(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) **N° de publication :** **2 905 792**

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **06 07924**

(51) Int Cl[8] : **H 01 F 10/30** (2006.01), H 01 F 41/32

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 11.09.06.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 14.03.08 Bulletin 08/11.

(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.

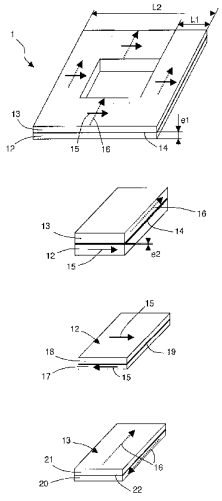
(72) **Inventeur(s) :** HIDA RACHID et VIALA BERNARD.

(73) **Titulaire(s) :**

(74) **Mandataire(s) :** CABINET HECKE.

(54) CIRCUIT MAGNETIQUE FERME POUR APPLICATIONS DYNAMIQUES A HAUTE FREQUENCE ET PROCEDE DE REALISATION D'UN TEL CIRCUIT MAGNETIQUE.

(57) Le circuit magnétique (1) fermé selon l'invention comporte des premier et second matériaux magnétiques ayant des axes de facile aimantation (15, 16) orientés perpendiculairement. Le circuit magnétique (1) est constitué par un empilement d'épaisseur uniforme d'au moins une première couche (12) de premier matériau magnétique et d'au moins une deuxième couche (13) de second matériau magnétique, séparées par au moins une troisième couche (14) d'un matériau non magnétique et avantageusement isolante et structurées de manière identique. Chaque couche (12, 13) de matériau magnétique comporte une alternance d'au moins une première sous-couche ferromagnétique élémentaire et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique élémentaire, séparées par au moins une troisième sous-couche non magnétique et avantageusement isolante. Un procédé de réalisation du circuit magnétique (1) comporte la formation de l'empilement d'épaisseur uniforme et la structuration dudit empilement, pour former le circuit magnétique (1) fermé.



FR 2 905 792 - A1

Circuit magnétique fermé pour applications dynamiques à haute fréquence et procédé de réalisation d'un tel circuit magnétique

Domaine technique de l'invention

L'invention concerne un circuit magnétique fermé comportant des premier et second matériaux magnétiques ayant des axes de facile aimantation orientés perpendiculairement.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un tel circuit magnétique fermé.

État de la technique

L'invention s'inscrit dans la thématique des composants magnétiques, notamment des composants inductifs (inductances, transformateurs), des têtes d'enregistrement magnétique et des capteurs de champ magnétique ou d'une grandeur liée au champ magnétique.

Dans les composants inductifs en général, il est avantageux de canaliser le flux électromagnétique par un circuit magnétique de forte perméabilité, car cela permet soit un gain de performances à encombrement donné, soit au contraire une diminution d'encombrement pour des performances équivalentes.

Dans le cas des composants discrets (macroscopiques) pour les hautes fréquences (supérieures à 1kHz), les circuits magnétiques recourent traditionnellement aux ferrites, qui, de par leur nature isolante, les rendent capables d'opérer naturellement à haute fréquence. De plus, ces circuits sont généralement constitués d'éléments massifs (forte épaisseur), qui permettent de compenser la perméabilité très modérée des ferrites.

Dans le cas des composants intégrés, les procédés de fabrication des ferrites (frittage à chaud) restent difficilement compatibles avec les technologies CMOS ou BiCMOS de la microélectronique. Dans ces conditions, pour des composants intégrés utilisant des matériaux magnétiques, il est à la fois plus commode et plus favorable de mettre en œuvre des matériaux constitués de couches minces d'alliage ferromagnétique (à base de nickel et/ou de fer et/ou de cobalt) et qui présentent naturellement des perméabilités beaucoup plus élevées.

Par contre, ces couches minces étant généralement aussi conductrices, pour s'affranchir des limitations classiques à haute fréquence dues à ce qui est communément appelé l'effet de peau, des couches isolantes (SiO_2, Al_2O_3, Si_3N_4) sont également utilisées en alternance avec les couches ferromagnétiques. Les performances en termes de perméabilité et de pertes joules des matériaux composites ainsi constitués sont alors très supérieures à celles des ferrites dans la gamme des hautes fréquences, pour des applications de type inductif.

Les matériaux magnétiques ainsi constitués présentent un comportement anisotrope de type uniaxial propre aux couches minces ferromagnétiques qui les constituent, avec un axe de facile aimantation parallèle au champ appliqué pendant le dépôt et un axe de difficile aimantation, orienté à 90° par rapport à l'axe de facile aimantation et caractérisé par son champ d'anisotropie induite H_k.

Ainsi, seulement selon l'axe de difficile aimantation, il existe un processus collectif d'excitation de l'aimantation, qui conduit aux propriétés dynamiques recherchées, sans recours à une polarisation extérieure comme pour la majeure partie des ferrites. Ainsi, pour disposer d'un circuit magnétique fermé dans le plan avec un haut niveau de perméabilité à haute fréquence, il est généralement nécessaire de réaliser le circuit en deux niveaux, c'est-à-dire en utilisant deux matériaux magnétiques distincts.

Comme représenté schématiquement sur la figure 1, le niveau inférieur d'un circuit magnétique 1 selon l'art antérieur présente, par exemple, deux branches inférieures 2a, 2b réalisées à partir d'un premier matériau magnétique, défini par son axe de facile aimantation A1 orienté perpendiculairement par rapport au passage du flux magnétique, c'est-à-dire dans la largeur des branches 2a, 2b. Afin de compléter la fermeture du circuit magnétique 1, un niveau supérieur est ensuite réalisé de manière analogue, avec deux branches supérieures 3a, 3b parallèles, réalisées à partir d'un second matériau magnétique, défini par son axe de facile aimantation A2 correspondant, orienté perpendiculairement par rapport à l'axe de facile aimantation A1 du premier matériau magnétique.

Comme représenté schématiquement sur la figure 2, chaque branche 2, 3 du circuit magnétique 1 est formée d'un empilement d'au moins deux couches 4, 5 ferromagnétiques de même direction et de même sens, disposées de part et d'autre d'une couche non magnétique isolante 6. Dans l'hypothèse où les couches ferromagnétiques 4 et 5 sont sans interaction mutuelle forte, notamment sans couplage magnétostatique, et du fait des faibles dimensions généralement mises en œuvre dans les dispositifs intégrés, à savoir inférieures à 1mm, le circuit magnétique 1 définit alors une structure magnétique naturelle en domaines, comme représentée sur la figure 3.

Cette structure en domaines comprend notamment des domaines 7 de fermeture de flux en bord du circuit 1, créés par le rebouclage de l'aimantation dans le plan des couches ferromagnétiques. Ces zones sont considérées comme des portions perdues pour le transport du flux. Il en résulte une diminution du flux magnétique traversant le circuit magnétique 1 à une fréquence donnée. De plus, en régime dynamique, il existe un phénomène limitatif connu propre à ce type de circuit 1, qui est directement associé à la présence de parois magnétiques constituant et délimitant les domaines de fermeture 7. Cette configuration de la structure est donc à éviter, pour des circuits magnétiques travaillant à hautes fréquences.

En optimisant les épaisseurs des couches ferromagnétiques 4, 5 et de la couche isolante 6, il est possible d'obtenir une structure en domaines dans un état couplé, représentée sur la figure 4, permettant d'obtenir des performances optimales pour le circuit magnétique 1. Les aimantations respectives des couches se bouclent dans l'épaisseur du circuit et non plus dans les plans respectifs des couches ferromagnétiques. Les domaines de fermeture sont remplacés par des volumes homogènes 9, 10 d'aimantation en bord d'échantillon, dans lesquels l'aimantation est perpendiculaire au plan des couches, et de manière à refermer le flux des domaines principaux 11 de part et d'autre de l'interface. Ainsi, cette façon de boucler le flux n'introduit pas de domaines d'aimantation ayant des parois non parallèles à la direction d'anisotropie. Cette configuration est favorable notamment pour les circuits magnétiques travaillant à hautes fréquences.

Cependant, si cette configuration en bicouches permet d'obtenir l'état couplé de la structure en domaines (figure 4), le circuit magnétique 1 décrit sur la figure 1 reste difficile à réaliser, car il nécessite au moins deux niveaux de structuration, un premier niveau pour définir les branches inférieures 2a, 2b et un deuxième niveau pour définir les branches supérieures 3a, 3b.

Objet de l'invention

L'invention a pour but de remédier à l'ensemble des inconvénients précités et a pour objet la réalisation d'un circuit magnétique fermé, qui permette de contrôler la structure naturelle en domaines magnétiques du matériau constituant l'épaisseur du circuit, par le biais d'un effet de couplage magnétostatique à l'intérieur des matériaux, et cela sur l'ensemble du circuit magnétique, tout en étant réalisé avec un unique niveau de structuration.

L'objet de l'invention est caractérisé en ce que le circuit magnétique est constitué par un empilement d'épaisseur uniforme d'au moins une première couche de premier matériau magnétique et d'au moins une deuxième couche de second matériau magnétique, séparées par au moins une troisième couche d'un matériau non magnétique et structurées de manière identique, chaque couche de matériau magnétique comportant une alternance d'au moins une première sous-couche ferromagnétique élémentaire et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique élémentaire, séparées par au moins une troisième sous-couche non magnétique.

Selon un développement de l'invention, les épaisseurs des sous-couches ferromagnétiques élémentaires de chaque couche de matériau magnétique assurent un couplage magnétostatique entre les sous-couches ferromagnétiques élémentaires.

Selon un autre développement de l'invention, les axes de facile aimantation de deux sous-couches ferromagnétiques adjacentes de chaque couche de matériau magnétique sont de même direction et de sens opposé.

Selon d'autres développements de l'invention, chaque sous-couche ferromagnétique élémentaire est en matériau ferromagnétique doux, choisi parmi :

- un alliage de fer et nickel,
- un alliage de cobalt, de zirconium et d'un troisième élément choisi parmi le niobium ou le tantale,
- un alliage de fer incluant de l'azote et/ou de l'oxygène et contenant un autre élément choisi parmi le titane, le tantale, le hafnium, le silicium ou l'aluminium,
- un alliage de fer et de cobalt incluant de l'azote et/ou de l'oxygène et contenant un autre élément choisi parmi le titane, le tantale, le hafnium, le silicium ou l'aluminium.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un circuit magnétique fermé, qui permette d'éviter l'utilisation de deux niveaux technologiques, afin d'obtenir un circuit magnétique plan d'épaisseur uniforme et d'assurer une excitation en axe de difficile aimantation sur toute sa longueur.

Cet objet de l'invention est caractérisé en ce que le procédé comporte :

- la formation d'un empilement d'épaisseur uniforme comportant au moins une première couche de premier matériau magnétique, ayant un axe de facile aimantation orienté de façon prédéterminée, et au moins une deuxième couche de second matériau magnétique, ayant un axe de facile aimantation orienté perpendiculairement à l'axe de facile aimantation de la première couche de premier matériau magnétique, séparées par au moins une troisième couche de matériau non magnétique,
- la structuration dudit empilement, pour former le circuit magnétique fermé.

Selon un développement de l'invention, la formation dudit empilement comporte au moins les étapes de :

- formation de la première couche de premier matériau magnétique par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique, séparées par au moins une troisième sous-couche non magnétique,
- formation de la couche non magnétique, sur la première couche de premier matériau magnétique,
- et formation de la deuxième couche de second matériau magnétique, sur la couche non magnétique, par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique, séparées par une troisième sous-couche non magnétique.

Selon des développements de l'invention, l'étape de structuration est réalisée par dépôt localisé et par évaporation au travers d'un masque, ou par dépôt pleine plaque de l'empilement sur une surface structurée et par planarisation, ou par dépôt pleine plaque de l'empilement et par lithographie et gravure.

Description sommaire des dessins

D'autres avantages et caractéristiques ressortiront plus clairement de la description qui va suivre de modes particuliers de réalisation de l'invention donnés à titre d'exemples non limitatifs et représentés aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1 représente schématiquement un circuit magnétique fermé selon l'art antérieur.

La figure 2 représente schématiquement une structure en bicouche d'une des branches du circuit magnétique fermé selon la figure 1.

La figure 3 représente très schématiquement une vue de dessus de la structure naturelle en domaines, définie par le matériau d'un circuit magnétique selon l'art antérieur.

La figure 4 représente très schématiquement une vue de dessus de la structure naturelle en domaines, dans un état couplé d'axe facile, définie par le matériau d'un circuit magnétique selon l'art antérieur.

La figure 5 représente une vue en perspective d'un mode particulier de réalisation d'un circuit magnétique fermé selon l'invention.

La figure 6 représente une vue agrandie d'une portion du circuit magnétique selon la figure 5.

La figure 7 représente une vue agrandie d'une couche d'un premier matériau magnétique composant le circuit magnétique selon les figures 5 et 6.

La figure 8 représente une vue agrandie d'une couche d'un second matériau magnétique composant le circuit magnétique selon les figures 5 et 6.

Description de modes particuliers de réalisation

En référence aux figures 5 à 8, un circuit magnétique 1 selon l'invention est un circuit magnétique fermé dans le plan du substrat sur lequel il est réalisé, composé d'un empilement de couches de matériaux magnétiques à forte valeur de perméabilité en régime dynamique à hautes fréquences. Le circuit magnétique 1 est réalisé par un procédé de fabrication à un seul niveau, c'est-à-dire ne nécessitant pas d'étapes de structuration entre les dépôts des différentes couches. Le circuit magnétique 1 est ainsi constitué par un empilement d'épaisseur uniforme, structuré de manière identique.

Sur la figure 5, le circuit magnétique 1 est conformé selon un anneau plan de forme sensiblement carrée et d'épaisseur constante. Le circuit magnétique 1 est réalisé par dépôt et empilement de couches successives constituant le matériau final du circuit magnétique 1.

Comme représenté sur la figure 6, illustrant uniquement une portion du circuit magnétique 1 représenté sur la figure 5, le circuit magnétique 1 comporte un empilement d'une première couche 12 d'un premier matériau magnétique, d'une deuxième couche 13 d'un second matériau magnétique et d'une troisième couche 14 d'un matériau non magnétique, intercalée entre la couche 12 de premier matériau magnétique et la couche 13 de second matériau magnétique.

Les deux couches 12 et 13 sont déposées, de sorte que les axes de facile aimantation 15, représentés en traits pleins sur les figures 5 à 7, correspondant à la couche 12 de premier matériau magnétique, soient placés dans une direction prédéterminée, de préférence parallèlement ou perpendiculairement à l'une des branches du circuit magnétique 1, et que les axes de facile aimantation 16, représentés en traits pointillés sur les figures 5 à 8, correspondant à la couche 13 de second matériau magnétique, soient orientés perpendiculairement par rapport aux axes de facile aimantation 15 de la couche 12 de premier matériau magnétique.

La couche 14 en matériau non magnétique est destinée à éviter le couplage direct entre les couches 12 et 13 en matériau magnétique. La couche 14 est, de préférence, isolante, notamment pour se prémunir des effets de peau dus à l'accumulation des épaisseurs propres aux matériaux magnétiques composant le circuit magnétique 1. Les matériaux magnétiques contribuent individuellement à la perméabilité du circuit magnétique 1, lorsque l'excitation est parallèle à l'axe de difficile aimantation d'une des deux couches 12 et 13 de matériaux magnétiques.

Dans d'autres variantes de réalisation non représentées, le circuit magnétique 1 peut comporter un empilement de plusieurs couches 12 de premier matériau magnétique et de plusieurs couches 13 de second

matériau magnétique déposées en alternance. Le nombre de couches 12 de premier matériau magnétique, avec une orientation identique et prédéterminée des axes de faciles aimantation de toutes les couches 12, peut être identique au nombre de couches 13 de second matériau magnétique, avec une orientation identique des axes de facile aimantation de toutes les couches 13, perpendiculairement aux axes de facile aimantation de toutes les couches 12, et une couche 14 non magnétique et avantageusement isolante disposée entre deux couches 12, 13 successives de premier et second matériaux magnétiques.

Comme représenté sur la figure 7, la couche 12 de premier matériau magnétique comprend un empilement de deux sous-couches ferromagnétiques élémentaires 17, 18 et d'une sous-couche 19 non magnétique et avantageusement isolante, intercalée entre les deux sous-couches ferromagnétiques élémentaires 17, 18. Dans cet empilement, les épaisseurs des couches 17, 18, 19 sont optimisées pour obtenir la structure en domaines dans un état couplé, comme représenté sur la figure 4. Dans le mode particulier de réalisation représenté sur la figure 7, les axes de facile aimantation 15 des sous-couches ferromagnétiques élémentaires 17, 18 du premier matériau magnétique ont la même direction et des sens opposés.

Comme représenté sur la figure 8, la couche 13 de second matériau magnétique comprend, de préférence, la même structure que la couche 12 de premier matériau magnétique (figure 7), avec un empilement de deux sous-couches ferromagnétiques élémentaires 20, 21 et d'une sous-couche 22 non magnétique et avantageusement isolante, intercalée entre les deux sous-couches ferromagnétiques élémentaires 20, 21. Dans cet empilement, les épaisseurs des couches 20, 21, 22 sont également optimisées pour obtenir un couplage magnétostatique des couches 20 et 21, et ainsi obtenir une structure en domaines, comme représenté sur la figure 4. Les axes de facile aimantation 16 des sous-couches ferromagnétiques élémentaires 20,

21 du second matériau magnétique ont la même direction et des sens opposés. Ils sont orientés perpendiculairement par rapport aux axes de facile aimantation 15 des sous-couches ferromagnétiques élémentaires 17, 18 composant le premier matériau magnétique (figures 6 à 8).

Chaque sous-couche non magnétique 19, 22 est, de préférence, isolante et permet notamment d'obtenir une configuration particulière permettant l'élimination des domaines de fermeture au sein des premier et second matériaux magnétiques composant le circuit magnétique 1.

Dans des variantes de réalisation non représentées, chaque couche de matériau magnétique peut être composé d'un nombre quelconque, de préférence pair et supérieur ou égal à deux, de sous-couches ferromagnétiques élémentaires, avec une sous-couche non magnétique et avantageusement isolante placée entre deux sous-couches ferromagnétiques élémentaires successives. Le nombre de sous-couches ferromagnétiques élémentaires de chaque couche de premier matériau magnétique du circuit magnétique 1 selon l'invention est, de préférence, égal au nombre de sous-couches ferromagnétiques élémentaires de chaque couche de second matériau magnétique du circuit magnétique 1.

De façon générale, les axes de facile aimantation de deux sous-couches ferromagnétiques adjacentes, composant chaque couche de premier matériau magnétique, ont des directions identiques et des sens opposés et les axes de facile aimantation de deux sous-couches ferromagnétiques adjacentes, composant chaque couche de second matériau magnétique, ont également des directions identiques et des sens opposés et sont orientés perpendiculairement aux axes de facile aimantation correspondant au premier matériau magnétique.

À titre d'exemple, chaque sous-couche ferromagnétique est en matériau ferromagnétique doux choisi parmi :

- un alliage de fer et nickel,
- un alliage de cobalt, de zirconium et d'un troisième élément pouvant être du niobium ou du tantale,
- un alliage de fer pouvant inclure de l'azote et/ou de l'oxygène et pouvant contenir un autre élément tel que du titane, du tantale, du hafnium, du silicium ou de l'aluminium, de préférence du hafnium ou du silicium,
- un alliage de fer et de cobalt pouvant inclure de l'azote et/ou de l'oxygène et pouvant contenir un autre élément tel que du titane, du tantale, du hafnium, du silicium ou de l'aluminium, de préférence du hafnium ou du silicium.

Chaque sous-couche non magnétique 19, 22 peut être identique à la couche 14 non magnétique placée entre deux couches successives 12, 13 de premier et second matériaux magnétiques. Chaque sous-couche non magnétique 19, 22 peut être métallique et peut comprendre du cuivre, du hafnium, du titane, de l'or, du molybdène, du ruthénium, du tantale, etc. Avantageusement, chaque sous-couche non magnétique 19, 22 est isolante et le matériau isolant est, par exemple, de l'oxyde de silicium (SiO_2), de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), de l'oxyde de tantale (Ta_2O_5), de l'oxyde de hafnium (HfO_2) ou du nitrure de silicium (Si_3N_4).

Ainsi, l'élimination des domaines de fermeture (figure 3) de l'art antérieur, pour obtenir la structure en domaines dans un état couplé représentée sur la figure 4, est notamment obtenue grâce au choix particulièrement avantageux des épaisseurs des sous-couches ferromagnétiques et non magnétiques composant chaque couche de matériau magnétique, en regard des dimensions du circuit magnétique 1 et sur l'ensemble du circuit magnétique 1, avec une orientation judicieuse des axes de facile aimantation des différentes couches. La fermeture locale du flux à travers l'épaisseur du

matériau du circuit magnétique 1 est ainsi favorisée et optimisée à l'intérieur de chaque couche 12, 13 de matériau magnétique.

À titre d'exemple, la largeur L1 d'une branche du circuit magnétique 1 est comprise entre 5μm et 250μm, et la largeur L2 du circuit magnétique 1 est comprise entre 20μm et 600 μm (figure 5). L'épaisseur e1 d'une couche de matériau magnétique est comprise entre 0,1μm et 0,8μm (figure 5) et l'épaisseur e2 d'une couche non magnétique est comprise entre 500Å et 2000Å (figure 6).

Un procédé de réalisation du circuit magnétique 1 va être décrit plus en détail au regard des figures 5 à 8. De manière classique, dans le domaine de la réalisation des circuits magnétiques intégrés, une étape préalable de réalisation d'un caisson de bobinage inférieur est d'abord effectuée sur un substrat plan correspondant, par exemple par un procédé de type damascène. Puis, une première couche isolante est déposée.

Puis, comme représenté sur la figure 6, le procédé consiste à former un empilement d'épaisseur uniforme comportant une première couche 12 de premier matériau magnétique. La première couche 12 est formée par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique 17, ayant un axe de facile aimantation 15 orienté de façon prédéterminée, d'une sous-couche 19 non magnétique et avantageusement isolante et d'une deuxième sous-couche ferromagnétique 18, avec l'axe de facile aimantation orienté comme la sous-couche ferromagnétique 17 précédente et dans un sens opposé (figure 7).

Puis, une couche 14 non magnétique et avantageusement isolante est déposée sur les sous-couches 17, 18, 19 formées au préalable et joue le rôle d'interface avec la deuxième couche 13 de second matériau magnétique, déposée par la suite.

D'une manière générale, la première couche 12 de premier matériau magnétique peut comporter une pluralité de sous-couches ferromagnétiques 17, 18, de préférence un nombre pair, deux sous-couches ferromagnétiques successives ayant des axes de facile aimantation orientés de la même façon et dans un sens opposé et étant séparées d'une sous-couche non magnétique 19 avantageusement isolante.

Sur la figure 8, une couche 13 de second matériau magnétique est ensuite formée par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique 20, avec un axe de facile aimantation 16 orienté perpendiculairement par rapport aux axes de facile aimantation 15 des sous-couches ferromagnétiques 17, 18 composant la couche 12 du premier matériau magnétique, une sous-couche 22 non magnétique et avantageusement isolante et une deuxième sous-couche ferromagnétique 21, avec l'axe de facile aimantation 16 orienté comme la sous-couche ferromagnétique 20 précédente et dans un sens opposé.

D'une manière générale, la deuxième couche 13 de second matériau magnétique peut comporter une pluralité de sous-couches ferromagnétiques 20, 21, de préférence un nombre pair, deux sous-couches ferromagnétiques successives ayant des axes de facile aimantation 16 orientés de la même façon et dans un sens opposé et étant séparées d'une sous-couche non magnétique 22 avantageusement isolante.

Ensuite, une étape de structuration de l'empilement d'épaisseur uniforme ainsi formé permet alors d'obtenir la forme désirée du circuit magnétique 1. Comme représenté sur la figure 5, la structuration de l'empilement permet d'obtenir un anneau de forme carrée. D'autres formes du circuit magnétique 1 peuvent être réalisées, par exemple rectangulaire, circulaire, ellipsoïdale, etc. L'étape de structuration peut être réalisée de manière classique, par

exemple par un dépôt pleine plaque de l'empilement et par lithographie et gravure du feuilleté de couches ainsi formé.

Dans d'autres variantes de réalisation, l'étape de structuration peut comporter le dépôt pleine plaque de l'empilement sur une surface structurée adaptée, suivi d'une phase de planarisation. Il est également possible d'obtenir directement l'étape de structuration par dépôt localisé et évaporation au travers d'un masque.

Enfin, de manière classique, des étapes supplémentaires peuvent être réalisées, notamment des étapes de délaquage, d'encapsulation par une couche isolante, de réalisation des raccords et de réalisation d'un bobinage supérieur.

La réalisation d'un tel circuit magnétique fermé plan en une seule fois, comme décrit ci-dessus, permet notamment de réduire le nombre d'étapes technologiques, d'obtenir le gain d'un niveau de masquage et d'éliminer une mise à niveau intermédiaire. L'orientation optimale du circuit magnétique 1 entraîne ainsi un comportement dynamique optimal en axe de difficile aimantation, sur l'intégralité de la longueur du circuit magnétique 1, et une performance maximisée par le contrôle de la structure en domaines. Par ailleurs, le procédé de fabrication est compatible avec les techniques de la microélectronique et différents types de substrats (Si, SOI, céramique, etc...).

L'invention n'est pas limitée aux différents modes de réalisation décrits ci-dessus. Il est possible d'utiliser tout type de matériau ferromagnétique doux. La couche 14 non magnétique et avantageusement isolante peut être en un matériau différent du matériau des sous-couches 19, 22 non magnétiques et avantageusement isolantes et le circuit magnétique 1 peut avoir une tout autre forme. Le nombre de couches 12, 13, 14 et de sous-couches 17, 18, 19, 20, 21, 22 du circuit magnétique 1 est non limitatif, tant qu'il permet

d'optimiser le contrôle de la structure en domaines et l'élimination des domaines de fermeture (figure 4).

Le choix des épaisseurs des sous-couches ferromagnétiques et des sous-couches isolantes, au regard des dimensions du circuit magnétique 1, peut être différent, tant qu'il permet de favoriser la fermeture locale du flux à travers l'épaisseur du circuit 1 et non plus dans les couches de matériaux formant le circuit.

Un tel circuit magnétique 1 et un tel procédé de réalisation permettent notamment de résoudre des problématiques spécifiques à différentes applications. Ils s'appliquent notamment à tout composant magnétique comportant un circuit magnétique, par exemple des inductances compactes, des inductances intégrées, des transformateurs intégrés, une tête d'enregistrement magnétique, un capteur de champ magnétique, comme les capteurs de type « fluxgate », capteur de courant (ou de tout autre grandeur liée au champ magnétique).

Revendications

1. Circuit magnétique (1) fermé comportant des premier et second matériaux magnétiques ayant des axes de facile aimantation (15, 16) orientés perpendiculairement,
circuit magnétique caractérisé en ce qu'il est constitué par un empilement d'épaisseur uniforme d'au moins une première couche (12) de premier matériau magnétique et d'au moins une deuxième couche (13) de second matériau magnétique, séparées par au moins une troisième couche (14) d'un matériau non magnétique et structurées de manière identique, chaque couche (12, 13) de matériau magnétique comportant une alternance d'au moins une première sous-couche (17, 20) ferromagnétique élémentaire et d'au moins une deuxième sous-couche (18, 21) ferromagnétique élémentaire, séparées par au moins une troisième sous-couche (19, 22) non magnétique.

2. Circuit magnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les épaisseurs des sous-couches (17, 18, 20, 21) ferromagnétiques élémentaires de chaque couche (12, 13) de matériau magnétique assurent un couplage magnétostatique entre les sous-couches (17, 18, 20, 21) ferromagnétiques élémentaires.

3. Circuit magnétique selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les axes de facile aimantation (15, 16) de deux sous-couches ferromagnétiques (17, 18, 20, 21) adjacentes de chaque couche (12, 13) de matériau magnétique sont de même direction et de sens opposé.

4. Circuit selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le matériau de chaque couche (14) non magnétique est isolant.

5. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le matériau de chaque sous-couche (19, 22) non magnétique est isolant.

6. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que chaque sous-couche (19, 22) non magnétique est réalisée en un matériau identique au matériau non magnétique de chaque couche (14) intercalée entre deux couches (12, 13) successives de premier et second matériaux magnétiques.

7. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le nombre de sous-couches (17, 18) ferromagnétiques élémentaires composant chaque couche (12) de premier matériau magnétique est pair.

8. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le nombre de sous-couches (20, 21) ferromagnétiques élémentaires composant chaque couche (13) de second matériau magnétique est pair.

9. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que le nombre de sous-couches (17, 18) ferromagnétiques élémentaires composant chaque couche (12) de premier matériau magnétique est égal au nombre de sous-couches (20, 21) ferromagnétiques élémentaires composant chaque couche (13) de second matériau magnétique.

10. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que chaque sous-couche (17, 18, 20, 21) ferromagnétique élémentaire est en matériau ferromagnétique doux.

11. Circuit magnétique selon la revendication 10, caractérisé en ce que le matériau ferromagnétique doux est choisi parmi :

- un alliage de fer et nickel,
- un alliage de cobalt, de zirconium et d'un troisième élément choisi parmi le niobium ou le tantale,
- un alliage de fer incluant de l'azote et/ou de l'oxygène et contenant un autre élément choisi parmi le titane, le tantale, le hafnium, le silicium ou l'aluminium,
- un alliage de fer et de cobalt incluant de l'azote et/ou de l'oxygène et contenant un autre élément choisi parmi le titane, le tantale, le hafnium, le silicium ou l'aluminium.

12. Circuit magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte une alternance de plusieurs couches (12) de premier matériau magnétique, et de plusieurs couches (13) de second matériau magnétique, une couche (14) en matériau non magnétique étant intercalée entre deux couches (12, 13) successives de premier et second matériaux magnétiques.

13. Procédé de réalisation d'un circuit magnétique fermé selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'il comporte :

- la formation d'un empilement d'épaisseur uniforme comportant au moins une première couche (12) de premier matériau magnétique, ayant un axe de facile aimantation (15) orienté de façon prédéterminée, et au moins une deuxième couche (13) de second matériau magnétique, ayant un axe de facile aimantation (16) orienté perpendiculairement à l'axe de facile aimantation (15) de la première couche (12) de premier matériau magnétique, séparées par au moins une troisième couche (14) de matériau non magnétique,
- la structuration dudit empilement, pour former le circuit magnétique (1) fermé.

14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que la formation dudit empilement comporte au moins les étapes de :

- formation de la première couche (12) de premier matériau magnétique par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique (17) et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique (18), séparées par au moins une troisième sous-couche (19) non magnétique,
- formation de la couche (14) non magnétique, sur la première couche (12) de premier matériau magnétique,
- et formation de la deuxième couche (13) de second matériau magnétique, sur la couche (14) non magnétique, par superposition d'au moins une première sous-couche ferromagnétique (20) et d'au moins une deuxième sous-couche ferromagnétique (21), séparées par au moins une troisième sous-couche (22) non magnétique.

15. Procédé selon l'une des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que l'étape de structuration est réalisée par dépôt localisé.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que le dépôt localisé est réalisé par évaporation au travers d'un masque.

17. Procédé selon l'une des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que l'étape de structuration est réalisée par dépôt pleine plaque de l'empilement sur une surface structurée et par planarisation.

18. Procédé selon l'une des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que l'étape de structuration est réalisée par dépôt pleine plaque de l'empilement et par lithographie et gravure.

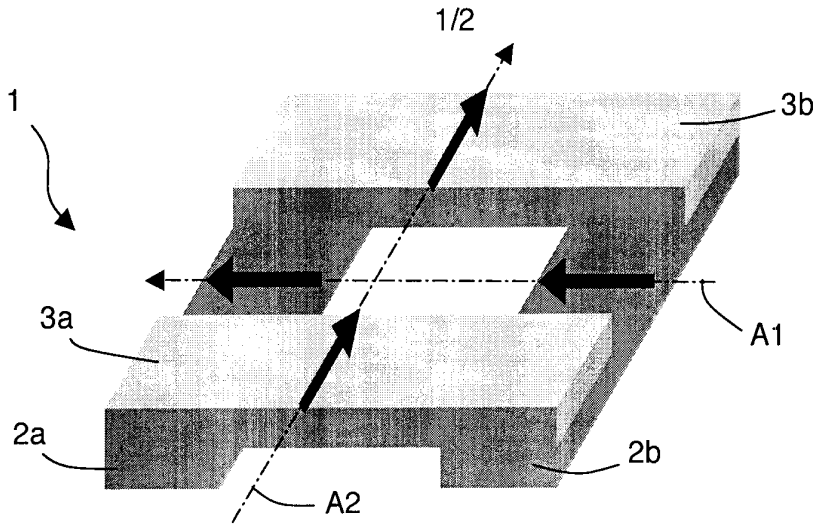


FIG. 1 (art antérieur)

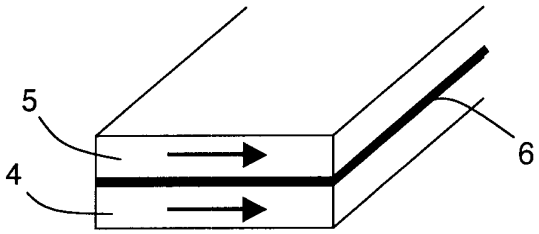


FIG. 2 (art antérieur)

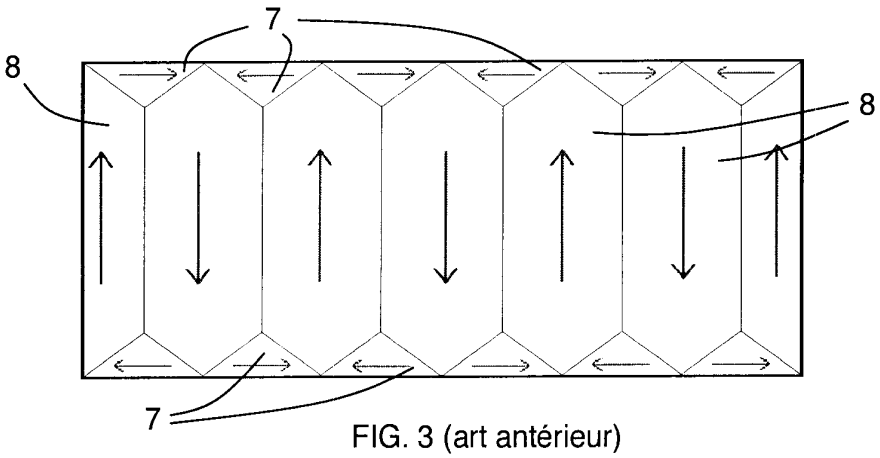


FIG. 3 (art antérieur)

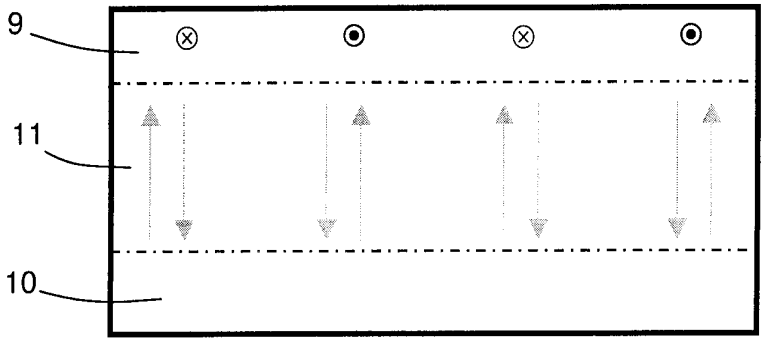


FIG. 4 (art antérieur)

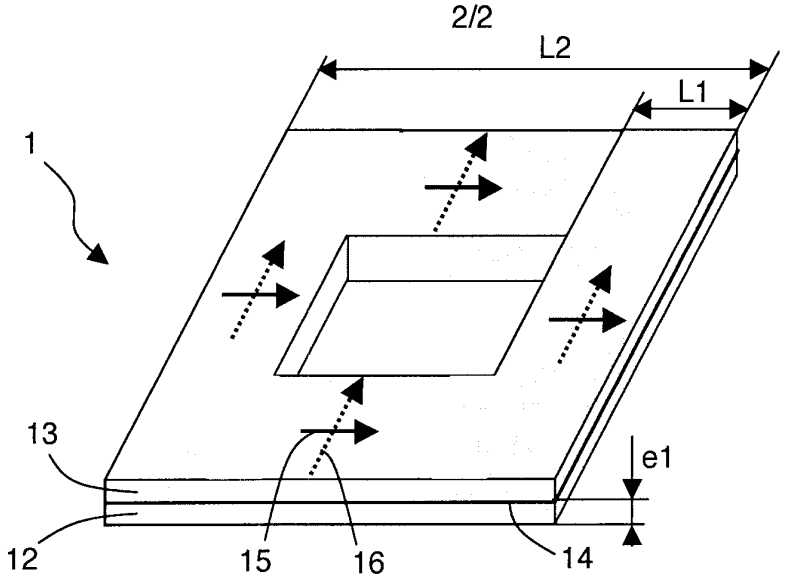


FIG. 5

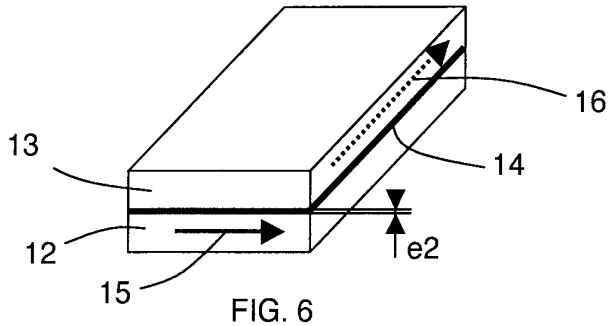


FIG. 6

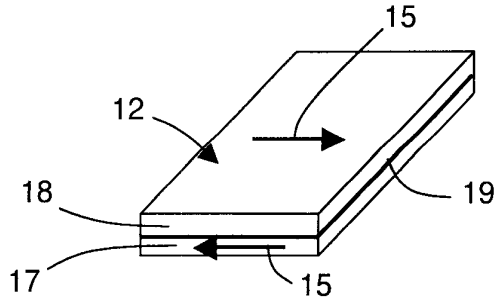


FIG. 7

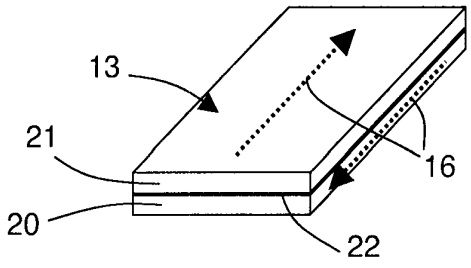


FIG. 8

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

2905792

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 685564
FR 0607924

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	EP 0 401 983 A1 (DIGITAL EQUIPMENT CORP [US] QUANTUM CORP [US]) 12 décembre 1990 (1990-12-12) * colonne 9, ligne 3 - ligne 32; figure 7 * * colonne 9, ligne 43 - ligne 47; figure 9 * * colonne 10, ligne 21 - colonne 11, ligne 46 * * revendications 29,31,33,34,36,38-43 * -----	1-18	H01F10/30 H01F41/32
A	EP 0 472 031 A2 (IBM [US]) 26 février 1992 (1992-02-26) * colonne 7, ligne 13 - ligne 22; figure 2a * -----	1-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01F

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
26 avril 2007	Primus, Jean-Louis

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

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

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

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0607924 FA 685564

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 26-04-2007
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
EP 0401983 A1	12-12-1990	AT 130453 T	15-12-1995
		CA 2015156 A1	02-12-1990
		DE 69023548 D1	21-12-1995
		DE 69023548 T2	18-04-1996
		DE 69033307 D1	04-11-1999
		DE 69033307 T2	06-04-2000
		JP 2093864 C	02-10-1996
		JP 3049010 A	01-03-1991
		JP 7105005 B	13-11-1995
EP 0472031 A2	26-02-1992	DE 69104671 D1	24-11-1994
		DE 69104671 T2	04-05-1995
		JP 5120631 A	18-05-1993
		US 5132859 A	21-07-1992

EPO FORM P0465