Datenspeicher der Zukunft

Autor(en): **Novotný, Radomir**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **107 (2016)**

Heft 4

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857118

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Datenspeicher der Zukunft

Neue Perspektiven mit Phase Change Memory

Das durch elektronische Medien und Big Data angetriebene rasante Datenwachstum wird eine grosse Herausforderung darstellen. Künftige nichtflüchtige Speicher sollen einerseits weniger Energie brauchen und andererseits deutlich schneller sein als heutige Speicher, um eine Verarbeitung der Datenflut zu ermöglichen. An einer neuen Datenspeicher-Technologie, die gut skalierbar und schnell ist, wird am IBM-Forschungszentrum in Rüschlikon gearbeitet: Phase Change Memory – eine Technologie, die auch dem Neuromorphic Computing, einer neuen Computer-Architektur, zum Durchbruch verhelfen könnte.

Radomír Novotný

Eigentlich ist die Technologie schon älter: Der Effekt des Phase Change Memory wurde bereits in den 1960er-Jahren erforscht. Aber erst aktuelle Entwicklungen könnten dieser Speichertechnologie zum Durchbruch verhelfen. Das Material, im Falle von PCM eine dotierte Germanium-Antimon-Tellur-Legierung, das seinen Zustand mittels Wärme von amorph zu polykristallin und zurück verändern kann, wird schon heute millionenfach in mehrfach beschreibbaren CDs und DVDs eingesetzt. Dort wird seine Phase mittels Laserlicht definiert und ausgelesen. Beim Auslesen nutzt man die Tatsache, dass eine amorphe, ungeordnete Zelle das angestrahlte Licht weniger stark reflektiert als eine geordnete polykristalline.

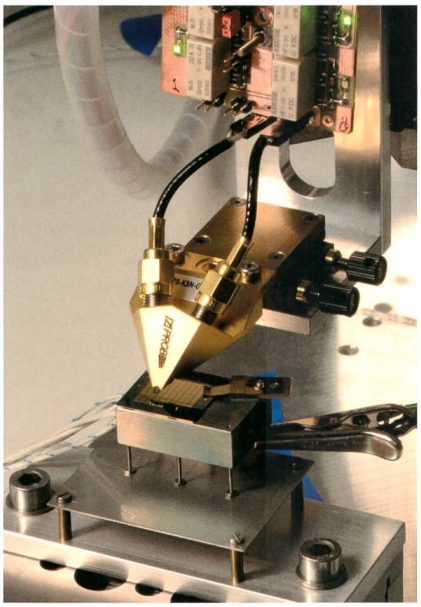

Bild 1 Probe zur Untersuchung neuer Ideen an den neusten Prototypen von Phase Change Memory Chips. Diese Chips werden im IBM-Forschungszentrum in Rüschlikon hergestellt.

Daten mit Widerständen speichern

Neben den optischen Eigenschaften ändern sich aber auch die elektrischen: Eine amorphe Zelle hat einen viel höheren elektrischen Widerstand als eine kristalline. Da es keine Rolle spielt, wie die Wärme zur Zelle kommt, kann man für den Schreibvorgang statt des Laserlichts auch elektrischen Strom verwenden: Man legt eine Spannung mit einem genau definierten zeitlichen Verlauf an eine Zelle an, um aus kristallinem amorphes Material zu machen: Ein kurzes Aufheizen auf rund 600 °C – 10 bis 20 ns reichen aus –, gefolgt von schnellem Abkühlen. Um den Prozess umzukehren und aus amorphem Material kristallines zu machen, wird es auf rund 250 °C aufgeheizt und langsamer abgekühlt. Dies dauert rund 100 ns.

Diesen Effekt kann man ausnützen, indem man viele solcher individuell ansteuerbarer Zellen auf einen Halbleiterchip aufsetzt und als nichtflüchtigen Speicher nutzt (Bild 1). Der Zustand eines solchen Speichers ist definiert durch den Widerstand der Zellen, statt wie bei aktuellen Speichertechnologien durch eine gespeicherte elektrische Ladung (DRAM, Flash) oder durch Magnetismus (HD).

Diese sogenannten Memristoren haben einige Vorteile. Ein solcher Speicher lässt sich besser skalieren, denn im Gegensatz zum Flash, bei dem ein «Elektronencontainer» eine gewisse Grösse haben muss, damit die nötige Anzahl Elektronen gespeichert werden kann, lässt sich eine Zelle des Phase Change Memory (PCM) fast beliebig klein machen. Forscher an der University of Illinois haben gezeigt, dass auch eine rund 1,5 nm grosse Zelle, zwischen zwei Nanoröhrchen platziert, zuverlässig arbeitet. Diese Art der Skalierung ist mit Flash nicht möglich.

Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass eine solche Zelle eine um Grössenordnungen höhere Anzahl Schreibzyklen zulässt als Flash, bei dem ein Durchbruch der isolierenden Oxidschicht die Lebensdauer bestimmt. Ohne Garbage Collection und diversen Flash-Management-Funktionen schafft Flash etwa 5000 Speicherzyklen, bei PCM erreicht man 10^8. Zudem sind die Schreib-/Lesezyklen bei PCM viel schneller – das Schreiben ist in 2 bis 4 µs möglich, das Lesen im Bereich von wenigen 100 ns. Also fast 1000 Mal schneller als Flash. Phase Change Memories könnten künftig als universelle Speicher eingesetzt werden, die fast so schnell sind wie DRAMs, aber mit dem Vorteil, dass sie nicht flüchtig sind.

Obwohl sie sich bezüglich Speicherkapazität nicht gross von Flash unterscheiden werden, könnten sie die Kluft zwischen schnellen Speichern mit wenig Speicherplatz (DRAM) und langsamen, grossen Speichern (Flash) überbrücken. Neben DRAM könnten sie als «Extended Memory» eingesetzt werden und neben Flash als Storage für schnelle Schreib-Lese-Zyklen. So könnten sonst nicht realisierbare Big-Data-Anwendungen ermöglicht werden.

Die aktuelle PCM-Forschung bei IBM fing im Thomas J. Watson Research Center in Yorktown Heigths (NY) an. Rüschlikon stiess dann vor acht Jahren hinzu. Zurzeit verfügt man über funktionsfähige PCM-Prototypen für Forschungszwecke. Abhängig von den Kosten pro Gigabit und der Marktentwicklung könnte gemäss Evangelos Eleftheriou (Bild 2) bereits in wenigen Jahren eine Kommerzialisierung stattfinden. IBM stellt jedoch keine Memory-Technologien her, ist aber daran interessiert, die

No

Bild 2 Datenspeicher-Experte und IBM-Fellow Dr. Evangelos Eleftheriou am IBM-Forschungszentrum in Rüschlikon.

PCM-Technologie in den eigenen Systemen zu nutzen sowie andere Hersteller zu befähigen, die Technologie zu vermarkten. 2015 haben Intel und Micron prognostiziert, dass PCM Ende 2016 auf dem Markt verfügbar sein wird.

Widerstandsdrift eliminieren

Natürlich gibt es auch bei PCM Herausforderungen, beispielsweise der Widerstandsdrift und das niederfrequente 1/f-Rauschen des Widerstands. Ersteres ist das Hauptproblem, letzteres macht sich besonders beim amorphen Material in kleinen Zellen – je kleiner die Zelle, desto grösser der Widerstand – bemerkbar. Beide Effekte können zu einer falschen Interpretation der gespeicherten Information führen und wirken sich besonders stark bei der Speicherung von mehr als einem Bit pro Zelle aus.

IBM-Forscher haben eine Lösung entwickelt, die diese Probleme im wörtlichen Sinne umgeht: Eine Entkopplung des physischen Speichermechanismus vom Ausleseverfahren. Dabei wird eine PCM-Zelle von einem Material umgeben, dessen Widerstandswert zwischen dem des amorphen und des polykristallinen PCM-Materials liegt und das einen stabilen Widerstand hat und deutlich weniger rauscht (Bild 4). Beim Schreibzyklus wird eine genügend hohe Spannung gewählt, bei der der Strom durch die PCM-Zelle geht, die Zelle erhitzt und somit auf gewünschte Weise setzt. Das Auslesen der Zelle geschieht mit einer niedrigeren Spannung, damit der Strom um die amorphe Stelle herum durch das stabilere Material fliesst. Der Stromunterschied zwischen «0» und «1» ist zwar nun kleiner als ohne dieses umgebende Material, aber dafür ist das Auslesen nun entkoppelt vom Widerstandsdrift des amorphen Materials. Dieses Konzept wird als «Projected Memory» bezeichnet, denn für den elektrischen Strom ist es eine Projektion des Zellenzustands auf das umliegende Material.

Erhöhung der Skalierbarkeit

Um die Speicher preisgünstiger zu machen, werden sie skaliert, d.h. die Speicherkapazität pro Fläche wird erhöht. Bei Flash stapelt man die Chipschichten zu einem 3D-Aufbau, zudem werden heute bis zu drei Bits in einer Zelle gespeichert. Diese Mehrbit-Speicherung ist auch bei PCM möglich. Dabei unterscheidet man nicht nur zwischen gut und schlecht leitend, sondern moduliert die Dicke der amorphen Region und erzeugt so eine hybride Phase. Der resultierende Widerstand wird dann genauer gemessen. Denn je mehr Bits pro Zelle gespeichert werden, desto stabiler muss der Widerstandswert über die Zeit bei sich verändernder Temperatur und umso höher muss der Signal-Rausch-Abstand sein.

Zurzeit speichert man in Rüschlikon drei Bits in einer Zelle, was einer Verdreifachung der Speicherkapazität entspricht. Diese PCM-Technologie ist weltweit einzigartig. Mit der Entwicklung des Projected Memory hoffen die IBM-Forscher, noch mehr Bits pro Zelle speichern und noch schneller lesen und schreiben zu können.

Weitere Technologien

Die auf Chalkogeniden basierende PCM-Technologie ist nicht die einzige Speichertechnologie, die auf dem elektrischen Widerstand basiert. Es gibt weitere solcher nichtflüchtiger Speichertechnologien und unterschiedlicher Materialien, bei denen materialspezifische Schaltmechanismen eingesetzt werden und die im Forschungsstadium mehr oder weniger fortgeschritten sind. Forscher diverser Speicherhersteller befassen sich beispielsweise mit Resistive RAM (basierend auf Metalloxiden wie Hafnium-, Tantal- oder Titanoxid), Magnetic Random Access Memory (MRAM), Spin Torque Transfer MRAM, Redox-Memories sowie mit Kohlenstoff als Speichermedium. Nach Ansicht des IBM-Fellows Evangelos Eleftheriou ist PCM zurzeit der Spitzenkandidat im Rennen um die nächste Speichertechnologie.

Im Kontext der kohlenstoffbasierten Nano-Elektronik – Stichwort Kohlenstoff-Nanoröhrchen und Graphen – wäre es nützlich, wenn auch die Speicher aus demselben Material sein könnten. Die Forscher in Rüschlikon arbeiten daran, einen mit Sauerstoff angereicherten amorphen Kohlenstoff, Grafit, als Datenspeicher nutzen zu können. [2] Das Prin-

No

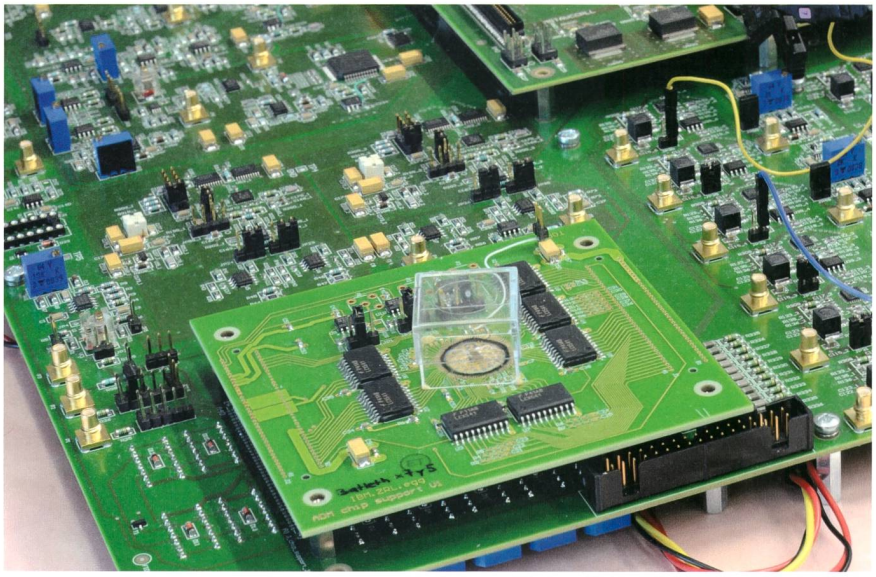

Bild 3 Plattform zum Entwickeln, Optimieren und Verifizieren von Algorithmen für das zuverlässige Schreiben und Lesen von Phase Change Memory mit Multi-Level-Möglichkeit. Der Plexiglaskasten schützt den PCM-Chip.

IBM

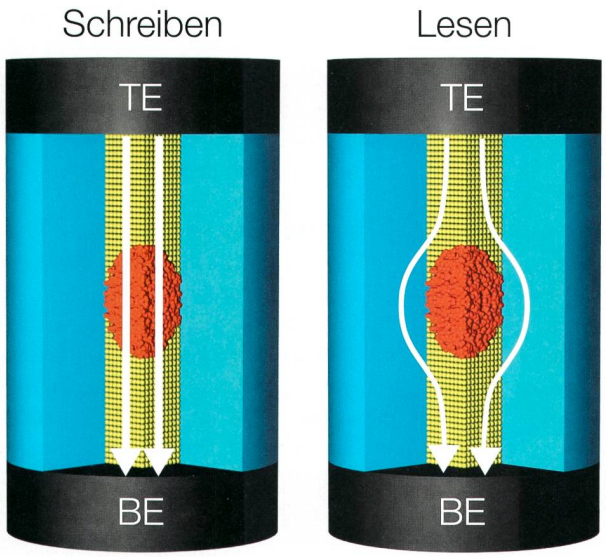

Bild 4 Das Konzept «Projected Memory» ermöglicht es, die Schwächen des PCM-Materials zu umgehen, indem der Strom beim Auslesen statt durch die amorphe Stelle (rot) durch das niederohmigere, zeitlich stabile und rauscharme Material (blau) fliesst. Dies ermöglicht das Auslesen mehrerer Bits pro Zelle. Das polykristalline Material ist gelb. [1]

zip ist ähnlich wie bei den PCM: Ein in einem nichtleitenden Material eingebetteter leitender Grafitfaden wird durch elektrischen Strom «unterbrochen» bzw. wieder verbunden, indem isolierende Defekte im Grafit mit einem elektrochemischen Vorgang erzeugt bzw. entfernt werden.

Da das Material in der Kohlenstoffelektronik nur aus einem einzigen chemischen Element besteht, könnten solche Speicher extrem klein gemacht werden. Unerwünschte Effekte durch wandernde Atome würden wegfallen und die Zuverlässigkeit wäre höher. Da Kohlenstoff sehr stabil ist, wären die Speicher langlebig, zuverlässig und unempfindlich auf äussere Einflüsse. Zudem sind sie extrem schnell: Schaltzeiten in der Grössenordnung von 10 ns wurden bereits erreicht. Die Lebensdauer ist noch nicht umwerfend: Sie beträgt zurzeit um die 10 000 Schaltzyklen. Dies ist ein Aspekt, bei dem noch Forschungsbedarf besteht. Während künftig Kohle als Energiespeicher an Bedeutung verlieren könnte, steht ihr eventuell eine neue Rolle als biokompatibler, nichtflüchtiger Datenspeicher bevor.

Das Gehirn als Vorbild

Die PCM-Forschung in Rüschlikon beschränkt sich nicht auf technologische Fragen. Obwohl noch grundlegende Aspekte (Funktionsweise, Driftphänomene, ...) darauf warten, entschlüsselt zu werden, erforscht man gleichzeitig Aspekte der Systemintegration, beispielsweise die Nähe zum Memory Controller oder den Einsatz als Storage-Medium. Da das Gehirn ebenfalls die Speicherung mittels Widerständen nutzt, bietet sich PCM zudem für eine neue Rechnerarchitektur an: Für eine vom Gehirn bzw. dessen Neuronen und Synapsen inspirierte Architektur, bei der der Prozessor und der Speicher nicht wie bei der von-Neumann-Architektur örtlich getrennt sind. Dadurch wird der bei grossen Datenmengen auftretende Stau, verursacht durch den Flaschenhals des Datenbusses, vermieden. Die «neuromorphe» Rechnerarchitektur, bei der die spezifischen Eigenschaften von PCM für die Gewichtungsfunktion der Synapsen genutzt werden können, könnte gewisse Aufgaben beispielsweise im Bereich der Mustererkennung deutlich effizienter ausführen. Sie wäre zudem in der Lage, selbst zu lernen. Ein Beispiel veranschaulicht dies: Ein Video mit Zufallsbildern wird einem Neuron mittels zahlreicher Synapsen zugeführt. Zwischendurch blitzen erkennbare Bilder auf. Das System ist in der Lage, das Rauschen zu ignorieren und die Bilder zu speichern. Ändert das Bild, «lernt» das System und die Ausgabe des Neurons passt sich in wenigen Schritten daran an. Und dies alles ohne Rechenleistung.

Vorerst werden die Versuche mit dem konventionellen PCM-Hardware-Setup durchgeführt. Wenn sich das Prinzip bewährt, wird man zur Entwicklung eines neuromorph strukturierten Chips übergehen. Dieser liesse sich beispielsweise in Sensorlösungen integrieren, um eine energieeffiziente Datenverarbeitung direkt vor Ort zu ermöglichen, mit dem Vorteil, statt grosser Datenmengen nur hochwertige Informationen zu übertragen. Grundsätzlich könnte man mit der Korrelationsmethode neuromorpher Architekturen das in grossen Datenmengen enthaltene Wissen effizienter als mit konventionellen Rechnern extrahieren. Die Inspiration ist klar: die Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns – bei vergleichbarem Energieverbrauch.

Referenzen

[1] Wabe Koelmans, et al., Nature Communications 6: 8181 doi:10.1038/ncomms9181 (2015).
[2] Claudia Santini, et al., Nature Communications 6:8600 doi: 10.1038/ncomms9600 (2015).

Autor

Radomír Novotný ist Chefredaktor Electrosuisse beim Bulletin SEV/VSE.
Electrosuisse, 8320 Fehraltorf
radomir.novotny@electrosuisse.ch

Résumé

Les mémoires de données du futur

Nouvelles perspectives dans le domaine des phase change memories

La croissance fulgurante de la quantité de données entraînée par les nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'Internet des objets et la numérisation constituera un défi important à relever à l'avenir. Les futures mémoires non volatiles auront pour objectif, d'une part, de consommer moins d'énergie et, de l'autre, de gagner considérablement en rapidité au regard des mémoires actuelles afin de permettre le traitement d'une avalanche de données. Une nouvelle technologie de mémoire de données, particulièrement rapide et dont les dimensions peuvent être fortement réduites, est en cours de développement au centre de recherche d'IBM de Rüschlikon. Il s'agit de la mémoire à changement de phase (phase change memory), une technologie susceptible de contribuer à la percée de l'informatique neuromorphique (neuromorphic computing), une nouvelle architecture d'ordinateur. No