



24. November 2014

Pressemeldung

Atomare Anordnung als Schlüssel für Materialeigenschaften

Materialwissenschaftler erzielen Fortschritt in der Nanotechnologie durch atomare Kontrolle der Materialeigenschaften von Dünnschichtsystemen

Wie kann die Speicherkapazität von Mikrochips erhöht werden? Wie verbessert man die Eigenschaften von Halbleitern? Materialwissenschaftler suchen schon lange nach einer Möglichkeit die physikalischen Eigenschaften von Materialien auf atomarer Skala zu kontrollieren und dadurch ihre Eigenschaften zu verbessern.

Nanoforscher des Düsseldorfer Max-Planck-Instituts für Eisenforschung (MPIE) sind zusammen mit Kollegen der Universitäten Groningen (Niederlande), Zaragoza (Spanien), Tarragona (Spanien) und München, und Forschungsinstituten in Toulouse (Frankreich) und Barcelona (Spanien) dieser Herausforderung einen Schritt näher gekommen. Für die Kontrolle von Materialeigenschaften sind besonders Oxide interessant, da bereits kleine Modifikationen ihrer atomaren Struktur einen großen Einfluss auf ihre magnetischen und elektrischen Eigenschaften haben. Aus früheren Arbeiten ist bekannt, dass die für Halbleiter und Speichermedien interessante Materialkombination Terbium-Mangan-Oxid zwei wesentliche Eigenschaften kombiniert: sie ist sowohl ferroelektrisch als auch ferromagnetisch¹ bis zu einer Materialdicke von ca. 80 Nanometern. Im Vergleich dazu ist ein menschliches Haar etwa 80.000 Nanometer dick. Diese Eigenschaften sind besonders wichtig, weil sie zum Beispiel die Kapazität von Datenspeichern bestimmen. Ist das Material dicker als 80 Nanometer, so ist es nur noch ferroelektrisch. In der Materialwissenschaft wurde lange diskutiert, warum diese Materialkombination gleichzeitig diese beiden Eigenschaften aufweist – aus dieser Erkenntnis erhoffte sich die Fachwelt die Eigenschaften besser kontrollieren zu können.

„Die Materialkombination aus Terbium-Mangan-Oxid wird als Dünnschichtfilm auf ein Substrat aus Strontium-Titan-Oxid aufgetragen. Lange sind wir davon ausgegangen, dass die ferromagnetischen und –elektrischen Eigenschaften im Wesentlichen durch die Grenzfläche zwischen Dünnschicht und Substrat bestimmt werden. Jetzt können wir zeigen, dass sich innerhalb der Terbium-Mangan-Oxid Dünnschicht eine neue Phase, eine sogenannte Domänenwand, als Grenze zwischen zwei Bereichen bildet, welche die Eigenschaften für unser System dominiert. Die Terbium-Atome sitzen dabei in einer Zick-Zack-Linie entlang der Kristallstruktur des Dünnschichtfilms. Wenn sich zwei solcher Zick-Zack-Linien an einer Domänenwand treffen, verursacht dies Spannungen. Das Faszinierende ist, dass innerhalb dieser Domänenwand ein Terbium-Atom durch ein Mangan-Atom ausgetauscht wird. Genau diese zusätzlichen Mangan-Atome verursachen die magnetischen Eigenschaften der

¹ Das Präfix „Ferro“ bezeichnet alles was im chemischen Sinne mit Eisen zu tun hat.



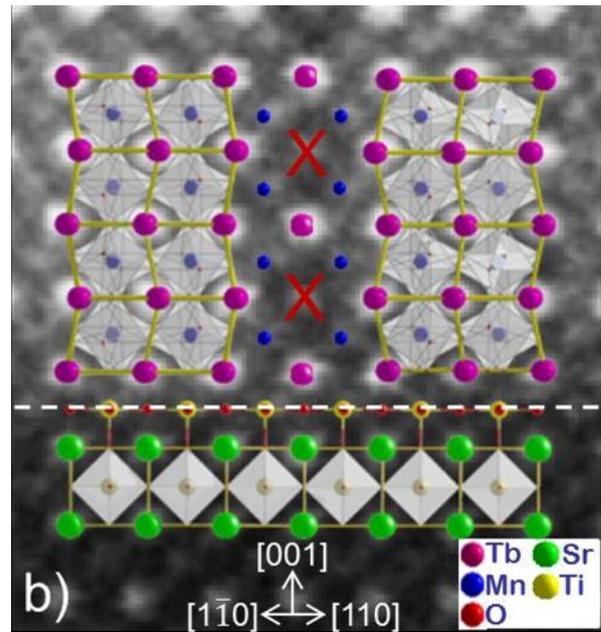
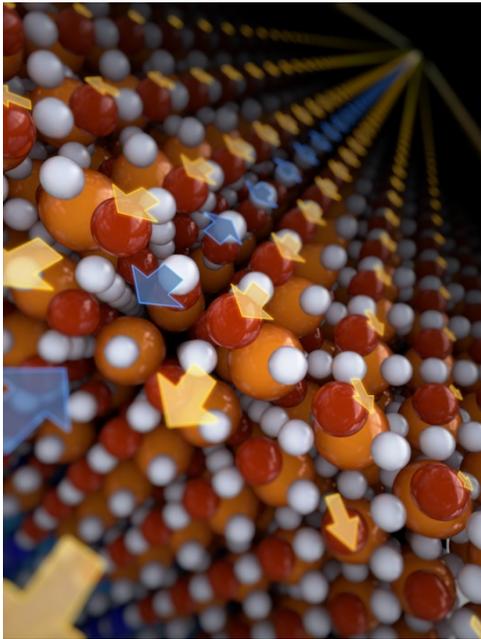
Dünnschicht“, erläutert Dr. Sriram Venkatesan, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in der Abteilung Struktur und Nano- / Mikromechanik von Materialien. Eine Phase ist hierbei ein räumlicher Bereich innerhalb eines Materials, bei dem die Zusammensetzung der Materie und bestimmende physikalische Parameter, wie die magnetischen Eigenschaften oder die Dichte, homogen sind.

„Wir können die Anzahl der Domänenwände sehr gut kontrollieren. Während man früher dachte, Domänenwände müssten bei der Herstellung der Materialschichten vermieden werden, wissen wir jetzt, dass wir sie nutzen können, um die Materialeigenschaften zu beeinflussen“, erklärt Prof. Christina Scheu, Leiterin der unabhängigen Forschungsgruppe ‚Nanoanalytik und Grenzflächen‘ am MPIE. Zusammen mit Dr. Sriram Venkatesan und Alexander Müller, Doktorand in ihrer Gruppe, war sie an der Aufklärung der atomaren Struktur und chemischen Zusammensetzung innerhalb des Forschungsprojekts von Frau Prof. Beatriz Noheda (Universität Groningen) beteiligt. Hintergrund ist, dass innerhalb der Domänenwände die Symmetrie der Atome im Kristall aufgebrochen wird. Dadurch weisen Domänenwände andere Eigenschaften als der Rest des Materials auf. „Je dünner die Materialschichten, desto mehr Domänenwände entstehen. Und je mehr Wände es gibt, desto magnetischer das Material“. Die Wissenschaftler nehmen an, dass dieser Effekt bei allen Zick-Zack-Mustern auftritt und somit die atomare Struktur und chemische Zusammensetzung der Domänenwände eine zentrale Rolle für die Eigenschaften einnehmen.

Die internationale Forschergruppe hat ihre Erkenntnisse mittels Computersimulationen und Experimenten verifiziert. Die Nutzung der Domänenwände in komplexen Oxiden zur Beeinflussung von Materialeigenschaften kann auch auf andere Materialsysteme angewendet werden und öffnet somit den Weg für neue und optimierte Anwendungen in der Halbleiterindustrie und Spintronik, ein neues Forschungsgebiet in der Nanoelektronik. Die Zukunft von Speichermedien und Computern kann somit maßgeblich beeinflusst werden.

Publikation:

S. Farokhipoor, C. Magén, S. Venkatesan, J. Íñiguez, C.J.M. Daumont, D. Rubi, E. Snoeck, M. Mostovoy, C. de Graaf, A. Müller, M. Döblinger, C. Scheu & B. Noheda: Artificial chemical and magnetic structure at the domain walls of an epitaxial oxide. In: Nature 515, 379–383, (20 November 2014), doi:10.1038/nature13918



Links: Graphische Darstellung der Domänenwände. Foto: Nymus3D

Rechts: Ergebnis einer Transmissionselektronenmikroskop-Messung. Durch die Manipulation der Domänenwände (im Bild durch die Punkt-X-Linie erkennbar), die bis zu 5 Nanometer dick sind, können neue Herstellungsmethoden für nanoskalige Systeme entwickelt werden. Diese neue Herangehensweise verspricht die Kapazität von Speichermedien zu vergrößern. Foto: Nature, doi:10.1038/nature13918

Am MPIE wird moderne Materialforschung auf dem Gebiet von Eisen, Stahl und verwandten Werkstoffen betrieben. Ein Ziel der Untersuchungen ist ein verbessertes Verständnis der komplexen physikalischen Prozesse und chemischen Reaktionen dieser Werkstoffe. Außerdem werden neue Hochleistungswerkstoffe mit ausgezeichneten physikalischen und mechanischen Eigenschaften für den Einsatz als high-tech Struktur- und Funktionsbauteile entwickelt. Auf diese Weise verbinden sich erkenntnisorientierte Grundlagenforschung mit innovativen, anwendungsrelevanten Entwicklungen und Prozesstechnologien. Das MPIE wird zu gleichen Teilen von der Max-Planck-Gesellschaft und dem Stahlinstitut VDEh finanziert.

Autor:

Yasmin Ahmed Salem, M.A.
 Referentin für Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
 E-Mail: y.ahmedsalem@mpie.de
 Tel.: +49 (0) 211 6792 722
www.mpie.de

