Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 97 (2006)
Heft: 7

Artikel: Morphware : eine anpassungsfähige Logik
Autor: Koch, Reinhold
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857658

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. Siehe Rechtliche Hinweise.

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. Voir Informations légales.

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. See Legal notice.

Download PDF: 26.04.2025

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

Morphware – Eine anpassungsfähige Logik

Neues Anwendungsgebiet für magnetische Materialien

Der logische Aufbau von Morphware-Prozessoren ist nicht starr wie in konventioneller Hardware, sondern kann durch die Software verändert werden. Jüngste Forschungen zeigen, dass sich mit magnetoresistiven Elementen, wie sie in MRAM verwendet werden, eine Vielzahl von logischen Funktionen realisieren lassen. Im Unterschied zu einer auf Silizium-Technologie basierenden Morphware können damit elementare logische Funktionen (AND, OR, NAND, NOR) mit der Taktgeschwindigkeit des Prozessors rekonfiguriert werden. Da magnetische Information nicht flüchtig ist, übernehmen magnetologische Elemente Logik- und Speicherfunktion.

Im Verlauf der letzten Jahrzehnte haben wir uns daran gewöhnt, dass Computer bereits zwei bis drei Jahre nach ihrer Anschaffung völlig veraltet sind. Diese beeindruckende Erfolgsgeschichte der Halbleitertechnologie manifestiert sich im viel zitierten Moore'schen Gesetz, das

Reinhold Koch

eine Verdopplung der Leistungsfähigkeit eines Prozessors alle 18 Monate vorhersagt. In herkömmlichen Prozessoren wird die Leistungssteigerung im Wesentlichen durch die Miniaturisierung der Transistoren erreicht, was durch die damit verbundene Verkürzung der Informationswege zu einer nominellen Geschwindigkeitserhöhung führt. Mittlerweile liegt die Grösse der Transistoren unter 100 nm und eine weitere Miniaturisierung stösst an technologische, physikalische und auch ökonomische Grenzen. Bis zum Jahr 2018 können wir noch eine Verbesserung um einen Faktor 20 erwarten [1].

Nichtsdestotrotz ist ein Ende in Sichtweite. Daher wird seit einigen Jahren intensiv an Alternativen geforscht. Beispiele sind die Entwicklung neuer und schnellerer Halbleitermaterialien, eine molekulare Elektronik, der Quanten-Computer oder die Aufwertung des Transistors durch Ausnützung des Elektronenspins in einer zukünftigen Spintronik.

Rekonfigurierbare Prozessoren

Ein anderer und viel versprechender Ansatz betrifft ein neues Prozessor-Design, das auf logischen Elementen basiert, deren Funktion durch die Software verändert werden kann – so genannte rekonfigurierbare Prozessoren. Derzeit verfügt die Mehrheit der zum Einsatz kommenden Prozessoren über eine fest verdrahtete logische Architektur. Je nach ihren Eigenschaften unterscheidet man zwei Arten von Prozessoren: Die so genannten All-Zweck-Prozessoren, zu denen der zentrale Prozessor (CPU) eines jeden Computers zählt, und die anwendungsspezifischen integrierten Schaltungen (ASICs). Erstere sind mit einem umfangreichen Befehlssatz von logischen Funktionen ausgestattet, die von der Software bei Bedarf aufgerufen werden können. So verarbeitet die CPU eines Heimcomputers Text, stellt Videosequenzen dar, löst komplizierte Gleichungssysteme oder übernimmt diverse Steuerfunktionen. Die Vielseitigkeit geht allerdings auf Kosten der Geschwindigkeit, da der Prozessor für keine dieser Aufgaben optimiert ist. Zudem ist immer nur ein geringer Teil der vorhandenen Logikfunktionen für eine Aufgabe geeignet. Im Gegensatz dazu sind ASICs einfacher strukturiert. Ihr Befehlssatz ist stark abgespeckt und für bestimmte Aufgaben optimiert. Auf Sound- oder Grafikkarten verrichten solche Chips deshalb ihren Dienst wesentlich schneller und effizienter, als der zentrale Prozessor es könnte.

Mittlerweile gibt es Hardware, deren logischer Aufbau nicht unwiderruflich festliegt, so genannte rekonfigurierbare Morphware. Ein Beispiel dafür sind die kommerziell erhältlichen FPGAs (Field-Programmable Gate Arrays). Diese bestehen aus fest verdrahteten Modulen von Transistoren, die komplexe logische Operationen ausführen. Die Verdrahtung der Module untereinander lässt sich programmieren, mithin ihr Zusammenspiel, womit die Schaltungslogik des FPGAs umgebaut wird. In der Praxis haben sich FPGAs bewährt: Sie verschlüsseln oder komprimieren Daten und erkennen Objekte in Videoaufnahmen zehn- bis hundertmal schneller als eine herkömmliche CPU [2].

Die bisherige Morphware, die auf der etablierten Siliziumtechnologie CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) basiert, bringt aber entscheidende Nachteile mit sich. Die Neuverschaltung der logischen Blöcke dauert mehr als zehn Nanosekunden, während die Taktgeschwindigkeit der FPGAs viel höher ist. Eine Rekonfiguration innerhalb eines Computertakts ist deshalb nicht möglich. Zudem ist der Platzbedarf von FPGAs hoch, was die Anzahl und Geschwindigkeit von gleichzeitig ausführbaren logischen Operationen limitiert.

Magnetische Morphware

In jüngerer Zeit arbeiten einige Forschungsgruppen [3-5] an einer neuen Art von Morphware, deren logische Elemente (Gatter, englisch gates) aus dünnen magnetischen Schichten bestehen. Da die Ummagnetisierung nur wenige Zehntel einer Nanosekunde dauert, ist die Neukonfiguration innerhalb des Prozessortaktes kein Traum mehr. Auf Grund der Nicht-Flüchtigkeit magnetischer Information haben derartige Elemente den Vorteil, dass die berechnete Information gespeichert bleibt. Sie steht damit für einen folgenden Verarbeitungsschritt zur Verfügung und muss nicht zeitaufwendig

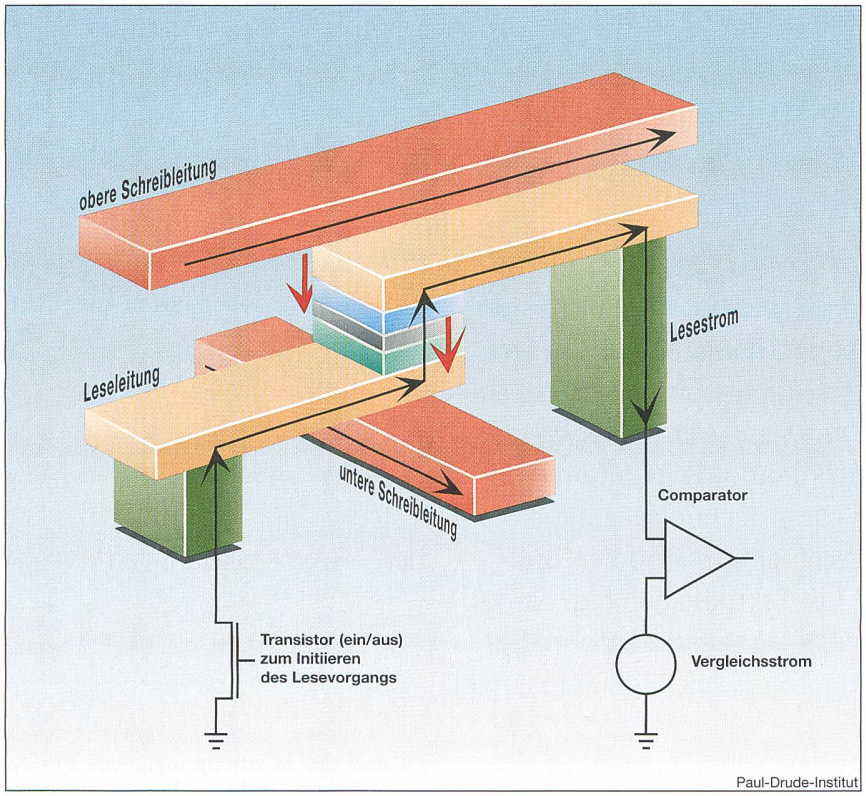


Bild 1 Prinzip einer MRAM-Speicherzelle

Das Herz einer MRAM-Speicherzelle ist ein magnetoresistives Element, bestehend aus zwei magnetischen Schichten (grün, blau), die durch eine isolierende Schicht (grau) als Tunnelbarriere getrennt sind. Je nachdem, ob die Magnetisierung der beiden Schichten parallel oder antiparallel ist, ist der elektrische Widerstand der Zelle klein bzw. gross und kann den logischen Bits ‚1' bzw. ‚0' zugeordnet werden. Das Auslesen der logischen Bits erfolgt durch die zwei Elektroden (braun) am oberen und unteren Ende des magnetoresistiven Elements. Der Transistor (links) schaltet die Zelle für den Auslesevorgang frei und garantiert selektives Auslesen. Der Comparator (rechts) vergleicht das Auslesesignal mit einem Sollwert. Das Schreiben des Bits erfolgt über die beiden Schreibleitungen (rot), mit denen das für die Ummagnetisierung der oberen Schicht erforderliche Magnetfeld (rote Pfeile) erzeugt wird. Die Magnetisierung der unteren Schicht ist fixiert. Durch die Verwendung von zwei Schreibleitungen und ihre gitterförmige Anordnung gelingt es, einzelne magnetoresistive Elemente im MRAM-Chip selektiv anzusprechen. Siehe: www.freescale.com

intern aus einem Speicher neu geladen werden. Im Gegensatz zu CMOS-Bauteilen muss sie auch nicht während des Betriebes permanent aufgefrischt werden, weshalb magnetologische Komponenten weniger Strom benötigen. Mehr noch: Selbst wenn der Rechner ausgeschaltet wird, bleibt die berechnete Information erhalten.

Die Grundlage magnetologischer Bauelemente bildet die Technologie neuer Datenspeicher, die als MRAM (Magnetic Random-Access Memory) demnächst auf den Markt kommen [6]. Ihre kleinste Baueinheit – das magnetoresistive Element – besteht aus zwei dünnen ferromagnetischen Schichten, die durch eine unmagnetische Abstandsschicht getrennt sind (Bild 1). Letztere verhindert das Übersprechen der Magnetisierung von einer Lage zur anderen. Der Wert des digitalen Bits einer Speicherzelle hängt davon ab, ob die Magnetisierungen der aktiven Schichten parallel oder antiparallel zueinander ausgerichtet sind. Im ersten Fall stellt die Speicherzelle einem elektrischen Auslesestrom nur einen kleinen Widerstand entgegen; dieser Zustand repräsentiert beispielsweise eine digitale ‚1'. Eine antiparallele Orientierung hingegen erhöht den Magnetowiderstand und das Element befindet sich im Zustand ‚0'. Der Magnetowiderstand von geschichteten Systemen ist üblicherweise deutlich höher als im Volumenmaterial, was das Auslesen der magnetischen Bits erleichtert und damit höhere Lesegeschwindigkeiten erlaubt. Diese besondere Eigenschaft wird als Riesenmagnetowiderstand oder Tunnelmagnetowiderstand bezeichnet, je nachdem, ob die Abstandsschicht elektrisch leitend oder isolierend ist. Das Schreiben des Bits erfolgt über gleichzeitigen Strom in zwei zueinander senkrechten Zuleitungen, deren Magnetfeld die Magnetisierung der oberen Lage schaltet. Die Magnetisierung der unteren Lage ist fest.

Dass magnetoresistive Elemente auch für die Darstellung von Logikfunktionen geeignet sind, zeigt die aktuelle Forschung. Wer zum Beispiel die beiden Schreibleitungen der MRAM-Zelle als die logischen Eingänge A und B verwendet, realisiert AND- und OR-Funktionen, je nachdem, ob der Strom an beiden Schreibleitungen oder nur an einer für die Ummagnetisierung der oberen Lage

ausreicht. Dies lässt sich entweder durch geeignete Wahl der Koerzitivfeldstärke[1)] oder über die Grösse der Schreibströme einstellen [3]. Wenn beide Eingänge auf eine Schreibleitung gelegt werden, kann das Magnetfeld der zweiten Schreibleitung dazu verwendet werden, zwischen der AND- und OR-Funktion umzuschalten [4]. Wie aus Bild 3 ersichtlich, können magnetoresistive Elemente in vier verschiedenen Zuständen vorliegen, zwei davon mit einer parallelen Ausrichtung der Magnetisierung der beiden magnetischen Schichten, zwei davon mit antiparalleler Orientierung. Die Forschungsgruppe Nanoakustik am Paul-Drude-Institut hat gezeigt, dass jeder dieser Zustände eine andere elementare logische Funktion repräsentiert [5], die durch den bei magnetoresistiven Elementen immer erforderlichen Setzschritt vorgegeben werden kann.

Der Aufbau des am Paul-Drude-Institut studierten magnetologischen Gatters [5] ist dem einer MRAM-Zelle sehr ähnlich. Im Zentrum steht ebenfalls ein magnetoresistives Element (Bild 2). Die parallele und antiparallele Magnetisierung der beiden Schichten mit niedrigem bzw. hohem Magnetowiderstand definieren den logischen Wert des Auslesesignals (‚1' bzw. ‚0'). Das Schreiben der Zelle erfolgt – wie in einer MRAM-Zelle – über das Magnetfeld von stromdurchflossenen Zuleitungen oder, ganz aktuell, über das Drehmoment, das ein spinpolarisierter Strom[2)] auf eine magnetische Lage ausübt. Die drei Eingänge müssen aber nicht unbedingt über drei unterschiedliche Zuleitungen geführt werden, wie in Bild 2 der Übersichtlichkeit halber dargestellt, im Prinzip wäre bereits eine Zuleitung ausreichend. Die Koerzitivfeldstärken der beiden magnetischen Schichten sind so gewählt, dass die obere Schicht nur geschaltet werden kann, wenn die beiden oberen Eingänge, A und B, adressiert sind. Für das Schalten der unteren Lage ist zusätzlich ein Strom am dritten Eingang C erforderlich. Der Logikwert des Eingangs wird über die Richtung der erzielten Magnetisierung definiert: ein positiver Strom führt zu einer positiven Magnetisierung und entspricht einer logischen ‚1', ein negativer Strom bewirkt eine negative Magnetisierung und stellt eine logische ‚0' am Eingang dar.

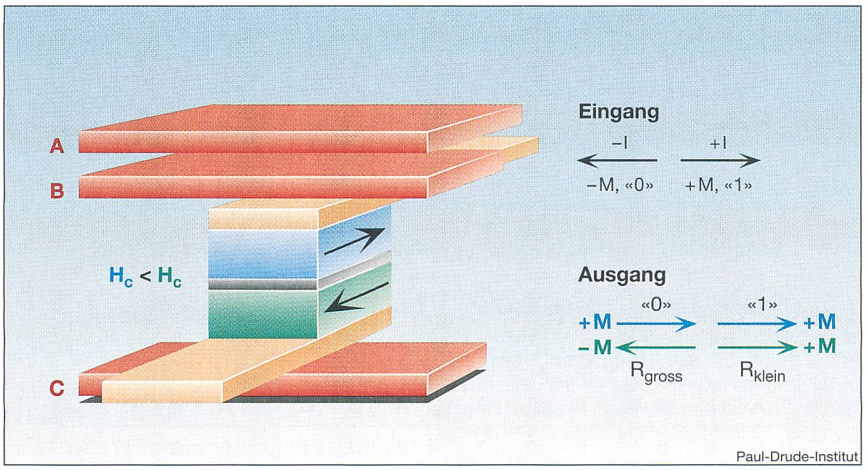


Bild 2 Prinzip eines magnetischen Logikelements

Wie in der MRAM-Speicherzelle bildet ein magnetoresistives Element das Herz des magnetologischen Elements. Je nachdem, ob die Magnetisierung der beiden Schichten (blau, grün) parallel oder antiparallel ist, ist der elektrische Widerstand (R) der Zelle klein bzw. gross und definiert den logischen Ausgangswert als ‚1' bzw. ‚0'. Die zwei Elektroden (braun) am oberen und unteren Ende des magnetoresistiven Elements dienen zum Auslesen der logischen Bits. Die Ummagnetisierung erfolgt durch einen Strom an den Eingangsleitungen A, B, und C (rot). Die Koerzitivfeldstärken der beiden magnetischen Schichten sind so gewählt, dass die obere Schicht nur dann geschaltet werden kann, wenn an den Eingängen A und B Strom mit demselben Vorzeichen anliegt. Für das Schalten der unteren Lage ist zusätzlich ein Strom am dritten Eingang C erforderlich. Definitionsgemäss führt ein positiver Strom zu einer positiven Magnetisierung und stellt eine logische ‚1' am Eingang dar. Ein negativer Strom hingegen bewirkt eine negative Magnetisierung und entspricht einer logischen ‚0'.

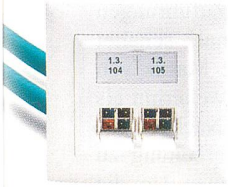
Elementare logische Funktionen

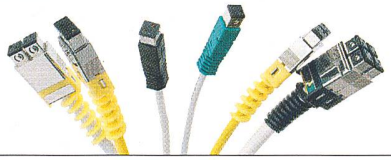
Für das AND-Gatter startet man vom linken Ausgangszustand in Bild 3, der einer logischen ‚0' entspricht. Die Ummagnetisierung der oberen magnetischen Lage von links nach rechts in den entsprechenden parallelen Zustand der Zelle wird nur durch einen positiven Strom an beiden Eingängen A und B erreicht. Nur dann ändert sich der Ausgabewert der Zelle von ‚0' auf ‚1', was der AND-Funktion entspricht (vergleiche entsprechende Logiktabelle in Bild 3). Für die OR-Funktion sind beide magnetischen Lagen ursprünglich nach rechts magnetisiert. Das Umschalten von diesem parallelen Ausgangszustand (‚1') in den dazugehörigen antiparallelen Zustand (‚0') wird nur durch zwei negative Ströme (‚0') erreicht. Die beiden anderen Anfangszustände der Zelle erhält man durch Ummagnetisierung der unteren Lage,

Für Multimedia-Genuss auch:

MMC3000*pro* > Kat. 7

- Bietet bis zu vier superschnelle parallel nutzbare Anschlüsse – ein Zuführungskabel genügt.
- Problemlose Übertragung von 10 Gbit-Ethernet.
- Gerüstet für die Zukunft – mit Garantie.
- Vom Installateur empfohlen.





BKS Kabel-Service AG
Fabrikstrasse 8
CH-4552 Derendingen
0848 NEWLINE oder
Tel: +41 32 681 54 54
Fax: +41 32 681 54 59
E-Mail: info@bks.ch
www.bks.ch

BKS
Plug in High-Tech!

B&S

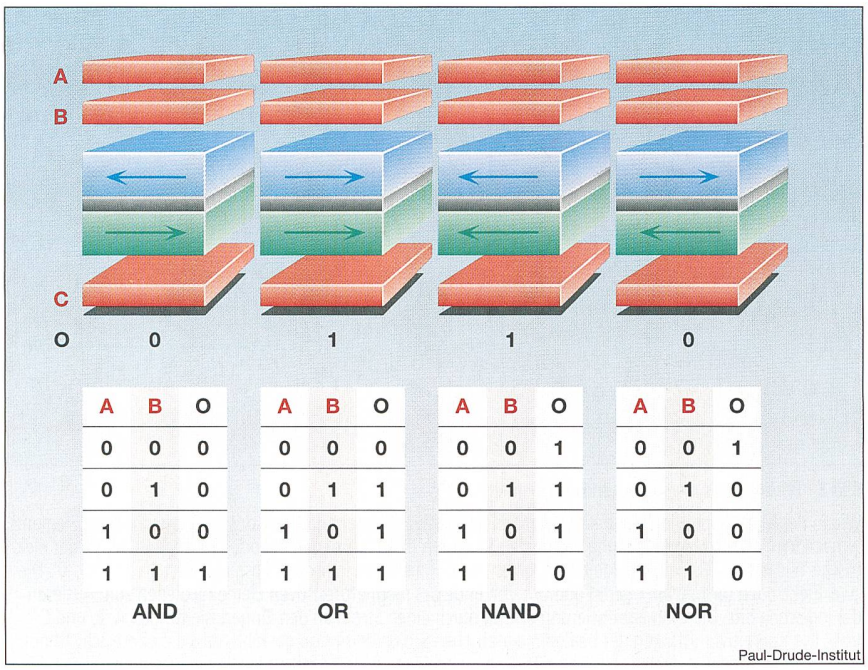


Bild 3 Elementare logische Funktionen

Zur Realisierung der vier elementaren Logikfunktionen AND, OR, NAND und NOR wird das magnetologische Element in einen seiner vier möglichen Zustände initialisiert, d.h. Magnetisierung oben/unten = links/rechts, rechts/rechts, links/links oder rechts/links. Für das AND-Gatter startet man vom linken Ausgangszustand, der einer logischen ‚0' entspricht. Die Ummagnetisierung der oberen magnetischen Lage von links nach rechts in den entsprechenden parallelen Zustand der Zelle wird nur durch einen positiven Strom an beiden Eingängen A und B erreicht. Nur dann ändert sich der Ausgabewert der Zelle von ‚0' auf ‚1', was der AND-Funktion entspricht (siehe entsprechende Logiktabelle). Für die OR-Funktion sind beide magnetischen Lagen ursprünglich nach rechts magnetisiert. Das Umschalten von diesem parallelen Ausgangszustand (‚1') in den dazugehörigen antiparallelen Zustand (‚0') wird nur durch zwei negative Ströme (‚0') erreicht. Die beiden anderen Anfangszustände der Zelle erhält man durch Ummagnetisierung der unteren Lage, was den Ausgangswert negiert und die Logikfunktionen NAND bzw. NOR generiert.

was einer Negation ihres Ausgangswertes entspricht und zu den Logikfunktionen NAND bzw. NOR führt.

Dem gemäss verläuft eine logische Operation mit einem magnetologischen Element in zwei Schritten: Zuerst erfolgt der Setzschritt, in dem die logische Funktion des Gatters programmiert wird. Für das OR und NAND werden alle drei Eingänge mit positivem bzw. negativem Strom adressiert. Um das AND und NOR zu erhalten, muss anschliessend noch die Magnetisierung der oberen Lage mit den Eingängen A und B entsprechend verstellt werden. Im zweiten Schritt wird dann die logische Operation durchgeführt, bei der nur mehr die Zuleitungen A und B mit den logischen Eingangswerten belegt werden.

Um die NOT-Funktion zu erhalten, muss nur die Magnetisierung der unteren magnetischen Schicht negativ programmiert werden (Bild 4). Für die logische Operation werden dann die beiden oberen Zuleitungen gleichzeitig mit dem zu negierenden Eingang adressiert.

Die Funktionen OR, AND und NOT bilden eine universelle Basis für die Darstellung beliebiger Logikoperationen. Auch das NAND allein sowie das NOR sind universelle Gatter. Damit stellt ein einzelnes magnetologisches Element einen äusserst komfortablen Satz an elementaren logischen Funktionen bereit, um selbst komplexe Schaltkreise aufzubauen.

XOR und XNOR

Durch eine modifizierte Ansteuerung lassen sich auch höherwertigere logische Funktionen realisieren [7] wie das XOR, das zwischen gleichen und entgegengesetzten Eingängen unterscheidet: XOR gibt eine ‚1' bei gleichen Eingängen (‚0'/‚0' oder ‚1'/‚1') aus und eine ‚0' bei komplementären (‚1'/‚0' oder ‚0'/‚1'). Das XOR ist die wichtigste Komponente eines so genannten Volladdierers. Der wiederum ist die am häufigsten benötigte Einheit in einem Prozessor [8]. Zwei magnetologische Gatter reichen dazu aus (Bild 5), in der CMOS-Technologie sind dafür 14 Transistoren nötig.

CMOS versus Magnetologik

Das auf magnetoresistiven Elementen basierende Konzept für eine magnetische Logik zeichnet sich durch eine Reihe von Vorteilen gegenüber der konventionellen, transistorgestützen Logik aus. Da ein Gatter mehrere Logikfunktionen repräsentieren kann, die durch den Setzschritt vorgegeben werden, ist sein Einsatzbereich nicht länger durch die Hardware vorherbestimmt. In CMOS wird die Logik eines normalen Transistor-Gatters durch die Verdrahtung definiert und fixiert. Ein magnetologischer Prozessor hingegen stellt nur einen quasi universellen Block von logischen Gattern bereit, von denen jedes individuell für die gewünschte Anwendung programmiert werden kann. Ein solcher Prozessor kommt daher mit viel weniger logischen Gattern aus als sein CMOS-Pendant, das immer nur wenige Prozent seiner Gatter für eine Aufgabe einsetzt. Die Flexibilität der Gatter gestattet es, neue Software leichter zu implementieren. Durch die hohe Schaltgeschwindigkeit von magnetischen Materialien (~100 ps) eröffnen sich rekonfigurierbare (sogenannte Chamäleon-)Prozessoren, die mit der Taktgeschwindigkeit des Prozessors reprogrammierbar sind. Magnetische Information ist nicht flüchtig; daher vereinigt ein magnetischer Chamäleon-Prozessor beides, Logik- und Speicherfunktion. Berechnete Bits müssen nicht länger zeit- und energieaufwändig vom Prozessor in den Speicher und zurück befördert werden. Auf Grund der Nicht-Flüchtigkeit der Information entfällt auch die Notwendigkeit zur Synchronisation beim Betrieb, was den Programmablauf vereinfacht und beschleunigt. Sogar ein vollständig asynchroner Betrieb ist denkbar. Alles zusammen ermöglicht den Einsatz effizienterer Algorithmen und Arbeitsprozesse. Somit wächst die Leistungsfähigkeit der Prozessoren ohne die in der Siliziumtechnologie zur Geschwindigkeitssteigerung nötige Miniaturisierung.

Ein Blick voraus

Das künftige Design eines magnetischen Morphware-Prozessors bleibt vorerst ein akademisches Konzept. Doch dank der grossen Ähnlichkeit zum MRAM profitiert die Magnetologik von dessen Entwicklung. Die Eingangsleitungen könnten wie im MRAM als Gitter aufgebaut werden, mit den magnetologischen Elementen in den Kreuzungspunkten. Erhalten beide Zuführungen gleichzeitig ein Steuersignal, schaltet das jeweilige Element. Eine Matrix von CMOS-Transistoren würde weiterhin als Interface fungieren und die Nachverstärkung der für die Weiterverarbeitung zu kleinen Lesestrome übernehmen. Um die Technik in den Markt einzuführen, könnte

zunächst ein MRAM-Chip als Prozessor fungieren, der – weil nur eine seiner beiden Schichten schaltbar ist – über AND- und OR-, beziehungsweise NAND- und NOR-Funktionen verfügt.

Um das volle Potenzial eines magnetischen Prozessors auszuschöpfen, müssen noch diverse Probleme gelöst werden. Noch gelingt es nicht, die beiden magnetischen Lagen unabhängig voneinander zu schalten. Zudem: Da ein magnetischer Prozessor auf Grund seiner Flexibilität die meiste Zeit unter Volllast arbeiten wird, entwickelt er viel mehr Wärme als sein Siliziumpendant, was die Haltbarkeit seiner Logikelemente beeinträchtigt. Den Ingenieuren muss es gelingen, für magnetologische Gatter eine Lebensdauer von 10^{16} bis 10^{17} Schaltzyklen zu erreichen – das Hundert- bis Tausendfache der bislang erreichten Werte. Bis dahin mag es helfen, dass defekte Gatter während des Bootvorganges eines Computers entdeckt und überbrückt werden können. Zur Optimierung einer Magnetologik sind verbesserte Materialien mit höherem Magnetowiderstand gesucht, die mit Halbleitern kompatibel sind, da diese weiterhin als Verstärker gefragt sind.

Vielleicht wird es die schwierigste Hürde sein, eine geeignete Compilersprache zu entwickeln und neue Algorithmen zu finden, die alle Vorteile der in Echtzeit reprogrammierbaren logischen Gatter ausnützen. Um tatsächlich den magnetischen Chamäleon-Prozessor mit Erfolg auf den Markt zu bringen, ist ein interdisziplinärer Forschungseinsatz angesagt, der die Fachkenntnisse von Spezialisten auf den Gebieten der Materialwissenschaften, Hardware-Design, Elektronik, Computerwissenschaften und Mathematik vereint.

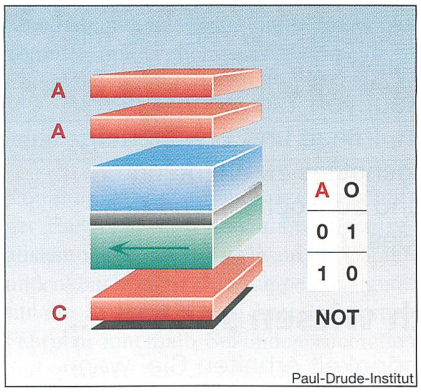


Bild 4 NOT

Für das NOT-Gatter muss nur die Magnetisierung der unteren magnetischen Schicht (grün) entsprechend programmiert werden. Für die logische Operation werden die beiden oberen Zuleitungen gleichzeitig mit dem Eingang A adressiert.

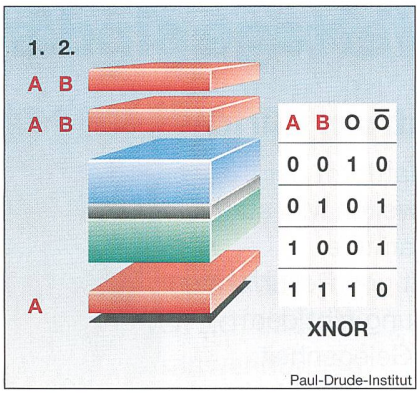


Bild 5 XNOR und XOR

Für das XNOR-Gatter wird zuerst mit dem Eingang A an allen drei Zuleitungen die Magnetisierung beider Lagen ausgerichtet. Dann wird der Eingang B nur an die beiden oberen Zuleitungen zur Magnetisierung der oberen Lage angelegt. Bei gleichen Eingängen ergibt sich eine ‚1' am Ausgang, bei komplementären eine ‚0'. Um das XOR zu erhalten, muss der Ausgang des XNORs negiert werden (rechte Spalte der Logiktabelle), z.B. mit dem NOT-Gatter.

Referenzen

[1] The International Technology Roadmap for Semiconductors

[2] K. Compton, S. Hauck, Reconfigurable Computing: A Survey of Systems and Software, ACM Computing Surveys, Bd. 34, 171 (2002)

[3] W. C. Black Jr., B. J. Das, Programmable Logic Using Giant-Magnetoresistance and Spin-Dependent Tunneling Devices, J. Appl. Phys. 87, 6674 (2000)

[4] R. Richter, H. Boeve, L. Bär, J. Bangert, U. K. Klostermann, J. Wecker, G. Reiss, J. Magn. Magn. Mater. 240, 127 (2002)

[5] A. Ney, C. Pampuch, R. Koch, K. H. Ploog, Programmable Computing with a Single Magnetoresistive Element, Nature, 425, 485 (2003)

[6] R. Cowburn, The Future of Universal Memory, Materials Today, Bd. 6, Heft 7/8, S. 32, 2003

[7] C. Pampuch, A. Ney, R. Koch, A universal gate for magnetologic computers, Euro-phys. Lett. 66, 895 (2004)

[8] C. Pampuch, A. Ney, R. Koch, Programmable magnetologic full adder, Appl. Phys. A 79, 415 (2004)

Angaben zum Autor

Reinhold Koch leitet die Forschergruppe Nanoakustik am Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik in Berlin. Er ist Chemiker und habilitierte 1993 an der Freien Universität in Berlin. 1994 erhielt er den Karl-Scheel-Preis für seine Arbeiten auf dem Gebiet der mechanischen Spannungen in dünnen Schichten sowie Strukturuntersuchungen mit einem Rastertunnelmikroskop.

Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, D-10117 Berlin, koch@pdi-berlin.de

[1] Als Koerzitivfeldstärke bezeichnet man die magnetische Feldstärke, die notwendig ist, um eine ferromagnetische Substanz vollständig zu entmagnetisieren, so dass der resultierende Gesamtfluss bzw. die lokale Flussdichte gleich null ist.

[2] Bei einem spinpolarisierten Strom in einem Halbleiter haben alle Elektronen den gleichen definierten Spin. Dieser wird ausgenutzt, wenn sie auf eine ferromagnetische Schicht treffen.

Résumé

Morphware – une logique susceptible d'adaptation

Nouveau domaine d'application pour matériaux magnétiques. La constitution logique des processeurs Morphware n'est pas rigide comme dans le matériel conventionnel mais peut être modifiée par le logiciel. De récentes recherches montrent que des éléments magnétorésistants comme ceux utilisés en MRAM permettent de réaliser une multitude de fonctions logiques. Contrairement à un Morphware basé sur la technologie au silicium, ils permettent de reconfigurer des fonctions logiques (ET, OU, NON-ET, NON-OU) à la vitesse d'horloge du processeur. Etant donné que l'information magnétique n'est pas volatile, les éléments magnétologiques assument la fonction de logique et de mémoire.

Die Zweiten Powertage sind startbereit!

9.–11. Mai 2006, Messezentrum Zürich

Die Powertage – DIE schweizweite Plattform der Elektrizitätswirtschaft – finden zum zweiten Mal statt. Jeweils am Vormittag nehmen hochkarätige Referenten aus Forschung, Wirtschaft und Politik am Forum teil. Eine umfassende Ausstellung gibt dem interessierten Besucher ausreichend Gelegenheit, sich mit den neusten Entwicklungen auf dem Markt vertraut zu machen und Fachgespräche mit den Anbietern zu führen; eine grosse Begegnungszone lädt zudem ein zum Verweilen und zum Networking.
Eine besondere hômmage an die Besucher aus der Romandie stellt der Eröffnungstag am 9. Mai, der «Journée des Romands», dar, an welchem sämtliche Präsentationen auf Französisch geführt werden.
Mitglieder von Electrosuisse können den 10. Mai für den Besuch der Generalversammlung von Electrosuisse nutzen. Als Gastredner wird der bekannte Ballonfahrer Bertrand Piccard ein Referat halten, zu dem auch die übrigen Forumsbesucher herzlich eingeladen sind.

Die ETG – die nationale Drehscheibe für Energietechnik

- Die ETG ist das nationale Forum zur Behandlung aktueller Fragen und Probleme auf dem Gebiet der Energietechnik.
- Sie vermittelt ihren Mitgliedern laufend kompetente Informationen zum neuesten Stand der Technik und unterstützt damit nachhaltig deren konsequente berufliche Weiterbildung.

Spezielle Projekte

ETGAR (ETG Action Road)
Ziele von ETGAR sind:
- Schüler und Lehrlinge zu überzeugen, dass Elektrotechnik eine Schlüsseltechnologie der Zukunft ist.
- Aufzuzeigen, dass der Beruf des Elektroingenieurs grosse persönliche Entwicklungs- und Karrieremöglichkeiten bietet.

Fachgruppe Geothermie
- Unsere Vision: «Die Schweiz ist ein Center of Competence für die Nutzung der Geothermie»

Vorteile Ihrer Mitgliedschaft

- Bis 40% Vergünstigungen bei Tagungen und Events
- Fachzeitschrift Bulletin SEV/VSE, u.a. mit regelmässigen News zur ETG
- Vergünstigter Kauf von Tagungsbänden
- Networking, d.h. Pflege und Erweiterung Ihres Beziehungsnetzes zu anerkannten Fachkollegen und zu Hochschulen des In- und Auslandes

Was Sie noch wissen sollten ...

- Die ETG-Zugehörigkeit erhalten Sie, wenn Sie Mitglied von Electrosuisse werden.
- Der Jahresbeitrag bei Electrosuisse kostet nur 140 Franken.

Kontakt:
beat.mueller@electrosuisse.ch
Tel. 044 956 11 52

20 Jahre/ans ETG

Bei uns beginnt die Zukunft früher ... electrosuisse