



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 603 01 097 T2 2006.08.31**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 376 600 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G11C 11/16 (2006.01)**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **603 01 097.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **03 253 059.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **16.05.2003**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.01.2004**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **27.07.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **31.08.2006**

(30) Unionspriorität:
173195 17.06.2002 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, GB

(73) Patentinhaber:
**Hewlett-Packard Development Co., L.P., Houston,
Tex., US**

(72) Erfinder:
**Nickel, Janice H., Sunnyvale, US; Bhattacharyya,
Manoj, Cupertino, California 95014, US**

(74) Vertreter:
**Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049
Pullach**

(54) Bezeichnung: **Datenspeichervorrichtung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen einer Datenspeichervorrichtung, auf eine derartige Speichervorrichtung und bei dem bevorzugten Ausführungsbeispiel auf ein Magnetspeicherelement, das einen gesteuerten Keimbildungsort in der Datenschicht aufweist.

[0002] Es wird das Beispiel einer Magnettirektzugriffsspeicher-(MRAM-)Vorrichtung betrachtet. Die Vorrichtung umfasst ein resistives Kreuzungspunktarray von Magnettunnelübergängen. Jeder Magnettunnelübergang befindet sich an einem Kreuzungspunkt einer Wortleitung und einer Bitleitung und weist eine Magnetisierung auf, die zu einer bestimmten Zeit eine von zwei stabilen Ausrichtungen annimmt. Diese beiden stabilen Ausrichtungen, parallel und antiparallel, stellen Logikwerte „0“ und „1“ dar.

[0003] Eine Schreiboperation an einem „ausgewählten“ Magnettunnelübergang könnte durch ein Liefern von Schreibströmen an die Wort- und Bitleitung, die den ausgewählten Magnettunnelübergang kreuzen, durchgeführt werden. Die Schreibströme erzeugen zwei orthogonale externe Magnetfelder. Die Magnettunnelübergänge sind entworfen, um nur bei Vorliegen der beiden orthogonalen Magnetfelder umzuschalten (von parallel nach antiparallel oder umgekehrt).

[0004] Ein „halbausgewählter“ Magnettunnelübergang liegt entlang nur einer Leitung, die mit einem Schreibstrom beliefert wird (entweder einer Bitleitung oder einer Wortleitung). So ist ein halbausgewählter Magnettunnelübergang während einer Schreiboperation nur einem externen Magnetfeld ausgesetzt. Die Magnettunnelübergänge sind entworfen, um bei Vorliegen eines einzelnen Magnetfeldes nicht umzuschalten.

[0005] In der Praxis jedoch sind Umschaltverteilungen der Magnettunnelübergänge in einem MRAM-Array groß und die Umschaltfelder nominell ähnlicher Magnettunnelübergänge sind uneinheitlich. Einige halbausgewählte Magnettunnelübergänge schalten bei Vorliegen nur eines einzelnen externen Magnetfelds um und einige ausgewählte Magnettunnelübergänge schalten bei Vorliegen zweier orthogonaler Magnetfelder nicht um.

[0006] Ein Schreibfehler tritt auf, wenn die Magnetisierungsausrichtung eines ausgewählten Magnettunnelübergangs nicht umgeschaltet wird, oder wenn die Magnetisierungsausrichtung eines halbausgewählten Magnettunnelübergangs unbeabsichtigt umgeschaltet wird. In einem großen MRAM-Array können viele Schreibfehler eine wesentliche Last für eine Fehlercodekorrektur darstellen.

[0007] McMichael R D u. a. in „Domain Wall Traps for Low-Field Switching of Submicron Elements“ in Journal of Applied Physics, America Institute of Physics, New York, US, Band 87, Nr. 9, 1. Mai 2000, Seiten 7058–7060, ISSN: 0021-8979 offenbart eine Domänenwandfalle für ein Niederfeld-Umschalten von Elementen im Submikrometerbereich, wobei das Problem eines nichtreproduzierbaren Umschaltens rechteckiger Zellen durch ein Bereitstellen von Zellen mit spitz zulaufenden Enden, die eine Umkehrkeimbildung in der Mitte und nicht an den Enden der Zellen herbeiführen, angegangen wird, wobei eine Asymmetrie der spitz zulaufenden Abschnitte eine Initialisierung einer einzelnen Kopf-zu-Kopf-Wand in dem Mittelabschnitt der Falle ermöglicht, wenn ein großes Initialisierungsfeld in der Ebene des Films senkrecht zu der Längsachse des Elements angelegt wird.

[0008] Die vorliegende Erfindung möchte eine verbesserte Speichervorrichtung schaffen.

[0009] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Herstellen einer Datenspeichervorrichtung gemäß Anspruch 1 bereitgestellt.

[0010] Die Erfindung liefert außerdem eine Speichervorrichtung gemäß Anspruch 9.

[0011] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird eine ferromagnetische Datenschicht eines Magnetspeicherelements mit einem gesteuerten Keimbildungsort gebildet.

[0012] Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung sind unten lediglich beispielhaft Bezug nehmend auf die Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

[0013] [Fig. 1](#) eine Darstellung eines Beispiels einer MRAM-Vorrichtung;

[0014] [Fig. 2](#) eine Darstellung eines Magnetspeicherelements in der MRAM-Vorrichtung aus [Fig. 1](#);

[0015] [Fig. 3](#) eine Darstellung einer Hysteresekurve für das Magnetspeicherelement aus [Fig. 2](#);

[0016] [Fig. 4](#) eine Darstellung eines Arrays von Datenschichten in der MRAM-Vorrichtung aus [Fig. 1](#);

[0017] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#) Darstellungen von Ausführungsbeispielen von Datenschichten, die unterschiedliche Typen und Anordnungen gesteuerter Keimbildungsorte aufweisen; und

[0018] [Fig. 6](#) eine Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Herstellen einer MRAM-Vorrichtung.

[0019] Wie in den Figuren gezeigt ist, liefern die beschriebenen Ausführungsbeispiele der [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#) eine MRAM-Vorrichtung, die ein Array von Magnetspeicherelementen umfasst. Datenschichten der MRAM-Vorrichtung weisen gesteuerte Keimbildungsorte auf. Die gesteuerten Keimbildungsorte verbessern eine Umschaltverteilung der Magnetspeicherelemente, was die Zuverlässigkeit eines Schreibens in die Magnetspeicherelemente erhöht.

[0020] Nun wird Bezug auf [Fig. 1](#) genommen, die eine MRAM-Vorrichtung **10** darstellt, die ein Array **12** von Speicherzellen **14** umfasst. Die Speicherzellen **14** sind in Zeilen und Spalten angeordnet, wobei sich die Zeilen in einer x-Richtung erstrecken und die Spalten in einer y-Richtung erstrecken. Nur eine relativ kleine Anzahl von Speicherzellen **14** ist gezeigt, um die Beschreibung der Vorrichtung **10** zu vereinfachen. In der Praxis könnten Arrays jeder Größe verwendet werden.

[0021] Wortleitungen **16** erstrecken sich in der x-Richtung des Speicherzellarrays **12** und Bitleitungen **18** erstrecken sich in der y-Richtung des Speicherzellarrays **12**. Es könnte eine Wortleitung **16** für jede Zeile des Arrays **12** und eine Bitleitung **18** für jede Spalte des Arrays **12** geben. Jede Speicherzelle **14** befindet sich an einem Kreuzungspunkt einer Wortleitung **16** und einer Bitleitung **18**.

[0022] Die MRAM-Vorrichtung **10** umfasst außerdem eine Lese-/Schreibschaltung (nicht gezeigt) zum Durchführen von Lese- und Schreiboperationen an den Speicherzellen **14**. Die Lese-/Schreibschaltung erfasst die Widerstandszustände ausgewählter Speicherzellen während Leseoperationen. Die Lese-/Schreibschaltung liefert Schreibströme während Schreiboperationen an ausgewählte Wort- und Bitleitungen **16** und **18**.

[0023] Jede Speicherzelle **14** umfasst zumindest ein Magnetspeicherelement. Die Magnetspeicherelemente könnten Magnettunnelübergänge, Riesenmagnetoresistiv-(GMR-)Vorrichtungen, AMR-Vorrichtungen oder jede andere Magnetspeichervorrichtung, in der eine Datenschicht umgeschaltet wird, sein. Diese Vorrichtungen umfassen ferromagnetische Daten- und Referenzschichten, die durch eine Abstandshalterschicht getrennt sind. Wenn das Magnetspeicherelement eine GMR-Vorrichtung ist, ist die Abstandshalterschicht aus einem leitfähigen Material, wie z. B. Kupfer, hergestellt. Wenn das Magnetspeicherelement ein Magnettunnelübergang ist, ist die Abstandshalterschicht eine Isolierungstunnelbarriere, die aus einem Material, wie z. B. Al_2O_3 , hergestellt ist.

[0024] Zusätzlich wird Bezug auf [Fig. 2](#) genommen, die ein exemplarisches Magnetspeicherelement **50** zeigt. Das exemplarische Magnetspeicherelement **50**

ist ein Magnettunnelübergang, der eine festgelegte bzw. gepinnte Schicht **52**, eine Datenschicht **54** und eine Isolierungstunnelbarriere **56** zwischen der festgelegten und der Datenschicht **52** und **54** umfasst. Die festgelegte Schicht **52** weist eine Magnetisierung (durch einen Vektor M_1 dargestellt) auf, die in der Ebene der festgelegten Schicht **52** ausgerichtet ist, jedoch fest ist, um sich bei Vorliegen eines angelegten Magnetfeldes in einem Bereich von Interesse nicht zu drehen. Die Datenschicht **54** weist eine Magnetisierung (durch einen Vektor M_2 dargestellt) auf, die nicht festgelegt ist. Vielmehr kann die Magnetisierung in einer von zwei Richtungen entlang einer Achse (der „Vorzugs“-Achse) ausgerichtet sein, die in der Ebene der Datenschicht **54** liegt (eine Richtung ist durchgezogen gezeigt und die andere Richtung ist gestrichelt gezeigt). Wenn die Magnetisierungsvektoren (M_1 und M_2) der festgelegten und der Datenschicht **52** und **54** in die gleiche Richtung zeigen, spricht man von einer „parallelen“ Ausrichtung des Magnettunnelübergangs. Wenn die Magnetisierung der festgelegten und der Datenschicht **52** und **54** in entgegengesetzte Richtungen zeigen, spricht man von einer „antiparallelen“ Ausrichtung des Magnettunnelübergangs.

[0025] Die Isolierungstunnelbarriere **56** erlaubt das Auftreten eines quantenmechanischen Tunnelns zwischen der Daten- und der festgelegten Schicht **54** und **52**. Dieses Tunnelungssphänomen ist elektronenspinabhängig, was den Widerstandswert des Magnettunnelübergangs zu einer Funktion der relativen Ausrichtungen der Magnetisierung der festgelegten und der Datenschicht **52** und **54** macht. Die Magnetisierungsrichtung und deshalb der gespeicherte Logikwert könnten durch ein Erfassen des Widerstandszustands des Magnettunnelübergangs gelesen werden.

[0026] Die Schreibströme erzeugen Magnetfelder um die Wort- und die Bitleitung **16** und **18** herum, die die ausgewählte Speicherzelle kreuzen. Bei Kombination überschreiten diese beiden Magnetfelder die Koerzivität der Datenschicht und bewirken, dass der Magnetisierungsvektor (M_1) der Datenschicht **54** eine erwünschte Ausrichtung annimmt. Eine Hysteresekurve für den Magnettunnelübergang ist in [Fig. 3](#) gezeigt. Die Koerzivität ist durch H_c bezeichnet. Wenn das kombinierte Magnetfeld die Koerzivität übersteigt, kann der Magnettunnelübergang umgeschaltet werden.

[0027] Nun wird Bezug auf [Fig. 4](#) genommen, die eine Mehrzahl von Datenschichten **54** in dem Array **12** der MRAM-Vorrichtung **10** zeigt. Die Datenschichten **54** weisen gesteuerte Keimbildungsorte **58** auf. Die Keimbildungsorte **58** sind Regionen, an denen eine Umkehrung der Magnetisierung eingeleitet wird. Sie weisen eine geringere Umschaltschwelle relativ zu den Nachbarregionen **60** der Datenschicht **54** auf.

Die Keimbildungsorte **58** werden dahingehend gesteuert bzw. kontrolliert, dass sie die gleichen Orte in den Datenschichten **54** aller Speicherzellen in dem Array **12** aufweisen. Die Orte befinden sich vorzugsweise entlang Kanten der Datenschichten **54** und noch bevorzugter nahe Ecken.

[0028] Eine Keimbildung, die Einleitung einer Umschaltumkehr, tritt an den Keimbildungsorten **58** auf. Da ein Keimbildungsort **58** nicht vollständig durch die Nachbarregion **60** der Datenschicht **54** umgeben ist, wird eine Magnetaustauschwechselwirkung zwischen dem Keimbildungsort **58** und der Nachbarregion **60** der Datenschicht **54** reduziert und tritt nur an der Grenze der Nachbarregion **60** und des Keimbildungsorts **58** auf. Als ein Ergebnis beginnt eine Umschaltumkehr immer an dem Keimbildungsort **58**, selbst dann, wenn die Nachbarregion **60** Defekte enthält.

[0029] Wenn die Keimbildungsorte **58** entlang der Kanten auf den Datenschichten **54** gebildet sind, wird die Zufälligkeit einer Keimbildung reduziert. Folglich ist eine Umschaltverteilung (die Verteilung von Koerzivitäten) der Speicherzellen **14** in der Vorrichtung **10** einheitlicher.

[0030] Die Keimbildungsorte **58** könnten gemäß den Ansprüchen Vorsprünge aus den Datenschichten **54** oder Stücke in den Datenschichten **54** sein. Die Form der Stücke oder Vorsprünge könnte kreisförmig, elliptisch, rechteckig sein oder jede andere Form aufweisen.

[0031] Die Größe der Keimbildungsorte **58** könnte zwischen 0,25 W und 0,75 W liegen, wobei W die Breite der Datenschicht **54** ist. Die Größe der Keimbildungsorte **58** jedoch ist nicht auf diesen Bereich eingeschränkt. Die Größe der Keimbildungsorte **58** könnte viel kleiner als W sein, z. B. in dem Bereich von 0,05 W bis 0,1 W liegen.

[0032] Die Keimbildungsorte **58** könnten so dick wie die Datenschicht **54** sein oder dicker. So könnten die Vorsprünge so dick wie die Datenschicht **54** sein und die Stücke könnten sich durch die Datenschicht **54** erstrecken.

[0033] Die Größe und Form der Keimbildungsorte **58** über das Array **12** könnten einheitlich sein. Eine einheitliche Größe und Form über das Array **12** sollte eine Einheitlichkeit einer Keimbildungsenergie verbessern.

[0034] Die Datenschichten **54** sind nicht auf die in [Fig. 4](#) gezeigten Keimbildungsorte **58** eingeschränkt. Ein anderer Typ und andere Anordnungen von Keimbildungsorten sind in den [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5F](#) gezeigt. Die [Fig. 5A](#), [Fig. 5B](#), [Fig. 5C](#), [Fig. 5F](#) zeigen, dass die Keimbildungsorte **58** Vorsprünge statt Stücke

sein könnten, die [Fig. 5B](#) bis [Fig. 5F](#) zeigen, dass eine Datenschicht **54** mehr als einen Keimbildungsort **58** aufweisen könnte; und die [Fig. 5B](#), [Fig. 5E](#) und [Fig. 5F](#) zeigen, dass zwei Keimbildungsorte **58** an unterschiedlichen Kanten gebildet sein könnten.

[0035] In den [Fig. 5B](#) bis [Fig. 5E](#) sind die Keimbildungsorte **58** gezeigt, um eine symmetrische Anordnung auf den Datenschichten **54** aufzuweisen. Sie sind jedoch nicht derart eingeschränkt. [Fig. 5F](#) z. B. zeigt, dass die Keimbildungsorte **58** eine nichtsymmetrische Anordnung aufweisen. Die nichtsymmetrische Anordnung könnte verwendet werden, um eine Versatz bei Umschaltfeldern auszugleichen. Ein Ort könnte z. B. für eine Richtung bei einem höheren Umschaltfeld eine Keimbildung herbeiführen und für die andere Richtung ein niedrigeres Umschalten. So ist der Versatz aufgrund von Magnetostatik ausgeglichen.

[0036] Nun wird Bezug auf [Fig. 6](#) genommen, die die Herstellung einer ersten Ebene einer MRAM-Vorrichtung darstellt. Die Herstellung ist in Verbindung mit Magnettunnelübergängen beschrieben.

[0037] Die Lese-/Schreibschaltung und andere Schaltungen werden in einem Siliziumsubstrat gebildet (**110**). Bitleitungen werden auf dem Substrat gebildet (**112**). Ein Stapel Magnetspeicherelementmaterial wird aufgebracht (**114**). Ein Stapel für Magnettunnelübergänge könnte ein Material einer festgelegten ferromagnetischen Schicht, ein Isolierungstunnelbarrierematerial und ein Datenschichtmaterial umfassen. Das Datenschichtmaterial könnte vor oder nach dem Material der festgelegten Schicht aufgebracht werden.

[0038] Bits werden gebildet (**116**). Lithographie (z. B. Photolithographie, E-Strahl-Lithographie) könnte verwendet werden, um eine Struktur auf dem Stapel zu definieren, und Bits könnten durch einen Vorgang, wie z. B. Ionenätzen, chemisches Ätzen, Trockenätzen, usw., gebildet werden. Die Strukturen umfassen die Definitionen der Keimbildungsorte. So werden die Keimbildungsorte (z. B. Vorsprünge, Stücke) während einer Bildung der Bits gebildet.

[0039] Eine Hartmaske könnte während der Bitbildung verwendet werden, um die Bits zu definieren (einschließlich der Keimbildungsorte). Ein Vorteil der Hartmaske besteht darin, dass diese eine Kantenrauheit reduziert und es ermöglicht, dass die Bits näher aneinander gebildet werden können.

[0040] Jedes Bit könnte bis zu seiner festgelegten Schicht heruntergefräst werden. Als ein Ergebnis könnte ein Keimbildungsort auch auf jeder festgelegten Schicht, sowie jeder Datenschicht gebildet werden.

[0041] Zwischenräume zwischen den Bits werden mit einem Trenndielektrikum gefüllt (118). Dann werden Bitleitungen aufgebracht (120).

[0042] Zusätzliche Ebenen könnten zu der MRAM-Vorrichtung hinzugefügt werden. Ein Isolierungsmaterial, wie z. B. Siliziumdioxid, wird auf die letzte Ebene aufgebracht und eine neue Ebene wird durch ein Wiederholen der Schritte 112 bis 120 hergestellt.

[0043] Die MRAM-Vorrichtung könnte in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden. Die MRAM-Vorrichtung könnte z. B. zur Langzeitdatenspeicherung in Vorrichtungen, wie z. B. Festkörper-Festplatten und Digitalkameras, eingesetzt werden. Sie könnte für eingebettete Anwendungen, wie z. B. extrem schnelle Prozessoren und Netzgeräte, eingesetzt werden.

[0044] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die oben beschriebenen und dargestellten spezifischen Ausführungsbeispiele eingeschränkt. Statt dessen soll die Erfindung gemäß den folgenden Ansprüchen aufgefasst werden.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Herstellen einer Datenspeichervorrichtung (10), das den Schritt eines Bildens eines Arrays (12) ferromagnetischer Datenschichten (54) umfasst, wobei jede Schicht (54) eine erste und eine zweite benachbarte Region (58, 60) aufweist, wobei die erste Region (58) eine niedrigere Umschaltsschwelle aufweist als die zweite Region (60), wobei die ersten Regionen (58) wesentlich kleiner sind als die zweiten Regionen (60), sich im Wesentlichen an dem gleichen Ort auf den Datenschichten über das Array befinden, nicht durch eine benachbarte Region der Datenschicht umgeben sind und sich an einem Umfang oder einer Peripherie der Datenschicht (54) befinden, wobei die ersten Regionen (58) Stücke in den Datenschichten oder Vorsprünge von den Datenschichten sind.

2. Ein Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die ersten Regionen (58) an Ecken der Datenschichten (54) oder an Kanten der Datenschichten (54) angeordnet sind.

3. Ein Verfahren gemäß Anspruch 1 oder 2, bei dem jede Datenschicht (54) mehr als eine erste Region (58) aufweist.

4. Ein Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem jede Datenschicht (54) eine symmetrische Anordnung erster Regionen (58) aufweist.

5. Ein Verfahren gemäß Anspruch 3, bei dem jede Datenschicht (54) eine nichtsymmetrische An-

ordnung erster Regionen (58) aufweist.

6. Ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die ersten Regionen (58) eine im Wesentlichen einheitliche Größe und Form über das Array (12) aufweisen.

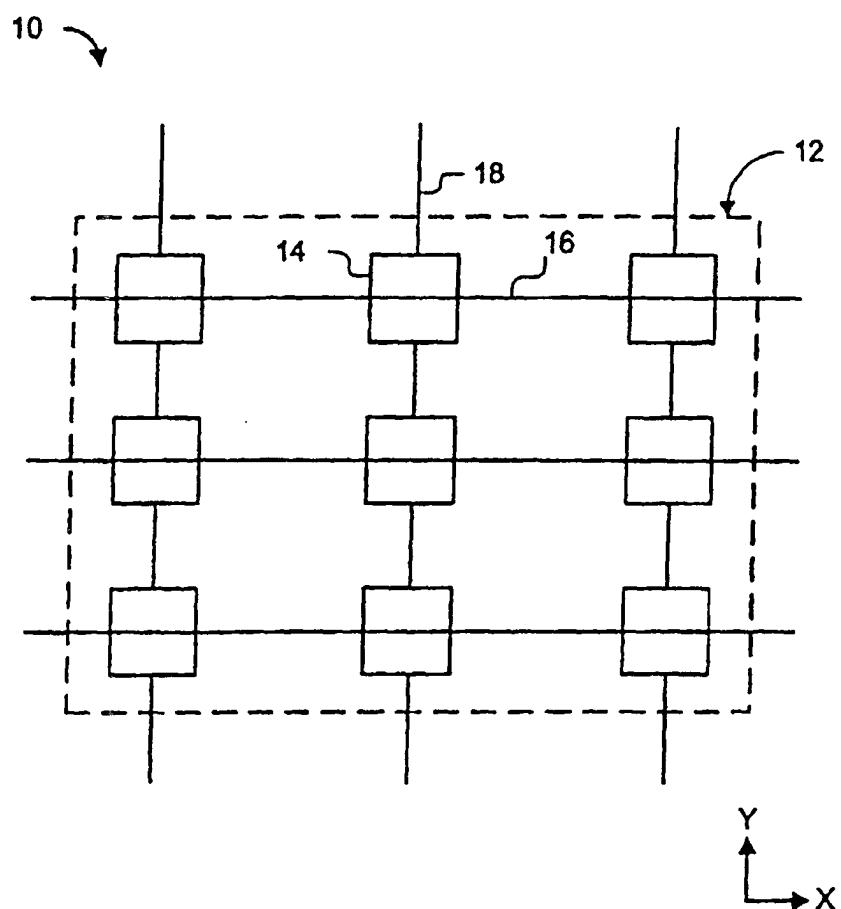
7. Ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die ersten Regionen (58) während einer Bitbildung gebildet werden.

8. Ein Verfahren gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, das den Schritt eines Bildens zusätzlicher Magnettunnelübergangsschichten (52, 56) umfasst.

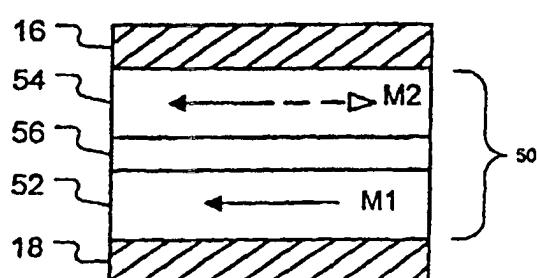
9. Eine Datenspeichervorrichtung, die ein Array (12) ferromagnetischer Datenschichten (54) umfasst, wobei jede Schicht (54) eine erste und eine zweite benachbarte Region (58, 60) aufweist, wobei die erste Region (58) eine niedrigere Umschaltsschwelle aufweist als die zweite Region (60), wobei die ersten Regionen (58) wesentlich kleiner sind als die zweiten Regionen (60), sich im Wesentlichen an dem gleichen Ort auf den Datenschichten über das Array befinden, nicht durch eine benachbarte Region der Datenschicht umgeben sind und sich an einem Umfang oder einer Peripherie der Datenschicht (54) befinden, wobei die ersten Regionen Stücke in den Datenschichten oder Vorsprünge von den Datenschichten sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

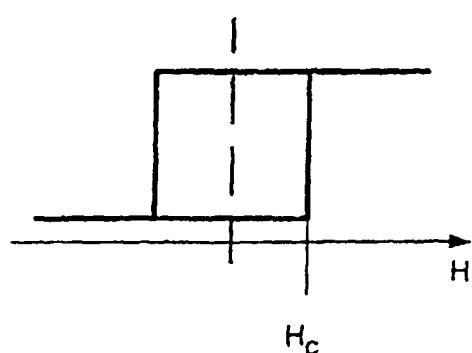
FIGUR 1



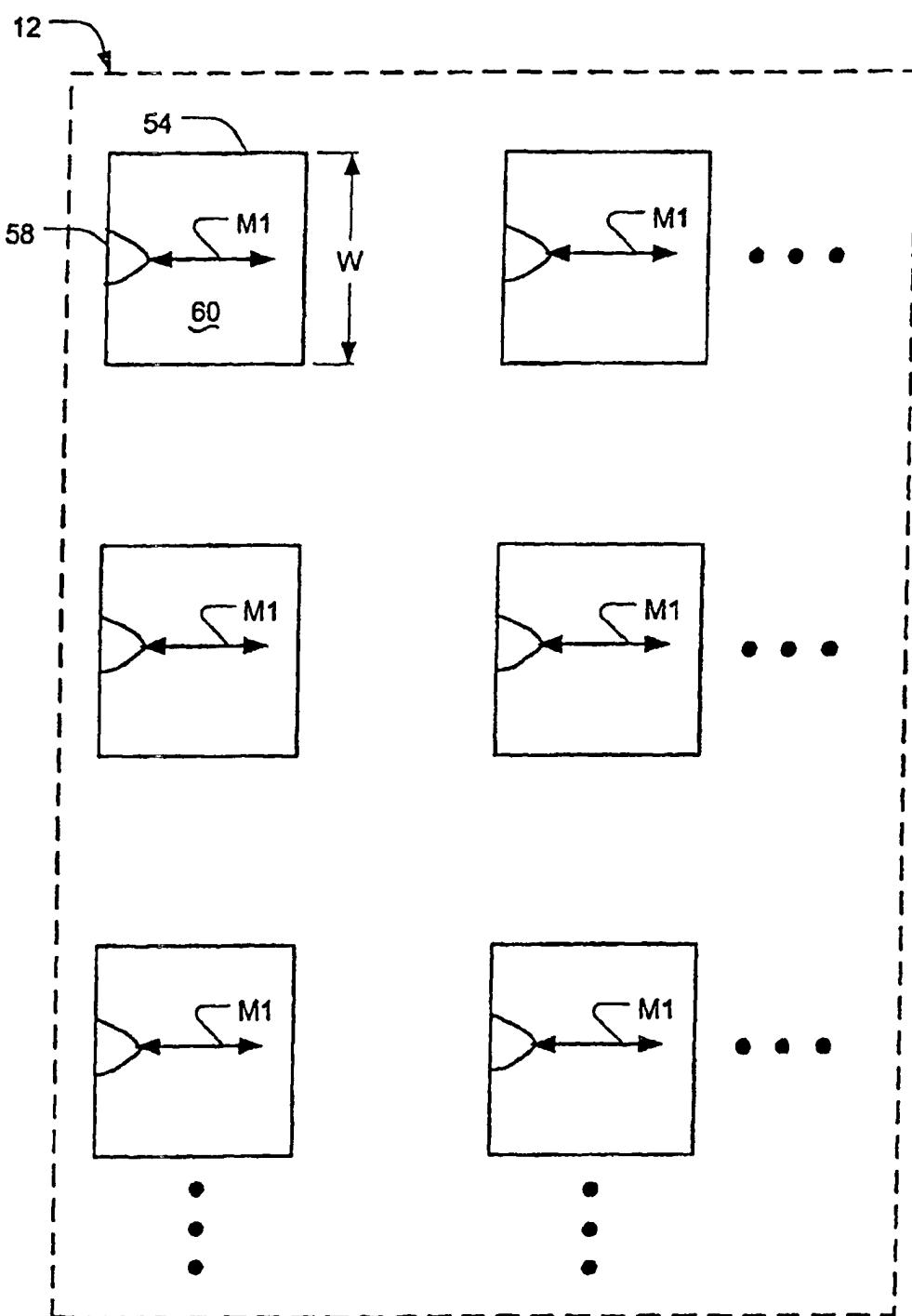
FIGUR 2



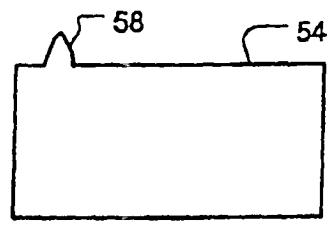
FIGUR 3



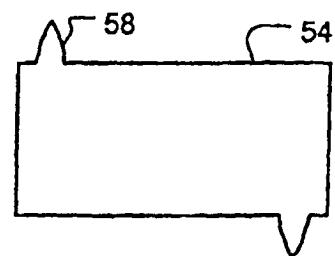
FIGUR 4



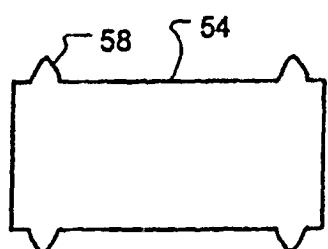
FIGUR 5A



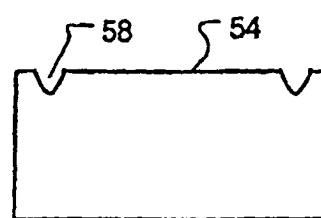
FIGUR 5B



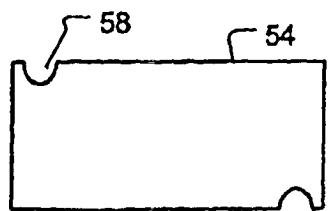
FIGUR 5C



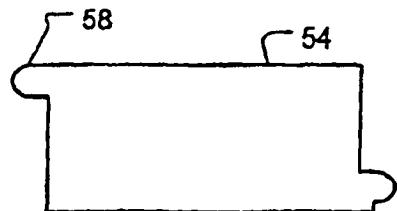
FIGUR 5D



FIGUR 5E



FIGUR 5F



FIGUR 6

