Schnelle MRAM dank ballistischer Bitansteuerung

Autor(en): **Schumacher, Hans Werner**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **97 (2006)**

Heft 11

PDF erstellt am: **02.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-857691

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

Schnelle MRAM dank ballistischer Bitansteuerung

Schreibzeiten unter 500 ps für magnetische Speicher

Magnetic Random Access Memories (MRAM) sind ein neuer Typ Speicherchip, in denen die digitalen Informationen (0, 1) nicht in Form elektrischer Ladung auf einem Kondensator, sondern in der Magnetisierungsrichtung einer magnetischen Speicherzelle gespeichert werden. Die MRAM-Chips speichern die Daten dauerhaft wie auf einer Festplatte, auch bei abgeschalteter Stromversorgung. Mit der ballistischen Bitansteuerung könnten sie sogar schneller programmiert werden als aktuelle Speicherbauteile.

Hans Werner Schumacher

Die heute üblichen schnellen Speicherchips wie DRAM und SRAM (Dynamic und Static Random Access Memory) haben einen entscheidenden Nachteil: Bei Unterbrechung der Stromversorgung gehen die darauf gespeicherten Informationen verloren. Dafür, dass in unseren PCs die Daten auch nach Ausschalten des Rechners noch erhalten bleiben, ist die Festplatte zuständig. Insbesondere für speicherintensive mobile Anwendungen wie Fotohandys, in denen Festplatten keinen Platz finden, werden aber andere Lösungen benötigt. Hier werden üblicherweise Flash-Speicherchips eingesetzt. Flash-Speicher können die Informationen nichtflüchtig, also auch ohne Stromversorgung dauerhaft speichern. Neben der Nichtflüchtigkeit ist der grosse Vorteil der Flash-Speicher die hohe Speicherdichte, vergleichbar mit der von DRAM. Nachteile sind die begrenzte Wiederbeschreibbarkeit der Zellen und die im Vergleich zu SRAM um drei Grössenordnungen langsameren Schreibzeiten. Eine Zusammenfassung dieser Daten findet sich in der Tabelle I. Für heutige Speicherchips gilt also: entweder schnell oder nichtflüchtig.

Das Magnetic Random Access Memory (MRAM) könnte den Ausweg aus diesem Dilemma weisen [1, 2]. Während in SRAM, DRAM und Flash die digitale Information in Form von elektrischer Ladung in der Speicherzelle kodiert wird, speichert das MRAM die digitale Information ähnlich wie eine Festplatte über die Orientierung der Magnetisierung eines magnetischen Bits. Die magnetisch gespeicherte digitale Information bleibt auch nach Abschalten der Stromversorgung dauerhaft erhalten. Das MRAM ist somit ein nichtflüchtiger Speicher. Die Kenndaten der heutigen MRAM-Prototypen sind zum Vergleich mit den aktuellen Speicherprodukten in Tabelle I aufgeführt. MRAM erlauben bereits heute einen schnellen Schreib- und Lesezugriff, eine unbegrenzte Anzahl von Schreib- und Lesezyklen und eine hohe Integrationsdichte. Wegen dieser Kombination bisher unvereinbarer Kenndaten werden MRAM bisweilen auch als universelle Speicherchips bezeichnet. Die Tabelle zeigt aber auch, dass die aktuellen MRAM-Prototypen in der Schreibgeschwindigkeit noch nicht mit den schnellsten flüchtigen Speicherchips, den SRAM, konkurrieren können.

Aufbau eines MRAM

Das Herzstück eines MRAM ist die magnetische Speicherzelle mit einem magnetischen Tunnelelement (MTE), wie in Bild 1 gezeigt. Das magnetische Tunnelelement besteht schematisch aus zwei ferromagnetischen Schichten FM1 und FM2 (zum Beispiel aus Legierungen aus Nickel, Eisen und Kobalt), die durch eine dünne Tunnelbarriere TB (zum Beispiel aus Aluminium- oder Magnesiumoxid) voneinander getrennt sind. Eine der beiden ferromagnetischen Schichten (hier FM1) hat eine fest orientierte Magnetisierung (Pfeil), während die Magnetisierung

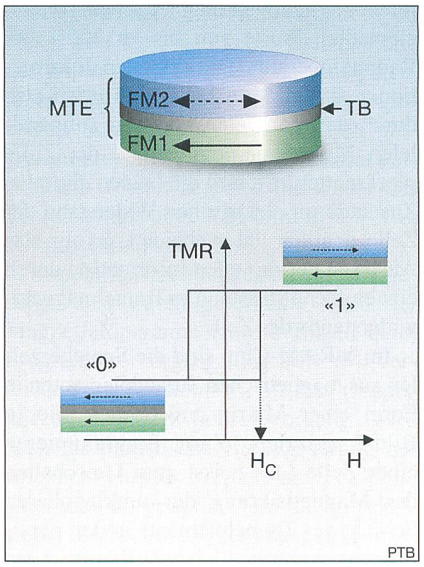


Bild 1 Magnetisches Tunnelelement

Die nichtflüchtige Speicherung der Daten in einem MRAM erfolgt in einem magnetischen Tunnelelement (MTE). Es besteht schematisch aus einem Stapel aus einer ersten ferromagnetischen Schicht FM1, einer Tunnelbarrierenschicht TB und einer zweiten ferromagnetischen Schicht FM2. Die Richtung der Magnetisierung der beiden ferromagnetischen Schichten wird durch die Pfeile angedeutet. Die Magnetisierung der einen Schicht (FM1) liegt fest, während die Magnetisierung der zweiten, freien Schicht leicht durch ein äusseres Magnetfeld umgeklappt werden kann.
Im unteren Teil der Abbildung ist eine Hysteresekurve des Tunnelmagnetowiderstands der Speicherzelle skizziert. Beim Umklappen der Magnetisierung der freien Schicht durch ein äusseres angelegtes Magnetfeld H oberhalb des Koerzitivfeldes H_C ändert sich der Tunnelmagnetowiderstand (TMR) der Zelle sprunghaft. Diese TMR-Änderung kann bei heutigen Zellen bis zu 200% betragen. Der parallele und der antiparallele Zustand der Zelle entsprechen den beiden digitalen Speicherwerten 0 und 1. Durch die hysteretische Kennlinie bei niedrigen Feldern bleibt der durch das Feld programmierte digitale Speicherwert dauerhaft erhalten und ermöglicht die nichtflüchtige Datenspeicherung der digitalen Information. Das Auslesen der digitalen Information erfolgt durch einfache Messung des Tunnelmagnetowiderstands der Speicherzelle.

der zweiten, freien Schicht relativ leicht durch ein äusseres Magnetfeld umgeklappt werden kann. Die Zellen sind so ausgelegt, dass die Magnetisierung der beiden Schichten im feldfreien Zustand entweder parallel oder antiparallel liegt. Das Umklappen der Magnetisierung vom parallelen in den antiparallelen Zustand und umgekehrt bewirkt eine starke Änderung des Widerstandes der Zellen, wie im unteren Teil von Bild 1 gezeigt. Misst man den so genannten Tunnelmagnetowiderstand (TMR für Tunnelling Magneto Resistance), also den Widerstand bei Stromfluss senkrecht zur Schichtebene durch die Tunnelbarriere, so ändert sich dieser sprunghaft beim Umklappen der Magnetisierung der freien Schicht vom parallelen in den antiparallelen Zustand. Diese Widerstandsänderung erreicht bei heutigen magnetischen Tunnelelementen Werte von bis zu 200% bei Raumtemperatur. Die digitalen Informationen 0 und 1 im MRAM werden also durch den parallelen und den antiparallelen Magnetisierungszustand der Zelle repräsentiert. Da sich die beiden digitalen Zustände im elektrischen Widerstand der Zelle deutlich unterscheiden, erfolgt das Auslesen der digitalen Information durch eine einfache Messung des Tunnelmagnetowiderstands der Zelle.

Im MRAM-Chip sind die Speicherzellen aus magnetischen Tunnelelementen in Form einer Matrix angeordnet, wie in Bild 2 skizziert. Zum Programmieren einer Zelle (das heisst zum Umschalten der Magnetisierung der umklappbaren Schicht des Tunnelelements in den parallelen oder antiparallelen Zustand) ist ein lokaler magnetischer Feldpuls nötig. Dieser wird über ein Netz aus zeilen- und spaltenweise verlaufenden Leiterbahnen erzeugt, den so genannten Bit- und Word-Leiterbahnen (BL, WL). An jedem Kreuzungspunkt einer Bit- und einer Word-Leiterbahn befindet sich eine Speicherzelle. Will man nun eine bestimmte Zelle der Speichermatrix programmieren, so schickt man einen Programmierstrom durch die beiden Leiterbahnen, die sich an der ausgewählten Zelle kreuzen. Der Strom durch die Leiterbahnen erzeugt entsprechend dem Ampère'schen Gesetz jeweils ein zirkulares Magnetfeld, dem alle Speicherzellen entlang der Bit- und Word-Leiterbahn ausgesetzt sind. Damit nur die ausgewählte Zelle am Kreuzungspunkt programmiert wird, muss die Strom- und damit auch die Magnetfeldstärke so gewählt werden, dass das Feld eines einzelnen Leiters zu niedrig ist, um die Magnetisierung der Zellen umzuklappen, während das überlagerte Feld am Kreuzungspunkt ausreicht, um den Magnetisierungszustand der entsprechenden Zelle zu verändern.

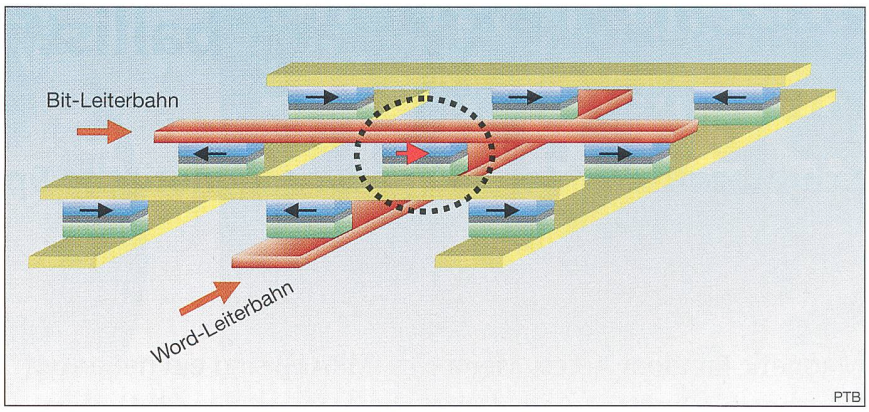


Bild 2 Programmierung einer MRAM-Zelle

Programmierung einer Zelle in einer MRAM-Matrix aus magnetischen Speicherzellen (blau/grau) und gekreuzten Leiterbahnen. Ein Strompuls durch je eine Bit- und eine Word-Leiterbahn (rot) erzeugt ein Magnetfeld an allen Zellen entlang der beiden Leiterbahnen. Das Feld einer einzelnen Leiterbahn ist zu schwach, um die Zellen zu programmieren. Nur das überlagerte Feld am Kreuzungspunkt der beiden Leiterbahnen schaltet die Magnetisierung (Pfeil) der entsprechenden Zelle.

In Bild 2 sind nur die Leiterbahnen skizziert, die zur Programmierung der MRAM-Zellen verwendet werden. Der komplette Aufbau einer MRAM-Zelle wird in Bild 3 gezeigt. Um gezielt den Widerstand einer einzelnen Zelle im Array auslesen zu können, wird beispielsweise noch ein Lese-Auswahltransistor benötigt, dessen Steuerelektrode (Gate) über eine weitere Word-Leiterbahn angesteuert wird.

Schalten durch Präzession

In den bisherigen MRAM-Prototypen erfolgt die Programmierung einer MRAM-Zelle durch Strompulse durch die Schreibleiter von etwa 5 bis 20 ns Dauer. Auf diesen Zeitskalen spielt die Präzessionsdynamik der Magnetisierung noch keine entscheidende Rolle. Um aber ein deutlich schnelleres MRAM mit Schaltzeiten unter zwei Nanosekunden zu realisieren, muss die Präzession der Magnetisierung gezielt zum Schalten der Zelle genutzt werden. Die magnetische Präzession weist Parallelen zur Bewegung eines klassischen Kreisels auf, wie in Bild 4 gezeigt. Auf ein angelegtes Feld reagiert die Magnetisierung mit einer gedämpften Präzessionsdrehung um das wirkende Feld. Genauer dreht sich die Magnetisierung auf einem Präzessionskegel um das wirkende Feld. Durch die Dämpfung schliesst sich der Öffnungswinkel des Präzessionskegels langsam, bis die Magnetisierung schliesslich entlang dem wirkenden Feld ausgerichtet ist. Die typischen im MRAM auftretenden Präzessionsperioden liegen im Bereich von einigen Hundert Pikosekunden. Das entspricht Präzessionsfrequenzen von einigen Gigaherz. Die intrinsische Dämpfung der magnetischen Materialien ist eher schwach. Die Dämpfungszeiten, das heisst die Dauer des Abklingvorganges der Präzession bis hin zur Ausrichtung der Magnetisierung entlang dem äusseren Feld, dauert immer mehrere Präzessionsperioden und beträgt entsprechend bis zu 5 Nanosekunden.

Zum schnellstmöglichen Umschalten der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht in einer MRAM-Zelle

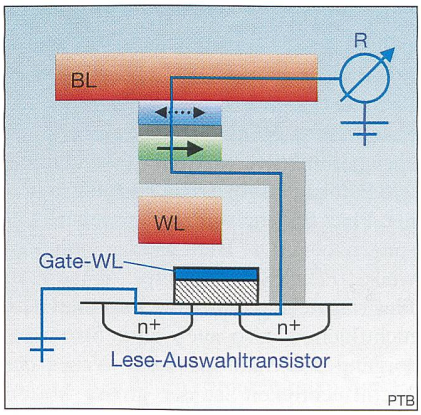


Bild 3 MRAM-Speicherzelle

Detaillierter Schnitt durch eine MRAM-Speicherzelle. Die Word- und Bit-Leiterbahnen (BL, WL) aus Bild 2 sind rot markiert. Die Word-Leiterbahn WL verläuft senkrecht zur Zeichnungsebene und ist nur als Schnitt dargestellt. Das magnetische Tunnelelement wird oben von der Bit-Leiterbahn und unten von einer metallischen Leitung zum Lese-Auswahltransistor kontaktiert. Der Transistor wird durch eine zusätzliche Gate-Word-Leiterbahn, die parallel zur darüber liegenden Word-Leiterbahn verläuft, gesteuert. Durch die Bit-Leiterbahn und den angesteuerten Transistor kann gezielt der Zellwiderstand R der Zelle am Kreuzungspunkt von Bit-Leiterbahn und Gate-Word-Leiterbahn gemessen und damit die digitale Information der Zelle ausgelesen werden.

	SRAM	DRAM	Flash	MRAM
Zellenfläche	3,7 µm²	0,56 µm²	0,5 µm²	0,8 µm²
Schreibzeit	3,3 ns	13 ns	13 ns	5–20 ns
Lesezeit	3,4 ns	20 ns	5 µs	5–20 ns
Nichtflüchtig	nein	nein	ja	ja
Wiederbeschreibbar	unbegrenzt	unbegrenzt	10^5	unbegrenzt

Tabelle I Wichtigste Kenndaten aktueller Speicherchips

Die Daten beziehen sich auf heutige Chips in 180-nm-Technologie. Die Daten für SRAM, DRAM und Flash beziehen sich auf Produktdaten, während sich die MRAM-Kenndaten auf Prototypen beziehen. Bereits die aktuellen MRAM-Prototypen bieten eine mit bisherigen Speicherchips nicht erreichbare Kombination wichtiger Eigenschaften wie hohe Speicherdichte, Nichtflüchtigkeit und schnelle Zugriffsgeschwindigkeit.

muss nun idealerweise ein etwa senkrechter Feldpuls angelegt werden, der eine schnelle Präzessionsdrehung der Magnetisierung bewirkt. Nach einer halben Präzessionsperiode hat die Magnetisierung genau eine 180°-Drehung vollführt und zeigt entlang der umgekehrten Richtung. Schaltet man den Feldpuls genau in diesem Moment wieder ab, hat man einen ultraschnellen Schaltvorgang der Magnetisierung realisiert. Nach Abklingen des Schaltpulses ist die Magnetisierung in der Zelle genau im umgekehrten Zustand, und der digitale Speicherzustand der Zelle wurde verändert (beispielsweise von 0 nach 1). Da die Magnetisierung bei optimal angepassten Pulsparametern mit Ausschalten des Feldpulses exakt entlang der Gleichgewichtsrichtung orientiert ist, tritt auch keine nachfolgende Präzessionsbewegung mehr auf, und der Schaltvorgang ist mit Abklingen des Feldpulses abgeschlossen. Solch ein optimaler Schaltvorgang von einem Gleichgewichtszustand in den anderen durch eine halbe Präzessionsumdrehung wird auch als ballistisches Schalten der Magnetisierung bezeichnet. Die Dauer der halben Präzessionsdrehung beträgt etwa 200 bis 500 ps und stellt die physikalische Grenze der Schaltgeschwindigkeit eines Magnetspeichers dar. Voraussetzung für das ballistische Schalten ist allerdings eine exakte Kontrolle der Schaltpulsparameter auf der Zeitskala von etwa 10 Pikosekunden. Legt man im Extremfall einen doppelt so langen Schaltpuls an, so vollführt die Magnetisierung eine volle Präzessionsumdrehung. Nach Abschalten des Pulses zeigt die Magnetisierung damit wieder in die ursprüngliche Richtung – die Magnetisierung wurde nicht geschaltet.

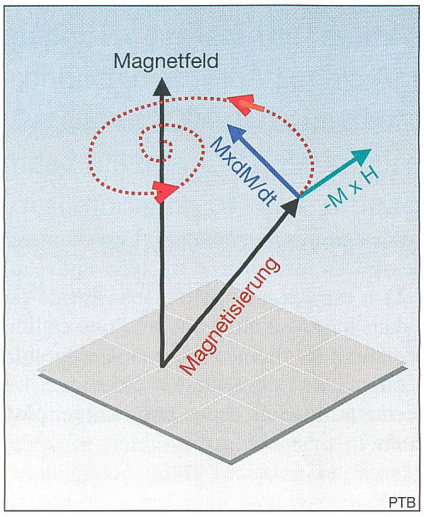


Bild 4 Magnetisierungswechsel

Die Präzession der Magnetisierung zeigt Ähnlichkeiten mit der Bewegung eines Kreisels. Bei Anlegen eines Magnetfeldes H ändert sich die Richtung der Magnetisierung M mit der Zeit entsprechend der Landau-Lifshitz-Gilbert-Gleichung

$$\frac{dM}{dt} = -\gamma(M \times H) + \frac{\alpha}{M_S}\left(M \times \frac{dM}{dt}\right)$$

Dabei ist γ das gyromagnetische Verhältnis, α der Gilbert-Dämpfungsparameter und M_S die Sättigungsmagnetisierung des magnetischen Materials. Die Wirkung der beiden Terme auf der rechten Seite der Gleichung ist in der Abbildung skizziert. Der erste Term, der Präzessionsterm, bewirkt die Präzessionsdrehung der Magnetisierung um das angelegte Feld. Der zweite Term, der Dämpfungsterm, bewirkt die langsame Annährung des Präzessionskegels an das wirkende Magnetfeld. Die typischen im MRAM auftretenden Präzessionsperioden liegen im Bereich von einigen Hundert Pikosekunden. Das Abklingen der Präzessionsbewegung durch Dämpfung dauert bis zu 5 Nanosekunden.

Ballistische Bitansteuerung

Ultraschnelle ballistische Schaltvorgänge wurden bereits vor einigen Jahren an einzelnen Speicherzellen experimentell realisiert [3]. Sie lassen sich im Prinzip auf die Programmierung einer Zelle in einer MRAM-Matrix übertragen. Auch ein Schreibpuls, der durch Überlagerung der Pulse der Bit- und Word-Leiterbahnen generiert wird, lässt die freie Magnetisierung einer MRAM-Zelle innerhalb einiger Hundert Pikosekunden umklappen [4].

Das Problem beim schnellen Schreibbetrieb eines MRAM ist aber nicht das Schalten der Zelle am Kreuzungspunkt. Problematisch sind vielmehr die magnetischen Anregungen in den Zellen, deren Magnetisierung nicht umgeschaltet werden soll. Das gilt zum Beispiel für all die Zellen, die nur dem Feldpuls einer einzelnen Leiterbahn ausgesetzt sind. All diese Zellen entlang der beiden Schreibleiter werden durch die Pulse magnetisch angeregt. Die Magnetisierung der Zellen wird durch den einzelnen Feldpuls aus der Ruhelage ausgelenkt. Wegen der schwachen magnetischen Dämpfung klingen diese Anregungen wieder nur relativ langsam ab. Die Abklingzeit der Anregungen kann, wie die Abklingzeit der Präzession bei angelegtem Feld, bis zu 5 ns dauern. In dieser Zeit lässt sich keine weitere Zelle des MRAM beschreiben, da eine angeregte Zelle durch den Feldpuls eines einzelnen Schreibleiters versehentlich programmiert werden könnte. Die damit entstehende Totzeit begrenzt die Dauer des Schreibzyklus auf ein Minimum von etwa 5 Nanosekunden.

Simulationsrechnungen haben jetzt gezeigt, dass durch geschickte Wahl der Magnetfeldparameter diese Totzeit beim Programmiervorgang des MRAM vermieden werden kann [5, 6]. Der so optimierte schnelle Schreibvorgang wird auch als ballistische Bitansteuerung bezeichnet. Hierfür werden die Feldpulsparameter so gewählt, dass die zu schaltende Zelle am Kreuzungspunkt eine halbe Präzessionsumdrehung durchläuft, während die Zellen, deren Magnetisierung nicht geschaltet werden soll, eine volle Präzessionsumdrehung vollführen (Bild 5). Nach einer solchen 360°-Präzessionsbewegung ist die Magnetisierung wieder in ihrer ursprünglichen Ruhelage, und magnetische Anregungen werden unterdrückt. Die Totzeit wird vermieden, und der darauf folgende Schreibvorgang kann sofort im Anschluss durchgeführt werden. Bei Pulsdauern von 500 ps wären so im Prinzip Schreibraten von über 2 GHz möglich. Man hätte also einen nichtflüchtigen MRAM-Chip, der schneller beschrieben werden könnte als die schnellsten heute verfügbaren flüchtigen Speicherbauteile, die SRAM (vergleiche Tabelle I). Ausserdem liessen sich viele Zellen im MRAM parallel beschreiben, wodurch sich die effektive Schreibrate auf mehrere GHz pro Bit erhöhen würde [6].

Bislang existiert die hier beschriebene ballistische Bitansteuerung erst als Konzept, basierend auf realistischen Simula-

tionsrechnungen der schnellen Magnetisierungsdynamik der MRAM-Zellen. An der experimentellen Realisierung dieses Konzepts wird aktuell gearbeitet. Dann könnte die Idee eines ultraschnellen nichtflüchtigen Speicherchips bald Wirklichkeit werden. Ob ein solches schnelles MRAM allerdings jemals auf den Markt kommen und sich dort durchsetzen wird, hängt nicht nur von der physikalischen Realisierbarkeit der Bitansteuerung ab. Die entscheidende Frage ist hier vielmehr, ob sich ein solcher Chip wirtschaftlich herstellen lässt und dem Chipproduzenten (und dessen Aktionären) eine ausreichende Rendite verspricht.

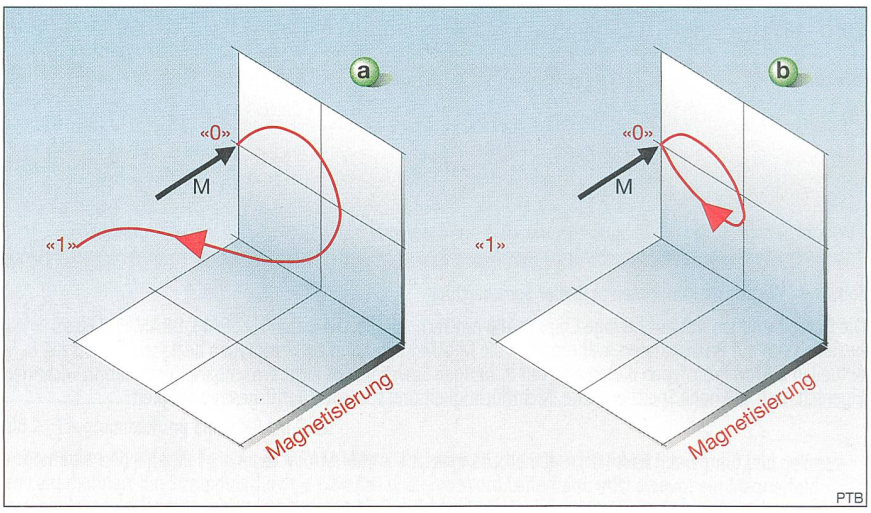


Bild 5 Ballistische Bitansteuerung für schnellen Magnetisierungswechsel

Bei der ballistischen Bitansteuerung werden sowohl der Schalt- als auch der Nicht-Schaltvorgang optimiert, um einen ultraschnellen MRAM-Schreibbetrieb zu realisieren. In der Abbildung sind die simulierten Schalttrajektorien der optimalen ballistischen Bitansteuerung für Schalten und Nicht-Schalten einer MRAM-Zelle gezeigt. Der optimale MRAM-Schaltvorgang (links) erfolgt durch eine halbe Präzessionsdrehung. Der angelegte Feldpuls schaltet die Magnetisierung direkt vom ursprünglichen Zustand 0 in den umgeklappten Zustand 1. Durch die magnetische Anisotropie der Speicherzelle ist die Präzessionsbewegung nicht halbkreisförmig, sondern verzerrt. Der optimale Nicht-Schaltvorgang ist rechts dargestellt. Hier vollführt die Magnetisierung eine volle Präzessionsumdrehung. Der Speicherinhalt der Zelle wird nicht verändert und der Speicherinhalt 0 bleibt erhalten. In beiden Fällen tritt nach Abschalten der Programmierpulse praktisch keine magnetische Präzession in den Zellen mehr auf. Der Schreibvorgang ist bereits nach 500 ps vollständig abgeschlossen, und eine weitere Zelle kann programmiert werden.

Referenzen

[1] Saied Tehrani et al.: Magnetoresistive Random Access Memory Using Magnetic Tunnel Junctions, Proceedings of the IEEE 9, 703, (2003).
[2] John deBrosse et al.: A High-Speed 128-kb MRAM Core for Future Universal Memory Applications, IEEE J. of Solid-State Circuits, 39, 678 (2004).
[3] H. W. Schumacher et al.: Quasiballistic Magnetization Reversal, Phys. Rev. Lett. 90, 017204 (2003).
[4] A. Krichevsky and M. R. Freeman, J. Appl. Phys. 95, 6601 (2004).
[5] H. W. Schumacher: Ballistic bit addressing in a magnetic memory cell array, Appl. Phys. Lett. 87, 042504 (2005).
[6] H. W. Schumacher: Ultra fast bit addressing in a magnetic memory matrix, J. Appl. Phys. 98, 033910 (2005).

Angaben zum Autor

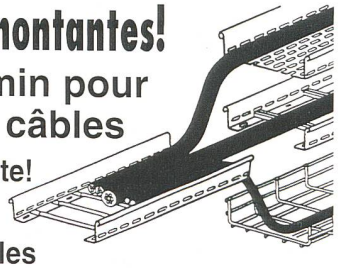
Hans Werner Schumacher ist Physiker und leitet die Arbeitsgruppe Niedrigdimensionale Elektronensysteme an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, dem deutschen Metrologieinstitut. Seine aktuellen Arbeitsgebiete sind der elektrische Transport in nanostrukturierten Halbleiterbauteilen sowie die schnelle Magnetisierungsdynamik in magnetischen Speicherzellen.
Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
D-38116 Braunschweig, hans.w.schumacher@ptb.de

Résumé

Des MRAM rapides grâce à la commande balistique d'éléments binaires

Des temps d'écriture inférieurs à 500 ps pour mémoires magnétiques. Les Magnetic Random Access Memories (MRAM) sont des puces mémoires d'un type nouveau, dans lesquelles l'information numérique (0, 1) n'est pas enregistrée sous forme de charge électrique dans un condensateur, mais dans le sens d'aimantation d'une cellule mémoire magnétique. Les puces MRAM enregistrent les données de manière durable comme sur un disque dur, même après une coupure de l'alimentation électrique. La commande balistique des éléments binaires permettrait même de les programmer plus rapidement que les composants mémoires actuels.

Finis les chemins à grille, les chemins de câbles et les **conduites montantes!**
Il existe maintenant les Multi-chemins LANZ: un chemin pour tous les câbles



- Les Multi-chemins LANZ simplifient la planification, le métré et le décompte!
- Ils diminuent les frais d'agencement, d'entreposage et de montage!
- Ils assurent de meilleurs profits aux clients: excellente aération des câbles
- Modification d'affectation en tout temps. Avantageux. Conformes aux normes CE et SN SEV 1000/3.

Pour des conseils, des offres et des livraisons à prix avantageux, adressez-vous au grossiste en matériel électrique ou directement à

lanz oensingen sa e-mail: info@lanz-oens.com
CH-4702 Oensingen • Tél. 062/388 21 21 • Fax 062/388 24 24

kl 5