

Press release

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Dr. Boris Pawlowski

07/07/2020

<http://idw-online.de/en/news750721>

Research results, Scientific Publications
Physics / astronomy
transregional, national



Robuste Materialien in Schwingung versetzt

Kieler Physikteam beobachtet in Echtzeit extrem schnelle elektronische Änderungen in besonderer Materialklasse

In der Physik werden sie zurzeit intensiv erforscht, in der Elektronik könnten sie ganz neue Funktionen ermöglichen: Sogenannte topologische Materialien zeichnen sich durch besondere elektronische Eigenschaften aus, die außerdem sehr robust gegenüber äußeren Einflüssen sind. Zu dieser Materialgruppe gehört auch Wolframditellurid. Hier lässt sich ein solcher „topologisch geschützter“ Zustand mit Hilfe spezieller Laserpulse innerhalb weniger Billionstel Sekunden („Pikosekunden“) „aufbrechen“ und somit verändern. Das könnte eine zentrale Voraussetzung sein, um extrem schnelle, opto-elektronische Schalter zu realisieren. Die Änderungen der elektronischen Eigenschaften dieses Materials konnten Physikerinnen und Physiker der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) in Kooperation mit Forschungsgruppen des Max-Planck-Instituts für Chemische Physik fester Stoffe in Dresden, der Tsinghua University in Peking und der ShanghaiTech University jetzt erstmals in Experimenten in Echtzeit beobachten. Mit Laserpulsen brachten sie die Atome in einer Probe Wolframditellurid kontrolliert zum Schwingen und konnten die dadurch ausgelösten Änderungen der elektronischen Eigenschaften mit hochpräzisen Messungen „live“ verfolgen. Ihre Ergebnisse veröffentlichten sie kürzlich im renommierten Fachmagazin Nature Communications.

„Lassen sich die durch den Laser ausgelösten Änderungen wieder rückgängig machen, hat man im Grunde einen Schalter, der sich optisch aktivieren lässt und der zwischen verschiedenen elektronischen Zuständen wechseln kann“, erklärt Michael Bauer, Professor für Festkörperphysik an der CAU. Auf so einen Schaltprozess ließ bereits eine andere Studie schließen, in der Forschende aus den USA kürzlich die atomaren Bewegungen in Wolframditellurid direkt beobachten konnten. Die Physikerinnen und Physiker vom Institut für Experimentelle und Angewandte Physik der CAU konzentrierten sich in ihrer Studie nun auf das Verhalten der Elektronen und wie sich die elektronischen Eigenschaften in demselben Material durch die Bestrahlung mit Laserpulsen ändern.

Weyl-Halbmatalle mit ungewöhnlichen elektronischen Eigenschaften

„Einige Elektronen in Wolframditellurid sind extrem beweglich, was sie zu hervorragenden Informationsträgern für elektronische Anwendungen macht. Das liegt daran, dass sie sich wie sogenannte Weyl-Fermionen verhalten“, erklärt Physik-Doktorandin Petra Hein die ungewöhnlichen Eigenschaften des Materials, das auch als Weyl-Halbmatalle bezeichnet wird. Weyl-Fermionen sind masselose Teilchen mit speziellen Eigenschaften, die bisher nur indirekt als „Quasi-Teilchen“ in Festkörpern wie Wolframditellurid beobachtet werden konnten. „Wir konnten jetzt zum ersten Mal Änderungen in den Bereichen der elektronischen Struktur sichtbar machen, in denen sich diese Weyl-Eigenschaften zeigen.“

Schwingungen im Material ändern seine elektronischen Eigenschaften

Um die kaum sichtbaren Änderungen der elektronischen Eigenschaften zu erfassen, braucht es einen hochempfindlichen experimentellen Aufbau, extrem präzise Messungen sowie eine aufwendige Analyse der

gewonnenen Daten. In den vergangenen Jahren konnte das Kieler Forschungsteam so eine experimentelle Apparatur mit der notwendigen Langzeitstabilität entwickeln. Mit den dort erzeugten Laserpulsen versetzten sie die Atome im Inneren einer Probe Wolframditellurid in Schwingung. Es entstanden verschiedene, sich überlagernde Schwingungszustände, die wiederum die elektronischen Eigenschaften des Materials änderten. „Von einer dieser Schwingungen war bekannt, dass sie die elektronischen Weyl-Eigenschaften ändert. Wir wollten herausfinden, wie genau diese Änderung aussieht“, beschreibt Hein ein Ziel der Forschungsarbeit.

Serie von Momentaufnahmen zeigt, wie sich Eigenschaften verändern

Um diesen konkreten Änderungsprozess zu beobachten, bestrahlte das Forschungsteam das Material nach wenigen Pikosekunden mit einem zweiten Laserpuls. Er löste Elektronen aus der Probe heraus, von denen sich auf die elektronische Struktur des Materials rückschließen ließ. Die Methode wird als „zeitaufgelöste Photoelektronenspektroskopie“ bezeichnet. „Durch die kurze Belichtungszeit von nur 0,1 Pikosekunden erhalten wir eine Momentaufnahme des elektronischen Zustandes des Materials. Aus vielen solcher Einzelbilder können wir einen Film erstellen und so verfolgen, wie das Material auf die Anregung durch den ersten Laserpuls reagiert“, erklärt Dr. Stephan Jauernik die Messmethode.

Die Aufnahme eines einzigen solchen Datensatzes über den extrem kurzen Änderungsprozess dauerte typischerweise eine Woche. Eine Vielzahl solcher Datensätze wertete das Kieler Forschungsteam mit einem neuentwickelten Analyseansatz aus und konnten so die Änderungen in den elektronischen Weyl-Eigenschaften von Wolframditellurid sichtbar machen.

Extrem kurze Schaltprozesse denkbar

„Unsere Ergebnisse belegen das empfindliche und sehr selektive Wechselspiel zwischen den Schwingungsbewegungen der Atome des Festkörpers und den eigentümlichen elektronischen Eigenschaften von Wolframditellurid“, fasst Bauer zusammen. Darauf aufbauende Forschung soll untersuchen, ob derartige elektronische Schaltprozesse noch schneller – direkt durch den anregenden Laserpuls – ausgelöst werden können, wie es für andere topologische Materialien bereits theoretisch vorhergesagt wurde.

Fotos stehen zum Download bereit:

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/163-Weyl-1.jpg>

Bildunterschrift: Topologische Materialien wie Wolframditellurid, hier eine Probe in einer Ultrahochvakuum-Kammer, besitzen besondere elektronische Eigenschaften und sind sehr robust gegenüber äußeren Einflüssen.

© AG Bauer

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/163-Weyl-2.jpg>

Bildunterschrift: Um kaum sichtbare Änderungen der elektronischen Eigenschaften in Wolframditellurid zu erfassen, braucht es einen hochempfindlichen experimentellen Aufbau. Einen solchen hat das Kieler Forschungsteam in den vergangenen Jahren entwickelt.

© AG Bauer

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/163-Weyl-3.jpg>

Bildunterschrift: Physik-Doktorandin Petra Hein und Dr. Stephan Jauernik erstellten mithilfe von ultrakurzen Laserpulsen eine Serie von Momentaufnahmen: Sie zeigt, wie sich die Eigenschaften im Material verändern.

© AG Bauer

Details, die nur Millionstel Millimeter groß sind: Damit beschäftigt sich der Forschungsschwerpunkt »Nanowissenschaften und Oberflächenforschung« (Kiel Nano, Surface and Interface Science – KiNSIS) an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU). Im Nanokosmos herrschen andere, nämlich quantenphysikalische, Gesetze als in der makroskopischen Welt. Durch eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften und Life Sciences zielt der Schwerpunkt darauf ab, die Systeme in dieser Dimension zu verstehen und die Erkenntnisse anwendungsbezogen umzusetzen. Molekulare Maschinen, neuartige Sensoren, bionische Materialien, Quantencomputer, fortschrittliche Therapien und vieles mehr können daraus entstehen. Mehr Informationen auf <http://www.kinsis.uni-kiel.de>

contact for scientific information:

Prof. Dr. sc. nat. Michael Bauer
Institut für Experimentelle und Angewandte Physik
Arbeitsgruppe „Ultrakurzzeit-Dynamik“
Tel. +49 431 880-5098
Mail bauer@physik.uni-kiel.de
Web www.physik.uni-kiel.de/de/institute/ag-bauer

Original publication:

Hein, P., Jauernik, S., Erk, H., Yang, L., Qi, Y., Sun, Y., Felser, C. & Bauer, M.. Mode-resolved reciprocal space mapping of electron-phonon interaction in the Weyl semimetal candidate Td-WTe₂. Nat Commun 11, 2613 (2020).
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-16076-0>

URL for press release: <https://www.uni-kiel.de/de/detailansicht/news/163-weyl>

URL for press release: <http://www.kinsis.uni-kiel.de>



Topologische Materialien wie Wolframditellurid, hier eine Probe in einer Ultrahochvakuum-Kammer, besitzen besondere elektronische Eigenschaften und sind sehr robust gegenüber äußeren Einflüssen.

AG Bauer

AG Bauer



Um kaum sichtbare Änderungen der elektronischen Eigenschaften in Wolframditellurid zu erfassen, braucht es einen hochempfindlichen experimentellen Aufbau. Einen solchen hat das Kieler Forschungsteam in den vergangenen Jahren entwickelt.

AG Bauer

Ag Bauer