

國科會「量子躍昇專案研究計畫」徵求公告

一、計畫背景與目標：

量子電腦與量子通訊是當代量子科技中最重要的應用領域，其概念是以量子力學中量子疊加(superposition)與量子糾纏(entanglement)等特性來進行邏輯運算或訊息傳遞。量子電腦具備強大的平行運算能力，被預期能解決傳統電腦難以負荷的複雜難題；而量子通訊則因量子狀態一旦被竊聽偵測即會改變的物理特性，成為絕對安全的保密通訊模式。這些科技未來在資安防護、國防、金融系統、新藥研發、新材料設計等重要科技領域具備無可取代的重要性，是我國必須投入的關鍵戰略科技。

前期量子國家隊計畫已成功奠定我國在量子科技領域的堅實基礎。在硬體與元件開發方面，我國已製作出高保真度超導多量子位元晶片，建立低功耗的低溫電路元件模型，並實現低溫單晶片寬頻開關，為解決大規模量子電腦佈線問題建立了關鍵基礎。在量子通訊與光量子元件方面，不僅實現城際量子金鑰分發(QKD)及無中繼室內量子網路演示，更成功研發出「可儲存的次自然線寬單/雙光子光源」，並首度透過光纖網路完成長距離跨區實域量子糾纏分發。

然而，要從現有「含噪聲中尺度量子」(NISQ)階段，邁向百萬級容錯通用量子電腦與超長距離高保密量子通訊，必須克服硬體擴展上的熱負載、布線複雜性，以及通訊距離受限等剛性瓶頸。為此，本會賡續推動第二期計畫「量子躍昇專案研究計畫」。

本計畫旨在以國家隊資源為槓桿，建構自主且完整的量子科技生態圈，並極大化臺灣在全球半導體製造、IC設計、矽光子與先進封裝之絕佳優勢。本期目標除持續深耕多元量子位元，專注開發具突破性的硬體關鍵零組件（如低溫 Cryo-CMOS 控制晶片、超導參數放大器、高效率單光子偵測器及量子通訊晶片等）外，更強調跨領域之軟硬體系統級整合。我們致力打造具備規模化控制能力的量子運算硬體系統與長距離量子通訊防護網絡，並結合軟體工程與混合式運算平台，加速推動產業應用落地。藉由從元件研發邁向次系統與整體系統組裝發展，確保我國在後摩爾定律時代的科技主權，使臺灣不僅是供應鏈的一環，更能成為全球量子關鍵零組件製造與系統整合發展的重鎮。

二、申請機構(及執行機構)及計畫主持人資格：

- (一)申請機構：符合本會補助專題研究計畫作業要點第二點規定者。
- (二)計畫主持人資格：符合本會補助專題研究計畫作業要點第三點規定者，但不含第二款之人員。

三、計畫徵求重點與研發方向說明：

本計畫研發重點分為三大研究面向：

(一)通用量子電腦硬體技術：

包含量子位元及建構以量子位元為基礎之量子電腦相關硬體技術。本面向強調硬體之系統性整合，積極鼓勵團隊以五年內能組建出真實可運算之實體量子運算硬體系統為計畫總目標，並應提出邁向容錯量子運算(Fault-Tolerant Quantum Computing, FTQC)之技術路徑；同時，針對量子硬體發展中之個別重要元件與核心關鍵技術，亦歡迎提出具突破性之研發計畫。

計畫可參考國際標竿作為長期對標。例如，美國能源部(DOE)預期於 2028 年示範具科學應用價值之容錯量子電腦，其規格至少包含：150 至 250 個邏輯量子位元；具計算通用性之指令集；能準確執行包含至少 10^5 個困難運算(如 T 閘或 Toffoli 閘等非 Clifford 運算)之量子電路；且每次量子運算之邏輯錯誤率達 10^{-8} 。申請團隊應據此明確訂定五年內可量化驗證之里程碑，如邏輯量子位元數、物理與邏輯錯誤率、低於糾錯閾值之示範等。

研究議題包含(但不限於)下列相關研究項目：「多元平台之量子位元設計與先進製作技術」(如超導量子位元、半導體自旋量子位元或中性原子量子位元等)、「量子位元技術與邏輯架構」(如可擴展之高保真度糾纏產生與分配、物理至邏輯量子位元之架構設計、支援高效率量子糾錯碼之硬體佈局與連接性等)、「容錯與量子糾錯技術」(如量子糾錯碼之硬體實作、低於閾值之邏輯量子位元示範、魔術態製備與蒸餾、錯誤抑制與洩漏錯誤處理等)、「大規模擴展之周邊控制電路與量測次系統整合」(如低溫控制晶片 Cryo-CMOS、低溫微波電路與射頻控制模組、結合 AI 之自主校準與控制系統等)、「系統基礎設施、封裝與系統層級整合」(如低溫與真空系統、高密度低溫佈線與互連、量子晶片先進封裝與模組化設計、自動化監控與維運技術等)，以及「其他提升量子電腦運算能力或易用性之創新技術」。

(二)光量子技術：

包含以光為基礎之量子運算與量子通訊及感測等相關硬體與軟體技術開發。本面向特別強調研發成果需朝向能夠實現真正實用的量子通訊與相關系統建構為目標。

研究議題包含(但不限於)下列相關研究項目：「光量子運算」(如異質整合之光子量子位元晶片、量子處理器間之光子互連與遠端糾纏)、「長距離高保密量子通訊」(如突破百公里限制之量子金鑰分發系統與防竊聽技術、量子中繼器等)、「光量子感測與單光子偵測技術」與「量子增強感測」(如基於量子位元—共振腔(qubit-cavity)架構之感測技術，以超越標準量子極限之靈敏度為目標)。

(三)量子科技軟體技術

包含量子電腦會使用到的軟體技術，本面向聚焦於底層架構、中介軟體與系統軟體基礎設施，不含實務應用開發(實質產業應用如金融、醫藥等將於其他專案另行徵求)；惟為引導量子硬體發展與系統評測所需之關鍵科學應用基準(keystone applications)，得納入本面向。

研究議題包含(但不限於)下列相關研究項目：「量子演算法」(如針對化學、材料科學、電漿物理與高能物理等關鍵科學問題之演算法與資源估算)、「先進量子程式語言設計與編譯系統」(如編譯優化與形式化驗證工具)、「量子系統軟體與容錯架構」(如低延遲量子糾錯硬體解碼器設計、容錯指令集與邏輯層編譯)、「AI與量子整合」(如以AI實現即時量子糾錯解碼、自主量子控制與校準)、「混合式運算(HPC-AI-QPU)軟硬體系統整合」(如整合多元量子運算平台與高效能計算、人工智慧及高速研究網路，建構可供學研界共享之量子運算使用者平台)與「關鍵科學應用基準與系統評測」(如定義具代表性之科學應用案例，作為量子電腦系統開發與效能評估之依據)。

各研究面向共通事項：鼓勵計畫團隊與國家級研究機構、大學及產業界密切合作。計畫並應規劃研發成果與國家高效能運算及研究網路基礎設施介接之可行性，以逐步建構整合 HPC、AI 與量子運算之研究生態系，提供國內學研界使用多元量子運算平台之管道。

四、計畫構想書撰寫說明：

本計畫構想書除摘要及少數格式含中文外，均以英文撰寫。

(一)計畫摘要

請於中英文摘要中具體說明要解決的問題和技術突破點，以及與本專案計畫所推動之戰略研發目標的關聯性。

(二)計畫內容(頁數以 5 頁為原則)

此計畫為目標導向型計畫，是故總計畫內容須明確陳述整體總目標。計畫內容必須陳述各年研發目標、計畫規劃藍圖(roadmap)、國內外現況分析、欲達成之質化與量化技術指標、以及達成該指標之執行策略等要項。其中，申請「通用量子電腦硬體技術」面向者，量化技術指標應包含邁向容錯量子運算之分年里程碑，如邏輯量子位元數、物理與邏輯錯誤率、低於糾錯閾值之示範等。

(四)資源與專長整合：鼓勵籌組跨產學研、跨專長的研究團隊，高挑戰性的目標需要更全面的資源與專長整合方能達成，相關規劃須於計畫書中具體敘明。

四、申請注意事項：

(一)申請方式：

自即日起接受申請，計畫構想書格式請見附檔，請以英文撰寫後上載至專題計畫書表格 CM03。申請機構須完成線上申請作業，並檢附相關申請文件於 115 年 10 月 29 日(星期四)前函送本會(以發函日期為準)，逾期不予受理。

(二)計畫執行期限程：

自 116 年 3 月 1 日起，至多五年。

(三)研究計畫類型：

本計畫得申請多年期研究計畫。「通用量子電腦硬體技術」與「光量子技術」項目以單一整合型研究計畫為限，其他得為個別型或單一整合型。單一整合型之總計畫及所有子計畫全部書寫於一份計畫書，且應詳實註明總計畫與子計畫之研究主題，各計畫亦需具備高整合性、明確的執行藍圖與計畫目標。子計畫數目以不超過六個為限，並由總計畫主持人之服務機關提出申請。未依規定申請者，恕不予受理審查。

(四)計畫經費：

個別型計畫每年度申請總額以不超過 1,500 萬元 為原則。

單一整合型計畫每年度申請總額以不超過 **3,500 萬元** 為原則。

以上計畫若有超過一千萬之大型設備，另案考量。

(五)線上系統：

計畫主持人請至國科會網站 (<https://www.nstc.gov.tw/>) 「學術研發服務網」，申請「專題類-隨到隨審計畫」，計畫類別「一般導向專案研究計畫」製作計畫書。計畫歸屬點選「自然處」；學門代碼點選「M5112-量子科技」，子學門代碼依計畫屬性點選下面其中之一「M511201-通用量子電腦硬體技術、M511202-光量子技術、M511203-量子科技軟體技術」。

五、審查作業：

(一)採「構想書」及「完整計畫書」兩階段辦理。需要時，得邀請計畫主持人（團隊）進行簡報。構想書審查，將依本會專題研究計畫審查方式辦理。經審查程序後，構想書階段審查獲推薦者，本會將正式行文通知申請機構於期限內提送完整計畫書。

(二)審查重點：

- (1) 計畫提案之企圖心與本計畫欲突破技術規格項目之切合度。
- (2) 技術可行性：需提出具體分年技術藍圖(roadmap)規劃。
- (3) 新穎性與學術研究卓越。
- (4) 計畫主持人之執行力。
- (5) 團隊成員之互補性與跨領域、跨單位資源整合能力。

六、計畫核定：

- (一)為鼓勵計畫主持人能專注投入執行，本會得核給本專案研究計畫研究主持費最高每月新台幣 30,000(個別型計畫主持人)與 50,000(單一整合型計畫之總主持人)元。單一整合型計畫之子計畫主持人，本會得視計畫審查之結果，核給研究主持費最高每月新台幣 30,000 元。
- (三)總計畫及子計畫主持人於計畫執行期間僅得支領 1 份研究主持費，同一執行期限若同時執行 2 件以上，以最高額度計算，並得於不同計畫內採差額方式核給。
- (四)獲核定補助者列入本會研究案計畫件數計算，未獲補助者不得申覆。
- (五)獲補助之計畫如為多年期計畫，採多年期分年核定。

七、計畫執行、報告與考評：

- (一)為強化計畫效益與成果，本會將對執行計畫定期進行檢視，執行計畫主持人及其團隊必須配合提供計畫執行進度與成果報告，並出席定期工作會議或各項審查會議。
- (二)由本會籌組專家委員會，進行每年期中考核及全程期末考核，並依據期中考核結果作為調整次年度經費之參據。
- (三)如未依規定繳交報告，或執行成效未如預期且計畫主持人未盡力改善時，國科會得調減次年度經費或終止執行該計畫。
- (四)各年度所需經費如未獲立法院審議通過或經部分刪減，國科會得依審議情形調整補助經費。

八、其他注意事項

- (一)總計畫主持人限申請本專案計畫一件，並不得擔任本專案其他申請案之子計畫主持人。
- (二)計畫主持人與共同主持人有義務參加本「量子躍昇專案研究計畫」之相關學術應用推動活動以及成果發表會。成果發表時，除註明本會補助外，亦請註明本計畫名稱或計畫編號，且主持人須通知計畫推動辦公室，以利成果詳實紀錄備查。
- (三)本計畫之計畫主持人與團隊須配合本專案科普教育之整體推動規劃，包含參訪與網頁資訊提供等。
- (四)本計畫之簽約、撥款、延期與變更、經費結報及報告繳交等應依本會補助專題研究計畫作業要點、本會補助專題研究計畫經費處

理原則、專題研究計畫補助合約書與執行同意書及其他有關規定辦理。

(五)本公告未盡事宜，應依本會補助專題研究計畫作業要點、本會補助專題研究計畫經費處理原則及其他相關法令規定辦理。

九、連絡窗口：

召集人：國立陽明交通大學電子物理系 張文豪教授

E-mail: whchang@mail.nctu.edu.tw

連絡人：劉芳君 科技研發管理師，Tel: 02-2737-7022，E-mail: fcliu@nstc.gov.tw

王心願 小姐，Tel: 02-2737-7522，E-mail: soa145@nstc.gov.tw

附件：計畫構想書申請書、研究領域說明