

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 12.10.01.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 18.04.03 Bulletin 03/16.

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

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement de caractère scientifique techni-
que et industriel — FR.

⑦② Inventeur(s) : DIENY BERNARD, RODMACQ BER-
NARD et ERNULT FRANCK.

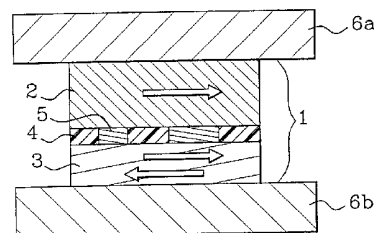
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : BREVATOME.

⑤④ DISPOSITIF MAGNETORESISTIF A VANNE DE SPIN A PERFORMANCES AMELIOREES.

⑤⑦ Il s'agit d'un dispositif magnétorésistif à vanne de spin (1) formée d'un empilement de couches parmi lesquelles au moins deux couches magnétiques (2, 3) dont l'orientation relative de leurs directions d'aimantation peut varier sous l'influence d'un champ magnétique, comportant des moyens (6a, 6b) pour faire circuler un courant dans la vanne de spin transversalement au plan des couches. La vanne de spin (1) comporte au sein de l'empilement au moins une couche diélectrique ou semi-conductrice (4) discontinue avec des ponts (5) électriquement conducteurs qui traversent l'épaisseur de la couche diélectrique ou semi-conductrice, ces derniers (5) étant destinés à concentrer localement le courant qui circule transversalement dans l'empilement.

Application notamment aux têtes magnétiques de lecture, aux mémoires à accès aléatoire.



**DISPOSITIF MAGNETORESISTIF A VANNE DE SPIN A
PERFORMANCES AMELIOREES
DESCRIPTION**

DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention est relative à un
dispositif magnétorésistif à vanne de spin. Ce
dispositif peut trouver son application dans le domaine
de l'enregistrement magnétique ultra-haute densité, en
tant qu'élément sensible dans les têtes de lecture
10 magnétorésistives de bandes magnétiques ou de disques
durs d'ordinateurs. Ce dispositif peut aussi trouver
son application dans la réalisation de points mémoire
et de mémoire de type MRAM (pour « Magnetic Random
Access Memory » ou mémoire magnétique à accès
15 aléatoire).

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Dans le domaine des têtes magnétiques de
lecture ainsi que dans celui des mémoires magnétiques à
20 accès aléatoire, on utilise depuis peu des dispositifs
magnétorésistifs à vanne de spin qui ont une vanne de
spin formée d'un empilement de couches avec une couche
séparatrice en sandwich entre deux couches magnétiques.
L'orientation relative des directions d'aimantation de
25 ces couches peut varier sous l'influence d'un champ
magnétique. Dans certains dispositifs, les deux couches
magnétiques ont une direction d'aimantation libre. On
utilise alors les deux positions extrêmes où les deux
directions d'aimantation sont soit parallèles, soit
30 antiparallèles mais aussi toutes les positions
intermédiaires. Dans d'autres dispositifs, l'une des

couches magnétiques est libre et l'autre est dite piégée. La direction de son aimantation est fixée par une couche d'échange antiferromagnétique. Le brevet américain US 5 898 548 illustre une telle
5 configuration, la couche séparatrice est une fine barrière diélectrique formant une jonction tunnel.

Des moyens pour faire circuler un courant perpendiculaire au plan des couches sont adjoints à la vanne de spin. Ils prennent la forme d'électrodes au
10 sommet et à la base de la vanne de spin.

Il existe également des dispositifs dans lesquels le courant circule perpendiculairement au plan des couches, et qui ont leur vanne de spin entièrement métallique avec une couche métallique 10 continue en
15 sandwich entre deux couches magnétiques 20, 30 comme dans le brevet américain US 5 668 688. Un tel dispositif est illustré sur la figure 1. La couche magnétique libre 30 et la couche magnétique piégée 20 sont séparées par une couche séparatrice 10 continue
20 qui est électriquement conductrice et amagnétique pour assurer un découplage entre les deux couches magnétiques 20, 30. De part et d'autre des couches magnétiques 20, 30, ont été représentées des électrodes d'amenée de courant 60a, 60b.

25 Dans cet exemple, la couche magnétique piégée 20 est associée à une couche antiferromagnétique 21 qui contribue à maintenir fixe son aimantation. Elle est située entre la couche magnétique piégée 20 et l'électrode 60a associée. La couche magnétique libre 30
30 est associée à une couche tampon 31 (connue pour la dénomination de "buffer layer" en anglais) qui

contribue à promouvoir la croissance de toutes les couches constitutives de la vanne de spin.

Ces derniers dispositifs sont souvent appelés dispositifs GMR (pour Giant MagnetoResistance en anglais) ou dispositifs à magnétorésistance géante.

Ces dispositifs magnétorésistifs à vanne de spin, à jonction tunnel ou à vanne de spin entièrement métallique à circulation de courant perpendiculairement au plan des couches, permettent d'augmenter la résolution spatiale de la tête magnétique le long des pistes.

Mais au point de vue de la sensibilité, ces dispositifs n'offrent pas toute satisfaction.

En effet, les dispositifs à jonction tunnel présentent un niveau de résistance trop élevé qui donne naissance à un bruit de grenaille important. Pour que le bruit de grenaille ait un niveau acceptable, il faudrait que le produit RA soit abaissé en dessous de $5 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$, ce produit RA est le produit de la résistance de la jonction par sa surface.

La résistance de la vanne de spin varie exponentiellement avec l'épaisseur de la barrière diélectrique. Pour obtenir une vanne de spin qui offre un produit RA atteignant $10 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$, il faut que l'épaisseur de sa barrière ne soit que de 0,5 nm ce qui est très faible. De plus, l'amplitude de la magnétorésistance de tels dispositifs avec barrière diélectrique décroît lorsqu'on essaye d'abaisser le produit RA en dessous d'environ $10 \Omega \cdot \mu\text{m}^2$. Ce n'est donc pas souhaitable.

Quant aux dispositifs magnétorésistifs à vanne de spin entièrement métallique, ils offrent un produit RA qui est très faible de l'ordre de 1 à 5 m Ω . μ m². Les surfaces de telles vannes de spin sont de l'ordre de quelques millièmes à quelques centièmes de micromètres carrés, pour des densités d'information à lire de l'ordre de 150 à 300 Gbit/pouce², ce qui conduit à des résistances de l'ordre de quelques dixièmes d'ohms. Ces valeurs sont trop faibles comparativement aux résistances de contact avec les électrodes d'amenée de courant, aux résistances des électrodes elles-mêmes. Les résistances des électrodes et des contacts sont en série avec celle de la vanne de spin, ce qui a pour effet de diluer le signal que l'on cherche à détecter.

Dans les mémoires à accès aléatoire, la résistance élevée de la jonction tunnel a comme inconvénient de conduire à une constante de temps élevée de la mémoire ce qui limite sa fréquence de fonctionnement.

20

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention vise à réaliser un dispositif magnétorésistif à vanne de spin qui ne présente pas les inconvénients cités précédemment. Plus précisément, on cherche à réaliser un dispositif magnétorésistif à vanne de spin possédant une amplitude de magnétorésistance élevée tout en comportant un produit RA intermédiaire par rapport à ceux de l'art antérieur.

Pour y parvenir le dispositif magnétorésistif comporte une vanne de spin formée d'un empilement de

couches parmi lesquelles au moins deux couches magnétiques dont l'orientation relative de leurs directions d'aimantation peut varier sous l'influence d'un champ magnétique, et des moyens pour faire
5 circuler un courant dans la vanne de spin transversalement au plan des couches. La vanne de spin comporte au sein de l'empilement au moins une couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue avec des ponts électriquement conducteurs qui traversent
10 l'épaisseur de la couche diélectrique ou semi-conductrice, ces derniers étant destinés à concentrer localement le courant qui circule transversalement dans l'empilement.

On place la couche diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs
15 le plus près possible d'une couche magnétique et, de préférence, elle se trouve entre les deux couches magnétiques.

Selon une variante, elle peut se situer dans
20 l'une des couches magnétiques.

Dans cette version, les ponts peuvent être réalisés dans le matériau magnétique de la couche accueillant la couche diélectrique ou semi-conductrice.

Une couche séparatrice continue électriquement
25 conductrice, amagnétique peut être insérée entre la couche diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs et l'une au moins des couches magnétiques. Elle assure un découplage magnétique entre les deux couches magnétiques.

30 Les ponts électriquement conducteurs peuvent être réalisés dans un matériau amagnétique choisi parmi

les métaux nobles tels que l'or, l'argent, le cuivre ou leurs alliages.

Dans une variante, ils peuvent être réalisés dans un matériau magnétique tel que le cobalt, le fer,
5 le nickel ou leurs alliages.

Quant au matériau diélectrique ou semi-conducteur de la couche discontinue, il peut être magnétique ou amagnétique. Ce n'est pas une jonction tunnel. Son rôle est de dévier le courant qui circule
10 dans l'empilement pour qu'il se concentre au niveau des ponts.

L'une des couches magnétiques peut avoir sa direction d'aimantation fixée par association d'une couche antiferromagnétique disposée au-delà de la
15 couche magnétique à direction d'aimantation fixe par rapport à la couche diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs.

Au moins l'une des couches magnétiques peut être formée d'un empilement de couches intermédiaires.

20 Notamment, la couche magnétique à direction d'aimantation fixe peut être formée d'une couche intermédiaire électriquement conductrice amagnétique encadrée par deux couches intermédiaires magnétiques.

La couche diélectrique ou semi-conductrice
25 discontinue peut être réalisée à base d'oxyde, de nitrure, de semi-conducteur.

Les moyens pour faire circuler un courant électrique peuvent comporter deux électrodes qui prennent en sandwich la vanne de spin.

30 Au moins une couche tampon peut être insérée entre l'une des électrodes et la vanne de spin.

La vanne de spin peut être simple ou duale.

La présente invention concerne aussi une tête magnétique de lecture qui comporte un dispositif magnétorésistif ainsi défini.

5 La présente invention concerne aussi une mémoire comprenant une matrice de points mémoire, chacun des points mémoire comportant un dispositif magnétorésistif ainsi défini.

10 La présente invention concerne aussi un procédé de réalisation d'un dispositif magnétorésistif à vanne de spin. Il comporte les étapes suivantes :

 réalisation, pour faire la vanne de spin, d'un empilement de couches parmi lesquelles au moins deux couches magnétiques dont l'orientation relative de leur
15 direction d'aimantation peut varier peut sous l'effet d'un champ magnétique,

 réalisation de moyens pour faire circuler un courant dans la vanne de spin transversalement au plan des couches,

20 réalisation au sein de l'empilement d'au moins une couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue avec des ponts électriquement conducteurs traversant l'épaisseur de la couche, ces derniers étant destinés à concentrer localement le courant qui circule
25 transversalement dans l'empilement.

 La couche diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs peut être réalisée par dépôt d'une couche mince de matériau diélectrique ou semi-conducteur incluant des particules métalliques.
30 Ces particules métalliques se regroupent pour former les ponts.

Dans une variante, la couche diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs peut être réalisée en traitant localement une couche électriquement conductrice se trouvant dans
5 l'empilement pour la rendre diélectrique ou semi-conductrice. Le traitement peut avoir lieu en cours de dépôt ou en fin de dépôt de la couche électriquement conductrice.

Dans une autre variante, la couche diélectrique
10 ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs peut être réalisée en plaçant une couche d'isolant ayant des discontinuités entre deux couches électriquement conductrices de l'empilement et en faisant diffuser le matériau électriquement conducteur
15 à travers les discontinuités de la couche d'isolant. Les discontinuités peuvent exister naturellement dans la couche d'isolant ou bien être créées artificiellement dans la couche d'isolant.

Dans une autre variante, la couche diélectrique
20 ou semi-conductrice avec les ponts électriquement conducteurs peut être réalisée en utilisant un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité, tel que l'argent, de manière à obtenir, lorsqu'il est déposé, une pluralité de gouttes réalisant les ponts,
25 en déposant au-dessus un matériau électriquement conducteur, tel que l'aluminium, non miscible avec les gouttes de manière à combler les espaces entre les gouttes, et en effectuant un traitement du matériau électriquement conducteur situé entre les gouttes pour
30 le rendre diélectrique ou semi-conducteur.

L'épaisseur du matériau électriquement conducteur est légèrement inférieure à celle des gouttes pour obtenir les ponts traversants.

Le matériau électriquement conducteur
5 conduisant à la couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue peut être déposé sur une des couches de l'empilement, un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité conduisant à une pluralité de gouttes étant déposé au-dessus, un traitement étant
10 effectué pour rendre diélectrique ou semi-conducteur le matériau électriquement conducteur situé entre les gouttes.

Un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité et un matériau électriquement conducteur
15 non miscibles peuvent être déposés en même temps sur une couche de l'empilement, et traités de manière à rendre diélectrique ou semi-conducteur le matériau électriquement conducteur.

Un matériau électriquement conducteur à faible
20 mouillabilité conduisant à une pluralité de gouttes peut être déposé sur une des couches de l'empilement, cette couche de l'empilement étant traitée de manière à la rendre diélectrique ou semi-conducteur en surface et à assurer sa coopération avec les gouttes.

25 Le traitement peut être une oxydation ou une nitruration.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la
30 lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement

limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 (déjà décrite) représente en coupe un dispositif magnétorésistif de l'art connu ;
- 5 - la figure 2 représente en coupe un dispositif magnétorésistif selon l'invention à vanne de spin simple;
- la figure 3 représente, en vue d'expliquer son fonctionnement, une partie du dispositif
- 10 magnétorésistif de la figure 2 ;
- la figure 4 représente en coupe un autre exemple d'un dispositif magnétorésistif selon l'invention ;
- les figures 5A, 5B, 5C représentent encore
- 15 d'autres exemples de dispositifs magnétorésistifs selon l'invention ;
- les figures 6 à 8 montrent plusieurs variantes de dispositifs magnétorésistifs selon l'invention à vanne de spin duale ;
- 20 - la figure 9 représente une tête magnétique de lecture incluant un dispositif magnétorésistif selon l'invention ;
- la figure 10 représente une mémoire dont les points mémoire comportent chacun un dispositif
- 25 magnétorésistif selon l'invention ;
- les figures 11A à 11C illustrent des réalisations de couches diélectriques discontinues avec des ponts électriquement conducteurs qui les traversent.
- 30 Sur ces figures, les divers éléments ne sont pas représentés à l'échelle dans un souci de clarté.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

La figure 2 représente un exemple de dispositif magnétorésistif à vanne de spin selon l'invention dans une configuration de base. Comme nous l'avons vu précédemment une vanne de spin à courant perpendiculaire comporte au moins deux couches magnétiques dont l'orientation relative de leurs directions d'aimantation est susceptible de varier sous l'effet d'un champ magnétique. Au moins l'une des couches magnétiques a une direction d'aimantation libre. Pour simplifier schémas et descriptions, les exemples présentés dans la suite concernent une structure dont l'une des couches magnétiques a sa direction d'aimantation libre et dont l'autre a sa direction d'aimantation fixe. Les deux couches magnétiques auraient pu avoir leurs directions d'aimantation libres et l'adaptation de l'une des structures à l'autre se fait aisément.

Le dispositif de la figure 2 comporte une vanne de spin 1 qui est un empilement de couches avec des couches magnétiques 2, 3 parmi lesquelles au moins une couche magnétique 2 dite piégée et au moins une couche magnétique 3 dite libre et au sein de l'empilement 1, au moins une couche diélectrique ou semi-conductrice 4, traversée par des ponts 5 électriquement conducteurs, orientés transversalement au plan des couches magnétiques 2, 3. Il est préférable que la couche 4 diélectrique ou semi-conductrice qui est discontinue à cause de la présence des ponts 5, se situe à l'interface entre les deux couches magnétiques 2, 3.

L'aimantation de la couche magnétique dite piégée 2 (une seule flèche) a une direction fixe. L'aimantation de la couche magnétique dite libre 3 (deux flèches opposées) peut s'orienter librement dans un champ magnétique dans lequel elle est plongée et que l'on cherche à détecter dans l'application des têtes magnétiques de lecture. La variation relative d'orientation de la direction d'aimantation des deux couches magnétiques 2, 3 conduit à un changement de résistance électrique de la vanne de spin. Le dispositif magnétorésistif comporte de plus des moyens 6a, 6b pour faire circuler un courant électrique dans la vanne de spin, au travers de l'empilement 1, ces moyens pouvant comprendre deux électrodes 6a, 6b qui bornent la vanne de spin 1. Les électrodes 6a, 6b servent aussi de prise de tension pour une mesure de la variation de résistance. Les couches magnétiques 2, 3 sont alors conductrices de l'électricité.

Les ponts conducteurs 5 associés à la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 ont une fonction de concentration du courant circulant dans l'empilement 1. Ils connectent électriquement les deux couches magnétiques 2, 3. Ils conservent, sur la durée de la traversée, le spin des électrons qui les empruntent. La longueur de diffusion de spin est supérieure à la distance séparant les deux couches.

La couche diélectrique ou semi-conductrice 4 discontinue a pour principal rôle d'assurer une isolation électrique localisée entre les deux couches magnétiques 2, 3 qui sont électriquement conductrices. Elle peut également avoir un rôle d'isolation

magnétique entre les deux couches magnétiques 2, 3 et dans ce cas est amagnétique. Son épaisseur peut être de l'ordre de 0,2 à 5 nm.

Le principe de l'obtention d'une forte valeur
5 de résistance tout en conservant une forte amplitude de magnétorésistance par rapport aux dispositifs de l'art antérieur, est illustré sur la figure 3 qui montre un détail partiel de la vanne de spin du dispositif représenté à la figure 2.

10 Sur la figure 4 à laquelle, on va également se référer, on a représenté un exemple de dispositif selon l'invention qui va servir à faire une comparaison avec celui classique de la figure 1. Comme sur la figure 1, ont été ajoutées sur la figure 4 une couche tampon 7 et
15 une couche antiferromagnétique 8. La couche tampon 7 peut être réalisée en tantale ou en alliage NiFeCr par exemple. La couche antiferromagnétique peut être réalisée à base de manganèse par exemple à base PtMn, PdPtMn, PtMnCr, IrMn, FeMn, NiMn, RuRhMn.

20 Le courant qui circule perpendiculairement aux couches magnétiques 2, 3 se concentre au niveau des ponts électriquement conducteurs 5. Ces ponts 5 dont la taille est petite, peuvent être assimilés à des puits et des sources ponctuelles de courant. Ces ponts 5
25 peuvent avoir quelques nanomètres de diamètre si la vanne de spin a une surface de quelques centièmes de μm^2 . Les lignes de courant qui prennent naissance dans les couches magnétiques 2, 3 et au travers des ponts 5 conducteurs sont représentées en traits pleins.

30 Dans les couches magnétiques 2, 3 les lignes isopotentiellles, illustrées par les traits pointillés,

prennent la forme de demi-sphères concentriques dont l'équateur se trouve au niveau de la couche 4 diélectrique ou semi-conductrice traversée par les ponts 5 électriquement conducteurs.

5 Si le courant circulant dans la vanne de spin vaut I , la densité de courant à une distance r d'une première extrémité 5-1 d'un des ponts 5 est :

$$J = I/2\pi.r^2$$

et le champ électrique local vaut :

10 $E = \rho_F.J$

$E = \rho_F.I/2\pi.r^2$ avec ρ_F résistivité du matériau magnétique de la couche magnétique 2 jouxtant la première extrémité 5-1 du pont 5.

La différence de potentiel entre une partie
15 très éloignée de la première extrémité 5-1 du pont 5, par exemple l'électrode 6a qui se trouve au-delà de la couche magnétique 2 qui jouxte la première extrémité 5-1 du pont 5, vaut :

$V_\infty - V_{5-1} = \rho_F.I/2\pi.R$ avec R rayon du pont 5 qui
20 est supposé, dans l'exemple, cylindrique.

A l'intérieur du pont 5, les lignes de courant sont parallèles à l'axe du cylindre. La différence de potentiel entre les deux extrémités 5-1, 5-2 du pont 5 est donnée par :

25 $V_{5-1} - V_{5-2} = \rho_P.h.I/\pi.R^2$ avec ρ_P résistivité du pont 5 et h hauteur du pont 5.

De la même manière entre la seconde extrémité 5-2 du pont 5 et une partie très éloignée de cette extrémité, par exemple l'électrode 6b qui se trouve au-
30 delà de la couche magnétique 3 qui jouxte la seconde

extrémité 5-2 du pont 5, la différence de potentielle est donnée par :

$V_{5-2} - V_{\infty} = \rho_F \cdot I / 2\pi \cdot R$ avec ρ_F résistivité du matériau magnétique de la couche magnétique 3 jouxtant la seconde extrémité 5-2 du pont 5.

La différence de potentiel entre les deux électrodes 6a, 6b qui encadrent la vanne de spin est donnée par :

$$V_{\infty} - V_{\infty} = (\rho_F \cdot I / 2\pi \cdot R) + (\rho_P \cdot h \cdot I / \pi \cdot R^2) + (\rho_F \cdot I / 2\pi \cdot R)$$

La résistance entre les deux électrodes 6a, 6b est donnée par :

$$R_{CPP} = (V_{\infty} - V_{\infty}) / I$$

$$R_{CPP} = (\rho_F / 2\pi \cdot R) + (\rho_P \cdot h / \pi \cdot R^2) + (\rho_F / 2\pi \cdot R)$$

En comparaison, dans une vanne de spin classique entièrement métallique telle que celle de la figure 1, dans laquelle la couche séparant les couches magnétiques est une couche électriquement conductrice amagnétique, de même résistivité que celle du matériau des ponts (ρ_P), la résistance serait donnée par :

$$R_{CPP'} = (\rho_F \cdot e / \pi \cdot L^2) + (\rho_P \cdot l / \pi \cdot L^2) + (\rho_F \cdot e' / 2\pi \cdot L^2)$$

où e et e' représentent les épaisseurs des couches magnétiques 20, 30, l l'épaisseur de la couche séparatrice 10 et L le rayon de la vanne de spin qui est supposée cylindrique.

L'accroissement de la résistance liée au remplacement de la couche séparatrice 10 par la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 discontinue avec les ponts électriquement conducteurs 5, est de l'ordre de :

$$R_{CPP} / R_{CPP'} \approx L^2 / e \cdot R \text{ en considérant que } e, l \text{ et } e' \text{ sont sensiblement les mêmes.}$$

Par exemple, pour une épaisseur de couche magnétique e de l'ordre de 10 nm, un rayon L de la vanne de spin de l'ordre de 100 nm, un rayon R de pont 5 de l'ordre de 2nm, on peut obtenir un accroissement de la résistance de l'ordre de 500, ce qui permet au produit RA d'atteindre des niveaux de l'ordre de 1 $\Omega \cdot \mu m^2$, ce qui est tout à fait satisfaisant.

La résistance du pont 5 est de l'ordre de 30 Ω avec les dimensions énumérées plus haut.

10 L'amplitude de la magnétorésistance est plus élevée dans l'exemple de la figure 4 que dans l'exemple de la figure 1. En effet, la densité de courant et donc la variation de tension est maximale à la séparation entre les couches magnétiques, au niveau des ponts
15 électriquement conducteurs 5, or c'est dans ce voisinage que prend naissance la magnétorésistance. Si l'empilement comprend, en plus, d'autres couches comme la couche tampon 7 et la couche antiferromagnétique 8, l'addition de ces couches en série ne réduit que très
20 peu l'effet de magnétorésistance car la tension aux bornes de ces couches sera faible, elles sont traversées par une faible densité de courant. Au contraire, dans l'exemple de la figure 1, les lignes de courant restent toujours perpendiculaires aux
25 interfaces et la magnétorésistance est fortement réduite par l'addition de ces couches supplémentaires. La résistance de ces couches s'ajoute à la résistance des couches magnétiques ce qui a pour effet de diluer la magnétorésistance et d'en réduire l'amplitude. Une
30 estimation du gain en magnétorésistance effective résultant de la suppression de cette dilution par la

constriction des lignes de courant grâce à la présence des ponts électriquement conducteurs est présentée dans les tableaux suivants :

5

EXEMPLE DE LA FIGURE 1

	Résistivité ρ en $\mu.\Omega.cm$	Epaisseur e en nm	Résistance Rc en Ω
couche 21	150	15	2,25
couche 20	20	3	0,06
couche 10	5	2	0,01
couche 30	20	5	0,1
couche 31	80	5	0,4

EXEMPLE DE LA FIGURE 4

10

	Résistivité ρ en $\mu.\Omega.cm$	Epaisseur e en nm	Résistance Rc en Ω
couche 8	≈ 150	15	2,25
couche 2	≈ 20	3	≈ 15
couche 4+5	≈ 5	2	8
couche 3	≈ 20	5	15
couche 7	≈ 80	5	0,4

15

	Exemple figure 1	Exemple figure 4
R_{ut} :résistance de la partie utile pour la magnétorésistance	$0,17\Omega$	38Ω
R_T :résistance totale	$2,82\Omega$	41Ω
magnétorésistance intrinsèque = R_{ut}/R_T	$0,06\Omega$	$0,92\Omega$
magnétorésistance effective = 40% de la magnétorésistance intrinsèque	2,4%	37%

Ce gain peut atteindre au moins 10. Les résistances obtenues peuvent être ajustées en jouant sur la taille et la densité des ponts électriquement conducteurs et se situer par exemple dans la gamme $0,1 \Omega \cdot \mu m^2$ à $1 \Omega \cdot \mu m^2$.

Les ponts 5 peuvent être réalisés à base d'un métal amagnétique, on peut utiliser un métal noble choisi dans le groupe comprenant l'or, l'argent, le cuivre ou leurs alliages.

Dans l'exemple de la figure 4, la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 discontinue est amagnétique.

La couche 4 peut être réalisée à base d'un oxyde tel que par exemple l'alumine, la zircone, le titanate de strontium ($SrTiO_3$), l'oxyde de magnésium, l'oxyde de cobalt, l'oxyde de nickel, l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et/ou d'un nitrure tel que le nitrure d'aluminium ou d'un matériau semi-conducteur tel que le germanium, le silicium, l'arseniure de gallium. Les oxydes et les nitrures possèdent de meilleures

propriétés magnétorésistives que les matériaux semi-conducteurs.

Dans une variante, les ponts 5 peuvent être réalisés dans un matériau électriquement conducteur magnétique tel que le cobalt par exemple. Ce matériau peut être différent de celui des couches magnétiques 2,3. La différence par rapport à la situation précédente dans laquelle les ponts sont en matériau amagnétique, est qu'un couplage magnétique existera entre les deux couches magnétiques 2, 3. Lorsque les aimantations des deux couches 2, 3 sont antiparallèles, une paroi parallèle au plan des couches se formera et restera confinée à l'intérieur des ponts 5 magnétiques, elle sépare des zones ayant des sens d'aimantation opposés.

Il est possible d'insérer au moins une couche séparatrice 9-1, 9-2 continue amagnétique électriquement conductrice entre la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 avec ses ponts 5 électriquement conducteurs et les couches magnétiques 2, 3 pour effectuer un découplage magnétique. Sur la figure 5A, qui illustre cette configuration, les deux couches magnétiques 2, 3 prennent en sandwich un empilement formé de deux couches séparatrices électriquement conductrices 9-1, 9-2 encadrant une couche diélectrique ou semi-conductrice 4 avec les ponts 5 électriquement conducteurs.

Le matériau diélectrique ou semi-conducteur de la couche discontinue 4 peut être magnétique par exemple en oxyde de cobalt ou en oxyde de fer cobalt ou

en spinelle ferromagnétique Fe_3O_4 . Il peut aussi être amagnétique par exemple en Al_2O_3 , SiO_2 , HfO_2 , Ta_2O_5 .

On aurait pu envisager avec la structure de la figure 5A que le matériau électriquement conducteur des ponts 5 soit celui des couches séparatrices 9-1, 9-2, il aurait pu diffuser à travers des discontinuités de la couche en matériau diélectrique 4.

Il est également possible que le matériau des ponts 5 soit celui de l'une des couches magnétiques 2, 3. On se réfère à la figure 5B qui présente ce cas particulier. On peut alors placer la couche diélectrique ou semi-conductrice avec ses ponts électriquement conducteurs à l'intérieur de l'une des couches magnétiques. Sur la figure 5B, elle est très légèrement à l'intérieur de la couche magnétique libre 3, elle se trouve du côté de l'autre couche magnétique 2.

Les deux couches magnétiques 2, 3 sont séparées par au moins une couche séparatrice 9 continue en matériau électriquement conducteur amagnétique, par exemple en cuivre. Cela revient à dire que la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 avec ses ponts électriquement conducteurs 5 est à l'interface entre la couche magnétique qui l'accueille 3 et la couche séparatrice 9.

Il est possible que l'une des couches magnétiques soit formée d'un empilement de plusieurs couches intermédiaires. Sur la figure 5C, il s'agit de la couche magnétique libre 3. Les couches intermédiaires 3-1, 3-2 en matériaux différents renforcent l'amplitude de magnétorésistance géante en

augmentant le contraste de diffusion dépendante du spin et en réduisant les fluctuations magnétiques aux interfaces à température ambiante. L'une des couches intermédiaires 3-2 dite sensible peut être réalisée par exemple en Ni₈₀Fe₂₀ et l'autre 3-1, dénommée couche intermédiaire magnétique de dopage interfacial, la plus proche de la couche magnétique piégée 2, peut être par exemple en Co₉₀Fe₁₀. La couche diélectrique discontinue 4 avec les ponts électriquement conducteurs 5 est à l'interface entre la couche 3-1 de dopage interfacial et l'autre couche magnétique 2 mais elle pourrait aussi être incluse dans la couche 3-1 de dopage interfacial. De manière générale, la couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4 est placée avantageusement le plus près possible de l'autre couche magnétique 2.

Dans cet exemple également une couche séparatrice magnétique 9 est insérée entre la couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4 avec les ponts électriquement conducteurs et l'autre couche magnétique 2. On suppose que la couche 4 est magnétique.

Sur la figure 8 qui représente une variante d'un dispositif selon l'invention avec une paire de vannes de spin en série, la couche diélectrique ou semi-conductrice avec ses ponts électriquement conducteurs se trouve au sein de la couche magnétique libre et non plus en surface.

Il est toutefois préférable de placer la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 avec ses ponts électriquement conducteurs 5 du côté de la couche magnétique piégée 2 pour ne pas nuire à la forte

susceptibilité que doit avoir la couche magnétique libre 3. Cette configuration est illustrée sur les figures 6 et 7 qui montrent encore des dispositifs selon l'invention avec une paire de vannes de spin en série.

On s'arrange pour placer la couche diélectrique ou semi-conductrice 4 avec ses ponts électriquement conducteurs 5 le plus près possible de l'interface entre les couches magnétiques 3, 2, car sinon l'effet de concentration de courant à la source de magnétorésistance serait réduit et l'amplitude de la magnétorésistance également.

La couche magnétique piégée 2a, 2b peut être formée d'un empilement de trois couches intermédiaires. On peut la réaliser, comme sur la figure 7, avec deux couches intermédiaires magnétiques piégées (2a2, 2a3), (2b2, 2b3) prenant en sandwich une couche intermédiaire électriquement conductrice amagnétique 2a1, 2b1. On peut par exemple utiliser un empilement CoFe/Ru/CoFe. D'autres matériaux que le ruthénium sont possibles tels que Ir, Rh, Re.

L'épaisseur de la couche intermédiaire centrale 2a1, 2b1 peut être comprise entre environ 0,3 et 1 nm. On réalise ainsi une couche piégée dite synthétique. Une telle couche piégée synthétique permet d'augmenter le champ de piégeage et de renforcer sa stabilité magnétique.

On va voir maintenant plusieurs exemples de dispositifs magnétorésistifs avec une paire de vannes de spin en série, cette structure étant connue sous la dénomination de vanne de spin duale. Une telle vanne de

spin duale peut comporter : une couche magnétique libre centrale 3 et deux couches magnétiques piégées 2a, 2b de part et d'autre de la couche magnétique libre 3. L'empilement correspondant à la vanne de spin duale de la figure 6 comporte une couche tampon 7 au-dessus de l'une des électrodes 6b dite électrode de base 6b, une première couche antiferromagnétique de piégeage 8a, une première couche piégée 2a, une première couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4a avec des ponts 5a électriquement conducteurs, une couche magnétique libre 3, une seconde couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4b avec des ponts 5b électriquement conducteurs, une seconde couche magnétique piégée 2b, une seconde couche antiferromagnétique de piégeage 8b et enfin la seconde électrode 6a dite électrode de sommet. Dans cette configuration, les deux couches diélectriques ou semi-conductrices 4a, 4b discontinues avec des ponts 5a, 5b électriquement conducteurs ont la même structure que sur la figure 4. Quant à la couche magnétique libre 3, elle est formée d'un empilement de couches intermédiaires avec deux couches intermédiaires magnétiques de dopage interfacial 3-2, 3-3 prenant en sandwich une couche intermédiaire magnétique 3-1 libre proprement dite.

On s'intéresse maintenant à la figure 7. L'empilement correspondant à la vanne de spin duale de la figure 7 comporte une couche tampon 7 au-dessus de l'une des électrodes 6b dite électrode de base 6b, une première couche antiferromagnétique de piégeage 8a, une première couche piégée 2a synthétique, une première

couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4a avec des ponts 5a électriquement conducteurs, une première couche séparatrice électriquement conductrice amagnétique 9a, une couche magnétique libre 3, une
5 seconde couche séparatrice électriquement conductrice amagnétique 9b, une seconde couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4b avec des ponts 5b électriquement conducteurs, une seconde couche piégée 2b synthétique, une seconde couche antiferromagnétique
10 de piégeage 8b et enfin la seconde électrode 6a dite électrode de sommet.

Dans cette configuration, chacune des couches piégées 2a, 2b est synthétique et formée d'un empilement de couches intermédiaires avec une couche
15 intermédiaire électriquement conductrice amagnétique 2a1, 2b1 prise en sandwich entre deux couches magnétiques de piégeage (2a2, 2a3), (2b2, 2b3).

Quant à la couche libre 3, elle est similaire à celle de la figure 6 avec deux couches intermédiaires
20 magnétiques de dopage interfacial 3-2, 3-3 prenant en sandwich une couche intermédiaire magnétique 3-1 libre proprement dite.

On se réfère maintenant à la figure 8. L'empilement correspondant à la vanne de spin duale de
25 la figure 8 comporte une couche tampon 7 au-dessus de l'une des électrodes 6b dite électrode de base, une première couche antiferromagnétique de piégeage 8a, une première couche piégée 2a, une première couche séparatrice 9a en matériau électriquement conducteur
30 amagnétique, une couche magnétique libre 3 incluant la couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue 4

avec des ponts 5 électriquement conducteurs, une
seconde couche séparatrice 9b électriquement
conductrice amagnétique, une seconde couche piégée 2b,
une seconde couche antiferromagnétique de piégeage 8b
5 et enfin la seconde électrode 6a dite électrode de
sommet.

La figure 9 montre un exemple de tête
magnétique selon l'invention incluant un dispositif
magnétorésistif ainsi décrit avec une vanne de spin.
10 Les électrodes 6a, 6b d'amenée de courant I et de prise
de tension V servent d'écrans magnétiques. La vanne de
spin 1 vient se positionner à proximité d'un support
magnétique mobile 90, des données sous forme de bits à
lire étant enregistrées sur ce support. Les écrans
15 magnétiques permettent à la vanne de spin de détecter
des transitions magnétiques individuelles, entre deux
bits successifs, sans interférence avec les transitions
voisines. La couche magnétique piégée 2 et la couche
antiferromagnétique de piégeage 8 ont une surface
20 inférieure à celle de la couche diélectrique 4 avec les
ponts 5 électriquement conducteurs qui lui est en vis à
vis. Elles sont enrobées de matériau diélectrique 91
qui s'étend le long de la couche discontinue 4 avec les
ponts électriquement conducteurs 5. Cette structure
25 permet d'éloigner la zone où passe le courant de la
surface du support magnétique 90.

Sur la figure 10 on a représenté une mémoire
selon l'invention. Elle comprend une matrice de points
mémoires adressables par lignes et colonnes. Chaque
30 point mémoire comprend un dispositif 101 selon
l'invention, illustré par une résistance, en série avec

un moyen de commutation 102, prenant la forme d'un transistor. Chaque dispositif selon l'invention est relié à une ligne d'adressage 103 et le moyen de commutation à une colonne d'adressage 105. Les lignes
5 d'adressage 103 sont reliées aux sorties d'un circuit d'adressage ligne 104, et les colonnes d'adressage 105 aux sorties d'un circuit d'adressage colonne 106.

On va voir maintenant un procédé de réalisation d'une couche diélectrique ou semi-conductrice avec des
10 ponts électriquement conducteurs, ces ponts étant transversaux au plan de la couche. Une telle couche est telle que celle représentée avec les références 4, 5 sur les figures 2 à 8.

On se réfère à la figure 11A. On part d'un
15 support 110 et on utilise pour réaliser les ponts un matériau électriquement conducteur qui, en couche mince, a une faible mouillabilité à la surface du support 110. Le support peut être un matériau magnétique tel que le NiFe, le Co, le CoFe, notamment
20 dans le cas où l'on réaliserait des dispositifs magnétorésistifs. Ce matériau, lorsqu'il est déposé à la surface du support, se regroupe en une multitude de petites gouttes 111. On rappelle qu'un film mince mouillant s'étale sur un solide en occupant la surface
25 la plus grande possible. Au contraire, un film mince à faible mouillabilité occupera une surface faible à la surface du solide. C'est cette propriété qui est utilisée pour réaliser les ponts.

Il suffit d'associer ce matériau à faible
30 mouillabilité avec le matériau diélectrique ou semi-conducteur 112 qui forme la couche discontinue.

Le matériau utilisé pour réaliser les ponts peut être de l'argent qui est déposé sous forme de couche mince par exemple par dépôt physique en phase vapeur (connu sous l'abréviation PVD pour la
5 dénomination anglaise "Physical Vapor Deposition"). L'argent est très peu mouillant à température ambiante et encore moins mouillant à la chaleur. En déposant une très fine couche d'argent à la surface du support 110, d'épaisseur de l'ordre de 0, 2 nm, il va se former des
10 gouttes 111 d'argent de diamètre de l'ordre de 1 à 2 nm environ. D'autres matériaux que l'argent peuvent être employé par exemple le cuivre ou l'or mais cet effet de faible mouillabilité est moins prononcé.

Pour réaliser la couche discontinue
15 diélectrique ou semi-conductrice 112, on peut déposer un matériau conducteur, non miscible avec les gouttes 111 d'argent, rendu diélectrique ou semi-conducteur après un traitement, le traitement n'ayant pratiquement pas d'influence sur les gouttes d'argent.

20 On peut dans cette optique déposer de l'aluminium par PVD par exemple, avec une épaisseur moindre que celle des gouttes 111 d'argent. L'aluminium va combler l'espace autour des gouttes 111 d'argent. Après un traitement tel qu'une oxydation ou une
25 nitruration, l'aluminium va se transformer en alumine ou en nitrure d'aluminium et devenir diélectrique. L'oxydation peut être une oxydation naturelle, une oxydation par plasma d'oxygène, par source d'oxygène atomique, etc. Comme l'aluminium est facilement
30 oxydable alors que l'argent ne l'est pas car c'est un métal noble, seul l'aluminium s'oxydera en alumine. On

obtient une couche d'alumine 112 d'environ 2nm avec des ponts 111.

Si l'on veut continuer à réaliser un dispositif magnétorésistif selon l'invention, on peut ensuite
5 déposer une autre couche magnétique au-dessus.

Au lieu de déposer d'abord les gouttes 111 d'argent sur le support 110, il est possible de déposer d'abord une fine couche d'un matériau devant conduire à la couche discontinue diélectrique ou semi-conductrice
10 112. On peut par exemple déposer une couche d'aluminium, puis les gouttes 111 d'argent sur la fine couche d'aluminium. En effectuant une oxydation en surface, l'aluminium se situant autour des gouttes se transforme en alumine 112, l'aluminium 113 se trouvant
15 sous les gouttes 111 d'argent n'est pas oxydé ou peu car protégé. Un pont 5 est alors formé d'une goutte 111 d'argent et de l'aluminium 113 se trouvant sous la goutte 111. La surface d'alumine 112 risque d'être plus rugueuse que dans le cas précédent.

20 Une autre variante est de codéposer en même temps le matériau conduisant à la couche diélectrique ou semi-conductrice et le matériau électriquement conducteur formant les gouttes. Cela conduit à un alliage hétérogène. Lorsqu'il est déposé à la surface
25 du support 110, les gouttes se forment à la surface du support, les deux matériaux codéposés n'étant pas miscibles. En effectuant un traitement par exemple une oxydation ou une nitruration de surface, la couche diélectrique ou semi-conductrice 112 se forme autour
30 des gouttes 111 que l'on suppose en argent.

Une autre méthode est de déposer le matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité directement sur un support 110, et c'est ce support qui va, par traitement, être rendu diélectrique ou semi-conducteur en surface et donner la couche discontinue. Dans l'exemple du dispositif magnétorésistif objet de l'invention, le support 110 peut être magnétique en Co ou en CoFe. Il peut s'agir de la couche intermédiaire magnétique de dopage interfacial décrite à la figure 5B. En oxydant directement cette couche intermédiaire, on obtient une étendue d'oxyde CoO ou CoFeO qui vient coopérer avec les gouttes 111. La surface du support 110, lorsqu'elle est oxydée s'épaissit légèrement entre les gouttes d'argent.

Pour réaliser un dispositif selon l'invention avec au moins une vanne de spin, on va déposer successivement les couches de l'empilement. Toutes les techniques de dépôt connues de l'homme de l'art pour réaliser les couches magnétiques qu'elles soient formées d'un empilement de couches intermédiaires ou non, les éventuelles couches séparatrices, la couche tampon, une ou plusieurs couches antiferromagnétiques, peuvent être employées. Il s'agit notamment des techniques de pulvérisation cathodique, dépôt par faisceau d'ions, épitaxie par jet moléculaire voire électrodéposition. La partie la plus critique est l'élaboration de la couche diélectrique ou semi-conductrice discontinue avec les ponts électriquement conducteurs.

On peut bien sûr employer toutes les méthodes décrites précédemment pour réaliser la couche

diélectrique discontinue avec les ponts électriquement conducteurs mais d'autres encore sont possibles.

On peut réaliser une couche mince en matériau diélectrique ou semi-conducteur, par exemple en alumine
5 ou en silice, contenant des particules solides, métalliques amagnétiques (par exemple du groupe des métaux nobles tels que l'argent, l'or, le cuivre ou leurs alliages) ou magnétiques tel le cobalt ou ses alliages. En chauffant le support sur lequel la couche
10 mince est déposée on favorise la mobilité atomique des particules métalliques qui se regroupent pour former les ponts électriquement conducteurs. On peut aussi effectuer un ou plusieurs recuits afin d'obtenir les ponts souhaités. Dans ce cas, le support qui reçoit la
15 couche mince est soit l'une des couches magnétiques, soit une couche séparatrice.

Le dépôt de la couche mince de diélectrique peut être réalisé par PVD à partir d'une cible en matériau diélectrique ou par pulvérisation réactive
20 d'une cible en matériau métallique sous atmosphère oxydante.

Les particules solides peuvent aussi être déposées directement sous forme d'agregats, ou clusters métalliques à partir d'une source d'agregats de métaux
25 nobles.

Une autre méthode peut être d'oxyder localement une couche en matériau électriquement conducteur pour la rendre diélectrique localement. Les endroits non oxydés forment les ponts électriquement conducteurs.
30 Cette couche peut être une des couches magnétiques ou bien une couche séparatrice ou bien une couche déposée

à cet effet. L'oxydation peut se faire une fois la couche déposée ou en cours de dépôt. Dans cette optique, on interrompt le dépôt, on effectue l'oxydation puis on reprend le dépôt.

5 Une autre méthode utilise le fait que lorsqu'une couche d'oxyde avec des discontinuités est prise en sandwich entre deux couches métalliques, du métal diffuse à travers les discontinuités. Ces discontinuités sont des défauts ou joints de grains. La
10 couche d'oxyde peut comporter naturellement des discontinuités, il peut s'agir notamment d'une couche ultra mince d'oxydes nanocristallisés comme par exemple, les oxydes de magnésium (MgO), d'hafnium (HfO_2), de tantale (Ta_2O_5), de cobalt (CoO), de nickel
15 (NiO), de cuivre (CuO). Il suffit de déposer la couche d'oxydes sur un support métallique, que ce soit l'une des couches magnétiques 2, 3, l'une des couches intermédiaires magnétiques 3-1, 3-2, ou une couche séparatrice 9 électriquement conductrice amagnétique.
20 Le dépôt peut se faire à partir d'une cible d'oxyde ou par pulvérisation réactive ou en déposant une couche métallique et en l'oxydant ensuite. On la recouvre d'une couche métallique, que ce soit l'une des couches magnétiques 2, 3, l'une des couches intermédiaires
25 magnétiques 3-1, 3-2, ou couche séparatrice 9 électriquement conductrice amagnétique. Les ponts électriquement conducteurs se forment alors naturellement.

Les discontinuités dans la couche d'oxyde au
30 lieu d'être naturelles peuvent être créées par des

techniques de la microélectronique, par exemple par un faisceau ionique focalisé.

Bien que plusieurs modes de réalisation de la présente invention aient été représentés et décrits de
5 façon détaillée, on comprendra que différents changements et modifications puissent être apportés sans sortir du cadre de l'invention.

REVENDICATIONS

1. Dispositif magnétorésistif à vanne de spin
(1) formée d'un empilement de couches parmi lesquelles
5 au moins deux couches magnétiques (2, 3) dont
l'orientation relative de leurs directions
d'aimantation peut varier sous l'influence d'un champ
magnétique, comportant des moyens (6a, 6b) pour faire
circuler un courant dans la vanne de spin
10 transversalement au plan des couches, caractérisé en ce
que cette vanne de spin (1) comporte au sein de
l'empilement au moins une couche diélectrique ou semi-
conductrice (4) discontinue avec des ponts (5)
électriquement conducteurs qui traversent l'épaisseur
15 de la couche diélectrique ou semi-conductrice, ces
derniers (5) étant destinés à concentrer localement le
courant qui circule transversalement dans l'empilement.

2. Dispositif magnétorésistif selon la
20 revendication 1, caractérisé en ce que la couche (4)
diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts (5)
électriquement conducteurs est disposée entre les deux
couches magnétiques (2, 3).

25 3. Dispositif magnétorésistif selon la
revendication 1, caractérisé en ce que la couche (4)
diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts (5)
électriquement conducteurs est disposée dans l'une des
couches magnétiques (3).

30

4. Dispositif magnétorésistif selon la revendication 3, caractérisé en ce que les ponts (5) sont réalisés dans le matériau de la couche magnétique (3) accueillant la couche (4) diélectrique ou semi-conductrice.

5. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'une couche séparatrice (9) continue électriquement conductrice, amagnétique est insérée entre la couche (4) diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts (5) électriquement conducteurs et l'une au moins des couches magnétiques (2, 3).

6. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les ponts (5) électriquement conducteurs sont réalisés dans un matériau amagnétique choisi parmi les métaux nobles tels que l'or, l'argent, le cuivre ou leurs alliages.

7. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les ponts (5) électriquement conducteurs sont réalisés dans un matériau magnétique tel que le cobalt, le fer, le nickel ou leurs alliages.

8. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le matériau diélectrique ou semi-conducteur de la couche discontinue (4) est magnétique.

9. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en que le matériau diélectrique ou semi-conducteur de la couche discontinue (4) est amagnétique.

5

10. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'au moins l'une des couches magnétiques (2a) est formée d'un empilement de couches intermédiaires (2a1, 2a2, 2a3).

10

11. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'une des couches magnétiques (2) a sa direction d'aimantation fixée par association une couche antiferromagnétique (8) disposée au-delà de la couche magnétique à direction d'aimantation fixe (2) par rapport à la couche (4) diélectrique ou semi-conductrice avec les ponts (5) électriquement conducteurs.

15

12. Dispositif magnétorésistif selon la revendication 11, caractérisé en ce que la couche magnétique (2a) à direction d'aimantation fixe est formée d'une couche intermédiaire (2a1) électriquement conductrice amagnétique encadrée par deux couches intermédiaires (2a2, 2a3) magnétiques.

25

13. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que la couche (4) diélectrique ou semi-conductrice discontinue est réalisée à base d'oxyde, de nitrure, de semi-conducteur.

30

14. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que les moyens pour faire circuler un courant électrique comportent deux électrodes (6a, 6b) qui prennent en sandwich la vanne de spin (1).

15. Dispositif magnétorésistif selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'au moins une couche tampon (7) est insérée entre l'une des électrodes (6b) et la vanne de spin (1).

16. Dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que la vanne de spin (1) est duale.

15

17. Tête magnétique de lecture, caractérisée en ce qu'elle comporte un dispositif magnétorésistif selon l'une des revendications 1 à 16.

18. Mémoire comprenant une matrice de points mémoire adressable par des lignes (103) et des colonnes (105), caractérisée en ce que chaque point mémoire est formé d'un dispositif magnétorésistif (101) selon l'une des revendications 1 à 16 coopérant avec un moyen de commutation de courant (102).

25

19. Procédé de réalisation d'un dispositif magnétorésistif à vanne de spin (1) comportant les étapes suivantes :

30 réalisation, pour faire la vanne de spin, d'un empilement de couches (2, 3) parmi lesquelles au moins

deux couches magnétiques dont l'orientation relative de leurs directions d'aimantation peut varier sous l'effet d'un champ magnétique,

réalisation de moyens (6a, 6b) pour faire
5 circuler un courant dans la vanne de spin (1) transversalement au plan des couches,

caractérisé en ce qu'il comporte une étape de réalisation au sein de l'empilement d'au moins une couche diélectrique ou semi-conductrice (4) discontinue
10 avec des ponts (5) électriquement conducteurs traversant l'épaisseur de la couche, ces derniers (5) étant destinés à concentrer localement le courant qui circule transversalement dans l'empilement.

15 20. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce que la couche diélectrique ou semi-conductrice (4) avec les ponts (5) électriquement conducteurs est réalisée par dépôt d'une couche mince (4) de matériau diélectrique ou semi-
20 conducteur incluant des particules métalliques, ces particules métalliques se regroupent pour former les ponts (5).

21. Procédé de réalisation selon la
25 revendication 19, caractérisé en ce que la couche diélectrique ou semi-conductrice (4) avec les ponts (5) électriquement conducteurs, est réalisée en traitant localement une couche électriquement conductrice (9) se trouvant dans l'empilement pour la rendre diélectrique
30 ou semi-conductrice.

22. Procédé de réalisation selon la revendication 21, caractérisé en ce que le traitement a lieu en cours de dépôt ou en fin de dépôt de la couche électriquement conductrice (9).

5

23. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce que la couche diélectrique ou semi-conductrice (4) avec les ponts (5) électriquement conducteurs est réalisée en plaçant une
10 couche d'isolant (4) ayant des discontinuités entre deux couches électriquement conductrices (9-1, 9-2) de l'empilement et en faisant diffuser le matériau électriquement conducteur à travers les discontinuités de la couche d'isolant (4).

15

24. Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que les discontinuités existent naturellement dans la couche d'isolant (4).

20

25. Procédé de réalisation selon la revendication 23 caractérisé en ce que les discontinuités sont créées artificiellement dans la couche d'isolant (4).

25

26. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce que la couche diélectrique ou semi-conductrice (4) avec les ponts (5) électriquement conducteurs est réalisée en utilisant un matériau électriquement conducteur à faible
30 mouillabilité de manière à obtenir, lorsqu'il est déposé, une pluralité de gouttes (111), en déposant au-

dessus un matériau électriquement conducteur (112), non miscible avec les gouttes de manière à combler les espaces entre les gouttes, en effectuant un traitement du matériau électriquement conducteur situé entre les
5 gouttes pour le rendre diélectrique ou semi-conducteur.

27. Procédé de réalisation selon la revendication 26, caractérisé en ce que l'épaisseur du matériau électriquement conducteur (112) est légèrement
10 inférieure à celle des gouttes (111).

28. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'un matériau électriquement conducteur (112) conduisant à la couche
15 diélectrique ou semi-conductrice discontinue est déposé sur une des couches de l'empilement (110), un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité (111) conduisant à une pluralité de gouttes étant déposé au-dessus, un traitement étant effectué pour rendre
20 diélectrique ou semi-conducteur le matériau électriquement conducteur (112) situé entre les gouttes (111).

29. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité (111)
25 et un matériau électriquement conducteur (112) sont déposés en même temps sur une couche de l'empilement (110), ces matériaux étant non miscibles, ces matériaux étant traités de manière à rendre diélectrique ou semi-
30 conducteur le matériau électriquement conducteur (112).

30. Procédé de réalisation selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'un matériau électriquement conducteur à faible mouillabilité conduisant à une pluralité de gouttes (111) est déposé sur une des couches (110) de l'empilement, cette couche de l'empilement étant traitée de manière à la rendre diélectrique ou semi-conductrice en surface et à assurer sa coopération avec les gouttes (111).

10

31. Procédé de réalisation selon l'une des revendications 26 à 30, caractérisé en ce que le traitement est une oxydation ou une nitruration.

15

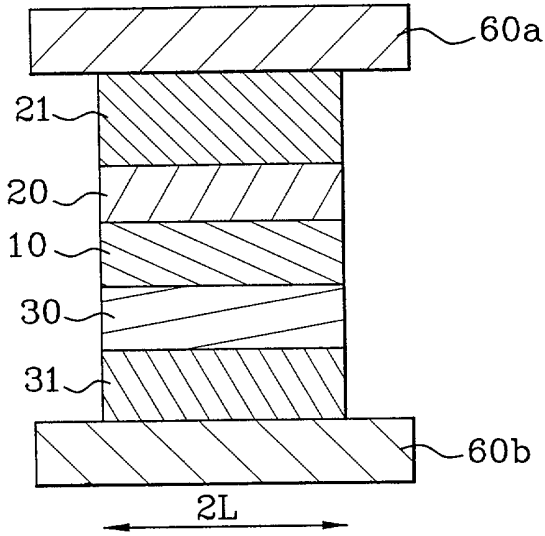


Fig. 1

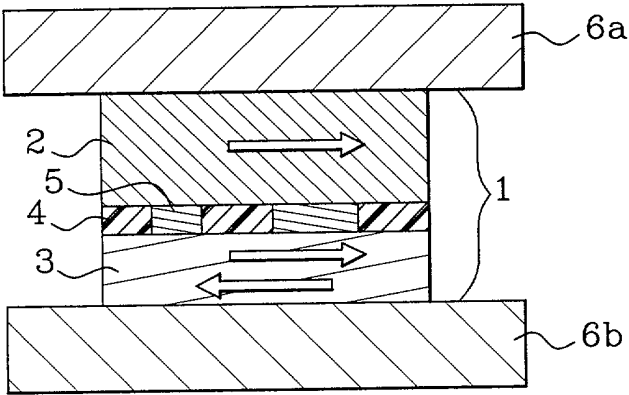


Fig. 2

2/10

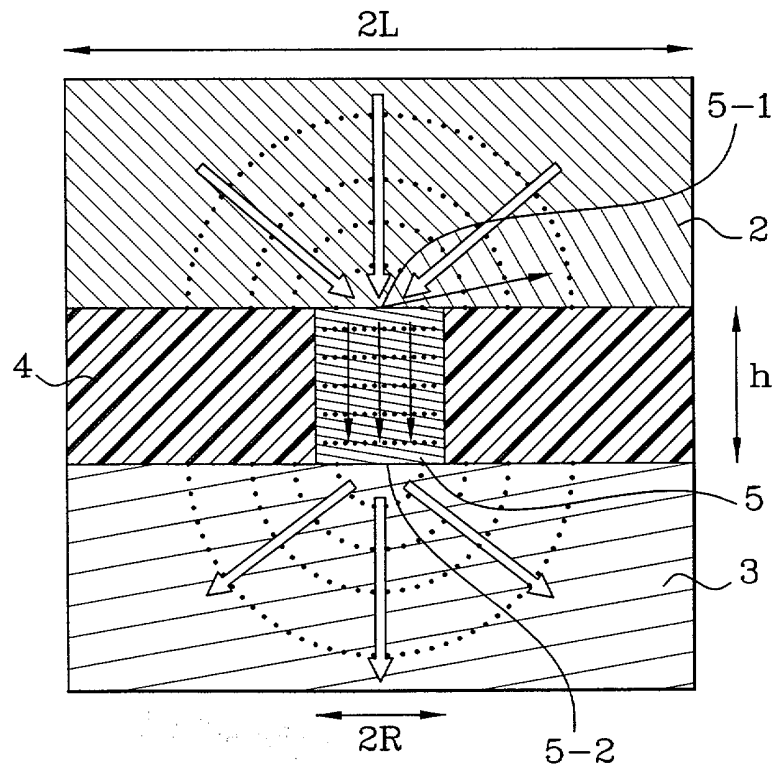


Fig. 3

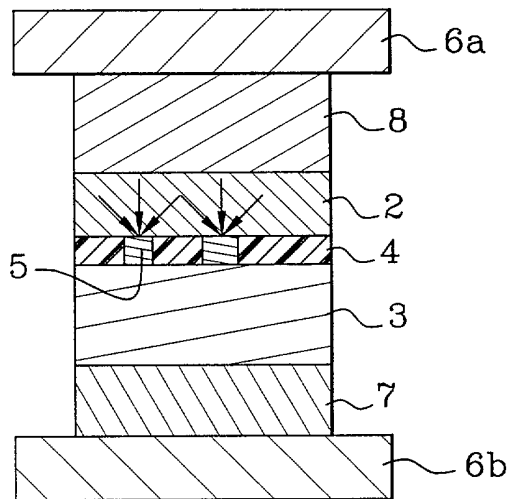


Fig. 4

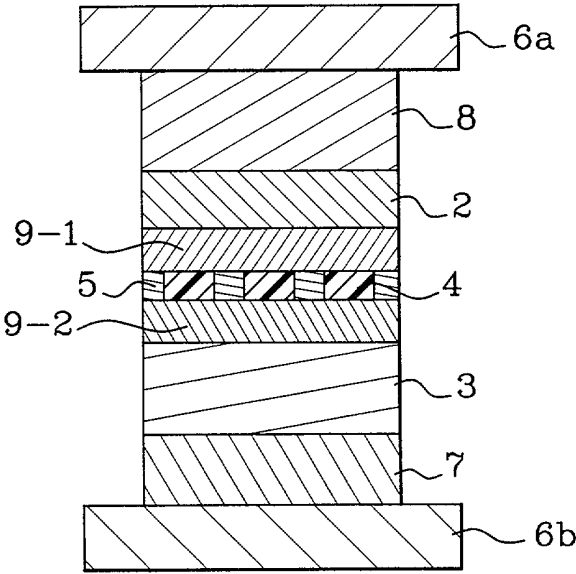


Fig. 5A

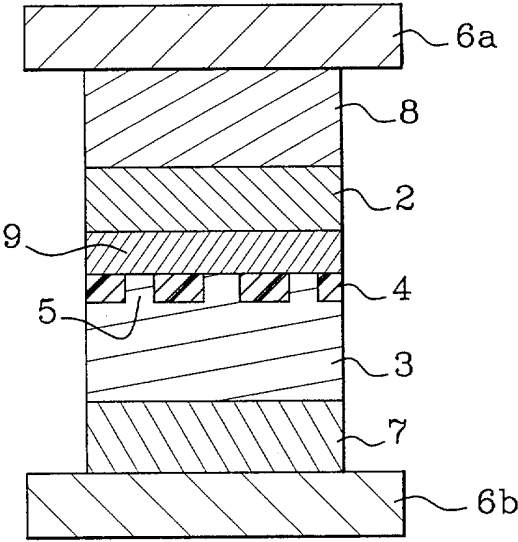


Fig. 5B

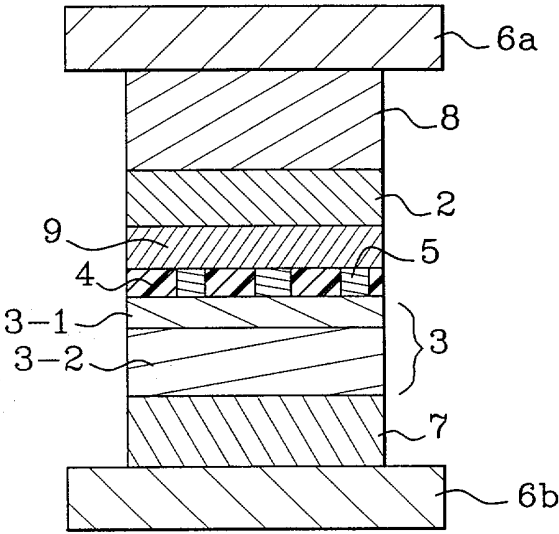


Fig. 5C

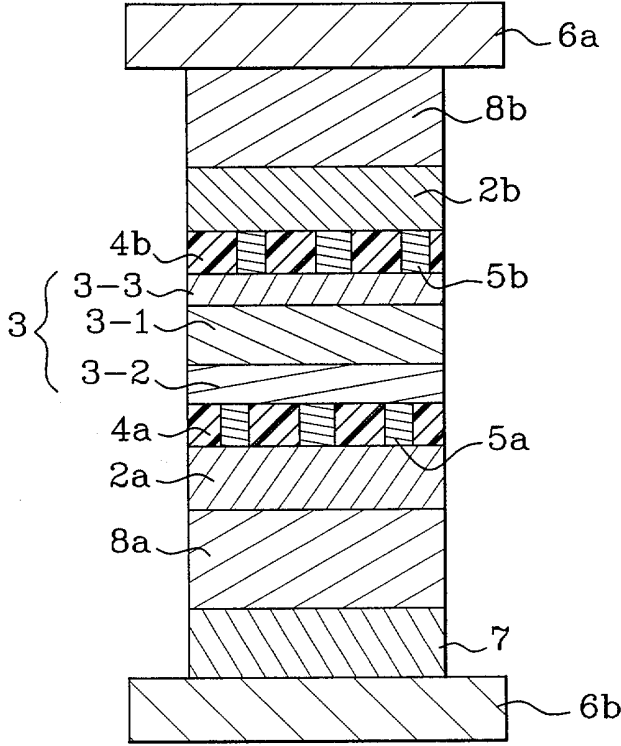


Fig. 6

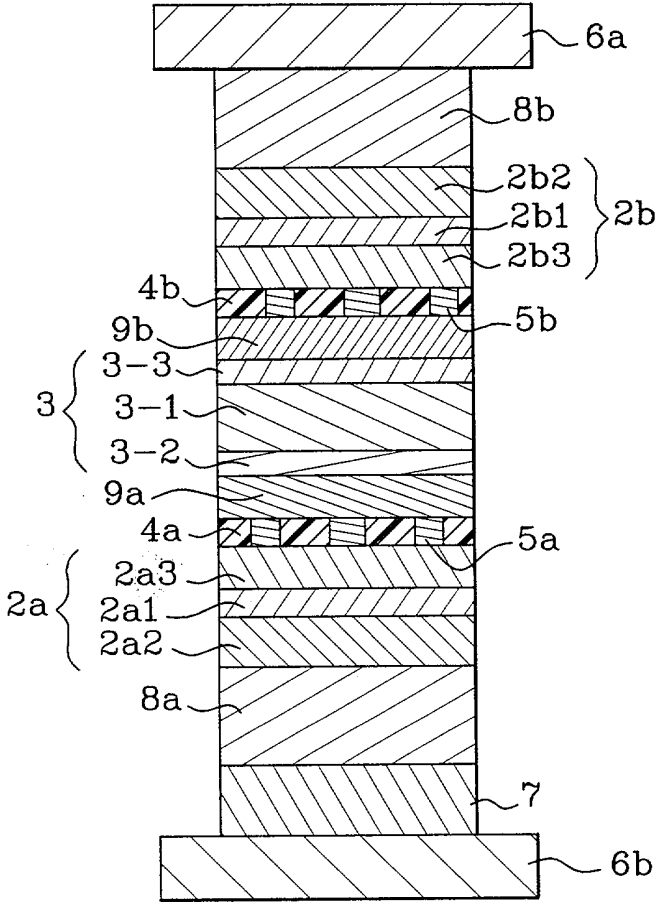


Fig. 7

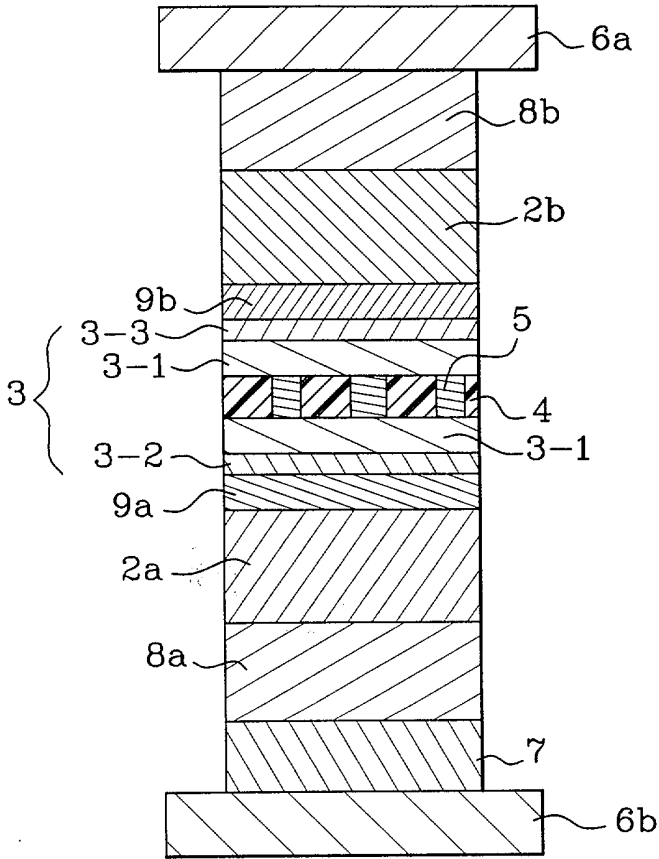


Fig. 8

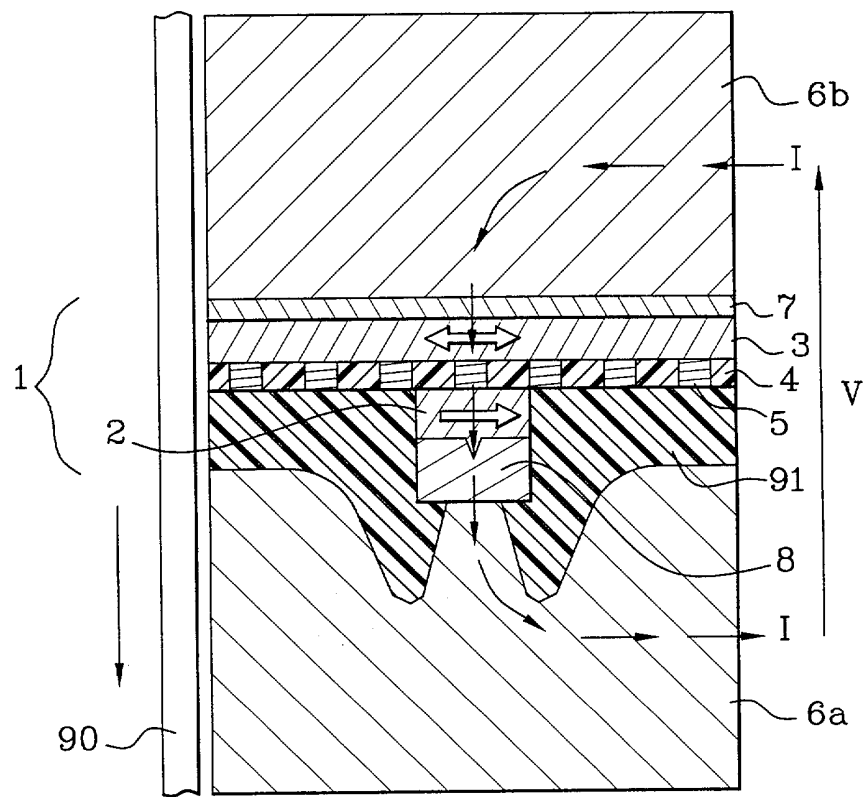
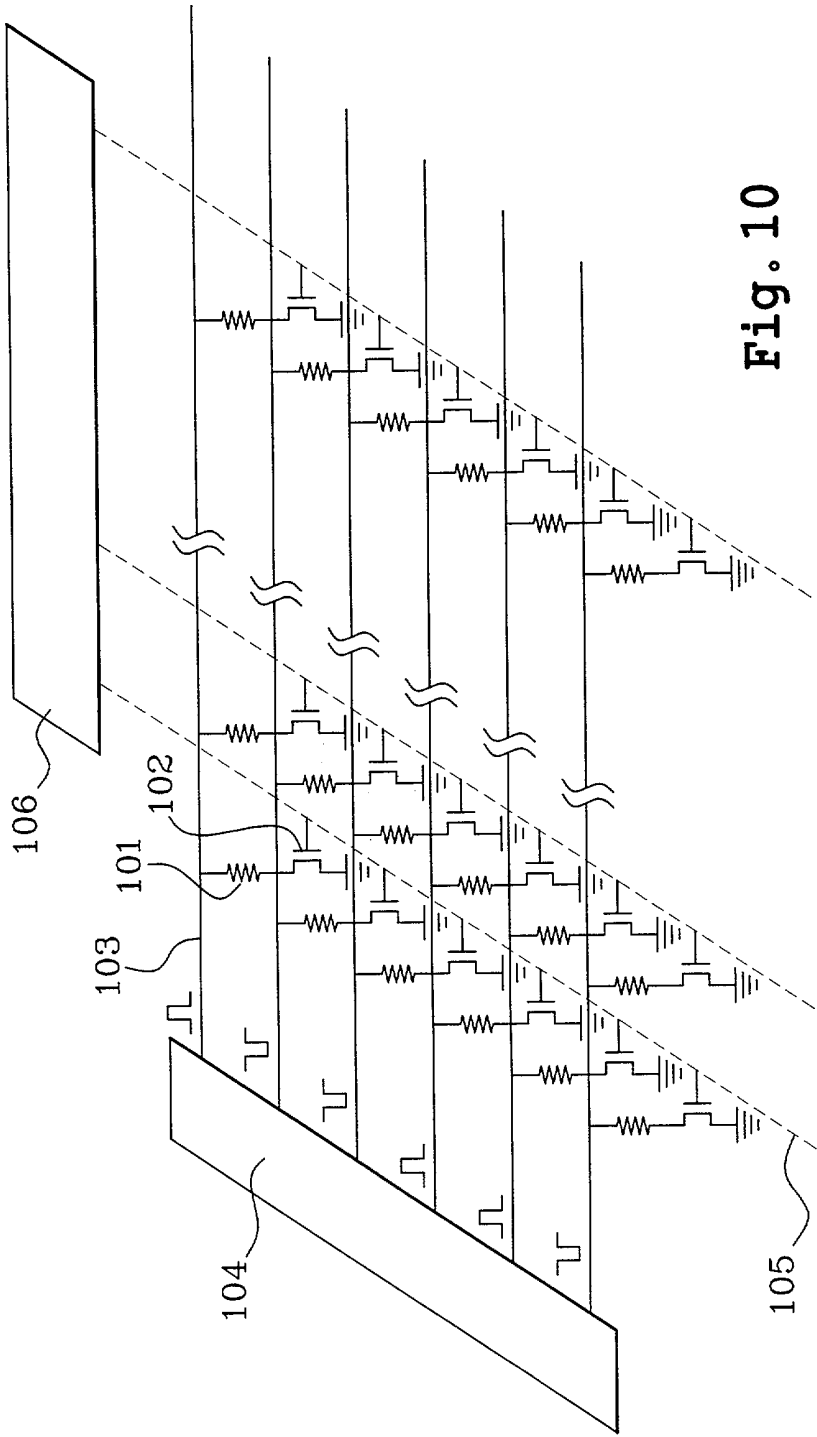


Fig. 9



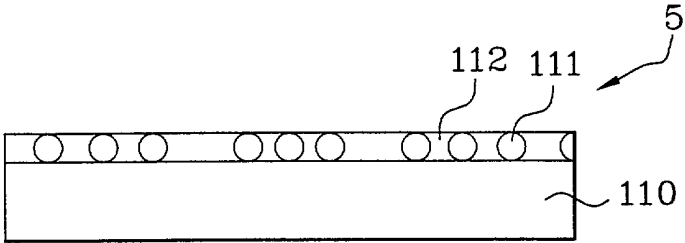


Fig. 11A

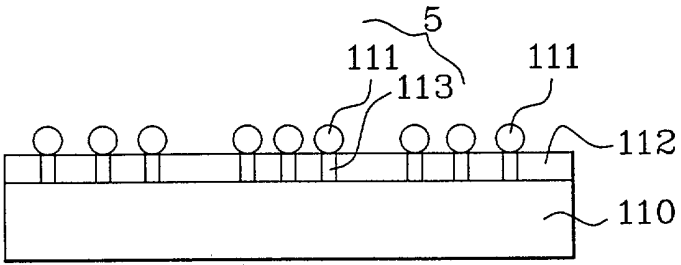


Fig. 11B

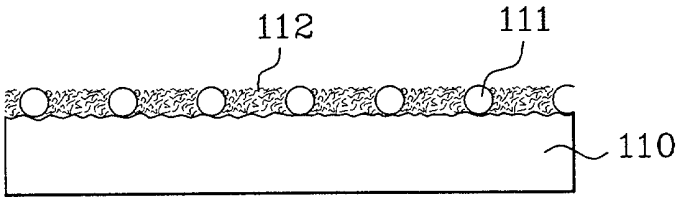


Fig. 11C

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

2830971

N° d'enregistrement
national

FA 611051

FR 0113174

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 0 780 912 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 25 juin 1997 (1997-06-25)	1,2,6,9, 11,13, 14,17, 19,20 10,18,29	G11B5/39 G11C11/00
A	* revendications 1,3,5,7,14-18 * * colonne 1, ligne 42 - ligne 47 * * colonne 2, ligne 58 - colonne 3, ligne 4 * * * colonne 4, ligne 19 - ligne 27 * * colonne 4, ligne 55 - colonne 5, ligne 5 * * * figures 1,2A,2B,4 * ----		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2000, no. 20, 10 juillet 2001 (2001-07-10) & JP 2001 068760 A (HITACHI LTD), 16 mars 2001 (2001-03-16) * abrégé *	19,21, 22,26, 28,30,31	
A	LECLAIR P ET AL: "TUNNEL CONDUCTANCE AS A PROBE OF SPIN POLARIZATION DECAY IN CU DUSTED CO/AL2O3/CO TUNNEL JUNCTIONS" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 76, no. 25, 19 juin 2000 (2000-06-19), pages 3783-3785, XP000956875 ISSN: 0003-6951 * page 3783; figure 1A * ----	1,3,4	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) H01F G11C G11B
A	US 5 463 516 A (VALET THIERRY ET AL) 31 octobre 1995 (1995-10-31) * revendication 1 * * colonne 2, ligne 14 - ligne 24 * * colonne 6, ligne 17 - ligne 22 * * colonne 7, ligne 4 - ligne 8 * -----	1,7,19, 20	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2002		Stichauer, L	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		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	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0113174 FA 611051

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **19-06-2002**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0780912	A	25-06-1997	JP 9172212 A	30-06-1997
			EP 0780912 A1	25-06-1997
			KR 214371 B1	02-08-1999
			US 5715121 A	03-02-1998
JP 2001068760	A	16-03-2001	AUCUN	
US 5463516	A	31-10-1995	FR 2692711 A1	24-12-1993
			DE 69327367 D1	27-01-2000
			DE 69327367 T2	21-06-2000
			EP 0577469 A1	05-01-1994
			JP 6097534 A	08-04-1994
			NO 932295 A	27-12-1993