

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : 2 729 790  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)  
(21) N° d'enregistrement national : 95 00763  
(51) Int Cl<sup>6</sup> : H 01 L 43/10, 43/12, G 01 R 33/09//G 11 B 5/39

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 24.01.95.

(30) Priorité :

(71) Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L ENERGIE  
ATOMIQUE ETABLISSEMENT DE CARACT SCIENT TECH  
ET INDUST — FR.

(72) Inventeur(s) : DIENY BERNARD.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : 26.07.96 Bulletin 96/30.

(56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : Se reporter à la fin du présent fascicule.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(73) Titulaire(s) :

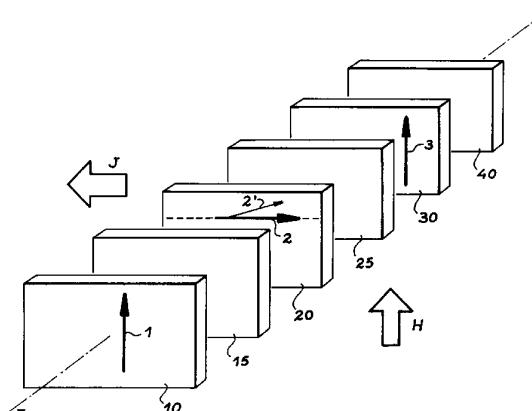
(74) Mandataire : BREVATOME.

(54) MAGNETORESISTANCE GEANTE, PROCEDE DE FABRICATION ET APPLICATION A UN CAPTEUR MAGNETIQUE.

(57) Magnétorésistance géante, procédé de fabrication et application à un capteur magnétique.

La magnétorésistance comporte trois couches ferromagnétiques (10, 20, 30) séparées par des couches non-magnétiques (15, 25). Une première couche ferromagnétique (10) présente une aimantation orientable par un courant de mesure, une seconde couche (20) présente une aimantation "libre" et une troisième couche (30) ferromagnétique présente une aimantation piégée.

Application à la fabrication de capteurs magnétiques.



FR 2 729 790 - A1



**MAGNETORESISTANCE GEANTE, PROCEDE DE FABRICATION ET  
APPLICATION A UN CAPTEUR MAGNETIQUE**

**DESCRIPTION**

**5    Domaine technique**

La présente invention concerne de façon générale des détecteurs de champ ou de flux magnétiques, et plus particulièrement les capteurs magnétorésistifs du type utilisé par exemple pour la 10 lecture d'informations inscrites sur un support magnétique. Elle concerne aussi les magnétorésistances qui constituent le composant sensible de ces capteurs. La magnétorésistance de l'invention, réalisée en couches minces selon des techniques de 15 microélectronique, est particulièrement adaptée à la mesure de champs magnétiques de quelques A/m à quelques milliers d'A/m. Elle peut aussi être utilisée dans la détermination du courant électrique circulant dans des conducteurs à partir du champ magnétique régnant au 20 voisinage de ces conducteurs, la réalisation de boussoles magnétorésistives ou encore de divers capteurs de position.

**Etat de la technique antérieure**

25    On sait que le fonctionnement des capteurs magnétorésistifs utilisés pour la détection de faibles champs magnétiques, notamment pour la lecture d'informations enregistrées sur un support magnétique, est fondé sur un effet communément appelé effet 30 d'anisotropie spontanée de la magnétorésistance. Cet effet, qui se manifeste dans les métaux de transition ferromagnétiques tels que le nickel, le cobalt et le fer, et leurs alliages, consiste en une variation de la résistivité du matériau magnétique en fonction de 35 l'angle entre la direction du courant de mesure

circulant dans l'élément magnétorésistif et l'aimantation du matériau. Pour une description plus détaillée de cet effet, on peut se reporter au document (1) référencé à la fin de la présente description. Le changement relatif de résistivité du matériau magnétique  $\Delta\rho/\rho$  peut atteindre 4 à 5% à température ambiante pour des champs de l'ordre de 1000 A/m dans les métaux de transition ferromagnétiques massifs. Cette amplitude est néanmoins réduite à 1 ou 10 2% lorsque les mêmes matériaux sont déposés en couches minces, de l'ordre de 15 à 30 nm d'épaisseur. Ce domaine d'épaisseur est celui utilisé dans les capteurs magnétorésistifs actuels réalisés selon des techniques de fabrication des composants en microélectronique. La 15 sensibilité de ces capteurs est donc limitée. Par ailleurs, leur réponse n'est pas linéaire du fait que la variation de résistivité est proportionnelle au carré du cosinus de l'angle entre la direction du courant et l'aimantation.

20 Un autre effet mis à profit dans des capteurs magnétique est connu sous les désignations "effet de magnétorésistance géante" ou "effet de vanne de spin" ("giant magnetoresistance" ou "spin valve effect"). Cet effet se produit dans des structures multicouches 25 formées d'une alternance de couches en métal de transition ferromagnétiques et de couches de métal non magnétique et est lié à un changement de l'orientation relative des aimantation des couches ferromagnétiques successives sous l'influence d'un champ magnétique 30 extérieur à mesurer ; cet effet se traduit par une modification de la résistivité de la structure. Les documents (2) et (3) référencés à la fin de la présente description exposent avec plus de détails ce phénomène.

35 Le document (4), également référencé à la fin de la présente description, décrit de façon très

générale l'application de cet effet de magnétorésistance à la réalisation de capteurs de champ magnétique. Il spécifie également que les matériaux employés, tels que le matériau magnétique et le 5 matériau non magnétique, doivent être choisis pour qu'une diffusion des électrons dépendante de leur spin se produise à l'interface entre le matériau magnétique et le matériau non magnétique.

Le document (5) décrit une structure de "vanne de spin" comportant dans l'ordre un substrat en silicium, une première couche ferromagnétique en NiFe, une couche non magnétique de cuivre, une deuxième couche ferromagnétique en NiFe et une couche antiferromagnétique de FeMn.

15 Cette structure vanne de spin comprend donc essentiellement deux couches ferromagnétiques non couplées magnétiquement et séparées par un métal non magnétique.

20 L'aimantation de la première couche magnétique, dite couche magnétique "libre", est libre de suivre le champ appliqué alors que l'aimantation de la seconde couche est piégée par anisotropie d'échange avec la couche antiferromagnétique. Ainsi, lorsque le champ appliqué varie, l'orientation relative des aimantations 25 des deux couches magnétiques change. Ceci entraîne aussi un changement de résistance de la structure qui peut être de quelques pour-cents à la température ambiante, dans des champs appliqués inférieurs à 1000 A/m.

30 La faible valeur de la variation de la résistance électrique, de l'ordre de 4%, est encore réduite lorsque la structure de vanne de spin est traversée par un courant de mesure, en raison d'une autopolarisation de l'aimantation de la couche "libre" 35 sous l'effet d'un champ magnétique créé par le courant

de mesure ; ce courant de mesure atteint des valeurs de l'ordre de  $10^7 \text{ A/cm}^2$ .

Ainsi, ce type de structure ne permet pas de réaliser une mesure avec une très bonne sensibilité.

On peut aussi noter (référence 5) que le champ magnétique à mesurer est appliqué parallèlement à l'axe facile d'aimantation de la couche magnétique "libre", cet axe étant lui-même parallèle à la direction de piégeage de la deuxième couche magnétique. Il en résulte une réponse quasiment en "marche d'escalier" de la résistance de la structure.

Le document (6) référencé à la fin de la présente description concerne un capteur magnétorésistif mettant également à profit l'effet de vanne de spin mais dans une structure à double vanne de spin. Cette structure comprend trois couches magnétiques séparées les unes des autres par un métal non magnétique. Les aimantations des deux couches ferromagnétiques extérieures sont maintenues fixes et parallèles entre elles par anisotropie d'échange avec des couches de matériau antiferromagnétique adjacentes qui leur sont respectivement associées. La couche magnétique centrale est formée d'un matériau magnétiquement doux et son aimantation est orientée sensiblement perpendiculairement à celle des deux couches externes, en l'absence de champ magnétique appliqué. Cette structure offre un effet de magnétorésistance avec une amplitude plus importante qu'une vanne de spin simple. Il n'est cependant pas facile de piéger par anisotropie d'échange, l'aimantation de la première couche magnétique.

Le matériau antiferromagnétique retenu dans le document (5) est un alliage FeMn, en raison de ses bonnes propriétés d'anisotropie d'échange. Ces propriétés ne se manifestent toutefois que si le FeMn

est dans sa phase cristallographique cubique, à faces centrées (cfc). Ainsi, il est nécessaire de prévoir une sous-couche de NiFe pour conférer à la couche de FeMn ses propriétés, et obtenir un bon piégeage de la 5 première couche ferromagnétique de la double vanne de spin. La nécessité d'obtenir une couche de FeMn dans sa phase cristallographique cfc complique donc la fabrication de telles structures. Par ailleurs, une partie du courant de mesure est dérivée dans la sous- 10 couche de NiFe qui ne contribue pas à l'effet de magnétorésistance et l'amplitude de la variation de la résistance sous l'effet d'un champ magnétique est réduite.

Un but de la présente invention est de proposer 15 une magnétorésistance qui ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Un autre but de la présente invention est de proposer une magnétorésistance de bonne sensibilité présentant une forte variation de la résistance sous 20 l'effet d'un champ magnétique extérieur appliqué.

Un autre but de la présente invention est de proposer une magnétorésistance dont le fonctionnement permet de s'affranchir de l'effet néfaste du phénomène d'autopolarisation créé par le courant de mesure dans 25 les couches ferromagnétiques des structures à vanne de spin.

Un but de la présente invention est aussi de proposer une magnétorésistance de réalisation simple et un capteur magnétorésistif de bonne sensibilité.

30

#### Exposé de l'invention

Pour atteindre ces buts, l'invention propose une magnétorésistance comportant un empilement d'une première, d'une deuxième et d'une troisième couche de 35 matériau ferromagnétique, la deuxième couche étant

séparée de la première et de la troisième couches respectivement par une première et une seconde couches de matériau conducteur électrique et non magnétique, et réalisée en un matériau doux présentant une aimantation 5 pouvant être modifiée par un champ magnétique extérieur, caractérisée en ce que l'une des première et troisième couches présente une aimantation piégée dans une direction dite de mesure tandis que l'autre couche présente une aimantation orientable dans ladite 10 direction de mesure sous l'effet d'un courant électrique de mesure traversant la magnétorésistance.

On entend par aimantation piégée une aimantation qui reste sensiblement constante dans toute la gamme de champs magnétiques que l'on cherche à 15 mesurer.

La structure proposée offre une amplitude de magnétorésistance significativement plus grande que les structures de vanne de spin ne comprenant que deux couches magnétiques. L'amplitude de la 20 magnétorésistance est de 50 à 100% plus élevée qu'avec une structure vanne de spin simple, par suite de la présence de trois couches magnétiques au lieu de deux. De plus, la deuxième couche magnétique, libre, se trouve dans cette structure approximativement au centre 25 de la nappe de courant qui circule à travers la magnétorésistance multicouche. De ce fait, le champ de polarisation créé par le courant de mesure est quasiment nul au niveau de cette couche, ce qui lui permet de conserver une susceptibilité élevée même en 30 présence d'une densité de courant importante.

Par ailleurs, par rapport à la structure de double vanne de spin décrite dans le document (6), la présente structure évite le dépôt d'une sous-couche de NiFe et d'une première couche de FeMn nécessaire au 35 piégeage d'une des couches externes de matériau

magnétique. Il en résulte une simplification de la fabrication. La suppression des sous-couches de NiFe et de FeMn permet aussi une plus grande amplitude de l'effet de magnétorésistance par suite de la 5 suppression de la dérivation du courant dans ces deux sous-couches qui ne participent pas à l'effet de magnétorésistance.

Selon un aspect de la présente invention, en 10 l'absence de champ magnétique extérieur, la deuxième couche peut présenter une aimantation sensiblement perpendiculaire à la direction de mesure, ce qui permet d'obtenir une réponse plus linéaire de la magnétorésistance à un champ magnétique à mesurer.

L'aimantation piégée de l'une des première et 15 troisième couches ferromagnétiques peut être obtenue en réalisant cette couche en un alliage à base de cobalt et de fer contenant des terres rares anisotropes qui lui confèrent une forte coercitivité et qui permettent ainsi de "bloquer" l'aimantation de cette couche dans 20 une direction souhaitée.

Une autre possibilité est d'ajouter à la couche ferromagnétique une couche de matériau antiferromagnétique, en contact avec cette dernière, pour en bloquer l'aimantation par anisotropie 25 d'échange.

Selon un autre aspect de l'invention, l'empilement peut comporter des couches intercalaires en un matériau comprenant du cobalt entre respectivement chaque couche ferromagnétique et chaque 30 couche non magnétique adjacente.

Ces couches de cobalt ou d'alliage comportant majoritairement du cobalt, permettent d'améliorer encore l'effet de magnétorésistance.

L'invention propose également un capteur équipé 35 d'une magnétorésistance telle que décrite.

Cette magnétorésistance peut être réalisée selon un procédé de fabrication dans lequel on forme un empilement en déposant successivement sur un substrat une première couche de matériau ferromagnétique 5 présentant une aimantation orientable sous l'effet d'un courant électrique, une couche de matériau conducteur non magnétique, une deuxième couche d'un matériau ferromagnétique doux, une deuxième couche de matériau conducteur non magnétique et une troisième couche de 10 matériau ferromagnétique avec une aimantation piégée, un champ magnétique étant appliqué sensiblement perpendiculairement à la direction de mesure lors du dépôt de la deuxième couche de matériau ferromagnétique doux afin de conférer à cette dernière un axe de facile 15 aimantation.

D'autres caractéristiques et avantages ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée à titre non limitatif et purement illustratif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

20

#### Brève description des figures

- la figure 1 est une vue éclatée des principales couches fonctionnelles d'une magnétorésistance conforme à l'invention,
- 25 - la figure 2 est une représentation schématique du champ magnétique créé par un courant de mesure dans la magnétorésistance,
- la figure 3 est une courbe représentant la variation de la tension aux bornes d'une 30 magnétorésistance conforme à l'invention en fonction du champ à mesurer,
- la figure 4 est une coupe schématique d'une magnétorésistance conforme à l'invention,

- la figure 5 est une coupe schématique d'une magnétorésistance conforme à l'invention et constituant une variante par rapport à la figure 4.

5 Exposé détaillé de modes de réalisation

Comme le montre la figure 1, la structure en multicoches de la magnétorésistance comprend essentiellement trois couches 10, 20, 30 à base de métaux de transition ferromagnétiques (tel que le fer, 10 le cobalt, le nickel ou leurs alliages) d'épaisseurs comprises entre quelques plans atomiques et environ une dizaine de nanomètres. Ces trois couches magnétiques sont séparées par deux couches 15, 25 de métal non magnétique, bon conducteur électrique, dont l'épaisseur 15 doit être suffisante pour que les aimantations des couches magnétiques soient faiblement couplées à travers ces couches séparatrices, mais néanmoins bien inférieure au libre parcours moyen des électrons à travers le métal non magnétique. La gamme d'épaisseurs 20 répondant à ces deux conditions s'étend d'environ 1,0 nm à 5 nm.

Les couches 15, 25 disposées respectivement entre les couches 10 et 20 d'une part et entre les couches 20 et 30 d'autre part sont de préférence en 25 cuivre, en argent ou en or. Ce choix n'exclut toutefois pas d'autres métaux bons conducteurs tels que l'aluminium ou le platine, par exemple.

La structure de la magnétorésistance et les matériaux qui seront détaillés plus loin sont choisis 30 de manière à présenter un effet de magnétorésistance géante. Cet effet se traduit, en l'occurrence, par un changement important de la résistivité lorsque l'orientation des couches change d'un état dit parallèle qui correspond à l'état où les couches 10, 20 et 30 présentent des aimantations parallèles entre 35

elles, à un étant dit antiparallèle où les aimantations des couches 10 et 30 sont parallèles, mais où l'aimantation de la couche 20 est sensiblement opposée à celle des couches 10 et 30.

5 L'aimantation de la couche 30 est piégée, c'est-à-dire bloquée dans la direction parallèle au champ à mesurer, ou direction de mesure. Le piégeage est assuré par un effet d'anisotropie d'échange avec une couche antiferromagnétique 40. La couche 40 est par 10 exemple une couche de FeMn antiferromagnétique ou une couche de TbCo ferrimagnétique déposée sur la couche 30. Le piégeage magnétique de la couche 30 peut aussi être obtenu par d'autres moyens décrits plus loin.

La couche 20 est une couche de matériau 15 magnétiquement doux dont la direction d'aimantation peut facilement être modifiée par le champ à mesurer appliqué à la magnétorésistance. Il s'agit par exemple d'une couche de Permalloy de composition Ni<sub>80</sub>Fe<sub>20</sub>.

Pour obtenir une réponse linéaire d'un capteur 20 incluant une magnétorésistance conforme à l'invention, l'aimantation de la couche 20 est préférentiellement alignée sensiblement perpendiculairement à la direction de mesure lorsqu'un champ extérieur nul est appliqué à la magnétorésistance. Cette direction privilégiée 25 d'orientation spontanée de l'aimantation de la couche 20 peut résulter d'effets d'anisotropie de forme de la magnétorésistance, où un axe de facile aimantation de la couche 20 est parallèle à la plus grande longueur de la magnétorésistance. On entend par axe de facile 30 aimantation un axe correspondant à la direction spontanée d'orientation de l'aimantation du matériau en champ nul.

La direction privilégiée peut aussi, comme 35 décrit plus loin, être imposée lors de la formation de la couche 20.

La couche 10, en un alliage à base de nickel, de fer et préférentiellement de cobalt, présente une aimantation qui n'est pas piégée en l'absence d'un courant circulant dans la magnétorésistance.

5 Par contre, lorsqu'un courant électrique, ici un courant de mesure, circule à travers la magnétorésistance, l'aimantation de la couche 10 s'oriente dans une direction sensiblement parallèle à l'aimantation de la couche 30, sous l'effet du champ  
10 magnétique créé par le courant électrique à l'intérieur de la magnétorésistance. Les flèches 1, 2 et 3 de la figure 1 montrent respectivement l'orientation des aimants des couches 10, 20 et 30 en l'absence de champ extérieur appliqué et en présence d'un courant de  
15 mesure J. La flèche 2' montre l'aimantation de la couche 20 modifiée en présence d'un champ H à mesurer.

La flèche 1 indique la polarisation de la couche 10 sous l'effet du courant de mesure J. Cet effet peut être mieux compris avec la figure 2, sur  
20 laquelle le rectangle 100 figure une section transversale de la magnétorésistance multicouche perpendiculairement à sa plus grande longueur, et partant, perpendiculairement au courant de mesure J. Le rectangle 100 représente également une nappe uniforme  
25 du courant de mesure J traversant la magnétorésistance.

Lorsque le courant électrique de mesure J circule à travers la magnétorésistance avec une densité de courant j typiquement de l'ordre de  $5 \cdot 10^6$  à  
30  $5 \cdot 10^7$  A/cm<sup>2</sup>, ce courant électrique génère un champ magnétique B à l'intérieur du capteur qui peut être important en comparaison de l'ordre de grandeur du champ H que l'on cherche à mesurer. Supposons en effet que la densité de courant soit uniforme dans le matériau (égale à j) de sorte que le courant forme une  
35 nappe uniforme 100 sur toute l'épaisseur de la

structure en multicoche. Le champ est alors nul dans le plan P médian, c'est-à-dire le plan parallèle aux surfaces extérieures et situé à la moitié de l'épaisseur de la structure multicoche, et augmente 5 linéairement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de ce plan P médian pour atteindre sa valeur maximale sur les surfaces latérales extérieures 100a et 100b de la magnétorésistance. En utilisant le théorème d'Ampère :

$$\oint_{C} \vec{H} \cdot d\vec{l} = I = \iint_S j dS, \text{ on montre que le champ magnétique créé}$$

10 par la nappe de courant à la côte z (la côte z=0 correspondant au plan médian) varie comme  $H(z)=jz$ . A titre d'exemple pour  $j=2.10^7 \text{ A/cm}^2$ ,  $H(z)=0,2z$  où z est exprimé en nanomètre et H(z) en kA/m. Ainsi, pour un système en multicoche d'épaisseur totale e=20nm, le

15 champ à la surface 100a ou 100b est de  $H\left(\pm\frac{e}{2}\right)=\pm2\text{kA/m}$ ,

comparable à un champ à mesurer de 1 à 2kA/m.

Comme la couche 20, dont l'emplacement est suggéré sur la figure 2, se trouve au voisinage du centre de la nappe de courant J s'écoulant à travers la 20 centre de la magnétorésistance, le champ magnétique créé par le courant de mesure sur cette couche magnétique centrale est nul ou très faible par rapport au champ que l'on cherche à mesurer. De ce fait, l'aimantation de la couche centrale 20 peut facilement suivre les 25 variations du champ extérieur appliqué à mesurer.

La couche 10 voisine de la surface 100b voit par contre un champ magnétique plus important créé par le courant de mesure. Ce champ agit sur l'aimantation de cette couche et l'oriente dans une direction 30 sensiblement parallèle à la direction de mesure.

Pour les valeurs usuelles du courant de mesure, le champ magnétique d'autopolarisation (H) est, par

contre, trop faible pour affecter la direction de l'aimantation de la couche piégée 30.

De toute façon, il est possible de choisir le sens de circulation du courant électrique ou la 5 direction initiale de piégeage de l'aimantation de la couche 30 de sorte que les aimantations des couches 10 et 30 soient sensiblement parallèles en présence d'un courant de mesure, par exemple, de l'ordre de  $2 \cdot 10^7 \text{ A/cm}^2$ , et en l'absence de champ extérieur.

10 La figure 3 illustre la variation de la tension aux bornes de la magnétorésistance en fonction du champ à mesurer. Les bornes 70, 72 sont visibles par exemple sur les figures 4 ou 5. Pour un champ H de l'ordre de 1 kA/m, les aimantations des trois couches magnétiques 15 10, 20, 30 sont parallèles. La résistivité de la magnétorésistance est alors minimale et il en résulte une tension  $V_{\min}$  minimale aux bornes. Pour un champ H de l'ordre de -1 kA/m, l'aimantation de la couche 20 devient opposée aux aimantations des couches 10 et 30 20 demeurent sensiblement parallèles entre elles. Lorsque la valeur du champ H augmente, la résistivité diminue de quelques pour-cent, ce qui conduit également à une diminution de la tension de l'ordre de 1 mV. Entre les deux limites  $V_{\max}$  et  $V_{\min}$ , la variation de la tension 25 est sensiblement linéaire. Une légère asymétrie par rapport au champ nul peut exister si un couplage magnétique entre la couche 20 et les couches 10 et 30 à travers les métaux non magnétiques des couches 15 et 25 subsiste. Il est connu qu'un tel couplage magnétique 30 existe pour de faibles épaisseurs de matériaux magnétiques. Mais, avec les matériaux des couches 15 et 25, en particulier le cuivre et l'argent déposés à basse température, ainsi que l'or, ce couplage diminue rapidement avec des épaisseurs de ces couches 35 supérieures à 2nm.

Les figures 4 et 5 illustrent de façon plus détaillée la structure de magnétorésistances conforme à l'invention selon deux variantes de mise en oeuvre. Ces figures donnent aussi un exemple de l'ordre de la formation des couches dans un procédé de fabrication de la magnétorésistance conforme à l'invention.

Des éléments identiques ou similaires des figures portent des références en correspondance.

Dans l'exemple de la figure 4, la magnétorésistance est formée sur un substrat 6 de silicium. Elle comporte, dans l'ordre à partir du substrat, successivement des couches dont la référence, la nature et l'épaisseur sont données à titre d'exemple dans le tableau I.

15

TABLEAU I

REFERENCE DE LA COUCHE	MATERIAU	EPATISSEUR EN μm
9	Ta	5
10	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub>	6
11	Co <sub>70</sub> Fe <sub>30</sub>	0,6
15	Ag	2,5
16	Co <sub>70</sub> Fe <sub>30</sub>	0,6
20	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub>	5
21	Co <sub>70</sub> Fe <sub>30</sub>	0,6
25	Ag	2,5
26	Co <sub>70</sub> Fe <sub>30</sub>	0,6
30	Ni <sub>80</sub> Fe <sub>20</sub>	4
40	Fe <sub>50</sub> Mn <sub>50</sub>	8
41	Ta	5

Les couches de la magnétorésistance peuvent être formées par pulvérisation cathodique par exemple.

Lorsque l'argent est utilisé pour la formation des couches 15 et 25, il est avantageux de refroidir le substrat à l'azote liquide, afin d'obtenir une bonne

structure de ces couches. On peut se reporter à ce sujet, par exemple, au document (7) référencé à la fin de la présente description. Comme déjà évoqué, les couches 15 et 25 peuvent aussi être réalisées en cuivre ou en or, ce qui dispense du refroidissement du substrat. Ces matériaux n'offrent cependant pas une aussi bonne stabilité thermique que l'argent au cours de recuits subséquents.

Conformément à l'invention, on applique un champ magnétique sensiblement perpendiculaire à la direction de mesure lors du dépôt de la couche 20. Ce champ magnétique d'une valeur de l'ordre de 800 à 8000 A/m (10 à 100 Oe), permet d'induire un axe de facile aimantation dans la couche "centrale" 20

Comme le montre la figure 4, la magnétorésistance a aussi une forme allongée, en forme de barreau par exemple, dont la longueur L est de préférence parallèle à cet axe de facile aimantation. Ainsi, un effet d'anisotropie de forme contribue également à l'orientation de l'aimantation de la couche magnétique 20 suivant son axe de facile aimantation. Dans les exemples des figures 4 ou 5, le courant de mesure circule suivant la grande longueur du barreau.

L'aimantation de la couche 30 peut être orientée et piégée perpendiculairement à l'axe de facile aimantation de la couche 20 en chauffant la structure jusqu'à une température juste au-dessus de la température de Néel de la couche 41 en Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>, c'est-à-dire à une température voisine de 200°C, puis en refroidissant la structure en appliquant un champ magnétique dans la direction de piégeage désirée, en l'occurrence sensiblement parallèlement à la direction de mesure. On rappelle que la température de Néel est la température en-dessous de laquelle les spins d'un

matériau antiferromagnétique sont ordonnés en un arrangement antiparallèle.

A titre d'illustration, on peut se reporter au document (8) référencé à la fin de la présente  
5 description.

Selon une variante de mise en oeuvre de l'invention correspondant à la figure 5, la magnétorésistance ne comporte pas de couche antiferromagnétique 40. A l'exception de la couche 40,  
10 la structure de la magnétorésistance est donc similaire à celle de la figure 4. Toutefois, la couche 30' correspondant à la couche 30 de la figure 4, est une couche en un matériau fortement coercitif pour laquelle l'aimantation est insensible à tout champ extérieur inférieur à une dizaine de kA/m. La couche 15 30' est par exemple un alliage de fer et de cobalt avec une adjonction de terres rares anisotropes choisies parmi le samarium, le néodyme, le terbium et le dysprosium.

20 Les couches 11, 16, 21 et 26 dont la présence est certes facultative, constituent néanmoins un perfectionnement intéressant de l'invention. Ces couches de cobalt ou d'alliage  $Co_{1-x}Fe_x$  avec  $0 \leq x \leq 0,3$ , d'une épaisseur de 0,2 à 1 nm permettent en effet  
25 d'augmenter notablement l'amplitude de l'effet de magnétorésistance géante sans pour autant trop augmenter le champ de saturation ou l'hystérésis de la couche 20.

un autre perfectionnement de l'invention  
30 consiste à remplacer le matériau des couches 10 et 30 par du cobalt ou par des alliages riches en cobalt tels que  $Co_{70}Fe_{30}$ . La couche 20 reste toutefois en un matériau magnétiquement doux.

Une magnétorésistance telle que décrite ci-dessus peut être utilisée dans la fabrication d'un  
35

capteur magnétorésistif. Dans ce cas des connexions 70, 72, schématiquement représentées à la figure 4 peuvent être disposées aux extrémités de la magnétorésistance, prise dans le sens de sa longueur. Les connexions 5 permettent de la relier à un circuit de mesure non représenté.

Un courant de mesure de l'ordre de  $2.10^7 \text{ A/cm}^2$  permet de créer au niveau de la couche 10 un champ de l'ordre de 1600 A/m (20 Oe) suffisant pour orienter 10 l'aimantation de la couche 10 sensiblement perpendiculairement à celle de la couche 20. Le sens du courant de mesure dans le capteur est alors choisi pour que les aimantations des couches 10 et 30 soient parallèles et non pas antiparallèles.

15            DOCUMENTS CITES DANS LA PRESENTE DEMANDE

(1)

D.A. Thompson et al., IEEE Trans. Mag. Mag-11, p. 1039 (1975).

20            (2)

IEEE Translation Journal on magnetics in japan, vol. 7, N°9, September 1992 "Magnetoresistance of multilayers" de H. Yamamoto and T. Shinjo, pp. 674-684

25            (3)

B. DIENY, Journal of Magnetism and magnetic Materials 136 (1994), pages 335-359.

(4)

30            US-A-4 949 039

(5)

Physical review B, vol. 43, N°1, 1 January 1991 "Giant magnetoresistance in soft ferromagnetic 35 multilayers de B. Dieny et al, pp. 1297-1300.

(6)

US-A-5 287 238

(7)

5 FR-A-2 698 965

(8)

US-A- 625 343

**REVENDICATIONS**

1. Magnétorésistance comportant un empilement d'une première (10), d'une deuxième (20) et d'une troisième (30) couches de matériau ferromagnétique, la 5 deuxième couche (20) étant séparée de la première (10) et de la troisième (30) couches respectivement par une première (15) et une seconde (25) couches de matériau conducteur électrique et non magnétique, ladite deuxième couche étant réalisée en un matériau doux 10 présentant une aimantation pouvant être modifiée par un champ magnétique ( $H$ ) extérieur, caractérisée en ce que l'une des première (10) et troisième (30) couches présente une aimantation piégée dans une direction dite de mesure tandis que l'autre couche présente une 15 aimantation orientable dans ladite direction de mesure sous l'effet d'un courant électrique de mesure ( $J$ ) traversant la magnétorésistance.
2. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'en l'absence de champ magnétique 20 extérieur, la deuxième couche (20) présente une aimantation sensiblement perpendiculaire à la direction de mesure.
3. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce que le matériau non magnétique est 25 choisi parmi le cuivre, l'argent et l'or.
4. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce que les couches (15, 25) de matériau non magnétique présentent une épaisseur comprise entre 1,0nm et 5nm.
- 30 5. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce que la couche présentant une aimantation piégée (30) est réalisée en un alliage à forte coercitivité à base de cobalt et de fer contenant des terres rares anisotropes.

6. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'empilement comporte en outre une couche de matériau antiferromagnétique (40) en contact avec la couche présentant une aimantation piégée (30) pour en bloquer l'aimantation.

7. Magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisée en ce que l'empilement comporte des couches intercalaires (11, 16, 21, 26) en un matériau comprenant du cobalt entre respectivement entre chaque couche ferromagnétique (10, 20, 30) et chaque couche non magnétique (15, 25) adjacente.

8. Magnétorésistance selon la revendication 7, caractérisée en ce que les couches intercalaires (11, 16, 21, 26) sont en un alliage  $\text{Co}_{(1-x)}\text{Fe}_x$  où  $0 \leq x \leq 0,3$ .

9. Application de la magnétorésistance conforme à l'une quelconque des revendications précédentes à un capteur de mesure de champ magnétique.

10. Procédé de fabrication d'une magnétorésistance selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on forme un empilement en déposant successivement sur un substrat une première couche (10) de matériau ferromagnétique présentant une aimantation orientable sous l'effet d'un courant électrique, une couche de matériau conducteur non magnétique (15), une deuxième couche d'un matériau ferromagnétique doux (20), une deuxième couche de matériau conducteur non magnétique (25) et une troisième couche de matériau ferromagnétique (30) avec une aimantation piégée, un champ magnétique étant appliqué sensiblement perpendiculairement à la direction de mesure lors du dépôt de la deuxième couche (20) de matériau ferromagnétique doux afin de conférer à cette dernière un axe de facile aimantation.

11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'on dépose les couches par pulvérisation cathodique.

12. Procédé selon la revendication 10,  
5 caractérisé en ce qu'on dépose une couche (40) d'alliage antiferromagnétique Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub> sur la troisième couche (30) ferromagnétique, on chauffe l'empilement à une température supérieure à la température de Néel de la couche antiferromagnétique et on refroidit  
10 l'empilement en appliquant un champ magnétique parallèlement à la direction de mesure.

13. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'avant le dépôt de la première couche de matériau ferromagnétique (10) sur le  
15 substrat, on forme sur le substrat une couche de tantale (9).

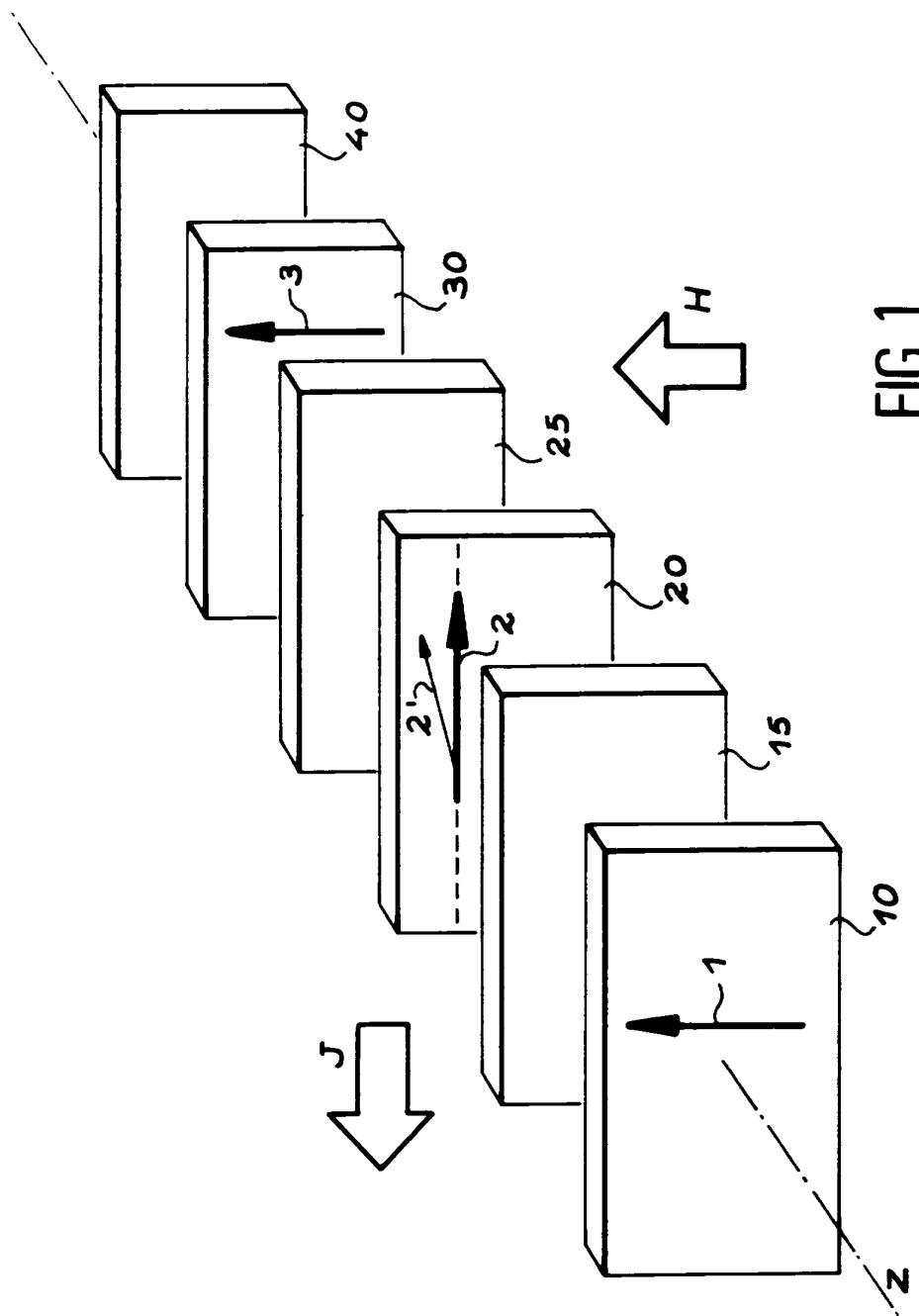


FIG. 1

FIG. 2

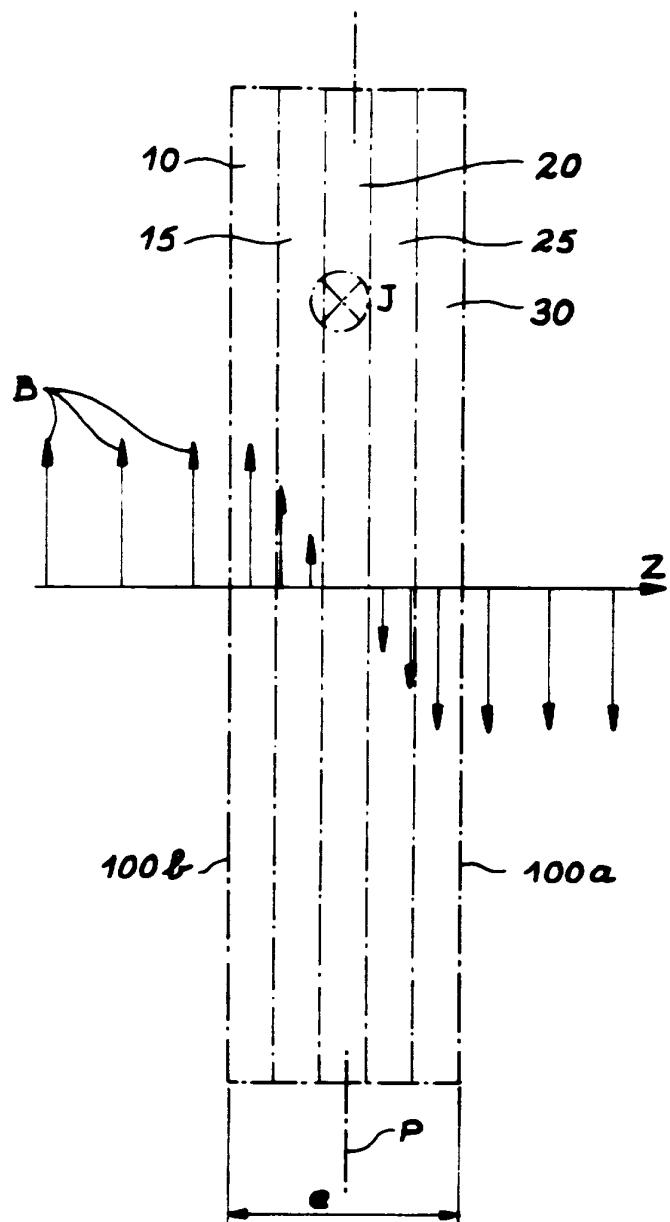
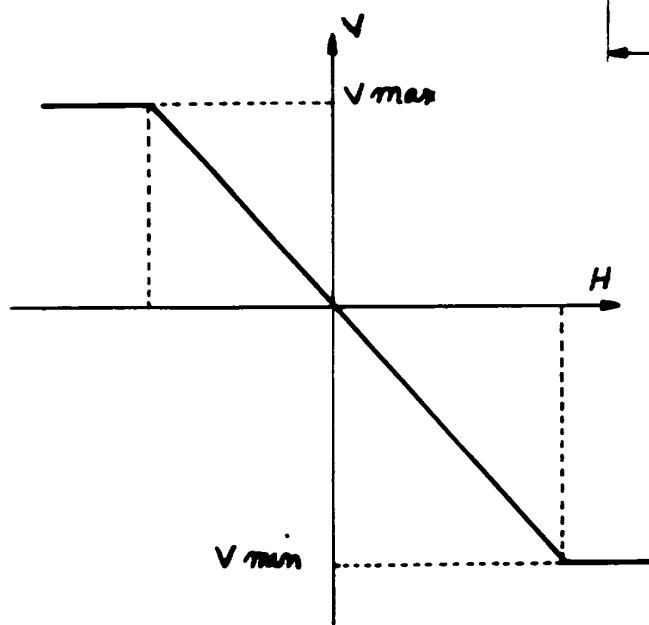


FIG. 3



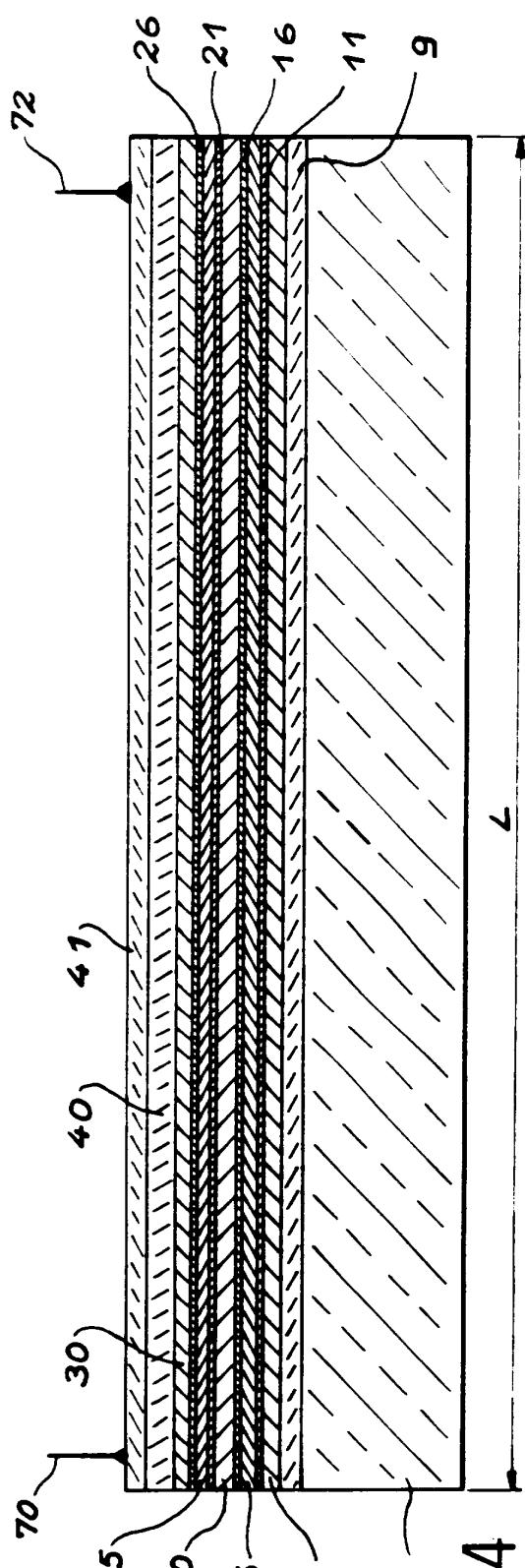


FIG. 4

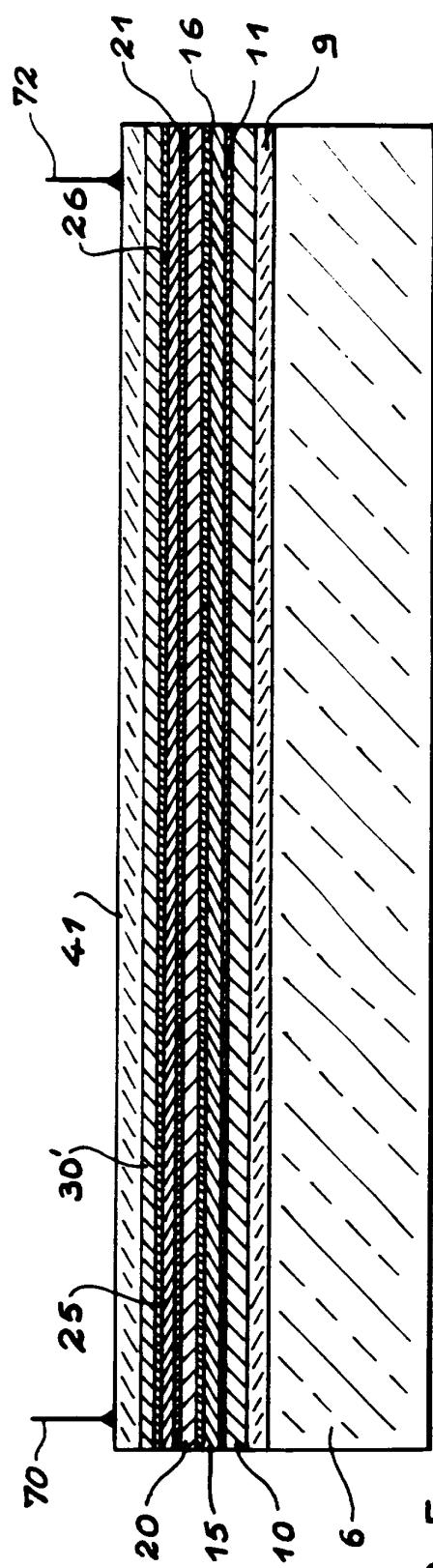


FIG. 5

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL  
de la  
PROPRIETE INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE  
PRELIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

2729790

N° d'enregistrement  
nationalFA 510764  
FR 9500763

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	EP-A-0 628 835 (IBM) 14 Décembre 1994 * le document en entier * ---	1-3,6,9
D,A	US-A-5 287 238 (BAUMGART PETER M ET AL) 15 Février 1994 * le document en entier * ---	1-4,6-9, 13
A	DE-A-43 12 040 (HITACHI LTD) 14 Octobre 1993 * page 2, ligne 57 - page 3, ligne 16 * -----	1-6,9,10
<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.)</b>		
H01L G11B G01R		
1	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
	18 Septembre 1995	De Laere, A
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b> X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		
T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant		