$Q = \frac{kA}{\mu L} \Delta P \quad (1)$$

$$k = \frac{Q \mu L}{A \Delta P} \quad (2)$$

其中 Q 為水的流量(m³/s)、k 為滲透度、A 為該計算岩心結構的截面積、μ 為流體黏度、L 為岩心孔洞深度、ΔP 為出入口兩端的壓降絕對值。經子計畫一團隊量測岩心影像，得到此岩心的直徑約為 6.02 mm，因此截面積為 28.46 mm²，岩心孔洞深度為 1.792 mm，流體性質直接套用水的物理性質。圖 5.3.36 分析了使用圖 5.3.32~35 不同進口條件下得到的滲透率數值。在上半部岩心孔洞結構內，利用不同進口方式及數值計算獲得的滲透率數值差異不大，皆保持在相同的數量級下。

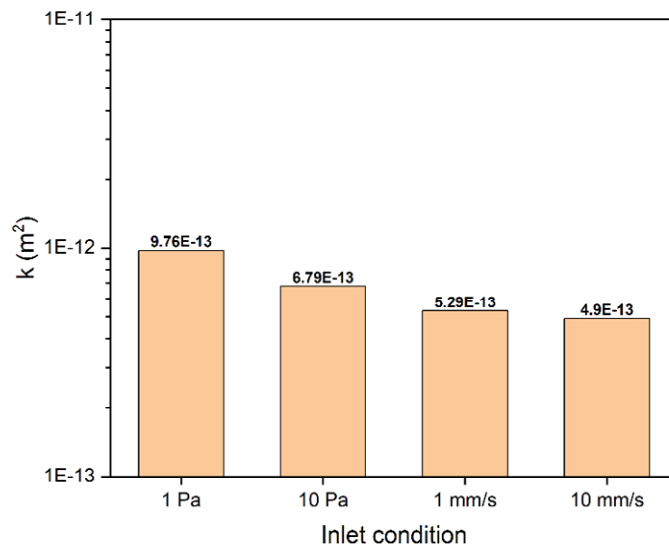


圖 5.3.36:不同進口條件下，上半部岩心孔洞計算出的滲透率

本研究成功地以計算流體力學方法模擬地下水流經岩心結構之流態並提供滲透率計算方法，也細部分析地下水流於土壤內的流速分布及流線。

在水文研究領域，土壤滲透性定義為氣體、液體或植物根部穿透土壤層的難易程度。依經驗，土壤砂石的滲透係數與土壤材料的特性(如粒徑與其分布、顆粒的球形度、顆粒堆疊狀態等)與流體的密度及黏度有關。以往的中尺度的土壤結構的滲透係數，往往以砂石材料的粒徑與其分布分佈、顆粒表面積的等巨觀物理特性總推推估。另一方面，傳統研究使用的方式，如水銀壓汞儀、電子掃描顯微鏡，都需部分破壞性土壤樣品的微觀結構。以往研究所預測的滲透係數均無法如實呈現非破壞性的真實的土壤、岩心的孔隙幾何與分布。

此計畫以 X 光成像技術分析台灣本土的非破壞性三維土壤岩心結構，並進行流體力學的水文滲透研究。透過此計畫所建立的模擬獲取之資訊，可提供國家土地開發時，水利工程、地下工程和環境保護等領域的專家更多參考資訊。

11. 質子射束成形與劑量調控研究

本計畫的主要目標是建立雙散射式機頭模擬系統、建構不同能量和照野的射束特性資料庫，同時製作一個法拉第杯。隨著未來台灣將擁有近十家粒子治療設施，其總經濟規模超過千億，且半導體產業規模龐大，對質子射束的深入了解將對整個產業的發展產生積極影響。國原院預計建立 70 MeV 的質子設施，可做為以上研究專用的輻照系統，並應用於：

- 放射治療劑量測定
- 殺菌和消毒
- 材料改性
- 工業處理(食品保鮮、污染物降解和污水處理)
- 科學研究(放射生物學，以及在物理、化學、航太和生物學方面進行的基礎研究)。

不同的應用將有不同的輻照系統束流具體設計和配置以及特定應用所需的照射參數。

輻照系統，又稱為照射裝置或照射系統，指的是用於有意將材料或物體放置於射束上以改變劑量的軸向和橫向分布。該系統通常包括以下組件：

輻射源

防護和安全系統

機台、夾具和定位系統(固定和定位代測物的系統)

劑量監測和控制系統(例如劑量計、游離腔)

控制和監測系統(可能包括控制器、定時器、警報和回饋)

軸向和橫向劑量擴展系統

本研究的目的，即為以蒙地卡羅方式設計國原院 70 MeV 的軸向和橫向劑量射束成型系統。

本計畫在側向劑量分布最終設計為類散射(quasi scattering)系統，由一個初級散射片(primary scatterer)、一個擋塊(insert)、和一個準直儀(collimator)組成，如圖 5.3.37，其蒙地卡羅模擬見圖 5.3.38，結果見圖 5.3.39，可見當擋塊距準直儀 75 cm 時可得 5 cm * 5 cm 之側向劑量分布。

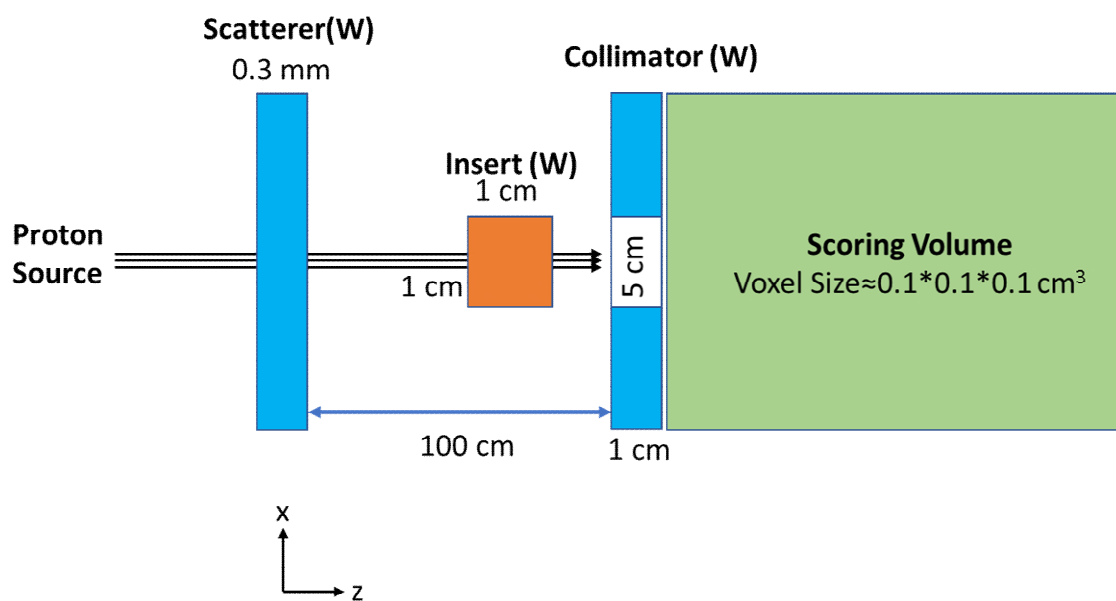


圖 5.3.37:劑量側向劑量分布之類散射(quasi scattering)系統

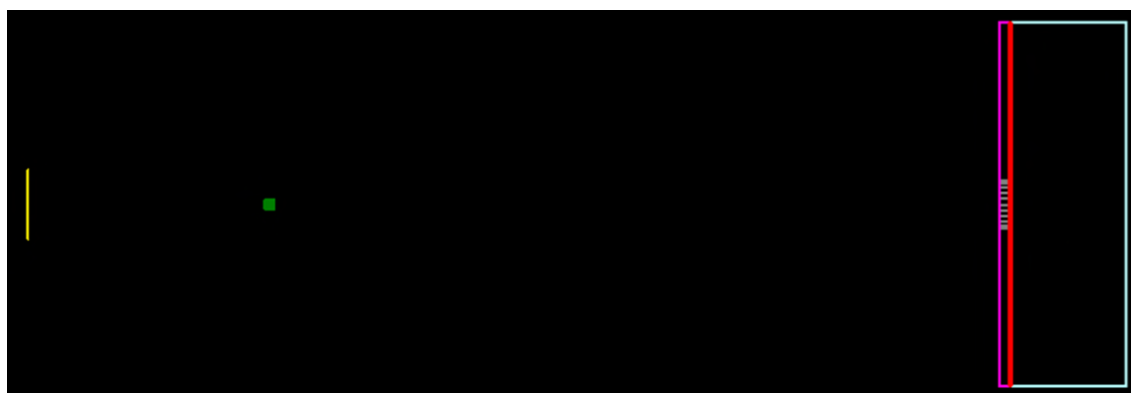


圖 5.3.38:劑量側向劑量分布之類散射(quasi scattering)系統之蒙地卡羅模擬

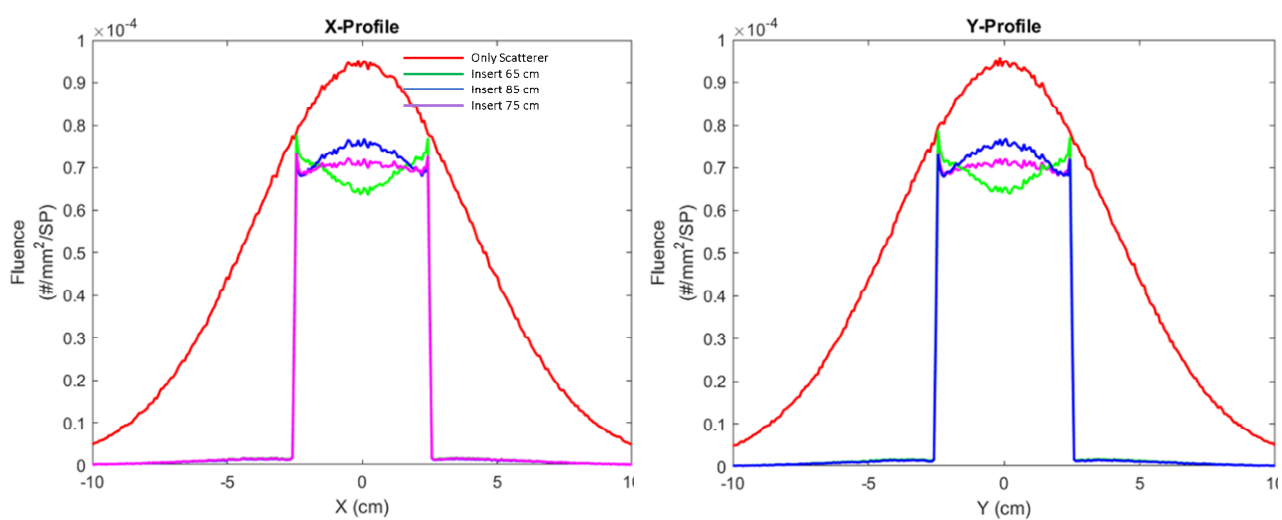


圖 5.3.39:類散射(quasi scattering)系統之側向劑量分布蒙地卡羅模擬

本計畫在軸向劑量分布最終設計為脊型濾片(Ridge Filter)系統，如圖 5.3.40，其蒙地卡羅模擬之二維與三維視圖結果見圖 5.3.41，結果見圖 5.3.42，可見不同散射片厚度會影響軸向劑量之平坦度。

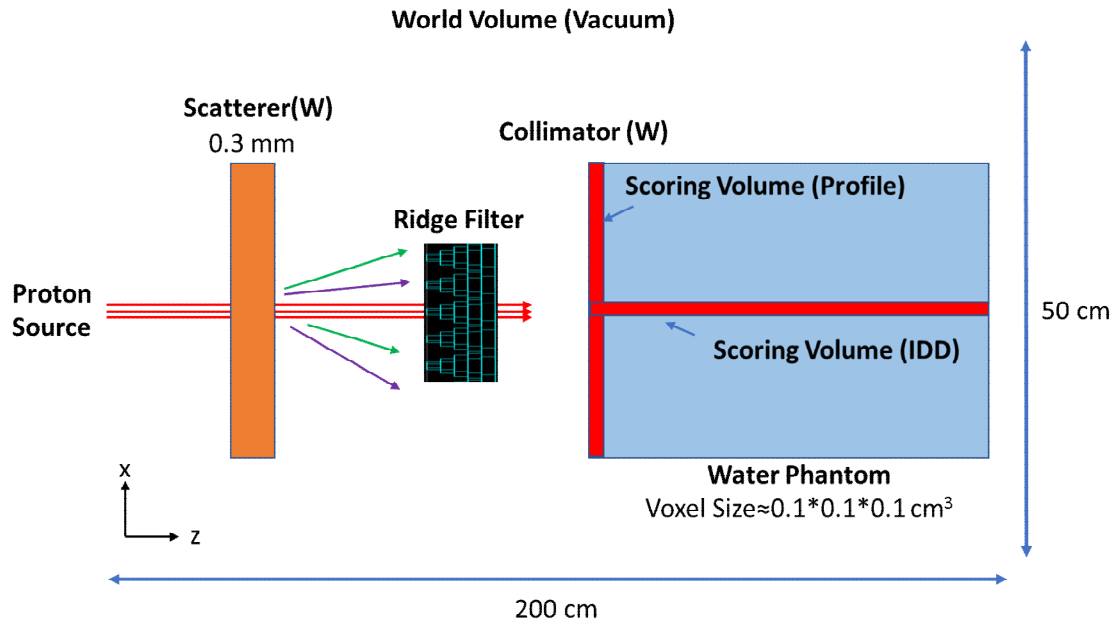


圖 5.3.40:劑量軸向劑量分布之脊型濾片(Ridge Filter)系統

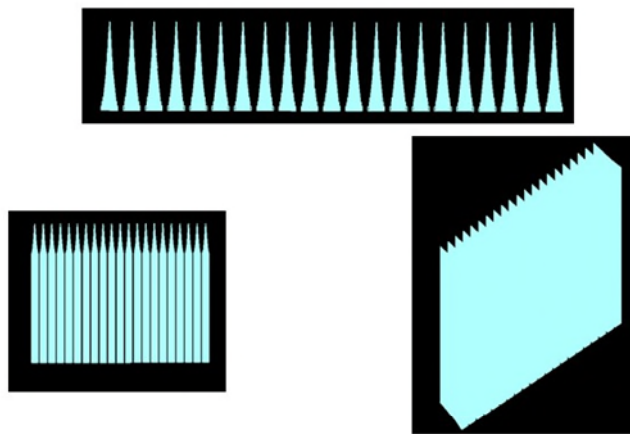


圖 5.3.41:脊型濾片(Ridge Filter)系統在模擬中之二維與三維視圖

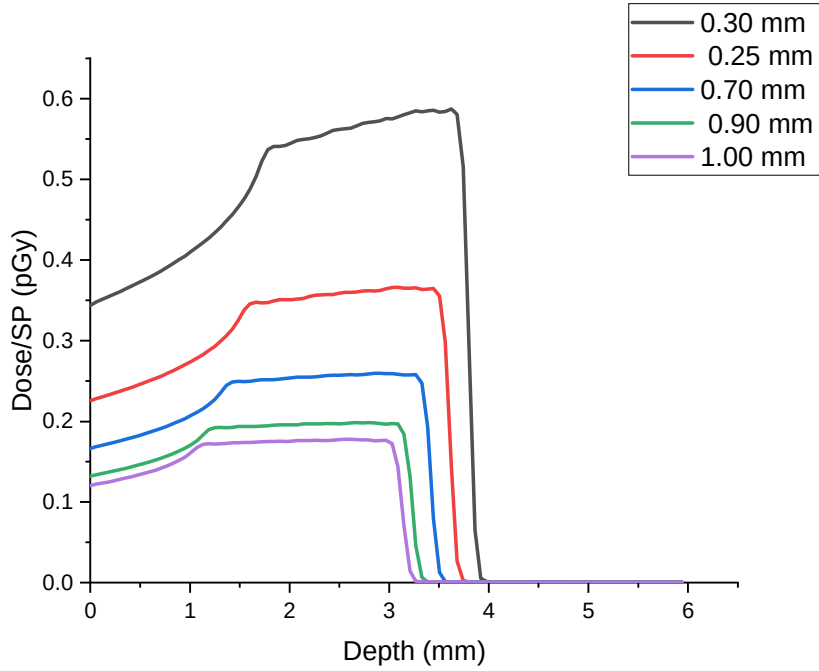


圖 5.3.42:不同散射片厚度之脊型濾片(Ridge Filter)系統之劑量軸向劑量分布模擬

圖 5.3.43 為將所有組件都模擬的等劑量曲線、側向劑量分布、與軸向劑量分布，當然，此模擬之質子輻射源為理想狀態、未來真實設計應基於測量所得的質子源，但本研究所開發的蒙地卡羅模擬、擴束系統、分析方法可應用於未來的真實射源。

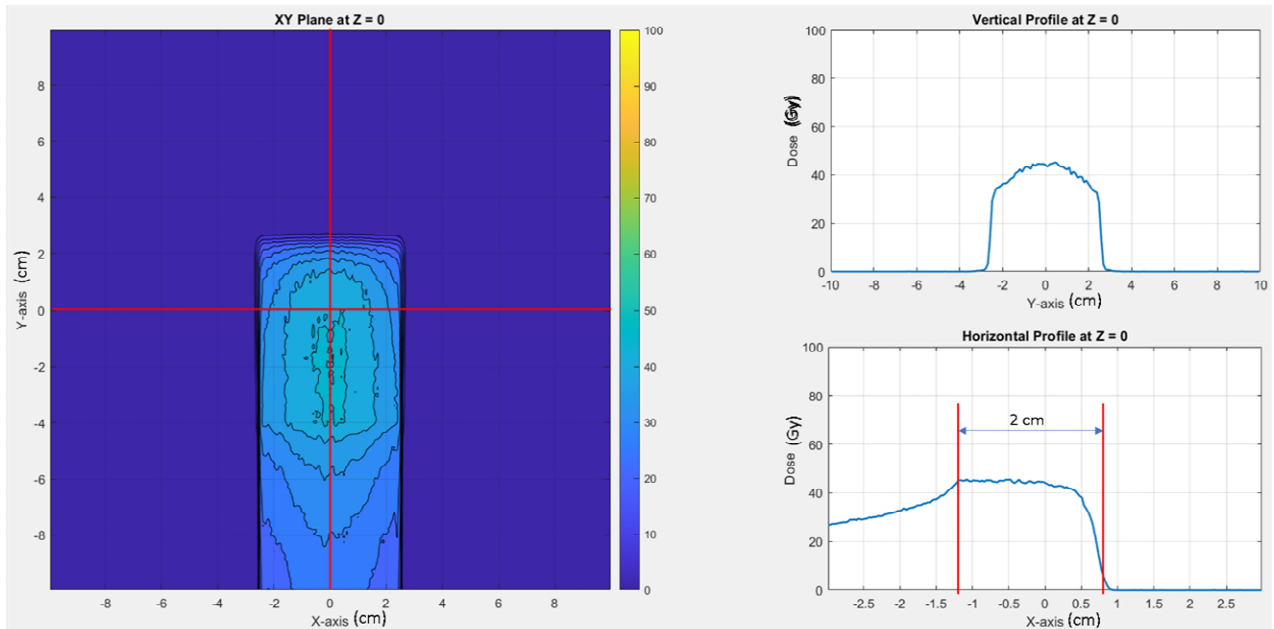


圖 5.3.43:將所有組件都模擬的等劑量曲線、側向劑量分布、與軸向劑量分布

12.X 光、電子等量子束於氧化亞銅異質奈米結構光電化學產氫膜層之材料分析研究與人才培育(第二年)

本研究延續第一年計畫之研究目的與成果，主要透過「原子能科技學術合作研究計畫」進行 X 光、電子等量子束科學之材料分析技術，培育基礎科學人才，進行「綠氫」材料之開發研究。近年來，氫能被認為是理想燃料，而光電化學產氫則是利用豐富的太陽能和水資源進行製氫的理想模式。半導體光電化學產氫為近年來熱門之研究方向，光電材料經光線照射後，光的能量大於光電材料本身的電子能隙，就能把光電材料的價帶中受束縛的電子激發至導帶產生電子-電洞對，進而躍遷至材料的表面，電子與溶液中的氫離子進行氧化還原反應可產生出氫氣。

本研究乃結合低成本、操作方便之常壓電漿鍍膜系統，進行低成本、WO₃ 與 DSSC 電力驅動(如圖 5.3.44 所示)、高 PEC 產氫效率之工作電極材料設計、製作與分析之開發。於高純度銅片表面利用低溫常壓電漿噴流系統與熱氧化方法，製作高比表面積之高準直性 Cu₂O 奈米線(NWs)結構膜層，以研究其作為 PEC 產氫光電極之相關核心技術。同時利用低溫常壓電漿噴流鍍膜系統，鍍覆 ZnO 奈米顆粒於 Cu₂O 奈米線表面(如圖 5.3.45)，使其形成奈米線異質 PN 結構的光電極，同時配合本團隊近二年發展之前述 WO₃ 與 DSSC 膜層，形成 WO₃ 與 DSSC 驅動之 PEC 系統，探討奈米線異質膜層型態與組合等微觀結構對 PEC 產氫效率之影響評估。顯示於無外加電力、純光電效應下之 PEC 產氫設計，於 5 小時的數據呈現穩定的產氫效率，如圖 5.3.46 所示，顯示膜層相當穩定，產氫效率已由上年度 1.73% 大幅提升至 5.63%，成果已發表於 OPTIC2023 國際會議。

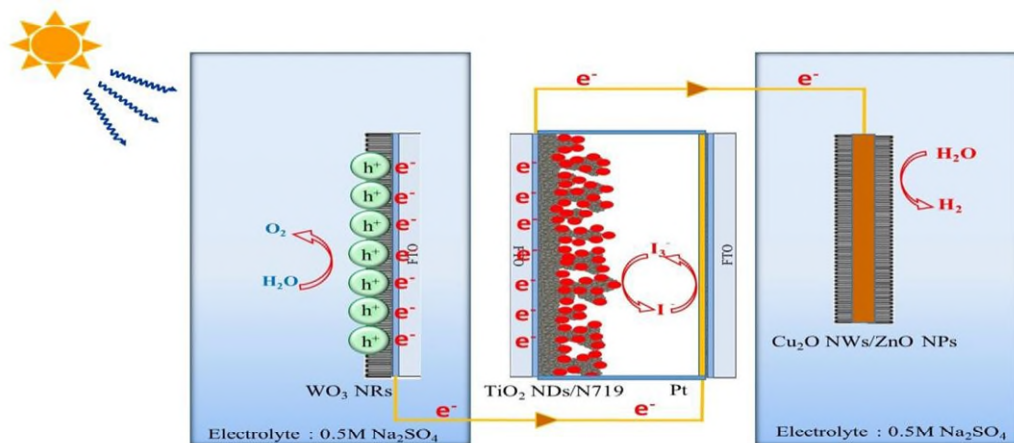


圖 5.3.44:WO₃ 與 DSSC 電力驅動之 PEC 產氫示意圖

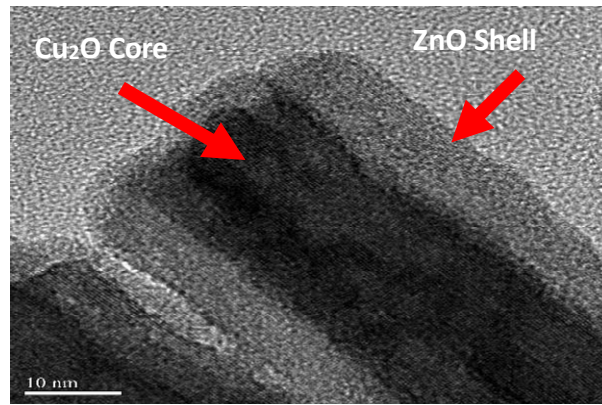


圖 5.3.45: Cu₂O/ZnO 奈米線 core-shell 的 HRTEM 結構圖

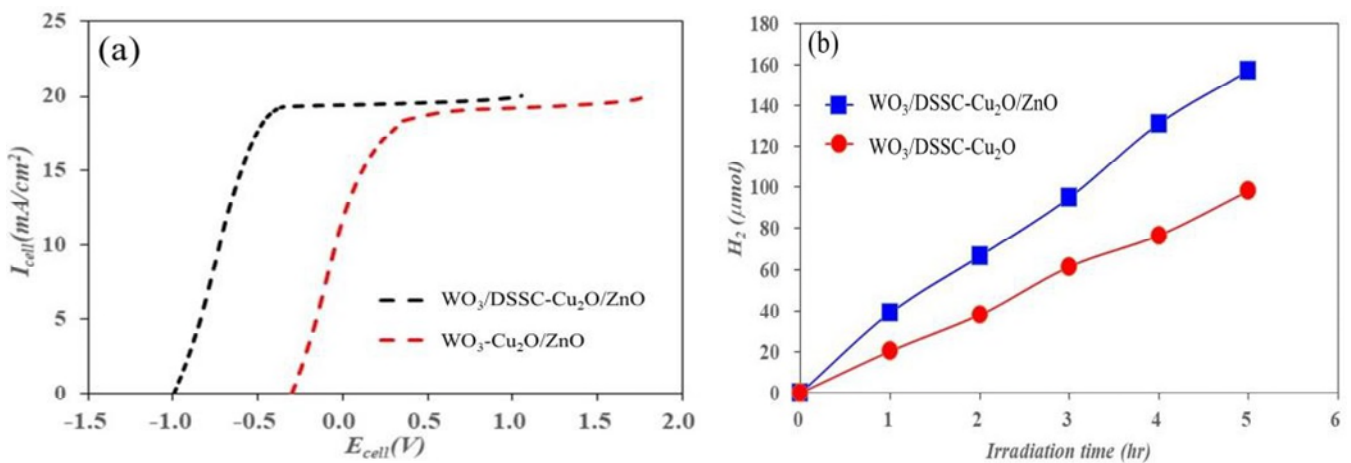


圖 5.3.46 (a) WO₃ 奈米棒與 Cu₂O/ZnO 奈米線於有否串接 DSSC 之 I-E 曲線圖及 (b) WO₃/DSSC-Cu₂O 與 WO₃/DSSC-Cu₂O/ZnO 之產氫效率。

本研究利用成長最佳的混和製程(PT300)奈米線來鍍覆氧化鋅奈米結構，在 200°C(20 sccm)以沉積 10 s(符號 ZnO-10 s)顯示出較佳奈米線狀態。搭配 WO₃ 與 DSSC 電力驅動，如前述圖 5.3.44~45 所示設計，成功實踐「人工水草(Artificial Water Grass)」(如圖 5.3.47 之右圖所示)進行產氫、產氧的無外加電力、純光電效應下 PEC 產氫作用的可能性，利用豐富的太陽能和水資源進行製氫的理想模式。

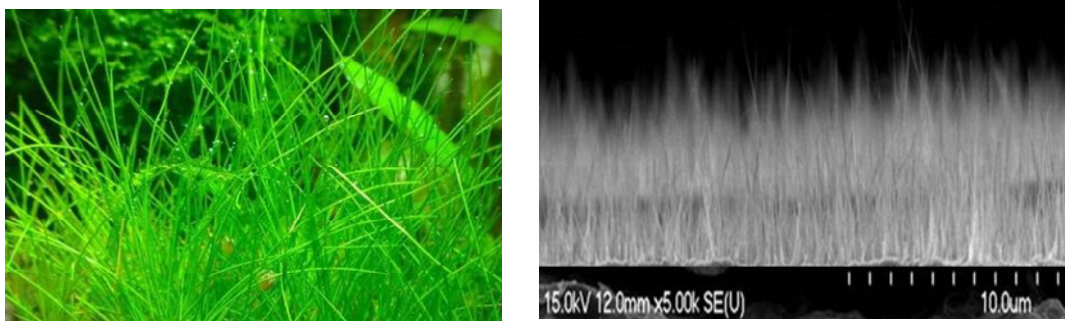


圖 5.3.47: 水草(左圖)及本研究之人工水草(右圖)比較圖

13.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

以基板溫度 80 °C 製備不同厚度 TiO₂ 薄膜於 Mo/Si 週期性薄膜，並進行反射率量測與表面粗糙度分析。圖 5.3.50 為不同厚度 TiO₂ 薄膜鍍製在 Mo/Si 週期性薄膜之反射率(波長為 13.5 nm)與表面粗糙度(RMS)關係圖，從圖 5.3.50 可看出，多層膜的極紫外光反射率是隨著 TiO₂ 薄膜厚度的增加而下降。在 TiO₂ 薄膜厚度為 1 nm 時，多層膜的極紫外光反射率為 65.5%，這與 Mo/Si 週期性薄膜的反射率相近(66%)。當 TiO₂ 薄膜厚度增加至 3 nm 時，多層膜的極紫外光反射率則下降至 55.5%；隨著 TiO₂ 薄膜厚度增加至 5 nm 時，極紫外光反射率下降至 52.5%。此外，多層膜表面粗糙度則是隨著 TiO₂ 薄膜厚度的增加而增大，多層膜表面粗糙度約為 0.132~0.19 nm 範圍之間。圖 5.3.51 跟圖 5.3.52 分別為 TiO₂(1 nm)/Mo/Si 週期性薄膜之低倍率及高倍率 TEM 橫截面影像圖。從圖 5.3.51 跟圖 5.3.52 可看出 TiO₂ 薄膜均勻鍍製於週期性 Mo/Si 薄膜上，TiO₂(1 nm)/Mo/Si 週期性薄膜各層及 TEM 觀察所鍍製之 MSS 層。

綜合分析結果，我們發現 TiO₂ 薄膜厚度為 1 nm 時，TiO₂/Mo/Si 週期性薄膜具有低表面粗糙度(0.132 nm)及高反射率(65.5%)，可作為極紫外光之保護膜，然而隨著 TiO₂ 薄膜厚度的增加，TiO₂/ Mo/Si 週期性薄膜表面粗糙度增加且反射率下降。

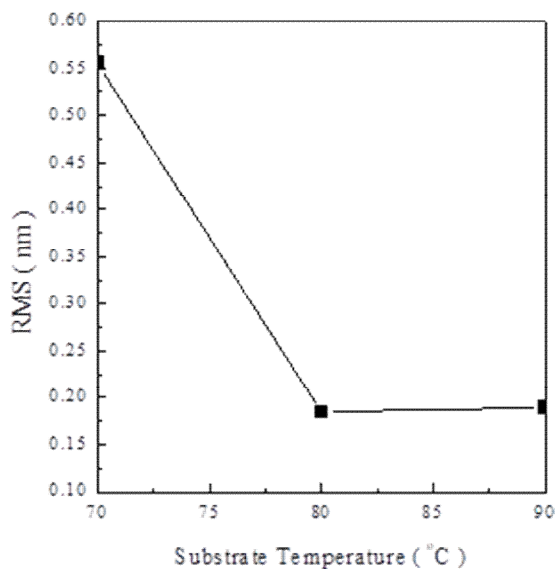


圖 5.3.48:沉積 TiO₂ 薄膜，基板溫度與 TiO₂ 薄膜表面粗糙度之關係圖。

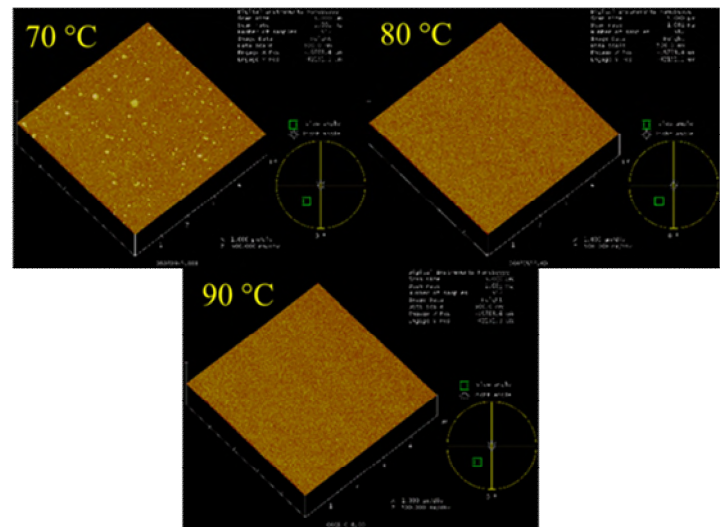


圖 5.3.49:以原子層設備沉積 TiO₂ 薄膜，在不同基板溫度之 AFM 量測結果圖。

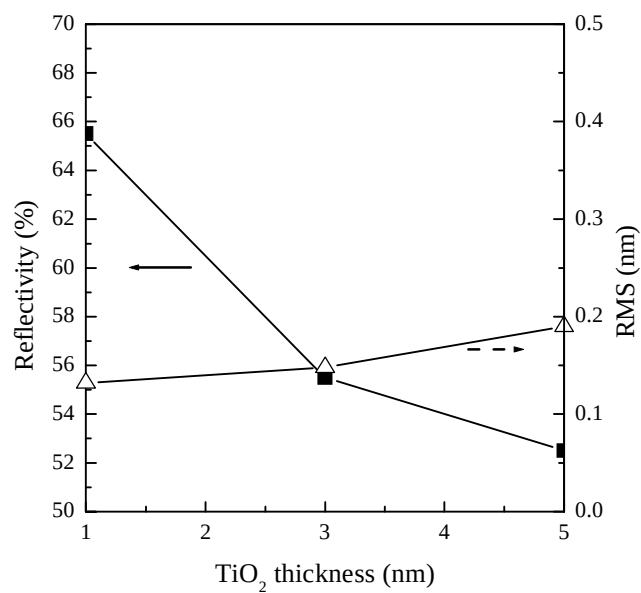


圖 5.3.50:不同厚度 TiO₂ 薄膜之反射率與 RMS 關係圖，波長 13.5 nm。

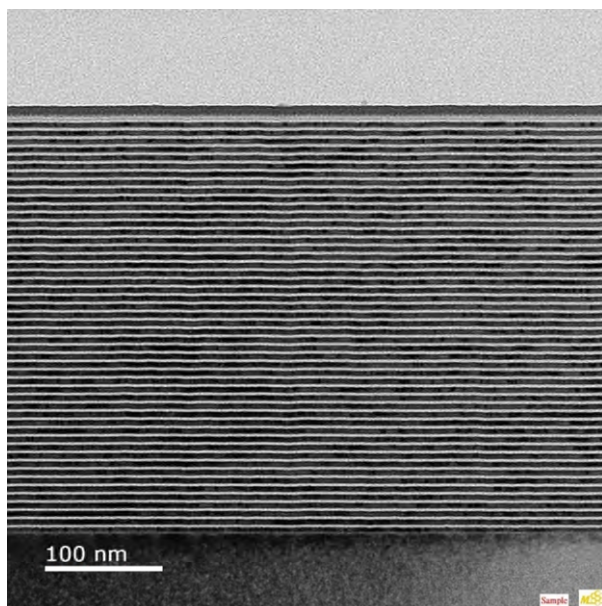


圖 5.3.51:TiO₂(1 nm)/Mo/Si 週期性薄膜之低倍率 TEM 橫截面影像圖。

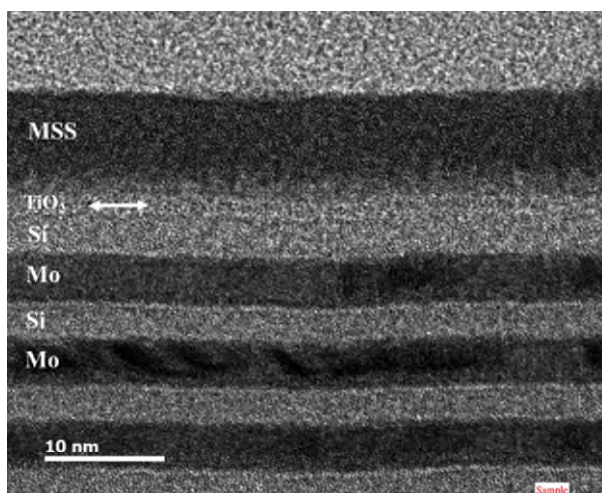


圖 5.3.52:TiO₂(1 nm)/Mo/Si 週期性薄膜之高倍率 TEM 橫截面影像圖。

14.具半導體準線上整合能力之 X 光技術開發

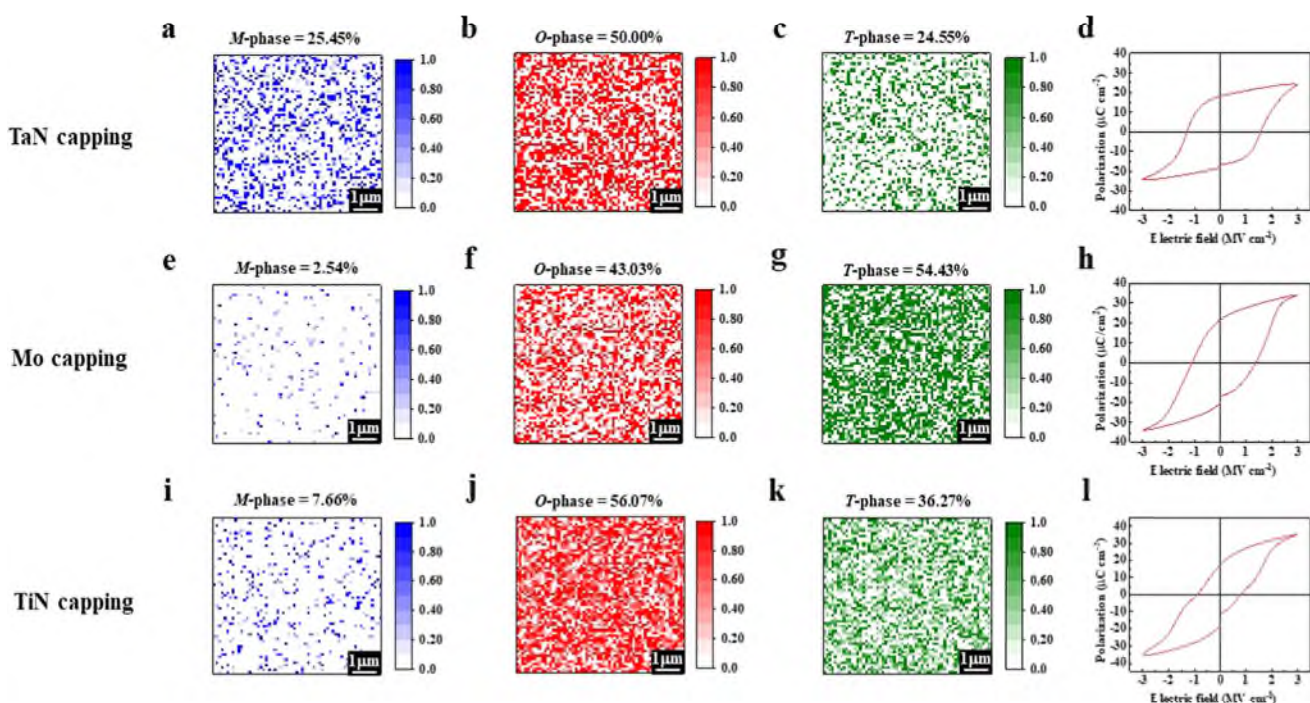


圖 5.3.53: TaN 的飽和極化值

在這次的研究中，我們利用同步加速器提供的 X 光進行 XAS 分析，使超薄 HZO 薄膜的均勻性可視覺化，其原因是因為 XAS 對晶體結構局部的對稱性敏感度較晶體長程有序的结构高，因此可用來分析薄膜，藉由 XAS 結合材料性質的理論，幫助我們得到更多資訊，找到優化鐵電性的方向。

在實驗中，我們利用不同的材料作為覆蓋電極，希望藉由材料的特性調整 HZO 的鐵電性，利用 XAS mapping 的技術，繪製出 TaN、Mo、TiN 作為電極，HZO 中相的分布狀況，如上圖所示，TaN 的飽和極化值較其他兩者低，從 mapping 的結果也可以看到 TaN 中的 m phase 比例高於其他兩者，而這也符合 m phase 具有較低極化值的理論。

本研究的實驗結果分為兩個部分，第一部分：MFM 結構中的電極可影響 HZO 的介面能，因而抑制 M phase 在 HZO 中形成；第二部分：退火製程能促進 M phase 的生成，但冷卻時會促進 T phase 轉變成 o phase。從以上的結果發展了的 T → O 退火製程(TOA)，促進 T phase 轉為 o phase，而不激發被抑制的 M phase。

在研究中，我們使用 TiN 作為 HZO 的電極實現了目前為止最大的鐵電 (Ps) 值。同時我們也制定了一個綜合性的 model，從微觀角度瞭解鐵電相與非鐵電相之間的交互關係，進而優化薄膜形成我們期待的鐵電相。另外，XAS mapping 的技術有助於視覺化得到結構中的相分佈，計算相比例，進而調整製

程，優化鐵電性質，我們也期待這些發現能提高 HZO 在記憶體和計算技術中的適用性。

15.以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析--應用深度學習建構微尺度孔隙通道非結構網格

深度學習已廣泛分析大量數位資訊，推估未知領域與現象。深度學習進而也讓影像辨識、偵測技術得以快速進步。而 X-ray CT 影像 (Computed Tomography)自問世以來，便被大量運用在多個領域。

在地球科學領域中，常利用 X-ray CT 進行地質結構的研究與調查，並加以分析岩石密度、孔隙率以及滲透率等重要參數。藉由 CT 影像推估滲透率(permeability)與孔隙率(porosity)等重要參數皆需透過影像處理，降噪、平滑化與分割等階段。

本研究引進創新科技，透過新興深度學習技術，建立神經網路模式學習軟體分析 CT 影像，創建孔隙網路分析資料庫，開發具有自動分析砂岩 CT 影像模式，自動生成砂岩二值化影像。

本年度採用現地土壤樣本，經由子計畫一拍攝 CT 影像，完成分析孔隙通道影像後，並與商業軟體 Amira 進行比較。本研究所辨識孔隙通道，於孔隙尖端或孔洞中獲得較正確辨識結果。

藉由分析 CT 影像像素，確認孔隙位置，接續分析孔隙通道是否完全連通，如下圖所示，圖中的顏色代表每個孔隙區塊，每個區塊皆完全獨立，因此可以發現，本年度分析土樣，具有約 902 個相互不連通的孔隙通道。

為後續子計畫執行流體力學模擬，因此須刪除不完全連通之孔隙，將完全連通孔隙，自動建立三維六面體網格，如圖中藍色孔隙通道。最後，執行不同網格光滑化演算法，將原先稜角三維網格，完成光格表面網格。

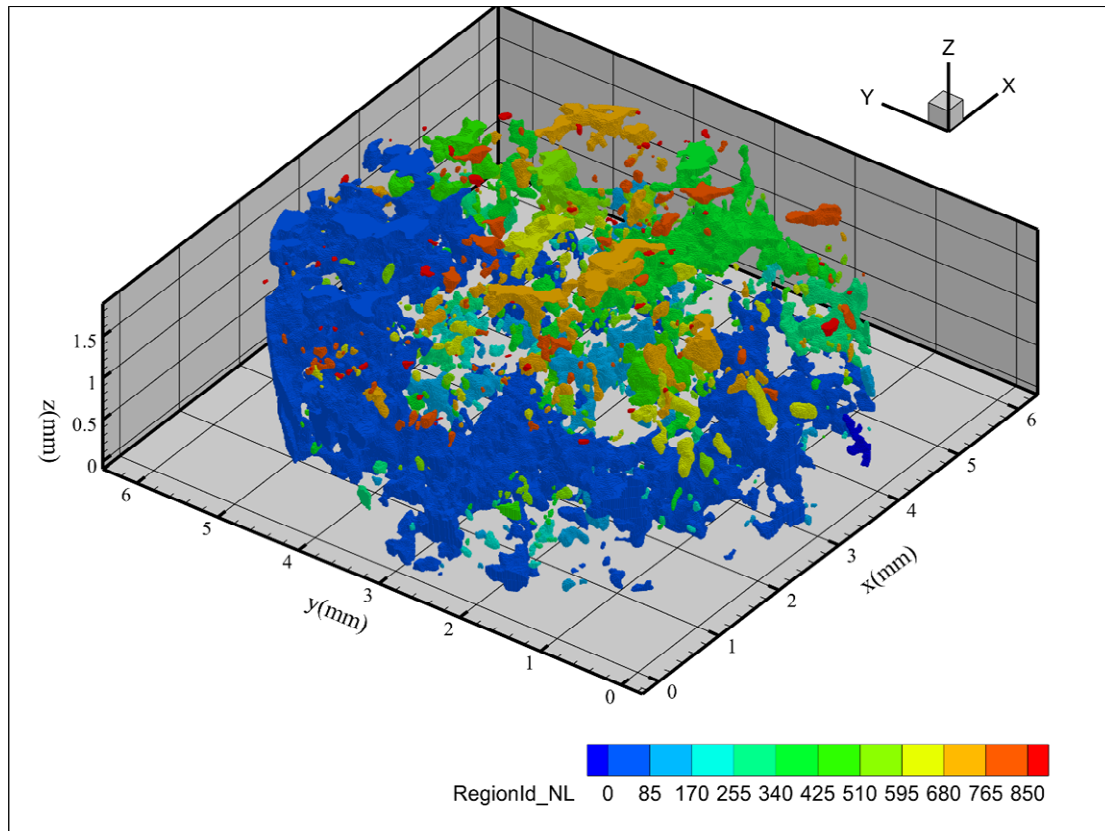


圖 5.3.54:摘要圖、微孔隙通道辨識成果

16.於可撓式基板進行 P 型 Cu 摻雜 CrOx 透明導電氧化物與紫外光偵測器之研製

本計畫旨在透過使用金屬氧化物半導體薄膜，研製紫外光偵測器。在計畫中，我們使用 CuCrO_2 作為 P 型層，因其具有 3.1 eV 的高光學能隙、高可見光穿透度和高電洞遷移率。此外，紫外光偵測器中 N 型半導體層，我們採用 TiO_2 或 AZO 兩種半導體材料，同時都是因為其具有高可見光透光率、低電阻和良好的材料穩定特性等優點。

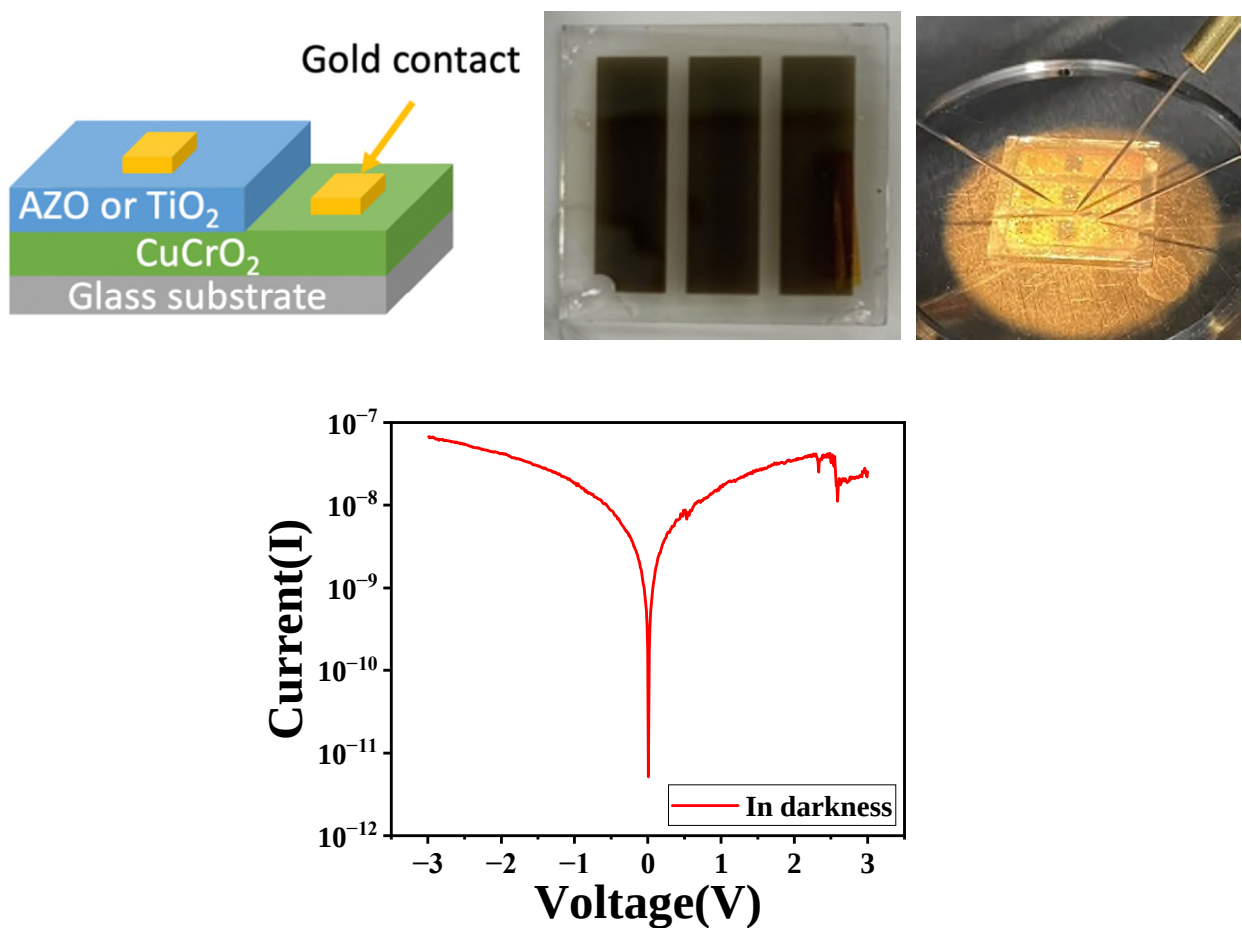


圖 5.3.55: Quartz substrate/ CuCrO_2 /AZO/Metal contact 元件之結構示意圖、元件實體圖、電壓-電流 I-V 量測圖以及量測結果。

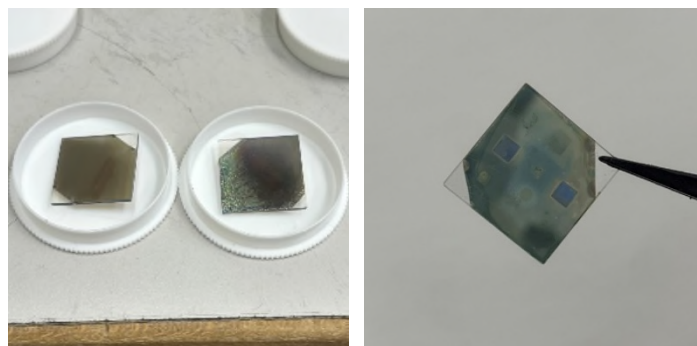


圖 5.3.56: 元件退火失敗圖

圖 5.3.55 為本計畫 Quartz substrate/ CuCrO₂/ AZO/ Metal contact 之結構量測電流-電壓 (I-V) 圖，量測範圍同樣為 -3V 至 3V，當電壓加到 0V 以上時元件被導通，並且電流於極小的 ΔV 範圍內上升至最高值，表現出最高為 10^{-8} 安培的暗電流，說明有較低之元件操作暗電流。但當處於逆偏壓時，可以觀察到漏電流與導通電流同樣都為 10^{-8} 安培，說明了元件的 P-N 二極體特性不是很理想，推測可能是退火溫度過高，造成界面缺陷增加，導致 AZO 失去 N 型半導體特性，使得 CuCrO₂/ AZO 之 P-N 接面失去二極體整流特性。

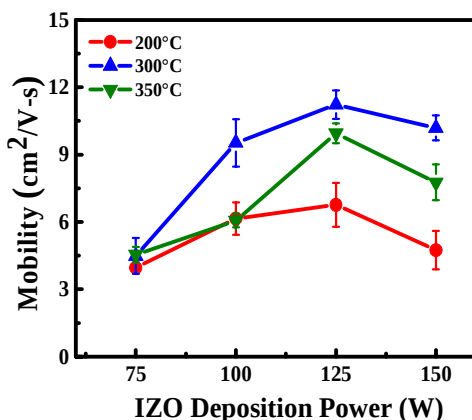
圖 5.3.56 為元件經高溫退火後所產生之薄膜焦化現象照片圖。圖 5.3.56 左側圖片以 Glass/FTO 作為基板，為將 CuCrO₂ 薄膜最佳優化，必須使用 600 °C 進行高溫快速退火，但由於 FTO 玻璃基板的耐溫僅為 500 °C，因此發生 FTO 薄膜焦化，元件製程失敗。後改以具較高耐溫的石英基板，經最佳溫度 400 °C 成長製備 AZO 薄膜，再將 CuCrO₂ 沈積於上方，以 600 °C 快速退火製成元件，但仍觀察到 AZO 薄膜熔化的現象如圖 5.3.56 右側圖片所示。

為克服上述問題，本計畫調整薄膜的成長順序，倒置製備偵測器元件，優先沈積需要較高溫退火的 CuCrO₂，來確保元件在退火過程能更為穩定。另外，本計畫執行後期發現濺鍍機中放置基板之載台高低不平整，在旋轉成長時影響了半導體薄膜成長的厚度均勻性，進而影響後續在高溫熱退火後的材料結構和品質特性，最終也造成不同偵測器研究試片較低的製程良率。

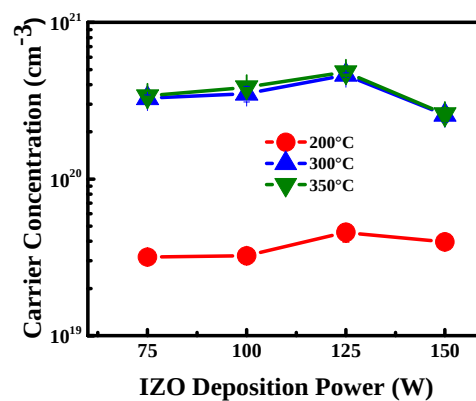
由於受到機台設備限制（目前已經在著手進行設備維修調整中），為此已失敗五批樣品。以目前計畫執行進度，僅能呈現上述元件暗電流特性結果。將盡快在修復設備問題後，持續製造紫外光偵測器元件，期許後續可進一步增進紫外線偵測器元件品質，成功量測得到紫外光偵測響應特性。

17.具有高靈敏度與高可靠度雙閘極氧化銦鎵鋅光電感測薄膜電晶體元件製程開發

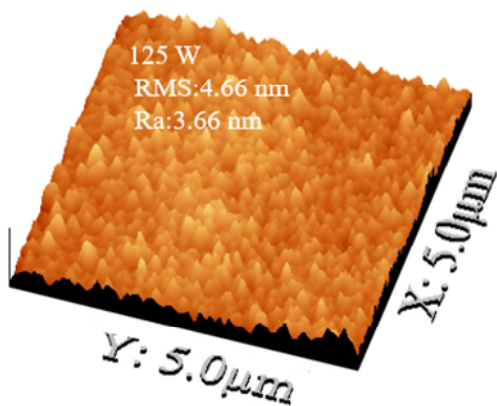
根據實驗結果，當 IZO 薄膜在退火溫度為 300°C 時，並以沉積功率 125W 沉積時，有低電阻率 $1.43 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$ 、高載子遷移率 $11.12 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ 與高載子濃度 $4.61 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 。電性的提升可由原子力顯微鏡 (AFM) 和能量分散光譜 (EDS) 的材料分析結果所證實，其薄膜表面粗糙度 (RMS) 達到最低值為 4.66 nm，In/Zn 比例值為 4.22。接著進行了 IGZO TFT 與雙通道 IZO/IGZO TFT 元件特性比較，結果得出，當 $V_{DS}=0.1 \text{ V}$ 時，在沒有下層 IZO 時，亦即只有單通道 IGZO (40 nm) 元件的臨界電壓 (V_{th}) 為 -0.85 V，次臨界擺幅 (S.S.) 為 2.12 V/decade 及場效遷移率 (μ_{FE}) 為 $0.63 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ ，關閉電流 I_{off} 為 $3.2 \times 10^{-12} \text{ A}$ 及開啓電流 I_{on} 為 $3.7 \times 10^{-7} \text{ A}$ ，而在雙通道薄膜電晶體元件，當雙通道疊層為 IZO (5 nm) / IGZO (40 nm) 時，元件的臨界電壓 (V_{th}) 為 0.7 V，次臨界擺幅 (S.S.) 為 0.99 V/decade 及場效遷移率 (μ_{FE}) 為 $4.42 \text{ cm}^2/\text{V-s}$ ，關閉電流 I_{off} 為 $9.4 \times 10^{-13} \text{ A}$ 及開啓電流 I_{on} 為 $2.1 \times 10^{-6} \text{ A}$ ，在 IZO 膜厚是 5 nm 時，元件參數都明顯改善。不論是對單層通道 IGZO 還是雙通道 IZO/IGZO TFTs，隨著氮氣退火溫度的增加，臨界電壓 V_{th} 往負電壓偏移，S.S. 與 I_{off} 電流會下降，而 μ_{FE} 值與 I_{on} 電流則會逐漸上升。此外，當退火溫度在 300°C 因 IZO 通道電阻過低 (約 $1.43 \times 10^{-3} \Omega\text{-cm}$) 讓整個通道變成導體。因此適合雙通道 IZO/IGZO 為 N₂ 退火製程條件 200°C，1h。在負的閘極偏壓應力下對於雙通道 IGZO 元件，特別是 IZO (5 nm) / IGZO (40 nm) 時，元件的負閘極偏壓應力的可靠度測試實驗，臨界電壓變化 ΔV_{th} 為 -2.45 V。



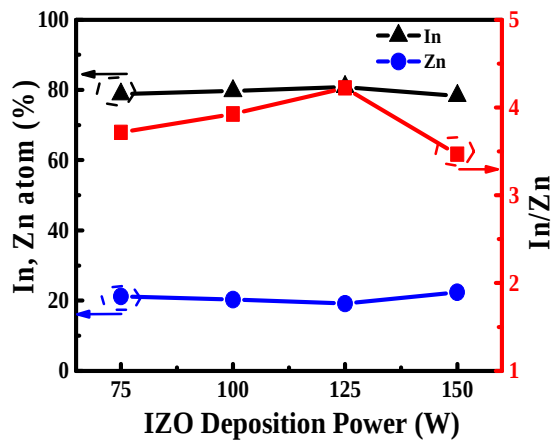
IZO 薄膜霍爾量測之載子遷移率



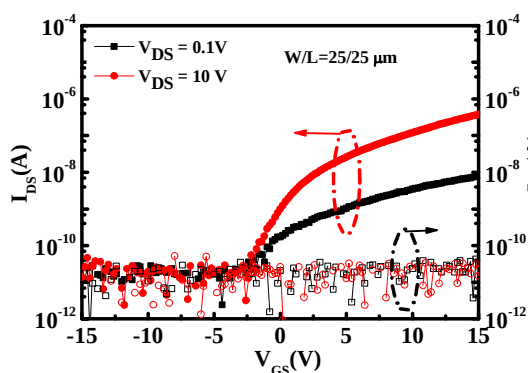
IZO 薄膜霍爾量測之載子濃度



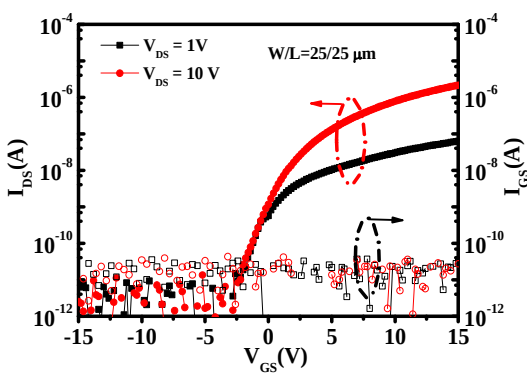
125 W IZO 薄膜 AFM 影像



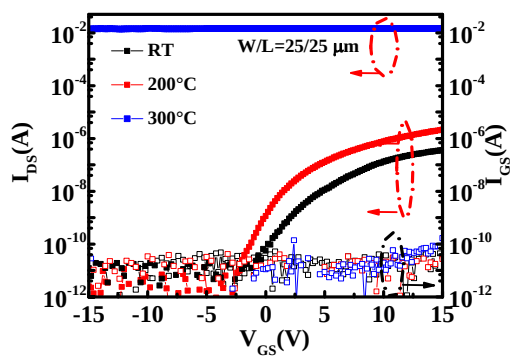
300 °C IZO 薄膜 In、Zn 與產生的 In/Zn 比



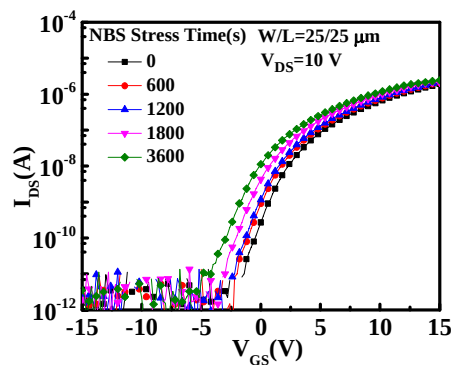
IGZO TFT 元件轉換特性



雙通道 IZO/IGZO TFT 元件轉換特性



不同退火溫度對雙通道 IZO (5 nm) / IGZO (40 nm) TFT 元件特性之轉換特性



IZO (5 nm) / IGZO (40 nm) 之負偏壓應力

圖 5.3.57: 元件退火失敗圖

18.可在輻射區域不平地面的自主巡航機器人研發



圖 5.3.58:本研究設計的測試平台架設在清華大學原科中心的平台上

之前計畫在核能所的照射場的實驗結果，觀察到攝影機擷取影像的白色光點與輻射劑量具關連性的特徵，因此本計畫焦點放在建立此關聯性，並探討以攝影機量測輻射劑量的可行性。本計畫執行期間適逢核能所照射場歲修，不得已，只好前往本計畫前往國立清華大學原科中心進行鈷 60 照射。

針對鈷 60 照射實驗，本研究設計一個測試平台，該平台測試上有紅、綠與藍的色卡以及一個攝影機，兩者的距離維持固定，如圖 5.3.58 所示，這個測試平台安裝在滑軌上，可以移動其位置，以便於可以在不同輻射劑量的位置來回運動，圖 5.3.58 是此測試平台安裝在清華大學原科中心的鈷 60 照射場。實驗是照射 29000Ci，測試平台在不同輻射劑量區域來回運動，攝影機一直針對紅、綠與藍色彩卡中，所擷取的影像判斷白色光點的數量，圖 5.3.59 是實驗結果。結果顯示白色光點數量與輻射劑量有關連性，本研究將使用線性回歸的方式，歸納輻射劑量與白色光點數量關聯性的方程式，未來將可以此方程式以白色點數量量測輻射劑量。

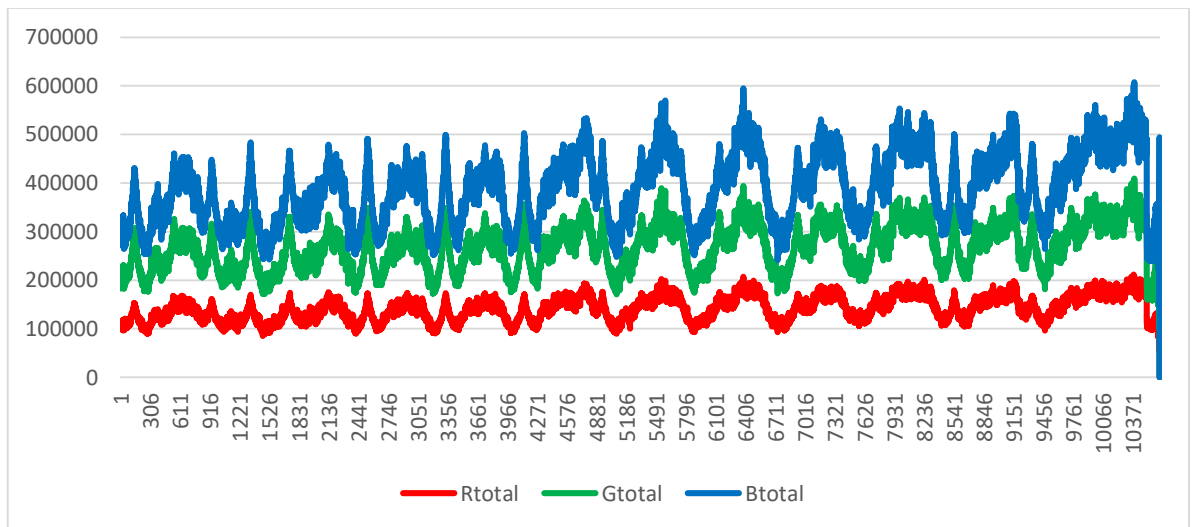


圖 5.3.59:照射 29000Ci 累計三小時，攝影機來回運動，在紅、綠與藍色紙上，分別擷取到的白點數目

本研究亦實驗移動機器人在幅射場域中的運動，實驗的機器人與機器手臂，如圖 5.3.60 所示，此設備也帶往清華大學原科中心進行照射實驗。在尚未有輻射劑量前，我們先執行機器人的 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)功能，所建立的地圖如圖四所示，並設計機器人在照射場進行 8 自行軌跡來回運動。然而，在有輻射劑量時，移動機器人的光達喪失功能，所以無法執行 SLAM。由於本研究的實驗確定了攝影機在幅射區域是可以工作的，所以在輻射區域不能執行光達 SLAM，但可以執行視覺 SLAM。



圖 5.3.60:自主巡航機器人與安裝於其上的機器手臂

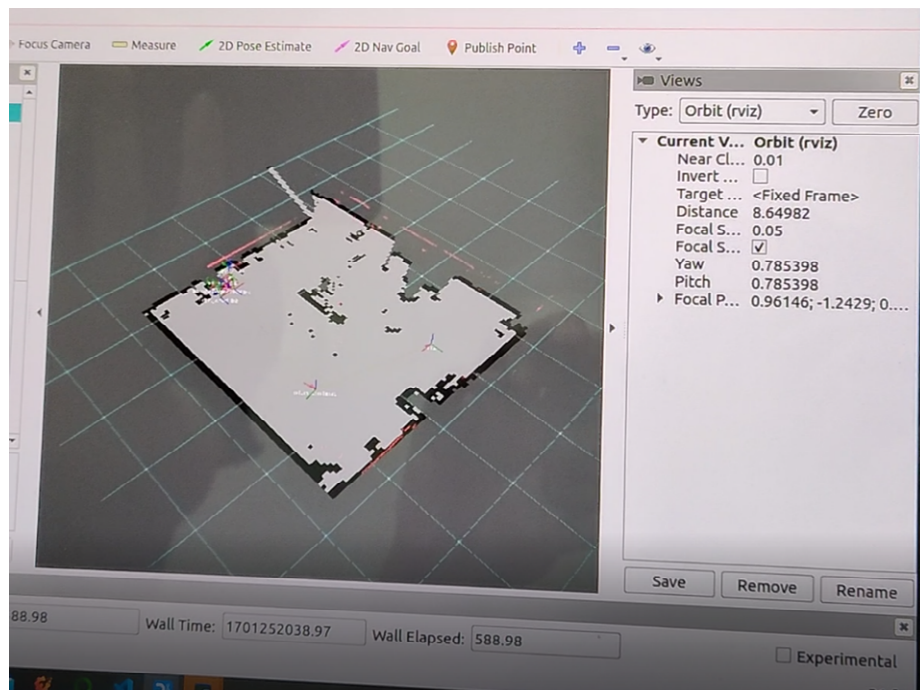


圖 5.3.61:自主巡航機器人在未有輻射劑量所建立的地圖

19.當代原子能法重要法律議題及訴訟案例研析(II)



圖 5.3.62:原子能研討會

本計畫係探討當前世界權威經濟發展合作組織（OECD）下之核能署（nuclear energy agency）所定期出版之法學刊物核能法學學報（Nuclear Law Bulletin (NLB)）內所摘錄之各國代表性核能訴訟資料，並研究整理分析台灣近年重要的原子能訴訟之案例，收穫成果相當豐富，涵蓋約十四個國家或區域之重要原子能判決（歐盟、德國、義大利、瑞典、瑞士、斯洛伐克、荷蘭、捷克、英國、美國、芬蘭、法國、加拿大、比利時等）

此外，本計畫亦積極促成相關研究成果的深度交流，透過舉辦原子能研討會，致力於與國內原子能科技專家建立密切的合作與對話。在這些研討會中，特別著重探討多元主題，包括「淨零轉型下的原子能政策與科技趨勢」、「日本福島事件後世界主要國家原子能法之發展趨勢」、「原子能訴訟與國際核能法體系之互動」、「高階核廢料處置程序中的公民參與」，以及「我國近年重要原子能訴訟案例研析」。

這些主題的細緻討論不僅豐富了參與者對於原子能相關問題的認識，也提供了一個跨領域交流的平台。這樣的深度交流有助於促進不同專業領域之間的理解和合作，進一步推動對原子能領域的深入研究。透過這樣的合作模式，希望能夠共同探索未來原子能政策、科技與法規的演進方向，以應對氣候變遷帶來的全球能源挑戰。

而相關學術成果也相當豐碩，特別是完成三篇 SCI 論文投稿，而其中一篇已經順利刊登。而與原子能法最直接相關之學術成果，主要為探討核電與能源正義之英文專書論文（Anton Ming-Zhi Gao, Energy justice concerns of nuclear power in the 2025 Energy Transition Vision of Taiwan and Net Zero Roadmap of 2050, in: Raphael J. Heffron, Louis de Fontenelle (ed.), *The Power of Energy Justice & the Social Contract* Pages 77-82 (2023). ISBN 978-3-031-46281-8）另外，在投稿 SCI 論文期刊（Critical review of the role of just transition in Taiwan's 2050 net-zero pathway, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*）中，也探討核電與公正轉型之關係。

20.原子能訴訟案例探討與研析：聚焦各國訴訟與國際核能法規間之關聯

本研究主要以 OECD 經濟合作暨發展組織核能署（NEA）的訴訟個案資料庫為主要研究依據，截至 2022 年 6 月，NEA 已登錄全球共 162 件原子能相關訴訟案例。這些案例涵蓋了多方面，並被歸納為不同的類別，其中環境保護相關案件佔了其中的一環，總計有 49 件。其次，運轉執照相關案件則有 50 件，突顯了在核能領域中運營和執照的相關爭議。在核能廢棄物管理方面，NEA 資料庫中紀錄了 14 件相關案例，反映了在處理核能廢棄物時所產生的法律挑戰。此外，輻射防護案件佔據了 7 件，而責任與賠償相關案件共有 20 件，涉及到核能事故所引發的損害責任問題。禁止核能運輸與擴散案件則有 3 件，而還有 19 件一般性質的核子能訴訟案例，顯示了這一領域的多樣性和複雜性。透過對這些案例的初步分析，可以初步瞭解各國原子能訴訟的主要議題、爭議課題和趨勢。為了更全面地理解這些案例，本研究關注 OECD 的原子能法律通訊所提供的案例更新，同時積極收集來自國際原子能總署等其他來源的資料，這樣的努力將有助於我們深入探討核能訴訟的法律面向，以豐富研究案例內容。

最後，本研究並且透過國際合作團隊之方式，與英國劍橋大學環境、能源與自然資源治理中心，以及英國諾丁漢大學法學院的 Maria Augusta Paim 教授合作，將研究成果繼續投稿到 CILJ 劍橋國際法期刊，並受邀參與 2024 年該國際法期刊之年度研討會，進行發表與談。

21.科技與藝術人文互融的跨域探究

本計畫蒐集核電基礎與核安處置之發展現況及科普內容，並於 111 學年度第 2 學期與 112 學年度第 1 學期的藝術學院院核心課程「運算思維與程式設計」，針對藝術學院學生進行核電基礎與核安處置方面之科普教育與人才培育，兩門課程共計有 92 名藝術學院學生修課（111-2 男生 18 名，女生 34 名；112-1 男生 15 名，女生 25 名）。在跨領域教學課堂上，向藝術學院學生進行科普素養說明與介紹，並且分別介紹文化部獎補助資訊網、國科會全球資訊網，以及核能安全委員會網站，透過這些網站的瀏覽介紹，以及各部會所開放的計畫申請補助機會，引導學生如何將自己的創作理念或是欲推廣的社會需求，將想法化成行動，實際規劃成可以執行的一個計畫。

在計畫執行期間總共進行 1 次校外參訪、2 場核能科普／科技藝術工作坊，以及 3 場科普素養／科技藝術專題講座，各項活動一覽表整理如下：

序號	活動日期/地點	活動主題	活動類型	參與人數
1	112 年 3 月 22 日 台電南部展示館 高雄駁二藝術特區	實際現地參觀以觸發引導跨域動機及創意應用回饋	校外參訪	51 人
2	112 年 3 月 29 日 10:00-12:00 南大榮譽校區 ZA108	題目：核能如何發電？核能發電原理介紹 講者：國立中正大學機械工程系任春平教授	核能科普 工作坊	49 人
		題目：離你最近的輻射-環境輻射 講者：國立清華大學原科中心田能全博士/三等核能師		
3	112 年 6 月 14 日 10:00-12:00 南大榮譽校區 ZA108	題目：科技與人文藝術域互融的策展呈現 講者：國立故宮南院賴芷儀博士/助理研究員	科技藝術 工作坊	42 人
		題目：光的無限可能 講者：貳作劇團林翰生藝術總監		
4	112 年 10 月 4 日 10:00-12:00 南大榮譽校區 ZA108	題目：淺談地熱應用與發電 講者：國立勤益科技大學機械工程系謝瑞青副教授	科普素養 專題講座	29 人
5	112 年 10 月 11 日 10:00-12:00 南大榮譽校區 ZA108	題目：影響·新劇場的跨界展演—劇場與科技對話 講者：影響·新劇場呂毅新團長暨藝術總監	科技藝術 專題講座	33 人
6	112 年 10 月 25 日 10:00-12:00 南大榮譽校區 ZA108	題目：綠色永續工程 講者：國立中山大學機械與機電工程學系汪正祺教授	科普素養 專題講座	36 人

本計畫結合科學、技術、工程、數學，搭配藝術的跨領域程式設計基礎與

應用相關的科普內容，藉由積木式程式語言教學設計相關內容，搭配 Kebbi Air 凱比機器人進行實務操作技術教學，共培育 12 名戲劇系學生參加於 112 年 11 月 22 日舉辦的國立臺南大學藝術學院創意機器人競賽，進行 Kebbi Air 凱比機器人程式設計應用成果發表，規劃結合科學、技術、工程、數學，搭配藝術的跨領域設計基礎，展現程式撰寫能力及細節設計應用。



圖 5.3.63:計畫執行期間所舉辦的活動海報

22.以性別平等與跨文化視角進行原子能科普傳播之研究

檢閱近十年來全球有關科學中性別平等的相關討論，大致包含以下幾個面向：其一，呼籲政府透過政策制定，確實提高女性在科學領域的地位。其二，檢視過去促進科學性別平等的各種努力有帶來哪些改變。其三，從包容性科學（InclScience）角度拓展科學性別平等的實踐廣度。本研究在上述研究背景下訂出 112 年計畫目的：從性別平等、包容性科學傳播（含括偏遠區域、教育弱勢或不同文化、族群等）角度檢視國內科學傳播的實踐情形，並以原子能科學傳播領域為主要觀察領域，期盼藉由計畫執行，檢視跨文化原子能科學傳播的實踐情形，與反思未來如何促使包容性科學傳播之實踐。

本計畫 112 年執行成果簡述如下：

（一）協助拍攝花蓮科普展、金山高中課堂科學活動，讓科普跨越區域限制。

112 年 4 月 30 日至 5 月 1 日配合核安會舉辦「原子探險趣行動科教館」也是核安會首次來到後山，團隊預先製作活動預告短片，活動當時也跟隨來到後山拍攝、記錄偏遠地區孩子們參與科普展的心得感想(下圖 5.3.64)。112 年 6 月 1 日，團隊跟隨核安會來到萬里金山高中，協助舉辦原子能科普闖關活動，讓偏鄉的孩子們有機會近距離接觸原子能科普活動，尤其，團隊注意女同學們對科普活動的參與興趣高，也藉機會向學生們破除傳統上「男理工、女人文」的刻板印象，鼓勵女生同學投入原子能或各種科學領域，且藉由參與各種線上或線下的科普傳播活動認識科學的多元面貌(下圖 5.3.65)。



圖 5.3.64:花蓮科普展側拍照



圖 5.3.65:金山高中科普活動側拍照

(二)協助與拍攝弱勢學生參與原子能科普展活動，實踐科普平權。112 年 8 月拍攝與記錄原子能委員會與瑪麗亞基金會合作，帶領身障與弱勢孩子參與科普活動(如圖 5.3.66)。



圖 5.3.66 與瑪莉亞基金會合作舉辦科普活動側拍

(三)檢視與反思科學中的性別平等。本計畫在 112 年 7 月中旬，訪問核能婦女學會內的 WIN TAIWAN 黃茹絹會長、與清大原子能核子工程與科學研究所蔡惠予教授，以訪問方式拍攝其對原子能科學領域中女性角色的看法(如圖 5.3.67)，並預備將記錄撰寫論文進行發表。另外本計畫在 112 年 10 月 31 日與核安委員共同辦理「科學領域 VS 女性角色」座談會，邀請行政院性別平等委員也是女科技人薛文珍委員、前原子能委員會主委張靜文、台灣電力公司核能

管制處王亭懿工程師等七位原子能領域女性分享自身經驗與探討女性、性別角色在科學領域的變化(如圖 5.3.68)。



圖 5.3.67 訪問拍攝清華大學蔡惠予教授



圖 5.3.68 行政院性平委員薛文珍委員演講

(四)從跨文化、包容性科學角度探討新住民女性參與原子能科普傳播之意義。本計畫於 112 年 7 月邀請四位新住民老師(包括柬埔寨語孫雅雯老師、泰語呂曉昭老師、緬甸語李艷菁老師、菲律賓語陳嘉絲老師等)參與討論、紀錄新住民老師如何看待科普傳播，分別從性別、族群、區域等要項討論(如圖 5.3.69)。112 年 12 月邀請三位新住民科普種子老師(越南語武芳恆老師、印尼慕雅妮老師、泰國德秀老師)協助翻譯核能安全委員會文宣手冊，並探討其協助轉譯的觀點、角度，本計畫也預備將此紀錄撰寫文章投稿發表。



圖 5.3.69:採訪四位新住民老師討論性別、族群與科普傳播

23.化學遊樂趣 一 從貴重氣體到原子能科學

淡江大學化學系所執行之計畫「化學遊樂趣—從貴重氣體到原子能科學」是以兩台貨車改裝之化學車與分析車做為實驗載具及魔術秀舞台，帶著各式各樣的化學教育資源進入全國不同區域之國中小、高中校園舉辦化學教育推廣，活動名為「化學遊樂趣」。主要是由淡江大學科學教育中心進行統籌規劃，每次活動內容包含「原子能與化學故事講座」、「化學魔術秀」及「輻射與原子能實驗」三個部份，在講座及實驗的內容中帶入科學家的故事與相關知識，活動透過數種體驗方式引領學生進入原子科學與輻射的世界。

化學遊樂趣活動的舉辦地點在 2023 年分佈於全臺數個縣市，計畫執行期間共舉辦 79 場次活動，其中約有 44% 的活動地點屬(極)偏遠或非山非市學校，總共約有八仟九百多位師生及民眾參與化學遊樂趣活動。這些活動以國中生做為主要授課對象，另提供專業的輻射及化學實驗課程給高中生，同時也支援全臺不同地區舉辦之大型科普教育推廣活動，以協助社會大眾不同族群有機會認識原子能與輻射知識。化學遊樂趣團隊藉由辦理活動的機會，爭取廣播訪問宣傳或數位媒體報導，將推動原子科普教育的方式讓更多產官學界人士知曉。

本計畫執行內容及方式對於拓展國高中年輕學子的科普知識、提高學習科學的興趣、利用與產官學合作的機會介紹國內理工產業與研究機構的職能發展，具有極佳的效果，在配合各國高中校內正規教育及參與科普活動經驗的雙管齊下，可望在未來為國家培育更多對科學有興趣或願意從事科技工作的人才。



圖 5.3.70:化學遊樂趣—行動化學車活動於新北萬里國中活動中心旁空地師生合影

24.培力民眾正確面對非核家園之核電廠除役素養觀整合計畫：新媒體溝通策略之解構與建構（2/2）

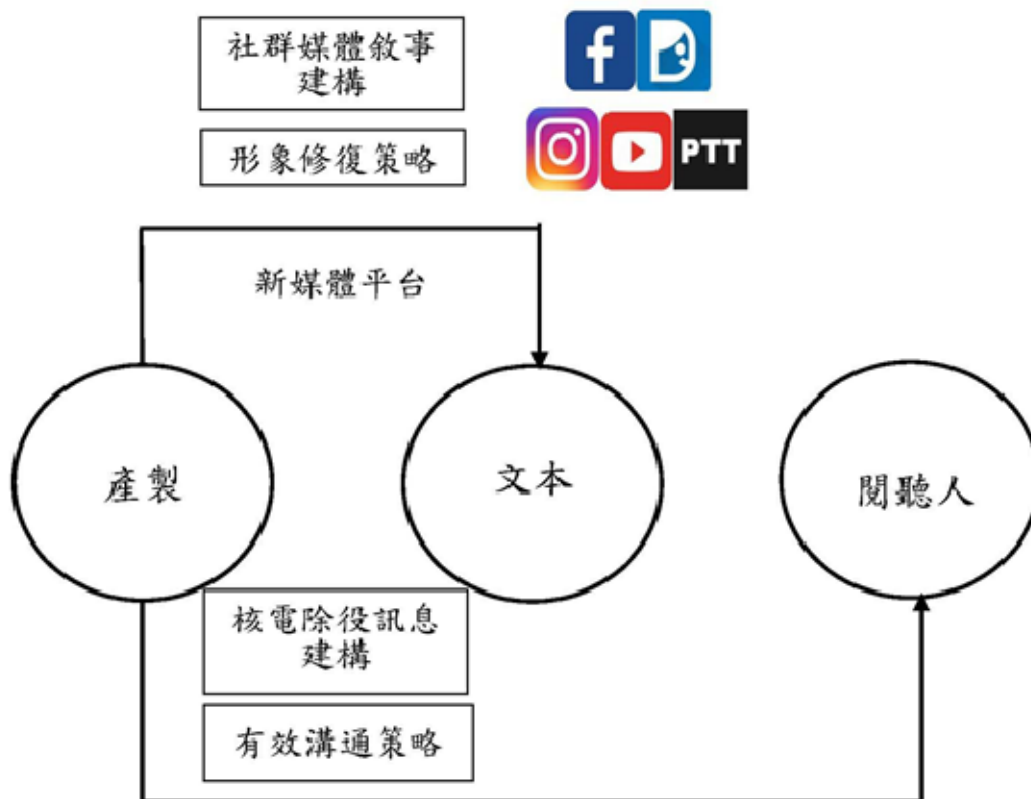


圖 5.3.71: 新媒體溝通策略之解構與建構

本年度計畫（2/2）係根據前期（1/2）研究成果，針對五大社群體（PTT、Dcard、FB、IG、YouTube；含 PTT 主文、PTT 回文、Dcard 主文、Dcard 回文、其他討論區、Facebook 主文、Facebook 回文、Instagram 主文、Instagram 回文、YouTube 主文、YouTube 回文、其他社群網站、問答網站、部落格、新聞、新聞回文等）在「核電廠除役」議題上的討論數、聲量、與正負情緒比例的統計分析後，據以執行本年度計畫所聚焦的社群媒體上不同分眾使用者的質化研究深度訪談法，將所設定的不同分眾予以態樣化後，採取不同分眾「行為事例訪談法」（Behavioral event interview, BEI）與「重要事件訪談法」（critical behavior interviews, CBI）進行細部分析，以作為未來核安會可以有效針對不同分眾、在不同社群媒體上，如何採取有效的溝通模式，促使核安會培力臺灣民眾正確面對非核家園之核電廠除役訊息的正確性，以達本研究計畫所設定建構核安會未來在新媒體（社群媒體）政策溝通、宣傳、議題推廣上，有效發聲的參考依據。

整體而言，本年度計畫從提升臺灣民眾正確理解核電廠除役公共議題的討論著手；而建構社群媒體訊息的模式，係以培力臺灣民眾明瞭「台電」與「核安會」對於除役工作的「職責不同」，同時融入素養導向的新媒體溝通模式，

據以建構核安會未來在核電廠除役議題上，能進行有效且精準的社群媒體溝通模式。本計畫研究成果將提供核安會如何以最有效、最正確的溝通模式，產製出新媒體溝通的訊息內容，針對不同社群媒體分眾，設計屬於核安會應有的核電廠除役新媒體溝通策略，將正確且有效的核電廠除役與安全把關的機關形象精準定位傳達於新媒體上的臺灣民眾。因此，本年度研究成果，已為核安會建構適用新媒體（社群媒體）溝通的原則，針對核電廠除役議題的「分眾」溝通擬定溝通策略準則，藉以促進核安會未來能與不同新媒體分眾，展開核電廠除役議題有效且正確的政策溝通，開創不同社群媒體的分眾能正確理解核安會「確保核能安全」與「原子能民生應用永續發展」為主體的核電廠除役新媒體分眾溝通模式，作為未來核安會新媒體政策溝通策略的藍圖。

25.「原」來是這樣！原子能科普教材研發與活動推廣

本研究目的主要在開發且推廣適合七～九年級的國中階段學生適用的「原子能」科普教材。透過化學、物理、科技、教育與教材開發等專家提供意見，以其理化知識為基礎，融合生活科技與健康教育範疇的應用，完成兩套目標族群學生適用的「原子少年學堂」科學桌上遊戲：青蛙王子變身記及「原」來是這樣：中學生的 24 堂原子課，及「原子少年學堂」1 小時課程之簡報教材。本計畫同時至全省各國中辦理了 29 場次「原來是這樣」研習活動（包括桌遊競賽與輻射儀器環境實務檢測），讓學生藉由參與原子能科普桌遊活動，進一步活化其原子知識基礎學習，提升對原子能應用範疇理解的深度與廣度；共有 585 位（女性：318 人，54.3%，男性：267 人，45.6%）師生共同參與，科普推廣活動辦理總時數累積計有 56 小時；活動結束後對學習者進行科學桌遊學習成效評量，成效均達 4.0 分以上（滿級分 5 分），且原子能知識評量的正確率達 87.3% 以上。本計畫所完成「原子少年學堂」簡報教材及兩套科學桌上遊戲（青蛙王子變身記及「原」來是這樣：中學生的 24 堂原子課），可提供國中教師作為理化、科技與生活、健康教育等課程的補充與強化教材；同時也可提供有興趣的學生，在非制式教學管道外，自學原子能相關知能之科普教材。

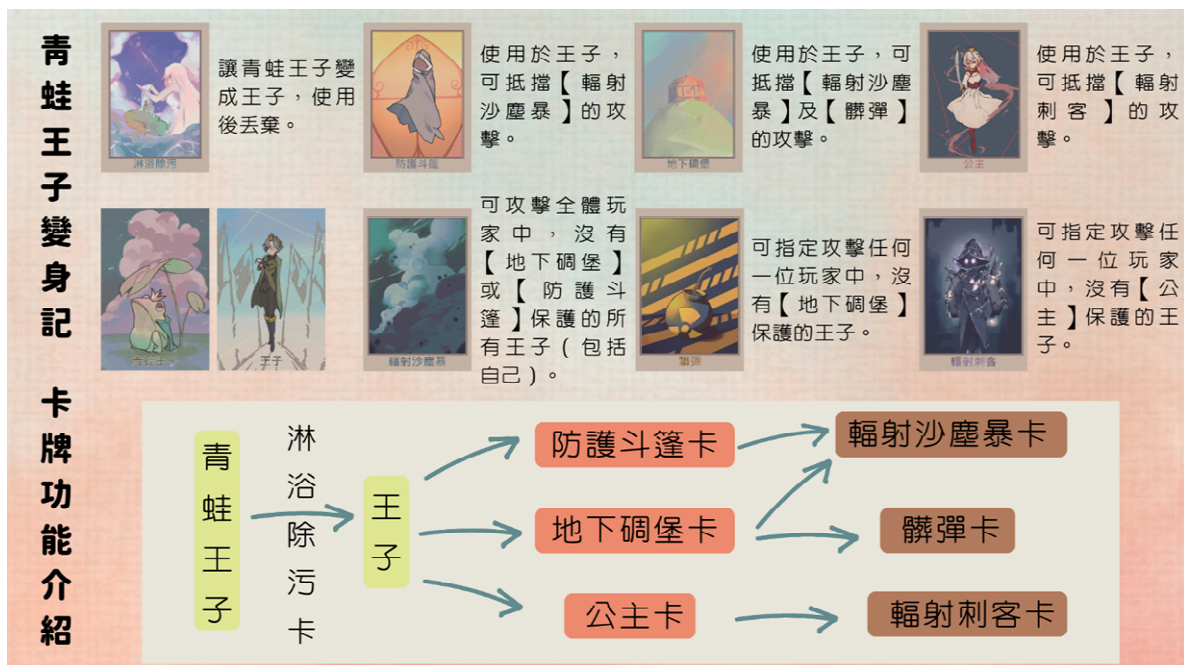


圖 5.3.72:原子能相關知能之科普教材

26. 科展用核能與輻射知識之跨平台電玩遊戲

以核電廠除役為主題，製作科展用電玩遊戲，如下圖。讓民眾知道核電廠除役的相關知識，包含了用過核燃料棒的移出和乾式貯存，核反應爐的除汙與切割，核電廠拆除、輻射偵測與恢復綠地等等。本計畫所開發的相關成果，授權給核安會使用，可以在科展活動中展示，給參觀民眾體驗。藉此，學習核電廠除役的相關知識。

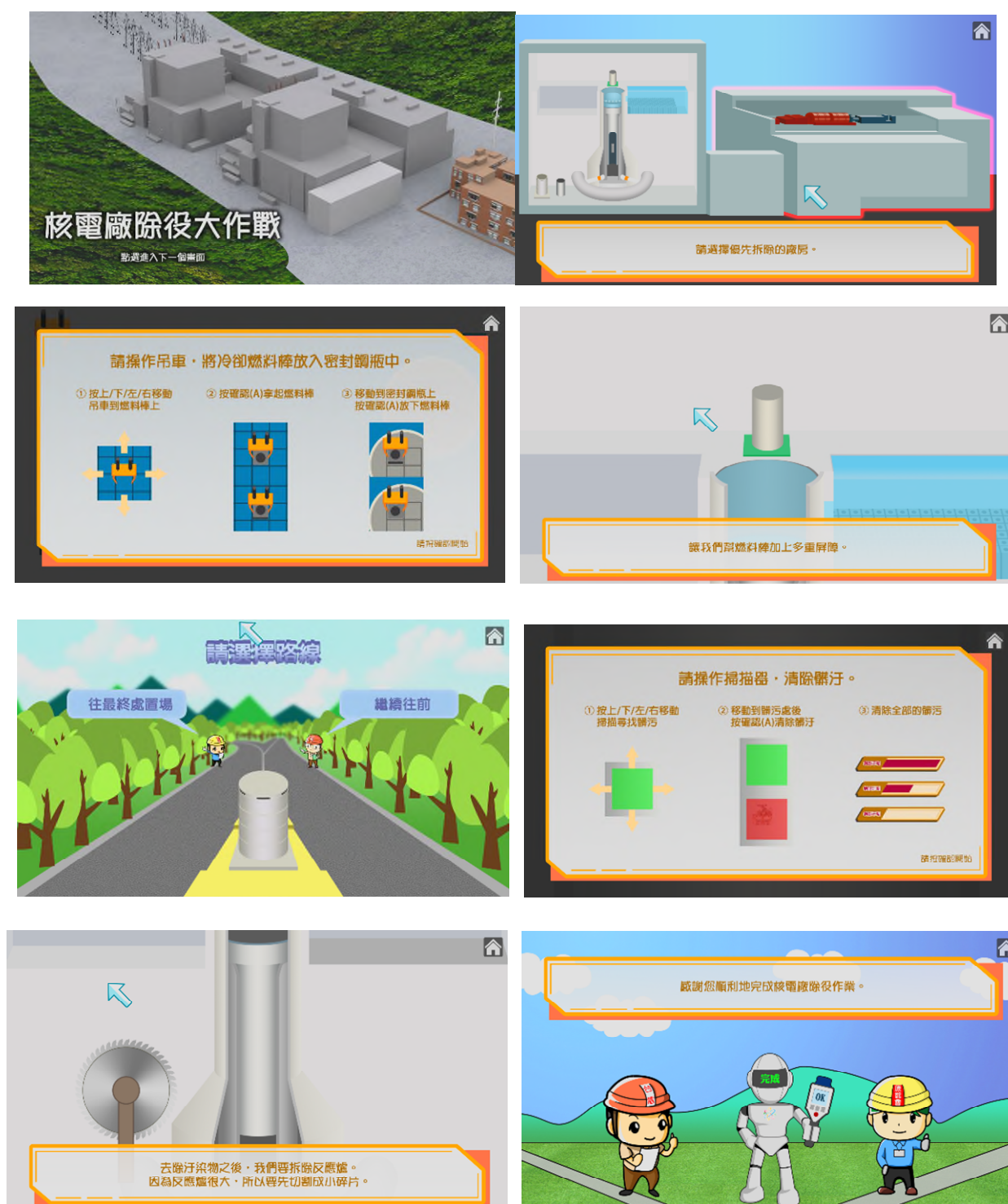


圖 5.3.73: 核電廠除役之相關知識

針對科展用途，持續開發各種不同的電玩遊戲。藉此，吸引參加科展的民眾和中小學生，前來核安會的攤位，學習核能和輻射的相關知識。根據核安會提供的資料，在 2019~2023 年之間，本團隊所製作的科普內容，用於表 01 所列的展覽之中。

為了因應後疫情時代，實體科展活動可能會減少。本團隊也將電玩遊戲，轉製成網頁版。可以將其放置在伺服器上，讓民眾透過網路瀏覽器來執行，以利於未來在線上科展活動中使用。

時間	地點	展覽名稱
2019.02.15-17	台北華山文創園區	環保生活酷科學
2019.05.08-10	南港展覽館	2019 亞太智慧防救災高峰論壇 暨新科技設備展
2019.06.22-23	台中市至善國中	環保生活酷科學
2019.07.05-08	台北華山文創園區	Fun 科學
2019.07.22-28	高雄展覽館	全國科展
2020.08.01-02	新竹遠東巨城購物中心	「Fun 科學」2.0 原子能科學移動城堡-科技新竹場
2020.08.22-23	彰化和美高中	「Fun 科學」2.0 原子能科學移動城堡-綠能彰化場
2020.09.12	新竹縣	國立科教館之行動科教館 新竹縣科學巡迴教育活動
2020.10.09-12	台北華山文創園區	「i 上原子能 綠能 e 世界」科普展
2020.10.31-11.01	國立科教館	「臺灣科學節」好奇樂遊園活動
2020.11.14-15	國立科教館	「臺灣科學節」好奇享科學活動
2021.04.17-18	台中老虎城購物中心	「i 上原子能 綠能 e 世界」-台中場
2021.04.24	台東縣	國立科教館之「110 年行動科教館 臺東縣科學巡迴教育活動」
2021.05.05	台北市金華國中	「母親節感恩園遊會」活動
2021.12.04	屏東千禧公園	「i 上原子能 綠能 e 世界」-屏東場
2022.02.25-28	台北華山文創園區	「原子總動員 科技樂無限」
2022.07.15-18	台北華山文創園區	「原子 GO 探險趣」

2022.12.10-11	高雄文化中心	「原子 GO 探險趣 量子就在生活中」
2023.04.30-05.01	花蓮縣立花崗國中	「花蓮愛科學 原子 GO 探險趣 x 行動科教館」科普展
2023.08.12-13	台中廣三 SOGO	「原子 GO 探險趣」台中場科普展

表 5.3.4:核安會使用本團隊科普內容之展覽活動列表

細部計畫 3: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

- 1.基本太陽電池由 P 型、N 型半導體組成，理想上光子在空乏區及其附近被吸收。若將空乏區半導體改為未摻雜(intrinsic)，則可減少載子散射，形成效率更好的 PIN 結構。在國原院太空太陽電池設計中，Middle Cell 之 Base Layer 可再細分為三層。下方靠近 BSF 的區域為高濃度摻雜；上方靠近 Emitter 的區域為低濃度本質摻雜(intrinsic)；中間區域則採用濃度由高至低的漸變方式摻雜。而根據前述的概念，本計畫試著將本質與 P 型摻雜濃度之差異加大，以提升效率。實驗結果發現加大 Middle Cell Base Layer 之本質與 P 型之摻雜濃度梯度可提升載子收集效率，進而將電池效率由平均 27.41%提升至平均 27.62%。
- 2.本計畫藉由量測各子電池之外部量子效率(External Quantum Efficiency, EQE)，並搭配太陽光譜模擬計算各子電池之電流密度，結果發現 Top Cell 電流為 18.24 mA/cm²，Middle Cell 電池 16.98 mA/cm²，兩者不匹配，整體電流受限於 Middle Cell。為增加 Middle Cell 之電流，本計劃設計將 Top Cell > 500 nm 之 EQE 將低，以增加 Middle Cell 之吸光量。但為防止 Top Cell 電流降太多，亦略為提升 Top Cell < 500 nm 之 EQE 作為補償。在降低 > 500 nm EQE 方面，由於波長越長的光，吸收係數越低，故 Top Cell 要全部吸收 < 660 nm 波長的光大約需要 1μm 厚的 base layer。而現在要降低長波長光的吸收，因此可將 base 減薄，使長波長光來不及吸收，因而降低 EQE。而在提升 < 500 nm EQE 方面，由於短波長光吸收係數高，容易在淺層區域被吸收而無法到達空乏區。故若將 emitter 減薄，可提升短波長之 EQE。實驗結果顯示新參數電池之 Top Cell 光譜有如預期之變化，短波長 EQE 由提升、長波長降低；Middle Cell 之短波長 EQE 亦有隨之提升；效率亦有改善。
- 3.金屬電極與半導體須為歐姆接觸，且電阻需越低越好，以免造成損失。為降低金屬電極與半導體間之電阻，本計畫以 CTLM 方式研究在不同退火溫度下，特徵接觸電阻率之變化，以獲得最低之接觸電阻。實驗分別就五種退火溫度（345°C、365°C、385°C、405°C、425°C，退火時間皆為 2 分鐘）進行 I-V 電性量測。對歐姆接觸而言，其 I-V 曲線為直線，斜率即為電極之間的總電阻。由不同電極間距和總電阻之關係可萃取出半導體薄膜之片電阻(sheet resistance) 以及金屬 - 半導體接觸之特徵接觸電阻率(specific contact resistivity)。結果發現在 405°C / 2 分鐘的條件下，金屬半導體間有較低的電阻值。
- 4.太空太陽電池為避免在輻射環境中快速損壞，會在裸晶片上黏附一片約 100 μm 的玻璃。由於玻璃穿透率約 90%，因此會遮蔽部分入射光。為降低玻璃

所造成之損耗，我們在玻璃上鍍抗反射層作為補償。玻璃的折射率大約 1.5，單面的反射率約 4%，本計畫先以模擬的方式用多層 TiO₂/SiO₂ 計算，將 400–900 nm 波段之反射率壓到 1% 以下。實際鍍膜後發現，電池之玻璃表面加上 ARC 效率有再增加。效率的變化定義為(有 AR-無 AR)/無 AR，結果發現有 ARC 大約可使效率提升 3%。

5. 在抗輻射方面，本計畫以面積 1 x 1 cm² 電池做測試，並且為避免操作時晶片破裂，故樣品以耐熱膠帶貼附於矽基板上，並至清大加速器實驗室做質子輻射測試。透過結構優化，實驗結果在 1 MeV 質子照射環境下，電池轉換效率維持率平均已達 65.65%

二、元件製程抗輻射技術發展

(一) 抗輻射新型記憶體元件的開發：建構質子束照射下之總游離劑量效應測試技術

本研究針對 FeFET 鐵電記憶體在質子輻照後的性能進行詳細分析，總結主要發現如下：

- (1) Zr 比例對臨界電壓的影響：在不同 Zr 比例下的 FeFET 鐵電記憶體，經過質子輻照後能保持穩定的臨界電壓，其中 Zr 比例為 50% 在反覆操作後表現較為優越。
- (2) 界面和近界面陷阱對性能的影響：高密度的界面和近界面陷阱會對 MOSFET 的操作產生不利影響，包括效率低的通道調制和場效應遷移率的降低。
- (3) 閘極切換電流的變化：在高流量質子輻照下，FeFET 鐵電記憶體的閘極切換電流表現受到影響，出現高臨界電壓和切換電流的變化。
- (4) 氧空缺行為的影響：質子輻照對鐵電層中氧空缺的生成和重新分佈產生影響，導致切換特性的變化和鐵電層衰退。
- (5) XPS 分析和氧空缺數量的變化：通過 X 射線光電子能譜 (XPS) 分析，發現 Zr 比例為 67% 的 FeFET 鐵電記憶體在高質子流量下氧空缺數量增加，而 Zr 比例為 50% 的 FeFET 表現更為穩定。
- (6) 質子輻射對資料保存能力的影響：Zr 比例 50% 的 FeFET 鐵電記憶體在質子輻照下表現出卓越的質子輻射韌性，保持了良好的資料保存能力，即使在高流量下也表現出優異的記憶窗口。

總體而言，本研究發現 HZO 鐵電層中的 Zr 比例對於 FeFET 鐵電記憶體之抗質子輻射韌性有顯著的影響，Zr 比例為 50% 的 FeFET 鐵電記憶體具有較優異的質子輻射韌性，這對於未來太空任務等應用提供具前瞻性的競爭優勢。

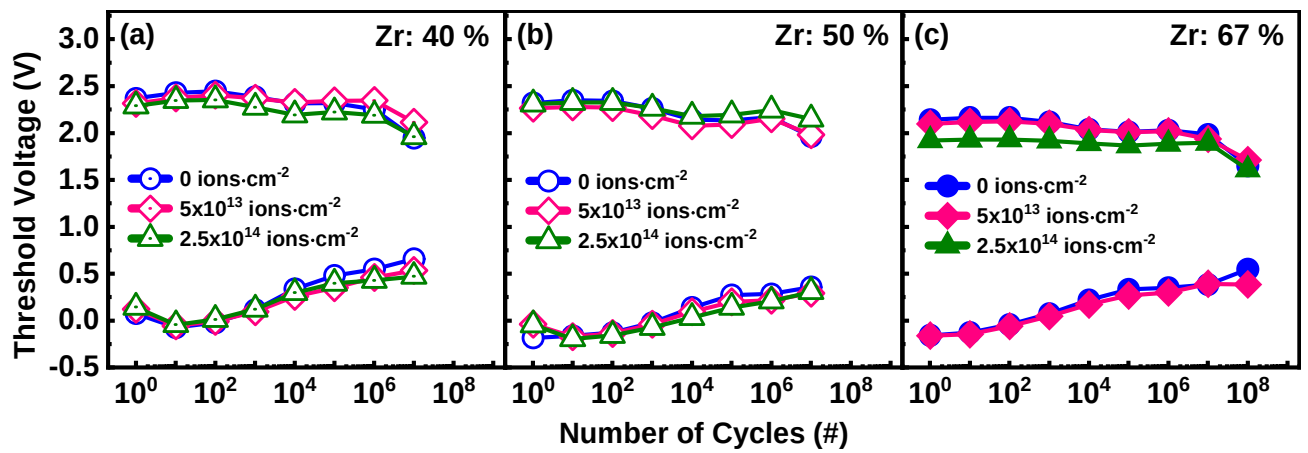


圖 5.3.74:不同質子流量對 Zr 比例為(a) 40 %、(b) 50 %與(c) 67 % FeFET 鐵電記憶體之臨界電壓耐久性影響

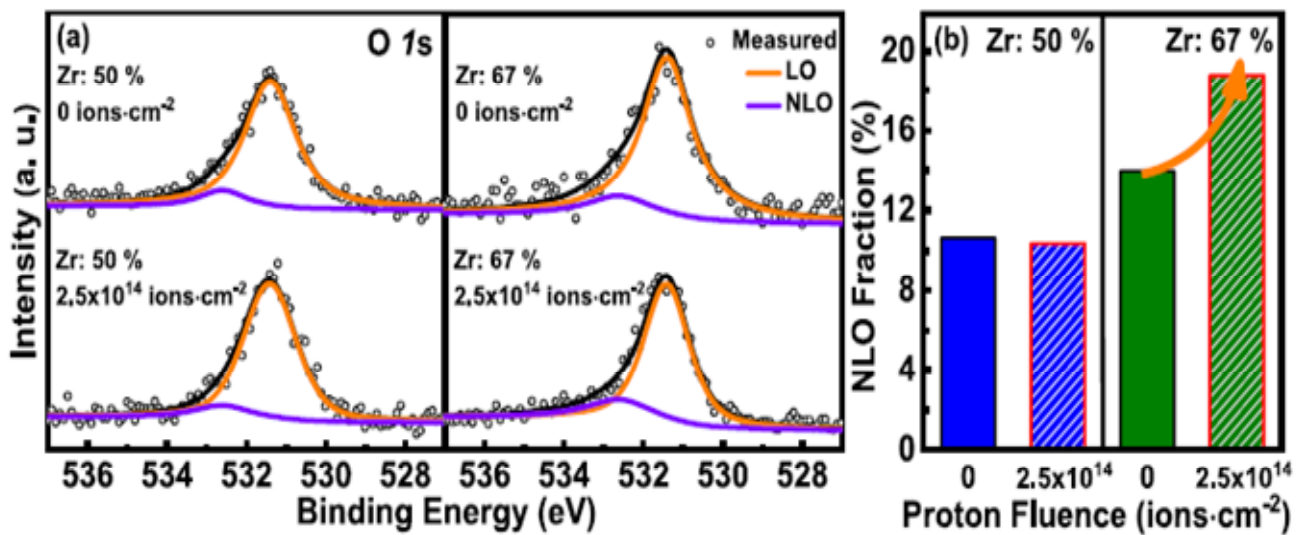


圖 5.3.75 (a) 質子輻射流量對於 Zr 比例 50 %與 67 %之 FeFET 鐵電記憶體其 XPS O 1s 能譜及分峰拆解之影響。(b) 質子輻照流量對於不同 FeFET 鐵電記憶體其非晶格氧(NLO)比例影響

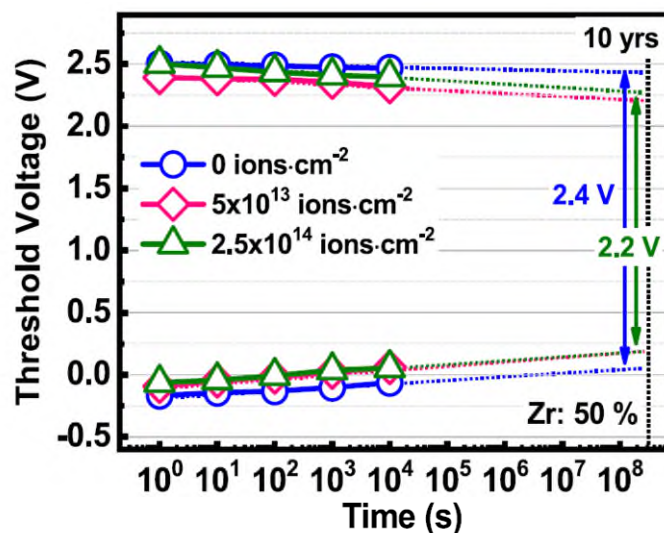


圖 5.3.76:質子輻射流量對於 Zr 比例 50 %之 FeFET 鐵電記憶體其資料保存能力之影響

(二) 抗輻射之積體電路製程與先進電晶體研究：應用於衛星軌道之抗輻射測試評估與鰭式場效電晶體製作分析

本研究針對 Co-60 輻射照射對 MOSFET 和 FinFET 電晶體特性的影響，總結主要發現如下：

- (1) 製作及測量：本研究完成了 MOSFET 和 FinFET 元件的製作，並進行輻射效應的測量。
- (2) 特性劣化觀察：本研究觀察到隨著輻射劑量率的增加，MOSFET 和 FinFET 的 on current 均有所退化，但平面電晶體 (MOSFET) 的退化程度明顯大於鰭式電晶體 (FinFET)。這可歸因於平面通道的元件，在輻射照射後，閘介電層受損，使得閘極對通道的場效控制變差所致，而 FinFET 的通道受到閘極三面控制，因此受影響程度較小。
- (3) 次臨界擺幅 (subthreshold swing, S.S.) 變化：通過測量 S.S. 的變化，確認 MOSFET 的 S.S. 變化量較 FinFET 高，這可能是由於鍺界面氧化層的元件受損更嚴重。
- (4) on/off ratio 變化：觀察到 on/off ratio 隨輻射劑量率增加而退化，其中平面電晶體的退化量較鰭式電晶體高。
- (5) I_{on} 和 I_{off} 退化比例：在最高輻射劑量率 68 kRad/h 的實驗中，發現 MOSFET 的 I_{on} 退化比例較 FinFET 高，而 I_{off} 的退化比例在兩者之間。

總體而言，平面電晶體受到輻射的影響更嚴重，飽和電流和汲極漏電流均顯著增加。鰭式電晶體 FinFET 在這方面表現較佳，具有相當高的輻射抗性，可提高半導體元件在高輻射環境下的可靠性。此外，劑量率越高，特性劣化越明顯，但在極高劑量率下，可能因升溫和退火效應而產生飽和。

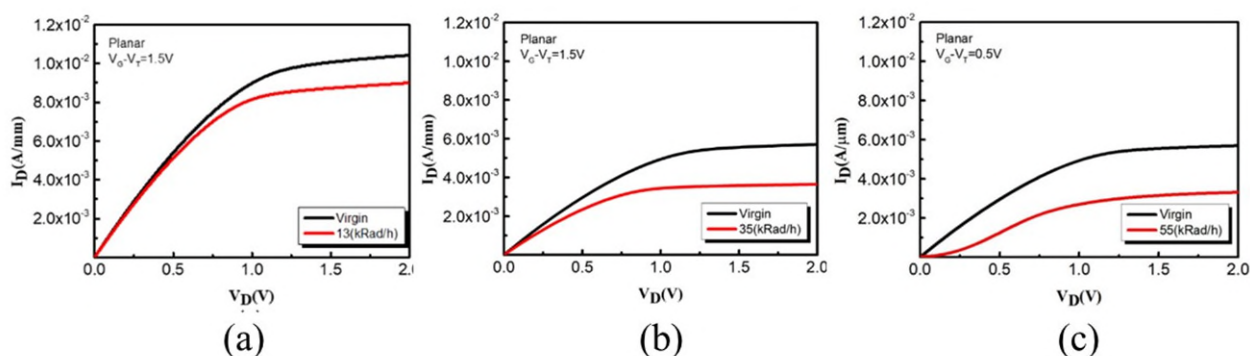


圖 5.3.77: 相同總劑量 100 kRad，輻射劑量率(a)13 (kRad/h) (b) 35 (kRad/h) (c) 55 (kRad/h) 對平面電晶體之汲極電流對汲極電壓圖

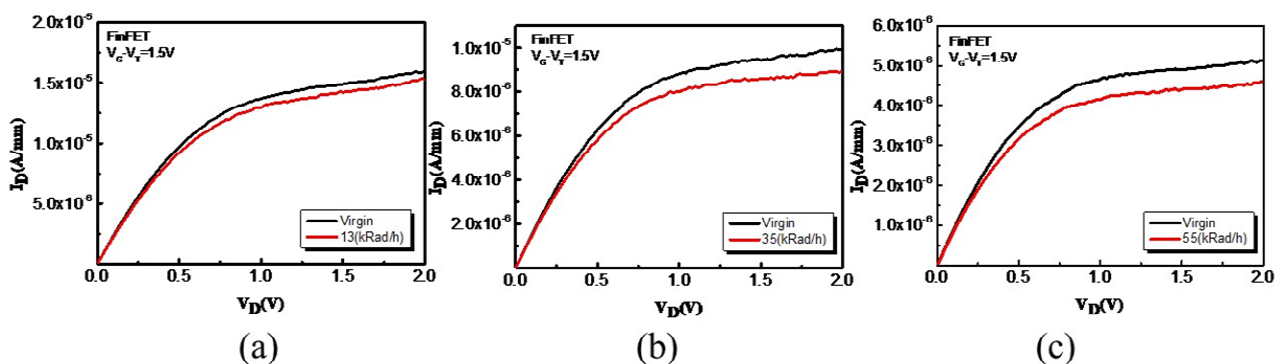


圖 5.3.78:相同總劑量 100 kRad，輻射劑量率(a)13 (kRad/h) (b) 35 (kRad/h) (c) 55 (kRad/h)對鰭式電晶體之汲極電流對汲極電壓圖

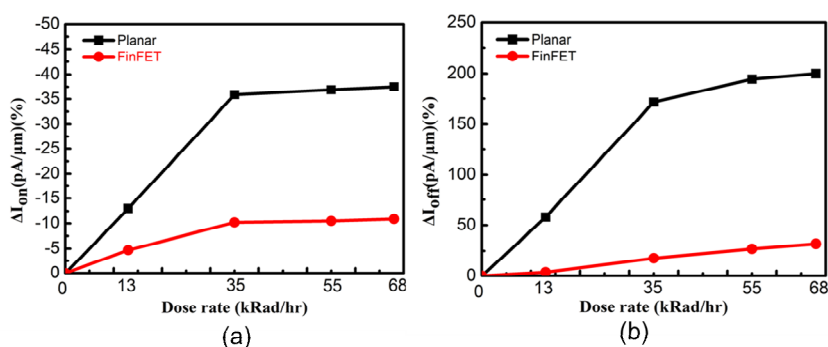


圖 5.3.79:平面及鰭式電晶體之 I_{on} 與 I_{off} 退化比例對不同輻射劑量率圖

(三) 寬能隙半導體材料與元件之輻射效應評估：SiC 或 GaN 寬能隙材料評估與輻射損傷特性分析

本研究深入地探討 Ar⁺與 He⁺輻照對於 GaN 磊晶層及中子輻照對於 4H-SiC 基材的輻射損傷效應的影響，總結主要發現如下：

- (1) Ar⁺與 He⁺輻照會移除 GaN 晶體中的自由電子載子，也會增加自由電子運動的阻力，導致電子遷移率下降。當輻照通量達到損傷程度相當於 dpa 最大值為 11 時，載子移除率約為 32.5%。
- (2) GaN 晶體中受損的晶格在室溫動態退火時可引起缺陷的相互作用，由 c 軸晶格應變與離子輻照通量的非線性變化可推知非晶相轉變以及非晶層形成對應的通量。
- (3) 在 PL 光譜中，由 NBE 發光受到抑制可說明 GaN 中自由載子的復合，在低離子輻照通量下即會受到非輻射復合缺陷的嚴重影響。在拉曼光譜中，GaN 晶體的 E_2^{High} 與 $A_1(LO)$ 聲子模式可提供氮次晶格損傷與載子傳導特性相關的訊息，可用於推估可量化輻照損傷的無序因子，其結果也與霍爾效應測量測結果具一致性。
- (4) 中子輻照同樣會對於 SiC 晶體造成晶格損傷，其損傷程度與推導所得的能

隙與 Urbach energy (E_U)等數值都與中子照射通量呈現一致的趨勢。

- (5) 中子輻照也會影響 SiC 晶體的載子傳導特性，在 $6 \times 10^{17} \text{ cm}^{-2}$ 的快中子照射通量之下，載子濃度由 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 降至約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ，載子遷移率則由 $287 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 降至 $113 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。
- (6) 由退火溫度效應的研究結果顯示， 1100°C 以上的退火溫度才可有效地移除中子輻照 SiC 晶體中的缺陷，並使其載子濃度與載子遷移率獲得回復。

總體而言，此研究深入探討了高能離子或中子輻照對於 GaN 與 SiC 材料物性的影響，包括：載子傳導、晶格結構、光致發光和拉曼散射等，無論是高能離子或中子都會引發相當程度的位移損傷，而這些損傷所形成的缺陷將會顯著影響電子元件的操作特性。

三、晶片系統抗輻射技術發展

整體架構配置中可再細分為光學系統、成像系統及移動平台系統。其中移動平台系統承載 DUT，先透過垂直平台使光源及影像能對焦至 DUT，再透過整合的兩個一維移動平台達到在二維移動的效果。平面掃描過程中設定每步移動單位長度、移動速度及定義座標零點，而達到讓光源掃描 DUT 的目的。設定完成對焦位置後，即開始移動 X-Y 平台以達成掃描 DUT 的效果。由於團隊目前照射的晶片皆為自制的抗輻射電路，敏感區域皆在可預測的位置，因此照射實驗只需針對敏感區域即可。但若要成功達到驗證不同晶片的抗輻射特性，則需要將雷射掃描的路徑擴展至晶片全範圍。而實驗流程規劃如圖 5.3.80 所示，會先整體掃描並記錄晶片中的敏感區域，再針對局部區域進行照射並分析。

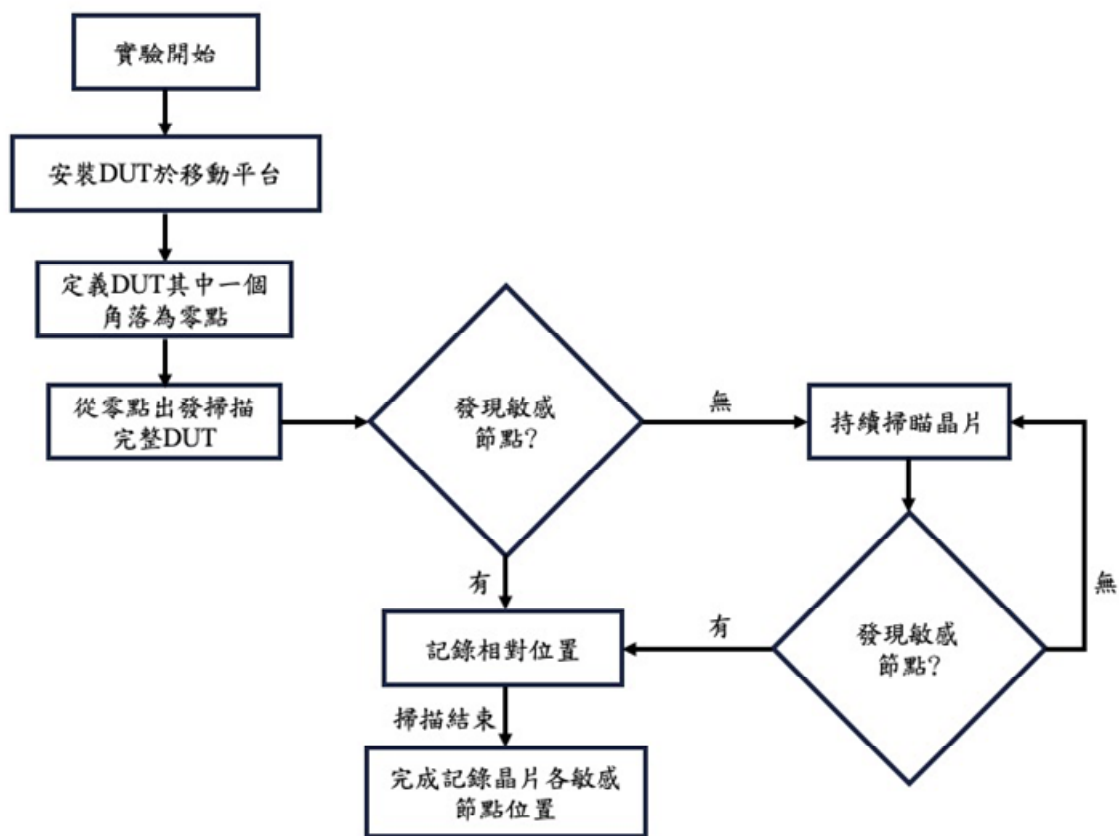


圖 5.3.80:照射實驗掃描流程規劃。

關於抗輻射設計晶片部分已完成傳統電壓轉換器 (conventional DC/DC converter)，並且完成抵抗單事件效應電路之文獻搜索，並以此設計抗輻射電壓轉換器 (Rad-tolerant DC/DC converter)，並使用電路模擬軟體進行單事件效應模擬，模擬結果圖如圖 5.3.81 所示，紫線對應到未進行抗輻射設計之輸出 (擾動量約 5mV)，紅線對應至抗輻射設計之電壓輸出 (擾動量約 3.5mV)，有效減緩單事件效應引發之擾動。

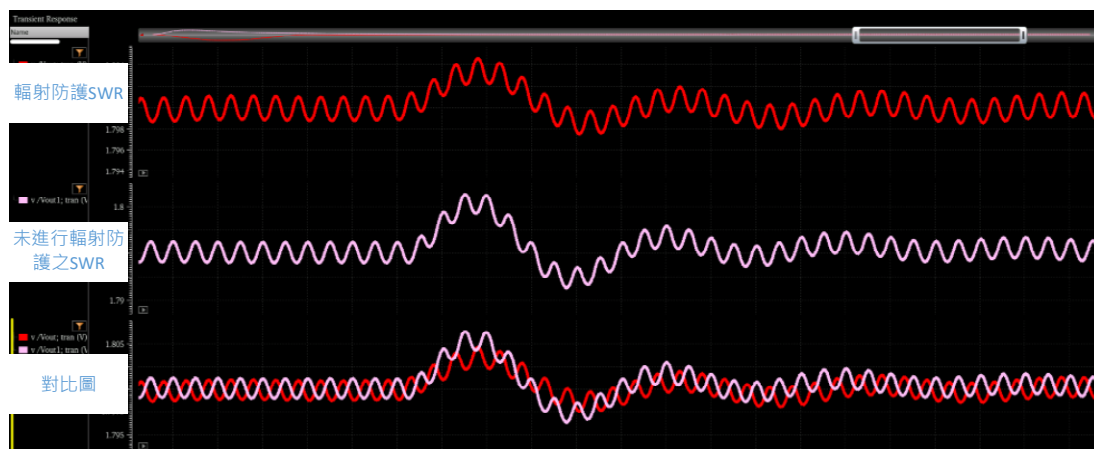


圖 5.3.81:整體電路模擬圖。

異質整合製程上方的小晶片，透過主動中介層(Active Interposer)的多層連線進行訊號的連結，PAD、微凸塊(microbump)與導線彼此之間的寄生電阻電容(RC)效應，會影響晶片間訊號傳輸的延遲時間、穩定性及完整性。由於不同長度、粗細與間距的導線，對於電路特性所造成的影響程度不同，因此在異質整合晶片電路設計的過程中，於電路模擬時必須將 PAD、微凸塊與導線間的寄生效應納入考量，以確認晶片的功能與規格是否仍符合原先的設計，在主動中介層上的主動電路通常會加入緩衝器(Buffer)來增強訊號。

異質整合晶片通道連結的等效電路模型如圖 5.3.82[4]所示，包含 PAD、微凸塊和導線的寄生效應。晶片與晶片之間每 100 μm 的連線使用三段的 π 模型來表示[5][6]。因此對於更長的導線，需要使用更多段的等效電路。後續將先進行異質整合電路小晶片與主動中介層晶片的電路設計，再透過等效電路的估測公式進行 RC 數值的計算，並結合至 HSPICE 軟體進行電路模擬分析，了解寄生 RC 效應對於電路特性的影響。後續也將透過 TCAD 模擬軟體進行主動中介層上多層連線之抗輻射特性分析。

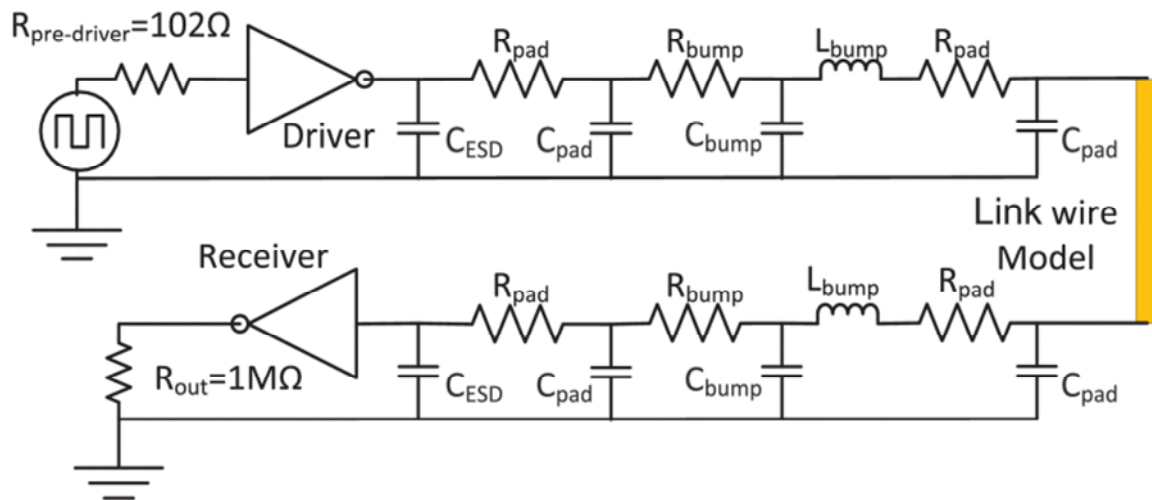


圖 5.3.82:異質整合通道等效電路模型[4]

為了進行抗輻射小晶片異質整合技術開發與探討，子計畫三設計了一個含有 2 對 4 解碼器與 32 bit ROM 矩陣的電路佈局。ROM 電路佈局設計的過程中，同時諮詢 TSRI 工程師的建議，將異質整合實作可能面臨的問題納入考量，並進行電路佈局修正。子計畫三參考 TSRI 異質整合製程組的建議，將 alignment marker 設計成 L 型，避免黏晶(Die Bonding)時所產生 rotate 與 shift 的問題。同時參考 TSRI 異質整合製程組與晶片組的建議，將 PAD space 加大至 23 μm 以上，避免因為 bonder 的攝影機能力限制，導致 XY 軸稍微偏移時影響到晶片接合，也避免接合時的錯位造成的短路問題。Marker 與 PAD 設計概念圖如圖 5.3.83 所示。

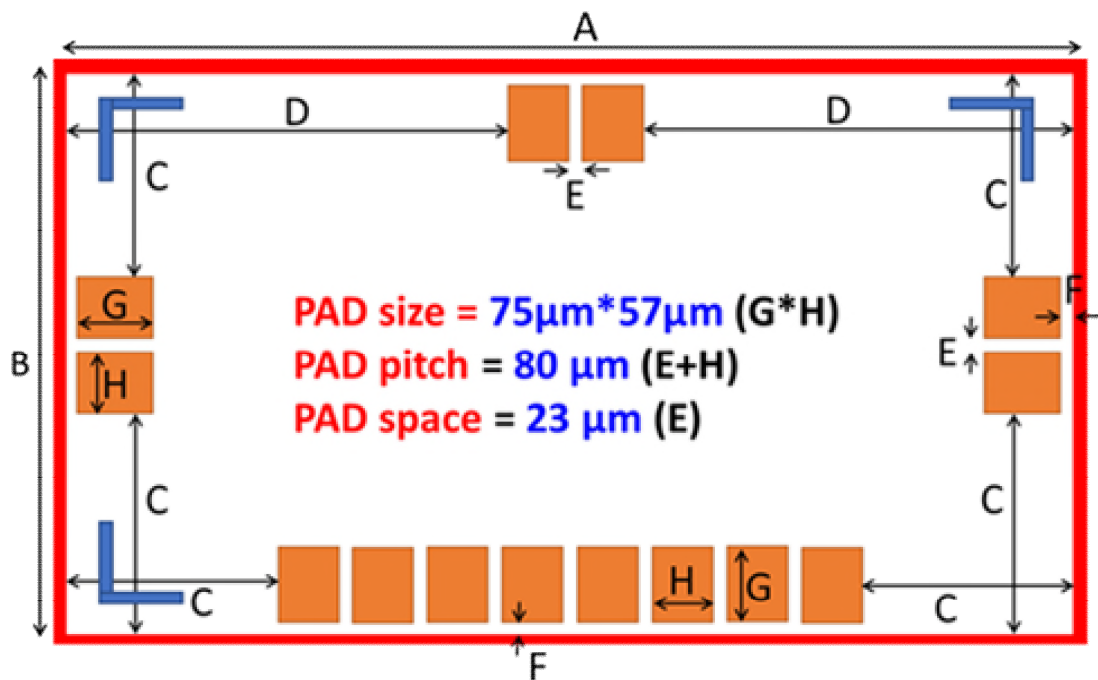


圖 5.3.83:Marker 與 PAD 設計概念圖。

設計用於晶片下線的 ROM 電路佈局如圖 5.3.84 所示，已完成台積電 0.18μm (T18)製程之佈局前電路模擬分析(Pre-layout Simulation)、設計規則檢查(Design Rule Checking, DRC)、電路佈局驗證(Layout versus Schematic, LVS)、寄生 RC 參數抽取(Parasitic Extraction, PEX)、佈局後電路模擬分析(Post-layout Simulation)。ROM 晶片已於 112 年 8 月申請 T18 製程晶片下線製作，將於 112 年 11 月底前收到製作完成的晶片，後續將至 TSRI 學習晶片級封裝整合技術。

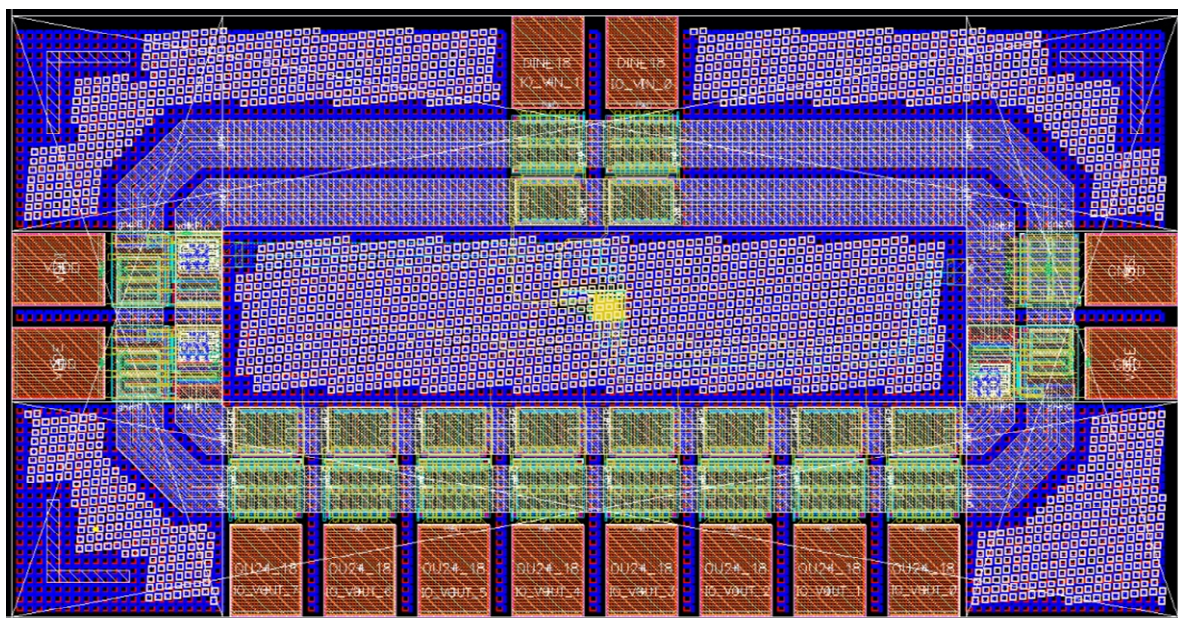


圖 5.3.84:32 bit ROM 電路佈局。

子計畫三參考 TSRI 提供的 design rule 與子計畫一 SRAM 晶片所使用的 PAD 大小與間距，進行主動中介層晶片的電路設計。圖 5.3.85 為初步規劃的電路佈

局圖，上方的兩個 Top chip 分別為子計畫一設計之 SRAM 晶片與子計畫三本次設計之 ROM 晶片，中間將透過主動中介層之主動電路進行連接。主動中介層內的主動電路預計使用緩衝器電路增強訊號，確保晶片間訊號傳輸的完整性，將參考相關文獻進行電路設計。後續將使用前面所探討的 RC 等效模型，評估主動中介層之多層連線的寄生效應對電路特性的影響，並透過 TCAD 模擬軟體分析其抗輻射特性。

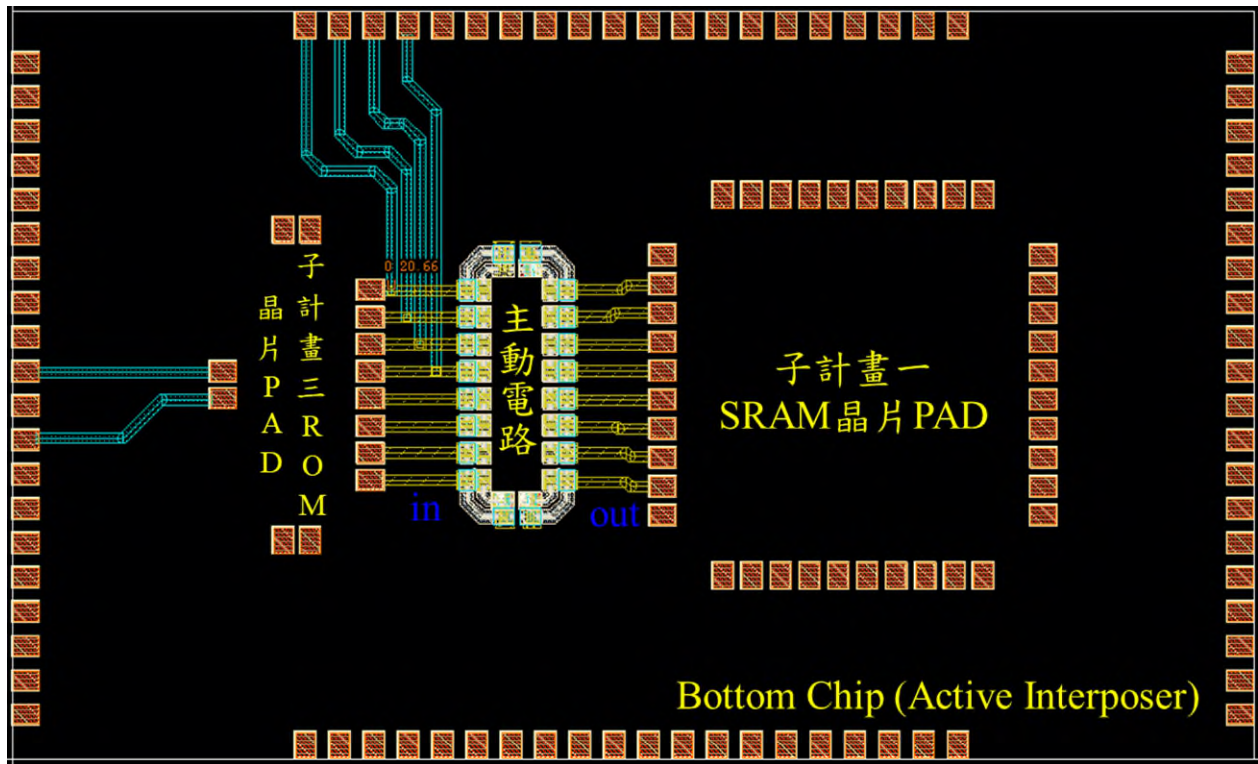


圖 5.3.85:異質整合主動中介層晶片設計規劃。

參考文獻

- [1] G. Mounce, J. Lyke, S. Horan, W. Powell, R. Doyle, R. Some, "Chiplet based approach for heterogeneous processing and packaging architectures," IEEE Aerospace Conference, Mar. 2016.
- [2] R. J. Doyle, "Reinventing the Role of Computing in Space," Nebulae Workshop, Aug. 2019.
- [3] P. Gupta, S. S. Iyer, "2019 Goodbye motherboard. Hello silicon-interconnect fabric," IEEE Spectrum, pp. 28-33, Oct. 2019.
- [4] Y. Zhang, X. Zhang and M. S. Bakir, "Benchmarking Digital Die-to-Die Channels in 2.5-D and 3-D Heterogeneous Integration Platforms," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 65, no. 12, pp. 5460-5467, Dec. 2018, doi: 10.1109/TED.2018.2876688.
- [5] M. A. Karim, P. D. Franzon and A. Kumar, "Power comparison of 2D, 3D and 2.5D interconnect solutions and power optimization of interposer interconnects," 2013 IEEE 63rd Electronic Components and Technology Conference, Las Vegas, NV, USA, 2013, pp. 860-866, doi: 10.1109/ECTC.2013.6575674.
- [6] S. Jangam, S. Pal, A. Bajwa, S. Pamarti, P. Gupta and S. S. Iyer, "Latency, Bandwidth and Power Benefits of the SuperCHIPS Integration Scheme," 2017 IEEE 67th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), Orlando, FL, USA, 2017, pp. 86-94, doi: 10.1109/ECTC.2017.246.

[7]Neil H. E. Weste and David Money Harris, “CMOS VLSI Design: A Circuits And Systems Perspective,” 4/E. Pearson, 2009.

附表、佐證資料表

(請選擇合適之佐證資料表填寫，超過 1 筆請自行插入列繼續填寫，
未使用之指標資料表請刪除。)

【A 論文表】

題 名	第一作者	發表年(西元年)	文獻類別	成果歸屬
Impacts of Zr content of HfZrOx-Based FeFET memory on resilience towards proton radiation	Hao-Kai Peng (彭皓楷)	2024	D	衛星元件開發 及輻射驗證環 境建構
Comparative Study of Radiation Damage Effects on FinFET and GAAFET	C.H. Chang	2023	F	衛星元件開發 及輻射驗證環 境建構
Effects of Radiation Damage on GaN Epitaxial Layer Arising From Argon Ion Implantation for Edge Termination	M.Y. Chen	2023	F	衛星元件開發 及輻射驗證環 境建構
A 0.25- μm HV-CMOS Synchronous Inversion and Charge Extraction Interface Circuit With a Single Inductor for Piezoelectric Energy Harvesting	Chi-Wei Chen	2023	D	衛星元件開發 及輻射驗證環 境建構
Coral records of ocean acidification and marine lead pollution in the northern South China Sea	陳洪毅	2023	G	原子能科技學 術合作研究
Coral records of ocean acidification and marine lead pollution in the northern South China Sea	陳洪毅	2023	F	原子能科技學 術合作研究
Coral records of ocean acidification and marine lead pollution in the northern South China Sea	陳洪毅	2023	E	原子能科技學 術合作研究
Response of tropical corals to ocean acidification and marine lead pollution in the northern South China Sea	陳洪毅	2023	E	原子能科技學 術合作研究
Response of tropical coral growth to ocean acidification in the northern South China Sea: Insights from coralline B/Ca and $\delta^{11}\text{B}$	陳洪毅	投稿中	D	原子能科技學 術合作研究
以 CFD-DEM 分析多孔性觸媒填充床之流體力學特性	沈宜蓁	2023	E	原子能科技學 術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	李承恩	2023	E	原子能科技學 術合作研究
An Integrated Short-Pulse Laser Platform for Radiation Testing	李佳翰	2023	E	原子能科技學 術合作研究

Impacts of Zr content of HfZrOx-based FeFET memory on resilience towards proton radiation	彭皓楷	2023	D	原子能科技學術合作研究
Dependence of Zr content of HfZrOx-based FeFET memory on radiation resistance to proton irradiation	鄭聖諺	2023	F	原子能科技學術合作研究
Energy justice concerns of nuclear power in the 2025 Energy Transition Vision of Taiwan and Net Zero Roadmap of 2050	Anton Ming-Zhi Gao	2023 年	H	原子能科技學術合作研究
Chapter 13 Electricity storage in energy communities: regulatory and policy-making considerations	Anton Ming-Zhi Gao	2023 年	H	原子能科技學術合作研究
氣候變遷因應法對企業之影響	高銘志	2023 年	A	原子能科技學術合作研究
新修正通過之再生能源發展條例對 2050 淨零目標之效益	高銘志	2023 年	E	原子能科技學術合作研究
日本福島事件後世界主要國家原子能法之發展趨勢	高銘志	2023 年	E	原子能科技學術合作研究
Critical Review of the Effects and Role of Climate Change Response Act of 2023 in Taiwan's Net-Zero Ambition of 2050	Anton Ming-Zhi Gao	2024 年 1 月	C	原子能科技學術合作研究
Critical review of the role of just transition in Taiwan's 2050 net-zero pathway	Anton Ming-Zhi Gao	投稿中	C	原子能科技學術合作研究
Critical Review of the Recent Legislative Change to Boost Renewable Energy Development under the 2050 Net-Zero Pathway in Taiwan	Anton Ming-Zhi Gao	投稿中	C	原子能科技學術合作研究
Influence of Neutron Irradiation Parameter and Annealing Temperature on Neutron-Transmutation-Doped Heteroepitaxial GaN Film	鍾岳均	2023	F	原子能科技學術合作研究
Influence of Neutron Irradiation Parameter and Annealing Temperature on Neutron-Transmutation-Doped Heteroepitaxial GaN Film	鍾岳均	2023	D	原子能科技學術合作研究
Characterization and Comparison of Radiation Damage in HfMoNbTaTi and HfMoNbTaZr Refractory High Entropy Alloys by Multi-energy Helium Ion irradiation	邱品皇	2023	F	原子能科技學術合作研究
Comparative Study of Radiation Damage Effects on FinFET and GAAFET	C.H. Chang	2023	F	原子能科技學術合作研究
Radiation Damage Effects on Multi-gate MOS Devices	D.B. Ruan	投稿中	D	原子能科技學術合作研究

Evaluating China-Brazil Bilateral Engagements in Climate Change and Energy - A True Sustainability Partnership or Green Appropriation?	Chung-Han Yang	投稿中	F	原子能科技學術合作研究
Evaluating Taiwan-U.S. Bilateral Engagements in Climate Change and Energy Regimes: From the Taiwan-U.S.-IAEA Nuclear Safeguard Agreement to the Taiwan-U.S. Initiative on 21st Century Trade	Chung-Han Yang	2023	F	原子能科技學術合作研究
原子能訴訟與國際核能法體系之互動	楊宗翰	2023	E	原子能科技學術合作研究
臺美雙邊能源、氣候與永續合作之展望:從臺美核能協議到「臺美 21 世紀貿易倡議」 Prospects for Taiwan-U.S. Bilateral Energy, Climate, and Sustainability Cooperation: From the Taiwan-U.S. Nuclear Energy Agreement to the "US-Taiwan Initiative on 21st Century Trade	楊宗翰	2023	E	原子能科技學術合作研究
爭端解決與國際能源氣候合作	楊宗翰	2023	A	原子能科技學術合作研究
科技創新、能源效率與國際能源治理	楊宗翰	2023	A	原子能科技學術合作研究
能源法的低碳化與 ESG 浪潮	楊宗翰	2023	A	原子能科技學術合作研究
國際能源法制與實務: 氣候世代與能源律師	楊宗翰	2023	A	原子能科技學術合作研究
Technique Development for Intersection Between Fracture System and Objects by Means of Hybrid Domain Model	Chuen-Fa Ni	2023	F	原子能科技學術合作研究
An Integrated Platform for Real-time Groundwater Modeling and Data Visualization	Chuen-Fa Ni	2023	F	原子能科技學術合作研究
核電廠外部威脅與安全強化措施之研究	蕭伊佩	2023	E	原子能科技學術合作研究
衝突下核電廠之危害及救護模式之探討	郭孟庭	2024	A	原子能科技學術合作研究
層級分析法探討核能於東南亞國家能源轉型之影響	洪禎徽	2023	E	原子能科技學術合作研究
Digital Health Literacy and Well-being among University Students: Mediating Roles of Fear of COVID-19, Information Satisfaction, and Internet Information Search	Sheng-Chih Chen	2023	D	原子能科技學術合作研究

Combining Augmented and Virtual Reality Simulation Training to Improve Geriatric Oral Care Performance in Healthcare Assistants: A randomized Controlled Trial	Yi-Ching Lin	2023	D	原子能科技學術合作研究
COVID-19 alike Symptoms and Psychological Factors as Associated Factors with Menstrual Disorders in Female University Students: A Cross-Sectional Study	Chuan-Rong Yeh	投稿中	D	原子能科技學術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	李承恩	2023	E	原子能科技學術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	李承恩	2023	E	原子能科技學術合作研究
Establish a simulation system and develop a mini-ridge filter for proton FLASH beamline	Chan Tsz Yui	2023	F	原子能科技學術合作研究
Analyzing the Effect of Proton Beam Nozzle Design on Dose Distribution in Small Proton Fields	Balaji Selvaraj	2023	F	原子能科技學術合作研究
Investigation of Electrochromic Properties of Novel Tungsten Trioxide Nanorods Preparation Using Hydrothermal Process	Ting-Yi Xia, 夏霆易	2023	F	原子能科技學術合作研究
Study of Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Application of TiO ₂ Films by Atmospheric Pressure (AP) Plasma Deposition Method	Ching-Lun Lu, 盧慶倫	2023	F	原子能科技學術合作研究
Hetero-nanostructures of Copper Sheet Grown Cuprous Oxides and Zinc Oxides Deposited by Atmospheric Pressure Plasma System for Photo-electro-chemical Hydrogen Generation Application	Yu-Lin Zhu, 朱玉麟	2023	F	原子能科技學術合作研究
Hetero-nanostructure of Cuprous Oxide Nanowires and Zinc Oxide Nano-particles Powered by WO ₃ and DSSC for Hydrogen Generation Application	Sheng-Huang Wu, 吳昇晃	2023	F	原子能科技學術合作研究
Synthesis of Titanium Dioxide and Copper Oxide Heterostructures by Using AP Plasma and Hydrothermal Processes for Photo-electrochemical Hydrogen Generation	Guan-Yi Hu, 胡冠毅	2023	F	原子能科技學術合作研究
Hydrothermal and Atmospheric Pressure Plasma Synthesis of Cu ₂ O/TiO ₂ Hetero-Structures on Titanium Sheet for Photo-electrochemical Water Splitting	Yu-Hong Zhang, 張育弘	2023	F	原子能科技學術合作研究
Hetero-nanostructure of Copper Sheet Grown Copper Oxides and Titanium Dioxide Deposited by Atmospheric Pressure Plasma System for Photo-electrochemical (PEC) Hydrogen Generation Application	Kuan-Chuan Chen, 陳冠銓	2023	F	原子能科技學術合作研究

Application Research of Atmospheric Pressure Plasma Deposition of Cuprous Oxide and Zinc Oxide Heterogeneous Nano-dendrite Structures for Photo-electrochemical (PEC) Hydrogen Production	Li-Wen Zhan, 張力文	2023	F	原子能科技學 術合作研究
Hetero-nanostructure of Cuprous Oxide and Zinc Oxide synthesized by Atmospheric Pressure Plasma System and Hydrothermal System for Photo-electrochemical (PEC) Hydrogen Generation Application	Po-Jen Cheng, 鄭博仁	2023	F	原子能科技學 術合作研究
The planning strategy of robotics technology for nuclear decommissioning in Taiwan	Chung Yi Tu	2024	D	原子能科技學 術合作研究
除役階段之核設施核子保安探討研究 /The study of nuclear security during the decommission	宋大崙	投稿中	E	原子能科技學 術合作研究
An improved transistor sizing method for standard-cell optimization	Pin-Yuan Su	2023	F	原子能科技學 術合作研究
The Implement of a Reconfigurable Intelligence Trust Chain Platform with Anti-counterfeit Traceable Version Function for the Customized System-Module-IC	Hsing-Chung Chen	2023	F	原子能科技學 術合作研究
Improved interface of Mo/Si bilayers by magnetron sputtering	Chao-Te Lee	2023	F	原子能科技學 術合作研究
High-Reflectivity, Cylindrical-Nanostructure Multilayer Mirrors for Extreme Ultraviolet Radiation	Chih-Chung Wang	投稿中	D	原子能科技學 術合作研究
Spin-torque efficiency enhanced in sputtered topological insulator by interface engineering	Durgesh Kumar Ojha	2023	C	原子能科技學 術合作研究
Resistive Memristor Coupled with Multilevel Perpendicular Magnetic States	Tzu-Chuan Hsin	2023	C	原子能科技學 術合作研究
Optimizing the Ferroelectric Properties of Hf _{1-x} Zr _x O ₂ Films via Crystal Orientation	Chih-Yu Teng	2023	C	原子能科技學 術合作研究
Comparative study of Indium Tin Oxide and Indium Gallium Zinc Oxide as potential n-type materials for the fabrication of all inorganic transparent solar cells	Balaji. G.	2024	D	原子能科技學 術合作研究
Si-Sn codoped n-GaN film sputtering grown on an amorphous glass substrate	劉維昇	2023	D	原子能科技學 術合作研究
Effect of deposition pressure on the optoelectronic characteristics of p-type Cu-doped CrO ₂ thin films.	葉耘睿	2023	F	原子能科技學 術合作研究
Investigating the Influence of Oxygen Flow Rate on the Optoelectronic Characteristics of P-Type Cu-Doped CrO ₂ Thin Films.	陳雨恩	2023	F	原子能科技學 術合作研究

Impact of V/III Ratio for the InAs Layer in the SWIR Type-II Superlattices Grown by Molecular Beam Epitaxy	Yung-Jyun Liao	2023	F	原子能科技學術合作研究
InAs Quantum Dots with Emission Wavelength of 1.38 μm Grown by Molecular Beam Epitaxy on GaAs Substrates	Pin-Chih Liu	2023	F	原子能科技學術合作研究
Growth and Characterization of GaN Thin Films on Si Substrates with AlN Buffer Layer and RF Sputtering	Li-Cheng Huang	2023	F	原子能科技學術合作研究
Deposition and Optimization of High-Quality GaN Thin Films on Glass Substrates through RF Magnetron Sputtering	Li-Cheng Huang	2023	F	原子能科技學術合作研究
Effect of NiO interlayer on the optical and the electrical properties in CuAlO ₂ /NiO/CuAlO ₂ sandwich structure	Shin-Yu Lai	2023	F	原子能科技學術合作研究
Effects of Oxygen Flows and Annealing Temperatures on Optical, Electrical, and Structural Properties of Co-Sputtered In ₂ O ₃ -Ga ₂ O ₃ -Zn Thin Films.	李憶興	2023	D	原子能科技學術合作研究
Enhancing the Tunable Sensitivity of a Near-Ultraviolet to Visible to Near-Infrared Photo Irradiance Sensor Using an Indium Tin Oxide Aluminum Oxide-Zirconia Aluminum Oxide-Silicon.	謝文靚	2023	D	原子能科技學術合作研究
The influence of deposition power and annealing temperature on the characteristics of indium zinc oxide films deposited by RF magnetron sputtering.	李憶興	2023	F	原子能科技學術合作研究
LED 光源模組量測	李憶興	2023	E	原子能科技學術合作研究
Rapidly Developing Humanoid Walking Gaits Based on Leg Kinematic Parameters	Kuo-Yang Tu	2023	F	原子能科技學術合作研究
Design and Implementation of an USV Navigation Control System Using GPS	Kuo-Yang Tu	2023	F	原子能科技學術合作研究

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
我國原子能安全管理支援體系先期評估	1.廣泛蒐集國際技術支援組織發展趨勢相關情資，以了解國際間 TSO 的合作發展狀況與熱門專題。 2.強化管制機關與國內法人及學研機構	B	D	原子能科技學術合作研究

	在國家政策及管制業務重點上的溝通瞭解，並依據新興管制項目技術支援需求的重點，強化並整合 TSO 組織及相關學研機構在需求項目上的研究人力與對外協助能力。 3.整理目前及未來之管制任務，輻射偵測相關調查及除役放射性分析實驗室建立等，並匯集相關學研機構，建立機構連結組織以作為原子能安全管理技術支援體系的基礎。			
我國原子能科技決策支援體系先期評估	1.建置原子能科技決策平台，可扮演資料蒐集彙整，以及座談討論互動資訊歸納的良好作業平台。 2.分析國內相關研究與產業等之發展現況，以獲取國家發展最大的邊際效用。在此領域中，部分產業在國內已具有良好的基礎與發展，未來在精進發展上，可以配合引進及做更前瞻方向的發展。可進一步針對國內產業現況做有效的探討與分類，並考量透過定期與產業界的座談與宣導，以加速相關產業多角化與前瞻化的發展。	B	D	原子能科技學術合作研究
原子能訴訟策略	1.就過去原能會及核安會勝訴與敗訴案件，參考外國判決，得出未來核安會可參採之原子能訴訟策略。 2.對於核電廠未來若發生核子事故，距發生核子事故之核子反應器多少距離之居民，始具有提起撤銷訴訟或續行確認訴訟之原告適格。 3.釐清物管法與低放處置條例間之競合關係，其是否完全為「普通法」及「特別法」之關係。 4.釐清有關低放射性廢棄物最終處置場址選定程序中，於物管法、低放處置條例中，於各階段主管機關之職責。 5.低放射性廢棄物最終處置計畫書時程規劃裁罰案。	B	D	原子能科技學術合作研究
壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析	針對壓水式反應器重要組件的拆除順序及相關考量提出管制建議	A	C	原子能科技學術合作研究
核電廠消防設備於除役階段之維護管理策略研究	核安消防安全管制	B	C	原子能科技學術合作研究
BIM 應用核能除役導則	核能除役導則	A	D	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
以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析	長庚大學	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析	中央大學	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
陳信樹教授團隊	臺灣大學	A	A	2022	原子能科技學術合作研究
朱旭新教授團隊	中央大學	B	A	2022	原子能科技學術合作研究
材料性質分析團隊	國家同步輻射中心	B	C	2020	原子能科技學術合作研究
當代原子能法重要法律議題及訴訟案例研析(II)	中興大學	B	A	2022	原子能科技學術合作研究
半導體材料與元件輻射損傷研究團隊	國立清華大學核工所/工科系	B	A	2019	原子能科技學術合作研究
清華紫外光光學研究團隊	清華光電所與清華核工所	A	A	2023	原子能科技學術合作研究
壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析	核能電廠安全分析研究室	A	A	2011	原子能科技學術合作研究
Evaluating China-Brazil Bilateral Engagements in Climate Change and Energy - A True Sustainability Partnership or Green Appropriation?	Centre for Environment, Energy and Natural Resource Governance, University of Cambridge / School of Law, University of Nottingham	C	A	2023	原子能科技學術合作研究
以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析	台灣大學、中央大學、長庚大學、國家原子能科技研究院	B	A	2023	原子能科技學術合作研究

科技與藝術人文互融的跨域探究	國立臺南大學	A	A	2023	原子能科技學術合作研究
淡江大學科學教育中心	清華大學原子科學技術發展中心、中華民國輻射防護協會	B	A	2016	原子能科技學術合作研究
淡大-國防岩石力學模擬團隊	淡江大學、國防大學	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
核電廠除役與新媒體運用團隊	國立臺灣師範大學、世新大學	B	A	2019	原子能科技學術合作研究
以 X 光成像技術建立三維地質結構與應用於地下水輸送特性之分析	臺灣大學、中央大學	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
質子模擬團隊	長庚大學	B	C	2023	原子能科技學術合作研究
「原」來是這樣！原子能科普教材研發與活動推廣	國立臺北護理健康大學	A	A	2022	原子能科技學術合作研究
提升除役階段之核設施核子保安組織管理與危機意識及其成效評估研究	龍華科技大學	A	A	2023	原子能科技學術合作研究
機器人系統整合應用於核能除役團隊	龍華科技大學	A	A	2023	原子能科技學術合作研究
極紫外光微影技術開發團隊	台灣儀器科技研究中心、台灣大學、國家同步輻射研究中心	B	A	2023	原子能科技學術合作研究
明新科大薄膜與光電元件實驗室-元智大學奈米光電元件實驗室	元智大學	B	A	2022	原子能科技學術合作研究
銲接團隊	國立高雄科技大學	A	B	2019	原子能科技學術合作研究
元件製程抗輻射技術發展團隊	清華大學原科中心/工科系	B	A	2022	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團隊	國家原子能科技研究院	B	A	2022	衛星元件開發及輻射驗證環境建構

晶片系統抗輻射技術發展團隊	國立臺灣大學/電機工程系、電子工程所、工程海洋系	B	A	2022	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
---------------	--------------------------	---	---	------	-----------------

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
陳洪毅	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
沈宜蓁	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
郭永吉	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
黃少廷	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
賴柏良	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳儒弘	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
任威翰	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王政輝	國立臺灣大學	A	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
洪建平	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
許宏維	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
吳彥廷	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
劉晏妤	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
邱昱翰	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
田 鈞	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
黃羿誌	國立臺灣大學	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
傅盈紫	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蔡伊文	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究
吳辰昕	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究
邱子耘	國立中興大學	B	A	原子能科技學術合作研究
賴昱仁	國立中興大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李昱瑋	國立中興大學	C	A	原子能科技學術合作研究
彭皓楷	國立清華大學	A	A	原子能科技學術合作研究
鄭聖諺	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
高維甯	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
黃昱瑋	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究

董郁禎	國立清華大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李顯甫	國立清華大學	C	A	原子能科技學術合作研究
謝友仁	國立清華大學	A	A	原子能科技學術合作研究
張藝蕓	國立清華大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林亞勳	國立清華大學	A	A	原子能科技學術合作研究
陳孟渝	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
余岳倫	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鍾岳均	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王浚媛	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林晉毅	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
張家豪	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
傅毓智	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
簡佑恩	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蕭世裕	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
李奕學	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鄭全翊	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳士銘	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
劉宏達	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蔡尚哲	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
許馥帆	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林品翔	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林博甫	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王復生	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王雅婷	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
黃謙煜	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳澤睿	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳亮璇	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳皇毓	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
周育儒	國立清華大學	B	A	原子能科技學術合作研究
馮孟彬	弘光科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
郭孟庭	中央警察大學	B	A	原子能科技學術合作研究
曾佑皓	中央警察大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蕭伊佩	中央警察大學	B	A	原子能科技學術合作研究
楊筑安	中央警察大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鍾沛妤	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
熊天曦	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究

張智媛	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
楊晏婕	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
鄭紀婷	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
劉佳維	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
黃竣瑋	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
廖心誼	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
李沂諳	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
魏廷聿	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳聿璇	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
溫翎禎	國立臺南大學	C	C	原子能科技學術合作研究
陳思涵	淡江大學	B	B	原子能科技學術合作研究
張皓婷	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
洪茂源	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
李承恩	國立臺灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
Chan Tsz Yui	長庚大學	A	A	原子能科技學術合作研究
Aamir Farooq	長庚大學	A	A	原子能科技學術合作研究
陳冠銓	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
胡冠毅	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
張育弘	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
張力文	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鄭博仁	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
吳昇晃	義守大學	B	A	原子能科技學術合作研究
許軒樞	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
許芳瑜	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
秦尚宏	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林奕丞	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
葉承翰	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
練柏平	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
蘇信彰	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳宇賢	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
朱立淵	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
胡祐瑄	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
吳芷寧	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林正淳	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林巧頻	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張愷恩	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究

鄭 凱	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張堃穎	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
夏霆易	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
蔡承叡	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
朱玉麟	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李珈珍	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李曜廷	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳仕哲	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李皓宇	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
王柏霖	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
盧慶倫	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
許巧琳	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
王嘉穗	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
白御楷	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
李曜廷	義守大學	C	A	原子能科技學術合作研究
洪圓媛	國立臺北護理健康大學	B	A	原子能科技學術合作研究
莊宜倫	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
洪儷華	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
梅可護	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳昀晴	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
潘韋如	國立臺北護理健康大學	C	A	原子能科技學術合作研究
林欣穎	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
葉思淇	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
魯孟廉	龍華科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
張宸愷	龍華科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
周禹廷	龍華科技大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳俞劭	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林冠旻	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鄔承穎	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳昕澤	龍華科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蔡佳勳	國立台灣大學	A	A	原子能科技學術合作研究
王志中	國立台灣大學	A	A	原子能科技學術合作研究
黃羿誌	國立台灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
邱昱翰	國立台灣大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鄧智宇	國立陽明交通大學	A	A	原子能科技學術合作研究
許家偉	國立陽明交通大學	A	A	原子能科技學術合作研究

張家華	國立陽明交通大學	B	A	原子能科技學術合作研究
楊政霖	國立陽明交通大學	B	A	原子能科技學術合作研究
戴琬蓉	國立陽明交通大學	B	A	原子能科技學術合作研究
蔡銘倫	國立陽明交通大學	B	A	原子能科技學術合作研究
Bhavya Kondapavuluri	元智大學	A	A	原子能科技學術合作研究
楊淙安	元智大學	C	A	原子能科技學術合作研究
葉耘睿	元智大學	C	A	原子能科技學術合作研究
陳雨恩	元智大學	C	A	原子能科技學術合作研究
Sindu Gnanan A. B	Sastra Deemed University	B	D	原子能科技學術合作研究
Sriranjani. S	Sastra Deemed University	B	D	原子能科技學術合作研究
沈嘉珈	國立台灣藝術大學	B	E	原子能科技學術合作研究
吳宜蓁	國立台灣藝術大學	B	E	原子能科技學術合作研究
何欣玫	國立台灣藝術大學	B	E	原子能科技學術合作研究
黎日冰心	明新科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
馬愷強	明新科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
阮武長草	明新科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
林紘宇	國立高雄科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究
洪哲斌	國立高雄科技大學	A	A	原子能科技學術合作研究
楊竣堯	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
鐘蔚彰	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
趙俊堯	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
陳楷森	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
郭芳苓	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
王煊燁	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
張淳旭	國立高雄科技大學	B	A	原子能科技學術合作研究
彭皓楷	國立清華大學	A	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
鄭聖諺	國立清華大學	B	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
高唯甯	國立清華大學	B	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
許馥帆	國立清華大學	A	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
林品翔	國立清華大學	A	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
陳孟渝	國立清華大學	B	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
鍾岳均	國立清華大學	B	B	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
李建霖	國立臺灣大學	A	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
蔡佳勳	國立臺灣大學	A	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構

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
壓水式核電廠除役拆除策略之管制研析期末報告	許文勝	2024	C	原子能科技學術合作研究
小型模組化反應器發展現況與安全性探期末研究報告	葉宗洸	2024	C	原子能科技學術合作研究
臺美雙邊能源、氣候與永續合作之展望:從臺美核能協議到「臺美 21 世紀貿易倡議」Prospects for Taiwan-U.S. Bilateral Energy, Climate, and Sustainability Cooperation: From the Taiwan-U.S. Nuclear Energy Agreement to the "US-Taiwan Initiative on 21st Century Trade	楊宗翰	2023	C	原子能科技學術合作研究
Cross-border energy investment, energy justice and international economic law. The Power of Energy Justice & the Social Contract (ISBN: 978-3-031-46281-8). Springer Nature. Dec, 2023: 41-48.	Chung-Han Yang	2023	C	原子能科技學術合作研究
應用深度學習建構微尺度孔隙通道非結構網格成果報告	李奕賢	2024	C	原子能科技學術合作研究
核電廠消防設備於除役階段之維護管理策略研究	黃育祥	2024	C	原子能科技學術合作研究
利用 UDEC-Voronoi 模擬處置隧道之開炸損傷區研究	楊長義	2024	D	原子能科技學術合作研究
培力民眾正確面對非核家園之核電廠除役素養觀整合計畫：新媒體溝通策略之解構與建構（2/2）	林承宇	2024	D	原子能科技學術合作研究
常壓電漿沉積氧化鋅與銅氧化物異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	張弘霖	2022	C	原子能科技學術合作研究
銅片成長銅氧化物與常壓電漿沉積氧化鋅異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	呂國榮	2022	C	原子能科技學術合作研究
銅片成長銅氧化物與常壓電漿沉積二氧化鈦異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	陳冠銓	2023	C	原子能科技學術合作研究

常壓電漿及水熱鍍製二氧化鈦與常壓電漿沉積銅氧化物異質結構於光電化學產氫之應用研究	胡冠毅	2023	C	原子能科技學術合作研究
鈦板之水熱法生長二氧化鈦與常壓電漿沉積銅氧化物異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	張育弘	2023	C	原子能科技學術合作研究
FTO 常壓電漿沉積氧化亞銅與氧化鋅異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	張力文	2023	C	原子能科技學術合作研究
常壓電漿及水熱製程沉積氧化亞銅與常壓電漿沉積氧化鋅異質奈米結構於光電化學產氫之應用研究	鄭博仁	2023	C	原子能科技學術合作研究
「科展用核能與輻射知識之跨平台電玩遊戲」研究報告	陳彥均	2023	D	原子能科技學術合作研究
提升除役階段之核設施核子保安組織管理與危機意識及其成效評估研究報告	宋大崙	2023	D	原子能科技學術合作研究
光電元件金屬-半導體接觸特性之研究	李岳穆	2023	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
太空用太陽電池之磊晶架構優化研究	施圳豪	2023	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
Al/Si 合金共熔點和 InGaP 化合物半導體能隙與 MOCVD 製程溫度之關係	蔡世貞	2023	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
退火條件對半導體電極影響	林家偉	2023	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
太空太陽電池之位移損害劑量測試法	葉彥顯	2023	C	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
元件製程抗輻射技術發展	巫勇賢、張廖貴術、趙得勝	2023	D	衛星元件開發及輻射驗證環境建構

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
當代原子能重要法律議題及訴訟案例」法學研討會	A	2023/11/03	國立清華大學科技法律研究所、國立清華大學通識中心、國立中興大學國家政策與公共事務研究所、台灣環境資源與能源法學會	原子能科技學術合作研究
「當代原子能重要法律議題及訴訟案例」法學研討會	A	2023.11.3	國立清華大學、核能安全委員會	原子能科技學術合作研究
FTP 2023 消防科技與實務學術研討會	A	2023/11/23	警察大學/消防系	原子能科技學術合作研究
國家同步輻射用戶年會	B	2023/10/23~26	國家同步輻射研究中心	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
知輻習輻實驗課程及教案	A、B	D(實驗)	2023	淡江大學	N	原子能科技學術合作研究
三碘一課實驗課程及教案	A、B	D(實驗)	2023	淡江大學	N	原子能科技學術合作研究
「核電廠除役大作戰」教材	B	C	2023	龍華科技大學	N	原子能科技學術合作研究
核子保安文化	B	A	2023	龍華科技大學	N	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
電場輔助熱退火製程控制二 氧化鋯鉛結晶之優選方向	A	中華民國	申請中	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
太陽電池質子束檢測	B	葉彥顯	2023	國原院	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
鐵電記憶體質子束檢測	B	巫勇嫌	2023	清華大學	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
電晶體加馬照射	B	張廖貴術	2023	清華大學	衛星元件開發及輻射驗證環境建構
晶片短脈衝雷射檢測	B	李佳翰	2023	臺灣大學	衛星元件開發及輻射驗證環境建構

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
2023 年台法輻射防護與核能安全交流會議	A	B	20230419-20230421	30	國際合作及技術交流
第 9 屆台日核能管制資訊交流會議	A	B	20231030-20231101	25	國際合作及技術交流
「花蓮愛科學 原子 GO 探險趣 x 行動科教館」科普展-花蓮花崗國中舉辦	C	A	20230430-20230501	4,274	國際合作及技術交流
「原子 GO 探險趣」科普展-台中廣三 SOGO 百貨舉辦	C	A	20230812-20230813	3,472	國際合作及技術交流
數位傳播方式辦理網路影音課程與手作教材	C	A	10/11 起接受學校報名，11 月下旬已報名額滿	3,992	國際合作及技術交流

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】

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

以 CFD-DEM 分析多孔性觸媒填充床之流體力學特性	第十八屆台塑關係企業應用技術研討會	A	A	2023/6/9	台塑總管理處	N	原子能科技學術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	第 70 屆台灣化學工程學會年會暨國科會專題研究計畫成果發表會	B	A	2023/12/09-2023/12/10	國立臺灣大學化學工程學系	Y	原子能科技學術合作研究
以電漿輔助製程與磊晶鍍層提升鐵電記憶體之多位元操作可靠度與抗輻射能力	111 年「原子能科技學術合作研究計畫」成果發表會	A	A	2023/06/09	原能會(現核安會)	Y	原子能科技學術合作研究
「Influence of Neutron Irradiation Parameter and Annealing Temperature on Neutron-Transmutation-Doped Heteroepitaxial GaN Film」論文發表	21st International Conference on Radiation Effects in Insulators (REI-21)	A	B	2023/09/03-2023/09/08	Kyushu University	N	原子能科技學術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	2023 中華民國力學學會年會暨第 47 屆全國力學會議	A	A	2023/11/17-2023/11/18	中華民國力學學會	N	原子能科技學術合作研究
Simulations of Ethylene Oxychlorination in a Packed Bed Reactor over Cylindrical Catalysts with Dual Resolution Microstructure	第 70 屆台灣化學工程學會年會暨國科會專題研究計畫成果發表會	B	A	2023/12/09-2023/12/10	國立臺灣大學化學工程學系	Y	原子能科技學術合作研究
FIRA 2023 RoboWorld Cup	2023 世界盃機器人運動大賽	B	B	2023/07/17-2023/07/21	FIRA	Y	原子能科技學術合作研究

FIRA 2023 Summit	2023 世界盃機器人運動大賽論壇	A	B	2023/07/21-2023/07/21	FIRA	Y	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。

【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

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

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。