

Max-Planck-Gesellschaft

Presse-Information

PRI C 12 T 7 / 2002 (53)

13. Juni 2002



Arbeitsspeicher mit Langzeitgedächtnis

Forscher des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik gelingt Durchbruch für die Entwicklung der nächsten Generation von Gigabit-Computerspeichern

Im weltweiten Bemühen um neue Computer-Arbeitsspeicher mit Langzeitgedächtnis - so genannte non-volatile random access memories (NV-RAMs) oder „nichtflüchtige RAMs“ - haben Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik in Halle (Saale) einen wichtigen Durchbruch geschafft: Ihnen ist es jetzt erstmals gelungen, dünne Schichten aus dem ferroelektrischen Material Lanthan-Wismut-Titan-Oxid auf Silizium-Wafern in einer besonders günstigen Kristallorientierung aufzubringen und damit die Grundlage zu schaffen für Computerchips mit einem sehr großen Speichervermögen pro Quadratcentimeter (*Science*, 14. Juni 2002).

Die Arbeitsspeicher auch der neuesten Personalcomputer und Notebooks - die dynamic random access memories (DRAMs) - haben nur ein extrem kurzes Gedächtnis, das einige Hundert Male in der Sekunde elektronisch aufgefrischt werden muss. Deshalb gehen alle auf dem Bildschirm gezeigten Informationen sofort verloren, sobald der Computer von der Stromversorgung getrennt wird. Nach dem Wiedereinschalten müssen - beim Booten - alle Informationen wieder mühsam von der Festplatte geladen werden (sofern sie zuvor rechtzeitig gespeichert worden waren). Das ist ein zeitaufwändiger und lästiger Prozess. Nichtflüchtige Festkörperspeicher sind deshalb heute eines der interessantesten Forschungs- und Entwicklungsziele in der Halbleitertechnologie. Sie sollen die einmal eingespeicherte Information nicht wieder verlieren und damit das in den dynamischen Festkörperspeichern der integrierten Mikroelektronik (DRAMs) notwendige ständige Wiederauffrischen der Information überflüssig machen. Auch das Booten eines PC wäre dann nicht mehr nötig.

Die aussichtsreichsten nichtflüchtigen Speicherbausteine - die magnetic random access memories (MRAMs) und ferroelectric random access memories (FRAMs) - beruhen auf ferromagnetischen und ferroelektrischen Materialien. Um solche nichtflüchtigen Speicherbausteine in die Silizium-Mikroelektronik integrieren zu können, müssen sie als dünne Schichten auf Silizium-Wafern hergestellt

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)
Walter Frese (-1272)

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

Geisteswissenschaften:
Susanne Beer (-1342)

Online- Redaktion
Michael Frewin (-1273)

ISSN 0170-4656

werden. Doch einem Einsatz solcher nichtflüchtigen Speicherbausteine mit Speicherkapazitäten im Gigabit-Bereich stehen derzeit noch eine Reihe von Problemen im Wege, nach deren Lösung Festkörperphysiker weltweit intensiv forschen.

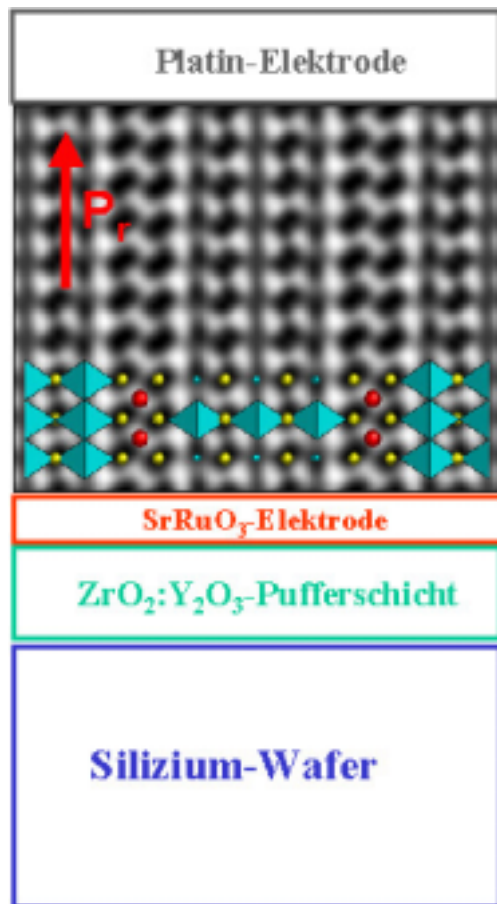


Abb. 1: Querschnitt des Schichtaufbaus und der Elektrodenanordnung auf einem Silizium-Wafer. Im Bereich der Lanthan-Wismut-Titan-Oxid-Schicht zwischen den beiden Elektroden sind ein Farbmodell der Kristallgitterstruktur des $\text{La}_{0,75}\text{Bi}_{3,25}\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ sowie eine hochauflösende elektronenmikroskopische Abbildung des Kristallgitters zu sehen. Die im Modell als Kügelchen dargestellten Atome sind farblich gekennzeichnet: Wismut und Lanthan - gelb; Titan - blau, Sauerstoff - rot. Die blauen Vierecke stehen für TiO_6 -Gruppen. Die Übereinstimmung der Lage der Atome im Modell mit dunklen (La, Bi, Ti) bzw. hellen (Sauerstoff) Punkten in der elektronenmikroskopischen Aufnahme verdeutlicht die Perfektion der gewachsenen Lanthan-Wismut-Titan-Oxid-Schicht. Der rote Pfeil bezeichnet die Richtung der remanenten Polarisation P_r , deren Ausrichtung nach oben bzw. unten dem zu speichernden Binärsignal 0 bzw. 1 entspricht.

Grafik: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

Eines der aussichtsreichsten Materialien für nichtflüchtige Speicherbausteine aus ferroelektrischen dünnen Schichten ist das Lanthan-Wismut-Titan-Oxid $\text{La}_{0,75}\text{Bi}_{3,25}\text{Ti}_4\text{O}_{12}$. Bisher war es jedoch nicht gelungen, dieses Material als dünne Schicht so auf Silizium-Wafern abzuscheiden, dass die guten Speichereigenschaften des Materials auch in der dünnen Schicht erhalten blieben. Das liegt daran, dass diese Schichten stark dazu neigen, in einer für die Anwendung „falschen“ Kristallorientierung zu wachsen. Die besonderen Speichereigenschaften sind nämlich an eine bestimmte Kristallorientierung gebunden, die so genannte a-Achsen-Orientierung, die bisher in dünnen Schichten nicht verwirklicht werden konnte.

Einer Arbeitsgruppe des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik in Halle (Saale) um Dr. Dietrich Hesse und Dr. Ho Nyung Lee ist es nun gelungen, einen Weg zu finden, auf Silizium-Wafern dünne Lanthan-Wismut-Titan-Oxid-Schichten herzustellen, die zu 99 % über die gewünschte a-Achsen-Orientierung verfügen. Dieser Erfolg gelang ihnen vor allem durch die Kombination einer 60 Nanometer (1 Nanometer = 1 Millionstel Millimeter) dicken Pufferschicht aus Yttrium-Zirkon-Oxid mit einer darüber befindlichen, elastisch gedehnten, nur 10 Nanometer dünnen Elektrodenschicht aus Strontium-Ruthenium-Oxid. Darüber hinaus verwendeten die Wissenschaftler bei der Herstellung der Schichten mit einem Laserverfahren einen besonders hohen Sauerstoffdruck, der für die richtige chemische Zusammensetzung dieser Schichten sorgt. In den derart erzeugten Dünnschichten konnten die Forscher nachweisen, dass diese dank der erreichten 99%-igen Kristallorientierung tatsächlich über die gewünschten Speichereigenschaften

verfügten. Diese werden durch zwei physikalische Größen beschrieben, die „remanente Polarisation“ - sie beschreibt die Größe des möglichen Speichersignals als gespeicherte Ladung pro Flächeneinheit, und die „Ermüdungsfestigkeit“ - die Auskunft über die Langzeitstabilität der Speicherschicht gibt. Die Ermüdungsfestigkeit wurde in Langzeitexperimenten geprüft. Sie gibt die prozentuale Abnahme der remanenten Polarisation nach einer bestimmten Zahl von Lese-Schreib-Zyklen wieder.

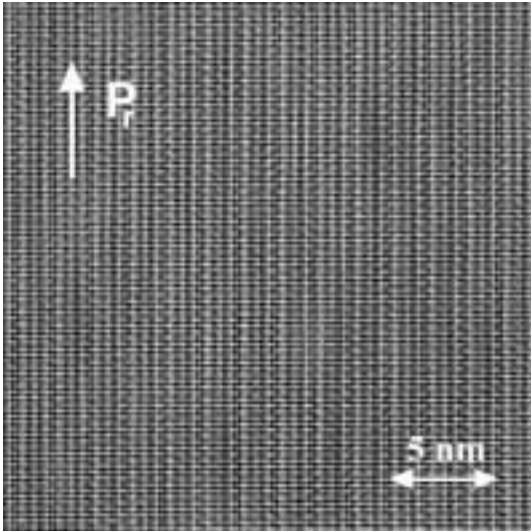


Abb. 2: Hochauflösende elektronenmikroskopische Aufnahme einer perfekt gewachsenen Lanthan-Wismut-Titan-Oxid-Schicht mit a-Achsen-Orientierung im Querschnitt. Der Pfeil oben links entspricht dem roten Pfeil in Abbildung 1.

Grafik: Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik

Bei der remanenten Polarisation haben die Hallenser Wissenschaftler mit den a-Achsen-orientierten Lanthan-Wismut-Titan-Oxid-Schichten den weltweit größten für Schichten dieser Art auf Siliziumsubstrat erreichten Wert erzielt - 32 Mikrocoulomb pro Quadratcentimeter. Die bisher erreichten Werte lagen wegen der deutlich schlechteren Kristallorientierung um wenigstens 10 Mikrocoulomb pro Quadratcentimeter niedriger. Bei der Ermüdungsfestigkeit zeigen die bisher durchgeführten Langzeitexperimente, dass die remanente Polarisation nach 10 Milliarden (10^9) Lese-Schreib-Zyklen lediglich um etwa 9 Prozent abnimmt - ein guter Wert angesichts der durch die große remanente Polarisation gegebenen hohen Speicherkapazität.

Prof. Gösele, Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, meint dazu: „Dank der perfekten Kristallorientierung erfüllen diese dünnen Schichten alle unsere Erwartungen. Die erfolgreiche Herstellung von a-Achsen-orientierten Schichten ermöglicht es nun, ihre Eigenschaften gezielt zu untersuchen und für ihre künftige Nutzung als nichtflüchtige Speicherschichten in der Mikroelektronik zu optimieren.“

Dieses Projekt wurde durch die Max-Planck-Gesellschaft sowie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert.

Weitere Informationen erhalten Sie von:

Priv.-Doz. Dr. Dietrich Hesse
 Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik (<http://www.mpi-halle.mpg.de>)
 Weinberg 2, D-06120 Halle/Saale, Germany
 Tel. 03 45 - 55 82 - 7 41
 Fax 03 45 - 55 11 - 2 23
 E-Mail: hesse@mpi-halle.mpg.de