



## Investigadors de l'ICFO aborden un antic debat sobre el transport de portadors de carrega

Un equip liderat per l'ICFO ha aclarit els mecanismes de transport de portadors de carrega en el MoSe<sub>2</sub> (un material de gruix atòmic), identificant els paràmetres clau que influeixen en el seu comportament, un aspecte fonamental per a una àmplia gamma de dispositius optoelectrònics.

July 09, 2025

Els dicalcogenurs de metalls de transició (TMDC, per les seves sigles en anglès) són semiconductors d'un sol àtom de gruix que estan emergint com a components clau en una gran varietat de tecnologies avançades. Es poden utilitzar en electrònica com a transistors, en òptica com a emissors i detectors, entre moltes altres aplicacions. Per continuar avançant en aquest tipus de tecnologies, és vital entendre en profunditat els mecanismes que governen el transport de portadors de carrega elèctrica a través del material. En els darrers anys, nombrosos experiments han investigat les propietats del transport

ultrarapid en els TMDC, amb un emfasi especial en la seva **difusivitat** (la velocitat amb que les particules es dispersen, normalment desplaçant-se des d'una regio de major a menor concentracio). Tanmateix, la proliferacio d'estudis en aquest camp ha donat lloc a una gran varietat de resultats aparentment inconsistents, generant controvèrsies que, avui dia, encara persisteixen.

Investigadors de l'ICFO, la **Dra. Giulia Lo Gerfo Morganti**, el **Dr. Guillermo D. Brinatti Vazquez**, dirigits pel **Prof. ICREA Niek F. van Hulst**, en col·laboracio amb la Universitat de Marburg l'Institut Catala de Nanociencia i Nanotecnologia (ICN2) i la Universitat Tecnica d'Eindhoven han aportat recentment llum sobre aquesta qüestio. En un article publicat a Nature Communications, presenten un estudi experimental sistematic, recolzat per un model microscopic unificat, sobre el transport de carrega i energia en el MoSe<sub>2</sub> (un TMDC). L'estudi reconcilia resultats previament contradictoris en destacar **dos factors crítics: la dimensionalitat del material** (el nombre de capes d'un sol atom de gruix) i **la seva interaccio amb el substrat subjacent** (el material sobre el qual es diposita la mostra).

### **Les mesures nocturnes van donar el seu fruit**

Per investigar aquests efectes, l'equip de l'ICN2 va fabricar mostres de MoSe<sub>2</sub> de diferents gruixos -algunes tan primes com un sol atom- i les va suspendre sobre un orifici de 15 micrometres per estudiar com es produia el transport en ausencia de substrat. Tot seguit, l'equip de l'ICFO va utilitzar polsos laser ultrarapids i microscopia resolta en el temps per seguir el desplaçament dels portadors de carrega a través del material i al llarg del temps, obtenint finalment propietats de transport com la seva difusivitat.

Treballar amb monocapes suspeses va representar un gran repte tecnic a causa de la seva extrema fragilitat i debil resposta optica, fet que va complicar considerablement la recollida de dades. *i½* Vam superar aquest repte fent mesures prolongades durant la nit, repetint els experiments en multiples regions de les mostres i analitzant rigorosament les dades per garantir una interpretacio precisa *i½*, comenta la Dra. Giulia Lo Gerfo Morganti, investigadora de l'ICFO i primera autora de l'article. *i½* Aquestes precaucions van ser essencials per generar resultats fiables i d'alta qualitat, encara que van allargar significativament la durada del projecte *i½*,

fegeix. Finalment, l'equip va descobrir que la monocapa de MoSe<sub>2</sub> suspesa presenta una difusio de portadors de carrega extremadament rapida en comparacio amb les capes multiples i les capes suportades en un substrat, i que aquesta difusio ultrarapida col·lapsa despres d'aproximadament 1 picosegon (10<sup>-12</sup> segons). A mes, tant el gruix com la presencia o ausencia de substrat tambe influeixen significativament en com el sistema arriba a aquest regim de

### **Beneficis per a dispositius optoelectronics**

*i½* Els nostres descobriments van ser recolzats per simulacions microscopiques

s desenvolupades en col·laboració amb el Prof. Ermin Malic i el Dr. Roberto Rosati de la Universitat de Marburg i, comenta la Dra. Lo Gerfo Morganti. Aquestes simulacions concorden elegantment amb els resultats experimentals, confirmant encara més que tant el gruix del material com l'acoblament amb el substrat són paràmetres fonamentals que governen els mecanismes de transport a nivell atòmic i subatòmic. Segons la investigadora, **Aquest coneixement és crucial per a aplicacions optoelectròniques, com ara els fotodetectors ultraràpids i les cel·lules solars eficients**, on el control precís de la dinàmica dels portadors de càrrega és essencial per al rendiment i el disseny del dispositiu.

Mirant cap al futur, els investigadors preveuen estendre el seu enfocament a monocapes suspeses d'altres materials TMDC, la qual cosa podria revelar nous fenòmens de transport a escala nanomètrica. Les nostres simulacions ja estan llestes. Ara només cal veure si les dades experimentals corresponents coincideixen amb elles, conclou la Dra. Lo Gerfo Mor.

**Referència:**

Lo Gerfo Morganti, G., Rosati, R., Brinatti Vazquez, G.D. et al. Transient ultrafast and negative diffusion of charge carriers in suspended MoSe<sub>2</sub> from multilayer to monolayer. *Nat Commun* 16, 5184 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-60197-3>

**Agraïments:**

G.L.G.M., G.D.B.V. and N.F.v.H. acknowledge support through the MCIN/AEI projects PID2021-123814OB-I00, TED2021-129241BI00, the Severo Ochoa program for Centres of Excellence in R&D CEX2019-000910-S, Fundació Privada Cellex, Fundació Privada Mir-Puig, and the Generalitat de Catalunya through the CERCA program. G.L.G.M. is supported through the MCIN/AEI project PRE2019-091051. N.F.v.H. acknowledges the financial support by the European Commission (ERC Advanced Grant 101054846 - FastTrack). This work is part of the ICFO Clean Planet Program supported by Fundació Joan Ribas Araquistain (FJRA). S.V. and D.S.R. acknowledge the support of the Spanish Ministry of Economy through FPI-SO2018 and FPI-SO2019, respectively. K.J.T. acknowledges funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No. 804349 (ERC StG CUHL) and FLAG-ERA grant ENPHOCAL, by MICIN with No. PCI2021-122101-2A (Spain). ICN2 was supported by the Severo Ochoa program from Spanish MINECO grant no. SEV-2017-0706. E.M. and R.R. acknowledge financial support from the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) via SFB 1083 as well as the regular project 542873285. The authors acknowledge Pawel Wozniak for his contribution in the first stage of the paper and the acquisition of some preliminary results.