

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
22 novembre 2001 (22.11.2001)

PCT

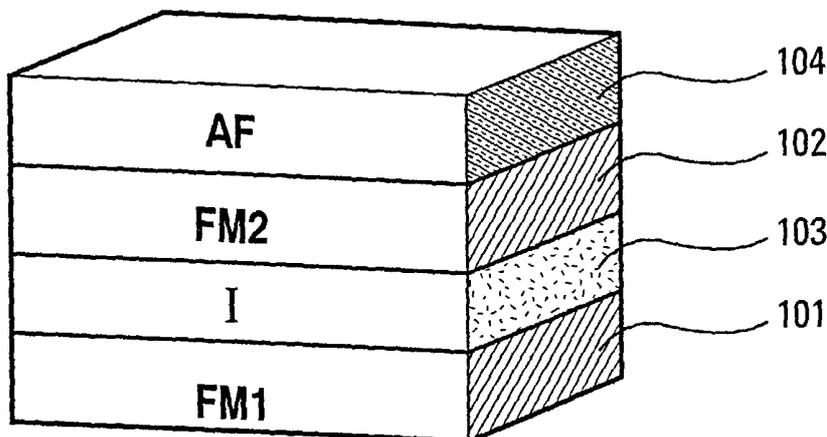
(10) Numéro de publication internationale
WO 01/88562 A1

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : G01R 33/09
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR01/01321
- (22) Date de dépôt international : 27 avril 2001 (27.04.2001)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
00/06453 19 mai 2000 (19.05.2000) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : THOMSON-CSF [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : NGUYEN VAN DAU, Frédéric [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). JAFFRES, Henri [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR). LACOUR, Daniel [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, avenue du Président Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MAGNETIC FIELD SENSOR USING MAGNETORESISTANCE AND METHOD FOR MAKING SAME

(54) Titre : CAPTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE UTILISANT LA MAGNETORESISTANCE, ET PROCEDE DE FABRICATION



(57) Abstract: The invention concerns magnetic field sensors wherein magnetoresistance is used as physical phenomenon for detecting and measuring the magnetic field. It consists in producing a stack comprising a first ferromagnetic layer (101), and insulating layer (103), a second ferromagnetic layer (102) and an antiferromagnetic layer (104). The two ferromagnetic layers have opposite magnetizing directions and they form with the insulating layer a tunnel junction. The anisotropy of the first layer is derived from the energy of the

shape of the substrate whereon it rests and which is slightly disoriented relative to it. The anisotropy of the second layer is obtained by the action of the antiferromagnetic layer. The magnetic field to be measured, wherein is immersed the sensor, modifies the characteristics of the tunnel junction, and hence of the current which passes therein when the magnetic layers are powered by a voltage source, in proportions much greater than those obtained with other systems.

(57) Abrégé : L'invention concerne les capteurs de champs magnétique dans lesquels on utilise la magnétorésistance comme phénomène physique pour détecter et mesurer le champ magnétique. Elle consiste à réaliser un empilement comportant une première couche ferromagnétique (101), une couche isolante (103), une deuxième couche ferromagnétique (102) et une couche antiferromagnétique (104). Les deux couches ferromagnétiques présentent des anisotropies magnétiques croisées et elles forment avec la couche isolante une jonction tunnel. L'anisotropie de la première couche est obtenue à partir de l'énergie de forme du substrat sur lequel elle repose et qui est légèrement désorientée par rapport à elle. L'anisotropie de la deuxième couche est obtenue par l'action de la couche antiferromagnétique. Le champ magnétique à mesurer, dans lequel est plongé le capteur, modifie les caractéristiques de la jonction tunnel, et donc le courant qui passe dans celle-ci lorsque les couches magnétiques sont alimentées par une source de tension, dans des proportions bien plus grandes que celles obtenues avec les autres systèmes.

WO 01/88562 A1



(74) Mandataire : **DESPERRIER, Jean-Louis;** Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, 13, av. du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(81) États désignés (national) : JP, KR, US.

(84) États désignés (régional) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

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

CAPTEUR DE CHAMP MAGNETIQUE UTILISANT LA MAGNETO-RESISTANCE, ET PROCEDE DE FABRICATION

La présente invention se rapporte aux capteurs de champ magnétique qui utilisent le phénomène de magnétorésistance, c'est à dire la variation de la résistance électrique d'un conducteur sous l'effet du champ magnétique qui lui est appliqué. Elle permet de réaliser des capteurs tels que des magnétomètres, des compas ou des capteurs de courant. Elle concerne également les procédés de fabrication de tels capteurs

Les capteurs magnétiques entièrement métalliques connus à ce jour sont essentiellement ceux qui utilisent soit la magnétorésistance anisotrope (AMR), soit la magnétorésistance géante (GMR). Dans tous ces cas, la résolution des capteurs de ce type est limitée par deux sources de bruit, liées l'une à la fluctuation de résistance connue également sous le nom de bruit Johnson, et l'autre à la dérive thermique.

La magnétorésistance anisotrope résulte du caractère anisotrope de la résistivité d'un matériau métallique ferromagnétique en fonction de l'angle défini par son aimantation et la direction du courant. Pour utiliser au mieux cet effet, les inventeurs ont mis au point un système utilisant l'effet Hall planaire, qui permet notamment de réduire de manière considérable le bruit de dérive thermique. La variation maximale de la résistance, d'ue à cet effet, est de l'ordre de 1% de la résistance de la zone active.

La magnétorésistance géante a été découverte en 1988 et provient de la dépendance en spin de la résistance d'une structure magnétique artificielle présentant une configuration magnétique différente suivant le champ magnétique appliqué. On peut alors atteindre une variation de résistance totale de l'ordre d'une dizaine de % de la zone active. Les inventeurs ont précédemment mis au point un dispositif breveté utilisant cet effet de magnétorésistance géante, qui permet d'obtenir différents avantages par rapport aux capteurs magnétiques de l'ancienne génération. En particulier on peut ainsi obtenir une augmentation de l'amplitude du signal, ainsi qu'une augmentation du rapport signal/bruit pouvant atteindre un ordre de grandeur.

On connaît enfin le phénomène de magnétorésistance tunnel, qui traduit la dépendance du courant dans une jonction tunnel en fonction de l'orientation relative des aimantations situées de part et d'autre de la barrière

isolante formant cette jonction. Ce phénomène correspond à la conservation du spin des électrons lorsqu'ils traversent cette barrière par effet tunnel. On citera sur ce sujet les mesures effectuées par J.S Moodera et al, Phys.Rev.Lett.74 (16),3273 (1995) sur ces jonctions tunnel ferromagnétiques à température ambiante.

Avec ce dernier phénomène, on peut espérer obtenir une variation totale de la résistance de l'ordre de quelques dizaines de % de la résistance de la zone active. Cette résistance de la zone active est elle même supérieure de plusieurs décades à la résistance des capteurs connus entièrement métalliques. Au total la sensibilité magnétique d'un tel capteur peut donc être supérieure de plusieurs ordres de grandeur à la sensibilité des capteurs conventionnels.

Pour pouvoir effectivement obtenir ces résultats, l'invention propose un capteur de champ magnétique utilisant la magnétorésistance, principalement caractérisé en ce qu'il comprend une première couche ferromagnétique présentant une première anisotropie magnétique selon une première direction, une deuxième couche ferromagnétique présentant une deuxième anisotropie magnétique selon une deuxième direction et une couche isolante séparant les deux couches ferromagnétiques et dont l'épaisseur permet de constituer une jonction tunnel entre ces deux couches ferromagnétiques.

Selon une autre caractéristique, les deux directions d' anisotropie sont perpendiculaires.

Selon une autre caractéristique, la première anisotropie est induite par un substrat supportant la première couche ferromagnétique .

Selon une autre caractéristique, la deuxième anisotropie est induite par une couche antiferromagnétique AF superposée sur la deuxième couche ferromagnétique

Selon une autre caractéristique, les deux anisotropies présentent des valeurs sensiblement différentes pour que l'une soit "douce" et l'autre soit "forte".

Selon une autre caractéristique, la couche ferromagnétique "douce" est la première.

Selon une autre caractéristique, le capteur comprend deux capteurs de type CAP+ et deux capteurs de type CAP- assemblés pour

former un pont de Wheastone dans lequel chaque capteur d'un type est adjacent à un capteur de l'autre type.

Selon une autre caractéristique, la première couche ferromagnétique est déposée sur un substrat désorienté pour induire la première anisotropie magnétique par l'intermédiaire de l'énergie de forme.

Selon une autre caractéristique, pour obtenir la deuxième anisotropie magnétique on chauffe la deuxième couche ferromagnétique au delà de la température de Néel de la couche AF en contact et on la laisse refroidir en dessous de cette température en lui appliquant un champ magnétique de saturation dirigé selon la deuxième direction.

Selon une autre caractéristique, pour obtenir la deuxième anisotropie magnétique des quatres capteurs formant le pont de Wheastone, on chauffe l'ensemble de ces capteurs au delà de la température de Néel de la deuxième couche ferromagnétique et on applique à chaque capteur un champ magnétique de saturation dirigé dans le sens des deuxièmes directions d'anisotropie en plaçant au dessus de ces quatres capteurs un circuit électrique dont la configuration permet d'obtenir localement les directions souhaitées.

D'autres particularités et avantages de l'invention apparaîtront clairement dans la description suivante, faite de manière non limitative en regard des figures annexées qui représentent :

- la figure 1, une vue en perspective d'un empilement de couches permettant d'obtenir un capteur selon l'invention
- la figure 2, deux graphiques de la variation de la magnétorésistance en fonction du champ appliqué, l'un dans une géométrie parallèle, et l'autre dans une géométrie perpendiculaire.
- la figure 3, une vue en perspective permettant d'expliquer la manière d'obtenir une orientation correcte des aimantations pendant la fabrication des couches sensibles;
- la figure 4, une vue en perspective montrant l'influence du champ magnétique en régime linéaire;
- la figure 5, une vue en perspective montrant l'influence d'un faible champ magnétique en fonction de son orientation;

- la figure 6, une vue en perspective de deux capteurs de réponses électriques opposées;
- la figure 7, le schéma d'un dispositif en pont de Wheastone utilisant des capteurs individuels du type de ceux de la figure 6; et
- la figure 8, un schéma explicitant la manière de polariser les cellules du pont de Wheastone de la figure 7.

On a représenté sur la figure 1 la structure en épaisseur d'un capteur de champ magnétique selon l'invention. Cette structure comprend un empilement de quatre couches supportées par un substrat non représenté. Une première couche FM1 101 est formée d'un film de matériau ferromagnétique, tel que par exemple du cobalt, du fer, ou un alliage de nickel/fer ou de cobalt/fer.

Une deuxième couche FM 102 est formée d'un matériau ferromagnétique pouvant être de composition ou de nature différentes de celui de la couche FM1.

Une troisième couche I 103 est formée d'un matériau isolant pouvant être déposé sous une épaisseur extrêmement mince pour réaliser la jonction tunnel. Ce matériau sera par exemple de l'oxyde d'aluminium.

Enfin une quatrième couche AF 104 est formée d'un matériau tel qu'un oxyde magnétique, ou d'un matériau antiferromagnétique métallique tel qu'un alliage fer/manganèse ou iridium/manganèse. Elle peut être relativement épaisse par rapport aux trois couches précédentes, qui sont quant à elles relativement minces, voir très minces pour la couche I.

Si l'on veut obtenir une réponse réversible et linéaire du signal en champ faible, il est nécessaire d'utiliser une configuration magnétique particulière, dite géométrie perpendiculaire, dans laquelle les deux aimantations s'orientent perpendiculairement l'une par rapport à l'autre en champ nul. En effet, comme on le voit sur le haut sur la figure 2, lorsque ces deux orientations sont parallèles l'une par rapport à l'autre en champ nul, le changement de sens de l'orientation de ces deux couches 101 et 102 entre un champ positif et un champ négatif s'effectue pour une valeur particulière du champ, ici dans la zone négative de celui-ci, par la réorientation de l'une puis de l'autre des couches dans une fourchette donnée de ce champ. Ce fonctionnement bistable introduit un changement brutal et important de la

valeur de la résistance MR dans l'intervalle de la fourchette. Cet effet non linéaire pourrait éventuellement être utilisé pour d'autres applications, mais il ne permet pas de mesurer le champ, comme recherché dans l'invention.

Pour obtenir la structure en géométrie perpendiculaire, il faut donc
5 bien contrôler les anisotropies afin de créer dans chacune des couches FM1 et FM2 une direction de facile aimantation qui soit perpendiculaire par rapport à celle de l'autre couche et qui permet une variation linéaire et réversible de la valeur de MR, comme on le voit sur le bas de la figure 2.

Pour cela, l'invention propose d'utiliser, d'une manière semblable à
10 celle utilisée dans les capteurs à magnétorésistance géante, les propriétés des surfaces vicinales de silicium Si(111) désorientées, pour induire une direction d'aimantation préférentielle dans l'électrode FM1 en contact avec le substrat sur lequel est fabriqué le capteur. La désorientation de la direction de croissance, de l'ordre de quelques degrés, se manifeste par l'apparition de
15 terrasses qui induisent une anisotropie magnétique uniaxiale, provenant de l'énergie de forme. Cette direction particulière est fixée par la géométrie du substrat comme explicité plus particulièrement dans l'article de Sussiau, F. Nguyen Van Dau, P. Galtier, A. Schuhl, paru dans Applied Physic letter, volume 69, 857 (1996).

Pour fixer la direction de facile aimantation de la couche, ou
20 électrode, supérieure FM2, l'invention propose d'utiliser l'anisotropie d'échange qui se crée lorsque l'on recouvre cette couche FM2 par la couche antiferromagnétique AF. Ce phénomène est décrit par exemple dans l'article de J. Noguès, Ivan K. Schuller, J. Magn paru dans Magn. Mater, vol 192. 203-
25 232 (1999). L'axe d'anisotropie correspond à la direction du champ d'échange qui apparaît en dessous de la température de transition antiferromagnétique-paramagnétique du matériau constituant cette couche AF. Cette température de transition est également connue sous le nom de température de Néel, dite T_N . La direction en question est déterminée par
30 la direction de l'aimantation de la couche FM2 en contact avec la couche AF, au voisinage de T_N .

Donc pour obtenir la configuration magnétique souhaitée, l'invention propose, comme représenté sur la figure 3, de chauffer le dispositif au delà de la température T_N puis de le laisser refroidir tout en lui
35 appliquant un champ magnétique saturant 302 dont la direction est

orthogonale à la direction de l'axe facile nominal 301 induit dans la couche 101 par le substrat comme explicité plus haut.

Dans ces conditions, les champs d'anisotropie obtenus pour les deux électrodes FM1 et FM 2 ont des valeurs en général sensiblement différentes. On définira donc une couche dite "douce", comme étant celle dont le champ d'anisotropie est le plus faible, c'est à dire celle qui s'aimante le plus facilement sur l'action d'un champ extérieur. Pour la suite de la description on supposera que la couche douce est celle qui correspond à l'électrode FM1, ce qui n'entraîne aucune restriction sur la généralité de l'invention, la description et le fonctionnement étant strictement identiques, au changement de rôle des deux couches près, dans le cas contraire.

On est alors amené à définir les paramètres suivants :

- h_c le champ de retournement de FM₁
- h_k^1 le champ d'anisotropie agissant sur FM₁,
- 15 - h_k^2 et h_{ex} les champs d'anisotropies et d'échange agissant sur FM₂,
- le champ extérieur appliqué, celui qui doit être détecté ou mesuré, sera appelé h_a .

On va maintenant décrire le fonctionnement du capteur dans son régime linéaire, c'est à dire expliciter le signal obtenu en réponse à un champ magnétique h_a dont la direction est fixée et l'amplitude variable.

Pour obtenir une sensibilité maximale, ce champ h_a est dirigé perpendiculairement à l'axe 301 de facile aimantation de la couche douce FM1 101 . Il est donc parallèle à la direction 302 de facile aimantation de la couche dure FM2 102, comme représenté sur la figure 4.

Dans ces conditions, lorsque le champs h_a est nul, l'aimantation 401 de la couche douce 101 est parallèle à la direction 301, et l'aimantation 402 de la couche dure 102 est parallèle à la direction 302.

Lorsque le champ à mesurer h_a 403, appliqué parallèlement à la direction 302, prend une valeur qui n'est pas nulle, l'aimantation 411 dans la couche douce 101 s'écarte de la direction précédente (lorsque ce champ était nul) pour prendre un angle ε par rapport à la direction 301. Cette rotation de l'aimantation dans le plan de la couche FM1 101 est d'autant plus marquée que la valeur du champ h_a est grande, comme on le voit sur la figure 4.

L'aimantation de la couche FM2 102 reste quant à elle bloquée selon son axe facile 302, puisque, selon les définitions données plus haut, celle-ci est plus "dure" que la couche 101. Ce blocage de l'aimantation de FM2 persiste jusqu'à ce que h_a atteigne le champ de retournement de celle-ci. En jouant sur la composition des matériaux des deux couches, et sur
5 l'écart d'aimantation entre la couche douce et la couche dure, on peut facilement respecter cette dernière condition.

L'angle relatif entre les aimantations des deux couches est donc modulé par le champ magnétique extérieur, ce qui entraîne donc une
10 variation réversible de la magnétorésistance du dispositif, et donc du signal obtenu en mesurant la résistance de l'ensemble.

Pour de faibles champs, c'est à dire lorsque h_a est très inférieur à H_k^1 , la variation de magnétorésistance est sensiblement linéaire, c'est à dire que $\varepsilon \propto h_a/H_k^1$.

15 La sensibilité du dispositif, qui représente la variation du signal de mesure par unité de champ est quant à elle inversement proportionnelle au champ d'anisotropie H_k^1 .

Un tel capteur peut également être utilisé pour déterminer l'orientation du champ magnétique dans lequel il est plongé, lorsque ce
20 champ reste constant tout en variant d'orientation dans le plan du capteur c'est à dire dans le plan de la jonction. On parle alors de réponse angulaire de ce capteur.

Celui-ci présente en fait deux régimes de fonctionnement distincts selon que le champ dans lequel il est plongé est "faible" ou "fort".

25 Dans le cas d'un champ faible, c'est à dire lorsque $h_a < h_c$, l'application de ce champ faible a pour effet, comme déjà représenté sur la figure 4, de moduler l'angle relatif entre l'aimantation de la couche douce et l'aimantation de la couche dure, ce qui entraîne une modulation de la réponse magnétorésistive. Dans ces conditions, on peut définir deux axes P_E
30 et P_A orthogonaux entre eux et parallèles respectivement aux directions d'aimantation des couches dures et douces en l'absence de champ.

Comme représenté sur la figure 5a, lorsque le champ h_a est parallèle à l'axe PE on obtient une rotation importante de l'aimantation 411 de la couche FM1 101.

Inversement, lorsque le champ h_a est, comme sur la figure 5b, parallèle à la direction PA, l'influence de ce champ h_a 413 est sensiblement nulle puisque le fort champ d'anisotropie H_k^2 bloque l'aimantation de la couche FM2 102.

5 Dans ces conditions, seule la composante du champ selon PE aura pour effet de moduler l'angle relatif entre les deux aimantations, et donc le signal magnétorésistif. Il en résulte que lorsque le champ h_a tout en étant constant, change d'orientation dans le plan du capteur, la variation du signal magnétorésistif correspondante est représentée par une fonction cosinus.
10 Les variations de ce signal sont alors de quelques % de la magnétorésistance totale.

Lorsque par contre ce champ h_a est fort, c'est à dire lorsqu'il est compris entre H_k^1 et H_k^2 , ce champ est suffisamment important pour pouvoir saturer la couche FM1 101 selon sa direction. Lorsque ce champ fort tourne
15 alors dans le plan des couches, l'aimantation de FM1 décrit tout le plan alors que l'aimantation de FM2 reste bloquée par l'anisotropie d'échange. Dans ces conditions l'état magnétique antiparallèle entre les deux couches peut être atteint et l'on obtient alors une réponse magnétorésistive maximale.

Il ne faut cependant pas que la valeur du champ appliqué
20 devienne supérieure à la valeur du champ d'anisotropie de FM2, c'est à dire que h_a soit supérieure à H_k^2 , parce que dans ce cas les deux aimantations ont tendance à s'aligner parallèlement, ce qui conduit à une diminution du signal magnétorésistif et à une distorsion angulaire de la réponse du capteur.

Comme on l'a dit plus haut, la sensibilité d'un tel capteur est
25 limitée en particulier par le bruit de dérive thermique. Pour réduire celui-ci, on a proposé, dans le cas des capteurs de type GMR, d'utiliser une structure en pont de Wheastone qui permet de soustraire la composante continue de la résistance sans affecter le signal utile. On citera plus particulièrement les travaux de J.K Spong et al, paru dans IEEE Transactions on magnetics,
30 vol.32,2 (1996).

Pour cela, on se place dans le cas représenté sur la figure 6, où le signal à mesurer h_a 403 est parallèle à la direction d'aimantation de la couche FM2 102. La direction d'aimantation 301 de la couche douce 101 étant perpendiculaire à la direction de l'aimantation 402, on se trouve dans
35 une géométrie dite CAP. Dans ces conditions, il existe, comme représenté sur

cette figure 6, deux types de configuration CAP, notées respectivement CAP + et CAP - .

Dans la configuration CAP+, le champ h_a 403, qualifié arbitrairement de positif dans la configuration de la figure, entraîne une
5 augmentation de l'angle relatif entre les deux aimantations, ce qui entraîne une variation du signal magnétorésistif, elle-même arbitrairement qualifiée de positive.

Dans la configuration CAP-, le même champ positif h_a est dans le sens contraire de l'aimantation de la couche FM2 102, ce qui entraîne une
10 diminution de l'angle relatif entre les deux aimantations des deux couches et donc une variation du signal magnétorésistif, de signe opposé à celui obtenu avec la cellule CAP+, qui sera arbitrairement qualifié de négatif.

Ceci permet, en regroupant deux cellules CAP + 701 et 702 et deux cellules CAP - 703 et 704, de former un pont de Wheastone dans
15 lequel ces cellules sont disposées de manière à ce que les aimantations des couches dures de deux cellules adjacentes soit antiparallèles. Ce pont est alimenté depuis une source de tension par deux bornes 708 et 709 situées respectivement entre les cellules 702 et 703 d'une part, et 701 et 704 d'autre part. La tension de déséquilibre du pont est alors disponible sur deux bornes
20 705 et 706 situées respectivement entre les cellules 701 et 703 d'une part et 702 et 704 d'autre part. La différence de tension entre V_+ et V_- ainsi obtenue est directement proportionnelle à la différence des signaux délivrés par les capteurs CAP+ et CAP- et elle est donc proportionnelle au signal utile.

Pour obtenir des mesures correctes, surtout avec une bonne
25 précision et pour des champs de valeurs faibles, il n'est pas dans la pratique possible de réaliser quatres cellules de mesure distinctes puis de les assembler pour obtenir le pont de la figure 7. En effet les dispersions de fabrication d'une part, et les erreurs sur l'alignement des plans des quatres cellules d'autres part, ainsi que leur éloignement, ne permettraient pas alors
30 d'obtenir des résultats satisfaisants.

On est donc amené à réaliser un dispositif monolithique comportant un substrat unique sur lequel les quatres couches, définies par rapport à la figure 1, sont déposées simultanément. L'ensemble est ensuite gravé par voie chimique, ou par faisceau d'ions, pour isoler les quatres

cellules. On obtient ainsi une homogénéité et une disposition géométrique tout à fait satisfaisantes.

Le problème consiste alors à obtenir les orientations adéquates des aimantations des couches dures de ces cellules.

5 L'invention propose pour cela d'appliquer à chaque cellule un champ local dont l'orientation est inverse de celui appliqué aux cellules adjacentes, pendant le processus de polarisation des cellules, c'est à dire lors du refroidissement qui permet de figer dans la couche dure les aimantations ainsi déterminées.

10 L'un des moyens pour obtenir ces champs distincts consiste, comme représenté sur la figure 8, à utiliser une ligne conductrice isolée 801 qui se sépare en deux branches 811 et 821 qui viennent passer au dessus des cellules CAP 701 à 704 de telle manière que les champs magnétiques 802 induits par les quatres bras de ces deux branches 811 et 821 passant au
15 dessus des cellules CAP aient les sens voulus pour polariser ces cellules de la manière désirée.

Une manière de faire consiste à réaliser ces deux branches 811 et 821 sous une forme d'un carré permettant aux bras de passer au dessus des cellules dans le bon sens. Le champ magnétique local nécessaire pour
20 saturer les aimantations dures des cellules étant de l'ordre de quelques dizaines d'Oersted, le courant à faire circuler dans le circuit électrique peut ne pas être très important ce qui peut parfaitement être compatible avec une technologie de type microélectronique

REVENDEICATIONS

- 1 -Capteur de champ magnétique utilisant la magnétorésistance, caractérisé en ce qu'il comprend une première couche ferromagnétique (101) présentant une première anisotropie magnétique selon une première direction (301), une deuxième couche ferromagnétique (102) présentant une deuxième anisotropie magnétique selon une deuxième direction (302) et une couche isolante (103) séparant les deux couches ferromagnétiques et dont l'épaisseur permet de constituer une jonction tunnel entre ces deux couches ferromagnétiques.
- 2 - Capteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les deux directions d' anisotropie (301,302) sont perpendiculaires.
- 3 - Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que la première anisotropie est induite par un substrat supportant la première couche ferromagnétique (101).
- 4 - Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la deuxième anisotropie est induite par une couche antiferromagnétique AF (104) superposée sur la deuxième couche ferromagnétique (102).
- 5 - Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les deux anisotropies présentent des valeurs sensiblement différentes pour que l'une soit "douce" et l'autre soit "forte".
- 6 - Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la couche ferromagnétique "douce" est la première (101).
- 7 - Capteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend deux capteurs de type CAP+

(701,702) et deux capteurs de type CAP- (703,704) assemblés pour former un pont de Wheastone dans lequel chaque capteur d'un type est adjacent à un capteur de l'autre type.

- 5 8 - Procédé de fabrication d'un capteur selon l'une quelconque des revendications 3 à 7, caractérisé en ce que la première couche ferromagnétique (101) est déposée sur un substrat désorienté pour induire la première anisotropie magnétique par l'intermédiaire de l'énergie de forme.
- 10
- 9 - Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que pour obtenir la deuxième anisotropie magnétique on chauffe la deuxième couche ferromagnétique (102) au delà de la température de Néel de la couche AF en contact et qu'on la
- 15 laisse refroidir en dessous de cette température en lui appliquant un champ magnétique de saturation dirigé selon la deuxième direction(302).
- 10 - Procédé de fabrication d'un capteur selon la revendication 7, caractérisé en ce que pour obtenir la deuxième anisotropie magnétique des quatres capteurs (701-704) formant le pont de Wheastone, on chauffe l'ensemble de ces capteurs au delà de la température de Néel de la deuxième couche ferromagnétique et que l'on applique à chaque capteur un
- 20 champ magnétique de saturation dirigé dans le sens des deuxièmes directions d'anisotropie en plaçant au dessus de ces quatres capteurs un circuit électrique dont la configuration
- 25 permet d'obtenir localement les directions souhaitées.

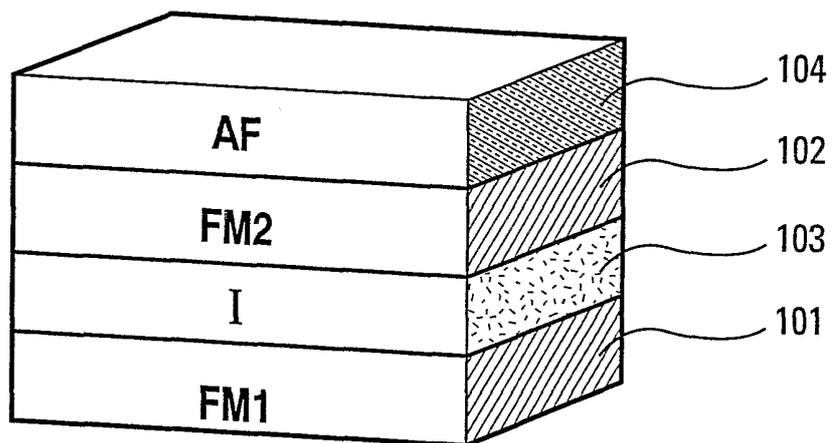


Fig. 1

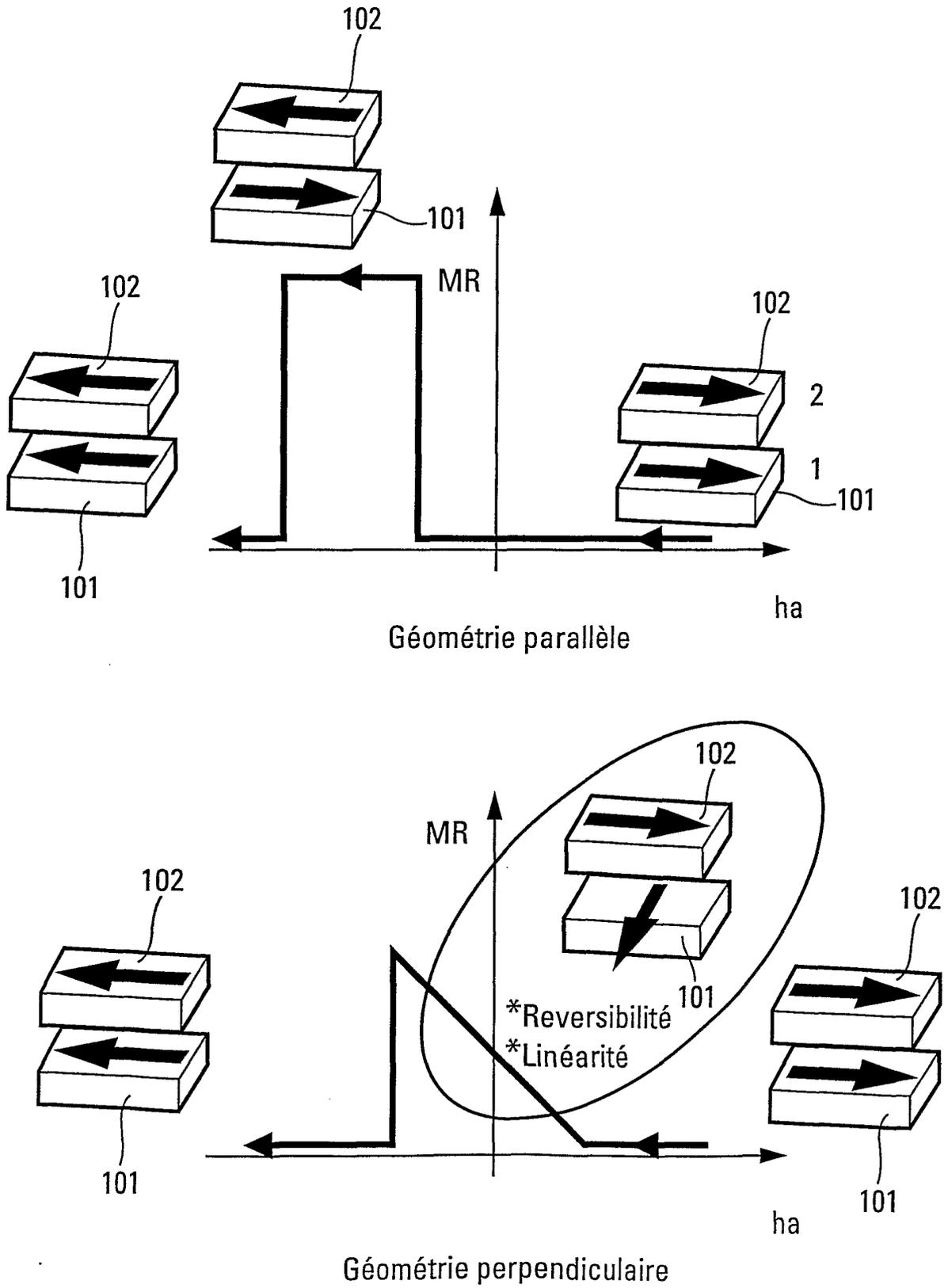


Fig. 2

3/8

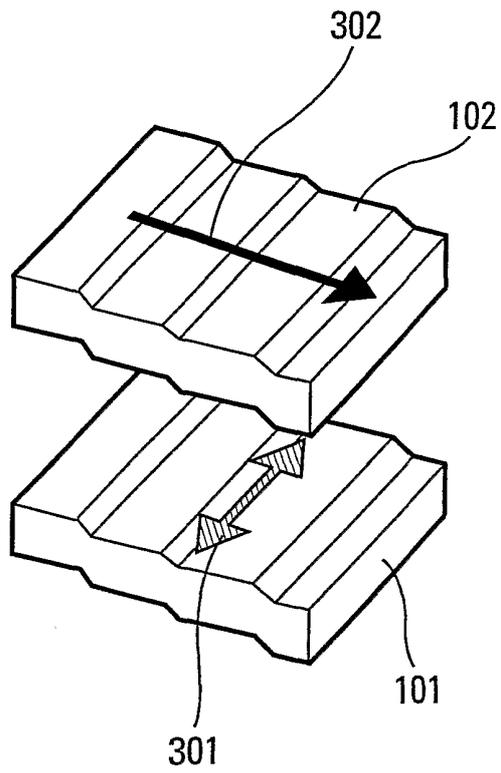


Fig. 3

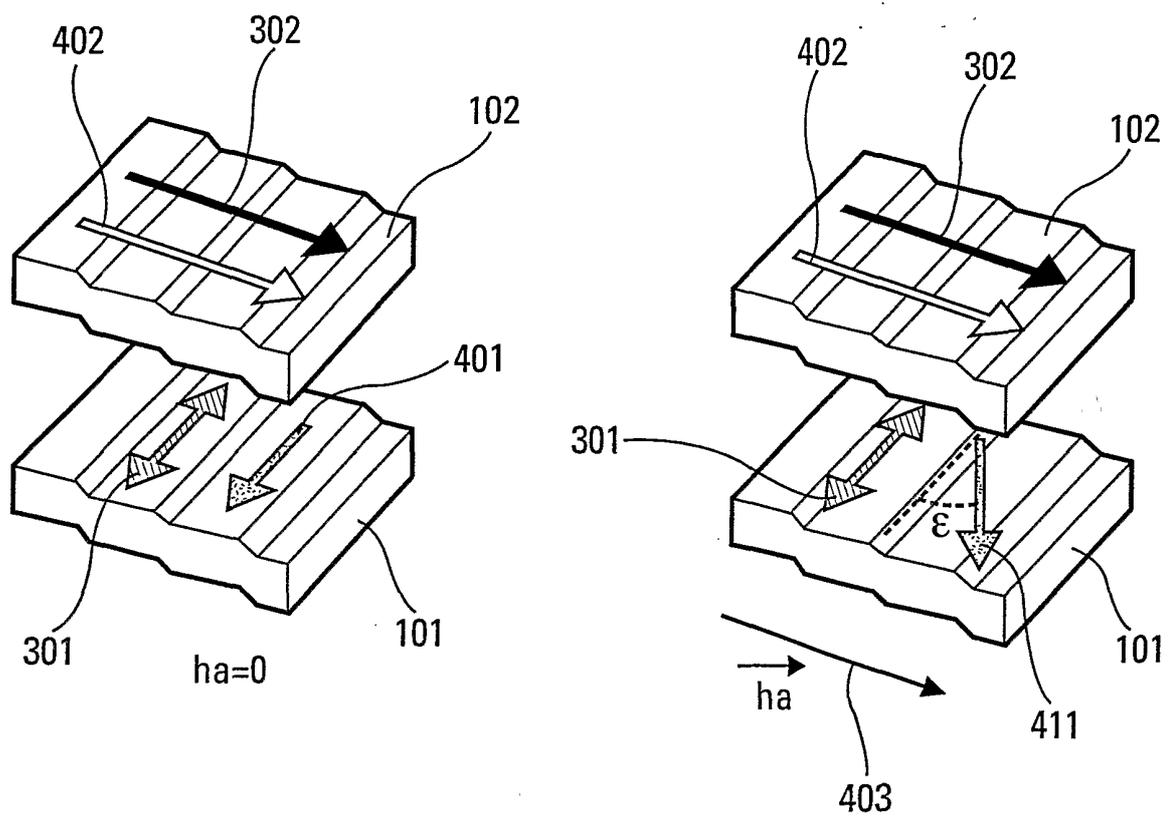


Fig. 4

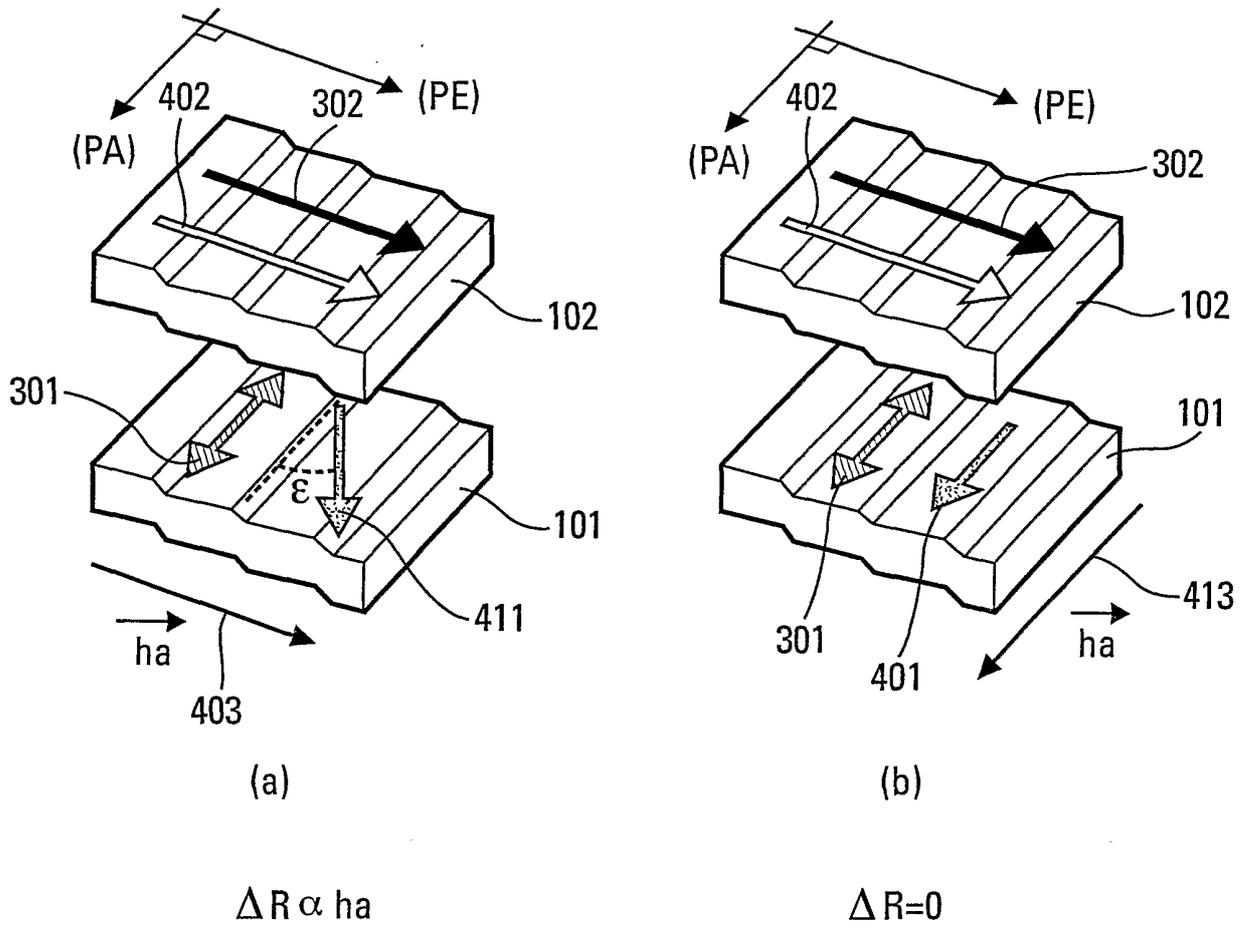


Fig. 5

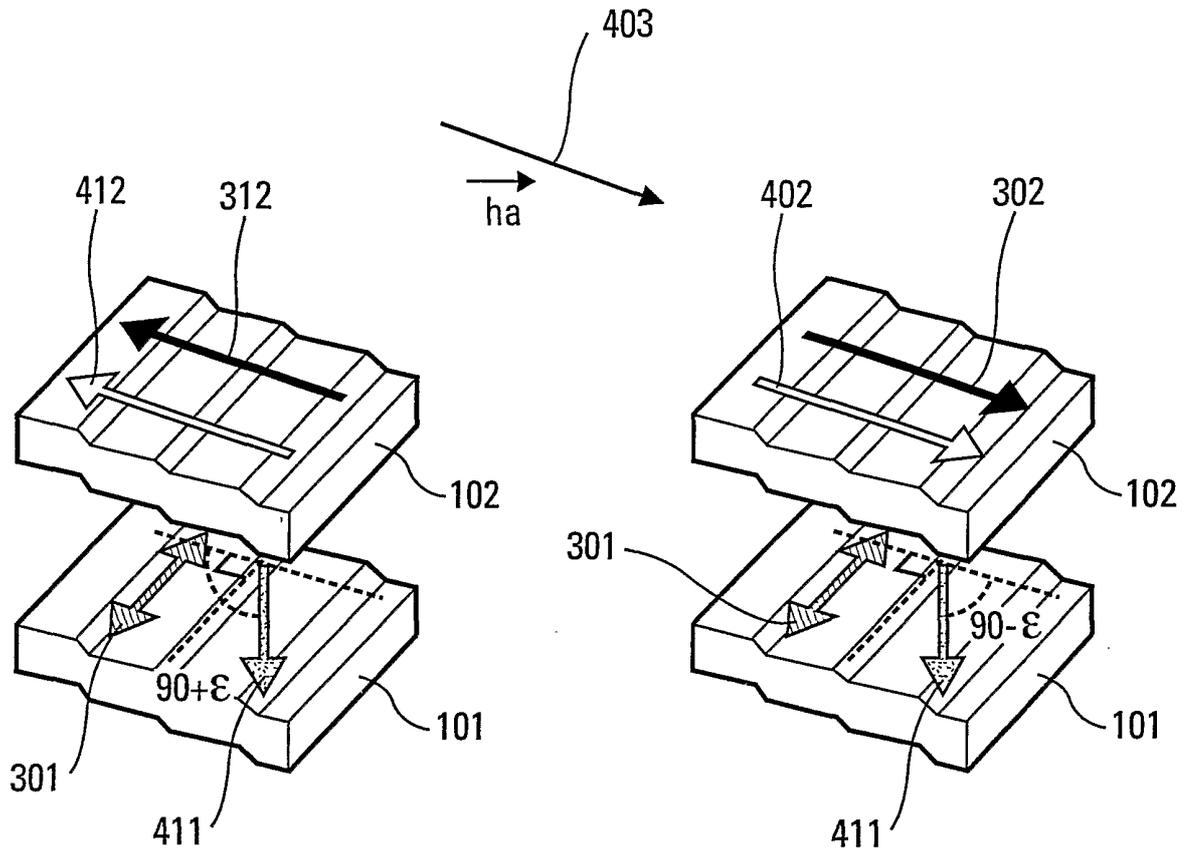


Fig. 6

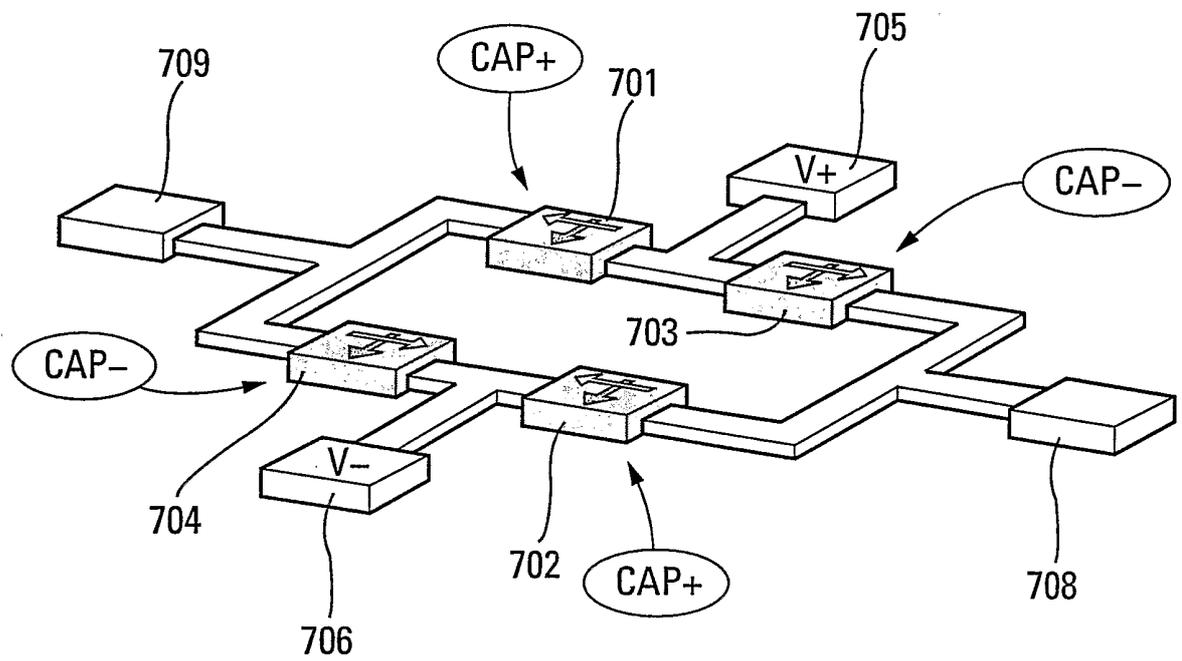


Fig. 7

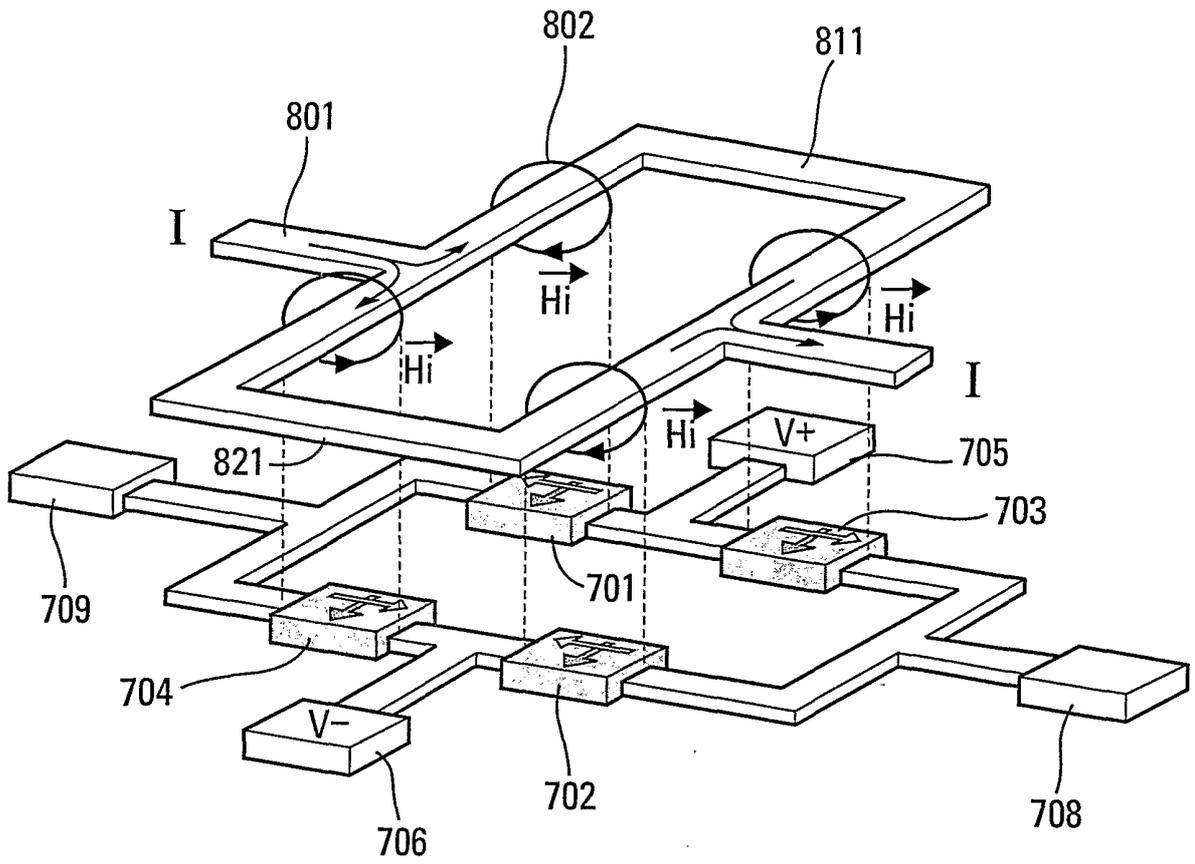


Fig. 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/FR 01/01321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01R33/09 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01R Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 650 958 A (GALLAGHER WILLIAM JOSEPH ET AL) 22 July 1997 (1997-07-22) abstract; claims 1,4; figure 6 column 8, line 43 -column 9, line 3 ----	1-6,8
A	EP 0 710 850 A (IBM) 8 May 1996 (1996-05-08) abstract; figure 1 page 2, line 22 - line 48 page 5, line 56 -page 6, line 26 ----	7-10
P,X	WO 00 79297 A (KUIPER ANTONIUS E T ;ZON JOANNES B A D VAN (NL); KONINKL PHILIPS E) 28 December 2000 (2000-12-28) abstract -----	1,7
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
° Special categories of cited documents : *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document but published on or after the international filing date *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. *&* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
16 August 2001		23/08/2001
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Haasbroek, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 01/01321

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5650958 A	22-07-1997	JP 10004227 A US 5841692 A	06-01-1998 24-11-1998
EP 0710850 A	08-05-1996	US 5561368 A AU 1788295 A BR 9504583 A CA 2158304 A CN 1113572 A JP 3017061 B JP 8226960 A KR 175979 B	01-10-1996 09-05-1996 20-05-1997 05-05-1996 20-12-1995 06-03-2000 03-09-1996 01-04-1999
WO 0079297 A	28-12-2000	WO 0079298 A EP 1105743 A	28-12-2000 13-06-2001

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/FR 01/01321

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE CIB 7 G01R33/09				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) CIB 7 G01R				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés) EP0-Internal				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X	US 5 650 958 A (GALLAGHER WILLIAM JOSEPH ET AL) 22 juillet 1997 (1997-07-22) abrégé; revendications 1,4; figure 6 colonne 8, ligne 43 -colonne 9, ligne 3 ---	1-6,8		
A	EP 0 710 850 A (IBM) 8 mai 1996 (1996-05-08) abrégé; figure 1 page 2, ligne 22 - ligne 48 page 5, ligne 56 -page 6, ligne 26 ---	7-10		
P,X	WO 00 79297 A (KUIPER ANTONIUS E T ;ZON JOANNES B A D VAN (NL); KONINKL PHILIPS E) 28 décembre 2000 (2000-12-28) abrégé -----	1,7		
<input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe				
° Catégories spéciales de documents cités:				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> *A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;"> *T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isoément *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets </td> </tr> </table>			*A* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isoément *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets
A document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent *E* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date *L* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) *O* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens *P* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	*T* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention *X* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isoément *Y* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">16 août 2001</p>		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">23/08/2001</p>		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Haasbroek, J</p>		

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 01/01321

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5650958 A	22-07-1997	JP 10004227 A US 5841692 A	06-01-1998 24-11-1998
EP 0710850 A	08-05-1996	US 5561368 A AU 1788295 A BR 9504583 A CA 2158304 A CN 1113572 A JP 3017061 B JP 8226960 A KR 175979 B	01-10-1996 09-05-1996 20-05-1997 05-05-1996 20-12-1995 06-03-2000 03-09-1996 01-04-1999
WO 0079297 A	28-12-2000	WO 0079298 A EP 1105743 A	28-12-2000 13-06-2001