

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Dezember 2006 (28.12.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/136577 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01R 33/09 (2006.01) *G01R 15/20* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2006/063392
- (22) Internationales Anmeldedatum:
21. Juni 2006 (21.06.2006)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2005 029 269.0 23. Juni 2005 (23.06.2005) DE
10 2006 021 774.8 10. Mai 2006 (10.05.2006) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAUCH, Jens

[DE/DE]; Dreibergstr. 74, 91056 Erlangen (DE).
RIEGER, Gotthard [DE/DE]; Im Gässla 27, 91058 Erlangen (DE). **BARHOLZ, Kai-Uwe** [DE/DE]; Karl-Liebknecht-Str. 39, 07749 Jena (DE). **DIEGEL, Marco** [DE/DE]; Buchaer Str. 10, 07745 Jena (DE). **MATTHEIS, Roland** [DE/DE]; Talstrasse 36, 07743 Jena (DE).

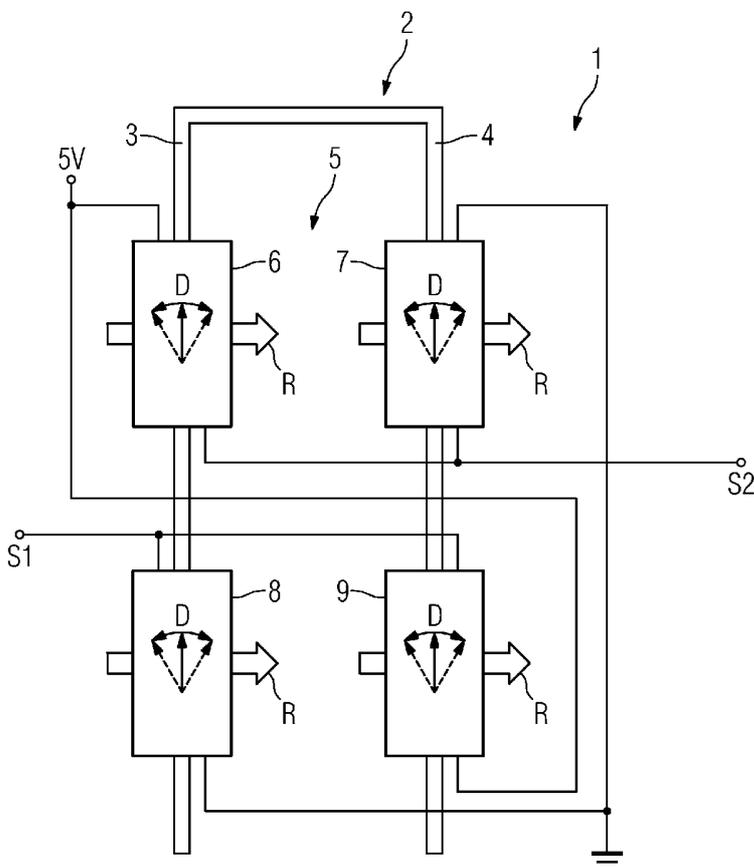
(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: CURRENT SENSOR FOR THE ELECTRICALLY ISOLATED MEASUREMENT OF CURRENT

(54) Bezeichnung: STROMSENSOR ZUR GALVANISCH GETRENNTEN STROMMESSUNG



(57) Abstract: Disclosed is a current sensor for the electrically isolated measurement of current, especially direct current. Said current sensor comprises a U-shaped conductor (2), above or below which a bridge circuit is arranged that is used for detecting a gradient magnetic field generated between the legs (3, 4) of the conductor when current flows, said gradient magnetic field being proportionate to the current. The bridge circuit (5) is composed of four XMR sensor elements (6, 7, 8, 9) especially of the GMR type or TMR type, two of which are assigned to one leg (3, 4) of the conductor, respectively. The XMR sensor elements (6, 7, 8, 9) are configured as spin valves encompassing a hard magnetic reference layer (R) and a magnetic detection layer (D) which is rotatable via the magnetic field generated in the associated leg (3, 4) of the conductor when current flows. The polarities of the magnetic reference layers (R) of all XMR sensor elements (6, 7, 8, 9) extend in one direction and perpendicular to the associated leg (3, 4) of the conductor while the polarities of the magnetic detection layers (D) extend at an angle ranging between 80° and 100° from the respective magnetic reference layer (R).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/136577 A1



LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Stromsensor zur galvanisch getrennten Strommessung, insbesondere Gleichstrommessung, umfassend einen U-förmig verlaufenden Stromleiter (2), ober- oder unterhalb dem eine der Erfassung des bei Stromfluss zwischen den Leiterschchenkeln (3, 4) erzeugten, dem Strom proportionalen magnetischen Gradientenfelds dienende Brückenschaltung (5) bestehend aus vier XMR-Sensorelementen (6, 7, 8, 9) insbesondere vom GMR- oder TMR- Typ, von denen je zwei einem Schenkel (3, 4) des Stromleiters (2) zugeordnet sind, angeordnet ist, wobei die XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) als Spin Valves mit einer harten Referenz-Schichtmagnetisierung (R) und einer über das bei Stromfluss im zugeordneten Stromleiterschlenkel (3, 4) erzeugte Magnetfeld drehbaren Detektionsschichtmagnetisierung (D) ausgeführt sind, wobei die Referenzschichtmagnetisierungen (R) aller XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) unidirektional und senkrecht zum jeweils zugeordneten Stromleitungsschenkel (3, 4) liegen und die Detektionsschichtmagnetisierungen (D) unter einem Winkel zwischen 80° - 100° zur jeweiligen Referenzschichtmagnetisierung (R) stehen.

Beschreibung

Stromsensor zur galvanisch getrennten Strommessung

5 Die Erfindung betrifft einen Stromsensor zur galvanisch getrennten Strommessung, insbesondere Gleichstrommessung.

Die galvanisch getrennte Stromerfassung ist in vielen Geräten zur stör­sicheren Steuerung und Regelung oder aber zur Überwachung von Funktionszuständen erforderlich. Der zu messende Strombereich liegt für viele Anwendungen sowohl bei Gleich- als auch bei Wechselströmen im Bereich einiger mA bis mehrere 100 A. Aufgrund fehlender Wechselfelder können bei der Erfassung von Gleichströmen keine Induktivmethoden zum Einsatz
10 kommen. Um dennoch eine Stromerfassung zu ermöglichen und die geforderte Linearität des Ausgangssignals zu gewährleisten, werden z. B. Hall-Sensoren im Luftspalt einer Spule betrieben, oder es muss durch ein Regelungssystem (Kompensationsprinzip) die Linearität der Sensoren gewährleistet werden.
15 Bei allen diesen Ausführungsformen sind aufwändige hybride Sensorlösungen für eingeschränkte Strombereiche mit kostenintensiver Aufbautechnik erforderlich.

Auf dem Gebiet der Magnetfeldsensorik sind Feldsensoren bekannt, die eine Brückenschaltung aus vier magnetoresistiven
25 XMR-Sensorelementen aufweisen. Dabei besitzt die Brückenschaltung, über die ein Brückenstrom zu führen ist, zwei parallel geschaltete Brückenzweige mit jeweils zwei der Sensorelemente. Zwischen den Sensorelementen jedes Brückenzweigs
30 liegt dabei ein gemeinsamer Abgriff der Brückenschaltung für ein Brückensignal. Bei einer entsprechenden, aus der EP 0 710 850 B1 zu entnehmenden Brückenschaltung sind die Sensorelemente jeweils als so genannte Spin Valves ausgebildet, wobei sie eine harte Referenzschichtmagnetisierung und
35 eine von dem zu detektierenden Magnetfeld drehbare Detektionsschichtmagnetisierung besitzen. Die Referenzschichtmagnetisierungen aller Sensorelemente weisen dabei in dieselbe Richtung, während die Detektionmagnetisierungen von in einem

Brückenzweig liegenden Sensorelementen jeweils antiparallel gerichtet sind. Referenzschichtmagnetisierung und Detektionsschichtmagnetisierung jedes Sensorelementes schließen dabei einen Winkel von etwa 90° im feldfreien Fall ein.

5

Eine Brückenschaltung von vier magneto-resistiven XMR-Sensorelementen vom Spin valve-Typ zur Strommessung ist der DE 101 13 131 A1 zu entnehmen. Hier sind die Magnetisierungen der Referenzschichten von Elementen jedes Brückenzweigs antiparallel, in Richtung des Brückenstroms ausgerichtet. Über 10 die Brücke ist ein U-förmiger Stromleiter zu legen, dessen bei Stromführung erzeugtes Magnetfeld jeweils von zwei Sensorelementen erfasst wird, die eine Halbbrücke bilden und so als Winkelsensoren arbeiten. Aus einer Differenzbildung der 15 Winkelsignale der Halbbrücken wird dann der Strom bestimmt. Einzelheiten der hierfür zu wählenden Magnetisierungsrichtungen der Schichten der einzelnen Sensorelemente sind nicht offenbart.

20 Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, einen Stromsensor zur galvanisch getrennten Stromerfassung anzugeben, der einfach aufgebaut ist und die exakte Stromerfassung mit der geforderten Dynamik und Linearität ermöglicht.

25 Zur Lösung dieses Problems ist ein Stromsensor der eingangs genannten Art vorgesehen, umfassend einen U-förmig verlaufenden Stromleiter, ober- oder unterhalb dem eine der Erfassung des bei Stromfluss zwischen den Leiterschchenkeln erzeugten, dem Strom proportionalen magnetischen Gradientenfelds dienende 30 Brückenschaltung bestehend aus vier XMR-Sensorelementen angeordnet ist, von denen jeweils zwei einem Schenkel des Stromleiters zugeordnet sind, wobei die Brückenschaltung, über welche ein Brückenstrom zu führen ist, zwei parallel geschaltete Brückenzweige aufweist, in denen sich jeweils zwei, 35 einen gemeinsamen Abgriff der Brückenschaltung bildende Sensorelemente befinden, wobei

- die XMR-Sensorelemente jeweils als Spin Valves mit einer harten Referenzschichtmagnetisierung und einer über das

bei Stromfluss im zugeordneten Stromleiterschlenkel erzeugte Magnetfeld drehbaren Detektionsschichtmagnetisierung ausgeführt sind,

- die Detektionsschichtmagnetisierungen bei fehlendem Stromfluss jeweils unter einem Winkel zwischen $80^\circ - 100^\circ$ zur jeweiligen Referenzschichtmagnetisierung stehen, und
- die Sensorelemente innerhalb der Brückenschaltung so angeordnet und ausgerichtet sind, dass die zu einem Brückenweig gehörenden Sensorelemente jeweils verschiedenen Stromleiterschlenkeln zugeordnet sind und die Referenzschichtmagnetisierungen aller XMR-Sensorelemente unidirektional und zumindest annähernd senkrecht zum jeweils zugeordneten Stromleiterschlenkel liegen.

Dabei sei die Bezeichnung „XMR“ allgemein für den magnetoresistiven Effekt von Dünnschichtenfolgen verwendet, der gegenüber den bei einschichtigen Elementen auftretenden „klassischen AMR-Effekt“ deutlich, insbesondere um mindestens eine Größenordnung, erhöht ist. Hauptvertreter sind der so genannte GMR (Giant Magneto Resistance)-Effekt und der TMR (Tunneling Magneto Resistance)-Effekt (vgl. z.B. die Veröffentlichung „XMR-Technologien“ - Technologieanalyse: Magnetismus; Bd.2, des VDI-Technologie-Zentrums „Physikalische Technologien“, Düsseldorf (DE), 1997, Seiten 11 bis 46).

Der erfindungsgemäße Stromsensor nutzt vorteilhaft die Eigenschaften einer XMR-Sensorbrücke in Verbindung mit gekreuzten Anisotropien zwischen Referenzschichtmagnetisierung und Detektionsschichtmagnetisierung. Die galvanische Isolation zwischen dem U-förmigen Stromleiter und der Sensorbrücke ist durch die Magnetfeldmessung und die dadurch mögliche elektrische Isolationsschicht zwischen Leiter und Brücke gegeben, wobei diese Isolationsschicht in einem bevorzugten Si-Aufbau der Brückenschaltung bzw. des Sensors durch das Oxid des Substrats ermöglicht wird. Infolge der besonderen Verschaltung der XMR-Sensorelemente als Brücke wird das sich zwischen den beiden bevorzugt parallel zueinander verlaufenden, einen

U-förmigen Leiterabschnitt bildenden Stromschenkeln erzeugte in-plane-Gradientenmagnetfeld, das aus den beiden schenkelspezifischen Einzelfeldern messtechnisch über die Brücke erfasst wird, bestimmt. Hierdurch ist es vorteilhaft möglich, externe überlagerte homogene Magnetfelder, die bei Integration des Stromsensors in ein elektrisches Gerät häufig gegeben sind, zu unterdrücken, so dass die Stromerfassung mithin äußerst störsicher ist.

Die Ausgestaltung der XMR-Sensorelemente als Spin Valves ermöglicht eine äußerst exakte Erfassung der Einzelfelder und hierüber des Gradientenfelds, nachdem die Detektionsschichtmagnetisierung sehr leicht in Abhängigkeit des jeweils erzeugten Magnetfelds dreht und mithin infolge der hieraus resultierenden Widerstandsänderung über das XMR-Sensorelement äußerst exakt das jeweilige Feld und über die Brückenschaltung dann das Gradientenfeld erfasst und in Form des Ausgangssignals wiedergegeben werden kann. Dabei ist die Auslegung und Verschaltung der XMR-Sensorbrücke so gewählt, dass die Referenzschichtmagnetisierung aller Elemente unidirektional und zumindest annähernd senkrecht zu den beiden Schenkeln des U-förmigen Stromleiters (unter Einschluss von Abweichungen um $\pm 10^\circ$ gegenüber der exakt senkrechten Ausrichtung liegt, während die Vorzugsrichtung der Detektionsschicht unter einem Winkel zwischen $80^\circ - 100^\circ$, bevorzugt ca. 90° zur Referenzschichtmagnetisierung steht, also im Wesentlichen parallel zum Stromleiterschenkel, wobei die Detektionsschichtmagnetisierungen nicht zwingend unidirektional sein müssen, sie können auch uniaxial sein. In jedem Fall dreht die jeweilige Detektionsschichtmagnetisierung sehr leicht mit dem externen Feld.

Das Ausgangssignal der XMR-Sensormessbrücke ist der Feldstärke des uniaxialen Gradientenfelds direkt proportional, da das magneto-resistive Signal eines XMR-Sensorelements in der Ausführung eines so genannten Spin Valves über einen Bereich von 180° proportional zum Cosinus des Winkels zwischen Referenzschicht- und Detektionsschichtmagnetisierung ist. Wird nun

der Detektionsschicht eine Vorzugsrichtung im linearen Bereich des Cosinus aufgeprägt, also bevorzugt im Winkelbereich zwischen 80° - 100° , insbesondere 90° zur Referenzschichtmagnetisierung, so ist die Winkelkomponente des drehenden Magnetisierungsvektors proportional zur Feldstärke des angelegten uniaxialen Feldes. Das Proportionalitätsverhältnis kann durch die Stärke der Anisotropien der Detektionsschicht eingestellt werden, worauf Nachfolgend noch eingegangen wird.

10 Damit lässt der erfindungsgemäße Stromsensor die exakte Erfassung eines Gleichstroms zu. Einerseits liefert er wie ausgeführt ein lineares Ausgangssignal, zum anderen ist er im Aufbau sehr einfach konfiguriert, nachdem lediglich die vier XMR-Sensorelemente vorzusehen und als Messbrücke zu verschalten und entsprechend zu kontaktieren sind. Dabei lässt die unidirektionale Ausrichtung der Referenzschichtmagnetisierung, also die einheitliche Ausrichtung der Magnetisierung, eine einfache Konditionierung der Referenzschichten zu, sie können in einem gemeinsamen Herstellprozess ausgerichtet werden. Entsprechendes gilt für die Detektionsschichtmagnetisierung, die bevorzugt ebenfalls unidirektional ist, mithin also auch in einem einzigen gemeinsamen Herstellungsschritt für alle vier XMR-Sensorelemente erzeugt werden kann. Dies gilt auch im Falle der Ausbildung einer uniaxialen Detektionsschichtmagnetisierung, die sich infolge von Rückdrehungen nach dem Aufprägen einer Vorzugsrichtung einstellt.

Um die Referenzschichtmagnetisierung möglichst hart auszuführen, ist jede Referenzschicht bevorzugt mit einer antiferromagnetischen Schicht austauschgekoppelt. Hierzu kann ein natürlicher Antiferromagnet aufgebracht werden. Hierdurch wird ein exchange bias System ausgebildet, bei dem die Referenzschichtmagnetisierung über den Antiferromagneten gepinnt ist.

35 Zur Ausbildung der Detektionsschichtanisotropie sind mehrere Möglichkeiten denkbar, die bevorzugt kumulativ angewendet werden sollten, nachdem sich über die Stärke der Anisotropie bzw. der kumulativ wirkenden Anisotropien der Detektions-

schicht das Proportionalitätsverhältnis des Ausgangssignals zum in-plane Gradientenmagnetfelds einstellen lässt.

5 Zum einen kann jede Detektionsschicht eine in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung liegende beschichtungsinduzierte Anisotropie aufweisen, wozu in der Regel die Schicht in einem anliegenden Magnetfeld, das die Vorzugsrichtung definiert, abgeschieden wird.

10 Zusätzlich kann jedes XMR-Sensorelement als Streifenelement zur Erzeugung einer in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung liegenden Formanisotropie ausgeführt sein. Diese Formanisotropie ermöglicht eine Reduzierung des Einflusses der orange-peel-Kopplung. Diese orange-peel-Kopplung erzeugt eine
15 unidirektionale Anisotropie in Pinningrichtung, also in Richtung der Austauschkopplung der Referenzschicht mit dem Antiferromagneten. Das orange-peel-Kopplungsfeld ist auf Oberflächenunebenheiten in den Übergängen von der Detektionsschicht zur unmagnetischen Zwischenschicht und zur Referenzschicht
20 zurückzuführen. Hier stellt sich aufgrund dieser Unebenheiten eine ferromagnetische Kopplung im Grenzflächenbereich ein, die wenngleich lokal extrem begrenzt, gleichwohl ein Kopplungsfeld und damit eine unidirektionale, senkrecht zur Detektionsschichtmagnetisierung liegende Anisotropie erzeugt.
25 Dieser kann nun u. a. durch die Streifenbreite entgegengewirkt werden. Es wird also eine Formanisotropie mit einer Formanisotropiefeldstärke über die Streifenbreite erzeugt, die uniaxial in Streifenlängsrichtung liegt, mithin also senkrecht zum orange-peel-Kopplungsfeld, dieses dabei redu-
30 zierend.

Dem trägt weiterhin eine bevorzugt vorgesehene materialspezifische, intrinsische und in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung liegende Anisotropie bei, die aus der Wahl des
35 entsprechenden Schichtmaterials, z. B. Permalloy resultiert.

Für die Kompensation der orange-peel-Kopplung vorteilhaft ist ferner noch eine aus einem Streufeld der Referenzmagnetisie-

rung resultierende Anisotropiefeldstärke, die unidirektional entgegen der Pinningrichtung, also dem orange-peel-Kopplungsfeld entgegengesetzt gerichtet liegt.

5 Hierüber besteht die Möglichkeit, die aus der orange-peel-Kopplung resultierende Nullpunktverschiebung der Kennlinie zu kompensieren und diese wieder nahe oder in den Nullpunkt zurückzuschieben.

10 Durch den speziellen Aufbau insbesondere der Detektionsschicht bzw. der Anisotropieverhältnisse kann somit das Sensorsignal so eingestellt werden, dass Hysteresen und Nicht-eindeutigkeiten der Kennlinie vermieden werden. Der Aufbau der einzelnen XMR-Sensoren ermöglicht also die Realisierung
15 der anwendungsrelevanten Sensoreigenschaften, nämlich der Linearität, der Hysteresefreiheit und der Adaptionfähigkeit des Sensors.

Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus dem im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiel sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

- Fig. 1 eine Prinzipdarstellung eines erfindungsgemäßen Stromsensors im unbestromten Zustand mit erfindungsgemäß angeordneten Sensorelementen,
25 Fig. 2 eine Prinzipdarstellung des Stromsensors nach Fig. 1 mit den Sensorelementen in üblicher Darstellung einer Brückenordnung,
Fig. 3 den Stromsensor aus Fig. 1 bei Stromfluss,
30 Fig. 4 eine Prinzipdarstellung eines Schichtaufbaus eines GMR-Sensorelements eines Stromsensors wie in Fig. 1 und 2 gezeigt,
Fig. 5 eine Prinzipdarstellung der einzelnen Schichtmagnetisierungen bzw. leichten Achsen, und
35 Fig. 6 eine Prinzipdarstellung zur Lage der Anisotropien innerhalb des Schichtstapels.

Fig. 1 zeigt einen erfindungsgemäßen Stromsensor 1, umfassend einen U-förmigen Stromleiter 2 mit zwei im Wesentlichen parallelen Stromleiterschchenkeln 3, 4, über welchen Stromleiter 2 der zu messende Gleichstrom fließt, der am einen Stromleiterschengel 3 zufließt und am anderen Stromleiterschengel wieder abfließt. Der Stromsensor 1 kann als diskreter Chip oder als diskretes Bauteil ausgeführt sein, mit entsprechenden Kontaktierungsanschlüssen der Stromleiterbahn zur Integration des Stromsensors in entsprechende Leiterplattenmodule (z. B. PCB- oder DCB-Leiterplatten) zu ermöglichen.

Über- oder unterhalb des Stromleiters 2 und elektrisch isoliert dazu befindet sich eine Brückenschaltung 5, die mit vier XMR-Sensorelementen aufgebaut ist. Für das Ausführungsbeispiel seien nachfolgend als die XMR-Sensorelemente vier Sensorelemente 6, 7, 8, 9 vom GMR (GMR = Giant Magneto Resistance)-Typ gewählt, obwohl ebenso gut dafür auch Elemente vom TMR (TMR = Tunneling Magneto Resistance)-Typ vorgesehen werden können. Jedes GMR-Sensorelement ist in bekannter Weise als Schichtstapel aus verschiedenen Einzelschichten aufgebaut, worauf nachfolgend noch eingegangen wird. In jedem Fall weist jedes GMR-Sensorelement 6 - 9 eine Referenzschicht mit einer Referenzschichtmagnetisierung R auf, wobei alle Referenzschichtmagnetisierungen R unidirektional ausgerichtet und senkrecht zum jeweils benachbarten Stromleiterschengel 3 bzw. 4 liegen. Diese unidirektionale Ausrichtung ermöglicht es, alle Referenzschichten in einem Herstellungsschritt in einem gemeinsamen Magnetfeld zu konditionieren.

Weiterhin weist jedes GMR-Sensorelement 6 - 9 eine Detektionsschicht mit einer bei Anliegen eines externen Magnetfelds drehbare Detektionsschichtmagnetisierung D auf, die im unbestromten Zustand, wenn also kein Strom über den Stromleiter 2 fließt, wie in Fig. 1 gezeigt ist, im Wesentlichen senkrecht zur Referenzschichtmagnetisierung R steht und bevorzugt ebenfalls unidirektional ausgerichtet ist, so dass auch die Detektionsschichtmagnetisierungen aller Sensorele-

mente in einem gemeinsamen Herstellschritt im Magnetfeld ausgebildet werden können.

Die GMR-Sensorelemente 6 - 9 sind zu einer Brücke geschaltet und ermöglichen es, bei Stromfluss über den Stromleiter 2 das sich zwischen den beiden Stromleiterschlenkel 3, 4 ergebende Gradientenfeld zu erfassen. Das Messsignal, das proportional zum in-plane-Gradientenfeld bei Stromfluss ist, wird an den Abgriffen bzw. Ausgängen S1/S2, an denen also das Ausgangssignal der Brückenschaltung 5 abgegriffen wird, erfasst. Aufgrund der Ausführung der GMR-Sensorelemente 6 - 9 als Spin Valves in Verbindung mit der gekreuzten Anisotropie bzw. den gekreuzten Magnetisierungen R und D ergibt sich eine Proportionalität des magnetoresistiven Signals eines GMR-Sensorelements zum Winkel, den die Magnetisierungen R und D zueinander einnehmen, in einem Bereich von 180° , das heißt, die Winkelkomponente des drehenden Magnetisierungsvektors der Detektionsschichtmagnetisierung D ist proportional zur Feldstärke des angelegten uniaxialen Felds am jeweiligen Stromleiter 3 bzw. 4, woraus, nachdem das in-plane-Gradientenfeld gemessen wird, auch ein proportionales, lineares Ausgangssignal über die gesamte Brückenschaltung 5 resultiert.

Für die in Figur 1 gezeigte Brückenschaltung 5 mit der erfindungsgemäßen Ausrichtung der einzelnen Magnetisierungen wurde in Fig. 2 die übliche Darstellung einer Brückenschaltung gewählt. Dabei ist verdeutlicht, dass die Brückenschaltung 5, über die ein Brückenstrom i_B zu führen ist, zwei parallelgeschaltete Brückenzweige Z1 und Z2 aufweist. In jedem dieser Brückenzweige befinden sich dabei zwei hintereinander geschaltete Sensorelemente, und zwar in dem Brückenzweig Z1 die Sensorelemente 6 und 7 sowie in dem Brückenzweig Z2 die hintereinander geschalteten Sensorelemente 9 und 8 (jeweils in Führungsrichtung des Brückenstroms i_B gesehen). Wie aus der Figur deutlich hervorgeht, sind die Ausrichtungen der Referenzschichtmagnetisierungen R der einzelnen Sensorelemente innerhalb eines jeden Zweigs antiparallel ausgerichtet, wobei die Ausrichtung dieser Magnetisierungen von den diagonal zu-

geordneten Sensorelementen 6, 8 bzw. 7, 9 aus verschiedenen Brückenweige jeweils gleichgerichtet sind. Außerdem ist ersichtlich, dass die Stromleiterschlenkel 3 und 4 jeweils diagonalen Sensorelementen 6, 8 bzw. 7, 9 aus verschiedenen Brückenweigen zugeordnet sind. Erfindungsgemäß wird die in der Figur dargestellte Anordnung der einzelnen Sensorelemente so abgeändert, dass die Stromleiterschlenkel 3 und 4 einen U-förmig verlaufenden Stromleiter bilden und dabei die Referenzschichtmagnetisierungen R aller Sensorelemente in dieselbe Richtung (d.h. unidirektional) weisen.

Die Verhältnisse bei Stromfluss für den Stromsensor nach Fig. 1 zeigt in entsprechender Darstellung Fig. 3. Der Strom wird über den in der Figur linken Stromleiterschlenkel 3 zugeführt (I_{in}) und am rechten Stromleiterschlenkel 4 abgeführt (I_{out}). Aufgrund des Stromflusses bilden sich schenkelspezifische Magnetfelder aus, die die Detektionsschichtmagnetisierung D der jeweiligen benachbarten GMR-Sensorelemente 6 - 9 drehen, das heißt, die jeweilige Detektionsschichtmagnetisierung D folgt dem anliegenden Feld. Im gezeigten Beispiel stellen sich die Detektionsschichtmagnetisierungen der GMR-Sensorelemente 6 und 8 parallel zur Referenzschichtmagnetisierung R, während die Detektionsschichtmagnetisierung D der Sensorelemente 7, 9 in die entgegengesetzte, antiparallele Richtung gedreht werden. An den beiden Ausgängen S1 und S2 kann nun das sich aus der dargestellten Brückenschaltung ergebende Ausgangssignal, das proportional zu der gegebenen Gradientenfeldstärke ist, abgegriffen werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass Fig. 3 den Fall zeigt, dass die jeweiligen schenkelspezifischen Felder die Detektionsschichtmagnetisierungen D jeweils vollständig auslenken. Bei geringeren Feldern werden die Detektionsschichtmagnetisierungen ausgehend von der „Ruhestellung“ gemäß Fig. 1 um einen Winkel $< \pm 90^\circ$ ausgelenkt, das resultierende abgegriffene Brückensignal der unter einer Messspannung von im gezeigten Beispiel 5 Volt stehenden Messbrücke, das abhängig vom Winkel, den die Detektionsschichtmagnetisierungen D zur Referenzschichtmagnetisierung R einnehmen, ist folglich ein anderes, jedoch in einem

proportionalen Zusammenhang zur Feldstärke des Gradientenfelds stehendes Signal. Je nach Stärke der Anisotropie der Detektionsschichtmagnetisierung kann folglich die Sensorei-
genschaft anwendungsrelevant eingestellt werden.

5

Fig. 4 zeigt in Form einer Prinzipdarstellung den prinzipiellen Aufbau eines GMR-Sensorelements, hier exemplarisch des Sensorelements 6. Einer oberen Abschluss- oder Keimschicht 10 folgt eine Schicht 11 aus einem Antiferromagneten, bevorzugt einem natürlichen Antiferromagneten, die austauschgekoppelt mit der daran anschließenden Referenzschicht 12 ist. Bei dieser Referenzschicht 12 kann es sich beispielsweise um einen künstlichen Antiferromagneten handeln. Über eine unmagnetische Entkopplungsschicht 13 getrennt ist die Detektionsschicht 14, die über eine nachfolgende Schicht 15 wiederum aus einem antiferromagnetischen Material wie auch die Referenzschicht 12 gepinnt, also austauschgekoppelt ist. Den Abschluss bildet auch hier eine Abschluss- oder Keimschicht 16.

20 Ein typischer Schichtstapel kann sich wie folgt darstellen:

Abschluss- oder Keimschicht 10: Ta₅/NiFe₂Natürliche Antiferromagnetschicht 11: IrMn₁₀

Referenzschicht 12 (künstlicher Antiferromagnet):

25 CoFe_{4,5}/Ru_{0,8}/CoFe₄Entkopplungsschicht 13: Cu₃Detektionsschicht 14: CoFe_{0,8}/NiFe₂₀Natürliche Antiferromagnetschicht 15: IrMn₁₀Abschluss- oder Keimschicht 16: Ta₅/Cu_{0,8}.

30

Insgesamt ist hier also ein so genanntes exchange bias System, bei dem sowohl die Referenzschicht 12 als auch die Detektionsschicht 14 jeweils über eine natürliche Antiferromagnetschicht austauschgekoppelt und gepinnt ist, mit gekreuzten Anisotropien vorgesehen.

35

Die gekreuzten Anisotropien bzw. leichten Achsen ergeben sich aus der Prinzipdarstellung gemäß Fig. 5. Gezeigt ist die in

Fig. 5 vertikal verlaufend dargestellte Pinningrichtung, die über die natürliche Antiferromagnetschicht 11, die mit der Referenzschicht 12 austauschgekoppelt ist, definiert wird, gefolgt von der leichten Achse der Referenzschicht, die hier-
5 zu zwangsläufig parallel steht.

Die leichte Achse der Detektionsschicht 14 steht orthogonal dazu, in Fig. 5 also horizontal dargestellt, entsprechend die Pinningrichtung über die natürliche Antiferromagnetschicht
10 15.

Fig. 6 zeigt schließlich als Prinzipdarstellung die Lage der einzelnen Anisotropien.

15 Der mit H_{eb} gekennzeichnete Pfeil gibt die Anisotropie, die aus der exchange-bias-Feldstärke der natürlichen Antiferromagnetschicht 11 resultiert, wieder. Es handelt sich um eine unidirektionale Pinningrichtung, die wie ausgeführt die unidirektionalen Referenzschichtmagnetisierungen pinnt.

20 Senkrecht zur exchange-bias-Feldstärke steht die mit H_{ind} gekennzeichnete beschichtungsinduzierte Anisotropiefeldstärke der Detektionsschicht 14, die uniaxial ist.

25 Senkrecht zu dieser und unidirektional in Pinningrichtung der exchange bias Feldstärke H_{eb} steht die mit H_{ferro} gekennzeichnete orange peel Kopplungsfeldstärke, die wie oben ausgeführt aus Oberflächenunebenheiten im Grenzflächenbereich Referenzschicht-Entkopplungsschicht-Detektionsschicht resultiert.

30 Wiederum senkrecht zu dieser steht die mit H_{sh} gekennzeichnete uniaxiale Formanisotropiefeldstärke, die in Längsrichtung des Sensorstreifens, der in Fig. 6 als länglicher Kasten dargestellt ist mit einer Streifenbreite b , verläuft.

35 Zu dieser wiederum senkrecht und unidirektional, jedoch der Pinningrichtung der exchange-bias-Feldstärke H_{eb} entgege-

richtet steht die durch das Streufeld der Referenzschichtmagnetisierung erzeugte Anisotropiefeldstärke H_{SF} .

5 Schließlich ist in Fig. 6 noch die zweite exchange-bias-Feldstärke H_{eb2} gezeigt, die über die natürliche Antiferromagnetschicht 15, die die Detektionsschicht pinnt, induziert wird, und die ebenfalls in Streifenlängsrichtung liegt.

10 Für die Stärke der Detektionsschichtanisotropie verantwortlich sind im gezeigten Beispiel die beschichtungsinduzierte Anisotropiefeldstärke H_{ind} , die Formanisotropiefeldstärke H_{sh} sowie die (gegebenenfalls optionale) exchange-bias-Feldstärke H_{eb2} . Dieser Detektionsschichtanisotropie entgegengesetzt wirkt die Summe der orange-peel-Kopplungsfeldstärke H_{ferro} und
15 der H_{ferro} entgegengesetzt orientierten Streufeldkopplungsfeldstärke H_{SF} . Für den Einsatz vorteilhaft ist eine vollständige Kompensation dieser beiden Feldstärken.

Durch den oben beschriebenen Aufbau der GMR-Sensorelemente 6
20 - 9 bzw. der Detektionsschichten und deren Kopplung kann vorteilhaft das Sensorsignal, das über die Brückenschaltung 5 abgegriffen werden kann, so eingestellt werden, dass Hysteresen und Nichteindeutigkeiten der Kennlinie weitestgehend vermieden werden können. Dies resultiert vorteilhaft aus der
25 hinreichenden uniaxialen Detektionsschichtanisotropie senkrecht zur Ausrichtung der Referenzschicht, die über die Einzelanisotropien, wie sie in Fig. 6 gezeigt sind, aufgeprägt wird. Abschließend ist festzuhalten, dass eine zusätzliche intrinsische uniaxiale Anisotropie gegeben ist, wenn zur Bildung der Detektionsschicht entsprechende Materialien wie
30 z. B. Permalloy verwendet werden, wobei diese uniaxiale Anisotropie zusätzlich die Anisotropiestärke erhöhend wirkt.

Insgesamt bietet der erfindungsgemäße Gleichstromsensor die
35 Möglichkeit, galvanisch isoliert Gleichströme messen zu können. Aufgrund der intrinsischen Schirmung der Brückenschaltung 5 und der Magnetfeldgradientenmessung werden überlagerte homogene externe Magnetfelder, die nicht aus der Bestromung

des zugeordneten Stromleiters resultieren, bis zu einer gewissen Stärke unterdrückt, wirken sich also nicht auf das Ausgangssignal aus. Die Auswertung des in-plane-Magnetisierungsvektors der XMR-Spin-Valves-Sensorelemente mit gekreuzter Anisotropie ermöglicht diese Fremdfeldunterdrückung. 5 Durch die Verschaltung der Brückenelemente können die Referenzschichten wie auch die Detektionsschichten mit einheitlicher Ausrichtung der jeweiligen Magnetisierungen konditioniert werden, was die Herstellprozesse vereinfacht. Die Signalkennlinie der Messbrücke ist direkt linear. Eine gezielte 10 Einstellung des Proportionalitätsverhältnisses durch das spezielle Schichtsystem sowie die entsprechenden, einstellbaren Anisotropien ist möglich und erweitert den Einsatzbereich des Stromsensors erheblich, dieser kann anwendungsrelevant hinsichtlich seiner Linearität, der Hysteresefreiheit und der 15 Adaptierbarkeit ausgeführt werden.

Patentansprüche

1. Stromsensor zur galvanisch getrennten Strommessung, insbesondere Gleichstrommessung, umfassend einen U-förmig verlaufenden Stromleiter (2), ober- oder unterhalb dem eine der Erfassung des bei Stromfluss zwischen den Leiterschchenkeln (3, 4) erzeugten, dem Strom proportionalen magnetischen Gradientenfelds dienende Brückenschaltung (5) bestehend aus vier XMR-Sensorelementen (6, 7, 8, 9) angeordnet ist, von denen jeweils zwei einem Schenkel (3, 4) des Stromleiters (2) zugeordnet sind, wobei die Brückenschaltung (5), über welche ein Brückenstrom (i_B) zu führen ist, zwei parallel geschaltete Brückenzweige (Z1, Z2) aufweist, in denen sich jeweils zwei, einen gemeinsamen Abgriff (S1, S2) der Brückenschaltung (5) bildende Sensorelemente (6, 7 bzw. 9, 8) befinden, wobei
- die XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) jeweils als Spin Valves mit einer harten Referenzschichtmagnetisierung (R) und einer über das bei Stromfluss im zugeordneten Stromleiterschlenkel (3, 4) erzeugte Magnetfeld drehbaren Detektionsschichtmagnetisierung (D) ausgeführt sind,
 - die Detektionsschichtmagnetisierungen (D) bei fehlendem Stromfluss jeweils unter einem Winkel zwischen $80^\circ - 100^\circ$ zur jeweiligen Referenzschichtmagnetisierung (R) stehen, und
 - die Sensorelemente (6, 7, 8, 9) innerhalb der Brückenschaltung (5) so angeordnet und ausgerichtet sind, dass die zu einem Brückenzweig (Z1, Z2) gehörenden Sensorelemente (6, 7 bzw. 9, 8) jeweils verschiedenen Stromleiterschenkeln (3, 4) zugeordnet sind und die Referenzschichtmagnetisierungen (R) aller XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) unidirektional und zumindest annähernd senkrecht zum jeweils zugeordneten Stromleiterschlenkel (3, 4) liegen.
2. Stromsensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzschichtmagnetisierungen (R) und die Detektionsschichtmagnetisierungen (D) unter einem Winkel von 90° zueinander stehen.

3. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass alle Detektionsschichtmagnetisierungen (D) unidirektional verlaufen.

5

4. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzschichten (12) mit jeweils einer antiferromagnetischen Schicht (11) austauschgekoppelt sind.

10

5. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsschichten (14) mit jeweils einer antiferromagnetischen Schicht (15) austauschgekoppelt sind.

15

6. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) als Streifenelemente zur Erzeugung einer in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung (D) liegenden Formanisotropie (H_{sh}) ausgeführt sind.

20

7. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsschichten (14) eine in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung (D) liegende beschichtungsinduzierte Anisotropie (H_{ind}) aufweisen.

25

8. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektionsschicht (D) eine materialspezifische intrinsisch, in Richtung der Detektionsschichtmagnetisierung liegende Anisotropie aufweist.

30

9. Stromsensor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die XMR-Sensorelemente (6, 7, 8, 9) vom GMR-Typ oder vom TMR-Typ sind.

35

FIG 1

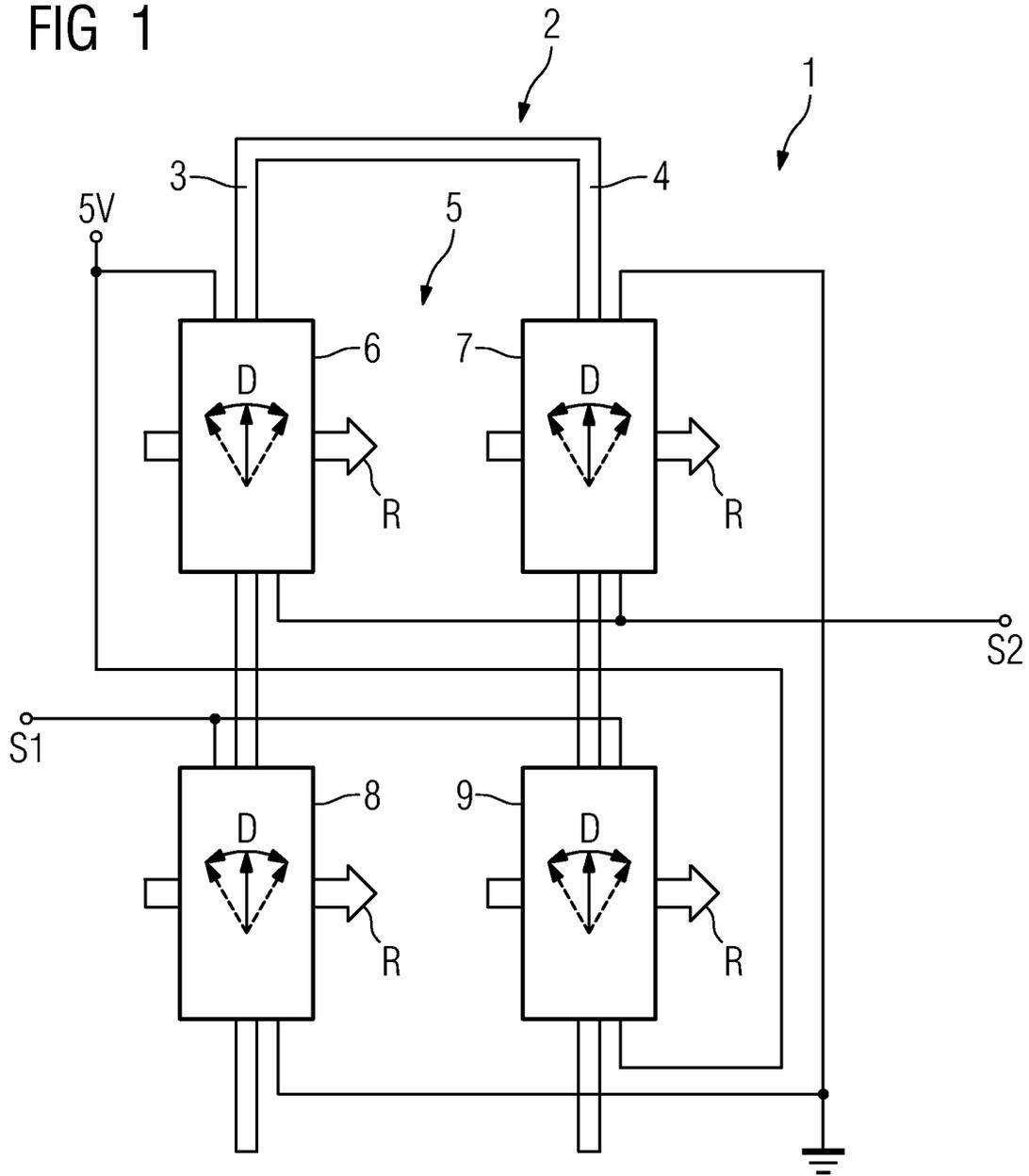


FIG 2

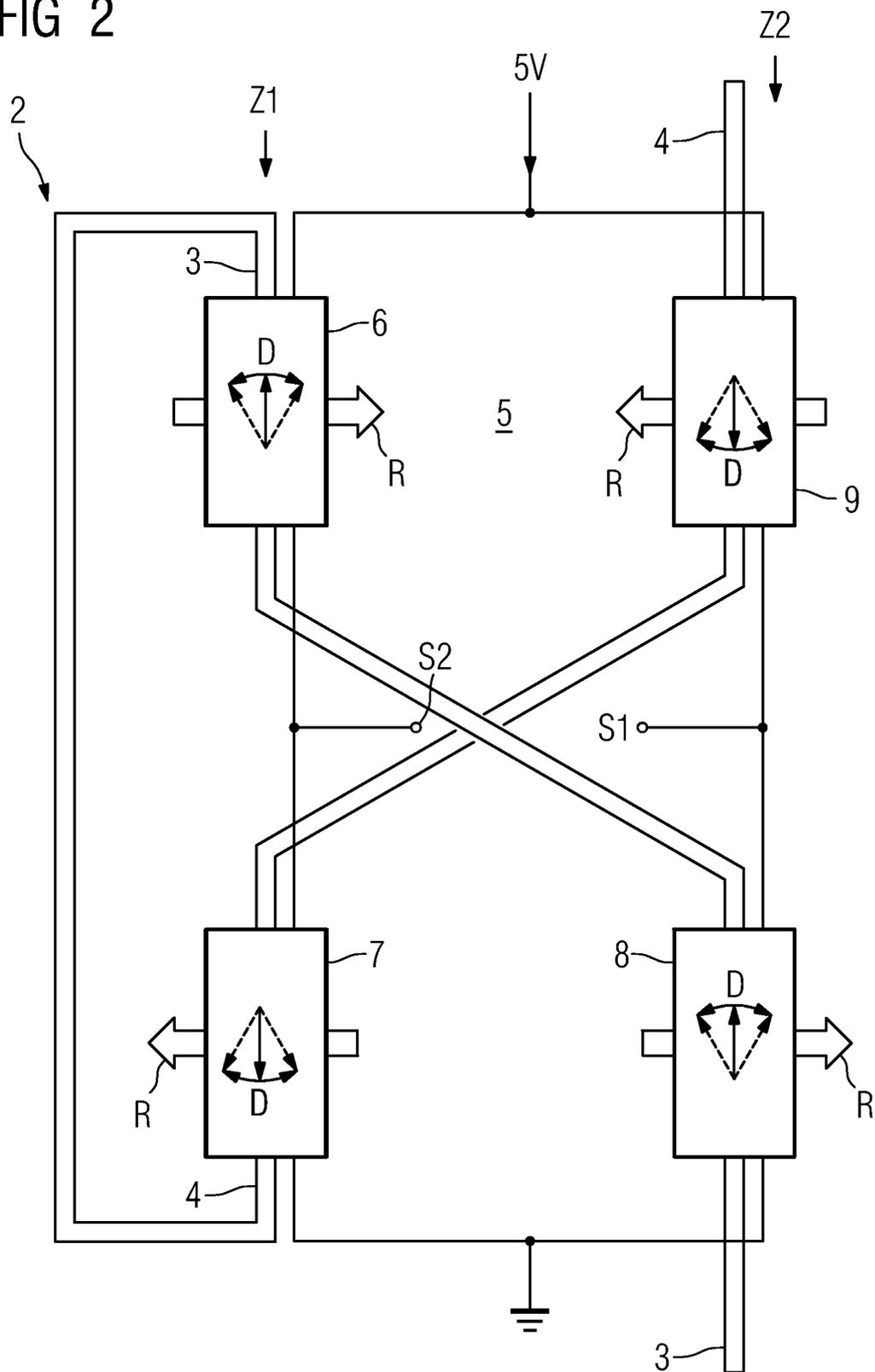


FIG 3

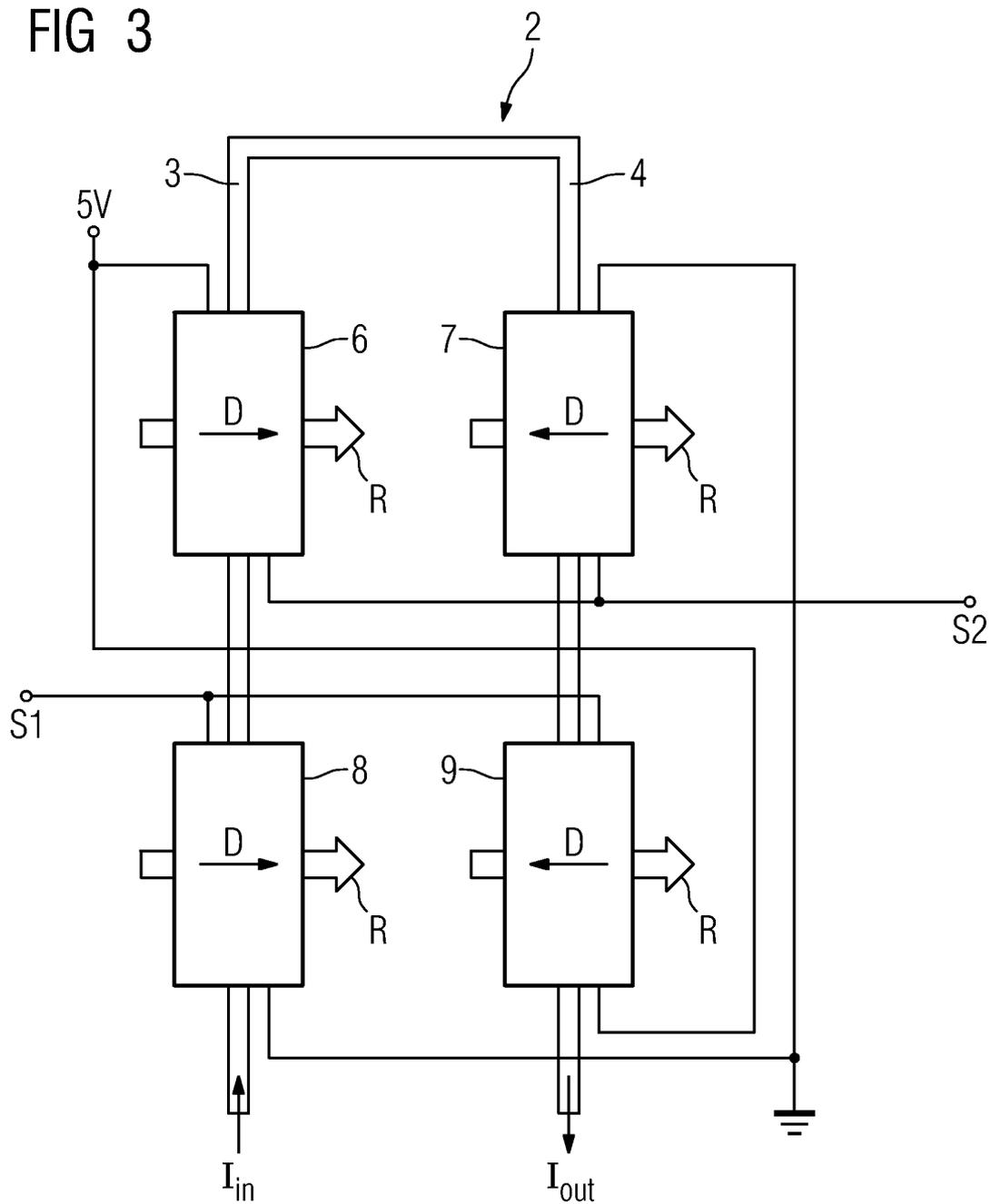


FIG 4

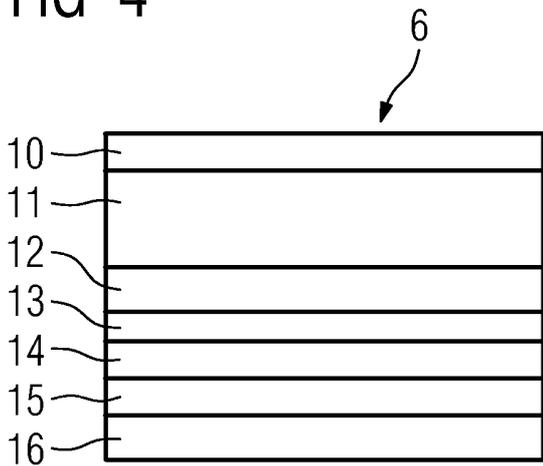


FIG 5

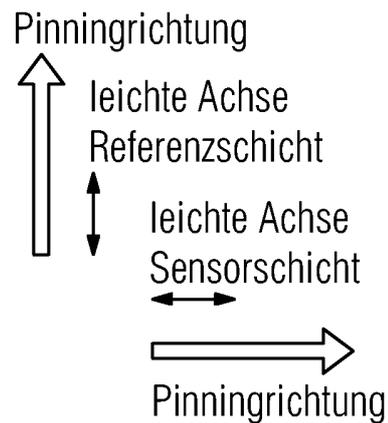
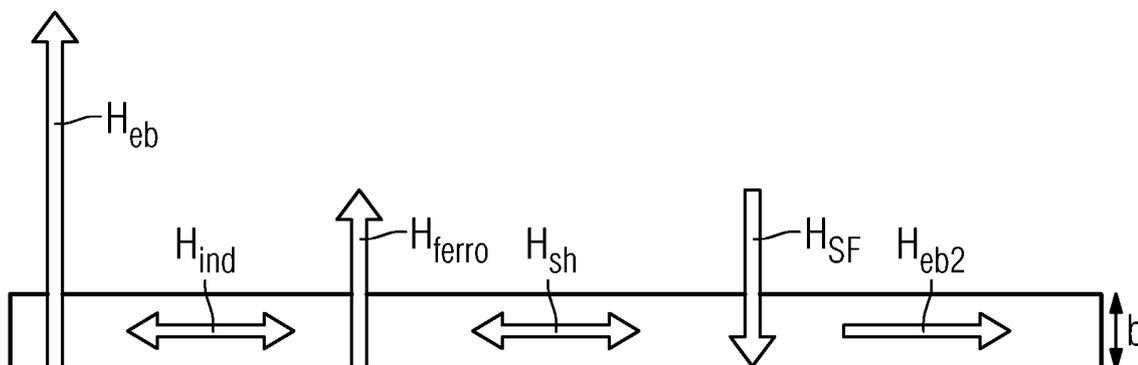


FIG 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2006/063392

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R33/09 G01R15/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R G11B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/155644 A1 (STAUTH JASON [US] ET AL) 12 August 2004 (2004-08-12) abstract; figure 4 paragraph [0073] - paragraph [0084] paragraph [0004] - paragraph [0010]	1-4, 8, 9
A	EP 0 710 850 A2 (IBM [US]) 8 May 1996 (1996-05-08) cited in the application abstract; figure 1 page 2, line 3 - page 3, line 6 page 3, line 26 - page 6, line 4 ----- -/--	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 November 2006

Date of mailing of the international search report

16/11/2006

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ernst, Monika

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2006/063392

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 304 550 A (ALPS ELECTRIC CO LTD [JP]) 23 April 2003 (2003-04-23) figures 3-5,7 paragraph [0009] - paragraph [0013] paragraphs [0061], [0062], [0073] - paragraph [0087] -----	1-9
X	DE 101 35 428 C1 (SIEMENS AG [DE]) 8 August 2002 (2002-08-08) abstract; figures 1-4 paragraph [0028] - paragraph [0033] -----	1-4,6,8, 9
A	DE 103 42 260 A1 (HL PLANAR TECHNIK GMBH [DE]) 28 April 2005 (2005-04-28) abstract paragraphs [0001], [0009], [0010] -----	1-9
A	DE 100 46 782 A1 (KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH [DE]) 18 April 2002 (2002-04-18) abstract; figures 1,2 paragraph [0002] - paragraph [0037] -----	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2006/063392

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2004155644	A1	12-08-2004	AU 2003287232 A1	06-09-2004
			EP 1581817 A1	05-10-2005
			JP 2006514283 T	27-04-2006
			WO 2004072672 A1	26-08-2004
EP 0710850	A2	08-05-1996	AT 289419 T	15-03-2005
			AU 1788295 A	09-05-1996
			BR 9504583 A	20-05-1997
			CA 2158304 A1	05-05-1996
			CN 1113572 A	20-12-1995
			DE 69534013 D1	24-03-2005
			DE 69534013 T2	04-05-2006
			JP 3017061 B2	06-03-2000
			JP 8226960 A	03-09-1996
			KR 175979 B1	01-04-1999
			TW 487169 Y	11-05-2002
			US 5561368 A	01-10-1996
EP 1304550	A	23-04-2003	JP 2003121197 A	23-04-2003
			US 2003070497 A1	17-04-2003
DE 10135428	C1	08-08-2002	NONE	
DE 10342260	A1	28-04-2005	WO 2005026746 A2	24-03-2005
DE 10046782	A1	18-04-2002	CA 2435025 A1	28-03-2002
			WO 0225749 A2	28-03-2002
			EP 1319257 A2	18-06-2003
			JP 2004509476 T	25-03-2004
			US 2004008453 A1	15-01-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063392

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01R33/09 G01R15/20

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01R G11B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/155644 A1 (STAUTH JASON [US] ET AL) 12. August 2004 (2004-08-12) Zusammenfassung; Abbildung 4 Absatz [0073] - Absatz [0084] Absatz [0004] - Absatz [0010]	1-4, 8, 9
A	EP 0 710 850 A2 (IBM [US]) 8. Mai 1996 (1996-05-08) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung; Abbildung 1 Seite 2, Zeile 3 - Seite 3, Zeile 6 Seite 3, Zeile 26 - Seite 6, Zeile 4 ----- -/--	1-9

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
7. November 2006	16/11/2006

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Ernst, Monika
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 1 304 550 A (ALPS ELECTRIC CO LTD [JP]) 23. April 2003 (2003-04-23) Abbildungen 3-5,7 Absatz [0009] - Absatz [0013] Absätze [0061], [0062], [0073] - Absatz [0087]	1-9
X	DE 101 35 428 C1 (SIEMENS AG [DE]) 8. August 2002 (2002-08-08) Zusammenfassung; Abbildungen 1-4 Absatz [0028] - Absatz [0033]	1-4,6,8, 9
A	DE 103 42 260 A1 (HL PLANAR TECHNIK GMBH [DE]) 28. April 2005 (2005-04-28) Zusammenfassung Absätze [0001], [0009], [0010]	1-9
A	DE 100 46 782 A1 (KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH [DE]) 18. April 2002 (2002-04-18) Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 Absatz [0002] - Absatz [0037]	1-9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2006/063392

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2004155644 A1	12-08-2004	AU 2003287232 A1	06-09-2004
		EP 1581817 A1	05-10-2005
		JP 2006514283 T	27-04-2006
		WO 2004072672 A1	26-08-2004
EP 0710850 A2	08-05-1996	AT 289419 T	15-03-2005
		AU 1788295 A	09-05-1996
		BR 9504583 A	20-05-1997
		CA 2158304 A1	05-05-1996
		CN 1113572 A	20-12-1995
		DE 69534013 D1	24-03-2005
		DE 69534013 T2	04-05-2006
		JP 3017061 B2	06-03-2000
		JP 8226960 A	03-09-1996
		KR 175979 B1	01-04-1999
		TW 487169 Y	11-05-2002
		US 5561368 A	01-10-1996
		EP 1304550 A	23-04-2003
US 2003070497 A1	17-04-2003		
DE 10135428 C1	08-08-2002	KEINE	
DE 10342260 A1	28-04-2005	WO 2005026746 A2	24-03-2005
DE 10046782 A1	18-04-2002	CA 2435025 A1	28-03-2002
		WO 0225749 A2	28-03-2002
		EP 1319257 A2	18-06-2003
		JP 2004509476 T	25-03-2004
		US 2004008453 A1	15-01-2004