

哈工大自研設備產大尺寸金剛石 強攻高端半導體賽道

中國「智造」超級鑽 破國外技術封鎖

在團隊自研的大功率微波等離子體化學氣相沉積（MPCVD）裝備前，朱嘉琦逐項調試生長參數。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。

傳統高溫高壓工藝只能產出小顆粒金剛石，多用於磨具、磨料。「磨料生意回款快，很少企業願意耗時十年攻堅高端材料。」朱嘉琦團隊2013年提前布局MPCVD路線，歷經十餘年反覆試驗，如今實現金剛石複合材料穩定量產。

佔全球九成產能 卻處產業鏈底端

「過去幾十年，我們是世界最大人造金剛石生產國，但一直處在產業鏈底端。」朱嘉琦直言。全球近九成金剛石產能集中在中國，但長期以微粉、金剛線、切割耗材為主。門檻低、競爭卷，多數企業只求穩現金流，不願投入長期技術攻堅。

行業真正的轉折點，來自第三代半導體與AI算力產業爆發。芯片功率越來越大，散熱瓶頸越來越突出，傳統材料已經頂不住高端製造需求。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基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。

「產業風口變了。」朱嘉琦告訴香港文匯報記者，「低端耗材不缺人做，電子級、大尺寸，才是卡脖子的關鍵。」

超高導熱 破芯片散熱難點

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。芯片一過熱，算力立刻被強制降速，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。

「核心設備必須攥在自己手裏」

「國內外都能造出8英寸碳化硅襯底，大尺寸金剛石晶圓曾是我們的短板。」朱嘉琦團隊自研設備穩定產出8英寸金剛石，精準匹配新一代半導體製造標準。行業預測未來將新增萬台沉積設備需求。朱嘉琦表示，五千台設備的市場空間，就能帶動產業化企業實現跨越式發展，「科研最終要落地創造產業價值。」

走進哈爾濱工業大學實驗室，多台沉積設備同步運行，一邊生產珠寶鑽石，一邊製備半導體級金剛石。兩塊外觀相似的晶體，生產標準完全不同。一場博士集體婚禮，讓哈工大培育鑽石意外成為互聯網熱話。這是學校為青年科研新人準備的溫馨禮物。「前年30分，去年50分，今年1克拉。」哈爾濱工業大學航天學院教授、博士生導師朱嘉琦笑着告訴香港文匯報記者，「尺寸、純度、均勻度，每一年都在跨越。」

這份校園浪漫的背後，是朱嘉琦團隊十餘載攻堅人造金剛石的縮影。他帶領團隊突破一系列關鍵核心技術，攻克大尺寸金剛石晶體生長技術，研製成套自主裝備，實現全鏈條自主可控，啃下高端芯片散熱的「卡脖子」難題。

在技術突破的帶動下，國產金剛石徹底跳出「磨料、首飾」的低端定位，參與競逐半導體散熱、特種光學、精密探測等高價值賽道。

●文：香港文匯報記者 于海江、王欣欣 哈爾濱報道

圖：香港文匯報哈爾濱

傳真、香港文匯

報記者于海

江 攝

閃亮鑽戒之外 金剛石大用途

醫療

►現有植入醫療電池僅能用1至3年，金剛石貝塔伏特核電池依靠放射性元素衰變，理論上可穩定供電上百年，免去患者反覆手術更換的痛苦

量子探測

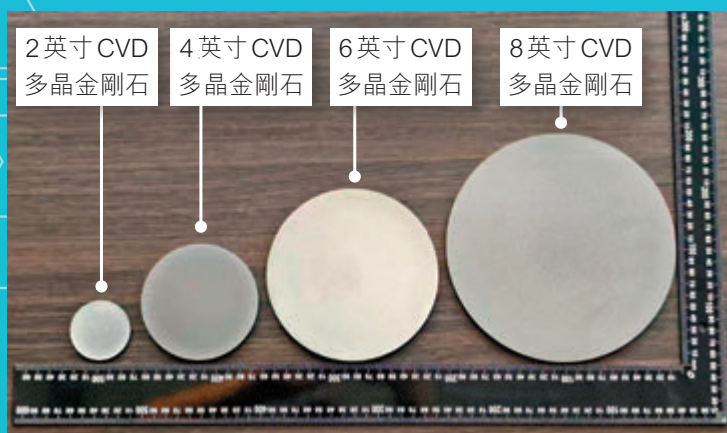
►金剛石色心能夠捕捉微弱磁場、溫度變化，廣泛用於地質勘探、精密檢測，應用前景十分廣闊

深海探測

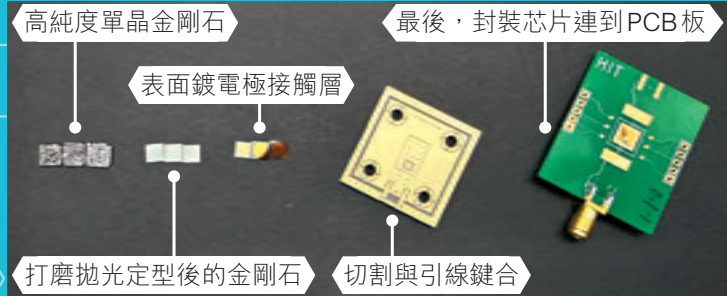
►深海探測領域，無外接供電的金剛石傳感元件可長期潛伏水下，持續捕捉水下航行器信號，適配海底長期監測工程

航天科技

►金剛石聲光熱電力各種超群，是航天與導彈窗口的最優材料；同時金剛石作為紫外探測器，能精準區分飛行器尾焰與普通熱源，大幅提升防空預警精度



阿爾法粒子金剛石輻射探測器製造步驟



●早前，哈工大為每一對新人送上1克拉鑽石。 網上圖片



●哈爾濱工業大學航天學院教授、博士生導師朱嘉琦



●團隊自主研發的「真心鑽石」贈予哈工大博士生新人。

值。」十餘年前，海外對中國禁運高端MPCVD設備，核心裝備、核心工藝全部封鎖，意圖鎖死中國高端金剛石發展路徑。封鎖倒逼突破，朱嘉琦團隊從零起步，自主攻關整套MPCVD裝備技術。「別人不賣，我們就自己造。」朱嘉琦表示，「材料強國，核心設備必須攥在自己手裏。」

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。天然鑽石需要在地底億萬年沉澱成型，而這間百餘平方米實驗室裏，僅需數天就能培育出珠寶級、晶圓級金剛石，核心突破口就在朱嘉琦團隊自主研發的MPCVD設備。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。

金剛石功能材料迎來廣闊藍海

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。

目前，團隊自研核心設備已實現自主可控，關鍵技術嚴格管控，形成穩固國產技術護城河。「MPCVD技術路線最大的優勢，就是能「長出」大尺寸、高純度金剛石。」

科研人員反覆優化金剛石表面金屬化工藝，大幅減小熱量傳導阻力，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，短短半年產業規模急速擴張，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。

提前十年布局「解決產業問題才是真技術」

朱嘉琦與金剛石結緣於2001年博士課題。2011年拿下國家級科技獎項後，他精準預判行業變局。「小顆粒金剛石天花板太低，未來高端製造，拚的是大尺寸晶圓。」朱嘉琦說。

2013年，他主動帶隊全面轉向金剛石研發，比行業熱潮提前多年布局。在很多高校重論文、輕落地的大環境下，朱嘉琦堅持完全反向的科研邏輯。「工科科研，不落地就是空談。」他態度鮮明，「能解決產業真問題，才是真技術。」

團隊不照搬國外設備方案，完全自主設計整體結構。從微波傳輸優化、腔體結構設計，到精密溫控、系統散熱設計，團隊一遍遍迭代、一遍遍試錯。

「晶體生長數百小時，一個參數飄移，整爐就報廢。」朱嘉琦坦言，「高端產品，容錯率為零。」歷經十餘年沉澱，團隊徹底打通裝備研發、晶體生長、器件加工、場景應用全鏈條。

團隊孵化的產業化企業「碳真芯材」，寓意求真、務實、攻堅芯片核心材料。目前團隊擁有三十餘名青年教師、兩百餘名碩博研究生，梯隊完整，持續接力攻關。大批優秀畢業生選擇留在本土產業化平台，扎根一線做技術、做落地、做市場。

朱嘉琦始終認為，新材料科研要有家國擔當。「我們提前十年布局，不是跟風，是為了等國產半導體需要我們的那一天。」

「建別人追不上的中國標準」

特稿

全球半導體競爭格局正在重塑。硅基芯片專利壁壘根深蒂固，碳化硅、氮化鎵中外研發基本持平，賽道難拉開絕對差距。唯獨金剛石，是中國可以實現換道領跑的第四代半導體核心材料。這是朱嘉琦長期觀察全球材料產業得出的核心判斷。

「我們在金剛石賽道，擁有別國無法復刻的三重

優勢。」朱嘉琦告訴香港文匯報記者。中國手握全球近九成人造金剛石產能，擁有完整本土產業鏈，更擁有完全自主可控的MPCVD成套裝備技術。

金剛石迎政策技術市場三重紅利

不過他也清醒指出，規模優勢不等於長期優勢。「產量大不代表話語權強，真正的壁壘是高

純單晶、大尺寸晶圓、器件集成及應用技術。」

未來國產金剛石產業有兩條清晰主線。一是持續迭代外延生長技術，向四英寸大尺寸單晶突破，追趕先進半導體晶圓規格。二是跳出傳統市場，深耕醫療核電池、量子傳感、光學窗口等全新賽道。

「培育鑽石、磨料是紅海，半導體、特種能

源、量子探測，是萬億級藍海。」朱嘉琦分析。在國產集成電路自主可控的大背景下，金剛石迎來政策、技術、市場三重紅利。

朱嘉琦強調，新材料競爭拚的是長期壁壘。「我們要做的，是建立別人追不上、抄不走、搬不動的中國標準。」從小人造單晶出發，國產金剛石正在補齊第四代半導體的關鍵短板。

未來，這顆中國「智造」的超級鑽石，將穩穩撐起萬億級新材料產業高地，成為中國高端製造突破封鎖、換道領跑的標誌性戰略材料。