

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :

2 868 194

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

②1 N° d'enregistrement national :

05 03506

⑤1 Int Cl⁷ : G 11 B 5/851, H 01 F 41/14

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 07.04.05.

③0 Priorité : 16.10.03 JP 2003357108.

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.09.05 Bulletin 05/39.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés : Division demandée le 07/04/05 béné-
ficiant de la date de dépôt du 18/10/04 de la
demande initiale n° 04 11023.

⑦1 Demandeur(s) : ANELVA CORPORATION — JP.

⑦2 Inventeur(s) : DJULIANTO DJAYAPRAWIRA DAVID,
TSUNEKAWA KOJI et NAGAI MOTONOBU.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET MOUTARD.

⑤4 PROCÉDE ET DISPOSITIF POUR LA FABRICATION D'UN FILM MULTICOUCHE MAGNETORESISTIF AVEC
UTILISATION D'OXYGENE.

⑤7 Le film multicouche magnétorésistif a une structure où
une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisa-
tion orientée, une couche non magnétique d'espacement et
une couche à magnétisation libre sont déposées dans cet
ordre. Un film pour la couche antiferromagnétique est dépo-
sé par pulvérisation cathodique "sputtering" tandis que de
l'oxygène gazeux est ajouté à un gaz servant à la pulvérisa-
tion cathodique. Un film pour une couche additionnelle inter-
posée entre le substrat et la couche antiferromagnétique est
déposé par pulvérisation cathodique tandis que de l'oxygène
gazeux est ajouté à un gaz servant à la pulvérisation ca-
thodique.

FR 2 868 194 - A1



5

10 La présente invention concerne la fabrication d'un film multicouche magnétorésistif utilisé pour un dispositif magnétique tel qu'un élément à effet magnétorésistif géant (GMR).

La technologie des films magnétiques a été appliquée de façon significative à des
15 dispositifs magnétiques tels que des têtes magnétiques et des mémoires magnétiques.

Par exemple, dans des unités d'actionnement de disques magnétiques pour des stockages externes dans des ordinateurs, des têtes magnétiques sont montées pour la lecture/écriture d'informations. Dans le domaine des dispositifs à mémoire, on a
20 développé des mémoires à accès aléatoires magnétiques (MRAM) utilisant des films magnétorésistifs de type tunnel, pour des éléments de mémoire. Le MRAM est un dispositif à mémoire de la deuxième génération prometteur dû à la rapidité de la lecture/écriture et de la non-volatilité.

25 Dans les dispositifs magnétiques, l'effet magnétorésistif est souvent utilisé comme moyen pour convertir les champs magnétiques en signaux électriques. L'effet magnétorésistif est le phénomène de variation de la résistance électrique en fonction de la variation du champ magnétique dans un conducteur. En particulier, les têtes de lecture magnétique et les MRAM utilisent des films magnétorésistifs géants (GMR)
30 où les rapports MR sont énormément hauts. "Rapport MR" signifie rapport de magnétorésistance, c'est-à-dire rapport de la variation de la résistance électrique sur la variation du champ magnétique. Dans le domaine de l'enregistrement magnétique où un accroissement supplémentaire de densité d'enregistrement est demandé pour accroître la capacité de stockage, il est nécessaire de capturer une légère variation de

champ magnétique pour la lecture des informations stockées. Par conséquent, la technologie de film GMR a été utilisée dans de nombreux types de têtes magnétiques, en devenant une application principale.

5 La figure 10 est une vue schématique en trois dimensions montrant la structure d'un exemple de films de type GMR de valve de rotation. Le film du type GMR de valve de rotation, ci-après film "SV-GMR" présente la structure de base dans laquelle une couche antiferromagnétique 23, une couche 24 à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement (couche de conduction) 25 et une couche de
10 magnétisation libre 26 sont superposées dans cet ordre. Dans le film SV-GMR, du fait que la couche 24 à magnétisation orientée est adjacente à la couche antiferromagnétique 23, le moment magnétique dans la couche 24 à magnétisation orientée est orienté dans une direction par le couplage d'échange avec la couche antiferromagnétique 23. D'autre part, du fait que la couche 26 à magnétisation libre
15 est isolée de la couche 24 à magnétisation orientée par la couche non magnétique d'espacement 25, le moment magnétique dans la couche 26 à magnétisation libre est capable de directions libres en réponse à la variation de champ magnétique externe.

L'effet magnétorésistif géant sur le film SV-GMR dépend de la diffusion du spin
20 dépendant des électrons sur l'interface. Quand un couple de couches magnétiques est magnétisé dans la même direction, des électrons libres, c'est-à-dire des électrons de conduction, sont aisément dispersés à l'interface.

Au contraire, quand les couches ne sont pas magnétisées dans la même direction, les
25 électrons libres sont difficilement dispersés à l'interface. De ce fait, quand la direction de magnétisation dans la couche 26 de magnétisation libre est plus proche de celle dans la couche 24 à magnétisation orientée, comme représenté figure 4, la résistance électrique diminue. Quand la direction de magnétisation dans la couche 26 à magnétisation libre est plus proche de celle opposée à la couche 24 à magnétisation
30 orientée, la résistance électrique augmente. La structure réalisant cet effet de GMR s'appelle la "valve de rotation" du fait que la direction de magnétisation dans la couche 26 à magnétisation libre est orientée contre la couche 24 à magnétisation orientée, laquelle est semblable à la rotation d'un robinet.

Les films magnétorésistifs de type tunnel (TMR) utilisés dans les MRAM ont des rapports MR de plusieurs fois plus que les films GMR. Les films (TMR) sont largement prévus pour les têtes magnétiques de la deuxième génération à cause de leurs rapports MR plus élevés. Aussi bien que les films GMR, un film TMR a une structure dans laquelle une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre sont superposées dans cet ordre. La couche non magnétique d'espacement dans le film TMR est une couche très mince réalisée en isolant, à travers laquelle passe un courant tunnel. La résistance sur ce courant tunnel varie en fonction de la direction relative du moment magnétique dans la couche à magnétisation libre contre la couche à magnétisation orientée.

Les films multicouches magnétorésistifs décrits ci-dessus sont réalisés en superposant chaque film mince pour chaque couche. Chaque film est déposé par pulvérisation cathodique ou par une autre méthode. En cela, ce qui est significatif, c'est que l'effet magnétorésistif géant dans les films GMR et dans les films TMR dérive de la diffusion du spin dépendant des électrons sur l'interface comme décrit. En conséquence, pour obtenir un rapport MR élevé, ce qui est significatif, c'est la propreté de l'interface entre un couple de couches. En déposant un film pour une couche sur une couche sous-jacente, si une substance étrangère est incluse dans l'interface ou une couche de contaminant est formée dans l'interface, une telle erreur pourrait provoquer une diminution du rapport MR. En conséquence, une chambre dans laquelle chaque film pour chaque couche est déposé, devrait être pompée à une pression sous vide élevée de sorte que le dépôt soit effectué dans l'environnement propre. En outre, il est important de réduire la durée après le dépôt pour une couche jusqu'au prochain dépôt pour la prochaine couche et de maintenir l'environnement propre sans interruption dans la période.

La planéité d'une interface dans des films multicouches magnétorésistifs est également un facteur significatif en vue de l'augmentation de la performance du produit. Typiquement, quand la planéité est défectueuse sur l'interface d'une couche à magnétisation orientée et d'une couche à magnétisation libre, le couplage magnétique intercouche pourrait se produire en générant une diminution de la performance du produit. Cet aspect sera décrit en détail comme suit en référence à la figure 11.

La figure 11 montre le mécanisme du couplage intercouche engendré par la planéité défectueuse d'une interface. On suppose dans la figure 11 que la couche de magnétisation 24 est formée alors que la surface est rendue plus rugueuse. Ceci

5 résulte du fait que la couche non magnétique d'espacement 25 et la couche 26 à magnétisation libre sont également réalisées à partir de surfaces plus rugueuses. Si chaque surface de chaque couche 24, 25, 26 est totalement plane, théoriquement, aucun pôle magnétique n'apparaît aux interfaces. Au contraire, les pôles magnétiques apparaîtraient facilement si les surfaces étaient rugueuses. Par exemple, les lignes

10 magnétiques dans les ondulations de la couche rugueuse à magnétisation orientée 24 engendrent des pôles aux extrémités parce qu'elles aboutissent sur les pentes des ondulations. Dans la couche à magnétisation libre 26, les lignes magnétiques dans les creux y génèrent des pôles aux extrémités.

15 Quand les pôles magnétiques sont induits sur l'interface entre la couche à magnétisation orientée 24 et la couche à magnétisation libre 26 comme décrit, le couplage intercouche a lieu entre elles en dépit de l'isolement par la couche non magnétique d'espacement 25. En conséquence, le moment magnétique dans la couche à magnétisation libre 26 sera retenu par la couche à magnétisation orientée

20 24, en étant incapable d'une rotation libre. Si ceci se produit, par exemple dans une tête magnétique de lecture, les signaux de lecture seront asymétriques vis-à-vis de la variation du champ magnétique externe (le champ magnétique sur un milieu de stockage). D'autre part, la réponse de la tête de lecture sera retardée lors de la variation du champ magnétique externe. Ces résultats pourront provoquer des cas

25 d'erreur de lecture. Dans une MRAM, ceci pourrait provoquer des erreurs d'écriture et des erreurs de lecture. Il pourrait également se produire qu'une direction de magnétisation dans la couche à magnétisation libre 26 ne varie pas à l'encontre de la direction de magnétisation dans la couche à magnétisation orientée 24 même quand le champ magnétique externe varie. Par conséquent, le rapport MR tend à diminuer

30 quand la planéité de l'interface se dégrade.

Les problèmes de couplage de couche intercalaire et la rugosité interfaciale sont discutés dans *J. Appl. Phys.*, Vol. 85, No. 8, p4466 - 4468. Cet article décrit la rugosité par la structure d'un film déposé. *J. Appl. Phys.*, Vol. 7, No. 7, p2993 - 2998

décrit la rugosité d'un film qui est favorisée quand la pression de déposition du film est augmentée. En conclusion, ces articles enseignent que diminuer la pression de déposition est efficace pour rendre la rugosité interfaciale réduite pour diminuer le couplage de couche intercalaire. Cependant, J. Appl. Phys., Vol. 77, No. 7, p2993 -
5 2998 précise également que l'entremêlement qui signifie l'incorporation mutuelle des matériaux à travers une interface a lieu quand la pression de déposition est réduite.

Une autre solution au problème du couplage de couche intercalaire provoqué par la rugosité interfaciale, consiste à épaissir la couche non magnétique d'espacement.
10 Néanmoins, quand la couche non magnétique d'espacement est épaissie dans le film SV-TMR, l'écoulement des électrons conducteurs non contributifs à l'effet GMR est favorisé, posant le problème de diminution du rapport MR. L'écoulement de ces électrons s'appelle "l'effet shunt". Dans le film TMR, d'autre part, si la couche non magnétique d'espacement de l'isolant est épaissie, la résistance totale est augmentée,
15 ayant pour résultat que le courant optimum de tunnel ne peut plus être obtenu. Ceci pose le problème de diminution de la performance du produit.

Il y a toujours une autre manière de réduire la rugosité d'une interface, comme cela est indiqué dans le brevet japonais No. 2003-86866. De cette façon, après avoir
20 effectué le dépôt de film pour une couche, la surface du film déposé est traitée en utilisant un plasma avant le prochain dépôt de film pour la prochaine couche. Cependant, un système pour ce procédé pose le problème de l'agrandissement d'échelle parce que l'équipement pour le traitement par plasma est exigé. En outre, le problème de diminution de la productivité est également posé parce que la phase
25 supplémentaire du traitement par plasma est exigée.

L'invention a pour but de résoudre les problèmes précédemment décrits, et propose un procédé et un dispositif pour la fabrication d'un film multicouche magnétorésistif ayant une structure dans laquelle une couche antiferromagnétique, une couche à
30 magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre sont superposées sur un substrat dans cet ordre. Dans le procédé et le dispositif, un film pour la couche antiferromagnétique est déposé par pulvérisation cathodique tandis que de l'oxygène gazeux est ajouté au gaz servant à la pulvérisation cathodique. D'autre part, une couche supplémentaire est interposée

entre le substrat et la couche antiferromagnétique. Un film pour la couche supplémentaire est déposé par pulvérisation cathodique tandis que l'oxygène est ajouté au gaz servant à la pulvérisation cathodique. Le film pour la couche antiferromagnétique est déposé par pulvérisation cathodique tandis qu'un mélange gazeux d'argon et d'autre gaz de nombre atomique plus grand que l'argon est utilisé en tant que gaz de pulvérisation cathodique.

Des modes d'exécution de l'invention seront décrits ci-après, à titre d'exemples non limitatifs, avec référence aux dessins annexés dans lesquels :

10

La figure 1 est une vue en coupe schématique montrant la structure d'un film multicouche magnéto-résistif fabriqué selon le procédé et le dispositif selon un premier mode d'exécution de l'invention ;

15

La figure 2 est une vue en coupe frontale schématique d'une chambre de dépôt selon un second mode d'exécution de l'invention ;

20

La figure 3 montre schématiquement la structure d'un film TMR préparé pour une expérience pour confirmer l'effet de l'addition d'oxygène gazeux dans le dépôt d'un film pour la couche de granulation ;

25

La figure 4 montre un résultat expérimental en relation entre le volume d'oxygène gazeux ajouté lors du dépôt du film pour la couche de granulation et le degré de couplage intercouche ;

30

La figure 5 montre schématiquement un mécanisme supposé du couplage intercouche décroissant par addition d'oxygène gazeux ;

La figure 6 montre un résultat expérimental en relation entre le volume d'oxygène ajouté lors du dépôt d'un film pour la couche antiferromagnétique et le degré de couplage intercouche ;

La figure 7 est une vue en coupe frontale schématique d'une chambre de dépôt d'un appareil selon un troisième mode d'exécution de l'invention ;

La figure 8 montre le résultat d'une expérience dans laquelle un film pour la couche antiferromagnétique a été déposé en utilisant le mélange gazeux d'argon et de krypton ;

5

La figure 9 montre schématiquement la structure d'un film TMR préparé dans l'expérience ;

La figure 10 est une vue schématique tridimensionnelle montrant la structure d'un exemple de films SV-GMR ;

10

La figure 11 montre le mécanisme du couplage intercouche provenant d'une mauvaise planéité d'une interface.

15 Les modes d'exécution préférés de l'invention seront décrits ci-après. Tout d'abord, on décrira la structure d'un film multicouche magnétorésistif fabriqué par le procédé et le dispositif selon ces modes d'exécution. La figure 1 est une vue en coupe schématique montrant la structure du film multicouche magnétorésistif fabriqué par le procédé et le dispositif selon ces modes d'exécution. Le film multicouche
20 magnétorésistif montré sur la figure 1 est utilisé pour une tête magnétique ou MRAM et travaille comme un film SV-GMR ou un film TMR. Le film multicouche magnétorésistif a une structure ou une couche de granulation 21, une couche 22 sous-jacente, une couche antiferromagnétique 23, une couche à magnétisation orientée 24, une couche non magnétique d'espacement 25, une couche à magnétisation libre 26 et
25 une couche de couverture 27 sont superposées dans cet ordre sur un substrat 1.

Dans le film multicouche magnétorésistif, la zone formée par la couche à magnétisation orientée 24, la couche non magnétique d'espacement 25 et la couche à magnétisation libre 26 fonctionne essentiellement comme l'élément à effet
30 magnétorésistif géant. De ce fait, la zone sera parfois appelée "zone fonctionnelle" dans la présente description. Comme représenté figure 1, les couches 21 à 27 sont superposées vers le haut dans cet ordre. Ceci ne correspond pas toujours à une configuration dans la pratique. La figure 1 et la description suivante sont seulement basées sur l'hypothèse qu'une couche formée dans une étape antérieure est située plus

bas, et une couche formée dans une étape postérieure est située plus haut. De ce fait, si la surface du substrat 1 est dirigée vers le bas et les couches sont déposées par-dessus, alors la couche supérieure 22 est située au-dessus de la couche antiferromagnétique 23.

5

Le film multicouche magnétorésistif est fabriqué par dépôt par pulvérisation de chaque film pour chaque couche. De ce fait, l'appareil de fabrication comprend une chambre de dépôt. La figure 2 est une vue en section droite frontale schématique de la chambre de dépôt dans l'appareil selon ce mode de réalisation de l'invention.

10

Comme illustré figure 2, l'appareil comprend une ligne de pompage 31 pour réaliser le vide dans la chambre de dépôt 3, un porte-substrat 32 portant un substrat 1 dans une position requise dans la chambre de dépôt 3, une pluralité de cathodes 33, 34 engendrant une décharge de pulvérisation cathodique dans la chambre de dépôt 3 et des sources de puissance pour la pulvérisation (non représentées) qui appliquent une tension pour la pulvérisation sur les cathodes 33 et 34.

La chambre de dépôt 3 est une chambre à vide étanche à l'air, comprenant une ouverture pour le transfert du substrat 1 à l'intérieur et à l'extérieur. Cette ouverture est ouverte et fermée par une valve à porte 30. La ligne de pompage 31 comprend une pompe à vide telle qu'une pompe turbo-moléculaire, qui crée le vide dans la chambre de dépôt 3 par l'intermédiaire d'une chambre à vide adjacente à ladite chambre de dépôt. Une ligne d'introduction de gaz 37 est prévue pour introduire dans la chambre de dépôt 3 un gaz pour la pulvérisation cathodique, ci-après "gaz de pulvérisation cathodique" à l'intérieur de ladite chambre. La ligne d'introduction de gaz 37 est capable d'ajouter de l'oxygène gazeux au gaz de pulvérisation cathodique. Concrètement, l'argon est utilisé en tant que gaz de pulvérisation cathodique. La ligne d'introduction de gaz 37 comprend un conduit d'argon 371 et un autre conduit 372 pour l'oxygène. En plus des vannes 374, les conduits 371 et 372 comprennent des contrôleurs de flux de gaz 373 de manière à ce que les gaz puissent être introduits aux vitesses d'écoulement requises. Bien que l'argon et l'oxygène soient mélangés et introduits ensemble dans la chambre de traitement 3 dans ce mode d'exécution, ils peuvent être introduits séparément dans la chambre de traitement et être mélangés à l'intérieur de cette chambre.

Les cathodes 33, 34 consistent en des cathodes qui servent à établir une pulvérisation cathodique à magnétron, à savoir des cathodes-magnétron. Les cathodes 33, 34 comprennent des cibles 331, 341 et des unités magnétiques. Bien que la structure
5 détaillée de chaque unité magnétique 332, 342 ne soit pas représentée sur la figure 2, il est prévu un aimant central et un aimant extérieur entourant l'aimant central. Le champ magnétique engendré par chaque unité d'aimant 332, 343 est en relation orthogonale avec le champ électrique engendré par chaque cathode 33, 34 de manière à ce que le magnétron engendre un déplacement des électrons. Un mécanisme
10 d'entraînement en rotation servant à entraîner en rotation les unités magnétiques 332, 342 contre les cibles stationnaires 331, 341 peut être prévu pour provoquer des érosions plus uniformes sur les cibles 331, 341. Des obturateurs 333, 343 sont prévus en face des cibles 331, 341. Chaque obturateur 333, 343 couvre chaque cible 331, 341 respectivement quand elle n'est pas utilisée, en l'empêchant, de ce fait, d'être
15 contaminée.

Bien que seulement deux cathodes 33, 34 sont représentées figure 2, en pratique, trois ou même un nombre plus important de cathodes peuvent être prévues. En ce qui concerne la structure et la disposition des cathodes, on peut se référer au brevet
20 japonais No. 2002-43159. Les sources de puissance utilisées pour la pulvérisation (non représentées) doivent respectivement appliquer des tensions continues négatives ou des tensions RF (radio fréquence) aux cathodes 33, 34. Un contrôleur (non représenté) est prévu pour contrôler les puissances d'entrée appliquées aux cathodes 33, 34. Il est préférable de contrôler chaque puissance d'entrée appliquée à chaque
25 cathode 33, 34 indépendamment les unes des autres.

Dans ce mode d'exécution, une cible 331 d'une cathode 33 est réalisée en tantale du fait qu'un film de tantale est déposé par la couche de granulation 21. D'autre part, un matériau tel que du cuivre ou de l'or peut être utilisé pour la couche de granulation
30 21. Dans ce cas, la cible 331 est réalisée en un tel matériau. La couche de granulation 21 a la fonction de contrôle d'orientation du cristal dans des films minces pour les couches supérieures déposées par-dessus.

Un procédé de fabrication du film multicouche magnétorésistif précédemment décrit sera décrit ci-après. Tandis que l'oxygène gazeux est ajouté, l'argon gazeux est introduit par la ligne d'introduction de gaz 37 à une vitesse d'écoulement requise. Dans cet état, quand la tension est appliquée à la cible 331 par l'une des sources de puissance de pulvérisation, la décharge de pulvérisation est engendrée dans l'espace
5 situé en face de la cible 331. A travers la décharge, les particules extraites par pulvérisation de la cible 331 atteignent le substrat 1 en déposant de ce fait le film de tantale pour la couche de granulation 21 sur le substrat 1. Le support de substrat 32 comprend un mécanisme d'entraînement en rotation 321. Le mécanisme
10 d'entraînement en rotation 321 entraîne en rotation le substrat contre la cible stationnaire 331 de manière à ce qu'un film uniforme puisse être déposé. Pendant ce dépôt, l'autre obturateur 343 prévu pour l'autre cathode 34 est fermé pour éviter que la cible 341 soit contaminée.

15 En déposant un autre film en utilisant l'autre cathode, l'autre obturateur 343 est ouvert tandis que l'obturateur 333 est fermé. L'autre source de puissance de pulvérisation est mise en œuvre pour réaliser à nouveau un autre dépôt par pulvérisation. Dans ce mode d'exécution, l'oxygène gazeux n'est pas ajouté à l'argon gazeux pour le dépôt d'autres films pour les couches excepté la couche de
20 granulation 21.

Le film multicouche magnétorésistif représenté figure 1 est fabriqué par des dépôts par pulvérisation de films minces pour la couche de granulation 21, la couche sous-jacente 22, la couche antiferromagnétique 23, la couche à magnétisation orientée 24,
25 la couche non magnétique d'espacement 25, la couche à magnétisation libre 26 et la couche de couverture 29, dans cet ordre sur le substrat. Les films minces peuvent être déposés dans la même chambre de dépôt 3 représentée figure 2, étant entendu qu'ils pourraient être déposés dans des chambres de dépôt différentes. Dans le cas où les films minces sont déposés dans la même chambre de dépôt 3, chaque cathode et cible
30 pour chaque film y sont prévues. Dans ce cas, après le dépôt avec adjonction d'oxygène gazeux, il est préférable de réaliser le vide dans la chambre de dépôt 3 de manière à obtenir une pression de vide élevée pour éliminer l'oxygène gazeux résiduel avant le dépôt suivant. Dans le cas où les films minces sont déposés dans des

chambres de traitement différentes, le substrat 1 est transféré entre eux sous une pression de vide sans être exposé à l'atmosphère.

5 Le fait qu'un peu d'oxygène gazeux est ajouté lors du dépôt du film pour la couche de granulation 21 est basé sur une recherche par les inventeurs menée pour résoudre le problème du couplage intercouche. La rugosité interfaciale qui cause le problème du couplage intercouche provient souvent de la rugosité d'une autre interface située en dessous. Quand la surface d'un film est rendue rugueuse, la surface d'un autre film déposé sur ce dernier est rendue rugueuse également, du fait que le film est déposé
10 tandis qu'il suit le contour de la surface rugueuse sous-jacente. De ce fait, pour éviter qu'une interface soit rendue rugueuse, il convient de déposer le film situé en dessous, sans rugosité.

Les inventeurs ont supposé que l'optimisation d'un procédé de dépôt d'un film pour
15 une couche située au-dessous de la couche à magnétisation orientée 24 serait en mesure d'aplatir l'interface entre eux. Ceci devrait en principe rendre possible d'aplatir l'interface de la couche de magnétisation orientée 24 et la couche de magnétisation libre 26, qui contribue à la réduction du couplage interfacial. Grâce à une recherche diligente sur cette supposition, il a été trouvé que l'addition d'oxygène
20 gazeux au gaz de pulvérisation cathodique lors du dépôt d'un film pour une couche située au-dessous de la couche à magnétisation orientée 24 permet la réduction du couplage intercouche. Ce point sera décrit en détail ci-après.

La figure 3 représente schématiquement la structure de films TMR préparés dans une
25 expérience pour confirmer l'effet de l'addition d'oxygène gazeux au cours du dépôt d'un film pour la couche de granulation. Les nombres entre parenthèses sur la figure 3 indiquent l'épaisseur des films. Comme représenté sur la figure 3, un film de tantale pour la couche de granulation 21 a été déposé à une épaisseur de 200 Angström sur la surface oxydée thermiquement d'un substrat en silicium 1. Sur le film de tantale un
30 film NiCr pour la couche sous-jacente 22 a été déposé à une épaisseur de 40 Angström. Sur le film de NiCr, un film de PtMn (Pt50Mn50at%) pour la couche antiferromagnétique 23 a été déposé à une épaisseur de 150 Angström. Sur le film PtMn, pour la couche à magnétisation orientée 24, un couple de films CoFe (Co90Fe10at%) sont déposés à une épaisseur de 30 Angström respectivement, en

- interposant un film de Ru de 30 Angström d'épaisseur. Sur les films CoFe, un film d'alumine pour la couche non magnétique d'espacement a été déposé à une épaisseur de 9 Angström. Sur le film d'alumine, un film de NiFe (Ni83Fe17at%) pour la couche de magnétisation libre 26 a été déposé à une épaisseur de 40 Angström. Sur le film de NiFe, un film de tantale pour la couche de couverture 29 a été déposé à une épaisseur de 50 Angström. L'abréviation "at%" signifie "rapport numéral atomique". Ceci correspond au rapport de poids converti en nombre atomique, c'est-à-dire le rapport des nombres d'atomes inclus. Par exemple, "Pt50Mn50at%" signifie du platine de rapport numéral atomique 50% et du manganèse de rapport numéral atomique de 50%. Et "NiCr" signifie composants de matière à base de nickel et de chrome et ne signifie pas toujours qu'ils sont alliés bien que souvent ils soient alliés. Ceci est identique dans d'autres expressions d'autres combinaisons de symboles d'éléments telles que "PtMn", "CoFe" et similaire.
- 15 Les films TMR de la structure précédemment décrite ont été préparés en faisant varier la pression partielle d'oxygène lors du dépôt de films de tantale pour les couches de granulation. Ensuite, l'intensité du couplage intercouche de la couche à magnétisation orientée 24 et de la couche à magnétisation libre 26 a été mesurée dans chaque film TMR. De l'argon a été utilisé en tant que gaz de pulvérisation cathodique, avec une pression partielle maintenue constamment à 3.2×10^{-2} Pa.

La figure 4 montre le résultat expérimental en relation entre le volume d'oxygène gazeux ajouté lors du dépôt des films pour les couches et le degré de granulation du couplage intercouche. Dans la figure 4, l'axe d'abscisse est la pression partielle d'oxygène et l'axe des ordonnées est le degré du couplage intermédiaire, c'est-à-dire l'intensité du champ magnétique de couplage intercouche (Oe), entre la couche de magnétisation orientée 24 et la couche de magnétisation libre 26. Les données réelles sont montrées sur le Tableau 1 ci-après.

Pression partielle d'oxygène dans un dépôt de film Ta (Pa)	Degré de couplage de l'intercouche (Oe)
1.2×10^{-6}	9.5
1.0×10^{-5}	8.4
2.5×10^{-5}	8.4
5.0×10^{-5}	8.7

Tableau 1 : La relation de pression partielle d'oxygène dans le dépôt de film de tantale et le degré de couplage de l'intercouche.

5

Comme représenté figure 4 et Tableau 1, à l'addition zéro d'oxygène gazeux le couplage intercouche était environ 9.7Oe. Tandis que l'addition d'oxygène croissait, le couplage intercouche décroissait. A la pression partielle d'oxygène basse de 1.2×10^{-6} Pa, le couplage intercouche était encore à la valeur haute de 9.5Oe. Cependant, lorsque la pression partielle d'oxygène a été augmentée à 1.0×10^{-5} Pa le couplage intercouche s'est abaissé à 8.4Oe.

10

La même basse valeur s'est maintenue même lorsque la pression partielle d'oxygène a été augmentée à 2.5×10^{-5} Pa. Elle est encore restée à la basse valeur de 8.7Oe même lorsque la pression partielle d'oxygène a été augmentée à 5.0×10^{-5} Pa. Ce résultat enseigne que la pression partielle d'oxygène est de préférence de 1.0×10^{-5} Pa ou plus.

15

Bien qu'il n'apparaisse pas clairement pourquoi le couplage intercouche décroît à la suite d'une addition d'oxygène gazeux, il se pourrait que le film ait été aplati par addition d'oxygène gazeux.

20

Ce point sera décrit en référence à la figure 5. La figure 5 montre schématiquement le mécanisme présumé de la décroissance du couplage intercouche par addition d'oxygène gazeux.

25

Comme décrit dans le document J. Appl. Phys., Vol. 77, No. 7, p2993 - 2998, la rugosité de surface d'un film déposé dérive probablement de sa structure de

développement cristallin. Bien que quelques espèces de films sont déposées dans des états amorphes, un film magnétique comme dans ce mode d'exécution est déposé dans un état tel que des cristaux d'une certaine grandeur se développent. Selon ce processus, chaque cristal se développe en forme de colonne comme représenté figure 5(1)(2). La rugosité de surface du film déposé apparaît en traçant le sommet de chaque cristal en forme de colonne.

Quand chaque cristal présente une grande taille, comme représenté figure 5(1), la rugosité tend à augmenter. Quand chaque cristal est de petite taille, comme représenté figure 5(2) la rugosité tend à diminuer. D'autre part, une situation dans laquelle chaque cristal se développe doit être prise en considération. Dans la figure 5(3), on présume que les particules 41, c'est-à-dire des atomes ou des molécules, arrivent à la surface 42. Chaque cristal se développe graduellement par accumulation des particules qui arrivent. Pendant cette croissance, des particules 41 qui sont parvenues à la surface 42 vont migrer sur celle-ci. Les particules migrantes 41 sont parfois incorporées dans les grains de cristal 43 qui ont été formés. Par incorporation des particules 41, les grains de cristal 43 s'expandent graduellement. En cela, si de l'oxygène existe dans l'ambiance, on suppose qu'il inhibera l'essaimage dans la croissance cristalline des particules 41. En conséquence, les grains de cristal 43 se développent difficilement, et demeurent à des petites tailles. L'expression "essaimage dans" signifie l'expansion des grains de cristal 43 par incorporation de particules 41.

Bien que le mécanisme concret de la diminution de la taille des grains ne soit pas entièrement clair, on suppose qu'il provient de l'oxydation de surface des grains de cristal réalisé en tantale. Du fait que les atomes de tantale sur la surface oxydée sont en liaison ioniques avec les atomes d'oxygène, des électrons libres provenant des liaisons métalliques avec d'autres atomes de tantale seraient incorporés en orbite dans les atomes d'oxygène. En conséquence, même quand d'autres atomes de tantale migrent de manière à être tout prêts, ils ne peuvent pas se lier aux atomes de surface sur les grains de cristal. On peut supposer que c'est la raison pour laquelle les grains de cristal restent de petite taille comme représentée figure 5(2) faisant le film structuré en cristal et en particules.

Quand le film de tantale pour la couche de granulation 21 croit avec une telle structure de cristal et de particules, la surface de la couche de granulation 21 est aplanie. De ce fait, la couche sous-jacente 22, la couche antiferromagnétique 23, la couche à magnétisation orientée 24, la couche non magnétique d'espacement 25 et la
5 couche à magnétisation libre 26 déposée au-dessus auront des surfaces aplanies. En conséquence, les interfaces dans la zone fonctionnelle sont également aplanies. Il en résulte que le couplage intercouche décroît. C'est en principe le mécanisme présumé de décroissance du couplage intercouche décrit.

10 De toutes façons, le procédé et le dispositif de ce mode d'exécution réduit le couplage intercouche de la couche à magnétisation orientée 24 et de la couche à magnétisation libre 26, en ajoutant un peu d'oxygène gazeux au gaz de pulvérisation cathodique, lors du dépôt du film pour la couche de granulation 21. En conséquence, il y a moins de probabilité que le moment magnétique dans la couche de
15 magnétisation libre 26 soit capturée et réduite par le moment magnétique dans la couche à magnétisation orientée 24. Ceci apporte l'avantage de réduire les erreurs de lecture et les temps de réponse dans une tête de lecture magnétique, et l'avantage de réduire les erreurs d'écriture et les erreurs de lecture dans une MRAM. En raison du fait que cette solution ne consiste pas à ajouter une étape supplémentaire telle qu'un
20 traitement par plasma, elle ne s'accompagne pas d'un problème d'accroissement de coût de l'appareil ni ne s'accompagne du problème de réduction de la productivité causé par l'accroissement du temps de mise en œuvre de l'étape supplémentaire.

La description suivante concerne un second mode d'exécution de l'invention. Ce
25 mode d'exécution est caractérisé en ce que l'oxygène gazeux est ajouté au gaz de pulvérisation cathodique lors du dépôt d'un film non pour la couche de granulation 21 mais pour la couche antiferromagnétique 23. Concrètement, une chambre de dépôt pour déposer le film pour la couche antiferromagnétique 23 comprend une ligne d'introduction de gaz introduisant le gaz de pulvérisation cathodique. La ligne
30 d'introduction de gaz est capable d'ajouter de l'oxygène gazeux au gaz de pulvérisation cathodique. La structure de la chambre de dépôt peut être la même que celle du premier mode d'exécution représenté figure 2, excepté que la cible est réalisée en une même matière que la couche antiferromagnétique 23 à former, c'est-à-dire PtMn, InMn ou analogue.

L'addition d'oxygène gazeux lors du dépôt du film pour la couche antiferromagnétique 23 est également basée sur le résultat d'une expérience réalisée par les inventeurs. La figure 6 montre un résultat expérimental en relation entre le volume d'oxygène gazeux ajouté dans le dépôt de film pour la couche antiferromagnétique et le degré du couplage intercouche. Dans la figure 6 également, l'axe des abscisses est la pression partielle d'oxygène et l'axe des ordonnées est le degré de couplage intercouche entre la couche de magnétisation orientée 24 et la couche de magnétisation libre 26. Des données actuelles dont le résultat est montré dans le Tableau 2.

Pression partielle d'oxygène dans un dépôt de film PtMn (Pa)	Degré de couplage intercouche (Oe)
1.2×10^{-6}	9.5
1.0×10^{-5}	7.2
2.0×10^{-5}	7.6
3.0×10^{-5}	8.0
4.0×10^{-5}	8.2
5.0×10^{-5}	9.8

Tableau 2 : Relation entre la pression partielle d'oxygène dans un dépôt de film PtMn et degré de couplage intercouche.

Les films TMR ayant la même structure que dans la figure 1 ont été préparés dans cette expérience. Dans chaque préparation, un film PtMn pour la couche antiferromagnétique 23 a été déposé à une épaisseur de 150 Angström également. L'argon a été utilisé pour le gaz de pulvérisation cathodique dans le dépôt de film PtMn, tandis qu'une pression partielle d'argon était maintenue constante à 0.165 Pa.

De même que dans l'expérience décrite, à l'addition zéro d'oxygène gazeux, le couplage intercouche a été environ 9.7Oe. Tandis que le volume d'oxygène gazeux était augmenté, le couplage intercouche diminuait comme représenté figure 6 et Tableau 2. A une basse pression partielle d'oxygène de 1.2×10^{-6} Pa, le couplage intercouche était encore à une valeur élevée de 9.5Oe. Toutefois, lorsque la pression

partielle d'oxygène a été augmentée à 1.0×10^{-5} Pa, il s'est réduit à 7.2Oe. Il est encore resté à une basse valeur de 7.6 à 8.0Oe, même quand la pression partielle d'oxygène a été augmentée à 2.0×10^{-5} à 3.0×10^{-5} Pa. Même lorsque la pression partielle d'oxygène a été augmentée pour atteindre 4.0×10^{-5} Pa, il avait la basse
5 valeur de 8.2Oe. Ce résultat enseigne que la pression partielle d'oxygène est de préférence dans la fourchette de 1.0×10^{-5} à 4.0×10^{-5} Pa.

La réduction du couplage intercouche par addition d'oxygène gazeux dans le dépôt de film pour la couche antiferromagnétique 23 est considérée avoir un mécanisme
10 similaire à celui précédemment décrit.

Ceci étant, il est supposé dériver de la fine structure de cristal du film résultant du fait que les surfaces des grains de cristal sont légèrement oxydés. Comme il découle du résultat décrit ci-dessus, il est également préférable, voire plus préférable,
15 d'ajouter de l'oxygène gazeux au gaz de pulvérisation cathodique à la fois dans les dépôts de film pour la couche de granulation 21 et pour la couche antiferromagnétique 23.

De toutes façons, du fait que le couplage intercouche est également réduit dans ce
20 mode d'exécution, il est possible de fabriquer un film multicouche magnétorésistif de haute qualité avec beaucoup moins de probabilité que le moment magnétique dans la couche à magnétisation libre 26 soit capturé et réduit par le moment magnétique dans la couche de magnétisation orientée 24. De ce fait, il est plus préférable pour une tête de lecture magnétique et pour une MRAM. En outre, il s'accompagne ni
25 d'augmentation de coût de l'appareil ni de diminution de productivité, du fait qu'aucune étape supplémentaire telle qu'un traitement à plasma n'est ajoutée.

On suppose que l'aplatissement du film mince par la légère addition d'oxygène gazeux fonctionne d'une façon similaire dans les dépôts de films minces pour des
30 couches autres que la couche de granulation 21 et la couche antiferromagnétique 23. De ce fait, l'oxygène gazeux peut être ajouté dans un dépôt de film mince pour une autre couche, notamment la couche sous-jacente 22, la couche à magnétisation orientée 24, la couche non magnétique d'espacement 25 ou la couche à magnétisation

libre 26. Encore une fois, une attention doit être exercée pour l'addition d'oxygène gazeux dans les dépôts de films minces pour la zone fonctionnelle, par exemple pour la couche à magnétisation orientée 24, du fait qu'il pourrait affecter considérablement les propriétés du produit même dans le cas d'un faible volume.

5

Comme décrit, l'aplatissement du film mince par addition d'un petit volume d'oxygène gazeux est supposé dériver d'une incorporation d'électrons libres à travers la liaison ionique des atomes sur les surfaces de grains de cristal avec des atomes d'oxygène.

10

Sur la base de cette supposition, le même effet peut être apporté par un gaz autre que l'oxygène par exemple de l'azote, du fluor, du chlore ou analogue. Encore une fois, une attention doit être exercée également pour l'usage de ces gaz, en raison de ceux qui sont plus réactifs et en raison de ceux qui pourraient engendrer un problème d'érosion ou de détérioration de qualité.

15

Le troisième mode d'exécution de l'invention sera décrit ci-après. Ce mode d'exécution est caractérisé par l'usage de mélange gazeux d'argon et de krypton, ci-après "ArKr mix", en tant que gaz de pulvérisation cathodique dans le dépôt de films minces pour la couche antiferromagnétique 23. La figure 7 est une vue en coupe frontale schématique, d'une chambre de dépôt dans l'appareil selon le troisième mode d'exécution de l'invention. La chambre de dépôt 3 représentée figure 7 sert au dépôt d'un film mince pour la couche antiferromagnétique 23 où une des cibles est réalisée en la matière de la couche antiferromagnétique 23, par exemple PtMn ou IrMn.

20

Comme représenté figure 7, une ligne d'introduction de gaz 37 prévue pour la chambre de dépôt 3 comprend un conduit 371 pour de l'argon gazeux et un autre conduit 374 pour du krypton gazeux. Les conduits 371, 372 comprennent des contrôleurs de flux de gaz 373 de sorte que l'argon gazeux et le krypton gazeux peuvent être introduits selon un rapport de mélange requis. Ces gaz peuvent être introduits séparément dans la chambre de dépôt 3 et mélangés à l'intérieur de cette chambre.

25
30

L'usage du mélange ArKr dans le dépôt de film mince pour la couche antiferromagnétique 23 est également basé sur le résultat d'une expérience réalisée

par les inventeurs dans le cadre de la recherche de la réduction du couplage intercouche. Présument que l'aplatissement du film mince pour réduire le couplage intercouche est rendu possible en optimisant la sélection et le taux de flux du gaz de pulvérisation cathodique dans le dépôt de film pour la couche antiferromagnétique

5 23, les inventeurs ont exécuter des recherches diligentes. Ensuite, une réduction prononcée du couplage intercouche a été confirmée lorsque le mélange ArKr a été utilisé à un rapport de mélange de krypton de 10 % ou plus.

La figure 8 montre le résultat d'une expérience où les films pour les couches antiferromagnétiques 23 ont été déposés en utilisant le mélange ArKr. Sur la figure 8, l'axe des abscisses est le taux de flux de krypton gazeux (SCCM), et l'axe des ordonnées est le degré de couplage de l'intercouche, entre la couche à magnétisation orientée 24 et la couche à magnétisation libre 26. Les données actuelles de la figure 8 sont montrées sur le Tableau 3. "SCCM" s'exprime : "centimètre cube standard par

15 minute" qui signifie taux de flux de gaz (débit) par minute converti à 0°C et 1 atm.

Tableau 3

Kr taux de flux (SCCM)	Couplage intercouche (Oe)
0	8.4
1.5	8.1
2	7.7
3	7.7
4	7.6
5	7.7
6	7.5
8	7.5

20 Tableau 3 : Relation entre le taux de flux de Kr dans un dépôt de film PtMn et le degré de couplage intercouche.

Dans cette expérience, des films TMR ont été également préparés. La structure des films est représentée figure 9, qui présente des différences mineures par rapport à celle précédemment décrite.

5 Les nombres entre parenthèses sur la figure 9 concernent également l'épaisseur des films. En préparant chaque film TMR, le mélange ArKr est utilisé pour le dépôt de film PtMn pour la couche antiferromagnétique 23, tandis que le taux de flux total de mélange ArKr était maintenu constamment à 20SCCM, le taux de flux du krypton a été modifié.

10

Ensuite, on a cherché à savoir comment le degré de couplage intercouche diffère en fonction du taux de flux de krypton. La pression totale pendant le dépôt était de 6.0×10^{-2} Pa.

15 Comme représenté figure 8, le couplage intercouche a présenté des valeurs élevées de 8.4 à 8.1Oe sous un taux de flux de krypton de 0 à 1.5SCCM. Cependant, il chute à 7.7Oe sous 2SCCM. Tandis que le taux de flux de krypton augmentait davantage, le couplage intercouche restait aux basses valeurs de 7.7 à 7.5Oe. A partir de ce résultat, il a été relevé que le taux de flux de krypton est de préférence égal à 2SCCM
20 ou plus.

Ceci signifie que le taux de mélange du krypton est de préférence de 10 % ou plus. A partir des résultats montrés sur la figure 8, un rapport de mélange de krypton plus élevé, par exemple 50 à 100 %, peut être préférable. Cependant, il pourrait apporter
25 un problème de coût du fait que le krypton est un gaz cher.

Généralement, quand une tension est appliquée à une cible pour la pulvérisation cathodique, en plus des atomes de la cible des électrons secondaires sont libérés de la cible bombardée par des ions du gaz de pulvérisation cathodique. Les atomes extraits
30 de la cible dans la pulvérisation cathodique sont appelés "atomes de pulvérisation". Des ions gazeux bombardant la cible sont réfléchies ou dispersés sans perdre leurs charges. En outre, des ions gazeux sont réfléchies ou dispersés sur la cible après avoir perdu leurs charges en devenant des atomes gazeux neutres. Ces atomes gazeux

neutres, qui sont désignés ci-après "atomes de recul", jaillissent de la cible à haute vitesse.

5 Quand les atomes de recul frappent le film en train de se déposer sur le substrat, ils seront incorporés dans le film pour y générer une contrainte interne. D'autre part, les atomes de recul fonctionnent de manière à empêcher l'essaimage de cristaux. Les atomes de pulvérisation atteignant une surface superficielle ou la surface du film en train d'être déposé vont migrer sur celle-ci. Les atomes de recul bombardant les surfaces empêcheront la migration des atomes de pulvérisation. L'effet
10 d'empêchement de migration exercé par le bombardement d'atomes de recul dépend de la différence du nombre atomique des atomes de recul par rapport aux atomes de pulvérisation.

L'empêchement de migration est plus effectif si le nombre atomique des atomes de recul qui exercent un bombardement est plus grand que celui des atomes de pulvérisation. Au contraire, il sera moins effectif si le nombre atomique des atomes de recul est plus petit que celui des atomes de pulvérisation.
15

En outre, les atomes de recul bombardant le film en cours de dépôt ont la fonction de re-pulvériser sur celui-ci. Le degré de re-pulvérisation dépend du type d'atomes de recul, qui est similaire à la pulvérisation produite par le gaz de pulvérisation cathodique sur la cible.
20

Si le nombre atomique des atomes de recul est plus grand que les atomes composant le film, c'est-à-dire que les atomes de pulvérisation, alors le degré de re-pulvérisation est élevé.
25

Le film ayant une structure de cristal pure et la surface aplatie est supposée obtenue par un équilibre adéquat entre la fonction d'empêchement de migration et la fonction de re-pulvérisation, toutes deux par les atomes de recul. En cela, ce serait un problème si la cible était faite de différents types d'atomes ayant une différence plus grande dans le nombre atomique tel que Pt (nombre atomique 78) et Mn (nombre atomique 25) dans le but de déposer un film en de telles matières. Quand un gaz de pulvérisation cathodique, avec un nombre atomique important est utilisé, ce qui
30

signifie que le nombre atomique des atomes de recul est important, des atomes de plus petit nombre atomique seront extraits du film en cours de dépôt, du fait de la repulvérisation par les atomes de recul. Il en résulte qu'on ne peut pas espérer que le film déposé présente un taux de composants requis.

5

De ce fait, une fourchette optimum de taux de mélange de gaz devra être déterminée selon la relation entre les contenus du film, c'est-à-dire, les matières et les rapports de composants et le nombre atomique du mélange de gaz utilisé pour le dépôt. Dans le cas d'un dépôt de film PtMn utilisant un mélange ArKr, il a été relevé qu'un
10 antiferromagnétisme peut être obtenu sur des rapports de composants désirés de 50Pt50Mn (at%) quand le taux de flux du krypton est 10 à 50 % vis-à-vis de l'argon. Du fait que le taux de composants affecte beaucoup la propriété magnétique d'un produit, il est significatif de déterminer le taux de flux de gaz optimum. Dans le cas d'un film IrMn également, il est significatif de contrôler le taux de mélange de gaz
15 dans une fourchette optimum pour obtenir le taux de composants désiré du film pour obtenir une propriété magnétique élevée. A partir du point de vue précédemment décrit, le xénon est supposé plus préférable que le krypton si l'on souhaite déposer un film incluant une autre espèce d'atomes avec un nombre atomique plus grand.

20 En tout état de cause, du fait que la réduction du couplage intercouche est rendue possible dans ce mode d'exécution également, il est possible de fabriquer un film TMR de haute qualité où le moment magnétique dans la couche à magnétisation libre n'est pas capturé pour être réduit par le moment magnétique de la couche à magnétisation orientée. De ce fait, c'est plus préférable pour une tête de lecture
25 magnétique et une MRAM. Elle ne s'accompagne ni d'un accroissement du coût ni de diminution de productivité du fait qu'aucune étape supplémentaire telle qu'un traitement par plasma, n'est ajoutée.

On comprendra que l'application du troisième mode de réalisation au premier ou au
30 second mode de réalisation apportera un résultat plus préférable. Concrètement, la ligne d'introduction de gaz 37 pour la chambre de dépôt 3 représentée figure 2 est modifiée de manière à introduire du mélange ArKr en tant que gaz de pulvérisation et est modifiée de manière à y ajouter de l'oxygène.

En plus de l'effet de l'addition d'oxygène gazeux, l'effet engendré par le krypton gazeux mélange est obtenu dans le dépôt de film de tantale pour la couche de granulation 21 où le dépôt de film PtMn pour la couche antiferromagnétique 23. De ce fait, le film est supposé avoir été aplati, en conséquence, en réduisant de ce fait le couplage intercouche.

Il doit être noté qu'une fabrication de film multicouche magnétorésistif selon l'invention n'est pas limitée au film SV-GMR décrit ni au film TMR. Dans la structure du film multicouche magnétorésistif fabriqué conformément à l'invention, d'autres couches peuvent y être interposées tant qu'un effet magnétorésistif requis est obtenu.

Dans les modes d'exécution décrits, la couche de granulation est l'exemple de couches supplémentaires prévues entre le substrat et la couche antiferromagnétique. L'addition d'oxygène gazeux peut être réalisée dans un dépôt de film pour d'autres couches supplémentaires si cela est prévu. Bien que cette invention présente l'avantage qu'aucune étape supplémentaire est requise pour réduire le couplage intercouche tel que décrit, elle n'exclut l'addition d'aucune étape supplémentaire. Dans cette description, l'expression "dépôt d'un film sur un substrat" ou "dépôt d'un film sur une couche" ne signifie pas toujours que le film est déposé au contact du substrat ou de la couche. Elle inclut que le film soit déposé séparément du substrat ou de la couche.

Revendications

1. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

5 superposer une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ; et

déposer un film concernant la couche antiferromagnétique par pulvérisation cathodique dans laquelle un gaz tel l'oxygène est ajouté au gaz pour la pulvérisation cathodique ;

10 la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage avec la couche antiferromagnétique ;

la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

15

2. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

superposer une couche supplémentaire, une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une
20 couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ; et

déposer un film concernant la couche supplémentaire par pulvérisation cathodique dans laquelle un gaz tel l'oxygène est ajouté au gaz pour la pulvérisation cathodique ;

25 la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage à la couche antiferromagnétique ;

la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

3. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en
30 ce qu'il comprend les étapes consistant à :

superposer une couche de granulation, une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ; et

déposer un film réalisé en tantale concernant la couche de granulation par pulvérisation cathodique, de manière à ce que le gaz oxygène soit ajouté à un gaz pour la pulvérisation cathodique et une pression partielle de l'oxygène est maintenue à $1,0 \times 10^{-5}$ Pa ou davantage ;

5 la couche de granulation étant une couche à orientations cristallines contrôlées dans une autre couche superposée là-dessus ;

la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage à la couche antiferromagnétique ;

10 la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

4. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

15 superposer une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ; et

20 déposer un film réalisé en platine et en manganèse pour la couche antiferromagnétique par pulvérisation cathodique, de manière à ce que le gaz oxygène soit ajouté à un gaz pour la pulvérisation cathodique et une pression partielle de l'oxygène est maintenue dans la gamme de $1,0 \times 10^{-5}$ Pa à $4,0 \times 10^{-5}$ Pa ;

la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage à la couche antiferromagnétique ;

la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

25

5. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

30 superposer une couche supplémentaire, une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ;

déposer un film pour la couche supplémentaire par pulvérisation cathodique de manière à ce que gaz oxygène soit ajouté à un gaz pour la pulvérisation cathodique ; et

déposer un film pour la couche antiferromagnétique par la pulvérisation de manière à ce que gaz oxygène soit ajouté à un gaz pour la pulvérisation cathodique ; la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage à la couche antiferromagnétique ;

- 5 la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

6. Procédé pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- 10 superposer une couche de granulation, une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre, dans cet ordre sur un substrat ;

déposer un film réalisé en tantale pour la couche de granulation par pulvérisation cathodique, de manière à ce que le gaz oxygène soit ajouté au gaz pour la pulvérisation cathodique et la pression partielle de l'oxygène est maintenue à $1,0 \times 10^{-5}$ Pa ou davantage ; et

- 15 déposer un film réalisé en platine et en manganèse pour la couche antiferromagnétique par pulvérisation cathodique de manière à ce que l'oxygène soit ajouté à un gaz pour la pulvérisation cathodique et la pression partielle de l'oxygène est maintenue dans la gamme de $1,0 \times 10^{-5}$ Pa à $4,0 \times 10^{-5}$ Pa ;

la couche de granulation étant une couche à orientations cristallines contrôlées dans une autre couche superposée là-dessus ;

la couche à magnétisation orientée étant la couche où la direction de la magnétisation est orientée par couplage à la couche antiferromagnétique ;

- 25 la couche à magnétisation libre étant la couche où la direction de la magnétisation est libre.

7. Système pour fabriquer un film multicouche magnétorésistif ayant une structure dans laquelle une couche antiferromagnétique, une couche à magnétisation orientée, une couche non magnétique d'espacement et une couche à magnétisation libre sont superposées dans cet ordre; caractérisé en ce qu'il comprend :

une chambre pour déposer un film pour la couche antiferromagnétique sur un substrat par pulvérisation cathodique ;

une ligne de pompage d'évacuation de la chambre ; et

une ligne d'introduction de gaz présentant un gaz pour la pulvérisation cathodique dans la chambre ;
la ligne d'introduction de gaz étant capable d'ajouter le gaz oxygène au gaz pour la pulvérisation cathodique.

1/11

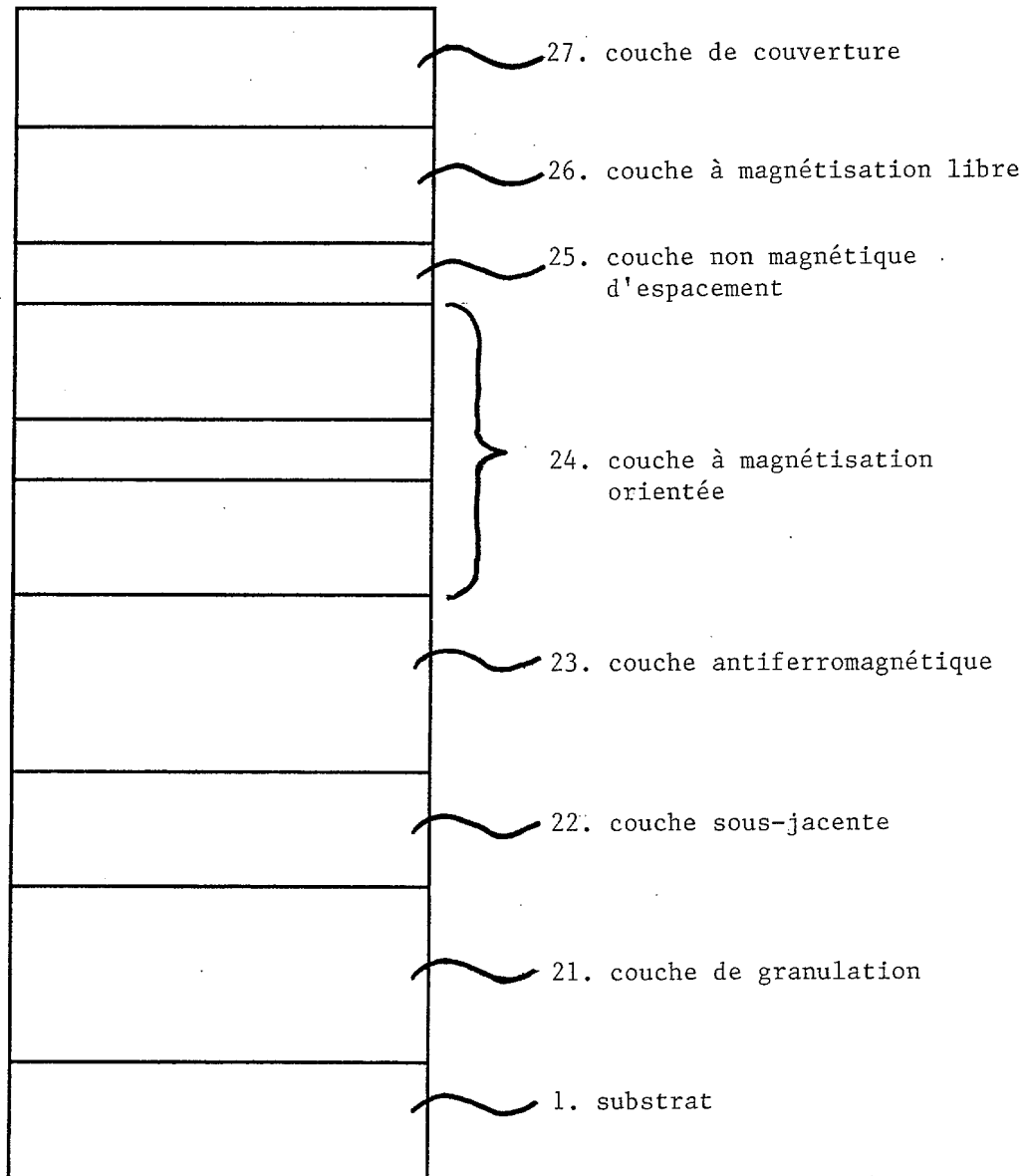


Fig.1

2/11

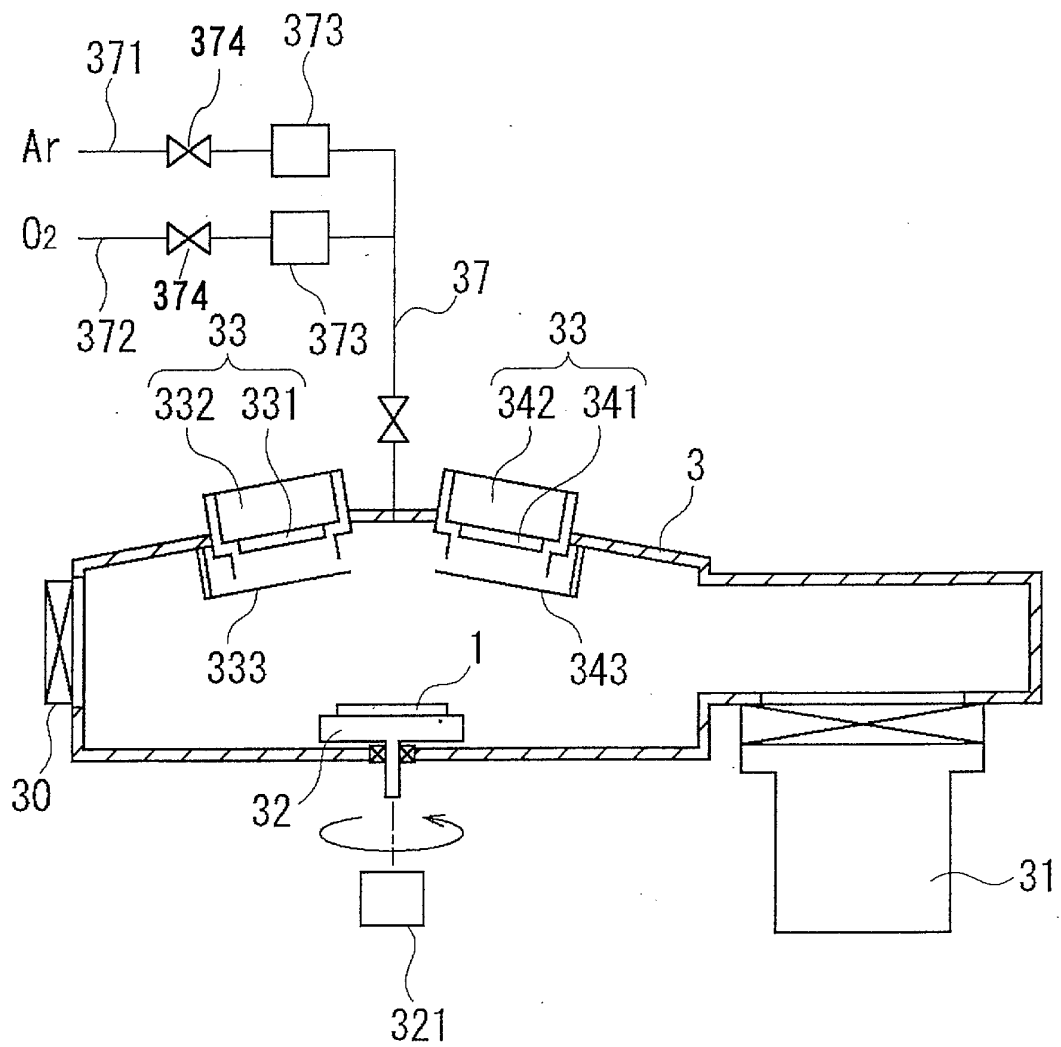


Fig. 2

3/11

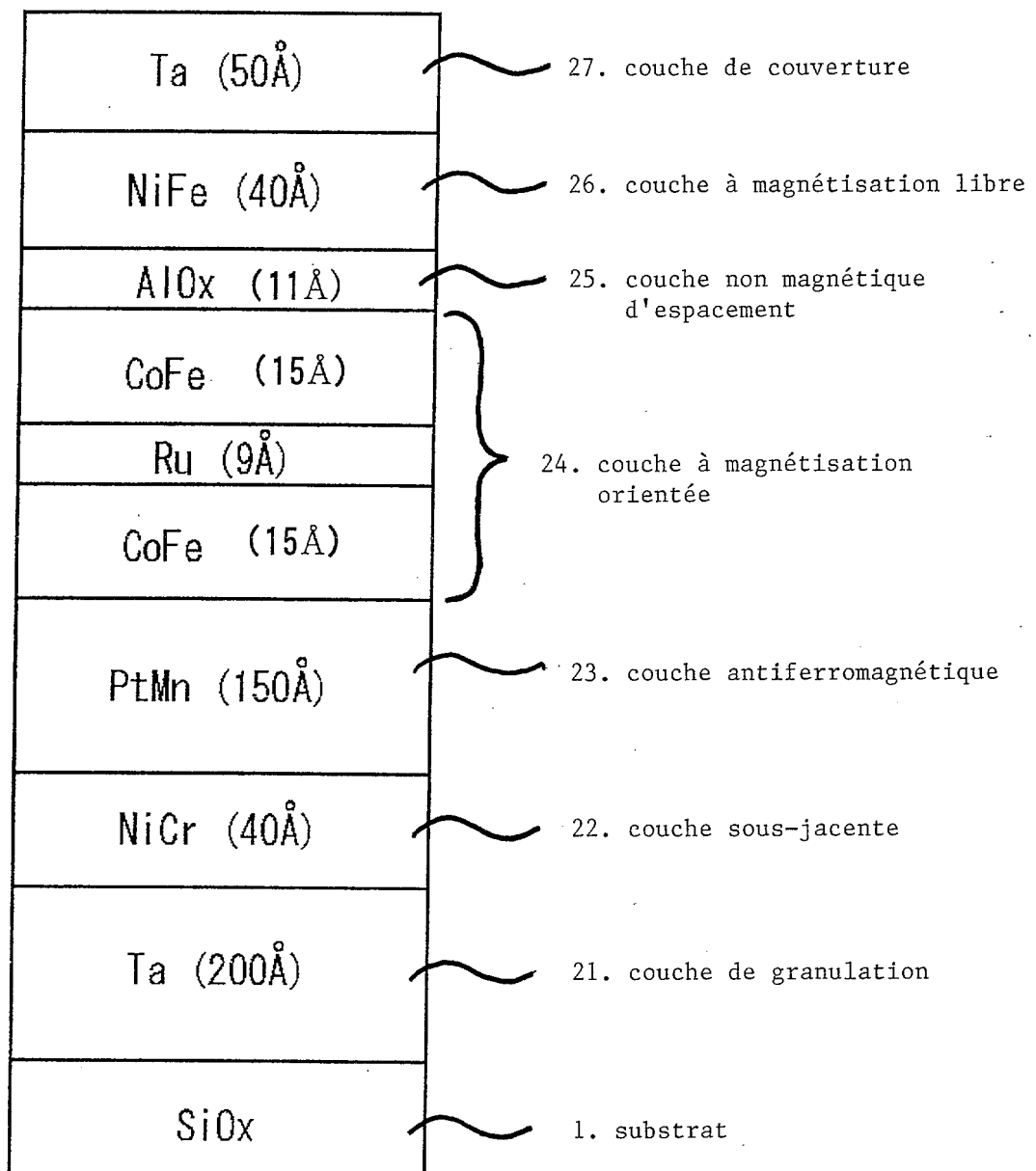


Fig.3

4/11

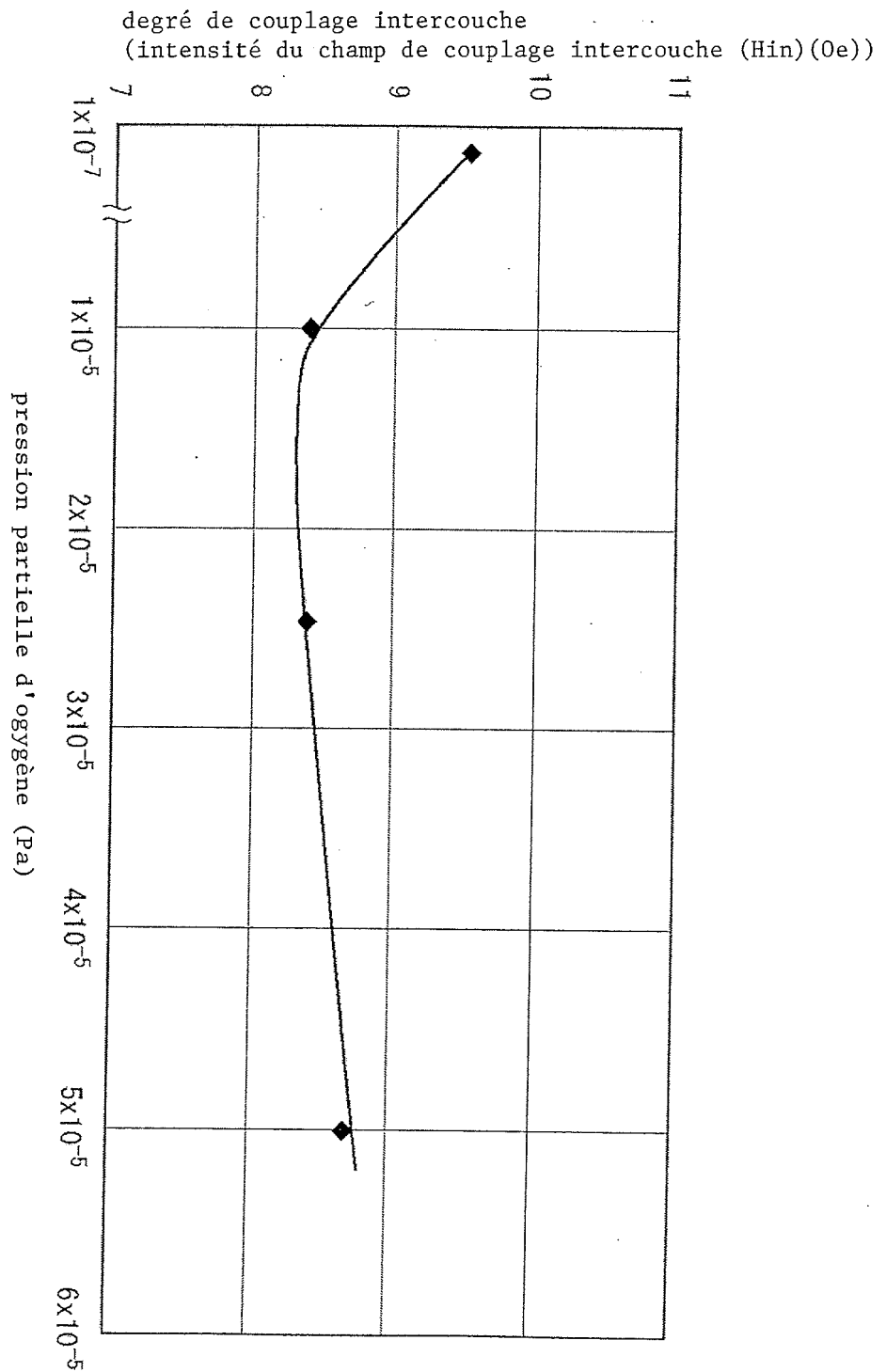
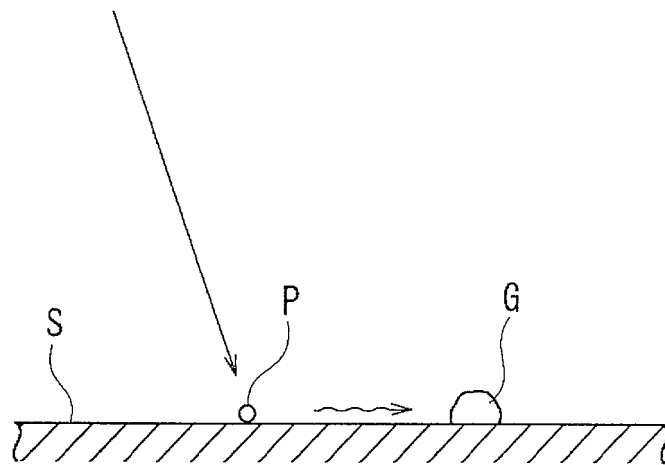
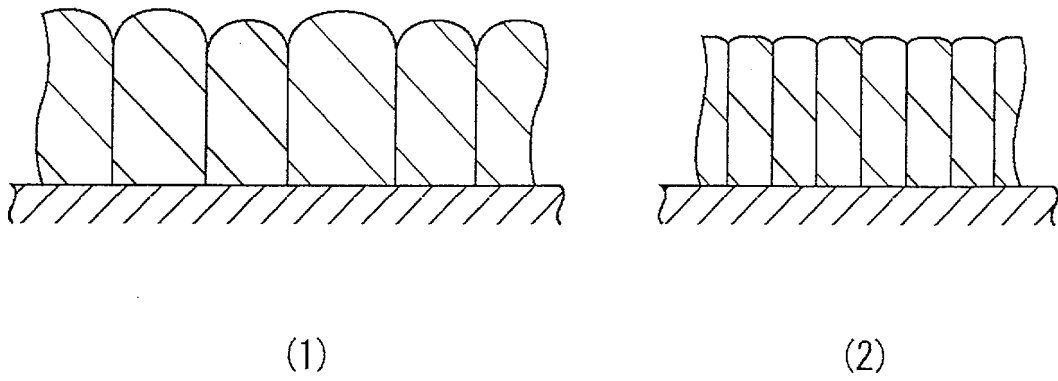


Fig.4

5/11



(3)

Fig.5

6/11

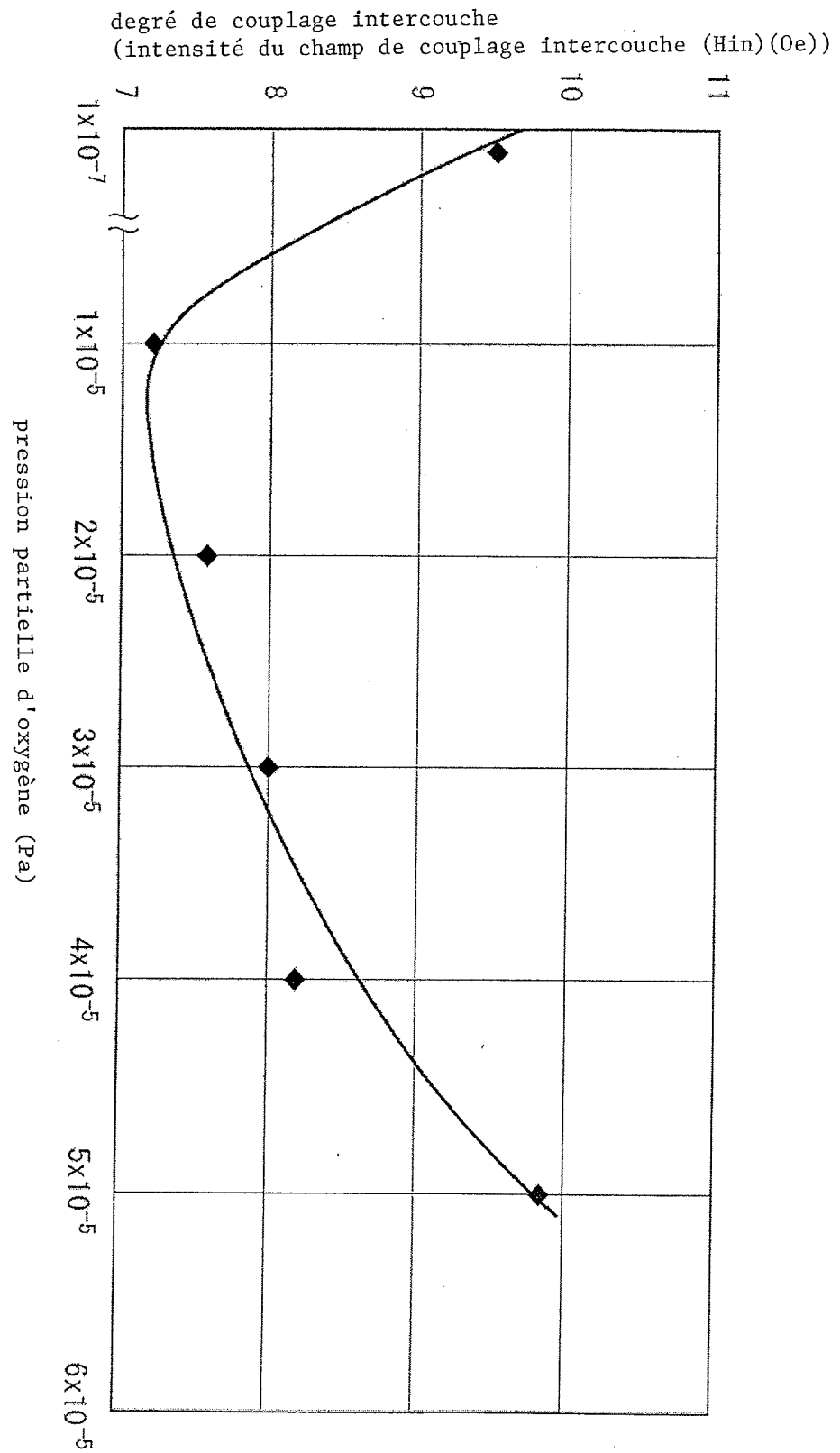


Fig. 6

7/11

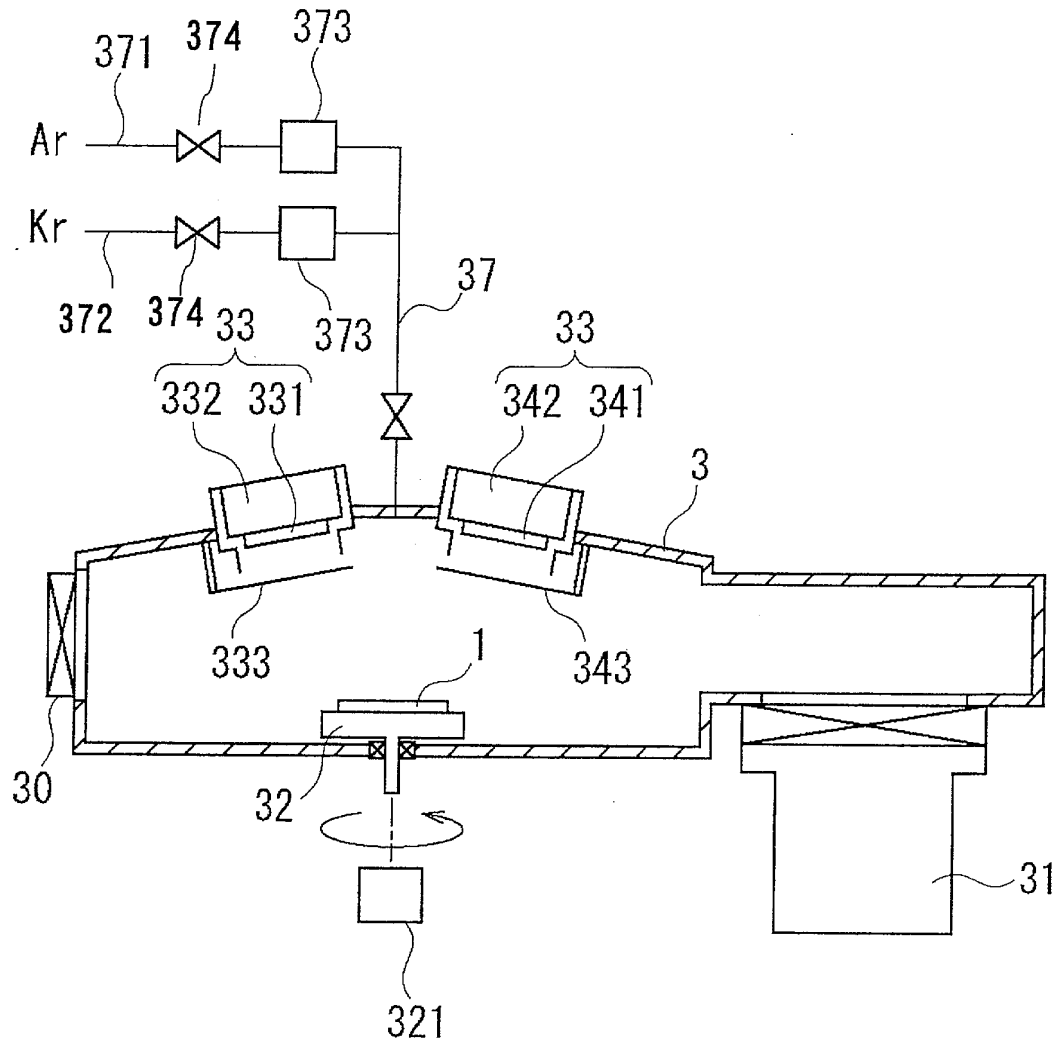


Fig. 7

8/11

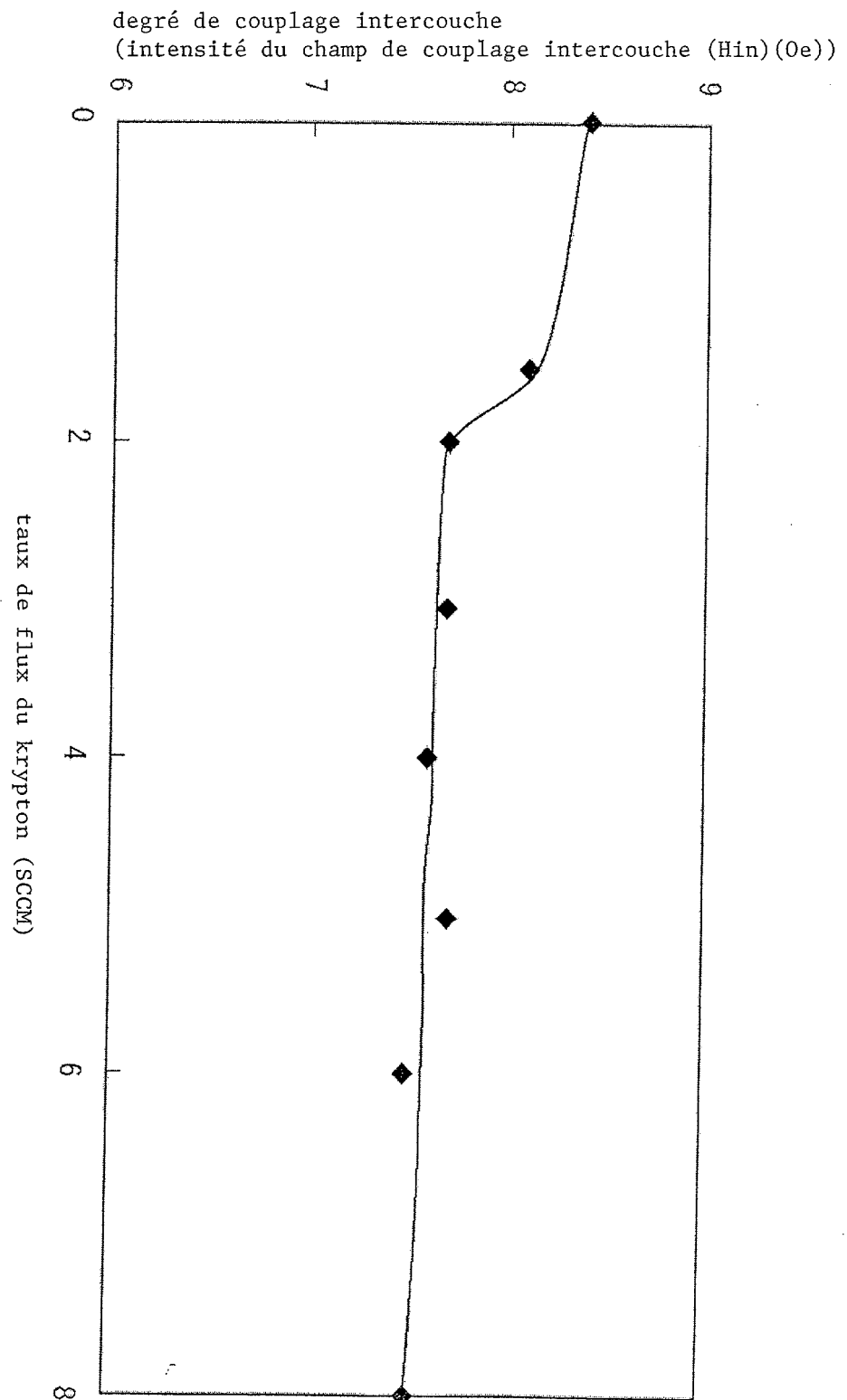


Fig. 8

9/11

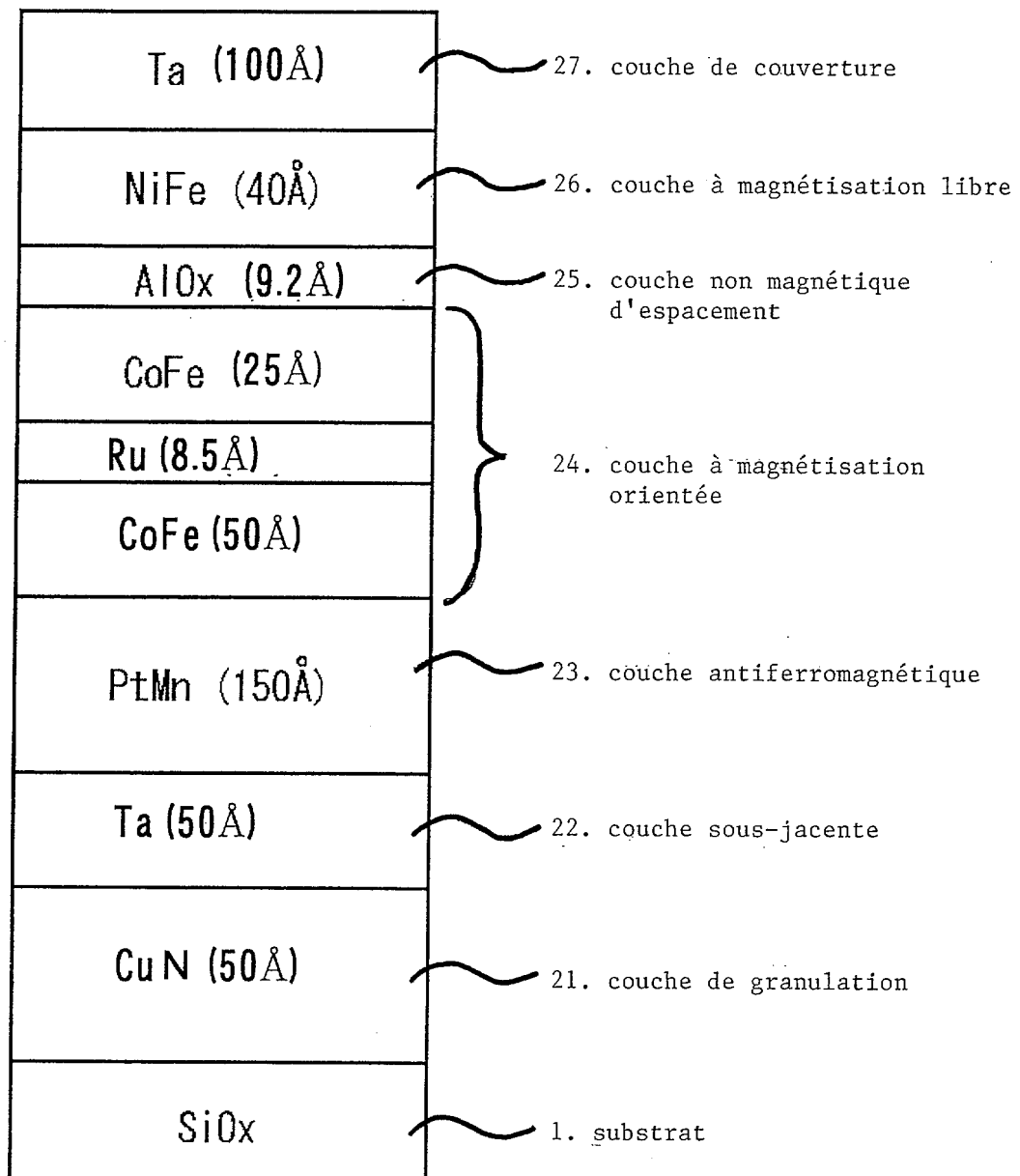


Fig.9

10/11

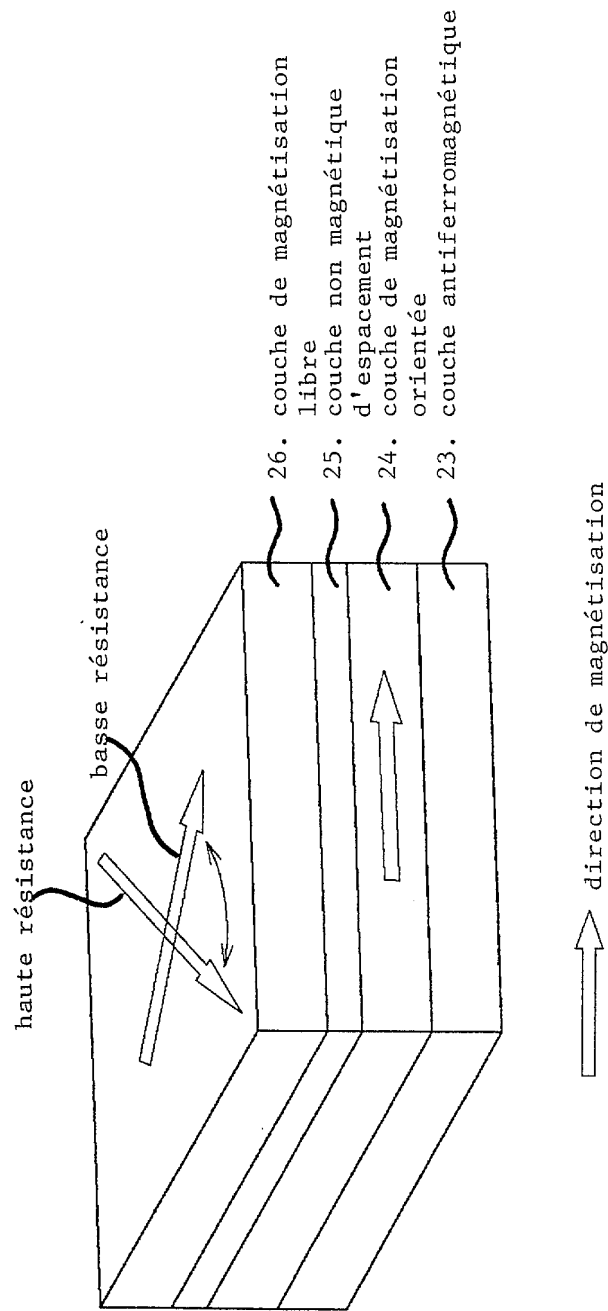


Fig.10

11/11

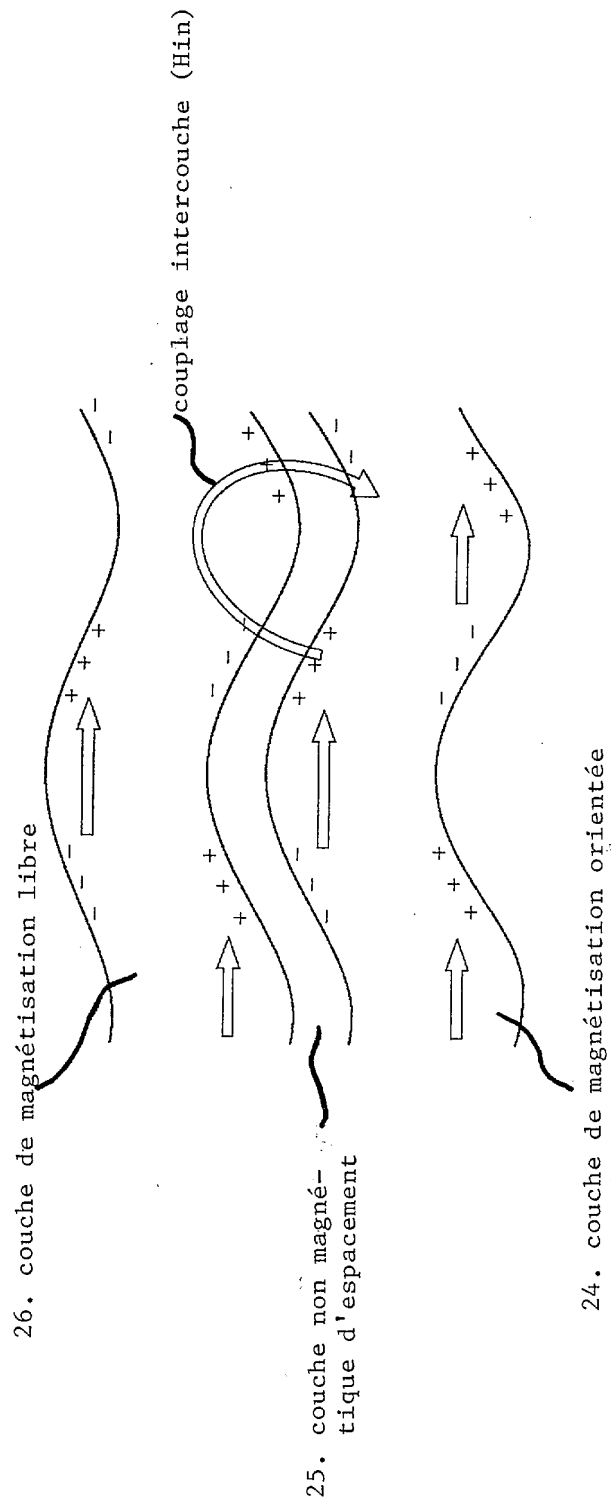


Fig.11