MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Presseinformation

C 1 / 2004 (7) 19. Januar 2004

Kleine Fehler haben große Wirkung

Max-Planck-Materialforscher haben aufgedeckt, warum ferroelektrische Materialien im Nanometerbereich ihre nützlichen Eigenschaften verlieren

Viele Materialien verlieren ihre nutzbringenden Eigenschaften, wenn ihre äußeren Abmessungen unter einen bestimmten Schwellenwert fallen. Dieser so genannte Size-Effekt, dessen Ursachen vielfältig sein können, behindert die weitere Miniaturisierung von elektronischen, elektromechanischen und elektrooptischen Bauelementen. Für eine besonders aussichtsreiche Klasse von Materialien, die ferroelektrischen Oxide, haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik jetzt herausgefunden, weshalb dieser Size-Effekt eintritt: Bestimmte, kaum ein Zehntel Nanometer dicke, linienförmige Baufehler verformen einen schlauchförmigen Materialbereich des ferroelektrischen Oxids von ca. 8 mal 4 Nanometer Querschnittsfläche so stark, dass das Material dort seine nutzbaren Eigenschaften verliert. Diese neuen Erkenntnisse zeigen, weshalb man bestimmte Baufehler strikt vermeiden muss, wenn ferroelektrische Oxide mit Abmessungen im Nanometerbereich eingesetzt werden und ihre elektronischen Speichereigenschaften und damit ihre Einsatzfähigkeit in neuartigen Bauelementen bewahren sollen (Nature Materials, Advanced Online Publication, 18. Januar 2004).

Die ständig steigenden Anforderungen an elektronische Bauelemente bringen es mit sich, dass immer neue Materialien in die Silizium-Mikroelektronik eingeführt werden, mit denen man teils neuartige Funktionen anstrebt, teils physikalische Grenzen klassischer Materialien überwinden will. Da der Trend zur Miniaturisierung weiter anhält, müssen diese neuen Materialien von vorn herein in sehr kleinen räumlichen Abmessungen eingesetzt werden. Diese liegen zumeist zwischen einigen wenigen und einigen Dutzend Nanometern. Ein Nanometer ist ein Millionstel Millimeter. Doch die Eigenschaften der meisten Materialien hängen im Nanometerbereich stark von ihren äußeren Abmessungen ab, so dass ihre gewünschte Funktionalität unterhalb einer bestimmten Abmessungs-Schwelle verloren geht. Deshalb versucht man in der materialwissenschaftlichen Grundlagenforschung, die Ursachen und Wirkungsmechanismen von Eigenschaftsänderungen bei verringerten äußeren Abmessungen, dem "Size-Effekt", detailliert aufzuklären.

Diese Herausforderung ist bei der Materialklasse der ferroelektrischen Oxide besonders akut, da diese Materialien in einem außergewöhnlich breiten Spektrum moderner elektronischer, elektromechanischer und elektrooptischer Bauelemente eingesetzt werden, aber gerade im Nanometerbereich ihre funktionsbestimmenden Eigenschaften verlieren können. Materialien dieser Art sind z.B. Bleizirkonat-Titanat, Strontiumwismut-Tantalat und Wismut-Titanat. Weil ferroelektrische Oxide binäre Signale speichern können, werden sie - in

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

Hofgartenstraße 8
80539 München

Postfach 10 10 62
80084 München

Telefon: +49 (0)89 2108 - 1276
Telefax: +49 (0)89 2108 - 1207
E-Mail: presse@mpg-gv.mpg.de
Internet: www.mpg.de

Pressesprecher:
Dr. Bernd Wirsing (-1276)

Chef vom Dienst:
Dr. Andreas Trepte (-1238)

Biologie, Medizin:
Dr. Christina Beck (-1306)

Chemie, Physik, Technik:
Helmut Hornung (-1404)
Eugen Hintsches (-1257)

Geisteswissenschaften:
Susanne Beer (-1342)

Online-Redaktion:
Michael Frewin (-1273)

ISSN 0170-4656

Kombination mit Silizium-Bauelementen - in dauerhaften "nichtflüchtigen" Speicherzellen eingesetzt, die ihre Information auch beim Abschalten der Versorgungsspannung nicht verlieren.

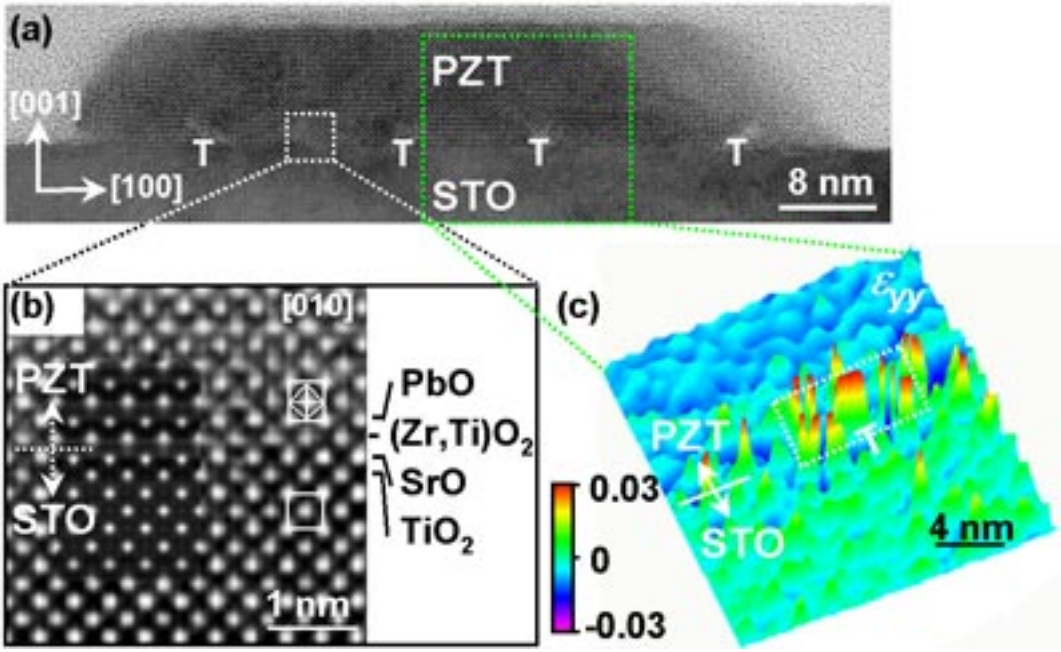

Abb. 1: *Abbildung 1a zeigt eine elektronenmikroskopische Aufnahme einer Bleizirkonat-Titanat-Insel ("PZT") im Querschnitt. "STO" ist die Strontium-Titanat-Unterlage der Insel. Die weißen "T"-Symbole bezeichnen die ebenfalls im Querschnitt abgebildeten linienförmigen Baufehler. Die hochaufgelöste elektronenmikroskopische Abbildung 1b zeigt einen Ausschnitt des ungestörten Kristallgitters fern von den Baufehlern, während Abbildung 1c eine computerbearbeitete Darstellung der Verzerrungen zeigt, welche in einem - wiederum im Querschnitt abgebildeten - Schlauch von ca. 8 mal 4 Nanometer Querschnitt um einen einzelnen Baufehler vorliegen. Die rot-gelben Spitzen markieren stark gestörte Gitterbereiche, während die grünen und blauen Bereiche das unverzerrte Gitter widerspiegeln.*

Bild: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

Gelänge es nun, nichtflüchtige Speicherzellen mit einer Datendichte von mehreren Milliarden Bit pro Quadratzentimeter herzustellen, könnten die Arbeitsspeicher von Personalcomputern wesentlich verbessert werden. Das zeit- und stromraubende Booten der Computer und das langsame Speichern der Daten auf der Festplatte würden dann der Vergangenheit angehören. Voraussetzung dafür ist aber eine Miniaturisierung der Speicherzellen bis in Dimensionen von wenigen Dutzend Nanometern. Die Frage, warum die ferroelektrischen Oxide unterhalb einer bestimmten Nanometer-Schwelle ihre Speichereigenschaften verlieren, ist daher zur Zeit von besonders großer Bedeutung. Weltweit arbeiten Festkörperphysiker daran, ohne dass bisher ein einheitliches Bild über die Ursachen der Size-Effekte in ferroelektrischen Oxiden entstanden wäre.

Einer Arbeitsgruppe um Ming-Wen Chu, Marin Alexe und Dietrich Hesse am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle (Saale) ist es nun gelungen, einen bisher nicht beachteten Mechanismus für den ferroelektrischen Size-Effekt aufzufinden. Die Max-Planck-Forscher konnten zeigen, dass bestimmte, kaum ein Zehntel Nanometer dicke, linienförmige Baufehler des Kristallgitters, die sich an der Grenzfläche zwischen kleinen, rund 10 Nanometer dünnen Bleizirkonat-Titanat-Inseln und der Strontiumtitanat-Unterlage ausbilden, ganz wesentlich zum Verlust der Speichereigenschaften dieser Inseln führen können. Mit Hilfe der hochauflösenden Elektronenmikroskopie haben die Wissenschaftler erkannt, dass jeder dieser - als "Gitterfehlpassungsversetzung" bezeichneten - Baufehler einen ca. 20 bis 50 Nanometer langen "Materialschlauch" des ferroelektrischen Oxids von ca. 8 mal 4 Nanometer

Querschnittsfläche so stark verformt, dass das Material dort seine Speichereigenschaften verliert. Ist die ferroelektrische Insel so klein, dass ihr Volumen zu einem großen Teil aus derart verzerrten Materialschläuchen besteht, hat sie keinerlei Speichereigenschaften mehr. Die Ausbildung solcher Baufehler muss also strikt vermieden werden, wenn ferroelektrische Oxide mit Abmessungen im Nanometerbereich eingesetzt werden und dabei ihre Speichereigenschaften behalten sollen.

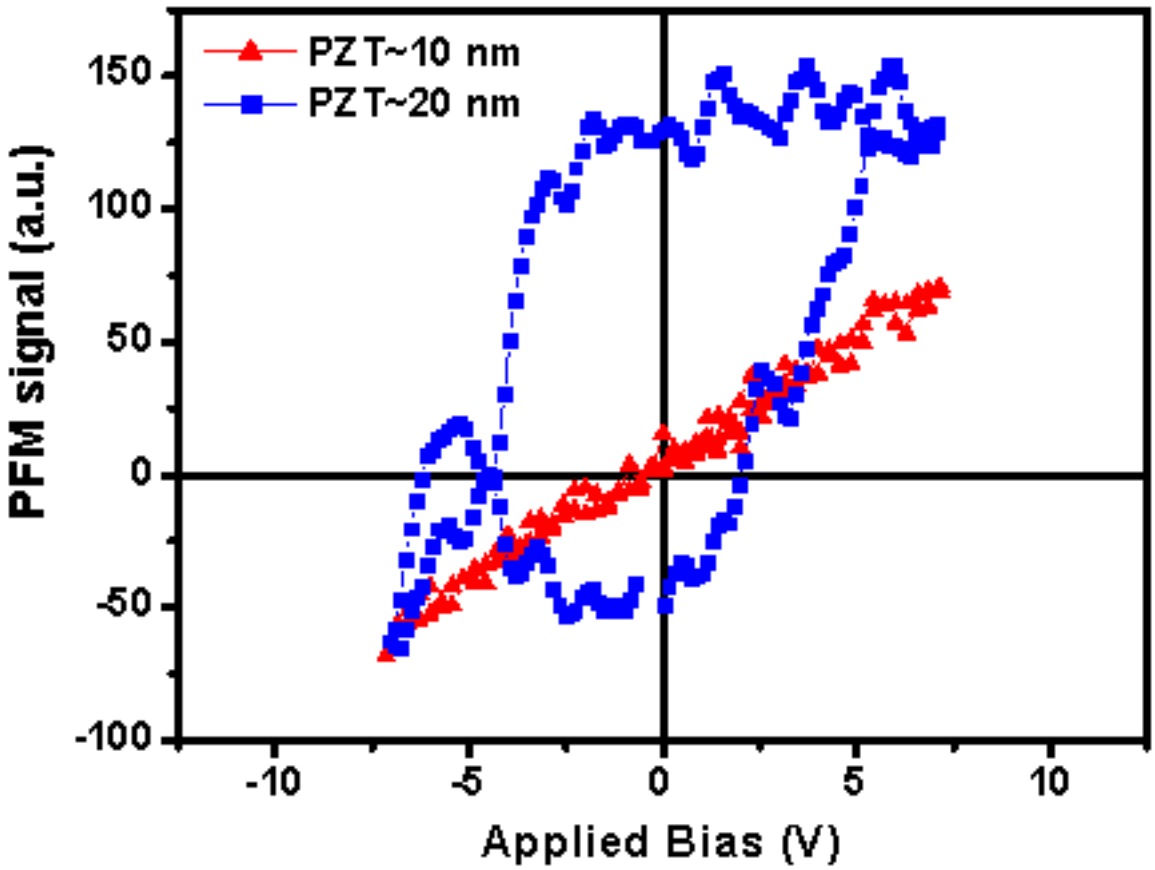

Abb. 2: *Darstellung des Size-Effekts. Aufgetragen ist ein Speichersignal zweier unterschiedlich dicker, aber lateral annähernd gleich ausgedehnter PZT-Inseln in Abhängigkeit von der angelegten Gleichspannung. Die fast Parallelogramm-förmige blaue Kurve spiegelt die ausgeprägte Speicherfähigkeit einer 20 Nanometer dicken PZT-Insel wider: Zwei stabile Zustände von etwa +110 und -50 Einheiten liegen bei abgeschalteter Gleichspannung (Null auf der Abszisse) vor. Dagegen ist im Falle der nur 10 Nanometer dünnen Insel das Parallelogramm zu einer einzigen Linie zusammengefallen (rote Kurve), die durch den Nullpunkt führt. Diese Insel hat mithin nicht die Fähigkeit, eines von zwei stabilen Signalen zu speichern.*

Bild: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

"Ein in der Halbleiterphysik seit langem bekanntes Problem, nämlich die störende Wirkung von Gitterfehlpassungsversetzungen auf die optischen und elektronischen Eigenschaften von Halbleiter-Nanostrukturen, hat sich überraschenderweise nun auch für die Speicherfähigkeit ferroelektrischer Nanostrukturen als relevant herausgestellt. Diese Entdeckung eröffnet neue Möglichkeiten, um bestimmte Materialkombinationen gezielt für den Einsatz ferroelektrischer Oxide in miniaturisierten Speicherbauelementen auszuwählen", sagt Prof. Ulrich Gösele, Direktor und Wissenschaftliches Mitglied am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik.

Dieses Projekt wurde durch die Max-Planck-Gesellschaft sowie durch die Volkswagen-Stiftung und die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

[AT]

Originalveröffentlichung:

M.-W. Chu, I. Szafraniak, R. Scholz, C. Harnagea, D. Hesse, M. Alexe, and U. Gösele
Impact of misfit dislocations on the polarization instability of epitaxial nanostructured ferroelectric perovskites
Nature Materials, Published online: 18 January 2004, DOI 10.1038/nmat1057

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Priv.-Doz. Dr. Dietrich Hesse
Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle/Saale
Tel.: 0345 5582-741
Fax: 0345 5511-223
E-Mail: hesse@mpi-halle.de