



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 168 383 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
02.01.2002 Bulletin 2002/01

(51) Int Cl.7: **H01F 17/00, H01F 3/14**

(21) Numéro de dépôt: **01420135.4**

(22) Date de dépôt: **13.06.2001**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Etats d'extension désignés:
AL LT LV MK RO SI

(72) Inventeurs:
• **Fedeli, Jean-Marc**
38120 Saint Egreve (FR)
• **Guillon, Bertrand**
87000 Limoges (FR)

(30) Priorité: **29.06.2000 FR 0008413**

(74) Mandataire: **Palix, Stéphane et al**
Cabinet Laurent et Charras 20, rue Louis Chirpaz
B.P. 32
69131 Ecully Cedex (FR)

(71) Demandeur: **Memscap**
38330 Saint Ismier (FR)

(54) **Microcomposant du type micro-inductance ou microtransformateur**

(57) Microcomposant inductif (1), tel que micro-inductance ou micro-transformateur, comportant un bobinage métallique (2) ayant la forme d'un solénoïde et un noyau magnétique (4) en un matériau ferromagnétique

positionné au centre du solénoïde (2), caractérisé en ce que le noyau (4) est constitué de plusieurs tronçons (13-16) séparés par des découpes (17-19) orientées perpendiculairement à l'axe principal (20) du solénoïde (4).

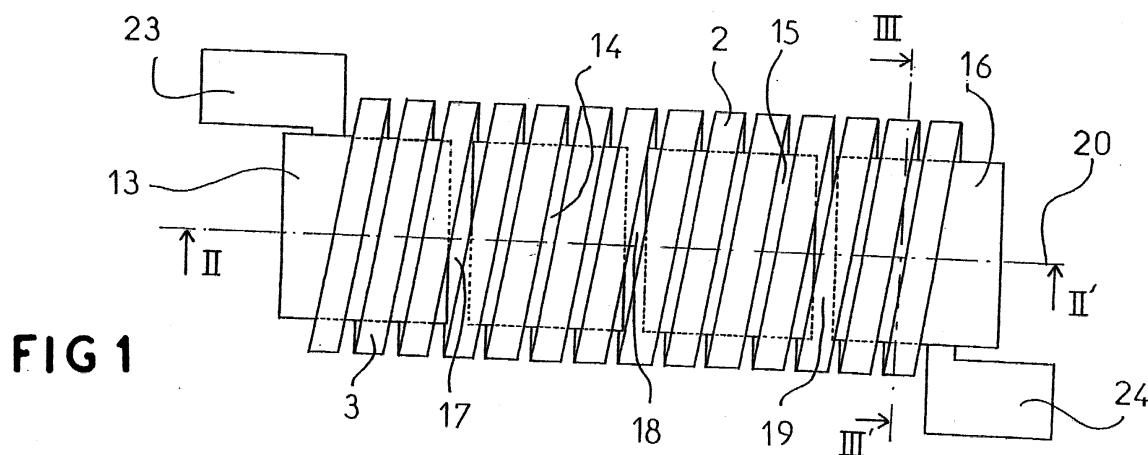


FIG 1

Description

Domaine technique

[0001] L'invention concerne le domaine de la micro-électronique, et plus précisément au secteur de la fabrication des microcomposants, notamment destinés à être utilisés dans des applications radiofréquences. Elle concerne plus précisément des microcomposants tels que des micro-inductances ou des micro-transformateurs équipés d'un noyau magnétique permettant le fonctionnement à des fréquences particulièrement élevées.

Techniques antérieures

[0002] Comme on le sait, les circuits électroniques utilisés pour les applications radiofréquences, telles que notamment la téléphonie mobile, comportent des circuits oscillants incluant des capacités et inductances.

[0003] Compte tenu de la tendance à la miniaturisation, il est impératif que les microcomposants tels que les micro-inductances occupent un volume de plus en plus réduit, tout en conservant une valeur d'inductance suffisante et un coefficient de qualité élevé.

[0004] Par ailleurs, la tendance générale est à l'augmentation des fréquences de fonctionnement. Ainsi, on peut citer à titre d'exemple les fréquences utilisées dans les nouvelles normes UMTS de la téléphonie mobile, qui sont au voisinage de 2,4 GigaHertz, par comparaison avec les fréquences de 900 et 1800 MegaHertz utilisées pour la norme GSM.

[0005] L'augmentation des fréquences de fonctionnement pose des problèmes relatifs au comportement des noyaux magnétiques des micro-inductances.

[0006] En effet, pour obtenir un bon facteur de qualité, on recherche généralement à augmenter la valeur d'inductance de la micro-inductance. A cet effet, on choisit des matériaux magnétiques dont la géométrie et les dimensions permettent d'avoir une perméabilité la plus importante possible.

[0007] Or, compte tenu des phénomènes de gyromagnétisme, il est connu que la perméabilité varie en fonction de la fréquence, et plus précisément qu'il existe une fréquence de résonance au-delà de laquelle une inductance présente un comportement capacitif. Autrement dit, une micro-inductance doit impérativement être utilisée à des fréquences inférieures à cette fréquence de résonance.

[0008] Or, l'augmentation des fréquences d'utilisation se heurte donc au phénomène de résonance gyromagnétique, qui limite pour une géométrie donnée la plage de fréquence dans laquelle l'inductance peut être utilisée de façon optimale.

[0009] Un problème que se propose de résoudre l'invention est celui de la limitation de la fréquence d'utilisation inhérente à l'existence d'un phénomène de gyromagnétisme.

Exposé de l'invention

[0010] L'invention vise donc un microcomposant inductif tel qu'une micro-inductance ou un micro-transformateur, comportant un bobinage métallique ayant la forme d'un solénoïde, et un noyau magnétique en un matériau ferromagnétique positionné au centre du bobinage.

[0011] Conformément à l'invention, le noyau de ce microcomposant est constitué de plusieurs tronçons séparés par des découpes orientées perpendiculairement à l'axe principal du solénoïde.

[0012] Autrement dit, le noyau magnétique ne forme pas une pièce monolithique allongée selon l'axe du solénoïde, mais au contraire est segmenté selon la direction du solénoïde.

[0013] Le fractionnement du noyau magnétique provoque une diminution de la perméabilité magnétique de chaque tronçon, et donc une diminution de la valeur d'inductance du microcomposant. Néanmoins, on a constaté que cet inconvénient est compensé par l'augmentation de la fréquence maximale à laquelle le microcomposant conserve son comportement inductif.

[0014] La détermination de la fréquence de résonance gyromagnétique fait intervenir l'équation de Landau-Lifschitz qui suit :

$$-\frac{1}{\gamma} \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} = \vec{M} \wedge \vec{H} + \frac{\alpha}{\gamma M_s} \frac{\partial \vec{M}}{\partial t} \wedge \vec{M}$$

dans laquelle :

- M représente le moment magnétique,
- H le champ magnétique dans lequel est plongé ce moment,
- γ la constante gyromagnétique,
- et α le facteur d'amortissement.

[0015] Pour déterminer la perméabilité selon l'axe difficile du matériau ferromagnétique, qui correspond à l'axe principal du solénoïde, il convient de déterminer les différents champs magnétiques auxquels le matériau est soumis. Ainsi, lorsqu'un matériau d'une forme donnée est plongé dans un champ magnétique (H_{ext}), les aimantations ont tendance à s'aligner.

[0016] La neutralité du matériau est donc perdue, des charges apparaissent qui créent un champ s'opposant au champ extérieur, diminuant ainsi le champ intérieur résultant (H_{int}). Le champ s'opposant au champ extérieur est généralement dénommé "champ démagnétisant" (H_d), et dépend fortement de la géométrie. Plus précisément, on appelle N le coefficient de champ démagnétisant tel que :

$$\vec{H}_d = -N\vec{M}$$

[0017] Ce coefficient ne dépend que de la géométrie. Ce champ démagnétisant, créé par les composantes d'aimantation selon la direction de l'axe difficile diminue le champ intérieur résultant et s'oppose donc au passage de lignes de flux. Autrement dit, ce champ démagnétisant a pour conséquence une baisse de la perméabilité.

[0018] Ainsi, en tenant compte de cette modélisation, on peut résoudre l'équation de Landau-Lifschitz pour déterminer, selon l'axe difficile, la valeur de la perméabilité. Comme on le sait, la perméabilité magnétique est une grandeur complexe, dans laquelle la partie réelle représente la perméabilité efficace, tandis que la partie imaginaire représente les pertes. Ainsi, la résolution de ces équations donne les valeurs de la partie réelle (μ') et de la partie imaginaire (μ'') fonction de la fréquence, de N, et des propriétés intrinsèques du matériau.

[0019] La fréquence de résonance, pour laquelle la valeur de μ'' est maximale est la suivante :

$$f_{res} = \frac{\gamma}{2\pi} \sqrt{(H_k + N \cdot 4\pi M_s)(H_k + 4 \cdot \pi M_s)}$$

dans laquelle :

- N est le coefficient de champ démagnétisant,
- γ est la constante gyromagnétique,
- H_k est la valeur du champ magnétique de saturation,
- et M_s est la valeur du moment magnétique à la saturation.

[0020] On constate donc que la fréquence de résonance est une fonction croissante du coefficient de champ démagnétisant N. Pour les géométries parallélépipédiques le coefficient de champ démagnétisant est fonction de :

- la longueur du parallélépipède mesuré selon l'axe difficile, c'est-à-dire selon l'axe du solénoïde,
- l'épaisseur du parallélépipède,
- la largeur selon l'axe facile.

[0021] Ainsi, grâce à la géométrie choisie pour le noyau conforme à l'invention, le coefficient de champ magnétisant est nettement plus élevé que pour un noyau monolithique occupant toute la longueur du solénoïde. Il s'ensuit que le champ démagnétisant est également plus fort et que la perméabilité magnétique selon l'axe difficile est plus faible.

[0022] En contrepartie, la fréquence de résonance pour l'effet gyromagnétique est plus élevée, ce qui permet l'utilisation de la micro-inductance ou du micro-transformateur à des fréquences plus élevées.

[0023] Avantageusement en pratique, on a déterminé que les phénomènes de couplage entre les différents tronçons du noyau étaient négligeables ou sans grande influence lorsque la largeur des découpes séparant les

tronçons du noyau, mesurée selon la direction de l'axe du solénoïde, est supérieure à quatre fois l'épaisseur du noyau.

[0024] Lorsque cette largeur est nettement inférieure à cette valeur, les phénomènes de couplage magnétique entre les différents tronçons contribuent à conférer à l'ensemble des tronçons un comportement similaire à celui d'un noyau monolithique, avec la limitation déjà évoquée concernant la fréquence de résonance. A l'inverse, lorsque les tronçons sont trop largement séparés, la valeur de l'inductance baisse du fait de la réduction du volume magnétique.

[0025] Avantageusement en pratique, l'épaisseur du noyau peut être comprise entre 0,1 et 10 micromètres. On constate en effet qu'on peut s'affranchir des phénomènes de courants induits, d'autant plus importants que la fréquence d'utilisation est élevée, en limitant autant que possible l'épaisseur de chaque tronçon du noyau magnétique.

[0026] Pour conserver toutefois une valeur de perméabilité suffisante, il est possible dans une forme particulière de l'invention de réaliser le noyau en plusieurs couches magnétiques superposées présentant chacune une épaisseur limitée.

[0027] En pratique, le noyau peut être réalisé en des matériaux choisis dans le groupe comprenant les alliages à base de fer, de nickel, de cobalt, de zirconium, ou de niobium.

[0028] On obtient des micro-inductances présentant une résistance série minimum et donc un facteur de qualité particulièrement important en réalisant le solénoïde à partir de cuivre électrolytique, qui peut être déposé sur un substrat isolant tel que du quartz ou du verre. Le solénoïde peut également être déposé sur un substrat conducteur ou semi-conducteur, avec interposition d'une couche d'isolant entre ce substrat et le solénoïde.

Description sommaire des figures

[0029] La manière de réaliser l'invention ainsi que les avantages qui en découlent ressortiront bien de la description du mode de réalisation qui suit, à l'appui des figures annexées dans lesquelles :

La figure 1 est une vue de dessus schématique d'une micro-inductance réalisée conformément à l'invention.

La figure 2 est une vue en coupe longitudinale selon un plan II-II' de la figure 1.

La figure 3 est une vue en coupe transversale selon le plan III-III' de la figure 1.

Manière de réaliser l'invention

[0030] Comme déjà présenté, l'invention concerne des microcomposants tels que micro-inductance ou micro-transformateur dont le noyau magnétique est frac-

tionné.

[0031] Comme illustré à la figure 1, une micro-inductance (1) conforme à l'invention comporte un bobinage métallique (2) constitué d'une pluralité de spires (3) enroulées autour du noyau magnétique.

[0032] Plus précisément, chaque spire (3) du solénoïde comprend une partie basse (5) qui est insérée sur la surface du substrat (6) ainsi qu'une pluralité d'arches (7) reliant les extrémités (8, 9) des parties basses adjacentes (5, 5').

[0033] Ainsi, pour obtenir une telle inductance, on procède à la gravure d'une pluralité de canaux parallèles (10) sur la face supérieure d'un substrat isolant ou d'une couche isolante sur un substrat conducteur ou semi-conducteur (6). On obtient les parties basses (5) de chaque spire (3) par croissance électrolytique de cuivre, puis on planarise la surface du substrat (6) pour obtenir un état de surface optimal.

[0034] On effectue ensuite le dépôt d'une couche de silice (11) au-dessus de la face supérieure du substrat (6) de manière à isoler les parties basses (5) des spires des matériaux magnétiques qui seront déposées au-dessus.

[0035] On réalise ensuite le noyau magnétique (4) qui peut s'obtenir par différentes techniques, comme la pulvérisation cathodique ou le dépôt électrolytique. Ainsi, dans une technique additive, on assure le dépôt électrolytique du matériau magnétique au dessus de zones de croissance prédéterminées, situées au-dessus de la pluralité des segments (5) formant les parties basses des spires.

[0036] Conformément à l'invention, le noyau magnétique (4) présente plusieurs tronçons (13-16) séparés les uns des autres par des découpes (17-19) perpendiculaires à l'axe longitudinal (20) du solénoïde (2). Le nombre de tronçons du noyau magnétique (4) est déterminé en fonction de différents paramètres tels que le type de matériau magnétique utilisé, la fréquence maximale à laquelle l'inductance doit être utilisée, la valeur d'inductance souhaitée ainsi que l'épaisseur de la couche de matériau magnétique.

[0037] Dans l'exemple illustré, le noyau magnétique (4) comporte quatre tronçons (13-16) séparés par trois découpes (17-19). Ces quatre tronçons (13-16) peuvent être obtenus comme déjà dit par une technique additive dans laquelle le dépôt électrolytique a lieu sur quatre zones de croissance dessinées au-dessus des segments de cuivre (5).

[0038] Ces quatre tronçons (13-16) peuvent également être obtenus par une technique soustractive consistant à, dans une première étape, à déposer une couche magnétique uniforme sur le substrat, puis dans une seconde étape à éliminer le matériau magnétique pour former les différents tronçons.

[0039] L'épaisseur (e) de la couche magnétique (13-16) est choisie entre 0,1 et 10 micromètres pour obtenir une inductance suffisante tout en limitant les phénomènes de courants induits. La largeur (d) des décou-

pes (17-19) séparant chaque tronçon (13-16) est choisie préférentiellement voisine de quatre fois l'épaisseur (e) de la couche de matériau magnétique. Ce rapport n'est pas respecté dans la figure 2 uniquement pour des questions de clarté de la figure. On peut augmenter l'épaisseur globale du noyau magnétique (4) en réalisant un dépôt de plusieurs couches de matériau magnétique superposées isolées les uns des autres par des couches non magnétiques de préférence isolantes tels que la silice ou le nitrure de silicium.

[0040] Après avoir réalisé le noyau en matériau magnétique (4), on procède à un dépôt d'une couche de silice (22) destinée à isoler électriquement le noyau magnétique (4) de la partie supérieure (7) des spires (2).

[0041] Par la suite, on procède à un dépôt électrolytique de cuivre pour former des arches (7) reliant les extrémités opposées de parties basses adjacentes (5, 5'), pour obtenir le microcomposant illustré à la figure 1. Des étapes ultérieures pour la création de plots de connexion (23, 24) ainsi qu'une éventuelle passivation peuvent être réalisées.

[0042] Comme déjà dit, les matériaux magnétiques utilisés peuvent être relativement variés, dès lors, qu'ils possèdent une forte aimantation et une anisotropie contrôlée. Ainsi, il peut s'agir de matériaux cristallins ou amorphes tels que par exemple le CoZrNb.

[0043] Par ailleurs, le solénoïde peut être réalisé en cuivre comme illustré, ou bien encore incorporer d'autres matériaux à faible résistivité tels que l'or.

[0044] Bien que l'invention soit décrite plus en détail en ce qui concerne une micro-inductance, il va de soi que la réalisation d'un microtransformateur, incluant deux bobinages enroulés sur un noyau commun est également couverte par l'invention.

[0045] Il ressort de ce qui précède que les microcomposants conformes à l'invention présentent de multiples avantages et notamment l'augmentation de la fréquence maximale de fonctionnement par rapport à des microcomposants de dimension et de matériau identique.

[0046] Ces microcomposants trouvent une application toute particulière dans les applications radiofréquences et notamment dans la téléphonie mobile.

45 Revendications

1. Microcomposant inductif (1), tel que micro-inductance ou micro-transformateur, comportant un bobinage métallique (2) ayant la forme d'un solénoïde et un noyau magnétique (4) en un matériau ferromagnétique positionné au centre du solénoïde (2), **caractérisé en ce que** le noyau (4) est constitué de plusieurs tronçons (13-16) séparés par des découpes (17-19) orientées perpendiculairement à l'axe principal (20) du solénoïde (4).
2. Microcomposant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la largeur (d) des découpes (17-19)

séparant chaque tronçon (13-16) du noyau (4), mesurée selon la direction de l'axe principal (20) du solénoïde, est supérieur à quatre fois l'épaisseur (e) du noyau (4).

5

3. Microcomposant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le solénoïde (2) est réalisé à partir de cuivre électrolytique déposé sur un substrat isolant.

10

4. Microcomposant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le solénoïde (2) est réalisé à partir de cuivre électrolytique déposé sur une couche isolante présente sur un substrat conducteur ou semi-conducteur (6).

15

5. Microcomposant selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** l'épaisseur (e) du noyau est comprise entre 0,1 et 10 micromètres.

20

6. Microcomposant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le noyau (4) est réalisé en un matériau choisi dans le groupe comprenant les alliages à base de fer, de nickel, de cobalt, de zirconium ou de niobium.

25

7. Microcomposant selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le noyau est réalisé en plusieurs couches superposées.

30

35

40

45

50

55

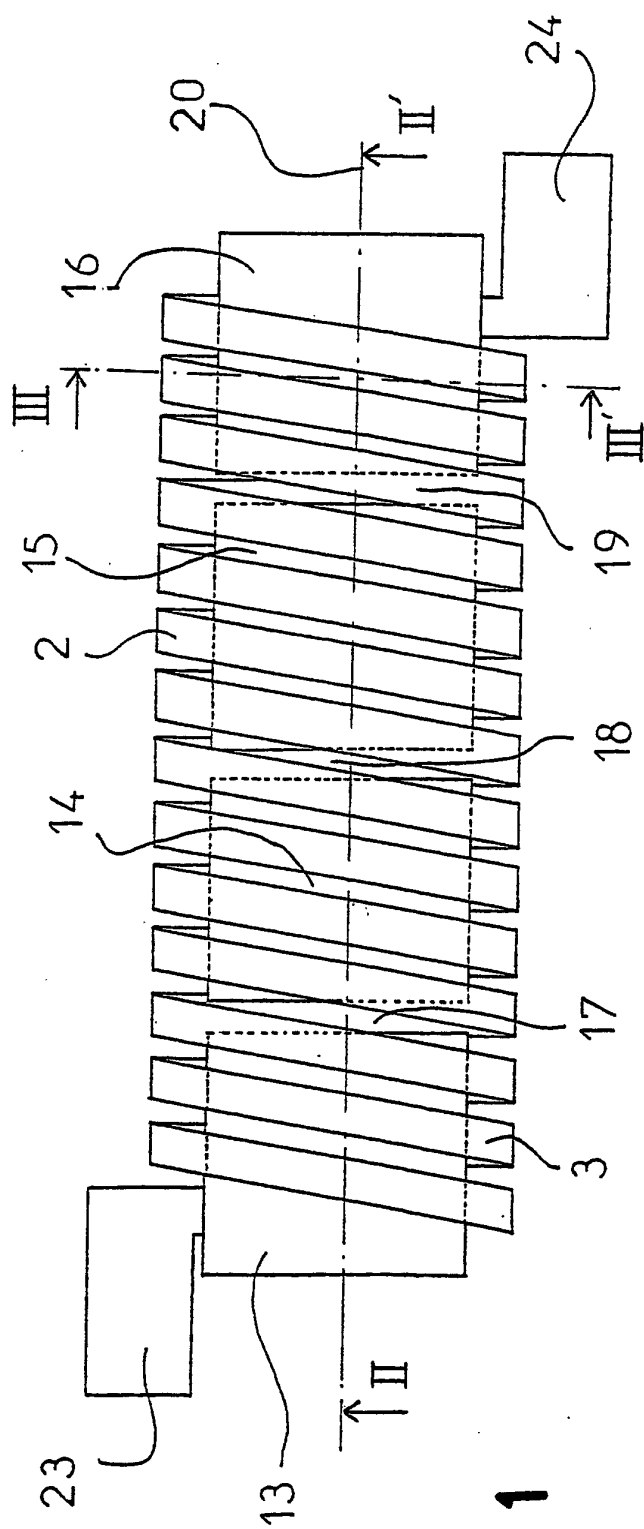


FIG 1

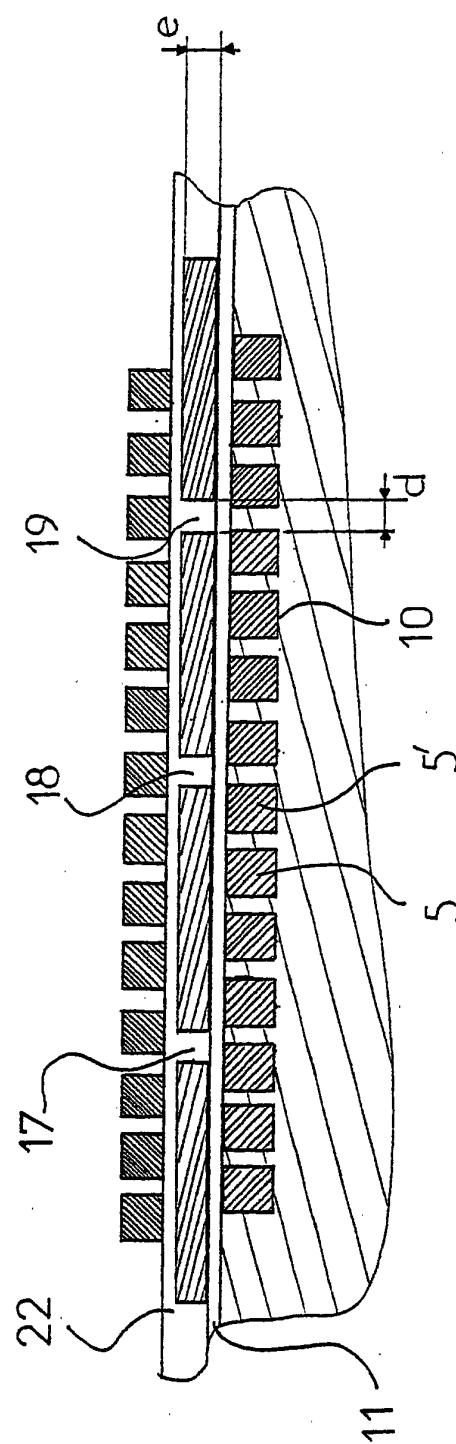


FIG 2

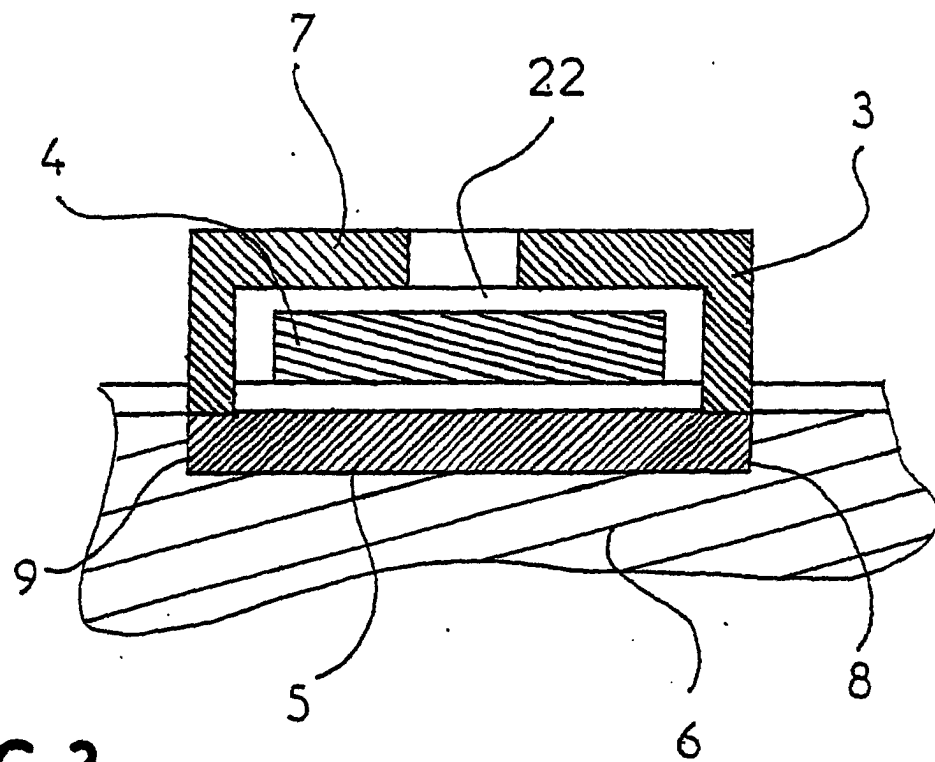


FIG 3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 01 42 0135

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
A	SHIRAKAWA K ET AL: "THIN FILM CLOTH-STRUCTURED INDUCTOR FOR MAGNETIC INTEGRATED CIRCUIT" IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,US,IEEE INC. NEW YORK, vol. 26, no. 5, 1 septembre 1990 (1990-09-01), pages 2262-2264, XP000150520 ISSN: 0018-9464 * page 1, colonne de gauche, dernier alinéa - page 2, colonne de droite, dernier alinéa; figure 1 *	1,2,5,6	H01F17/00 H01F3/14
A	EP 0 725 407 A (IBM) 7 août 1996 (1996-08-07) * colonne 4, ligne 16 - colonne 6, ligne 53; figures 2A-5E *	1,3,4,6	
A	EP 0 642 142 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS ELECTRONICS NV (NL)) 8 mars 1995 (1995-03-08) * colonne 3, ligne 18 - ligne 37; figure 2 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7) H01F
A	DE 27 01 296 B (PHILIPS) 20 avril 1978 (1978-04-20) * colonne 2, ligne 60 - ligne 66; figure 4 *	7	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche LA HAYE		Date d'achèvement de la recherche 8 octobre 2001	Examineur Marti Almeda, R
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03 82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 01 42 0135

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

08-10-2001

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0725407 A	07-08-1996	EP 0725407 A1	07-08-1996
		JP 8250332 A	27-09-1996
EP 0642142 A	08-03-1995	EP 0642142 A2	08-03-1995
		JP 7122432 A	12-05-1995
		US 5767759 A	16-06-1998
DE 2701296 B	20-04-1978	DE 2701296 B1	20-04-1978

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82