

國科會工程處學門主題式計畫

「矽光子/共封裝光學與智慧自動化技術之整合與開發」

計畫徵求公告

壹、計畫背景

隨著生成式人工智慧(Generative AI)與大型語言模型(Large Language Models, LLMs)的高速發展，全球資料中心(Data Center)與高效能運算(HPC)對於高速、低功耗資料傳輸的需求急遽提升。現今的晶片算力持續提升，系統內部與晶片間的高速資料傳輸逐漸成為限制整體系統效能與能源效率的關鍵瓶頸，傳統電互連(Electrical Interconnect)在頻寬密度、訊號完整性、通道損耗與功耗方面逐漸面臨工程極限，因此以矽光子(Silicon Photonics)為核心的光互連技術，被視為支撐次世代 AI 運算平台與資料中心架構的重要關鍵技術，目前全球產業正處於「光銅並進」(黃仁勳於 2026 GTC 闡釋)、以及未來「光進銅退」典範轉移的時間點。

過去三十年間，各國於矽光子技術已經相繼投入許多資源，如歐盟、美國、日本、中國大陸等，但因為缺乏殺手級應用，因此投入的資源與規模有限，從 2025 年前後的產業成熟度來看，共封裝光學(Co-Packaged Optics, CPO)仍主要由大型交換器與資料中心網路設備領域率先導入，距離全面標準化與大規模量產仍有封裝、散熱、可維修性、雷射可靠度與測試成本等挑戰。台灣雖然起步較晚，但正處於技術浪頭，是非常好的進入時機點，行政院也在 2026 年 1 月核定的「AI 新十大建設推動方案」納入矽光子技術，期望在 2040 年成為全球矽光子主要供應聚落。近年來國際半導體產業亦積極推動 CPO，將光引擎更靠近交換晶片或 AI 運算晶片，以縮短高損耗電連結、提升 I/O 密度並改善整體能源效率。

今年年初輝達在全球電路旗艦級研討會 ISSCC 2026 已展示矽光子技術於光通訊、光傳輸面向的全面突破，大幅超越之前各界預測的技術藍圖，也顯示光傳輸的疊代速度已遠超越過往想像。臺灣長期在半導體與光電領域所累積的完整供應鏈，在此時正可展現其戰略優勢，切入矽光子與 CPO 核心關鍵技術發展在全球架構快速演進之際掌握核心關鍵技術，並具備成為國際標準制定者的潛力。2026 年可以說是矽光子/CPO 從技術驗證(Qualification)正式跨入量產(Volume Ramp)的重要轉折點(nVIDIA Newsroom)，本項學門主題式計畫以「矽光子/共封裝光學與自動化技術之整合與開發」為主要探索議題。目前矽光子/共封裝光學的技術演進大致可分為四階段：可插拔模組光學(Pluggable optics)、板上光學(On-board optics)、共封裝光學(Co-packaged optics, CPO)、封裝內光學(In-Package Optical)。在全球矽光子技術藍圖的預測下，傳輸頻寬與能源效

率在 2030 年會有突破性的發展，將大幅擴張全球數據中心與 AI 產業落地的規模。現今資料中心仍普遍使用可插拔模組光學與板上光學兩種類型，而 CPO 解決方案亦逐步導入，現階段 CPO 多以 Scale-out (機櫃-機櫃) 架構實現，相較於 Pluggable optics，約可降低六成功耗；若未來改採 Scale-up (機櫃內傳輸) 架構，則有望進一步降低約八成耗電。目前產業化最大瓶頸之一，在於光纖陣列/外部雷射模組與光子晶片之高精度耦合、熱穩定封裝、可測試性及量產校正流程，亦為本專案研析的重點。

本案聚焦於引入智慧自動化技術於矽光子/CPO 產業生態鏈，利用自動化學門的專業，例如精密機械、陣列對準、膠合封裝、光電協同檢測、量產技術、智慧製造等，著重於系統封裝、組裝層級(非晶片設計製造)來解決矽光子產業目前遇到的關鍵技術與量產瓶頸。

貳、計畫目標與主要研究議題

我國已將矽光子視為未來 AI 關鍵基礎建設技術之一，行政院於 2026 年 1 月核定推動的「AI 新十大建設推動方案」，即明確將矽光子、智慧機器人與量子科技列為國家級關鍵技術，並規劃投入大量資源以強化 AI 基礎設施與產業生態系，期望推動「AI 產業化與產業 AI 化」，提升整體產業效率與競爭力。在此政策架構下，矽光子被定位為支撐 AI 算力與高速資料中心互連的重要底層技術，並結合我國既有的半導體與 ICT 產業優勢，以建立具國際競爭力的關鍵供應鏈。全球運算架構正從「提升晶片效能」轉向「強化整體系統效率」，其關鍵正是矽光子與 CPO，而這涉及機電、材料、製程、封裝、光電介面、散熱、到系統架構等多層次技術，屬高度整合工程。基於自動化學門過去在機電、材料、製程、封裝、模組、智慧製造所累積的堅實基礎，適合推動此跨領域之重要學門主題專案計畫。

臺灣具備全球最完整的半導體產業供應鏈，涵蓋 IC 設計、晶圓製造、先進封裝、PCB、光通訊元件、自動化設備及精密機械等完整生態系，具備發展矽光子與共封裝光學(CPO)技術之堅實基礎。然而，相較於晶片設計與製造，CPO 量產更仰賴高精度光電對準、自動化封裝、智慧檢測、製程控制及高速測試等關鍵製造技術，目前仍具有相當大的發展空間。尤其在光纖陣列(Fiber Array Unit, FAU)與光子晶片耦合、外部雷射整合、熱管理、封裝可靠度及高速光電測試等關鍵製程，均需結合精密機電、自動化控制、機器視覺及智慧製造等跨領域技術，方能支援未來矽光子/CPO 由試產邁向大規模量產。因此，本主題式計畫聚焦於建立臺灣自主之矽光子/CPO 智慧製造核心技術，強化關鍵製造能力，提升國際競爭力，並完善我國矽光子產業生態系。

在國科會自動化學門的研究架構下結合自動化、精密機電、智慧製造與光電封裝等領域，此案預期發展矽光子與共封裝光學元件之智慧化自動組裝、校正檢測與製程優化技術，具有重要的研究與產業價值。本專案計畫將聚焦於台灣產業可實際參與、

且最具落地性的技術環節，例如光纖與光子晶片之高精度對準、自動化封裝製程、光電整合模組之智慧檢測與製程優化等，並導入智慧製造與自動化控制技術，以提升矽光子模組之製造效率與可靠度。透過此類研究，不僅可強化我國矽光子產業鏈中的關鍵製造能力，也可促進自動化技術在新世代光電系統製造中的應用，回應國家 AI 產業發展與智慧製造轉型之政策需求。

本主題式計畫係在光連結(光傳輸)成為高速運算與資料中心主流趨勢下，聚焦以自動化與智慧製造技術支撐矽光子產業發展的關鍵製造環節，特別是在矽光子晶片與光纖耦合對準、高精度封裝製程控制、外部雷射/Fiber Array Unit (FAU)整合、以及高速光電模組性能檢測等環節，皆需要結合精密機電系統、感測技術、機器視覺、資料分析與智慧化控制等重要的自動化技術，以提升製造效率、產品良率與可靠度。因此，透過國科會自動化學門的研發能量，發展矽光子與共封裝光學模組之智慧化自動組裝校正與檢測技術，具有重要的學術意義與產業價值。擬推動研究主軸如下：

主軸一：精密自動化光電對準 - FAU(光纖陣列)多自由度自動對準、光耦合搜尋演算法、High Throughput FAU/Substrate 精密膠合

範例：AI 輔助矽光子光纖-晶片高精度自動對準技術：矽光子模組製造中，光纖與 Photonic IC (PIC)的對準是最關鍵且最昂貴的製程之一，目前高階模組多使用 Active alignment，耗時且難以自動化，因此開發 AI-assisted optical alignment system 是未來實現量產的關鍵。以下為可能的關鍵議題：Sub-micron precision alignment、Machine vision fiber recognition and alignment、AI-based optical power feedback control and optimization、Automated coupling algorithm 等。

主軸二：精密自動化封裝與組裝 - EIC/PIC 晶片貼合(Hybrid Bond)、CPO 封裝、矽光先進封裝製程與設備、光電晶片異質整合技術

範例：共封裝光學(CPO)模組自動化精密封裝與定位技術：此項目需要 PIC、Fiber array、Electrical ASIC 多元件整合，並考量 Thermal management，封裝精度要求在 micron 等級。以下為可能的關鍵議題：Hybrid optical/electrical packaging automation、Precision pick-and-place、Micro-assembly automation and control、Thermal deformation compensation 等。

主軸三：智慧自動化光電檢測 - 高速光模組測試、耦光自動化校正、光電共測、AOI 整合檢測

範例：矽光子模組智慧光電檢測與高速自動測試：未來 AI 資料中心光模組(800G、1.6T)測試需求快速增加，測試成本可能占模組成本 20-30%。以下為可能的關鍵議題：Automated optical testing、Wafer-level photonic testing、Automated BER measurement、Multi-channel testing platform 等。

範例：矽光子封裝智慧檢測與缺陷辨識系統：矽光子封裝涉及 Fiber bonding、

Micro lens、PIC，缺陷非常微小，需要 AI machine vision inspection。以下為可能的關鍵議題：Optical inspection、AI defect detection、3D optical metrology、Process monitoring 等。

主軸四：智慧自動化光電模組製造 - Digital twin、製程 AI、預測性維護

範例：矽光子製造智慧製程與數位孿生：矽光子製造流程包括 Alignment、Bonding、Packaging、Testing，建立 Digital twin manufacturing system 可提升良率。以下為可能的關鍵議題：Photonic manufacturing digital twin、Process simulation、AI process optimization、Predictive maintenance 等。

參、計畫申請及審查

一、計畫申請：

- (一) 申請機構、計畫主持人及共同主持人必須符合「國家科學及技術委員會補助專題研究計畫作業要點」相關規定。
- (二) 計畫主持人以申請 1 件本項學門主題式計畫為限。計畫主持人除了申請本項學門主題式計畫之外，亦可再同時申請學門大批專題研究計畫，惟請留意計畫內容之差異性，並應將本項學門主題式計畫列為第一優先執行。
- (三) 本項學門主題式計畫請以三年期計畫、單一整合型計畫進行規劃。
 1. 由總計畫主持人將所有子計畫彙整成一本計畫申請書(總計畫主持人須執行 1 件子計畫)，且至少需包含 3 件子計畫(含總計畫主持人執行之子計畫)以上，並由總計畫主持人任職之機構提出申請。
 2. 計畫經審查通過、核定補助後，主持人列入執行國科會專題研究計畫計算件數，共同主持人不列入執行國科會專題研究計畫計算件數。
 3. 計畫內容請規劃 3 年期計畫(計畫期程預計自 116 年 8 月 1 日至 119 年 7 月 31 日)。
 4. 請加強說明整合型計畫之總計畫與各子計畫之關聯性、分工合作架構、整體應用情境等，以強化整合之必要性。每一年度預計達成之技術指標及目標需說明進步性或應用連貫性，並針對研發之主題提出相關之應用場域規劃。
 5. 有關 CM03「三、研究計畫內容」之篇幅上限調整為 40 頁，超頁部分不予審查。
- (四) 計畫總主持人及團隊成員以自動化學門為主，並鼓勵跨領域合作，由相關領域學者共同組成研究團隊。請於表 CM04「四、整合型研究計畫項目及重點說明」中說明總計畫主持人及各子計畫主持人之所屬學門、專長領域與分工合作規劃。
- (五) 計畫書中須詳述預計研發之目標技術、國內外發展現況以及與標竿技術之比較、查核點及最終效益。

- 1.目標技術之國內發展現況、國際發展現況、與國際標竿技術之比較(需有明確規格與數據)。
 - 2.藉由本項學門主題式計畫之投入，每季及每年度預計達成之技術指標及查核點，目標技術預期可提升程度(分年達成目標以及 3 年全程之最終效益)、與國際標竿技術之比較(需有明確規格與數據)；並應以補強關鍵技術缺口、具體可行的產業應用情境、明確之產業需求為目的。
- (六) 為能充分展現計畫執行之具體成效，各計畫應依其研究性質，針對上述**主軸一至主軸四**(至少一項)主要研究議題所衍生之矽光子/共封裝光學(CPO)關鍵技術，建立具體且可量化之技術績效指標(Key Performance Indicators, KPI)，例如製造效率、製程精度、光學耦合效率、封裝良率、熱穩定性、系統可靠度、測試效率、自動化程度、能源效率等。計畫申請書中應明列：技術亮點與創新性、可供查核之量化績效指標及年度查核點、與國內外標竿技術之比較(需具明確規格或數據)、研發成果之驗證方式、預期產業應用效益及對我國矽光子/CPO 產業鏈之具體貢獻。
- (七) 本項學門主題式計畫以強化產學合作、落實產業應用為目標，故學界研究團隊提案時必須邀請國內業界參與共同執行，提案時須提供「合作企業參與計畫意願書」(格式詳如附件 2，請附於 CM04 「四、整合型研究計畫項目及重點說明」之後)，請具體敘明合作企業參與方式、合作內容，例如提供軟硬體設備、提供實測場域、提供研發人力、投入配合款…等。相關之技術規格範例與可能之合作廠商請參閱附件 3。
- (八) 本項學門主題式計畫每年度申請總經費以新臺幣 800 萬元為上限。
- 1.基於資源有限，本項學門主題式計畫以不補助購置大型硬體設備或軟體為原則，請強化學界現有設備及平台之共用與協調支援，以使有限資源發揮最大效益。此外，鼓勵業界及校方投入資源，與國科會共同推動。
 - 2.除 CM05「五、申請補助經費」之外，請一併上傳 CM05-2，以便審查委員瞭解總計畫及各項子計畫之經費編列情形。
- (九) 申請程序：
- 1.請計畫主持人及團隊成員依「國家科學及技術委員會補助專題研究計畫作業要點」及國家科學及技術委員會專題研究計畫申請書格式，研提計畫申請書(請於國科會網站(<https://www.nstc.gov.tw/>)登入「學術研發服務網」，完成線上申請作業)。計畫申請人之任職機構應於國科會規定之申請截止日期前函送達國科會提出申請(請彙整造冊後專案函送)，逾期恕不受理。
 - 2.線上申請時，計畫類別請選「專題類-隨到隨審計畫」項下之「一般研究計畫」，研究型別請選「整合型計畫」，計畫歸屬請選「工程處」，學門代碼請選「E91 學

門主題式計畫」項下之「E9106 矽光子/共封裝光學與智慧自動化技術之整合與開發」。

3.請於計畫名稱前加註「學門主題式計畫：」，以利識別為申請本項學門主題式計畫。

(十) 經審查後未獲推薦之計畫申請案，不得轉入學門大批專題研究計畫中審查，亦不接受申覆。

二、計畫審查與考評

(一) 計畫申請案之審查

1.審查作業包括初審及複審，如有必要，將安排計畫主持人、共同主持人或合作企業出席審查會議，簡報計畫內容、針對審查意見進行回覆說明。

2.計畫審查重點

(1) 計畫主持人與本項學門主題式計畫相關之研究績效表現、產業應用面之研發成果與協助業界之實際效益、計畫執行經驗、領導與協調能力。計畫共同主持人與本項學門主題式計畫相關之研究績效表現、產業應用面之研發成果與協助業界之實際效益。

(2) 計畫主持人及共同主持人之所屬學門、專長領域與分工合作規劃。

(3) 計畫之研究主題應著重於創新性、前瞻性及應用性，對於矽光子/CPO 與自動化技術的重要性、需求性、實務性，並結合學界研發能量及產業技術需求。計畫書應敘述國內外研究與技術發展現況，導引規劃多年期之技術平台發展藍圖。尤以解決開發矽光子/CPO 與自動化技術之關鍵突破點，以精進及完善其運作效力，提高技術之落地應用性為要。

(4) 計畫書需分年陳述執行內容，並具體說明每一年度研發成效與查核點、年度技術指標及目標之進步性或應用連貫性。研發成效須著重實際產出之軟體、硬體或系統整合等之技術對學術或產業之貢獻，及與國際標竿之比較。查核點須說明所發展之矽光子/CPO 及自動化技術之績效量化評量指標與驗證方式。

(5) 整體計畫分工架構，各子計畫之關聯性與整合程度。經費申請及人力規劃之合理性。

(6) 預期完成之工作項目與預期成果之妥適性，除一般性學術成果指標外，應提供具體技術指標(例如專利申請與獲得、技轉技術、衍生產學合作計畫、實際應用於業界製程...等)，尤其是場域應用驗證規劃、產業應用之具體性與可行性、解決產業實務問題的達成度等。

(7) 合作企業之代表性、參與本項學門主題式計畫之實質投入程度、對於學界團隊研發成果之技術承接與開展能力。

(二) 計畫之考評機制

- 1.本項學門主題式計畫經審查通過者，補助分年核定之多年期計畫(至多為 3 年期計畫)。每年辦理期中考評與期末考評，考評未獲通過者，將予退場，不補助下一年度計畫。此外，國科會得依據審查結果，調整計畫執行內容及經費(含刪除計畫共同主持人、刪除不必要之子計畫、刪減經費等)或提前終止計畫。
- 2.期中考評及期末考評之辦理方式可為簡報會議審查、實地訪視、場域實測、成果展示...等，請依國科會通知為準。
- 3.期中考評與期末考評之重點包含：計畫執行進度與成果、研發之技術項目是否為業界需要之關鍵技術、研發技術相較國內外標竿技術之進步性、技術成熟度、技術落地及產業應用之可行性、實際場域應用之規劃及實測情形、合作企業之實質參與程度...等。
- 4.請依國科會通知，繳交計畫執行進度與成果，參加計畫審查會議、計畫觀摩、技術媒合、成果展示(如業界大型展覽、未來科技館、學門舉辦之成果發表會...等)等相關活動，配合辦理實地訪視與場域實測等。
- 5.鼓勵計畫團隊參與國科會、或其他部會、或學會/公協會/業界等所舉辦之相關競賽，以推廣研發成果，培育參與學生之實作能力。
- 6.計畫主持人應於每年計畫執行期滿前 2 個月至國科會網站線上繳交期中進度報告，並於全程計畫執行期限結束後 3 個月內至國科會網站線上繳交完整版成果報告。