

Image not found

Aconsegueixen exposar la superfície del grafe sense comprometre'n la qualitat

La síntesi de nitrur de bor hexagonal (hBN) d'alta qualitat va marcar un punt d'inflexió en la recerca de materials bidimensionals (2D). En encapsular un material 2D (per exemple, grafe) entre capes d'hBN, el material queda protegit de la degradació ambiental, preservant així la seva màxima qualitat i propietats úniques.

Tanmateix, algunes aplicacions requereixen un accés directe a la superfície del grafe. Eliminar l'hBN, però, no sol ser una opció, ja que això compromet greument la seva qualitat. Per superar aquesta limitació, els investigadors de l'ICFO han desenvolupat una nova tècnica capaç d'eliminar selectivament la capa superior d'hBN, tot preservant alhora la qualitat electrònica del grafe. El seu enfocament, publicat a *the Journal of Physics: Materials*, obre la porta a una àmplia gamma d'aplicacions, com ara la caracterització d'alta resolució, la detecció bioquímica i la plasmonica.

October 24, 2025

Els experiments amb materials bidimensionals, d'un sol àtom de gruix, solen requerir capes protectores que els encapsulin per mantenir-ne les excepcionals propietats electròniques. Una configuració habitual consisteix a col·locar grafe entre dues capes de nitrur de bor hexagonal (hBN): la capa inferior protegeix el grafe dels substrats rugosos, mentre que la superior l'aïlla de l'entorn, maximitzant el rendiment dels dispositius resultants.

Tot i que aquesta estratègia d'encapsulació funciona notablement bé, per a certes aplicacions cal poder accedir directament a la superfície del grafe, per exemple, per estudiar-la amb tècniques d'alta resolució o en aplicacions de detecció bioquímica. No obstant això, eliminar parcialment l'hBN per exposar la superfície degrada dràsticament la qualitat electrònica del grafe, un preu a pagar que, per als investigadors, és massa alt.

Ara, els investigadors de l'ICFO, el Dr. Hitesh Agarwal, el Dr. Antoine Reserbat-Plantey, el Dr. David Barcons Ruiz, el Dr. Karuppasamy Pandian Soundarapandian, el Dr. Geng Li, el Dr. Vahagn Mkhitarian, el Dr. Johann Osmond, la Dra. Helena Lozano i el Dr. Petr Stepanov,

dirigits pel **professor ICREA Frank Koppens** i el **Dr. Roshan Krishna Kumar**, han demostrat un mètode fiable per eliminar selectivament la capa superior d'hBN de dispositius de grafe sense comprometre significativament l'excepcional qualitat electronica d'aquest material. D'aquesta manera, la tecnica supera per primera vegada l'antic compromís entre proteccio i accessibilitat. Els resultats, publicats a the Journal of Physics: Materials, es van obtenir en col·laboracio amb la Universite Cote d'Azur, el National Institute for Materials Scienc (Tsukuba, Japo) i la University of Notre Dame

Per aconseguir-ho, l'equip primer va fabricar dispositius completament encapsulats de graf entre dues capes d'hBN. A continuacio, van definir les regions on posteriorment s'exposari el grafe. Abans de procedir al gravat, els investigadors van netejar amb cura la superfici mitjancant un proces en dues fases: primer, eliminant els residus del vernís fotosensible i segon, escombrant mecanicament els contaminants de l'hBN superior. Tot seguit, utilitzen l'anomenat mètode de gravat iònic reactiu amb SF₆, van eliminar selectivament la capa superior d'hBN en les arees previament definides, deixant intactes el grafe subjacent i l'hBN infe

rior. Ens van sorprendre molt les mesures de transport quantic d'en Hitesh, que mostra en que els electrons del grafe continuen movent-se de manera balistica despres d'aquest pas de gravat, explica el Dr. Roshan Krishna Kumar, autor principal de l'estudi. Va se aleshores quan ell ens va convencer del potencial i les capacitats d'aquesta tecnica, no omes per a aplicacions en dispositius, sino tambe per a estudis fonamentals?

El mètode de gravat va demostrar ser altament eficaç, permetent una exposicio controlada i neta de regions seleccionades. Ara els investigadors podran fabricar dispositius de grafe encapsulats en hBN i posteriorment exposar el grafe localment, so a demanda, tot preservant-ne la qualitat intrinseca, afirma el Dr. Hitesh Agarwal, primer autor de l'article. Crec que el següent pas per al camp hauria de ser aplicar aquesta tecnica tant a estudis fonamentals de materials com a l'enginyeria de nous disposit

Referencia:

Hitesh Agarwal et al, In situ engineering hexagonal boron nitride in van der Waals heterostructures with selective SF₆ etching, J. Phys. Mater. 8 045006 (2025).
DOI: 10.1088/2515-7639/adfd15

Agraiments:

We would like to thank Carmen Rubio-Verdu (ICFO), Tymofiy Khodkov (ICFO), Lene Gammelgaard (DTU), Juan Sierra, Patricia Aguilar, Sergio Valenzuela (ICN2) and Qian Yang (University of Manchester) for important insights and useful discussions. We further thank Matteo Ceccanti for making the illustration presented in figure 1. H.A. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Marie

Skłodowska-Curie grant Agreement No. 665884. A.R.-P. acknowledges funding from ANR JCJC NEAR-2D and Welcome Package Idex (UniCA) as well as AAP Tremplin Complex 2023 '2DNEUROTWIST' (ANR-15-IDEX-01). R.K.K. acknowledges funding by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the 'European Union NextGenerationEU/PRTR' PCI2021-122020-2A within the FLAG-ERA grant [PhotoTBG], by ICFO, RWTH Aachen and ETHZ/Department of Physics. R. K. K. also acknowledges support from the Ramon y Cajal Grant RYC2022-036118-I funded by MICIU/AEI/10.13039/501100011033 and by 'ESF+'. F.H.L.K. acknowledges support from the Gordon and Betty Moore Foundation through Grant GBMF12212, and the Government of Spain (QWIST RD0768/2022, PID2022-141081NB-I00; Severo Ochoa CEX2019-000910-S, and CEX2024- 001490-S [MCIN/EI/10.13039/501100011033]). This work was also supported by the European Union NextGenerationEU/PRTR (PRTR-C17.I1) and EXQIRAL 101131579, Fundacio Cellex, Fundacio Mir-Puig, Generalitat de Catalunya (CERCA, Department of Digital Policies and Territory, AGAUR, 2021 SGR 014431656), and BBVA Foundation 2022 Fundamentals Program (An Electronic Quantum Simulator).

Image not found

a-h) Esquemes del flux de treball presentat en aquest estudi. Font: the Journal of Physics: Materials.