

行政院原子能委員會核能研究所
委託研究計畫研究報告

原子能科技民生應用於我國發展策略之研析 I

Research of the Development Strategy of Peaceful Uses of Atomic Energy
in Taiwan

執行單位：核能研究所

計畫主持人：蕭子訓

共同主持人：洪瑋嶸、葛復光

期程：110.01.01 –110.12.31

(110 年度)

一、綜合資料

計畫名稱	中 文：原子能科技民生應用於我國發展策略之研析 I			
	英 文：Research of the Development Strategy of Peaceful Uses of Atomic Energy in Taiwan			
計畫性質	☒ 行政及政策類 ☐ 科學及技術類			
委託單位	原子能委員會綜合計畫處		受委託單位	原子能委員會核能研究所
執行期限	自 110 01 01 起 本年度計畫： 年 月 日 自 110 12 31 止		自 110 01 01 起 本年度計畫： 年 月 日 自 110 12 31 止	
主 持 人	姓 名	職 稱	本 年 度 參 與 台 電 計 畫	
			有	否
	蕭子訓	研究助理		✓
共 同	洪瑋嶸	助理研究員		✓
主 持 人	葛復光	研究員兼組長		✓
聯絡人	姓 名：柴蕙質 電話：(公) 03-4711400 #3181 (宅)			
	通訊地址：桃園市龍潭區文化路 1000 號核能研究所			

目 錄

一、綜合資料.....	2
二、摘要.....	4
三、研究背景與目的.....	6
四、研究方法.....	11
(一) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業.....	11
(二) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究.....	13
五、研究結果及結論.....	14
(一) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業之「太空用的積體電路」.....	15
(二) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業之「抗輻射之電池製程」.....	38
(三) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究.....	57
(四) 結論.....	82
六、參考文獻.....	85

二、摘要

(一) 中文摘要

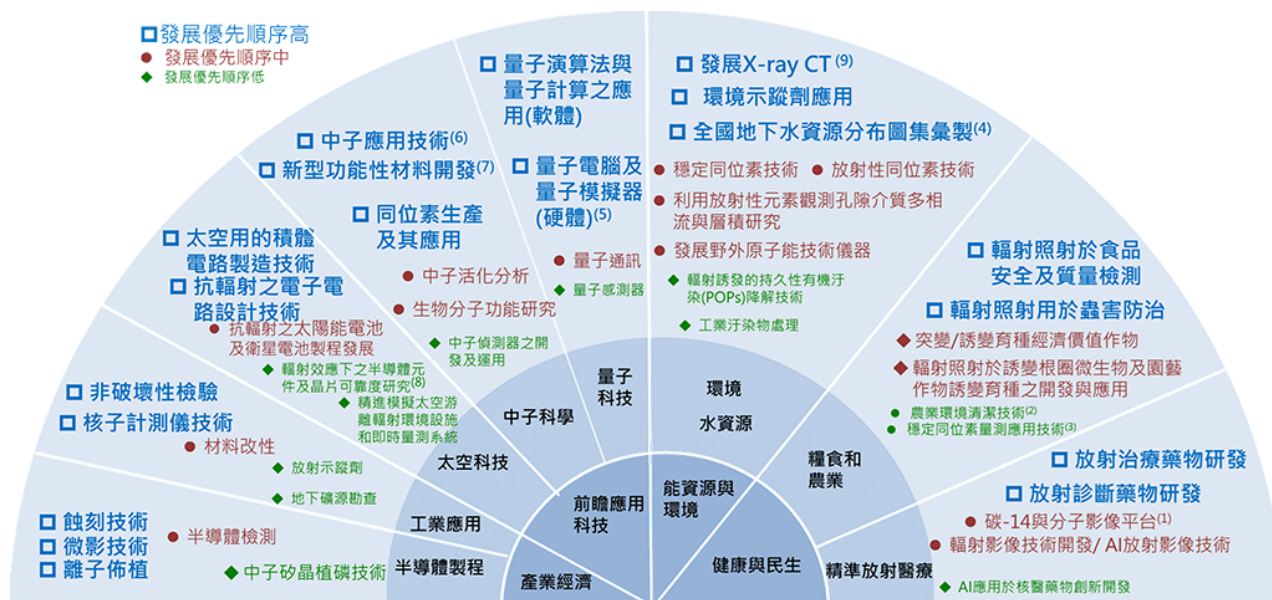
原子能委員會為推動原子能科技民生應用之發展，基於 108 至 111 年科技發展策略藍圖，核能研究所已於 109 年所執行的「原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析」計畫中，完成「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」，其包含環境和水資源、醫療、糧食和農業、量子科技、太空科技、半導體製程、工業應用、中子科技等領域，本研究旨在深化該計畫的研究成果，協助原能會統合國內原子能科技民生應用的科技發展，110 年針對太空科技領域提出細部發展策略並借鏡國際原子能科研組織經驗，包含兩個工作項目。工作項目 1.「原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業」，結合專利分析、市場分析與專家/廠商的訪談/座談，針對「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」兩個主題，分別進行(1)專利池建立、(2)專利管理面分析、(3)專利技術面分析、(4)技術發展策略研擬等四個步驟，以協助原能會擬定科技發展策略。工作項目 2.「國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究」透過研蒐國際原子能科研組織或國家實驗室之技術發展經驗及關鍵科研基礎設施資訊，提供原子能科技技術發展策略的候選方案，並協助原能會擬訂原子能關鍵科研基礎設施建置策略。透過本計畫兩個工作項目的執行，精緻化原能會的原子能科技民生應用之策略研擬，進而促進產學及政府之合作，推動政府六大核心戰略產業之原子能技術發展。

(二) 英文摘要

The Atomic Energy Council (AEC) continues its efforts to promote the peaceful uses of atomic technology. Based on the science and technology strategic roadmap proposed by the Ministry of Science and Technology (MOST), the Institute of Nuclear Energy Research (INER) proposed a "Strategic roadmap for the development of peaceful uses of atomic Energy Technologies" in the "Research on the International Trend of Atomic Energy Technology and Development Strategy for Taiwan" in 2020. The roadmap indicates technology strategic priorities for eight fields: The environment and water resources, medical care, food and agriculture, quantum technology, space technology, semiconductor fabrication, industrial applications, and neutron technology. This research focuses on two work items. The first work item is "Research of Atomic Energy Technology Industry Trends and Technological Deployment." We conduct the development strategy for two themes: "Integrated Circuits for Space" and "Fabrication of Radiation-resistant Battery" through patent analysis, market analysis, and expert/industry interviews/symposiums. The following four steps were carried out respectively: (1) patent pool establishment (2) patent management analysis (3) patent technology analysis (4) technology development strategy research and development. The second work item is "Research on the Development Trends and Technological Deployment of International Atomic Energy Research Institutions." We collect core scientific research infrastructure information of the International Atomic Energy Research Organization or National Laboratory. It could improve the resource-based information of the development strategy for atomic energy technology for civilian applications. The results of this study could be used to refine the development strategy of atomic energy technology, to facilitate multilateral cooperation in technology development among governments, enterprises, and researchers institutes, and further, to contribute to the development of the Six Core Strategic Industries outlined by President Tsai Ing-wen.

三、研究背景與目的

本計畫係基於原能會擬訂原子能科技發展策略，核能研究所已於 2020 年所執行的「原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析」計畫中，完成「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」(圖 3-1) [1]，其包含環境和水資源、醫療、糧食和農業、量子科技、太空科技、半導體製程、工業應用、中子科技等領域，該研究聚焦於產業化的可能性，並考量技術群組的重要性及可行性，透過專家問卷訪談及專家座談會的方式，針對每一個技術領域，篩選出二至三項發展優先順序較高之技術群組(如圖 3-1 藍字的技術群組)。



資料來源：核能研究所，2020 [1]；原能會網站公布之「111 至 114 年原子能科技民生應用發展策略藍圖」。

註：(1)應用於生技藥物開發、(2)例如有害氣體的消除、(3)應用於產品溯源、產區識別、真偽鑑定、(4)穩定同位素與水文地質分布圖集繪製、(5)超導量子位元、矽量子點以及量子光電晶片、(6)中子斷層影像、殘餘應力分析（包含醫學、非破壞性檢測、國防及航空檢測）、(7)能源材料、生醫材料、(8)於輻射效應下之可靠度研究及測試方法、(9)亦可用於醫療設備，具跨領域應用發展潛力

圖 3-1. 原子能科技於民生應用發展之策略藍圖

雖然前列研究已初步篩選出各領域於原子能民生應用具較高優先排序的技術群組，然而，該研究聚焦於產業化可能性，並未針對國際相關技術發展的進程分析，且其所篩選出

技術群組的範疇較廣，還需進一步規劃方能具體的推動，而針對技術策略的研擬，專利分析乃是一項極為有力的工具，專利制度乃是技術排除他人實施並進而獲利的基礎[2]，且不但可以細緻的進行技術研發的保護與佈局，更可以連結至公司乃至於國家的策略布局[3]，使技術發展具有具體的效益，我國政府近年已投入諸多資源協助產業進行智財的分析[4-11]，因此，本研究規劃針對各別領域的技術主題，以專利分析為主，結合市場分析及專家/廠商的訪談/座談之結果，進一步擬定該研究主題的發展策略，以協助原能會擬訂原子能科技於個別技術領域的具體發展策略。另一方面，由於原子能科技的發展，通常涉及關鍵科研基礎設施，其需鉅額的資金投入，故一般相關研究均由各國政府主導發展，該研究雖已考量臺灣既有的關鍵科研基礎設施，但尚未評估建立新設施的可能性，為了協助原能會擬訂原子能民生應用科技發展策略，本研究亦規劃研蒐國際原子能科研組織或國家實驗室之關鍵科研基礎設施資訊，進而了解國際原子能科研組織或國家實驗室的相關核心技術及研究能量，可作為國內規劃原子能科學發展政策借鏡及國際交流協議簽署之合作項目參考。針對前項研究，本研究規劃針對不同的研究領域依主管機關需求分年進行，後項研究則針對不同國際原子能科研組織或國家實驗室分年進行。

蔡總統於 2020 年的就職演說中，擬定了「六大核心戰略產業」做為我國未來的產業政策，其中，太空產業即隸屬於六大核心戰略產業之中，目前行政院業已擬定了 10 年 251 億元的太空研究計畫，蔡英文總統指出：「我們並不是要征服宇宙，不過，太空的商機，我們絕對不要錯過」。¹在此政策背景下，本計畫延續「原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析」之原子能科技於民生應用發展之策略藍圖研究成果，並聚焦在太空科技的領域，結合專利分析、市場分析及專家/廠商的訪談/座談之結果，進一步擬定原子能民生應用技術於太空科技領域的發展策略。於「原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析」研究中，如表 3-1 表示，我國未來產業化可能性較高之太空科技技術群組為「抗輻射之電子電路設計技術」、「太空用的積體電路製造技術」，其次則為，「抗輻射之太陽

¹ 2019 未來科技展：蔡英文總統宣示進軍太空產業、研議設立數位發展部會
<https://digi.ey.gov.tw/Page/1538F8CF7474AB4E/6d6e741c-f9cc-41dc-8111-088db9a7f57e>

能電池及衛星電池製程發展」。本研究經過初步的專利檢索後，考量專利的數量及後續分析歸類，將未來產業化可能性較高之太空科技技術群組歸類為「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」兩個主題，結合專利分析、市場分析及專家/廠商的訪談/座談之結果，進一步擬定該研究主題的發展策略，以協助原能會擬訂原子能科技於太空科技領域的發展策略。

表 3-1. 太空科技領域技術群組專家排序及意見

發展優先排序	技術群組項目	專家意見
高	C. 抗輻射之電子電路設計技術 D. 太空用的積體電路製造技術	極具產業化可能性的原因： 半導體元件設計原本就為我國強項，只要加強抗輻射之設計經驗和技術，可生產出因應未來大量發展低軌道衛星所需要的抗輻射半導體原件，是最重要且極具有產業化可能性的技術。
中	E. 抗輻射之太陽能電池及衛星電池製程發展	具產業化可能性的原因： 由於國內電池需求量小因此廠商目前並無太大意願投入，但隨著未來低軌道衛星將大量發展，抗輻射電池將具有廣大市場，台灣目前電池製造業已經有技術成熟且成本低的優勢，只要加強抗輻射技術未來在太空科技領域極具產業價值。
低	A. 精進模擬太空游離輻射環境設施和即時量測系統 B. 半導體元件及晶片於輻射效應下之可靠度研究及測試方法	不具產業化可能性的原因： 目前國內已經具有模擬太空游離輻射環境設施，對於高能輻射研究與測試相當重要，須要再精進。通常需由特定單位如核能研究所等提供服務，因此本身無法形成產業。

資料來源：核能研究所，2020 [1]

目前，由於原子能科技較為前瞻，且需鉅額的資金投入，目前國際上以美國、歐洲及日本的發展較為先進，以美國國家實驗室為例，與原子能科技相關的國家實驗室如費米國立加速器實驗室(Fermi National Accelerator Laboratory)、布魯克黑文國家實驗室(Brookhaven National Laboratory)、勞倫斯伯克利國家實驗室(Lawrence Berkeley National Laboratory)、橡樹嶺國家實驗室(Oak Ridge National Laboratory)、SLAC 國家加速器實驗室

(SLAC National Accelerator Laboratory)、洛斯阿拉莫斯國家實驗室(Los Alamos National Laboratory)、勞倫斯利佛摩國家實驗室(Lawrence Livermore National Laboratory)、西北太平洋國家實驗室(Pacific Northwest National Laboratory)、阿貢國家實驗室(Argonne National Laboratory)、愛達荷國家實驗室(Idaho National Laboratory)等，日本則有量子科學技術研究開發機構(National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology, QST)，其包含量子生命科學領域、量子醫學及醫療、量子束科學研究及核融合能源研究開發等部門，本研究規劃分年針對不同國際原子能科研組織或國家實驗室，彙整其具有的關鍵科研基礎設施，進而了解國際原子能科研組織或國家實驗室的相關核心技術及研究能量，並結合我國戰略產業的規劃及策略藍圖，以協助原能會擬訂原子能科技關鍵科研基礎設施建置策略，並可作為國內原子能科學發展政策推動及國際交流協議簽署之參考。

另一方面，原子能科技於民生應用的投資均相對不斐，依據「產業創新條例」及其子法「創新研究發展計畫智慧財產營運策略推動辦法」之規定，配合國家重要產業或科技發展政策且受中央目的事業主管機關或國營事業補助、委託或出資之創新或研究發展計畫，當其計畫規模達公告金額以上時，應要求執行單位擬具產業技術發展分析、智慧財產布局分析、成果運用策略分析，其中，專利分析有助於產業技術發展規畫及智慧財產布局的進行，透過本研究的執行，除可研擬太空科技於原子能民生應用的發展策略，亦可延伸協助原能會總籌相關研究計畫，此外，專利與市場分析，亦是目前業界的趨勢，目前國際上具備研發團隊的公司，除了與專利事務所及法律事務所針對專利管理的跨界合作外，一般都會自行聘請機構內部的專利工程師，其主要的工作乃是協助公司內部研發人員進行專利的布局，並配合公司發展研發策略及擬定研發進程，此外，我國智慧局為了協助各界的技術發展，在其建置的專利商品化教育宣導網²，每年均會針對不同的技術主題，進行專利的技術分析，如 2019 至 2020 年即已公開了離岸風電技術分析報告、人工智慧在智慧農業上之運用技術分析報告、我國再生醫學產業及國際主要國家專利審查實務之研究報告、太陽光電產業專利趨勢分析報告、沼氣發電技術專利分析報告、我國金融機構專利布局分析與

² 智財局專利商品化教育宣導網 <https://pcm.tipo.gov.tw/PCM2010/PCM/default.aspx>

建議報告、我國癌症治療專利趨勢探討報告、自動駕駛感知技術專利分析報告等[4-11]，本研究除了進行專利分析外，更結合市場分析及專家/廠商的訪談/座談，其有助於研究主題發展策略的擬定。

而在關鍵科研基礎設施的應用中，其在建立的初期，多數應用於各類基礎研究的發展，例如 Neutron scattering facilities in Europe Present status and future perspectives 報告中[12]，表列了各中子源設施於 2008 至 2014 年發表至高影響力期刊的數量，而當有重要的研究突破時，同時會申請相關的專利；而如我國建於澳洲的冷中子三軸散射實驗站，其亦於同步輻射中心的網站中³，列出近年度利用該設施所取得的相關研究成果，因此，透過研蒐國際原子能科研組織或國家實驗室之關鍵科研基礎設施資訊，有助於原能會擬訂原子能科技關鍵科研基礎設施建置策略。

由於原子能民生應用科技所牽涉之領域極為廣泛，因此，本計畫規劃分年研析原子能科技民生應用於我國發展策略，2021 年主要進行兩個工作項目，(1)原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業；(2)國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究。

³ 同步輻射中心 中子散射 http://neutron.nsrrc.org.tw/n/?page_id=91

四、研究方法

本計畫主要進行兩個工作項目，(1)原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業；(2)國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究。以下分段詳述研究方法：

(一) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業

本計畫結合專利分析、市場分析與專家/廠商的訪談/座談，以研擬太空科技於原子能民生應用的發展策略。本研究之研究成果，主要可用於協助原能會擬訂科技發展策略，然而，創新的知識及技術均容易被他人模仿，為了維持產業的競爭力，並且促使相關科技產業化，並保護相關科技研發的智慧財產，目前主要的保護方式乃是透過專利權及營業秘密，其中又以專利權為主，再者，如計畫背景所述，依據「產業創新條例」及其子法「創新研究發展計畫智慧財產營運策略推動辦法」之規定，配合國家重要產業或科技發展政策且受中央目的事業主管機關或國營事業補助、委託或出資之創新或研究發展計畫，當其計畫規模達公告金額以上時，應要求執行單位擬具產業技術發展分析、智慧財產布局分析、成果運用策略分析，其中，產業技術發展分析及智慧財產布局分析均與專利分析有密切相關，爰此，足見進行專利分析之重要性。

本計畫針對「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」兩個主題，分別進行(1)專利池建立、(2)專利管理面分析、(3)專利技術面分析、(4)技術發展策略研擬等四個步驟(圖4-1)，其具體步驟的相關內容如下。

(1) 專利池建立：若要進行專利分析，首先需要建立分析所使用之專利池，其包含了本次分析的所有專利，本計畫使用專利資料庫(Derwent Innovation 專利資料庫)，結合關鍵字及國際分類碼擬定檢索條件，透過專利管理面的初步分析及文字探勘的分析，結合專家訪談/座談，檢視檢索範圍的合理性，以確立專利池。

(2) 專利管理面分析：所謂專利管理面之分析，聚焦於前述所建立之專利池，進行如專利權人、發明人、專利歷年申請趨勢、技術生命週期、專利申請國、法律狀態、分類別等分析，具體分析的內容，則由分析人員依據議題需求判斷，而透過專利管理面的分析，可以鑑別相關技術發展的階段，辨別未來潛在的競爭對手及合作對象，並探明目前專利池涉及的技术類別。

(3) 專利技術面分析：所謂專利技術面之分析，主要透過二維的矩陣圖，繪製相關研發的分布，鑑別出目前國內及國際發展之技術熱點以及技術缺口，作為後續技術發展策略研擬之基礎。

(4) 技術發展策略研擬：結合專利管理面分析及專利技術面分析，盤點潛在的技術發展項目，透過產業資料庫進行市場分析，並進行專家/廠商的訪談/座談，納入我國既有之研發能量考量，擘劃「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」之技術發展策略。本研究採用技術策略規劃常用策略研擬方法之精神，選用兩軸的指標進行專利技術策略組合的研擬，指標參考文獻進行設計並與專家訪談後，擬定以技術成長度及台灣學研界研發能量等兩指標進行技術策略的研擬。

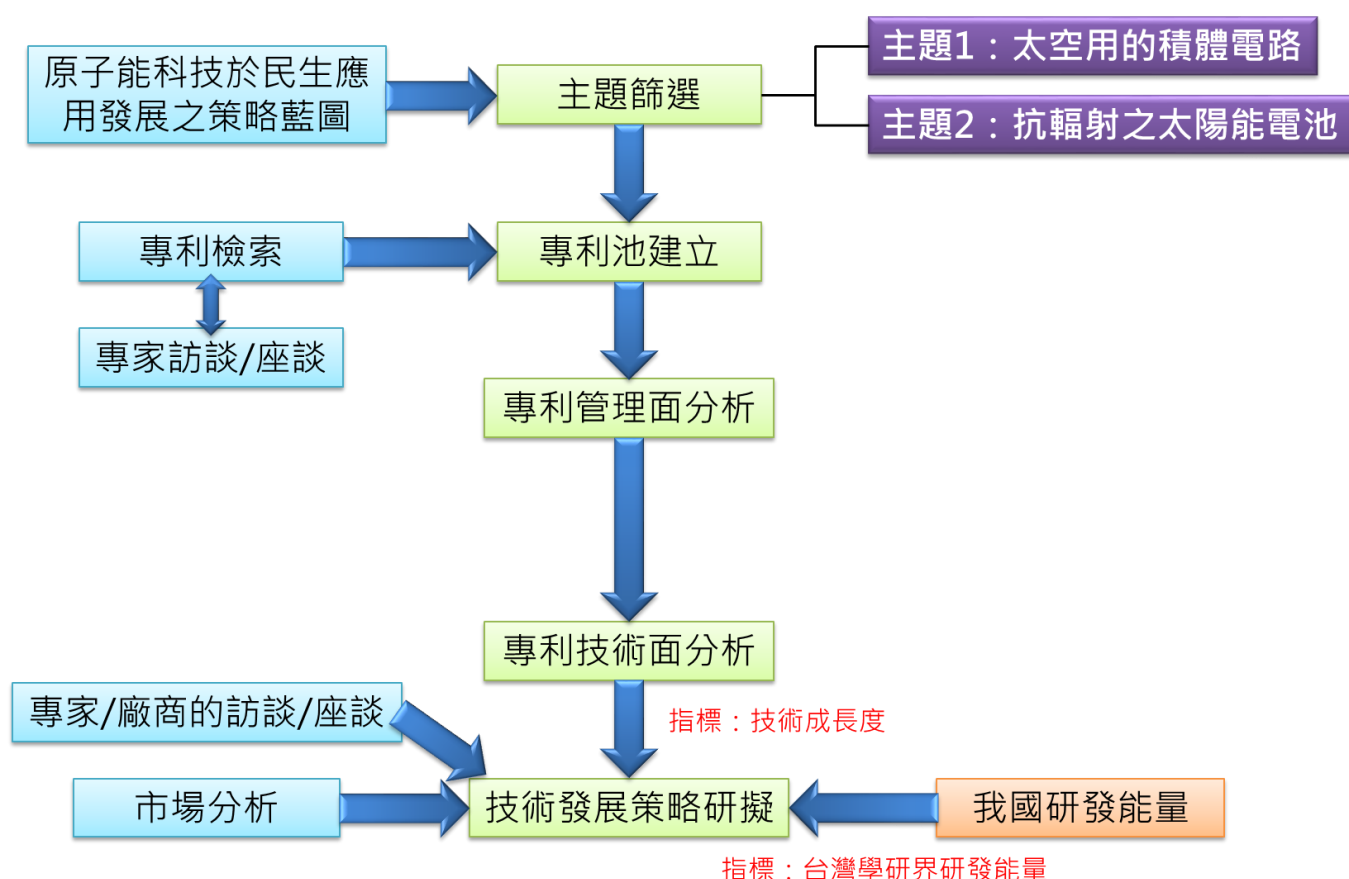


圖 4-1. 專利分析暨策略研擬執行步驟

本計畫藉由結合量化的專利分析及質化的市場分析及專家/廠商的訪談/座談，擘劃「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」之技術發展策略，可獲得具我國發展潛力之技術，有助於原能會擬訂及統合國內原子能科技民生應用的發展策略。

(二) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究

本工作項目聚焦於研蒐國際原子能科研組織或國家實驗室之關鍵科研基礎設施運作情形，未來可結合作項目(1)的研究成果，提供原子能科技技術發展策略的候選方案，基於資源的考量，並延續國內相關單位之研究能量，本研究與虎尾科技大學研究團隊合作，進行關鍵科研基礎設施相關資訊的研蒐，其執行步驟如下(圖 4-2)，首先，先篩選並擇一具研究價值的國際原子能科研組織或國家實驗室，並確認欲分析的國際原子能科研組織或國家實驗室，接著，針對該組織或實驗室，研蒐關鍵科研基礎設施及所應用之核心技術及各項產業應用(如太空、半導體、醫療、工業、環境...等)相關資訊，接著，基於我國戰略產業的規劃及原子能科技於民生應用發展之策略藍圖，篩選與我國關聯度較高之設施，並透過相關資料的研析，完成原子能科技關鍵科研基礎設施分析。本研究除可了解國際原子能科研組織或國家實驗室的相關核心技術及研究能量，並可協助原能會擬訂原子能科技關鍵科研基礎設施建置策略，以作為國內規劃原子能科學發展政策借鏡及國際交流協議簽署之合作交流項目參考。

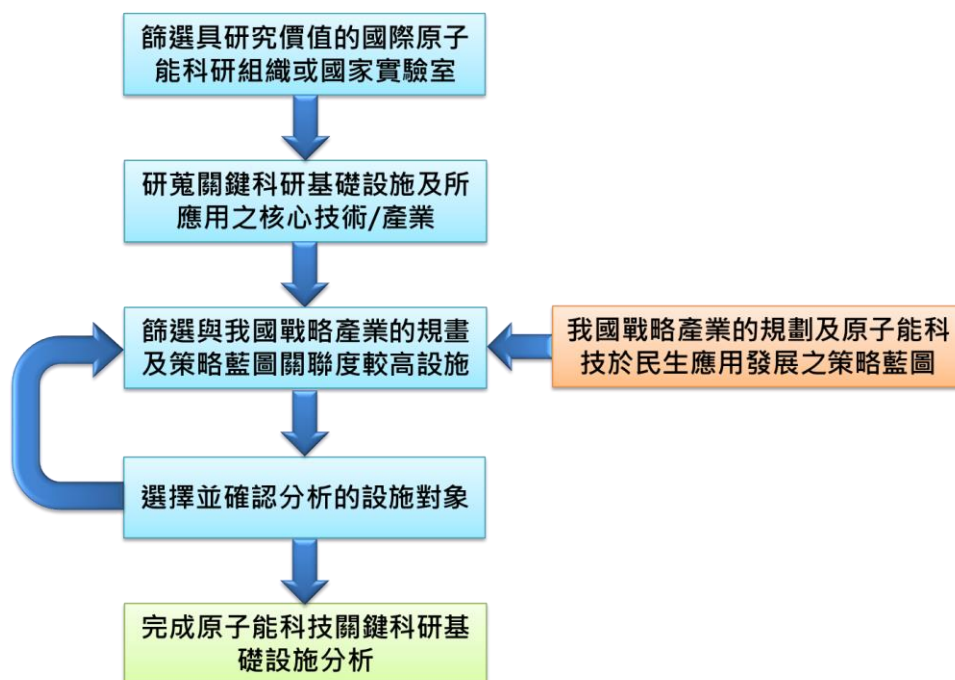


圖 4-2. 原子能科技關鍵科研基礎設施分析流程

五、研究結果及結論

本研究係基於「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」，分年研析原子能科技民生應用於我國研究發展策略，2021 年主要進行兩個工作項目，(1)原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業；(2)國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究。

工作項目「原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業」的部分，本計畫結合專利分析、市場分析與專家/廠商的訪談/座談，以研擬太空科技於原子能民生應用的發展策略，以下分段詳述「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」兩個主題的分析結果，進而提出相關研究的發展策略建議；工作項目「國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究」的部分，本研究探索國際先進國家之原子能科研組織或國家實驗室的任務、目的、願景、技術、關鍵科研基礎設施、與運作模式等相關重要資訊，經研討後，聚焦於日本 QST、JAEA、KEK 進行深入探討，並針對研製放射性核種的粒子加速器、次世代半導體微影設備、以及太空游離輻射環境模擬試驗設備等主題深入探討。

最後，本份報告在第四節結論的章節中，彙整本研究兩個工作項目的研究成果，以便於讀者的利用及查找。

(一) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業之「太空用的積體電路」

(1) 市場分析

衛星通訊服務的蓬勃發展，源自於 1965 年所發射的第一顆商用通訊衛星，一般來說，衛星依軌道高度不同，可分為低軌道(Low Earth Orbit, LEO)、中軌道 (Medium Earth Orbit, MEO) 及地球同步軌道 (Geosynchronous Orbit, GEO) 等三種，三種衛星比較於表 5-1.1。低軌道衛星的優勢在於軌道離地面距離較近，距離地面 2,000 公里以下，因此訊號傳輸所需的能量較低，資料傳輸的延遲性較短，通常需要靠更多衛星來確保訊號覆蓋，相較之下，地球同步軌道衛星距離地球表面 35,786 公里，而中軌道衛星距離地球表面的距離為 2,000 公里到 35,786 公里之間。低軌道衛星可提供不受地形限制的大範圍覆蓋，並且可與 5G 兼容互補，而在即將到來的 6G 時代，為了實現將人、物、時間、空間均可無縫式接取及覆蓋的目標，各類近端的傳輸技術、低軌道衛星的通信技術、以及如毫米波(mmWave)的創新通信技術等，均將與行動通信融合為一體，以補足基地台並未設置的地區的信號需求，進而達成無縫式的全方位通信覆蓋。因此，全球衛星市場目前以低軌衛星最具發展優勢，各衛星營運商如 SpaceX 的星鏈計畫、Amazon 的 Project Kuiper 等，皆以低軌道衛星為主。

表 5-1.1. 三種衛星比較

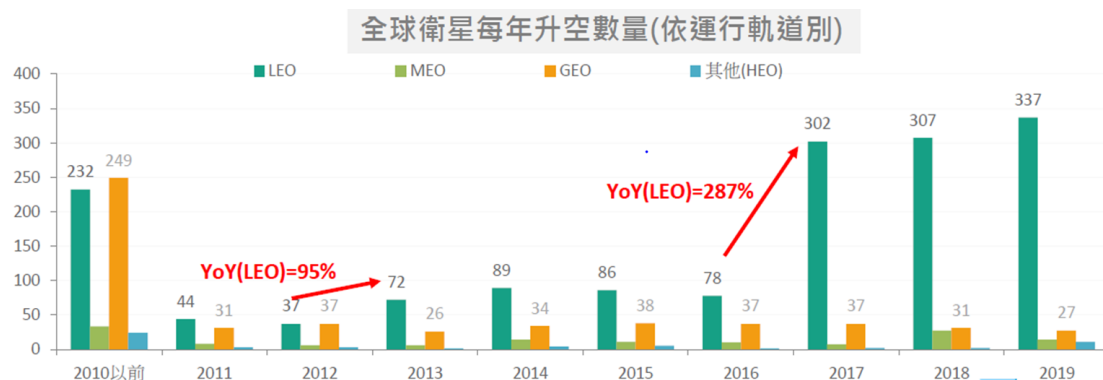
衛星軌道種類	低軌道(LEO)	中軌道(MEO)	地球同步軌(GSO)
距離(距地球表面)	300 公里到 2,000 公里	2,000 公里到 35,786 公里	35,786 公里
繞地球一周的時間	約 90 分鐘到 2 小時	約 2 到 24 小時 ¹	約 24 小時
需部屬的衛星數量	最多	中等	最少
訊號傳輸耗能	最少	中等	最高
訊號傳輸延遲性	約 25 到 120 毫秒	約 150 毫秒	約 500 毫秒

註 1：中軌道衛星繞行地球一周的時間約為 12 小時。

資料來源：國家太空中心林俊良前主任簡報資料⁴。

低軌道衛星因為發射成本低、研發週期短等，近年來用於地球觀測、氣象、科學研究探索、通訊、導航與國防監視等，可實現衛星網路覆蓋全球之目標，2017 年升空數量開始大幅度成長，年複合成長率達 44%，如圖 5-1.1 所示[13]。近年來，美國及歐洲正快速且大規模發展低軌道衛星，根據相關報導指出，後續將有 20,000 顆低軌道衛星在 2027 年前陸續升空。

⁴ 林俊良，台灣太空科技發展歷程、規劃與展望，2020。



資料來源：呂珮如，2020 [13]

圖 5-1.1. 衛星成長態勢

依據美國衛星產業協會(Satellite Industry Association, SIA)的調查與統計，2020 年，全球太空產值約為 3,710 億美元，其中，衛星產業可以再細分為衛星服務(Satellite Services)、地面設備(Ground Equipment)、衛星製造(Satellite Manufacturing)及發射產業(Launch Industry)，其產值分別為 1,178、1,353、122、53 億美元，佔太空總產值的 72.9%。依據相關報導指出，我國於 2020 年，衛星產業直接相關應用包含地面設備、衛星製造及發射製造仲介服務等，其產值約為 92 億元新台幣，包含 81 億元的地面設備及 10 億元衛星製造。⁵

另外，我國於 2021 年 6 月 16 日公布「太空發展法」，隨著第三期國家太空科技長程發展計畫開始執行，積極布局太空產業鏈，目前國家太空中心與國內產學研界合作開發各種抗太空輻射的相關設計，可思考如何協助我國半導體、電子組件輻射測試，以奠基台灣太空產業，並促進我國太空計畫發展與協助廠商布局太空產業。此外，為了更進一步推動太空相關技術的發展，國家太空中心、林口長庚醫院、長庚大學放射醫學研究院、原子能委員會核能研究所、中研院物理所、清大原科中心以及宜特科技股份有限公司，於 2020 年 7 月 21 日組成「台灣太空輻射環境驗測聯盟」，以完備我國太空環境檢測能量。

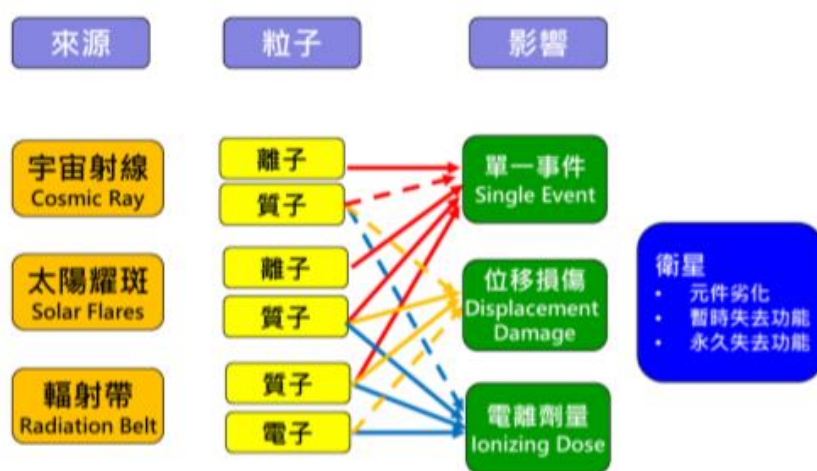
(2) 技術分析

蔡總統於 2020 年 5 月 20 日就職演說，將太空產業列為六大核心戰略產業，期望以太空產業的發展，能夠成為維持國家安全、促進經濟發展、提升民生福祉及科技進步，帶動國家總體發展的重要力量。此外，2021 年 5 月 31 日立法院院會三讀通過「太空發展法」，並於 2022 年 1 月 20 日正式施行，其作為我國第一部通過的國家太空法案，將可作為我國公部門及相關產

⁵ 莊衍松，2021 年，台廠進軍太空產業 三大障礙如何突破？

業的法律依據，其乃是奠定我國太空發展的重要且關鍵的一步。目前行政院已核定國家太空科技長程計畫第3期，自2019年至2028年，投入總預算259億元，規劃將在十年內要建造九顆自主衛星，以帶動國內太空產業。我國有著厚實的科研基礎，並在電子元件及半導體領域有很好的優勢及完整供應鏈，把一般電子元件升級成為太空規格，有助提升國內電子元件及半導體產業附加價值。

然而，衛星使用的半導體元件在太空中會受到來自地球輻射帶(Radiation Belt)、太陽耀斑(Solar Flares)及宇宙射線(Cosmic Ray)的太空輻射影響 [14]，太空輻射會與衛星上的電子元件或材料相互作用，造成總劑量效應(Total Dose Effect, TDE)、單事件效應(Single Event Effect, SEE)等而無法正常運作，如圖 5-1.2 所示，因此為了研發抗輻射晶片，輻射效應對半導體元件所造成的傷害與防治是非常重要的課題。總游離劑量效應產生的原因，主要是由於電子游離輻射的能量沉積在電子材料中，累積的劑量被電子材料吸收後，導致改變了元件的特性，進而導致永久性的失效無法使用；單事件效應產生的原因，則是由於具備高能量的質子，輻射進入了電子元件和電路中，留下了自由電荷並進而導致電子元件失效的情況，其一般包含了單事件翻轉(Single Event Flip)、單事件閉鎖(Single Event Latchup)、單事件燒毀(Single Event Burnout)、單事件暫態效應(Single Event Transient)。而在太空中，雖然輻射對於衛星的損害一般是無可避免的，但是透過元件的設計，可以進而降低太空輻射對於衛星的影響。



資料來源: 黃楓台、林俊良，2020。

圖 5-1.2. 太空輻射來源及其影響

(3) 專利池建立

本計畫使用 Derwent Innovation 全球專利資料庫，結合專家訪談，建立下述專利管理面及技術面分析所使用之專利池。本研究檢索流程如圖 5-1.3 所示，經過訪談台灣大學、國家太空中心及核能研究所的專家學者，其一致認為總劑量效應與單事件效應等事件為抗輻射晶片的關鍵字，依循此關鍵字去展開搜尋，經過反覆測試，陸續加入半導體、輻射加固等關鍵字作為檢索條件，逐漸將檢索範圍擴充，同時檢視專利內容是否與研究主題相符，例如某些抗輻射專利係指生物、醫學或建築材料塗層等相關，與本研究目的無關必須予以排除。

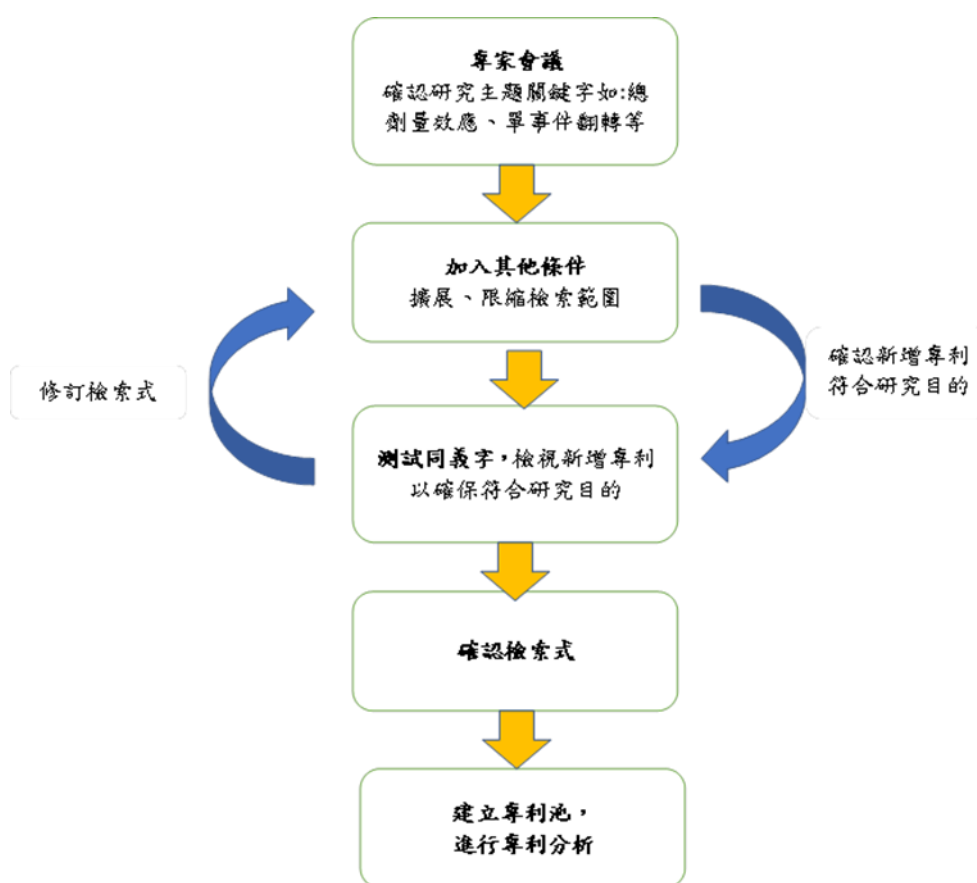


圖 5-1.3. 太空用積體電路檢索流程

其次，考慮相關同義字，進一步擴充專利池，因專利的關鍵字與同義字出現在專利文件中的位置不同，其重要性也不一樣，本研究分別在全文與專家重新繕寫之 Derwent World Patents Index (以下簡稱 DWPI)摘要中進行檢索。最後，在逐一加入同義字的過程中，透過人工判讀對於這些新增的專利篇數進行檢視，如果與本研究目的不符，再予以排除同義字，最後才確認檢索式並據以建立專利池。

本研究所使用之檢索式如下，其共包含 4,844 個 DWPI 專利家族。DWPI 專利家族為 Derwent 公司所定義之專利家族，其認定考量的因素有兩項，第一，除基礎專利外，各專利成員主張的優先權需完全相同；第二，已過優先權主張期間，若經 Derwent 專家判定其創作發明與基礎專利相同，亦納入家族成員。

檢索式：(ALL=(circuit* or semiconductor) AND (ALL=(Total ADJ Ionizing ADJ Dose* or total ADJ dose ADJ effect* or Total ADJ Dose ADJ Ionizing or effects ADJ of ADJ ionizing ADJ radiation or dose ADJ rate ADJ of ADJ ionizing ADJ radiation or Displacement ADJ Damage* or Single ADJ Event ADJ Effect* or Single ADJ Event ADJ Upset* or single ADJ particle ADJ effect* or Single ADJ Event ADJ Latch-up or Single ADJ Event ADJ Latchup or single ADJ particle ADJ latch* or Single ADJ Event ADJ Burnout or single ADJ event ADJ transient*) OR ABD=(radiation ADJ harden*)) AND PRYS>=(2000) AND PRYS<=(2020));

(4) 專利管理面分析

首先，如圖 5-1.4 所示，從優先權年來觀察太空用積體電路專利家族數量的申請概況，太空用積體電路相關技術的研發自 2000 年至今均呈現成長的趨勢，雖然 2020 年的專利數量明顯較少，但這主要是由於專利有 18 個月早期公開制度所導致，而從圖 5-1.5 專利權人數的統計資料，亦反應相同趨勢。目前因應太空產業的發展，預期未來應該有更多的應用技術跟專利會出現，或是說受惠於十幾年來的專利累積，才足以應用於太空探索領域，造成今日太空產業蓬勃發展的現況，但從整體的趨勢來看，尚未看到明顯的反轉點，整個曲線看起來還在成長期，但近期有機會步入成熟期。

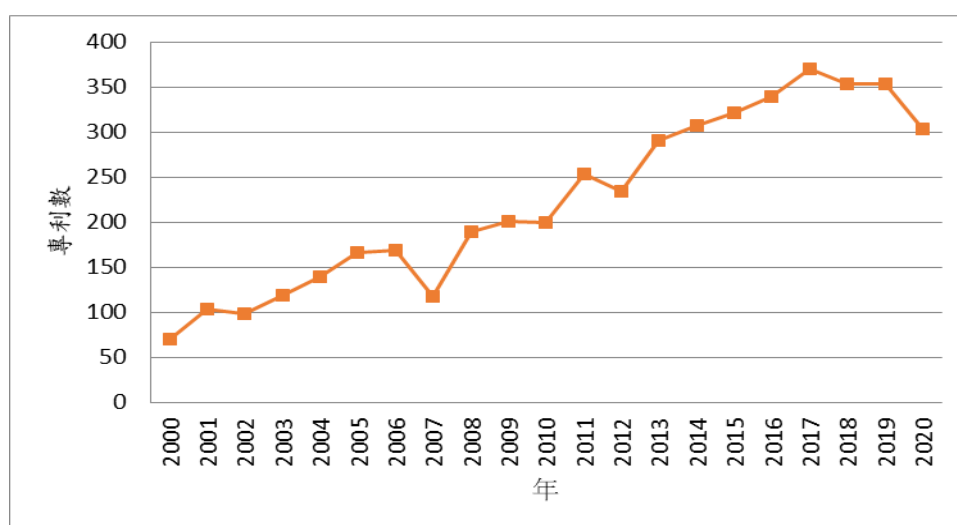


圖 5-1.4. 太空用積體電路於各優先權年之專利家族數

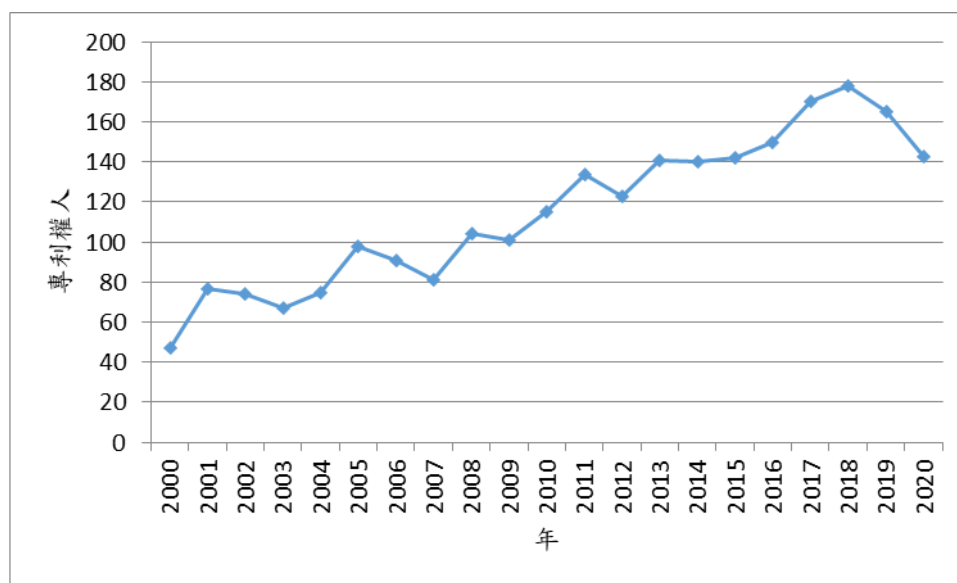


圖 5-1.5. 太空用積體電路歷年專利權人數

表 5-1.2. 專利權人分布情形

專利權人	中文名稱	專利家族數	國家
CENNAVI TECHNOLOGIES CO LTD	世紀高通	354	中國
CHINESE ACADEMY OF SCIENCE	中國科學院	215	中國
XILINX INC.	賽靈思	151	美國
HANGZHOU HIKVISION DIGITAL TECHNOLOGY CO LTD	海康威視數位技術	111	中國
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP	IBM	110	美國
HONEYWELL INTERNATIONAL INC.	漢威聯合	99	美國
GLOBAL FOUNDRIES INC	格羅方德	90	美國
ACADEMY OF MILITARY MEDICAL SCIENCES	中國人民解放軍軍事科學院軍事醫學研究院	90	中國
INSTITUTE OF MICROELECTRONICS OF THE CHINESE ACADEMY OF SCIENCES	中國科學院微電子研究所	79	中國
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY	哈爾濱工業大學	66	中國
STMICROELECTRONICS	意法半導體	58	瑞士
ARM HOLDINGS PLC	安謀控股	56	英國
FURUKAWA ELECTRIC CO. LTD.	古河電氣工業株式會社	53	日本
UNIV CHINA ELECTRONIC SCI & TECHNOLOGY	中國電子科技大學	50	中國
NORTHWEST INST NUCLEAR TECHNOLOGY	西北核技術研究所	50	中國

在太空用積體電路的專利權人方面，如表 5-1.2 所示，前三大專利權人分別是世紀高通科技有限公司 (CENNAVI TECHNOLOGIES CO LTD)，中國科學院(CHINESE ACADEMY OF SCIENCE)、美國賽靈思公司(XILINX INC.)等，其中世紀高通科技有限公司掌握的專利家族數最高達 354 個，中國科學院亦掌握 215 個的專利家族，美國賽靈思公司約持有 151 個專利家族，其他主要研發公司大多掌握 50 至 100 項的專利技術，其他重要專利權人與相關專利個數可參考表 5-1.2。另外，值得注意的是中國許多科研單位在相關領域的專利布局非常多，顯示中國在半導體太空應用領域的布局非常前瞻，其次是美國的公司如賽靈思、IBM、漢威聯合、格羅方德等國際大廠，其他國家如瑞士的意法半導體、英國的安謀控股與日本的古河電氣等公司皆有專利佈局。

(5) 專利技術面分析

本研究利用國際專利分類號進行相關技術的分類，其相關技術主要可分類為「A 邏輯電路；倒向電路(對應 IPC H03K 19/00)」、「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件(對應 IPC G01R 31/00)」、「C 錯誤檢測與校正(對應 IPC G06F 11/00)」、「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備(對應 IPC H01L 21/00)」、「E 半導體或其他固體裝置之零部件(對應 IPC H01L 23/00)」、「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置(對應 IPC H01L 27/00)」等 6 種技術類別，其 IPC 原始英文定義可參閱表 5-1.3。以下分別針對各項重要技術的發展趨勢進行說明。

表 5-1.3. 專利權人分布情形

技術分類	IPC	IPC 英文原始定義
A 邏輯電路；倒向電路	H03K 19/00	Logic circuits, i.e. having at least two inputs acting on one output; Inverting circuits
B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件(對應)	G01R 31/00	Arrangements for testing electric properties; Arrangements for locating electric faults; Arrangements for electrical testing characterised by what is being tested not provided for elsewhere
C 錯誤檢測與校正	G06F 11/00	Error detection; Error correction; Monitoring
D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備	H01L 21/00	Processes or apparatus specially adapted for the manufacture or treatment of semiconductor or solid state devices or of parts thereof
E 半導體或其他固體裝置之零部件	H01L 23/00	Details of semiconductor or other solid state devices
F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置	H01L 27/00	Devices consisting of a plurality of semiconductor or other solid-state components formed in or on a common substrate (details thereof H01L 23/00, H01L 29/00-H01L 51/00; assemblies consisting of a plurality of individual solid state devices H01L 25/00)

資料來源：本研究整理自<https://ipcpub.wipo.int/>

首先，在「A 邏輯電路；倒向電路」方面，如表 5-1.4 所示，該技術發展的高峰期在 2016 與 2018 年，每年約有 40 個相關技術的研發，2019 年相關專利申請降低至 28 次，然 2020 年相關專利雖仍未完全公開，但已有 28 個專利家族，因此其技術的研發是否達反轉點仍有待觀察。在「A 邏輯電路；倒向電路」技術領域中，以「A1 提高可靠性之修飾」與「A4 耦合裝置、介面裝置的應用」為太空用積體電路的主要技術；「A3 提高開關速度之修飾」相關的研發較少，但 2020 年有 2 個新專利技術的申請，未來可持續關注相關技術的發展。

在「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」方面，如表 5-1.5 所示，該技術發展的高峰期在 2016 與 2017 年，其分別有 47 與 52 個相關專利技術研發，雖然 2018 年專利研發數量有明顯的下降，但 2019 年則又明顯的回升，「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」較為主流的發展方向為「B3 電路之測量，如用信號故障檢尋器」，其中又以「B32 無觸點測試」、「B35 數位電路的測試」及「B36 用信號故障檢尋器等其他電路之測量」等電路測量方式的相關研發較多；除此之外，「B2 單個半導體裝置之測試」相關專利申請亦不少，且在近五年有明顯的增長，是未來值得關注的技術選項。

在「C 錯誤檢測與校正」方面，如表 5-1.6，主要是「C1 響應於錯誤之產生，例如：容錯」技術的開發是最為主流的技術，其中主要以「C111 對編碼資訊添加特定的位元或符號」的技術來達到容錯與錯誤檢測、校正的功能，特別值得注意的是「C 錯誤檢測與校正」技術在 2010 年後皆有明顯的增加趨勢，相關技術研發在 2018 年共有 54 個相關專利申請，然 2019 年呈現下降的趨勢，然 2020 年相關專利雖仍未完全公開，但已有 30 個專利家族，因此其技術的研發是否達反轉點仍有待觀察。同時，值得注意的是本研究觀察到「C2 於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體」、及「C3 監控」等技術是近期崛起的技術領域，特別是「C2 於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體」技術近五年專利申請有明顯的增加，是未來值得關注的技術選項。

「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」方面，主要發展技術為「D1 半導體裝置或其部件之製造或處理」及「D4 積體電路裝置或其部件之製造」。在「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」領域中可以發現，多數的技術均約在 2010 年左右達到專利申請的頂峰，之後申請量有所下滑，並於近五年有再度復甦的趨勢，其顯示了透過半導體製程的方式來研製抗輻射晶片，在近年度可能有相關技術的突破。

而「E 半導體或其他固體裝置之零部件」的相關技術研發約在 2010 年前後達到高峰，之後呈現下降趨勢，其主流技術為「E4 用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置」及「E5 用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置」，但其近年的專利申請均

較少，相關技術應已趨向成熟，而「E7 防輻射保護裝置」的技術，自 2010 年明顯的增加後，一直持續有相關技術的研發，是「E 半導體或其他固體裝置之零部件」技術領域潛在的研發方向，值得持續的關注。

最後，「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」的相關技術，其於 2009 年至 2016 年相關技術的研發較多，每年約有 30 個專利技術的申請，且於 2017 年至今有明顯的下降，其主流技術為「F2 包括有適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」，其特別以「F21 其基板為半導體者」的相關技術研發較多，此外，「F3 對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射」於 2014 年前後有較多的研發資源投入，但近年幾無相關專利的申請。

一般而言，太空中因輻射而造成損害的效應，分為總劑量效應與單事件效應。其中總劑量效應指的是一段時間所累積的輻射劑量達到一定程度，對於電子元件造成損害的情形；而單事件效應的範圍較廣，包含單事件翻轉、單事件閉鎖、單事件燒毀、單事件轉移等效應。針對太空用積體電路的功效及應用領域，本研究歸類出幾項關鍵字，由於本研究的關鍵字如總劑量效應、單事件效應等關鍵字屬於統計數據的性質，一般較易於專利說明書的實施例中呈現，因此本研究在統計時針對全文出現之相關關鍵字進行統計；而其餘的關鍵字，為了較為精準的統計相關專利的數量，本研究針對 Derwent Innovation 全球專利資料庫中，由專家重新擅寫過的 DWPI 摘要進行統計，以作為分析的基礎。

本研究探討之功效，主要聚焦於解決各類太空輻射效應，如表 5-1.10 所示，其可以分為總劑量效應與單事件效應兩大類，可以觀察到有關「a1 總劑量效應」的相關專利在 2008 年之後的數量有明顯提升的趨勢，並於 2016 至 2019 年成長趨緩，2016 至 2019 年成每年均仍約有 70 個左右的專利申請；而單事件效應包含「a4 單事件翻轉」、「a5 單事件閉鎖」、「a6 單事件燒毀」、「a7 單事件轉移」等效應，而「a3 單事件效應」所指乃是專利說明書中所提及單事件效應用詞，其主要乃是表示泛指相關之效應，而並非指包含所有單事件效應，分析結果中以「a4 單事件翻轉」的出現頻率最高，2011 年以後專利家族申請的數量都超過 100 個以上，2016 至 2018 年期間，每年有逾 200 個專利家族的申請；再其次為「a7 單事件轉移」與「a5 單事件閉鎖」等效應，解決「a7 單事件轉移」效應之功效研發，其專利申請於 2014 至 2016 年達到頂峰，每年約有 40 個相關專利申請，近年相關專利申請較少，其相關技術可能已趨向成熟，而有關解決「a5 單事件閉鎖」效應之功效研發，近年有明顯增長的趨勢，值得持續關注；而「a6 單事件燒毀」作為關鍵字的出現頻率明顯較少，顯示「a6 單事件燒毀」並非該領域主要聚焦的研究議題。

另外，本研究針對太空用積體電路的應用進行分析，如表 5-1.10 所示，其相關應用包含「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」、「b2 互補式金屬氧化物半導體」、「b3 可變電阻式記憶體」、「b4 動態隨機存取記憶體」、「b5 靜態隨機存取記憶體」、「b6 磁阻式隨機存取記憶體」、「b7 鐵電記憶體」等，其中，以「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」相關技術的研發最多，特別是 2010 年之後，「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」相關研發的數量有明顯的增加，顯示該技術的應用程度與重要性與日俱增。此外，近 10 年「b5 靜態隨機存取記憶體」每年均有 20 個以上的相關專利研發，推測主要是因為總劑量效應、單事件效應等主要影響到靜態隨機存取記憶體的存取有關。除了上述的應用外，「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b4 動態隨機存取記憶體」亦持續有相關技術的研發在進行。

表 5-1.4. 「A 邏輯電路；倒向電路」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
A 邏輯電路；倒向電路	6	6	17	6	22	17	22	12	24	20	16	26	15	28	32	25	39	40	40	28	28
●A1 提高可靠性之修飾	6	3	13	5	12	12	11	8	16	12	11	17	10	8	9	17	26	31	26	22	20
●A2 故障保險電路	0	0	1	1	5	5	5	5	3	4	2	1	2	1	6	1	4	1	4	2	0
●A3 提高開關速度之修飾	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
●A4 耦合裝置；介面裝置	0	3	9	3	14	6	11	5	10	8	4	12	8	17	25	9	17	12	18	8	9
●A5 按邏輯功能區分者	2	0	2	0	5	4	3	2	5	1	0	5	2	1	3	1	8	5	4	7	0
●A6 其他邏輯電路	0	0	0	0	0	2	4	1	3	5	5	3	0	6	1	2	1	3	2	1	2

表 5-1.5. 「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件	4	9	3	10	10	18	13	12	9	19	18	27	28	23	17	30	47	52	33	41	22
●B1 探測電纜，傳輸線或網路中之故障	1	0	0	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
●B2 單個半導體裝置之測試	3	1	0	1	3	3	2	7	2	1	2	8	1	6	3	9	13	19	5	14	7
●B3 電路之測量，如用信號故障檢尋器	1	9	3	8	7	15	12	9	7	13	14	18	19	11	10	20	29	30	22	24	9
●●B31 臨界測試，如利用改變供給電壓	1	1	1	1	1	0	0	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0
●●B32 無觸點測試	0	1	0	0	0	2	1	4	3	5	5	5	4	3	3	4	8	6	2	10	2
●●B33 類比電路之測試	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
●●B34 綜合類比和數位電路之測試	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	0
●●B35 數位電路的測試	0	1	1	1	1	0	2	2	3	7	6	7	6	3	4	5	8	11	10	3	2
●●B36 其他電路之測量，如用信號故障檢尋器	0	9	2	8	7	14	10	7	2	5	6	11	2	5	4	10	13	19	9	13	6
●B4 測試電源	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	1	2	0	1	0	0

表 5-1.6. 「C 錯誤檢測；錯誤校正」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
C 錯誤檢測；錯誤校正	11	12	13	28	19	31	20	16	27	31	25	40	26	53	53	53	47	46	54	46	30
●C1 響應於錯誤之產生，例如：容錯	8	8	10	21	8	11	6	6	19	16	15	25	24	33	42	45	40	36	44	33	23
●●C11 用資料表示中的冗餘碼作錯誤檢測或校正	4	5	6	6	5	4	2	4	10	7	5	7	14	17	14	20	21	18	16	21	16
●●●C111 對編碼資訊添加特定的位元或符號	4	3	6	6	3	3	2	4	7	5	4	6	13	16	12	20	20	18	16	21	16
●●C12 用運算中的冗餘作數據之錯誤檢測或校正	0	3	2	6	0	2	1	1	4	4	3	7	2	9	9	7	9	6	12	4	8
●●C13 用硬體中的冗餘作數據之錯誤檢測或校正	4	5	2	12	4	5	4	2	5	5	5	8	10	8	8	14	8	10	13	8	5
●●C14 其他，響應於錯誤之產生，例如：容錯	0	0	1	8	2	3	2	1	4	5	8	12	7	10	13	15	16	15	16	7	5
●C2 於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體	0	2	0	1	1	1	1	1	4	4	4	8	1	4	8	3	7	7	10	7	3
●C3 監控	0	0	0	2	0	1	3	1	0	2	5	2	1	4	1	1	2	2	5	3	2
●C4 利用軟體之測試或除錯以預防錯誤	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	6	4	3	1	0	3	6	3

表 5-1.7. 「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備	11	21	24	16	26	35	30	19	29	39	60	56	42	17	27	25	43	24	32	32	30
●D1 半導體裝置或其部件之製造或處理	7	14	14	10	16	25	20	11	10	18	39	36	16	12	17	18	19	10	19	26	25
●D2 於製造或處理過程中之測試或測量	3	0	1	1	1	0	1	2	0	2	2	6	1	0	3	0	2	2	1	3	1
●D3 特殊適用於製造或處理過程中半導體或電固態裝置的裝置	0	0	2	0	1	1	2	1	0	2	17	4	1	1	0	1	2	2	3	0	3
●D4 積體電路裝置或其部件之製造	5	9	14	9	16	18	14	9	20	24	27	24	28	11	9	9	25	11	16	8	4
●D5 其他製造或處理半導體之方法	2	1	2	1	7	3	6	1	2	4	4	4	1	1	0	1	2	0	0	0	0

表 5-1.8. 「E 半導體或其他固體裝置之零部件」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
E 半導體或其他固體裝置之零部件	3	4	0	3	13	11	12	4	8	20	23	16	14	12	8	16	15	9	10	6	12
●E1 容器；封接	0	0	0	1	6	1	1	1	0	0	2	1	2	1	0	2	2	3	0	0	2
●E2 封裝	1	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	1	2	2	0	5	3	2	1	2	1
●E3 冷卻裝置；加熱裝置；	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	7	0	2	4	1	2	0	1	1	0	0
●E4 用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置	0	2	0	1	0	1	1	0	4	8	16	2	2	4	0	1	1	0	1	1	0
●E5 用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置	0	2	0	0	0	0	4	1	2	12	17	1	2	4	1	1	3	3	2	0	0
●E6 加至半導體裝置上之標誌	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	2
●E7 防輻射保護裝置	2	1	0	1	5	4	1	2	1	6	7	11	4	3	6	9	8	5	7	4	7
●E8 其他目不包括者，用於半導體裝置之電結構裝置	0	1	0	1	6	5	2	0	1	3	2	3	5	2	0	2	1	1	0	0	1
●E9 其他半導體或其他固體裝置之零部件	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	10	4	3	1	0	3	1	2	1	0	0

表 5-1.9. 「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」逐年專利家族申請趨勢

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置	9	10	11	13	18	22	17	11	23	34	28	33	30	24	24	23	33	20	22	15	11
●F1 僅包括有於一公共絕緣基板上形成的被動薄膜或厚膜元件之裝置	1	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
●F2 包括有適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置	8	9	10	9	16	20	13	10	23	29	28	31	28	19	16	19	31	19	20	15	10
●●F21 其基板為半導體者	8	4	8	6	15	12	7	8	21	27	23	28	25	16	8	14	27	12	13	13	5
●●F22 其基板為非半導體者	1	5	2	3	1	7	2	3	0	7	19	10	10	3	3	5	3	3	1	2	0
●●F23 其他適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置	0	0	1	1	1	1	3	1	1	9	15	5	11	5	4	2	6	7	7	1	7
●F3 對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射	0	1	1	5	0	0	2	0	0	5	0	4	2	3	9	6	1	1	3	0	1
●F4 包括有用於光發射且至少有一個電位能障或表面能障之半導體元件者	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
●F5 包括有利用電—磁效應之元件者	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
●F6 包括無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2	0	1	1	0

表 5-1.10. 相關功效及應用逐年專利家族申請趨勢

	太空用積體電路相關效應統計																				
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
a1 總劑量效應	8	14	8	18	25	19	15	18	27	32	29	38	39	45	54	48	75	67	59	74	56
a2 位移效應	1	2	4	9	2	5	6	2	13	8	9	19	11	12	19	13	31	27	43	43	32
a3 單事件效應	9	8	3	4	6	25	22	14	26	29	21	37	24	28	35	28	45	39	39	39	25
a4 單事件翻轉	39	43	53	59	70	88	85	50	97	99	72	146	126	161	183	188	203	223	200	191	175
a5 單事件閉鎖	0	3	0	1	0	4	6	6	4	5	5	7	6	5	10	11	18	16	7	20	25
a6 單事件燒毀	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	3	1	1	1	3
a7 單事件轉移	3	2	3	1	8	23	8	10	29	37	17	27	23	31	40	28	40	35	17	31	10
	太空用積體電路相關應用統計																				
b1 現場可程式化邏輯閘陣列	0	4	10	16	19	11	13	10	18	20	15	28	24	34	46	27	38	35	36	33	34
b2 互補式金屬氧化物半導體	9	0	2	4	9	9	6	3	7	8	1	12	4	8	6	6	9	15	11	7	3
b3 可變電阻式記憶體	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1
b4 動態隨機存取記憶體	0	3	4	1	2	3	2	2	0	2	1	2	4	7	1	1	5	0	3	2	0
b5 靜態隨機存取記憶體	1	11	11	18	10	14	17	12	15	10	16	20	30	22	33	27	38	22	21	25	23
b6 磁阻式隨機存取記憶體	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	1	1	0	2	1	0	0	0	1
b7 鐵電記憶體	0	3	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0

從表 5-1.11 至表 5-1.16 的技術功效矩陣分析來看，可以發現「a1 總劑量效應」主要透過「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」及「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」等技術的研發來解決，其中又以「D1 半導體裝置或其部件之製造或處理」、「D4 積體電路裝置或其部件之製造」、「F2 包括有適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」為主要的發展技術；「a2 位移效應」則主要透過「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」、「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」、「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」等技術的研發來解決。

如前所述，有關太空用積體電路的應用，其單事件效應以「a4 單事件翻轉」、「a5 單事件閉鎖」、「a7 單事件轉移」為主要的研發議題，其中，「a4 單事件翻轉」是最為重要的效應，在本研究羅列的各大技術領域均有涉及，其中又以「C 錯誤檢測；錯誤校正」相關技術研發最為熱門，特別是有關「C1 響應於錯誤之產生，例如：容錯」的技術，其共有 353 個專利家族；而有關「a5 單事件閉鎖」效應，在「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」、「C 錯誤檢測；錯誤校正」、「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」及「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」技術領域都有相關研發進行；「a7 單事件轉移」則主要透過「A 邏輯電路；倒向電路」的技術研發來克服，特別是透過「A1 提高可靠性之修飾」為最主流的技术手段。

表 5-1.11. 技術功效矩陣分析：「A 邏輯電路；倒向電路」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
A 邏輯電路；倒向電路	39	3	104	371	19	0	126
●A1 提高可靠性之修飾	26	0	75	243	15	0	86
●A2 故障保險電路	6	0	14	42	2	0	21
●A3 提高開關速度之修飾	0	0	2	3	0	0	1
●A4 耦合裝置；介面裝置	16	3	41	163	4	0	51
●A5 按邏輯功能區分者	5	0	17	40	1	0	22
●A6 其他邏輯電路	2	0	17	24	3	0	15

表 5-1.12. 技術功效矩陣分析：「B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
B 電性能之測試裝置；電故障之探測裝置或固體器件	77	37	80	332	33	2	62
●B1 探測電纜，傳輸線或網路中之故障	1	0	1	2	0	0	0
●B2 單個半導體裝置之測試	27	17	14	68	7	0	14
●B3 電路之測量，如用信號故障檢尋器	32	6	64	226	22	1	44
●B4 測試電源	2	1	1	6	0	0	1

表 5-1.13. 技術功效矩陣分析：「C 錯誤檢測；錯誤校正」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
C 錯誤檢測；錯誤校正	49	12	85	516	22	1	49
●C1 響應於錯誤之產生，例如：容錯	35	8	59	353	21	0	35
●C2 於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體	4	3	15	60	2	1	9
●C3 監控	1	0	7	27	2	0	4
●C4 利用軟體之測試或除錯以預防錯誤	1	1	2	24	0	0	0

表 5-1.14. 技術功效矩陣分析：「D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
D 適用於製造或處理半導體或固體裝置或部件之方法或設備	182	46	74	263	30	7	38
●D1 半導體裝置或其部件之製造或處理	112	33	38	159	10	7	11
●D2 於製造或處理過程中之測試或測量	6	2	10	13	1	0	4
●D3 特殊適用於製造或處理過程中半導體或電固態裝置的裝置	3	5	8	10	0	0	6
●D4 積體電路裝置或其部件之製造	90	11	42	137	21	0	33
●D5 其他製造或處理半導體之方法	13	5	6	15	1	0	4

表 5-1.15. 技術功效矩陣分析：「E 半導體或其他固體裝置之零部件」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
E 半導體或其他固體裝置之零部件	74	10	34	90	7	2	23
●E1 容器；封接	13	1	2	10	0	0	1
●E2 封裝	5	3	1	6	0	0	1
●E3 冷卻裝置；加熱裝置；	3	0	7	6	0	0	6
●E4 用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置	3	0	10	23	2	0	10
●E5 用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置	5	2	13	24	1	0	11
●E6 加至半導體裝置上之標誌	1	0	8	9	0	0	9
●E7 防輻射保護裝置	42	4	15	45	3	2	5
●E8 其他目不包括者，用於半導體裝置之電結構裝置	12	0	2	11	3	0	2
●E9 其他半導體或其他固體裝置之零部件	4	2	6	12	1	0	6

表 5-1.16. 技術功效矩陣分析：「F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置」

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
F 自於一共用基片內或其上形成的多個半導體或其他固體元件組成之裝置	147	25	61	178	29	1	45
●F1 僅包括有於一公共絕緣基板上形成的被動薄膜或厚膜元件之裝置	5	1	1	2	0	0	0
●F2 包括有適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置	123	14	60	173	29	1	45
●F3 對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射	26	8	0	5	0	0	0
●F4 包括有用於光發射且至少有一個電位能障或表面能障之半導體元件者	1	0	0	0	0	0	0
●F5 包括有利用電－磁效應之元件者	0	0	0	0	0	0	0
●F6 包括無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者	0	0	2	5	0	0	2

表 5-1.17 為功效及應用的交叉分析，可以發現，在各類效應的探討中，均以「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」、「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b5 靜態隨機存取記憶體」為較熱門之應用，其中，「a4 單事件翻轉」於「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」及「b5 靜態隨機存取記憶體」為最熱門的研發項目，除此之外，「a4 單事件翻轉」在「b4 動態隨機存取記憶體」亦有不少的技術研發。

表 5-1.17. 功效應用矩陣分析

	a1 總劑量效應	a2 位移效應	a3 單事件效應	a4 單事件翻轉	a5 單事件閉鎖	a6 單事件燒毀	a7 單事件轉移
b1 現場可程式化邏輯閘陣列	46	11	76	407	20	1	34
b2 互補式金屬氧化物半導體	43	10	21	89	12	0	20
b3 可變電阻式記憶體	0	0	0	4	0	0	1
b4 動態隨機存取記憶體	6	2	5	32	2	0	2
b5 靜態隨機存取記憶體	58	10	63	322	23	0	27
b6 磁阻式隨機存取記憶體	0	0	1	4	0	0	1
b7 鐵電記憶體	1	1	3	6	0	0	3

(6) 技術發展策略研擬

本研究參考專利資訊用於技術策略規劃之文獻[17]，選用兩軸的指標進行專利技術策略組合的研擬，參考上述文獻進行設計並與專家訪談後，擬定以技術成長度及台灣學研界研發能量兩指標進行技術策略的研擬。

技術成長度指標考量了近年度專利活動的數量，以及透過近年專利佔比來結合時序的考量，指標定義如下：

技術成長度=該技術近五年專利家族申請數量×該技術近五年專利家族申請數量占近 20 年專利家族申請數量之比例

在前瞻技術領域中，當技術成長度較高時，表示該技術整體且近年相關的研發較多，其較有可能成為或正在成為未來主流的技术，並應用至主流的產品。

我國在半導體產業發展蓬勃，其一直有賴學界的研發及相關人才的輸送，因此，如表 5-1.18 所示，相關的技術研發不少，值得注意的是，本研究所使用之台灣學研界研發能量指標，目的在指出我國潛在能量的大小，因此，下表的統計數據，主要係基於學研界於全球專利中具有相關國際專利分類號的專利家族，並非僅針對太空用積體電路相關專利進行研發能量的定義，其近 10 年 (2011~2021 年)之統計如表 5-1.18。

表 5-1.18. 近 10 年學研界專利家族數量

	專利家族數量
A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾	13
A2 邏輯電路之故障保險電路	1
A3 邏輯電路之提高開關速度之修飾	1
A4 邏輯電路之耦合裝置	56
A5 邏輯電路按邏輯功能區分者	6
B1 電性能之測試裝置，如探測電纜，傳輸線或網路中之故障	35
B2 電性能之測試裝置，如單個半導體裝置之測試	46
B3 電性能之測試裝置，如電路之測量	76
B4 電性能之測試裝置，如測試電源	13
C1 錯誤檢測與校正，如容錯	65
C2 錯誤檢測與校正，於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體	17
C3 錯誤檢測與校正，如監控	77
C4 錯誤檢測與校正，如利用軟體之測試或除錯以預防錯誤	37
D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理	771
D2 半導體製程，於製造或處理過程中之測試或測量	69
D3 半導體製程，特殊適用於製造或處理過程中半導體或電固態裝置的裝置	104
D4 半導體製程，如積體電路裝置或其部件之製造	249
E1 半導體或零部件之容器、封接	27
E2 半導體或零部件之封裝	87
E3 半導體或零部件之冷卻、加熱裝置	76
E4 半導體或零部件之用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置	186
E5 半導體或零部件之用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置	151
E6 半導體或零部件之加至半導體裝置上之標誌	8
E7 半導體或零部件之防輻射保護裝置	12
F1 由多個半導體組成之裝置，如於一公共絕緣基板上形成的被動薄膜或厚膜元件之裝置	3
F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置	190
F3 由多個半導體組成之裝置，如對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射	65
F4 由多個半導體組成之裝置，如用於光發射且至少有一個電位能障之半導體元件者	47
F5 由多個半導體組成之裝置，如利用電—磁效應之元件者	12
F6 由多個半導體組成之裝置，如無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者	136

表 5-1.19. 我國學研界於各技術之研發能量排序

	專家 排序
A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾	11
A2 邏輯電路之故障保險電路	13
A3 邏輯電路之提高開關速度之修飾	14
A4 邏輯電路之耦合裝置	9
A5 邏輯電路按邏輯功能區分者	12
B1 電性能之測試裝置，如探測電纜，傳輸線或網路中之故障	23
B2 電性能之測試裝置，如單個半導體裝置之測試	21
B3 電性能之測試裝置，如電路之測量	18
B4 電性能之測試裝置，如測試電源	24
C1 錯誤檢測與校正，如容錯	20
C2 錯誤檢測與校正，於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體	10
C3 錯誤檢測與校正，如監控	17
C4 錯誤檢測與校正，如利用軟體之測試或除錯以預防錯誤	22
D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理	2
D2 半導體製程，於製造或處理過程中之測試或測量	19
D3 半導體製程，特殊適用於製造或處理過程中半導體或電固態裝置的裝置	16
D4 半導體製程，如積體電路裝置或其部件之製造	1
E1 半導體或零部件之容器、封接	25
E2 半導體或零部件之封裝	26
E3 半導體或零部件之冷卻、加熱裝置	30
E4 半導體或零部件之用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置	4
E5 半導體或零部件之用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置	5
E6 半導體或零部件之加至半導體裝置上之標誌	28
E7 半導體或零部件之防輻射保護裝置	27
F1 由多個半導體組成之裝置，如於一公共絕緣基板上形成的被動薄膜或厚膜元件之裝置	29
F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置	3
F3 由多個半導體組成之裝置，如對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射	7
F4 由多個半導體組成之裝置，如用於光發射且至少有一個電位能障之半導體元件者	8
F5 由多個半導體組成之裝置，如利用電—磁效應之元件者	15
F6 由多個半導體組成之裝置，如無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者	6

接著，以表 5-1.18 資料進行專家訪談，請專家就其對於我國學研界研發能量的認知，進行排序的調整，其排序的資料如表 5-1.19 所示。最後，將專家調整後的排序進行正規化，即為技術發展策略研擬所使用之台灣研發能量指標。當台灣學研界研發能量指標排序較高時，

表示我國過去相關技術項目產出具備商業價值的研發成果相對較多，由於在該技術項目的研發人員具備將其商業化價值的能力，因此相關技術項目未來將具備較大的商業化潛力。

有關技術策略排序的方法，本研究參考專利資訊用於技術策略規劃之文獻[17]，以我國正投入資源發展中，且具備成為未來主流技術可能性的矩陣圖區塊作為優先發展的 I 區，並以我國相對研發能力較強，且具備或正成為主流技術的矩陣圖區塊作為次發展序列的 II 區，此外，本研究參考傳統技術策略規劃中外卡技術的構想，研擬了具備成為未來主流技術可能性但我國研發結果尚不突出的區塊作為外卡 I 區，而我國研發能力極強但相關技術並非主流技術的區塊作為外卡 II 區，作為滿足特殊前置條件下可以考慮之外卡技術。

策略研擬的矩陣圖如圖 5-1.6 所示，優先發展的區域為 I 區，次發展區域為 II 區，以及特殊情況下可考慮的外卡區，若要選用外卡技術，各外卡區應當分別滿足下列條件：(1)外卡 I 區，該技術為我國近期投入且主力發展的技術；(2)外卡 II 區，經過評估後，該技術未來有潛力成為主流技術，具備極高的潛力及投資價值。各區的技術如下：

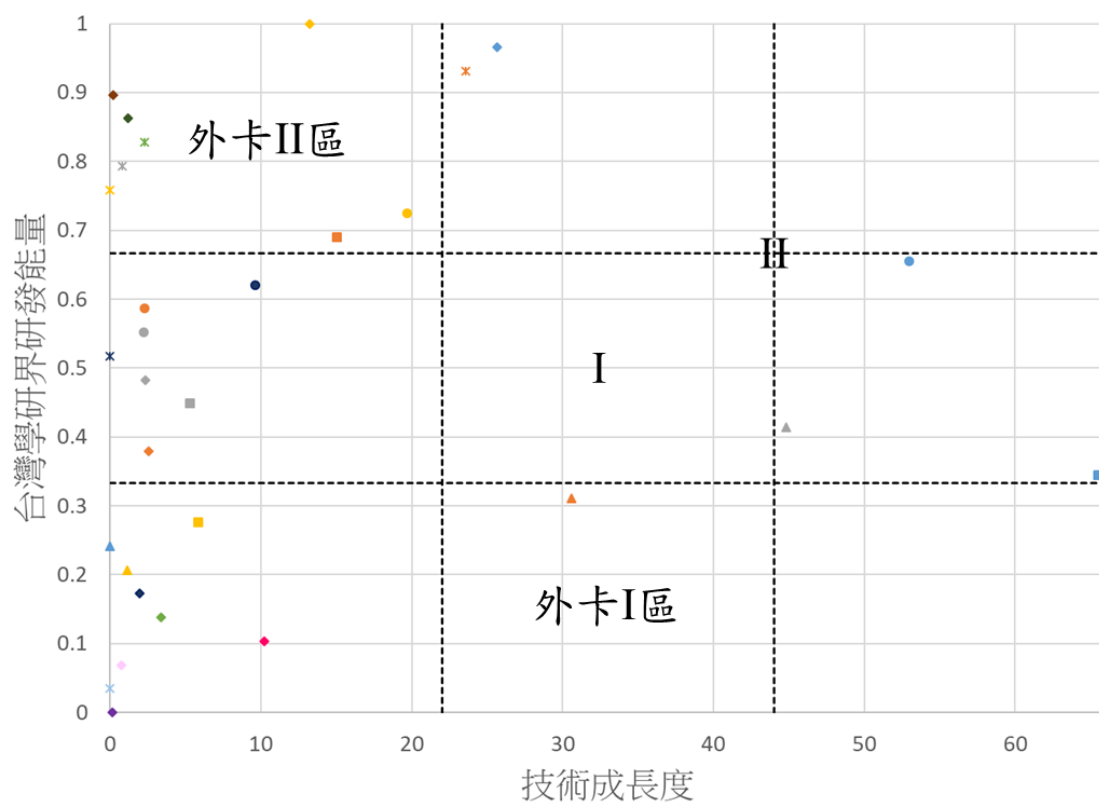
優先發展的 I 區：無相關技術。

次發展序列的 II 區：「D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」、「F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」、「A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾」、「B3 電性能之測試裝置，如電路之測量」、「C1 錯誤檢測與校正，如容錯」。

外卡 I 區：「B2 電性能之測試裝置，如單個半導體裝置之測試」。

外卡 II 區：「D4 半導體製程，如積體電路裝置或其部件之製造」、「E4 半導體或零部件之用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置」、「E5 半導體或零部件之用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置」、「F6 由多個半導體組成之裝置，如無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者」、「F3 由多個半導體組成之裝置，如對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射」、「F4 由多個半導體組成之裝置，如用於光發射且至少有一個電位能障之半導體元件者」、「A4 邏輯電路之耦合裝置」、「C2 錯誤檢測與校正，於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體」。

由上分析可知，整體而言較為適合我國進行資源投入研發的抗輻射積體電路技術主要為：「D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」、「F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」、「A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾」、「B3 電性能之測試裝置，如電路之測量」、「C1 錯誤檢測與校正，如容錯」。



- A1邏輯電路之提高可靠性之修飾
- A2邏輯電路之故障保險電路
- A3邏輯電路之提高開關速度之修飾
- A4邏輯電路之耦合裝置
- A5邏輯電路按邏輯功能區分者
- ▲ B1電性能之測試裝置，如探測電纜，傳輸線或網路中之故障
- ▲ B2電性能之測試裝置，如單個半導體裝置之測試
- ▲ B3電性能之測試裝置，如電路之測量
- ▲ B4電性能之測試裝置，如測試電源
- C1錯誤檢測與校正，如容錯
- C2錯誤檢測與校正，於待命運算或閒置期間，偵測故障電腦硬體
- C3錯誤檢測與校正，如監控
- C4錯誤檢測與校正，如利用軟體之測試或除錯以預防錯誤
- ◆ D1半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理
- ◆ D2半導體製程，於製造或處理過程中之測試或測量
- ◆ D3半導體製程，特殊適用於製造或處理過程中半導體或電固態裝置的裝置
- ◆ D4半導體製程，如積體電路裝置或其部件之製造
- ◆ E1半導體或零部件之容器、封接
- ◆ E2半導體或零部件之封裝
- ◆ E3半導體或零部件之冷卻、加熱裝置
- ◆ E4半導體或零部件之用於向或自處於工作中之固態物體通電之裝置
- ◆ E5半導體或零部件之用於在處於工作中之裝置內部由一個組件向另一個組件通電之裝置
- ◆ E6半導體或零部件之加至半導體裝置上之標誌
- ◆ E7半導體或零部件之防輻射保護裝置
- × F1由多個半導體組成之裝置，如於一公共絕緣基板上形成的被動薄膜或厚膜元件之裝置
- × F2由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置
- × F3由多個半導體組成之裝置，如對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射或較短波長之微粒子輻射
- × F4由多個半導體組成之裝置，如用於光發射且至少有一個電位能障之半導體元件者
- × F5由多個半導體組成之裝置，如利用電—磁效應之元件者
- × F6由多個半導體組成之裝置，如無電位能障或表面能障之用於整流、放大，或切換之固態元件者

圖 5-1.6 技術策略分析圖

從本研究的專利池案例來看，如表 5-1.20 交叉分析結果所示，「D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」及「F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」技術，主要可以用於「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發；「A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾」主要可用於「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」、「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發；「B3 電性能之測試裝置，如電路之測量」及「C1 錯誤檢測與校正，如容錯」技術，則主要可以用於「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發。此研究成果可作為原能會相關研發計畫研擬及資源投入之參考依據。

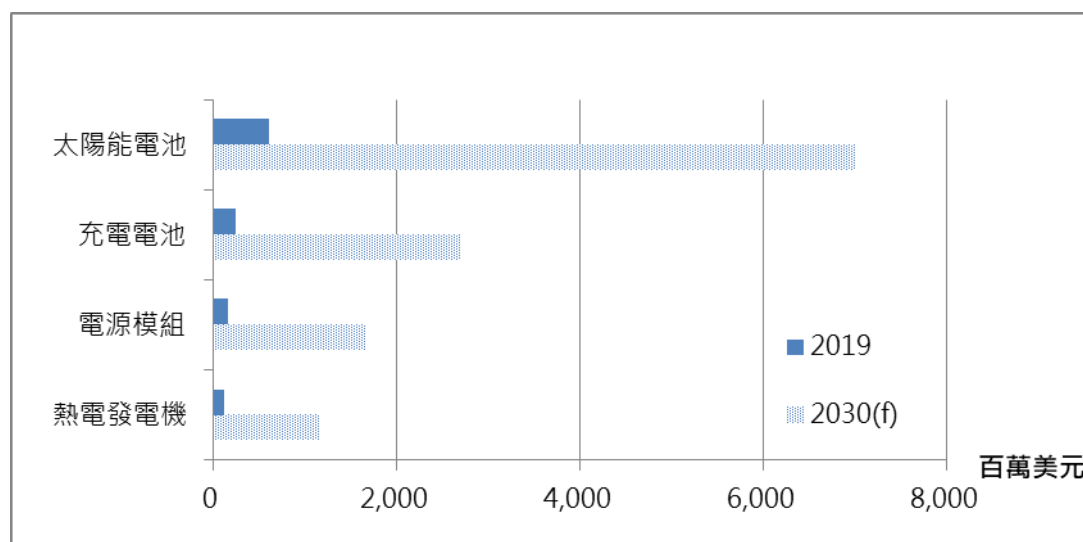
表 5-1.20. 研發技術對應應用項目之交叉分析

	b1 現場可程式化 邏輯閘陣列	b2 互補式金屬氧 化物半導體	b3 可變電阻式記 憶體	b4 動態隨機存取 記憶體	b5 靜態隨機存取 記憶體	b6 磁阻式隨機存 取記憶體	b7 鐵電記憶體
●D1 半導體裝置或其部 件之製造或處理	4	21	0	4	15	0	1
●F2 包括有適用於整流、 振盪、放大、切換之半導 體元件之裝置	14	52	1	9	67	1	2
●A1 提高可靠性之修飾	24	18	1	0	25	1	0
●B3 電路之測量，如用信 號故障檢尋器	62	2	0	2	31	0	0
●C1 響應於錯誤之產 生，例如：容錯	100	4	2	13	60	2	1

(二) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業之「抗輻射之電池製程」

(1) 市場分析

台灣目前電池製造業已經有技術成熟且成本低的優勢，而隨著近期低軌道衛星的大量發展，抗輻射電池將具備極大的市場潛力，只要加強抗輻射技術，未來將在太空科技領域極具產業價值。太空用電池之主要用途為電源供應，2020~2030 年太空用電源供應在不同衛星應用市場方面，以同步軌道衛星 (GEO) 年複合成長率約 19 % 最高，占比也最大(60%左右)，低軌道衛星 (LEO) 之年複合成長率約為 16% (BIS Research, 2020)，可見不論是傳統發展已成熟的同步軌道衛星，或者近年新興的低軌道衛星，都隨著商用及民生應用市場開拓而大幅成長。其中 MarketsandMarkets [15] 報告指出，衛星用之太陽能設備及天線市場將占衛星製造市場的 30%，年複合成長率達 25%，未來太陽能設備及天線之全球市場規模僅次於衛星酬載（如科學實驗的儀器、通訊設備等），且是成長率最高的項目。依照 BIS Research [16] 的預測，太空用電源供應市場中，2019 年太陽能電池之占比最大，2030 年亦然，且市場規模約為 2019 年的 7 倍左右(如圖 5-2.1)。由於我國有太陽能產業之基礎、又有半導體產業的優勢，在太空用之太陽能電池甚至電源系統的晶片整合，是值得研議的關鍵切入點，因此太空太陽能電池之專利布局特別值得關注。



資料來源：核研所重繪製自 BIS research，2020

圖 5-2.1. 太空用電源系統及太陽能電池 2030 年之市場成長潛力

(2) 技術分析

圖 5-2.2 為太空用電源供應之不同技術的成熟度。目前混合串聯型太陽能電池及 III-V 族多接面太陽能電池是最近 5 年可能大量進入市場之技術，有機太陽能電池及鈣鈦礦太陽能電池發展進程則較晚，可能仍需要 10 年左右的時間才能在太空市場中普及。而非太陽能電池之太空用電源供應技術較成熟的為核能相關技術，包含核分裂和核融合動力系統 (nuclear fission and fusion power system)，以及放射性同位素熱能發電機 (Radioisotope Thermoelectric Generator, RTG，或稱核電池) (如下圖之先進史特林放射性同位素發電機)，核電池乃是利用鈾 238 衰變所產生的熱能來進行發電，早就已經被廣泛用於遠距離行星探測器的動力來源，不過核電池的原材料鈾 238 最早是來自於核子武器製作的副產品，隨著各國不再生產核彈，鈾 238 之供應便變得稀缺，NASA 在 2021 年亦與洛克希德馬丁、金庫普集團、通用原子與 WX 科技公司等廠商合作，欲透過核分裂和核融合的物理研究研發核動力太空船。除了核能以外，燃料電池也是選項之一，但需克服的是燃料體積及重量問題，而鋰硫電池之用途大多為與太陽能電池搭配，在無日照時提供能量。其中僅太陽能電池直接曝露在宇宙輻射下，其它電池大多有太空載具外殼之保護，其需要的抗輻射技術並不如太陽能電池來得直接且必要，詳述如下。

太空用電池技術別	2018-2021	2022-2024	2025-2027	2028-2030
太陽能電池				
混合串聯型太陽能電池				
III-V 族多接面太陽能電池				
有機太陽能電池				
鈣鈦礦太陽能電池				
非太陽能電池				
High-power 燃料電池				
質子交換膜燃料電池				
再生性氫氧燃料電池(RFC)				
鋰硫電池				
先進史特林放射性同位素發電機				
核分裂和核融合動力系統				

研發階段	規範框架發展階段	測試階段	量產階段	技術淘汰階段

資料來源：核研所重繪製自 BIS research，2020

圖 5-2.2. 太空用電池技術之研發進程

太空用電池面臨了比地面更嚴苛的環境條件，如極端的溫度、輻射等，因此需要的技術規格與一般陸地使用的規格不同，其中，鋰電池、核電池或燃料電池等非太陽能電池，多依附在太空載具外殼抗輻射技術之保護，如電磁輻射偏轉屏障(deployed electromagnetic radiation deflector shield, DERDS)、帶正電之保護屏障；此外，相較抗輻射技術，對極端溫度的耐受度或是發射期間的耐震設計更顯常見且必要，例如太空用鋰電池之電解質材料對溫度較為敏感，以及對充放電之速度有特定的要求。若粗略地國際專利分類號-太空用非太陽能動力(B64G 1/42)與太空防輻射裝置(B64G 1/54)交集檢索，僅約 40 篇專利，且內容也多提到整體動力系統，顯少強調電池本身之抗輻射設計。但是，太陽能電池卻是必須直接曝露在太空輻射中，因此抗輻射之技術是相當必要的。此外本研究亦訪談太空中心有關太空用電池的抗輻射規格需求，由於輻射對於化學電池(如鋰電池)的影響一般並不明顯，因此，較少聽聞化學電池會特別進行輻射防護，相較之下，進行充放電管理的電路板較有進行輻射防護的需求，太空用的太陽能電池本身，在設計時較有抗輻射需求的考量，以及太陽能電池系統亦有考量抗輻射的必要性，因此本文後續之專利分析聚焦在太陽能電池之抗輻射相關技術布局。

太空輻射簡要來說主要有三個來源：太陽宇宙射線、銀河宇宙射線及地球輻射帶，包含了非游離輻射(低能量)及游離輻射(高能量)。游離輻射是由具有足夠能量的粒子組成，如 α 粒子(以非常高的速度移動的氦原子核)、 β 粒子(高速電子或正電子)、 γ 射線、X 射線以及來自銀河系的宇宙射線，這些粒子能夠將電子從其軌道上完全去除，從而產生帶正電的原子[14]。太空載具或衛星的任務持續時間以及軌道高度，決定了元件承受的游離輻射劑量，可能損壞半導體元件的高能量粒子包含范艾倫輻射帶(Van Allen belt)中的電子和質子、銀河宇宙射線、X 射線等。

太陽能電池即是利用半導體等材料產生光電效應(Photoelectric Effect)，將太陽光能(輻射)轉換成電能，簡要地說，當照射光線之能量大於半導體物質的能隙時，便會在內部產生自由電子-電洞載子對，在自由電子-電洞載子對再結合或被半導體內復合中心捕捉而消逝前，利用 p 型和 n 型半導體接合形成內部電場，可取出電流而獲得電力，因此利用不同能隙半導體發電層疊層吸收不同波長範圍之太陽光能量即可提高光電轉換效率[17]。

而太空中的太陽光強度是地表的 10 倍以上，因此太陽能電池在太空中，高能量粒子穿過太陽能電池可能會對電池造成位移損傷(Displacement Damage, DD)，即半導體材料受到中子、質子等高能量粒子輻照時，半導體材料的原子離開原晶格位置，使晶格產生位移損傷，所形成的晶格缺陷成為載子的複合中心，導致少數載子 (minority carriers) 的壽命降低，即擴散長度變短[14]，從而影響電池的光電轉化效率，位移損傷是漸進式地使半導體性能退化。

此外當電荷高速移動，會使電子設備產生感應而產生電流，電子電路工作參數發生變化，導致電子設備故障，太陽能電池若透過電子設備和電源管理系統整合，或者透過電子設備因應照射條件調整姿態時，這些功能也可能因為太空輻射而受損，不過，這類太空輻射對電子電路總劑量效應和單事件效應主要可能在電源管理系統發生，故不在本研究對電池單元或電池模組之研究範圍之內。

衛星表面有多重絕緣材料遭受了帶電粒子的轟擊後，當表面電荷不均勻產生的電位高過擊穿電壓時，將發生靜電放電。太陽能電池陣列是衛星表面面積最大、絕緣材料最多的組件，發生靜電放電的可能性最大。在某些情況下，會在太陽能電池陣列中的各個設備或導體之間產生危險的高壓，這些大電壓會導致災難性的靜電放電 (ESD) 事件。

另外太空輻射中能量較低的非游離輻射，包含無線電波、微波、紅外線、可見光和紫外線等，雖然不致於除去電子，但太空環境中的太陽能板與太空飛行器，因為缺少了大氣層和地球磁場的保護，太陽所釋放的紫外線輻射之光子能量更高，高能量光子，可能使部分材料發生自我氧化、降解，因此，紫外光的能量很可能使聚合物中重要的化學鍵產生斷裂，進而使聚合物材料性能大幅下降。

此外在太陽紫外光線的光致分解作用下，氧分子轉變為高活性的原子氧 (AtomicOxygen, AO)，由於在高真空加上低氣體總壓狀況下，氧原子與其他粒子發生碰撞再次複合的可能性很小，導致氧原子很難再次復合成氧分子，因此低地球軌道之原子氧濃度便較高。不少聚合物材料對原子氧反應敏感，當太空載具與原子氧碰撞，其表面的聚合物材料發生高溫氧化反應，便可能使電學、光學以及機械性能等產生退化，造成結構材料強度下降，或是功能性材料（如熱控塗層）損壞，對太陽能板本身的收合、太陽能板與太空飛行器的接合等元件都形成難題。

由於本研究聚焦於太空用電池之「抗輻射」電池製程，如前所述，根據專家訪談的結果，太空用的電池，太陽能電池在設計時較有抗輻射需求的考量，其餘電池本身較無考量抗輻射的必要，因此，本研究乃透過全球專利分析了解太空用太陽能電池之抗輻射技術種類、發展趨勢以及主要的技術布局廠商。

(3) 專利池建立

本計畫使用 Derwent Innovation 全球專利資料庫，先以國際分類碼及文字探勘分析，建立關鍵字集合，同時國際分類碼及關鍵字作為檢索條件進行較大範圍之框選，然後輔以人工篩選出與太空用抗輻射技術相關之專利。接著結合專家訪談，檢視檢索出之技術歸類，進而進行專利管理面及技術面分析。

國際專利分類號(International Patent Classification, IPC) H01L 31/041 之定義為「光伏 (PV) 轉換裝置之避免微粒輻射造成損壞的防護技術，例如，太空應用」(詳見表 5-2.1)，因此為最直接相關之分類號，本研究以國際專利分類號或合作專利分類號(Cooperative Patent Classification, CPC)為 H01L31/041 作為最基本的檢索條件。也以太空用太陽能電池有關之國際專利分類號、合作專利分類號及 F-term 分類號 (如表 5-2.1)，擴大專利池檢索範圍後然後搭配與抗輻射相關之國際專利分類號 B64G 1/54 (如表 5-2.1) 進行篩選。此外也以關鍵字擴大專利池檢索範圍(如表 5-2.2 之關鍵字檢索條件)，再逐一人工判讀是否與抗輻射相關，然後進行抗輻射技術、功效分類及統計分析。專利池建立之流程圖如圖 5-2.3，其中檢索範圍之示意圖如圖 5-2.4。

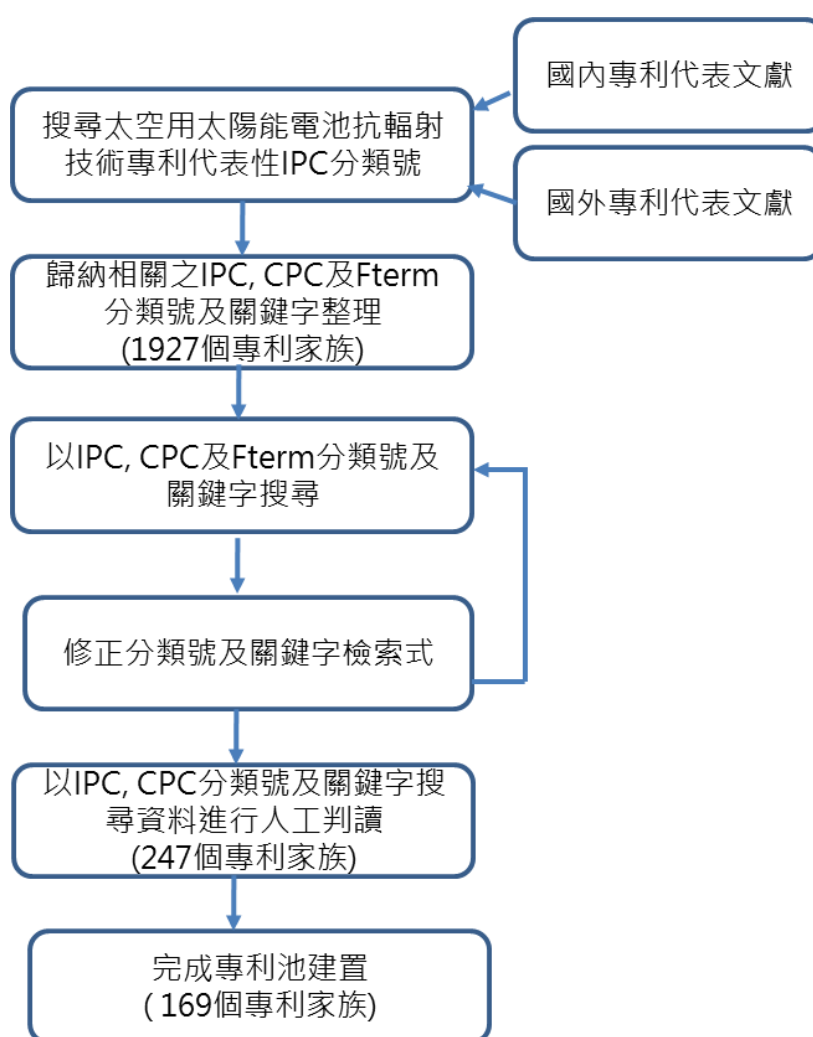


圖 5-2.3. 檢索策略流程圖

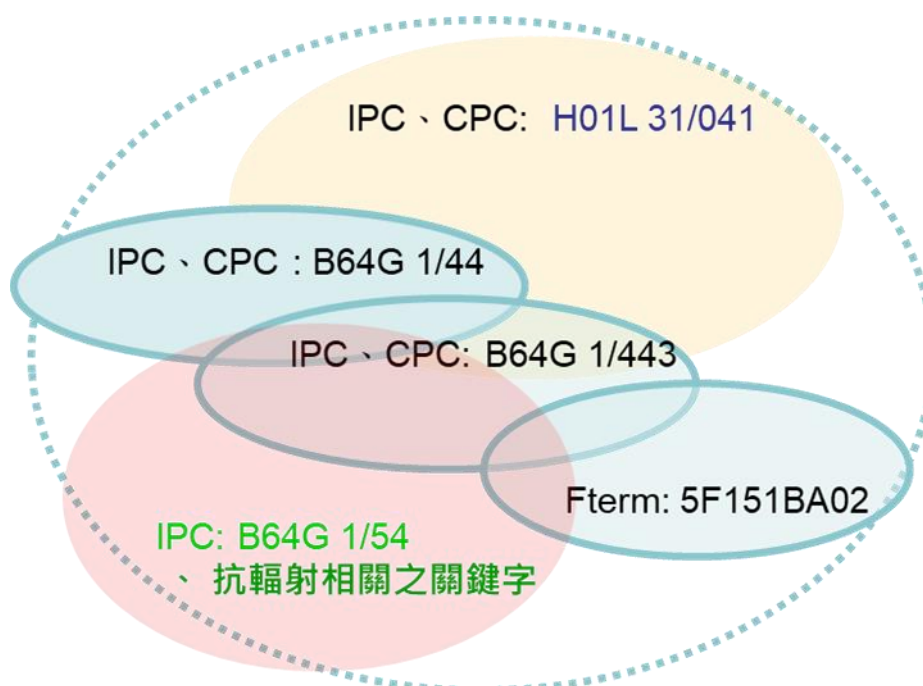


圖 5-2.4. 檢索策略示意圖

表 5-2.1 本研究檢索使用之專利分類號定義

分類號	定義
H01L31/041 (IPC、CPC)	電學/基本電氣元件/半導體裝置/對紅外輻射，光，較短波長之電磁輻射，或微粒輻射敏感者，且適用於將此種輻射能轉換為電能者，或適用於通過此種輻射進行電能控制之半導體裝置；製造或處理此等半導體裝置或其部件所特有的方法或裝置；此等半導體裝置之零部件/用作光伏（PV）轉換裝置者/ 避免微粒輻射造成損壞的防護，例如，太空應用
B64G 1/44 (IPC、CPC)	作業、運輸/飛行器；航空；太空航行/太空航行；及其所用的飛行器或設備/太空航行之飛行器/太空航行飛行器之部件或專門適用於裝入或裝至太空航行運載工具上之設備/動力供給系統之佈置或配置/ 利用輻射者，例如可展開的太陽能電池組
5F151BA02 (F-term)	5F151： 光伏器件 BA02： 用於衛星之光伏器件
B64G 1/54 (IPC、CPC)	作業、運輸/飛行器；航空；太空航行/太空航行；及其所用的飛行器或設備/太空航行之飛行器 /太空航行飛行器之部件或專門適用於裝入或裝至太空航行運載工具上之設備 /防護，安全或應急裝置；救生輔助設備/ 防輻射裝置

資料來源：本研究整理自 <https://topic.tipo.gov.tw/patents-tw/sp-ipcq-full-101.html> 及 <https://www.j-platpat.inpit.go.jp/p1101>

表 5-2.2.本研究檢索使用之專利檢索式

專利分類號檢索條件
AIC=(H01L0031041) AND PRYS>=(2000) AND PRYS<=(2021);
((AIC=(B64G000144 AND B64G000154) OR AIC=(B64G0001443 AND B64G000154)) NOT AIC=(H01L0031041))) AND PRYS>=(2000) AND PRYS<=(2021);
關鍵字檢索條件
((AIC=(B64G000144) OR AIC=(B64G0001443) OR FTC=(5F151BA02)) not AIC=(H01L0031041)) AND (ABD=((radioprotect*) OR (rad* ADJ protect*) OR (rigidit*)) OR (ABD=(((UV) or (Ultraviolet) OR (Particle*) OR (cosmic ADJ ra*) OR (proton*) OR (electrostatic*) OR (Electromagnetic*) OR (Oxide*) OR (ion*) OR (PID) OR (Potential ADJ Induced ADJ Degradation) OR (Metamorph*) OR (rad* ADJ dose*)) near10 ((shield*) OR (sunshade) OR (coat) OR (buffle) OR (film*) OR (membrane*) OR (barr*) OR (blanket*) OR (magnet*) OR (resist*) OR (anti*) OR (against*) OR (sheet) OR (thick) OR (radiator) OR (Aluminum) OR (Al) OR (Alloy*) OR (Metal*) OR (Polyimide*) OR (Polymer*) OR (Borosilicate*) OR (Eliminat*) OR (Isolat*) OR (Glass*) OR (hard*) OR (tolerant*) OR (protect) OR (Dop*) OR (Compound*) OR (Composite*) OR (Dop*) OR (Compound*) OR (Composite*)))))) AND (PRYS>=(2000) AND PRYS<=(2021));

(4) 專利管理面分析

由圖 5-2.5 各年度專利公開數量(以專利家族數量計算)趨勢來看，2006 年之後呈現逐年緩步增加，在 2005 ~2018 年間之專利申請數量大致呈上升趨勢，2010~2012 年明顯較多，但在 2013 年數量驟減，其原因可能是反應了 2011 年至 2012 年，太陽光電產業所面臨的景氣谷底，而 2015 年的專利申請數量減少但回到平穩之狀態，從圖 5-2.6 專利權人分布的趨勢來看，自 2004 年自今專利專人數量均呈現平穩，並無明顯的增加。因專利有 18 個月早期公開的制度，相關圖表專利數據僅至 2019 年的數據為完整公開之資訊，2020 及 2021 可能因仍處於保密狀態而未計入。

上述趨勢可能和更大技術範圍之專利趨勢有關，例如 III-V 族已是太空用太陽能電池主流技術，如圖 5-2.7 所示，III-V 族太陽能電池自 2005 年至 2009 成長了約 10 倍 (由每年 10 筆左右增加到每年近百篇)，而 III-V 族太陽能電池應用於太空衛星等用途之專利數量，如圖 5-2.8 所示，保守估計約有 180 個，明顯增加的時間則為 2006 年，每年專利數由個位數成長至 10~20 個不等，2010 年後專利申請又明顯增加，這和圖 5-2.5 中 2010 年~2012 年間之專利數量增加最多之時期相呼應，若作為未來太空用太陽能電池布局時，III-V 族太陽能電池應是值得再深入了解之處。

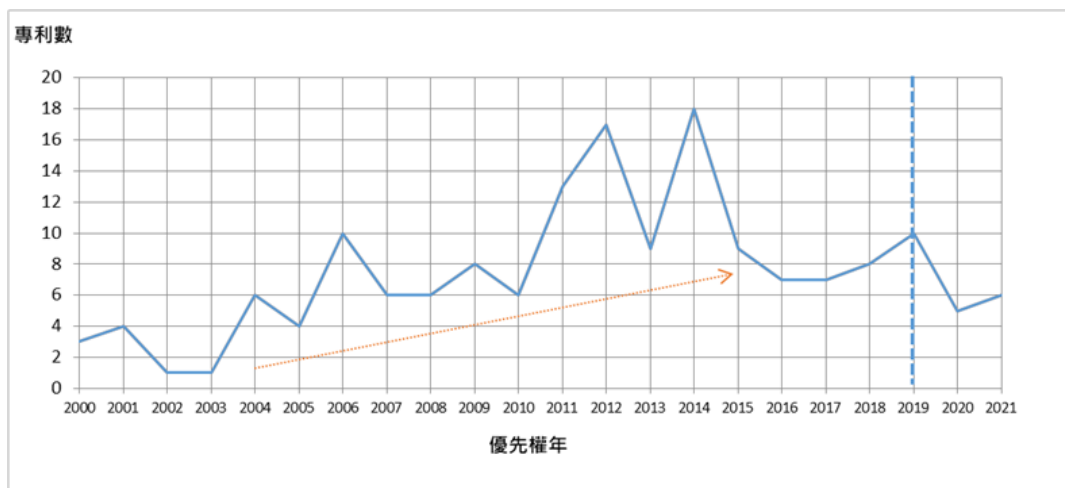


圖 5-2.5. 太空用太陽能電池抗輻射相關技術專利家族申請趨勢

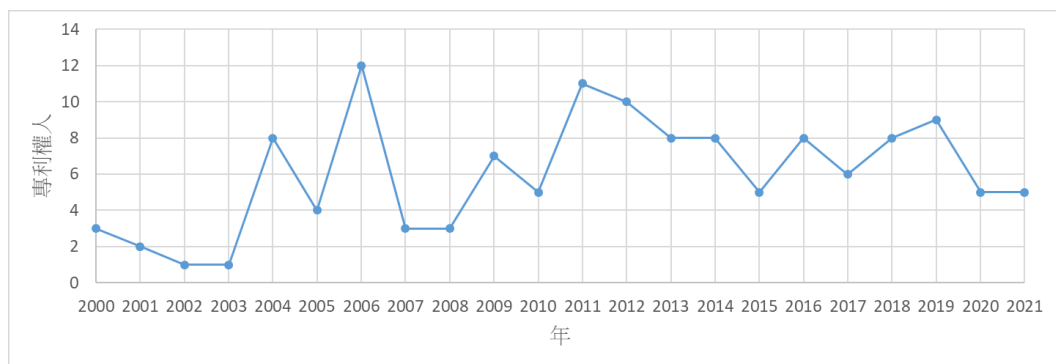


圖 5-2.6. 太空用太陽能電池抗輻射相關技術專利權人分布趨勢

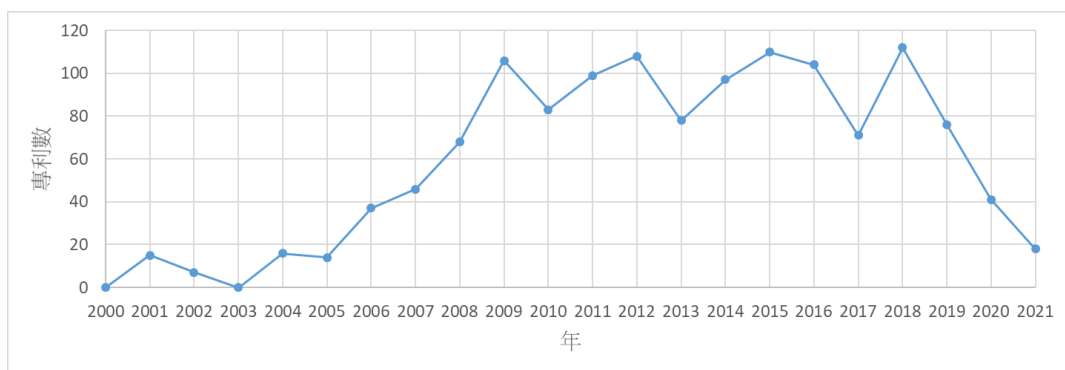


圖 5-2.7. III-V 族太陽能電池相關技術專利家族申請趨勢

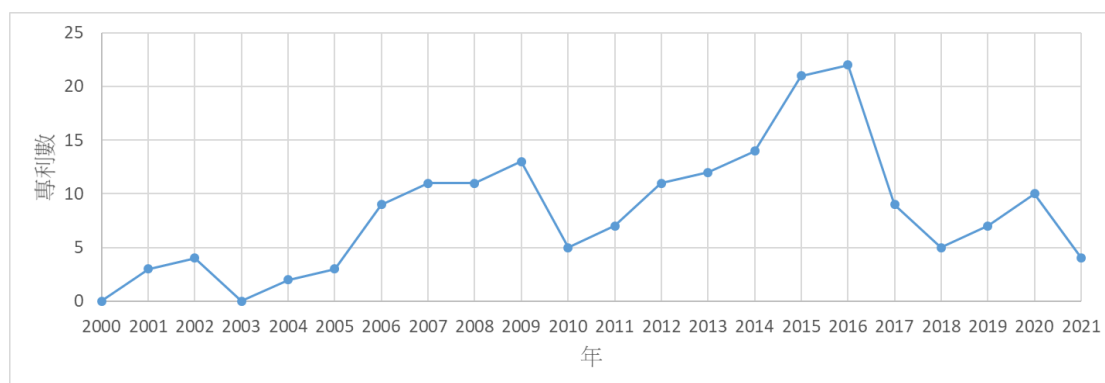


圖 5-2.8. III-V 族太陽能電池應用於太空衛星等用途相關技術專利家族申請趨勢

太空用太陽能電池專利布局之重要廠商包含世紀高通科技有限公司(Cennavi Technology Co., Ltd.，母公司為北京四維圖新科技有限公司，隸屬於中國航天科技集團公司)，美國 BOEING、美國 SOLAERO (2021 年底被小型衛星發射服務商 Rocket Lab 收購)、日本三菱電機、法國 THALES 等，另外 III-V 族是目前太空用太陽能電池商業化的主流，III-V 族用於太空太陽能電池專利布局之重要的廠商以 SOLAERO 仍占最大宗外 (包含其 2014 年併購的 EMCORE 公司)、BOEING (子公司含 SPECTROLAB)、德國弗勞恩霍夫應用研究促進協會 (Fraunhofer-Gesellschaft)、美國 AZURSPACE、SHARP、台積電等皆有布局，但專利數量皆與 SOLAERO 相差懸殊。不過因為其專利說明書內容多僅提及太空用，但未強調抗輻射之技術特徵，本文之研究範圍更聚焦在各種與抗輻射相關之技術特徵分析，因此後續統計分析之專利池內係再限縮於抗輻射技術。以專利布局數量來看，最多的為美國企業占約 50%，其次為中國大陸，太空用太陽能電池”抗輻射”專利布局最多的專利權人仍為 SOLAERO，其次為 BOEING、DEPLOYABLE SPACE SYSTEMS INC、EXCELITAS TECHNOLOGIES、AIRBUS DEFENCE & SPACE GMBH 等，中國大陸則有中山德華芯片技術有限公司 (隸屬明陽智慧能源集團股份有限公司)，以及前面提到的世紀高通科技有限公司。整理如表 5-2.3，專利權人反應了布局特定技術專利之廠商。此外，太空應用之市場規模因為近二年低軌衛星技術突破而快速興起，太空用電池(不論是太陽能或非太陽能)或電子電路元件之規格需求大幅提升，太空用途所需之規格可能介於商用規格和軍用規格之間，一些低軌道衛星對抗輻射之要求或許不那麼嚴格，部分規格較高的商用規格產品也可能因具有價格優勢而進入太空市場供應鏈，這類產品不一定在專利說明書裡特別強調是太空用途或具有抗輻射設計)，若基於以抗輻射或太空相關之分類號及關鍵字搜尋專利，上述產品之廠商便可能不在本文專利分析之範圍內，因此可以產業報告及市場調查報告的廠商資訊作為產業分析互補之用。

表 5-2.3.主要專利權人

專利權人	專利數量		
SOLAERO TECHNOLOGIES CORP	21	索埃爾科技公司	美國私有企業
BOEING CO. (子公司含 SPECTROLAB)	7	波音公司	美國私有企業
DEPLOYABLE SPACE SYSTEMS INC	5		美國私有企業，2021 被 redwire space 收購
EXCELITAS TECHNOLOGIES	4		美國私有企業
AIRBUS DEFENCE & SPACE GMBH	4	空中巴士國防太空	母公司為空中巴士，私有企業
ZHONGSHAN DEHUA CHIP TECHNOLOGY CO LTD	3	中山德華芯片技術有限公司	隸屬明陽智慧能源集團股份有限公司
SONY CORP	3	索尼	日本私有企業
SHARP CORP	3	夏普	母公司為台灣鴻海精密公司
NANCHANG KAIXUN PHOTOELECTRIC CO LTD	3	南昌凱迅光電有限公司	中國大陸私有企業
LOCKHEED MARTIN CORP.	3	洛克希德·馬丁	美國私有企業，以總營業額來看為全世界最大的國防工業承包商
INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORP (IBM)	3	國際商業機器公司 (IBM)	美國私有企業
EGYPT NANOTECHNOLOGY CENTTER (EGNC)	3	埃及納米技術中心	埃及政府單位
CENNAVI TECHNOLOGIES CO LTD	3	世紀高通科技	中國大陸私有企業，母公司為北京四維圖新，並隸屬於中國航天科技集團公司
CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY	3	加州理工學院	美國學術單位
AZUR SPACE SOLAR POWER GMBH	3		德國私有企業，2021 年被加拿大 5Nplus 收購
AYLAIAN ERIC	3	一般發明人	一般發明人
TONGWEI CO LTD	2	通威股份有限公司	中國大陸私有企業
THALES	2	泰雷茲集團	法國私有企業
TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK	2	丹麥技術大學	丹麥學術單位
SRI INTERNATIONAL	2	國際斯坦福研究所	美國非營利性科學研究機構

(5) 專利技術面分析

如前所述，太空中的高能粒子、高能質子可能毀壞或降低太陽能電池電力轉換效率，表面電荷不均勻產生的電位高過擊穿電壓時，將發生靜電放電。此外因為缺少了大氣層和地球磁場的保護，太陽所釋放的紫外線輻射之光子能量更高，可能使部分材料發生自我氧化、降解，足以使聚合物中重要的化學鍵斷，從而導致聚合物材料性能的急劇下降，因此提升太陽能電池對輻射能量的吸收轉換率外，屏蔽高能粒子、高能質子、移除多餘電荷、抗紫外線/氧化的封裝膜/塗層等都是太空用太陽能電池所需考量的抗輻射功能。

以下就太陽能電池抗輻射技術進行整理及分類，透過整理國際專利分類資料及專利說明書之內容，本研究整理出幾個重要的太空用太陽能電池抗輻射之技術，將應用於抗輻射的專利技

術分為 A 塗層/薄膜、B 蓋玻璃/蓋板、C 封裝膜/黏合劑、D 底盤收集電子、E 發射電荷、F 抗電弧電路(減弧電路)、G 半導體材料 (III-V 族、摻雜等)、H 多接面漸變能隙/順序、I 加吸收層/鈍化層、J 半導體層厚度、K 雙面吸收、L 特殊反射層/反射鏡/透鏡、M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)、N 縮小電池單元、模組化、O 特殊背面/底層/基板/後觸點、P 偵測並控制開關/收放、Q 安裝散熱器、R 改變形狀等 18 種 (整理如下表 5-2.4)。

透過這些技術可達到 1.屏蔽/過濾、2.導電/放電、3.增加吸收度/耐受度、4.退火(Annealing)恢復、5.減少暴露時間/面積、6.分散發電單元、7.導熱、8.減少電荷聚集等不同功效，降低太空輻射造成的損害，而實現太空用太陽能電池抗輻射之目的 (見表 5-2.4)。專利數量較多功效的大致集中在前三種，說明如下：

1.屏蔽：一般地面所用的抗輻射技術，主要是以金屬屏蔽方式作為防護，不過太空輻射的能量大、穿透力強，便需要更厚的金屬屏蔽才能抵抗，重量即是一個問題，太陽能板必須透光才能發電，因此玻璃防護蓋/層是一般常見的物理保護裝置，不過玻璃防護蓋/層在太空使用時，會受到高能粒子的撞擊（離子，質子及中子等），讓玻璃表面的光潔度，透光率等性能受到影響，使太陽能電池的光電轉換效率降低。輻射穩定的玻璃是鈾摻雜的玻璃或硼矽酸鹽玻璃並含有氧化鈾(透過加入鈾來防止變黑)。但典型的玻璃蓋玻片厚度在約 2~12 毫英寸(密爾, mil) 範圍內以允許加工而不會破損，以及用於附著蓋玻片的矽酮液體或壓敏黏合劑，其範圍為約 2~3 毫英寸的厚度，但若將玻璃蓋玻片應用於軟性(柔性)太陽能電池，則需將其減薄以達到柔軟性，但超薄玻璃蓋板製作困難、極易破損，超薄玻璃蓋板的極限彎曲半徑也無法完全體現柔性太陽能電池的優勢。因此以塗層/塗膜屏蔽亦是一替代方法，如聚醯亞胺薄膜。

2.將多餘的能量抵銷/偏轉/導電/放電：太陽能電池陣列的陽光照射面帶正電。陣列表面和底盤之間產生的電位差可以從數百伏到數千伏，並且會隨著時間的推移而增加，太陽能電池陣列的背面可以塗上一層導電塗層，以將陣列接地到太空電漿(the space plasma)，或是以電漿發射器來抵銷累積在表面的正電。

表 5-2.4.抗輻射之技術及功效分類

技術	功效
A 塗層/薄膜	1 屏蔽/過濾
B 蓋玻璃/蓋板	2 導電/放電
C 封裝膜/黏合劑	3 增加吸收度/耐受度
D 底盤收集電子	4 退火恢復
E 發射電荷	5 減少暴露時間/面積
F 抗電弧/滅弧電路	6 分散發電單元
G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)	7 導熱
H 多接面漸變能隙/順序	8 減少電荷聚集
I 加吸收層/鈍化層	
J 半導體層厚度	
K 雙面吸收	
L 特殊反射層/反射鏡/透鏡	
M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)	
N 縮小電池單元、模組化	
O 特殊背面/底層/基板/後觸點	
P 偵測並控制開關/收放	
Q 安裝散熱器	
R 改變形狀	

3.提升太陽能電池本身之耐受度/吸收度:陸地用太陽能電池目前已大規模商業化之技術為結晶矽半導體電池，不過以矽晶做成的太陽能電池的轉換效率，除了受僅能吸收 1.1 電子伏特以上的太陽光能所限制外，反射光造成的損失、材料對太陽光的吸收能力不足、因材料中的缺陷以及異質材料的接面而使得載子擴散長度變短等諸多因素，也都會使效率不夠理想。而化合物半導體中的化合物通常由兩種或更多元素的原子構成，其組合方式很多，依據不同的材料特性，能設計出耐高溫、抗高電壓、抗輻射等元件產品，太空太陽能電池最常見的化合物半導體，乃由周期表的三族與五族元素(III-V 族半導體)構成，例如：GaAs 或 InGaP 化合物材料具有理想的光學帶隙以及較高的吸收效率、抗輻照的能力強、對熱不敏感，III-V 族半導體也能與傳統矽晶的異質整合，但因為材料的成本較高，因此地面應用之普及率低，但對太空用途來說，因為應用價值高，故美國太空總署(NASA)早在 1950 年代就將該技術用在火星探測。選用輻射耐受性較強的材料，如前述之 III-V 族化合物半導體，作為太陽能電池之材料，是目前的主流。此外多接面 (多結或串連)太陽能電池，即將具有兩個或多個帶隙不同的太陽能子電池串連，並按帶隙遞減的順序排列太陽能子電池，使高能輻射被第一個太陽能子電池吸收，能量較低的光子通過第一個太陽能子電池並被隨後的太陽能子電池吸收，因此將每個子電池設計用於吸收特

定波段的光子，未被吸收並轉化為電能的光子傳播到下一個子電池，直到光子將被充分捕獲並轉化為電能。因此從子電池的材料、摻雜劑、帶隙、順序、及厚度等，都可作抗輻射的考量。

除了上述達成 1 屏蔽/過濾、2 導電/放電、3 增加吸收度/耐受度外，4 退火恢復、5 減少暴露時間/面積、6 分散發電單元、7 導熱、8 減少電荷聚集等則是達到較特殊功效，減低輻射損害以實現抗輻射目的之專利案例。

從抗輻射之專利技術特徵來看技術的發展，透過 A 塗層/薄膜或 B 蓋玻璃/蓋板達到抗輻射目的之專利從 2000 年便已出現，且相對平均，幾乎每年都有，A 塗層/薄膜 (圖 5-2.9 淡橘色) 相較 B 蓋玻璃/蓋板 (圖 5-2.9 深橘色) 在近 5 年之數量增加得更多，可能原因在於輕量化之趨勢，以及可撓式(軟性或柔性)太陽能板在太空之應用增加。A 塗層/薄膜除了用在頂層屏蔽部分輻射能量、抗原子氧耐紫外線外，也被應用在導電或是聚光反射，因此應用之範圍很廣，因此在各年度持續有相關技術的研發。

下圖淡藍色線條填滿之技術則是著重在太陽能電池晶片本身，包含 G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)、H 多接面漸變能隙/順序、I 加吸收層/鈍化層，J 半導體層厚度等， III-V 族多接面太陽能電池之專利說明書中強調抗輻射的專利數量逾 20 件，占本研究分析專利池的 1/6，且 2007 年開始便持續有相關技術的研發。

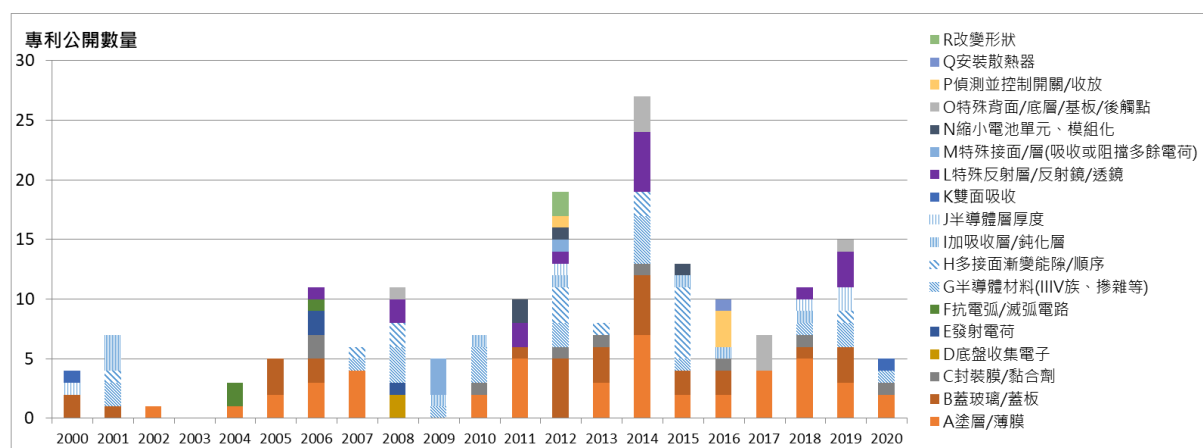


圖 5-2.9.抗輻射技術特徵專利家族數量趨勢圖

圖 5-2.9 中的 L 特殊反射層/反射鏡/透鏡，由於不論是早期的矽晶材料或是 III-V 族材料皆有搭配使用之案例，以 III-V 族多接面電池為例，會依太陽能波長設計吸收材料的順序，面對太陽光第一層所接收到的輻射最強，便可能加厚耐輻射程度較強的第一層子電池，並減薄第二層來減少損傷之機率，但因此會在底層放一個反射層如布拉格反射鏡(Bragg reflector)，使光反射回子電池來增加光吸收的效率，因此 L 類之技術出現之頻率亦不低，幾乎每年都有相關技術

的研發，而 O 特殊背面/底層/基板/後觸點約 2~3 年零星的進行專利申請。抗輻射技術中的 D 底盤收集電子、E 發射電荷、F 抗電弧/滅弧電路、以及較為特殊的 P 偵測並控制開關/收放、Q 安裝散熱器及 R 改變形狀等亦集中在少數年份出現。

圖 5-2.10 則是以各種抗輻射之功效來看專利之特徵及專利申請的年份，1 屏蔽/過濾以及 3 增加吸收度/耐受度仍占大宗，此外 3 增加吸收度/耐受度在近 5 年出現的數量似乎有趨緩之現象，可能和 III-V 族太陽能電池技術應用於太空趨於成熟有關 (如圖 5-2.2，市調報告顯示 III-V 族太陽能電池 2018 年已由研發階段進入測試階段，2025 年則進入量產階段)。接下來則依技術及其達到的功效進行統計分析。

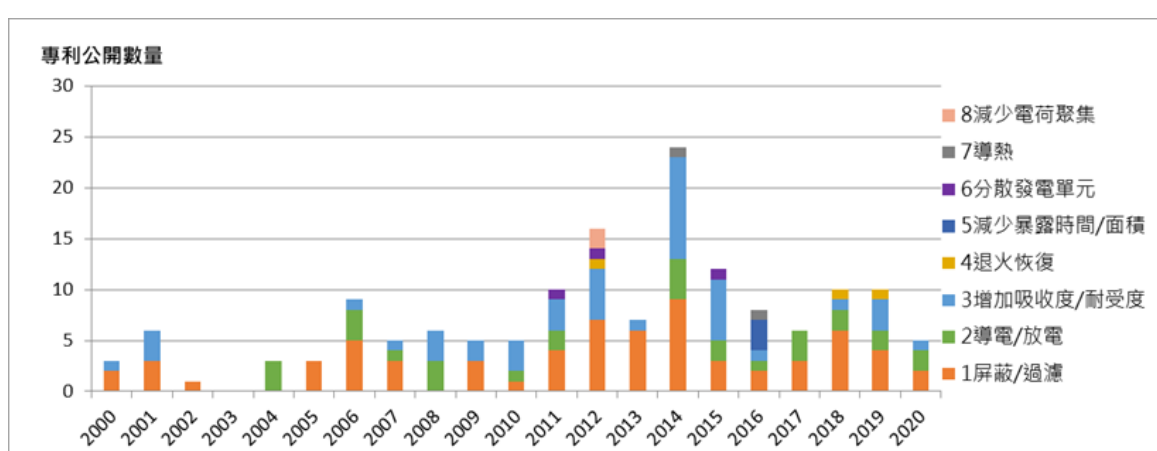


圖 5-2.10.抗輻射功效特徵專利家族數量趨勢圖

如表 5-2.5 所示，以下以達到抗輻射目的之 1~8 等不同功效途徑，來看近年採用之技術類別，數量較多者以藍底色標示，數量不多但集中在近 5 年出現者以黃底色標示。

1 屏蔽/過濾：透過 A 塗層/薄膜或 B 蓋玻璃/蓋板皆可能有屏蔽高能粒子、過濾部分輻射能量之功效，而達到抗輻射之目的，但使用 B 蓋玻璃/蓋板最多集中在 2011~2015 年，近 5 年反而較少。如前所述，因為有不少案例是利用 A 塗層/薄膜技術達成導電/放電之功效，所以出現的頻率和年份較平均。1I 和 1M 則出現在 2012 年之前，主要是因為早期矽晶需要 I 加吸收層/鈍化層在頂層過濾有害輻射來防止劣化，及以 M 特殊接面/層來吸收或阻擋多餘電荷。

2 導電/放電：導電或放電是用來解決無法吸收的多餘電荷，近年透過 A 塗層/薄膜及 C 封裝膜/黏合劑、O 特殊背面/底層/基板/後觸點等技術達成此導電或放電功效之案例較多，而 D 底盤收集電子、E 發射電荷、F 抗電弧/滅弧電路等技術方式近年則較少出現。

3.增加吸收度/耐受度：由於太空用之設備發射成本昂貴，重量和體積愈小愈好，但太陽能板通常需要一定的面積收集能量，因此提高光電轉換效率、電池串連即是一主要解決方式，G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)、H 多接面漸變能隙/順序、J 半導體層厚度、L 特殊反射層/反射鏡/透鏡等技術通常是相互搭配或關連的，III-V 族則透過串連(多接面或多結)，並按帶隙遞減的順序排列的太陽能電池，其中調整子電池厚度並搭配 L 特殊反射層/反射鏡/透鏡，以充分利用、吸收不同波長的輻射能量。因此 3G、3H、3L 出現的專利數量都較多。

4 退火恢復：主要用於含有鋰或氫的太陽能電池，此類技術特徵的專利雖然少但公開時間非常新(2018、2019 年)，且是應用於矽晶材料上。5.減少暴露時間/面積則是透過 P 偵測並控制開關/收放，偵測輻射累積量，然後摺疊、收合太陽能電池，多應用在可折疊的太陽能電池及可撓式太陽能陣列(flexible blanket array)，集中出現在 2016 年。6.分散發電單元，是將風險分散的概念，允許部分電池單元損壞，也用在可折疊的太陽能電池及可撓式太陽能陣列，但近 5 年未出現此技術，此外可折疊的太陽能電池及可撓式太陽能陣列也透過 7 導熱 (利用散熱基板)和 8 減少電荷聚集來達到抗輻射之目的，但 7 導熱和 8 減少電荷聚集之技術在近 5 年也較少見。

表 5-2.5.技術功效矩陣分析

技術 \ 功效	1 屏蔽/ 過濾	2 導電/ 放電	3 增加吸 收度/耐 受度	4 退火恢 復	5 減少暴 露時間/ 面積	6 分散發 電單元	7 導熱	8 減少電 荷聚集
A 塗層、薄膜	32	15	2	0	0	0	0	0
B 蓋玻璃、蓋板	29	1	0	0	2	0	0	0
C 封裝膜、黏合劑	5	5	0	0	0	0	0	0
D 底盤收集電子	0	2	0	0	0	0	0	0
E 發射電荷	0	3	0	0	0	0	0	0
F 抗電弧(滅弧)電路	0	3	0	0	0	0	0	0
G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)	1	0	18	3	0	0	0	0
H 多接面漸變能隙/順序	0	0	18	0	0	0	0	0
I 加吸收層/鈍化層	3	0	6	0	0	0	0	0
J 半導體層厚度	0	0	5	0	0	0	0	0
K 雙面吸收	0	0	2	0	0	0	0	0
L 特殊反射層/反射鏡/透鏡	0	0	16	0	0	0	0	0
M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)	4	0	0	0	0	0	0	0
N 縮小電池單元、模組化	0	0	1	0	0	3	0	0
O 特殊背面/底層/基板/後觸點	1	6	1	0	0	0	1	0
P 偵測並控制開關/收放	1	0	0	0	3	0	0	0
Q 安裝散熱器	0	0	0	0	0	0	1	0
R 改變形狀	0	0	0	0	0	0	0	2

(6) 技術發展策略研擬

本研究參考專利資訊用於技術策略規劃之文獻[18]，選用兩軸的指標進行專利技術策略組合的研擬，參考上述文獻進行設計並與專家訪談後，擬定以技術成長度及台灣學研界研發能量兩指標進行技術策略的研擬。

技術成長度指標考量了近年度專利活動的數量，以及透過近年專利佔比來結合時序的考量，指標定義如下：

技術成長度=該技術近五年專利家族申請數量×該技術近五年專利家族申請數量占近 20 年專利家族申請數量之比例

在前瞻技術領域中，當技術成長度較高時，表示該技術整體且近年相關的研發較多，其較有可能成為或正在成為未來主流的技術，並應用至主流的產品。

由於我國學研界目前在抗輻射電池相關的技術專利極少，若只針對太陽能電池抗輻射的專利分類號(H01L31041)進行查找，恐無分析比較之意義，再者，本研究所提出之台灣學研界研發能量指標，目的在指出我國潛在能量的大小，因此，下表的統計數據，主要係基於學研界於全球專利中 A~R 相關技術所對應 IPC 或 CPC，部分並和太陽能電池作交集檢索，得到我國學研界相關技術的專利家族數量，將其作為台灣學研界研發能量指標的主要資訊來源，近 10 年 (2011~2021 年)之統計如下表。

表 5-2.6. 近 10 年學研界專利家族數量

抗輻射技術	學研界專利家族數量
A 塗層/薄膜	67
B 蓋玻璃/蓋板	7
C 封裝膜/黏合劑	44
D 底盤收集電子	5
E 發射電荷	1
F 抗電弧/滅弧電路	2
G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)	13
H 多接面漸變能隙/順序	5
I 加吸收層/鈍化層	69
J 半導體層厚度	5
K 雙面吸收	11
L 特殊反射層/反射鏡/透鏡	68
M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)	59
N 縮小電池單元、模組化	7
O 特殊背面/底層/基板/後觸點	26
P 偵測並控制開關/收放	38
Q 安裝散熱器	59
R 改變形狀	41

接著，以上表資料進行專家訪談，請專家就其對於我國學研界研發能量的認知，進行排序的調整，其排序的資料如下表所示。最後，將專家調整後的排序進行正規化，即為技術發展策略研擬所使用之台灣研發能量指標。當台灣學研界研發能量指標排序較高時，表示我國過去相關技術項目產出具備商業價值的研發成果相對較多，由於在該技術項目的研發人員具備將其商業化價值的能力，因此相關技術項目未來將具備較大的商業化潛力。

表 5-2.7. 我國學研界於各技術之研發能量排序

抗輻射技術	專家排序
A 塗層/薄膜	3
B 蓋玻璃/蓋板	2
C 封裝膜/黏合劑	6
D 底盤收集電子	15
E 發射電荷	16
F 抗電弧/滅弧電路	18
G 半導體材料(III-V 族、摻雜等)	10
H 多接面漸變能隙/順序	9
I 加吸收層/鈍化層	5
J 半導體層厚度	11
K 雙面吸收	13
L 特殊反射層/反射鏡/透鏡	1
M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)	4
N 縮小電池單元、模組化	14
O 特殊背面/底層/基板/後觸點	7
P 偵測並控制開關/收放	17
Q 安裝散熱器	8
R 改變形狀	12

有關技術策略排序的方法，本研究參考專利資訊用於技術策略規劃之文獻[18]，以我國正投入資源發展中，且具備成為未來主流技術可能性的矩陣圖區塊作為優先發展的 I 區，並以我國相對研發能力較強，且具備或正成為主流技術的矩陣圖區塊作為次發展序列的 II 區，此外，本研究參考傳統技術策略規劃中外卡技術的構想，研擬了具備成為未來主流技術可能性但我國研發結果尚不突出的區塊作為外卡 I 區，而我國研發能力極強但相關技術並非主流技術的區塊作為外卡 II 區，作為滿足特殊前置條件下可以考慮之外卡技術。

策略研擬的矩陣圖如圖 5-2.11 所示，優先發展的區域為 I 區，次發展區域為 II 區，以及特殊情況下可考慮的外卡區，若要選用外卡技術，各外卡區應當分別滿足下列條件：(1)外卡 I 區，該技術為我國近期投入且主力發展的技術；(2)外卡 II 區，經過評估後，該技術未來有潛力成為主流技術，具備極高的潛力及投資價值。各區的技術如下：

優先發展的 I 區： O 特殊背面/底層/基板/後觸點、J 半導體層厚度

次發展序列的 II 區： A 塗層/薄膜

外卡 I 區： P 偵測並控制開關/收放

外卡 II 區： L 特殊反射層/反射鏡/透鏡、B 蓋玻璃、蓋板、M 特殊接面/層(吸收或阻擋多餘電荷)、I 加吸收層/鈍化層、C 封裝膜、黏合劑

由以上分析可知，整體而言較為適合我國進行資源投入研發的技術主要為：O 特殊背面、底層、基板或後觸點、J 半導體層厚度、A 塗層、薄膜。從本研究的專利池案例來看，J 半導體層厚度之設計主要用於多接面太陽能電池，由於各子電池的材料、摻雜劑、帶隙、順序、及厚度等，都可能作抗輻射的考量，而子電池之厚度設計，特別是頂電池及中電池之厚度設計如何可增加吸收及提升輻射耐受度，不少專利申請案例會對厚度作詳細的描述，例如頂電池通常使用對抗粒子輻射能力較強之材料，而第二層之子電池(若三接面則為中電池)因輻射能力較弱，故需減薄厚度以降低被破壞的機會，此時亦可能搭配外卡 II 區的 L 特殊反射層/反射鏡/透鏡之技術。而在本研究之專利池中發現在太陽短波輻射的光致分解作用下，氧分子轉變為高活性的原子氧，材料發生強烈的氧化與侵蝕，因此 O 特殊背面、底層、基板或後觸點是可研發投入之處，此外導電或放電功效也是技術 O 的重要應用。而 A 塗層、薄膜除了抗輻射之用處外，更廣和更新的應用為達到導電及放電功效。此研究成果可作為原能會相關研發計畫研擬及資源投入之參考依據。

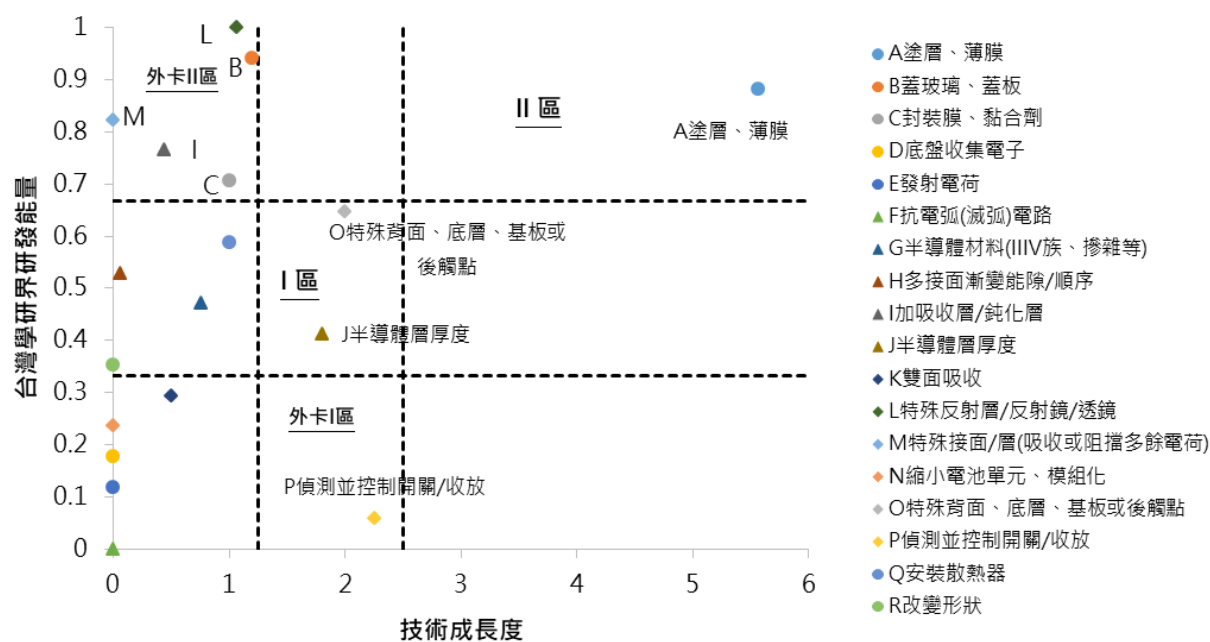


圖 5-2.11. 技術策略分析圖

(三) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究⁶

根據國際原子能總署(IAEA)的一份報告中指出，就應用廣度而言只有現代電子學與通訊技術才能與放射性同位素及輻射技術(簡稱原子能科技)，相提並論。在美國，原子能科技被列為長期優先支持的 22 項關鍵技術之一，透過增加投資、強化基礎研究與應用開發，確立其國際上的領先地位，並促進國民經濟的發展；20 世紀 90 年代，美國原子能科技應用產業的年產值佔其國民經濟總產值比例已達 3%；三十年過去了，預估其年產值佔其 GDP 的 4%以上，甚至達到 5%；然就日本而言，2015 年日本所做的調查，原子能科技的民間應用(不包含核能發電)的市場總規模為 4 兆 3,700 億日元(約合 1 兆 1,526 億新台幣)，約僅佔全國總生產毛額的 0.8%，即使是技術先進的國家日本，也遠遠落後於美國；若觀中國大陸，2015 年的原子能科技應用產業的年產值約 3,000 億人民幣，約僅佔全國總生產毛額的 0.45%；顯示除美國外，包括我國在內的各國，其原子能科技的產業應用仍有很大的成長空間；雖然我國在核能發電與放射性醫療應用領域已有相當的基礎，但面臨原子能技術轉型的時代，更需積極在已有的基礎上擴展到民生的應用，以契合國家六大核心戰略產業推動方案。

本計畫首先探索國際先進國家之原子能科研組織或國家實驗室的任務、目的、願景、技術、關鍵科研基礎設施、與運作模式等相關重要資訊，進而分析其核心技術及研究能量與佈局；經研討後，聚焦於日本 QST、JAEA、KEK 進行深入探討；其次，依據核能研究所完成之「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」所律定之優先發展項目，以及契合行政院所揭示之六大核心戰略產業推動方案之需求，篩選共同關切的焦點技術項目，並探討所需之關鍵基礎設施與經營策略。最後，則針對三個原子能技術民間應用的主題深入探討，包括：研製放射性核種的粒子加速器、次世代半導體微影設備、以及太空游離輻射環境模擬試驗設備等，以供參考。

⁶ 本節內容整理自[20]

本研究相關研究成果羅列如下：

(1) 美國能源部國家實驗室(National Laboratory)

美國能源部國家實驗室為第二次世界大戰期間美國政府對科學研究巨額投資的產物，多年來他們一直是美國領先的科學創新機構；美國能源部下轄 17 個國家實驗室；研究領域廣泛，從氣候變遷到宇宙起源皆有涉獵，擁有許多世界獨一無二的獨特儀器與設施；這些研究實驗室採用跨領域合作的方式面對大規模、複雜的研發挑戰，重點放在將基礎科學轉化為創新上；該 17 個國家實驗室中每個實驗室的任務、能力與結構各不相同，其研究領域及設施與 2020 年原能會委託核研所進行的「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」之八大議題相關性整理如表 5-3.1.。

表5-3.1. 美國能源部國家實驗室對應我國原子能八大議題之研究與設施

序號	實驗室名稱	半導體製程	工業應用	太空科技	中子科技	量子科學	環境與水資源	糧食及農業	醫療
1	Ames Laboratory		電廠監控、材料研製中心、高靈敏度量測數位雙生			實時機器學習	NMR 光譜研究、廢棄物分解回收、超尺度化學軟體		
2	Argonne National Laboratory	電子順磁控制用於太陽能電池	奈米材料、中壓電子顯微鏡、分析化學實驗室、液態金屬實驗室、熱	宇宙微波背景實驗、行星科學研究、地球早期大氣層	串聯直線加速器、TRACER 中心、Wakefield 電子加速器	IBM Mira 超級計算機、量子計算、人工智慧、網路安全	氣候風險與適應力計畫、大氣輻射測量、先進交通技術、水資源	先進蛋白質表徵計算、可持續農業技術、玉米殘留物管理	4_Tesla 磁鐵設施 (MRI 應用)、同步加速器生產核種
3	Brookhaven National Laboratory	電能儲存與輸送	電網、核能與輻射化學、功能奈米材料中心、室溫超導體	美國太空輻射實驗室、宇宙科學	同步光源設施、同步加速器光源、加速器測試設施、重離子對撞、電子對撞、ATLAS 強子對撞機、大型靜電加速器	量子科技、科學數據與計算中心、資通安全、機器學習	再生能源材料、能源安全、能源分布、再生能源、無破產生、永續經營	太陽能農場	直線加速器生產核種、單細胞與組織、基因、蛋白質提升藥物
4	Fermi National Accelerator Laboratory				伊利諾州加速器中心、深地下微中子探測實驗、215 米直線加速器(PIP-II) LHC 、HL-LHC 、LCLS-II 加速器(未來粒子研究)	超導量子材料與系統、量子計算機、高性能大數據計算、進階網路與開放網格計算			

5	Idaho National Laboratory		無線電安全研究與開發、次一代無線測試、新興頻譜共享、網路安全與電網	太空核能動力系統			再生能源、放射性材料處置、氫燃料與燃料電池、電化學回收碳排放		
6	Lawrence Berkeley National Laboratory	大脈衝磁控濺鍍、離子束塗佈	分子材料	微中子與核天體物理學、暗物質能量儀、太空輻射效應測試、低背景設施	先進光源設施、射頻大電流質子束、BELLA 電漿電子加速、相對論與碰撞、高強度迴旋加速器	超導設備實驗室(暗物質之量子資訊)、國家能源研究科學計算中心			X 射線快速檢測 COVID-19、環境基因組與系統生物學、聯合基因組研究所、分子生物學與影像、生物與系統工程
7	Lawrence Livermore National Laboratory	單晶片與生物安全	地震波研究、微小矽柱降低核分裂風險、爆裂物與可疑毒物快速檢測、先進製造實驗室	太空用輕型光學元件、宇宙 X 射線	微中子探測器、國家安全任務的粒子檢測儀、加速質譜中心、尋找隱藏的放射性物質	Livermore 高性能計算中心、高性能計算生物學應用與癌症、網路資安、核融合模擬	碳捕集解決方案、氫車輛創新設施、超快速軟體改進引擎設計、小膠囊捕獲二氧化碳、移動觀測儀器,包括雷射雷達、表面通量測量與聲速風速量測		雷射於蛋白質結構、研究生物結構虛擬實驗室、生物打列、法醫科學中心
8	Los Alamos National Laboratory		整合奈米中心		核種生產設施、中子科學、國家高磁場實驗室、超冷中子、武器中子研究設施、雙軸射線照相設施	超級計算機、戰略計算中心	高効用水管理、燃料電池、氫儲存與生產、二氧化碳分離與捕集、核廢料管理與處置、地熱		聯合基因組研究所

9	National Energy Technology Laboratory					人工智慧、機器學習	碳捕集、碳利用、碳儲存、水資源管理		
10	National Renewable Energy Laboratory		奈米科技、再生能源電網、結構實驗室葉片與渦輪機設計驗證、靜態與疲勞測試				生質能、綠色建築、儲能、地熱、太陽能、氫與燃料電池、水資源、小型與大型風力渦輪機原型現場測試、國家風能技術中心、區域測試中心		
11	Oak Ridge National Laboratory		碳纖維技術設施、奈米相材料中心		結構分子生物中心、高通量核種反應器、散裂中子源	橡樹嶺領銜 (leadership) 計算設施	建築技術整合中心、國家交通研究中心		
12	Pacific Northwest National Laboratory		系統功能實驗室，提升電力、發電、輸配電基礎研究	磁場再連結實驗研究、天體物理、磁化電漿研究黑洞	微中子質量實驗	量子計算與軟體、5G 工程創新實驗室、網路安全	融鹽研究、核廢料處理、分子電催化中心、綜合催化研究所、淺層地下實驗室、海洋與海岸研究室、海洋科學實驗室、生態毒物、分析化學、濕地與沿海生態、漁業、大氣輻射量測氣候研究設施		醫療放射性核種供應、放射性化學程序實驗室

13	Princeton Plasma Physics Laboratory				電漿產生核融合設施 DIII-D Tokamak 融合設施 國家球型圓環實驗				以電漿為基礎的設施製造放射性元素
14	Sandia National Laboratories	超越摩爾定律、先進光子學與微機電系統整合	靜電放電實驗室		反應器驅動雷射系統、高能輻射兆伏電子源 (HERMES) III 加速器(γ 射線) 、 Z machine(X 射線)	先進計算系統 人工智慧與機器學習	雷電模擬器、地球科學		生物防禦與新興傳染病
15	Savannah River National Laboratory				輻射偵測器		移動式鈾處理設施、水冷卻塔環境蒐集系統、氫的處理、碳通量塔 核燃料回收、原子能設施除役、氫氣生產與儲存、核燃料循環、再生能源		
16	SLAC National Accelerator Laboratory			BICEP 與 KECK ARRAY 微波望遠鏡、Rubin 天文台、粒子天體物理與宇宙研究所	低溫電磁、直線加速器相干光源、FACET-II 產生粒子數、LINAC 相干光源 (X-ray radiation)		Stanford 同步輻射光源 (X 光)研究土壤稀釋		

17	Thomas Jefferson National Accelerator Facility				連續高能電子束加速器、低能再循環設施、加速器高級研究中心、直線加速器相干光源	超級計算機			
----	--	--	--	--	--	-------	--	--	--

資料來源：<https://www.usa.gov/federal-agencies/national-laboratories>及本研究整理。

(2) 日本原子能科研機構

日本原子能科技主要有兩個研究單位及一個設施機構，分別是：國立科研行政法人原子能研究開發機構（日語：日本原子力研究開発機構，英語：Japan Atomic Energy Agency, 簡稱: JAEA）成立於 2005 年 10 月 1 日，由 PNC 和 JAERI 兩個半政府組織的合併；國立研究開發法人量子科學技術研究開發機構（日語：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構，英語：National Institutes for Quantum and Radiological Science and Technology，簡稱：量研機構或 QST），兩者隸屬於文部科學省；以及高能加速器研究機構（日語：高エネルギー加速器研究機構，簡稱：KEK）原為隸屬於日本文部省的國家實驗室，於 2004 年改制為法人後，隸屬於日本大學共同利用機關法人，為高能物理學與加速器科學的綜合研究機構。

A. JAEA 主要設施：

JAEA 組織龐大，所涉研究領域廣泛，尤其是與核能發電、除役、核燃料循環使用、核污染與防護等領域，然亦涉獵與民生相關的原子能科技與設施，整於表 5-3.2。

表5-3.2. JAEA與民生有關之核設施一覽表

	設施名稱	所屬中心	用 途
1	Japan Research Reactor No.3(JRR-3)	原子力科學研究所	束流實驗、活化分析、RI 生產、燃料材料輻照
2	串聯加速器	原子力科學研究所	使用重離子進行核物理、核化學、凝聚態物理等研究及核數據準備
3	輻射標準設施(FRS)	原子力科學研究所	為用於中子、 γ 射線、X 射線和 β 射線校準的輻照設施，可確保符合日本國家標準的可追溯性。
4	Pelletron 年代測定裝置 (JAEA-AMS-TONO)	東濃地球科學中心	碳、鈹與鋁同位素年代測定，用於環境科學領域的研究，如長達數萬年或數十萬年前的地層形成時代、地下水滯留時代與考古遺跡，以及大氣同位素組成的變化。
5	Tandetron 設施(加速器質量分析設施)	青森研發中心	C^{14} 與 I^{129} 的微量分析
6	大型同步輻射設施 SPring-8 QST Extreme Quantum Dynamics I Beamline (BL11XU)	高輝度光科學研究中心	使用高亮度同步輻射的 XAFS 測量裝置
7	大型同步輻射設施 SPring-8 QST Extreme Quantum Dynamics II Beamline (BL14B1)	高輝度光科學研究中心	使用高亮度同步輻射的分散式 XAFS (DXAFS) 裝置與 kappa 型 X 射線衍射儀
8	大型同步輻射設施 SPring-8 JAEA Heavy Elemental Science I Beamline (BL22XU)	高輝度光科學研究中心	使用高亮度同步輻射的應力/成像測量裝置
9	大型同步輻射設施 SPring-8 JAEA Heavy Elemental Science II Beamline (BL23SU)	高輝度光科學研究中心	使用高亮度同步輻射、軟 X 射線光電子能譜儀與軟 X 射線磁圓二色性測量裝置的表面化學實驗設施
10	高速實驗反應堆“Joyo”	大洗研究所	核反應堆燃料與材料的輻照試驗

資料來源:本研究整理自<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/riyousokushin/institution.html>

表 5-3.3 為 JAEA 與民生及科學應用領域有關的設施對照表，可做為國際合作按圖索驥的參考。

表5-3.3. 民生與科學應用領域與設施對照表

應用領域	粒子	使用設施
醫療/製藥		
放射性同位素製造	中子	JRR-3
農業/食品		
中子射線照相技術在農業領域的應用	中子	JRR-3
放射性同位素的製造	中子	JRR-3
工業/電子/化學		
透過中子散射實驗研究材料與結構	中子	JRR-3
中子射線照相非破壞性檢測	中子	JRR-3
透過激活分析測量微量元素	中子	JRR-3
矽半導體製造	中子	JRR-3
放射性同位素製造	中子	JRR-3
研究物質的結構與功能間的相關性	同步輻射	SPring-8
高壓下的材料結構研究	同步輻射	SPring-8
自然/環境		
利用加速器質譜儀測量同位素比	離子	Pelletron 年代測定裝置；Tandem 設施
核電		
核物理、核化學、凝聚態物理等研究	離子	串聯加速器

資料來源:本研究整理自<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/3-facility/03-use/index.html>

B. QST 主要設施：

- (a) 高崎量子應用研究所負責營運的重要設施有：離子輻照研究設施 (TIARA)、電子束照射設備(Cockcroft-Walton 型，0.5 MV~2.0 MV)、以及 C^{60} 的 γ 射線輻照設施(劑量率 0.2 Gy/h~10kGy/h)；其中 TIARA 主要由四個加速器所組成，分別是：K110 AVF 迴旋加速器、3MV 串聯加速器、3MV 單端加速器與 400kV 離子注入機；可提供從質子到金離子的多種離子種類，離子能量範圍從 keV 到數百 MeV，以進行材料與生命科學的研究及開發工作； C^{60} 的 γ 射線輻照設施可進行：核設施、設備、零部件等材料的抗輻射試驗、高分子材料的輻照效應研究、聚合物改性與功能材料的創造研究、發展劑量計測量技術、以及太空半導體器件抗輻射研究、與生物技術研發。

- (b) 關西光學科學研究所負責營運高強度雷射設施，包括：J-KAREN 高強度超短脈衝雷射、電漿軟 X 射線雷射、QUADRA-T 雷射以及兩條 SPring-8 同步輻射光束線等。
- (c) HIMAC (千葉重離子加速器)：是世界上第一個致力於治療重離子癌症的設施；HIMAC 由一個同步加速器與一個線性加速器所組成，可將碳等重粒子加速到 800 MeV/u 的能量；HIMAC 可加速的重粒子包括：H、He、C、O、Ne、Si、Ar、Fe、Kr、Xe 等。
- (d) 下世代軟 X 射線同步輻射設施：其可以高靈敏度地測量輕元素，並且除常規的材料結構外，更具有詳細分析影響“電子態”、“動力學”等的特點；此外可進行材料表面分析、新藥發現、新型高活性催化劑開發等方面研究。

C. KEK 主要設施：

高能加速器研究機構 (KEK) 為使用加速器設備促進基礎科學的研究機構，藉以探索自然法則與物質的基本結構，進行有關基本粒子與原子核以及包括生命有機體在內的物質結構與功能的實驗與理論研究，主要設備有：

- (a) 日本質子加速器研究中心 (J-PARC 加速器)
- (b) SuperKEKB 加速器
- (c) 大型強子對撞機 (LHC) / ATLAS
- (d) 國際直線對撞機 (ILC)
- (e) 光子科學 (MAX IV 3 GeV storage ring vacuum system)

D. 日本原子能科研機構設施與運作的意涵：

- (a) 三家科研機構皆經過多次改組：其意義顯示：a. 日本核研究活動在尋找最佳的組織運作與分工方式；b. 因應不斷出現的新議題與挑戰，例如：311 核災事件後的核安、核災動員與反應、核暴露醫學、氫能源…等等；
- (b) 重視基礎研究：包括：核物理、高能物理、基本粒子、核融合…等等；
- (c) 持續核電發展，但更重視安全；
- (d) 重視長期發展：各機構皆訂有明確的技術地圖(technology roadmap)、中長期發展計畫、或設施更新計畫等；
- (e) 重視組織經營管理：皆訂有明確的績效指標與管理績效的提升目標；

- (f) 參與國際合作與人才培育：包括參與歐洲 CERN 相關研究、國際熱核融合相關計畫(ITER 協議[全名為：與國際核融合能源組織以共同執行 ITER 項目的協議]、BA 協議[全名為：日本政府與歐洲核能共同體關於透過在核融合研究領域進行更廣泛努力共同開展活動的協定])等；
- (g) 自籌經費佔比仍小，政府大力挹注經費：三個科研機構的廣義的自籌經費僅佔總經費的 5%~12%，其他的運作經費皆有賴政府的大力挹注。

(3) 依我國國情需要篩選共同的焦點技術項目

依據我國 2020 年所提出的「六大核心戰略產業」與核能研究所完成的「原子能科技於民生應用發展之策略藍圖」進行交叉分析，篩選出共同的焦點技術項目，如表 5-3.4，以作為我國建置重要相關設施的參考。

為發展對應六大戰略產業之原子能科技民生應用八大領域的優先發展項目建構配合的設施，包括：

- A. 放射性核種研製與生產設施，包括：反應堆、加速器；
- B. 化學分離設施與技術，包括：放射性核種分離與純化回收與處理等設施、以及程序方法與技術的建立；
- C. 放射性核種產品研製的相關設備；
- D. 放射性核種應用的相關設備，包括：輻照設備與核儀器儀表。

表5-3.4. 六大核心戰略產業與原子能科技民生應用八大領域之關聯技術綜整

	醫療	糧食和農業	環境、水資源	量子科技	中子科學	太空科技	工業應用	半導體製程
資訊及數位				量子電腦及量子模擬器、超導量子位元、矽量子點以及量子光電晶片、量子演算法與量子計算之應用、量子通訊				微影技術、微影離子佈植、半導體檢測
國防及戰略				量子電腦及量子模擬器、量子演算法與量子計算之應用、量子通訊	放射性同位素生產及其應用、新型功能性材料開發、中子斷層影像、殘餘應力分析、中子活化分析、中子偵測器之開發及運用	抗輻射之電子電路設計技術、太空用的積體電路製造技術、抗輻射之太陽能電池及衛星電池製程發展、模擬太空游離輻射環境設施和即時量測系統、半導體元件及晶片於輻射效應下之可靠度研究及測試方法	非破壞性檢驗、核子計測儀技術、材料改性、放射示蹤劑	
資安卓越				量子電腦及量子模擬器、量子演算法與量子計算之應用、量子通訊				
台灣精準健康戰略	放射診斷藥物研發、放射治療藥物研發、碳-14 與分子影像平台應用於生技藥物開發、輻射影像技術開發/AI 放射影像技術、應用於核醫藥物創新開發	輻射照射於食品安全及品質檢測、穩定同位素量測應用於產品溯源、產區識別、真偽鑑定	發展 X-ray CT、放射性同位素技術、穩定同位素技術		同位素生產及其應用、新型功能性材料開發、中子斷層影像、生物分子功能研究、中子活化分析、中子偵測器之開發及運用			
民生及戰備		輻射照射用於蟲害防治、輻射	全國地下水資源、穩定同位素		同位素生產及其應用、新型功能性材	抗輻射之電子電路設計技術、太空用的積體電	非破壞性檢驗、核子計測	

	醫療	糧食和農業	環境、水資源	量子科技	中子科學	太空科技	工業應用	半導體製程
		照射於食品安 全及品質檢 測、農業環境清 潔、穩定同位素 量測應用於產 品溯源、產區識 別、真偽鑑定、 突變/誘變育種 經濟價值作 物、輻射照射於 誘變根圈微生 物及園藝作物 誘變育種之開 發與應用	與水文地質分布 圖集繪製、環境 示蹤劑應用、發 展 X-ray CT、放 射性同位素技 術、穩定同位素 技術、工業污染 物處理、輻射誘 發的持久性有機 污染降解技術		料開發、中子斷層 影像、非破壞性檢 測、中子活化分 析、中子偵測器之 開發及運用	路製造技術、抗輻射之 太陽能電池及衛星電池 製程發展、模擬太空游 離輻射環境設施和即時 量測系統	儀技術、材料 改性、 放射示蹤劑、 地下礦源勘查	
綠電及 再生能 源			全國地下水資 源、穩定同位素 與水文地質分布 圖集繪製、環境 示蹤劑應用、發 展 X-ray CT、放 射性同位素技 術、穩定同位素 技術、利用放射 性元素觀測孔隙 介質多相流與層 積研究、發展野 外原子能技術儀 器		同位素生產及其應 用、新型功能性材 料開發、中子斷層 影像、殘餘應力分 析、中子活化分 析、中子偵測器之 開發及運用		非破壞性檢 驗、核子計測 儀技術、材料 改性、放射示 蹤劑、地下礦 源勘查	

(4) 加速器生產醫用同位素核種的類型

世界上用於同位素核種生產的加速器主要是迴旋加速器，其中 80% 用於醫療健康與生命科學領域，Synowiecki *et al.* 依據將迴旋加速器依能量大小分為小型(<20MeV)、中型(20MeV~35MeV)、與大型(>35MeV)等三類[21]。

- A. 小型醫用迴旋加速器(Small medical cyclotrons, SMC) 通常具有低於 20 MeV 的質子能量，用以生產正子發射斷層顯像(PET) 採用的 ^{18}F 、 ^{11}C 、 ^{15}O 、 ^{68}Ga 、 ^{64}Cu 等超短壽命核種；依據 IAEA 最新的統計，目前各國醫院、大學已安裝超過 1,100 台，並且數量仍在增加中；這些 SMC 中的大部分由 GE Healthcare、IBA(Ion Beam Applications)、西門子與 ACSI(Advanced Cyclotron Systems Incorporated)等四家廠商所提供。
- B. 能量在 20~35 MeV 之間的迴旋加速器被認為是中等能量迴旋加速器，它們除了提供質子束外，通常也能提供氘核種；它們主要目的是生產單光子斷層掃描 (single photon emission computer tomography, SPECT) 使用的中、短壽命放射性核種，包括： ^{57}Co 、 ^{18}F 、 ^{201}Tl 、 ^{67}Ga 、 ^{68}Ge 、 ^{103}Pd 、 ^{111}In 、 ^{108}Cd 等醫用放射性核種；並可改造固體靶束流線，新增氣體靶束流線以生產臨床常用的 ^{123}I 等放射性核種；這些設備往往裝置於較大的放射性藥物商業工廠或研究機構。
- C. 粒子能量高於 35 MeV 的迴旋加速器被認為是高能迴旋加速器；這些設備是為特定的研究目的量身訂製的，可以加速多種粒子：質子、氘、氚、 α 與重離子，以生產許多獨特的新型放射性核種，尤其是滋生器母體所需的放射性核種；能量為 50~100MeV 的迴旋加速器，大多設置於物理實驗室，在基礎研究之外提供醫用半衰期比較長的同位素；這些設備也會設在大型臨床癌症中心，例如：長庚、榮總、台大等，用於質子束或重離子治療。

根據 IAEA 的統計，IAEA 的 95 個成員國中，全球已裝置接近 1,300 台迴旋加速器用於醫用同位素的生產，這些加速器大部分是用來生產 PET 所需的短壽命同位素，少部分 50~100MeV 的加速器用來生產較長半衰期的同位素；如果將 IAEA 迴旋加速器的視角放大到 30~110MeV 的高能迴旋加速器，則可以整理如表 5-3.5；由表中的裝機數可知，IBA、ACSI 與 TCC (The Cyclotron Corporation) 為主要的供應商。

表5-3.5. 供應世界30~110MeV醫用同位素粒子加速器廠商一欄表

設備商	型號	MeV	裝機數
ACSI	TR-30 或 TR-30/15	30	7
CTI	CS30	30	1
IBA	CYCLONE 30	30	25
IBA	CYCLONE 70	70	3
Lawrence Berkeley	K-150	60	1
NIIEFA	CC-18/9M	100	1
Scanditronix-Negative-Ion	MC 32-Negative-Ion	32	1
Scanditronix	MC 50	50.5	1
Sumitomo	930	110	1
TCC	CS-30	30	1
TCC	CP-42	42	3
W.M. Brobeck	AC60	60	1

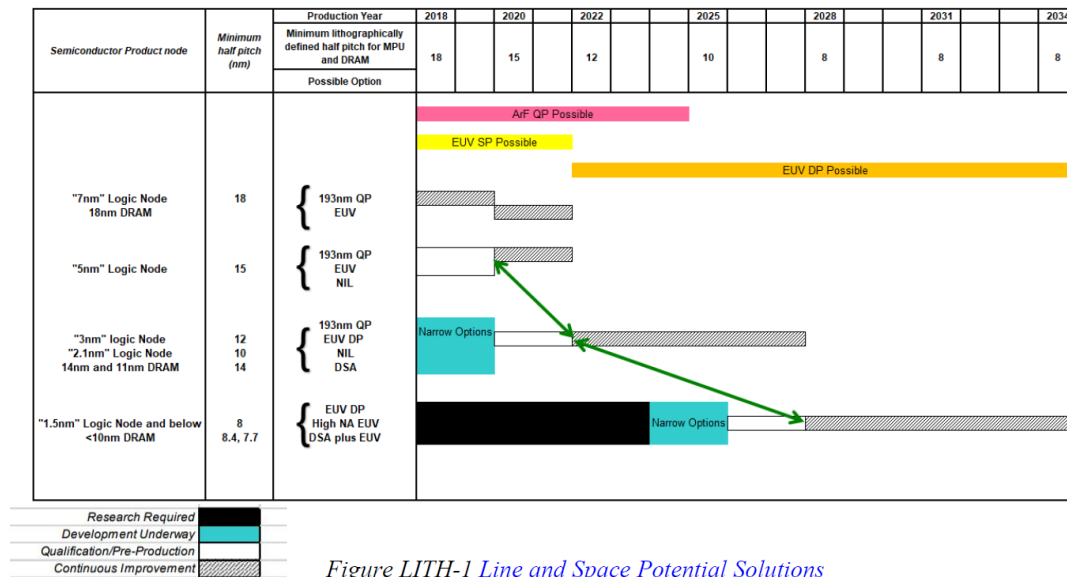
資料來源：<https://nucleus.iaea.org/sites/accelerators/Pages/Cyclotron.aspx>

(5) 下世代半導體微影設備

原子能技術應用在半導體產業由來已久，舉凡微影顯像、X 光微影、電漿、離子佈植、半導體材料合成…等等，皆有原子能技術應用的影子。由於新冠肺炎的肆虐，導致國際半導體產銷失衡，我國半導體產業一枝獨秀，成為國際舉足輕重、不可或缺的環節；也因為如此，包括我國在內的世界先進國家皆將半導體產業提升為國家戰略層級的產業，投下重金期能在此產業中勝出。

A. 下世代微影(Next-Generation Lithography, NGL)

下世代微影係指任何使用比當前技術狀態(state of arts)更短波長的光或光束類型的微影，例如 EUV 微影、X 射線微影、電子束微影、聚焦離子束微影以及奈米壓印微影等。根據最新的 2020 年國際半導體技術地圖指出，如下圖所示，隨著邏輯節點(logic node)愈來愈小，微影由 193nm 的深紫外線四重圖像(Quadruple Patterning, QP)漸次發展到極紫外線、極紫外線雙重圖像(Double Patterning, DP)、三重圖像(Triple Patterning, TP)、奈米壓印、定向自組裝、高數值孔徑極紫外線、以及紫外線+定向自組裝等技術，許多技術尚處在持續精進(continuous improvement)、驗證/適量產(qualification/pre-production)、開發中(development underway)、或甚至還在研究探索中(research required)。



資料來源：IEEE Advancing Technology for Humanity, 2020 [19]

圖5-3.1. 下世代微影技術的潛在解決方案

B. 下世代半導體微影設備的產業趨勢

基本上每項下世代微影的候選方案受歡迎程度的上升與下降在很大程度上取決於其產量及其運營與實施成本；電子束與奈米壓印微影主要受產量的限制，而 EUV 和 X 射線微影受實施與操作成本的限制；帶電粒子（離子或電子）在 2000 年代初也廣泛考慮用在製造光罩的模板上，但最終由於低的產量與導入困難而最終被遺棄。

當將思考點聚焦於光學微影下一、兩代的分辨率增強技術時，預估產業的技術發展就變得更加清楚；由於領先技術的早期採用者永遠不會在競爭環境中受益於高度可擴展的下世代微影技術；因此，雖然產業在下世代微影的快速部署上存在巨大的壓力，但下世代微影最終可能僅會以更有效的多重圖案(multiple patterning)的光學微影的形式實現，例如定向自組裝或積極地減少切割(cut reduction)，而不會採用其他不同型態的技術，因此，“光學微影將永遠存在”的論點將會成立。

(6) 太空游離輻射環境模擬設施

太空環境係指地球太空與行星間太空的自然環境與誘發環境，包括：真空、冷黑與低溫、帶電粒子輻射、太陽電磁輻射、中性大氣、磁場、電漿、電離層、太空碎片與微流星體以及誘發汙染環境等。

廣義而言，太空輻射環境對太空載具所產生的效應包括：單粒子效應(Single Event Effect, SEE)、總電離劑量效應(Total Ionizing Doze, TID，以下簡稱總劑量效應)、位移損傷

效應 (Displacement Damage)、表面充放電效應、內帶電效應、與太陽電磁輻射效應等等，它們的最終影響都是導致元件、電路、電子設備異常或故障等；因此，為降低太空載具在軌道上面對太空游離輻射危害的風險，地面的太空游離環境模擬試驗設備的建置即為重要的課題，整理如下：

- A. 單粒子效應地面模擬試驗設備：單粒子效應模擬源包括：重離子加速器、質子加速器、鈾(^{252}Cf)源與脈衝雷射等；其中半導體元件的單粒子效應試驗以重離子加速器與鈾(^{252}Cf)源被廣泛應用；
- B. 總劑量效應地面模擬試驗設備：通常採用 ^{60}Co 源、電子加速器與質子加速器進行總劑量效應地面模擬試驗；其中電子元件總劑量效應試驗通常採用 ^{60}Co 源進行；
- C. 位移損傷效應地面模擬試驗設備：國外對 GaAs 太陽電池輻射損傷試驗主要有兩種地面模擬等效試驗方法，分別是效應等效通量法與位移損傷劑量等效法；兩者皆是將不同的太空輻射條件下太陽電池的質子與電子損傷效應等效為固定能量的質子與電子輻射損傷通量；因此，地面模擬設施主要是電子加速器與質子加速器；
- D. 太陽電磁輻射環境地面模擬試驗設備：主要以紫外輻射環境為代表的地面試驗設備，相應的紫外源包括：氙燈、汞氙燈、氘燈、射流式氣體噴射源等；
- E. 綜合環境輻照效應模擬設備：太空環境為多因素的綜合環境，因此發展出同時具備電子、質子、紫外、真空、溫度等環境因素的綜合模擬試驗設備。

表 5-3.6 為國際太空游離輻射環境地面模擬試驗設備綜整表，可進一步尋求合作的機會。

太空游離輻射環境模擬設施投資大、週期長，試驗技術本身涉及的關鍵技術仍多，因此地面模擬試驗設備的建設應該有相當的前瞻性；目前航太大國已建立了相對完整的太空輻射環境及效應地面模擬試驗設施體系，具有以下特點：

- A. 材料級太空輻射效應地面模擬試驗設備朝向多因素綜合環境方向發展，例如同時將電子、質子、紫外、真空、溫度等環境要素一併進行試驗；
- B. 元件級輻射環境效應通常採用高能加速器進行地面模擬試驗，尤其是單粒子效應、位移損傷效應、總劑量效應等，且相關設備可互用；
- C. 部分達成了性能的原位測試⁷的境界。

⁷ 原位測試(in situ)：係指實時的測試分析時，將待測物置於原來的體系中進行檢測，而不是單獨的將其分離出來使用單變量的方式進行測定，或在模擬條件的體系中進行檢測；這樣做可以最大程度的接近現實情況的條件下進行測試分析，儘可能的還原現狀，得到準確的數據。

但在設備的參數指標上仍有待進一步提升，主要有：帶電粒子能量仍低，不能有效進行太空輻射環境的地面模擬試驗；性能原位測試手段缺乏；微觀原位測試與監測手段缺乏等，這些則是未來努力的方向。

表5-3.6. 國際太空游離輻射環境地面模擬試驗設備綜整表

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
單粒子效應地面模擬試驗	重離子輻照單粒子效應試驗設備	美國布魯克海文國家實驗室 (BNL) 的 NASA 太空輻射實驗室 (NSRL)	NSRL 的粒子加速器由三個主要部分所組成，分別是：LINAC(僅限質子)、Tandem Van de Graaff (某些離子與質子) 以及電子束離子源 (EBIS) (質子除外的其他離子)	GCR 模擬設施： ● 離子種類：質子到金，共 50 種； ● 能量：50 MeV/u~2,500 MeV(質子)與 1,500 MeV/u(⁵⁶Fe)； ● LET 值：0.015~91 MeV.cm²/mg(若透過旋轉入射角度，LET 值可達 150 MeV.cm²/mg)； ● 離子束流：10²~10⁷cm⁻².s⁻¹。
		美國 LBL (Lawrence Berkeley Laboratory)	重離子迴旋加速器	● LET 值：0.01~98 MeV.cm²/mg； ● 質子能量：1~55 MeV
		美國 TAMU (Texas A&M University)	重離子迴旋加速器	LET 值：0.01~93.4 MeV·cm ² /mg
		歐洲太空總署(ESA)比利時 UC Louvain	重離子迴旋加速器(HIF)	● 粒子種類：質子、α 粒子、與重離子； ● 質子能量：85 MeV ● 離子能量：0.6~27.5 MeV/u
		歐洲太空總署(ESA)比利時 UC Louvain	輕離子迴旋加速器(LIF)	● 能量：9.9~62 MeV ● LET 值：0.00839~0.0347 MeV·cm²/mg ● 束流：2*10⁸cm⁻².s⁻¹
		芬蘭，University of Jyväskylä RADiation Effects Facility(RADEF)	K-130 重離子混合迴旋加速器	● 提供多種重離子中的任選四種重離子混合粒子線束，原子序最高可為 Au 離子

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
				● 離子能量：9.3 MeV/n、10 MeV/n、16.3 MeV/n 及 22 MeV/n
		日本高崎量子應用研究所	TIARA：由 K110 AVF 迴旋加速器、3MV 串聯加速器、3MV 單端加速器與 400kV 離子注入機等組成	● 質子種類：包括質子到金離子等多種離子 ● 離子能量：keV 到百餘 MeV
	高能質子輻照單粒子效應試驗設備	布魯克海文國家實驗室 (BNL) 的 NASA 太空輻射實驗室 (NSRL)	LINAC、Tandem Van de Graaff	SPE (太陽單粒子事件)模擬設施： ● 50~150 MeV 的質子束
		美國 University of California at Davis(UCD) Crocker Nuclear Lab.	質子迴旋加速器	● 質子能量：68 MeV ● 流強 30μA
		美國 Indiana University	質子迴旋加速器(IUCF)	● 質子能量：30~200 MeV ● 流強：$10^2 \sim 10^{11} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
		瑞士 Paul Scherrer Institute(PSI)	PIF 質子迴旋加速器	● 質子能量：74、100、150、200、230、238 MeV； ● 束流密度：2nA (E>200 MeV)、5nA (100 MeV<E<200 MeV)、10nA (E<100 MeV)； ● 通量：$10^2 \sim 2 \cdot 10^8 \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
		芬蘭，University of Jyväskylä RADiation Effects Facility(RADEF)	高能質子束(high energy proton beams)	● 能量：55 MeV ● 束流：$3 \cdot 10^8$ 質子/cm²/s
		芬蘭，University of Jyväskylä RADiation Effects	低能質子束(low energy proton beams)	● 能量：0.4~8 MeV ● 束流：$10^6 \sim 10^7$ 質子/cm²/s(@1

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
		Facility(RADEF)		MeV) ; $>10^8$ 質子/cm ² /s(>2 MeV)
	鈹源單粒子效應試驗設備	歐洲 ESCIES (European Space Components Information Exchange System) 的 Radiation Hardness Assurance and Component Analysis Section (TEC-QEC) 運作 Internal Radiation Test Facilities (IRTF)	CASE (Californium-252 Assessment for Single Event Effects)	● 1~2微居里 Cf-252 源； ● LET為43 MeV/(mg/cm²)
		美國波音公司輻射效應實驗室(BREL)		²⁵² Cf
		法國 ONERA/DESP	CIRIL 輻射器	²⁵² Cf 與 Am α 粒子源
	脈衝雷射單粒子效應試驗設備	美國 Martin Marietta Labs(MML)	-	● 波長：1.064 pm 及 0.532 pm ● 脈衝：20ps
		美國 JPL	-	● 波長：1.0μm ● 脈衝：2.5ps ● 雷射波長與能量可調：通常每個脈衝 1~500pJ
		英國 Matra BAe Dynamic 公司	脈衝雷射單粒子效應試驗系統 SEREEL (Single Event Radiation Effects in Electronics Laser)(兩套)	
		歐洲航空防衛及太空公司研究中心(European Aeronautic	-	● 波長：1.06μm ● 脈衝：620ps

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
		Defence and Space Company Corporate Research Center, EADS-CRC)(法國)		● 脈衝重複頻率：2kHz
		法國 Bordeaux 大學材料與系統(IMS)實驗室	-	● 波長：0.6~1.08μm； ● 脈衝寬：100fs~100ps； ● 脈衝重複頻率：80MHz
		義大利 Perugia 國家核物理研究院(INFN)	-	● 波長：913+-10nm； ● 脈衝寬：15ns ● 脈衝重複頻率：10kHz
		芬蘭，University of Jyväskylä RADiation Effects Facility(RADEF)	VARIAN CLINAC 2100 cd 直線電子加速器	● 脈衝電子束（可降解為脈衝 X 射線束）： ● 能量(X 射線)： ● 從 0 到 6 MeV 的連續光譜，最大強度約為 1 MeV ● 從 0 到 15 MeV 的連續光譜，最大強度約為 2 MeV ● 能量(電子)：6、9、12、16 與 20 MeV ● 劑量率： ● X 射線：100~600 rad/min ● 電子：100~1,000 rad/min ● 脈衝寬：5 μs，週期 5 ms
		中國科學院空間中心	脈衝激光單粒子效應實驗裝置	● LET 值：0.1-200MeV.cm2/mg ● 脈衝重複頻率：1kHz
總劑量	⁶⁰ Co 源總劑量	美國 NASA GSFC(Goddard	γ 源	● 劑量率：3 krads/min ~ 0.01 Rads/min

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
效應地面模擬試驗設備	效應地面模擬試驗設備	Space Flight Center) 的 Goddard Institute for Space Studies		
		歐洲太空研究暨技術中心 (European Space Research and Technology Centre, ESTEC)	ESTEC Co-60 Facility	● 2016 年 5 月重新裝載 2,000 Ci ^{60}Co γ 源
		日本高崎量子應用研究所	以 C^{60} 的 γ 射線輻照設施	● 劑量率：0.2 Gy/h~10kGy/h
	加速器總劑量效應地面模擬試驗設備	美國 NASA GSFC(Goddard Space Flight Center) 的 Goddard Institute for Space Studies	2 MeV Van de Graaff 損傷研究加速器 (2 MeV Damage Study Accelerator)	● 可提供及電子、質子 ● 能量：100keV~1.7 MeV； ● 束流密度：1 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 至 10 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$
		法國 ONERA	具有多台電子加速器與質子加速器	
		日本高崎量子應用研究所	Cockcroft-Walton 型電子束照射設備	0.5 MV~2.0 MV
位移損傷效應地面模擬試驗設備	與其他試驗共用電子加速器與質子加速器	中國科學院國家空間科學中心空間環境效應研究室	質子加速器	10~50 MeV
		中國科學院國家空間科學中心空間環境效應研究室	電子加速器	0.5-5 MeV
綜合環境輻照效應模擬設備		美國 NASA AEDC (Arnold Engineering Development Center)	綜合環境輻照效應模擬設備	可模擬原子氧、太陽紫外線輻射、衛星污染、低能粒子、充放電效應等
		美國波音公司	CRETC (Combined Radiation Effects Test Chamber)	配有 10~50 MeV 質子、30~60 keV 電子、200~400nm 的紫外線

模擬試驗名稱	模擬試驗設備名稱	國家或地區實驗室名稱	設施名稱	重要參數
		NASA 馬紹爾飛行中心 (MSFC)	CEE (Combined Environmental Effects)有三套，分別是 CEETC 1、CEETC 2、CEETC 3	CEETC 3 可同時或先後模擬：質子、低能與高能電子、近紫外、真空紫外、高真空等
		歐洲太空技術和研究中心 ESTEC (比利時)	SORASI (Solar Radiation Simulator)	X 射線、電子 (5~20 keV) 與真空紫外線 (110~200nm)
		德國太空中心 (DLR) 太空系統研究所	KOBE (Komplexe Bestrahlungs Einrichtung, Complex Irradiation Facility, CIF)	● 採用三個光源分別是：真空紫外線的氬光源、紫外線的氙燈，以及作為太陽模擬器的氙燈；波長範圍：40 nm~2150 nm ● 粒子輻射、電子和質子能量範圍：1 keV~ 100 keV

資料來源：本研究整理

(四) 結論

本計畫包含兩個工作項目，(1)原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業；(2)國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究。本章節分段詳述研究結論。

(1) 原子能科技產業趨勢及技術布局研究：太空產業

本計畫已完成兩個技術策略的案例分析，用於擘劃「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」之技術發展策略，可獲得我國具發展潛力之技術，有助於原能會擬訂及統合國內原子能科技民生應用的發展策略。除此之外，透過其中專利分析的研究成果使用，可協助研究者在計畫申請階段評估欲發展技術目前研究的現況，以完善其參考文獻的範疇，並可據此調整研究方向。以下就本研究所聚焦探討的兩個主題：「太空用的積體電路」及「抗輻射之電池製程」，提供技術策略的研擬成果。

1. 太空產業之「太空用的積體電路」技術策略

從分析結果可知，在「太空用的積體電路」技術領域中，整體而言較為適合我國進行資源投入研發的抗輻射積體電路技術主要為：「D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」、「F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」、「A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾」、「B3 電性能之測試裝置，如電路之測量」、「C1 錯誤檢測與校正，如容錯」。

從本研究的專利池案例來看，「D1 半導體製程，如半導體裝置或其部件之製造或處理」及「F2 由多個半導體組成之裝置，如適用於整流、振盪、放大、切換之半導體元件之裝置」技術，主要可以用於「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發；「A1 邏輯電路之提高可靠性之修飾」主要可用於「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」、「b2 互補式金屬氧化物半導體」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發；「B3 電性能之測試裝置，如電路之測量」及「C1 錯誤檢測與校正，如容錯」技術，則主要可以用於「b1 現場可程式化邏輯閘陣列」及「b5 靜態隨機存取記憶體」的開發。此研究成果可作為原能會相關研發計畫研擬及資源投入之參考依據。

2. 太空產業之「抗輻射之電池製程」技術策略

從分析結果可知，在「抗輻射之電池製程」技術領域中，整體而言較為適合我國進行資源投入研發的技術主要為：O 特殊背面、底層、基板或後觸點、J 半導體層厚度、A 塗層、薄膜。從本研究的專利池案例來看，J 半導體層厚度之設計主要用於多接面太陽能電池，由於各子電池的材料、摻雜劑、帶隙、順序、及厚度等，都可能作抗輻射的考量，而子電池之厚度設計，特別是頂電池及中電池之厚度設計如何可增加吸收及提升輻射耐受度，不少專利申請案例會對厚度作詳細的描述，例如頂電池通常使用對抗粒子輻射能力較強之材料，而第二層之子電池(若三接面則為

中電池)因輻射能力較弱，故需減薄厚度以降低被破壞的機會，此時亦可能搭配 L 特殊反射層/反射鏡/透鏡之技術。而在本研究之專利池中發現在太陽短波輻射的光致分解作用下，氧分子轉變為高活性的原子氧，材料發生強烈的氧化與侵蝕，因此 O 特殊背面、底層、基板或後觸點是可研發投入之處，此外導電或放電功效也是技術 O 的重要應用。而 A 塗層、薄膜除了抗輻射之用處外，更廣和更新的應用為達到導電及放電功效。此研究成果可作為原能會相關研發計畫研擬及資源投入之參考依據。

(2) 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究

1. 本研究已完成「美國能源部國家實驗室對應我國原子能八大議題之研究與設施」盤點，可作為我國規劃原子能科學發展政策借鏡及國際交流協議簽署之合作交流項目參考
2. 政府宜加大力度發展原子能技術民生用途：根據國際原子能總署(IAEA)的一份報告中指出，20 世紀 90 年代，美國原子能科技應用產業的年產值佔其國民經濟總產值比例已達 3%，現今恐已達 GDP 的 4%，甚至 5%；有鑒於此，日本、中國大陸亦大力推動相關的技術增長與產業應用；由於原子能技術民生應用廣泛，對產業有極大的幫助，且我國相關科研單位亦有相當基礎、民間又有強烈需求，實應加大力度發展之。
3. 宜加大力度進行國際合作：不論是日本、美國、歐洲、甚至中國大陸皆參與國際合作計畫；尤有甚者，歐洲各科研單位形成國家層級的合作網絡(歐洲原子能共同體(European Atomic Community, 簡稱:Euratom)及聯合研究中心(Joint Research Center, JRC))，互通有無；就我國研發能量而言，實無法全面進行各產業的原子能技術發展與應用，國際合作即成為重要的手段；
4. 日本原子能科研機構運作方式，對我國策略的啟示：
 - i. 三家科研機構皆經過多次改組，其意義顯示：(1)日本核研究活動在尋找最佳的組織運作與分工方式；(2)新的議題與挑戰不斷出現，例如：311 核災事件後的核安、核災動員與反應、核暴露醫學、氫能源…等等；
 - ii. 重視基礎研究：包括：核物理、高能物理、基本粒子、核融合…等等；
 - iii. 重視長期發展：三家原子能科研機構皆訂有明確的技術地圖(technology roadmap)、中長期發展計畫、或長程設施更新計畫等；
 - iv. 重視組織經營管理：皆訂有明確的績效指標與管理績效的提升目標；
 - v. 參與國際合作與人才培育：包括參與歐洲 CERN 相關研究、國際熱核融合相關計畫(ITER 協議、BA 協議)等；

- vi. 自籌經費佔比仍小，政府大力挹注經費：三家科研機構的廣義自籌經費僅佔總經費的 5%~12%，其他的運作經費皆有賴政府的大力挹注。
 - vii. 參酌日本原子能科研組織運作方式，以及配合原子能民生應用策略藍圖所律定的重點發展項目，建構我國整體性的原子能技術的發展體系(生態體系)；
5. 有效發揮 30~70 MeV 粒子加速器：就 IAEA 的統計資料而言，我國已是少數擁有中能、高能迴旋粒子加速器可用於基礎研究與生產醫用同位素核種的國家；我國可善用此一資源，縮短與原子能科技先進國家的差距；
 6. 多光束直寫微影技術可以有效防止駭客攻擊，這對國防、公共設施 AIoT、保全、…等領域很具吸引力，可思考切入的策略；
 7. 就下世代 EUV 微影設備而言，除非參與台積電的研究團隊，似乎無發揮的空間；
 8. 我國宜建置完整的太空游離輻射環境模擬體系，並尋求國際合作：我國在太空領域尚屬後進國家，且整體研究與產業規模不大，首應整合國內相關資源，由太空輻射環境效應研究與防護、試驗方法、試驗規範、乃至試驗設施等有系統地建構整體的能量，並尋求國際合作；雖然衛星網路服務相關的星鏈計畫(Starlink)的推動，未來有數萬枚低軌道小型衛星升空，帶動龐大商機；然推動類似計畫皆為太空科技的先進國家，自身已有相關能量與設施，且相互競爭，要由競爭中獲得市場份額並不容易；然該等技術對我國產業發展與國安而言，則事關重大；因此建議現階段我國應著重試驗體系的建立，尋求國際合作的機會，協助產業的發展，再求爭取國際訂單。

六、參考文獻

1. 行政院原子能委員會核能研究所研究報告，原子能科技國際發展趨勢及我國發展策略之研析，2020。行政院原子能委員會，111 至 114 年原子能科技民生應用發展策略藍圖，2022。劉國讚，國際專利分析與布局，元照出版，2018。
2. 張展誌、劉智遠，以專利布局支持新技術產業化，智慧財產權月刊，2017。
3. 智慧財產局專利分析報告，離岸風電技術分析報告，2020。
4. 智慧財產局專利分析報告，人工智慧在智慧農業上之運用技術分析報告，2019。
5. 智慧財產局專利分析報告，我國再生醫學產業及國際主要國家專利審查實務之研究報告，2019。
6. 智慧財產局專利分析報告，太陽光電產業專利趨勢分析報告，2019。
7. 智慧財產局專利分析報告，沼氣發電技術專利分析報告，2019。
8. 智慧財產局專利分析報告，我國金融機構專利布局分析與建議報告，2019。
9. 智慧財產局專利分析報告，我國癌症治療專利趨勢探討報告，2019。
10. 智慧財產局專利分析報告，自動駕駛感知技術專利分析報告，2019。
11. ESFRI, Neutron scattering facilities in Europe Present status and future perspectives, 2016.
12. 低軌衛星通訊發展趨勢與台灣商機，IEK 產業報告，呂珮如，2020。
13. 黃楓台、林俊良，太空輻射對衛星任務影響及因應之道，能源資訊平台簡析，2020。
14. Marketsandmarkets, Cubesat Markt – Global Forecast to 2023, 2018.
15. BIS Research, Space Power Supply Market - A Global Market Analysis_ Focus on Platform and Product - Analysis and Forecast 2020-2030, 2020.
16. 劉智生、洪儒生，太陽能電池的高效率化，科學發展，2009。
17. E. Holger, Patent information for strategic technology management, World Patent Information, 25(3), 233-242, 2003.
18. IEEE Advancing Technology for Humanity, international roadmap for devices and systems 2020 edition lithography, 2020.
19. 國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究，行政院原子能委員會核能研究所委託研究計畫研究報告，蔡璞，2021。
20. Synowiecki, M. A., Perk, L. R., Nijssen, J. F. W., Production of novel diagnostic radionuclides in small medical cyclotrons, Radiopharm Chem(Epub), 3(1):3, 2018.

行政院原子能委員會委託研究計畫

「原子能民生應用與新南向政策願景規劃」分包計畫說明

分包計畫名稱	分包金額(元)	占計畫比例	工作項目
國際原子能科研機構發展趨勢及技術布局研究	925,200	31%	1. 篩選具研究價值的國際原子能科研組織或國家實驗室 2. 研蒐關鍵科研基礎設施及所應用之核心技術/產業 3. 選擇並確認分析的設施對象 4. 完成原子能科技關鍵科研基礎設施分析