



Desentranando la transición de fase ultrarrápida del dióxido de vanadio

Investigadores descubren toda la trayectoria que sigue el dióxido de vanadio durante la transición de fase de aislante a metal inducida por la luz. La técnica propuesta podría revelar complejidades ocultas en transiciones similares de otros materiales cuánticos.

April 30, 2025

Comprender que interacciones a nivel atómico y subatómico subyacen a las propiedades de los materiales cuánticos puede ser increíblemente exigente. El dióxido de vanadio (VO_2) y su rápida transición de fase de aislante a metal ejemplifican esta complejidad. Durante más de 50 años se ha debatido si esta transición viene dada por cambios electrónicos (es decir, modificaciones en el "paisaje" energético del material, o más concretamente, su estructura de bandas) o por cambios estructurales (alteraciones en la disposición de la red atómica). Ahora, por primera vez, un equipo de investigadores dirigidos por la [Universidad Heriot-Watt](#) e [IMDEA Nanociencia](#), con la colaboración de [investigadores del ICFO](#), el Dr. Lin Zhang, el Dr. Utso Bhattacharya, Maria Recasens, el Dr. Johann Osmond, y el Prof. ICREA Maciej

Lewenstein, ha observado directamente tanto las transiciones estructurales como las electrónicas en el VO₂. De este modo, han descubierto que la transformación electrónica desencadena la estructural, en un proceso intrincado que se desarrolla en menos de 100 femtosegundos. En el estudio, publicado en Nature Communications, han participado varias instituciones, incluyendo la Universidad de Memphis, ETH Zurich, el Donostia International Physics Center, la Universidad Adam Mickiewicz, y la Universidad Vanderbilt. Hasta ahora, los experimentos previos solo habían logrado capturar o bien la transición electrónica o bien la estructural, pero no ambas. Como resultado, los investigadores se veían obligados a inferir que estaba ocurriendo en el componente no observado, lo que llevó a la conclusión aparente de que el VO₂ experimenta un cambio abrupto de aislante a metal. "Ahora podemos ver directamente tanto los cambios electrónicos como los estructurales, los cuales ocurren más rápido de lo que se pensaba. Además, nuestro nuevo enfoque ha revelado todo el proceso de transición. Esto significa que los intentos de controlar las transiciones de fase podrían ser más complicados de implementar, pero también ofrecer, potencialmente, muchos más resultados. En lugar de obtener A o B, tal vez podamos llevar los materiales a todo un abecedario de estados", comparte el Dr. Allan Johnson, investigador de IMDEA Nanociencia y autor correspondiente del estudio.

Una imagen completa de la transición de fase del VO₂

Utilizando su novedoso método, el equipo capturó la transición de fase del VO₂ en su escala de tiempo natural. Según sus observaciones, el material comienza como un aislante, luego pasa por una fase de "mal metal" (apenas 10 femtosegundos después de ser excitado con luz), oscila entre estados aislantes y semimetálicos, y finalmente se estabiliza en una fase metálica convencional alrededor de 100 femtosegundos más tarde. El estudio no solo cartografió estos rápidos cambios electrónicos, sino que también demostró que están estrechamente conectados con desplazamientos en la estructura atómica del material, donde los iones de vanadio pasan de una posición torcida a una posición neutra en un proceso intrincado.

Estos descubrimientos fueron posibles gracias al uso de pulsos láser ultracortos -de apenas 1 a 5 femtosegundos de duración- con un espectro excepcionalmente amplio. Este amplio rango espectral fue crucial para resolver todas las bandas de energía simultáneamente, permitiendo a los investigadores construir una imagen completa de la transición.

Uno de los mayores desafíos, señaló el equipo, fue interpretar los nuevos datos. "Hubo una ruptura tan dramática respecto a los experimentos anteriores que tuvimos que desarrollar modelos teóricos completamente nuevos para describir la transición en escalas de tiempo tan cortas", explica el Dr. Lin Zhang, investigador del ICFO y coautor del estudio. Para ello, los investigadores del grupo de Teoría de Óptica Cuántica del ICFO desarrollaron un enfoque teórico eficiente para las transiciones de fase inducidas por la luz en VO₂, que habían publicado unos meses antes en [npj Quantum Materials](#). Este método teórico, que incorpora

todos los ingredientes físicos esenciales del VO₂, resulto ser una potente herramienta para explicar la compleja dinámica observada en el experimento.

Además, el hecho de que la técnica propuesta haya revelado una ruta de transición tan rica en un material tan estudiado como el VO₂ sugiere que algo similar podría ocurrir en otros materiales cuánticos, pudiéndose descubrir muchas más complejidades ocultas en un futuro próximo.

Referencia:

Brahms, C., Zhang, L., Shen, X. et al. Decoupled few-femtosecond phase transitions in vanadium dioxide. *Nat Commun* 16, 3714 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58895-z>

Agradecimientos:

This work was funded by the European Research Council (ERC) under the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme: Starting Grant agreement HISOL no. 679649 and ERC Consolidator Grant XSOL no. 101001534. C.B. and J.C.T. acknowledge support from the United Kingdom's Engineering and Physical Sciences Research Council: Grant agreement EP/T020903/1. C.B. acknowledges support from the Royal Academy of Engineering through Research Fellowship No. RF/202122/21/133. This work was funded by the Spanish AIE (projects PID2022-137817NA-I00 and EUR2022-134052). A.S.J. acknowledges the support of the Ramon y Cajal Program (Grant RYC2021-032392-I). IMDEA Nanociencia acknowledges support from the *i²Severo Ochoa* Programme for Centers of Excellence in R&D (MICIN, CEX2020-001039-S). Computational resources were provided by the High-Performance Computing Center at the University of Memphis (X.S.). U.B. is also grateful for the financial support of the IBM Quantum Researcher Program. R.W.C. acknowledges support from the Polish National Science Centre (NCN) under the Maestro Grant No. DEC-2019/34/A/ST2/00081. T.G. acknowledges funding by Gipuzkoa Provincial Council (QUAN-000021-01), by the Department of Education of the Basque Government through the IKUR strategy and through the project PIBA_2023_1_0021 (TENINT), by the Agencia Estatal de Investigación (AEI) through Proyectos de Generación de Conocimiento PID2022-142308NA-I00 (EXQUSMI), by the BBVA Foundation (Beca Leonardo a Investigadores en Física 2023). S.T.P. acknowledges funding from the U. S. Department of Energy, Office of Science, Basic Energy Sciences, Materials Science and Engineering Directorate grant No. DEFG02-09ER46554 and by the McMinn Endowment at Vanderbilt University. K.A.H. and R.F.H. acknowledge support from the U. S. National Science Foundation (EECS-1509740) and the Stevenson Endowment at Vanderbilt University. The ICFO group acknowledges support from: ERC AdG NOQIA; MCIN/AEI (PGC2018-0910.13039/501100011033, CEX2019-000910-S/10.13039/501100011033,

Plan National FIDEUA PID2019-106901GB-I00, Plan National STAMEENA PID2022-139099N I00 project funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033 and by the European Union NextGenerationEU/PRTR (PRTR-C17.I1), FPI); QUANTERA MAQS PCI2019-1182872); QUANTERA DYNAMITE PCI2022-132919 (QuantERA II Programme co-funded by European Union's Horizon 2020 program under Grant Agreement No 101017733), Ministry of Economic Affairs and Digital Transformation of the Spanish Government through the QUANTUM ENIA project call - Quantum Spain project, and by the European Union through the Recovery, Transformation, and Resilience Plan - NextGenerationEU within the framework of the Digital Spain 2026 Agenda; Fundacio Cellex; Fundacio Mir-Puig; Generalitat de Catalunya (European Social Fund FEDER and CERCA program, AGAUR Grant No. 2021 SGR 01452, QuantumCAT \ U16-011424, co-funded by ERDF Operational Program of Catalonia 2014-2020); Barcelona Supercomputing Center MareNostrum (FI-2023-1-0013); EU Quantum Flagship (PASQAN S2.1, 101113690); EU Horizon 2020 FET-OPEN OPTologic (Grant No 899794); EU Horizon Europe Program (Grant Agreement 101080086 - NeQST), ICFO Internal QuantumGaudii project; European Union's Horizon 2020 program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No 847648; La Caixa Junior Leaders fellowships, La Caixa Foundation (ID 100010434): CF/BQ/PR23/11980043.