

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 898 414

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national :

06 02009

⑤1 Int Cl⁸ : G 01 R 33/02 (2006.01)

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.03.06.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 14.09.07 Bulletin 07/37.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

⑦2 Inventeur(s) : WARIN PATRICK et JAMET MATTHIEU.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET ORES.

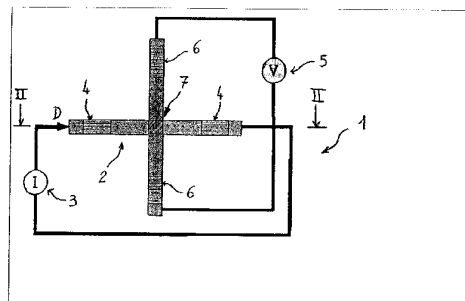
⑤4 COMPOSANT SENSIBLE A UN CHAMP MAGNETIQUE COMPORTANT UN SEMI-CONDUCTEUR MAGNETIQUE DILUE, DISPOSITIFS L'INCORPORANT ET PROCÉDE DE MISE EN OEUVRE.

⑤7 La présente invention concerne un composant sensible à un champ magnétique, un dispositif capteur de champ magnétique et une structure de mémoire incorporant chacun ce composant, et un procédé de détection d'un champ magnétique au moyen de ce composant.

Un composant (1) selon l'invention comporte :

- au moins un semi-conducteur magnétique dilué (2),
- des premiers moyens (3) pour générer un courant électrique (1) dans ledit semi-conducteur selon une direction (D) prédéterminée, et
- des seconds moyens (5) pour produire un signal représentatif d'une tension de Hall (V) transverse à cette direction,

et il est tel que le semi-conducteur comprend une zone (7) sensible audit champ qui forme tout ou partie d'un puits quantique magnétique, dans lequel sont confinés des porteurs de charge incorporés par dopage au semi-conducteur et induisant dans ce puits des interactions d'échange ferromagnétiques.



FR 2 898 414 - A1



**COMPOSANT SENSIBLE A UN CHAMP MAGNETIQUE
COMPORTANT UN SEMI-CONDUCTEUR MAGNETIQUE DILUE,
DISPOSITIFS L'INCORPORANT ET PROCEDE DE MISE EN OEUVRE.**

5 La présente invention concerne un composant sensible à un champ magnétique comportant au moins un semi-conducteur magnétique dilué, un dispositif capteur de champ magnétique et une structure de mémoire incorporant chacun ce composant, et un procédé de détection d'un champ magnétique au moyen de ce composant.

10 Les capteurs de champs magnétiques sont utilisés dans un grand nombre de dispositifs, tels que des magnétomètres, des boussoles, des capteurs angulaires, des éléments sensibles des têtes de lecture de disques durs ou encore des lecteurs de bandes magnétiques. Différents principes sont
15 utilisés, mais pour beaucoup d'applications, telles que les têtes de lecture des disques durs magnétiques, on recherche l'obtention d'une plus grande sensibilité à des champs magnétiques d'intensité faible et/ou à des champs magnétiques très localisés.

20 Actuellement, on utilise communément, à titre de capteurs de champs magnétiques, les sondes à effet Hall et les capteurs magnétorésistifs (à magnétorésistance anisotrope ou géante). Ces derniers capteurs sont en particulier utilisés dans les têtes de lecture des disques durs modernes, où ils ont remplacé avantageusement les têtes de lecture inductives du fait de leur plus grande sensibilité à des champs magnétiques d'intensité faible.

25 Néanmoins, ces capteurs magnétorésistifs présentent l'inconvénient d'être limités à une gamme étroite d'intensités de champs magnétiques pour l'obtention d'une sensibilité élevée, avant saturation de l'aimantation de la couche active qui est généralement choisie dans un matériau doux.

30 On utilise également de manière connue des capteurs inductifs, qui ne présentent pas cette limitation en gamme de champ accessibles, mais qui ne peuvent être utilisés que pour détecter des variations

d'un champ magnétique, et non des intensités d'un champ magnétique statique.

Plus récemment, pour répondre à des besoins de sensibilité toujours accrue, on a cherché à développer des capteurs de champs magnétiques basés sur la magnétorésistance tunnel, pour constituer l'élément sensible des têtes de lecture des disques durs. Il est cependant prévisible que la diminution de la taille des bits magnétiques supportant l'information dans les disques durs, et donc la diminution du champ magnétique rayonné qui peut être détecté par l'élément de lecture, amènera à rechercher des capteurs d'un nouveau type encore plus sensibles à ces champs magnétiques faibles.

A. D. Kent et al, J. App. Phys., 76 6656 (1994) ont proposé dans cet article un nouveau concept de capteur de champ magnétique, basé sur la mesure de l'effet Hall dans un gaz bidimensionnel de porteurs de charge (électrons ou trous) au sein d'une couche mince semi-conductrice. Dans de tels systèmes, tels qu'une couche mince d'un semi-conducteur GaAs entre deux couches de AlGaAs, la tension de Hall mesurée est d'autant plus élevée que la concentration en porteurs est faible.

On peut également citer les travaux réalisés par F. Takano et al, Physica E, 12 370 (2002), qui se sont placés dans des conditions particulières de faible concentration en éléments magnétiques et à basse température, pour observer l'effet Hall quantique dans un puits magnétique d'un semi-conducteur magnétique dilué de type CdMnTe. Il convient de noter que dans ces conditions, la réponse en plateau de l'effet Hall quantique en fonction du champ magnétique appliqué a conduit à des gammes d'intensité de champ magnétique où aucune variation de la tension de Hall ne peut être détectée.

Un inconvénient majeur des dispositifs décrits dans ces documents est qu'ils ne permettent pas de détecter des champs magnétiques qui présentent une intensité très faible et/ou qui sont très localisés dans l'espace.

Encore plus récemment, le document US-B-6 910 382 a présenté un dispositif de détection de champs magnétiques, en particulier

pour des têtes de lecture de disques durs, qui est basé sur l'effet Hall planaire de type géant dans des semi-conducteurs magnétiques dilués. Plus précisément, ce dispositif est adapté pour détecter des changements de propriétés de parois de domaines, tels que des changements d'orientations de
5 domaines d'aimantation.

On notera que le dispositif décrit dans ce document n'est pas conçu pour mesurer des intensités de champs magnétiques, mais seulement des changements de propriétés magnétiques.

10 Un but de la présente invention est de proposer un composant sensible à un champ magnétique, comportant au moins un semi-conducteur magnétique dilué, des premiers moyens pour générer un courant électrique dans ledit semi-conducteur selon une direction prédéterminée, et des seconds
15 moyens pour produire un signal représentatif d'une tension électrique de Hall transverse à ladite direction de part et d'autre dudit semi-conducteur, qui permette de remédier à l'ensemble des inconvénients précités en permettant de détecter des champs magnétiques d'intensités très faibles et/ou très localisés dans l'espace, avec une sensibilité accrue par rapport à celle de l'état de la technique antérieure.

20 A cet effet, le composant selon l'invention est tel que le semi-conducteur comprend une zone sensible audit champ qui forme tout ou partie d'un puits quantique magnétique, dans lequel sont confinés des porteurs de charge incorporés par dopage audit semi-conducteur et induisant dans ledit puits des interactions d'échange ferromagnétiques à l'origine d'un effet
25 Zeemann géant, de sorte que ledit composant soit apte, directement à partir dudit signal, à détecter la présence dudit champ par rapport à un seuil de référence et/ou à mesurer une intensité dudit champ indépendamment de tout seuil de référence.

30 On notera que cet effet Zeemann géant permet d'atteindre des sensibilités très nettement augmentées en comparaison de celles relatives aux semi-conducteurs connus. En effet, l'interaction d'échange ions/

porteurs de charge, à l'origine de l'effet Zeeman géant, est de plusieurs ordres de grandeur supérieure à l'interaction induisant l'effet Zeeman classique.

On notera également que ce composant selon l'invention permet de s'affranchir de la limitation précitée inhérente aux capteurs magnétorésistifs, i.e. la gamme étroite d'intensités de champ magnétique où
5 une sensibilité élevée est obtenue.

En effet, un avantage substantiel du composant selon l'invention est que la saturation de l'aimantation de la couche active a seulement lieu à des champs magnétiques d'intensités très élevées, étendant
10 ainsi considérablement la gamme de champs magnétiques accessibles à la mesure en comparaison de celle procurée par les capteurs magnétorésistifs.

On notera en outre que ce composant selon l'invention ne présente pas l'inconvénient précité en relation avec les capteurs inductifs, du fait qu'il permet la mesure de champs magnétiques statiques même très
15 localisés, et toujours avec une grande sensibilité.

Ledit semi-conducteur magnétique dilué peut présenter indifféremment un dopage de type n ou p, et il est avantageusement à base d'un semi-conducteur choisi dans le groupe constitué par les semi-
20 conducteurs de II/VI et de type IV/IV, ledit semi-conducteur incorporant au moins un élément dopant magnétique selon une fraction atomique comprise entre 0,1 % et 10 %.

De préférence, ledit élément dopant magnétique est choisi dans le groupe constitué par le manganèse, le fer, le cobalt et le chrome.

25 Selon des exemples de réalisation de l'invention, ledit semi-conducteur magnétique dilué est à base d'un semi-conducteur de type II/VI choisi dans le groupe constitué par les semi-conducteurs CdTe, ZnTe et ZnO, ou bien à base d'un semi-conducteur de type IV/IV choisi dans le groupe constitué par les semi-conducteurs Si et Ge.

30 A titre préférentiel, ledit semi-conducteur magnétique dilué est à base d'un semi-conducteur de type II/VI et, encore plus préférentiellement,

d'un semi-conducteur CdMnTe, i.e. qui contient du manganèse à titre d'élément dopant magnétique.

Ledit semi-conducteur magnétique dilué peut incorporer en outre au moins un autre élément dopant pouvant être par exemple l'aluminium (dopage de type n) ou l'azote (dopage de type p), notamment pour un semi-conducteur CdMnTe.

D'une manière générale, ledit élément magnétique peut être incorporé audit semi-conducteur par toute méthode appropriée pour le diluer.

De préférence, on introduit cet élément dopant magnétique lors de l'étape de croissance du semi-conducteur, par exemple en co-déposant cet élément magnétique simultanément aux constituants du semi-conducteur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, ladite zone sensible peut être avantageusement comprise dans une couche mince dudit semi-conducteur sur les faces de laquelle sont appliquées deux barrières qui sont adaptées pour confiner lesdits porteurs de charge et qui présentent chacune une bande interdite plus large que celle dudit semi-conducteur (typiquement quelques centaines de meV), ladite zone sensible étant délimitée par un bord perpendiculaire à ladite couche mince.

Cet effet de barrière peut être obtenu en modulant le dopage dudit semi-conducteur.

Selon une autre caractéristique de l'invention, ledit composant comprend des moyens de connexion électrique dudit semi-conducteur auxdits premiers et seconds moyens, lesdits moyens de connexion étant agencés localement en dehors et à proximité immédiate de ladite zone sensible.

Dans une voie de réalisation de l'invention, la structure dudit composant est constituée de l'empilement suivant de couches à base de semi-conducteurs II-VI :

$\text{Cd}_{0,78}\text{Mg}_{0,22}\text{Te}$ (25 nm) / $\text{Cd}_{0,91}\text{Mn}_{0,09}\text{Te}$ (10 nm) / $\text{Cd}_{0,78}\text{Mg}_{0,22}\text{Te}$ (25 nm) / $\text{Cd}_{0,96}\text{Zn}_{0,04}\text{Te}$ (substrat orienté (001)).

Dans ce dernier cas, après mise à l'air de l'échantillon, l'oxydation de surface crée des états accepteurs dans la barrière supérieure de $\text{Cd}_{0,78}\text{Mg}_{0,22}\text{Te}$. De cette façon, la densité de trous dans le puits quantique
5 peut atteindre environ 10^{11} cm^{-2} .

La prise de contact sur le puits quantique se fera avantageusement sous ultra-vide : après un décapage ionique jusqu'à atteindre ledit puits, un dépôt de cuivre (double accepteur dans CdTe) suivi
10 d'un recuit jusqu'à 200° C permettra d'obtenir un contact ohmique sur le puits quantique servant de détecteur.

Avantageusement, lesdits moyens de connexion comportent au moins deux paires de contacts électriques en un matériau métallique, de préférence à base de cuivre, ces contacts pouvant être obtenus par diffusion
15 locale dudit matériau métallique dans ledit semi-conducteur pour la connexion au(x)dit(s) premier et/ou second moyens.

Un dispositif capteur de champ magnétique selon l'invention, tel qu'un magnétomètre, est adapté pour détecter une intensité d'un champ
20 magnétique supérieure à un seuil de référence déterminé et/ou pour mesurer une intensité dudit champ indépendamment de tout seuil de référence, et ce dispositif est tel qu'il comporte le composant selon l'invention tel que défini ci-dessus.

25 Une structure de mémoire selon l'invention est utilisable dans une tête de lecture magnétique par exemple pour un disque dur, et elle comprend au moins un volume solide ferromagnétique qui est apte à supporter au moins deux états d'aimantation stables et qui est situé à proximité immédiate d'au moins un composant selon l'invention, en vue d'y
30 créer un champ magnétique détecté par ce composant et présentant des intensités différentes en fonction de l'état d'aimantation dudit ou de chaque volume.

Selon une autre caractéristique avantageuse de l'invention, ledit ou chaque volume ferromagnétique est adapté pour supporter des informations et pour les écrire par une modification de son aimantation (par exemple via l'application d'un champ magnétique où d'un courant polarisé en spin dans la structure), lesdits seconds moyens de mesure de la tension de Hall étant adaptés pour fournir des mesures représentatives d'une modification de ladite tension au niveau de la zone sensible dudit composant, pour la lecture desdites informations par cette zone sensible.

De préférence, ledit ou chaque volume ferromagnétique est situé à une distance de ladite zone sensible qui est comprise entre 5 nm et 50 nm.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention, ledit ou chaque volume ferromagnétique est situé à la verticale de la zone sensible dudit puits, et présente une aimantation perpendiculaire au plan de cette zone sensible. Dans ce cas, ledit ou chaque volume ferromagnétique peut être de type monocouche à base d'un alliage fer/ platine, ou bien de type multicouches, telle que des couches platine/ cobalt/ platine.

Selon un second mode de réalisation de l'invention, ledit ou chaque volume ferromagnétique est décalé par rapport à la verticale de la zone sensible dudit puits, et présente une aimantation parallèle au plan de cette zone sensible, de telle sorte que le champ magnétique de fuite dudit ou chaque volume soit perpendiculaire au plan de ladite zone sensible.

D'une manière générale, ladite structure de mémoire peut comporter un seul volume ferromagnétique, constituant alors la cellule élémentaire d'une mémoire magnétique solide, ou bien une pluralité de volumes ferromagnétiques répartis selon une ou deux directions, pour l'obtention d'une structure de mémoire linéaire ou matricielle, respectivement.

Avantageusement, la structure de mémoire est de type matricielle et elle comporte une pluralité de lignes métalliques conductrices, telles que des lignes de cuivre, qui sont adaptées pour appliquer localement le champ magnétique nécessaire au retournement d'aimantation d'un volume

ferromagnétique, en appliquant simultanément deux impulsions de courant dans deux lignes conductrices se croisant à proximité immédiate dudit volume ferromagnétique adressé.

5 Un procédé de détection d'un champ magnétique selon l'invention est mis en œuvre au moyen dudit composant selon l'invention qui comporte au moins un semi-conducteur magnétique dilué, ce procédé comprenant la génération d'un courant électrique dans ledit semi-conducteur selon une direction prédéterminée, et la production d'un signal représentatif
10 d'une tension électrique de Hall transverse à cette direction de part et d'autre dudit semi-conducteur.

Selon l'invention, ce procédé comprend la formation dans ledit semi-conducteur d'une zone sensible audit champ formant tout ou partie d'un puits quantique magnétique, de manière que des porteurs de charge
15 incorporés par dopage audit semi-conducteur et confinés dans ledit puits y induisent des interactions d'échange ferromagnétiques, avantageusement de type RKKY (comme décrit dans T. Dietl et al, Phys. Rev. B, 55 R3347 (1997)), qui génèrent un effet Zeemann géant pour détecter avec une sensibilité accrue, en appliquant un coefficient de proportionnalité audit signal, la
20 présence du champ par rapport à un seuil de référence et/ou pour mesurer précisément l'intensité du champ indépendamment de tout seuil de référence.

De préférence, ce procédé selon l'invention est mis en œuvre à une température de fonctionnement qui est proche de la température de
25 Curie dudit semi-conducteur magnétique dilué, soit par une sélection appropriée du matériau semi-conducteur, soit par ajustement de cette température de fonctionnement à ladite température de Curie. Le terme « proche » signifie ici « sensiblement égal », en ce sens que l'opérateur se place dans une gamme de températures où la susceptibilité magnétique du
30 semi-conducteur est fortement accrue, celle-ci présentant de manière connue un pic aux abords de la température de Curie.

Comme la dépendance de la tension de Hall avec le champ magnétique appliqué est observée également au-delà de la température de Curie du semi-conducteur, on notera que ce procédé selon l'invention présente l'avantage de pouvoir être mis en œuvre à une température de
5 fonctionnement qui est supérieure à cette température de Curie et qui est alors avantageusement la température ambiante, i.e. typiquement une température de l'ordre de 20° C à 25° C. Cette température de fonctionnement peut ainsi être égale ou supérieure à 293 K, et par exemple proche de 300 K.

10 Au-delà de cette température de Curie, la susceptibilité magnétique X du semi-conducteur, qui mesure la sensibilité du composant selon l'invention, est proportionnelle à $1/(T-T_c)$, où T est la température de fonctionnement et T_c la température de Curie dudit semi-conducteur.

15 En dessous de T_c , la sensibilité du composant de l'invention dépendra de la susceptibilité du matériau utilisé pour le semi-conducteur.

Avantageusement, le procédé de l'invention comprend l'association audit composant d'au moins un volume solide ferromagnétique qui est apte à supporter au moins deux états d'aimantation stables et qui est
20 situé à proximité immédiate dudit composant en vue d'y créer un champ magnétique détecté par ce composant et présentant des intensités différentes en fonction de l'état d'aimantation dudit ou de chaque volume, pour former une structure de mémoire qui est utilisable dans une tête de lecture magnétique et qui comprend ledit composant et ledit ou chaque volume.

25 Selon une autre caractéristique de ce procédé selon l'invention, ledit ou chaque volume ferromagnétique supporte plus de deux états d'informations, lesdits états correspondant à diverses valeurs du champ magnétique créé dans ledit composant par retournement de l'aimantation dudit ou de chaque volume entre plusieurs états.

30 Avantageusement, on peut réaliser le retournement d'aimantation dudit ou de chaque volume ferromagnétique par injection d'un courant polarisé en spin depuis un autre volume ferromagnétique.

Les caractéristiques précitées de la présente invention, ainsi que d'autres, seront mieux comprises à la lecture de la description suivante de plusieurs exemples de réalisation de l'invention, donnés à titre illustratif et non limitatif, ladite description étant réalisée en relation avec les dessins joints, parmi lesquels :

la figure 1 est une vue de dessus schématique d'un composant selon l'invention sensible à un champ magnétique,

la figure 2 est une vue partielle en coupe suivant le plan II-II de la figure 1 de ce composant,

la figure 3 est une vue de dessus schématique d'une structure de mémoire matricielle selon l'invention incorporant ledit composant,

la figure 4 est une vue partielle en coupe suivant le plan IV-IV de la figure 3 de la structure de mémoire qui y est illustrée, et

la figure 5 est une vue partielle en coupe suivant le plan V-V de la figure 3 d'une variante de cette structure de mémoire.

Le composant 1 selon l'invention illustré à la figure 1 comporte essentiellement :

- un semi-conducteur 2 magnétique dilué, par exemple de type CdMnTe (i.e. à base de cadmium et de tellure et incorporant du manganèse à titre d'élément magnétique dopant),

- des premiers moyens 3 pour générer un courant électrique I dans le semi-conducteur 2 selon une direction D prédéterminée via une paire de premiers contacts électriques 4, et

- des seconds moyens 5 pour produire un signal représentatif de la tension électrique V de Hall transverse à cette direction de part et d'autre du semi-conducteur 2 via une autre paire de contacts électriques 6.

Selon l'invention, le semi-conducteur 2 comprend une zone 7 sensible à un champ magnétique, qui correspond à au moins une partie d'un puits quantique magnétique 8 (voir figure 2) et qui est destinée à être parcourue par le courant I, tandis que la tension V transverse est mesurée

pour la détection du champ magnétique (statique ou non) qui est appliqué à ce puits 8 ou bien pour la mesure de son intensité.

Les contacts électriques 4 et 6 ont été réalisés à proximité immédiate mais en dehors de la zone sensible 7 du puits 8, par diffusion d'un métal au moyen d'un dépôt effectué à la surface des régions de contacts 4 et 6 (voir figure 2), ce métal étant de préférence le cuivre dans le cas dans le cas de ce puits quantique 8 en CdMnTe.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 2, le semi-conducteur 2 est réalisé sous la forme d'une couche mince 9, située entre deux barrières isolantes 10 et 11 qui présentent une bande interdite plus large que celle du semi-conducteur 2 et qui permettent de confiner au sein de celui-ci les porteurs de charge apportés par l'élément magnétique dopant, tel que le manganèse. Cet effet de barrière est par exemple obtenu en modulant le dopage du semi-conducteur 2. Quant à la zone sensible 7, elle est délimitée par un bord latéral 7a vertical qui est perpendiculaire à la couche mince 9 et aux barrières 10 et 11.

Pour réaliser le semi-conducteur 2, on a par exemple introduit l'élément magnétique dopant lors de la croissance du semi-conducteur 2, par exemple en co-déposant cet élément magnétique simultanément aux autres constituants du semi-conducteur 2.

On a ainsi obtenu un semi-conducteur dit « magnétique dilué » au sein duquel les porteurs de charge issus de l'élément magnétique dopant permettent une interaction d'échange ferromagnétique entre les atomes magnétiques, qui est par exemple de type RKKY. Cette interaction est à l'origine d'un effet Zeemann géant qui permet d'atteindre des sensibilités de détection et de mesure du champ magnétique très nettement augmentées en comparaison de celles relatives aux semi-conducteurs connus.

Les figures 3 et 4 illustrent une utilisation avantageuse d'une variante 1' selon l'invention du composant 1, pour constituer une structure de mémoire solide 30 de type matricielle qui est parcourue par le courant

électrique I et qui permet de stocker un grand nombre de bits élémentaires via le composant 1' qu'elle intègre.

La structure de mémoire 30 comprend, outre ce composant 1', des volumes ferromagnétiques 21 (un seul est visible à la figure 4) pour le support d'informations, qui sont chacun aptes à supporter au moins deux états d'aimantation stables. Chaque volume ferromagnétique 21 est positionné à proximité du puits quantique 8, de préférence à une distance comprise entre 5 nm et 50 nm, de manière à y créer un champ magnétique différent en fonction de son état d'aimantation.

Dans l'exemple de réalisation de la figure 4, chaque volume ferromagnétique 21 est à aimantation perpendiculaire par rapport au plan du puits quantique 8 (voir flèches H à la figure 4), et ce volume 21 est par exemple réalisé en un matériau tel qu'un alliage Fe-Pt chimiquement ordonné avec son axe c perpendiculaire, ce qui lui confère une forte anisotropie magnétique perpendiculaire. En variante, chaque volume 21 peut être réalisé via une structure multicouches telle que Pt/Co/Pt où, pour des épaisseurs de cobalt comprises entre 0,4 nm et 1 nm, l'aimantation est perpendiculaire.

La structure de mémoire matricielle 30 visible à la figure 3 comporte dans cet exemple des lignes de cuivre adaptées pour appliquer localement le champ magnétique B nécessaire au retournement d'aimantation d'un volume ferromagnétique 21. Cet effet est obtenu en appliquant simultanément deux impulsions de courant dans les deux lignes de cuivre se croisant à proximité de chaque volume ferromagnétique 21 adressé, à une distance qui est de l'ordre de la taille du volume 21 dont l'aimantation est à retourner.

Sont visibles en vue de dessus à la figure 3 des pistes de lecture 31 des informations par la zone sensible 7 du puits 8 et des pistes d'écriture 32 de ces informations par les volume ferromagnétiques 21 (ces pistes 31 et 32 sont respectivement appelées « bit lines » et word lines » en anglais). Chaque volume ferromagnétique 21 est adapté pour écrire sur les pistes 32 via une modification de son aimantation, par exemple par application d'un champ magnétique où d'un courant polarisé en spin dans la structure 30.

La figure 5 illustre une variante de réalisation de la structure de mémoire 30 de la figure 4, dans laquelle l'élément de mémoire élémentaire 40 qui y est représenté comporte, outre un composant 1'' selon l'invention, un volume ferromagnétique 41 dont l'aimantation est choisie parallèle au plan du puits quantique 8 (voir flèches H' à la figure 5). Dans ce cas, le volume 41 est décalé par rapport à la verticale de la zone sensible 7 du puits 8, de manière à y créer un champ magnétique avec une composante perpendiculaire, via les contacts 4'.

REVENDICATIONS

1) Composant (1, 1', 1'') sensible à un champ magnétique, comportant :

- 5 - au moins un semi-conducteur magnétique dilué (2),
 - des premiers moyens (3) pour générer un courant électrique (I) dans ledit semi-conducteur selon une direction (D) prédéterminée, et
 - des seconds moyens (5) pour produire un signal représentatif d'une tension électrique de Hall (V) transverse à ladite direction
10 de part et d'autre dudit semi-conducteur,

 caractérisé en ce que ledit semi-conducteur comprend une zone (7) sensible audit champ qui forme tout ou partie d'un puits quantique magnétique (8), dans lequel sont confinés des porteurs de charge incorporés par dopage audit semi-conducteur et induisant dans ledit puits des
15 interactions d'échange ferromagnétiques de telle sorte que ledit composant soit apte, directement à partir dudit signal, à détecter la présence dudit champ par rapport à un seuil de référence et/ou à mesurer une intensité dudit champ indépendamment de tout seuil de référence.

20 2) Composant (1, 1', 1'') selon la revendication 1, caractérisé en ce que ladite zone sensible (7) est comprise dans une couche mince (9) dudit semi-conducteur sur les faces de laquelle sont appliquées deux barrières (10 et 11) qui sont adaptées pour confiner lesdits porteurs de charge et qui présentent chacune une bande interdite plus large que celle dudit semi-
25 conducteur (2), ladite zone sensible étant délimitée par un bord perpendiculaire à ladite couche mince.

 3) Composant (1, 1', 1'') selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de connexion
30 électrique (4, 4', 6, 31, 32) dudit semi-conducteur (2) auxdits premiers et seconds moyens (3 et 5), lesdits moyens de connexion étant agencés

localement en dehors de ladite zone sensible (7) et à proximité immédiate de cette dernière.

4) Composant (1) selon la revendication 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de connexion (4, 6) comportent au moins deux paires de contacts électriques en un matériau métallique, tel que du cuivre, ces contacts étant obtenus par diffusion locale dudit matériau métallique dans ledit semi-conducteur (2) pour la connexion au(x)dit(s) premier et/ou second moyens (3, 5).

10

5) Composant (1, 1', 1'') selon une des revendications précédentes, caractérisé en ce que ledit semi-conducteur magnétique dilué (2) est choisi dans le groupe constitué par les semi-conducteurs de type II/VI et IV/IV, ledit semi-conducteur incorporant au moins un élément dopant magnétique selon une fraction atomique comprise entre 0,1 % et 10 %.

15

6) Composant (1, 1', 1'') selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit élément dopant magnétique est choisi dans le groupe constitué par le manganèse, le fer, le cobalt et le chrome.

20

7) Composant (1, 1', 1'') selon une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit semi-conducteur magnétique dilué (2) est à base d'un semi-conducteur de type II/VI choisi dans le groupe constitué par les semi-conducteurs CdTe, ZnTe et ZnO.

25

8) Composant (1, 1', 1'') selon une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit semi-conducteur magnétique dilué (2) est à base d'un semi-conducteur de type IV/IV choisi dans le groupe constitué par les semi-conducteurs Si et Ge.

30

9) Composant (1, 1', 1'') selon les revendications 4, 6 et 7, caractérisé en ce que ledit semi-conducteur magnétique dilué (2) est un semi-

conducteur CdMnTe, qui contient du manganèse à titre d'élément dopant magnétique, et en ce que lesdits contacts électriques (4, 4', 6, 31, 32) sont à base de cuivre.

5 10) Composant (1, 1', 1'') selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit semi-conducteur (2) incorpore en outre au moins un autre élément dopant choisi dans le groupe constitué par l'aluminium et l'azote.

10 11) Dispositif capteur de champ magnétique, tel qu'un magnétomètre, ledit dispositif étant adapté pour détecter une intensité d'un champ magnétique supérieure à un seuil de référence déterminé et/ou pour mesurer une intensité dudit champ indépendamment de tout seuil de référence, caractérisé en ce qu'il comporte un composant (1) tel que défini à l'une des revendications 1 à 10.

15 12) Structure de mémoire (30, 40) utilisable dans une tête de lecture magnétique, comprenant au moins un volume solide ferromagnétique (21, 41) qui est apte à supporter au moins deux états d'aimantation stables et qui est situé à proximité immédiate d'au moins un composant (1', 1'') sensible
20 à un champ magnétique en vue d'y créer un champ magnétique détecté par ledit composant et présentant des intensités différentes en fonction de l'état d'aimantation dudit ou de chaque volume, caractérisée en ce que ledit composant est tel que défini à l'une des revendications 1 à 10.

25 13) Structure de mémoire (30, 40) selon la revendication 12, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21, 41) est adapté pour supporter des informations et pour les écrire par une modification de son aimantation, lesdits seconds moyens de mesure (5) de la tension de Hall (V) étant adaptés pour fournir des mesures représentatives d'une
30 modification de ladite tension au niveau de la zone sensible (7) dudit composant (1', 1''), pour la lecture desdites informations par cette zone sensible.

14) Structure de mémoire (30) selon la revendication 12 ou 13, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21) est situé à une distance de ladite zone sensible (7) qui est comprise entre 5 nm et 50 nm.

15) Structure de mémoire (30) selon une des revendications 12 à 14, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21) est situé à la verticale de ladite zone sensible (7), et présente une aimantation perpendiculaire au plan de cette zone sensible.

16) Structure de mémoire (30) selon la revendication 15, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21) est de type monocouche à base d'un alliage fer/ platine.

17) Structure de mémoire (30) selon la revendication 15, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21) est de type multicouches, telle que des couches platine/ cobalt/ platine.

18) Structure de mémoire (40) selon une des revendications 12 à 17, caractérisée en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (41) est décalé par rapport à la verticale de ladite zone sensible (7), et présente une aimantation parallèle au plan de cette zone sensible, de telle sorte que le champ magnétique de fuite dudit ou chaque volume soit perpendiculaire au plan de ladite zone sensible.

19) Structure de mémoire (30, 40) selon une des revendications 12 à 18, caractérisée en ce qu'elle comporte une pluralité desdits volumes ferromagnétiques (21, 41) répartis selon une ou deux directions, pour l'obtention d'une structure de mémoire linéaire ou matricielle, respectivement.

20) Structure de mémoire (30) de type matricielle selon la revendication 19, caractérisée en ce qu'elle comporte une pluralité de lignes métalliques conductrices, telles que des lignes de cuivre, qui sont adaptées pour appliquer localement le champ magnétique (B) nécessaire au retournement d'aimantation d'un volume ferromagnétique (21), en appliquant
5 simultanément deux impulsions de courant (I) dans deux lignes conductrices (31 et 32) se croisant à proximité immédiate dudit volume ferromagnétique adressé.

10 21) Procédé de détection d'un champ magnétique au moyen d'un composant (1, 1', 1'') sensible audit champ qui comporte au moins un semi-conducteur magnétique dilué (2), ce procédé comprenant la génération d'un courant électrique (I) dans ledit semi-conducteur selon une direction (D) prédéterminée, et la production d'un signal représentatif d'une tension
15 électrique de Hall (V) transverse à cette direction de part et d'autre dudit semi-conducteur, caractérisé en ce qu'il comprend la formation dans ledit semi-conducteur d'une zone sensible (7) audit champ formant tout ou partie d'un puits quantique magnétique (8), de manière que des porteurs de charge incorporés par dopage audit semi-conducteur et confinés dans ledit puits y
20 induisent des interactions d'échange ferromagnétiques qui génèrent un effet Zeemann géant, pour détecter avec une sensibilité accrue, en appliquant un coefficient de proportionnalité audit signal, la présence dudit champ par rapport à un seuil de référence et/ou pour mesurer précisément l'intensité dudit champ indépendamment de tout seuil de référence.

25

22) Procédé selon la revendication 21, caractérisé en ce qu'il est mis en œuvre à une température de fonctionnement T qui est sensiblement égale à la température de Curie T_c dudit semi-conducteur magnétique dilué (2).

30

23) Procédé selon la revendication 21 ou 22, caractérisé en ce que ladite température de fonctionnement T est supérieure à la température de Curie T_c dudit semi-conducteur magnétique dilué (2).

5 24) Procédé selon la revendication 23, caractérisé en ce que ladite température de fonctionnement T est égale ou supérieure à 293 K.

25) Procédé selon une des revendications 21 à 24, caractérisé en ce que lesdits porteurs de charge confinés induisent dans ledit
10 puits quantique (8) des interactions d'échange ferromagnétiques de type RKKY.

26) Procédé selon une des revendications 21 à 25, caractérisé en ce que l'on associe audit composant (1', 1'') au moins un
15 volume solide ferromagnétique (21, 41) qui est apte à supporter au moins deux états d'aimantation stables et qui est situé à proximité immédiate dudit composant en vue d'y créer un champ magnétique détecté par ce composant et présentant des intensités différentes en fonction de l'état d'aimantation
20 dudit ou de chaque volume, pour former une structure de mémoire (30, 40) qui est utilisable dans une tête de lecture magnétique et qui comprend ledit composant et ledit ou chaque volume.

27) Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que ledit ou chaque volume ferromagnétique (21, 41) supporte plus de deux états
25 d'informations, lesdits états correspondant à diverses valeurs du champ magnétique créé dans ledit composant (1', 1'') par retournement de l'aimantation dudit ou de chaque volume entre plusieurs états.

28) Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que
30 l'on réalise le retournement d'aimantation dudit ou de chaque volume (21, 41) ferromagnétique par injection d'un courant polarisé en spin depuis un autre volume ferromagnétique.

1/3

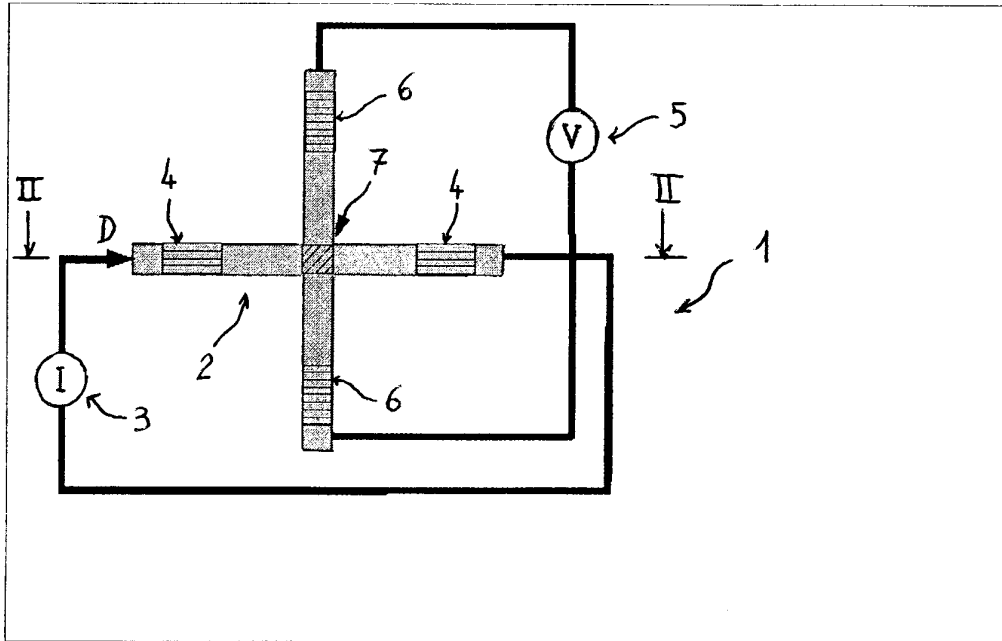


Fig. 1

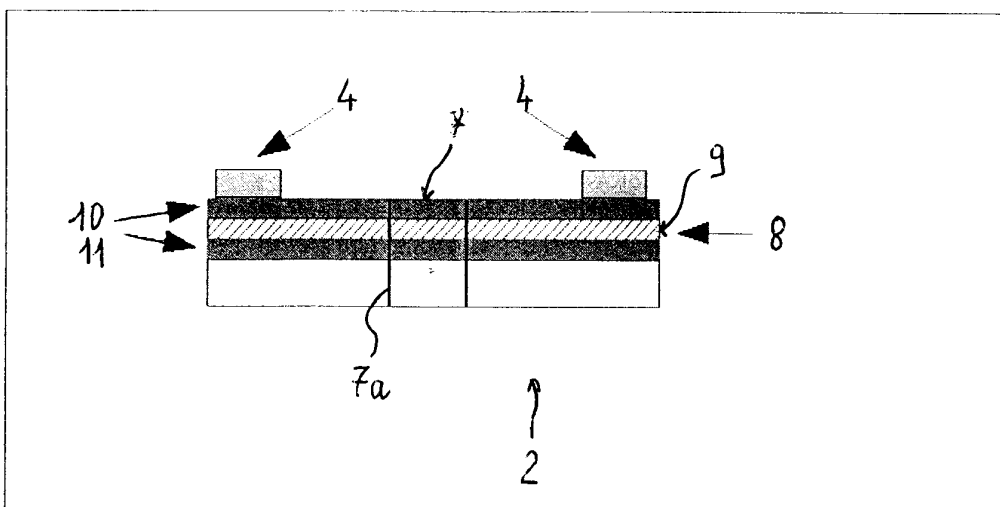


Fig. 2

2/3

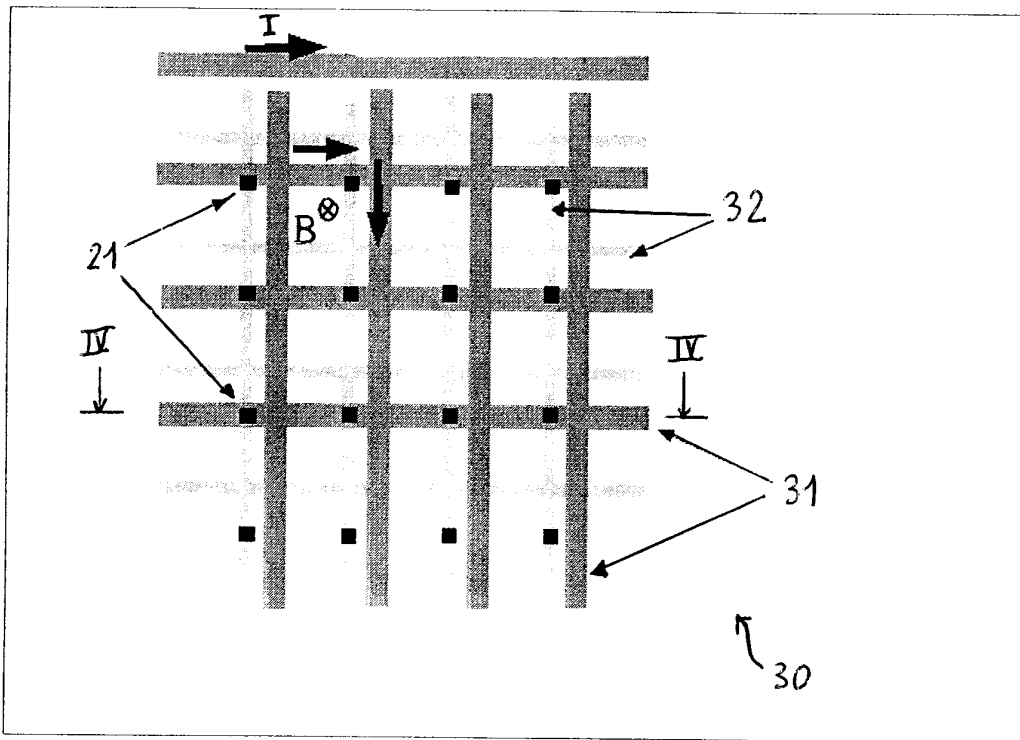


Fig. 3

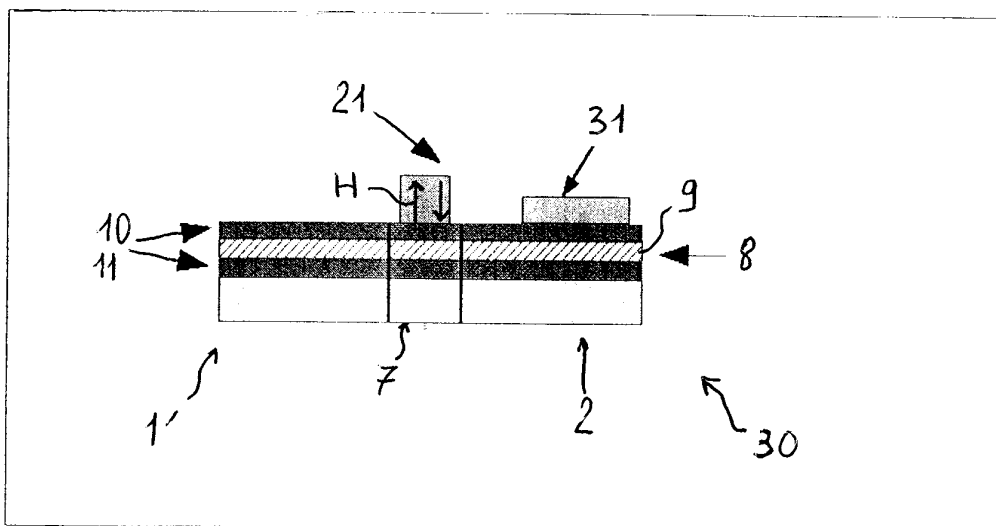


Fig. 4

3/3

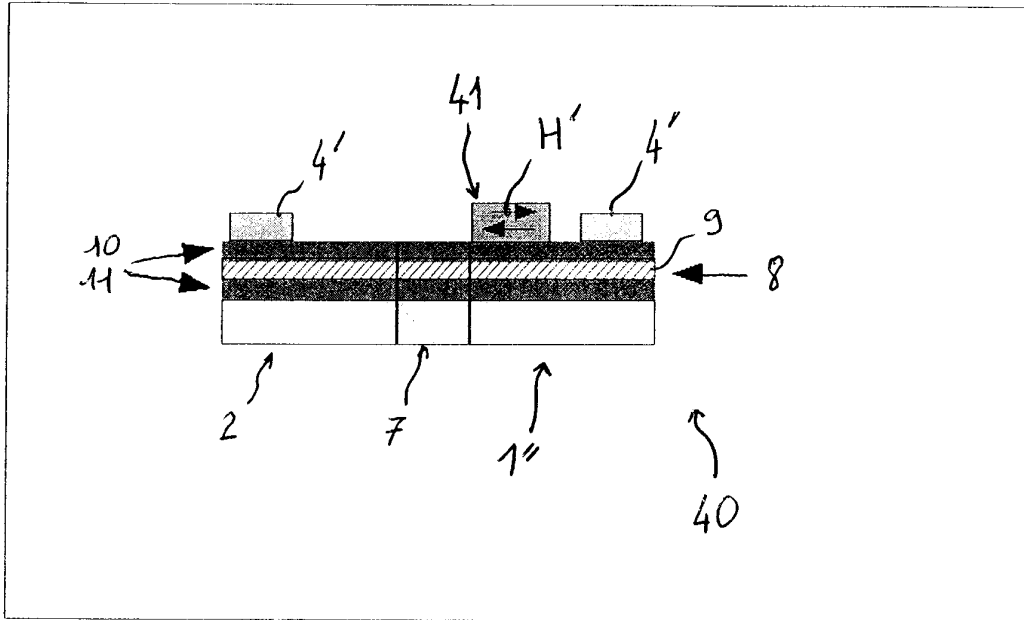


Fig. 5



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 676479
FR 0602009

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	US 2005/045976 A1 (LEE WOO YOUNG [KR] ET AL) 3 mars 2005 (2005-03-03) * alinéas [0002], [0012], [0046], [0058] - [0060] *	1,11,12,21	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01R
A	----- US 5 089 991 A (MATTHEWS JAMES A [US]) 18 février 1992 (1992-02-18) * revendication 7; figure 1 *	1,12	
D,A	----- US 6 910 382 B2 (TANG HONGXING [US] ET AL) 28 juin 2005 (2005-06-28) * colonne 4, ligne 6 - ligne 45 * * colonne 6, ligne 45 - colonne 7, ligne 12; revendication 1 *	1,11,12,21	
A	----- US 2005/190593 A1 (JOHNSON MARK B [US]) 1 septembre 2005 (2005-09-01) * abrégé *	12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
29 janvier 2007		Lorne, Benoît	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p> <p>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</p>			

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0602009 FA 676479**

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 29-01-2007

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
US 2005045976 A1	03-03-2005	AUCUN	
US 5089991 A	18-02-1992	AU 7300591 A DE 4190028 T GB 2263016 A JP 5506531 T WO 9111006 A1	05-08-1991 10-12-1992 07-07-1993 22-09-1993 25-07-1991
US 6910382 B2	28-06-2005	US 2005126299 A1 US 2004066674 A1	16-06-2005 08-04-2004
US 2005190593 A1	01-09-2005	AUCUN	