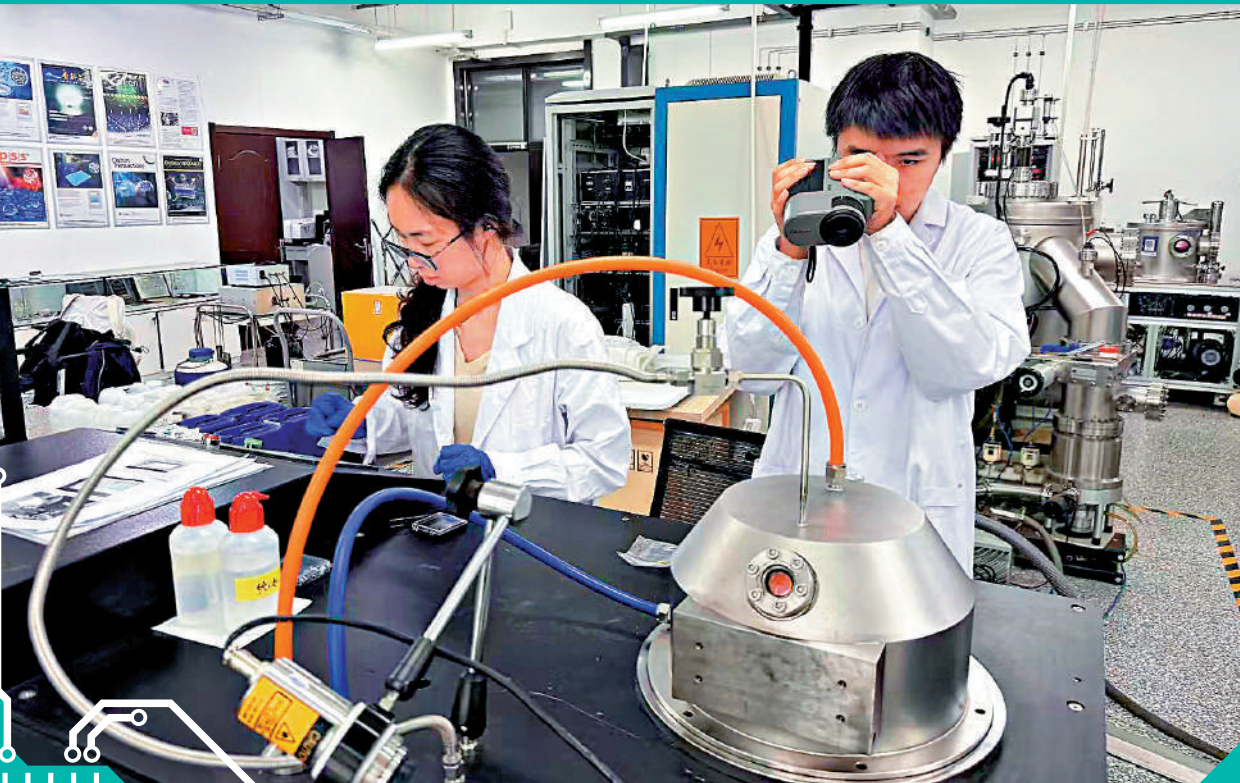


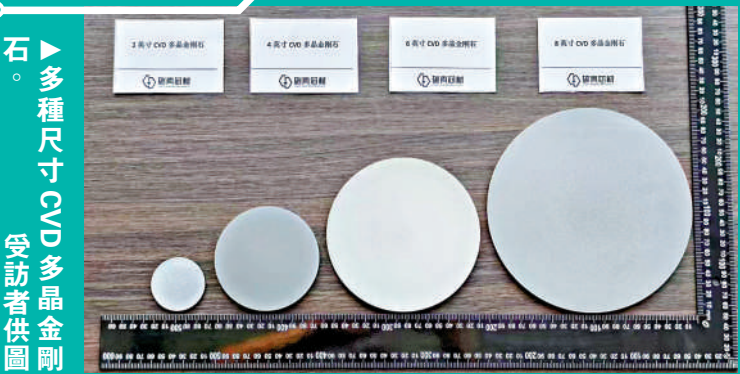
哈工大研晶圓級金剛石量產設備 打破西方壟斷實驗室種出鑽石 鑄AI芯片「降溫鎧甲」



▲金剛石為AI芯片散熱、量子傳感等前沿硬核科技提供關鍵材料支撐。圖為在福州第九屆數字中國建設峰會，華為昇騰384超節點高性能AI計算集群系統亮相。 中新社



▲哈工大朱嘉琦教授團隊自主研製大功率微波等離子體化學氣相沉積裝備（MPCVD），培育晶圓級單晶金剛石。 大公報記者于海江攝



走進哈工大金剛石超淨實驗室，一身實驗服的朱嘉琦教授守在一排MPCVD設備旁，逐項調試生長參數。真空腔體內等離子體光暈穩定閃爍，碳原子逐層析出，慢慢長出晶圓級單晶金剛石。

一旁的展品區格外有看點，溫潤璀璨的一克拉鑽戒，和巴掌大小的8吋金剛石散熱基板並排陳列。除了打造婚戒，金剛石還為AI芯片散熱、量子傳感等前沿硬核科技提供關鍵材料支撐。哈工大研發的金剛石量產技術，打破西方壟斷，以金剛石打造的AI芯片「降溫鎧甲」，可望成為中國強化AI算力的「獨門秘技」。

大公報記者 于海江、王欣欣

在實驗室內，金剛石正化身AI芯片「降溫鎧甲」，扛起新一代算力產業的剛需重擔。眼下AI芯片算力暴漲，傳統銅材散熱已經觸及天花板，海外高端金剛石材料還實行技術封鎖。朱嘉琦團隊潛心打磨MPCVD微波沉積工藝，突破設備製造、大尺寸晶體生長等一道道難關，實現全鏈條自主可控，啃下高端芯片散熱的「卡脖子」難題。MPCVD的英文全稱是Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition，翻譯為「微波等離子化學氣相沉積」，是一種用於合成高品質人造鑽石的先進技術。

微波沉積工藝歷時20年研發

朱嘉琦指尖輕觸設備操作屏，屏幕上跳動的溫度、氣壓等工藝參數，是團隊二十年反覆調試的成果。「天然鑽石億年成型，我們用微波等離子體，幾周就能培育珠寶級單品，更關鍵是能生長接近排球直徑的金剛石晶圓。」朱嘉琦講解道。

團隊早期攻關時，國內僅能製備幾毫米小尺寸金剛石，大尺寸單晶生長、晶圓翹曲、界面結合三大難題層層堵截。為了攻克難題，博士生輪班值守設備記錄晶體生長數據，反覆調整微波功率、氣體配比，無數次晶體開裂、質量不達標的失敗樣本堆滿儲物架。終於朱嘉琦帶領團隊自主研發大功率國產MPCVD裝備，徹底擺脫進口設備依賴，相關技術先後斬獲國家技術發明二等獎、日內瓦國際發明展金獎等國內外重磅榮譽。

走入芯片測試展區，兩塊散熱樣板，把行業痛點直觀擺在眼前。普通純銅散熱片導熱能力平平，很難快速散出高熱；金剛石銅複合基板、純金剛石基板散熱能力成倍躍升，散熱效率拉開巨大差距。「如今AI服務器芯片功耗越來越大，普通銅片根本扛不住持續升溫，海內外廠商都在四處尋找新一代散熱材料。」朱嘉琦手拿樣品，道出全行業共同面對的難題。

英偉達「押寶」金剛石複合散熱技術

金剛石材料熱脹冷縮幅度，和碳化硅、氮化鎵這類第三代半導體高度匹配。做成基板可以快速帶走芯片熱量，讓器件長時間穩定滿負荷運轉。海外巨頭英偉達，已經把金剛石複合散熱定為下一代顯卡的核心方案，而這套裝備技術，此前長期被國外把持。

團隊自主研製出八吋微波等離子體生長裝備，實現大尺寸金剛石穩定量產。科研人員反覆優化金剛石表面金屬化工藝，大幅減少熱量傳導阻力，順利打通金剛石與銅牢固複合的技術難關。朱嘉琦十分看好這條新賽道，今年芯片散熱市場迎來爆發，資本市場也給出熱烈反饋，多家超硬材料上市企業股價年內實現翻番，金剛石功能材料正迎來廣闊藍海。

在朱嘉琦看來，中國金剛石產業依託自研技術已掌握行業競爭主動權。海外若想復刻同等完整產業鏈，需要補齊設備、工藝、上下游配套全鏈條，整體投入成本遠高於國內。「拿稀土產業對比就能看清差距，我們原料儲量充足，但高端加工工藝曾長期受制日本。」朱嘉琦坦言。

金剛石賽道形勢完全不同，國內手握產能、成套裝備、製備工藝三重核心優勢，發展主動權牢牢握在自身手中。朱嘉琦說，「只靠產能規模只能換來短期紅利，產量優勢無法支撐長期領跑。」在朱嘉琦眼中，真正的核心競爭力，是難以複製的高端金剛石產品的技術壁壘。

朱嘉琦團隊多年堅持前置布局前沿散熱需求，不追逐短期低端市場紅利，專攻金剛石裝備及相關散熱材料的開發。朱嘉琦說，工科科研不能只停留在實驗室論文，攻克「卡脖子」材料、築牢獨家技術門檻，守住全球產業話語權，才是團隊深耕金剛石的核心使命。

金剛石散熱 AI 芯片最佳拍檔

背景

●當下大模型AI服務器單機功耗持續攀升，傳統銅、鋁散熱材料早已抵達性能天花板。

●今年初美國CES國際消費電子展上，英偉達公開宣布下一代GPU將逐步淘汰傳統散熱方案。

●海外金剛石散熱材料定價高昂，且嚴格限制對華高端產品出口。

三大解決方案

當前主流銅散熱材料

●熱導率僅400W/(m·K)，高密度AI芯片晶體管集成度持續提升，單位面積熱流密度成倍增長。設備長時間滿負荷運行下，熱瓶頸嚴重影響性能。

第三代半導體功率器件

●熱膨脹系數與銅差距巨大，冷熱循環工况熱應力會影響整體穩定性。

金剛石相關散熱材料

●搭載金剛石散熱基板的芯片，同等功耗下核心溫度下降近10℃。憑藉數倍於純銅的超高導熱能力，為AI算力瓶頸提供顛覆性解決方案。

大公報記者于海江、王欣欣整理

芯片散熱冷知識

10℃法則

●數據表明，溫度每升高10℃，芯片性能損失約3-5%。若芯片工作溫度在70-80℃，溫度每升高2℃，性能就降低10%。在正常工作溫度範圍內，芯片溫度每升高10℃，運行壽命減半。

續命靠降溫

●金剛石是目前已知導熱性能最好的材料，其2000-2200W/(m·K)的導熱率，是銅的5倍，鋁的8倍，碳化矽的4倍，以及矽的13倍。高效散熱等同為AI芯片「續命」。

「肌膚相親」免干擾

●被動散熱中使用金屬散熱器時，中間須墊一層導熱膏或導熱墊片做電氣化隔離。金剛石本身是優良電絕緣體，能緊貼芯片做到「肌膚相親」式吸收熱量，不必擔心電氣干擾。

混合式更高效

●英偉達的H200 GPU採用金剛石、碳化硅複合材料，峰值算力提升40%。金剛石散熱還能與液冷技術協同應用，將GPU熱點溫度降低10-20℃，實現25%超頻，算力較傳統方案提升3倍。

大公報整理

每小時晶體厚度增長數十微米

車間直擊

哈工大金剛石實驗室，這裏是國產大尺寸金剛石的製造車間，大公報記者跟隨朱嘉琦團隊博士生，完整見證單晶鑽石籽晶從小到大的培育全過程。在實驗室僅需數天就能培育出珠寶級、晶圓級金剛石的核心突破口，就是朱嘉琦團隊自主研發的微波等離子體化學氣相沉積



▲單晶鑽石籽晶培育過程經過精密計算得出。圖為工作人員用惰性氣體手套箱培育金剛石。 大公報記者于海江攝

裝備。這套完全擺脫進口依賴的國產設備，攻克了大尺寸晶體生長均勻性難題，穩定支撐大尺寸金剛石晶圓批量製備。

實驗操作台整齊擺放着指甲蓋大小的金剛石籽晶，博士生佩戴防靜電手套，小心將籽晶放置在樣品台，腔體達到真空後通入甲烷、氫氣混合反應氣體。朱嘉琦現場講解，混合氣體就是鑽石生長的「營養液」，大功率微波激發氣體形成等離子體，解離出的碳原子在籽晶表面有序堆疊，每小時晶體厚度可增長數十微米。

早年國內金剛石生長設備全部依賴海外進口，朱嘉琦團隊歷時多年攻關設備底層邏輯，自主設計915MHz大功率MPCVD整機，優化腔體耦合結構，國產設備採購、運維成本僅進口設備三分之一，多項核心性能實現反超。依託自研成套設備，團隊先後攻克8吋金剛石穩定生長技術，20厘米直徑晶圓可適配當下主流芯片封裝需求。 大公報記者于海江、王欣欣

研量子級金剛石 邁步「無衛星自主導航」

多元應用

同樣一塊金剛石，也分不同等級。大家熟知的散熱基板屬於電子級金剛石，量子級金剛石則是在金剛石內製造NV色心，把普通晶體變成超高靈敏度的量子傳感器。

哈工大劉亮鈺博士打了一個通俗比方，手機依賴北斗信號才能定位，一旦進入深山、地下隧道，衛星信號徹底中斷。搭載NV色心量子元件的設備，不需要任何外界信號，只捕捉地球磁場變化，就能自主測算位置，實現不間斷自主導航。

所謂NV色心，學名是氮空位中心。金剛石原本是碳原子整齊排列的完美晶格，科研人員人為讓一個氮原子頂替碳原子，旁邊再留出一處原子空位，二者組合就形成了穩定的NV色心。被困在此處的電子如同一枚微型磁針，對磁場變化極其敏感。外界磁場稍有波動，電子自旋狀態立刻隨之改變，設備就能精準捕捉

數據，完成方位測算。量子級金剛石要精準控制NV色心的數量與分布。

朱嘉琦團隊依靠自主MPCVD裝備，可以精準調控色心密度，讓每一顆「量子磁針」穩定工作，在常溫環境下保持量子狀態，不用複雜低溫設備，降低器件量產門檻。可控製造NV色心，讓國產大尺寸量子金剛石突破技術瓶頸，為不依賴衛星的自主導航、精密量子探測打下堅實材料根基。

製作耐受核輻射半導體

「金剛石也被稱作終極半導體，耐高溫、抗輻射，能適應五百攝氏度以上極端工况。」朱嘉琦教授介紹，第三代半導體無法耐受核輻射等極端環境，金剛石特種邏輯芯片剛好補齊短板。團隊2026年研製出超低功耗金剛石電路，可用於衛星、核監測設備，可以耐受極端輻射環境，大幅提升芯片可靠性及壽命。

大公報記者于海江、王欣欣

▲阿爾法粒子金剛石輻射探測器的核心部件。 大公報記者于海江攝

攜手河南科企 年產百萬片金剛石晶圓

產業創新

哈爾濱工業大學、哈爾濱工業大學鄭州高等研究院與河南碳真芯材料科技有限公司深化產學研戰略合作，圍繞MPCVD金剛石及金剛石複合材料領域構建「基礎研究—中試熟化—產業落地」完整創新鏈，推動高校前沿科技成果快速走向市場。後續三方將持續深化協同，拓展金剛石在第三代半導體、量子科技、光學探測等領域的應用場景，打造國內領先的金剛石產業創新高地。

哈爾濱工業大學作為技術創新源頭，依託航天學院紅外薄膜與晶體研究團隊十餘年技術積澱，在MPCVD金剛石領域取得系列突破性成果，建立了覆蓋生長、加工、裝備、應用的全鏈條自主知識產權體系。

哈爾濱工業大學鄭州高等研究院發揮校

地協同的橋樑樞紐作用，精準對接河南超硬材料產業需求推動技術落地。「金剛石複合晶圓及高導熱封裝材料與技術中試」入選河南省新材料中試公共服務能力清單，可為行業提供工藝放大、樣品試製、性能表徵等一站式服務，打通實驗室技術到工業量產的關鍵節點。

作為產業化落地載體，河南碳真芯材料科技有限公司自研915MHz大尺寸MPCVD生長裝備打破國外技術壟斷，成功中標國內超硬材料龍頭企業批量採購訂單；其金剛石銅複合散熱材料攻克界面結合與批量製備難題，實現規模化量產，年產能百萬片。公司已獲批國家高新技術企業，完成數千萬元天投輪融資，成長為高端金剛石材料賽道的核心生力軍。

大公報記者于海江、王欣欣