

抗輻射晶片之功能與應用市場分析

袁正達

核能研究所-綜計組-研策室

2023/04

近年來抗輻射晶片變得非常重要，因其被廣泛用於衛星、核電廠、航太、國防及各種商業應用中。根據 Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact (2020) 報告，依據晶片的功能主要可分為功率元件(Power management)，處理器與控制器(processors and controllers)、記憶體(Memory)、類比與數位混合訊號裝置(Analog and digital mixed signal devices)等類別，以下分別說明。

壹、抗輻射晶片之功能

一、功率元件：

功率元件負責整合各項電子系統組成與整體運作。游離輻射會導致閾值電壓發生變化，導致功率增益與載流量的下降。衛星通常使用 28V 至 100V 內的總線電壓(Bus voltage)與 1.2V 和 15V 之間的運轉電壓(Operation voltage)，直流轉換器(DC-to-DC converters)則用以提供總線電壓的電壓。技術進步有助於功率元件在減少損耗和增加功能方面取得進展。此類元件通常具有更薄的柵極氧化物和更淺的接合點，從而提高了對抗總劑量效應的能力，但對抗單事件效應或瞬時劑量效應的能力較低。功率元件中的金屬氧化物半導體場效電晶體 (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)，主要應用在太空與國防上對於抗輻射的需求；二極體(Diode)中，具抗輻射的光電二極體 (Rad-hard photodiodes)，對涉及太空和衛星的應用更具優勢；而閘流電晶體 (Thyristor) 則廣泛用於航太、國防科技及核能應用；絕緣閘極雙極性電晶體 (Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)則具高電流密度與低功耗的特性。

二、處理器和控制器：

處理器和控制器對於組件在同步化、導向和控制上具有關鍵影響，以確保元件能準確運行。處理器或控制器中的任何故障都可能危及整個太空任務，因此，處理器必須能夠承受太空環境中輻射的影響。其中微處理器 (Micro Processor Unit, MPU)與微控制器 (Micro Controller Unit, MCU)大量應用於航太與國防，特定應用積體電路 (Application-specific integrated circuits, ASICs)則以滿足高度客製化的設計需求為主；現場可程式化邏輯閘陣列 (Field-programmable gate arrays, FPGAs) 則具可大幅降低重新設計與更新成本的優勢。

三、記憶體：

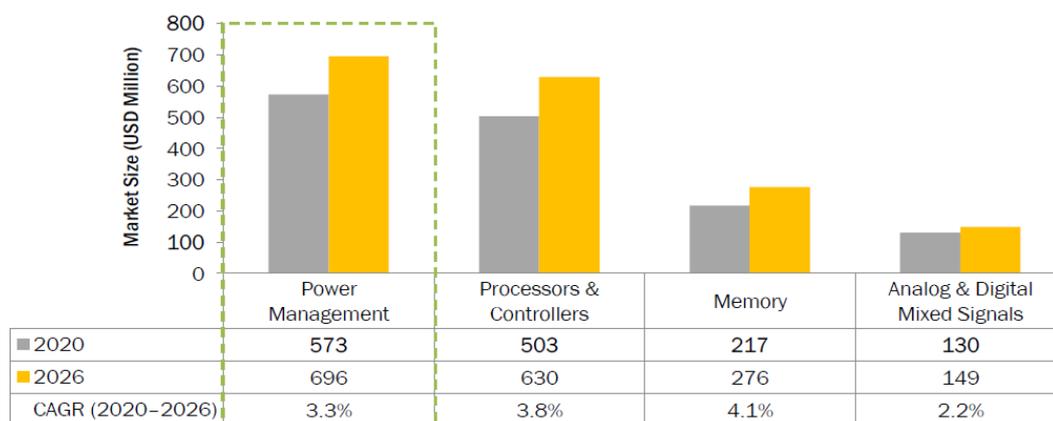
記憶體是能夠存儲數據的物理設備，儲存的數據可用於通信或執行某種功能。記憶體的關鍵應用在於太空船和核武器需要進行抗輻射處理，以減少半導體元件接收到的總電離劑量 (Total ionizing dose, TID)，其中又可分為揮發性 (Volatile) 與非揮發性 (Non-Volatile)。揮發性記憶體斷電後資料會消失，例如動態隨機存取記憶體 (Dynamic Random-Access Memory, DRAM)，靜態隨機存取記憶體 (Static Random- Access Memory, SRAM)分別廣泛應用於抗輻射元件與鑲嵌式電子零組件；而非揮發性記憶體斷電後資料會繼續儲存，例如磁阻式隨機存取記憶體 (Magnetoresistive Random Access Memory, MRAM)、快閃記憶體 (Flash)等。

四、類比與數位混合訊號裝置：

隨著微處理器與訊號處理過程中需要數位轉換的需求，類比裝置扮演著至關重要的角色；同樣，混合信號裝置係指在單一系統中同時處理類比和數位訊號的系統裝置。該系統可以是混合形式的積體電路、單個積體電路晶片或印刷電路板。為了讓這些設備可在太空中及相關應用被使用，數位和類比晶片都必須具備抗輻射的性質。例如抗輻射設計 (Radiation-hardened by design) 方法用於減少電路和組件對總劑量效應 (Total dose effect)、單事件效應 (Single-event effect) 和劑量率效

應(Dose-rate effect)的脆弱性。圖 1 為各種抗輻射晶片的市場規模，可以看出市場規模以功率元件與處理器與控制器二大類為主。

FIGURE 21 POWER MANAGEMENT SEGMENT TO HOLD LARGEST SHARE OF RADIATION-HARDENED ELECTRONICS MARKET DURING FORECAST PERIOD



Source: Expert Interviews and Secondary Literature

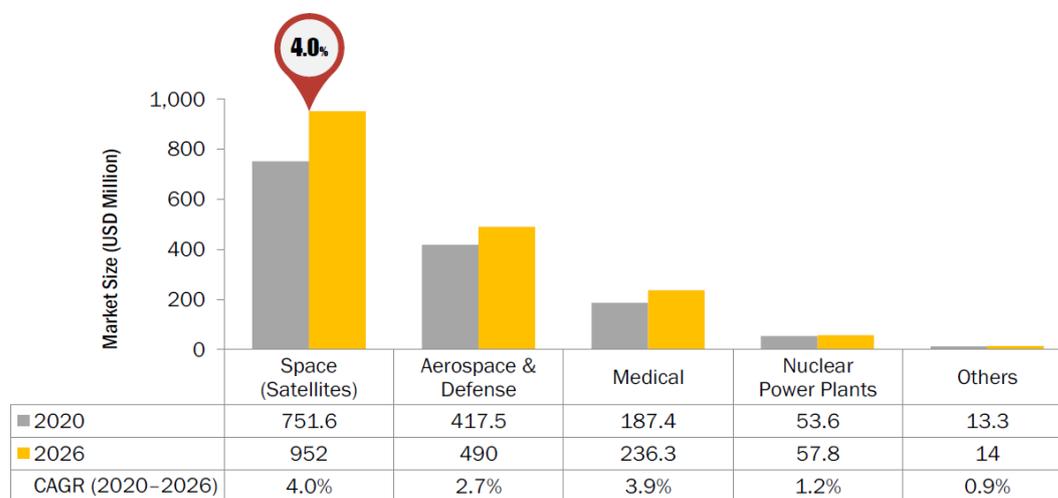
圖 1.不同功能之抗輻射晶片市場規模與預測

資料來源：Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact-Global Forecast to 2026 (Markets and Markets, 2020)[1]

貳、抗輻射晶片之應用市場

抗輻射晶片若按照應用市場來區分，主要可應用於衛星、航太工業、國防、核電廠、醫療等領域。抗輻射組件通常用於軍事和太空應用。太空應用可能包括衛星系統電源、降壓開關穩壓器、微處理器、FPGA 電源和高效低壓子系統電源。此外，隨著全球情報、監視行動的增加，以及不斷增長的太空任務數量，正在影響抗輻射服務供應商提供更可靠和更強大的服務用於太空和軍事應用的電子元件。同樣，醫療設備日益複雜，需要專門設計用於低電源，可靠的植入式應用，如醫療保健等。跟據 Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact (2020) 報告，2026 年為止，衛星領域的應用占抗輻射電子市場 952 百萬美元，2020 年至 2026 年間估計複合年成長率為 4.0%，是最大的應用市場；其次為航太

與國防，其市場規模達 490 百萬美元；而醫療及核電廠應用等領域的市場規模分別為 263.3 及 57.8 百萬美元。請參考圖 2 所示。



Note: Others includes scientific research and education

Source: Defense Science Board Reports, Department of Defense Analysis, European Cooperation for Space Standardization (ECSS) Reports, IEEE, European Space Agency (ESA) Reports, Defense Security Service (DSS) Reports, Expert Interviews, and Secondary Literature

圖 2. 衛星應用占各領域最大份額與最高年複合成長率

資料來源：Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact-Global Forecast to 2026 (Markets and Markets, 2020)[1]

一、衛星應用：

首先，太空船和衛星抗輻射組件工程師因應政府和消費者的太空計畫應用與需求增加更多功能。因此，太空船和衛星電子系統對抗輻射和信號處理的要求越來越高。儘管經濟放緩並取消了幾個太空計畫，軍事上和商業衛星對抗輻射電子元件的需求並未減少。另外，電子元件對高性能訊號的處理要求，並可在高輻射環境中耐用更久的特性，正推動太空應用對抗輻射電子產品的需求。如何在高輻射環境中保仍維持抗輻射組件的性能是供應商的主要挑戰。該市場的特點是產量低，高度專業化，有限的供應商數量。此外，該領域的製造商主要依賴政府為收

入來源。例如根據 2020 年 8 月經濟合作暨發展組織(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD)，2018 年加拿大地球觀測公司收入的 63% 來自於對政府的銷售。

二、航太工業與國防：

發展中國家促進市場增長用於航空航天和國防應用的抗輻射電子元件包括各種微處理器和其他專用集成電路 (ASIC)，其被優化為更高系統性能並有助於降低功耗。由於美國國務院持續削減國防部 (Department of Defense) 的預算，而美國國防部是許多公司的主要收入來源，因此預算削減將對抗輻射市場產生重大影響。目前，抗輻射電子元件的主要市場是美國、歐洲和亞太地區。美國太空總署 (National Aeronautics and Space Administration, NASA)、歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) 和印度太空研究組織 (Indian Space Research Organization, ISRO) 等研究機構正執行不同太空任務。此外，日本和中國等其他國家也增加了太空任務活動，並促進全球對抗輻射電子系統的需求。

其中在武器發展方面，降壓開關穩壓器和微處理器等抗輻射組件都已在國防領域取得應用，例如系統電源供應、FPGA 電源、高效低壓子系統電源等各種應用。現代處理器被應用佈署在無人機以及其他陸、海、空平台上，都被要求具備高抗輻射、小尺寸、低功耗等設計。國防武器應用需要高可靠度，因此具有抗輻射能力電子元件是合適的，因為它們足夠堅固以承受高輻射暴露。例如高空飛機、軍用車輛和潛艇需要在核戰爭中的高輻射環境下運作。而美國軍方亦尋求提高工業整合抗輻射能力用於太空應用的微電子學，因為輻射固化微電子學對於長時間使用太空船以及在核事故期間使用的設備都是必要的。

此外，載人和無人太空船都需要抗輻射電子元件在高輻射太空環境中執行長期軌道繞行任務。電子零件如微處理器、固態存儲器和網絡介面等在太空環境中使用的設備必須被設計成能夠在輻射中運行，宇宙中的輻射量可能會給電子元件

帶來問題如燒毀或臨時位元翻轉等，導致數據受到破壞。而太空行動的挑戰就是在成本、能力和可靠度之間取得平衡，以便系統足以在特定的輻射環境中持續運行，以滿足任務要求。

三、核能電廠：

抗輻射晶片在核能電廠的應用方面，中國有大約 21 座核反應器運行中，其中有 27 個在建造中，並有超過 117 個申請中，包括一些最先進的核電廠預計到 2020 年將達到 58 GWe 的裝置容量；俄羅斯則瞄準於核電廠的開發，其中在建 10 座，擬建 49 座，包括新反應器技術的發展。印度也有大量的核電廠興建計畫，預計到 2020 年核電廠裝置容量將達到 14,600 MWe。其目標是 2050 年以核能產生 25% 的電力。因此，預期核能電廠數量的增加將持續對抗輻射電子產品產生需求。

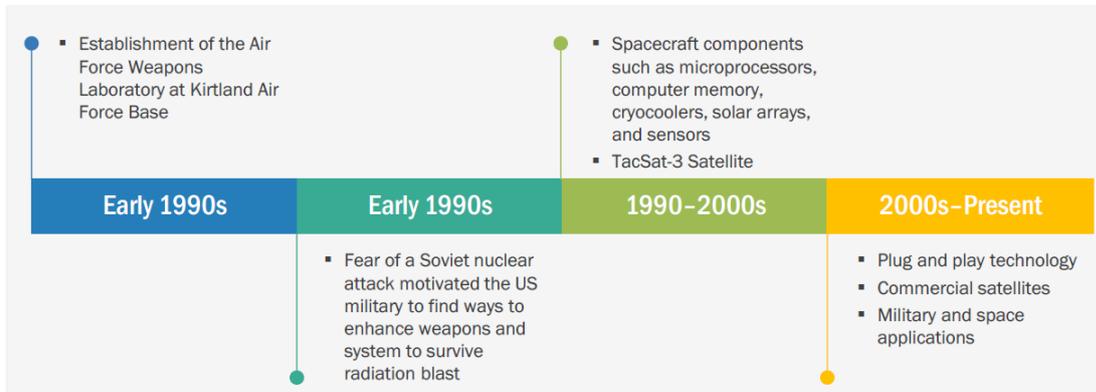
四、醫療應用：

植入式醫療設備中的抗輻射積體電路 (integrated circuit, ICs) 被用作醫學診斷和治療，正在成為醫生的主要考量，越來越多植入式裝置的患者需要放射治療，除顫器、神經刺激器和藥物輸送泵。植入式裝置中使用的 IC 需要測試在醫療行為中遇到的抗輻射的程度，植入裝置需要低功耗和可靠的設計應用，因為這些應用很複雜並可能危及生命，如齊納二極體(Zener Diode)和肖特基二極體(Schottky diode)、金屬氧化物半導體場效電晶體、絕緣柵雙極電晶體和功率調節器等皆需經過醫學認證。

參、結語

圖 3 顯示電子零組件抗輻射技術與應用領域的進程發展，該領域早期因美蘇的軍事競爭，促使美國側重在武器系統研發方面；1990 年至 2000 年期間以航太應用為主，包含微處理器、記憶體、感應器、戰術衛星(Tactical satellite)等；2000

年後則以商業衛星、軍事及太空探索之應用為主。近年亦廣泛應用於航太工業和國防、核電廠以及醫療等領域，未來相關領域的應用及突破仍值得持續關注。



Source: Primary & Secondary Research and MarketsandMarkets Analysis

圖 3.抗輻射技術進程

資料來源：Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact-Global Forecast to 2026 (Markets and Markets, 2020)[1]

參考文獻

1. Radiation-Hardened Electronics Market with COVID-19 Impact-Global Forecast to 2026, Markets and Markets, October 2020.