

# Wissenschaft

## Schlaue Transistoren

Eine neue Generation von Elektronikbauteilen soll Computerchips leistungsfähiger und energiesparender machen

VON CHRISTIAN MEIER

Schrumpfen heißt bislang das oberste Gebot der Hersteller von Computerprozessoren. Solange es Herstellern wie Intel und IBM gelingt, immer mehr elektronische Bauteile auf einem Computerchip unterzubringen, steigt die Rechnerleistung weiter. Schon heute sind die winzigen elektronischen Schalter, mit deren Hilfe ein Computer rechnet, sogenannte Transistoren, kleiner als ein Influenzavirus. Mehr als eine halbe Milliarde von ihnen finden auf einem Prozessor Platz, der kaum größer als ein Fingernagel ist. Die Hersteller entwickeln ständig neue Verfahren, um die Schalter noch kleiner zu machen. Doch es gibt eine unüberwindbare Grenze des Schrumpfens: „Kleiner als ein Molekül können Transistoren kaum werden“, sagt Manfred Ramsteiner vom Berliner Paul-Drude Institut. Der Physiker weiß aber einen Ausweg: „Die Transistoren müssen dann eben schlauer werden.“

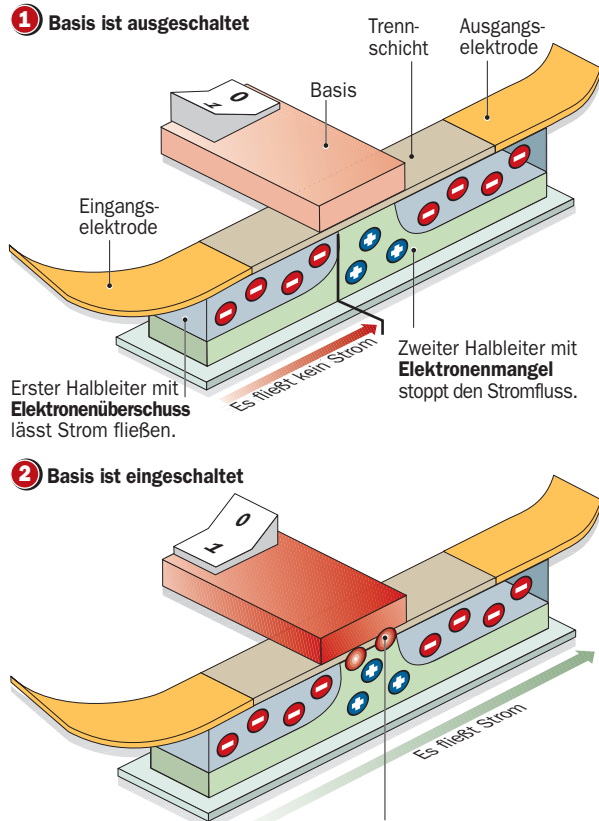
Mit schlaun Transistoren meint Ramsteiner solche, die mit elektrischem Strom mehr anfangen können als heutige Computerbauteile. Letztere verarbeiten Informationen, indem sie den Strom der Elektronen ein- und ausschalten. Fließender Strom heißt „Ja“, oder in der Sprache der Computer „1“; kein Strom bedeutet „Nein“, respektive „0“.

### Stramm organisiert

Elektronen können aber mehr als nur fließen oder nicht fließen. Jedes dieser Elementarteilchen ist ein winziger Stabmagnet. Die Richtung, in die der Nordpol des Magneten zeigt, wird als Spin bezeichnet. Bei herkömmlichem Strom sind die Spins orientierungslos. Einen Strom aus Elektronen hingegen, deren Spins parallel ausgerichtet sind, nennen Forscher einen Spinstrom. Die im Vergleich zum herkömmlichen Strom zusätzliche Richtungsinformation, die sich ein Spinstrom trägt, könnten Computer verwerten und somit leistungsfähiger werden, glauben viele Experten. Die neue Spielart der Elektronik nennen sie deshalb Spintronik.

Weltweit entwickeln Wissenschaftler neuartige Transistoren, die Spinströme nicht nur ein- und ausschalten, sondern auch deren Spinrichtung umschalten können. Kürzlich ist es US-amerikanischen Physikern gelungen, einen solchen Spinstromtransistor zu bauen. Wie Forscher um Ian Appelbaum von der University of Delaware in Newark im Fachmagazin Applied Physics Letters berichteten, nutzten sie dafür einen Halbleiter aus Silizium. Diese Entwicklung lässt die Chiphersteller aufhorchen, denn das Halbleitermaterial ist preiswert und wird in der Chipindustrie vielfach verwendet. Möglicherweise könnten gängige Herstellungsverfahren auch für die Spintronik benutzt werden.

### Herkömmlicher Transistor mit einem Schalter



Die Grafik zeigt, wie ein Spintransistor aufgebaut sein könnte (rechte Spalte). Er hat zwei Schalter, um den Stromfluss zu steuern: die Basis, wie in herkömmlichen Transistoren auch, und den Spinfilter. Diesen können nur jene Elektronen passieren, die eine bestimmte magnetische Ausrichtung haben.

BERLINER ZEITUNG/KATRIN BORN

Ein Durchbruch zur siliziumbasierten Spintronik ist der Transistor noch nicht. Denn etwa ein Drittel der durch ihn fließenden Elektronen hatte nicht die gewünschte Spinrichtung. Der Transistor gleicht also einer Glühlampe, die man nur um sechzig Prozent dimmen, aber nicht ausschalten kann. Lichtsignale von einer solchen Lampe wären schwer zu erkennen. Für die Signale, die der Spintransistor innerhalb eines Prozessors senden würde, gilt ähnliches.

Der Transistor aus Delaware schwächelt, weil es Ian Appelbaum und seinem Team noch nicht gelang, ausschließlich Elektronen mit parallelem Spin in den Siliziumblock zu schicken. Als Spinstromquelle verwendeten sie eine magnetische Legierung aus Kobalt und Eisen. Daraus strömen zwar Elektronen mit Spins, die parallel zur Magnetisierungsrichtung des Metalls zeigen. Dennoch gelangen zu viele orientierungslose Elektronen in den Halbleiter. Woran das liegt, ist noch nicht erforscht.

Physiker glauben, dass viele Spins an der Grenze zwischen Metall und Halbleiter ihre Richtung ändern. Der Grund dafür ist vermut-

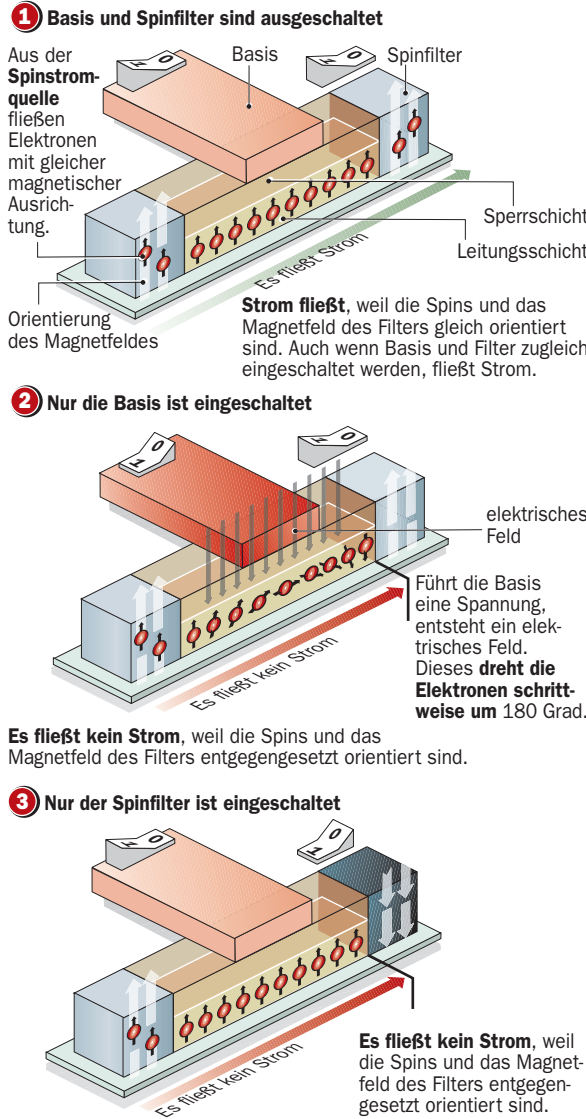
lich die unterschiedliche Leitfähigkeit der beiden Materialien.

Deshalb wollen Forscher den Einsatz von reinen Metallen umgehen und Spinstromquellen direkt aus Halbleitern bauen, die ebenfalls magnetisch sind und sich problemlos an andere Halbleiter anschließen lassen. Dazu bauen sie magnetische Metallatome in die Halbleiterkristalle ein, zum Beispiel Mangan. Doch bislang sind die meisten dieser Halbleiter nur bei Temperaturen weit unter dem Gefrierpunkt magnetisch und daher für Prozessoren, die im Alltag einsetzbar sein sollen, ungeeignet.

Dieser Chip enthält 25 Spintransistoren aus Silizium. Möglicherweise werden solche Bauteile bald herkömmliche Computerchips ersetzen.

UNI. OF DELAWARE/COX

### Spintransistor mit zwei Schaltern



Doch nicht nur die perfekte Spinstromquelle muss erst noch gefunden werden. Offen bleibt auch die Frage, welches Halbleitermaterial sich am besten zum Bauen von Spintransistoren eignet. Die Forscher des Paul-Drude Instituts beispielsweise setzen auf Galliumarsenid. Das Material wird unter anderem für Leuchtdioden eingesetzt; Lichtquellen aus Galliumarsenid wandeln elektrische Energie nämlich relativ effizient in Licht. Ramsteiner und seine Kollegen ziehen den Halbleiter aber aus einem anderen Grund dem Silizium vor: „Die Spins lassen sich in Galliumarsenid leichter drehen als in Silizium“, sagt der Physiker. Deshalb glaubt Ramsteiner, dass sich der Halbleiter besser eignet, um mithilfe von Spinströmen Informationen zu verarbeiten. Dazu müssen die Forscher die Spins zum Formations-Tanz zwingen. Das wollen sie mit einfachen

Mitteln erreichen: Eine elektrische Spannung dreht die Elektronenspins während ihrer Reise durch den Halbleiter um 180 Grad. Ein zweiter Magnet am Ende der Strecke wirkt als Spinfilter: Er lässt nur Elektronen durch, deren Spins parallel zu seiner Magnetisierung ausgerichtet sind. Je nachdem wie diese orientiert ist, lässt der Spinfilter also die gedrehten Elektronen passieren oder nicht (siehe Grafik).

Die Magnetisierung des Spinfilters wiederum kann ebenfalls gedreht werden – beispielsweise mithilfe eines weiteren Magnetfeldes von außen. Somit hätte der Spintransistor zwei Schalter, die vier Kombinationen erlauben. „Deshalb könnte ein einziger Spintransistor logische Operationen ausführen, für die man heute noch mehrere herkömmliche Transistoren zusammenschalten muss“, sagt Paul Seidler, der Leiter der Chipforschung im Züricher Forschungslabor des Technologiekonzerns IBM.

Ein solcher Doppelschalter soll Chips nicht nur schlauer machen, sondern auch energiesparender. Denn das Umwenden der Spins kostet weniger Energie. Deshalb würde weniger Strom durch einen spintronischen Rechner fließen und er würde sich weniger stark aufheizen, hoffen Experten. Schon seit einigen Jahren bremsen zu viel Wärme die Entwicklung leistungsstarker Computer. Durch ihre Chips fließt immer mehr Strom, der die Bauteile immer stärker aufheizt. Besonders leistungsfähige Rechner brauchen bereits heute eine Wasserkühlung.

### Keine lästige Abwärme

Die Spintronik könnte dieses Problem gänzlich aus der Welt schaffen, denn manche Spinströme erzeugen überhaupt keine Abwärme. Das entdeckten Physiker der Universität Würzburg im September: An den Rändern einer wenige Nanometer (milliardstel Meter) dünnen Schicht aus Quecksilber-Tellurid fließen Spinströme, die sich nicht an den Atomen des Materials reiben, das sich deshalb nicht erwärmt. Allerdings mussten die Forscher feststellen, dass die Spinströme nicht mehr fließen, wenn das Quecksilber-Tellurid auf mehr als minus 270 Grad Celsius erwärmt wird. Das Phänomen lässt sich also vorerst nicht im Alltag nutzen.

Auch wenn die Spintronik bisher nur im Labor stattfindet, so sind die meisten Forscher doch überzeugt, dass sie eines Tages in realen Computern eingesetzt werden kann. „Wie ein spintronischer Rechner einmal aufgebaut ist, wissen wir aber noch nicht“, sagt Seidler. Die Forschung läuft auf Hochtouren, damit die schlaun Transistoren in einigen Jahren einsatzbereit sind. Applied Physics Letters, Bd. 91, Artikel 072501

## Das Gefühl für die Hand lässt sich umleiten

Verfahren soll den Gebrauch von Prothesen erleichtern

Eine neuartige Operationsmethode soll Patienten, denen ein Arm amputiert wird, ein besseres Gefühl für Prothesen verschaffen. Das berichtet Wissenschaftler um Todd Kuiken vom Rehabilitation Institute of Chicago im US-Bundesstaat Illinois, die das Verfahren entwickelt und kürzlich an zwei Patienten getestet haben. Ihre Studie stellen die Forscher in der Fachzeitschrift Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) vor.

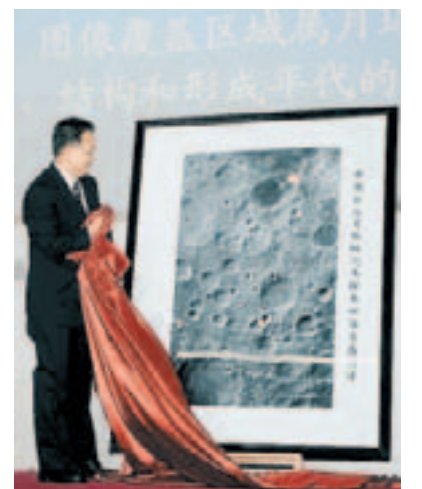
Da armamputierte Patienten mit künstlichen Händen nicht fühlen können, müssen sie sich allein auf ihre Augen verlassen, wenn sie mithilfe der Prothesen etwas ergreifen wollen. Dadurch haben viele von ihnen Schwierigkeiten, mit den Hilfsmitteln umzugehen. Kuiken und seine Kollegen ließen sich daher eine ungewöhnliche Operation einfallen: Bei einem 54-jährigen Mann und einer 24-jährigen Frau leiteten sie die Überreste der Nerven, die bei gesunden Menschen vom Pektoralmuskel – einem großen Muskel in der Brust – bis in die Hand führen, so um, dass die Nervenenden im Brustbereich der Probanden Hautkontakt erhielten.

Berührten die Mediziner ihre Patienten anschließend in diesem Bereich der Brust, kam es bei beiden Probanden so vor, als würde man ihre Hände anfassen. Dabei ließen sich verschiedene Stellen der Brust unterschiedlichen Bereichen der Hände zuordnen. Die Patienten glaubten auch Hitze, Kälte und Schmerzen in den Händen zu spüren, wenn ihre Haut im Brustbereich entsprechend gereizt wurde.

Ziel der Forscher um Kuiken ist es jetzt, Armprothesen mit Sensoren in den Fingerspitzen zu entwickeln, die in der Lage sind, mit den Nervenenden im Brustbereich zu kommunizieren. Die Wissenschaftler hoffen, dass Menschen mit Armprothesen auf diese Weise ein Gefühl für ihre künstlichen Hände erhalten und dadurch im Alltag besser mit ihnen umgehen können. (bro.) PNAS, Online-Ausgabe

## NACHRICHTEN

### Chinas Mondsonde funkt erste Bilder zur Erde



Der chinesische Regierungschef Wen Jiabao enthüllt das Mond-Foto.

PEKING. Die chinesische Sonde Chang'e 1 hat ihre ersten Fotos von der Mondoberfläche zur Erde gesendet. Die 19 Einzelbilder wurden zu einer Gesamtaufnahme zusammengesetzt und gestern im Peking Kontrollzentrum der Öffentlichkeit präsentiert. Der Flug der Mondsonde ist der Auftakt des chinesischen Mondprogramms, das die Landung eines Mondfahrzeugs bis 2012 und den Transport von Gesteinsproben zur Erde bis 2017 vorsieht. (xjpb.)

### Noch eine Auszeichnung für Gerhard Ertl

FRANKFURT A. M. Dem diesjährigen Chemie-Nobelpreisträger Gerhard Ertl wird heute in der Frankfurter Paulskirche der mit 50 000 Euro dotierte Otto-Hahn-Preis verliehen. Die Jury hatte sich bereits im Juni für die Auszeichnung des 71-jährigen Chemikers vom Berliner Fritz-Haber-Institut entschieden. Ertl erhält den Preis für seine Untersuchungen zur Katalyse chemischer Reaktionen. (dpa)

## Lösungen für das Glycerinproblem

Die Chemikalie entsteht als Abfall bei der Biodieselproduktion. Forscher wollen den Stoff für Waschmittel, Schmieröle und Kunststoffe nutzen

VON ANDREA HOFERICHTER

Deutschland hat ein Glycerinproblem. Zurzeit wird die Substanz, die in Frostschutzmitteln und als Salbengrundlage Anwendung findet, noch überwiegend aus Erdöl hergestellt. Doch die Glycerinpreise fallen ins Bodenlose, denn die Chemikalie gibt es hierzulande seit Kurzem im Überfluss – als Abfall aus der Biodieselproduktion. Bei der chemischen Reaktion von Pflanzenöl und Methanol entstehen mit jeder Tonne Biodiesel immerhin 100 Kilogramm Glycerin. Bis 2020 will die Bundesregierung den Anteil von Biosprit am gesamten Kraftstoffverbrauch von derzeit 6 Prozent auf 20 Prozent erhöhen. Das Problem wird sich also noch verschärfen.

„Zurzeit fallen in Deutschland jedes Jahr 400 000 Tonnen Glycerin als Abfallprodukt an, für die nahe Zukunft rechnen wir in Europa mit rund einer Million Tonnen pro Jahr“, berichtet Müft Bahadır, Experte für Umweltchemie an der Technischen Universität Braunschweig. Das sei schon jetzt rund fünfmal so viel, wie für die Herstellung klassischer Produkte benötigt werde. Die überschüssigen Glycerinmengen aus der Biodieselproduktion würden heute überwiegend

mit den Industrieabwässern entsorgt oder schlicht verbrannt. Doch das sei nicht nur teuer, sondern zudem ökologischer Unsinn, sagt Bahadır. Schließlich handele es sich um eine wertvolle Substanz aus nachwachsenden Rohstoffen. Wissenschaftler aus aller Welt suchten deshalb intensiv nach neuen Glycerinprodukten.

Glycerin ist eine durchsichtige, ölige Flüssigkeit aus schlicht gestrickten Molekülen: eine Dreierkette Kohlenstoffatome, flankiert von Wasserstoff- und Sauerstoffatomen. „Dieses Molekül eignet sich hervorragend für chemische Reaktionen“, betont der Braunschweiger Ökochemiker Bahadır. Man könne ihm Sauerstoff entziehen, Wasser abspalten oder auch ganz andere Molekülgruppen anknüpfen. Und so lassen sich aus dem Beiwerk der Biodieselproduktion wertvolle Chemikalien herstellen, die derzeit noch überwiegend aus Erdöl gemacht sind.

Zum Beispiel die Substanz Epichlorhydrin, die unverzichtbar ist für die Produktion von Klebstoffen und Gießharzen. Im Frühjahr hat der Chemiekonzern Solvay im französischen Tavaux die erste Anlage in Betrieb genommen, die Epichlorhydrin aus Bioglycerin herstellt; eine zweite Anlage in Thailand ist bereits



In Raffinerien für Biodiesel fällt Glycerin als Nebenprodukt an. Bisher wurde die Chemikalie meist entsorgt. Das soll sich nun ändern.

geplant. Und der US-amerikanische Chemikalienhersteller Dow Chemicals Company verkauft seit Kurzem aus Bioglycerin produziertes Propylenglykol: ein wertvolles Lösungsmittel und eine Grundsubstanz für Brems- und Kühlflüssigkeiten.

Die Braunschweiger Forscher um Bahadır setzen indes auf einen anderen Verwertungsweg. Sie wollen das Bioprodukt chemisch unverändert einsetzen und testen zurzeit, ob sich aus der öligen Flüssigkeit Schmierstoffe gewinnen lassen. Dazu muss sie mit bestimmten Stoffen versetzt werden. Welche Zu-

sätze das sind, wollen die Wissenschaftler noch nicht preisgeben. Das Verfahren sei gerade erst zum Patent angemeldet, sagt Bahadır. Handfeste Beweise für die Industrietauglichkeit der Bioschmierstoffe wollen die Forscher spätestens Mitte nächsten Jahres vorlegen.

Aus Bioglycerin kann zudem umweltverträgliches Plastik produziert werden. Der Chemiekonzern BASF testet gerade in Schwarzheide in Brandenburg ein solches Verfahren. Dabei verwandeln Bakterien Glycerin zu langen, verzweigten Molekülketten, die später als Kunststoffe in Autos und Elektronikgeräten zum Einsatz kommen könnten. Wissenschaftler der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig nutzen ebenfalls Mikroorganismen und verwandeln damit Glycerin in Ausgangssubstanzen für Polyester und Verbundwerkstoffe. Gerade trimmen sie ihr Verfahren gemeinsam mit Biodiesel- und Kunststoffproduzenten auf Industrietauglichkeit.

Bioglycerin eignet sich aber auch als umweltfreundliche Ausgangssubstanz für Tenside. Diese Bestandteile von Waschmitteln bewirken, dass sich Wasser und Fette gut miteinander vermischen. Wissenschaftler um Arno Behr von der Universität Dortmund versuchen

gerade herauszufinden, wie solche Tenside in großer Menge hergestellt werden könnten.

Darüber hinaus hat Behr ein bereits patentiertes Verfahren entwickelt, mit dem sich Glycerin in den Kraftstoffzusatz GTBE (Glycerin-Tertiär-Butylether) verwandeln lässt. „Mit einem geeigneten Katalysator und einem neuen Reaktionsverfahren können wir das sehr polare Glycerin und den unpolaren Kohlenwasserstoff Isobuten vollständig zu GTBE umsetzen, ohne dass unerwünschte Nebenprodukte entstehen“, erläutert Behr die Kunst dieser Synthese. GTBE sei zwar noch nicht im praktischen Einsatz, doch hätten amerikanische Studien den Nutzen des Additivs bereits belegt. So könne es den Schadstoffausstoß von Motoren deutlich verringern. Bei der Verbrennung entstünden deutlich weniger Stickoxide und bei Dieselmotoren weniger krebserregende Rußteilchen. Die Dortmunder Forscher bauen gerade eine Pilotanlage, um die Wirtschaftlichkeit der GTBE-Produktion nachzuweisen. Sollten die Ergebnisse die großen Kraftstoffproduzenten überzeugen, könnte so manches Glycerinmolekül – wenn auch chemisch verändert – schließlich wieder da landen, wo es hergekommen ist: im Biodiesel.