Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 90 (1999)

Heft: 25

Artikel: Magnetische Speicherchips : nichtflüchtige Speicher nutzen magnetoresistive Effekte

Autor: Kinder, Ralf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902028

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Magnetische Speicherchips

Nichtflüchtige Speicher nutzen magnetoresistive Effekte

Heutige Computerchips speichern Daten als elektrische Ladung in integrierten Kondensatoren. Dies hat den Nachteil, dass der Speicherinhalt sofort verloren ginge, wenn er nicht rund einhundert Mal pro Sekunde aufgefrischt würde. Speicherelemente auf der Basis ferromagnetischer Eigenschaften könnten dieses Problem beheben. Falls sie sich etablieren, bleibt der Speicherinhalt in zukünftigen Computern sogar nach dem Ausschalten erhalten.

Bei den Arbeitsspeichern für Computersysteme haben sich seit langer Zeit sogenannte DRAM (Dynamic Random Access Memory) durchgesetzt. Die logische Information «0» oder «1» wird dabei durch den Ladungszustand eines Kondensators repräsentiert. Die Bezeichnung «dynamisch» deutet dabei bereits auf einen wesentlichen Nachteil dieser Technik hin, denn durch Leck- und Rekombinationsströme entlädt sich der Kondensator sehr schnell. Aus diesem Grunde ist im Betrieb ein regelmässiges Auffrischen der elektrischen Ladung erforderlich. Darunter versteht man das Auslesen der gespeicherten Information und das anschliessende Zurückschreiben des ermittelten Speicherinhalts. Um keine Daten zu verlieren, muss somit stets die Energieversorgung aufrechterhalten werden. Man spricht daher von einem sogenannten flüchtigen Speichermedium. Die dauerhafte Speicherung der Daten muss extern erfolgen. In der Regel werden dafür magnetische Speichermedien in Form von Festplatten verwendet.

Adresse des Autors
Ralf Kinder, Dipl.-Phys., Siemens AG
Paul-Gossen-Str. 100, D-91052 Erlangen
und Universität Erlangen, Institut für
Experimentelle und Angewandte Physik
Universitätsstr. 31, D-93040 Regensburg

Neben der Flüchtigkeit der Information wird die Chip-Herstellung durch die zunehmende Integrationsdichte der DRAM vor wachsende Probleme gestellt. Um ein verwertbares Lesesignal zu erhalten, ist eine gewisse Mindestkapazität des Kondensators erforderlich. Dies zu gewährleisten wird bei den immer kleiner werdenden Zellflächen zu einer grossen Herausforderung.

Nichtflüchtige Speicher

Bei den derzeit verwendeten nichtflüchtigen Speichern handelt es sich meist um EEPROM und Flash-Speicher. Für den Masseneinsatz kommen diese schon aus Gründen des Platzbedarfs und der Schreibzeiten nicht in Betracht. Eine neue Technik bietet sich mit den FRAM an (Ferroelectric RAM). Die dort verwendeten sogenannten ferroelektrischen Kristalle können zwei stabile Polarisierungszustände annehmen, zwischen denen mit einem elektrischen Feld umgeschaltet werden kann. Abhängig von der remanenten Polarisierung[1] ergibt sich beim Auslesen eine logische «0» oder «1». Einen deutlichen Nachteil der FRAM stellt jedoch die beschränkte Zahl von Schreibzyklen dar, die um einige Grössenordnungen unter der für DRAM-Speicher üblichen Zyklenzahl liegt.

Magnetische Festkörperspeicher

Eine andere Alternative besteht in der Verwendung magnetischer Speicher, die in diesem Zusammenhang meist als MRAM (Magnetic Random Access Memory) bezeichnet werden. Die Speicherung von Information auf magnetischer Basis ist bestens bekannt von Medien, in denen die nichtflüchtige Speicherung von Information Voraussetzung ist (z.B. Festplatten). Da die Daten hierbei jedoch über mechanische Systeme ausgelesen werden, sind die Zugriffszeiten entsprechend hoch.

Bei magnetoresistiven Bauelementen hängt der Widerstand von der Magnetisierungsrichtung ab; die logische Information lässt sich somit durch die Bestimmung des Widerstandes auslesen. Hierfür kommen im wesentlichen drei verschiedene Effekte in Frage: AMR (Anisotropic Magneto Resistance), GMR (Giant Magneto Resistance) und TMR (Tunneling Magneto Resistance).

Bereits kommerziell erhältlich sind MRAM, die auf Basis des AMR-Effektes arbeiten. Dieser Effekt war bisher auch Grundlage der meisten Leseköpfe von Festplatten. Hierbei wird ausgenutzt, dass sich der Widerstand bei einigen ferromagnetischen Materialien deutlich ändert, je nachdem, ob die Stromrichtung und die Magnetisierung auf einer Achse liegen oder senkrecht aufeinander stehen. Als relevante Signalgrösse wird dabei die Widerstandsänderung ΔR zwischen Minimal- und Maximalwiderstand, normiert auf den Minimalwiderstand R_0, verwendet:

$$\mathrm{MR} = \frac{\Delta R}{R_0} \qquad (1)$$

Die Höhe des Effektes hängt von den verwendeten Materialien ab; in Anwendungen werden jedoch kaum mehr als 2% erreicht. Ein weiterer Nachteil dieser Technik ergibt sich aus der rein metallischen Natur der Systeme. Die Widerstände der Einzelelemente sind daher sehr klein. Das Lesesignal liegt jedoch in Form einer durch die Widerstandsänderung hervorgerufenen Spannungsänderung vor und ist daher bei einem kleinen Ausgangswiderstand R_0 auch entsprechend klein. Für ein zuverlässiges Auslesen der gespeicherten Information ist allerdings eine gewisse Signalhöhe erforderlich. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht in der Verwendung von Systemen mit langen Leiterbahnen, die ein entsprechend hohes R_0 besitzen. Auf diese Weise wird allerdings die Integrationsdichte stark eingeschränkt. Eine Alternative wäre ein ausreichend gross dimensionierter Lesestrom, was jedoch auf Grund des damit verbundenen Leistungsverbrauchs problematisch ist.

Dennoch werden diese Speicher bereits heute in Bereichen wie Militärtechnik und Raumfahrt verwendet. Dort spielt

[1] Hierunter versteht man die elektrostatische Polarisierung, die nach Ausschalten des externen Feldes bestehen bleibt.

die Nichtflüchtigkeit der Daten und vor allem die deutlich geringere Empfindlichkeit gegen externe Störungen wie z.B. Höhenstrahlung eine bedeutende Rolle.

Von deutlich grösserem Interesse sind Speicher auf Basis des GMR-Effektes. Dieser tritt in einigen Multilagen-Systemen auf, bei denen zwei ferromagnetische Schichten durch eine nichtmagnetische metallische Zwischenschicht getrennt sind. Die Dicke der Zwischenschicht muss dabei kleiner sein als die mittlere freie Weglänge der Elektronen. Bei nichtparalleler Ausrichtung der Magnetisierungen in den Elektroden erhöht sich der Widerstand des Systems, da es zu einer verstärkten Spin-Streuung kommt (Bild 1). Wie auch beim AMR-Effekt wird also eine Abhängigkeit des Widerstandes von der Magnetisierungsrichtung beobachtet. Dabei ist jedoch nicht der Winkel zwischen Strom- und Magnetisierungsrichtung entscheidend, sondern der Winkel zwischen den Magnetisierungsrichtungen der beiden magnetischen Schichten.

Der wesentliche Vorteil des GMR-Effektes gegenüber dem AMR-Effekt besteht in der deutlich höheren relativen Widerstandsänderung $\Delta R/R_0$, die bei dem in Frage kommenden CIP-GMR (Current In Plane, der Strom fliesst parallel zur Schichtebene) etwa 6% erreichen kann. Allerdings sind auch GMR-Elemente aus rein metallischen Systemen aufgebaut, so dass sich mit den AMR-Elementen vergleichbare Probleme hinsichtlich Integrationsdichte und Leistungsverbrauch stellen.

Deutliche Vorteile in dieser Hinsicht versprechen nun Speicherbausteine auf Basis des TMR-Effektes. Die einzelnen Speicherelemente bestehen dabei wie auch beim MRAM auf GMR-Basis aus einem Sandwich-System mit zwei ferromagnetischen Schichten, die durch eine Zwischenlage getrennt sind. Allerdings ist die Zwischenschicht beim TMR-Element kein Leiter, sondern eine Isolationsbarriere, die die beiden leitenden Schichten elektrisch trennt. Auf Grund des quantenmechanischen Tunneleffektes (Bild 2) kann jedoch bei hinreichend dünnen Isolatorschichten auch senkrecht zu dem Schichtsystem ein messbarer Strom fliessen.

In einem einfachen Modell berechnet sich die Stromdichte bei einer angelegten externen Spannung V zu [1]:

$$J \propto \sqrt{\varphi_0}\,\frac{V}{d}\cdot \exp\left(-A\cdot d\cdot\sqrt{\varphi_0}\right) \quad (2)$$

mit einer Konstanten A, der Dicke d der Zwischenschicht und der Höhe φ_0 der Potentialstufe zwischen den Leitungsbändern der Elektroden und der Isolatorschicht. φ_0 hängt dabei von der verwendeten Materialkombination Elektrode/Tunnelbarriere ab. Der Widerstand der Elektroden selbst kann hier vernachlässigt werden.

Das TMR-Element (Bild 3) unterscheidet sich von einem üblichen Tunnelsystem durch die Verwendung ferromagnetischer Elektroden. Als Folge davon besitzen die Elektronen im Leitungsband auf Grund des Magnetfeldes eine Vorzugsrichtung für den Elektronen-Spin (Spin-Polarisation). Dies hat jedoch auch einen Einfluss auf die Tunnelwahrscheinlichkeit der Elektronen. Der Tunnelprozess kann nur stattfinden, wenn zu einem besetzten Ausgangszustand einer bestimmten Energie und Spin-Richtung in der gegenüberliegenden Elektrode unbesetzte Zustände passender Energie und Spin-Richtung vorhanden sind. Auf Grund der Spin-Polarisation wird der Tunnelprozess bei paralleler Ausrichtung der Magnetisierungen (d.h. bei gleicher Vorzugsrichtung des Spins) wahrscheinlicher. Der Tunnelwiderstand und damit auch der Tunnelstrom hängen somit von der relativen Ausrichtung der Magnetisierung in den beiden Elektroden ab.

Die Spin-Polarisation ist also einer der wichtigsten Faktoren, der zum Erreichen hoher Widerstandsänderungen beiträgt. Bei bekannter Spin-Polarisation P_i ($i = 1,2$) in den Elektroden kann der maximal erreichbare TMR-Wert nach der folgenden Formel abgeschätzt werden (nach [2]):

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \frac{2P_1P_2}{1-P_1P_2} \quad (3)$$

Materialien mit einer hohen Spin-Polarisation (z.B. NiFe- oder CoFe-Legierungen) sind also gute Kandidaten für TMR-Elemente. Derzeit können bei Zimmertemperatur je nach verwendeten Materialkombinationen $\Delta R/R_0$-Werte von über 30% erreicht werden.

Auch wenn sich der GMR-Effekt und der TMR-Effekt auf den ersten Blick recht ähnlich sind, darf nicht vergessen werden, dass die zugrunde liegenden

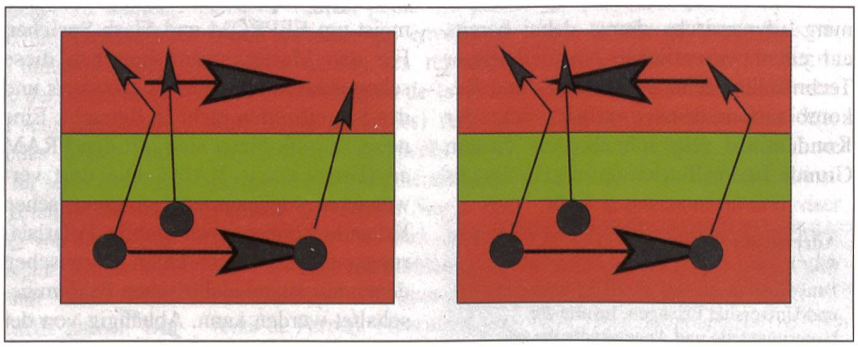

Bild 1 Vereinfachte Darstellung der Spin-Streuung beim GMR-Effekt

Bei antiparalleler Ausrichtung der Magnetisierungen (rechts) ist der Widerstand des Systems höher als im Falle der parallelen Ausrichtung (links), da die Wahrscheinlichkeit für einen Streuprozess höher ist.

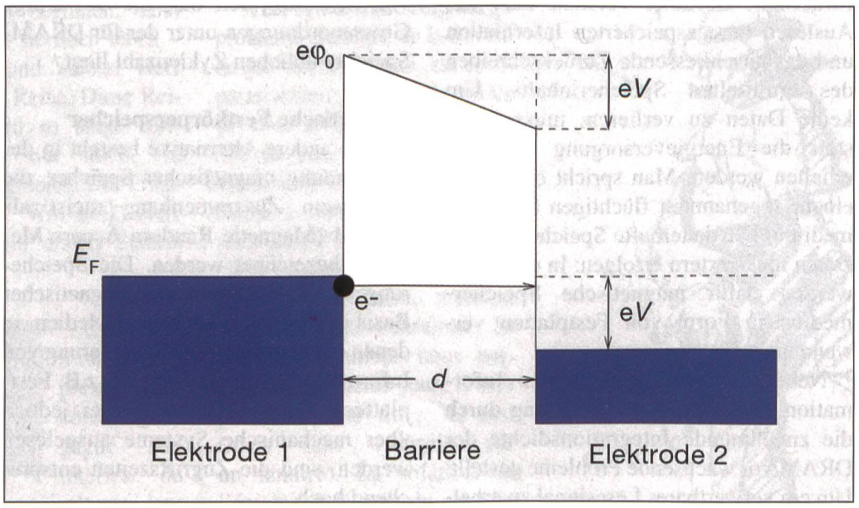

Bild 2 Prinzip des Tunneleffektes

Auch wenn die Elektronenenergie klassisch betrachtet nicht ausreicht, um die Potentialbarriere zu überwinden, können Elektronen bei einer angelegten Spannung V den Potentialberg durchtunneln.

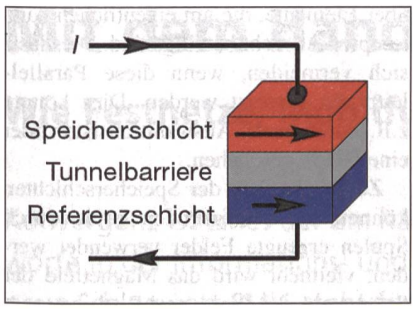

Bild 3 Schematische Darstellung eines einzelnen Tunnelelementes in der einfachsten Form (System mit drei Schichten)

Zwischen den beiden magnetischen Schichten (Magnetisierungsrichtung ist durch Pfeile symbolisiert) liegt die Tunnelbarriere. Der Widerstand ändert sich in Abhängigkeit der relativen Ausrichtung der Magnetisierungen zueinander. Die Grössenverhältnisse sind zur besseren Darstellung nicht korrekt wiedergegeben; die Schichtdicken liegen meist im Bereich einiger nm, während die laterale Ausdehnung üblicherweise einige 100 nm bis zu einigen Mikrometern beträgt.

Effekte völlig verschieden sind: Beim GMR-Effekt ist die Spin-Streuung der Elektronen entscheidend, während beim TMR-Effekt Bandverschiebungen durch Magnetfelder in den Elektroden ausgenutzt werden. Vielmehr ist beim TMR-Effekt die Spin-Streuung sogar unerwünscht, da sie den Effekt der Spin-Polarisation verringert und somit das erreichbare $\Delta R/R_0$-Signal herabsetzt.

Während sich Bauelemente auf Basis des GMR-Effektes im Sensormarkt gerade zu etablieren beginnen (Positions- und Winkelsensoren, Leseköpfe für Festplatten), befinden sich die Bauelemente auf TMR-Basis noch im Entwicklungsstadium. Dies ist besonders bemerkenswert, weil der TMR-Effekt vom Prinzip her deutlich länger bekannt ist als der GMR-Effekt. Erste Versuche zum spinabhängigen Tunnel gab es bereits in den frühen 70er Jahren (allerdings stets bei tiefen Temperaturen), während der GMR-Effekt erst 1988 entdeckt wurde [3]. Da die Herstellung von Tunnelelementen, insbesondere der Tunnelbarriere, auf Grund der hohen Anforderungen an Homogenität und Rauhigkeit der sehr dünnen Schichten lange Zeit grosse Probleme bereitete, dauerte es über 20 Jahre, bis es gelang, auch bei Zimmertemperatur hohe TMR-Werte zu erreichen [4]. Seitdem hat das Interesse an diesen Elementen weltweit stark zugenommen.

Magnetische Eigenschaften

Sowohl bei GMR- als auch bei TMR-Elementen hängt der Widerstand vom Winkel Θ zwischen den Magnetisierungen der beiden Elektroden ab:

$$R^{-1}(\Theta) \propto (1+\varepsilon\cos(\Theta)) \qquad (4)$$

wobei die Grösse ε direkt mit dem $\Delta R/R_0$-Wert verknüpft ist. Da im Falle des Speichers jedoch nur binäre Informationen gespeichert werden sollen, sind lediglich die Fälle «parallele Magnetisierung» und «antiparallele Magnetisierung» von Interesse.

Um diese Zustände definiert erzeugen und die dabei auftretende Widerstandsänderung nachweisen zu können, müssen zum einen die beiden Schichten eine unterschiedliche magnetische Härte besitzen, d.h. ihre Koerzitivfeldstärken[2] müssen sich deutlich voneinander unterscheiden. Zum anderen ist es vorteilhaft, wenn die Schichten eine Vorzugsrichtung haben, entlang der sich die Magnetisierung bevorzugt ausrichtet (uniaxiale Anisotropie). Unter diesen Voraussetzungen ist es möglich, durch ein Magnetfeld gezielt die weichere der beiden Schichten parallel oder antiparallel zur härteren Schicht auszurichten, ohne die Magnetisierung der letzteren zu beeinflussen. Die «harte» Schicht wird oft als Referenzschicht bezeichnet, da sie den parallelen Zustand definiert.

Um die Koerzitivfeldstärken der beiden magnetischen Schichten ausreichend weit voneinander zu trennen, gibt es im wesentlichen zwei Verfahren, die zur Anwendung kommen. In einem Fall wird die Referenzschicht durch Austauschkopplung an einen Antiferromagneten gekoppelt (Pinning), wodurch sich der Umschaltpunkt (Ummagnetisierung) der Schicht weit genug verschiebt. Die Alternative besteht in der Verwendung eines sogenannten «künstlichen Antiferromagneten» (Artificial Anti-Ferromagnet, AAF). Dieser besteht seinerseits aus zwei magnetischen Schichten, die durch eine nichtmagnetische Zwischenschicht getrennt sind. Für bestimmte Materialkombinationen und Dicke der Zwischenschicht erhält man eine starke antiferromagnetische Kopplung der beiden magnetischen Schichten, die nur durch sehr hohe Magnetfelder überwunden werden kann. Nach aussen hin verhält sich dieses System bei nicht zu hohen Feldstärken wie eine einzelne magnetische Schicht mit hoher Koerzitivfeldstärke. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt unter anderem in dem sehr kleinen magnetischen Moment des Systems; auf diese Weise werden störende Streufelder klein gehalten.

Für die Speicherfunktion werden nun den beiden Fällen «parallele Magnetisierung» und «antiparallele Magnetisierung» die Zustände «Low» und «High» beziehungsweise «0» und «1» zugeordnet. Idealerweise kann die Unterscheidung der beiden Zustände durch einfaches Auslesen des Widerstandes erfolgen, was jedoch eine gute Reproduzierbarkeit der Grundwiderstände erfordert. Genau hier liegt jedoch ein Problem der TMR-Schichten. Der Elementwiderstand nimmt exponentiell mit der Dicke der Tunnelbarriere zu und reagiert daher sehr sensibel bereits auf kleinste Herstellungstoleranzen. Dieses Verhalten geht aus der Abhängigkeit des Tunnelstroms von der Schichtdicke d nach Gleichung (1) hervor. Für die üblichen Barrierenmaterialien (meist Al_2O_3) beträgt die Dicke d etwa 1–1,5 nm, wobei eine Änderung von d um 0,1 nm im Widerstand bereits eine Änderung um etwa eine Grössenordnung bewirkt. Das Auslesen der Information durch direkte Widerstandsmessung setzt somit eine extrem genaue Kontrolle der Barrierendicke voraus.

Als Alternative bietet sich das dynamische Auslesen an. Dabei wird versucht, die Magnetisierung einer der Elektroden zu drehen. Je nach Ausgangsstellung kommt es dabei zu einer Veränderung im Widerstand oder nicht. Dieses Verfahren ist jedoch nicht mehr zerstörungsfrei, so dass die Information nach dem Auslesen wieder zurückgeschrieben werden muss.

Für die Integration mehrerer Speicherzellen bietet sich eine matrixartige Anordnung der Elemente an (Bild 4). Dabei wirkt es sich sehr vorteilhaft aus, dass der strukturelle Aufbau insbesondere der TMR-Elemente sehr einfach ist. Daher können die eigentlichen Speicherelemente einfach an den Kreuzungspunkten zwischen Word- und Bit-Line gepackt werden. Der Flächenverbrauch dieser Anordnung liegt deutlich unter dem eines DRAM. Umgekehrt erlaubt diese Technik bei gleicher Lithographietechnik eine höhere Integrationsdichte.

Prinzipielle Grenzen der Miniaturisierung gibt es erst beim Erreichen des sogenannten «superparamagnetischen Limits», bei dem die ferromagnetischen Eigenschaften der magnetischen Schichten verlorengehen. Diese Grenze wird aber erst bei Abmessungen im Bereich von rund 10 nm erreicht. Die relative Widerstandsänderung $\Delta R/R_0$ ist prinzipiell skalierungsinvariant.

Das Auslesen der Zellen erfolgt in der Matrixanordnung sinnvollerweise durch eine 4-Punkt-Messung. Dabei wird Strom über ein Tunnelelement geschickt, wie in Bild 4 gezeigt. Die Spannungsmessung erfolgt dann an den anderen Enden der Bit- und Word-Lines.

[2] Die Koerzitivfeldstärke eines ferromagnetischen Materials ist diejenige Stärke eines externen Feldes, die notwendig ist, um das ferromagnetische Material zu entmagnetisieren.

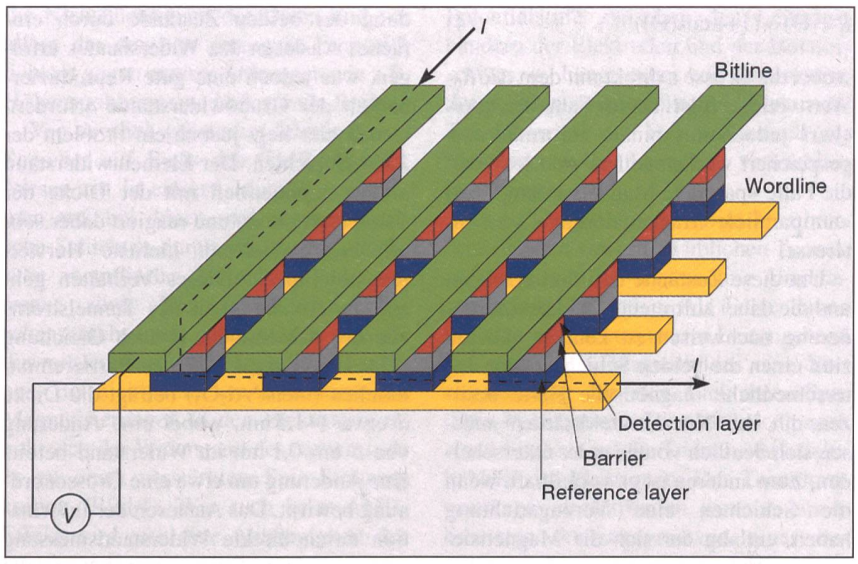

Bild 4 Schematische Darstellung eines MRAM, bestehend aus einer Matrix von Tunnelelementen

Die Elemente sitzen an den Kreuzungspunkten und bestehen im einfachsten Fall aus einem Schichtsystem mit einer hart- und einer weichmagnetischen Schicht und der zwischenliegenden Tunnelbarriere. Der Stromweg beim Auslesevorgang ist schematisch durch Pfeile angedeutet (in diesem Fall wird das Element unten links ausgelesen). Zur Spannungsmessung werden die beiden anderen Enden der Bit- und der Word-Line verwendet. Die Auswahl des auszulesenden Elementes kann also einfach durch die Wahl der geeigneten Bit- und Word-Lines erfolgen. Auch in dieser Zeichnung sind Schichtdickenverhältnisse und das Höhen-Breiten-Verhältnis nicht massstabsgetreu.

Da die Anordnung der Elemente in Matrixform ein Widerstandsnetzwerk aufbaut, wird allerdings nicht nur der Widerstand des ausgewählten Elementes gemessen, sondern auch die Widerstände der «parasitären» Strompfade. Weil aber nur eine Zelle geschaltet wird, erhält man auch nicht mehr die volle Signalhöhe dR/R_0, sondern nur noch einen kleinen Teil. Ein grosser Teil des Stroms läuft über Elemente, die am eigentlichen Ausleseprozess nicht beteiligt sind. Dies lässt sich vermeiden, wenn diese Parallelleitpfade gesperrt werden. Dies könnte z.B. durch einen Auswahltransistor oder eine Diode geschehen.

Zum Schreiben der Speicherschichten können aus Platzgründen keine durch Spulen erzeugte Felder verwendet werden; vielmehr wird das Magnetfeld der Ströme auf den Word- und Bit-Lines zum Schalten verwendet. Um nicht alle Elemente in einer Reihe/Spalte umzuschalten, erfolgt der Schreibvorgang durch die Kombination zweier Ströme in einer Word- und einer Bit-Line. Die Stromstärken werden dabei so gewählt, dass sich erst bei Überlagerung der beiden resultierenden Felder ein ausreichend starkes Feld ergibt, um die weichmagnetische Schicht zu drehen. Dies ist genau am Kreuzungspunkt der Fall; die Adressierung des zu schreibenden Elementes kann also einfach durch die Auswahl der Bit- und Word-Line erfolgen. Dabei sind Schaltzeiten im ns-Bereich möglich.

Die Zahl der Schreibzyklen ist keinen Beschränkungen unterworfen, wenn die weichmagnetische Schicht geschaltet wird, ohne die hartmagnetische zu beeinflussen.

Zusammenfassung

Speicher auf Basis des GMR- und vor allem des TMR-Effektes besitzen naturgemäss in Bereichen, wo es auf nichtflüchtige Datenspeicherung ankommt, ein grosses Potential. Ihre einfache Struktur und ihr geringer Flächenbedarf machen sie aber auch für hochintegrierte Speicher interessant. Denn auch die weiteren Eigenschaften, wie die sehr kurzen Schaltzeiten, die prinzipiell unbegrenzte Zahl von Schreib-/Lesezyklen und der vor allem beim Auslesevorgang geringe Energieverbrauch, sind vergleichbar oder besser als bei bisherigen Techniken. Es scheint daher möglich zu sein, dass magnetische Speichermaterialien zu einer ernsthaften Konkurrenz für konventionelle Halbleiterspeicher werden.

Mémoire non-volatile de type magnétique

Un désavantage des mémoires vives actuelles est leur volatilité: pour conserver durablement les données, un support externe de stockage (p. ex. un disque dur) est nécessaire. Une autre solution est d'utiliser les effets de la magnétorésistance, où la résistance de l'élément de stockage à couches ferromagnétiques dépend du sens de la magnétisation. On obtient ainsi une Magnetic Random Access Memory (MRAM), où l'information se lit à partir de la détermination de la résistance. Il existe déjà des MRAM fondées sur l'effet Anisotropic Magneto Resistance (AMR); en raison des problèmes d'intégration et de la faiblesse du signal magnétorésistif, sa diffusion est limitée à quelques applications spéciales. De meilleures perspectives se présentent pour l'effet Giant Magneto Resistance (GMR) et surtout pour l'effet Tunneling Magneto Resistance (TMR). Ce dernier utilise l'effet tunnel dépendant du spin, qui apparaît lorsque deux électrodes ferromagnétiques sont séparées par une très fine barrière isolante. En raison de la simplicité de leur structure, les éléments individuels se laissent disposer aisément dans une matrice composée de lignes de bits et de mots. L'adressage de chacune des cellules élémentaires de stockage s'effectue en sélectionnant les pistes conductrices correspondantes. Les champs magnétiques nécessaires pour inscrire l'information sont produits par des courants envoyés à travers les lignes de bits et de mots, ce qui permet de produire un champ suffisamment élevé à l'emplacement de la cellule de stockage sélectionnée pour permettre l'inversion magnétique d'une couche. En raison de la simplicité de leur structure et de leur faible encombrement, les MRAM sont avantageuses non seulement pour les applications nécessitant un stockage non volatile, mais aussi comme successeurs possibles des DRAM traditionnelles.

Literatur

[1] *J. G. Simmons:* Generalized formula for the electric tunnel effect between similiar electrodes separated by a thin insulating film. Journal of Applied Physics, 34(1963)6, pp. 1793–1803.

[2] *M. Julliere:* Tunneling between ferromagnetic films. Physics Letters 54A(1975)3, pp. 225–226.

[3] *M. N. Baibich* et al.: Giant magnetoresistance of (001)FE/(001)Cr magnetic superlattices. Phys. Rev. Lett. 61(1988), pp. 2472–2475.

[4] *J. S. Moodera* et al.: Large magnetoresistance at room temperature in ferromagnetic thin film tunnel junctions. Phys. Rev. Lett. 74(1995)16, pp. 3273–3276.