



Datenspeicher gehen ins Netz

Die Magnetisierung von Eisenatomen in einem metallorganischen Netz lässt sich mit Sauerstoff beeinflussen - so werden extrem dichte Datenspeicher möglich

Dichter ließe sich ein Datenspeicher kaum packen: Ein internationales Forscher-Team, an dem auch Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Festkörperforschung in Stuttgart beteiligt waren, hat die Grundlagen geschaffen, um Bits jeweils in einzelnen Eisenatomen zu speichern. Nach einer Methode, die am Stuttgarter Max-Planck-Institut entwickelt wurde, haben die Forscher auf einer Kupferoberfläche ein Netz aus Eisenatomen und Terephthalsäuremolekülen geknüpft. Die Eisenatome bilden dabei die Knoten des Netzes, die durch die organischen Moleküle verbunden sind. Jedes Eisenatom könnte in seinem magnetischen Moment ein Datenbit speichern. Gewöhnlich liegt das Moment nämlich wie ein winziger Stabmagnet in der Ebene des Netzes. Fügen die Wissenschaftler Sauerstoff hinzu, setzt dieser sich auf das Eisen und klappt den Stabmagneten aus der Ebene heraus. Die beiden magnetischen Orientierungen können für die Null oder Eins eines Bits stehen. (Nature Materials, März 2009)

Max-Planck-Gesellschaft
zur Förderung
der Wissenschaften e.V.
Referat für Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit

Hofgartenstraße 8
80539 München

Postfach 10 10 62
80084 München

Tel.: +49 (0)89 2108 - 1276
Fax: +49 (0)89 2108 - 1207
presse@gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de

**Leiterin
Wissenschaftskomm.:**
Dr. Christina Beck (-1275)

**Pressesprecherin / Leiterin
Unternehmenskomm.:**
Dr. Felicitas von Aretin (-1227)

Chefin vom Dienst:
Barbara Abrell (-1416)

ISSN 0170-4656

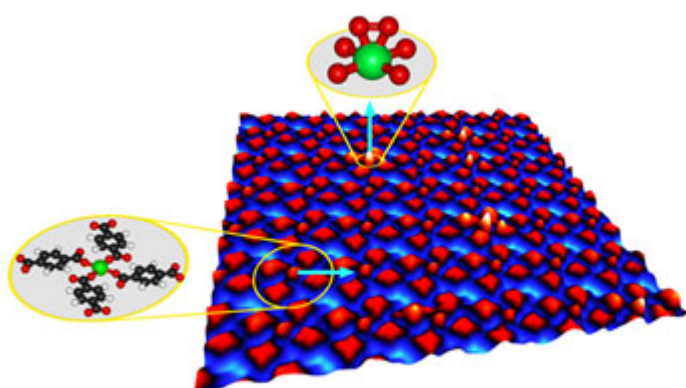


Abb. *Richtungsentscheidung: Ein Netz aus Eisen und einer organischen Säure ändert sich die Orientierung des magnetischen Stabmagnete an einem Eisenatom, wenn sich ein Sauerstoffmoleküle auf diese setzen. Mit Sauerstoffkrone steht das magnetische Moment senkrecht zur Netzebene, ohne liegt es waagrecht darin. Das große Bild zeigt die Aufnahme eines Rastertunnelelektronenmikroskops; die Ausschnitte*

illustrieren den chemischen Aufbau (grün - Eisen; schwarz - Kohlenstoff; weiß - Wasserstoff und rot - Sauerstoff), oben mit adsorbiertem Sauerstoff und unten ohne.

Bild: Max-Planck-Institut für Festkörperforschung

Die größten Festplatten speichern derzeit rund 400 Gigabits pro Quadratzoll, auf jedem Quadratzentimeter also etwa 60 Gigabits. Das ist viel, aber es geht noch mehr. In dem Netz aus Eisenatomen und organischen Molekülen, das die Wissenschaftler nun geknüpft haben, fänden im Prinzip 700-mal mehr Datenpunkte Platz, nämlich knapp 50 Billionen pro Quadratzentimeter.

Nur 1,5 Nanometer Abstand trennen die Eisenatome in dem Netz, einem zweidimensionalen quadratischen Gitter. Zu diesem Gitter verbinden sich Eisen und Terephthalsäure von selbst auf einer Kupferoberfläche, wie auch Kochsalz ein regelmäßiges Gitter und keinen wilden Haufen bildet. Die Forscher müssen sie nur im richtigen Mischungsverhältnis und bei geeigneter Temperatur in einer Vakuumkammer verdampfen. "Metall und Säure vernetzen sich dann dank der besonderen Eigenschaften der Stoffe und dank der Kupferoberfläche, die als Ordnungshilfe wirkt", sagt Sebastian Stepanow, der an der Arbeit maßgeblich beteiligt war.

An die Kupferoberfläche heften sich sowohl die Moleküle der organischen Säure als auch die Eisenatome, da sie ungern einsam im luftleeren Raum schweben. Die Säuremoleküle formen an zwei Enden Zangen, die begierig nach Metallatomen greifen. Die auf der Kupferoberfläche sitzenden Eisenatome bieten ihrerseits genügend Platz, um sich an vier Seiten von den Säurezangen packen zu lassen. Auf diese Weise entstehen propellerartige Komplexe. Durch die Bindungen der Moleküle untereinander wächst peu à peu das metallorganische Netz.

Schaltung zwischen Null und Eins

Als Datenspeicher taugt dieses Netz aber nur, wenn die Eisenatome sich zwischen zwei Einstellungen hin und her schalten lassen. Nur dann können sie Bits codieren. Eine Einstellung steht für die Null, die andere für die Eins, die beiden Buchstaben des digitalen Alphabets. Eine Eigenschaft, die sich zwischen zwei Zuständen hin und her schalten lässt, ist das magnetische Moment eines Atoms - wenn man es clever angeht.

Das magnetische Moment eines Eisenatoms wird vom Spin bestimmter Elektronen erzeugt und macht es zu einem winzigen Stabmagneten. Der Spin eines Elektrons gibt, anschaulich ausgedrückt, wieder wie sich ein Elektron um sich selbst dreht. Gewöhnlich liegen die Spins wahllos im Raum, es sei denn sie spüren ein äußeres Magnetfeld - deshalb wird ein Stück Eisen an einem Permanentmagneten selbst magnetisch. Oder die chemische Umgebung des Eisens zwingt die Spins in eine bestimmte Richtung. Den zugrundeliegenden Effekt nennen Physiker Spin-Bahn-Kopplung. Dabei orientieren sich die Spins nach der Richtung des Magnetfeldes respektive an ihrer chemischen Umgebung. Die Elektronen laufen auf räumlich gerichteten Bahnen, das heißt im Prinzip nicht auf einem Kreis, um den Atomkern. So wird ein Eisenatom zu einem Stabmagneten.

"Genau das passiert in unserem metallorganischen Netz auf der Kupferoberfläche, so dass die Stabmagnete alle waagrecht in dem Netz liegen", sagt Sebastian Stepanow. Der Grund: In dem metallorganischen Netz bewegen sich die Elektronen, die das magnetische Moment erzeugen, auf anderen Bahnen als in einem massiven Eisenstück. Und die räumliche Lage der Elektronen-Bahn gibt dem magnetischen Moment eine bevorzugte Lage.

Sauerstoff im metallorganischen Netz

Gibt es eine derart bevorzugte Richtung sprechen Physiker von einer Anisotropie. "Wir können diese Anisotropie nun gezielt beeinflussen", sagt Klaus Kern. Zu diesem Zweck fangen die Forscher Sauerstoff mit dem eisenhaltigen Netz, indem sie diesen wohldosiert in die Kammer einströmen lassen. Auf einige Eisenatome setzen sich dann Sauerstoffmoleküle. In einem Eisenatom mit solch einer Krone ändert sich die

Richtung, in der sich der Stabmagnet orientiert: Bildlich gesprochen, richtet er sich auf und ragt nun senkrecht aus dem Netz.

Ob der Stabmagnet waagrecht im Netz liegt oder senkrecht darin steht, bestimmen die Physiker am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung mit einer ausgeklügelten Methode, die mit polarisiertem Röntgenlicht einen sogenannten magnetischen Zirkulardichroismus ermittelt: Sie leuchten mit einem Synchrotronstrahl gewisser Energie auf das Material. Mal ist das Licht links und mal rechts polarisiert. Das heißt bildlich gesprochen, die Lichtwelle dreht sich mal links und mal rechts um seine Laufrichtung. Die Elektronen im Eisenatom absorbieren diese Energie. Die Absorption von rechts oder links zirkular polarisiertem Licht hängt nun jeweils davon ab, wie stark das Eisen in die Richtung des Röntgenstrahles magnetisiert ist. Die Differenz gibt den Zirkulardichroismus wieder. Bestimmt man dessen Stärke für verschiedene Richtungen, so erfährt man in welche Richtung der Stabmagnet weist.

"Da sich die Eisenatome gegenseitig nicht spüren, beeinflusst der Sauerstoff das magnetische Moment selektiv", sagt Stepanow. Der Stabmagnet kippt also nur bei den Eisenatomen, die eine Sauerstoffkrone tragen. Bislang haben die Physiker aber keinen Einfluss darauf, auf welche Metallatome sich ein Sauerstoffmolekül setzt. "Prinzipiell ließe sich das mit einem Rastersondenmikroskop steuern", so Stepanow. Ein Rastersondenmikroskop besitzt eine feine Spitze, die ein Sauerstoffmolekül aufnehmen und gezielt zu einem Eisenatom manövrieren könnte.

Maßnahmen gegen magnetischen Schwund

Daran arbeiten die Forscher derzeit aber noch nicht. Sie suchen zunächst eine Möglichkeit, mehrere Eisenatome zu einem magnetischen Kollektiv zu verbinden. Denn ein Eisenatom pro Bit ermöglicht zwar den dichtesten Speicher, reicht aber vielleicht nicht für eine zuverlässige Datenspeicherung. Also wollen die Physiker den Eisenatomen ein Gespür füreinander geben. Das würden die Metallatome entwickeln, wenn sie näher zueinander rückten, wenn sie also durch kürzere Molekülen vernetzt wären. Moleküle, die das so zuverlässig tun wie Terephthalsäure, sind jedoch schwer zu finden.

"Daher versuchen wir das metallorganische Netz mit einer Isolationsschicht von der Kupferoberfläche zu trennen", sagt Stepanow. Die Elektronen des Kupfers treten in mehr oder weniger starken Kontakt mit jenen des metallorganischen Netzes, das auf seiner Oberfläche liegt. So zieht Kupfer einiges von der magnetischen Kraft ab, die jedes Eisenatom auf seine Umgebung ausübt. Ohne den Schwund könnte die Kraft bis zu den nächsten Nachbaratomen reichen.

Dass genau das Netz aus Eisen und Terephthalsäure einmal in Festplatten Daten speichern wird, ist auch deshalb unwahrscheinlich, weil die Stabmagnete nur bei knapp 270 Grad Celsius unter Null zuverlässig eine bevorzugte Richtung einnehmen. Bei höheren Temperaturen, reicht die Wärmeenergie, um die Stabmagnete von einer bevorzugten Richtung abzubringen. "Mit unseren Hybridmaterialien haben wir aber bewiesen, dass es prinzipiell Materialien gibt, die Bits in einzelnen Atomen speichern können", sagt Klaus Kern. "Und wir lernen an ihnen mehr über die Grundlagen der Spintronic, die anders als die Elektronik mit den Spins der Elektronen und nicht ihrer elektrischen Ladung arbeitet." Jetzt geht es darum, mit diesem Verständnis Stoffe zu entwickeln, die sich auch für Festplatten im PC eignen.

[PH]

Originalveröffentlichung:

Pietro Gambardella, Sebastian Stepanow, Alexandre Dmitriev, Jan Honolka, Frank de Groot, Magali Lingensfelder, Subhra Sen Gupta, D.D. Sarma, Peter Bencok, Stefan Stanescu, Sylvain Clair, Stefan Pons, Nian Lin, Ari P. Seitsonen, Harald Brune, Johannes V. Barth, and Klaus Kern

Supramolecular control of the magnetic anisotropy in two-dimensional high-spin Fe arrays at a metal interface
Nature Materials 8, 189 (2009)

Kontakt:

Dr. Sebastian Stepanow
Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart
Tel.: +49 711 689-1541
E-mail: s.stepanow@fkf.mpg.de