



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 36 463 T2** 2007.04.19

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 880 711 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 36 463.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB97/01438**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 910 581.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/025155**

(86) PCT-Anmeldetag: **13.11.1997**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **11.06.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.12.1998**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **09.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **19.04.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 33/09** (2006.01)
G11B 5/39 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
96203430 04.12.1996 EP

(73) Patentinhaber:
**Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven,
NL**

(74) Vertreter:
Volmer, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 52066 Aachen

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(72) Erfinder:
**COEHOORN, Reinder, NL-5656 AA Eindhoven, NL;
KOOLS, Constant, Jacques, NL-5656 AA
Eindhoven, NL**

(54) Bezeichnung: **VORRICHTUNG ZUM ERFASSEN EINES MAGNETFELDES**

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 eingelegt, 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 Erfindung betrifft eine Anordnung zum Erkennen eines Magnetfeldes, welche eine Wheatstonebrücke mit mindestens vier magnetoresistiven Elementen auf einem Substrat umfasst, wobei jedes magnetoresistive Element mindestens einen empfindlichen Bereich umfasst, der wiederum eine ferromagnetische Schicht mit einer magnetisch leichten Achse in einer ersten Richtung, eine nicht magnetische Schicht und eine zweite ferromagnetische Schicht mit einer magnetisch leichten Achse in einer zweiten Richtung, die sich von der ersten Richtung unterscheidet, umfasst, wobei diese empfindlichen Bereiche parallele empfindliche Richtungen aufweisen, die parallel zu einer dritten Richtung sind. Jedes magnetoresistive Element ist einem Stromleiter in der unmittelbaren Nähe dieses magnetoresistiven Elements zugeordnet.

[0002] Eine Anordnung dieser Art ist aus WO-A-95/28649 (PHN 14.825) bekannt. In der bekannten Anordnung zeigt die erste ferromagnetische Schicht in einem Magnetfeld aufgrund ihres Wachstums eine einachsige Anisotropie in einer Richtung. Die Magnetisierung der zweiten ferromagnetischen Schicht ist bestimmt durch die Austauschwechselwirkung mit einer antiferromagnetischen Schicht auf der zweiten ferromagnetischen Schicht. Diese Wechselwirkung führt wirksam zu einer unidirektionalen Anisotropie der zweiten ferromagnetischen Schicht. Bei der Fertigung der bekannten Anordnung werden die zweite ferromagnetische Schicht und die antiferromagnetische Schicht bei einer Temperatur oberhalb der Blockungstemperatur dem von einem in den Stromleitern fließenden elektrischen Strom erzeugten Magnetfeld ausgesetzt, anschließend wird die Temperatur der Schichten auf einen Wert unterhalb der Blockungstemperatur abgesenkt, wobei das Magnetfeld aufrechterhalten wird. Dieser Schritt fixiert die Richtung der effektiven Anisotropie der zweiten ferromagnetischen Schicht bei der Fertigung und damit die Empfindlichkeit der einzelnen magnetoresistiven Elemente in der Wheatstonebrücke. De facto wird die Empfindlichkeit der Wheatstonebrücke gegenüber Feldern in einer vordefinierten Richtung programmiert. Die Blockungstemperatur ist die Temperatur, bei der das Austauschverschiebungsfeld (Exchange Bias) der zweiten ferromagnetischen Schicht praktisch bei null liegt. Die Blockungstemperatur beispielsweise einer geeigneten FeMn-Legierung liegt bei 140°C. Die Programmierung der Wheatstonebrücke erfordert daher eine Hitzebehandlung, und die Anordnung ist nur deutlich unterhalb der Blockungstemperatur thermisch ausreichend stabil.

[0003] Für die Messung kleiner statischer Magnetfelder muss ein Stellwiderstand mit mindestens einem der magnetoresistiven Elemente der bekannten Anordnung in Reihe geschaltet werden. Der Wert des

Stellwiderstands wird bei der Fertigung der Anordnung eingestellt, um Ungleichgewichte der Brücke durch Abweichungen der Elemente in der Brücke relativ zueinander auszugleichen. Dies ist ein zeitaufwändiges und teures Verfahren.

[0004] Eine Aufgabe, die der Erfindung zugrunde liegt, besteht darin, eine Anordnung der angeführten Art zu schaffen, mit der es möglich ist, die Wheatstonebrücke bei Raumtemperatur zu programmieren, und in der Ungleichgewichte der Brücke im laufenden Betrieb und ohne Verwendung von Stellwiderständen einfach ausgeglichen werden können. Zur Lösung dieser Aufgabe ist die erfindungsgemäße Anordnung dadurch gekennzeichnet, dass die erste Richtung durch einen spitzen Winkel hinsichtlich der dritten Richtung abgeschrägt ist, und dass die zweite Richtung in entgegengesetzter Richtung durch einen spitzen Winkel hinsichtlich der dritten Richtung abgeschrägt ist, wobei sich jeder dieser Stromleiter über mindestens einen Bereich seiner Länge in einer vierten Richtung senkrecht zur dritten Richtung erstreckt. Die erfindungsgemäße Anordnung nutzt ein magnetoresistives Material, das an sich aus WO-A-96/07926 (PHN 14.992) bekannt ist. Die Erfinder haben entdeckt, dass dieses Material in einer Anordnung mit einer Wheatstonebrücke vorteilhaft genutzt werden kann, wenn die Richtung, in die sich die Stromleiter erstrecken, senkrecht zur Empfindlichkeitsrichtung des magnetoresistiven Elements gewählt wird. Das in der erfindungsgemäßen Anordnung verwendete Material umfasst keine antiferromagnetische Schicht auf der zweiten ferromagnetischen Schicht, und infolgedessen gibt es keine Blockungstemperatur. Die erfindungsgemäße Anordnung kann somit bei Raumtemperatur programmiert werden, indem ein Strom durch die Stromleiter geführt wird, der entgegengesetzt gerichtete Magnetfelder an der Position der in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke angeordneten magnetoresistiven Elemente erzeugt. Dies lässt sich einfach erreichen durch Verbinden der Stromleiter, sodass die in den Stromleitern fließenden Ströme, die den in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke angeordneten magnetoresistiven Elementen zugeordnet sind, in entgegengesetzter Richtung fließen. Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Anordnung liegt darin, dass die thermische Stabilität nicht auf die Blockungstemperatur von ca. 140°C begrenzt ist. Als Begrenzungsfaktoren sind die Grenzfläche sowie Korngrenzendiffusionsvorgänge zu erwarten, die bei oberhalb ca. 250°C spürbar werden.

[0005] Ein Ungleichgewicht in der Brücke kann sehr einfach kompensiert werden durch Umkehren der Richtung des Stromflusses, sodass die Programmierung umgekehrt wird. Diese Technik ist an sich bekannt aus Anordnungen zur Magnetfeldererkennung, die den anisotropen magnetoresistiven Effekt nutzen. Dies wird als Umschlagen (Flipping) bezeichnet.

[0006] Wie oben erwähnt, reicht es zur Lösung der wesentlichen Aufgaben der Erfindung aus, die Stromleiter so miteinander zu verbinden, dass die Ströme in den Stromleitern, die den Elementen in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke zugeordnet sind, in entgegengesetzter Richtung fließen. Bei manchen Anwendungen ist es jedoch wünschenswert, ein Magnetfeld zu erzeugen, das die gleiche Stärke wie das zu messende Feld, jedoch eine entgegengesetzte Richtung aufweist. Die magnetoresistiven Elemente erfahren dann ein Magnetfeld mit einem Wert nahe null. Diese Aufgabe lässt sich lösen durch die Verwendung von Stromleitern, die in unmittelbarer Nähe jedes einzelnen magnetoresistiven Elements das gleiche Magnetfeld erzeugen. Der durch diese Leiter fließende Strom kann dann gemessen werden, um die Stärke des zu erkennenden Magnetfeldes zu bestimmen. Dies kann erreicht werden durch Hinzufügen von Stromleitern, die alle in Reihe geschaltet sind. Eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung, bei der diese Zusatzfunktion ohne Hinzufügen weiterer Stromleiter erzielt wird, ist jedoch dadurch gekennzeichnet, dass Umschaltmittel für die Verbindung der Stromleiter mit einer Stromquelle gemäß mindestens einem ersten und einem zweiten Verbindungsplan vorgesehen sind, wobei im ersten Verbindungsplan die Stromleiter so angeordnet sind, dass Ströme in Stromleitern, die den in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke angeordneten magnetoresistiven Elementen zugeordnet sind, entgegengesetzte Richtungen aufweisen, während im zweiten Verbindungsplan die Stromleiter so angeordnet sind, dass die Ströme in allen Stromleitern die gleiche Richtung aufweisen.

[0007] Eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Anordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass die empfindlichen Bereiche streifenförmige Strukturen aufweisen, die sich in Richtungen parallel zur dritten Richtung erstrecken. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass die Anordnung sehr kompakt sein kann.

[0008] Eine weitere Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass die empfindlichen Bereiche im Wesentlichen eine kreisförmige oder ovale Struktur haben und die empfindlichen Bereiche der einzelnen magnetoresistiven Elemente elektrisch so miteinander verbunden sind, dass der durch ein magnetoresistives Element fließende Strom durch die empfindlichen Bereiche senkrecht zu deren Empfindlichkeitsrichtungen fließt. Diese Ausführungsform hat den Vorteil, dass sie eine höhere Empfindlichkeit im Vergleich zu den zuvor erwähnten Ausführungsformen bietet.

[0009] Diese und weitere Aspekte der Erfindung werden anhand der nachfolgend beschriebenen Ausführungsformen deutlich.

[0010] [Fig. 1](#) zeigt einen vereinfachten Schaltplan

derjenigen Teile einer Anordnung zum Erkennen eines Magnetfeldes, die für das Verständnis der Erfindung von Bedeutung sind.

[0011] [Fig. 2](#) zeigt eine perspektivische Sicht einer mehrschichtigen Struktur, die Teil eines magnetoresistiven Elements der in [Fig. 1](#) gezeigten Anordnung ist.

[0012] [Fig. 3](#) ist eine Draufsicht der in [Fig. 2](#) dargestellten mehrschichtigen Struktur.

[0013] [Fig. 4](#) zeigt ein Merkmal eines magnetoresistiven Elements mit der in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellten mehrschichtigen Struktur.

[0014] [Fig. 5](#) zeigt eine erste Ausführungsform der Struktur einer Wheatstonebrücke, die Teil der in [Fig. 1](#) dargestellten Anordnung ist.

[0015] [Fig. 6](#) zeigt eine zweite Ausführungsform der Struktur der Wheatstonebrücke, die Teil der in [Fig. 1](#) dargestellten Anordnung ist.

[0016] Die in [Fig. 1](#) gezeigte Anordnung umfasst vier magnetoresistive Elemente **1a**, **1b**, **1c** und **1d**, die so miteinander verbunden sind, dass sie eine Wheatstonebrücke mit den Stromversorgungsanschlüssen **3** und **5** bilden, die mit der den Strom I_{in} liefernden Stromquelle **7** verbunden sind. Die Brücke erzeugt eine Ausgangsspannung U_0 , die an den Ausgangsanschlüssen **9** und **11** anliegt. Statt der Stromquelle **7** könnte auch eine Spannungsquelle für die Stromversorgung der Brücke verwendet werden. Jedes magnetoresistive Element **1a**, ..., **1d** umfasst ein oder mehrere empfindliche Bereiche mit einem spezifischen elektrischen Widerstand, der von dem Wert und der Richtung eines Magnetfeldes abhängt, dem der empfindliche Bereich ausgesetzt ist.

[0017] [Fig. 2](#) zeigt eine Draufsicht der Struktur eines der empfindlichen Bereiche **13**. Diese Struktur ist an sich aus WO 96/07926 (PHN 14.992) bekannt. Diese Struktur kann beispielsweise erhalten werden durch ein sukzessives Ablagern auf einem Siliziumsubstrat **15** mit hohem Widerstand: eine erste Ta-Schicht **17**, eine erste ferromagnetische Schicht **19** (z. B. FeNi), eine nicht magnetische Schicht **21** (z. B. Cu), eine zweite ferromagnetische Schicht **23** (ähnlich der ersten ferromagnetischen Schicht) und eine zweite Ta-Schicht **25**. Die erste Ta-Schicht **17** regt ein defektfreies Wachstum mit einer starken kristallografischen Struktur an und die zweite Ta-Schicht **25** dient zum Schutz der Struktur gegen Oxidation. Während des Wachstums jeder der ferromagnetischen Schichten **19** und **23** wird ein Magnetfeld angelegt, das die Richtung der magnetischen Achse der Schicht festlegt. Die Richtung des während des Wachstums der zweiten ferromagnetischen Schicht **23** angelegten Feldes unterscheidet sich von

der Richtung des Feldes während des Wachstums der ersten ferromagnetischen Schicht **19**. Als Ergebnis erstreckt sich die leichte Achse **27** der ersten ferromagnetischen Schicht **19** in einer ersten Richtung und die leichte Achse **29** der zweiten ferromagnetischen Schicht **23** in einer zweiten Richtung. Wie im Koordinatensystem am unteren Rand von [Fig. 2](#) gezeigt, unterscheidet sich die erste Richtung von der zweiten Richtung. Bezogen auf dieses Koordinatensystem erstrecken sich die Schichten **17–25** parallel zur X-Y-Ebene und die Richtung des Wachstums der Schichten ist die Z-Richtung. Die erste und zweite Richtung **27** und **29** sind parallel zur X-Y-Ebene und in spitzen Winkeln zur X-Achse in entgegengesetzten Richtungen abgeschrägt. [Fig. 3](#) ist eine Draufsicht der in [Fig. 2](#) gezeigten mehrschichtigen Struktur, in der die X-Achse und die magnetisch leichten Achsen **27** und **29** dargestellt sind. Die magnetisch leichte Achse **27** der ersten ferromagnetischen Schicht **19** ist hinsichtlich der X-Achse gegen den Uhrzeigersinn abgeschrägt und die magnetisch leichte Achse **29** der zweiten ferromagnetischen Schicht **23** ist hinsichtlich der X-Achse im Uhrzeigersinn abgeschrägt. In dieser Ausführungsform haben die Winkel, in denen die leichten Achsen **27** und **29** abgeschrägt sind, die gleiche Größe, die beiden Winkel können jedoch, wie in WO-A-96/07926 beschrieben, unterschiedlich sein. Die erste und zweite ferromagnetische Schicht **19** und **23** können magnetisiert werden, indem sie vorübergehend in ein Magnetfeld mit einer Komponente parallel zur X-Achse gebracht werden. Wenn dieses Programmierungsfeld parallel zur positiven X-Richtung ausgerichtet ist (in [Fig. 3](#) nach rechts), haben die resultierenden Magnetisierungsvektoren eine Komponente in positiver X-Richtung. Wenn dieses Programmierungsfeld in negativer X-Richtung ausgerichtet ist, haben die Magnetisierungsvektoren eine Komponente in negativer X-Richtung. Der Magnetisierungsvektor M_1 der ersten ferromagnetischen Schicht umschließt einen Winkel θ mit der X-Achse, und der Magnetisierungsvektor M_2 der zweiten ferromagnetischen Schicht umschließt mit der X-Achse einen Winkel mit dem gleichen Wert θ , jedoch in der entgegengesetzten Richtung. Wenn an die Anordnung in einer Richtung parallel zur X-Achse ein Magnetfeld H angelegt wird, werden die Magnetisierungsvektoren M_1 und M_2 in entgegengesetzten Richtungen zur X-Achse gedreht, sodass der Wert des Winkels θ verringert wird. Die Abweichung mit dem Feld H des Winkels θ hängt von der Stärke der magnetokristallinen Anisotropie der ferromagnetischen Schichten **19** und **23** ab sowie von der Austauschkopplung zwischen den beiden Schichten über die nicht ferromagnetische Schicht **21** und von der magnetostatischen Kopplung zwischen den beiden Schichten. Die Rotation der Magnetisierungsvektoren M_1 und M_2 bewirkt, dass der Widerstand eines magnetoresistiven Elements **1a**, ..., **1d** einschließlich eines oder mehrerer empfindlicher Bereiche, mit einer Struktur wie in [Fig. 2](#) gezeigt, als Funktion des

angelegten Magnetfeldes H variiert. Dieser Effekt ist zurückzuführen auf die Überlagerung des Riesenmagnetowiderstandseffekts (GMR, giant magnetoresistance) und des anisotropen Magnetowiderstandseffekts (AMR, anisotropic magnetoresistance) und lässt sich näherungsweise sehr gut ausdrücken durch:

$$R = R(\theta=0) + \Delta R_{\text{GMR}}^{1/2}(1 - \cos 2\theta) - \Delta R_{\text{AMR}}(1 - \cos^2\theta) \quad (1)$$

(wenn der Stromfluss durch das magnetoresistive Element parallel zur Empfindlichkeitsrichtung x ist) und

$$R = R(\theta=0) + \Delta R_{\text{GMR}}^{1/2}(1 - \cos 2\theta) + \Delta R_{\text{AMR}}(1 - \cos^2\theta) \quad (2)$$

(wenn der Stromfluss durch das magnetoresistive Element senkrecht zur Empfindlichkeitsrichtung x ist).

[0018] Die Magnetfeldabhängigkeit des Widerstandes der beschriebenen Anordnung ist in [Fig. 4](#) dargestellt (für $\Delta R_{\text{AMR}} = 0$). Es ist ein symmetrisches Merkmal, das zwei Zweige mit entgegengesetzten Anstiegen bei $H = 0$ umfasst.

[0019] [Fig. 5](#) zeigt eine erste Ausführungsform der von den magnetoresistiven Elementen **1a**, ..., **1d** gebildeten Struktur und die diesen Elementen zugeordneten Stromleiter. Die Struktur wird beispielsweise gebildet durch Aufbringen eines Dünnsfilms auf einem elektrisch isolierenden Substrat. Jedes magnetoresistive Element **1a**, ..., **1d** umfasst eine Vielzahl empfindlicher Bereiche **13**, die im Wesentlichen die Zusammensetzung wie in [Fig. 2](#) haben. Die empfindlichen Bereiche **13** sind elektrisch in Reihe geschaltet durch Verbinden der Bereiche **31**, die beispielsweise eine Kupferschicht umfassen können. Zur besseren Klarheit sind in [Fig. 5](#) die Verbindungsbereiche **31** von den empfindlichen Bereichen **13** durch eine gestrichelte Linie getrennt. Die auf diese Weise gebildeten vier magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** sind über Leiterstreifen **33** miteinander verbunden und bilden somit eine Wheatstonebrücke. Die Leiterstreifen **33** können die gleiche Zusammensetzung haben wie die Verbindungsbereiche **31**. Auf den Leiterstreifen **33** sind Positionen vorgegeben, die die in [Fig. 1](#) dargestellten Anschlüsse **3**, **5** und **9**, **11** bilden. Elektrische Leiter wie beispielsweise Kupferdrähte können mit diesen Anschlüssen, z. B. durch Anlöten, verbunden werden. Die vier magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** sind strukturell identisch, weisen jedoch im Status $H = 0$ paarweise unterschiedliche Richtungen der Magnetisierungsvektoren auf (durch Pfeile in den empfindlichen Bereichen **13** gekennzeichnet). Die Richtungen der Magnetisierungsvektoren werden so gewählt, dass magnetoresistive Elemente in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke (beispiels-

weise die Elemente **1a** und **1b** oder **1b** und **1c**) unterschiedliche Richtungen der Magnetisierungsvektoren haben. Die Elemente **1a**, ..., **1d** sind empfindlich gegenüber Magnetfeldern mit der in [Fig. 5](#) gezeigten Richtung oder der entgegengesetzten Richtung (d. h. Felder entlang der Richtung der X-Achse). Ein angelegtes Magnetfeld H bewirkt ein Ungleichgewicht der Brücke, das mit Hilfe einer Spannung U_0 über die Ausgangsanschlüsse **9**, **11** erkannt wird, wenn ein Strom I_{in} zwischen den Stromanschlüssen **3**, **5** fließt.

[0020] In der unmittelbaren Nähe zu jedem einzelnen magnetoresistiven Element **1a**, ..., **1d** ist ein Stromleiter **35a**, **35b**, **35c**, **35d** vorgesehen. Die Stromleiter **35a**, ..., **35d** (schattiert dargestellt) können unter den magnetoresistiven Elementen **1a**, ..., **1d**, wie in [Fig. 5](#) dargestellt, oder über diesen Elementen liegen. Sie sind von den zugeordneten magnetoresistiven Elementen **1a**, ..., **1d** durch eine elektrisch isolierende Schicht (nicht dargestellt) getrennt. Der erste Stromleiter **35a** hat erste und zweite Endstücke **37** und **39**, der zweite Stromleiter **35b** hat erste und zweite Endstücke **41** und **43**, der dritte Stromleiter **35c** hat erste und zweite Endstücke **45** und **47** und der vierte Stromleiter **35d** hat erste und zweite Endstücke **49** und **51**.

[0021] Ein Strom, der beispielsweise durch den ersten Stromleiter **35a** fließt, erzeugt ein Magnetfeld an der Position des ersten magnetoresistiven Elements **1a**. Wenn der Strom in Y-Richtung fließt, ist dieses Magnetfeld parallel zur X-Achse gerichtet. Hat dieses Magnetfeld eine ausreichende Stärke, kann es wie oben beschrieben die Richtung der Magnetisierungsvektoren M_1 und M_2 in den empfindlichen Bereichen **13** des Elements **1a** bestimmen. Die Richtung des Magnetisierungsvektors in jedem der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** hängt somit von der Richtung des Stromflusses in dem zugeordneten Stromleiter **35a**, ..., **35d** ab. Infolgedessen können die Stromleiter **35a**, ..., **35d** zur Programmierung der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** verwendet werden. Zu diesem Zweck sollten die Ströme durch den ersten und den dritten Stromleiter **35a** und **35c** eine erste Richtung und die Ströme durch den zweiten und den vierten Stromleiter **35b** und **35d** eine zweite Richtung entgegengesetzt zur ersten Richtung aufweisen.

[0022] Wenn Gleichstrommagnetfelder mit einer hohen Empfindlichkeit gemessen werden müssen, hat die Temperaturabhängigkeit des Widerstand der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** einen negativen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Es ist ein in der Technik bekanntes Verfahren, diese thermische Drift auszugleichen, indem zunächst eine Messung des Magnetfeldes durchgeführt wird, während die magnetoresistiven Elemente **1a** und **1c** ihren Widerstand vergrößern, wenn das Magnetfeld H beispielsweise entlang der positiven X-Achse gerichtet ist, und anschließend eine ähnliche Messung für Magnetfelder

H entlang der negativen X-Richtung durchgeführt wird, während diese magnetoresistiven Elemente ihren Widerstand vergrößern. Durch Subtraktion der beiden Messergebnisse kann der Effekt der thermischen Drift eliminiert werden. Diese Technik wird als Umschlagen (Flipping) der Empfindlichkeit der magnetoresistiven Elemente bezeichnet. In der in [Fig. 5](#) dargestellten Anordnung kann Umschlagen sehr einfach dadurch erreicht werden, dass durch jeden der Stromleiter **35a**, ..., **35d** ein Strom geführt wird mit entgegengesetzter Richtung zu der Richtung des Stroms, der für die Programmierung der Anordnung verwendet wird. Die Folge davon ist, dass die Anordnung mit einer umgekehrten Empfindlichkeit neu programmiert wird.

[0023] Die Programmier- und Umschlagfunktionen der Stromleiter **35a**, ..., **35d** wie oben beschrieben lassen sich erzielen, indem diese Stromleiter in Reihe geschaltet werden, sodass durch alle vier Stromleiter immer der gleiche Strom fließt, wobei die Stromrichtung im ersten und dritten Stromleiter **35a** und **35c** gleich ist und entgegengesetzt der Stromrichtung im zweiten und vierten Stromleiter **35b** und **35d**. Zu diesem Zweck können die Endstücke der Stromleiter wie folgt angeschlossen werden: **39** an **41**, **37** an **45** und **47** an **49**. Die verbleibenden Endstücke **43** und **51** können dann an die Anschlüsse einer Gleichstromquelle mit umkehrbarer Polarität angeschlossen werden. Diese Anschlüsse können permanent gemacht werden.

[0024] In manchen Fällen ist es wünschenswert, Magnetfelder H so zu messen, dass die Wheatstonebrücke immer im Gleichgewicht und die Ausgangsspannung U_0 immer null ist. Dies lässt sich erreichen durch Anlegen eines Kompensations-Magnetfeldes an die magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** mit der gleichen Stärke wie das Feld H , jedoch der entgegengesetzten Richtung. Ein solches Kompensationsfeld kann mittels eines oder mehrerer Stromleiter in der Nähe der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** erzeugt werden. Der zum Erreichen eines Gleichgewichts der Brücke erforderliche Strom ist von der Stärke des Magnetfeldes H abhängig. Durch die Messung dieses Stroms kann die Stärke von H gemessen werden. Es wurde festgestellt, dass in der erfindungsgemäßen Anordnung die Stromleiter **35a**, ..., **35d** zum Erzeugen des Kompensationsfeldes verwendet werden können. Zu diesem Zweck muss der Strom in allen Stromleitern **35a**, ..., **35d** in der gleichen Richtung fließen. Dies wird erreicht durch den Anschluss der Endstücke dieser Stromleiter wie folgt: **37** an **51**, **49** an **41** sowie **43** an **45**. Die verbleibenden Endstücke **39** und **47** müssen dann mit den Anschlüssen einer regelbaren Gleichstromquelle verbunden werden.

[0025] Es ist klar, dass die Programmier- und Umschlagfunktionen einen Verbindungsplan von Strom-

leiten erfordern, der sich von dem Verbindungsplan für die Funktion zur Schaffung eines Kompensationsfeldes unterscheidet. Beide Verbindungspläne können jedoch durch Bereitstellung geeigneter Umschaltmittel realisiert werden. Eine Ausführungsform solcher Umschaltmittel ist im Schaltplan von [Fig. 1](#) dargestellt. In dieser Ausführungsform umfassen die Umschaltmittel acht Wechselschalter **53**, **55**, **57**, **59**, **61**, **63**, **65** und **67**. Die Schalter **53**, ..., **67** werden vorzugsweise mit geeigneten Halbleiter-Umschaltelementen wie beispielsweise bipolaren Feldeffekt-Transistoren implementiert. Sie werden in bekannter Weise über eine Steuereinheit (nicht dargestellt) gesteuert. Die Schalter **53**, ..., **67** können zwischen zwei Stellungen umschalten. In den in [Fig. 1](#) dargestellten Stellungen verbinden die Schalter die Endstücke der Stromleiter wie folgt: Schalter **53** und **55** verbinden die Endstücke **39** und **41**, Schalter **67** und **59** verbinden die Endstücke **37** und **45**, Schalter **61** und **63** verbinden die Endstücke **47** und **49**, Schalter **57** verbindet das Endstück **43** mit einem ersten Anschluss **69** einer Stromquelle **71** und Schalter **65** verbindet das Endstück **51** mit dem zweiten Anschluss **73** der Stromquelle. Die Stromquelle **71** liefert einen Gleichstrom I_{aux} und umfasst Mittel zur Umkehrung der Richtung dieses Stroms auf einen entsprechenden Befehl von der Steuereinheit hin. Mit den Schaltern **53**, ..., **67** in den in [Fig. 1](#) gezeigten Stellungen kann die Programmier- und Umschlagfunktion durchgeführt werden.

[0026] Wenn die Schalter **53**, ..., **67** die in [Fig. 1](#) nicht gezeigten Stellungen aufweisen, verbinden sie die Endstücke der Stromleiter **35a**, ..., **35d** wie folgt: Schalter **65** und **67** verbinden die Endstücke **37** und **51**, Schalter **63** und **55** verbinden die Endstücke **49** und **41**, Schalter **57** und **59** verbinden die Endstücke **43** und **45**, Schalter **53** verbindet das Endstück **39** mit dem ersten Anschluss **69** der Stromquelle **71** und Schalter **61** verbindet das Endstück **47** mit dem zweiten Anschluss **73**. Mit den Schaltern **53**, ..., **67** in diesen Stellungen kann die Funktion der Schaffung eines Kompensationsfeldes erreicht werden. In der Anordnung in [Fig. 1](#) wird für alle Funktionen die gleiche Stromquelle **71** verwendet. Zur Schaffung eines Kompensationsfeldes kann natürlich auch eine andere Stromquelle verwendet werden.

[0027] In der in [Fig. 5](#) dargestellten ersten Ausführungsform sind die empfindlichen Bereiche **13** der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** streifenförmige Strukturen, die sich in X-Richtung, d. h. der Empfindlichkeitsrichtung erstrecken. Wie in der Figur gezeigt, verlaufen die empfindlichen Bereiche **13** parallel mit relativ kleinen Abständen zwischen benachbarten empfindlichen Bereichen eines magnetoresistiven Elements. Die Anordnung kann dadurch sehr kompakt sein. Diese Ausführungsform ist daher gut geeignet, wenn nur wenig Platz für den Sensor zur Verfügung steht. In dieser Konfiguration fließt der

Strom durch die empfindlichen Bereiche parallel zur Empfindlichkeitsrichtung. Aus Gleichung (1) folgt, dass in diesem Fall die GMR- und AMR-Effekte gegensätzliche Vorzeichen haben. Wenn eine sehr hohe Empfindlichkeit der Anordnung erforderlich ist, wäre es von Vorteil, den Strom senkrecht zur Empfindlichkeitsrichtung fließen zu lassen, sodass sich gemäß Gleichung (2) der GMR- und der AMR-Effekt konstruktiv addieren. Diese Situation wird in einer in [Fig. 6](#) dargestellten zweiten Ausführungsform erreicht. In dieser zweiten Ausführungsform sind die empfindlichen Bereiche **13** im Wesentlichen kreisförmige Strukturen (alternativ können sie auch oval sein), die über die Verbindungsbereiche **31** in einer Weise elektrisch verbunden sind, dass ein Strom, der durch eines der magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** fließt, durch die empfindlichen Bereiche in einer Richtung fließt, die senkrecht zur Empfindlichkeitsrichtung dieser Bereiche liegt. Gleichung (2) gilt somit für diese magnetoresistiven Elemente. Die Empfindlichkeitsrichtung der empfindlichen Bereiche ist festgelegt durch die Richtung der Magnetisierungsvektoren dieser Bereiche, die durch Pfeile in der gleichen Weise wie in [Fig. 5](#) dargestellt ist: Wie in der ersten Ausführungsform liegt diese Empfindlichkeitsrichtung parallel zur X-Richtung. Zur Reduzierung der für den Sensor erforderlichen Oberfläche sind die magnetoresistiven Elemente **1a**, ..., **1d** in der ersten und zweiten Ausführungsform mäanderartig geformt. In der ersten Ausführungsform kann jeder streifenförmige empfindliche Bereich **13** eine beträchtliche Länge haben, sodass eine relativ kleine Anzahl solcher Bereiche entlang einer Linie in Y-Richtung, senkrecht zur Empfindlichkeitsrichtung, angeordnet werden kann. Ein einzelner Stromleiter **35a**, ..., **35d** parallel zur Y-Richtung reicht somit für jedes magnetoresistive Element **1a**, ..., **1d** aus. In der zweiten Ausführungsform ist eine relativ große Anzahl punktförmiger Bereiche für jedes magnetoresistive Element erforderlich, und das mäanderförmige Element umfasst eine Vielzahl paralleler Reihen, wobei jede Reihe eine Vielzahl empfindlicher Bereiche **13** umfasst. Da das einem bestimmten magnetoresistiven Element zugeordnete, vom Stromleiter erzeugte Magnetfeld für alle empfindlichen Bereiche dieses Elements die gleiche Richtung haben muss, umfasst jeder Stromleiter **35a**, **35b**, **35c** und **35d** eine Vielzahl aktiver Bereiche **135a**, **135b**, **135c** und **135d**, die mit inaktiven Bereichen **235a**, **235b**, **235c** und **235d** verbunden sind. Jeder der aktiven Bereiche entspricht und befindet sich unter (oder über) einer entsprechenden Reihe empfindlicher Bereiche, wobei die inaktiven Bereiche zwischen den Reihen der empfindlichen Bereiche liegen. Ein magnetoresistives Element der zweiten Ausführungsform belegt daher eine größere Fläche als ein magnetoresistives Element der ersten Ausführungsform. Als Verbesserung können die punktförmigen empfindlichen Bereiche **13** der zweiten Ausführungsform in einem sechseckigen Muster angeordnet werden, um die gegenseitigen Beeinfluss-

sungen auf ein Minimum zu begrenzen. Ein ähnlicher Vorschlag wurde für die Anordnung in WO-A-95/28649 gemacht.

[0028] Die empfindlichen Bereiche **13** (ob punktförmig oder nicht) können so klein gewählt werden, dass sie Einzelbereiche bilden.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Erkennung eines Magnetfeldes, die eine Wheatstonebrücke mit mindestens vier magnetoresistiven Elementen (**1a**, **1b**, **1c**, **1d**) auf einem Substrat (**15**) umfasst, wobei jedes magnetoresistive Element mindestens einen empfindlichen Bereich (**13**) sukzessive eine erste ferromagnetische Schicht (**19**) mit einer magnetisch leichten Achse (**27**) in einer ersten Richtung, eine nicht magnetische Schicht (**21**) und eine zweite ferromagnetische Schicht (**23**) mit einer magnetisch leichten Achse in einer zweiten Richtung, die sich von der ersten Richtung unterscheidet, umfasst, wobei diese empfindlichen Bereiche zueinander parallele Empfindlichkeitsrichtungen aufweisen, die parallel zu einer dritten Richtung sind, und jedes magnetoresistive Element einem Stromleiter (**35a**, **35b**, **35c**, **35d**) in der unmittelbaren Nähe dieses magnetoresistiven Elements zugeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die erste Richtung (**27**) durch einen spitzen Winkel hinsichtlich der dritten Richtung (X) abgeschrägt ist, und dass die zweite Richtung (**29**) in entgegengesetzter Richtung durch einen spitzen Winkel hinsichtlich der dritten Richtung abgeschrägt ist, wobei sich jeder dieser Stromleiter (**35a**, **35b**, **35c**, **35d**) über mindestens einen Bereich seiner Länge in einer vierten Richtung (Y) senkrecht zur dritten Richtung erstreckt.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Umschaltmittel (**53**, **55**, **57**, **59**, **61**, **63**, **65**, **67**) zum Anschließen der Stromleiter (**35a**, **35b**, **35c**, **35d**) an eine elektrische Energiequelle (**71**) gemäß mindestens einem ersten und einem zweiten Verbindungsplan vorgesehen sind, wobei im ersten Verbindungsplan die Stromleiter so angeordnet sind, dass Ströme in den Stromleitern, die den in benachbarten Zweigen der Wheatstonebrücke angeordneten magnetoresistiven Elementen (**1a**, **1b**, **1c**, **1d**) zugeordnet sind, entgegengesetzte Richtungen haben, und wobei im zweiten Verbindungsplan die Stromleiter so angeordnet sind, dass in allen Stromleitern die Ströme in die gleiche Richtung fließen.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die empfindlichen Bereiche (**13**) streifenförmige Strukturen darstellen, die sich in Richtungen parallel zur dritten Richtung (X) erstrecken.

4. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die empfindlichen Bereiche

(**13**) im Wesentlichen eine kreisförmige oder ovale Struktur haben, wobei die empfindlichen Bereiche der einzelnen magnetoresistiven Elemente (**1a**, **1b**, **1c**, **1d**) elektrisch so miteinander verbunden sind, dass der durch ein magnetoresistives Element fließende Strom durch die empfindlichen Bereiche in einer Richtung (Y) senkrecht zu deren Empfindlichkeitsrichtungen (X) fließt.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

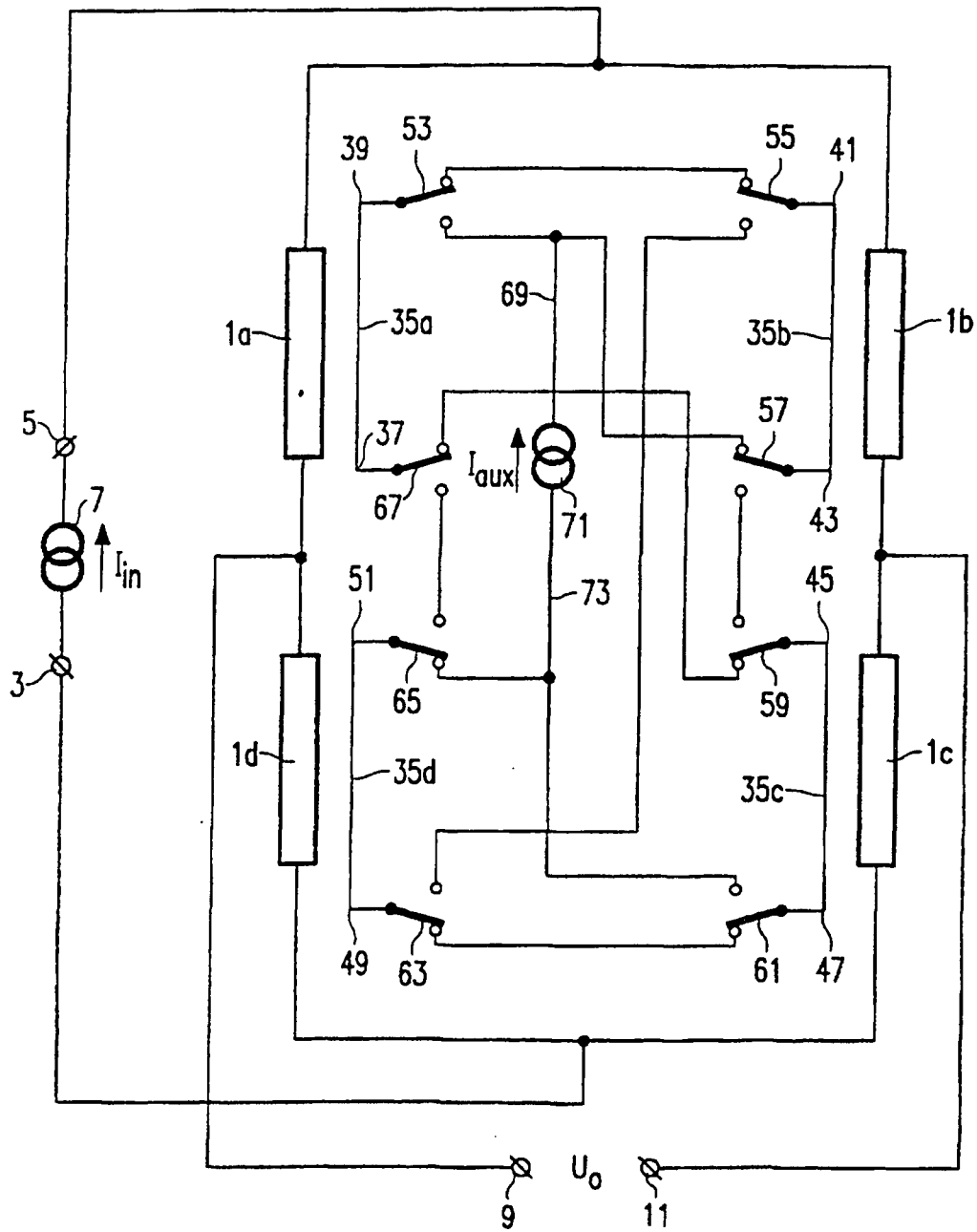


FIG. 1

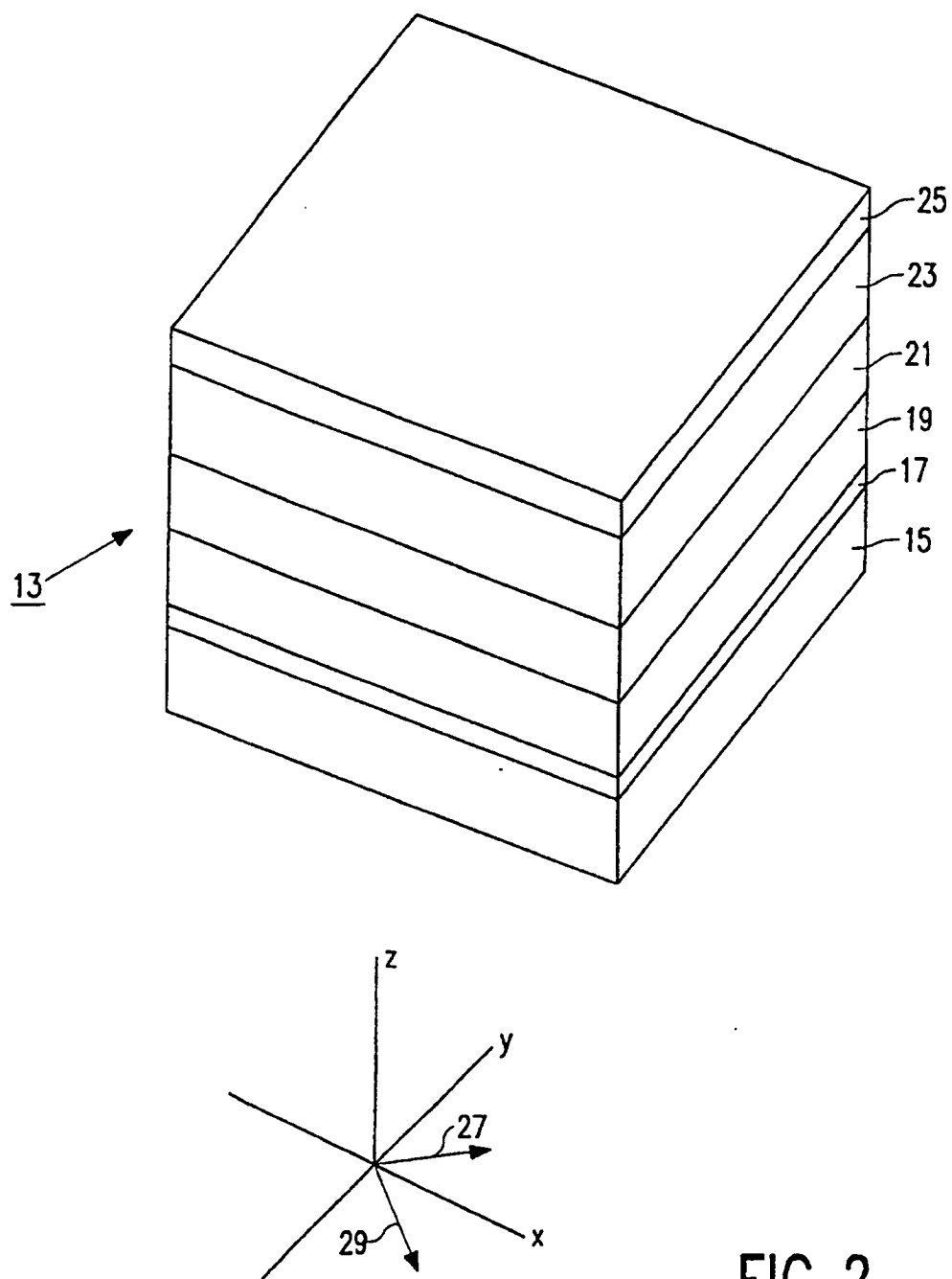


FIG. 2

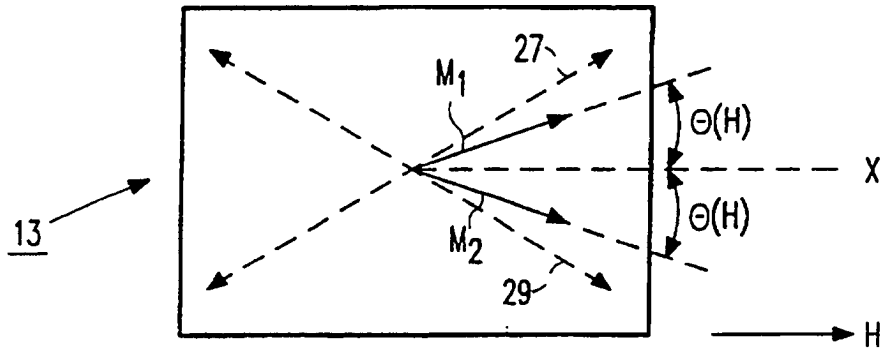


FIG. 3

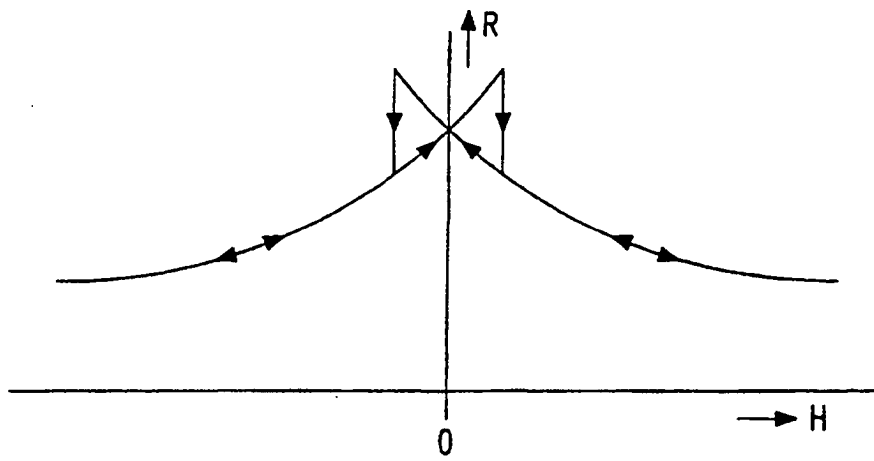


FIG. 4

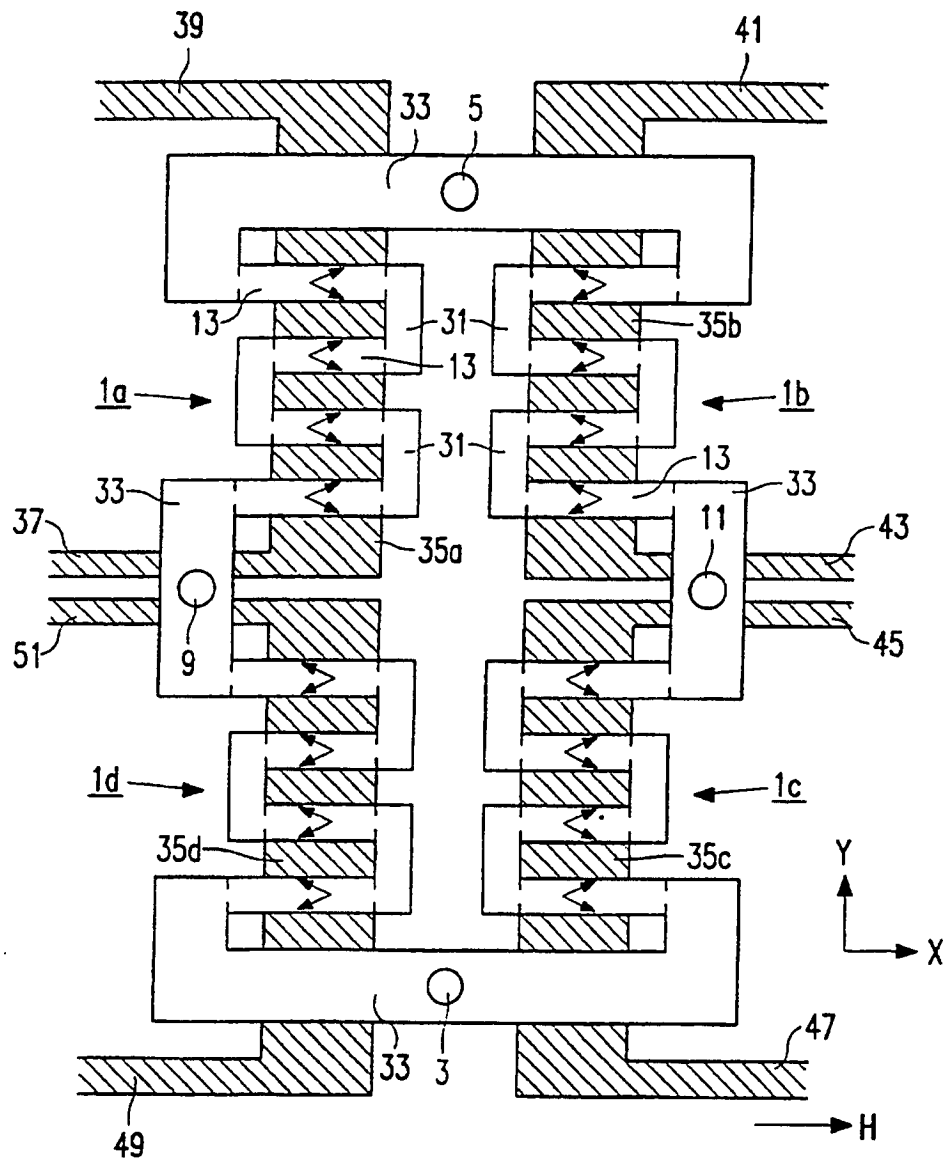


FIG. 5

