

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
15 septembre 2005 (15.09.2005)

PCT

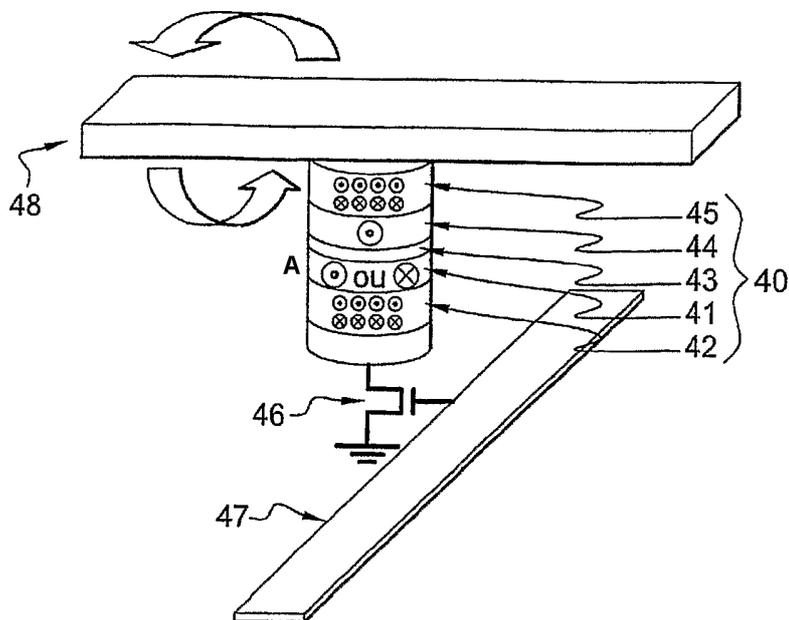
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/086171 A1**

- (51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **G11C 11/16**
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR2005/050103
- (22) Date de dépôt international : 17 février 2005 (17.02.2005)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité : 0401762 23 février 2004 (23.02.2004) FR
- (71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) : **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 PARIS (FR). COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 PARIS (FR).**
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **NOZIERES, Jean-Pierre [FR/FR]; 8, chemin de Vence,**

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MAGNETIC MEMORY WITH A MAGNETIC TUNNEL JUNCTION WRITTEN IN A THERMALLY ASSISTED MANNER, AND METHOD FOR WRITING THE SAME

(54) Titre : MEMOIRE MAGNETIQUE A JONCTION TUNNEL MAGNETIQUE A ECRITURE ASSISTEE THERMIQUEMENT ET PROCEDE POUR SON ECRITURE



(57) Abstract: The invention relates to a magnetic memory written in a thermally assisted manner, each memory point (40) consisting of a magnetic tunnel junction, and the cross-section of the memory parallel to the plane of the layers forming the tunnel junction being circular or essentially circular. Said tunnel junction comprises at least one trapped layer (44) with a fixed magnetisation direction, a free layer (42) with a variable magnetisation direction, and an insulating layer (43) arranged between the free layer (42) and the trapped layer (44). According to the invention, the free layer (42) is formed from at least one soft magnetic layer and a trapped layer (41), said two layers being magnetically coupled by contact, and the operating temperature of the reading memory or resting memory is selected in such a way that it is lower than the blocking temperature of the respectively free and trapped

A...OR

layers.

(57) Abrégé : Cette mémoire magnétique à écriture assistée thermiquement, dont chaque point mémoire (40) est constitué d'une jonction tunnel magnétique, et dont la section parallèlement au plan des couches constitutives de la jonction tunnel est circulaire ou sensiblement circulaire, ladite jonction tunnel comprend au moins : - une couche piégée (44), dont l'aimantation est de direction fixe, - une couche libre (42), dont la direction d'aimantation est variable, - une couche isolante (43), interposée entre la couche libre (42) et la couche piégée (44),

[Suite sur la page suivante]

WO 2005/086171 A1



F-38700 CORENC (FR). **DIENY, Bernard** [FR/FR]; 180, allée des Erables, F-38250 LANS EN VERCORS (FR). **REDON, Olivier** [FR/FR]; 14, boulevard des Frères Desaire, F-38170 SEYSSINET-PARISSET (FR). **SOUSA, Ricardo** [FR/FR]; 15, boulevard Maréchal Leclerc, F-38000 GRENOBLE (FR). **PREJBEANU, Ioan-Lucian** [FR/FR]; 34, avenue de Verdun, F-38240 MEYLAN (FR).

(74) **Mandataires : VUILLERMOZ, Bruno** etc.; Cabinet Laurent & Charras, 20, rue Louis Chirpaz, BP 32, F-69131 ECULLY (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM,

TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

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

dans laquelle la couche libre (42) est formée d'au moins une couche magnétique douce et d'une couche de piégeage (41), les deux couches étant couplées magnétiquement par contact, et dans laquelle la température de fonctionnement de la mémoire en lecture ou au repos est choisie en dessous de la température de blocage des couches respectivement libre et piégée.

MEMOIRE MAGNETIQUE A JONCTION TUNNEL MAGNETIQUE A ECRITURE ASSISTEE  
THERMIQUEMENT ET PROCEDE POUR SON ECRITURE**Domaine technique**

5 La présente invention se rattache au domaine des mémoires magnétiques, et notamment des mémoires magnétiques à accès aléatoire non volatiles permettant le stockage et la lecture de données dans des systèmes électroniques. Plus précisément, elle concerne les mémoires à accès aléatoire magnétique, appelées M-RAM (*Magnetic Random Access Memory*), constituées d'une jonction tunnel magnétique.

10

L'invention concerne également un procédé d'écriture thermomagnétique au sein d'une telle mémoire.

**Etat antérieur de la technique**

15 Les mémoires magnétiques M-RAM ont connu un regain d'intérêt avec la mise au point de jonction tunnel magnétique (MTJ, pour "*Magnetic Tunnel Junction*") présentant une forte magnéto-résistance à température ambiante. Ces mémoires magnétiques à accès aléatoire présentent de nombreux atouts :

- 20 - rapidité (quelques nanosecondes de durée d'écriture et de lecture),
- non volatilité,
- absence de fatigue à la lecture et à l'écriture,
- insensibilité aux radiations ionisantes.

25 Ce faisant, elles sont susceptibles de remplacer les mémoires de technologie plus traditionnelle, basées sur l'état de charge d'une capacité (DRAM, SRAM, FLASH) et ainsi devenir une mémoire universelle.

30 Dans les premières mémoires magnétiques réalisées, le point mémoire était constitué d'un élément dit "à magnéto-résistance géante", constitué d'un empilement de plusieurs couches métalliques alternativement magnétiques et non magnétiques. Une description détaillée de ce type de structure peut, par exemple, être trouvée dans les documents US-A-4 949 039 et US-A-5 159 513 pour la structure de base, et dans le document US-A-5 343 422 pour la réalisation d'une mémoire RAM à partir de ces structures de base.

35

Cette technologie, de par son architecture, permet la réalisation de mémoires non volatiles avec une technologie simple, mais de capacité limitée. En effet, le fait que les éléments mémoires soient connectés en série le long de chaque ligne limite la possibilité d'intégration, puisque le signal est de plus en plus faible lorsque le nombre  
5 d'éléments augmente.

La mise au point des points mémoire à jonction tunnel magnétique (MTJ) a permis une augmentation significative des performances et du mode de fonctionnement de ces mémoires. Ces mémoires magnétiques à jonction tunnel  
10 magnétique ont, par exemple, été décrites dans le document US-A-5 640 343. Dans leurs formes les plus simples, elles sont composées de deux couches magnétiques de coercitivité différente, séparées par une couche mince isolante.

Ces MRAM à jonction tunnel magnétique ont fait l'objet de perfectionnements  
15 tels que par exemple décrits dans le document US-A-6 021 065 et dans la publication "*Journal of Applied Physics*" – Vol. 81, 1997, page 3758 et représenté au sein de la figure 1. Ainsi que l'on peut l'observer, chaque élément mémoire (10) est constitué de l'association d'un transistor CMOS (12) et d'une jonction tunnel MTJ (11). Ladite jonction tunnel (11) comporte au moins une couche magnétique (20) dite "couche de stockage", une fine couche isolante (21) et une couche magnétique (22) dite "couche de référence".  
20

Préférentiellement, mais de manière non limitative, les deux couches magnétiques sont réalisées à base des métaux 3d (Fe, Co, Ni) et leurs alliages, et la  
25 couche isolante est traditionnellement constituée d'alumine ( $Al_2O_3$ ). Préférentiellement, la couche magnétique (22) est couplée à une couche anti-ferromagnétique (23), dont la fonction est de piéger la couche (22), afin que son aimantation ne bascule pas, ou bascule de façon réversible sous l'effet d'un champ magnétique extérieur. Préférentiellement, la couche de référence (22) peut être, elle-  
30 même, constituée de plusieurs couches, comme par exemple décrit dans le document US-A-5 583 725, afin de former une couche anti-ferromagnétique synthétique.

Il est également possible de remplacer la simple jonction tunnel par une double jonction tunnel comme cela est décrit dans la publication Y.Saito et al., *Journal of*  
35 *Magnetism and Magnetic Materials* vol.223 (2001) page 293. Dans ce cas la couche de stockage est prise en sandwich entre deux couches fines isolantes, avec deux couches de référence situées du côté opposé desdites couches isolantes.

Lorsque les aimantations des couches magnétiques de stockage et de référence sont anti-parallèles, la résistance de la jonction est élevée. En revanche, lorsque les aimantations sont parallèles, cette résistance devient faible. La variation relative de résistance entre ces deux états peut typiquement atteindre 40 % par un choix approprié des matériaux constitutifs des couches de l'empilement et/ou de traitement thermique de ces matériaux. Ainsi que déjà précisé, la jonction (11) est placée entre un transistor de commutation (12) et une ligne d'amenée de courant (14) (Word Line) formant une ligne conductrice supérieure. Un courant électrique passant dans celle-ci produit un premier champ magnétique. Une ligne conductrice (15) inférieure (Bit Line), généralement disposée de manière orthogonale par rapport à la ligne (14) (Word Line) permet, lorsqu'on y fait circuler un courant électrique, de produire un second champ magnétique.

Dans le mode écriture, le transistor (12) est bloqué, et aucun courant ne traverse donc le transistor. On fait circuler des impulsions de courant dans la ligne d'amenée de courant (14) et dans la ligne (15). La jonction (11) est donc soumise à deux champs magnétiques orthogonaux. L'un est appliqué selon l'axe d'aimantation difficile de la couche de stockage, également dénommée "couche libre" (22), afin d'y réduire son champ de retournement, tandis que l'autre est appliqué selon son axe de facile aimantation, afin de provoquer le retournement de l'aimantation et donc l'écriture du point mémoire.

Dans le mode lecture, le transistor (12) est placé en mode saturé, c'est-à-dire que le courant électrique traversant ce transistor est maximum, par l'envoi d'une impulsion de courant positif dans la grille dudit transistor. Le courant électrique envoyé dans la ligne (14) traverse uniquement le point mémoire, dont le transistor est placé en mode saturé. Ce courant électrique permet de mesurer la résistance de la jonction de ce point mémoire. Par comparaison avec un point mémoire de référence, on sait alors si l'aimantation de la couche de stockage (22) est parallèle ou anti-parallèle à celle de la couche de référence (20). L'état du point mémoire considéré (« 0 » ou « 1 ») peut ainsi être déterminé.

Les impulsions de champ magnétique générées par les deux lignes (14, 15) permettent, ainsi qu'on l'aura compris, la commutation de l'aimantation de la couche de stockage (20) lors du processus d'écriture. Ces impulsions de champ magnétique sont produites en envoyant des impulsions de courant courtes (typiquement 2 à 5 nanosecondes) et d'intensité faible (typiquement inférieure à 10 milliampères) le long des lignes de courant (14, 15). L'intensité de ces impulsions et leur synchronisation

sont ajustées de sorte que seule l'aimantation du point mémoire se trouvant à l'intersection de ces deux lignes de courant (point sélectionné) peut commuter sous l'effet du champ magnétique généré par les deux conducteurs. Les autres points mémoires, situés sur la même ligne ou sur la même colonne (points demi-sélectionnés) ne sont, de fait, assujettis qu'au champ magnétique d'un seul des conducteurs (14, 15), et en conséquence ne se retournent pas.

Afin d'obtenir un fonctionnement satisfaisant de cette architecture lors du processus d'écriture, il est nécessaire d'utiliser des points mémoire de forme anisotrope, généralement des ellipses, croissants, demi-ellipses, diamants... avec des rapports longueur sur largeur élevés, typiquement 1.5 et plus. (voir figure 2). Cette géométrie est en effet requise pour obtenir :

- d'une part, un fonctionnement bi-stable, c'est-à-dire deux états bien définis du point mémoire correspondant à l'état « 1 » et à l'état « 0 »,
- et d'autre part, une bonne sélectivité à l'écriture entre les points mémoire sélectionnés et les points mémoire demi-sélectionnés situés sur une même ligne ou une même colonne.
- une bonne stabilité thermique et temporelle

De par le mécanisme de structure de ces points mémoire, on comprend clairement les limites de cette architecture.

L'écriture étant constituée par un champ magnétique extérieur, elle est assujettie à la valeur du champ de retournement individuel de chaque point mémoire. Si la fonction de distribution des champs de retournement pour l'ensemble des points mémoire est large (en effet, elle n'est pas uniforme en raison des contraintes de fabrication et des fluctuations statistiques intrinsèques), il est nécessaire que le champ magnétique sur le point mémoire sélectionné soit supérieur au champ de retournement le plus élevé de la distribution, au risque de renverser accidentellement certains points mémoire situés sur la ligne ou sur la colonne correspondante, dont le champ de retournement, situé dans la partie basse de la distribution, est plus faible que le champ magnétique généré par la ligne ou la colonne seule. Inversement, si l'on souhaite s'assurer qu'aucun point mémoire ne soit écrit par une ligne ou une colonne, il faut limiter le courant d'écriture de telle sorte à ne jamais dépasser, pour ces points mémoire, le champ magnétique correspondant à la partie basse de la distribution, au risque de ne pas écrire le point mémoire sélectionné à l'intersection desdites ligne et colonne, si son champ de retournement est situé dans la partie haute de la distribution.

En d'autres termes, cette architecture à sélection par champ magnétique à l'aide de lignes et de colonnes ou conducteurs, peut facilement conduire à des erreurs d'adressage à l'écriture. Compte-tenu de ce qu'il est attendu que la fonction de distribution des champs de retournement des points mémoire soit d'autant plus large que leur dimension est faible, puisque c'est la géométrie des points mémoire (forme, irrégularité, défaut) qui domine le mécanisme de renversement de l'aimantation, cet effet ne peut qu'empirer dans les générations de produits futurs.

Selon un perfectionnement décrit dans le document US-A-5 959 880, le rapport d'aspect du point mémoire peut être diminué en utilisant l'anisotropie intrinsèque du matériau constitutif de la couche de stockage (connue par l'homme de l'art sous le nom de l'anisotropie magnétocristalline) pour définir les deux états stables du système. Avec cette approche, cependant, la stabilité temporelle ou thermique du système n'est cependant plus garantie car c'est le même paramètre physique qui gouverne le processus d'écriture et la stabilité thermique :

- si l'anisotropie magnétocristalline est importante, le système est stable (en temps et en température) et les deux états du point mémoire sont bien définis. En revanche, le champ magnétique requis pour renverser l'aimantation dudit point mémoire d'un état stable à l'autre (le champ d'écriture) est important, donc la puissance consommée lors du processus d'écriture est grande.
- Inversement, si l'anisotropie magnétocristalline est faible, la puissance consommée à l'écriture est faible, mais la stabilité thermique et temporelle n'est plus assurée. De plus, les deux états au repos du point mémoire sont mal définis car les structures magnétiques à l'intérieur du point mémoire sont complexes et multiples selon le cyclage en champ.

En d'autres termes, il est impossible d'assurer simultanément une faible puissance consommée et la stabilité thermique et temporelle.

Selon un perfectionnement décrit par exemple dans le brevet US-A-6 385 082, une impulsion de courant est envoyée à travers le point mémoire lors du processus d'écriture, en ouvrant le transistor (12), dans l'objectif d'induire un échauffement significatif dudit point mémoire. L'échauffement du point mémoire produit un abaissement du champ magnétique d'écriture requis. Pendant cette phase où la température du point adressé est significativement supérieure à celle des autres points mémoire, des impulsions de courant sont envoyées dans les lignes (14, 15) pour créer deux champs magnétiques orthogonaux, permettant la commutation de l'aimantation

de la couche de stockage de la jonction considérée. Cette écriture, assistée thermiquement, permet d'améliorer la sélection à l'écriture, puisque seul le point mémoire sélectionné est échauffé, les autres points mémoire demi-sélectionnés sur la même ligne ou sur la même colonne restant à température ambiante. En d'autres termes, le perfectionnement décrit dans ce document vise à augmenter la sélectivité à l'écriture en échauffant la jonction adressée tout en gardant le concept de base d'écriture par envoi de deux impulsions de champs magnétiques orthogonaux.

D'autres méthodes d'adressage, également basées sur une élévation de température du point mémoire, mais utilisant un seul champ magnétique ou une commutation magnétique par injection de courant polarisé en spin dans la couche de stockage ont été décrites dans les documents FR 2 829 867 et FR 2 829 868.

La mise en œuvre d'un tel chauffage du point mémoire sélectionné offre différents avantages, parmi lesquels on peut citer :

- une amélioration importante de la sélectivité à l'écriture, puisque seul le point mémoire à écrire est chauffé,
- une amélioration importante de la sélectivité à l'écriture, en utilisant des matériaux à fort champ d'écriture à température ambiante,
- une amélioration de la stabilité en champ magnétique nul (rétention) en utilisant des matériaux à forte anisotropie magnétique (intrinsèque ou liée à la forme du point mémoire) à température ambiante,
- la possibilité de diminuer fortement la taille du point mémoire sans affecter la limite de stabilité, en utilisant des matériaux à forte anisotropie magnétique à température ambiante.

### **Descriptif sommaire de l'invention**

L'objectif de la présente invention est d'optimiser de manière supplémentaire les avantages précédemment évoqués en abaissant le champ de retournement de l'aimantation du point mémoire par la sélection d'une géométrie particulière dudit point mémoire, et notamment en mettant en œuvre une géométrie circulaire. En effet, il a pu être montré, et c'est là le cœur de la présente invention, que dans le cadre d'une telle géométrie circulaire du point mémoire, l'anisotropie de forme du point mémoire qui est responsable d'une augmentation du champ de retournement de l'aimantation est nulle. Par voie de conséquence, la puissance électrique requise pour réaliser l'écriture d'un point mémoire peut être considérablement abaissée dans l'approche écriture assistée thermiquement. Ce résultat constitue un avantage décisif,

en particulier pour les applications portables et pour les applications en technologie sur SOI (Silicium sur Isolant).

5 A cet égard, il convient de souligner que l'utilisation simple d'une géométrie circulaire, telle que décrite dans le document précité US-A-5 959 880, sans utiliser ni l'approche d'écriture assistée thermiquement ni l'optimisation telle que décrite dans la présente invention, ne permet pas d'assurer la fonctionnalité recherchée car il est alors impossible, pour la raison décrite ci-dessus, d'assurer simultanément une faible puissance consommée et la stabilité thermique et temporelle.

10

Ainsi, l'invention concerne une mémoire magnétique à écriture assistée thermiquement, dont chaque point mémoire est constitué d'une jonction tunnel magnétique, et dont la section parallèlement au plan des couches constitutives de la jonction tunnel est circulaire ou sensiblement circulaire, ladite jonction tunnel

15

- une couche magnétique de référence, dite "couche piégée", dont l'aimantation est de direction fixe,
- une couche magnétique de stockage, dite "couche libre", dont la direction d'aimantation est variable,

20

- une couche isolante, interposée entre la couche libre et la couche piégée, et dans laquelle la couche de stockage est formée d'au moins une couche magnétique douce, c'est-à-dire d'anisotropie magnétique réduite, préférentiellement inférieure à 10 Oersted, et typiquement comprise entre 1 et 3 Oersted, et d'une couche de piégeage, les deux couches étant couplées magnétiquement par contact,

25

et dans laquelle la température de fonctionnement de la mémoire en lecture ou au repos est choisie en dessous de la température de blocage des couches respectivement libre et piégée, c'est à dire la température à laquelle le piégeage magnétique disparaît.

30 Selon un aspect avantageux de l'invention, la couche magnétique douce de la couche de stockage est constituée d'un alliage à base de nickel, de cobalt et de fer et la couche de piégeage est constituée d'un alliage à base de fer et de cobalt, ou d'un alliage anti-ferromagnétique à base de manganèse, ou d'alliages amorphes à base de terre rare et de métal de transition.

35

Toujours selon l'invention, la couche de référence ou couche piégée est préférentiellement constituée d'une couche synthétique anti-ferromagnétique artificielle, constituée de deux couches ferro-magnétiques en alliages à base de

nickel, de cobalt et de fer, séparées d'une couche non magnétique, de telle sorte que les aimantations des deux couches ferromagnétiques soient anti-parallèles.

5 Comme il est connu de l'homme de l'art, les couches de stockage et de référence peuvent en outre comporter près de l'interface avec la barrière tunnel une couche additionnelle de cobalt ou d'alliage riche en cobalt et destinée à augmenter la polarisation des électrons tunnel et donc l'amplitude de magnétorésistance.

10 Selon l'invention, les points mémoire sont organisés en réseau, chaque point mémoire étant connecté en son sommet à une ligne conductrice et à sa base, à un transistor de sélection, l'écriture étant réalisée au niveau d'un point mémoire considéré par l'envoi simultané d'impulsions de courant électrique dans ledit conducteur et d'un courant de chauffage par l'ouverture dudit transistor.

15 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, le transistor de commande et sa ligne de commande correspondante sont placés sous le point mémoire considéré.

20 La manière dont l'invention peut être réalisée et les avantages qui en découlent ressortiront mieux des exemples de réalisation qui suivent, donnés à titre indicatif et non limitatif, à l'appui des figures annexées.

### **Description sommaire des figures**

25 La figure 1, déjà décrite, est une représentation schématique de l'architecture d'une mémoire magnétique de l'état antérieur de la technique, dont les points mémoire sont constitués par une jonction tunnel magnétique.

La figure 2, également déjà décrite, est une représentation schématique des formes des points mémoire de l'art antérieur.

30 La figure 3 est une représentation schématique illustrant l'état d'aimantation des couches constitutives des points mémoire, respectivement à l'état « 1 » et à l'état « 0 ».

La figure 4A est une représentation schématique d'un point mémoire conforme à une première forme de réalisation de l'invention, dont la figure 4B est une vue schématique du dessus.

35 La figure 5A est une représentation schématique d'un point mémoire selon une variante de l'invention, dont la figure 5B est une vue schématique du dessus.

La figure 6A est une représentation schématique d'une autre variante d'un point mémoire conforme à la présente invention, dont la figure 6B est une vue schématique du dessus.

La figure 7 décrit la variation calculée du champ d'écriture requis dans un point mémoire elliptique à base de  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$  (épaisseurs respectives 30 et 15 Angstrom) en fonction de la longueur du point mémoire pour différents facteurs de forme  $AR=\text{longueur}/\text{largeur}$ .

### Description détaillée de l'invention

10

On a représenté au sein de la figure 3 les orientations de l'aimantation des différentes couches constitutives d'un point mémoire, notamment de l'art antérieur. Selon celui-ci, la couche de stockage (30) est constituée d'un empilement comprenant au moins une couche ferro-magnétique (32) et une couche anti-ferromagnétique (31). Ces deux couches sont déposées de telle sorte qu'un couplage d'échange magnétique s'établisse entre les deux couches. L'empilement du point mémoire complet comporte également au moins une couche isolante (33) et une couche de référence (34), avantageusement associées à une couche de piégeage (35). Cette architecture est décrite sous la dénomination de couche de stockage piégée. Les avantages procurés par cette architecture sont multiples :

15

- limite de stabilité des points mémoires repoussée,
- insensibilité aux champs magnétiques externes,
- possibilité de réaliser des stockages multi-niveaux.

20

Selon l'invention, le point mémoire utilisant une couche de stockage piégée n'est plus de forme allongée, mais de forme circulaire et plus précisément, sa section transversale parallèlement au plan des couches le constituant est circulaire. En d'autres termes, le point mémoire présente un profil cylindrique ou conique, et donc une symétrie de révolution.

30

Selon l'invention, le point mémoire peut également être de géométrie non circulaire tant que son rapport d'aspect reste inférieur à 1.2 (20% de différence entre la longueur et la largeur).

35

Ce faisant, et comme déjà indiqué précédemment, l'anisotropie de forme du point mémoire est minimisée, diminuant de manière significative le champ de retournement de l'aimantation du point mémoire en processus d'écriture, et par voie de conséquence, diminuant la puissance électrique requise. Un exemple de la

dépendance du champ d'écriture pour les différents facteurs de forme est donné dans la figure 7. On observe sur cette figure que le lorsque le point mémoire n'est pas de géométrie circulaire, le champ d'écriture (exprimé ici en courant dans les conducteurs utilisé pour générer le champ magnétique) croît fortement lorsque la dimension du point mémoire est réduite en dessous de 200nm, et d'autant plus  
5 abruptement que le rapport d'aspect (quotient de la longueur sur la largeur) est important. Au contraire, lorsque le point mémoire est de géométrie circulaire (rapport d'aspect = 1), le champ d'écriture décroît de manière monotone avec la dimension du point mémoire, même en dessous de 200 nm.

10

Avantageusement, la couche de stockage (30) ou couche libre est formée d'un matériau doux, c'est-à-dire dont le champ de renversement (champ coercitif) est très faible. Préférentiellement, ce matériau est un alliage contenant du nickel, du fer ou du cobalt, en particulier du permalloy  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ,  $\text{NiFeCo}$  ou  $\text{FeCoB}$ . En effet, l'utilisation  
15 d'un matériau très doux permet de diminuer le champ magnétique requis à l'écriture, donc la puissance consommée.

Avantageusement, les couches de piégeage (31) et (35) sont constituées d'un matériau anti-ferromagnétique et notamment d'un alliage à base de manganèse de type  $\text{Pt}_{50}\text{Mn}_{50}$ ,  $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$  ou  $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{50}$ . Il est important de préciser que les épaisseurs, la nature chimique ou la microstructure des couches de piégeage (31) et (35) diffèrent  
20 afin que leurs températures de blocage (température à laquelle le couplage d'échange avec la couche ferromagnétique adjacente, respectivement la couche de stockage (30) et la couche de référence (34)) soient bien différenciées. Plus précisément, la température de blocage de la couche (31) doit être inférieure à celle de la couche (35) afin de permettre, lors de l'écriture, de débloquent l'aimantation de la couche de  
25 stockage (30) à écrire, sans altérer la direction de l'aimantation de la couche de référence (34) du même point mémoire.

Avantageusement, la couche de référence (34) est une structure synthétique constituée d'une couche synthétique anti-ferromagnétique et de deux couches ferromagnétiques en alliages à base de nickel, de cobalt et de fer, séparées d'une couche non magnétique, de telle sorte que les aimantations des deux couches ferromagnétiques soient couplées avec des orientations anti-parallèles de leurs  
30 aimantations, afin de minimiser le champ magnéto-statique agissant sur la couche de  
35 stockage (30).

Avantageusement, les couches de stockage et de référence peuvent en outre comporter près de l'interface avec la barrière tunnel une couche additionnelle de cobalt ou d'alliage riche en cobalt, et destinée à augmenter la polarisation des électrons tunnel et donc l'amplitude de magnétorésistance.

5

On a représenté schématiquement en relation avec les figures 4A et 4B, la structure d'un point mémoire conforme à l'invention. Le point mémoire comporte la jonction tunnel magnétique proprement dite, de forme cylindrique ainsi que déjà dit, un transistor d'adressage (46) muni de sa ligne de commande (47) et un conducteur (48), permettant de générer le champ magnétique parallèlement à l'axe facile de l'aimantation de la couche de stockage (41). L'aimantation des couches magnétiques est sensiblement dans le plan des couches.

10

Avantageusement et comme expliqué précédemment, cette structure à simple barrière tunnel pourrait avantageusement être remplacée par une structure à double barrière tunnel. Dans ce cas, la couche de stockage (41) est constituée d'une tricouche antiferromagnétique (par exemple  $\text{Ir}_{20}\text{Mn}_{80}$ ) en sandwich entre deux couches ferromagnétiques, simple ou complexes, (par exemple  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Co}_{90}\text{Fe}_{10}$ ). Cette « tricouche » de stockage est insérée entre deux barrières tunnels, du côté opposé desquelles se situent les deux couches de référence similaires à celles décrite dans l'état de l'art.

20

Le fonctionnement de ces structures peut être décrit de la manière suivante.

Les températures de blocage des couches de stockage et de référence doivent être supérieures à la température de fonctionnement de la mémoire hors échauffement, et même nettement supérieure à cette température de fonctionnement, dès lors que l'on souhaite stocker l'information de manière stable. La température de blocage de la couche de stockage doit être inférieure à celle de la couche de référence.

30

Ainsi, en phase d'écriture, le transistor (46) associé au point mémoire (40) est commuté en mode bloqué par une impulsion de tension dans la ligne (47). En même temps, une impulsion de tension est appliquée au point mémoire (40) par le biais de la ligne (48), de telle sorte qu'un courant électrique circule à travers la jonction tunnel (40) via le transistor (46). Le niveau de tension est défini de telle sorte que la densité de puissance produite au niveau de la jonction permette une élévation la température de la jonction tunnel (40) à une température supérieure à la température

35

de blocage de la couche anti-ferromagnétique (42), et inférieure à la température de blocage de la couche de piégeage (45). A cette température, l'aimantation de la couche de stockage (41) n'est plus piégée par la couche (42) et peut donc se retourner sous l'effet d'un champ magnétique d'écriture. En revanche, l'aimantation de la  
5 couche de référence (44), constituée d'un matériau à forte anisotropie magnéto-cristalline, et séparée de la couche de stockage (41) par la barrière isolante (43), reste piégée par la couche (45), dont la température de blocage est supérieure à celle de la couche (42), de sorte qu'elle ne commute pas sous l'effet du champ magnétique d'écriture.

10

Il est à noter qu'en considérant une densité de courant maximum de 10 mA/ $\mu\text{m}^2$  afin de limiter la taille du transistor de commande (46), et un produit  $R \times A$  (résistance x surface) de la jonction tunnel (40) de 100 et 200 Ohms $\mu\text{m}^2$  (valeurs accessibles dans l'état de l'art) pour des jonctions à simple et double barrière,  
15 respectivement, les tensions à appliquer sont de l'ordre de 1 à 2 volts. Ces valeurs sont tout à fait admissibles en régime dynamique (impulsions électriques de courte durée).

Une fois le point mémoire échauffé au dessus de la température de blocage de  
20 la couche antiferromagnétique (42), le chauffage est stoppé en fermant le transistor (46) de manière à couper le courant de chauffage circulant au travers de la jonction tunnel (40). L'impulsion de courant dans le conducteur d'excitation (48), qui ne passe plus à travers la jonction tunnel (40), est maintenue avec un signe et une amplitude tels que le champ magnétique produit permette le renversement de l'aimantation de la  
25 couche de stockage (41) dans la direction désirée. La synchronisation et la durée de l'impulsion doivent être ajustées de telle sorte que l'aimantation de la couche de stockage (41) soit orientée dans la direction désirée pendant le refroidissement du point mémoire (40), jusqu'à une température du point mémoire inférieure à la température de blocage de la couche antiferromagnétique (42). Il est alors possible de  
30 couper le courant dans la ligne (48). Le point mémoire (40) finit alors de redescendre à la température de fonctionnement hors écriture et l'aimantation de la couche de stockage (41) finit de se figer dans la direction désirée. Le point mémoire est alors écrit.

35 Afin de mieux saisir l'avantage inhérent à la mise en œuvre d'un point mémoire cylindrique, tel que décrit dans la présente invention, il convient d'exprimer l'énergie de la hauteur de barrière de potentiel qu'il faut franchir pour passer d'un état « 0 » à un état « 1 » du point mémoire, ladite hauteur de barrière de potentiel

étant directement liée d'une part, à la valeur du champ magnétique qu'il faut appliquer pour écrire le point mémoire, donc à la puissance consommée, et d'autre part à la stabilité thermique et temporelle des données écrites.

5 Dans le cas de l'état antérieur de la technique où la couche de stockage n'est pas piégée par interaction d'échange à la couche de piégeage (42), la stabilité thermique de la mémoire est assurée par l'anisotropie de forme du point mémoire, directement reliée au rapport d'aspect entre longueur et largeur du point mémoire. L'énergie de la barrière par unité de volume s'écrit alors comme :

10

$$E_b = K + \frac{AR-1}{L} tM_s^2$$

où le premier terme (K) est l'anisotropie magnéto-cristalline et le second terme est l'anisotropie de forme. Dans ce second terme, AR est le rapport d'aspect (longueur/largeur) du point mémoire, L sa longueur, t l'épaisseur de la couche de  
15 stockage (41) et Ms son aimantation à saturation. Pour une valeur de AR=1.5 (valeur typique de l'état antérieur de la technique), Eb s'écrit :

20

$$E_b = K + \frac{0.5}{L} tM_s^2$$

Les limitations de l'état antérieur de la technique sont immédiatement décelables. En effet :

- Plus le point mémoire diminue en taille (L diminue, AR constant) plus l'énergie de la barrière augmente, d'où une augmentation importante de la  
25 puissance consommée ;
- Plus le rapport d'aspect est faible (AR diminue, L constant), plus l'énergie de la barrière diminue, d'où une perte de la stabilité thermique et temporelle des données, d'autant plus importante que le point mémoire diminue en taille. La seule parade est ici d'augmenter l'anisotropie  
30 magnéto-cristalline K en adaptant le matériau du point mémoire, mais alors au prix d'une augmentation importante de la puissance consommée.

Dans le cas de la présente invention, où la couche de stockage (41) est piégée par échange avec la couche (42), il n'est plus nécessaire d'utiliser l'anisotropie de  
35 forme pour assurer la stabilité thermique et temporelle du point mémoire. En

choisissant une géométrie circulaire ou presque circulaire ( $AR \sim 1$ ), on annule le terme d'anisotropie de forme, et l'énergie de la barrière s'écrit alors :

$$E_b = K + \frac{J_{ex} - M_s^2}{t} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right)$$

5

où le second terme correspond maintenant à l'énergie d'échange entre la couche de stockage (41) et la couche de piégeage (42). On conçoit alors l'intérêt de l'invention par rapport à l'état antérieur de la technique. En effet :

- Au repos, l'énergie de la barrière est adaptée par le choix des matériaux (42) (à travers la constante d'échange  $J_{ex}$ ) et (41) (à travers l'épaisseur  $t$  et l'aimantation  $M_s$ ) pour être suffisante pour permettre la stabilité thermique et temporelle
- A l'écriture, le courant circulant à travers le point mémoire provoque une élévation de température jusqu'à ou au-dessus de la température de blocage  $T_B$  de la couche (42), de sorte que la couche de stockage (41) soit dépiégée. En d'autres termes, le second terme de l'équation ci-dessus est annulé et l'énergie de la barrière devient simplement  $E_b = K$ , plus petite valeur possible pour un point mémoire magnétique. En choisissant avantageusement le matériau de la couche de stockage (41), il est possible d'abaisser suffisamment la barrière ( $K = 0$ ) pour minimiser le champ magnétique requis lors du processus d'écriture et donc la puissance consommée.

On conçoit à la lumière de cette description l'intérêt de la présente invention, qui permet d'optimiser séparément la fonction de stockage (stabilité thermique et temporelle) et la fonction d'écriture (minimisation de la puissance consommée). C'est une amélioration majeure par rapport à l'état antérieur de la technique, dans lequel les deux fonctions sont mélangées, forçant à des compromis difficiles.

On observe donc que, conformément à la présente invention, il n'y a qu'une seule ligne de génération de champ magnétique d'écriture contrairement aux dispositifs de l'art antérieur. Celle-ci permet ainsi de superposer le transistor de commande (46) et sa ligne de commande correspondante (47) avec le point mémoire (40), ce qui aboutit à une minimisation de la dimension de la cellule mémoire élémentaire, augmentant par là même les possibilités d'intégration. Par ailleurs, le réseau carré de points mémoire présente une structure beaucoup plus simple, puisque

la mémoire est formée de simples lignes de points mémoire rationalisant d'autant les procédés de fabrication.

5 Avantageusement, la ligne conductrice servant à générer l'impulsion de chauffage peut être distincte de la ligne conductrice servant à générer l'impulsion du champ magnétique, cela afin d'optimiser les densités de courants respectifs pour les deux opérations.

10 Avantageusement ainsi que l'on peut l'observer sur la figure 6A, cette ligne de courant additionnelle (69), mise en oeuvre pour la génération de l'impulsion de champ magnétique, et isolée électriquement du point mémoire (60) et du conducteur (67), est placée au-dessus du point mémoire (60), de telle sorte à permettre la superposition du transistor de commande (66) et de sa ligne de commande (67) avec le point mémoire (60), préservant ainsi la compacité de la mémoire.

15

Les impulsions de courant dans les lignes (68) et (69) peuvent être contrôlées indépendamment, tant du point de vue de l'amplitude du courant, que de la durée de pulse du courant et de leur synchronisation.

20 Par ailleurs, en utilisant une couche de stockage piégée par une couche anti-ferromagnétique, cette technique d'écriture permet la réalisation de plus de deux états magnétiques dans le point mémoire (40). Pour cela, il faut avoir non plus une seule ligne conductrice pour générer le champ d'écriture, mais deux lignes perpendiculaires ainsi que représentées sur la figure 5A, les lignes (48) et (49). La combinaison de ces  
25 deux champs perpendiculaires permet de créer n'importe quelle direction de champ magnétique dans le plan de l'échantillon. En appliquant ce champ dans la direction désirée pendant le refroidissement de la couche de stockage au travers de sa température de blocage, on peut ainsi stabiliser d'autres configurations magnétiques intermédiaires entre alignement parallèle et anti-parallèle, correspondant à des  
30 niveaux de résistance intermédiaires. Ainsi est-il possible simultanément d'obtenir plusieurs états magnétiques dans le point mémoire, donc un stockage dit « multi-niveaux », tout en conservant l'avantage de l'invention de la puissance consommée très faible.

35 Selon une alternative de l'invention, il est possible de faire commuter l'aimantation de la couche de stockage au cours du refroidissement du point mémoire en utilisant le phénomène de commutation magnétique par injection de courant polarisé en spin. L'origine physique de ce phénomène a été décrite par J.

SLONCZEWSKI, Journal of Magnetism and Magnetic Materials Vol.159 (1996), page L1 et par L. BERGER, Physical Review vol.B54 (1996) , page 9353.

Ce principe consiste à faire passer un courant tunnel au travers de la jonction.  
5 Si les électrons passent par effet tunnel de la couche de référence vers la couche de stockage, c'est-à-dire si le courant circule de la couche de stockage vers la couche de référence, l'aimantation de la couche de stockage va s'orienter parallèlement à la direction des spins injectés, à condition que le courant soit suffisamment intense, ce qui suppose de nouveau que la barrière ait une faible résistance électrique. Si au  
10 contraire, les électrons passent par effet tunnel de la couche de stockage vers la couche de référence, l'aimantation de la couche de stockage va s'orienter anti-parallèlement à l'aimantation de la couche de référence.

Quel que soit le mode de commutation magnétique employé, le procédé de  
15 lecture est identique à celui décrit dans l'état antérieur de la technique. On procède en effet à une lecture de la résistance du point mémoire (40) par un courant de faible amplitude commandé par l'ouverture du transistor de commande (46). La résistance est généralement comparée à celle d'une cellule de référence non représentée au sein des figures 4 à 6.

20

On conçoit tout l'intérêt de cette architecture dans la mesure où :

- L'aimantation de la couche de stockage n'étant plus piégée par la couche anti-ferromagnétique (42) lors du processus d'écriture, le champ de retournement de la couche de stockage (41) peut être extrêmement faible, puisqu'il n'est plus défini  
25 que par des propriétés intrinsèques de ladite couche de stockage (41),
- de par l'utilisation d'un matériau de très faible anisotropie magnétique (très doux magnétiquement) pour ladite couche de stockage (41), d'une part, et la géométrie cylindrique du point mémoire (40) (absence de champ démagnétisant) d'autre part, conduisant à une anisotropie magnétique très faible, le renversement de la couche  
30 de stockage (41) peut donc être effectué dans un champ magnétique très faible.
- de par le couplage entre la couche de stockage (41) et la couche de piégeage (42), la stabilité thermique et temporelle des données écrites dans le point mémoire est excellente ;
- de par la géométrie circulaire du point mémoire, l'influence des variations de  
35 taille sur la valeur du champ de retournement des points mémoires individuels est éliminée. En conséquence les erreurs d'adressage lors du processus d'écriture sont grandement réduites et les procédés de fabrication sont simplifiés.

Il résulte de ces considérations qu'il est possible d'abaisser le courant d'écriture du point mémoire (40) sélectionné à des valeurs très inférieures à celles requises par les dispositifs de l'état antérieur de la technique sans obérer la stabilité thermique et temporelle des données écrites.

5

Cette diminution de la puissance consommée est d'autant plus importante que les dimensions du point mémoire sont réduites. En effet, alors que l'état de l'art conduit à des puissances consommées lors de l'écriture d'autant plus grandes que la taille des points mémoire est réduite, la présente invention permet au contraire de  
10 diminuer la puissance consommée lorsque la taille du point mémoire est réduite. En d'autres termes, l'avantage concurrentiel de la présente invention ne fera que s'accroître au fur et à mesure de la réduction de la dimension des points mémoire.

En outre, la sélectivité à l'écriture est préservée, puisque les autres points  
15 mémoire situés sur une même ligne ou une même colonne n'étant pas chauffés lors du processus d'écriture, les couches de stockage (41) correspondantes desdits points mémoire non sélectionnés restent couplées aux couches anti-ferromagnétiques (42) correspondantes, étant donc insensibles au champ magnétique appliqué.

D'autre part, le stockage multi-niveaux est facilité puisque l'énergie magnéto-  
20 statique est la même dans toutes les directions de l'espace. En conséquence, le champ d'écriture est identique quelle que soit la direction donnée à l'aimantation par rapport à la direction de référence. Il convient également de préciser qu'au moyen de cette architecture, le chauffage peut être obtenu par un élément chauffant extérieur non  
25 représenté sur les figures 4 et 5. Cet élément chauffant peut être une couche de forte résistivité électrique située au-dessus ou en dessous des couches (42 ou 45) respectivement.

Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, la couche de référence  
30 (44) est de type anti-ferromagnétique synthétique afin d'améliorer la discrimination à l'écriture en diminuant le champ magnéto-statique.

Selon une caractéristique avantageuse, la couche de stockage du point mémoire  
35 peut être constituée d'une ou plusieurs couches ferro-magnétiques de type alliage amorphe ferrimagnétique (AAF). Dans ce cas, la température atteinte lors du processus d'écriture n'est plus une température de blocage de la couche anti-ferromagnétique (42), mais la température de Curie de la couche de piégeage (42) réalisée en AAF. De telles couches en AAF sont précisément des alliages de cobalt et

de terre rare, comme le samarium (Sm), le terbium (Tb) ou encore, mais de façon non limitative, le gadolinium (Gd).

5 En outre, la technique d'adressage conforme à l'invention permet une écriture simultanée de plusieurs points mémoire en sélectionnant le chauffage simultané de plusieurs points mémoire. Cette approche permet d'augmenter la vitesse d'écriture globale de la mémoire.

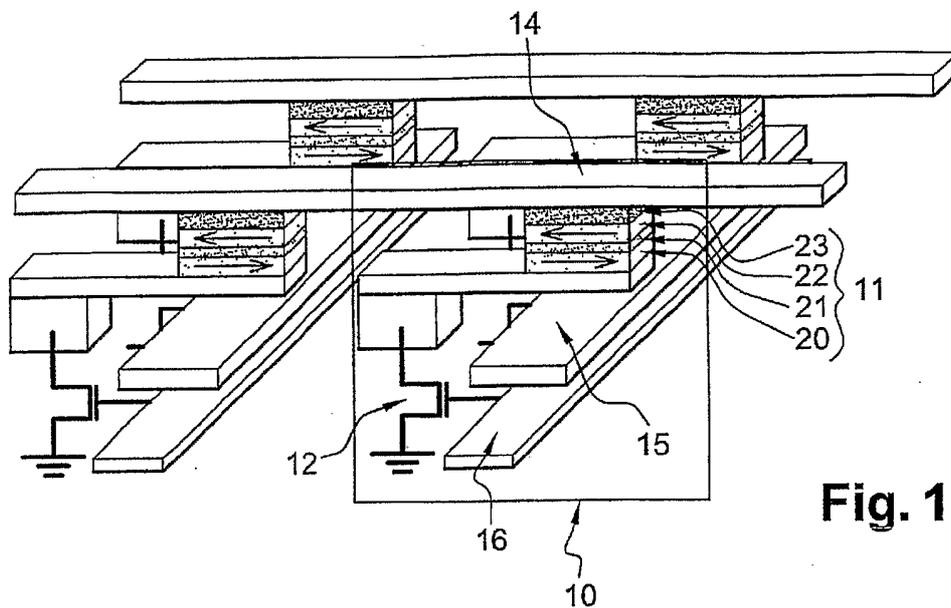
## REVENDICATIONS

1. Mémoire magnétique à écriture assistée thermiquement, dont chaque point mémoire (40, 60) est constitué d'une jonction tunnel magnétique, et dont la section parallèlement au plan des couches constitutives de la jonction tunnel est circulaire ou sensiblement circulaire, ladite jonction tunnel comprenant au moins :
- une couche magnétique de référence (44, 64), dite "couche piégée", dont l'aimantation est de direction fixe,
  - une couche magnétique de stockage (42, 62), dite "couche libre", dont la direction d'aimantation est variable,
  - une couche isolante (43, 63), interposée entre la couche libre (42, 62) et la couche piégée (44, 64),
- dans laquelle la couche de stockage (42, 62) est formée d'au moins une couche magnétique douce, c'est-à-dire d'anisotropie magnétique réduite, et d'une couche de piégeage (41, 61), les deux couches étant couplées magnétiquement par contact,
- et dans laquelle la température de fonctionnement de la mémoire en lecture ou au repos est choisie en dessous de la température de blocage des couches respectivement libre et piégée.
2. Mémoire magnétique selon la revendication 1, *caractérisée* en ce que l'anisotropie magnétique de la couche magnétique douce est inférieure à 10 Oersted, et préférentiellement comprise entre 1 et 3 Oersted.
3. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 et 2, *caractérisée* en ce que la couche magnétique douce de la couche de stockage (42, 62) est constituée d'un alliage à base de nickel, de cobalt et de fer.
4. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 3, *caractérisée* en ce que la couche de piégeage (41, 61) est constituée d'un matériau choisi dans le groupe comprenant les alliages à base de fer et de cobalt, les alliages anti-ferromagnétiques à base de manganèse, et les alliages amorphes à base de terre rare et de métal de transition.

5. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, *caractérisée* en ce que la couche de référence ou couche piégée (44, 64) est constituée d'une couche synthétique anti-ferromagnétique artificielle, constituée de deux couches ferro-magnétiques séparées d'une couche non magnétique de telle sorte que les aimantations des deux couches ferromagnétiques soient anti-parallèles.
6. Mémoire magnétique selon la revendication 5, *caractérisée* en ce que la couche de référence ou couche piégée (44, 64) est constituée d'un matériau à forte anisotropie magnéto-cristalline.
7. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 1 à 6, *caractérisée* en ce que les points mémoire (40, 60) sont organisés en réseau, chaque point mémoire étant connecté en son sommet à une ligne conductrice (48, 68, 69), destinée à générer un champ magnétique de retournement et à induire un échauffement dudit point mémoire, et à sa base, à un transistor de sélection (46, 66), l'écriture étant réalisée au niveau d'un point mémoire considéré en deux étapes :
- l'envoi simultané d'impulsions de courant électrique dans ladite ligne conductrice (48, 68, 69) et d'un courant d'ouverture dudit transistor (46, 66),
  - l'envoi d'une commande de fermeture du transistor (46, 66) afin que le courant circulant dans la ligne (48, 68, 69) ne circule plus dans le point mémoire (40, 60) mais serve à produire le champ magnétique d'écriture lors du refroidissement dudit point mémoire.
8. Mémoire magnétique selon la revendication 7, *caractérisée* en ce que le transistor de commande (46, 66) et sa ligne de commande correspondante (47, 67) sont placés sous le point mémoire considéré.
9. Mémoire magnétique selon la revendication 7, *caractérisée* en ce que la ligne conductrice (68) est dédoublée en un conducteur (68) dédié au chauffage du point mémoire (60) et en un conducteur (69) indépendant du conducteur (68) et isolé électriquement de celui-ci, dédié à la production du champ de retournement.
10. Mémoire magnétique selon la revendication 9, *caractérisée* en ce que les impulsions de courant dans les lignes (68) et (69) sont contrôlées indépendamment.

11. Mémoire magnétique selon la revendication 10, *caractérisée* en ce que les impulsions de courant dans les lignes (68) et (69) sont coïncidentes.
12. Mémoire magnétique selon la revendication 9, *caractérisée* en ce que le  
5 conducteur additionnel (69) est superposé au conducteur de chauffage (68).
13. Mémoire magnétique selon l'une des revendications 9 à 12, *caractérisée* en ce que le point mémoire (60), le transistor de commande (66) et les conducteurs (68, 69) sont superposés.  
10
14. Mémoire magnétique à accès aléatoire *caractérisée* en ce qu'elle est réalisée conformément à l'une quelconque des revendications 1 à 13.
15. Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique à écriture thermiquement  
15 assistée constituée par un réseau de points mémoire constitué chacun par une jonction tunnel magnétique (40, 60), et dont la section parallèlement au plan des couches constitutives de la jonction tunnel est circulaire ou sensiblement circulaire, ladite jonction tunnel comprenant au moins :
- une couche magnétique de référence (44, 64), dite "couche piégée", dont  
20 l'aimantation est de direction fixe,
  - une couche magnétique de stockage (42, 62), dite "couche libre", dont la direction d'aimantation est variable,
  - une couche isolante (43, 63), interposée entre la couche libre (42, 62) et la  
25 couche piégée (44, 64),
- et dans laquelle la température de fonctionnement de la mémoire en lecture ou au repos est choisie en dessous de la température de blocage des couches respectivement libre et piégée, consistant :
- tout d'abord à envoyer une impulsion électrique par le biais d'un conducteur  
30 (48, 68) au sein du point mémoire à écrire, destinée à induire un échauffement dudit point mémoire jusqu'à atteindre une température supérieure à la température de blocage de la couche de stockage (42, 62), mais inférieure à la température de blocage de la couche de référence (44, 64) ;
  - puis, lors du refroidissement dudit point mémoire intervenant après cet  
35 échauffement, à envoyer une impulsion électrique par le biais du conducteur (48, 68) ou d'un conducteur additionnel (69) indépendant et isolé électriquement du conducteur (68), destinée à générer un champ magnétique de retournement propre à modifier l'aimantation de la couche de stockage (42, 62).

- 5 **16.** Procédé pour écrire dans une mémoire magnétique constituée par un réseau de points mémoire constitué chacun par une jonction tunnel magnétique (40, 60) selon la revendication 15, *caractérisé* en ce que plusieurs points mémoire sont écrits simultanément en sélectionnant lesdits points mémoire à écrire par le chauffage des points mémoire considérés.

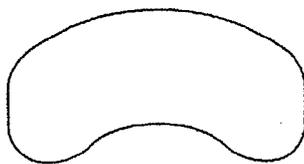


**Fig. 1**

**Fig. 2**



Ellipse



Croissant

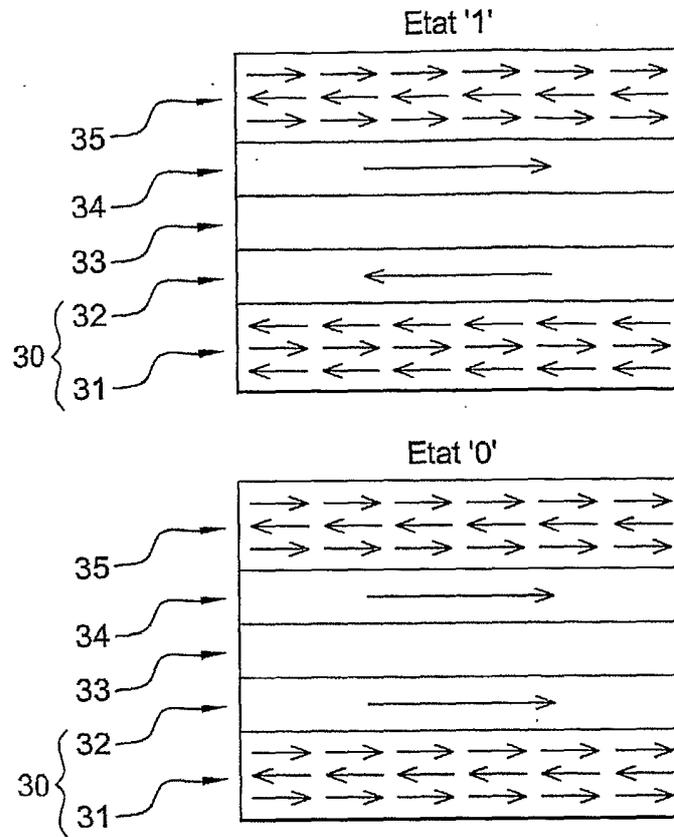


Demi-ellipse

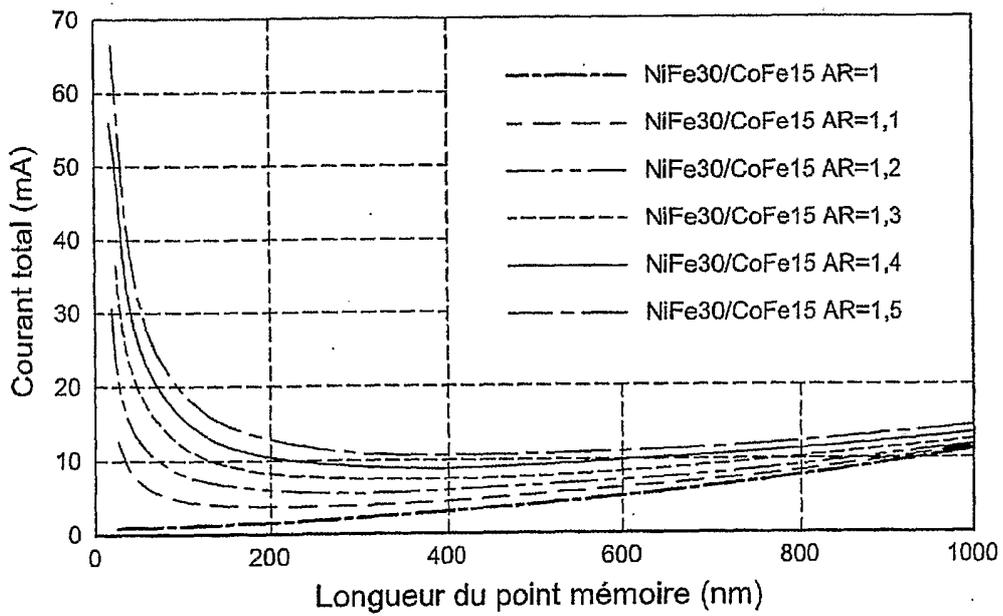


Diamant

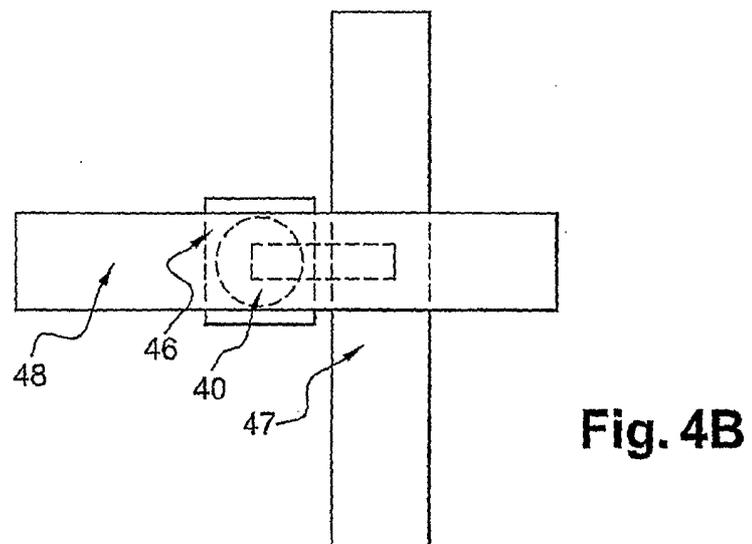
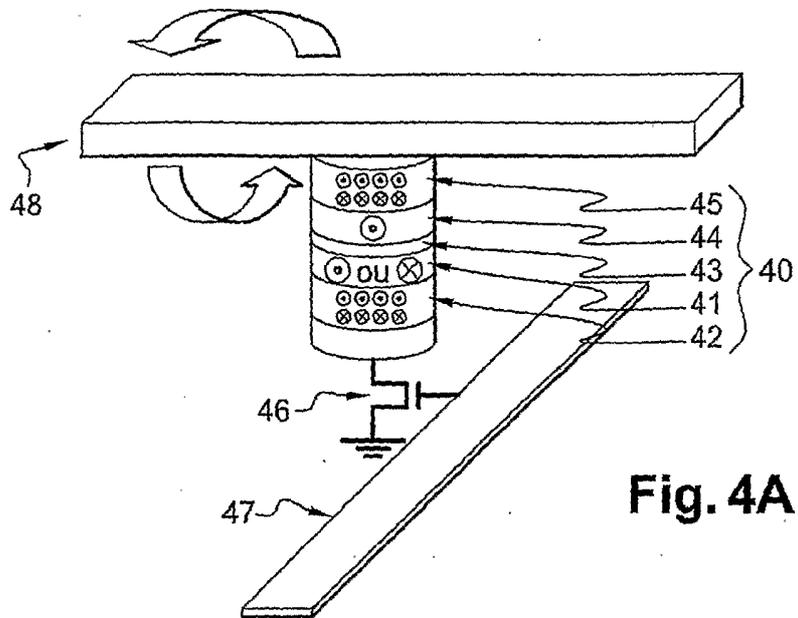
2 / 5

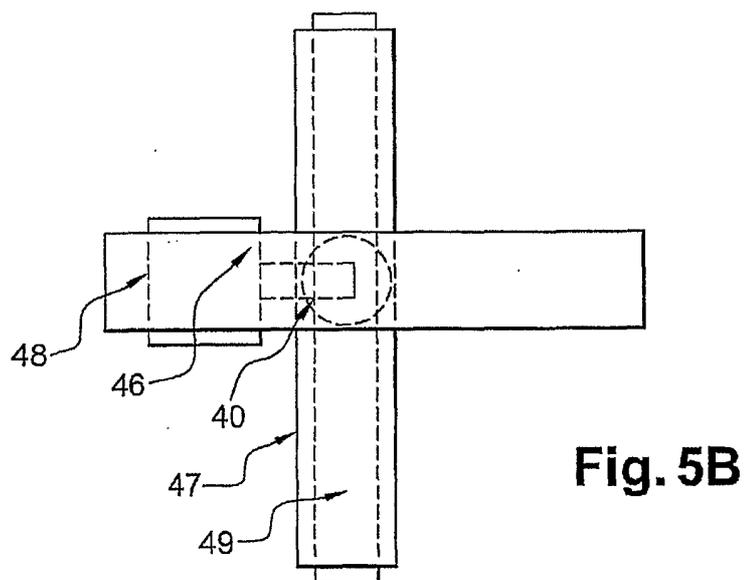
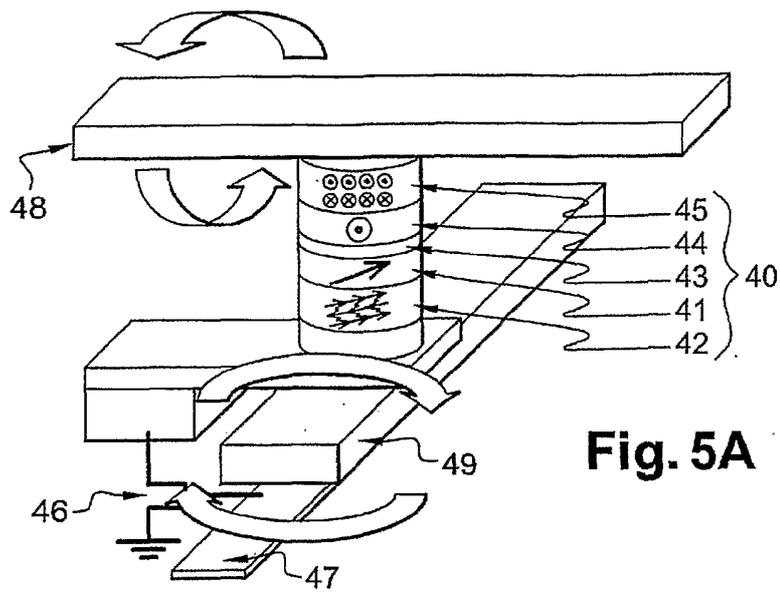


**Fig. 3**



**Fig. 7**





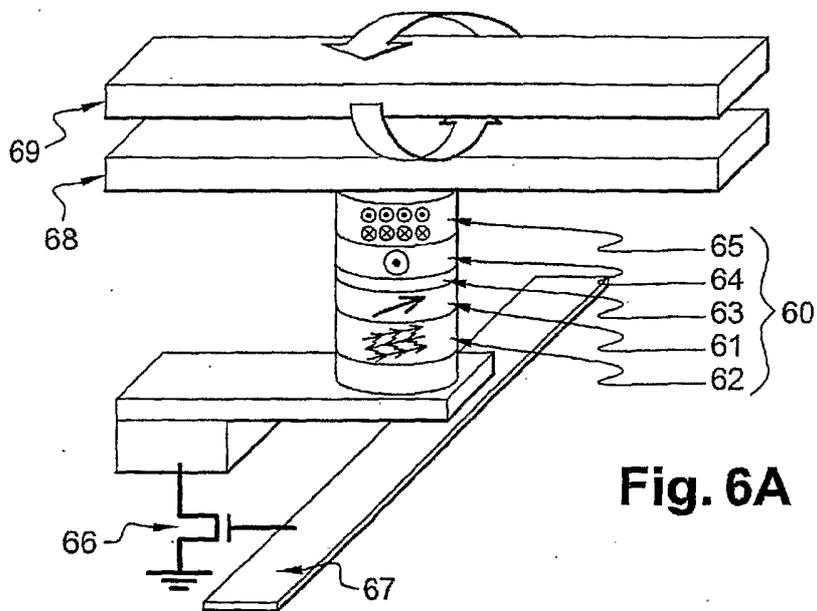


Fig. 6A

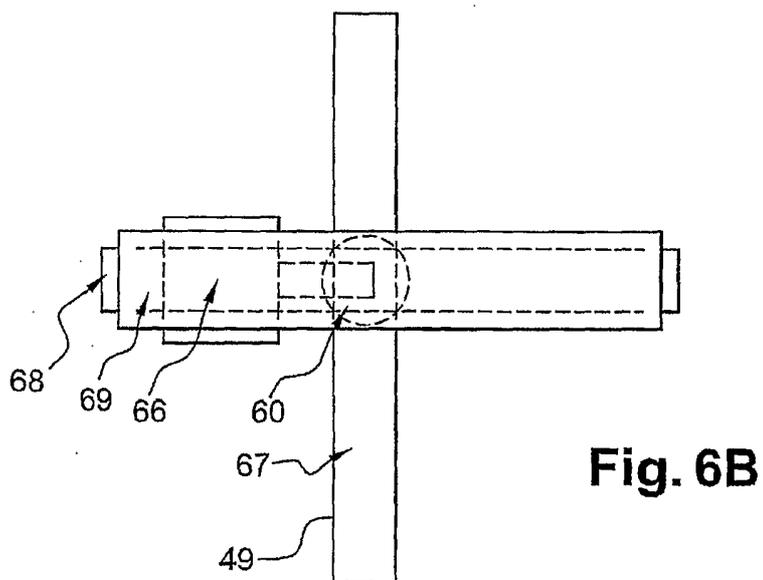


Fig. 6B

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2005/050103

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G11C11/16

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

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G11C

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

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

EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	FR 2 832 542 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 23 May 2003 (2003-05-23) figures 3,9-11 pages 5-8 pages 27-34	1-16
Y	US 5 966 323 A (CHEN EUGENE ET AL) 12 October 1999 (1999-10-12) figures 5,11 column 5, line 25 - column 7, line 20	1-16
Y	US 2003/117839 A1 (OOISHI TSUKASA) 26 June 2003 (2003-06-26) abstract figures 1,3a-b,20	16
----- -/--		

Further documents are listed in the continuation of box C.       Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

<p>*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>*E* earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>*L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>*O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>*P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>*T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>*X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>*Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>*&amp;* document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  <p style="text-align: center;">30 May 2005</p>	Date of mailing of the international search report  <p style="text-align: center;">08/06/2005</p>
---	---

Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <p style="text-align: center;">Havard, C</p>
--	--

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2005/050103

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	ZHENG Y K ET AL: "MULTISTATE PER-CELL MAGNETORESISTIVE RANDOM-ACCESS MEMORY WRITTEN AT CURIE POINT" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 38, no. 5, September 2002 (2002-09), pages 2850-2852, XP001131713 ISSN: 0018-9464 figure 1 page 2850, column 2	1-16
Y	WO 03/077257 A (AGENCY FOR SCIENCE TECHNOLOGY ; LI KE BIN (SG); QIU JIN JUN (SG); WU Y) 18 September 2003 (2003-09-18) abstract	1-16
A	WANG J ET AL: "LOW-CURRENT BLOCKING TEMPERATURE WRITING OF DOUBLE BARRIER MAGNETIC RANDOM ACCESS MEMORY CELLS" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 84, no. 6, 9 February 2004 (2004-02-09), pages 945-947, XP001197576 ISSN: 0003-6951 the whole document	9,15
A	WO 00/79540 A (NONVOLATILE ELECTRONICS INC ; POHM ARTHUR V (US); DAUGHTON JAMES M (US) 28 December 2000 (2000-12-28) figures 1a,3a-c	9,15
A	US 2003/123282 A1 (TRAN LUNG T ET AL) 3 July 2003 (2003-07-03) figure 5d	16
A	US 2003/206434 A1 (LEUSCHNER RAINER) 6 November 2003 (2003-11-06) figure 2 paragraph '0027! - paragraph '0028!	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2003, no. 06, 3 June 2003 (2003-06-03) & JP 2003 060173 A (CANON INC), 28 February 2003 (2003-02-28) abstract	7
A	US 6 654 278 B1 (JANESKY JASON ALLEN ET AL) 25 November 2003 (2003-11-25) figures 5,15,17	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No  
PCT/FR2005/050103

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
FR 2832542	A	23-05-2003	FR 2832542 A1	23-05-2003
			EP 1466329 A2	13-10-2004
			WO 03043017 A2	22-05-2003
			JP 2005510047 T	14-04-2005
			US 2005002228 A1	06-01-2005
US 5966323	A	12-10-1999	TW 457481 B	01-10-2001
US 2003117839	A1	26-06-2003	JP 2003196973 A	11-07-2003
			CN 1427415 A	02-07-2003
			DE 10237523 A1	17-07-2003
			TW 569216 B	01-01-2004
			US 2004160822 A1	19-08-2004
WO 03077257	A	18-09-2003	AU 2003214783 A1	22-09-2003
			WO 03077257 A1	18-09-2003
			TW 222637 B	21-10-2004
WO 0079540	A	28-12-2000	AU 6121100 A	09-01-2001
			EP 1196925 A1	17-04-2002
			WO 0079540 A1	28-12-2000
			US 6535416 B1	18-03-2003
US 2003123282	A1	03-07-2003	US 2002089874 A1	11-07-2002
			CN 1365117 A	21-08-2002
			EP 1225592 A2	24-07-2002
			JP 2002245774 A	30-08-2002
			TW 519644 B	01-02-2003
US 2003206434	A1	06-11-2003	WO 03094170 A2	13-11-2003
			EP 1502264 A2	02-02-2005
JP 2003060173	A	28-02-2003	NONE	
US 6654278	B1	25-11-2003	AU 2003249035 A1	16-02-2004
			EP 1525584 A2	27-04-2005
			WO 2004012197 A2	05-02-2004

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No  
PCT/FR2005/050103

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> CIB 7 G11C11/16		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b> Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G11C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, PAJ, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	FR 2 832 542 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE) 23 mai 2003 (2003-05-23) figures 3,9-11 pages 5-8 pages 27-34	1-16
Y	US 5 966 323 A (CHEN EUGENE ET AL) 12 octobre 1999 (1999-10-12) figures 5,11 colonne 5, ligne 25 - colonne 7, ligne 20	1-16
Y	US 2003/117839 A1 (OOISHI TSUKASA) 26 juin 2003 (2003-06-26) abrégé figures 1,3a-b,20	16
	----- -/-- -----	
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
<ul style="list-style-type: none"> <li>*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</li> <li>*E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</li> <li>*L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</li> <li>*O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</li> <li>*P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</li> <li>*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</li> <li>*X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</li> <li>*Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</li> <li>*&amp;* document qui fait partie de la même famille de brevets</li> </ul>		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée  30 mai 2005		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale  08/06/2005
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tél. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé  Havard, C

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/FR2005/050103

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	ZHENG Y K ET AL: "MULTISTATE PER-CELL MAGNETORESISTIVE RANDOM-ACCESS MEMORY WRITTEN AT CURIE POINT" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 38, no. 5, septembre 2002 (2002-09), pages 2850-2852, XP001131713 ISSN: 0018-9464 figure 1 page 2850, colonne 2	1-16
Y	WO 03/077257 A (AGENCY FOR SCIENCE TECHNOLOGY ; LI KE BIN (SG); QIU JIN JUN (SG); WU Y) 18 septembre 2003 (2003-09-18) abrégé	1-16
A	WANG J ET AL: "LOW-CURRENT BLOCKING TEMPERATURE WRITING OF DOUBLE BARRIER MAGNETIC RANDOM ACCESS MEMORY CELLS" APPLIED PHYSICS LETTERS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 84, no. 6, 9 février 2004 (2004-02-09), pages 945-947, XP001197576 ISSN: 0003-6951 le document en entier	9,15
A	WO 00/79540 A (NONVOLATILE ELECTRONICS INC ; POHM ARTHUR V (US); DAUGHTON JAMES M (US) 28 décembre 2000 (2000-12-28) figures 1a,3a-c	9,15
A	US 2003/123282 A1 (TRAN LUNG T ET AL) 3 juillet 2003 (2003-07-03) figure 5d	16
A	US 2003/206434 A1 (LEUSCHNER RAINER) 6 novembre 2003 (2003-11-06) figure 2 alinéa '0027! - alinéa '0028!	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2003, no. 06, 3 juin 2003 (2003-06-03) & JP 2003 060173 A (CANON INC), 28 février 2003 (2003-02-28) abrégé	7
A	US 6 654 278 B1 (JANESKY JASON ALLEN ET AL) 25 novembre 2003 (2003-11-25) figures 5,15,17	1

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2005/050103

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
FR 2832542	A	23-05-2003	FR 2832542 A1	23-05-2003
			EP 1466329 A2	13-10-2004
			WO 03043017 A2	22-05-2003
			JP 2005510047 T	14-04-2005
			US 2005002228 A1	06-01-2005
US 5966323	A	12-10-1999	TW 457481 B	01-10-2001
US 2003117839	A1	26-06-2003	JP 2003196973 A	11-07-2003
			CN 1427415 A	02-07-2003
			DE 10237523 A1	17-07-2003
			TW 569216 B	01-01-2004
			US 2004160822 A1	19-08-2004
WO 03077257	A	18-09-2003	AU 2003214783 A1	22-09-2003
			WO 03077257 A1	18-09-2003
			TW 222637 B	21-10-2004
WO 0079540	A	28-12-2000	AU 6121100 A	09-01-2001
			EP 1196925 A1	17-04-2002
			WO 0079540 A1	28-12-2000
			US 6535416 B1	18-03-2003
US 2003123282	A1	03-07-2003	US 2002089874 A1	11-07-2002
			CN 1365117 A	21-08-2002
			EP 1225592 A2	24-07-2002
			JP 2002245774 A	30-08-2002
			TW 519644 B	01-02-2003
US 2003206434	A1	06-11-2003	WO 03094170 A2	13-11-2003
			EP 1502264 A2	02-02-2005
JP 2003060173	A	28-02-2003	AUCUN	
US 6654278	B1	25-11-2003	AU 2003249035 A1	16-02-2004
			EP 1525584 A2	27-04-2005
			WO 2004012197 A2	05-02-2004