

22 Date de dépôt : 06.02.06.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 10.08.07 Bulletin 07/32.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE Etablissement public à caractère industriel et
commercial — FR.

72 Inventeur(s) : DUDEK CHRISTOPHE, DUVERGER
FRANCOIS, LEDIEU MARC et ACHER OLIVIER.

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : BREVATOME.

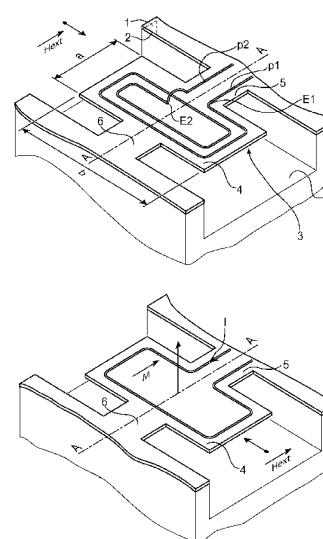
54 INDUCTEUR INTEGRE SUR SEMI-CONDUCTEUR.

57 L'invention concerne un inducteur intégré sur semi-
conducteur caractérisé en ce qu'il comprend:

- un substrat semi-conducteur (1) sur lequel est déposée
une membrane (2),

- au moins une zone évidée (Z) formée dans le substrat
semi-conducteur (1), sous la membrane, la portion de mem-
brane située au dessus de la zone évidée (Z) étant décou-
pée sous la forme d'au moins un motif plan (3) sur lequel est
déposée une piste conductrice (P) qui forme un élément ind-
ucteur apte à être parcouru par un courant, le motif plan (3)
étant constitué d'un élément de membrane (4) et d'au moins
une partie resserrée (5, 6) qui constitue un élément de
liaison entre l'élément de membrane (4) et la membrane (2)
déposée sur le substrat semi-conducteur (1), et

- des moyens pour créer un champ magnétique statique
dans le plan du motif plan.



INDUCTEUR INTEGRE SUR SEMI-CONDUCTEURDomaine technique et art antérieur

5 L'invention concerne un inducteur intégré sur semi-conducteur.

Les inducteurs sont des circuits très fréquemment utilisés en électronique, soit sous forme de composants discrets, soit sous forme de composants intégrés sur Silicium.

10 Un inducteur est généralement composé d'un conducteur en forme de boucle comportant un ou plusieurs tours. Les tours de la boucle peuvent être réalisés autour d'un noyau (c'est la géométrie «solénoïde») ou dans un même plan (c'est la géométrie
15 «spirale» lorsque le conducteur décrit une spirale ou la géométrie « méandre » lorsque le conducteur décrit des méandres).

La géométrie «solénoïde» est très utilisée pour réaliser des inducteurs unitaires et la géométrie
20 «spirale» est très utilisée pour réaliser des associations d'inducteurs.

Pour la réalisation d'inducteurs « solénoïde » ou « spirale » présentant une inductance élevée, il est connu d'utiliser des noyaux magnétiques faits en
25 matériau magnétique doux à haute perméabilité magnétique. Ce noyau magnétique présente alors un volume total non négligeable devant le volume interne du solénoïde ou la puissance troisième du rayon de la spirale. Il en résulte des inducteurs relativement
30 encombrants dont les dimensions sont comprises entre

plusieurs millimètres et plusieurs centimètres peuvent ainsi être réalisés.

Dans le cas d'un inducteur à méandres, le noyau magnétique doit recouvrir, sur une épaisseur de l'ordre
5 du rayon des méandres, les deux faces de la structure qui supporte les méandres. Le volume du matériau magnétique est en conséquence également encombrant dans ce cas.

Dans le domaine de la microélectronique, un des
10 objectifs essentiels est d'intégrer de plus en plus de composants sur une même puce de silicium et, partant, d'intégrer un maximum d'inducteurs sur des puces de silicium.

Un autre objectif essentiel est de diminuer la
15 taille des inductances réalisées sur silicium, à valeur d'inductance donnée. La géométrie spirale est alors la géométrie préférée pour réaliser des inducteurs en microélectronique, du fait qu'elle est planaire et qu'elle requiert un nombre limité de niveaux de
20 métallisation.

Un certain nombre de travaux ont été effectués pour tenter de diminuer la taille des inductances spirales à l'aide de couches de matériaux magnétiques doux (cf. «Sandwich-Type Ferromagnetic RF integrated
25 Inductor », M. Yamaguchi et al., publié dans IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol 49, N° 12, 2001, p 2331 à 2335). Pour une taille donnée, le facteur d'accroissement de la valeur de l'inductance a cependant toujours été relativement
30 faible et, typiquement, est toujours resté inférieur à un facteur 2. On attribue cette limitation au fait que

les couches minces de matériaux magnétiques ne permettent pas d'obtenir des volumes de matière magnétique correctement disposés autour des conducteurs, ce qui ne permet pas une augmentation de l'inductance à la mesure de la perméabilité des noyaux utilisés.

Par ailleurs, des développements relativement récents ont conduit les dispositifs micro électromécaniques connus sous l'abréviation de dispositifs « MEMS » (MEMS pour «Micro Electro Mechanical Systems») à être réalisés sous la forme de circuits intégrés. Il est courant de réaliser, dans ces technologies, des pièces vibrantes ou mobiles en translation ou en rotation. L'actionnement de ces pièces est le plus souvent réalisé par des phénomènes électrostatiques. Certains dispositifs MEMS comportent des matériaux magnétiques. On utilise alors couramment des bobinages et, en particulier, des bobinages planaires, pour réaliser des fonctions d'actionnement sur les parties magnétiques. Sont également connus des systèmes de type «scanner» dans lesquels une couche de matériau magnétique doux est placée sur un axe en flexion et peut être excitée en vibration par un solénoïde externe ou par un réseau de microbobines. Cependant, aucun inducteur intégré sur silicium reposant sur une vibration mécanique dans un champ magnétique statique n'est actuellement connu de l'art antérieur.

Exposé de l'invention

L'inducteur intégré sur silicium de l'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

En effet l'invention concerne un inducteur intégré sur semi-conducteur caractérisé en ce qu'il comprend :

5 - un substrat semi-conducteur ayant une face sensiblement plane sur laquelle est déposée une membrane,

10 - au moins une zone évidée formée dans le substrat semi-conducteur, sous la membrane, la portion de membrane située au dessus de la zone évidée étant découpée sous la forme d'au moins un motif plan sur lequel est déposée une piste conductrice qui forme un élément inducteur apte à être parcouru par un courant, le motif plan étant constitué d'un élément de membrane et d'au moins une partie resserrée qui constitue un
15 élément de liaison entre l'élément de membrane et la membrane déposée sur le substrat semi-conducteur, et

 - des moyens pour créer un champ magnétique statique dans le plan du motif plan.

20 Selon une caractéristique supplémentaire de l'invention :

 - la piste conductrice déposée sur l'élément de membrane dessine une spirale formée entre une première extrémité située à l'extérieur de la spirale et une deuxième extrémité située à l'intérieur de la spirale,
25 et

 - une première partie resserrée est située sur un premier côté de l'élément de membrane, la piste conductrice qui recouvre la première partie resserrée étant formée d'une première fraction de piste
30 conductrice et d'une deuxième fraction de piste conductrice qui relie, respectivement, la première

extrémité et la deuxième extrémité à des éléments conducteurs situés sur la membrane déposée sur le substrat semi-conducteur.

5 Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, au moins une partie resserrée supplémentaire est vierge de toute piste conductrice.

10 Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, la partie resserrée supplémentaire vierge de toute piste conductrice est située sur le premier côté de l'élément de membrane, à côté de la première partie resserrée.

15 Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, la partie resserrée supplémentaire vierge de toute piste conductrice est située sur un deuxième côté de l'élément de membrane, opposé au premier côté.

20 Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, la première partie resserrée et la partie resserrée vierge de toute piste conductrice sont alignées selon un même axe.

Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, un trou débouchant traverse l'élément de membrane de sorte que la piste conductrice en forme de spirale entoure le trou débouchant.

25 Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention :

30 - la piste conductrice déposée sur l'élément de membrane dessine une succession de méandres entre une première extrémité située sur un premier côté de l'élément de membrane et une deuxième extrémité située

sur un deuxième côté de l'élément de membrane opposé au premier côté,

- une première partie resserrée est située sur le premier côté de l'élément de membrane, et

5 - une deuxième partie resserrée est située sur le deuxième côté de l'élément de membrane, la piste conductrice déposée sur la première partie resserrée étant constituée d'une première fraction de piste conductrice qui relie électriquement la première
10 extrémité à un premier élément conducteur situé sur la membrane qui est située sur le substrat semi-conducteur et la piste conductrice déposée sur la deuxième partie resserrée étant constituée d'une deuxième fraction de piste conductrice qui relie électriquement la deuxième
15 extrémité à un deuxième élément conducteur situé sur la membrane qui est située sur le substrat semi-conducteur.

Selon une autre caractéristique supplémentaire de l'invention, au moins une partie resserrée
20 supplémentaire vierge de tout élément conducteur est située sur ledit premier côté de l'élément de la membrane et/ou au moins une partie resserrée supplémentaire vierge de tout élément conducteur est située sur ledit deuxième côté de l'élément de la
25 membrane.

Selon une autre caractéristique de l'invention, l'épaisseur de la membrane dans la partie resserrée est sensiblement comprise entre le quart de l'épaisseur et quatre fois l'épaisseur de la membrane située hors la
30 partie resserrée.

Selon l'invention, il est possible de conférer une perméabilité élevée à des inducteurs planaires, réalisables sur silicium, du fait de l'application d'un champ magnétique à la puce de silicium. Plusieurs
5 inducteurs (par exemple jusqu'à une cinquantaine) peuvent avantageusement être réalisés sur silicium dans une zone de la puce soumise au champ magnétique. Le champ magnétique peut être créé à partir d'un ou de plusieurs aimants permanents placés, par exemple, dans
10 le boîtier dans lequel la puce est intégrée.

Il faut ici rappeler qu'il ne faut pas confondre les aimants permanents, qui sont des matériaux magnétiques dont une propriété essentielle est d'avoir une aimantation qui est insensible à des
15 champs magnétiques appliqués, et les matériaux magnétiques à haute perméabilité, habituellement utilisés comme noyaux d'inducteurs, et qui ont eux, au contraire, une aimantation qui accompagne très facilement tout champ magnétique extérieur. Les
20 matériaux magnétiques utilisés comme noyaux d'inducteurs voient toutes leurs propriétés anéanties s'ils sont placés dans un champ magnétique extérieur assez fort, par exemple celui créé par un aimant.

Pour obtenir un inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'invention, on part d'un motif
25 inductif planaire, comme, par exemple, une spirale. Contrairement à l'art antérieur, on donne un degré de liberté mécanique, au motif inductif planaire. Le degré de liberté mécanique du motif inductif planaire
30 comporte une composante en torsion, ce qui signifie que, grâce à ce degré de liberté, le plan du motif

inductif peut changer d'orientation sous l'effet d'un mouvement de torsion. A ce degré de liberté sont donc associés un axe de torsion et une constante de torsion.

L'inducteur intégré de l'invention peut être
5 réalisé à l'aide des technologies de gravure du silicium et, plus généralement, de toutes les technologies pouvant être utilisées pour réaliser des dispositifs «MEMS ».

10 Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de modes de réalisation préférentiels faits en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

- 15 - la figure 1 représente un premier exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'invention ;
- les figures 2a et 2b illustrent l'actionnement de l'inducteur intégré représenté en figure 1 ;
- 20 - la figure 3 représente un deuxième exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'invention ;
- la figure 4 représente un troisième exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon
25 l'invention ;
- la figure 5 représente un exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'invention et sa mise en boîtier ;
- la figure 6 représente des courbes de réponse
30 (inductance et résistance) d'un exemple d'inducteur selon l'invention.

Description détaillée des modes de mises en œuvre
préférentiels de l'invention

La figure 1 représente un premier exemple
5 d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon
l'invention.

Un substrat micro-électronique 1 est recouvert
d'une membrane 2. Par substrat microélectronique, on
entend un substrat couramment utilisé en
10 microélectronique tel qu'un substrat semi-conducteur,
par exemple le silicium, ou un substrat de verre. La
membrane 2 est déposée sur le substrat 1 par tout
procédé connu du domaine de la microélectronique tel
que, par exemple, le dépôt chimique en phase vapeur
15 (CVD pour « Chemical Vapor Deposition ») ou le dépôt
physique en phase gazeuse (PVD pour « Physical Vapor
Deposition »). Une zone évidée Z est formée dans le
substrat micro-électronique 1, sous la membrane 2, de
sorte qu'une portion de membrane 3 se situe au dessus
20 de la zone évidée Z. La zone évidée Z est formée, par
exemple, par attaque chimique sélective, après masquage
des zones à protéger (« RIE » pour « Reactive Ion
Etching »). La portion de membrane 3 est découpée sous
la forme d'un motif plan sur lequel est déposée une
25 piste conductrice P. La portion de membrane 3 comprend
un élément central 4 et deux zones resserrées 5 et 6 de
part et d'autre de l'élément central 4. Les zones
resserrées 5 et 6 relient l'élément central 4 à la
membrane 2 déposée sur le substrat microélectronique 1.
30 Les zones 5 et 6 sont alignées selon un axe AA qui
définit un axe de torsion pour la membrane 3. L'élément

4 a une dimension « a » selon l'axe AA et une dimension « b » selon l'axe perpendiculaire à l'axe AA.

La portion de membrane 3 est plongée dans un champ magnétique constant $\vec{H}_{ext}$, également appelé « champ magnétique statique ». La direction du champ magnétique $\vec{H}_{ext}$ est située dans le plan de la portion de membrane 3. De façon préférentielle, la direction du champ magnétique $\vec{H}_{ext}$ est perpendiculaire à l'axe de torsion AA. Le champ $\vec{H}_{ext}$ peut être créé, par exemple, à l'aide de deux aimants permanents situés à l'intérieur d'un boîtier (non représenté sur la figure) dans lequel l'inducteur intégré peut être placé. Il est également possible d'utiliser des pièces en matériau magnétique doux pour guider les lignes de champ magnétique à partir d'un seul aimant permanent et obtenir ainsi le champ magnétique désiré. D'une manière générale, les moyens pour créer un champ magnétique à l'aide d'un ou de plusieurs aimants permanents, en utilisant au besoin des pièces d'alliage doux également appelées «culasses», sont bien connus dans l'état de l'art.

La piste conductrice P dessine sur l'élément central de membrane 4 une spirale entre une première extrémité E1 à l'extérieur de la spirale et une deuxième extrémité E2 à l'intérieur de la spirale. Sur la zone resserrée 5, la piste conductrice P dessine deux lignes voisines l1 et l2 qui relient respectivement la première extrémité E1 et la deuxième extrémité E2 à des circuits (non représentés sur la figure 1) situés sur la membrane déposée sur le substrat. La zone resserrée 6 est vierge de toute piste

conductrice. Dans le cas où la spirale ne comporte qu'une seule spire, un seul niveau de masquage est suffisant pour réaliser la piste conductrice P. Dans le cas où la spirale comporte plusieurs spires, il est
 5 nécessaire de relier l'extrémité intérieure E2 de la spirale au reste du circuit par une connexion électrique qui passe au-dessus des pistes. Deux niveaux de masquage sont alors nécessaires.

Le fonctionnement de l'inducteur intégré
 10 représenté en figure 1 va maintenant être expliqué, en référence aux figures 2a et 2b. A titre d'exemple non limitatif, la spirale représentée en figure 2a ne comprend qu'une seule spire.

Lorsqu'un courant I parcourt la piste
 15 conductrice P, ce courant crée un moment magnétique $\vec{M}$ (cf. figure 2a), lequel crée lui-même un couple de torsion C tel que :

$$C = \vec{M} \wedge \vec{H}_{ext}$$

Le couple de torsion C fait alors pivoter la
 20 membrane d'un angle θ par rapport à sa position d'équilibre (cf. figure 2b). A cet instant, le courant qui parcourt le circuit a changé de valeur et atteint, par exemple, une valeur inférieure à la valeur qui a créé le moment magnétique. Les parties resserrées 5 et
 25 6 de la membrane qui définissent l'axe de torsion AA emmagasinent de l'énergie mécanique et exercent, en retour, un couple mécanique qui tend à faire revenir la portion de membrane 3 dans sa position initiale. Durant ce mouvement de retour, l'intensité du flux ϕ
 30 coupé par le motif inductif s'écrit :

$$\phi = S H_{ext} \sin(\theta),$$

où S est la surface de la spirale.

La tension e aux bornes de la spirale s'écrit
alors :

$$e = -d\phi/dt \quad (\text{loi de Lenz})$$

5 Pour un courant sinusoïdal de pulsation ω , la
quantité $d\phi/dt$ est proportionnelle à la pulsation ω .
Donc, en revenant dans sa position initiale, le système
crée une tension à ses bornes, proportionnelle à ω .
L'inducteur de l'invention présente donc un
10 fonctionnement totalement différent des inducteurs
connus de l'art antérieur.

L'inducteur de l'invention est caractérisé par une impédance Z (rapport de la tension e à ses bornes et du courant I qui le parcourt) de la forme :

$$Z = j L \omega$$

La grandeur L est donc assimilable à une inductance. De façon avantageuse, l'inducteur de l'invention peut donc se substituer aux inductances communément réalisées en microélectronique. La grandeur L dépend non seulement des caractéristiques de la spire (aire, nombre de tours, résistance électrique), mais aussi du champ magnétique appliqué, de la constante de torsion et de l'inertie de la membrane.

Une formule approchée de l'inductance L peut
25 être estimée. A une fréquence suffisamment faible
devant la fréquence de résonance, il vient :

$$L = L_0 + (\mu_0 S N H_{\text{ext}})^2 / K1$$

où :

- L_0 est l'inductance de la spirale lorsque celle-ci est fixe,
- μ_0 est la perméabilité du vide,

- S est la surface totale de la spirale,
 - N est le nombre de spires de la spirale,
 - H_{ext} est le champ magnétique appliqué,
 - K1 est une constante mécanique décrivant le
- 5 couple de rappel de l'axe en torsion AA.

Un avantage de l'inducteur de l'invention est que le terme $(\mu_0 S N H_{\text{ext}})^2 / K1$ peut être rendu tellement grand devant le terme L_0 que le terme L_0 peut être négligé l'expression de L.

10 Il faut ici noter que l'inductance L devient très faible au-delà de la fréquence de résonance F_r du dispositif. La fréquence de résonance F_r est donnée approximativement par l'expression :

$$(2 \pi F_r)^2 = K1 / I_x$$

15 dans laquelle I_x est le moment d'inertie de la portion de membrane 3 par rapport à l'axe de torsion AA.

Pour des applications à des fréquences élevées, on cherche à réduire le moment d'inertie. La réduction du moment d'inertie s'effectue alors par tout moyen

20 connu en soi : diminution de l'épaisseur de la membrane (typiquement $5\mu\text{m}$, voire $1\mu\text{m}$), choix d'une dimension b de la portion de membrane 4 très inférieure à la dimension a (le rapport b/a peut être typiquement inférieur à 4, voire à 10).

25 Les zones resserrées 5 et 6 sont utilisées comme poutres de torsion/flexion et, en conséquence, leurs caractéristiques mécaniques en torsion/flexion sont importantes pour ajuster la valeur et la fréquence de résonance de l'inductance L. En fonction des

30 résultats souhaités, on est alors amené à ajuster la longueur et/ou la largeur et/ou l'épaisseur des zones

resserrées. L'épaisseur de la membrane dans les zones resserrées pourra ainsi être plus mince ou plus épaisse qu'ailleurs (par exemple de quatre fois plus mince à quatre fois plus épaisse). La réalisation d'une
5 épaisseur différente de la membrane s'effectue par tout moyen connu en soi, par exemple par masquage et attaque chimique des zones à amincir ou par masquage des zones destinées à être les plus minces et dépôt d'une couche supplémentaire dans les zones destinées à être les plus
10 épaisses.

La figure 3 représente un deuxième exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'invention. La portion de membrane 7 située au dessus de la zone évidée Z est ici constituée d'un élément
15 plan 8 sur lequel est déposée une piste conductrice P en forme de spirale et d'un seul élément de liaison 9 entre l'élément plan 8 et la portion de membrane 2 qui recouvre le substrat semi-conducteur. L'élément de liaison 9 est assimilable à une poutre d'axe XX pouvant
20 être sollicitée en flexion. Outre le mouvement de flexion, l'élément de liaison 9 permet également l'établissement d'un mouvement de torsion de l'élément plan 8. Le champ magnétique H_{ext} est sensiblement aligné dans la direction de l'axe XX. De façon préférentielle,
25 au moins un trou débouchant T est présent au centre de l'élément plan 8. Avantageusement le(s) trou(s) T permettent d'alléger le poids de l'élément 8, autorisant ainsi une plus grande mobilité de cet élément. Un autre avantage de la présence du (des)
30 trou(s) T est de limiter l'amortissement mécanique dû

au frottement de la membrane contre l'air, dans le cas d'un inducteur sous air.

Selon l'exemple de réalisation de l'invention représenté en figure 3, un seul élément de liaison relie l'élément de membrane plan 7 à la portion de membrane 2 qui recouvre le substrat semi-conducteur. L'invention concerne également d'autres configurations (non représentées sur les figures) dans lesquelles d'autres éléments de liaison relient l'élément de membrane plan 7 à la portion de membrane 2 qui recouvre le substrat semi-conducteur. Ces autres éléments de liaison, situés du même côté de l'élément 8 que l'élément de liaison 9, constituent alors d'autres éléments de maintien pour l'élément 8. Les mêmes remarques que celles faites ci-dessus s'appliquent ici pour la diminution du moment d'inertie de la membrane (diminution de l'épaisseur, proportion ajustée des dimensions a, b de la membrane).

La figure 4 représente un troisième exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur de l'invention. L'inducteur intégré selon le troisième exemple, de même que l'inducteur intégré selon le premier exemple, comprend un substrat microélectronique 1 recouvert d'une membrane 2, une zone évidée Z formée dans le substrat microélectronique 1, sous la membrane 2, de sorte qu'une portion de membrane 3 se situe au dessus de la zone évidée, la portion de membrane 3 comprenant un élément central 4 et deux zones resserrées 5 et 6 de part et d'autre de l'élément central 4. Les zones 5 et 6 sont alignées selon un axe AA qui constitue un axe de torsion. Les zones resserrées 5 et 6 sont ainsi

assimilables à une poutre sollicitée en torsion, comme dans le cas du premier exemple. La différence avec le premier exemple consiste en ce que la piste conductrice P présente une succession de méandres entre une
5 première extrémité Ea située sur un premier côté de l'élément central 4 et une deuxième extrémité Eb située sur un deuxième côté de l'élément central, opposé au premier côté. Les zones 5 et 6 sont recouvertes, respectivement, d'une première portion de piste
10 conductrice p1 et d'une deuxième portion de piste conductrice p2. Les portions de piste p1 et p2 relient respectivement l'extrémité Ea et l'extrémités Eb à des circuits électriques (non représentés sur la figure 4) situés sur la portion de membrane 2. Les mêmes
15 remarques que précédemment s'appliquent ici aussi pour la diminution du moment d'inertie de la membrane (diminution de l'épaisseur et/ou proportion ajustée des dimensions a, b).

Un avantage de la topologie d'une piste
20 conductrice qui forme des méandres consiste en ce que le conducteur qui forme la piste conductrice peut être réalisé à l'aide d'un seul niveau de masquage, quels que soient la taille, le nombre et la forme des méandres.

25 En terme de fabrication, la membrane peut être en silicium, en silicium polycristallin ou en nitrure de silicium, selon la filière retenue pour la réaliser ainsi que pour réaliser la zone évidée Z sous la membrane. Son épaisseur est, selon les applications,
30 typiquement comprise entre 100µm et 0,05µm.

La figure 5 représente un exemple d'inducteur intégré sur semi-conducteur de l'invention mis en boîtier.

Un boîtier B comprend un support 11 sur lequel
5 est rapportée, par collage ou par soudure, une puce 12.
La puce 12 est un composant semi-conducteur qui comprend un grand nombre d'inducteurs élémentaires, par exemple une trentaine. Deux aimants permanents A1, A2 sont placés sous le couvercle 10 du boîtier B pour
10 créer un champ magnétique. A l'aide d'un seul dispositif de création de champ magnétique, il est ainsi possible de réaliser un inducteur de très faible encombrement constitué d'un nombre important d'inducteurs élémentaires. C'est un moyen très
15 avantageux pour diminuer la taille des inducteurs qui sont présents en grands nombres dans les composants actifs ou passifs (en particulier les filtres).

Exemples de réalisation

Des exemples numériques de réalisation
20 d'inducteur de l'invention vont maintenant être donnés.

Premier exemple :

La membrane est en silicium, de masse volumique 2.33 g.cm^3 , de coefficient de poisson égal à 0.17 et de module d'Young 150 GPa. L'épaisseur de la membrane est
25 égale à 10 μm . L'élément central de membrane 3 forme un carré de 800 μm de côté et les zones resserrées (poutres de torsion) sont de section carrée et ont une longueur de 500 μm . Sur l'élément central 3, une piste de cuivre de largeur sensiblement égale à 5 μm dessine
30 une seule spire carrée qui longe le bord de l'élément central 3 (la spire unique dessine alors un carré de

sensiblement $790\text{ }\mu\text{m}$ de côté). Le champ magnétique est obtenu à partir d'un seul aimant et de pièces polaires en matériau magnétique doux (par exemple du Permalloy). Le champ magnétique statique est de 0.5T .

5 La figure 6 représente l'évolution de l'inductance L et de la résistance R de l'inducteur ainsi formé. L'inductance L est de l'ordre de $1,2\mu\text{H}$ pour des fréquences allant jusqu'à 1kHz , la fréquence de coupure étant de l'ordre de $1,6\text{kHz}$.

10 Deuxième exemple :

Toutes choses égales par ailleurs, la piste dessine une spirale de 15 spires espacées les unes des autres de $3\text{ }\mu\text{m}$. La largeur de la piste est égale à $5\mu\text{m}$ et son épaisseur est comprise entre $1\mu\text{m}$ et $3\mu\text{m}$. La
15 valeur de l'inductance L est alors comprise entre $0,2\text{mH}$ et $0,3\text{mH}$.

Troisième exemple :

La membrane est une membrane en nitrure de silicium Si_3N_4 d'épaisseur $0,1\mu\text{m}$. La spirale comporte un
20 seul tour, sa largeur est égale à $5\mu\text{m}$ et son épaisseur est également égale à $5\mu\text{m}$. Les zones resserrées 5 et 6 (poutres de torsion) ont une longueur de $0.1\text{ }\mu\text{m}$, une largeur de $5\text{ }\mu\text{m}$ et une épaisseur de $0.05\text{ }\mu\text{m}$. Le système peut être placé sous vide afin d'obtenir un coefficient
25 de frottement visqueux très faible. Le champ magnétique peut être obtenu, par exemple, en plaçant deux petits aimants dans un boîtier, le pôle Nord de l'un étant séparé du pôle Sud de l'autre par une pièce plastique non magnétique, l'inducteur étant situé sous le
30 boîtier, dans un espace situé sensiblement entre les deux aimants. Des aimants de type «Néodyme Fer Bore»

sont adaptés à une telle utilisation, puisqu'ils permettent de produire un champ magnétique dont l'intensité dépasse le Tesla. Pour l'exemple considéré, le champ appliqué vaut ainsi 10000 Gauss. L'inductance
5 de l'inducteur ainsi obtenue est sensiblement égale à 1,5nH, soit une valeur environ 200 fois plus élevée que celle d'un inducteur classique. Sa fréquence de coupure est de l'ordre du MHz (0.94MHz).

Pour obtenir un coefficient de qualité
10 important, l'inducteur magnétomécanique peut être placé sous vide en utilisant, par exemple, les technologies utilisées de manière usuelle dans le domaine des MEMS.

REVENDICATIONS

1. Inducteur intégré sur semi-conducteur caractérisé en ce qu'il comprend :

- 5 - un substrat semi-conducteur (1) ayant une face sensiblement plane sur laquelle est déposée une membrane (2),
- au moins une zone évidée (Z) formée dans le substrat semi-conducteur (1), sous la membrane, la
- 10 portion de membrane située au dessus de la zone évidée (Z) étant découpée sous la forme d'au moins un motif plan (3) sur lequel est déposée une piste conductrice (P) qui forme un élément inducteur apte à être parcouru par un courant, le motif plan (3) étant constitué d'un
- 15 élément de membrane (4) et d'au moins une partie resserrée (5, 6) qui constitue un élément de liaison entre l'élément de membrane (4) et la membrane (2) déposée sur le substrat semi-conducteur (1), et
- des moyens pour créer un champ magnétique
- 20 statique dans le plan du motif plan.

2. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 1, dans lequel :

- la piste conductrice (P) déposée sur
- 25 l'élément de membrane (4) dessine une spirale formée entre une première extrémité (E1) située à l'extérieur de la spirale et une deuxième extrémité (E2) située à l'intérieur de la spirale, et
- une première partie resserrée (5) est située
- 30 sur un premier côté de l'élément de membrane (4), la piste conductrice (P) qui recouvre la première partie

resserrée étant formée d'une première fraction de piste conductrice (p1) et d'une deuxième fraction de piste conductrice (p2) qui relie, respectivement, la première extrémité (E1) et la deuxième extrémité (E2) à des éléments conducteurs situés sur la membrane (2) déposée sur le substrat semi-conducteur.

3. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 2, dans lequel au moins une partie resserée supplémentaire est vierge de toute piste conductrice (6).

4. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 3, dans lequel la partie resserée supplémentaire (6) vierge de toute piste conductrice est située sur le premier côté de l'élément de membrane (4), à côté de la première partie resserée (5).

5. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 3, dans lequel la partie resserée supplémentaire (6) vierge de toute piste conductrice est située sur un deuxième côté de l'élément de membrane (4), opposé au premier côté.

6. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 5, dans lequel la première partie resserée (5) et la partie resserée (6) vierge de toute piste conductrice sont alignées selon un même axe (AA).

7. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, dans lequel un trou débouchant (T) traverse l'élément de membrane (4) de sorte que la piste conductrice en forme de spirale entoure le trou débouchant (T).

8. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 1, dans lequel :

- la piste conductrice déposée sur l'élément de membrane (4) dessine une succession de méandres entre une première extrémité (Ea) située sur un premier côté de l'élément de membrane (4) et une deuxième extrémité (Eb) située sur un deuxième côté de l'élément de membrane (4) opposé au premier côté,
- une première partie resserrée (5) est située sur le premier côté de l'élément de membrane, et
- une deuxième partie resserrée (6) est située sur le deuxième côté de l'élément de membrane, la piste conductrice déposée sur la première partie resserrée étant constituée d'une première fraction de piste conductrice (pa) qui relie électriquement la première extrémité (Ea) à un premier élément conducteur situé sur la membrane qui est située sur le substrat semi-conducteur et la piste conductrice déposée sur la deuxième partie resserrée étant constituée d'une deuxième fraction de piste conductrice (pb) qui relie électriquement la deuxième extrémité (Eb) à un deuxième élément conducteur situé sur la membrane qui est située sur le substrat semi-conducteur.

9. Inducteur intégré sur semi-conducteur selon la revendication 8, dans lequel au moins une partie resserrée supplémentaire vierge de tout élément conducteur est située sur ledit premier côté de l'élément de la membrane et/ou au moins une partie resserrée supplémentaire vierge de tout élément conducteur est située sur ledit deuxième côté de l'élément de la membrane.

10 Inducteur intégré sur semi-conducteur selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'épaisseur de la membrane dans la partie resserrée (5, 6) est sensiblement comprise entre le quart de l'épaisseur et quatre fois l'épaisseur de la membrane située hors la partie resserrée.

1 / 4

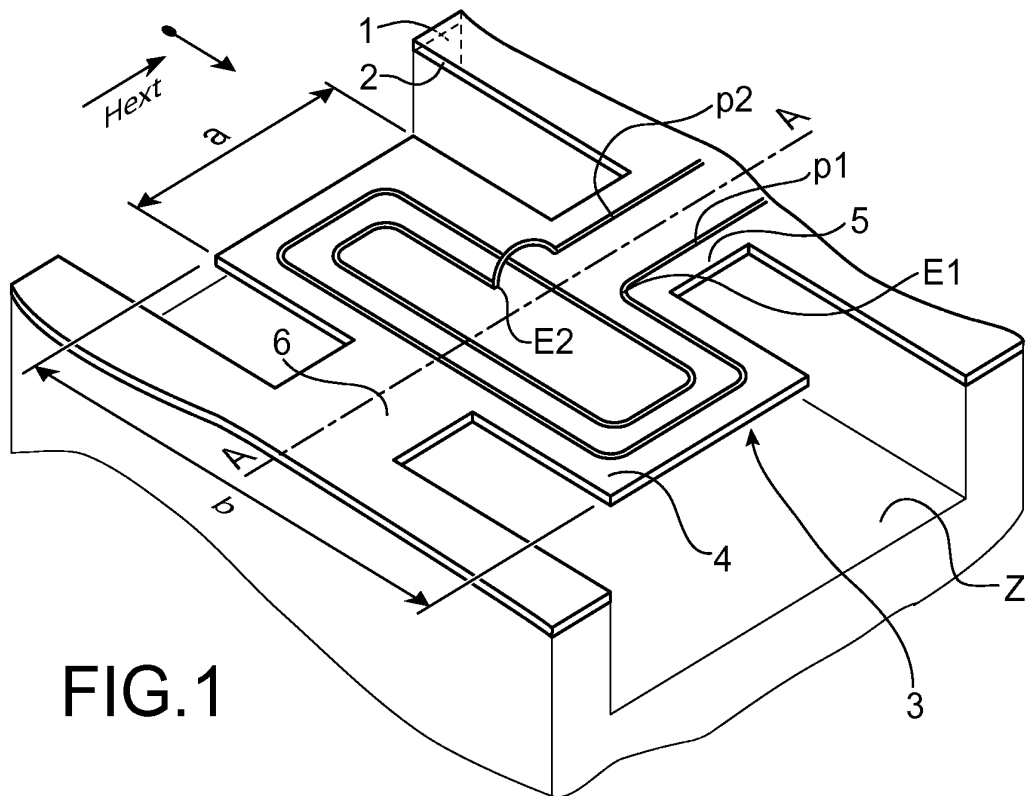


FIG. 1

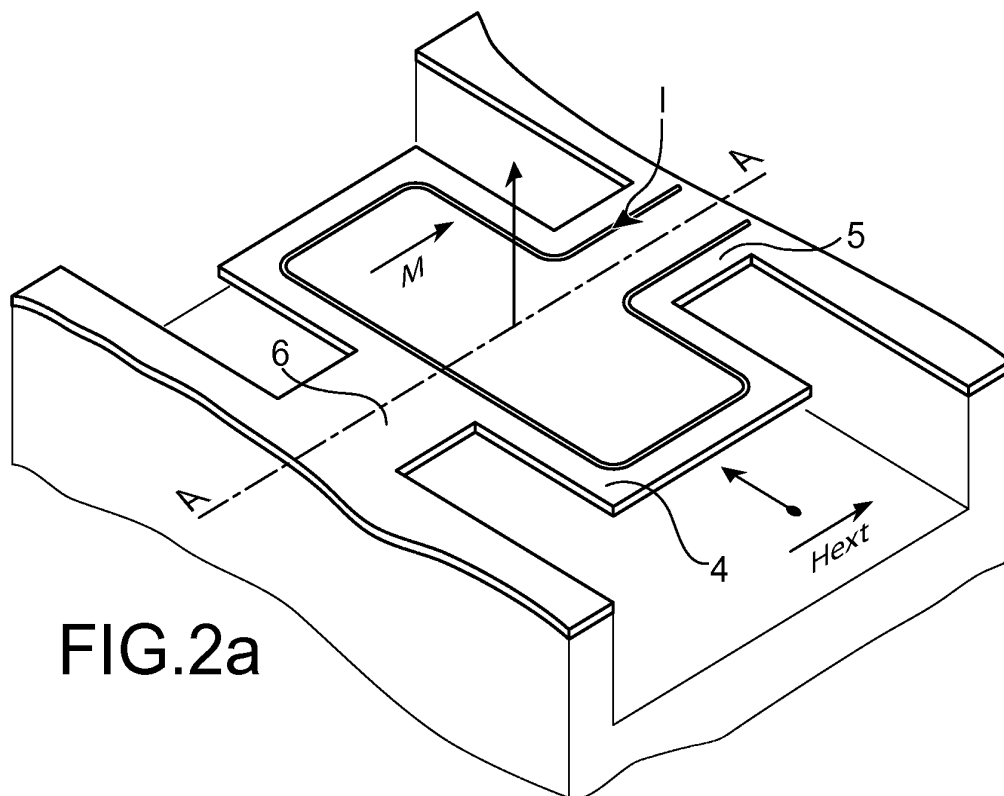
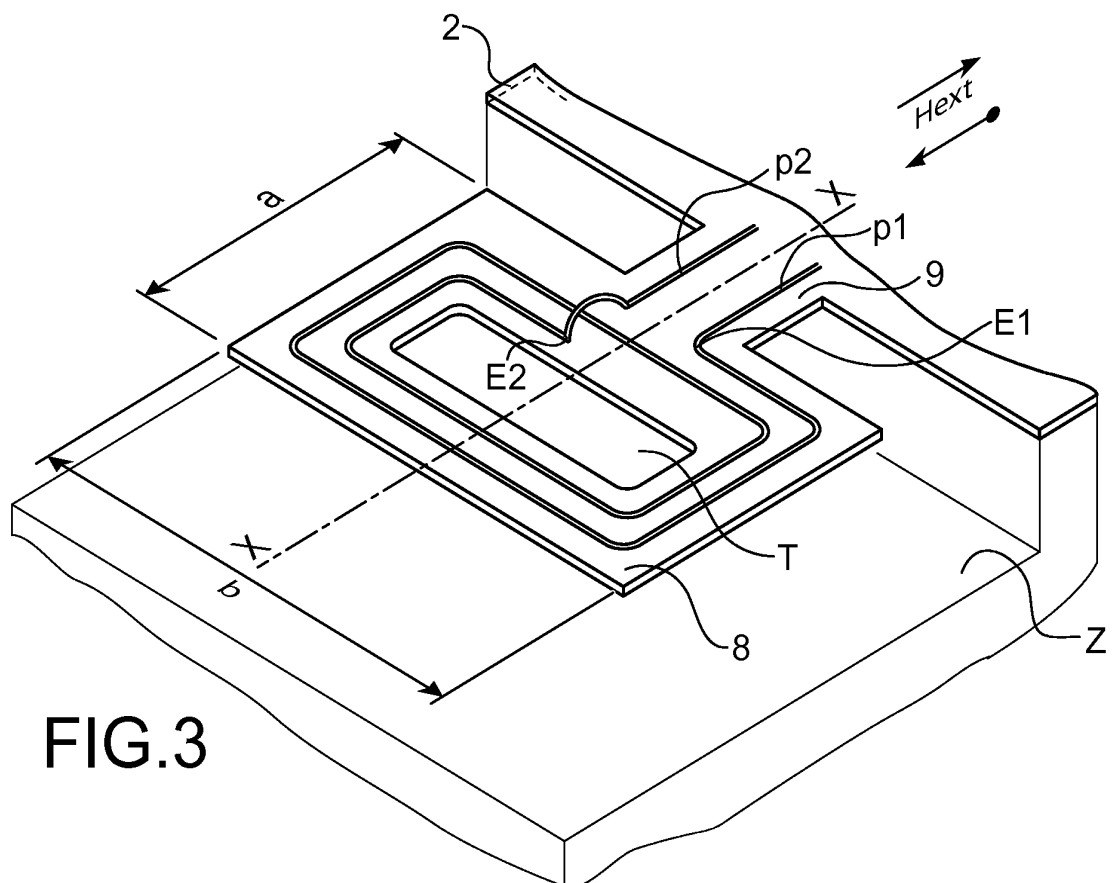
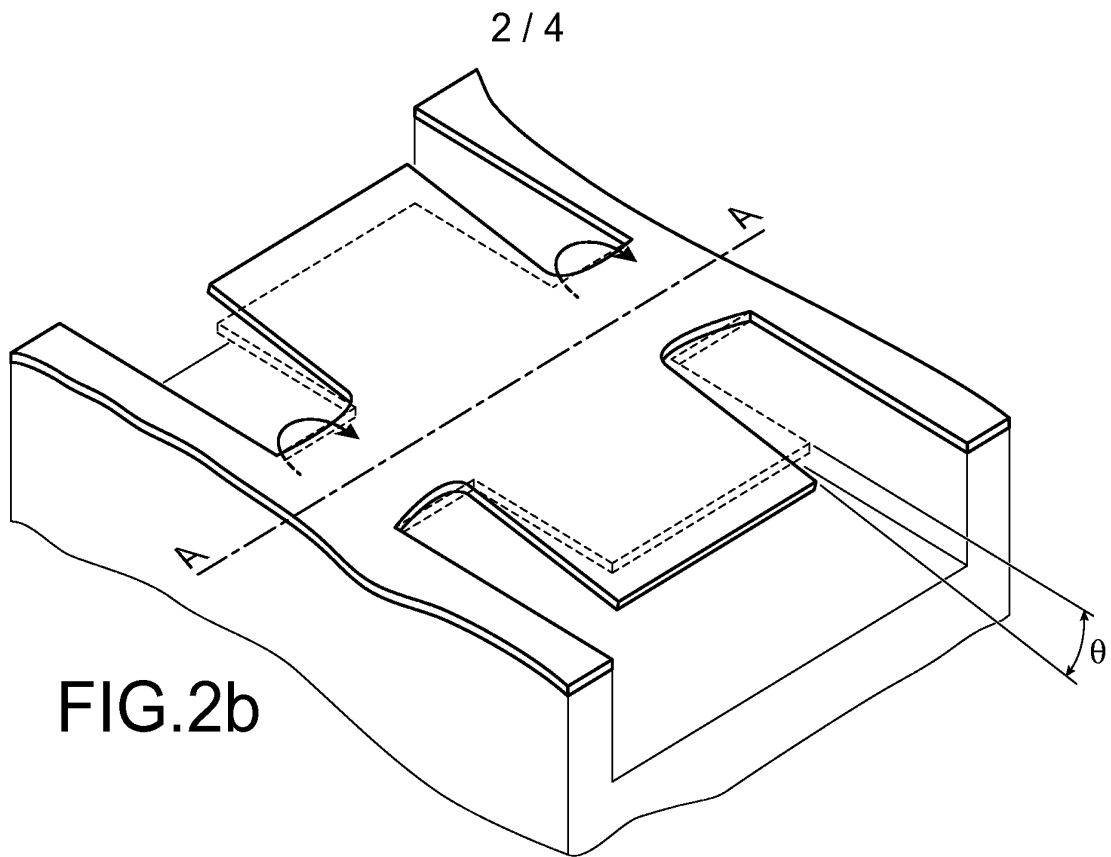


FIG. 2a



3 / 4

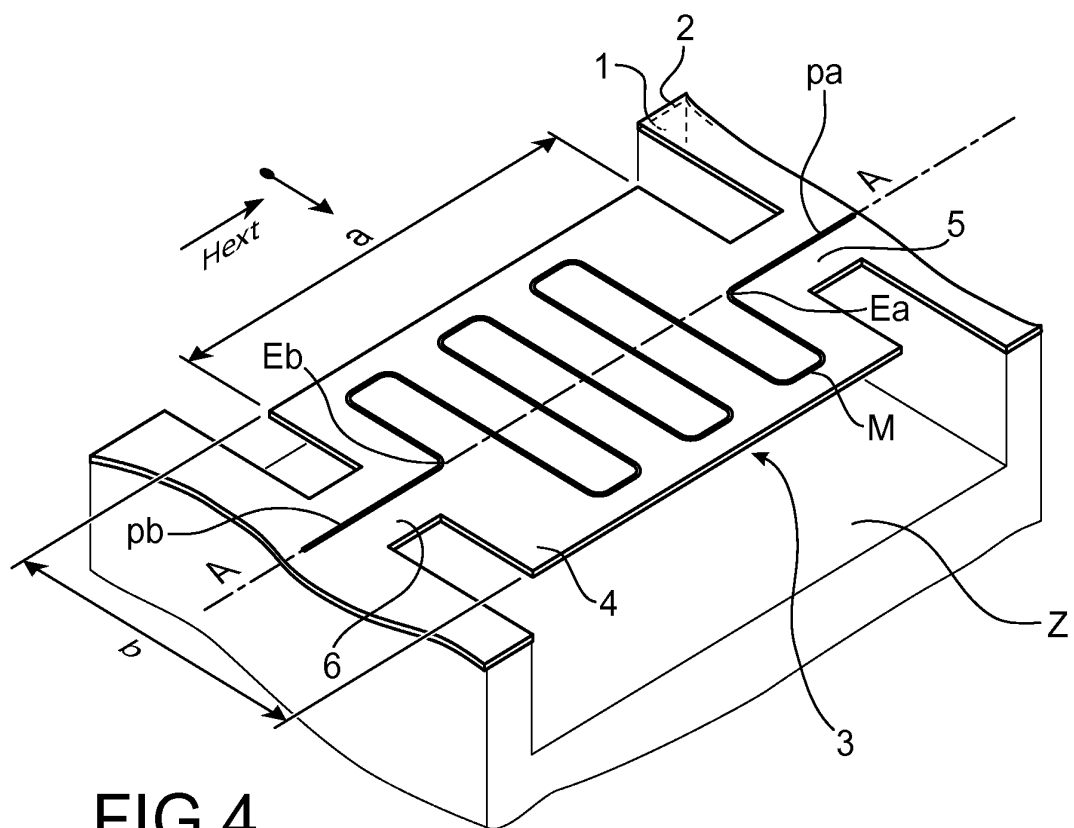


FIG.4

4 / 4

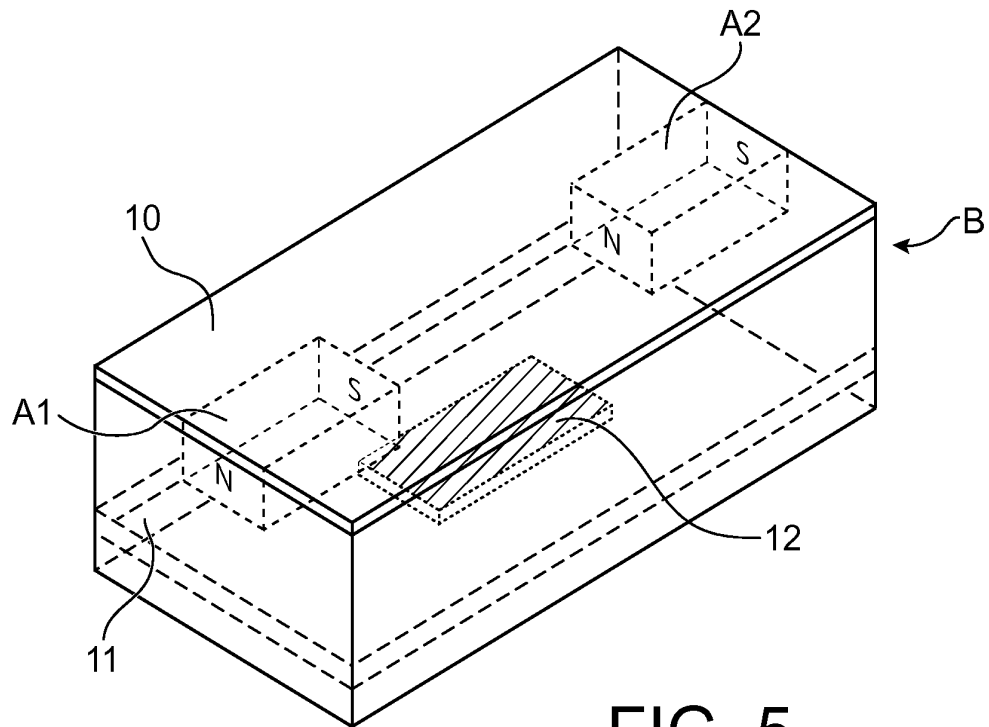


FIG. 5

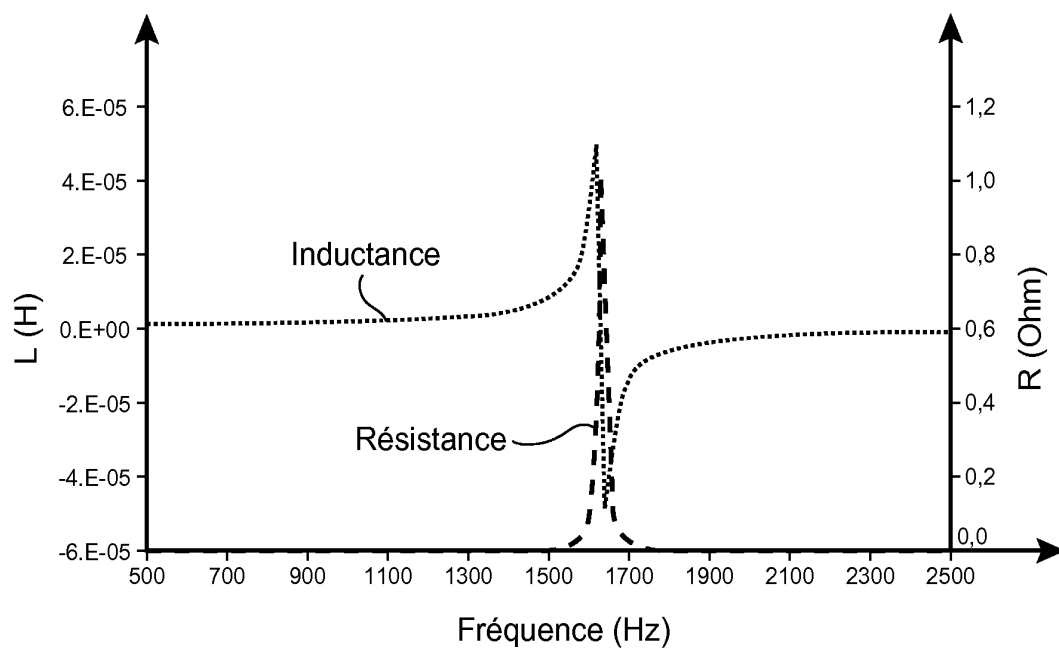


FIG. 6



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 676084
FR 0650420

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2003/218787 A1 (MIYAJIMA HIROSHI [JP] ET AL) 27 novembre 2003 (2003-11-27) * alinéa [0067] - alinéa [0095]; figures 17,20,27,28 *	1-10	
X	----- US 2002/024495 A1 (LIPPERT THOMAS M [US] ET AL) 28 février 2002 (2002-02-28) * alinéa [0072] - alinéa [0075]; figure 13 *	1-10	
A	----- WO 02/058092 A1 (UNIV ARIZONA [US]; SHEN JUN [US]; RUAN MEICHUN [US]; WHEELER CHARLES []) 25 juillet 2002 (2002-07-25) * alinéa [0085]; figure 1A *	8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01F H01L G02B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 octobre 2006		Marti Almeda, Rafael	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0650420 FA 676084

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **05-10-2006**

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

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003218787 A1	27-11-2003	AUCUN	
US 2002024495 A1	28-02-2002	AUCUN	
WO 02058092 A1	25-07-2002	CN 1498412 A	19-05-2004
		EP 1352408 A1	15-10-2003
		JP 2004533710 T	04-11-2004