

全國重點實驗室
新引擎

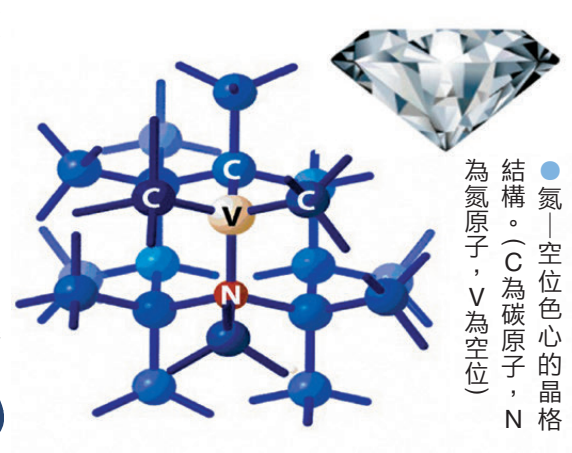
港中大利用納米鑽石原子特殊「色心」缺陷
維持量子自旋特性

港量子探針矚目 靈敏度增萬倍

量子科技（Quantum Technology）蓬勃發展，革命性地提升人類獲取、傳輸和處理信息的能力，開啟信息科技新紀元。最新發布的國家「十五五」規劃建議，亦點名布局包括量子科技等未來產業，推動其成為新的經濟增長點。當下全球量子競賽展開，香港科研也在切實為國家相關發展獻力。

今年新成立的香港中文大學量子信息技術與材料全國重點實驗室，聚焦金剛石（鑽石）量子感測技術發展。實驗室主任劉仁保接受香港文匯報專訪指，研究團隊藉納米鑽石的研究，透過其原子結構的穩定性，以及當中的特殊「色心」缺陷，藉此維持對磁場反應極端敏銳的量子自旋特性，成功令量子探針的靈敏度達到傳統探針的一萬倍，可望大大推進有關生命科技及能源材料等方面的精密測量潛力。

●香港文匯報記者 陸雅楠



●氮—空位色心的晶格結構。（C為碳原子，N為氮原子，V為空位）

經國家科技部批准，設於香港的原國家重點實驗室今年7月重組成15所全國重點實驗室，港中大量子信息技術與材料全國重點實驗室為當中3所全新設立實驗室之一，藉以對接國家最新的重大戰略需求，瞄準世界科技前沿。該實驗室聚焦多個量子科技範疇，包括鑽石量子感測技術及其在凝聚態物理、生物學、能源材料與器件開發中的應用；又會利用新型量子干涉儀進行高精度量子計量；以及結合新型超導材料研究，探索用於量子資訊處理的量子材料系統；並發展應用於光子計算、量子通信、量子感測與神經計算的集成光子器件等。

劉仁保特別提到，實驗室近年在量子感應應用方面非常重要的突破是提出了「量子非線性譜學」（Quantum Nonlinear Spectroscopy），又採用納米鑽石作為量子探針，取代傳統探針，以更高效、靈敏的方式從環境中提取資訊。

量子探針主要利用量子疊加態（superposition）的特性，即允許一個量子系統同時處於多種可能的狀態，直到被觀測為止。不過，量子系統一般要求超

低溫環境，且極易受干擾而坍塌，被視為鑽石雜質的「色心」結構，卻於此時可派上用場。

劉仁保解釋，納米鑽石晶體的碳原子結構提供穩定性，使其幾乎不受外在環境影響，在室溫下亦能保持良好的量子特性，只要將其中心相鄰的兩個碳原子，換成一個氮原子和一個空位，造成「氮—空位『色心』」，便能成為特殊的量子體系，在物理學上稱為量子自旋，「其實它就是一個非常小的磁針，是磁的最小單位。」當周邊磁場只是變一點點，這個磁針已能轉動很多很多圈，反應極為靈敏，只需要看它轉了多少角度，便能迅速探測出磁場大小。

能用激光在量子層面讀出磁場變化

他提到，現今廣泛應用的磁力共振MRI技術，也應用到量子自旋磁場原理，惟在讀取上卻需要數以萬億計的磁針才能透過線圈看到信號。而新技術的量子鑽石探針，則能使用激光在量子層面讀出磁場變化，精密測量的程度大大超越以往框架。

●劉仁保與實驗室團隊。
香港文匯報記者曾興偉 攝



●劉仁保提到，現今廣泛應用的磁力共振MRI技術，也應用到量子自旋磁場原理。香港文匯報記者曾興偉 攝

可望測量大腦思考微弱腦磁信號

劉仁保以醫學成像為例指，借助高靈敏量子探針新技術，可望將現有的厘米級或毫米級測量，推進到單分子、單細胞層面，甚至可測量大腦思考時產生的微弱腦磁信號。通過解析這些信號，結合計算技術，呈現大腦內電流活動，獲取更精細的腦圖譜，了解不同腦區的活躍模式與功能，從而深入研究大腦的運作機制。他形容這在以往是難以想像的，如今正逐步實現。

在溫度測量方面，團隊亦已實現將靈敏度提升萬倍。劉仁保表示，對比一般科研環境能測出一秒鐘一度的變化，「我們量子探針的靈敏度，大概能做到於一秒內測到萬分之一的變化，且探針體積僅為幾百納米，是目前全球最優的測量之一。」

此外，實驗室團隊亦能實現在最高1,100℃的環境中進行量子測量與控制，其高溫量子研究的獨特優勢，也領先於全球的同類探測。

國家量子通信與計算佔國際引領地位



●港中大量子信息技術與材料全國重點實驗室早前獲授牌。圖為劉仁保（左一）從國家科技部部長陰和俊（左二）手上接過實驗室名牌。

量子科技被國際科學界視為顛覆性的技術創新，關係全球經濟與科技安全格局，近年包括中國、美國、歐盟、日本及澳洲等主要經濟體紛紛投入巨資積極布局量子科技發展，力爭在這場關乎未來的技術競賽中佔得先機。

國家早在「十四五」規劃列舉的前沿科技領域中，將量子信息位列第二項；至上月發布的「十五五」規劃建議中，量子科技更是首項提及及布局的未來產業，說明量子科技正逐步從科學殿堂走向經濟民生，推動產業創新和新質生產力發展。

量子科技包含量子計算、量子通信、量子精密測量三大支柱領域；當中量子計算的應用主

要在於其強大的計算能力，能夠解決許多經典電腦無法處理的問題；量子通信涉及全新加密技術，保障資訊傳輸安全；量子精密測量則是一門高度交叉的學科，它不封閉於自身技術體系，而是廣泛應用於各個領域，核心是提升探測的靈敏性。

在此三方向中，國家皆取得多個領先成果，尤其在量子通信與量子計算方面，更分別佔據國際引領地位，及多次打破量子優越性的紀錄。

量子通信 國際引領

國家於2016年就發射了世界上首顆量子科學實驗衛星「墨子號」；建成國際上首個遠距離光纖量子保密通信骨幹網「京滬幹線」；2025年3月，中國首次實現跨越亞非、距離上萬公里的星地量子通信；目前，合肥、上海、北京、廣州等16個重點城市建成量子城域網。

量子計算 國際第一方陣

目前，中國是世界上唯一在超導量子與光子兩種物理體系上都實現「量子優越性（Quantum Supremacy）」的國家。2023年11月，中國電信發布「天衍」量子計算雲平台，成為全球首個具備量子優越性能力的超量融合雲平台，迄今吸引了60多個國家的用戶，並入選2024年度央企十大國之重器。今年3月，中國科學技術大學團隊成功構建105比特超導量子計算機「祖沖之三號」，再次打破超導體系量子計算優越性世界紀錄。

量子精密測量 部分方向屬國際領先或先進水平

國家在原子鐘、量子陀螺儀等方面的關鍵技術已經接近國際先進水平，在量子雷達、痕量原子示蹤、弱磁場測量等方面已經達到國際先進水平。

新技術即時監控多個探針活細胞內動態運作

港中大量子信息技術與材料全國重點實驗室成功研發出結合新型光學成像與AI（人工智能）演算法的追蹤技術，能夠即時監控多個納米鑽石探針於活細胞內的動態運作。這項技術已申請美國專利，適用於複雜生物環境中的信號識別與分析。

劉仁保進一步解釋：「我們將納米金剛石探針植入細胞內部，追蹤其在細胞內的運動和轉動。這些動態數據為研究細胞內流體特性提供了關鍵資訊，因為細胞內的流體運動與物質運輸、流體性質等密切相關。」

以其中一項應用為例，團隊會將納米金剛石探針放入細胞中，觀察其移動和轉動情況。科研人員可通過觀察這些動態資訊，有助理解細胞在不同環境條件下的功能變化，如細胞在溫度升降等壓力下的反應，這些資訊過去難以透過傳統方法獲取，新技術則可

做到快速準確地追蹤。

另一方面，團隊將金剛石量子探針與原子力顯微鏡（AFM）技術結合，用於測量微納尺度材料的力學特性、超薄材料結構、力—磁耦合效應，以及細胞的力學行為，為基礎研究及產品底層性能分析開闢新途徑。

以細胞力學為例，細胞的分化過程，除了基因表達，化學與力學環境同樣關鍵，同一組基因的細胞可能因而最終發展成不同的組織和器官。這種性質的改變，與細胞癌變等生物過程密切相關。

劉仁保說，針對細胞極為黏稠且處於液體環境，團隊利用金剛石量子探針的新方法，通過探針壓下產生的微小形變，精確測量細胞結構的轉動角度，極大提升靈敏度，所獲資訊對理解細胞分化、癌變機制及生命過程調控具有重要價值。尤其細胞力學性質深受



●劉仁保介紹量子信息技術與材料全國重點實驗室儀器。香港文匯報記者曾興偉 攝

微環境影響，傳統壓痕測量法受表面黏滯效應干擾較大，而量子探針透過非局域的幾何測量，可有效排除干擾，清晰解析細胞的分層力學結構。

港科研人員點燃薪火 照亮科技強國新征程

走進本港各所大學一間間重組升級的全國重點實驗室，記者最大的感受，是被「小地方辦大事」所震撼。

港各所大學實驗室「小地方辦大事」

實驗室沒有閃耀奪目的外觀，沒有龐然矗立的儀器；圍繞傳染病防控、氣候韌性、糧食供應，以及6G通訊、量子科技這些人類重大挑戰與機遇的前沿領域，記者看見的是略

顯擠迫的工作環境，是外形樸實無華的實驗設備，是科研人員在零散的狹小角落來來回回，專注而堅定地耕耘。在香港這個土地有限、團隊精簡的城市，科學家們硬是拼湊出影響世界的科研版圖。

記者細聽那些凝結智慧的成果——它們略顯艱深抽象，意義卻很實在。它們讓科幻小說的場景看起來並非遙不可及；讓文學作品中，科學家守護人類生存與發展願景的形象

變得鮮活；讓每一次研究探索都成為「命運共同體」的最好演繹。

作為一名記錄者，記者所能做的，是寫下科研人員不為人知的艱辛，刻畫他們走過的足跡、承載的重量，以及點燃的薪火。在國家邁向科技強國的新征程中，願這些文字能讓巨人的肩膀更加寬闊，並承托起未來無數的科學之星，站在其上看得更遠、飛得更高。

●香港文匯報記者 陸雅楠

盼揭示電池發熱機制
指導更安全充放電策略

除了以量子鑽石探針大幅推進醫療診斷，劉仁保指，量子傳感與精密測量的研究，於材料、定位以至宇宙探索都深具應用潛力，例如其實驗室成員，便正將精密測溫技術應用於鋰電池熱管理研究中，通過微觀溫度場與熱點（hotspot）分析，揭示電池發熱機制，從而指導更安全的電極設計與充放電策略。

包括時間與頻率的測量，也可藉量子科技令其更見精確，包括讓原子鐘準確度進一步提升，「當頻率測量的誤差愈來愈小，再結合光速不變的原理，我們就能精確測量距離，進一步實現定位、導航、遙感等應用。」

有望構建「虛擬望遠鏡」 可觀測天文數據激增

此外，劉仁保亦描繪了量子技術應用於宇宙起源探索和基本物理規律的遠景。傳統上天文望遠鏡觀測口徑愈大，能收集的光子愈多，角分辨率也愈高，惟其實體口徑始終存在物理限制，但透過量子技術提升靈敏度，讓科學家有望構建等效口徑達十公里甚至上千公里的「虛擬望遠鏡」，可觀測的天體與天文數據爆發式提升，「解析度的飛躍提升，意味我們能夠分辨更小的角度，觀測到更遙遠的宇宙深空，從而更進一步認識宇宙基本規律。」

他表示，很多關鍵的基礎物理問題，比如暗物質是什麼、宇宙常數是否不變、用於描述電子跟電子的相互作用強度的精細結構常數 $\alpha \approx 1/137$ 是否會隨時間改變等，均可透過極精細的測量或天文觀測以獲取更多信息，從而揭示當中奧秘。