

Miniaturisierung stösst an physikalische Grenzen der traditionellen Materialien

Höhere Integration mit neuem Transistormaterial

Der kontinuierliche Fortschritt bei der Integration von immer mehr Transistoren in kleineren Bauelementen stösst an die physikalischen Grenzen herkömmlicher Materialien. Eine Lösung mit alternativen Materialien ist aber in Sicht.

» Henning Wriedt, USA-Korrespondent

Bekannte Nachteile in Transistormaterialien führen zu Energieverlusten, die Wärmeentwicklungen und kürzere Akkulaufzeiten mit sich bringen. Deshalb sind Forscher auf der Suche nach alternativen Materialien, die es Geräten ermöglichen, trotz geringerer Leistungsaufnahme effizienter zu arbeiten. Nun hat ein Experiment am Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab) zum ersten Mal elektronisches Schalten in einem exotischen, ultradünnen Material demonstriert, das eine Ladung bei Raumtemperatur nahezu verlustfrei halten kann. Die Forscher zeigten dieses Schalten, als sie das Material einem elektrischen Schwachstromfeld aussetzten.

Werkstoff von Grund auf neu gezüchtet
Das Team, das von Forschern der Monash University in Australien geleitet wurde und zu dem Wissenschaftler des Berkeley Lab gehörten, züchtete das Material von Grund auf neu und studierte es mit Röntgenstrahlen am Advanced Light Source (ALS), einer Einrichtung des Lawrence Berkeley National Laboratory.

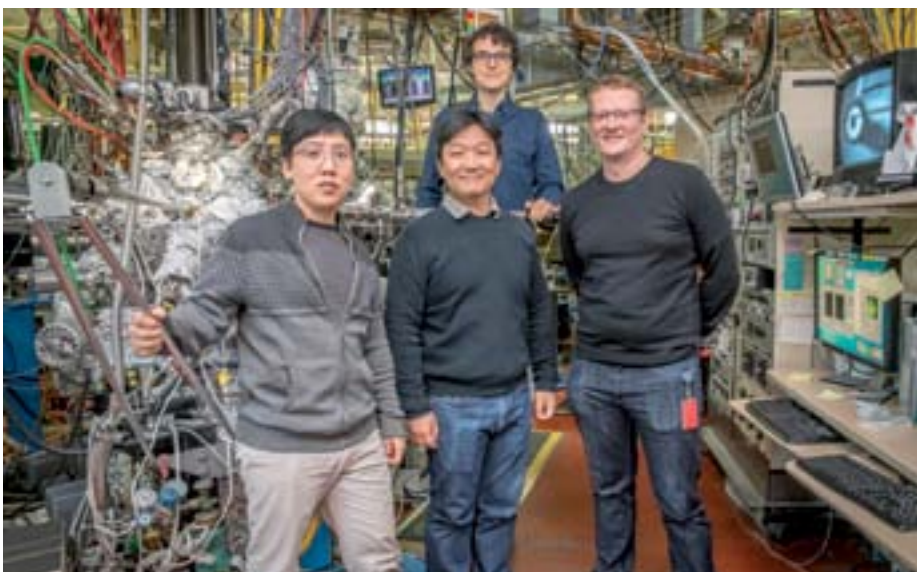
Das Material, bekannt als Natriumbismutid (Na_3Bi), ist eines von zwei Materialien, die als «topologische Dirac-Halbmatalle» bekannt sind, das heisst, sie haben einzigartige elektronische Eigenschaften, die so eingestellt werden können, dass sie sich unterschiedlich verhalten – in einigen Fällen

eher wie ein herkömmliches Material und in anderen Fällen eher wie ein topologisches Material. Seine topologischen Eigenschaften wurden erstmals in früheren Experimenten am ALS bestätigt.

Topologisches Material steht im Fokus intensiver Forschungen

Topologische Materialien gelten als vielversprechende Kandidaten für zukünftige Transistorgenerationen sowie für andere Elektronik- und Computeranwendungen, da sie das Potenzial haben, Energieverluste und den Stromverbrauch von Geräten und Systemen erheblich zu reduzieren. Diese interessanten Eigenschaften können bei Raumtemperatur auftreten – ein wichtiger Unterschied zu Supraleitern, die extrem gekühlt werden müssen. Diese Eigenschaften können auch dann bestehen bleiben, wenn die Materialien strukturelle Mängel aufweisen und einer Belastung ausgesetzt sind. Materialien mit topologischen Eigenschaften stehen im Mittelpunkt intensiver Forschungen der globalen Wissenschaft. So wurde in 2016 der Nobelpreis für Physik für Theorien über topologische Eigenschaften von Materialien verliehen.

«Die Leichtigkeit, mit der das am ALS untersuchte Material von einem elektrisch leitenden Zustand in einen isolierenden oder nicht leitenden Zustand überführt werden kann, spricht für zukünftige Transistoranwendungen», sagte Sung-Kwan Mo, ein Mitarbeiter der ALS, der an der neuesten Studie teilnahm. Die Studie wurde in der Zeitschrift «Nature» (Electric-field-tuned topological phase transition in ultrathin Na_3Bi) ausführlich beschrieben.



Bei einem Experiment am Advanced Light Source Beamline 10.0.1: (von links): Shujie Tang, Postdoc-Forscher am Advanced Light Source (ALS), Sung-Kwan Mo, ALS-Wissenschaftler, sowie die Forscher James Collins und Mark Edmonds von der Monash University

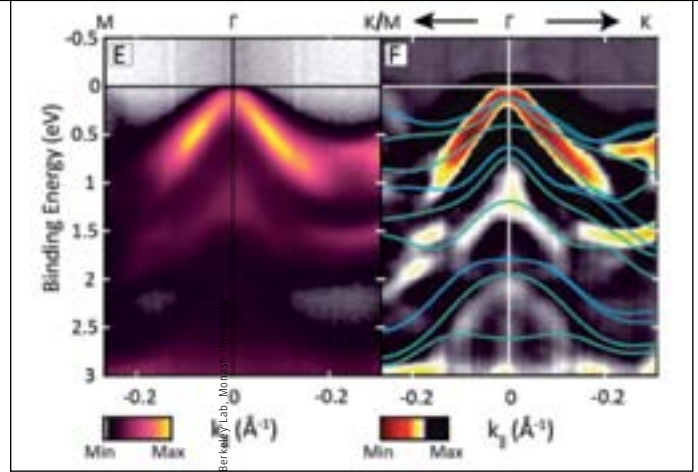
Marilyn Chung, Berkeley Lab

Einen grossen Schritt näher am topologischen Transistor

Ein weiterer wichtiger Aspekt der neuesten Studie ist, dass das Team der Monash University herausfand, wie das Element extrem dünn zu züchten ist, bis hin zu einer einzelnen Schicht, die als Wabenmuster aus Natrium- und Wismutatomen angeordnet ist. Die Dicke jeder geformten Schicht lässt sich bestimmen. «Wenn man ein Element herstellen will, muss man es dünner machen», sagte Mo. «Diese Studie beweist, dass es mit Na₃Bi möglich ist. Und seine elektrischen Eigenschaften lassen sich leicht mit einer Niederspannung kontrollieren. Wir sind einem topologischen Transistor einen bedeutenden Schritt nähergekommen.»

Michael Fuhrer, ein Physiker an der Monash University, der an der Studie teilnahm, sagte: «Topologische Elektronik mit extrem niedrigem Energieverbrauch ist eine potenzielle Antwort auf die zunehmende Herausforderung der Energieverschwendung durch moderne Computer. Die Informations- und Kommunikationstechnologie verbraucht bereits 8 % des weltweiten Energieaufkommens, und das verdoppelt sich jedes Jahrzehnt.»

Forscher am ALS erzeugten mit Röntgenstrahl-techniken diese Bilder. Sie zeigen die Elektronikbereiche von Energie in einem ultradünnen Material



Material interagiert nicht mit dem Siliziumwafer

In der neuesten Studie züchteten die Forscher die mehrere Millimeter grossen Materialproben auf einem Siliziumwafer im Ultrahochvakuum am ALS Beamline 10.0.1 mit der Molekularstrahlepitaxie. Mit der Beamline können Forscher Proben züchten und dann unter den gleichen Vakuumbedingungen experimentieren, um eine Kontamination zu vermeiden. Diese Strahlführung ist auf eine Röntgentechnik spezialisiert, die als winkelaufgelöste Fotoemissions-Spektroskopie oder ARPES be-

kannt ist und Informationen darüber liefert, wie Elektronen in Materialien wandern. In typischen topologischen Materialien fließen Elektronen um die Kanten des Materials herum, während der Rest des Materials als Isolator dient, der diesen Fluss verhindert. <<

Infoservice
Berkeley Lab
www.lbl.gov