

## 國家科學及技術委員會 函

機關地址：臺北市和平東路二段106號

聯絡人：徐文章

電話：02-2737-7022(劉小姐)

傳真：

電子信箱：fcliu@nstc.gov.tw

受文者：國立成功大學

發文日期：中華民國115年9月23日

發文字號：科會自字第1150067981號

速別：普通件

密等及解密條件或保密期限：

附件：如文(附件1 115M0P000666\_115D2029791-01.odt、附件2 115M0P000666\_115D2029792-01.pdf、附件3 115M0P000666\_115D2029793-01.pdf、附件4 115M0P000666\_115D2029794-01.pdf)

主旨：本會「量子躍昇專案研究計畫」，自即日起受理申請，請於115年10月29日（星期四）前函送本會，逾期不予受理，請查照轉知。

說明：

- 一、旨揭計畫依本會補助專題研究計畫作業要點規定辦理，申請機構及計畫主持人務必先行詳閱本計畫徵求公告及相關附件各項規定說明。
- 二、本計畫徵求公告詳閱附件，或至本會網站「動態資訊」之「計畫徵求專區」或自然處公告網頁下載。
- 三、申請人請循本會學術研發服務網登入「線上申請/隨到隨審計畫/計畫類別/一般導向專案研究計畫」方式作業，並依計畫屬性點選相對應學門代碼（學門代碼：M5112-量子科技，子學門代碼：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）。
- 四、本計畫之執行期程自116年3月1日開始，計畫性質為專案型研究計畫，未獲補助案件恕不受理申覆。
- 五、相關計畫內容疑問，請洽本會自然處，電話：(02)2737-7022。有關係統操作問題，請洽本會資訊處服務專線，



電話：0800-212-058，(02)2737-7590、7591、7592。

正本：專題研究計畫受補助單位（共274單位）

副本：本會綜合規劃處、自然處、工程處

15/09/23  
16:21:38

主任委員吳誠文

裝

訂

線

***Research Proposal***

***Quantum Technology Program***

**量子躍昇專案研究計畫**

Title of Proposal (Chinese) :

\_\_\_\_\_

Title of Proposal (English) :

\_\_\_\_\_

Project Period: March 1st, 2027 ~

Principal Investigator (Chinese) :

\_\_\_\_\_

Principal Investigator (English) :

\_\_\_\_\_

Participating Institutes:

\_\_\_\_\_

Project Discipline \_\_\_\_\_



## Table of Contents

Cover Page (Form CC00)

|      |                                                                       |   |
|------|-----------------------------------------------------------------------|---|
| I.   | General Information (Form CC01).....                                  | 1 |
| II.  | Multi-year Project Budget Request (Form CC02).....                    | 2 |
| III. | Project and Sub-project List (Form CC03).....                         | 3 |
| IV.  | Abstract and Keywords (Form CC04).....                                | 4 |
| V.   | Description of Proposed Research (Form CC05).....                     | 5 |
| VI.  | Complementary Measures from the Involved Institutes (Form CC06) ..... | 6 |
| VII. | Curriculum Vitae (Form CC07).....                                     | 7 |

# Research Proposal

## Quantum Technology Program

### I. General Information

Application Number:

|                                     |         |                                                                                                                                                          |          |  |
|-------------------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--|
| Title of Proposal                   | Chinese |                                                                                                                                                          |          |  |
|                                     | English |                                                                                                                                                          |          |  |
| Name of Principal Investigator (PI) | Chinese |                                                                                                                                                          | Position |  |
|                                     | English |                                                                                                                                                          |          |  |
| Institute/Department                |         |                                                                                                                                                          |          |  |
| Project Period                      |         | February 1st, 2027 ~                                                                                                                                     |          |  |
| Project Discipline                  |         |                                                                                                                                                          |          |  |
| The First-year Budget Request       |         |                                                                                                                                                          | USD      |  |
| The Total Budget Request            |         |                                                                                                                                                          | USD      |  |
| Corresponding Person                |         | Name: _____ (Chinese) _____ (English)<br>Mailing Address (Chinese): _____<br>Telephone: (Office) _____ (Home) _____ (Mobile)<br>Fax: _____ E-mail: _____ |          |  |

Principal Investigators' Affidavit:

The research proposed in this grant application has not been financially supported by any funding agency. I am aware that any withholding, falsification, or misrepresentation of information could result in administrative actions such as the dismissal of an application or the suspension and/or termination of an award, as well as other possible punitive actions.

**Signatures --** Principal Investigators:\_\_\_\_\_ Date:\_\_\_\_\_

Principal Investigators of the Sub-projects: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Form CC01



## II. 1st-year and Total Project Budget Request:

unit: 1,000NTD

| Project Year                                                                                                                                                    | 1 <sup>st</sup> Year         | Sub-total                |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|----------------|
| <b>Category/Item</b>                                                                                                                                            | (2027/03 —                   |                          |                |
| <b>General Expenses</b>                                                                                                                                         |                              |                          |                |
| Personnel                                                                                                                                                       |                              |                          |                |
| Consumables                                                                                                                                                     |                              |                          |                |
| Travel expenses for invited international collaborator to this project<br>(Taiwan inbound)                                                                      |                              |                          |                |
| <b>Equipment</b>                                                                                                                                                |                              |                          |                |
| <b>International Travel Expenses</b><br>(Taiwan outbound)                                                                                                       |                              |                          |                |
| <b>Overhead</b>                                                                                                                                                 |                              |                          |                |
| <b>Total</b><br>(USD=30NTD)                                                                                                                                     | NTD _____<br>(USD _____)     | NTD _____<br>(USD _____) |                |
| Postdoctoral Research Fellows                                                                                                                                   | _____ person(s)              | _____ person(s)          |                |
| <b>Other Financial Supports:</b>                                                                                                                                |                              |                          |                |
| Please indicate any other supports from participating institutes, industrial sectors, or other funding agencies. Leave the space below blank if not applicable. |                              |                          |                |
| Name of funding Source                                                                                                                                          | Category/Item of the funding | Amount Committed         | Funding Period |
|                                                                                                                                                                 |                              |                          |                |
| Administrator Signature of funding source: _____                                                                                                                |                              |                          |                |

III. Project and Sub-project List

| Categories    | Name of PI | Institutute/<br>Department | Position | Project Title | Percentage of<br>Time* |
|---------------|------------|----------------------------|----------|---------------|------------------------|
| Main Project  |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 1 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 2 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 3 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 4 |            |                            |          |               |                        |
| .             |            |                            |          |               |                        |
| .             |            |                            |          |               |                        |

\*Percentage of time is defined here as the ratio of the hours devoted to this project to the total working hours per week for the PI.

## IV. Abstract and Keywords

(Formatting: font type: Times New Roman; size: 12 points; spacing: single-space; page limit: 1)

**Abstract**

**Keywords:**



Form CC04

## V. Description of Proposed Research

Please elaborate the overall proposal and also reason that why this research proposal is worth of being funded.

The contents should include, but not limit to, the background of the proposed studies, the Scientific/technological significance, the specific aims and the research approaches of the proposed project. Please also state the research capacities in terms of the involved research personnel and Institutes.

For proposals under Research Area 1 (Universal Quantum Computer Hardware Technology), please specify quantifiable annual milestones toward fault-tolerant quantum computing, such as the number of logical qubits, physical and logical error rates, and below-threshold demonstrations of quantum error correction.

All proposals are encouraged to describe collaboration with national research institutes, universities, and industry, as well as the feasibility of interfacing research outcomes with national high-performance computing (HPC) and research network infrastructure.

**(Formatting:** font type: Times New Roman; size:12 points; spacing: single-space; page limit: 5, including tables, figures and references)



## VI. Complementary Measures from the Involved Institutes

Please describe any complementary measures from the involved Institutes.

The support for the project can be in the form of funds, space, and/or research manpower, etc.

**(Formatting: font type: Times New Roman; size: 12 points; spacing: single-space; page limit: 1)**



## VII. Curriculum Vitae (CV)

(Required for all **PIs and co-PIs** of the main and sub-projects; **2-page** limit for each CV)

Each CV should include the following information:

1. General information (e.g. name, contact information, etc.)
2. Education.
3. Current position and relevant experience.
4. Fields of academic specialty.
5. Major awards and honors.
6. Publications, which are related to this proposal, in the past five years. They may include technical reports, patents, periodical articles, or books
7. Research projects executed in the past five years.



# 國科會「量子躍昇專案研究計畫」研究領域說明

## 研究面向一：通用量子電腦硬體技術

### 壹、背景及目的

量子電腦是透過量子位元的邏輯閘運作來達成通用型的運算，被預期能廣泛且高速地解決傳統電腦難以有效運算的各式複雜及龐大問題。隨著量子位元數量及邏輯閘結構維度的大幅提高，量子位元的保真度(fidelity)及彼此的連結性(connectivity)都變得相當關鍵；而要真正執行具科學與產業價值的量子演算法，更必須透過量子糾錯將大量物理量子位元編碼為邏輯量子位元，邁向容錯量子運算(Fault-Tolerant Quantum Computing, FTQC)。國際間已有國家級計畫設定明確的容錯量子電腦目標，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 $10^{-8}$ 。

考量我國在半導體晶片製程、IC設計與先進封裝技術具備良好基礎和大量專業人才，研究面向一—通用量子電腦硬體技術涵蓋超導量子位元、半導體自旋量子位元等固態量子技術，亦包含中性原子等可積體化、晶片化並具有可擴充性之量子位元平台。本面向強調硬體之系統性整合，鼓勵團隊以五年內組建出真實可運算之實體量子運算硬體系統為總目標，並提出邁向容錯量子運算之技術路徑；申請團隊可參考前述國際標竿作為長期對標，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。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。

### 貳、研究議題範疇

計畫研究議題將包含(但不限於)下列相關研究項目：

#### 一. 多元平台之量子位元設計與先進製作技術：

具有長同調時間(coherence time)與高保真度的量子位元是量子電腦運作的基石，而同調時間與保真度與量子位元的材料、介面品質及製程息息相關。本研究議題涵蓋：超導量子位元、半導體自旋量子位元、中性原子量子位元等多元平台之量子位元設計與元件製

作；超導材料製程技術、高純度矽-28 之合成技術與前驅物開發、低雜質絕緣層製程技術，以及其他可提升量子位元同調時間與保真度之材料與元件技術。具有開發成為新型態量子位元潛力之材料與技術亦包含於本研究項目。

## 二. 量子位元技術與邏輯架構：

量子位元除了具有長同調時間與高保真度，具有高連結性的多量子位元系統，以及由物理量子位元有效率地構成邏輯量子位元之架構，是實現容錯量子電腦的關鍵。本研究議題涵蓋：可擴展之高保真度糾纏產生與分配、多量子位元系統之設計與製作、物理量子位元至邏輯量子位元之架構設計，以及支援高效率量子糾錯碼(如表面碼、qLDPC 碼)之硬體佈局與連接性。

## 三. 容錯與量子糾錯技術：

量子態容易受環境干擾而失去同調性，量子邏輯閘操作亦難以完美，因此需藉由量子糾錯技術保護量子資訊，使邏輯錯誤率隨糾錯碼規模增加而下降。本研究議題涵蓋：量子糾錯碼之硬體實作、低於糾錯閾值之邏輯量子位元示範、邏輯閘操作與魔術態製備及蒸餾，以及錯誤抑制與洩漏錯誤(leakage)處理等技術。軟體端之糾錯解碼器、容錯指令集與邏輯層編譯，請參見研究面向三。

## 四. 大規模擴展之周邊控制電路與量測次系統整合：

量子電腦的運作是建立在可靠的多量子位元之寫入、控制與讀取操作。隨著量子位元數目增加，周邊控制次系統電路之積體化設計，尤其是可於低溫環境操作之電路，以及各式量子位元與次系統間的整合，成為大規模擴展的重要環節。本研究議題涵蓋：低溫互補式金氧半(Cryo-CMOS)元件與控制晶片設計(多通道 ADC、DAC、FPGA 等)、低溫微波電路與射頻控制模組、各式量子位元介面電路、多位元/多通道之量子次系統連結架構之設計與製作、關鍵元件(如濾波器、超導參數放大器等)與分析系統(微波源、網路分析儀及頻譜分析儀等)之開發，以及結合 AI 之自主校準與控制系統。

#### 五. 系統基礎設施、封裝與系統層級整合：

從元件研發邁向整體系統組裝，需要可靠的系統基礎設施與整合技術支撐。本研究議題涵蓋：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、次系統與整體系統之層級整合，以及提升系統管理便利性之自動化監控、校準與維運技術。

#### 六. 其他提升量子電腦運算能力或易用性之創新技術：

本研究議題涵蓋上述項目以外，具突破性且有助於提升量子電腦運算能力或使用便利性之創新技術。



## 研究面向二：光量子技術

### 壹、背景及目的

光量子科技包含光量子運算、量子通訊與量子感測。此三者具有許多共同之關鍵硬體技術（如光源、光學元件與偵測器等）。光量子運算具有室溫操作、不易受干擾(低噪)、不需真空環境、可直接與光纖網路連結等優點。但光量子位元難以限制保存在一固定位置，且光子並不會直接進行交互作用，是早期主要障礙。目前世界上光量子運算的技術進展相當快速，新創公司甚至宣示要推出高達百萬個光量子位元，以及以光量子位元為基礎的雲端運算平台。

量子通訊可以透過傳遞量子資訊以及量子密鑰分發(Quantum Key Distribution, QKD)協定來提升訊息傳遞的安全性，也可以利用量子技術(如利用量子糾纏特性)來提升資料傳輸效率。光子傳播的介質可以是光纖網路，也可以在自由空間或甚至衛星量子通訊。量子密鑰分發於 50 年前在美國貝爾實驗室得到概念性驗證後，至今世界先進國家已開始整合開發商轉的分發協定。雖然目前世界上量子密鑰分發網路的發展已有一定的成熟度，但分發協定這類與安全性相關的技術仍待國內自主開發與設計。另一方面，光在介質中傳遞難以避免受到衰減及雜訊干擾，實際量子網路常需要設置量子中繼器來增加量子資訊傳遞的距離以達成遠距糾纏，而技術上亦可使用量子錯誤更正或量子糾纏純化法來維持量子特性。

量子感測則利用量子態對外界擾動的高度敏感性，達成超越古典極限之量測能力。以單光子偵測、壓縮光及量子位元—共振腔(qubit-cavity)架構等技術為基礎之量子增強感測，可望突破標準量子極限(standard quantum limit)，應用於精密量測、微弱訊號偵測與基礎物理研究；其中高效率、低雜訊之單光子偵測技術，更是光量子運算、量子通訊與量子感測共同之關鍵元件。

為強化我國之光量子技術及其涵蓋之關鍵技術，研究面向二——光量子技術涵蓋光量子運算、量子通訊及量子感測之硬體與軟體技術，並特別強調研發成果需朝向實現真正實用的量子通訊與相關系統建構為目標，藉此建立我國自主開發之光量子運算平台、量子通訊與量子感測技術，以及與光量子相關之關鍵元件製作能力。

### 貳、研究議題範疇

計畫研究議題包含(但不限於)下列相關研究項目：



## 一. 光量子運算

光量子運算主要是由量子光源、光子線路(photonic circuit)以及單光子光偵測器所構成。本研究議題涵蓋：量子光源，包含單光子源、糾纏光子源、光量子態產生源(壓縮態、連續變數態)等；光子線路則是根據不同的演算法設計，需可積體化為光量子晶片(如異質整合之光子量子位元晶片)，以及可重置(reconfigurable)之光學元件；單光子偵測器則必須具有高效率、低雜訊以及高響應速度。此外，本研究議題亦涵蓋量子處理器間之光子互連與遠端糾纏技術，以支援模組化與分散式量子運算架構。

## 二. 長距離高保密量子通訊

量子通訊硬體技術亦包含光源與偵測器，依據長距離或短距離的應用，其光源與偵測器的要求規格亦不同；量子通訊軟體技術則是包含量子密鑰分發以及量子錯誤更正等技術。本研究議題以實現實用之長距離高保密量子通訊系統為目標，包含量子通訊之硬體與軟體技術，涵蓋：量子光子源、高純度/高效率糾纏光子光源、光量子態產生器、具高探測效率/低暗計數之單光子偵測模組、具高儲存效率與長儲存時間之量子記憶體、晶片化密鑰位元收發模組、突破百公里限制之量子密鑰分發系統與防竊聽技術、量子中繼器、量子糾纏純化等。

## 三. 光量子感測與單光子偵測技術

單光子偵測是光量子運算、量子通訊與量子感測共同之核心技術。本研究議題涵蓋：具高偵測效率、低暗計數、低時間抖動與高計數率之單光子偵測器(如超導奈米線單光子偵測器、單光子雪崩二極體等)及其陣列化技術，以及以光量子態(如糾纏光子、壓縮光)為基礎之光量子感測與精密量測技術。

## 四. 量子增強感測

本研究議題涵蓋基於量子位元—共振腔(qubit-cavity)架構之感測技術，包含腔量子電動力學(cavity QED)與電路量子電動力學(circuit QED)系統，以超越標準量子極限之量測靈敏度為目標，應用於微弱訊號偵測、精密量測與基礎物理研究等。

## 研究面向三：量子科技軟體技術

### 壹、背景及目的

量子電腦被預期可執行一些比傳統演算法更有效率的演算法，如量子因數分解演算法、量子搜尋演算法等。此外，量子退火、量子絕熱和量子概算最佳化等利用量子力學的效應(如量子疊加態、量子穿隧效應)的演算法，隨著系統演化，將可得到傳統演算法無法作到的效果。應用這些量子演算法來處理實務上的問題，將會帶來新的計算科學革命。

然而，量子狀態容易因環境的干擾而散失同調性，且量子邏輯閘操作難以完美，將衍生更多雜訊。量子電腦如要實現一種有意義的量子計算(例如因數分解演算法)，每個邏輯閘的錯誤率勢必要遠低於  $10^{-10}$ 。此等級的錯誤率僅靠物理方法實現仍極具挑戰性，因此需要利用量子錯誤更正碼的技術來保護量子態，藉此使量子運算能得到近似於理想的容錯量子計算(fault-tolerant quantum computation)。其中，糾錯解碼須在量子位元同調時間內即時完成，低延遲之硬體解碼器與結合 AI 之即時解碼技術，以及容錯指令集與邏輯層編譯等系統軟體，皆是實現容錯量子電腦不可或缺之環節。

而當量子位元數量規模逐漸增大後，以量子電路來描述要進行的量子運算將變得太複雜而不可行，將需進一步發展較高階的量子程式語言。可預期未來如量子計算機結構與量子作業系統等領域也將慢慢成形。因此本計畫也擬投入量子程式語言開發，藉此吸引更多研究者投入。

此外，量子電腦未來將與高效能計算(HPC)及人工智慧(AI)緊密結合，形成混合式運算架構。如何在軟硬體層面整合多元量子運算平台(QPU)與高效能計算、人工智慧及高速研究網路，並建構可供學研界共享之量子運算使用者平台，是量子系統軟體之重要課題。同時，為引導量子硬體發展與系統評測，亦需定義具代表性之關鍵科學應用基準(keystone applications)，如化學、材料科學、電漿物理與高能物理等領域之科學問題，作為量子電腦系統開發與效能評估之依據。

目前量子電腦硬體發展雖尚未能實現預期的強大運算能力，然而應用量子科技軟體技術的發展卻刻不容緩。研究面向三—量子科技軟體技術聚焦於底層架構、中介軟體與系統軟體基礎設施，涵蓋量子演算法、程式語言與編譯系統、系統軟體與容錯架構、AI 與量

子整合、混合式運算整合，以及關鍵科學應用基準與系統評測，藉此培育我國未來量子科技軟體技術高階人才，待量子電腦硬體技術更加成熟後，將可迅速接軌我國量子科技之全面發展。實質產學應用(如金融、醫藥等)將於其他專案另行徵求。

## 貳、研究議題範疇

計畫研究議題包含(但不限於)下列相關研究項目：

### 一. 量子演算法

包含量子概算最佳化演算法、適用於雜訊中等規模量子電腦之量子演算法、Shor 演算法的高效實施、量子糾錯碼與容錯量子計算、高效能的古典數據量子化編碼和量子可觀察量讀取、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量子演算法與資源估算、及其他量子演算法基礎研究。

### 二. 先進量子程式語言設計與編譯系統

包含量子程式語言的設計、量子程式的驗證與測試、有效率的量子程式編譯器與編譯優化技術，以及形式化驗證工具。使用者介面設計，主要涵蓋使用者與量子電腦、軟體或應用等互動的介面設計。

### 三. 量子系統軟體與容錯架構

包含低延遲量子糾錯硬體解碼器設計、容錯指令集架構、邏輯層編譯與資源管理，以及量子作業系統等系統軟體基礎設施。

### 四. AI 與量子整合

包含以 AI 實現即時量子糾錯解碼、自主量子控制與校準，以及 AI 輔助之量子電路設計與最佳化等。

### 五. 混合式運算(HPC-AI-QPU)軟硬體系統整合

包含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之軟硬體介面、排程與中介軟體，以及建構可供學研界共享之量子運算使用者平台。

### 六. 關鍵科學應用基準與系統評測

包含定義具代表性之科學應用案例(keystone applications)與效能指標，作為量子電腦系統開發與效能評估之依據。本項目以引導系統開發與評測為目的，實質產業應用開發不在本面向範圍內。

## 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。



## 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



***Research Proposal***

***Quantum Technology Program***

**量子躍昇專案研究計畫**

Title of Proposal (Chinese) :

\_\_\_\_\_

Title of Proposal (English) :

\_\_\_\_\_

Project Period: March 1st, 2027 ~

Principal Investigator (Chinese) :

\_\_\_\_\_

Principal Investigator (English) :

\_\_\_\_\_

Participating Institutes:

\_\_\_\_\_

Project Discipline \_\_\_\_\_



Table of Contents

Cover Page (Form CC00)

I. General Information (Form CC01)..... 1

II. Multi-year Project Budget Request (Form CC02)..... 2

III. Project and Sub-project List (Form CC03)..... 3

IV. Abstract and Keywords (Form CC04)..... 4

V. Description of Proposed Research (Form CC05)..... 5

VI. Complementary Measures from the Involved Institutes (Form CC06) ..... 6

VII. Curriculum Vitae (Form CC07)..... 7



# Research Proposal

## Quantum Technology Program

### I . General Information

Application Number:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                       |                      |          |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|----------|--|
| Title of Proposal                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Chinese                                               |                      |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | English                                               |                      |          |  |
| Name of Principle Investigator (PI)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Chinese                                               |                      | Position |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | English                                               |                      |          |  |
| Institute/Department                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                       |                      |          |  |
| Project Period                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                       | February 1st, 2027 ~ |          |  |
| Project Discipline                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                       |                      |          |  |
| The First-year Budget Request                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                       |                      | USD      |  |
| The Total Budget Request                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                       |                      | USD      |  |
| Corresponding Person                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Name: _____ (Chinese) _____ (English)                 |                      |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Mailing Address (Chinese): _____                      |                      |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Telephone: (Office) _____ (Home) _____ (Mobile) _____ |                      |          |  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Fax: _____ E-mail: _____                              |                      |          |  |
| <p><b>Principal Investigators' Affidavit:</b></p> <p>The research proposed in this grant application has not been financially supported by any funding agency. I am aware that any withholding, falsification, or misrepresentation of information could result in administrative actions such as the dismissal of an application or the suspension and/or termination of an award, as well as other possible punitive actions.</p> |                                                       |                      |          |  |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p><b>Signatures --</b> Principal Investigators: _____</p> <p>Principal Investigators of the Sub-projects: _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </div> <div style="width: 35%;"> <p>Date: _____</p> </div> </div>                                                                                                                |                                                       |                      |          |  |

Form CC01

## II. 1st-year and Total Project Budget Request:

unit: 1,000NTD

| Project Year<br>Category/Item                                                                                                                                                                              | 1 <sup>st</sup> Year<br>(2027/03 —<br>2028/02) | Sub-total            |                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------|----------------|
| <b>General Expenses</b>                                                                                                                                                                                    |                                                |                      |                |
| Personnel                                                                                                                                                                                                  |                                                |                      |                |
| Consumables                                                                                                                                                                                                |                                                |                      |                |
| Travel expenses for invited international collaborator to this project (Taiwan inbound)                                                                                                                    |                                                |                      |                |
| <b>Equipment</b>                                                                                                                                                                                           |                                                |                      |                |
| <b>International Travel Expenses</b><br>(Taiwan outbound)                                                                                                                                                  |                                                |                      |                |
| <b>Overhead</b>                                                                                                                                                                                            |                                                |                      |                |
| <b>Total</b><br>(1USD=30NTD)                                                                                                                                                                               | NTD____<br>(USD____)                           | NTD____<br>(USD____) |                |
| Postdoctoral Research Fellows                                                                                                                                                                              | _____ person(s)                                | _____ person(s)      |                |
| <b>Other Financial Supports:</b><br><b>Please</b> indicate any other supports from participating institutes, industrial sectors, or other funding agencies. Leave the space below blank if not applicable. |                                                |                      |                |
| Name of funding Source                                                                                                                                                                                     | Category/Item of the funding                   | Amount Committed     | Funding Period |
|                                                                                                                                                                                                            |                                                |                      |                |
| Administrator Signature of funding source: _____<br>(please provide proof document(s) if the signature is not available)                                                                                   |                                                |                      |                |

III. Project and Sub-project List

| Categories    | Name of PI | Institutute/<br>Department | Position | Project Title | Percentage of<br>Time* |
|---------------|------------|----------------------------|----------|---------------|------------------------|
| Main Project  |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 1 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 2 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 3 |            |                            |          |               |                        |
| Sub-project 4 |            |                            |          |               |                        |
| •<br>•<br>•   |            |                            |          |               |                        |
| •<br>•        |            |                            |          |               |                        |

\*Percentage of time is defined here as the ratio of the hours devoted to this project to the total working hours per week for the PI.

## IV. Abstract and Keywords

(Formatting: font type: Times New Roman; size: 12 points; spacing: single-space; page limit: 1)

**Abstract**

**Keywords:**



Form CC04

## V. Description of Proposed Research

Please elaborate the overall proposal and also reason that why this research proposal is worth of being funded.

The contents should include, but not limit to, the background of the proposed studies, the Scientific/technological significance, the specific aims and the research approaches of the proposed project. Please also state the research capacities in terms of the involved research personnel and Institutes.

For proposals under Research Area 1 (Universal Quantum Computer Hardware Technology), please specify quantifiable annual milestones toward fault-tolerant quantum computing, such as the number of logical qubits, physical and logical error rates, and below-threshold demonstrations of quantum error correction.

All proposals are encouraged to describe collaboration with national research institutes, universities, and industry, as well as the feasibility of interfacing research outcomes with national high-performance computing (HPC) and research network infrastructure.

**(Formatting: font type: Times New Roman; size:12 points; spacing: single-space; page limit: 5, including tables, figures and references)**

Form CC05



## VI. Complementary Measures from the Involved Institutes

Please describe any complementary measures from the involved Institutes.

The support for the project can be in the form of funds, space, and/or research manpower, etc.

**(Formatting: font type: Times New Roman; size:12 points; spacing: single-space; page limit: 1)**

## VII. Curriculum Vitae (CV)

(Required for all PIs and co-PIs of the main and sub-projects; 2-page limit for each CV)

Each CV should include the following information:

1. General information (e.g. name, contact information, etc.)
2. Education.
3. Current position and relevant experience.
4. Fields of academic specialty.
5. Major awards and honors.
6. Publications, which are related to this proposal, in the past five years. They may include technical reports, patents, periodical articles, or books
7. Research projects executed in the past five years.

