

Mit Diamanten den Eigenschaften zweidimensionaler Magnete auf der Spur

25/04/2019 Universität Basel

Physikern der Universität Basel ist es erstmals gelungen, die magnetischen Eigenschaften von atomar dünnen Van-der-Waals-Materialien auf der Nanometerskala zu messen. Mittels Diamant-Quantensensoren konnten sie die Stärke von Magnetfeldern an einzelnen Atomlagen aus Chromtriiodid ermitteln. Zudem haben sie eine Erklärung für die ungewöhnlichen magnetischen Eigenschaften des Materials gefunden. Die Zeitschrift «Science» hat die Ergebnisse veröffentlicht.

Der Einsatz von zweidimensionalen Van-der-Waals-Materialien verspricht Innovationen in zahlreichen Bereichen. Wissenschaftler weltweit untersuchen immer neue Möglichkeiten, verschiedene einlagige Atomschichten zu stapeln und damit neue Materialien mit besonderen Eigenschaften herzustellen.

Diese superdünnen Verbundstoffe werden durch Van-der-Waals-Kräfte zusammengehalten und verhalten sich oft anders als dreidimensionale Kristalle des gleichen Materials. Unter den Materialien, die nur eine Atomlage dünn sind, gibt es Isolatoren, Halbleiter, Supraleiter und auch einige wenige mit magnetischen Eigenschaften. Ihr Einsatz in der Spintronik oder als winzige magnetische Speicher ist sehr vielversprechend.

Erstmals präzise Messung der Magnetisierung

Bisher war es nicht möglich, die Stärke, Ausrichtung und Struktur dieser Magnete quantitativ und auf der Nanometerskala zu bestimmen. Das Team um Georg-H.-Endress-Professor Dr. Patrick Maletinsky vom Departement Physik und Swiss Nanoscience Institute der Universität Basel hat nun gezeigt, dass der Einsatz von Diamantspitzen mit einzelnen Elektronen-Spins in einem Rasterkraftmikroskop für derartige Untersuchungen bestens geeignet ist.

«Wir eröffnen mit unserer Methode, die einzelne Spins in Diamantfehlstellen als Sensoren nutzt, einen ganz neuen Bereich. Von nun an lassen sich die magnetischen Eigenschaften von zweidimensionalen Materialien auf der Nanoskala und sogar auf quantitative Art und Weise untersuchen. Unsere neuartigen Quantensensoren sind für diese komplexe Aufgabe bestens geeignet», kommentiert Patrick Maletinsky.

Anzahl der Schichten entscheidend

Mit dieser in Basel entwickelten und auf einem einzelnen Elektronenspin basierenden Technik haben die Wissenschaftler zusammen mit Forschenden der Universität Genf nun die magnetischen Eigenschaften von einzelnen Atomlagen aus Chromtriiodid (CrI_3). Damit konnten die Forscher auch die Antwort auf eine zentrale, wissenschaftliche Frage zum Magnetismus dieses Materials finden.

Als dreidimensionaler Kristall ist Chromtriiodid vollständig magnetisch geordnet. Bei wenigen atomaren Lagen weisen jedoch nur Stapel mit einer ungeraden Anzahl an Atomschichten eine Magnetisierung auf. Stapel mit einer geraden Zahl an Lagen zeigen sogenannte «antiferromagnetische» Eigenschaften, sind also nicht magnetisiert. Die Ursache für diese Abhängigkeit war bisher nicht bekannt.

Verspannung als Ursache

Das Maletinsky-Team konnte nun zeigen, dass dieses Phänomen auf der besonderen Schichtung der Lagen beruht. Durch die Probenpräparation verschieben sich die einzelnen Chromtriiodid-Lagen leicht gegeneinander. Die resultierenden Verspannungen im Gitter bewirken, dass sich die Spins aufeinanderfolgender Lagen nicht in die gleiche Richtung ausrichten können. Stattdessen wechselt sich die Spinrichtung in den Schichten ab. Bei einer gleichen Anzahl von Lagen heben sich die Magnetisierungen somit auf, bei einer ungeraden Anzahl entspricht die Stärke des gemessenen Magnetfeldes dem einer einzelnen Schicht.

Werden die Verspannungen zwischen den Schichten jedoch gelöst, beispielsweise durch eine Punktion der Probe, richten sich die Spins aller Schichten gleich aus - wie das auch in dreidimensionalen Kristallen beobachtet wird. Die Magnetstärke des ganzen Stapels entspricht dann der Summe der einzelnen Schichten.

Die Arbeit der Basler Wissenschaftler beantwortet damit nicht nur eine zentrale Frage der zweidimensionalen Van-der-Waals-Magnete. Sie eröffnet auch interessante Perspektiven, wie ihre innovativen Quantensensoren in Zukunft zum Studium zweidimensionaler Magnete genutzt werden können um damit zur Entwicklung neuartiger elektronischer Bausteine beizutragen.

Full bibliographic information

L. Thiel, Z. Wang, M. A. Tschudin, D. Rohner, I. Gutiérrez-Lezama, N. Ubrig, M. Gibertini, E. Giannini, A. F. Morpurgo, and P. Maletinsky

Probing magnetism in 2D materials at the nanoscale with single spin microscopy

Science (2019), doi: 10.1126/science.aav6926

Attached files



Ein Diamant-Quantensensor wird genutzt, um die magnetischen Eigenschaften von einzelnen Atomlagen aus Chromtriiodid quantitativ zu untersuchen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Richtung der Spins in aufeinanderfolgenden Chromtriiodid-Lagen abwechselt. (Universität Basel, Departement Physik)