(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
27 décembre 2007 (27.12.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/148028 A2

(51) Classification internationale des brevets :
G01R 33/09 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/051501

(22) Date de dépôt international : 22 juin 2007 (22.06.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0652598 22 juin 2006 (22.06.2006) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR]; Batiment Le Ponant D, 25 Rue Leblanc, F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **FERMON, Claude** [FR/FR]; 6 Allée Boileau, F-91400 Orsay (FR). **PANNETIER-LECOEUR, Myriam** [FR/FR]; 41 avenue de la Mutualité, F-91440 Bures Sur Yvette (FR).

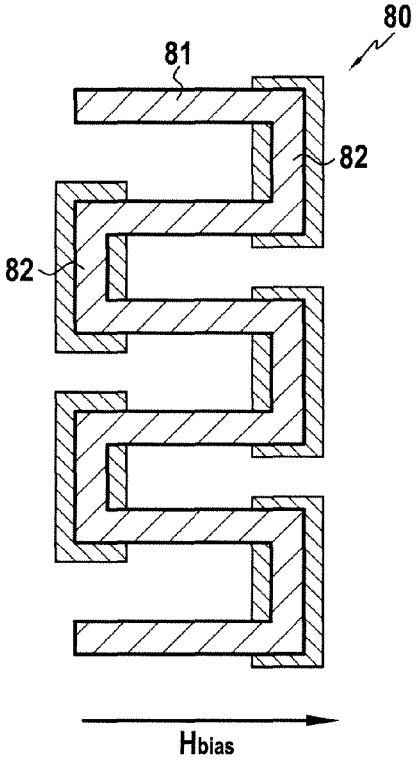
(74) Mandataires : **THEVENET, Jean-Bruno** etc.; CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université, F-75340 Paris Cedex 07 (FR).

(81) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible)* : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) **Title:** METHOD AND SYSTEM FOR ADJUSTING THE SENSITIVITY OF A MAGNETORESISTIVE SENSOR

(54) **Titre :** PROCEDE ET SYSTEME POUR AJUSTER LA SENSIBILITE D'UN CAPTEUR MAGNETORESISTIF



(57) Abstract: The system for measuring high currents or magnetic fields using at least one magnetoresistive sensor (80) comprises a device for applying a known predetermined magnetic bias field H_{bias} along a direction such that it has a non-zero component of the field perpendicular to a detection direction of the magnetoresistive sensor (80) that also corresponds to a direction of anisotropy of a layer of the magnetoresistive sensor, a device for measuring the variation in resistance of the magnetoresistive sensor (80) and a unit for determining the external magnetic field H to be measured as a result of the measured resistance variation, the resistance of the sensor being subjected to a monotonic variation function.

(57) Abrégé : Le système pour mesurer des champs magnétiques ou des courants élevés à l'aide d'au moins un capteur magnétorésistif (80) comprend un dispositif d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu Hbias selon une direction telle qu'il présente une composante du champ non nulle perpendiculaire à une direction de détection du capteur magnétorésistif (80) qui correspond également à une direction d'anisotropie d'une couche du capteur magnétorésistif, un dispositif de mesure de la variation de résistance du capteur magnétorésistif (80) et une unité de détermination du champ magnétique extérieur à mesurer H à partir de la variation de résistance mesurée, la résistance du capteur étant soumise à une fonction monotone de variation.

WO 2007/148028 A2

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, 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).

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Procédé et système pour ajuster la sensibilité d'un capteur magnétorésistif

La présente invention a pour objet un procédé et un système pour ajuster la sensibilité d'un capteur magnétorésistif.

Les capteurs magnétorésistifs tels que les capteurs à magnétorésistance anisotrope (AMR), les capteurs à magnétorésistance géante (GMR) ou les capteurs à magnétorésistance tunnel (TMR) sont utilisés de façon très fréquente pour effectuer des mesures de champs magnétiques en particulier dans les têtes de lecture.

Dans un faible champ magnétique, les capteurs magnétorésistifs se caractérisent par une grande variation, ce qui leur confère une grande sensibilité pour ces mesures de faibles champs magnétiques.

Actuellement, lorsque l'on souhaite mesurer des champs magnétiques relativement élevés (>10 mT), on utilise généralement des capteurs à effet Hall qui présentent l'avantage d'être linéaires jusqu'à des valeurs de champs très élevées (> 15 T). Toutefois, la sensibilité des capteurs à effet Hall reste faible comparée à celle que présentent les capteurs magnétorésistifs dans le domaine des faibles champs magnétiques.

On connaît également des systèmes magnétorésistifs tels que les systèmes présentant une magnétorésistivité colossale (capteurs CMR) qui offrent une variation de résistance non négligeable sur une large plage de valeurs de champ magnétique. La linéarité de ces systèmes est cependant faible et ils manquent de stabilité en température.

On connaît encore l'utilisation de champs magnétiques produits par des aimants permanents pour accroître la sensibilité du comportement magnétorésistif et en particulier pour réduire le bruit électrique créé lors de la formation de domaines magnétiques de mesure (voir par exemple les documents GB 2 272 561 A ; WO 95/35508 et WO 96/28812).

Par ailleurs, le document DE 1011313A est relatif à des capteurs magnétorésistifs dont la linéarité est améliorée grâce à l'application d'un champ magnétique connu créé par des aimants permanents.

Il reste toutefois un besoin pour des capteurs magnétorésistifs dont la réponse soit modifiée afin que leur sensibilité soit ajustée, en

particulier pour la mesure de champs magnétiques élevés, ou de courants d'intensité importante.

La présente invention vise ainsi à remédier aux inconvénients des systèmes connus de mesure de champ magnétique à l'aide de capteurs magnétorésistifs et à remédier à une limitation de ces capteurs en ce qui concerne leur réponse par rapport à un champ magnétique appliqué.

En particulier, un capteur magnétorésistif tel qu'un capteur du type AMR, GMR ou TMR est limité en réponse en champ du fait d'une saturation rapide.

L'invention vise à permettre de mesurer des champs magnétiques ou des courants élevés à l'aide de capteurs magnétorésistifs.

Ces buts sont atteints grâce à un procédé pour ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur magnétorésistif et augmenter la plage de réponse de ce dispositif par rapport à un champ magnétique extérieur, caractérisé en ce qu'il consiste à appliquer un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle perpendiculaire à une direction de détection dudit capteur magnétorésistif qui correspond également à une direction d'anisotropie d'une couche dudit capteur magnétorésistif, de telle sorte que le champ magnétique à mesurer puisse être déterminé par une fonction monotone à partir de la variation de résistance dudit capteur magnétorésistif.

De façon plus particulière, on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} destiné à étendre la plage de réponse du dispositif comprenant au moins un capteur magnétorésistif pour mesurer un champ magnétique extérieur H, on détermine la réponse dudit dispositif en divisant la valeur de champ magnétique extérieur H à mesurer par la racine carrée de la somme du carré de la valeur du champ magnétique extérieur H à mesurer et du carré de la valeur du champ magnétique de polarisation prédéterminé H_{bias}.

D'une façon générale, la conception d'un capteur magnétorésistif présentant une anisotropie bien définie combinée à l'application d'un champ magnétique de polarisation H_{bias} appliqué selon la direction de cette anisotropie permet d'obtenir une réponse du capteur

magnétorésistif qui soit prévisible et précise même dans le cas de champs magnétiques externes de valeur élevée.

Dans le cas où le procédé est destiné à ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur à magnétorésistance anisotrope, on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à la direction de circulation du courant dans ledit capteur.

Dans le cas où le procédé est destiné à ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur à magnétorésistance géante ou un capteur à magnétorésistance tunnel comportant une couche ferromagnétique dure piégée dans une direction de référence, on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à ladite direction de référence de la couche ferromagnétique dure.

Selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention, le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} n'est pas homogène et présente des variations connues entre une valeur minimale $H_{biasmin}$ et une valeur maximale $H_{biasmax}$.

L'invention concerne également un système pour mesurer des champs magnétiques ou des courants élevés à l'aide d'au moins un capteur magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante du champ non nulle perpendiculaire à une direction de détection dudit capteur magnétorésistif qui correspond également à une direction d'anisotropie d'une couche dudit capteur magnétorésistif, des moyens de mesure de la variation de résistance dudit capteur magnétorésistif et des moyens de détermination du champ magnétique extérieur à mesurer H à partir de ladite variation de résistance mesurée, la résistance du capteur étant soumise à une fonction monotone de variation.

Selon un mode particulier de réalisation, le capteur magnétorésistif est une magnétorésistance anisotrope et les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} sont adaptés pour que ledit champ présente une composante de

champ non nulle perpendiculaire à la circulation de courant dans ledit capteur.

Selon un autre mode de réalisation particulier, le capteur magnétorésistif est un capteur à magnétorésistance géante ou un capteur à magnétorésistance tunnel comportant une couche ferromagnétique dure piégée dans une direction de référence et les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} sont adaptés pour que ledit champ présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à ladite direction de référence de la couche ferromagnétique dure.

Le système selon l'invention peut être réalisé de telle sorte que le capteur magnétorésistif présente une forme de C à coins carrés ou une forme de serpentin avec des bras transversaux de faible longueur et des bras longitudinaux de plus grande longueur, ces derniers étant alignés selon la direction de l'axe de facile aimantation de couches ferromagnétiques douces contenues dans ledit capteur et selon la direction dudit champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias}.

Selon un mode de réalisation possible, les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} comprennent au moins un aimant permanent.

Dans ce cas selon une première possibilité, l'aimant permanent est placé au-dessus ou au-dessous dudit capteur magnétorésistif et possède une aimantation planaire.

Selon une autre possibilité, le système comprend au moins un aimant permanent placé à côté dudit capteur magnétorésistif avec une aimantation dirigée de manière à créer dans ledit capteur un champ planaire.

Selon une caractéristique particulière de l'invention, l'aimant permanent est adapté pour que les variations thermiques du champ magnétique rémanent créé par l'aimant permanent compensent la variation de sensibilité des capteurs magnétorésistifs.

A titre d'exemple, le ou les aimants permanents peuvent être réalisés par électrodéposition, sérigraphie ou lithographie de couches magnétiques déposées.

Selon un autre mode de réalisation possible, les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} comprennent au moins une bobine d'électroaimant.

Dans ce cas, le système peut comprendre des moyens d'ajustement du courant circulant dans ladite bobine d'électroaimant pour compenser les variations thermiques de sensibilité du capteur magnétorésistif.

Selon encore un autre mode de réalisation, le capteur est placé à proximité d'un fil conducteur traversé par un courant dont l'intensité est à déterminer, le système comprend des moyens de détermination de l'intensité dudit courant à partir de la valeur du champ magnétique produit par ledit courant et détecté par ledit capteur magnétorésistif, et le capteur magnétorésistif et ledit fil conducteur sont disposés de telle manière que ledit champ magnétique détecté soit perpendiculaire audit champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias}.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes particuliers de réalisation, en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- la Figure 1 montre les composantes du champ magnétique appliqué dans le cadre du procédé selon l'invention,
- la Figure 2a montre une vue schématique en coupe montrant l'empilement de couches constituant un capteur à magnétorésistance géante (GMR),
- la Figure 2b est une vue d'un exemple de configuration de capteur GMR en forme de C à coins carrés,
- la Figure 2c est une vue d'un autre exemple de configuration de capteur GMR en forme de serpentin,
- la Figure 3 montre une vue schématique d'un ensemble de capteurs GMR associés à un aimant permanent intégré au-dessus de ces capteurs,
- la Figure 4 montre une vue schématique d'un ensemble de capteurs GMR associés à des aimants permanents disposés latéralement par rapport à ces capteurs, et
- la Figure 5 montre une vue schématique d'un exemple de dispositif selon l'invention adapté à la mesure de courant dans un fil conducteur.

On rappelle tout d'abord que les capteurs magnétorésistifs comprennent une couche ferromagnétique douce, qui est généralement composée de NiFe ou de NiFe/CoFe, et dont la direction d'aimantation peut tourner librement dans un plan lorsqu'un champ magnétique externe est appliqué.

Dans le cas de capteurs à magnétorésistance anisotrope (AMR), la résistance varie comme l'angle θ entre l'aimantation de la couche douce et la direction du courant injecté.

Dans le cas de capteurs à magnétorésistance géante (GMR) ou de capteurs à magnétorésistance tunnel (TMR), la résistance varie comme l'angle θ entre l'aimantation de cette couche douce et l'aimantation d'un couche ferromagnétique dure qui constitue une couche de référence.

La résistance R du capteur en fonction de l'angle θ peut s'exprimer de la façon suivante en fonction de composantes R_0 et R_1 :

$$R = R_0 + R_1 \cos\theta \qquad (1)$$

Pour des capteurs GMR, le rapport R_1/R_0 peut varier entre 0,05 et 0,15 tandis que, pour des capteurs TMR, le rapport R_1/R_0 peut atteindre des valeurs de l'ordre de 4 à la température ambiante.

La direction de mesure est généralement donnée à $\theta = 0$.

L'angle θ est l'angle formé entre la direction de référence (couche de référence ou direction du courant) et l'aimantation de la couche ferromagnétique douce.

L'aimantation de la couche ferromagnétique douce suit le champ magnétique externe.

Selon l'invention, on applique un champ magnétique de polarisation H_{bias} présentant une valeur déterminée connue, dans le plan du capteur, à un angle égal à $\pi/2$ par rapport à la direction de détection du capteur magnétorésistif sensible à un champ magnétique H (figure 1).

Si le champ magnétique de polarisation H_{bias} est constant, la variation de résistance du capteur en fonction du champ magnétique extérieur appliqué H est donné par la formule suivante :

$$R = R_0 + R_1 \cos\theta = R_0 + R_1 \frac{H}{\sqrt{H^2 + H_{bias}^2}} \qquad (2)$$

Pour les champs magnétiques H de faible valeur, la variation de résistance est linéaire :

$$R = R_0 + R_1 \cos\theta = R_0 + R_1 \frac{H}{H_{bias}}$$

Le terme d'ordre suivant dans le développement de l'équation (2) est donné par $R_1 \frac{H^3}{2H_{bias}^2}$.

A partir de l'équation (2), on peut déduire la sensibilité qui s'exprime de la façon suivante :

$$\frac{R_1 H_{bias}^2}{\left(H^2 + H_{bias}^2\right)^{3/2}} \qquad (3)$$

On peut effectuer un calcul direct de l'inverse de l'équation (2) en traitant les données acquises.

Il s'ensuit que si une variation de résistance $\delta R = R_1 \cos\theta$ est observée, on peut en déduire le champ magnétique externe appliqué H de la façon suivante :

$$H = \frac{\delta R / R_1}{\sqrt{1-(\delta R / R_1)^2}} H_{bias}$$

Lorsqu'il s'agit de mesurer l'intensité d'un courant circulant dans un fil conducteur, il suffit de mesurer le champ magnétique créé par ce courant à l'extérieur du conducteur. Si l'intensité du courant circulant dans le fil conducteur est I, la valeur du champ magnétique H créé à une distance r du conducteur est grossièrement donnée par la formule $\mu_0 \frac{I}{2r}$ où μ_0 est la perméabilité magnétique du vide.

On peut utiliser avantageusement en tant que capteurs magnétorésistifs des capteurs GMR ou TMR. Les capteurs GMR présentent une variation de résistance plus faible que les capteurs TMR, mais en revanche ils acceptent un courant plus élevé et présentent un bruit plus faible à faible fréquence.

La Figure 2 montre un exemple d'empilement de couches constituant un capteur GMR présentant une configuration en vanne de spin avec des anisotropies croisées. Une couche libre 62 ou couche ferromagnétique douce présente un axe de facile aimantation

perpendiculaire à une couche de référence 64 ou couche ferromagnétique dure de la vanne de spin.

La couche libre 62 est habituellement constituée de deux couches de NiFe et de CoFe. Elle est séparée de la couche de référence 64 par une mince couche de cuivre 63.

La couche de référence 64 est constituée d'une couche antiferromagnétique couplée à une couche ferromagnétique et peut comprendre par exemple un empilement CoFe/IrMn. Selon une variante de réalisation, la couche de référence 64 peut contenir un ensemble antiferromagnétique tel qu'un ensemble de trois couches formant un empilement CoFe/Ru/CoFe.

Le champ magnétique de polarisation H_{bias} est appliqué dans la direction de l'axe de facile aimantation de la couche libre 62 tandis que le champ magnétique extérieur à mesurer est appliqué selon la direction de la couche de référence 64.

Un ensemble antiferromagnétique artificiel présente l'avantage d'être insensible aux champs externes appliqués et en particulier au champ magnétique de polarisation H_{bias} et donc de permettre d'obtenir une très faible erreur par rapport à la formule (2) même en champ fort.

De façon classique, un empilement 60 de capteur GMR est associé par microfabrication à un ensemble de contacts pour deux ou quatre points de mesure.

Un empilement de capteurs GMR peut présenter la forme d'un C à coins carrés (empilement 70 de la Figure 2b) avec un bras longitudinal 71 et deux bras transversaux plus courts 72, ou la forme d'un serpentin (empilement 80 de la Figure 2c) avec des bras longitudinaux 81 et des bras transversaux de liaison 82 plus courts court-circuités pour diminuer le bruit magnétique.

Dans tous les cas, les bras longitudinaux 71, 81 sont alignés avec l'axe de facile aimantation de la couche libre et donc avec la direction du champ magnétique de polarisation H_{bias}.

Un champ magnétique H_{bias} peut être créé dans le plan d'un ou plusieurs capteurs GMR 90 à l'aide d'un ou plusieurs aimants permanents 110, 121, 122.

On peut ainsi disposer un aimant permanent 110 au-dessus ou au-dessous de capteurs magnétorésistifs 90 avec une aimantation planaire (Figure 3).

On peut également disposer un ou plusieurs aimants permanents 121, 122 à côté de capteurs magnétorésistifs 90, également avec une aimantation planaire, ou avec une aimantation orthogonale orientée de manière à créer un champ planaire dans les capteurs 90.

Les aimants permanents 110, 121, 122 peuvent être agencés de manière à créer un champ magnétique H_{bias} homogène et leur composition peut être choisie en fonction des propriétés magnétiques requises et des techniques de fabrication choisies. Des aimants permanents à base de terres rares constitués par exemple par des alliages NbFeB ou SmCo présentent l'avantage d'avoir un champ rémanent très élevé et une très grande coercivité.

Un procédé de fabrication des aimants permanents compatible avec la fabrication de microcapteurs sur des microplaquettes consiste à utiliser des techniques de sérigraphie avec des encres contenant des poudres d'aimants durs. On peut ainsi obtenir des coercitivités allant jusqu'à 2 T et des champs rémanents allant jusqu'à 1 T.

Un autre procédé de fabrication consiste à utiliser les techniques d'électrodéposition. On peut ainsi facilement déposer avec cette technique des alliages CoPt pour obtenir la forme finale désirée.

Lorsque l'on souhaite créer un champ magnétique de polarisation H_{bias} homogène sur les capteurs 90, on doit choisir des aimants permanents de taille suffisamment grande et d'épaisseur suffisante pour que le champ magnétique créé soit suffisamment élevé.

Le champ magnétique de polarisation H_{bias} peut également être créé par une bobine d'électroaimant. Dans ce cas, il est plus facile d'ajuster la sensibilité et l'immunité face aux champs extérieurs appliqués, mais ce mode de réalisation implique une certaine consommation de courant.

La Figure 5 montre un exemple de dispositif de mesure de courant selon l'invention, avec une ligne conductrice 130 pour la circulation du courant à mesurer, qui est disposée au voisinage des capteurs magnétorésistifs 90.

Dans le cas de mesure de courant, comme cela a été indiqué plus haut, la prévision de la distance entre la ligne conductrice et les capteurs magnétorésistifs est importante. Selon un exemple avantageux de réalisation, qui correspond à l'illustration de la Figure 5, la ligne conductrice 130 est intégrée au voisinage des capteurs 90 au cours même de la microfabrication de ceux-ci.

La ligne conductrice 130 présente avantageusement la même largeur que les capteurs 90 mais peut être un peu plus large que ceux-ci si nécessaire.

A titre d'exemple, avec une largeur de capteur 90 de 5 μm de largeur et une ligne conductrice intégrée 130, on peut mesurer des intensités de courant allant jusqu'à 100 mA avec une précision meilleure que 0.1%. Dans ce cas, la valeur du champ magnétique détectée par les capteurs 90 est d'environ 50 Oe.

Selon une variante de réalisation, adaptée à des intensités de courant plus élevées, un fil conducteur est placé sur la plaquette portant les capteurs 90 sur la face de la plaquette qui est opposée à celle portant les capteurs 90 et leurs connexions. La distance entre un capteur et le fil conducteur est alors donnée par l'épaisseur de la plaquette.

Selon encore un autre mode de réalisation, on peut utiliser un concentrateur de champ si l'on veut disposer de plus de liberté sur la position du fil conducteur par rapport aux capteurs.

Si l'on considère à nouveau les équations (1) et (2), on peut noter que les performances d'un capteur magnétorésistif dépendent des variations en fonction de la température.

Habituellement, la valeur R_1 décroît en fonction de la température tandis que la valeur R_0 augmente en fonction de la température.

La variation de la valeur R_0 en fonction de la température peut être supprimée à l'aide d'une configuration en demi-pont ou en pont de Wheatstone comportant plusieurs capteurs permettant une mesure différentielle.

La variation de la valeur R_1 en fonction de la température est plus difficile à compenser.

Toutefois, si le champ magnétique de polarisation H_{bias} décroît lui-même selon la même loi que la valeur de R_1, l'équation (2) montre

qu'au premier ordre, il s'opère une compensation de la décroissance de R_1.

Pour cela, on peut utiliser un aimant permanent avec une température critique suffisamment basse ou en appliquant un champ magnétique de polarisation H_{bias} à l'aide d'une bobine comportant des moyens d'ajustement en fonction de la variation de température.

Dans ce cas, on peut appliquer un faible champ alternatif pour détecter la sensibilité du capteur et à l'aide d'une boucle de contre-réaction, on peut ajuster le courant dans la bobine afin de maintenir la sensibilité à la même valeur. Cette option permet de corriger correctement les variations de la valeur R_1 en fonction de la température.

Lorsque le champ magnétique de polarisation est engendré par un courant circulant dans une boucle, l'excitation peut être effectuée pendant la mesure du champ externe H soit par un courant constant, soit par des impulsions stabilisées à une valeur constante.

Selon une variante de réalisation, le champ magnétique de polarisation H_{bias} est appliqué avec un angle α par rapport à la direction d'aimantation de la couche libre du capteur. La composante du champ de polarisation selon l'axe de la couche dure permet de centrer la réponse du capteur magnétorésistif et donc d'obtenir une réponse de capteur parfaitement symétrique.

On peut également appliquer sans contact le champ magnétique de polarisation H_{bias}. Du fait que la linéarité du capteur et sa plage de fonctionnement dépendent de l'intensité du champ magnétique de polarisation, le fait de changer la distance entre le champ de polarisation H_{bias} et le capteur a pour résultat de changer la plage de fonctionnement.

Cette plage peut aussi être modifiée sans contact par modification de la distance entre les moyens d'application du champ magnétique de polarisation H_{bias} et le capteur, pour ajuster la plage de fonctionnement à des valeurs requises. Ceci est avantageux en particulier lorsque le capteur est dans un environnement encapsulé et quand la grandeur à mesurer (champ magnétique H ou courant) change.

Pour effectuer ces ajustements, on peut soit changer la distance entre un aimant permanent et un capteur, soit ajuster la valeur du courant dans une bobine si le champ magnétique de polarisation H_{bias} est appliqué à l'aide d'une bobine d'électro-aimant.

Si le champ magnétique de polarisation H_{bias} appliqué est homogène, on voit d'après l'équation (2) que la sensibilité décroît en fonction du champ, conformément à l'équation (3), la décroissance s'effectuant selon le cube de la valeur du champ magnétique pour les champs élevés.

Lorsque l'on désire avoir une plus faible décroissance de la sensibilité, il est possible d'appliquer un champ de polarisation H_{bias} inhomogène. Ceci peut être réalisé à l'aide d'aimants permanents ou de bobines.

On peut ainsi avoir différentes parties du système de mesure qui présentent des sensibilités différentes.

Lorsque l'on a un champ magnétique de polarisation H_{bias} qui évolue linéairement entre une valeur nominale $H_{biasmin}$ et une valeur maximale $H_{biasmax}$, la réponse donnée par l'équation (2) est modifiée pour devenir la réponse donnée par l'équation (4) suivante :

$$R = R_0 + R_1 \cos\theta = R_0 + \frac{R_1}{(H_{bias\max} - H_{bias\min})} \int_{H_{bias\min}}^{H_{bias\max}} \frac{H}{\sqrt{H^2 + u^2}} du \qquad (4)$$

La sensibilité est alors donnée par l'équation suivante :

$$\frac{R_1}{(H_{bias\max} - H_{bias\min})} \int_{H_{bias\min}}^{H_{bias\max}} \frac{u^2}{\left(H^2 + u^2\right)^{3/2}} du \qquad (5).$$

REVENDICATIONS

1. Procédé pour ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90) et augmenter la plage de réponse de ce dispositif par rapport à un champ magnétique extérieur, caractérisé en ce qu'il consiste à appliquer un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle perpendiculaire à une direction de détection dudit capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90) qui correspond également à une direction d'anisotropie d'une couche dudit capteur magnétorésistif, de telle sorte que le champ magnétique à mesurer puisse être déterminé par une fonction monotone à partir de la variation de résistance dudit capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90).

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que lorsqu'on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} destiné à étendre la plage de réponse du dispositif comprenant au moins un capteur magnétorésistif pour mesurer un champ magnétique extérieur H, on détermine la réponse dudit dispositif en divisant la valeur de champ magnétique extérieur H à mesurer par la racine carrée de la somme du carré de la valeur du champ magnétique extérieur H à mesurer et du carré de la valeur du champ magnétique de polarisation prédéterminé H_{bias}.

3. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, pour ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur à magnétorésistance anisotrope, caractérisé en ce que l'on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à la direction de circulation du courant dans ledit capteur.

4. Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, pour ajuster la sensibilité d'un dispositif comprenant au moins un capteur (60) à

magnétorésistance géante ou à magnétorésistance tunnel comportant une couche ferromagnétique dure (64) piégée dans une direction de référence, caractérisé en ce que l'on applique le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à ladite direction de référence de la couche ferromagnétique dure (64).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} n'est pas homogène et présente des variations connues entre une valeur minimale $H_{biasmin}$ et une valeur maximale $H_{biasmax}$.

6. Système pour mesurer des champs magnétiques ou des courants élevés à l'aide d'au moins un capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90), caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} selon une direction telle qu'il présente une composante du champ non nulle perpendiculaire à une direction de détection dudit capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90) qui correspond également à une direction d'anisotropie d'une couche dudit capteur magnétorésistif, des moyens de mesure de la variation de résistance dudit capteur magnétorésistif (60 ; 70 ; 80 ; 90) et des moyens de détermination du champ magnétique extérieur à mesurer H à partir de ladite variation de résistance mesurée, la résistance du capteur étant soumise à une fonction monotone de variation.

7. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit capteur magnétorésistif est une magnétorésistance anisotrope et en ce que les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} sont adaptés pour que ledit champ présente une composante de champ non nulle perpendiculaire à la circulation de courant dans ledit capteur.

8. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce que ledit capteur magnétorésistif (60) est un capteur à magnétorésistance géante ou un capteur à magnétorésistance tunnel comportant une couche ferromagnétique dure (64) piégée dans une direction de référence et en

ce que les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} sont adaptés pour que ledit champ présente une composante de champ non nulle selon une direction perpendiculaire à ladite direction de référence de la couche ferromagnétique dure (64).

9. Système selon la revendication 7 ou la revendication 8, caractérisé en ce que le capteur magnétorésistif (70 ; 80 ; 90) présente une forme de C à coins carrés ou une forme de serpentin avec des bras transversaux (72 ; 82) de faible longueur et des bras longitudinaux (71 ; 81) de plus grande longueur, ces derniers étant alignés selon la direction de l'axe de facile aimantation de couches ferromagnétiques douces contenues dans ledit capteur et selon la direction dudit champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias}.

10. Système selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} comprennent au moins un aimant permanent (110 ; 121, 122).

11. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce que ledit aimant permanent est placé au-dessus ou au-dessous dudit capteur magnétorésistif et possède une aimantation planaire.

12. Système selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend au moins un aimant permanent (121, 122) placé à côté dudit capteur magnétorésistif avec une aimantation dirigée de manière à créer dans ledit capteur un champ planaire.

13. Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que l'aimant permanent (110 ; 121, 122) est adapté pour que les variations thermiques du champ magnétique rémanent créé par l'aimant permanent (110 ; 121, 122) compensent la variation de sensibilité des capteurs magnétorésistifs.

14. Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que l'aimant permanent est formé par électrodéposition.

15. Système selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que l'aimant permanent est formé par sérigraphie ou lithographie de couches magnétiques déposées.

16. Système selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que les moyens d'application d'un champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias} comprennent au moins une bobine d'électroaimant.

17. Système selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens d'ajustement du courant circulant dans ladite bobine d'électroaimant pour compenser les variations thermiques de sensibilité du capteur magnétorésistif.

18. Système selon l'une quelconque des revendications 6 à 17, caractérisé en ce que ledit capteur magnétorésistif (90) est placé à proximité d'un fil conducteur (130) traversé par un courant dont l'intensité est à déterminer, en ce qu'il comprend des moyens de détermination de ladite intensité dudit courant à partir de la valeur du champ magnétique produit par ledit courant et détecté par ledit capteur magnétorésistif (90), et en ce que ledit capteur magnétorésistif (90) et ledit fil conducteur (130) sont disposés de telle manière que ledit champ magnétique détecté soit perpendiculaire audit champ magnétique de polarisation prédéterminé connu H_{bias}.

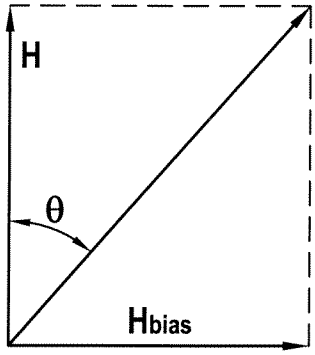


FIG.1

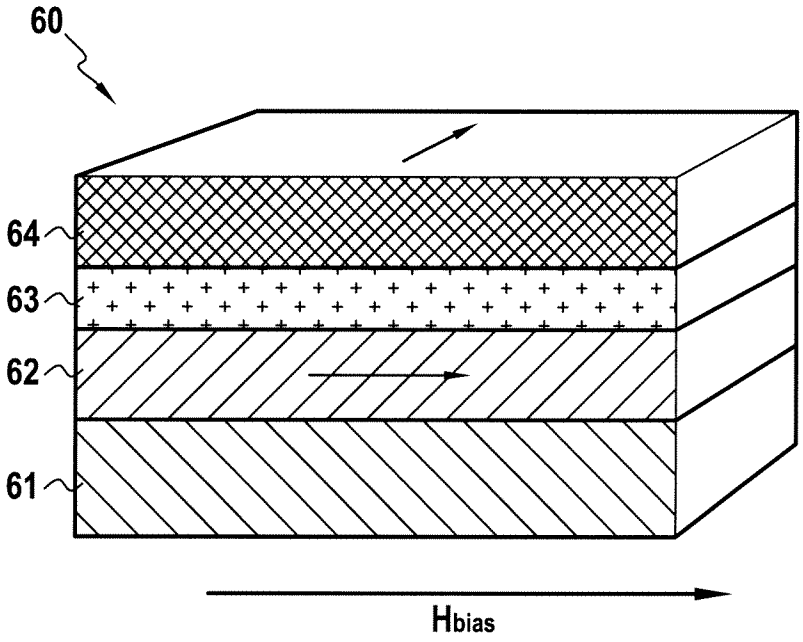


FIG.2A

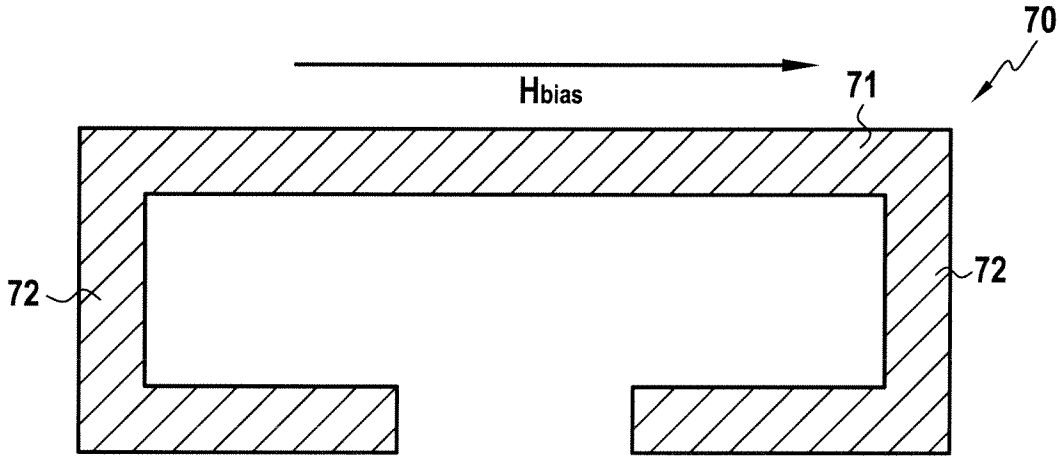


FIG.2B

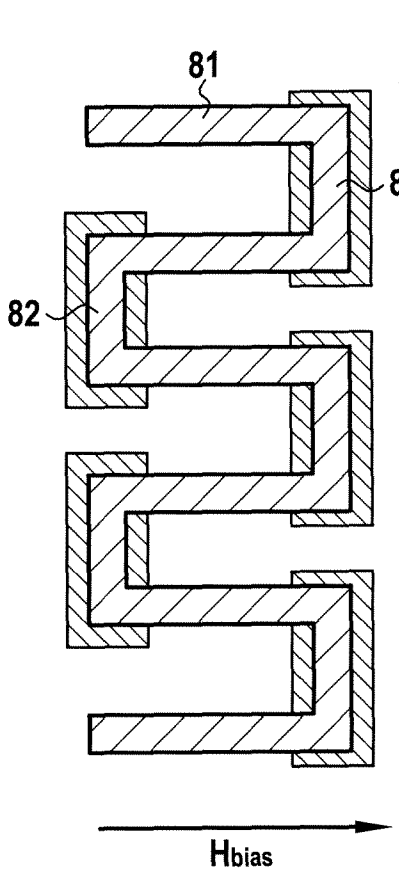


FIG.2C

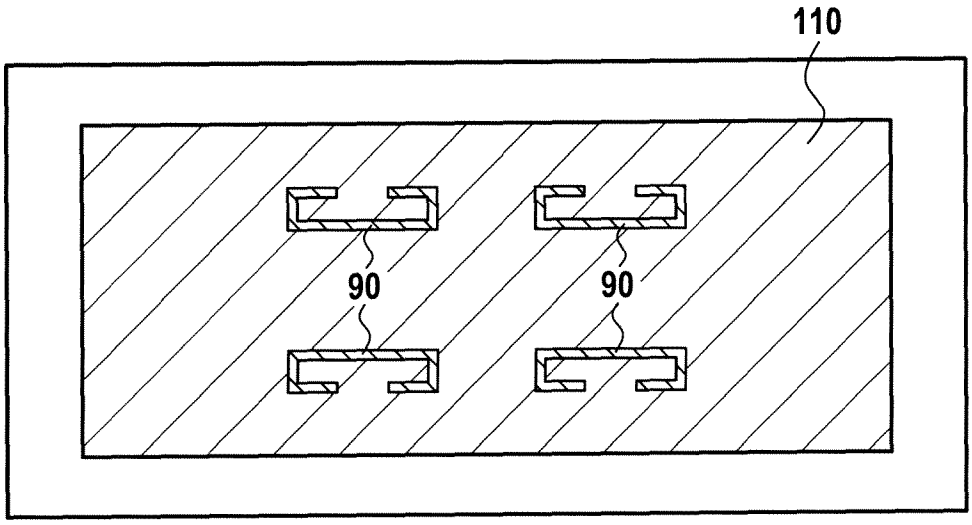


FIG.3

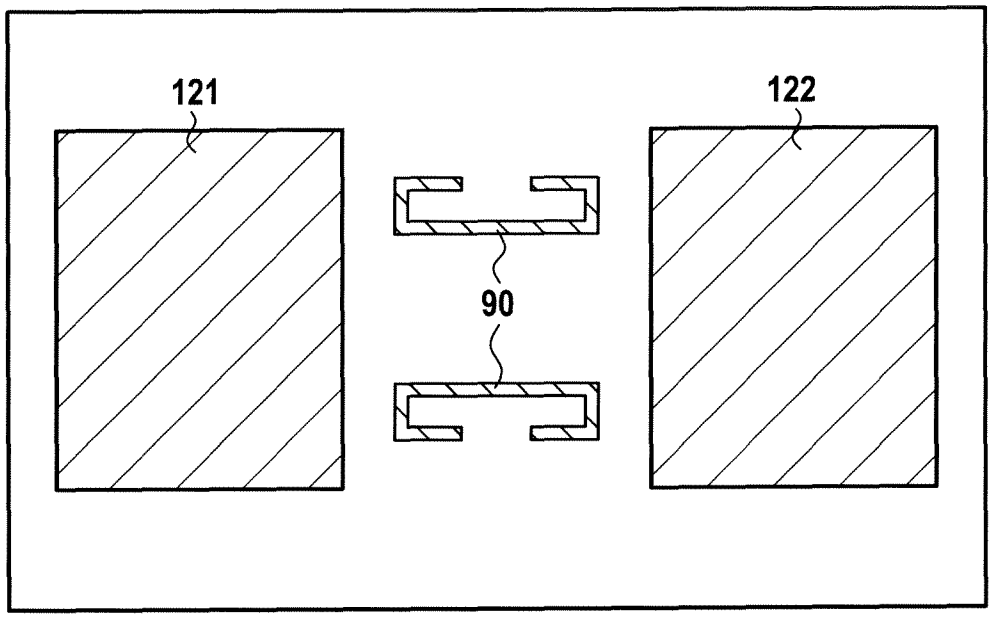


FIG.4

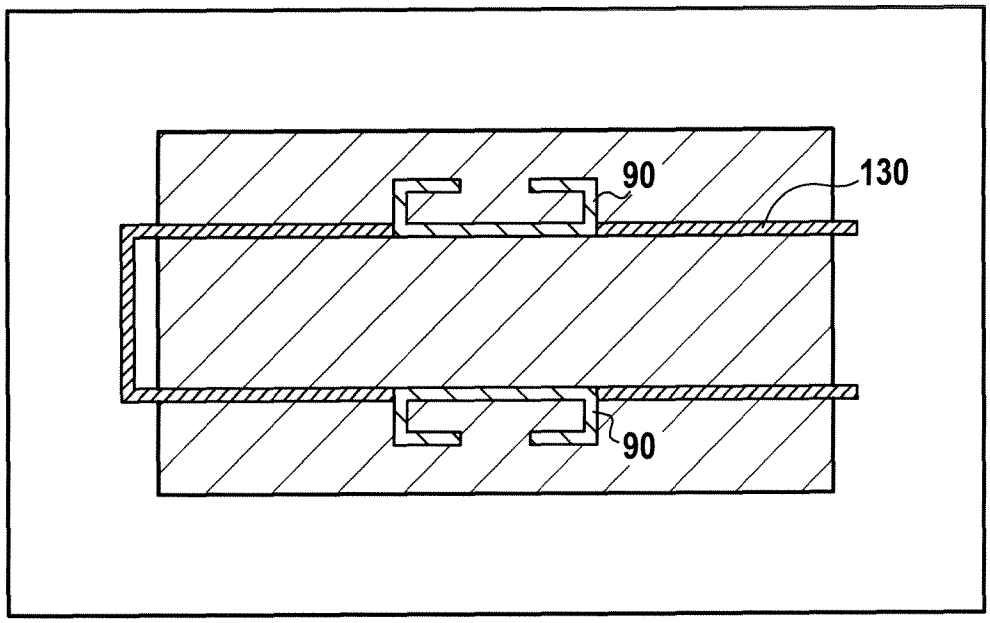


FIG.5