

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 037 185**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②① N° d'enregistrement national : **16 54982**  
⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 11 C 11/15 (2016.01)**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ **DISPOSITIF A COMMUTATION D'ANISOTROPIE MAGNETIQUE COMMANDE EN TENSION  
UTILISANT UN FILM DE POLARISATION FERROMAGNETIQUE EXTERNE.**

②② **Date de dépôt** : 01.06.16.

③③ **Priorité** : 02.06.15 US 14728788.

④③ **Date de mise à la disposition du public  
de la demande** : 09.12.16 Bulletin 16/49.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention** : 25.10.19 Bulletin 19/43.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche** :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux  
apparentés** :

○ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : HGST NETHERLANDS B.V. — NL.

⑦② **Inventeur(s)** : KATINE JORDAN A..

⑦③ **Titulaire(s)** : HGST NETHERLANDS B.V..

⑦④ **Mandataire(s)** : IPSILON Société par actions  
simplifiée.

**FR 3 037 185 - B1**



# DISPOSITIF A COMMUTATION D'ANISOTROPIE MAGNETIQUE COMMANDE EN TENSION UTILISANT UN FILM DE POLARISATION FERROMAGNETIQUE EXTERNE

## 5 CONTEXTE

### Domaine de l'invention

[0001] Certains aspects de la présente invention concernent de manière générale des systèmes de stockage de données, et plus particulièrement, un dispositif de commutation à anisotropie magnétique commandée en tension (VCMA, Voltage Controlled Magnetic Anisotropy) utilisant un film de polarisation ferromagnétique externe.

### Description de l'art antérieur

[0002] Les dispositifs électroniques modernes comportent de plus en plus souvent des quantités significatives de mémoire à semi-conducteurs. L'industrie de l'électronique est sans cesse à la recherche de dispositifs toujours plus denses permettant de réduire la consommation d'énergie. Les dispositifs de mémoire magnétique, de par leur nature, ont des caractéristiques de non-volatilité, et retiennent de plus en plus l'attention en tant que type de mémoire de nouvelle génération.

[0003] Les densités binaires de stockage les plus élevées dans les supports magnétiques utilisés dans les disques durs ont réduit la taille (le volume) des bits magnétiques. La mémoire vive magnétique (MRAM) offre un temps d'accès réduit, une endurance en lecture/écriture infinie, une dureté au rayonnement, et une haute densité de stockage. Contrairement aux technologies de puces RAM classiques, les données MRAM ne sont pas stockées sous forme de charge électrique, mais sont au lieu de cela stockées par polarisation magnétique d'éléments de stockage. Des cellules MRAM comportant des éléments de mémoire à jonction tunnel magnétique (MTJ) peuvent être conçues pour une magnétisation dans le plan ou perpendiculaire de la structure de couche MTJ par rapport à la surface du film. Les éléments sont formés à partir de deux plaques polarisées magnétiquement, dont chacune peut maintenir un champ de polarisation magnétique, séparé par une couche isolante mince, qui forment ensemble un empilement MTJ. La figure 1 est un diagramme illustrant un exemple d'empilement MTJ 100, selon certains aspects de la présente invention. Comme illustré sur la figure 1, l'une des deux plaques est un aimant permanent 102 (c'est-à-dire qu'il

possède une magnétisation fixe) réglé sur une polarité particulière ; la polarisation de l'autre plaque 106 va varier (c'est-à-dire qu'elle possèdera une magnétisation libre) afin qu'elle s'adapte à celle d'un champ externe suffisamment intense. Par conséquent, les cellules présentent deux états stables qui permettent aux cellules de jouer le rôle d'éléments de mémoire non volatils.

5 [0004] Un dispositif de mémoire peut être construit à partir d'une grille de cellules de ce type. Les cellules MRAM d'une matrice sur puce sont connectées par des lignes de mots et de bits métalliques. Chaque cellule de mémoire est connectée à une ligne de mots et à une ligne de bits. Les lignes de mots connectent des rangées de cellules, et les lignes de bits connectent 10 des colonnes de cellules. Généralement, des structures à semi-conducteurs métal-oxyde complémentaires (CMOS) comprennent un transistor de sélection qui est électriquement connecté à l'empilement MTJ par l'intermédiaire des contacts métalliques supérieurs ou inférieurs. Le sens de passage du courant est établi entre des électrodes métalliques supérieures ou inférieures.

15 [0005] La lecture de l'état de polarisation d'une cellule MRAM est réalisée en mesurant la résistance électrique de la MTJ de la cellule. Une cellule particulière est habituellement sélectionnée en alimentant un transistor associé qui commute un courant d'une ligne d'alimentation à travers la couche MTJ vers une masse. Du fait de l'effet de magnétorésistance tunnel, lors duquel il se produit un passage par effet tunnel d'électrons à 20 travers la couche de barrière tunnel 104, la résistance électrique de la cellule varie du fait de l'orientation relative des polarisations dans les deux couches magnétiques de la MTJ. En mesurant le courant qui en résulte, on peut déterminer la résistance à l'intérieur d'une cellule particulière quelconque, et à partir de celle-ci, la polarité de la couche inscriptible libre (libre) déterminée. Si les deux couches présentent la même polarisation, cela est considéré comme 25 représentant un État "0", la résistance étant "basse", alors que si les deux couches sont de polarisation opposée, la résistance sera plus élevée, cela représentant un État "1". Les données sont écrites dans les cellules par diverses techniques.

[0006] Dans la MRAM classique, un champ magnétique externe est produit par un courant passant dans un conducteur à proximité de la cellule, qui est suffisamment intense 30 pour aligner la couche libre. La MRAM à couple de transfert de spin (STT) utilise des électrons à spin aligné ("polarisés") pour directement soumettre à un couple les domaines de la couche libre. Ces électrons polarisés pénétrant dans la couche libre exercent un couple

suffisant pour réaligner (par exemple, inverser) la magnétisation de la couche libre.

[0007] Une RAM magnétorésistive (MeRAM) utilise l'effet de magnétorésistance tunnel (TMR) pour la lecture effectuée dans un élément de mémoire à deux bornes, d'une manière semblable à d'autres types de MRAM. Cependant, l'écriture d'informations est effectuée par VCMA à l'interface entre la barrière tunnel et la couche libre, contrairement aux mécanismes commandés en courant (par exemple le STT ou le couple spin-orbite, SOT). Dans les dispositifs VCMA, les propriétés magnétiques sont commandées par l'application d'un champ électrique. Les dispositifs VCMA sont fondés sur la commutation induite par un champ électrique de nano-aimants. Les dispositifs MeRAM offrent le potentiel de réduire de manière spectaculaire la dissipation d'énergie. Du fait de l'élimination de la nécessité de courants destinés au fonctionnement du dispositif, la dissipation ohmique est sensiblement réduite, cela conduisant à une très faible dissipation d'énergie dynamique (commutation). En plus d'une dissipation de puissance réduite, l'utilisation de champs électriques pour l'écriture dans la MeRAM offre un avantage du point de vue de l'amélioration de la densité des bits. En particulier, l'écriture magnétoélectrique n'impose pas de limite de taille liée à l'attaque en courant aux dispositifs d'accès (par exemple aux transistors) lorsqu'ils sont intégrés à un circuit, autorisant de ce fait une superficie de cellule totale beaucoup plus faible. Simultanément, la MeRAM conserve en principe tous les avantages déterminants de la STT-MRAM, à savoir l'endurance élevée, la vitesse élevée, la dureté au rayonnement, et la possibilité d'un fonctionnement non volatil.

[0008] Par conséquent, il est nécessaire de disposer de dispositifs de mémoire magnétiques à haute densité et à haut rendement énergétique.

### RÉSUMÉ DE L'INVENTION

[0009] Les systèmes, procédés et dispositifs de l'invention possèdent chacun plusieurs aspects, dont aucun n'est à lui seul responsable de ses attributs souhaitables. Sans limiter la portée de la présente invention telle qu'elle est exprimée par les revendications qui suivent, certaines caractéristiques vont à présent être décrites brièvement. Après avoir examiné cette présentation, et en particulier après avoir lu la section intitulée "Description détaillée", on comprendra comment les caractéristiques de la présente invention offrent des avantages qui comprennent l'amélioration des communications entre des points d'accès et des stations dans un réseau sans fil.

[0010] Certains aspects de la présente invention concernent de manière générale des systèmes de stockage de données, et plus particulièrement, un dispositif de commutation VCMA utilisant un film de polarisation ferromagnétique externe.

5 [0011] Selon un aspect, il est proposé un dispositif MRAM. Le dispositif MRAM comprend de manière générale un substrat, au moins un empilement MTJ disposé sur le substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe, et un aimant disposé de façon adjacente à la seconde couche ferromagnétique.

10 [0012] Selon un autre aspect, il est proposé un procédé de fabrication d'un dispositif MRAM. Le procédé comprend de manière générale la formation d'au moins un empilement MTJ sur un substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe et la disposition d'un aimant de  
15 manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique.

[0013] Selon encore un autre aspect, il est proposé un dispositif MRAM. Le dispositif MRAM comprend de manière générale un substrat, au moins un empilement MTJ disposé sur le substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche  
20 ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe, une couche de passivation formée sur le substrat, dans lequel la couche de passivation remplit l'espace entre les MTJ, et un aimant disposé dans la couche de passivation de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique, dans lequel l'aimant comprend une couche de polarisation ferromagnétique disposée horizontalement parallèlement au substrat, et alignée avec la seconde couche  
25 ferromagnétique, et dans lequel la magnétisation de la seconde couche décrit une précession ferromagnétique autour d'un champ de polarisation provenant de l'aimant lorsqu'une tension de polarisation est appliquée à l'empilement MTJ de telle sorte que la polarité magnétique de l'empilement MTJ est inversée lorsqu'un champ électrique est appliqué à l'empilement MTJ.

[0014] Pour la mise en œuvre de ce qui précède et d'objets connexes, lesdits un ou  
30 plusieurs aspects comprennent les caractéristiques décrites ci-après en détail et plus particulièrement soulignées dans les revendications. La description qui suit et les dessins

annexés exposent en détail certains aspects illustratifs desdits un ou plusieurs aspects. Ces caractéristiques ne sont toutefois indicatives que de quelques-unes des diverses manières dont les principes de divers aspects de l'invention peuvent être utilisés, et la présente description doit être considérée comme couvrant tous ces aspects et leurs équivalents.

## 5 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

10 [0015] Pour que la manière dont les caractéristiques indiquées ci-dessus de la présente invention puisse être comprise en détail, une description plus particulière, brièvement résumée ci-dessus pourra être obtenue en référence à des aspects de l'invention dont certains sont illustrés dans les dessins annexés. Il est à noter toutefois que les dessins annexés n'illustrent que certains aspects typiques de la présente invention et ne doivent donc pas être considérés comme limitant sa portée, d'autres aspects tout aussi efficaces entrant dans le cadre de la présente invention.

[0016] La figure 1 est un diagramme illustrant un exemple d'empilement MTJ, selon certains aspects de la présente invention.

15 [0017] La figure 2 est un diagramme illustrant un exemple d'empilement MTJ avec une couche de polarisation magnétique dans l'empilement.

[0018] La figure 3 illustre l'application d'un champ magnétique pour ajuster une barrière d'énergie, selon certains aspects de la présente invention.

20 [0019] La figure 4 illustre la commutation de la polarité magnétique par application d'une tension, selon certains aspects de la présente invention.

[0020] La figure 5 est un graphique illustrant un exemple d'écriture pilotée par VCAM avec une lecture TMR pour un dispositif MTJ perpendiculaire utilisant un champ de polarisation dans l'empilement.

25 [0021] La figure 6 est un schéma fonctionnel illustrant un exemple d'opérations de fabrication d'un dispositif MRAM, selon certains aspects de la présente invention.

[0022] La figure 7 est un diagramme illustrant un exemple de dispositif MRAM comportant un empilement MTJ avec une couche de polarisation magnétique externe, selon certains aspects de la présente invention.

[0023] Pour faciliter la compréhension, des références numériques identiques ont été utilisées, lorsque cela est possible, pour désigner des éléments identiques qui sont communs aux figures. On peut considérer que les éléments décrits en ce qui concerne un aspect peuvent être avantageusement utilisés pour d'autres aspects, sans nécessité de les citer spécifiquement.

## 5 DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0024] Divers aspects de l'invention sont décrits plus en détail ci-après en référence aux dessins annexés. La présente invention peut toutefois être mise en œuvre sous de nombreuses formes différentes et ne doit pas être interprétée comme étant limitée à une quelconque structure ou fonction spécifique présentée tout au long de la présente description. Ces aspects sont en effet présentés de manière à ce que la présente description soit exhaustive et complète, et qu'elle transmette au mieux le champ d'application de l'invention à l'homme du métier. Sur la base des enseignements du présent document, l'homme du métier pourra comprendre que la portée de l'invention couvre un quelconque aspect de l'invention décrite ici, qu'il soit mis en œuvre indépendamment ou en association avec un quelconque autre aspect de l'invention. A titre d'exemple, un dispositif peut être mis en œuvre ou un procédé peut être mis en pratique en utilisant un nombre quelconque des aspects présentés ici. En outre, la portée de l'invention est considérée comme couvrant un appareil ou un procédé de ce type mis en pratique à l'aide d'une autre structure, ou fonctionnalité ou d'une structure et d'une fonctionnalité en plus ou différente des divers aspects de l'invention présentée ici. Il doit être entendu qu'un aspect quelconque de l'invention décrite ici peut être mis en œuvre par un ou plusieurs éléments d'une revendication.

[0025] Le terme "donné à titre d'exemple" est utilisé ici pour signifier "servant d'exemple, de forme de réalisation ou d'illustration". Tous les aspects décrits ici comme "étant donnés à titre d'exemple" ne doivent pas nécessairement être interprétés comme étant préférés ou avantageux par rapport à d'autres aspects.

[0026] Certains aspects de la présente invention concernent de manière générale un dispositif de commutation VCMA utilisant un film de polarisation ferromagnétique externe. A titre d'exemple, comme cela sera évoqué plus en détail ci-après, au moins un empilement MTJ peut être formé sur un substrat. L'empilement/les empilements MTJ peut/peuvent comprendre une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non

fixe. Un aimant externe (par exemple, une couche ferromagnétique de polarisation) peut être disposé de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique.

[0027] Dans la description qui suit de certains aspects de la présente description, il est fait référence aux dessins annexés qui en font partie et qui sont présentés à titre d'illustration des formes de réalisation particulières selon lesquelles l'invention peut être mise en pratique. Il est à noter que les figures présentées ici ne sont pas représentées à l'échelle et n'indiquent pas des tailles réelles ou relatives. Les éventuelles hachures apparaissant dans les figures permettent de distinguer les couches et ne représentent pas le type de matériau utilisé. Une pluralité de réseaux de cellules MRAM sont généralement fabriqués simultanément sur une plaquette unique. Les figures et la description présentées ici ne font référence qu'à quelques cellules de la pluralité de cellules qui seront typiquement fabriquées simultanément sur une plaquette unique.

#### EXEMPLE DE DISPOSITIF DE COMMUTATION VCMA

[0028] Dans des films ferromagnétiques métalliques tels que ceux qui sont généralement utilisés dans des dispositifs MTJ, les champs électriques sont occultés par la conductivité du matériau et par conséquent ne pénètrent que de quelques Angströms dans la surface du film. Par conséquent, l'intensité du champ électrique à proximité de la surface est en principe une limitation pour la commande par champ électrique des propriétés magnétiques. Cependant, en utilisant des films ferromagnétiques ultraminces (par exemple  $< 2$  nm), les propriétés magnétiques peuvent être sensibles à des effets d'interface, ou même dominés par ceux-ci, fournissant de ce fait un mécanisme permettant de coupler le champ électrique appliqué à l'anisotropie magnétique du matériau. Ainsi, la manipulation de ferroaimants métalliques par l'intermédiaire de l'anisotropie magnétique perpendiculaire (PMA) interfaciale commandée en tension peut être utilisée pour réaliser des dispositifs magnétiques commandés par champ électrique.

[0029] L'effet VCMA peut être expliqué comme étant une variation d'occupation induite par un champ électrique d'orbitales atomiques à l'interface, qui, en association avec l'interaction spin-orbite, conduit à une variation de l'anisotropie.

[0030] La figure 2 est un diagramme illustrant un exemple d'empilement MTJ 200 ayant une couche de polarisation magnétique dans l'empilement. Comme illustré sur la figure 2, l'empilement MTJ 200 comporte une couche fixe 202, une couche de barrière tunnel 204, une

couche libre 206, une couche de passivation 208, et une couche de polarisation magnétique dans l'empilement 210. Un exemple d'un empilement MTJ peut comprendre des couches magnétiques de CoFeB 202 et 206 et du MgO en tant que couche de barrière tunnel 204. Les MTJ CoFeB-MgO (ou d'autres MTJ de type semblable) présentent une anisotropie magnétique commandée en tension (VCMA) dans laquelle un champ électrique fait varier la densité d'électrons à l'interface CeFeB/MgO et affecte l'anisotropie perpendiculaire. A titre d'exemple, une diminution de la densité d'électrons à l'interface augmente l'anisotropie perpendiculaire. Etant donné que ce couplage magnétoélectrique n'est pas lié à la contrainte, il n'est pas soumis à une limitation d'endurance, le rendant ainsi compatible avec les applications logiques et de mémoire.

[0031] Un champ magnétique externe fait basculer l'orientation de la barrière d'énergie, alors que l'anisotropie commandée en tension réduit ou augmente la barrière d'énergie, selon la polarité. La figure 3 illustre l'application d'un champ magnétique pour ajuster une barrière d'énergie, selon certains aspects de la présente invention. L'ajustement de la barrière d'énergie peut permettre une commutation déterministe lorsqu'une tension (impulsion) est appliqué, comme illustré sur la figure 4. A titre d'exemple, comme illustré sur la figure 4, une MTJ peut avoir une magnétisation de couche libre alignée sur une magnétisation initiale  $H_{\text{eff}}$ . Dans cet exemple,  $H_{\text{eff}}$  pointe vers le haut et est dominée par l'anisotropie interfaciale hors du plan. L'application d'une tension conduit à un champ électrique à travers la barrière de MgO et réduit l'anisotropie interfaciale. Cette reconfiguration de l'anisotropie magnétique de la couche libre par l'intermédiaire de l'effet VCMA permet une commutation utilisant des champs électriques ; en d'autres termes, la réduction de la coercivité du fait de l'effet VCMA est exploitée pour commuter la magnétisation de la couche libre de nos VMTJ sans l'influence de courants polarisés en spin. Comme illustré sur la figure 4, lorsqu'une impulsion de tension  $V_p$  est appliquée, le champ effectif  $H_{\text{eff}}$  influençant la couche libre bascule dans le plan en raison du fait que le champ d'anisotropie interfaciale est réduit et que  $H_{\text{eff}}$  est maintenant dominée par le champ de polarisation provenant de la couche dans l'empilement 210. La magnétisation de la couche libre va décrire une précession autour de  $H_{\text{eff}}$ , jusqu'à ce qu'elle s'aligne finalement avec  $H_{\text{eff}}$ . L'amortissement est suffisamment faible dans le système pour que de nombreuses oscillations se produisent avant que la précession s'arrête. La précession peut être interrompue en désactivant  $V_p$ , cela pouvant conduire à un état de magnétisation final qui présente une polarité opposée à la direction de magnétisation initiale.

**[0032]** Ces MTJ commandées par champ électrique peuvent être compatibles avec l'intégration de semi-conducteurs métal-oxyde complémentaires (CMOS). La lecture peut être effectuée par l'intermédiaire de l'effet TMR et une écriture électrique peut être effectuée par l'intermédiaire de champs électriques au moyen de la VCMA. L'écriture peut par exemple être une résonance (de précession) à moins de 1 ns. Les bits peuvent être perpendiculaires pour des raison d'adaptation d'échelle et de densité.

**[0033]** La figure 5 est un graphique 500 représentant l'écriture pilotée par VCMA avec une lecture TMR pour un dispositif MTJ perpendiculaire de 80 nm x 80 nm utilisant un champ de polarisation dans l'empilement. Comme illustré sur la figure 5, on peut réaliser une commutation de 100 % (par exemple dans une fenêtre temporelle d'environ 700 ps  $\pm$  250 ps). Dans cet exemple, l'énergie de commutation peut être d'environ 10 fJ/bit avec un temps d'écriture < 1 ns. Comme cette commutation VCMA de précession est un basculement et non une opération déterministe (c'est-à-dire qu'une commutation se produit chaque fois qu'une impulsion VCMA est appliquée), une lecture peut être faite avant et/ou après la commutation afin de déterminer la polarité des bits, et si l'impulsion de basculement doit être appliquée.

**[0034]** Traditionnellement, le champ magnétique est produit par une couche de polarisation magnétique dans l'empilement, comme la couche de polarisation magnétique dans l'empilement 210 illustrée sur la figure 2.

#### EXEMPLE DE DISPOSITIF DE COMMUTATION VCMA UTILISANT UNE COUCHE DE POLARISATION FERROMAGNÉTIQUE EXTERNE

**[0035]** Selon certains aspects de la présente invention, on décrit un dispositif à jonction tunnel magnétique (MTJ) comportant un aimant externe (par exemple, par opposition au cas d'un aimant dans l'empilement) (par exemple la couche de polarisation). L'utilisation d'un aimant externe (par exemple permanent) peut permettre un empilement plus simple.

**[0036]** La figure 6 est un flux d'appels illustrant un exemple des opérations 600 de fabrication d'un dispositif MRAM, conformément à certains aspects de la présente invention. A titre d'exemple, les opérations 600 peuvent être utilisées pour fabriquer le dispositif MRAM 700 illustré sur la figure 7.

**[0037]** En 602, au moins un empilement MTJ (par exemple, comme l'empilement MTJ 704) peut être formé sur un substrat (par exemple, le substrat 702), l'empilement MTJ

comprenant une couche de barrière tunnel (par exemple, la couche de barrière tunnel 708 qui peut être une couche de MgO) entre une première couche ferromagnétique (par exemple, une couche de CoFeB) ayant une magnétisation fixe (par exemple, la couche fixe 706) et une seconde couche ferromagnétique (par exemple, une couche de CoFeB) ayant une magnétisation non fixe (par exemple, la couche libre 710).

**[0038]** En 604, un aimant (par exemple, l'aimant externe 712) peut être disposé (par exemple, formé) de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique. Selon certains aspects, l'aimant peut être disposé dans une couche de passivation déposée sur le substrat pour empêcher un court-circuit (par exemple, après avoir usiné le dispositif). Selon certains aspects, l'aimant peut être une couche de polarisation ferromagnétique (par exemple, un matériau dur tel qu'une couche de CoPt ou un matériau doux tel qu'une couche de NiFe bloquée par un antiferroaimant) formées sur le substrat (par exemple, une plaquette). Comme illustré sur la figure 7, l'aimant externe 712 peut être formé horizontalement parallèlement au substrat 702 et être aligné avec la couche libre 710.

**[0039]** En 606, une tension de polarisation est appliquée à l'empilement MTJ de manière à réduire l'anisotropie perpendiculaire au niveau de l'interface couche libre/barrière (effet VCMA), cela amenant la magnétisation de la couche libre à décrire une précession autour du champ effectif—maintenant dominé par le champ créé par l'aimant de polarisation. La durée d'impulsion peut être optimisée de manière à interrompre la précession pour inverser la polarité magnétique de la couche libre. Selon certains aspects, l'épaisseur de l'aimant disposé et/ou la distance de l'aimant disposé par rapport à la seconde couche ferromagnétique peut être sélectionnée lors de la fabrication du dispositif de façon qu'un champ magnétique souhaité (par exemple, optimal) soit exercé sur l'empilement MTJ par l'aimant.

**[0040]** Selon certains aspects, l'aimant externe peut être disposé par Dépôt par Faisceau d'Ions (IBD), électrodéposition, pulvérisation, ou une autre technique de dépôt.

**[0041]** La figure 7 est un diagramme illustrant l'exemple de dispositif MRAM 700 comportant un empilement MTJ 704 avec un aimant externe 712, selon certains aspects de la présente invention. Selon certains aspects, lorsqu'un champ électrique (par exemple, une impulsion VCMA) est appliqué à l'empilement MTJ, la magnétisation de la couche libre peut décrire une précession autour du champ de polarisation permanent (produit par l'aimant externe). Une optimisation du couple et de l'épaisseur de l'aimant externe peut être utilisée

pour produire un champ de précession souhaitable. A titre d'exemple, l'utilisation d'un champ magnétique plus intense permet d'assurer un temps de précession plus court.

5 [0042] Selon certains aspects, l'utilisation d'un champ magnétique externe peut conduire à une amélioration de la commande du champ magnétique, de l'aptitude à utiliser des champs magnétiques plus intenses, de l'aptitude à graver l'empilement MTJ plus facilement, et de configurations magnétiques plus simples. En outre, en raison du fait que les couches peuvent être plus minces et plus faciles à graver en traversée, un pas final plus étroit peut être utilisé. En outre, des aimants dans l'empilement peuvent nécessiter un champ de recuit à fort champ dans le plan afin de fixer leur direction, cela pouvant être défavorable pour les propriétés de la couche libre et pour l'anisotropie perpendiculaire. En outre, on notera que bien qu'un aimant permanent ayant une coercivité élevée (aimant dur) ait été illustré pour l'aimant externe 712, une faible coercivité (aimant doux) couplée à une couche de polarisation antiferromagnétique pourrait également être utilisée.

10

[0043] Les procédés décrits ici comprennent une ou plusieurs étapes ou actions pour la mise en œuvre du procédé décrit. Les étapes et/ou actions du procédé peuvent être interverties les unes par rapport aux autres, sans sortir du cadre des revendications. En d'autres termes, à moins qu'un ordre spécifique des étapes ou des actions soit spécifié, l'ordre et/ou l'utilisation d'étapes et/ou d'actions spécifiques peut/peuvent être modifié(s) sans sortir du cadre des revendications.

15

20 [0044] Telle qu'utilisée ici, une expression se référant à "au moins l'un" d'une liste d'éléments se réfère à toute combinaison de ces éléments, y compris les éléments individuels. A titre d'exemple, "au moins l'un de : a, b, c" est considéré comme couvrant a, b, c, a-b, a-c, b-c, et a-b-c, ainsi qu'une combinaison quelconque avec de multiples éléments identiques (par exemple, a-a, a-a-a, a-a-b, a-a-c, a-b-b, a-c-c, b-b, b-b-b, b-b-c, c-c, et c-c-c ou tout autre façon d'ordonner a, b, et c).

25

[0045] Les différentes opérations des procédés décrits ci-dessus peuvent être effectuées par tout moyen approprié permettant d'exécuter les fonctions correspondantes. Ces moyens peuvent comprendre divers composants matériels et/ou logiciels.

[0046] Il est à noter que les revendications ne sont pas limitées à la configuration particulière et aux composants particuliers illustrés ci-dessus. Diverses modifications,

30

transformations et variantes peuvent être appliquées à l'agencement, au fonctionnement et aux détails des procédés et appareils décrits ci-dessus sans sortir du cadre des revendications.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de mémoire vive magnétorésistive (MRAM), comprenant :
  - un substrat ;
  - une couche de passivation formée sur le substrat ;
  - au moins un empilement de jonctions tunnel magnétiques (MTJ) disposé sur le substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe ;
  - un aimant disposé dans la couche de passivation et de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique.
2. Dispositif MRAM selon la revendication 1, dans lequel l'aimant comprend une couche de polarisation ferromagnétique formée horizontalement parallèlement au substrat et alignée avec la seconde couche ferromagnétique.
3. Dispositif MRAM selon la revendication 1, dans lequel l'aimant comprend une couche ferromagnétique dure ou une couche ferromagnétique douce bloquée par un antiferroaimant.
4. Dispositif MRAM selon la revendication 3, dans lequel la couche ferromagnétique dure comprend du CoPt et la couche ferromagnétique douce comprend du NiFe.
5. Dispositif MRAM selon la revendication 1, dans lequel la première couche ferromagnétique et la seconde couche ferromagnétique comprennent des couches de CoFeB.
6. Dispositif MRAM selon la revendication 1, dans lequel la couche de barrière tunnel comprend une couche de MgO.
7. Procédé de fabrication d'un dispositif de mémoire vive magnétorésistive (MRAM), consistant à :
  - former au moins un empilement de jonctions tunnel magnétiques (MTJ) sur un substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une

première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe ;

former une couche de passivation sur le substrat ; et

disposer un aimant dans la couche de passivation et de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'aimant comprend une couche de polarisation ferromagnétique formée horizontalement parallèlement au substrat et alignée avec la seconde couche ferromagnétique.

9. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'aimant comprend une couche ferromagnétique dure ou une couche ferromagnétique douce bloquée par un antiferroaimant.

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel la couche ferromagnétique dure comprend du CoPt et la couche ferromagnétique douce comprend du NiFe.

11. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la première couche ferromagnétique et la seconde couche ferromagnétique comprennent des couches de CoFeB.

12. Procédé selon la revendication 7, dans lequel la couche de barrière tunnel comprend une couche de MgO.

13. Procédé selon la revendication 7, consistant en outre à utiliser un effet d'anisotropie magnétique commandée en tension (VCMA) de manière à ce que la magnétisation de la seconde couche ferromagnétique décrive une précession autour d'un champ de polarisation provenant de l'aimant afin d'inverser une polarité magnétique de la seconde couche ferromagnétique.

14. Procédé selon la revendication 13, dans lequel l'aimant adjacent à la seconde couche ferromagnétique est un aimant permanent.

15. Dispositif de mémoire vive magnéto-résistive (MRAM), comprenant :  
un substrat ;

au moins un empilement de jonctions tunnel magnétiques (MTJ) disposé sur le substrat, dans lequel l'empilement MTJ comprend une couche de barrière tunnel entre une première couche ferromagnétique ayant une magnétisation fixe et une seconde couche ferromagnétique ayant une magnétisation non fixe ;

une couche de passivation formée sur le substrat, dans lequel la couche de passivation remplit l'espace entre les MTJ ; et

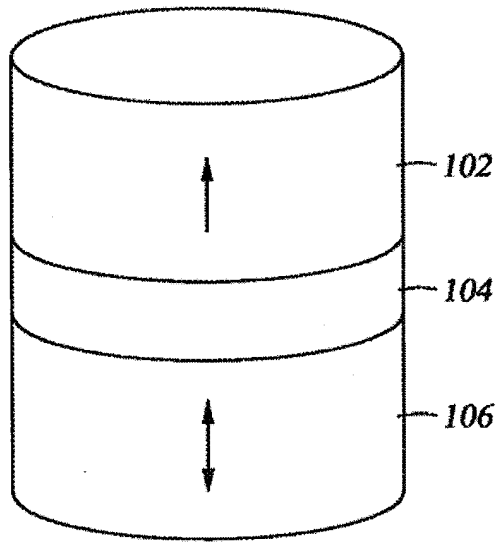
un aimant disposé dans la couche de passivation de manière adjacente à la seconde couche ferromagnétique, dans lequel l'aimant comprend une couche de polarisation ferromagnétique disposée horizontalement parallèlement au substrat et alignée avec la seconde couche ferromagnétique, et dans lequel la magnétisation de la seconde couche ferromagnétique décrit une précession autour d'un champ de polarisation provenant de l'aimant lorsqu'une tension de polarisation est appliquée à l'empilement MTJ afin d'inverser une polarité magnétique de l'empilement MTJ lorsqu'un champ électrique est appliqué à l'empilement MTJ.

16. Dispositif MRAM selon la revendication 15, dans lequel l'aimant comprend une couche ferromagnétique dure ou une couche ferromagnétique douce bloquée par un antiferroaimant.

17. Dispositif MRAM selon la revendication 15, dans lequel l'aimant est un aimant permanent.

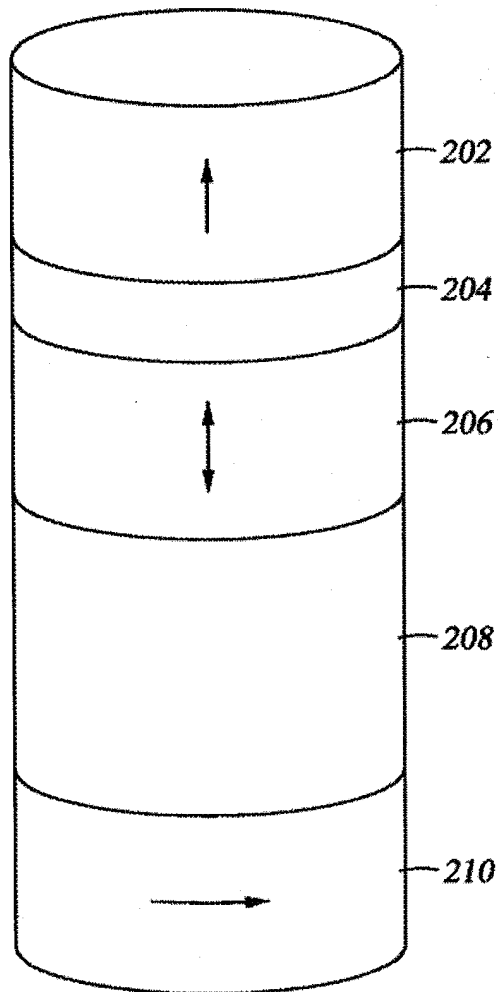
100 →

*Fig. 1*



200 →

*Fig. 2*



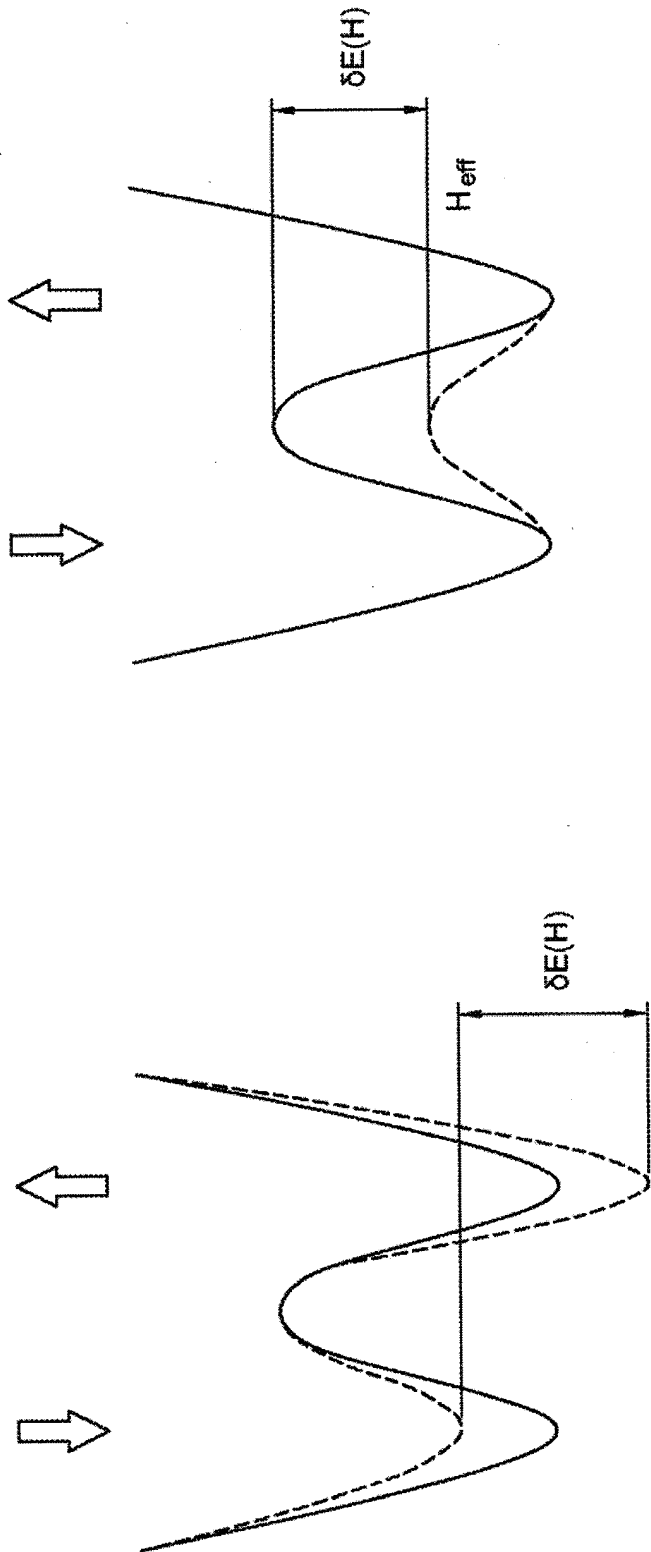


Fig. 3

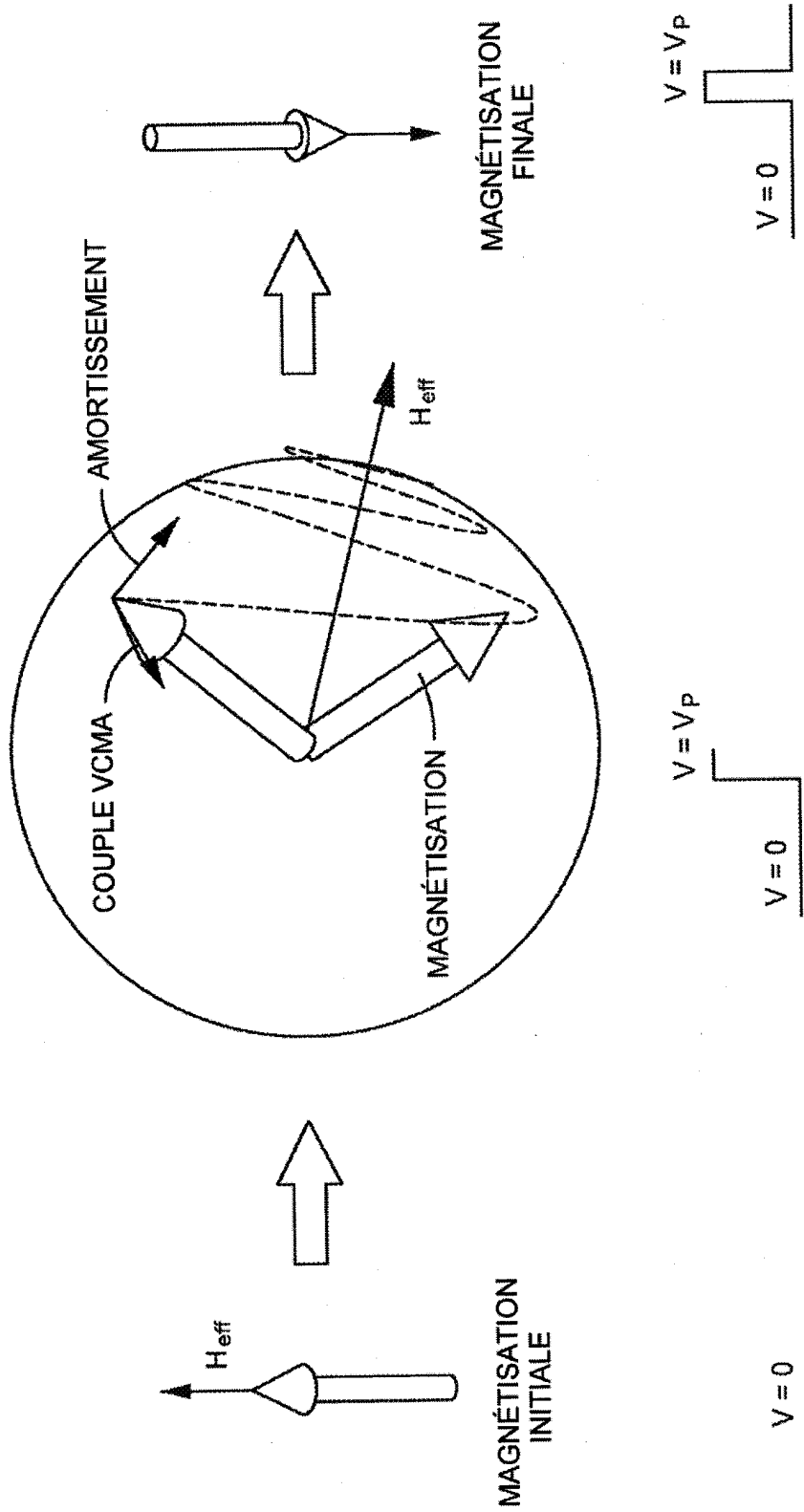


Fig. 4

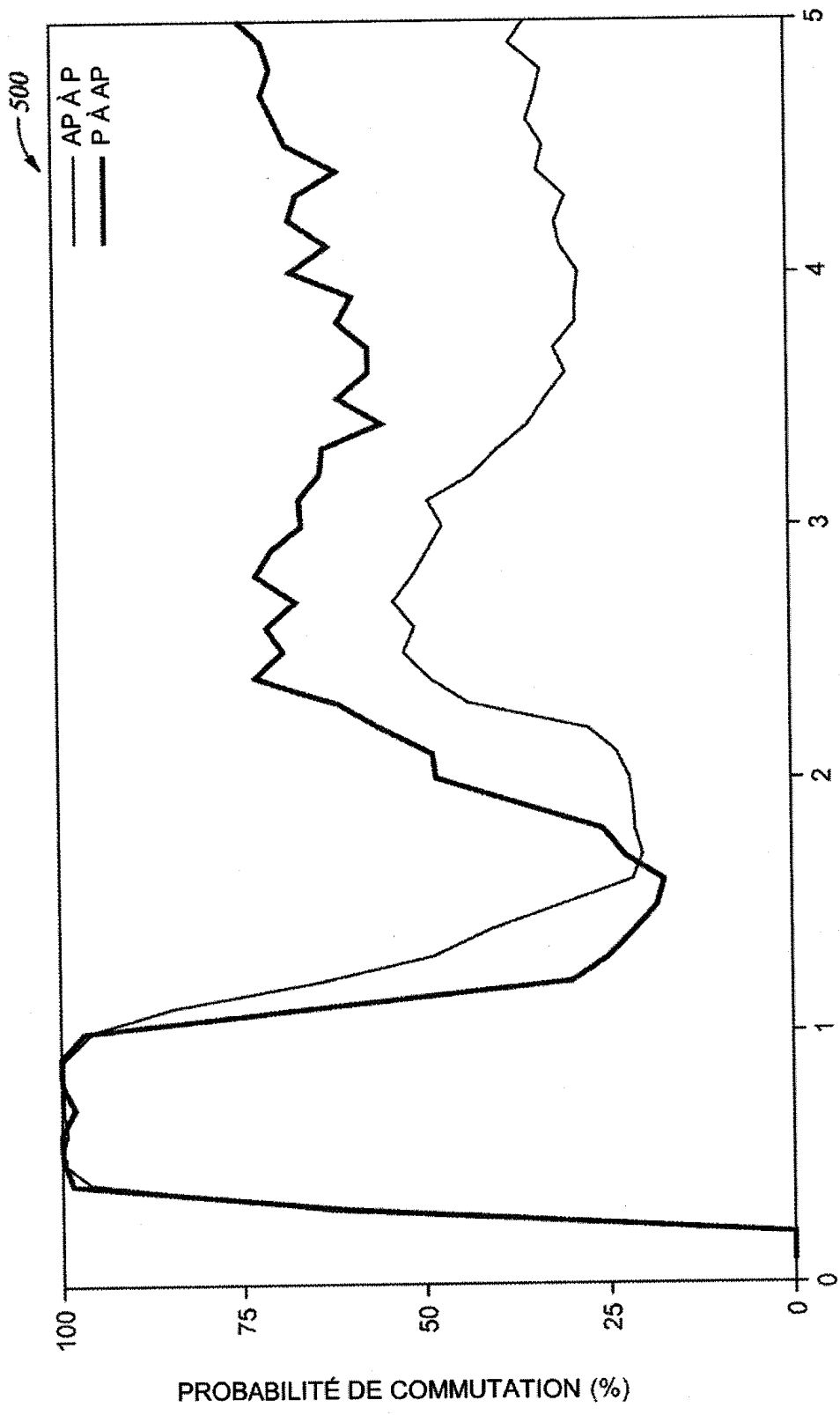
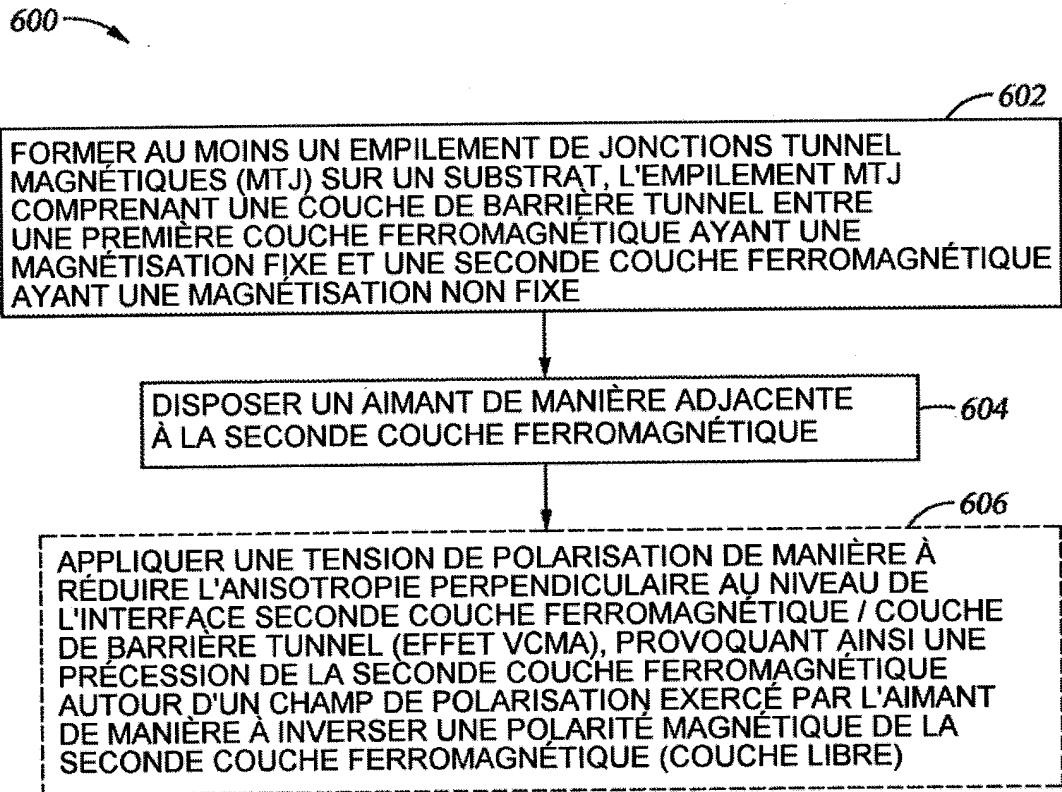


Fig. 5

*Fig. 6*

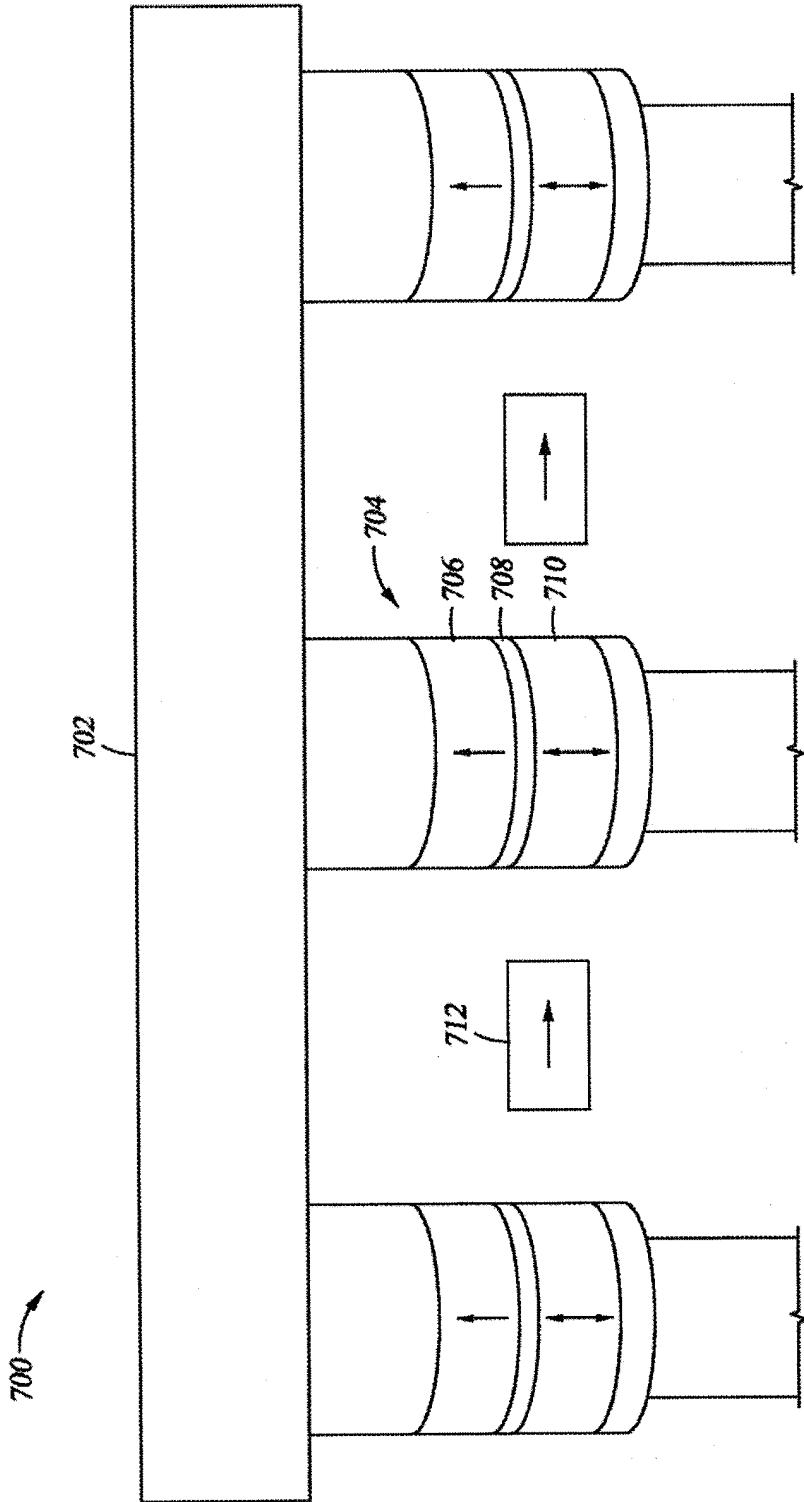


Fig. 7

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 2012002463 A1 (RANJAN RAJIV YADAV [US] ET AL.) 05 janvier 2012 (2012-01-05)

US 2012018788 A1 (ZHENG YUANKAI [US] ET AL.) 26 janvier 2012 (2012-01-26)

US 2012294078 A1 (KENT ANDREW [US] ET AL.) 22 novembre 2012 (2012-11-22)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT