

Image not found

Logran exponer la superficie del grafeno sin comprometer su calidad

La síntesis de nitruro de boro hexagonal (hBN) de alta calidad marco un punto de inflexión en la investigación de materiales bidimensionales (2D). Al encapsular un material 2D (por ejemplo, grafeno) entre capas de hBN, el material queda protegido frente a la degradación ambiental, preservando así su máxima calidad y propiedades únicas.

Sin embargo, algunas aplicaciones requieren un acceso directo a la superficie del grafeno. Eliminar el hBN, con todo, no suele ser una opción, ya que se compromete gravemente su calidad. Para sortear esta limitación, investigadores del ICFO han desarrollado una nueva técnica capaz de eliminar selectivamente la capa superior del hBN, preservando al mismo tiempo la calidad electrónica del grafeno. Su enfoque, publicado en the Journal of Physics: Materials, abre la puerta a una amplia gama de aplicaciones, como la caracterización de alta resolución, la detección bioquímica y la plasmonica.

October 24, 2025

Los experimentos con materiales bidimensionales, de tan solo un átomo de grosor, suelen requerir capas protectoras que los encapsulen para mantener sus excepcionales propiedades electrónicas. Una configuración común consiste en colocar grafeno entre dos capas de nitruro de boro hexagonal (hBN): la capa inferior protege el grafeno de sustratos rugosos, mientras que la superior lo aísla del entorno, maximizando el rendimiento de los dispositivos resultantes.

Aunque esta estrategia de encapsulación funciona notablemente bien, ciertas aplicaciones requieren de un acceso directo a la superficie del grafeno, por ejemplo, para sondearla mediante técnicas de alta resolución o en aplicaciones de detección bioquímica. Sin embargo, eliminar parcialmente el hBN para exponer la superficie degrada drásticamente la calidad electrónica del grafeno, un precio a pagar que, para los investigadores, es demasiado alto.

Ahora, los investigadores del 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** y el **Dr. Petr Stepanov**, dirigidos por el **profesor ICREA Frank Koppens** y el **Dr. Roshan Krishna Kumar**, han demostrado un método fiable para eliminar selectivamente la capa superior de hBN de dispositivos de grafeno sin comprometer significativamente la excepcional calidad electrónica de dicho material. De este modo, la técnica supera por primera vez el antiguo compromiso entre protección y accesibilidad. Los resultados, publicados en the Journal of Physics: Materials, se obtuvieron en colaboración con la Université Côte d'Azur, el National Institute for Materials Science (Tsukuba, Japón) y la University of Notre Dame. Para alcanzar este hito, el equipo primero fabricó dispositivos completamente encapsulados de grafeno entre dos capas de hBN. Luego definieron las regiones donde, posteriormente, se expondría al grafeno. Antes de proceder al grabado, los investigadores limpiaron cuidadosamente la superficie mediante un proceso en dos fases: primero, eliminando los residuos del barniz fotosensible y, segundo, barriendo mecánicamente los contaminantes del hBN superior. A continuación, utilizando el llamado método de grabado iónico reactivo con SF₆, eliminaron selectivamente la capa superior de hBN en las áreas previamente definidas, dejando intactos el grafeno subyacente y el hBN inferior. Nos sorprendieron mucho las medidas de transporte cuántico de Hitesh, que mostraron que los electrones del grafeno siguen moviéndose de forma balística después de este paso de grabado, comparte el Dr. Roshan Krishna Kumar, autor principal del estudio. Fue entonces cuando nos convenció del potencial y las capacidades de esta técnica, no solo para aplicaciones en dispositivos, sino también para estudios fundamentales. El método de grabado demostró ser altamente eficaz, permitiendo una exposición controlada y limpia de regiones seleccionadas. Ahora los investigadores podrán fabricar dispositivos de grafeno encapsulados en hBN y posteriormente exponer el grafeno localmente, bajo demanda, preservando su calidad intrínseca, afirma el Dr. Hitesh Agarwal, primer autor del artículo. Creo que el siguiente paso para el campo debería ser aplicar esta técnica tanto a estudios fundamentales de materiales como a la ingeniería de nuevos dispositivos.

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

Agradecimientos:

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) Esquemas del flujo de trabajo presentado en este estudio. Fuente: the Journal of Physics: Materials.