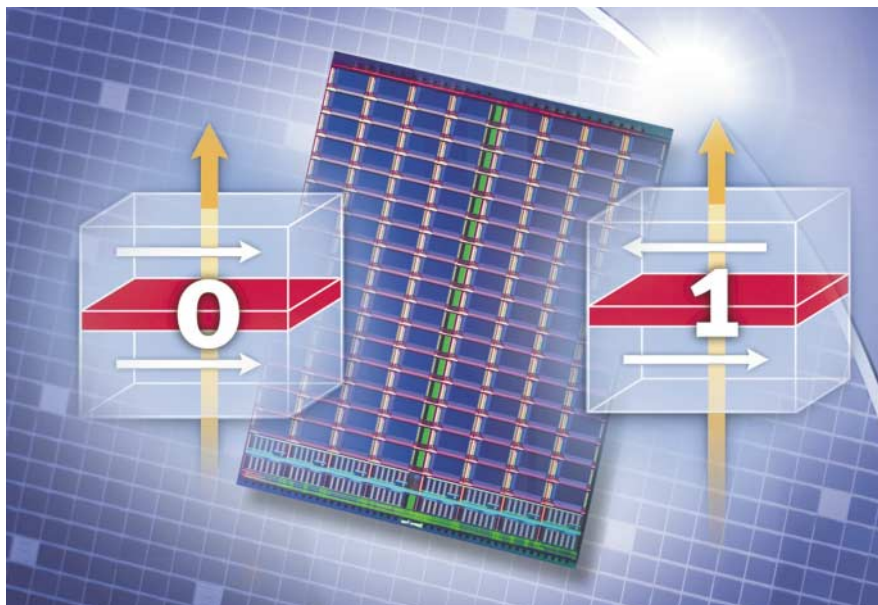




Speicher von Heute, Morgen + Übermorgen

Alfred Vollmer, Redaktion *elektronik industrie*

Auf der Suche nach einem universellen Speicher werden derzeit verschiedene Technologien erforscht und kritisch hinterfragt. Der universelle Speicher soll nichtflüchtig sein, kurze Schreib-/Lesezyklen ermöglichen, eine hohe Zahl von Schreibzyklen ohne Degradation des Speichers aufweisen und eine große Speicherkapazität zu einem optimalen Preis bieten. Der folgende Beitrag beleuchtet einige besonders aussichtsreiche Technologien auf diesem Weg. Während einige innovative Speicher-Technologien noch im Laborstadium sind, gibt es bei anderen bereits die ersten Produkte.



Grafik: Infineon

Die für MRAMs sehr hohe Speicherkapazität wurde durch die Verwendung einer 1,4 Quadratmikrometer (79 nm² Chipgröße) kleinen Speicherzelle erzielt.

Entwickelt wurde das 16-Mbit-MRAM von Altiis, dem im französischen Corbeil-Essonnes ansässigen Fertigungs-Joint-Venture der beiden Unternehmen, nachdem zuvor ein Technologie-Transfer von der MRAM Development Alliance in East Fishkill (ein IBM-Standort bei New York) nach Corbeil-Essonnes erfolgte. Wenn im Jahr 2006 das MRAM-Entwicklungsprojekt bei Altiis ausläuft, dann sollen diese ICs sich bereits in der Vorproduktionsphase befinden.

F(e)RAM

FeRAMs (Ferroelectric Random Access Memories, auch FRAMs genannt) sind eine weitere viel versprechende Technologie für nichtflüchtige Speicher. Die Vorteile von FRAM liegen in den schnellen Lese- und Schreibzugriffen (ähnlich SRAM) und der geringen Leistungsaufnahme. Damit ist diese Technologie prädestiniert für Applikationen wie Spiele-Konsolen, Mobiltelefone, andere mobile Produkte und Chipkarten.

MRAM (Magnetic Random Access Memory) ist eine Speichertechnologie, die statt der elektrischen Ladungen die Magnetisierung für die Speicherung von Informationen nutzt. Sie bietet insbesondere für tragbare Applikationen Vorteile mit schnellerer Speicherung und geringerem Strombedarf als bisherige „elektrische“ Speicher. Die Speicherzelle basiert auf magnetischen Tunnel-Sperrschichten. Diese Sperrschichten sind auf die Verwendung des magnetoresistiven Effekts hin optimiert: Der Widerstand der Tunnel-Schichten hängt von der relativen magnetischen Orientierung der zwei ferromagnetischen Elektroden ab.

Im Bereich der MRAMs sind Unternehmen wie IBM in Kooperation mit Infineon, Freescale in Kooperation mit Philips Semiconductors, STMicroelectronics, Cypress, NEC und Samsung aktiv, wobei Infineon und IBM im Juni 2004 auf dem VLSI-Symposium in Hawaii gemeinsam den „bisher leistungsfähigsten Prototypen dieses revolutionären Speicherchips vorgestellt“ haben: den ersten Prototypen eines 16-Mbit-MRAMs.

Das MRAM von IBM/Infineon nutzt eine 1T1MTJ-Zelle (1-Transistor 1-Magnetic-Tunnel-Junction). Die MTJ-Struktur besteht prinzipiell aus zwei Elektroden (dünne Schichten eines magnetischen Materials) und einer sehr dünnen Isolationsschicht dazwischen. Eine Elektrode weist eine fixe magnetische Polarisierung auf, während die Polarisierung der anderen Elektrode geändert werden kann. Wenn beide Elektroden die gleiche magnetische Orientierung haben (parallel), dann hat die MTJ-Zelle einen geringen Widerstand (**Bild 1**). Andererseits ist bei unterschiedlicher Polarisierung (anti-parallel) der Widerstand höher. Beim Lesen einer MRAM-Zelle fließt ein Strom von einer magnetischen Schicht durch den Isolator (Tunnelung) zu der anderen Schicht, wobei der Widerstand detektiert werden kann. Die Programmie-

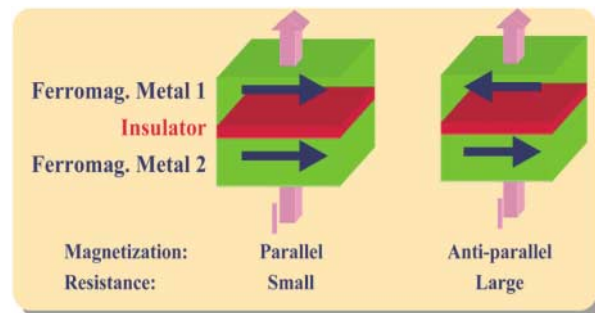


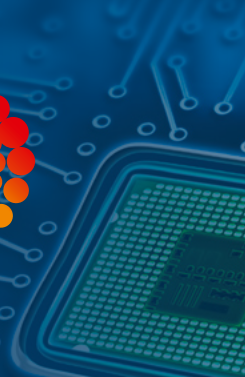
Bild 1: Eine MRAM-Speicherzelle mit MTJ-Struktur basiert auf magnetischen Tunnel-Sperrschichten. Diese Sperrschichten sind auf die Verwendung des magnetoresistiven Effekts hin optimiert: Der Widerstand der Tunnel-Schichten hängt von der relativen magnetischen Orientierung der zwei ferromagnetischen Elektroden ab.

Grafik: Infineon



all-electronics.de

ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf [all-electronics.de](https://www.all-electronics.de)!

Hier klicken & informieren!





Im Vergleich zu DRAM oder Flash weisen FRAMs aber immer noch relativ große Speicherzellen auf und eine Skalierung (Portierung in einen Prozess mit kleineren minimalen Strukturgrößen) ist nur begrenzt möglich. Während bisher

Zellen gemeinsam genutzt. Daten werden bei FRAMs gelesen, indem ein elektrisches Feld an den Kondensator angelegt wird. Abhängig von dem jeweiligen Status in dem sich das Speichermaterial befindet ändert sich die Ladungsmenge,

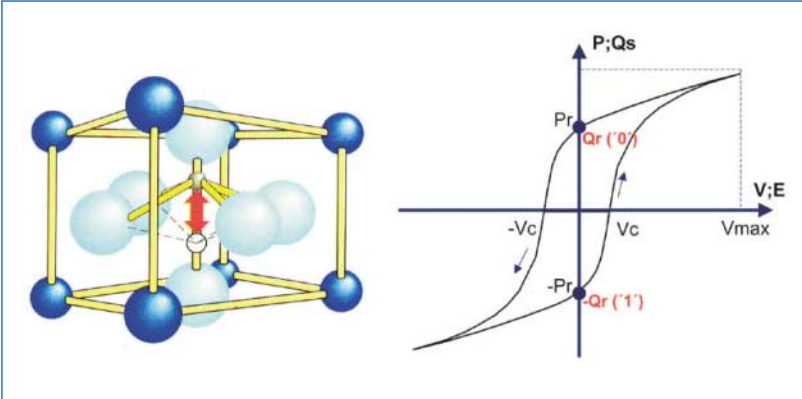


Bild 2: Das FeRAM-Prinzip. Die Polarisierung des ferroelektrischen Materials hat zwei stabile Zustände, die mit einem elektrischen Feld „umgeschaltet“ werden können. Die abgespeicherte Information bleibt auch ohne ein externes elektrisches Feld erhalten.

Grafik: Infineon

bei einer minimalen Strukturgröße F (z. B. $0,13 \mu\text{m}$) lediglich Speicherzellen in der Größenordnung von etwa $10 F^2$ erreicht wurden, haben Infineon und Toshiba auf dem diesjährigen VLSI-Symposium ein neues Chain-FeRAM-Zellkonzept mit einem dreidimensionalen vertikalen Kondensator vorgestellt: das Ergebnis einer Kooperation, die bis 2003 andauerte. Dieses Konzept ist hoch skalierbar und ermöglicht Strukturgrößen für die Speicherzellen von lediglich $4 F^2$.

Eine ferroelektrische Speicherzelle besteht aus einem ferroelektrischen Kondensator und einem MOS-Transistor. Das spezielle „Chain“-FeRAM-Design nutzt mehrere serielle miteinander verbundene Zellen für eine besonders komplexe FeRAM-Lösung. Das Speichermaterial hat eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante (z. B. PZT, Blei-Zirconat-Titanat) und kann in einem elektrischen Feld polarisiert werden. Dabei bleibt die Polarisierung auch ohne externes elektrisches Feld bestehen, kann jedoch durch ein entgegengerichtetes elektrisches Feld umgekehrt werden und damit wird der Speicher nichtflüchtig. Ferroelektrische Materialien müssen übrigens nicht zwingend Eisen enthalten.

Die von Infineon und Toshiba präsentierte Vertikal-Kondensatorzelle enthält einen Transistor und einen ferroelektrischen Kondensator, die parallel geschaltet sind. Die Kontakte zu dem Transistor und die vertikalen Elektroden des Vertikal-Kondensators werden bei dieser kompakten Struktur von benachbarten

die über Verstärkerschaltungen gemessen werden kann. Die Lese-Operation zerstört den Inhalt der Speicherzelle, der nach dem Lesen daher wieder zurück geschrieben werden muss. Dies ist ähnlich wie bei DRAMs.

Die Polarisierung des ferroelektrischen Materials hat zwei stabile Zustände, die mit einem elektrischen Feld „umgeschaltet“ werden können. Die abgespeicherte Information bleibt erhalten – und zwar auch ohne ein externes elektrisches Feld.

Auf diesem Sektor sind Unternehmen wie Texas Instruments, Matsushita, STMicroelectronics, Fujitsu und der F(e)RAM-Pionier Ramtron tätig. Auf der Electronica 2004 wird Ramtron erstmals seine neuen Vorserien-Bausteine vorstellen: das serielle FRAM FM25L256, die FRAM-gestützte „Processor-Companion“-Familie FM32x sowie den unabhängigen „Processor-Companion“-Baustein FM4005.

So ist das für 3 V konzipierte 256-Kbit-FRAM FM25L256 nach Angaben von Ramtron „der schnellste SPI-Speicher auf dem Markt“. Die FM32x-Chips verfügen je nach Typ über 4, 16, 64 oder 256 Kbit FRAM sowie eine Prozessor-Überwachungs-Einheit. Der FM4005 wiederum enthält fünf verschiedene Analog- und Mixed-Signal-Funktionen für prozessorgestützte Systeme in einem 14poligen SOIC. Das IC verfügt über je einen Echtzeit-Taktgeber (RTC), Low- V_{DD} -Reset, Laufzeitüberwacher, batteriegestützten Ereigniszähler, sperrbares serielles 64-bit-Zahlenareal und einen Universalkomparator, der als früh-

zeitiger (nicht maskierbarer) Stromausfall-Interrupt oder für andere Zwecke verwendbar ist.

PCRAM

In PCRAMs (Phase Change Random Access Memories) werden zwei unterschiedliche Phasen des Speichermaterials zur Speicherung der Information genutzt. Dabei hat die amorphe Phase des Materials einen hohen Widerstand, während die kristalline Phase einen geringen Widerstand aufweist. Beim Lesen der PCRAM-Zelle wird der Widerstand und damit der Status ermittelt. Beim Schreiben wird auf thermischem Weg die Phase des Speichermaterials – hier ein Chalcogenide-Glas – verändert. Der thermische Phasenwechsel erfolgt durch zielgerichtete Stromimpulse. Auf diesem Sektor sind Unternehmen wie Intel, Macronix, Samsung und STMicroelectronics aktiv.

CBRAM

Das CBRAM (Conductive Bridging RAM) basiert auf einer polaritätsabhängigen Änderung des Widerstands bei geringen Strömen und Spannungen. Die Widerstandsänderungen basieren auf der elektrischen Abscheidung bzw. Entfernung von Metallbrücken in einem festen Elektrolyt. Dabei wird bei Spannungen über den elektrochemischen Potenzialen strominduziert die chemische Zusammensetzung verändert.

Die Widerstände der CBRAMs bestehen aus einem mit Metall dotierten Host-Material, das zwischen einer inerten Kathode und einer reaktiven Silber-Anode eingebettet ist. Die Silber-Anode dient als Metall-Reservoir für die elektrochemische Umschaltung. CBRAMs befinden sich derzeit im Forschungs- bzw. Laborstadium.

Polymer Speicher bzw. ORAM

Organische RAM (ORAM) basieren auf einem organischen Speichermaterial, dessen Widerstand ebenfalls reversibel verändert werden kann. Im Vergleich zu anorganischen Materialien lassen sich die Eigenschaften organischer Speicherschichten über eine selektive Veränderung der molekularen Struktur individuell abstimmen.

Darüber hinaus eignen sich organische Materialien häufig sehr gut sowohl zur Vakuum-Abscheidung als auch für kostengünstiges Beschichten durch Aufschleudern. Speicherzellen, die von Infineon in der neuen Technologie aufgebaut wurden, zeigten viel versprechende Zuverlässigkeitsergebnisse. Erstmals wurde ein Datenerhalt von mehr als einem Jahr für ein organisches Speichermaterial erreicht, dessen Schaltverhalten auf Änderung der Leitfähigkeit beruht.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass das Material zu Strukturgrößen von weniger als 20 nm skaliert werden kann. Zusammenfassend präsentiert sich das neue Speicherma-

terial nach Angaben von Infineon „als ein attraktiver Kandidat für nichtflüchtige Speicher“.

Kein Wunder also, dass neben Infineon auch andere Unternehmen im Bereich der Polymer-Speicher forschen – nämlich Opticom, die AMD-Tochter Coatue, IMEC sowie Fraunhofer-Institute. Allerdings dürfte es noch einige (wenige?) Jahre dauern, bis die ersten ORAMs als zuverlässige Serienprodukte auf den Markt kommen.

Ausblick

Langfristig gesehen dürften Speicher, die auf Basis von Nanoelektronik arbeiten, zu einem sehr wesentlichen Marktfaktor werden. Es handelt sich hierbei um Produkte auf Basis von Kohlefaser-Nanoröhren (Carbon Nanotubes), Nano-Drähten sowie Nanokristallen, aber auch um Organische Speicher. Da die meisten dieser Technologien sich derzeit noch im Forschungsstadium befinden, steht ihnen ihre große Zeit erst noch bevor.

Verfügbare Speicher-Spezialitäten

Die bereits heute erhältlichen Speicher von parallelen und seriellen Flash-Speichern, asynchronen und synchronen SRAMs, SDRAMs, parallelen und seriellen EEPROMs sowie Flash-Speicherkarten über FIFOs, Dual-Port-SRAMs, OTPs bis zu Masken-ROMs liefert unter anderem Inteltek.



Zu den Highlights zählen dabei der **serielle Daten-Flash-Speicher AT45DBxx** von Atmel auf NOR-Basis, der von 1 Mbit bis 128 Mbit erhältlich ist. Kleine Sektorgrößen erlauben hier ein schnelles Update und ersparen teure RAM-Buffer,

während Befehle und Daten über einen schnellen SPI-Port geschickt werden, so dass nur vier Leitungen zum Prozessor nötig sind.

Die synchronen **Zero-Bus-Latency-SRAMs** von Amic weisen zwischen einem Schreib- und Lesevorgang kein Latenzzeit mehr auf, so dass keine Wait-States zwischen Schreiben und Lesen mehr nötig sind. Diese SRAMs gibt es als 36-Mbit-Version mit 18 oder 36 bit breitem Datenbus. Die FlexQ-Familie von Amic besteht wiederum aus synchronen und asynchronen **FIFOs** mit Kapazitäten von 512 bit bis 5 Mbit. Sie lassen sich mit 166 MHz Taktfrequenz betreiben und ermöglichen Busbreiten von 9 bis 80 bit. Die ChannelQ-Serie bietet darüber hinaus rekonfigurierbare Switching-Funktionen z. B. für Unicast-, Multicast- und Broadcast-Funktionen.

www.ineltek.com

Ineltek **301**

www.infineon.de	Infineon	341
www.ibm.com	IBM	342
www.freescale.com	Freescale	343
www.semiconductors.philips.com	Philips Semiconductors	344
www.st.com	STMicroelectronics	345
www.cypress.com	Cypress	346
www.nec.com	NEC	347
www.ti.com	Texas Instruments	348
www.mci.panasonic.co.jp/english	Matsushita	349
www.fujitsu.com	Fujitsu	350
www.ramtron.com	Ramtron	351
www.intel.com	Intel	352
www.macronix.com	Macronix	353
www.samsung.com	Samsung	354
www.opticomasa.com	Opticom	355
www.amd.com	AMD/Coatue	356
www.imec.be	IMEC	357
www.fraunhofer.de	Fraunhofer	358
www.toshiba.de	Toshiba	359