

2024

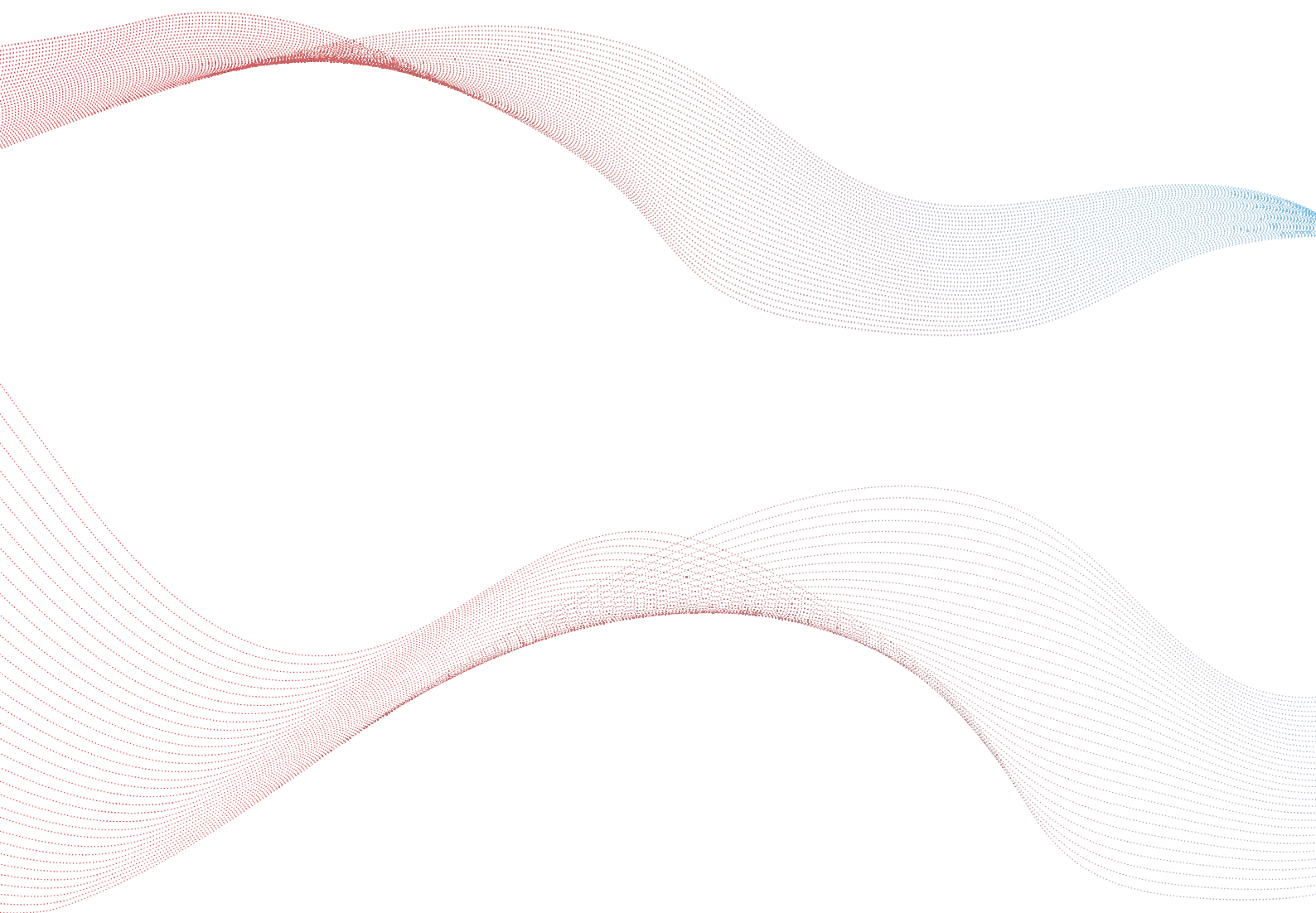
Hon Hai Research Institute
Yearbook

2024
鴻海研究院年鑑

Hon Hai Research Institute
Yearbook

2024 鴻海研究院年鑑

Hon Hai Research Institute
Yearbook



CONTENTS 目錄

院長的話	04	以開放精神為世界與產業探尋根本解方
執行長的話	06	3 + 3 策略，為未來提前布局
諮詢委員的話	08	李開復 真正的 AI 商機不在模型而在代理人等應用
	10	張懋中 異質整合，開發全光電系統晶片的不二法門
	11	張慶瑞 量超融合，引領未來算力發展
	12	吳宗成 集結眾人之智，提升 AI 資安價值
	13	廖婉君 AI 與 RAN 融合，啟動 6G 革命
技術最前線	16	人工智慧研究所 冠軍軌跡預測模型 讓自駕車更智慧
	20	半導體研究所 從材料到光學技術突圍 聚焦 AI 應用核心支柱
	25	新世代通訊研究所 珍珠號進入在軌驗證 打開 6G 時代大門
	30	離子阱實驗室 精準捕獲離子並控制 打開量子電腦未來之路
	36	量子計算研究所 更正、分群、抗雜訊 打造高效演算法
	40	資通安全研究所 立足量子與 AI 時代 建構宏觀且前瞻的資安體系

夥伴觀點

- 48 | 香港城市大學 × 鴻海研究院
打造「產學研用」無縫接軌新典範
- 50 | 陽明交大 × 鴻海研究院 × 鴻揚半導體
創新碳化矽高溫電路，實現攝氏三百度穩定運作
- 52 | 陽明交大 × 鴻海研究院
啟動高韌性低軌衛星通訊網
- 54 | 三大洲名校 × 鴻海研究院
開拓新世代量子作戰地圖
- 56 | 陽明交大 × 鴻海研究院
建構 AI 時代最強資安防線

共創瞬間

- 60 | 2024 年鴻海研究院大事紀

關於鴻海研究院

鴻海研究院的成立，是鴻海科技集團邁向 F3.0 轉型升級之路的重要發展策略之一。研究院下設五大研究所及一間實驗室，每個研究所以平均 40 位尖端技術研究人才的編制，專注於未來三到七年的前瞻技術研究，強化鴻海技術與產品創新，讓公司從過去的「勞力密集」升級至「腦力密集」，也為鴻海科技集團「3 + 3」的發展提升核心競爭力。

發行人 劉揚偉
總編輯 李維斌
出版者 鴻海研究院
執行 施芊羽、賴晃杉
地址 臺北市內湖區基湖路 32 號
網址 www.hh-ri.com

企劃製作 遠見天下文化出版股份有限公司
採訪撰文 陳育晟
圖片來源 Shutterstock、鴻海研究院
執行 胡祖豪、羅玳珊、李美貞
地址 臺北市中山區松江路 93 巷 1 號
網址 <https://bookzone.cwgv.com.tw>
出版日期 2025 年 11 月 20 日

COPYRIGHT © HON HAI PRECISION INDUSTRY CO., LTD. ALL RIGHTS RESERVED.

以開放精神為世界與產業 探尋根本解方

當我談及鴻海的未來，總會強調我們正從「製造的鴻海」邁向「科技的鴻海」。這不是一句口號，而是我們正在執行的藍圖，而鴻海研究院正是驅動這場轉型的核心引擎。它的使命非常明確：為集團儲備未來三年到七年的核心技術，確保鴻海在瞬息萬變的科技浪潮中立於不敗之地。

上任以來，我做的重大改革之一，就是將「技術研究」與「產品研發」明確切分。有別於過去，長期的技術研發總是被短期業務目標所綁架，如今，我們將其視為對未來的「投資」，而非隨時能被削減的「費用」。

鴻海研究院應運而生，它獨立於各事業單位之外，沒有短期營利壓力，專注於「五加減二」（三到七）年前瞻科技，就像一座橋梁，一端連結頂尖學術研究，另一端則對接集團龐大的應用場景，將實驗室裡的創新成果加速導入市場，不僅是技術的轉化，更是知識與價值的傳遞，如同我在內部會議所期許的：「研究院就是要 bridge 學校研究跟工業需求。」

「我們是很 open，不是 close 的。」這句話是我們文化的基石。我們鼓勵研究員發表學術論文、申請專利，不僅是保護，更是為了「分享」，因為唯有透過分享，整個科技社群才能共同進步。

開放、分享，拓展科研格局

感謝鴻海研究院所有同仁與合作夥伴們的努力，2024 年，我們對外發表 120 篇論文、申請 30 項專利。這些都是我們開放精神的重要成果，它體現在三個層面：

一、**無私分享，促進社群共榮**：我們鼓勵研究員積極參與國內外學術交流，無私分享研究成果。透過分享，我們讓外界看見鴻海的研發實力，提升臺灣在科學領域的能見度，同時也能在交流中找到自身可以更精進的方向。

二、擁抱根本，提倡科普精神：我多次強調「科普」與「第一性原理」的重要性。如果一項高深的科技無法用淺顯的生活語言解釋，代表我們尚未真正融會貫通。我期許資深研究員能透過科普寫作，讓自己與同仁回歸事物的本質，將高深的學問與生活連結，培養出真正的「科學家」，而非「科學匠」。

三、擴大格局，解決世界級問題：我們的目標不是解決鴻海的問題，而是臺灣的問題、世界的問題。我勉勵同仁，要將眼光放遠，思考如何運用鴻海平台，與世界領導廠商對接，辨識出全球產業關心的重大課題，將其轉化為具挑戰性的研究方向。

鴻海研究院成立四年多來，累計已和 46 所學術機構合作，挑戰全球最艱難的技術關卡。我們已形成正向循環，將世界級的挑戰性問題，與大學的基礎研究能量對接；研究院的成果則透過集團各事業單位的 CTO 體系，找到商業應用的出口。這種「大學的研究能量用來解決研究院的問題，研究院的技術用在事業單位的 business」模式，已然成形。

過去這段時間，外界對鴻海研究院的成果刮目相看，我們的論文在 AI、半導體、通訊、量子、資安等領域獲得大量引用。這份成就感，來自於每位同仁的勤奮與努力。

展望未來，鴻海研究院將繼續秉持分享、合作、共榮的核心價值，不以短期賺錢為目標，而是專注於對社會、對產業的長期貢獻。我深信，當我們為社會創造的價值愈發明顯時，所有的肯定與回報都將水到渠成。

鴻海研究院的道路，是一條投資未來的道路，也是一條通往「科技的鴻海」的必經之路。我們正滿懷信心，堅定地走在這條路上。

鴻海研究院院長

刘扬伟



3 + 3 策略 為未來提前布局

鴻海研究院的定位，和一般企業的研發部門明顯不同。我們專心做研究，核心任務是進行科學探索與前沿技術研究，而不是面對產品開發。我們的研究是對焦集團的發展目標，把視野著重在未來三到七年。

我們專注在底層的科學與技術問題，把研究結果由 BD 對焦商用，並由鴻海科技集團內的技術團隊轉化為可應用的技術，工程團隊再把這些技術應用到產品的開發和製造。

這種分工，讓鴻海研究院的科學家可以心無旁騖地進行高階研究，不必受到產品開發時程壓力束縛。這樣的模式，在臺灣企業界極為少見，就算放眼全球，也屬獨特，因為它需要極大的決心與長期的投資。所幸，鴻海科技集團董事長劉揚偉的遠見，在 2020 年成立鴻海研究院，為科學家提供學術機構以外的另一個研究舞台，也能帶動集團產業創新方向。

以技術為基，為未來定錨

鴻海科技集團早在 2019 年 11 月，就對外宣示布局三大未來產業及三大核心技術。其中，三大未來產業分別是電動車、數位健康、機器人，三大核心技術則是人工智慧、半導體、新世代通訊。

值得一提的是，鴻海研究院的研究成果，並非直接對應集團內某個具體產品，而是做為集團「3 + 3」產業策略的底層技術基石。

在集團內，儘管各事業群產品不同，但它們的底層技術卻有共通點。例如，電動車、機器人都需要通訊技術支援，隨著衛星通訊發展，通訊將變得更為立體化，提高覆蓋率，降低延遲，而相關設備與產品，正是鴻海科技集團的強項；在人工智慧方面，在大型語言模型與多模態基礎模型的良好基礎上，生成式 AI 的能力突飛猛進，可應用於電動車的自動駕駛技術，也使得人

型機器人的感知、思想、動作，愈來愈能與真人對齊，邁向 AGI 的境地；另外，電動車充電樁需要耐高溫、高壓、高頻的特殊半導體，鴻海研究院投入化合物半導體研究，就是在為未來高階產品的效能提升做好準備。

這些前瞻性的研究，為集團的「3 + 3」策略發展提供強大技術後援。我們的角色就像是堆積木時的「基本磚」，而集團內的各事業群，就利用積木打造他們心目中的產品。

我們能夠不斷深化前沿研究、深化影響力，扮演好「基本磚」的角色，得力於劉揚偉董事長的直接指導。他不僅親自擔任鴻海研究院院長，消除中間層級的溝通落差，也常和我們定期開會，透過共同討論確立研究方向，確保團隊研究的成果能緊密扣合集體的長期發展藍圖。

這也代表，鴻海科技集團讓研究員在對集團有貢獻的方向上，有足夠的信任與自由盡情探索未知領域，不少遠超目前產品所需的研究成果，正是在為日後的技術瓶頸做準備，確保集團能在未來競爭中保持領先。

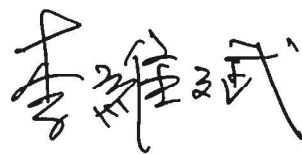
以科學為本，勇敢探索未知

鴻海研究院也設有諮詢委員會，邀請的全球頂尖專家，均是各領域一時之選。這些諮詢委員親身指導，提供我們卓越的洞見與外部觀點，確保研究在國際舞台上具備突破性與前瞻性。

正因如此優渥的研究條件與逐年累積的學術聲譽，使鴻海研究院不斷磁吸全球優秀人才加入，並與臺灣大學、香港城市大學、陽明交通大學、劍橋大學、牛津大學、UIUC、芝加哥大學、UCLA 等國際一流學術機構深度合作，促進科技創新和知識轉移。

鴻海研究院的使命，是在今天播下科技創新的種子，為未來的突破奠定基石。我們以科學為本，勇於探索未知，並將成果化為集團跨產業發展的核心動能。在全球科技競爭日益激烈的時代，我們將持續匯聚頂尖人才與資源，推動臺灣站上世界舞台的前沿。

鴻海研究院執行長



零一萬物執行長、創新工場董事長
李開復

真正的 AI 商機不在模型 而在代理人等應用

人工智慧（AI）正飛速成長，底層大模型實現了強化學習主導的推理智能增長新範式，代理人（Agent）也從早期只能回答問題和聊天，到近期已具備多模態能力，可以處理多種類型數據，更具備智慧決策的功能，在 2025 年開啟了「推理代理人元年」。未來，在人類輔助下，它不只能發明新的數學公式、藥品等前所未見的事物，更能策劃組織目標，使營運策略最佳化。

2025 年，AI 開源模型開始超越閉源模型，許多頂尖開源模型已能媲美最佳閉源模型，使得大模型的價格進一步普惠，為代理人等 AI-First 應用的爆發奠定了強大的基礎。相比之下，美國頂級 AI 公司多數仍選擇閉源路線；至於中國大陸，正基於 DeepSeek、阿里通義千問（Qwen）等開源基礎模型進行創新，將模型性能推向新高。個人預測，最終將是開源勝出，進入「技術民主化」世代。

這顯示，開源世界正透過共享與協

作相互推進，相較之下，閉源模型的開發過程不為外界所知。我認為，閉源世界的數千位天才很難勝過全球數千萬智慧社群的協作與迭代；此外，開源領域的先鋒，已從美國轉向中國大陸，未來發展值得持續關注。

目前全球底層大型模型開發已收斂到八巨頭，包括：美國四家閉源、一家開源；中國大陸一家閉源、兩家開源。這些巨大的底層模型，未來將趨於商品化，純粹的底層模型很難獲得巨大的商業價值，除非市場最終只剩一家，但我認為不太可能。因此，真正的機會將在這八家底層模型之上的「應用層」。

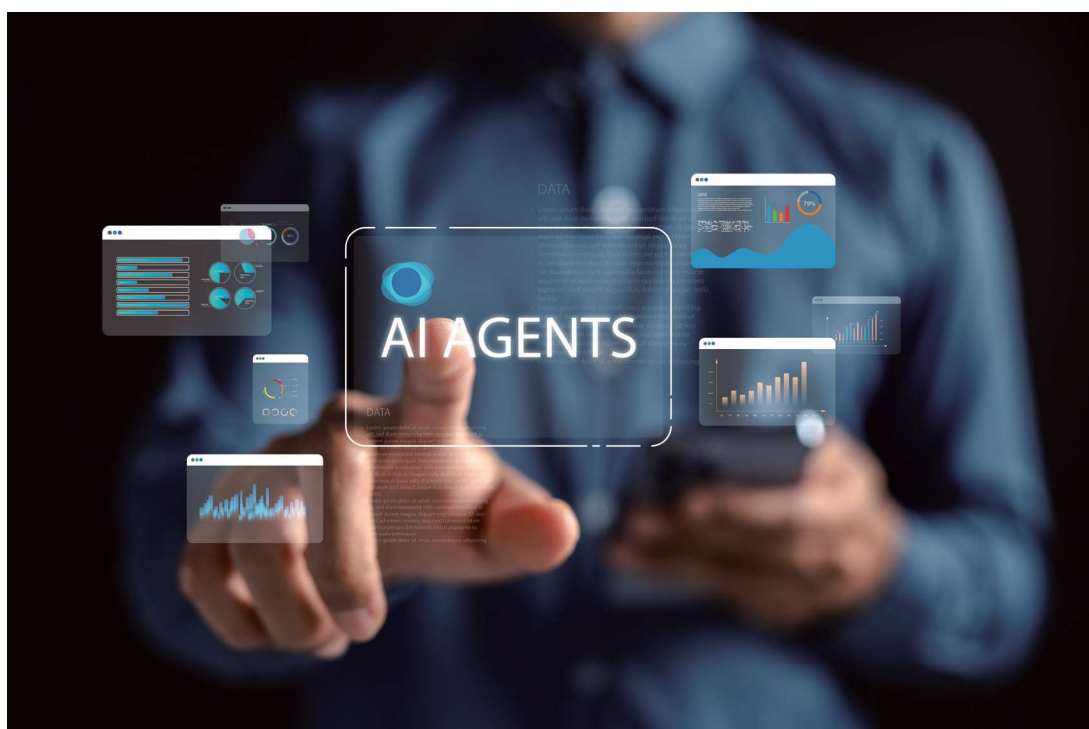
2025 年將是代理人和應用爆發的一年，以美國開發 AI 核心程式碼編輯器的 Cursor 為例，它的年度經常性收入（ARR）已達 5 億美元，許多其他代理人和應用公司也達到 5,000 萬美元至 1 億美元。

在 AI 迅速向工業、製造等實體產業縱深穿透的當下，鴻海做為全球製



造業領域的領導者，其內部沉澱的大量數據與產業經驗，正是未來打造智慧化應用的關鍵要素。若要把這波浪潮駕馭得更好，我建議，鴻海研究院應該基於「數據愈多、計算能力愈強、結果就愈

好」的原則，積極擁抱 AI 代理人等最新的生成式 AI 發展趨勢，深入挖掘產業需求，運用數據創造獨特成果，提前思考「明天需要什麼」，如此就能脫穎而出。



AI 代理人具備多模態能力，未來不僅能發明新事物，更可策劃組織目標，使營運策略最佳化。

洛杉磯加州大學電機工程系勝華講座教授
張懋中

異質整合 開發全光電系統 晶片的不二法門



在光電和半導體領域，2025 年最值得關注的新趨勢，是想要發展真正光電一體的系統晶片（full spectrum System-on-Chip from RF-to-Optics）。但此一偉大目標的完成，必須將異質整合深入到器件的結點層次，方有可能。

鴻海研究院已開始進行異質結（heterojunction）材料生成研究，但目前主要還在較高的器件層面進行，把矽材料剝離後，與碳化矽基底結合。相較之下，在大尺寸矽基底上生長氮化鎵，更具有潛力與擴展性，甚至能完成在整片矽晶圓上進行異質結生長的技術。這也是我們企盼鴻海研究院未來能掌握的方向。

目前開發的核心難題，是異質結材料在矽基底上的直接生成。

例如，矽本身不會發光，若要實現光電整合，就必須把發光的氮化鎵材料和矽電子器件整合，這涉及複雜的外延晶體生長技術，目前全球學界、業界都

在嘗試。

此外，光子器件對精度要求極高，如何在微觀尺度上精實對準發射、接收兩端，並能大規模積成，是巨大的技術挑戰，也是導致光學積成電路成本居高不下的主要原因之一。如果能夠因此突破，將有機會大幅降低光電系統晶片的生產成本。

鴻海研究院成立於 2020 年，至今已有不少世界一流的學術發表、國際合作。然而，我們更盼望鴻海研究院能夠大膽思考「為何而做」，追求「跳階式進展」（quantum leap），不只求把事情做好，更要做「對的事情」，即便這代表必須要挑戰前人認為不可能的任務。因為只有如此，才能做出業界前所未有、具備獨特競爭力的科技，成為鴻海科技集團獨一無二的核心能力。

臺灣大學物理系特聘教授

張慶瑞

量超融合 引領未來算力發展



量子運算和古典運算各有所長，在未來算力發展中，融合量子電腦與超級電腦特性的「量超融合」，可實現兩種算力互補，提升複雜問題的解答效率，是必須關注的趨勢。

過去幾年，量子研究所不僅在國際頂尖會議、期刊發表大量論文，研究水準名列世界前茅，也積極開展多元化國際合作，在短時間內提升鴻海研究院在量子研究領域的品牌形象；與此同時，離子阱實驗室則已打造低雜訊、低振動的環境，並成功捕獲離子陣列，期待在未來一年內，所需設備到位後，於2025年年底、2026年年初，實現10量子位元（qubit）的控制能力，進而在2027年推出5位元至10位元的開源、可編程離子阱量子電腦。

開發量子電腦時，除了要注意量子位元，更重要的是能否有效操控，並確保足夠的保真度以進行計算，也因此必須仰賴離子阱實驗室持續投入更多努力，並繪製更清晰的發展藍圖。

量子運算技術何時成熟落地，眾說紛紜。輝達執行長黃仁勳在2025年1月表示，此技術最快要二十年才能進入成熟階段，但在6月的GTC大會他卻直言，量子運算正迎來關鍵轉捩點，未來幾年能解決一些有趣的全球問題。

我認為，對普羅大眾而言，量子科技可能需要二十年或更久才能普及，但對特定領域使用者而言，三到五年就能看到重大突破。目前已有團隊宣稱，技術能達到50個邏輯量子位元，若達到100個，運算能力將超越現有古典電腦。

面對量子科技即將迎來的機會，我建議量子所未來發展可更注重和鴻海科技集團內部商業、製造部門的互動，將研究成果導向實際應用；而離子阱實驗室則應該根據量子科技最新進展動態調整目標，並制訂清晰發展路徑圖，先強化自身能力，再加速追趕國際水準。而我也期許，量子所、離子阱實驗室的研究成果，能為鴻海科技集團在量超融合時代取得先機。

臺灣科技大學資訊管理系特聘教授

吳宗成

集結眾人之智 提升 AI 資安價值



隨著 AI、雲端運算及物聯網技術的蓬勃發展並已蔚為趨勢主流，企業營運與跨域應用的 AI 資安風險也顯著提升，其中涉及的營業祕密與資料保護等議題，更顯得重要。

使用 AI 技術以提升產品創新及企業競爭力，確實能帶來很大效益，但 AI 技術在資安領域猶如一把雙面刃。生成式 AI（Generative AI）模式強調集結眾人智慧，但可能面臨因使用不當而導致企業營業祕密外洩，以及如何善用原始資料及衍生資料之間的可信賴性、可靠性及可用性。因此，各國政府機構和大型企業組織正積極推動主權 AI（Sovereign AI）模式的概念及落地應用。

主權 AI 類似私有雲的概念，可以促使企業組織內各部門間的營運知識擴散，促進典範轉移，而非開放外流給競爭對手；另外，資通系統的跨域特性讓系統邊界愈來愈模糊，也更加難以掌握未知的風險因子。

透過部署主權 AI，企業組織可在掌握客製化的 AI 演算法及訓練資料集的前提下，協助尋找自身資通系統的弱點並加以修補，強化資安防禦的深度及廣度。

鴻海研究院肩負協助鴻海科技集團新興科技研發與創新應用的使命，近年來，鴻海研究院在 AI 資安的跨域合作研發，有卓著的研發實力及實務成效。

期許鴻海研究院未來在 AI 資安領域的持續投入，並藉由自行研發成果或長年合作的國際頂尖科研機構的交流資源，分享於國內產業及各大專校院，把臺灣高科技產業和人才的價值推向世界舞台。



部署主權 AI 能強化資安防禦的深度及廣度。

臺灣大學副校長

廖婉君

AI 與 RAN 融合 啟動 6G 革命



傳統行動通訊網路分為「接取網路」（RAN）和「核心網路」，前者負責手機、裝置、基地台間的直接連接，處理網路資源分配，實現有效利用；後者則負責身分認證、計費、增值服務等，和直接連線較不相關的事務。

未來 6G 的核心理念則是 AI Native，也就是在傳輸過程中，從底層到上層都透過 AI 加值，運作方式主要可分為三類：AI for RAN、AI on RAN，以及 AI and RAN。

AI for RAN 是利用 AI 改進無線連線技術，優化資源分配；AI on RAN 是在基地台等網路節點上，支援 AI 相關應用，如：運行 AI 應用，或處理裝置上小型機器學習模型的參數；至於 AI and RAN，則是探討是否可將基地台轉化為邊緣運算節點，也是業界正在思考的概念。

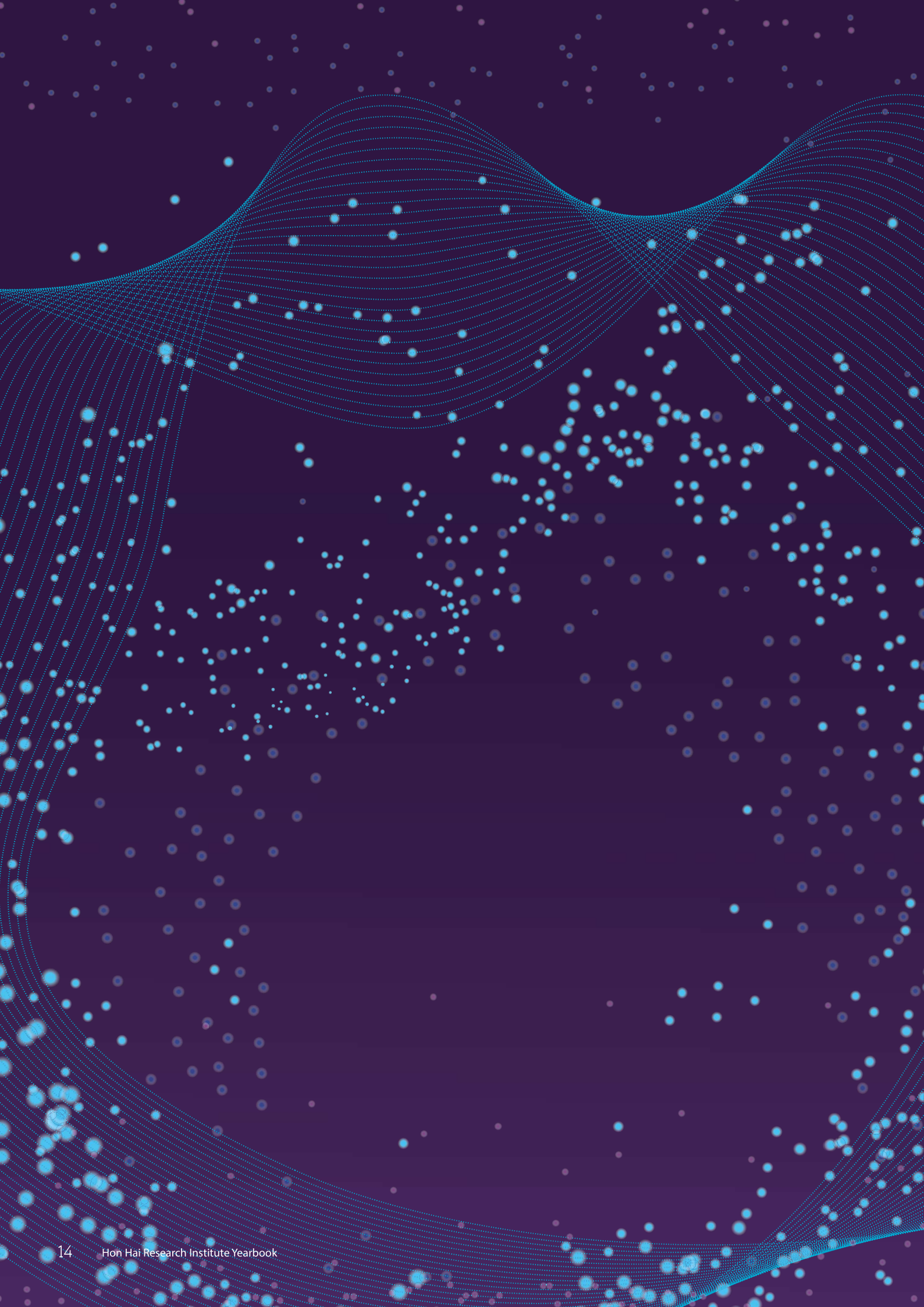
隨著許多通訊功能開始軟體化、模組化，可放在圖形處理器（GPU）、中央處理器（CPU）運行，和 AI 運作模

式相當類似，未來 RAN 將不再是嚴格定義的網路單元，而是可與 AI 運算資源更緊密結合的平台，統一處理通訊和 AI 相關任務。

不少業界龍頭已在今（2025）年公開展示 AI and RAN 技術相關測試平台，顯然是網通領域值得觀察的重要趨勢。隨著 AI 模型能力不斷增強，AI 不僅能用來改善通訊技術，也能影響通訊系統設計。這種 AI 與通訊的雙向影響，將是 6G 發展的重要方向。

此外，在 6G 通訊發展中，衛星通訊將扮演極為重要的角色，尤其是低軌衛星的布建。涵蓋地球上 80% 仍未被地面網路覆蓋區域的低軌衛星，若能與現有行動通訊技術緊密結合，讓手機可直接透過衛星連網，讓衛星扮演基地台的角色，將帶來巨大商業潛力。

鴻海研究院通訊所目前已成功將衛星送上軌道，並確保其穩定運行。若能將低軌衛星發展與 AI、6G 等議題更廣泛結合，將是務實且有前景的方向。



技術最前線

在全球科技加速演化的時代，
鴻海研究院匯聚頂尖科研人才，
五大研究所及一個實驗室布局重要關鍵領域，
推動頂尖技術落地，
打造集團的技術引擎，
也為產業塑造未來藍圖。

人工智能研究所 冠軍軌跡預測模型 讓自駕車更智慧

你是否曾經好奇，當一輛自駕車在繁忙十字路口準確轉彎、閃避行人，它到底是怎麼「想」的？其實，自駕車的每一個決策背後，都是一場高速演算的精采比賽。從感知周遭環境，到預測其他車輛的下一步，再到規劃最安全路線，背後需要極其精密的 AI 模型。

自駕車思考模式三部曲

在理解自駕車的思考模式前，必須先掌握其三大關鍵技術：

一、感知：讓車輛能看見並精準識別周遭環境，包括：車輛、行人、交通標線、紅綠燈和所有動、靜態物體皆包括在內。這是自動駕駛的第一步，一旦感知出錯，後續所有判斷都將失效。

二、軌跡預測：預測周遭物體（如：其他車輛、行人）接下來的行進軌跡。例如，一輛車突然加速、打方向

燈，系統要能預測它接下來可能會切換車道。

三、動作規劃：根據感知、預測結果，規劃自駕車自身最安全的行進路線。例如，自駕車若預測到前方車輛要切入，則可選擇減速、變換車道，以避免碰撞。

兩座冠軍的肯定

掌握關鍵技術，鴻海研究院人工智能研究所（簡稱 AI 所）於 2024 年參與 AI 領域最具影響力的國際大型 IEEE 電腦視覺與模式識別會議（IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [CVPR]）挑戰賽，聚焦自動駕駛第二階段「軌跡預測」，拿下兩座冠軍、一座亞軍。

兩座冠軍中的其中一座，來自「Argoverse 2 挑戰賽」（Argoverse



人工智慧研究所聚焦動態環境中的即時應用，以提升自動駕駛系統的安全性與可靠性。

2)。Argoverse 2 是美國自駕車公司 Argo AI 透過其推出的開源資料集與研究平台「Argoverse」，為研究人員提供自動駕駛技術競爭和交流的場域，促進相關技術快速發展與實際應用。

其實，2023 年時，AI 所便曾憑藉「QCNet 模型」在 Argoverse 2 獲獎。「QCNet」支持動態環境中的即時應用，可在不增加計算複雜性的情況下，處理車輛、行人等大量交通元素和

名詞速讀

分塊技術

是一種將輸入資料分成小區塊（patch），再用注意力機制挑選重點區塊進行分析的技術。常用於交通模擬等場景，可提升運算效率，聚焦關鍵資訊，類似人類只專注於最重要路況的思維方式。



結合電動車與 AI 技術，自駕車技術將是實現電動車價值與創新的關鍵。

複雜交通場景，大幅提升自動駕駛系統的安全性與可靠性。

在這個基礎上，AI 所在 2024 年推出「Lite-QCNet」，使用基於注意力機制（attention-based）的分塊技術，進行時間抽象化，並使用「K 近鄰（K-NN）局部注意力演算法」，捕捉空間互動性，讓 Lite-QCNet 模型可在減少運算資源的情況下，依然維持同樣的準確度，大幅縮小模型尺寸，也因此 Argoverse2 基準測試中達到最先進性

能，證明它在多車輛運動預測中的卓越效率。

另一座冠軍則來自「Waymo 自駕車動態預測挑戰賽」（Waymo Motion Prediction Challenge）。這是由 Google 旗下自駕車公司 Waymo 舉辦，聚焦自動駕駛場景軌跡預測的競賽，以推動自動駕駛相關技術發展為宗旨，為研究人員提供展示、交流平台。

這項賽事要求團隊在模擬場景中，為路上車輛、行人等每一個動態物體預

測接下來的行駛軌跡。主辦方特別強調，預測不能只考慮單一最可能的路徑，而要同步考慮多種不同可能。例如，一輛車可能選擇繼續直行，也可能選擇變換車道。這種多重可能性的預測能力，對自駕車的動作規劃至關重要。

精準演算引領自駕革新

能在兩大競賽中技冠群雄，AI 所所長栗永徽表示，很難歸結為單一因素，而是多個層面的綜合表現，包括：資料處理、模型設計、多模型整合。

他解釋，即便所有團隊使用相同資料集，但資料清理、統計分析、前置處理等方式不同，便會導致巨大差異；另外，雖然使用「Transformer」架構模型已是主流，但每個團隊都對模型的具體架構、模組、參數設定有不同做法，就像不同工匠用相似工具，卻能打造風格迥異的成品。

此次 AI 所獲得冠軍的兩大成果，對自駕車技術的推進意義非凡。栗永徽

解釋，一方面模型可更準確預測周遭車輛意圖，提升自駕車的決策準確性，另一方面則讓虛擬環境中的車輛行為更接近真實，有助於訓練更智慧化的自動駕駛模型。

特別是這兩大研究成果，與鴻海科技集團「3 + 3 + 3 轉型策略」中的電動車高度相關。栗永徽認為，電動車和 AI 技術的交匯點正是自動駕駛，因而自駕車技術也是實現電動車價值與創新的關鍵。

目前，鴻海科技集團正積極投入基礎模型的自主訓練，以迎接未來 AI 世界的變革。而鴻海的生成式 AI 發展策略，則是透過基礎模型打造三大平台，分別應用於智慧製造、智慧電動車與智慧城市。

栗永徽表示，鴻海研究院自主研發的「Fox Brain」大語言模型，將成為這三大平台的核心基礎模型，應用在鴻海科技集團的自動駕駛技術中，成為集團策略不可或缺的重要靈魂之一。

名詞速讀

K 近鄰 局部注意力 演算法

做預測前，模型不會對所有物體一視同仁，而是只選出跟自己「距離最近」的 K 個物體進行互動分析。搭配注意力機制後，模型就能進一步判斷這些近鄰中「誰比較重要」，給予不同權重，聚焦在最有可能影響決策的對象。

半導體研究所

從材料到光學技術突圍 聚焦 AI 應用核心支柱

面對 AI 時代高速運算與資料爆炸所帶來的挑戰，鴻海研究院半導體研究所所長郭浩中表示，化合物半導體、矽光子、奈米光學三大技術，將為 AI 資料中心提供關鍵的節能技術支援，是 AI 時代不可或缺的前瞻布局，而無論是突破性的氧化鎵半導體研發、矽光子晶片的高速傳輸應用，或是深度感測與空間運算的創新成果，均展現出臺灣在先進半導體與智慧感測領域的實力。

躍進第四代化合物半導體

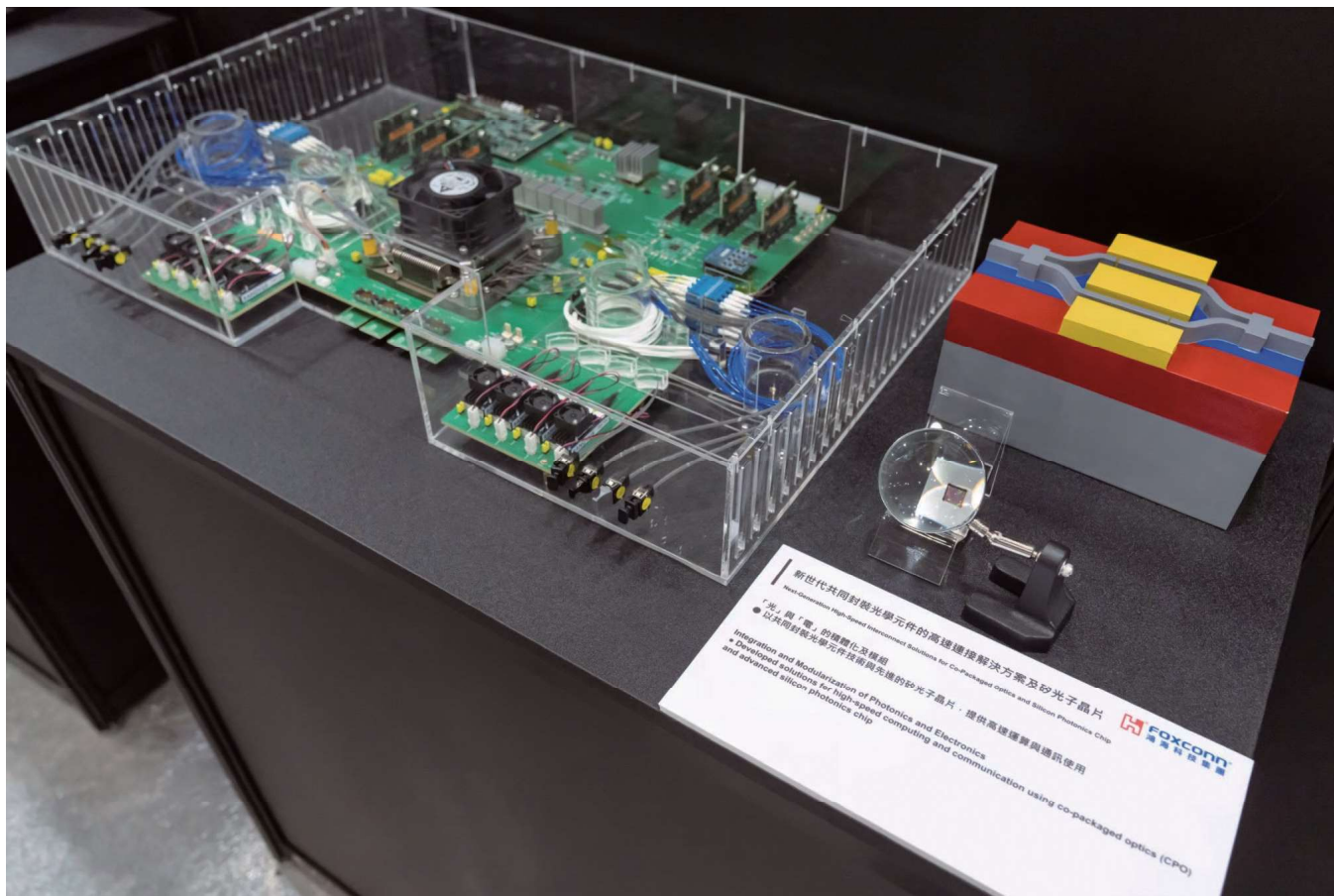
相較於傳統矽材料，碳化矽、氮化鎵等化合物半導體具備「寬能隙」特性，能承受更高電壓與溫度，適用於高功率電子元件。其能隙約為矽的 3 倍，電子較不易亂竄，可大幅減少漏電、提升安全性與能源效率。

而漏電降低也代表能量損耗下降，

得以承受更高電壓與電流輸出並減少熱能產生，整體能耗損失可降低逾 75%，散熱效能更是矽的 3 倍。

化合物半導體最初應用於電動車領域，特斯拉在 2017 年即率先導入。隨著 AI、綠能、機器人、無人機等產業崛起，強調續航與節能的應用場景日增，化合物半導體也成為關鍵材料；尤其，在 AI 伺服器中的 LLC 電路導入化合物半導體，轉換效率可達 97%~98%。

2024 年 8 月，鴻海研究院半導體研究所與陽明交通大學團隊合作，首度在氧化鎵上實現 P 型離子布植與快速熱退火，並成功磊晶 N 型、N+ 型區域，形成高品質同質結構，製作高性能的氧化鎵 PN 二極體，在第四代化合物半導體氧化鎵技術取得重大突破，研究成果發表在頂級期刊《今日材料進展》(Materials Today Advances)。



矽光子技術可將光學功能整合到微小的矽基晶片上，實現高度積體化。

氧化鎵具有 4.8eV 超寬能隙與 8MV/cm 的擊穿場強，性能比矽、碳化矽、氮化鎵更優越，被視為高壓、高溫、高頻率應用的關鍵材料。目前全球以日本、美國、中國大陸為氧化鎵技術領先國家，臺灣則透過此次合作強力追趕，為臺灣在全球先進半導體產業中強化競爭力。

矽光子技術突破傳輸瓶頸

同樣是為了解決 AI 和資料中心快

速發展之下，高速資料傳輸和高頻寬需求面臨的瓶頸，鴻海研究院也投入矽光子晶片的研發。

傳統光學系統不僅體積龐大，而且由許多獨立元件組成，矽光子技術則可把這些光學功能整合到微小的矽基晶片上，實現高度積體化。

進入 AI 時代，對算力、資料吞吐量的需求呈爆炸式成長，對頻寬、資料傳輸速率的要求也變高，使傳統電訊號傳輸面臨挑戰，必須轉向光訊號傳輸。



半導體研究所與陽明交通大學合作研究的新穎突破，具備高度客製與整合潛力。

然而，晶片已大幅微縮，難在旁放置龐大的光學系統進行處理，光學元件積體化需求應運而生。

透過關鍵元件設計，鴻海研究院團隊實現了光學元件積體化，包括：高速調變器，成為提升單通道速度的關鍵元件；高速光電探測器（PD）整合在晶片上，解決光訊號接收後必須轉回電訊號的問題；以及超穎介面技術，把光束偏折器中的超穎透鏡，整合到矽光子芯片中。

矽光子晶片在平行運算時，可提升單通道速度、遠距離傳輸能力，把電訊號轉為光訊號，透過光纖進行長距離、

低損耗的傳輸，解決過往「電訊號走不遠」的問題，更可將複雜的光學元件整合在單一元件上，透過增加波長實現多通道傳輸，進一步提升總頻寬。

然而，矽光子晶片在追求極致微縮、高速傳輸的同時，也面臨多重挑戰，異質整合的複雜性便是其一。製造矽光子晶片時，必須把不同材料、尺度的元件整合在一起，是極大的工程挑戰；同時，把大量元件高度整合到極小空間內，會產生極大熱量，如何有效微縮、確保晶片穩定運行，也是研發必須克服的關鍵難題。

製程和量測也十分艱巨。例如，

一次晶片投片的成本高達數百萬元，而且從設計到回片驗證週期長達半年至一年，加上 200Gbps 以上的高頻量測需要新世代的精密設備，但臺灣具備這種量測能力的單位卻不多，使得矽光子晶片就算能設計，也可能面臨無法驗證的窘境。

不過，「團隊設計、投片速度相當快，短短半年內就讓晶片回片，」郭浩中表示，儘管挑戰重重，鴻海研究院的矽光子晶片研發仍取得顯著進展，而且也在臺灣建立少數能進行 200Gbps 量測的實驗室，使團隊研究成果甚至在某些層面已經超越國際。

精準光控，展現微型化潛力

除了氧化鎵材料、矽光子技術的重大突破，鴻海研究院半導體所與陽明交大合作團隊在 2024 年也開發出「新穎深度感測與臉部識別系統」。研究成果登上國際頂尖期刊《奈米快訊》（*Nano Letters*）封面焦點議題，更獲

美國化學學會（American Chemical Society, ACS）選為 2024 年 2 月的焦點研究，並進行專訪；此外，該研究也在 2024 年 I-Zone 全國創新智慧顯示專區榮獲「工研創新獎」。

這項技術的核心是「深度感測」，也就是判斷物體與攝影鏡頭之間的距離，其運作原理是透過偵測光點變化，重建空間中物體的形狀與距離。最為人所知的應用，是蘋果 iPhone 手機的「Face ID」臉部辨識技術，藉由上萬個紅外線光點，建立使用者臉部的 3D 輪廓。

而鴻海研究院與陽明交大的研究則進一步突破，透過「超穎介面」技術，在超薄膜表面設計、調控奈米結構，藉以精準控制光線方向與聚焦。這類功能以往必須依賴體積龐大的鏡片才能實現，如今卻可整合至微小晶片中，大幅縮小光學模組體積，具備高度客製與整合潛力。

同時，這項新技術不僅使用更多光

名詞速讀

平行運算

輝達執行長黃仁勳曾提出，算力提升的方法不再只局限在晶片微縮，更在於整體系統的平行協同運算，代表即使不依賴單一晶片的極限提升，也能透過多個晶片與板卡的協同分工，實現算力的跳躍式成長。



點、視野更廣，讓感測空間資訊更完整，還大幅縮小元件體積，從 iPhone 中約 1 公分大小的光學模組，縮小到僅約三根頭髮寬度的微型晶片，展現極高的微型化潛力。

除此之外，該技術採用的「光子晶體面射型雷射」與單目立體視覺架構，使其得以簡化未來電子裝置的製程，實現「單石整合」。以手機鏡頭為例，以往必須分別製作多片鏡片與感測晶片，再封裝組裝，如今則可藉由此項技術，將光學元件直接製作在晶片上，大幅提升效率與可靠度。

推進空間運算的新引擎

「新穎深度感測與臉部識別系統」也被視為推進「空間運算」技術的重要突破。以 Apple Vision Pro 為例，其強調的「空間運算」，便是仰賴即時、準確獲取周遭環境的深度資訊。

而鴻海研究院與陽明交大團隊開發

的這項技術，也為未來如 AR / VR 設備、無人機、智慧車載系統等深度感測應用打下扎實基礎。

例如，Apple Vision Pro 內置多達 6 個感測器，但這項技術輕薄短小的特性，可讓 AR / VR 設備體積進一步縮小，減少穿戴負擔，也可有效提升裝置的電池續航力。

至於無人機，若有 50 台至 100 台在空中協同作業的精確點對點溝通需求，此技術便可提供更高效率的通訊方式，原因是無人機對可搭載的元件體積、續航力均有嚴格限制，而這項技術的特性便恰好得以提升無人機的續航力和載重能力。

這項從硬體元件本質進行改善的技術，被視為次世代的功能性光源，可從最底層優化元件性能，大幅降低後端軟體處理所需要的負載，進而實現更高的辨識效果和光通訊性能。

名詞速讀

單石整合

Monolithic Integration，過去的奈米光學感測多採「分離式」方案，也就是把雷射光源和奈米結構製作在不同晶圓上，再透過封裝貼合，而此項新技術把功能性奈米結構直接製作在雷射晶片上，使雷射出光時就能直接發射設計好的特性光束、光型。

新世代通訊研究所

珍珠號進入在軌驗證 打開 6G 時代大門

隨著 5G 日漸普及，下一代通訊技術 6G 發展藍圖日益清晰，其中最關鍵的變革，就是全面整合非地面網路（NTN），讓網路服務不再受限於地面基地台布建廣度，即便在空中、海上、偏遠地區也能順暢通訊。能實現這項願景的關鍵技術，就是低軌道衛星通訊。

驗證技術，為 6G 時代預做準備

面對 6G 時代即將到來，鴻海研究院新世代通訊研究所（簡稱通訊所）啟動「珍珠號」衛星計畫，希望透過低軌道通訊的概念驗證，測試其技術可行性，並為未來發展奠定基礎。計畫內容除了蒐集太空環境數據，也會從中建立完整的衛星開發、系統工程流程。

「珍珠號計畫」自 2021 年立項啟動，歷經近兩年研發、整合與測試，在 2023 年年底成功發射，成為計畫的

重要里程碑。相較於 2023 年核心工作在發射前的設備製作、系統組裝與整合、太空環境測試、功能驗證，以及發射前準備，2024 年則轉向在軌運行，包括：早期軌道控制、穩定運行後的操作、數據蒐集與分析。

珍珠號包含了兩顆衛星，分別命名為 PEARL-1H、PEARL-1C（注：H 代表鴻海，C 代表中央大學）。PEARL-1H 搭載鴻海子公司新煒製作的光學鏡頭、創未來科技的相位陣列天線，PEARL-1C 則搭載中央大學的太空環境探測儀。

2024 年，通訊所團隊完成位於鴻海內湖大樓頂樓的地面站建置，安裝三組具備不同功能的天線，與室內機櫃連線，用於和衛星通聯、數據傳輸與控制，可即時追蹤衛星軌跡、顯示即時位置，並排定通聯時間。

除了自建地面站，團隊也和中央大學合作使用其他地面站，並租用挪威高緯度地面站，以延長衛星通聯時間，並提升數據接收效率。地面站除了能接受衛星發送的信標訊號、追蹤衛星健康狀態之外，同時也能發送指令給衛星，請求回傳遙測數據或太空照片。目前衛星已成功回傳多張在太空拍攝的照片，對後續研究幫助甚大。

做為臺灣第一顆寬頻通訊衛星，也是業界第一顆針對 6G 非地面網路進行實驗的衛星，珍珠號的目標是為未來 6G 時代預先進行技術驗證，也探測太空環境對衛星運行、通訊品質的影響。

不過，這種低軌衛星通訊並非要取代地面基地台，而是兩者互補、備援，在地面基地台無法覆蓋的偏遠山區、海上、無人居住地區，低軌衛星通訊能協助實現「無死角通訊」。

偵測異動，確保通訊穩定

除了低軌衛星通訊，珍珠號還搭載

小型電離層探測儀（CIP），可測量衛星經過區域的電離層電子濃度。

太陽磁暴會導致電離層濃度劇烈變化，影響通訊品質，也會產生大量離子，使大氣層溫度升高、膨脹，使衛星運行軌道周邊的空氣密度變大、摩擦力增加，衛星軌道高度也會略為下降。

2024 年，正值太陽活動高峰期，通訊所團隊便透過珍珠號搭載的 CIP，成功觀測電離層變化，並將數據與衛星高度進行對照驗證，進一步理解太陽活動對衛星運行與通訊的影響。

打開 6G 時代的關鍵技術

珍珠號在 2023 年發射後，早期軌道操作階段其實充滿各種挑戰。

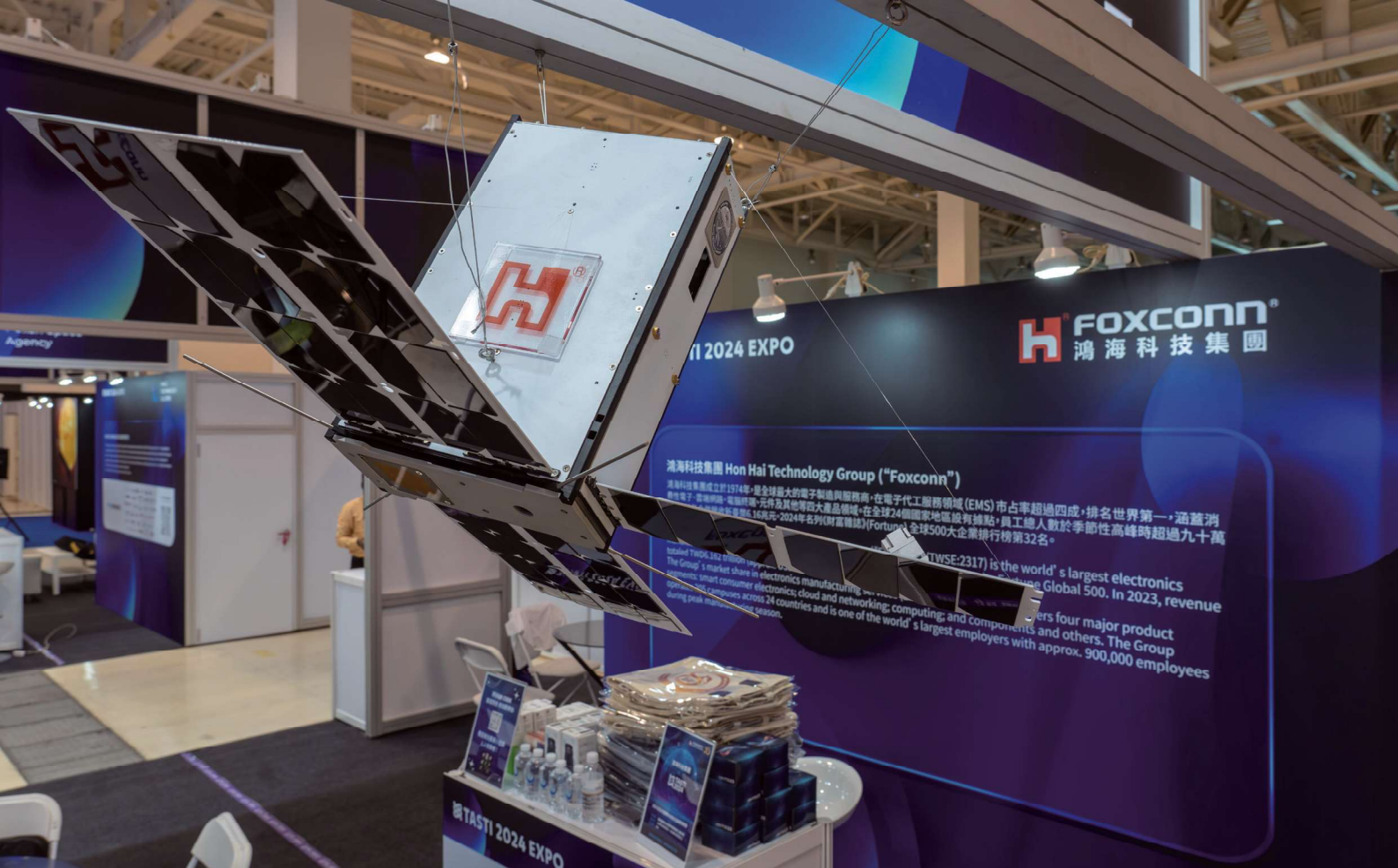
第一個要克服的問題，是姿態不穩。衛星剛離開火箭時，會不斷高速翻滾，團隊必須運用各種姿態感測器、磁力矩器及反應輪，讓衛星從翻滾狀態逐漸穩定下來。

其次，外太空中的極端溫差，也

名詞速讀

6G

第六代行動通訊技術，預計於 2030 年左右實現。相較於 5G，6G 具備更高頻寬、更低延遲（小於 1 毫秒）、更高速度（每秒可達 1Tbps），並融合 AI、感測與通訊，支援沉浸式應用，如：全息影像通話、虛實融合與智慧城市。



「珍珠號」衛星計畫透過低軌道通訊的概念驗證，測試技術可行性，並將蒐集太空環境數據，建立完整的衛星開發、系統工程流程。

是難題。珍珠號每 90 分鐘會繞地球一圈，溫度會隨著日照、陰影劇烈變化，在 45 分鐘之內溫度變化高達攝氏 130 度，對衛星的結構與元件耐受度是一大考驗。

再者，珍珠號一開始回傳的照片是全黑的，團隊必須從地面發送指令，持續調整相機曝光度參數，才能成功拍到清晰照片；此外，衛星的姿態感測與控制也得透過地面指令進行校正，以確保正常運作。

最後，衛星通訊技術也相當不容易。衛星通訊就像是一個不斷移動的基地台，每 90 分鐘繞行地球一圈，與臺灣地面的通聯時間僅有短短幾分鐘，而

且衛星高速移動時會產生頻率飄移，彷彿使用無線電對話時，通話的一方持續調整頻道，讓另一方無法聽清楚內容，這就叫「時變都卜勒效應」，必須透過預測與即時調整上下行訊號頻率，以維持衛星與地面間高速移動下的清晰通訊。

經過數月努力，這些問題逐漸克服，比方說，珍珠號繞行地球時，可根據任務需求切換運行模式，例如：三軸穩定模式，可維持衛星姿勢穩定；對地追蹤模式，可鎖定地面通訊目標；太陽追蹤模式，可透過調整衛星飛行姿態使太陽光入射角垂直於太陽能板，最佳化太陽能效率，讓充電效率最大化。

珍珠號已在 2024 年 5 月完成早期軌道操作，進入穩定運作階段，而地面站的即時監測數據也顯示，衛星充放電週期與電壓、電量變化曲線規律且運作正常。

衛星加持開啟 6G 智慧連結革命

進入 6G 時代，鴻海研究院通訊所所長吳仁銘認為必須注意兩大趨勢：

第一，是「立體化網路」。未來 6G 網路將不再只局限於地面基地台，而會結合低軌衛星，形成三維、立體的網路。

第二，6G 時代，通訊有望發展為「無所不在的覆蓋」（ubiquitous connectivity），可解決現有網路在山區、偏鄉、海洋中無法覆蓋的問題，在開放空間提供無死角通訊服務，讓網路變得無所不在。因此，珍珠號的成功發射與在軌驗證，對鴻海科技集團的「3 + 3」轉型策略有重大意義。

展望未來，通訊所將持續累積珍珠

號在軌運行所獲取的寶貴經驗與數據，做為啟動新一代衛星設計、規劃的基礎，朝向功能更強大、系統更穩定的目標邁進。除了實務上的衛星專案，通訊所也同時進行多項基礎科學研究、軟體平台開發，期盼能建立一套完整的衛星通訊系統開發與驗證能力。

吳仁銘表示，最終目標是將衛星功能從單純的「點對點傳送」，擴展為更全面的服務，並在未來全球低軌衛星網路供應鏈中占有一席之地。

隨著全球邁向 6G 時代，「珍珠號計畫」不僅是臺灣開啟低軌衛星通訊的關鍵里程碑，更象徵著本土產業自主研發、鏈結學界與企業的創新實力。

從軌道操控到訊號補償、從太空探測到通訊驗證，珍珠號展現出跨領域整合的強大潛力，未來，這些經驗將推動更多衛星技術落地應用，打造天地融合的智慧網路，為臺灣在國際 6G 舞台上搶得先機、奠定關鍵技術主導地位。

名詞速讀

太陽磁暴

是由太陽釋放的高能帶電粒子（如：太陽閃焰、日冕物質拋射）引發的地磁擾動。當這些粒子抵達地球時會干擾磁場，影響衛星、導航系統、無線電通訊等，甚至導致極光或電力系統異常。



表 1：「珍珠號計畫」重要里程碑

日 期	事 件
2023/11/12	搭乘 SpaceX 火箭發射衛星入軌、展開 UHF 天線、第一次成功雙向通聯
2023/11/28	北美防空司令部追蹤珍珠號衛星軌道，公開 PEARL-1H 編號為 58265
2023/12/12	第一次成功下載遙測數據，開始監控系統穩定度與健康狀態
2023/12/25	完成 UHF、飛行電腦、電池、太陽能板等次系統調試
2023/12/31	獲得衛星滾動角速度，開始調校飛行姿態感測器與致動器
2024/01/11	進行間歇性快速止滾控制，並確認有效性
2024/01/25	彈射磁力計、執行 Y-Thomson 止滾程序
2024/02/02	執行磁力計校正程序、印證理論與實務
2024/03/02	開始三軸反應輪測試、驗證衛星三軸穩定飛行模式
2024/03/13	展開太陽能板、露出相機酬載，開始試拍
2024/03/18	驗證太陽追蹤模式，比對太陽感測器向量、地球磁場向量、飛行姿態三軸角度
2024/04/02	回傳首批 6 張相片，曝光不足或過度
2024/04/09	測試飛行電腦定時排程的常規操作
2024/04/20	驗證地面目標追蹤模式
2024/05/15	分拆調整相機酬載日夜側曝光參數，使太空自拍照更加清晰
2024/06/07	確認電池溫度、電壓與電流的日夜側週期性變化
2024/07/30	變更電池管理參數，在低溫時充電更積極，在低電壓時放電更保守
2024/08/15	內湖頂樓地面站碟型天線吊掛安裝完成
2024/10/22	獲得 NCC 實驗研發專用電信網路無線電台執照
2024/11/20	統計天線追星角度及都卜勒頻偏補償的控制誤差、分析時變通道數據封包傳輸所受影響
2024/12/25	比對衛星的 GNSS 感測器數據以及軌道參數的預測位置，確認 RTC 時脈誤差

離子阱實驗室

精準捕獲離子並控制 打開量子電腦未來之路

離子阱（ion trap）是一種利用時變電場來束縛離子的技術，鴻海研究院離子阱實驗室研究團隊選擇自然界的鏡 171 原子，游離最外層的一顆電子使其帶電，再利用三對電極提供的射頻電場，以及雷射冷卻技術，精確地在真空中捕捉那些離子。當捕獲的離子數量增多，則可透過控制電勢分布，使其自然排成一行，形成「離子陣列」。

一顆顆的離子是上天給的禮物。同一種類的離子，物理上完全相同，提供了做為量子位元的良好條件。由於位元的量子狀態極為敏感，實驗必須在外太空等級的高真空狀態下進行，以免環境或其他粒子的干擾。

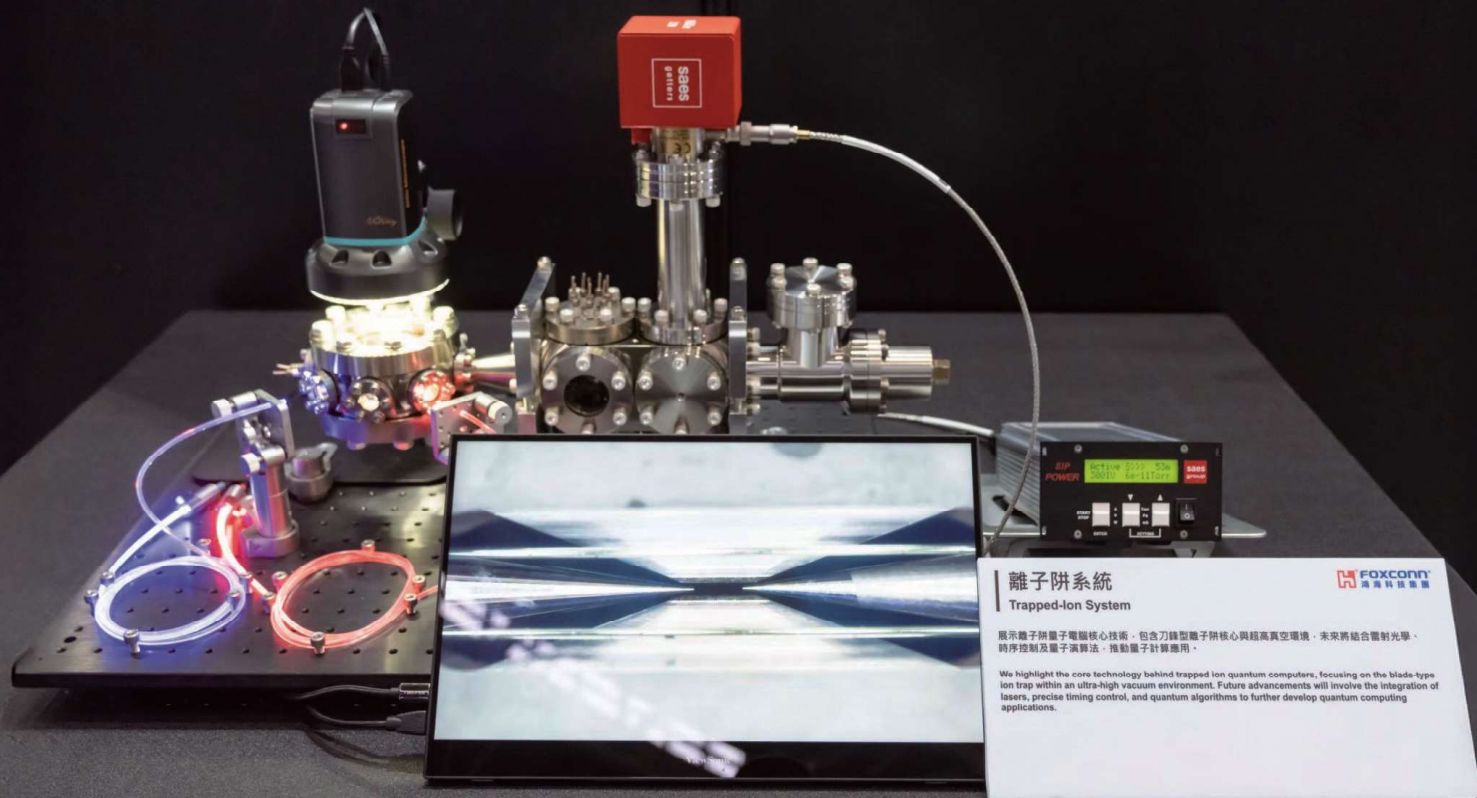
從物理上來說，粒子的高溫狀態對應到其運動的雜亂與劇烈程度愈高，愈不利於量子狀態的儲存和控制的精確度。然而，由於真空中缺乏摩擦力，無

法有效降低離子的運動程度至絕對零度附近。

為了解決問題，研究團隊採用雷射冷卻技術，透過照射特定頻率的雷射光，讓高速離子吸收反向光子，藉由動量移轉使運動減慢，數毫秒內就能讓離子冷卻至接近絕對零度，而周遭的設備元件，包括真空腔壁，則還能維持在室溫，大幅降低了量子計算對於硬體低溫環境的嚴苛要求。

另一方面，離子位元彼此連結性極佳，只要同處於一個陣列中，就能透過共享振動模態，實現任意兩位元間的邏輯運算。

甚至，可以透過電極控制，移動離子使其穿梭在不同陣列之間。相較之下，其他人造量子位元平台因受限於物理空間上的線路連結，通常只能與鄰近的位元溝通，導致連結性較差。



離子阱未來將結合雷射光學、時序控制及量子演算法，推動量子計算應用。

從單一離子到離子陣列

鴻海研究院的離子阱實驗室於 2023 年 10 月 15 日啟用，隨著設備陸續到位，團隊開始組建離子阱實驗系統。經過一年的努力，在 2024 年 10 月首次捕獲鐮離子團，同年年底終於成

功獲得單一離子畫面；之後，更在幾個星期內進一步突破，成功實現穩定離子陣列。截至 2025 年年中，團隊已能製備多達五十多顆離子的穩定陣列。

這段過程看似簡單，但其實充滿大量挑戰。

名詞速讀

量子位元

Quantum bit 或 qubit，是量子計算的基本單位，如同傳統電腦的位元（bit）一樣。但量子位元可以同時處於 0 和 1 的疊加狀態，不像傳統位元只能是 0 或 1。不同量子位元可進一步形成量子糾纏，實現量子平行性，因而使得量子計算在處理某些問題時，比傳統計算更有效率。

首先，雷射系統可能因為環境條件擾動造成頻率飄移，必須進行雷射穩頻，將其鎖定在精確的基準頻率上。而雷射的頻寬也必須嚴格控制，避免造成離子不必要的狀態躍遷。

其次，量子狀態的讀取，需要蒐集離子激發後發出來的微弱螢光。像是經由選擇特定雷射頻率，使得處於「1」狀態的離子會被激發，而「0」狀態的離子則不受影響。這時需要精心配置光路設計、透鏡安排、空間解析度調校、弱光放大、資訊處理等技術，才能精確捕捉到每個離子的發光資訊，判別它們處於 0 和 1 各多少比例的量子疊加態。

聚焦控制力與連結性

量子位元數量之外，對離子的精確控制能力和位元間的連結性，更是團隊看重的核心指標。即便團隊截至目前能捕獲五十多顆離子，但只有能被精確控

制其量子狀態的離子才能被稱為量子位元，因此團隊的短期目標仍聚焦在實現 5 至 10 個量子位元的任意精準控制。

此外，離子阱核心也不斷演進。從 2022 年推出第一代單區刀鋒型核心設計，到 2023 年推出第二代多區型層狀設計，目前團隊已將第一代核心安裝在實驗上，且成功捕獲離子陣列並進行操控，證明其有效性。

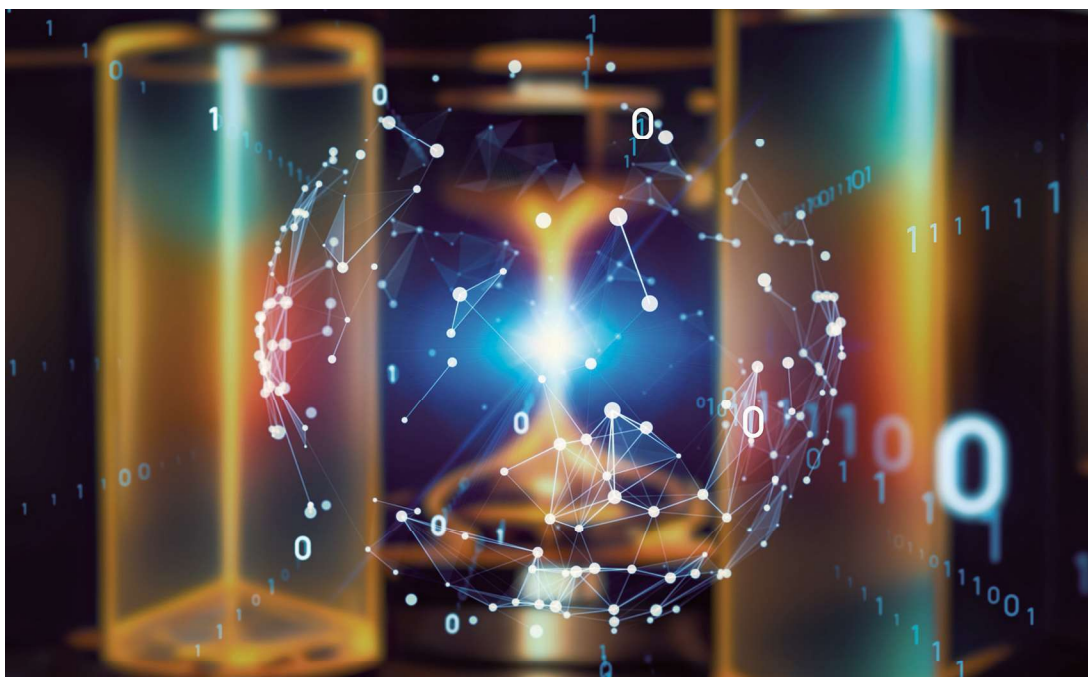
同時，第二代多區型核心仍在持續優化中。鴻海研究院離子阱實驗室主任林俊達表示，預計 2025 年至 2026 年會同時進行第一代、第二代並存的實驗，負責操控離子與驗證等不同任務。

第一代到第二代離子阱是由簡入繁。第一代核心設計與製造相對簡單而穩定，將做為測試與訓練使用，並提供物理上校正數據與參數；第二代離子阱則為「多區型」，意思是阱體上分段為多個區域，可通入不同電壓，使研究人

名詞速讀

超導 量子位元

Superconducting qubit，指利用超導材料透過形成約瑟夫森結（Josephson junction）製成的量子位元，利用超導體在極低溫下呈現零電阻的特性，有效維持電流振盪的量子狀態，並可透過微波控制不同狀態的轉換和疊加，來實現量子資訊的儲存和處理。為了達到超導特性，需要強力的冷卻系統，優勢是製程與半導體相容，技術成熟。



量子位元可以同時處於 0 和 1 的疊加狀態，使得量子計算能突破當前運算極限，比傳統計算更有效率。

員能動態改變位能分布以精確控制離子的移動，進而達成不同任務。像是讓特定離子相互靠近，進行邏輯運算，還可在不需要互動時，把離子移開用於儲存位元。

目前離子阱的第一代、第二代實驗原型，主要依賴精密機械加工，系統不易擴展。將來若要從數十個量子位元擴大到數百萬個量子位元，就得仰賴半導體製程的穩定性，實現系統微縮和光學集成。

從離子阱實驗走向通用量子電腦

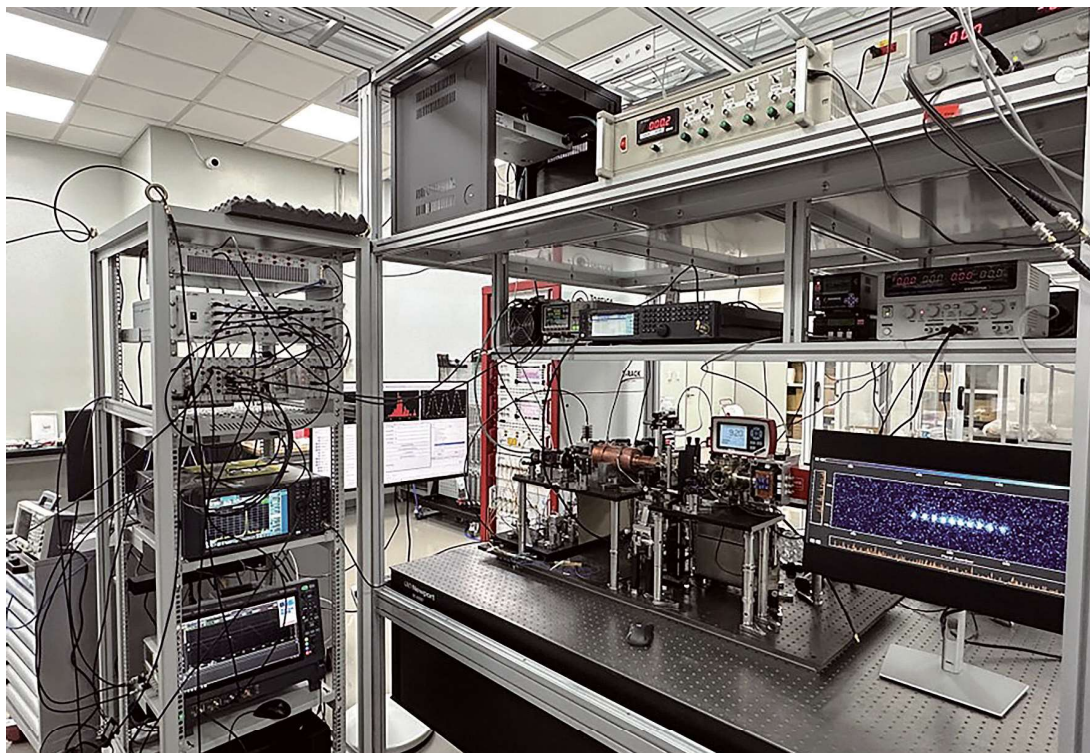
評估量子電腦的性能，必須綜合考量位元數、連結性、量子狀態儲存時間

等多重因素。

離子阱相較於其他平台而言，在所謂「含噪聲中尺度量子計算」（NISQ）綜合優勢顯著。對未來可擴展性的量子計算架構來說，矽光子技術可說是提供一個新的、高難度的應用出口。

為了探索未來半導體製程如何應用在離子阱系統，鴻海研究院離子阱實驗室已和半導體研究所、中研院、陽明交大等單位合作，聚焦前瞻性開發，其中關鍵技術就是矽光子。

量子位元數量達到百萬級別時，為每個離子配備獨立雷射源，不只不切實際，且成本極高；而矽光子技術能使用半導體製程製作光波導，形成基板上的



鴻海研究院離子阱實驗室聚焦前瞻性開發，探索未來半導體製程如何應用在離子阱系統。圖為新店寶高園區鴻海研究院離子阱實驗室。

光路，引導光到離子下方再耦合至空間中，聚焦在離子上。

然而，控制特定離子所需要的光，經常因為其頻率範圍在常見矽光子材料中的吸收率較高，導致效率太低及散熱問題，該技術在國際間尚處於前期開發階段。因此，尋找適合特定波長、製程技術成熟的新材料，到設計出滿足需求的元件架構，應用矽光子在離子阱系統的集成光學技術，仍充滿挑戰。

展望未來，林俊達表示，鴻海研究院離子阱實驗室將根據短、中、長期目標持續發展：

短期目標，是在 2027 年以前，打造出一部 5 至 10 位元的離子阱通用量子電腦原型。所謂通用型，也就是像傳統電腦一樣的通用硬體，能透過程式編碼執行非單一任務以解決不同問題。不過，由於位元數仍少，這類原型量子電腦還無法實際解決問題。

中期目標，是發展未來可擴展量子計算架構所需的關鍵技術。其中包括把目前 3D 結構的離子阱過渡到二維結構，亦即結合半導體製程的離子阱晶片、離子穿梭技術，與操控量子位元所需要的集成光學與電路元件，最後則是

把離子阱系統進一步微縮並模組化，並提高穩定性與連結性。

至於長期目標，則是基於穩定模組化相互連結來實現可擴展性計算架構，達到數百、數千甚至數萬個有效量子位元。當硬體技術發展成熟，實驗室將和量子計算研究所更緊密合作，實現具備量子容錯與糾錯能力的量子演算法，支援集團 AI 發展、智慧平台、電池與藥物開發的所需算力。

培養人才，推動量子電腦問世

臺灣長期以來重視與現行產業高度結合的領域，然而對新興的量子科技、光學、原分子等基礎科學相對薄弱。由於量子產業鏈尚未健全，加上國外研究環境與半導體產業磁吸效應，量子人才培育與留任均面臨不小挑戰。

林俊達表示，目前團隊成員大多是物理背景，尤其是量子光學與原子分子

物理的實驗和理論相關。不過，量子電腦開發需要跨領域的專業整合，一直以來也歡迎電子、電機、材料、資工等領域的人才加入。實驗室希望，透過日益成熟的研究成果產生號召力，吸引更多有志之士進入量子科技領域。

「量子計算，絕對是下個世代的『聖杯』，但量子技術需要反覆試錯、累積經驗，而且需要人才、資源、技術高度整合，」林俊達強調，鴻海研究院這座離子阱實驗室，是臺灣產業界重要的實驗場域，未來也會持續努力投入資源，並串連國內外產官學技術，繼續創造出業界肯定的成果。

量子計算被譽為突破當前運算極限的關鍵技術，而離子阱技術則扮演其中最具潛力的硬體平台之一。鴻海研究院離子阱實驗室的發展，不僅顯示出產業界參與量子科技的決心，也為臺灣量子生態系奠定重要基礎。

名詞速讀



量子糾錯

量子位元做為量子計算的基礎，其狀態容易受周圍環境影響而發生變化，這種現象被稱為「退相干」。如果不加以糾正，運算過程中錯誤會迅速累積，導致計算結果完全錯誤。量子糾錯使用多個量子位元來編碼一個量子位元的訊息，這樣即使其中部分位元出錯，也能透過測量和計算找出錯誤並修正。因此，量子糾錯是確保量子演算法能正確計算至關重要的環節。

量子計算研究所 更正、分群、抗雜訊 打造高效演算法

量子電腦的概念在 1980 年代逐漸成形，並在 1994 年因「秀爾演算法」的出現迎來重大突破，吸引全球科學界投入研究。到目前為止，已經有百位元等級的量子電腦問世。

然而，量子位元非常容易受到環境雜訊干擾產生錯誤，而且隨著量子位元數增加，錯誤率會呈指數級成長。為了確保運算精確度，必須透過量子錯誤更正（quantum error correction），來偵測並修正這些錯誤。

量子錯誤更正的黃金三角

目前量子電腦的錯誤率極高，單一邏輯運算的運算保真度極限約是六個九（99.9999%），也就是每進行 100 萬次運算就可能出錯 1 次。然而，一個有用的量子演算法可能需要高達 10 億次的運算量，若無錯誤更正機制，任何一次

錯誤都可能導致運算結果無效。

因此，「量子錯誤更正」就成為鴻海研究院量子計算研究所（簡稱量子所）成立以來，致力投入開發的技術，其核心原理是導入「冗餘」（redundancy）。

舉例來說，如果要傳送一個位元「1」，可以重複傳送三次，即「111」，即使其中一個位元出錯成「101」，接收方仍可透過多數決來判斷原始資料為「1」。

然而，在量子領域，錯誤更正遠比傳統通訊複雜得多。在多個關鍵參數的考量上，包括： N （編碼後的位元數）、 K （原始資料位元數）、 D （可更正錯誤數量），要更正的錯誤愈多（ D 愈大），所需要的冗餘（ $N-K$ ）也愈多，能夠傳送的資料量（ K ）也愈少。量子所的研究，正是要設法平衡這

三個參數。

國際合作，找到最優化參數

除了希望不出錯，量測效率也很重要，因而設計錯誤更正碼時必須達到低密度，也就是最好只需要查看少數幾個位元即可判斷、修正問題，不要為了檢查錯誤而查看所有位元，兼顧量測效率和高準確度。

此外，設計錯誤更正碼還有另一個重點，就是「幾何局部性」，即要檢查的位元在空間上應該彼此靠近，而非分散各處，以縮短量子位元間的實際距離，減少量測延遲，並降低量子電腦硬體設計的門檻。

換言之，錯誤更正碼的關鍵在解碼、編碼，而如何用最少量子位元快速且準確讀取、修正錯誤，一直是科學家們懸而未決的挑戰。

為此，量子所團隊在 2023 年與美國加州理工大學、以色列魏茨曼科學研究學院（Weizmann Institute of Science）合作，提出「最優量子低密

度奇偶檢查碼」（qLDPC code）建構方法，並開發出高效率線性解碼器，其解碼時間與量子位元呈線性關係，代表能以最少冗餘保護資料，同時達到最優的錯誤更正效率，成功突破長達二十多年的量子錯誤更正碼困境。

2024 年，量子所團隊在前一年的基礎上，進一步整合幾何局部性的特質，設計出的錯誤更正碼不僅能以最少量測點判斷錯誤，這些量測點在物理位置上也高度集中，大幅減少量子電腦硬體設計的難度。

這項兼具最優化參數與幾何局部性的研究結果，榮獲國際頂尖的量子計算研討會 QIP 2024 收錄，並由團隊成員進行公開演講。鴻海研究院量子所所長謝明修表示：「這不僅是技術上的突破，更象徵著量子所團隊在量子錯誤更正碼研究上的水準，已居世界領先之林。」

提供從社群到物流的最佳解

不只在量子錯誤更正碼接連取得突

名詞速讀

秀爾演算法

Shor's Algorithm，是一種量子演算法，可在多項式時間內完成大數質因數分解，從而破解傳統 RSA 加密體系，是量子電腦展現超越傳統運算能力的代表性成果。



破進展，量子所還與法國巴黎大學合作開發「量子圖分群演算法」。對於能夠被抽象化為圖形結構，或是需要分群與分類的問題，都可以透過量子運算得到更有效率的解決方案。

量子圖分群演算法可透過圖形結構中的節點，分析社交網路，例如：辨識不同領域中同名人物所屬社群、解析複雜的人際網絡關係等。而研究團隊取得的成果就是，證明量子圖分群演算法比傳統演算法更具優勢——相較於傳統演算法的運算複雜度為 $O(\sqrt{N})$ ，量子所開發的圖分群演算法則是 $O(\sqrt[3]{N})$ 。

這代表，隨著問題規模變大，量子所開發的圖分群演算法所需要的運算資源成長更為緩慢。因此，在相同的基礎資源下，量子電腦可處理的問題規模可超過傳統運算。

此外，該研究也首度針對這類問題提出「理論下界」（lower bound）證明，精確界定傳統演算法效能的極限。這對電腦科學而言至關重要，因為這足以讓研究人員判斷對應的量子演算法效率。

有了這層理論保障，團隊才能將高效量子演算法應用於實際問題，而不致在低效率的方法上浪費資源。

更重要的是，量子圖分群演算法的應用場景，並不限於在社群媒體，它的真正潛力在於，能將現實世界的複雜問題轉化為數學的圖分群問題，並運用量

子演算法優勢求解，例如：共享計程車司機與乘客的配對、最佳化物流領域、生產線流程優化，以及工業製造效能提升等，都是這套演算法可以發揮作用的領域。

信號去噪，強化運算準確性

另一個 2024 年量子所值得一提的重大成果，是「量子態層析掃描」（quantum state tomography）。

量子電腦雖然效能強大，卻很容易受到噪訊干擾，必須把噪訊降低到一定程度以下，才能展現其運算優勢，因此量子態的信號去噪顯得格外重要。

所謂「量子態」，即系統所具備的量子狀態，其製備過程複雜，且需要透過計算才能驗證正確性。然而，量子態無法直接觀測，只能在特定條件下取得部分測量結果。

某些特定的量子態，是讓量子電腦展現出超越傳統電腦優勢的關鍵，倘若少了這些量子態，量子電腦的某些操作和傳統電腦無異。因此，如何高效製造並精準驗證這些關鍵量子態，是量子計算的重大挑戰。

量子態層析掃描正是解決此問題的核心技術，藉由一系列精密量測，反推出量子位元的實際狀態，確保硬體運作的準確度。其中關鍵演算法是「黎曼梯度下降法」（Riemannian gradient descent），可大幅縮短還原量子狀態



量子態層析掃描是量子計算研究所 2024 年的重大成果。

的時間。

量子狀態還原不再卡關

在量子世界中，通常會用矩陣數學工具來描述量子系統狀態，而矩陣大小會隨著量子位元增加呈指數型成長，導致量子態層析掃描所需要蒐集的資料暴增。在這種情況下，即使完成資料分析，還原完整量子狀態的過程亦相當耗時，難以符合時間效益。

幸好，量子狀態並非完全隨機，

而是有規律可循。量子所團隊透過這些規律，搭配黎曼梯度下降法，大幅提升還原量子狀態的效率。相關成果已發表在頂級期刊《物理評論快報》（*Physical Review Letters*），代表量子所另一項研究與國際接軌，並獲得學術界認可。

展望未來，謝明修期許，量子所將持續在硬體賦能、軟體演算法與落地應用三大方向深化布局，推動量子計算商業化的進程。

資通安全研究所

立足量子與 AI 時代 建構宏觀且前瞻的資安體系

1994 年，秀爾演算法（Shor's Algorithm）的問世，已從理論上證實，一旦具備大規模運算能力的量子電腦出現，現行的公鑰密碼系統將會遭受嚴重衝擊。這種威脅的可怕之處在於，問題並非源自人為疏失，而是公鑰密碼系統最核心的數學難題將被徹底破解。

更重要的是，將現有公鑰密碼系統全面遷移至後量子密碼系統，勢必需要投入漫長的時間與大量資源，包括：後量子標準的選擇、系統升級，以及軟／硬體部署等，這將是一場耗時且高成本的轉型工程。

量子時代的資安防禦

正因如此，即便量子電腦的硬體與演算法仍在持續發展，考量到未來的資安威脅與遷移成本，後量子密碼學的相關研究早已如火如荼地展開。

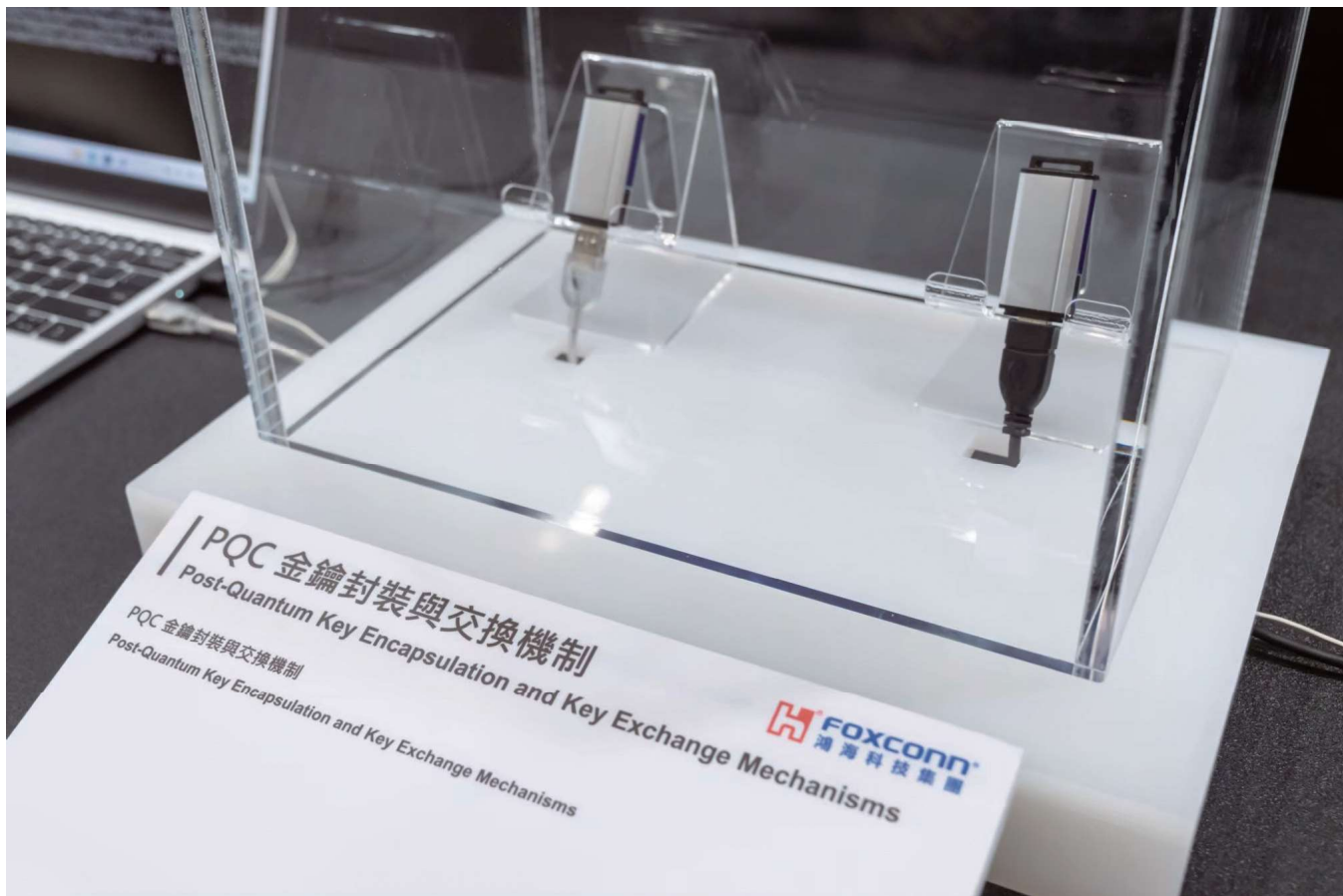
針對量子電腦的資安威脅，目前業界主要有兩種防禦方向。

第一種，量子密碼學（Quantum Cryptography）。

這是基於量子力學特性的密碼學，最著名的例子是量子金鑰分發（Quantum Key Distribution, QKD）。因為量子力學的特性，量子密碼學有極高的安全性，但實務上受限於成本、技術與裝置，使得其實現與使用相當困難。

第二種，後量子密碼學（Post Quantum Cryptography, PQC）。

延續傳統密碼學思維，尋找量子電腦不擅長處理、更困難的數學問題，並以此為基礎建構新的密碼系統。量子電腦雖然強大但並非萬能，只擅長處理特定類型問題，而後量子密碼學正利用這一點進行防禦。



後量子密碼學（PQC）是目前針對量子電腦的資安威脅主要的防禦方向之一。

大規模量子電腦何時會出現，目前仍眾說紛紜，但量子電腦造成的資安危機已是可預見的事實，全球資安界早已開始尋找不受量子電腦威脅的密碼學，成為後量子密碼學的由來。

後量子密碼學成必修課

面對潛在威脅，美國聯邦政府已明確表示，現有的公鑰密碼系統，如：RSA 與 ECC 等，在 2030 年後就應該開始被棄用（deprecated），

在 2035 年後就應該不再被允許使用（disallowed），使得後量子密碼學成為業界必須立即著手研究的技術。

美國國家標準研究院（NIST）為因應量子威脅，啟動後量子密碼學標準化流程，目前已選出多個聯邦資訊處理標準（Federal Information Processing Standards, FIPS）。

鴻海研究院資通安全研究所（簡稱資安所）不僅參與美國國家標準研究院舉辦的後量子密碼學競賽，研究報告提



因應公鑰密碼系統終將棄用，資通安全研究所致力於後量子密碼學的研究。

交該院後，也在 2023 年 7 月刊登，顯示資安所的研究成果已獲該院認可。另一方面，資安所 2024 年的一項重要研究成果，便是在 MCU 上實作 FIPS 203 (ML-KEM)，並透過實際執行金鑰交換驗證實作的正確性，顯示資安所已掌握了後量子密碼技術。

不過，後量子密碼學演算法雖然能抵抗量子電腦的攻擊，但在計算效率、公鑰、簽章等規格方面，往往不如現今使用的 RSA 與 ECC。因此，資安所也將研究重心著重在如何優化後量子標準

的執行效率，使其能順利嵌入現有硬體，成為安全屏障。而這也會使企業和組織從目前使用的傳統加密技術，進行後量子遷移的過程能更加順暢。

AI 時代的資安挑戰與策略

隨著 AI 技術的快速成熟，全球產業版圖正悄然改寫，企業運作因此更加智慧高效。然而，AI 與資安的交織，也形成了三大關鍵面向。

首先，駭客開始運用 AI 強化攻擊手法，使變種攻擊更快速、更精準，甚

至能自動客製化滲透特定目標；其次，資安防護亦必須善用 AI，以動態學習與即時調整來突破傳統規則式偵測的局限；最後，AI 本身也潛藏風險，若訓練資料遭惡意汙染，模型可能被植入後門，成為新的安全隱患。顯然，AI 已不僅是產業升級的引擎，更是資安領域的決勝關鍵。

為了正面迎擊這些挑戰，資安所善用 AI，將其化為對抗資安威脅的利器，並展開關鍵研究，打造出一套 AI 動態防禦技術。這項技術不僅強化了既有的靜態偵測能力，更能即時學習、即時調整，捕獲最新攻擊手法；不僅如此，這項技術還將 AI 威脅偵測模型與全球網路威脅情資資料庫（CTI）結合，持續吸收來自世界各地的駭客手法，並將情報轉化為模型的判斷依據。

結果顯示，新技術大幅提升了對未知攻擊的捕獲率，相關成果更已刊登於頂尖國際期刊。這意謂著，未來企業的辦公網路與生產線聯網設備，將擁有一

層更強韌的防線，能在威脅發生之前就主動因應，降低龐大財務與營運損失的風險。

然而，挑戰並不止於此。另一個隱蔽的風險，潛藏在 AI 大語言模型的訓練過程中。

模型在大規模學習時，可能同時捕捉到不安全或具危險性的行為模式，並在特定情境下被觸發，造成潛在的安全隱憂。面對這個問題，資安所提出了一項創新方法——透過演算法精準鎖定與「毒性言論」相關的參數，並進行權重減法運算，大幅降低模型的不安全行為，同時保留其完整功能與效能。

這項研究成果已投稿至國際頂尖會議，並獲得審查委員的肯定。未來，無論是客服、教育還是醫療等場景，這項技術都能透過抑制與毒性行為相關的模型權重，讓模型「遺忘」不安全行為模式，降低 AI 受到惡意操控的風險，確保模型輸出更穩定、更可信，並在推動 AI 安全應用的同時，提升社會對智

名詞速讀

公鑰密碼系統

一種密碼系統，使用一對公開與私密金鑰。公開金鑰（public key）可自由分享，私密金鑰（private key）則僅持有者擁有。即使他人知道公開金鑰，也無法推算出私密金鑰，有效保障資訊安全。



慧科技的信任感。

「即時防禦」與「風險移除」這兩項突破為 AI 資安奠定了全新的能力。未來，資安所將持續深耕 AI 模型的安全性、可解釋性與輸出驗證，並與產業及學界緊密合作，推動這些成果落地實際應用。產業的需求將帶來真實場景的驗證，而學界的研究則能持續提供前沿理論與技術突破，兩者相輔相成，加速 AI 資安防護網的進化。最終，將形成一張能即時學習、即時調整的智慧資安防護網，在看不見的數位戰場上，為企業與用戶守護最關鍵的信任。

打造堅韌資安防線

鴻海科技集團推動的資安治理，目標是建立宏觀且「健全」的資安防護體系，從高層的重視與支持，滲透到日常執行與維運，由上而下建立起鴻海的資安文化，並制定出符合集團現況的資安規劃與投資。此外，亦透過工作小組

之間的協作與機制的導入，將集團政策落地並有效被遵循。

這項工作的核心，是由鴻海董事長劉揚偉擔任主席的資安治理委員會所推動。委員會成員包括：特定子公司最高主管、管理公司資訊和網路最高主管、鴻海研究院資安所所長，公司財務、人資、法務、稽核等高階主管則視所需專案列席。

委員會亦設有祕書處，負責集團資安治理之策略規劃與制定，並定期召開委員會向高層匯報策略方向、成效，以持續強化集團資安韌性，並滿足客戶的隱私和財產權保護。

委員會轄下分為資安治理工作小組、資安維運工作小組。前者負責資安治理策略方向擬定、資訊安全政策和相關規範制定，確保法規的遵循性查核；後者則落實建置、維運資安架構、設備，在資安防護、風險評估等工作，確保資安執行成效。

名詞速讀

FIPS 203

ML-KEM (Kyber) 是美國國家標準技術研究院選出的第一批後量子加密標準之一，FIPS 203 則是該院在 2024 年發布的正式密鑰分發標準，把 Kyber 正式納入政府密碼學標準的文件，規定 Kyber 的具體使用方法與參數，讓政府與產業界能依此部署抗量子加密系統。



面對日益複雜且多元化的網路威脅，資安監控將是企業重要的安全防線。

實地參與運作的鴻海研究院執行長暨資通安全所所長李維斌觀察，委員會的主要特色有二：

第一個，是統一標準和語言。鴻海科技集團事業體龐大，各單位過去對資安事件的定義、判斷等級、通報流程均不相同，委員會因而制定全集團適用的資安事件判斷原則、通報等級，確保所有單位能用相同邏輯溝通，大幅提升應變韌性與效率。

第二個，是以「勒索軟體」（ransomware）為核心切入，建立一套從預防、偵測到還原的完整防禦體系。如同投石入塘泛起漣漪，從建立中央及各集團公司之緊急應變中心（Emergency Response Center, ERC）開始，組織全集團之資安應變小組，從而帶動各事業群完善資安防

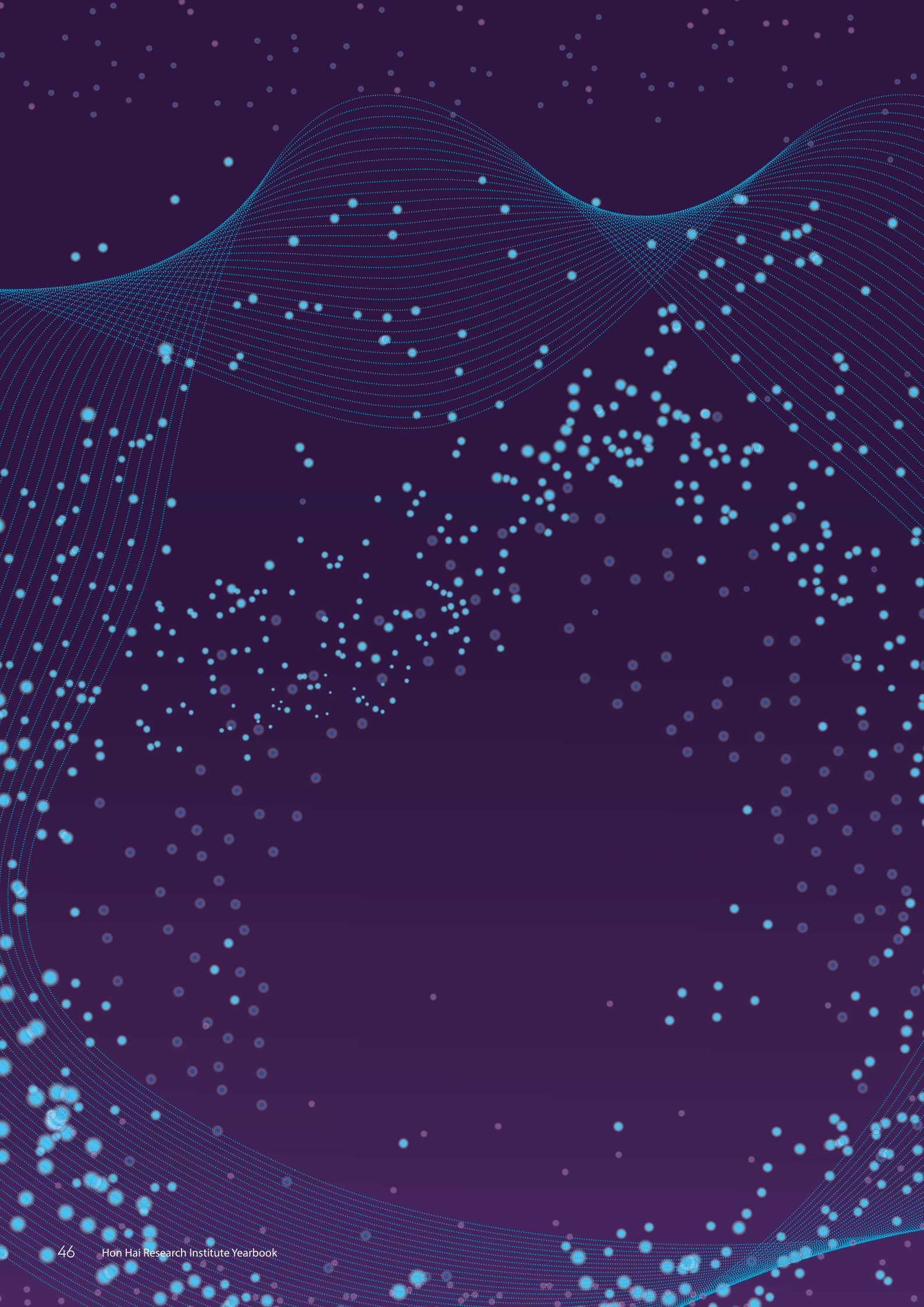
護，形成堅韌防護網。

以資安治理與區域聯防為核心戰略，除了落實國際資安框架外，也由集團中央主導，串聯子公司、關係企業，成立資安聯防小組，並橫跨子公司建立情資共享與協同合作機制，希望透過橫向聯結，建構及時交流威脅情資與共享防禦經驗，形成互相支援的聯防網路。

此外，透過集團中央建構資安監控中心（SOC）與 SIEM 平台，導入 AI 分析監控與聯防通報，則可使情資於組織間流動，提前發現並阻止攻擊，實現全球即時資安監控，保障業務穩定運作；當事件不幸發生，亦依循集團中央政策，迅速整合各方資源，成立緊急應變中心，形成偵測、通報、聯合處置的完整防禦體系，共同應對日益複雜且多元化的網路威脅。

這項戰略的成效備受肯定，於 2024 年首度參與 TCSA 台灣企業永續獎評比，就榮獲「資訊安全領袖獎」，肯定集團對於資安的重視及布局的成效，更以「聯防」的精神，帶動集團共同提升資安韌性。

面對量子威脅與 AI 變局，唯有前瞻投入與治理升級，企業才能站穩未來安全防線。在時代的快速變化下，需將信任置於合規之上，並主動識別風險、前瞻部署，因為資安不只是防禦，更是創造競爭優勢的關鍵。



夥伴觀點

跨越學術、產業與國界，
鴻海研究院攜手合作夥伴，
共同探索自動駕駛、低軌衛星、
量子計算、AI 防禦等尖端科技，
不僅促成創新落地，也孕育跨域人才，
建立兼具韌性與前瞻性的科技生態，
映照臺灣未來智慧產業的無限可能。

香港城市大學 × 鴻海研究院 打造「產學研用」 無縫接軌新典範

香港城市大學與鴻海研究院的合作始於 2021 年，雙方不僅推動學術研究落地，也提供研究真實驗證場域，更加速人才培養與資源對接。

香港城市大學計算學院院長暨電腦科學系講座教授汪建平指出，鴻海研究

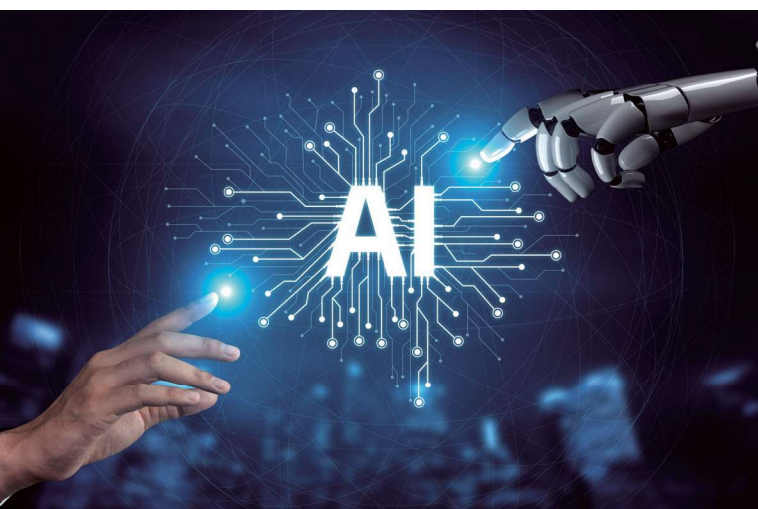
院不只是短期、專案贊助，而是建立長期的研究夥伴關係，打造共同研究平台，研究議題由雙方共同商定，將產業需求直接融入學術問題，確保研究方向與市場脈動契合。

此外，雙方也設立聯合監督委員會定期評估關鍵績效指標，在尊重學術自由的同時，也確保研究成果具備應用價值；同時，透過工程師間的交流，培養能理解市場與工程需求的跨領域人才，加速商業化進程。

聯合研發強化綜效

隨著合作深化，香港城市大學和鴻海研究院也在 2024 年 6 月成立聯合研發中心，發揮「一加一大於二」的綜效，並達成多項關鍵成果。

首先，在自動駕駛與車路協同方面，該中心自主研發的自動駕駛微型貨



產學結合，能將科技產業發展帶向契合市場脈動的正確方向。

車已在富士康龍華廠區完成測試，車輛與路側設備通訊也相當穩定。

其次，在 AI 方面，聯合研發中心在 IEEE 國際計算機視覺與模式識別會議（CVPR）、國際電腦視覺研討會（ICCV）、美國人工智慧促進協會年會（AAAI）、神經資訊處理系統大會（NeurIPS）等國際頂級會議中，發表多篇論文，並在國際競賽中屢獲佳績。

例如，ModeSeq 演算法在 2024 年 CVPR Waymo Motion Prediction Challenge 獲全球第二。香港城市大學電腦科學系教授王詩淇解釋，在自動駕駛技術中，任何數據延遲都可能導致嚴重的安全後果，因此雙方團隊在把延遲處理數據壓到最低的同時，也確保數據品質。

另一個例子，則是 BehaviorGPT，它在 2024 年 Waymo 開放數據集挑戰中掄元，QCNNet 則連續兩年稱霸 Argoverse 多智能體運動預測挑戰。

而在資安領域，該中心在四大資安頂級會議中成功發表論文。其中，發表在 USENIX Security 2024 的研究，找出針對自動駕駛軌跡預測系統的攻擊方法；另外，團隊開發的 RedRFT 與 RedTopic 框架，有效提升大語言模型的安全性，並已整合到鴻海研發的 FoxBrain 大語言模型中。

在半導體與材料方面，該中心運用大語言模型與機器學習，成功設計合成

新型高穩定性材料（CHDA） BiI_5 ，有效提升離子遷移活化能，並在 X 射線探測器中實現高靈敏度響應。

至於量子運算，目前則主要透過人才交流、聯合模擬研究，逐步累積階段性成果，展現從理論探索走向實驗驗證轉型的明確路徑。

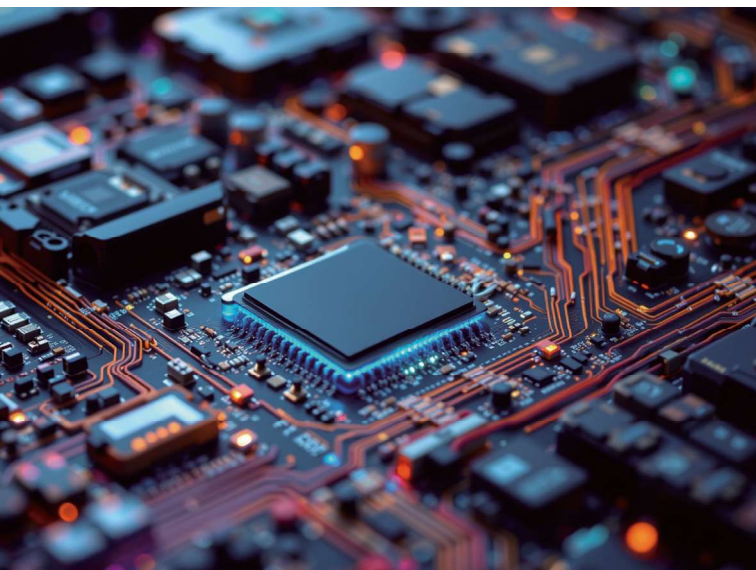
樹立產學共創典範

與鴻海研究院 AI 所合作密切的王詩淇觀察，雙方的合作模式高度互補，溝通高效且彈性，鴻海研究院藉助其企業背景，為學術團隊提供宏觀方向、微觀演算法的寶貴建議，並深入理解業界需求、第一線應用場景，而香港城市大學研究團隊則專注在演算法的優化，「就像是魚和水之間的關係。」

展望未來，汪建平期許，雙方合作成立的聯合研發中心能超越傳統專案合作模式，建立產、學、研、用無縫銜接的創新生態系統，成為尖端技術的發源地和加速器，進而每年在核心領域產出具有行業影響力的原型或專利，實現成功的技術轉移與產品導入，同時雙方也能藉此建立聯合人才培養機制，把該中心打造成培養既懂技術、又懂產業的複合型人才灘頭堡。

香港城市大學與鴻海研究院的合作，不僅證明學術創新能與產業實務緊密結合，更為整個科技業樹立產學共創的嶄新典範。

陽明交大 × 鴻海研究院 × 鴻揚半導體 創新碳化矽高溫電路 實現攝氏三百度穩定運作



鴻海研究院與陽明交大攜手，實現高溫穩定、高頻寬的單晶片整合電路。

碳化矽（SiC）、氮化鎵（GaN）等化合物半導體，因具高效率、高耐壓、耐高溫特性，是電動車、5G 通訊、快充等高功率與節能應用的關鍵核心。為了結合學術界在氮化鎵化合物半

導體的深厚研究實力、產業界在應用與製造上的資源，鴻海研究院與陽明交大電子研究所副教授吳添立團隊從 2022 年年中開啟合作。

吳添立表示，當時鴻海研究院半導體研究所（簡稱半導體所）展開碳化矽功率元件開發，希望導入更多晶片層級設計與可靠度面向的深層技術分析能力，而他的團隊則已具備碳化矽功率元件設計和可靠度測試的完整能力，能在晶片層級提供深入設計、可靠度分析，雙方研究方向高度契合。

打造碳化矽垂直整合研發鏈

合作初期，雙方主要聚焦在材料和製程可靠度的探討，而後逐步擴展到系統應用驗證，並形成從晶片設計、可靠度測試到系統層級的垂直整合合作模式，甚至鴻海科技集團內的鴻揚半導

體，也對雙方的研究合作發揮關鍵支援角色。

「整體合作架構可說是三方緊密串接，」吳添立指出，陽明交大團隊與半導體所共同負責晶片元件設計、電路布局，再由鴻揚半導體負責實際製造與製程執行，最後由陽明交大團隊進行電性分析與可靠度測試。

每一輪實驗後，陽明交大團隊會和半導體所共同討論測試結果，釐清問題根本原因，並一同著手規劃下一步的設計與製程優化方向，也把具體建議回饋給鴻揚半導體，促進後續製程與產品改良；此外，半導體所在合作過程中也不時提供系統端、產業應用面的觀點，讓陽明交大團隊在設計與測試階段更能貼近實際應用需求、市場發展趨勢。

三方基於碳化矽製程，成功開發出可應用在極端環境的單晶片整合電路技術。這項領先業界的重大成果，已正式公開並獲得產業界的高度關注。

吳添立解釋，這項技術的核心優勢是能突破傳統矽元件局限，在攝氏三百度環境下穩定運作，且碳化矽具有寬能隙、高導熱率，可有效抑制漏電流、提升可靠度，是高溫、高功率環境中最具潛力的材料。

三方協力還有更多創新設計。譬如，在電路架構上，把 4H-SiC MOSFET 與絕緣閘極電阻負載（IGRL）單晶片整合，能在輸入電壓變化時自動補償增

益，實現高線性、寬輸出擺幅，同時維持簡化結構、高頻穩定性，在攝氏三百度時仍具 MHz 等級頻寬，也和現有碳化矽功率元件製程相容，具備實際量產的潛力，對未來車用電子、航太控制、高溫感測等應用而言，是一大關鍵技術突破。

雙軌策略引領未來布局

「一個成功的高階產學合作，最重要的是『共同目標的對準與角色互補』，」吳添立認為，技術創新固然重要，但若無法回應實際應用需求，創新就難以落地，而此次三方合作不僅是技術成果的誕生，更是學術深度、產業實務間的正向循環，「這才是真正推動產業前進的關鍵所在。」

展望未來，吳添立表示，非常認同鴻海研究院提出的「AI for Semiconductor」、「Semiconductor for AI」雙軌並進策略。他解釋，這兩個方向相輔相成，前者強調運用 AI 加速半導體研發，如：製程優化、可靠度預測；後者則是打造更高效能、更節能的半導體元件，支撐 AI 時代龐大的運算需求。

陽明交大團隊也將持續與鴻海研究院合作投入進一步研究，「雙軌策略不只提升研發效率，也能形塑 AI 與半導體技術共生的新生態系，」吳添立認為，這必定是產業未來發展的關鍵方向。

陽明交大 × 鴻海研究院 啟動高韌性 低軌衛星通訊網

陽明交大產學創新研究學院自 2021 年起，與鴻海研究院新世代通訊所展開合作。針對此項合作，陽明交大電機工程學系教授暨系主任方凱田指出，當時校方在政府支持下成立產學創新研究院，希望培養半導體產業人才並推動產學共創，於是積極尋找業界合作夥伴，最終與鴻海研究院新世代通訊所一拍即合。

看見不一樣的產學交流模式

方凱田觀察，學術界與業界在研究思維上存在差異，學術界傾向前瞻性研究，業界則更重視能迅速落地的技術，然而，鴻海研究院在集團內的定位介於學術界與傳統業界之間，不僅注重商品開發，更投入資源探索前瞻技術，思考如何把技術應用在未來各事業體上，因而雙方思維相近，溝通也極為順暢。

甚至，對方凱田的團隊而言，與鴻海研究院的合作，還帶來研究思維的升級。他解釋，過去學術研究多專注在特定技術突破，例如：通訊硬體或軟體創新，較少關注技術整合後的實際應用效益，因此他希望，陽明交大不只要追求技術上的領先，更要將技術落地視為重要的研究目標。

開啟未來通訊新局

目前雙方的合作，主要聚焦在「低軌衛星通訊前瞻多波束技術」。方凱田解釋，低軌衛星飛行高度約 500 公里，相較於高軌衛星更能提供高速數據傳輸，不只可有效補充地面基地台覆蓋率，更能實現全球無縫覆蓋，為無人車、智慧城市等應用提供高速通訊的基礎設施，同時也能在地面通訊設備因緊急狀況受損時，提供備援通訊能力。



低軌衛星可望實現全球無縫覆蓋，讓通訊從此再無障礙。

方凱田表示，這項技術對未來通訊發展極具意義，而迄今成果相當顯著，不僅減少至少 20% 的衛星數量，也降低 50% 以上的通訊酬載硬體複雜度。目前多數低軌衛星提供的通訊速度仍不夠快，而且多以廣域波束傳輸，為了提升傳輸速率，未來趨勢將轉向發射窄波、高速的多波束，但挑戰是如何讓單一衛星發射多達十個、甚至上百個波束，並能為不同區域的使用者提供精準服務。

對此，陽明交大、鴻海研究院新世代通訊所團隊透過創新軟硬體設計，一方面降低前端硬體的複雜度，另一方面則開發出能讓單一天線陣列發射多個波束的技術，不只提升傳輸效率，更因為減

少所需衛星總數，緩解日益嚴重的太空垃圾、衛星間的訊號干擾問題。

實測數據支撐學術研究

這項合作除了實現技術上的突破，也為未來衛星通訊提供更永續、高效的解決方案。方凱田有感而發表示，一般學術研究單位很難取得第一手衛星實測資料，通常只能依賴模擬，但鴻海研究院曾經成功發射衛星，也擁有地面接收站，能提供實際量測數據，為學術研究提供寶貴的驗證平台。

展望未來，方凱田期許，陽明交大能和鴻海研究院新世代通訊研究所持續深化合作，在衛星互聯、能耗與自行修復能力取得進展。

在衛星互聯方面，目前多限於單一廠商系統，未來將研究如何讓不同廠商的衛星有效互聯，形成更開放、範圍廣泛的網路；而在衛星能耗與自行修復能力層面，衛星發射後難以回收，因而降低能耗、提升韌性至為重要，雙方將研究如何降低衛星通訊酬載能耗，並賦予衛星自我調整、修復的能力，提升衛星網路的穩定性。

「鴻海研究院給予學術團隊高度自由，讓雙方能共同探討長期且前瞻的研究議題，」方凱田認為，這種合作不只能讓學術成果有效落地，更可共同打造具備高韌性的未來通訊網路。

三大洲名校 × 鴻海研究院 開拓新世代量子作戰地圖

「臺灣在半導體、通訊領域雖有優勢，但在量子計算方面起步較晚，必須向外尋求合作夥伴，才能彌補臺灣在這方面的不足，」鴻海研究院量子計算研究所所長謝明修說明他向外發展夥伴生態圈的初心。

建立國際合作網絡

曾於澳洲雪梨科技大學量子軟體及資訊中心擔任副教授的謝明修，在量子錯誤更正碼、量子通信理論、量子訊息理論、量子機器學習領域深具國際能見度，2020年鴻海研究院成立後，返臺擔任量子計算研究所首任所長，並運用他二十多年來累積的人脈、學術網絡，持續發揮影響力。

在他最熟悉的澳洲，量子所一方面和蒙納許大學、昆士蘭大學、雪梨大學等頂尖大學建立合作關係，另外則透過

經費支持非營利組織澳洲量子軟體網路（Australian Quantum Software Network），並以計畫方式提供資金，供澳洲研究人員、博士後研究員、博士生申請，和所內研究員一同在量子相關研究上協作。

而在澳洲以外，量子所的合作網路更遍布三大洲大學，包括：英國的劍橋大學、牛津大學，日本的東京大學、新加坡的南洋理工大學，以及美國的普林斯頓大學、馬里蘭大學、哈佛大學，幾乎所有在量子領域居拔尖地位的世界名校，都和量子所有合作。

同時，量子所也積極參與國際頂級研討會。例如，謝明修就擔任過兩大頂尖量子計算研討會——量子資訊處理會議（QIP）及量子計算、通訊與密碼學理論研討會（TQC）指導委員會委員；另外，他和所內研究員也積極參與亞洲

量子資訊科學會議（AQIS），提升鴻海研究院在區域與全球的影響力。

系統性深化合作量能

謝明修指出，過去量子所的國際合作主要仰賴他個人累積的學術網路，但從 2024 年起，量子所開始將合作「系統化」，不只編列專門的國際合作經費，也與合作對象簽訂正式合約，確保研究主題明確且固定，合約中並明訂智慧財產權、專利等規範，比過去單純的學術交流更加嚴謹。

此外，他補充指出，透過這樣的合作，讓量子所內的研究員得以理解頂尖研究者的思考方式，並轉換成在自身研究上精益求精的能量。

除了海外合作，量子所對臺灣本地的合作也相當積極，不僅參與臺灣「量

子國家隊」計畫，也和中研院、臺大、清大、陽明交大等學術機構建立合作關係，更定期舉辦線上研討會，邀請海外頂尖研究學者分享最新研究成果，把最新知識帶回臺灣，讓整個臺灣的量子研究社群都互利共榮。

做「3 + 3」策略的重要後盾

對鴻海科技集團的「3 + 3」策略而言，量子所在本土與國際建立的合作網路，同樣也深具意義。

謝明修解釋，鴻海的「3 + 3」策略包含三大新興產業（電動車、機器人、智慧醫療）和三大核心技術（AI、半導體、通訊），量子計算是提升算力的關鍵，也是支撐這一切的下一世代核心技術。

因此，透過國際與本土合作，量子所除了能彌補臺灣在量子計算上的不足、加速本土人才成長，更重要的是可將夥伴與量子所合作研究所產生的技術和能力，轉化為鴻海可運用的資源，成為集團「3 + 3」策略的重要後盾。

謝明修期盼，未來量子所能持續將海外優秀的量子計算研究者、學生引進臺灣，並把臺灣優秀的學者、研究成果推向國際舞台。

鴻海研究院量子計算研究所透過全球與在地合作，不僅為集團「3 + 3」策略注入新動能，也為臺灣量子研究開啟一扇通往世界的大門。



量子計算大幅提升算力，是未來科技發展的核心技術。

陽明交大 × 鴻海研究院 建構 AI 時代最強資安防線

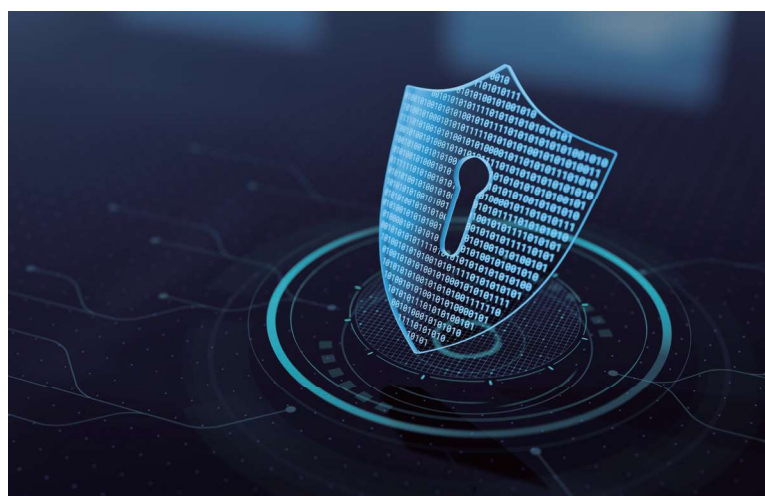
因應電動自駕車的 AI 攻擊與防禦需求，陽明交大電機工程學系副教授游家牧和鴻海研究院合作，主要關注如何透過惡意貼紙、鱗汙，讓電動自駕車上的鏡頭誤判路況。隨著合作日漸深入，雙方考量到鴻海科技集團在製造業的領導地位，研究重心逐漸轉向智慧製造的 AI 安全議題，也就是確保高度自動化的製造產線、關燈工廠具有抵禦資安攻擊的韌性。

聚焦三大課題

目前游家牧團隊與鴻海研究院的研究，主要探討三大課題：

一、惡意程式碼注入（Data Poisoning）：由於大語言模型的訓練資料來源廣泛，可能包含網路上帶有惡意或安全漏洞的程式碼，會導致模型生成不安全的程式。

二、程式碼品質與安全性：AI 生成的程式碼，品質參差不齊，可能會出現漏洞或錯誤，雖然人類程式設計師也會犯錯，但因為 AI 生成速度極快，需要更有效率的自動化檢測工具確保程式碼的安全性。



防禦 AI 系統深具潛力，能提高抵禦資安攻擊的韌性。

三、AI 幻覺與程式錯誤：AI 語言模型有時會出現幻覺，產生虛構內容，雖然這種情況在程式碼中可能較少，但更嚴重的問題是 AI 可能生成「能動但內容有誤」或「帶有安全漏洞」的程式碼，可能被惡意攻擊者利用。因此，雙方的研究目標除了降低 AI 模型生成有害程式碼的比例，也希望開發高效自動化工具檢測錯誤。

明確分工，精準解題

游家牧觀察，雙方合作分工相當明確。鴻海研究院是「出題方」，負責提出產業現場的實際需求與痛點，確保研究方向能解決實際問題；陽明交大團隊則是「解題方」，從廣泛的問題中提煉出具體、可行的研究題目，並深究其解決方案。

雙方透過定期會議密切溝通，陽明交大團隊也不時收到來自鴻海事業單位的真實回饋，雙方在思維模式、溝通語言上都能快速達成共識，大幅減少一般產學合作可能出現的溝通落差。

游家牧認為，這種合作模式確保學術研究不只停留在理論層面，而可將開發的演算法與系統，在鴻海的實驗型產線進行實測，驗證其可行性與成效，為實際應用鋪路。

更重要的是，對陽明交大團隊而言，與鴻海研究院的合作能得到單純在學術界無法接觸的產業視角。

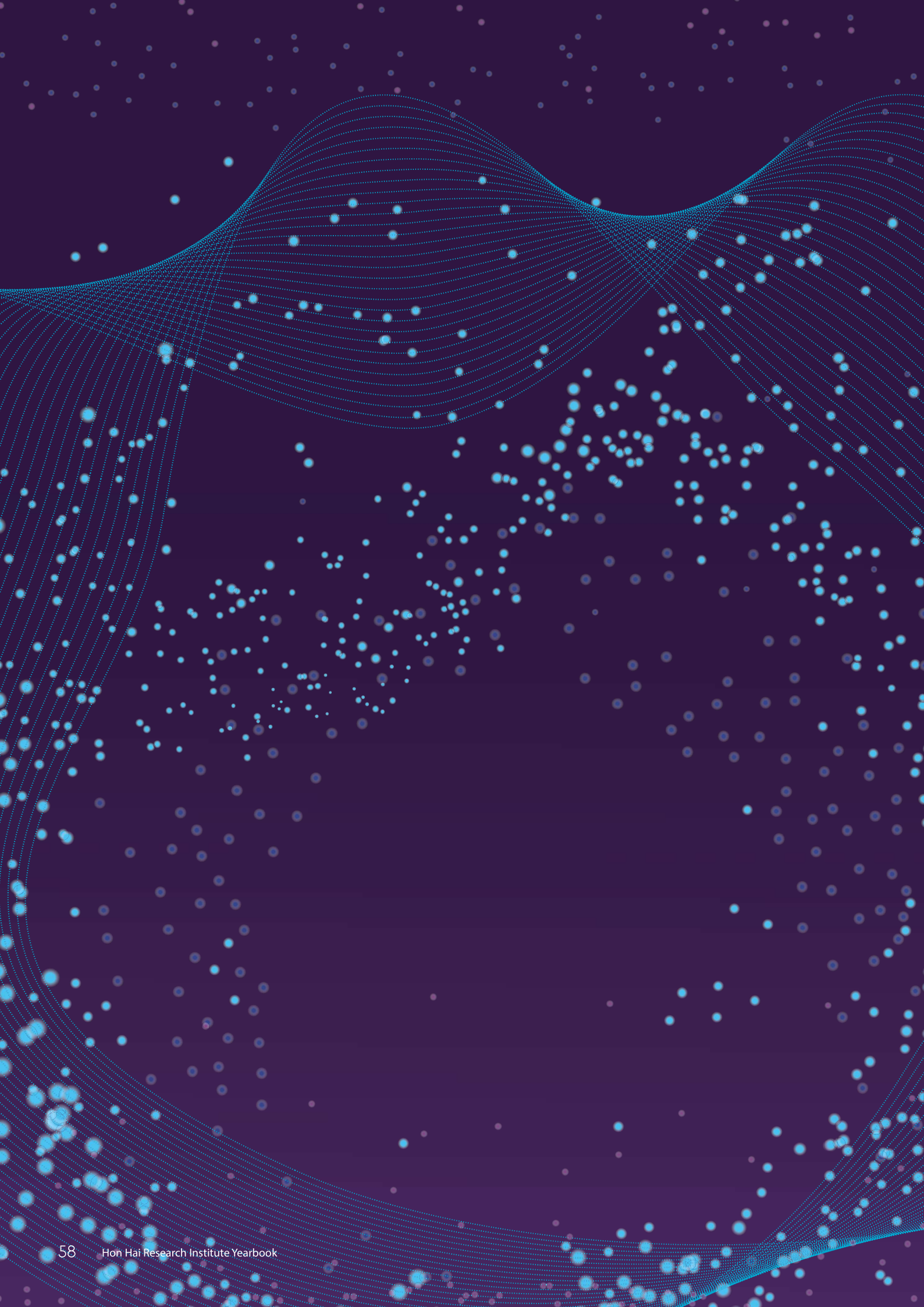
游家牧解釋，學術研究往往奠基於理論，但和業界合作後，可以直接接觸到最真實、迫切的產業問題。而且，鴻海研究院不僅能提出當下需要解決的短期問題，更讓學術團隊提前了解三到五年以後可能面臨的挑戰，確保研究成果真正能幫助企業節省成本、提升整體營運效益。

防禦 AI 攻擊，提升臺灣資安水準

「和鴻海研究院的合作極具示範意義，也對整個臺灣資安產業有深遠影響，」游家牧表示，目前多數人關注的是如何用 AI 解決傳統資安問題，但陽明交大與鴻海研究院資安所已經投入防禦針對 AI 本身的攻擊。

他進一步說明，AI 在電動自駕車、智慧工廠等領域廣泛應用，駭客不再只鎖定傳統資訊系統，而是把目光轉向 AI 系統，其中前者遵循的是程式邏輯，後者涉及更複雜的數學演算，兩者的攻擊手法、防禦思考方式截然不同。

隨著 Google、OpenAI 等科技巨頭都已設立專門的 AI 攻防團隊，游家牧認為，陽明交大與鴻海研究院資安所的合作模式，向臺灣資安產業證明，防禦 AI 系統本身就是一件值得關注且深具潛力的研究方向。他期許，雙方的合作能引導更多臺灣企業投入相關領域，提升整體資安產業技術水準。



共創瞬間

在科技日新月異的浪潮中，
鴻海研究院以前瞻視野和醇厚技術，
持續探索未來的可能性。
匯聚年度研究成果與創新里程碑，
記錄與世界共創的每一個關鍵瞬間，
見證科技如何重塑人類生活與產業格局。

2024年鴻海研究院大事紀

▼ 03.13

鴻海研究院半導體研究所攜手陽明交大，新穎臉部識別技術登上全球頂尖期刊。

▼ 03.25

鴻海研究院與陽明交大合作，舉辦產業創新研究論壇。



▼ 03.26

美國伊利諾大學香檳分校（UIUC）參訪鴻海研究院。



▼ 04.22

鴻海研究院論文獎頒獎。



▼ 05.26

芬蘭商務辦事處率團參訪鴻海研究院。

06.20

與香港城市大學成立聯合研發中心，在人工智慧、半導體、新世代通訊、資訊安全、量子計算等領域合作創新研究。



07.04

期中成果分享。



07.08

鴻海研究院量子成果獲國際期刊 *Physical Review Letters* 刊登。

07.23

舉行 AI NExT Forum，以「鴻海 50 年・智慧新紀元：生成式 AI 與未來創新」為主題，邀請國內外重量級專家分享觀點。



▼ 08.23

半導體研究所與陽明交大前瞻研究登上頂級材料科學期刊《今日材料進展》(*Materials Today Advances*) 。

▼ 09.02

- 鴻海研究院半導體研究所前瞻研究成果登上頂尖國際期刊 *IEEE TPEL*，與陽明交大團隊合作，打造微型化高效能先進光達。
- 澳洲半導體產業服務局參訪鴻海研究院。



▼ 09.04

攜手「SEMICON Taiwan」國際半導體展舉辦「NExT Forum」，探索新世代半導體應用。



▼ 09.09

人工智慧研究所與香港城市大學合作的自駕軌跡預測模型「Lite-QCNet」，在 CVPR 大會「Argoverse 挑戰賽」中獲得第一名。

▼ 09.23

人工智慧研究所與香港城市大學合作推出的先進車輛交通模擬器「BehaviorGPT」在「Waymo Sim Agents Challenge」獲得全球第一名。

10.04

人工智慧研究所與香港城市大學合作，推出多模態預測模型「ModeSeq」。

10.08

「鴻海科技日」登場，展示最新前瞻技術。



10.25

新世代通訊研究所參與「台北國際電子產業科技展」(TAITRONICS)、「台灣國際人工智慧暨物聯網展」(AloT Taiwan)與太空衛星通訊飛揚計畫成果展。



10.29

量子計算研究所與日本量子計算軟體公司「QunaSys」宣布，雙方達成戰略合作，專注開發先進費米子編碼方法。

11.04

量子計算研究所攜手英國劍橋大學團隊，在量子通訊傳送技術取得重大突破，解決如何有效實現端口式量子傳送，並發表在頂級期刊《PRX 量子》(PRX-Quantum)。

11.07

鴻海研究院全院大會。

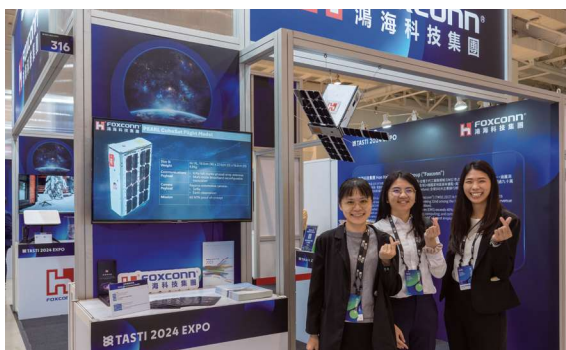


11.20

半導體研究所攜手陽明交大，憑藉「全砷化鎵超穎介面全像術於結構光與立體視覺應用」獲「未來科技獎」，研究成果已發表於《奈米通訊》(*Nano Letters*) 等頂尖國際期刊。

12.01

新世代通訊研究所參加 2024 年「台灣太空國際年會」，展示低軌衛星通訊最新進展。



12.30

半導體研究所攜手人工智慧研究所，大幅加速碳化矽功率半導體的研發進程，並將研究成果發表在《IEEE 電力電子學開放期刊》(*IEEE Open Journal of Power Electronics*) 。