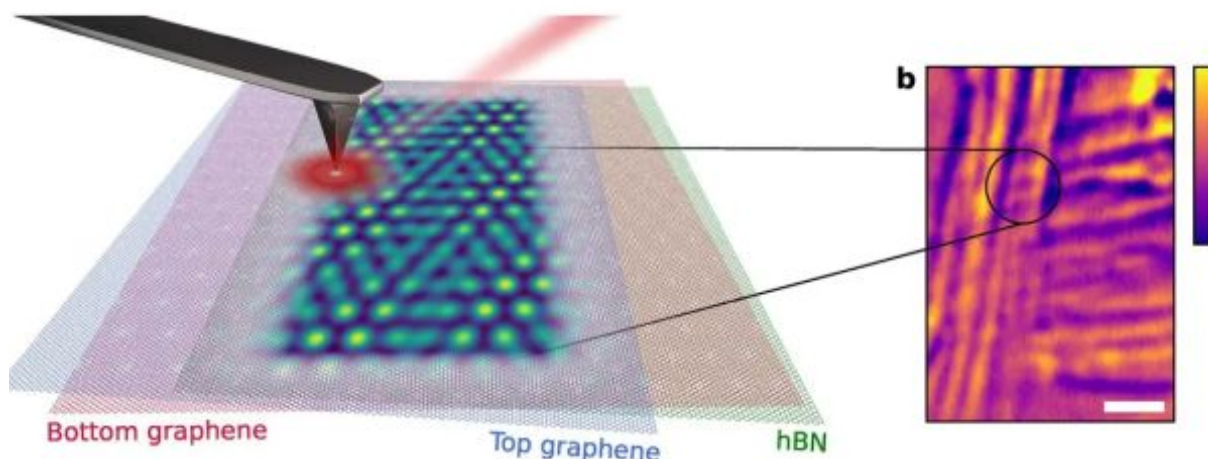




Primera observacio espacial completa d'una superxarxa de segon ordre en una bicapa de grafe rotada

Un equip liderat per l'ICFO ha aconseguit mapar, per primera vegada, la distribucio espacial completa d'una superxarxa de segon ordre dins d'un dispositiu de bicapa rotada de grafe, oferint una comprensió fonamental més profunda i revelant característiques previament ocultes d'aquest tipus d'estructures. Aquestes estructures són molt sensibles a la tensió i a l'angle de gir entre les capes, i per tant podrien utilitzar-se com a "lupa" per a detectar desviacions en aquests paràmetres a l'hora de dissenyar dispositius de bicapa de grafe.

October 02, 2024

El març de 2018, un equip internacional liderat per Pablo Jarillo-Herrero del MIT va informar sobre el descobriment de [superconductivitat](#) quan dues lamines de [grafe](#) (una capa

bidimensional, es a dir, d'un atom de gruix, de grafit) s'apilaven l'una sobre l'altra amb un angle de gir d' $1,1^\circ$. La petita rotacio entre les capes indueix un patro d'interferencia (conegu com a patro moire) amb una periodicitat que depen de l'angle de gir. Per a l' "angle magic especific d' $1,1^\circ$, les propietats electroniques canvien de manera tan dramatica que apareixen fenomens exotics com la superconductivitat descobert

. Despres d'aixo, cientifics de materials d'arreu del mon van comencar a apilar i girar [materials bidimensionals](#), amb l'esperanca que sorgissin efectes interessants, com ara interaccions correlacionades i superconductivitat. Com era d'esperar, rotacions lleugeres van donar lloc de manera sistemtica a fenomens fisics exotics, alterant drasticament les propietats electroniques de les monocapes per si soles.

Avui dia, els dispositius de bicapa rotada ja son una practica forca "estandard", i la comunitat ha comencat a augmentar el nombre de capes girades. Això pot provocar un efecte d'interferencia entre les xarxes moire corresponents a diferents parells de bicapas rotades. Com a resultat, la "superxarxa moire de dues xarxes moire" pot tenir periodicitats de centenars de nanometres, superant les de les xarxes moire subjacents. A causa d'aquest augment tan considerable en la periodicitat, l'anomenada superxarxa de segon ordre (SOSL, per les seves sigles en angles) pot observar-se espacialment amb tecniques optiques. Tot i que algunes tecniques (com la STM) han proporcionat informacio sobre els mecanismes que tenen lloc dins d'aquest tipus d'estructures, aquestes nomes poden abordar una petita subseccio del dispositiu, oferint informacio limitada. En canvi, una visualitzacio directa i completa de la distribucio espacial de les SOSLs al llarg d'un dispositiu proporcionaria un coneixement fonamental mes profund i potencialment revelaria caracteristiques que encara no han estat descobertes.

L'observacio de la distribucio espacial de tota una SOSL encara estava pendent fins que, recentment, es va publicar un article a Nature Materials. [Investigadors de l'ICFO](#), el Dr. Niels C. H. Hesp, Sergi Batlle-Porro, el Dr. Roshan Krishna Kumar, el Dr. Hitesh Agarwal, el Dr. David Barcons Ruiz, el Dr. Hanan Herzig Sheinfux, el Dr. Petr Stepanov, liderats pel Prof. ICREA Frank H. L. Koppens, en col·laboracio amb [NIMS](#) i la [Universitat de Notre Dame](#), van informar sobre **un nou tipus d'experiment que, per primera vegada, mapava la SOSL sencera dins d'un dispositiu bicapa rotada de grafe.**

L'equip va apilar dues capes de grafe sobre una capa de nitrur de bor hexagonal (hBN). Despres van realitzar mesures criogeniques de fotovoltatge a escala nanometrica (en resum, cryoSNOM) i mesures de transport electronic. Les primeres combinen una alta resolucio espacial amb una sensibilitat extrema a les propietats electroniques locals, mentre que les segones es van utilitzar per verificar els angles de torsio entre les capes i confirmar la presencia de la fisica de l'angle magic. Recolzat per simulacions, l'equip finalment va desvetllar **la sensibilitat sense precedents de les SOSLs a la tensio experimentada pel material i a l'angle de gir entre les capes.** No obstant això, el viatge per arribar fins a aquests

resultats va estar ple de sorpreses.

De problemes en el sistema de mesures a indicis d'una SOSL

Tota la història va començar quan l'equip va aplicar nanoimatges criogèniques i mesures de transport electrònic a la mostra. L'objectiu inicial era obtenir indicis de física correlacionada i superconductivitat, però durant el procés van observar uns patrons inusuals que ningú havia vist abans. La seva reacció immediata va ser suposar que li passava alguna cosa al sistema de presa de mesures.

El cryoSNOM estava tenint molts problemes, per la qual cosa sospitavem que el capçal (el punt de contacte del sistema de mesurament amb la mostra) estava trencat», explica el Dr. Niels Hesp, primer autor de l'article. Però semblava que, almenys en aquell moment concret, el sistema de presa de mesures funcionava perfectament.

Aleshores van decidir explorar més a fons aquests patrons inesperats, els quals presentaven una alta periodicitat (d'uns 400 nanòmetres), en un intent de descobrir la seva naturalesa i origen. Al final, els investigadors es van adonar que aquestes periodicitats de llarg abast eren un clar indicatiu de SOSLs. Això també va ser molt extraordinari, perquè és molt improbable tenir un dispositiu preparat en aquest estat», recorda Hesp, ja que és molt difícil obtenir els angles de gir exactament correctes.

L'equip no tenia aquesta intenció al principi, però van aprofitar l'oportunitat. Així, van canviar de rumb i es van enfocar en el següent pas: realitzar les mesures adequades en la mostra per tal de caracteritzar-la completament. Sabien que era un repte, ja que amb el mínim voltatge el dispositiu podria cremar-se. Havien de ser extremadament curiosos. En algun moment, el cryoSNOM va començar a escalfar-se inesperadament, la qual cosa va trencar parcialment la mostra. Vaig poder arreglar-ho a temps, evitant danys irreparables. Afortunadament, el dispositiu només tenia un petit forat al mig, deixant la superxarxa de segon ordre sorprenentment intacta», comparteix el Dr.

Petr Stepanov. Una altra sorpresa va arribar just després, quan els investigadors van notar que les **superxarxes de segon ordre es manifesta quan l'alineació entre les capes de grafit coincideix exactament amb l'angle magic de la bicapa rotada de grafit**. No obstant això, Hesp assenyala la inexistència d'una relació fonamental entre ambdós fenòmens: **No veiem cap causalitat entre l'angle de torsió on es produeix la física de l'angle magic i on es produeix una SOSL, i per tant per a nosaltres és una coincidència**. No obstant això, això significa que quan l'angle de gir de la capa d'hBN està ajustat correctament, **el dispositiu de bicapa rotada de grafit no només mostra física de l'angle magic, sinó que també allotja una SOSL, la qual cosa fa que la física de les bicapes de grafit rotades amb l'angle magic sigui encara més rica**. Hesp també sospita que, encara que a primera vista la configuració informada o modifica la física de l'angle magic, si que afectaria la manera en que alguns fenòmens exòtics (com l'efecte Hall anòmal) es manifesten dins d'aquests sistemes.

Una "lupa" per ajustar amb precisió la tensió i els angles de torsió en la bicapa de grafe

Les observacions espacials holístiques que l'equip va realitzar van mostrar que petites variacions en la tensió i l'angle de torsió provocaven canvis dràstics en l'estructura de la superxarxa de segon ordre. En aquest sentit, **el mètode presentat serveix com una "lupa" per a detectar petites desviacions respecte la tensió i els angles de torsió desitjats**. Així doncs, **es podria utilitzar per realitzar controls de qualitat en dispositius de bicapes de grafe rotades amb l'angle màgic, evitant inexactituds durant el seu procés de fabricació**.

Hesp, qui va començar aquest projecte just al final del seu doctorat, està orgullós de com ha resultat tot: "Si em preguntes quina és la bellesa d'aquest treball, diria que no només és la fascinant riquesa en superxarxes que es poden crear, sinó també el fet que revela un efecte significatiu que està present en bona part de les bicapes rotades de grafe però que passava desapercebut quan la gent les estudiava".

Referència:

Hesp, N.C.H., Batlle-Porro, S., Krishna Kumar, R. et al. Cryogenic nano-imaging of second-order moiré superlattices. Nat. Mater. (2024).
<https://doi.org/10.1038/s41563-024-01993-y>

Acknowledgements:

F.H.L.K. acknowledges financial support from the Government of Catalonia through the SGR grant, and from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness through the Severo Ochoa Programme for Centres of Excellence in R&D (no. SEV-2015-0522) and Explora Ciencia (no. FIS2017-91599-EXP). F.H.L.K. also acknowledges support from the Fundació Cellex Barcelona, Generalitat de Catalunya, through the CERCA program and the Mineco grant Plan Nacional (no. FIS2016-81044-P) and the Agency for Management of University and Research Grants (AGAUR) (no. 2017-SGR-1656). Furthermore, the research leading to these results has received funding from the European Union's Horizon 2020 programme under grant agreement nos. 785219 (Graphene Flagship Core2), 881603 (Graphene Flagship Core3) and 820378 (Quantum Flagship). This work was supported by the ERC under grant agreement no. 726001 (TOPONANOP). P.S. acknowledges support from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant no. 754510. N.C.H.H. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement no. 665884. K.W. and T.T. acknowledge support from JSPS KAKENHI (grant nos. 19H05790, 20H00354 and 21H05233). This project has received funding from the 'Presidencia de la Agencia Estatal de Investigación' within the PRE2020-094404 predoctoral fellowship.