

SFB 668, Universität Hamburg, Jungiusstr. 9a, 20355 Hamburg

Sonderforschungsbereich 668 und
Landesexzellenzcluster Hamburg
"NANO-Spintronics"

Pressemitteilung

Universität Hamburg
Jungiusstr. 9a
20355 Hamburg
Dipl.-Chem. Heiko Fuchs
Öffentlichkeitsarbeit
Tel.: (0 40) 428 38 – 6959
Fax: (0 40) 428 38 – 2409
hfuchs@physnet.uni-hamburg.de

Hamburg, 05.05.2011

Logik mit Atomen: das kleinste „Oder“ der Welt

Wissenschaftler der Universität Hamburg konnten erstmals ein funktionierendes Spintronik-Logik-Bauteil verwirklichen, das aus wenigen magnetischen Atomen aufgebaut ist. Wie die renommierte Zeitschrift „Science“ in der Ausgabe vom 5. Mai 2011 berichtet, ist beim Schalten des realisierten logischen Oder-Gatters im Gegensatz zu herkömmlichen elektronischen Bauteilen kein Stromfluss nötig, da nur die magnetische Ausrichtung der Atome umgeschaltet wird. Dieser spektakuläre Durchbruch im Bereich der Nano-Spintronik zeigt auf, wie zukünftige Computerbausteine aussehen könnten: Atomar klein, bis zu 10.000 Gigahertz schnell und das fast ohne Stromverbrauch!

Jeder Besitzer eines mobilen Computers kennt das Problem: Den leistungsfähigen Geräten geht oft viel zu schnell die Puste aus, da der Akku wie von Zauberhand schon wieder leer ist. Gerade aktuelle Smartphones sind davon betroffen, denn diese halten oft nur einen Arbeitstag durch, bevor sie wieder dringend an die Steckdose müssen. Schuld daran sind die hellen Displays und die herkömmliche Halbleiter-Elektronik, die zur Datenverarbeitung die elektrische Ladung nutzt. Da die Miniaturisierung von Halbleiter-Bauelementen bald an ihre Grenze stößt, wird schon lange nach einem neuen Konzept für Logik-Bauteile auf kleinstmöglicher Skala gesucht.

Einen viel versprechenden Ansatz bietet die Spintronik. In dieser Technologie wird nicht nur die Ladung der Elektronen genutzt, sondern auch deren „Spin“. Dieser Elektronen-Spin ist eine quantenmechanische Eigenschaft und kann vereinfacht als Drehung der Elektronen um ihre eigene Achse verstanden werden. Diese Drehung erzeugt ein magnetisches Moment und daher kann man ein einzelnes Elektron stark vereinfacht als winzige Kompassnadel ansehen, die, je nachdem wie herum sich das Elektron dreht, nach Norden oder Süden zeigt.

Um das völlig neuartige Nano-Spintronik-Bauteil zu verwirklichen, brachten die Hamburger Physiker um Dr. Alexander Khajetoorians und Dr. Jens Wiebe, aus der Forschergruppe von Prof. Roland Wiesendanger, Kobalt auf eine Kupferoberfläche auf. Dabei entstanden dreieckige Inseln, die aus ca. 100 Kobalt-Atomen bestehen. Anschließend benutzten die Wissenschaftler die atomarscharfe Nadel eines sogenannten Rastertunnelmikroskops als Werkzeug, um zwei der Kobalt-Inseln mit Ketten aus einzelnen Eisen-Atomen zu verbinden (siehe Abb. 1). Wichtig war dabei, dass die Eisen-Atome in

definierten Abständen zueinander und zu den Kobalt-Inseln auf der Kupferoberfläche angeordnet wurden.

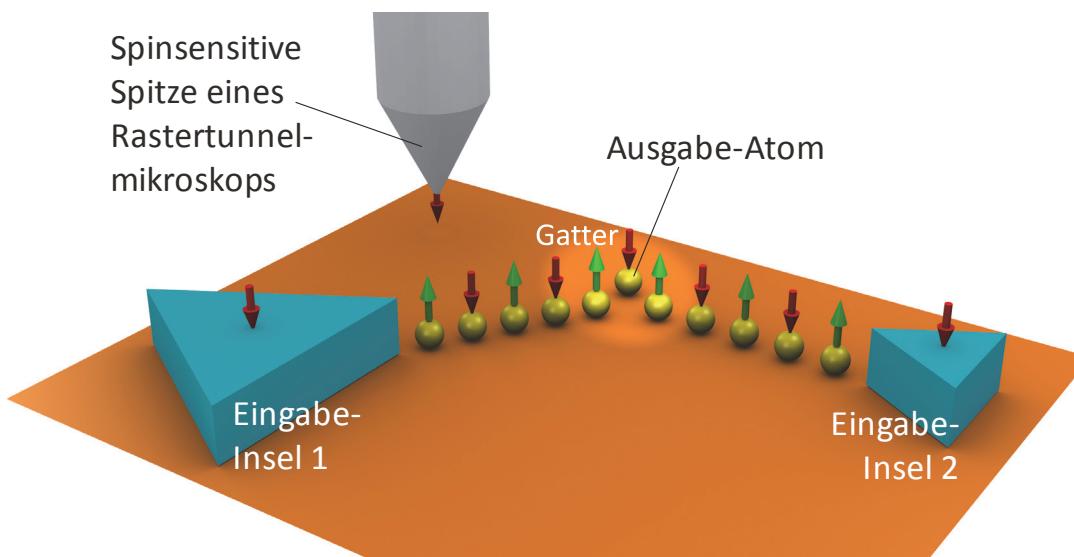


Abb. 1: Die Abbildung zeigt den Aufbau des kleinsten Nano-Spintronik-Logikgatters der Welt. Die dreieckigen Strukturen sind magnetische Kobalt-Inseln mit einer Höhe von zwei Atomlagen und die gelben Kugeln symbolisieren einzelne Eisen-Atome. Die roten und grünen Pfeile zeigen die magnetische Ausrichtung an. Die Größe des eigentlichen logischen Gatters aus drei Eisen-Atomen beträgt ca. 3 Nanometer.

Die beiden Kobalt-Inseln sind die Eingabe-Einheiten für die zu verarbeitenden magnetischen Informationen. In der Mitte des Spintronik-Bauteils, dort wo die beiden Ketten auf einander treffen, liegt ein einzelnes Eisen-Atom, das als Ausgabe-Einheit dient und in Abhängigkeit von der Eingabe über die Kobalt-Inseln logisch geschaltet wird. Der magnetische Zustand des Ausgabe-Atoms wird mit Hilfe der spinsensitiven Nadel des Rastertunnelmikroskops ausgelesen, die dafür mit einem magnetischen Material beschichtet wurde.

Durch die definierten Abstände der Eisen-Atome zueinander und zu den Kobaltinseln nehmen die Spins der Atome einen anti-parallelen Zustand ein, d.h. die winzigen Kompassnadeln zeigen von Atom zu Atom in entgegengesetzte Richtungen.

Ändert man nun die magnetische Ausrichtung der beiden Eingabe-Inseln, dann richten sich die Spins der Eisen-Atome auch wieder anti-parallel zu den Inseln aus und ähnlich wie bei einem Dominospiel kippen die Kompassnadeln nacheinander um und passen sich der neuen Eingabe an. Das Ausgabe-Atom wird dabei logisch geschaltet (siehe Abb. 2). Wie die Hamburger Wissenschaftler in einer früheren Arbeit bereits festgestellt hatten, erfolgt der Umschaltprozess eines der Spins in einer extrem kurzen Zeit von einem Zehnbillionstel einer Sekunde, was extrem schnelle Schaltfrequenzen der neuartigen Bauteile erwarten lässt (siehe A. A. Khajetoorians et al., Phys. Rev. Lett. **106**, 037205 (2011)).

Mit ihrer Arbeit konnten die Hamburger Forscher weltweit erstmalig die Vorteile der Nano-Spintronik auf atomarer Skala experimentell demonstrieren:

- **Höhere Energieeffizienz:** Da für das Schalten der Nano-Spintronik-Bauteile kein elektrischer Strom benötigt wird, verbrauchen diese Bauteile erheblich weniger Energie als herkömmliche Halbleiterbauteile. Leistungsfähige Mobil-Geräte, die wochenlang nicht aufgeladen werden müssen, sind damit vorstellbar. Angesichts der globalen Verknappung von Energieressourcen stellt die Steigerung der Energieeffizienz von Computer-Prozessoren eine der wesentlichen Herausforderungen des Informationszeitalters dar.
- **Schnellere Bauteile:** Deutlich höhere Taktfrequenzen machen heutigen Halbleiter-Systemen stark zu schaffen, da durch den Ladungstransport bei höheren Frequenzen mehr Abwärme

produziert wird, die nicht nur zu einem hohen Energieverlust führt, sondern den Halbleiterschaltkreis auch zerstören kann. Da in dem von den Hamburger Forschern konzipierten Nano-Spintronik-Bauteil keine Ladung transportiert wird, gibt es keine thermischen Probleme und so sind Taktfrequenzen bis 10.000 Gigahertz vorstellbar.

- **Kleinere Bauteile:** Da Nano-Spintronik-Bauteile nach Art der hier demonstrierten logischen Gatter aus wenigen Atomen aufgebaut werden können, sind sowohl deutlich kleinere als auch komplexere Bauteile möglich als mit der herkömmlichen Halbleiter-Technologie.
- **Nichtflüchtiger Speicher:** Die Verwendung des Spins als Übermittler der Information hat einen weiteren Vorteil. Es bleiben alle Informationen auch nach dem Ausschalten eines Bauteils erhalten, da diese magnetisch und nicht elektronisch gespeichert sind. Das würde beim Starten eines Spintronik-Computers den langwierigen Bootvorgang überflüssig machen, das System würde einfach weiter machen, als wäre es nie ausgeschaltet worden. Außerdem sind neuartige Hybrid-Bauteile vorstellbar, die Speicher- und Rechenkomponenten enthalten.

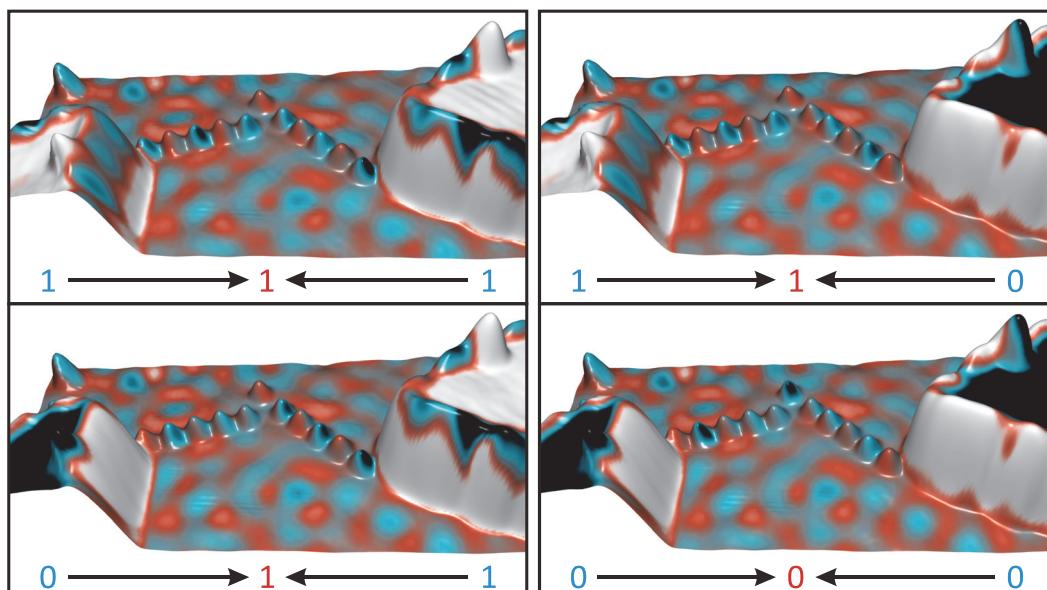


Abb. 2: Bilder des Nano-Spintronik-Logikgatters, das mit der Nadel eines spinsensitiven Rastertunnelmikroskops ausgelesen wurde. Es handelt sich bei dem Bauteil um ein „Oder-Gatter“, d. h. zeigt der Spin von beiden Eingabe-Inseln nach unten (D), dann zeigt auch der Spin des Ausgabe-Atoms nach unten (blau). Zeigen die Spins einer oder beider Inseln nach oben (A-C), so wird auch der Spin des Ausgabe-Atoms nach oben ausgerichtet (rot).

Originale Veröffentlichung:

“Realizing All-Spin Based Logic Operations Atom by Atom”,

A. A. Khajetoorians, J. Wiebe, B. Chilian, and R. Wiesendanger, Science (2011), published online May 5 (DOI: 10.1126/science.1201725).

Weitere Informationen:

Dipl.-Chem. Heiko Fuchs (Öffentlichkeitsarbeit)
 Prof. Dr. Roland Wiesendanger
 Sonderforschungsbereich 668
 LEXI-Cluster NANO-SPINTRONICS
 Universität Hamburg
 Institut für Angewandte Physik
 Jungiusstr. 9A
 20355 Hamburg

Tel.: (0 40) 4 28 38 - 69 59
 Tel.: (0 40) 4 28 38 - 52 44
 Fax.: (0 40) 4 28 38 - 24 09
 E-Mail: hfuchs@physnet.uni-hamburg.de
 E-Mail: wiesendanger@physnet.uni-hamburg.de
 Webseite: www.sfb668.de
 Webseite: www.nanoscience.de/lexi