

Pressemitteilung

Universität Regensburg

UR

20.05.2021

<http://idw-online.de/de/news769120>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional



Der Vorteil von Randzuständen: Robuste Quanten-Hall-Zustände und ihr Mehrwert für Quantencomputer

Mit Unterstützung des Lehrstuhls für Quanten-Nanowissenschaft (Prof. Dr. Franz Gießibl) hat ein Team von Wissenschaftler:innen des National Institute for Standards and Technology in Gaithersburg, Maryland (USA), robuste Quantenzustände untersucht, die möglicherweise für Quantencomputer wichtig werden könnten.

Diese Quantenzustände mögen nicht unverwundbar sein wie Superman, aber Ensembles von Elektronen, welche sich an den Rändern ultradünner Leiter versammeln, haben ihre eigenen Superkräfte: Sie widerstehen Störungen wie Biegen, Dehnen, äußeren Magnetfeldern und Fehlstellen, welche in herkömmlichen Leitern die Bewegung von Elektronen behindern. Diese Ensembles von Elektronen, bekannt als Quanten-Hall-Randzustände, behalten unter all diesen Störungen ihre Eigenschaften. Ihre Widerstandsfähigkeit hat ungewöhnliche und erstaunliche physikalische Konsequenzen. Zum Beispiel erklären diese Zustände, warum die inneren Atomschichten mancher Materialien im Inneren Isolatoren sind, während ihre Ränder exzellente Leiter sind. Die Entdeckung dieser Materialien, bekannt als topologische Isolatoren, hat zu zwei Nobelpreisen in der Physik geführt.

Zudem erforschen Physiker, ob sich die Widerstandskraft der Quanten-Hall-Randzustände zum Bau von Quantenbits, den wesentlichen Bausteinen der Quanteninformation, nutzen lässt. Obwohl Quantenbits viel mehr Informationen als klassische Bits beinhalten, können ihre Quanteneigenschaften leicht gestört werden, was die enthaltene Information vernichtet. Quanten-Hall-Randzustände könnten eine stabile Alternative bilden.

Trotz all ihrer fesselnden Eigenschaften konnten Quanten-Hall-Randzustände bislang noch nicht abgebildet werden, obwohl sie zum Ohm'schen Widerstand des Materials beitragen, einer makroskopisch messbaren Größe. Nun ist das erstmals gelungen: Ein Team von Wissenschaftler:innen des National Institute of Standards and Technology (NIST) in Gaithersburg, Maryland (USA), konnte in Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen weltweit – darunter Physiker der Universität Regensburg - Bilder dieser Quanten-Hall-Randzustände aufnehmen und ihre Struktur und Größe vermessen. Die Ergebnisse sind vor Kurzem in Band 8 der Zeitschrift Nature Communications erschienen.

Das Team untersuchte die Quanten-Hall-Randzustände von Graphen – einer atomar dünnen Lage von Kohlenstoffatomen in der bekannten Bienenwaben-Struktur. Graphen ist von besonderem Interesse, weil es ein neues und robustes Standardmaß für den elektrischen Widerstand ermöglicht. Wenn es auf wenige Grad über dem absoluten Temperaturnullpunkt gekühlt und einem starken Magnetfeld ausgesetzt wird, zeigt Graphen den Quanten-Hall-Effekt. Der Quanten-Hall-Effekt zeigt sich in einer Quantisierung der sogenannten Hall-Spannung, einer Spannung quer zur Stromrichtung einer Probe, die von einem Magnetfeld durchsetzt wird. Teilt man diese Hall-Spannung durch die Stromstärke und trägt man dieses Verhältnis als Funktion der magnetischen Feldstärke auf, so erhält man den quantisierten, in Stufen verlaufenden Quanten-Hall-Widerstand, der mit einer Präzision von eins zu einer Milliarde gemessen werden kann und lediglich auf zwei Naturkonstanten beruht: auf der Elementarladung des Elektrons und dem Planck'schen Wirkungsquantum.

Die Randströme verraten sich durch ihr elektrisches Feld, welches von der empfindlichen Abtastspitze eines Rasterkraftmikroskops nachgewiesen wurde. Das Team vermaß die Energien dieser Randzustände und ihre räumliche Ausdehnung von lediglich 10 Nanometern (Milliardstel Meter) oder etwa 40 Atomdurchmessern.

Um den Quanten-Hall-Effekt im Graphen besser verstehen zu können, benutzten die Forscher:innen ein speziell entwickeltes Kombiinstrument, welches Rastertunnelmikroskop, Rasterkraftmikroskop und ein Gerät zur Messung der Stromleitungseigenschaften in Abhängigkeit der magnetischen Feldstärke vereint. Dieses „Three-in-One-Gerät“, welches das Team als Schweizer Taschenmesser der Materialforschung bezeichnet hat, ist für das Studium von Quantenmaterialien wie Graphen von entscheidender Wichtigkeit. Für viele gewöhnliche Materialien kann man Quanteneffekte auf makroskopischem Maßstab vernachlässigen. In Quantenmaterialien dagegen bestehen starke Quanteneffekte auch auf einer Skala von Millimetern oder mehr. Diese Effekte führen zu bemerkenswerten Eigenschaften, wie den Quanten-Hall-Randzuständen, die für neue Technologien nutzbar gemacht werden können, aber mit einer Fülle von Instrumenten studiert werden müssen.

Das Team untersucht weiter, wie die Energiewerte und örtlichen Verteilungen der Quanten-Hall-Randzustände den theoretischen Vorhersagen entsprechen. Es ist geplant, Quanten-Hall-Widerstände aus zwei gegeneinander verdrehten Graphenlagen zu untersuchen. „Die rotierten Schichten könnten neuartige Randzustände mit bislang unbekanntem Eigenschaften zeigen. Sie könnten neue Forschungsgebiete mit möglichen Anwendungen in der Quantenkommunikation etablieren“, erklärt Dr. Joseph Stroschio vom NIST, der Leiter der Studie.

Die Zusammenarbeit wurde unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, SFB 1277.

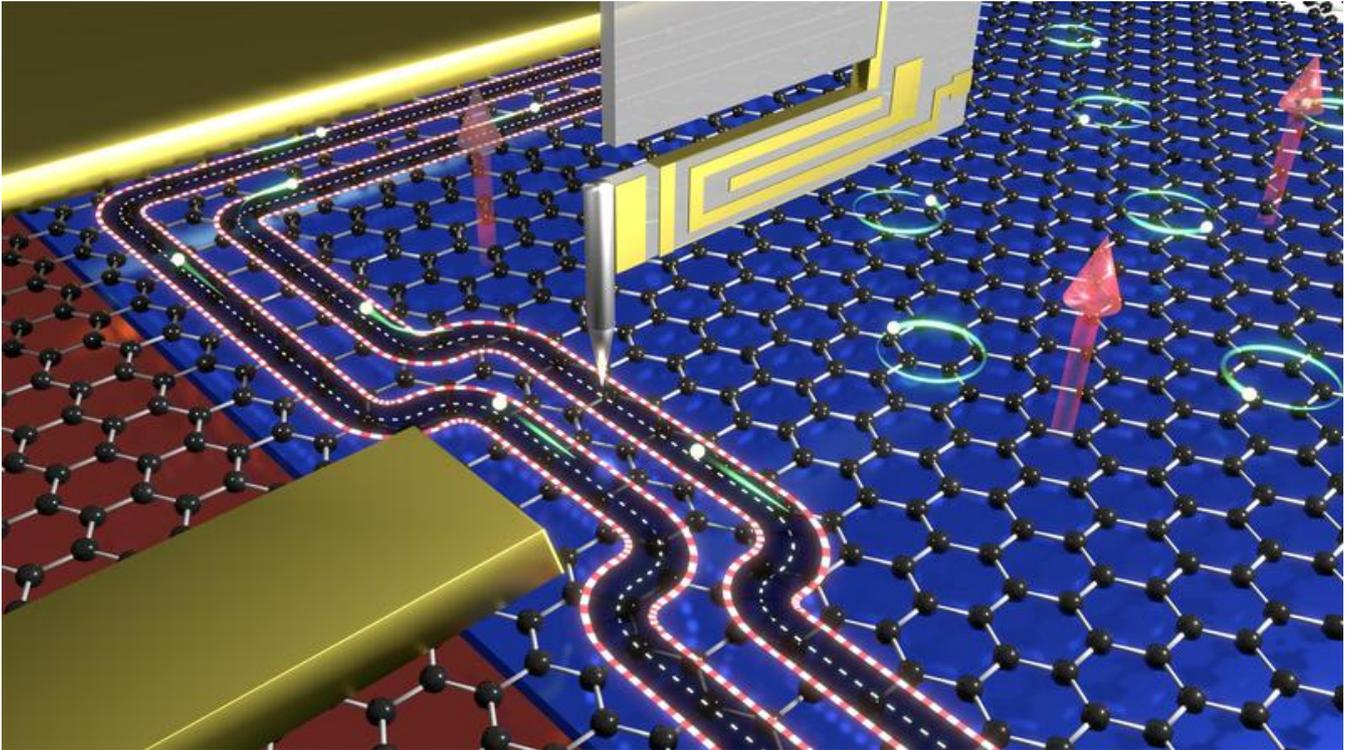
wissenschaftliche Ansprechpartner:

Dr. Joseph A Stroschio (NIST)
E-Mail joseph.stroschio@nist.gov
Telefon 001 (301) 975-3716

Prof. Dr. FranzJ. Giessibl (UR)
E-Mail franz.giessibl@ur.de
Telefon 0049 941 9432105

Originalpublikation:

S. Kim, J. Schwenk, D. Walkup, Y. Zeng, F. Ghahari, S.T. Le, M.R. Slot, J. Berwanger, S.R. Blankenship, K. Watanabe, T. Taniguchi, F.J. Giessibl, N.B. Zhitenev, C.R. Dean, and J.A. Stroschio. Edge Channels of Broken-Symmetry Quantum Hall States in Graphene visualized by Atomic Force Microscopy. *Nature Communications*, 2021. DOI: [10.1038/s41467-021-22886-7](https://doi.org/10.1038/s41467-021-22886-7)
<https://doi.org/10.1038/s41467-021-22886-7>



Schematische Skizze der Quanten-Hall-Randzustände im Graphen, abgedeutet in einem Rasterkraftmikroskop.
© Sungmin Kim/NIST