

Keramiken mit Gedächtnis

Der Hunger nach ständig größeren Datenspeichern, auf die immer schneller zugegriffen werden kann, beherrscht das Informationszeitalter. Stillen kann ihn womöglich die Verbrüderung modernster Halbleitertechnologie mit den ältesten Werkstoffen der Menschheit – den Keramiken.

Fast jeder PC-Besitzer kennt den Ärger: Gerade hat man mühevoll einen langen Text geschrieben oder eine Grafik erstellt, da stürzt das Computerprogramm ab oder der Strom fällt aus. Alle Arbeit war umsonst.

Auf dem Bildschirm sichtbare Informationen können entfliehen, weil sie zunächst nur im sogenannten Arbeitsspeicher gefangen sind. Dauerhaft eingespart sind sie erst auf der Festplatte des Computers. Speichert man sie dort regelmäßig ab, so ist man vor dem geschilderten Verdruss geschützt.

„Zwar sind die Daten auf der Festplatte dann nichtflüchtig gespeichert, doch dauert es auch länger, wieder auf sie zuzugreifen“, erklärt Prof. Rainer Waser, Leiter des neugegründeten Instituts für

Elektrokeramische Materialien im Forschungszentrum Jülich. Das ist der Grund, warum ein PC die Daten im Arbeitsspeicher – einem Halbleiterchip aus Silizium – zwischenlagert: Dort sind sie in 60 Nano-

sekunden (eine Nanosekunde ist eine milliardstel Sekunde) verfügbar.

„In den letzten Jahren hat sich gezeigt, daß ferroelektrische Halbleiterspeicher – sogenannte FRAMs (Ferroelectric Random Access Memories) – die vorteilhaften Eigenschaften von herkömmlichen Arbeitsspeichern und von Massenspeichern in sich vereinen“, sagt Waser. „Also: Schnelligkeit, geringer Platzbedarf und vor allem nichtflüchtige Datenverwahrung.“ Das lasse vor allem an ihren künftigen Einsatz in handflächengroßen PCs, in Internet-Mobiltelefonen und in intelligenten, kombinierten Kredit-, Fahr- und Identitätskarten denken (Bild 1).

So neu die FRAMs, so alt bekannt sind die Materialien, aus denen sie aufgebaut sind: Neben dem klassischen Stoff des Computerzeitalters, dem Silizium, kommen

keramische Substanzen zu neuen Ehren. Schon vor Jahrtausenden erschufen die Menschen der Steinzeit die ersten Gegenstände aus Keramik: Aus Ton formten sie Gefäße, die nach dem Brennen im Feuer hart und wasserundurchlässig wurden.

In den 40er Jahren beobachteten Wissenschaftler bei Bariumtitanat Ferroelektrizität – diejenige Eigenschaft, die verwandte keramische Materialien nun zu den neuen Hoffnungsträgern bei den Datenspeichern werden läßt. Weil in einem ferroelektrischen Kristall das Zentrum der positiven Ladung nicht mit dem Zentrum der

negativen Ladung zusammenfällt, weist er ein sogenanntes elektrisches Dipolmoment auf. Durch ein äußeres elektrisches Feld kann dieses Dipolmoment in seiner Richtung umgekehrt werden. Seine Orientierung „auf“ oder „ab“ entspricht dabei den Zuständen

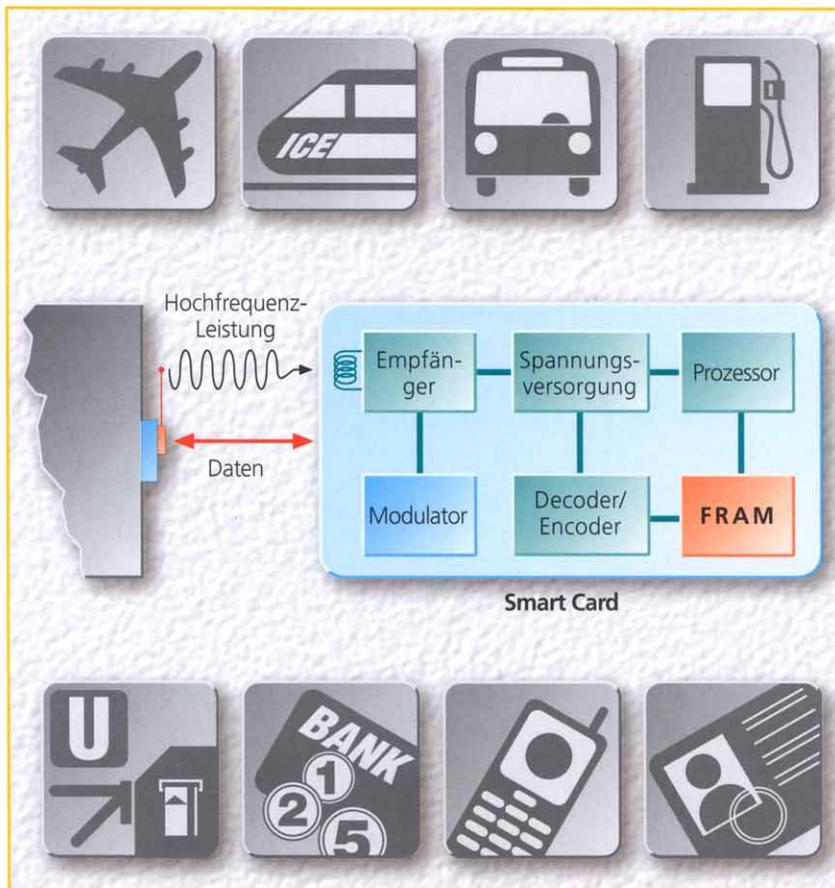


Bild 1: Ferroelektrische Datenspeicher könnten sich in Zukunft auf individuellen „Smart Cards“ wiederfinden: als intelligente Kreditkarte, als Telefonkarte, zur Benutzung des öffentlichen Personennah- und fernverkehrs, zur Abfertigung auf Flughäfen, an Tankstellen, als Gesundheitsvorsorgepaß, als fälschungssicherer Personalausweis u.v.a.m.



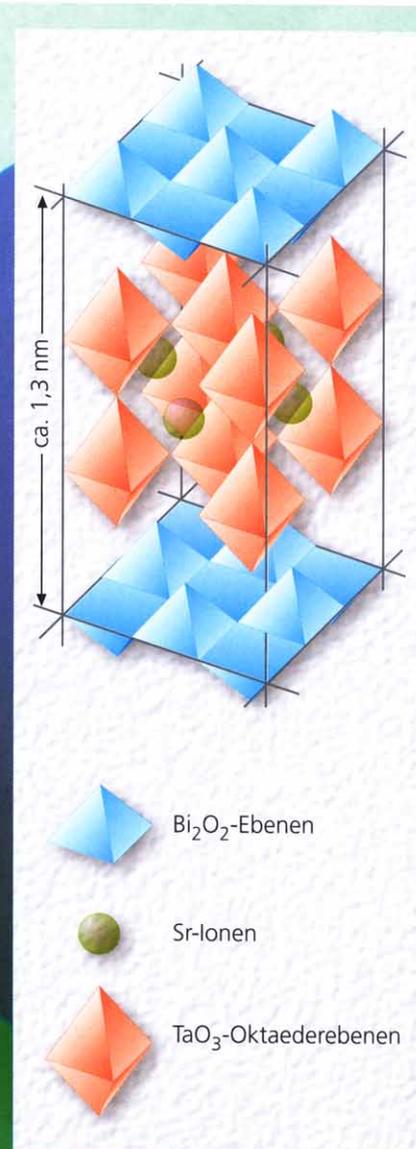
Bild 2: An diesem Meßplatz im Aachener Demonstrationszentrum aixACCT (Advanced Ceramic Coating Technologies) werden ferroelektrische Dünnschichtkondensatoren und Speicherzellen auf ihre Funktionsfähigkeit getestet. (Foto: P. Winandy)

Bild 3: In den letzten Jahren hat man gelernt, ferroelektrische Materialien als Dünnschichten auf Halbleiterchips abzuscheiden. Ein Beispiel ist die keramische Verbindung $SrBi_2(Ta,Nb)_2O_9$ mit der typischen Perowskit-Kristallstruktur. Sie besteht hier aus TaO_3 -Oktaederebenen (mit Sr-Ionen in den Würfecken), die sich mit Bi_2O_2 -Ebenen abwechseln. (Foto: K. Barthels)

0 und 1, mit denen in der digitalen Welt der Computer alle Informationen codiert werden.

Es ist auf den ersten Blick verwunderlich, daß der technologische Wettlauf um die neue Art von Speichern gerade erst richtig in Schwung kommt – 50 Jahre nach Entdeckung der Ferroelektrizität beim Bariumtitanat. Die Erklärung: „Die ferroelektrischen Keramiken können nur dann in die Computertechnik integriert und als Speicher verwendet werden, wenn sie hochpräzise als dünne Schicht auf Halbleiterchips abgeschieden werden“, erklärt Waser (Bild 3). „Das aber hat man erst in den letzten Jahren gelernt.“ Solche Schichten sind weniger als ein tausendstel Millimeter dick. Sie müssen sehr gleichmäßig auf dem Halbleiter aufwachsen – es ist schwierig, dafür die richtigen Bedingungen zu finden. Für ihre Bildung sind üblicherweise hohe Temperaturen nötig – Halbleiter vertragen aber Hitze solchen Ausmaßes schlecht.

„Revolutionär neu“, so Waser, sei die Verbrüderung von Halbleitern mit Keramiken. Denn die chemischen Elemente, die die ferroelektrischen Keramiken bilden, galten bislang als Gift für mikroelektronische Bauelemente. Einer der Wege, die nun besritten werden, um das Problem zu lösen: Die Erzeugung der Logikfunktionen im Silizium findet örtlich getrennt



vom Aufbau der elektrokeramischen Funktionen in unterschiedlichen Reinräumen statt. Außerdem werden auf dem Chip Diffusionsbarrieren vorgesehen.

Seit kurzem sind erste Halbleiterbausteine auf dem Markt, in denen die neuen FRAMs wirksam werden – in intelligenten Kreditkarten und in kleinen Geräten für elektronische Spiele. Doch für die Wissenschaftler und Techniker, die sich mit ferroelektrischen Materialien beschäftigen, bleibt noch viel zu tun.

Bis jetzt nämlich zeigen diese keramischen Stoffe noch zwei menschliche Eigenschaften, die ihre Leistungsfähigkeit begrenzen: Sie „ermüden“, wenn sie zu häufig Daten einlagern und dann wieder herausgeben sollen. Aber auch wenn sie für längere Zeit nicht arbeiten, sind sie irgendwann nicht mehr fit und „altern“ vorzeitig. „Wir wollen dazu beitragen, daß man genauer versteht, wie es zu diesen Alterungs- und Ermüdungsprozessen kommt“, sagt Waser.

Doch auch das Wachstum der dünnen keramischen Schichten fordert die Wissenschaftler immer noch heraus. So untersuchen Forscher aus Jülich und Aachen an speziell entwickelten Meßplätzen (Bild 2), wie sich kleinste Fehler bei der Abscheidung der Schichten auf deren elektrische Eigenschaften auswirken. Außerdem werden die Methoden zur Herstellung der Schichten ständig verfeinert. Dabei müssen die Forscher auch den eher unwissenschaftlichen Aspekt der Kosten des Verfahrens im Auge behalten: Schließlich sind diese für die Akzeptanz des Prozesses durch die Halbleiterindustrie wesentlich. „Andererseits sind weitere Fortschritte auf dem Gebiet der ferroelektrischen Materialien dann zu erwarten, wenn grundlegende Zusammenhänge aufgeklärt werden“, meint Waser. „Das ist längerfristige Forschung, die von den kommerziellen Chip-Herstellern wegen Zeit- und Kostendrucks notwendigerweise vernachlässigt wird.“ Auf diesem Gebiet sieht er die Aufgaben des neuen Jülicher Instituts für Elektrokeramische Materialien angesiedelt. ■