(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 323 142 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
20.12.2017 Bulletin 2017/51

(51) Int Cl.:
H01F 21/08 *(2006.01)* ***H01L 23/64*** *(2006.01)*
H01L 27/20 *(2006.01)*

(21) Numéro de dépôt: **10191254.1**

(22) Date de dépôt: **15.11.2010**

(54) Dispositif de modification d'une caractéristique d'un signal électrique

Vorrichtung zur Veränderung eines Merkmals eines elektrischen Signals

Device for modifying a characteristic of an electric signal

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorité: **17.11.2009 FR 0958090**

(43) Date de publication de la demande:
18.05.2011 Bulletin 2011/20

(73) Titulaires:
- **Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives**
  75015 Paris (FR)
- **Centre National de la Recherche Scientifique**
  75016 Paris (FR)
- **Université Brest-Bretagne Occidentale**
  29238 Brest Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
- **Viala, Bernard**
  38360 Sassenage (FR)
- **Rafik, Smaali**
  63000 Clermont-Ferrand (FR)
- **Queffelec, Patrick**
  29200 Brest (FR)
- **Benevent, Evangeline**
  42570 Saint-Heand (FR)
- **Michel, Jean-Philippe**
  38000 Corenc (FR)

(74) Mandataire: **Colombo, Michel et al**
Brevinnov
310 avenue Berthelot
69008 Lyon (FR)

(56) Documents cités:
FR-A1- 2 905 793 **JP-A- 8 288 143**
JP-A- 11 040 427 **JP-A- 2000 296 612**

- **ARAI K I ET AL: "A NEW HYBRID DEVICE USING MAGNETOSTRICTIVE AMORPHOUS FILMS AND PIEZOELECTRIC SUBSTRATES", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US LNKD-DOI:10.1109/20.312444, vol. 30, no. 2, PART 02, 1 mars 1994 (1994-03-01), pages 916-918, XP000461510, ISSN: 0018-9464**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 2 323 142 B1

Description

[0001] L'invention concerne un dispositif radiofréquence magnétique à réponse variable intégré sur un substrat.

[0002] Par radiofréquence, on désigne ici des fréquences usuelles comprises entre 1 MHz et 5 GHz.

[0003] Ces dispositifs sont réalisés en utilisant les mêmes procédés de fabrication collectifs que ceux utilisés pour réaliser les puces microélectroniques. Par exemple, ces dispositifs sont réalisés à partir de plaquettes en silicium monocristallin ou en verre sur lesquelles on dépose des matériaux métalliques et diélectriques que l'on structure par lithographie et gravure.

[0004] Les dispositifs dont il s'agit ici sont des dispositifs variables continûment dits « analogiques » par opposition aux dispositifs variables par commutation discrète d'éléments, dits « digitaux ». La variation continue est assurée par la variation continue de la perméabilité magnétique d'un élément magnétique.

[0005] Les dispositifs radiofréquences magnétiques à réponse variable ont de nombreuses applications. Ils permettent de modifier une caractéristique d'un signal électrique qui traverse le dispositif en fonction de la perméabilité de l'élément magnétique. Ils peuvent donc être appelés « Dispositif de modification d'une caractéristique d'un signal électrique ». Par exemple, ils peuvent être utilisés en tant qu'inductance variable, déphaseur (« Phase shifter » en anglais), transformateur d'impédance (« Impedance tuner » en anglais), ligne à retard de phase (« delay line » en anglais).

[0006] De tels dispositifs connus comportent :

- une poutre mobile par rapport au substrat présentant à chaque extrémité une partie transversale ancrée mécaniquement au substrat et au moins une branche centrale reliant les parties transversales entre elles, au moins l'une des parties transversales étant réalisée dans un matériau piézoélectrique,
- des électrodes d'actionnement associées au matériau piézoélectrique pour appliquer une contrainte sur la branche centrale,
- un élément magnétique directement déposé sur la branche centrale dont la perméabilité varie en fonction de la contrainte, et
- un ruban conducteur placé d'un seul côté de la poutre et couplé électromagnétiquement avec l'élément magnétique.

[0007] Le signal électrique, dont la caractéristique est modifiée, est véhiculé par le ruban conducteur.

[0008] La demande de brevet FR 2 905 793 divulgue un tel dispositif. En particulier, la demande FR 2 905 793 décrit une inductance variable ayant une forte valeur d'inductance (c'est-à-dire supérieure à 1 nH) et une faible résistivité (c'est-à-dire inférieure à 1 Ohm).

[0009] L'utilisation d'une branche centrale permet d'appliquer sur l'élément magnétique une contrainte le long de l'axe longitudinal de cette branche sans quasiment appliquer de contrainte transversale à cet axe. Cela améliore très sensiblement le fonctionnement du dispositif.

[0010] Dans la demande FR 2 905 793, le ruban conducteur est mécaniquement indépendant de l'élément magnétique. Pour cela, le ruban conducteur est espacé de l'élément magnétique par une cavité vide ou remplie d'un matériau mou. Plus précisément, le ruban conducteur est soit bobiné autour de l'élément magnétique soit uniquement disposé sous l'élément magnétique et la branche centrale.

[0011] La fabrication du ruban conducteur bobiné autour de l'élément magnétique est compliquée.

[0012] Lorsque le ruban conducteur est uniquement placé sous la branche centrale, les variations d'inductance sont limitées.

[0013] Enfin ces dispositifs sont dépourvus de moyens d'adaptation de l'impédance.

[0014] De l'état de la technique est également connu de :

- FR2 905 793 A1,
- JP 2000 296612 A,
- JP 11 040427 A,
- JP 8 288143 A,
- ARAI K I et AI : « A new hybride device using magnetostrictive amorphous films and piezoelectric substrates », IEEE Transactions on magnetics, IEEE Service Center, New York, NY, US LNKD-DOI : 10.1109/20.312444, Vol. 30, n°2, part 02, 1 mars 1994 (1994-03-01), pages 916-918, XP000461510, ISSN : 0018-9464

[0015] L'invention vise donc à résoudre au moins l'un de ces problèmes.

[0016] Elle a donc pour objet un dispositif conforme à la revendication 1.

[0017] Dans le dispositif ci-dessus, le fait de rendre la partie centrale du ruban conducteur solidaire de l'élément magnétique peut augmenter sa raideur et tendre à limiter les variations de sa perméabilité. Toutefois, ceci est largement compensé par l'amélioration du couplage électromagnétique entre le ruban et l'élément magnétique. Cette amélioration est causée par la proximité de la partie centrale du ruban avec l'élément magnétique. En effet, la branche centrale n'est plus interposée entre l'élément magnétique et le ruban conducteur.

[0018] Par ailleurs, le fait de déposer la partie centrale du ruban conducteur sur l'élément magnétique simplifie la fabrication du dispositif. Il n'est plus nécessaire de procéder au dépôt puis à l'élimination d'une couche sacrificielle pour rendre le ruban conducteur mécaniquement indépendant de l'élément magnétique.

[0019] Ainsi, le dispositif ci-dessus permet d'accroître l'amplitude des variations d'inductance tout en étant réalisable simplement.

[0020] Les modes de réalisation de ce dispositif peu-

vent comprendre une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- l'élément magnétique est un matériau magnétique uniaxial dont l'axe de plus facile aimantation est parallèle à la direction dans laquelle s'étend principalement la partie centrale du ruban conducteur;
- la branche centrale s'étend le long d'un axe longitudinal et la partie centrale du ruban conducteur s'étend perpendiculairement à cet axe longitudinal ;
- la branche centrale s'étend le long d'un axe longitudinal et la partie centrale du ruban conducteur s'étend parallèlement à cet axe longitudinal ;
- le dispositif comprend également des éléments de masse s'étendant parallèlement au ruban conducteur pour permettre la propagation d'un signal radiofréquence entre le ruban conducteur et les éléments de masse ;
- le ruban conducteur comprend également deux extrémités de part et d'autre de sa partie centrale fixées sans aucun degré de liberté au substrat et les éléments de masse comprennent deux rubans de masse coplanaires à ces extrémités et isolés électriquement de ces extrémités par des fentes dont les dimensions sont choisies pour adapter l'impédance de ces extrémités sur une valeur prédéterminée ;
- le ruban conducteur comprend également deux extrémités de part et d'autre de sa partie centrale fixées sans aucun degré de liberté au substrat et espacées des éléments de masse par une distance prédéterminée pour adapter l'impédance de ces extrémités sur une valeur prédéterminée et les éléments de masse comprennent aussi un plan de masse disposé sous la branche centrale et espacé de la partie centrale du ruban conducteur par une hauteur h choisie pour maintenir l'impédance entre la partie centrale et le plan de masse égale à la valeur prédéterminée à ± 50 % près ;
- la partie centrale du ruban conducteur est directement déposée sur la face supérieure de l'élément magnétique ;
- le dispositif comprend une couche électriquement isolante directement déposée sur la face supérieure de l'élément magnétique et la partie centrale du ruban conducteur est directement déposée sur cette couche isolante ;
- la couche électriquement isolante a une épaisseur inférieure à 1 μm ;
- la partie centrale du ruban conducteur est conformée en méandre formé de plusieurs brins parallèles à l'axe de plus facile aimantation de l'élément magnétique et juxtaposés les uns à côté des autres de manière à ce que l'inductance mutuelle entre chaque paire de brins immédiatement l'un à côté de l'autre soit négative.

[0021] Ces modes de réalisation présentent en outre les avantages suivants :

- aligner la direction de plus facile aimantation de l'élément magnétique sur la direction dans laquelle s'étend principalement la partie centrale du ruban accroît la plage dans laquelle les variations d'inductance sont linéaires ;
- le fait de placer la branche centrale et la partie centrale du ruban conducteur perpendiculairement l'une à l'autre permet d'empêcher que le ruban conducteur ne gène l'implantation des électrodes d'actionnement,
- le fait de placer la partie centrale du ruban conducteur parallèlement à la branche centrale limite les contraintes mécaniques appliquées par le ruban conducteur sur l'élément magnétique ;
- la présence d'éléments de masse s'étendant parallèlement au ruban conducteur permet la propagation d'un signal radiofréquence à travers le dispositif et le réglage de l'impédance,
- placer la partie centrale du ruban conducteur directement sur la face supérieure de l'élément magnétique permet d'augmenter l'amplitude de la variation du signal en réponse à une variation de la contrainte,
- la présence d'une couche d'isolant électrique entre la partie centrale du ruban conducteur et l'élément magnétique lui-même conducteur permet d'utiliser un ruban conducteur de faible résistance réalisé dans un matériau dont la conductivité est insuffisante pour pouvoir être directement déposé sur l'élément magnétique sans augmenter l'effet de peau dans ce dernier (réduit la perméabilité à haute fréquence) ;
- la conformation en méandre de la partie centrale du ruban conducteur maximise la plage de variation de l'inductance du dispositif.

[0022] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la figure 1 est une illustration schématique et en perspective d'un dispositif radiofréquence magnétique à réponse variable,
- la figure 2 est une illustration schématique et en coupe transversale du dispositif de la figure 1,
- la figure 3 est une illustration schématique et en vue de dessus d'une poutre du dispositif de la figure 1,
- la figure 4 est une illustration schématique et en perspective d'un autre mode de réalisation d'un dispositif radiofréquence magnétique à réponse variable,
- la figure 5 est une illustration schématique et en coupe verticale d'un autre mode de réalisation du dispositif de la figure 4,
- la figure 6 est un organigramme d'un procédé de fabrication du dispositif de la figure 5,
- les figures 7 à 13 sont des illustrations schématiques et en coupe verticale de différentes étapes du procédé de la figure 6, et
- les figures 14 et 15 sont des illustrations schémati-

ques et en vue de dessus de modes particuliers de réalisation d'un ruban conducteur d'un dispositif radiofréquence magnétique à réponse variable.

[0023] Dans ces figures, les mêmes références sont utilisées pour désigner les mêmes éléments.

[0024] Dans la suite de cette description, les caractéristiques et fonctions bien connues de l'homme du métier ne sont pas décrites en détail.

[0025] Les figures 1 à 3 représentent un dispositif radiofréquence magnétique 2 à réponse variable intégré sur un substrat 12. Sur la figure 1, le dispositif 2 s'étend essentiellement dans un plan horizontal repéré par des directions orthogonales X et Y. La verticale est repérée par une direction Z.

[0026] Le dispositif 2 comprend une poutre 7 en matériau piézoélectrique destinée à générer des contraintes mécaniques dans un élément magnétique 8 (figure 2).

[0027] La poutre 7 a la forme d'une éprouvette de traction et comporte, selon un axe longitudinal de référence A1 (figure 3), parallèle à la direction Y, deux parties transversales 9 de largeur W1 et une branche centrale 10 de largeur W2. De préférence, la largeur W2 est inférieure à la largeur W1. Avantageusement, la largeur W2 est au moins deux fois inférieure à la largeur W1.

[0028] La poutre 7 est ancrée dans le substrat 12 sur lequel est formé le dispositif 2. Plus précisément, la poutre 7 est ancrée au substrat 12 au niveau de zones d'ancrage mécanique 16 situées aux extrémités des parties transversales 9. La poutre 7 est ainsi libre de mouvement vis-à-vis du substrat 12 hors de ces zones d'ancrage 16 pour permettre une amplitude maximale de déformation de la branche centrale 10.

[0029] Les zones d'ancrage 16, de longueur L1 et de largeur W1 (Figure 3), définissent l'extrémité des zones transversales 9 opposées à la branche centrale 10. Ces zones d'ancrage assurent une liaison mécanique forte sans aucun degré de liberté avec le substrat 12.

[0030] La branche 10 présente une longueur L4 dans la direction Y. Cette branche centrale 10 correspond à la zone de la poutre 7 directement en contact avec une face inférieure de l'élément magnétique 8.

[0031] Le profil de la poutre 7 est choisi et optimisé pour générer des contraintes uniaxiales et homogènes dans l'élément magnétique 8. Par « contraintes uniaxiales » on désigne le fait que les contraintes s'exercent essentiellement et quasiment uniquement dans la direction Y alors qu'aucune contrainte ou presque aucune contrainte ne s'exerce dans la branche centrale le long de la direction X. Par exemple, les contraintes qui s'exercent dans la direction Y sont dix ou cent fois supérieures aux contraintes qui s'exercent dans la direction X.

[0032] A cet effet, les parties transversales 9 comportent également une zone 17 de longueur L2 et de largeur W1 qui assure l'essentiel de la génération des contraintes dans la branche centrale 10.

[0033] Chaque partie transversale 9 est prolongée par une zone de transition 18 facultative de longueur L3 et de largeur variable. La zone de transition 18 s'étend de la zone 17 jusqu'à la branche 10. Par exemple, la zone de transition 18 présente un profil elliptique avantageusement tangent à la zone 17 et à la branche 10.

[0034] Les zones de transition 18, avec un profil elliptique, permettent notamment de concentrer et répartir les contraintes de manière homogène tout en assurant une compacité maximale au dispositif 2.

[0035] Une telle poutre 7 encastrée uniquement à ses extrémités (zone d'ancrage 16) permet notamment d'appliquer de plus fortes contraintes et de mieux maîtriser ces contraintes.

[0036] Le dispositif 2 comporte des électrodes d'actionnement inférieures 11a et supérieures 11b (figure 2) placées de part et d'autre de la poutre 7. Ces électrodes 11a et 11b coopèrent avec la poutre 7 pour générer la tension d'actionnement nécessaire à l'application des contraintes mécaniques dans l'élément magnétique 8. Suivant la tension appliquée entre les électrodes 11a et 11b, à savoir positive ou négative, des contraintes de compression ou de traction sont générées dans l'élément magnétique 8. Ici, les électrodes 11a sont reliées à la masse.

[0037] Les électrodes 11a et 11b s'étendent sur la majeure partie de la surface des parties transversales 9, respectivement, au-dessous et au-dessus de celles-ci. Toutefois, de préférence, les électrodes 11a et 11b ne s'étendent pas au niveau des zones de transition 18.

[0038] L'élément magnétique 8 est directement déposé sur la branche 10 de la poutre 7. Il est donc fixé sans aucun degré de liberté à cette branche 10 et en contact direct avec celle-ci. En particulier, aucun ruban conducteur ou électrode conductrice n'est interposée entre l'élément magnétique 8 et la branche 10.

[0039] L'élément magnétique 8 est réalisé dans un matériau magnétique ayant une perméabilité qui varie en fonction des contraintes qui lui sont appliquées. De préférence, le matériau magnétique utilisé est uniaxial. Par exemple, il est composé d'un alliage à base de fer et/ou de cobalt et/ou de nickel. L'élément magnétique 8 peut être déposé sous champ magnétique pour favoriser l'anisotropie du matériau. Ici, l'élément magnétique présente une direction de plus facile aimantation sensiblement parallèle ou perpendiculaire à l'axe longitudinal A1. Plus précisément, dans ce mode de réalisation, la direction de plus facile aimantation est perpendiculaire à l'axe A1.

[0040] A titre d'illustration, l'élément magnétique 8 est un parallélépipède dont les plus grandes faces sont horizontales. La largeur de l'élément magnétique dans la direction X est par exemple comprise entre 100 et 500 μm. La longueur de l'élément magnétique dans la direction Y est par exemple également comprise entre 100 et 500 μm.

[0041] Le dispositif 2 comprend également un ruban conducteur 20 (Figure 1) qui s'étend principalement parallèlement à la direction de plus facile aimantation de l'élément magnétique 8. Dans cet exemple, le ruban conducteur 20 s'étend donc perpendiculairement à l'axe A1

dans un plan situé au-dessus de l'élément magnétique 8. Ce ruban 20 véhicule le signal électrique qui traverse le dispositif 2.

[0042] Ce ruban 20 comprend :

- une partie centrale 22 mécaniquement fixée sans aucun degré de liberté sur l'élément magnétique 8, et
- deux extrémités 24, 25 situées de part et d'autre de la partie centrale 22 et fixées sans aucun degré de liberté au substrat 12.

[0043] Les extrémités 24 et 25 sont mécaniquement et électriquement raccordées à la partie centrale 22 par l'intermédiaire de ponts 26, 27 suspendus au-dessus d'une cavité 30. La cavité 30 est la même que celle qui isole mécaniquement la branche 10 du substrat 12.

[0044] La partie centrale 22 est déposée sur l'élément magnétique 8. Plus précisément, ici, la partie centrale 22 est directement déposée sur une couche 32 d'isolant électrique elle-même directement déposée sur une face supérieure de l'élément magnétique 8. Cette couche 32 est facultative, surtout pour les basses fréquences (c'est-à-dire pour les fréquences inférieures à 100MHz typiquement). L'épaisseur de cette couche 32 dans la direction Z est inférieure à 1 μm et, de préférence, inférieure à 0,1 μm de manière à minimiser la distance qui sépare la partie centrale 22 de l'élément magnétique 8.

[0045] Les extrémités 24 et 25 sont soit directement déposées sur le substrat 12, soit directement déposées, comme représenté ici, sur une couche 34 en matériau électriquement isolant elle-même directement déposée sur le substrat 12. Cette couche 34 est prévue afin de ramener dans le même plan les extrémités 24, 25, la partie centrale 22 et des éléments de masse qui sont décrits ultérieurement.

[0046] La partie centrale 22 et les extrémités 24 et 25 présentent une largeur L (figure 1) constante dans la direction Y. Les ponts 26 et 27 présentent quant à eux une largeur L' strictement inférieure à la largeur L de manière à ne pas lier trop rigidement la partie centrale 22 aux extrémités 24 et 25 du ruban conducteur.

[0047] Par exemple, la largeur L est comprise entre 10 et 100 μm. La longueur totale du ruban conducteur 20 entre ces deux extrémités est par exemple comprise entre 750 et 1150 μm.

[0048] Le ruban 20 est réalisé dans un matériau conducteur de faible raideur pour ne pas trop limiter les déformations de l'élément magnétique 8. Par exemple, le matériau choisi présente un module de Young inférieur à 100 GPa. De plus, pour limiter sa raideur, l'épaisseur du ruban conducteur est choisie inférieure à 1 μm et de préférence inférieure à 0,5 μm. Le matériau du ruban conducteur est typiquement un métal tel que de l'or, de l'argent ou de l'aluminium.

[0049] Le dispositif 2 comprend également des éléments de masse qui s'étendent parallèlement au ruban 20 de manière à permettre la propagation d'ondes radiofréquences au travers de ce dispositif avec une impédance adaptée. A cet effet, le dispositif 2 comprend deux rubans de masse 36 et 38 qui s'étendent le long du ruban 20 dans le même plan que ce ruban. Ces rubans 36 et 38 sont fixés sans aucun degré de liberté au substrat 12. A cet effet, ici, les rubans 36 et 38 sont directement déposés sur la couche isolante 34. Ces rubans 36 et 38 sont conformés de manière à adapter l'impédance des parties fixes du ruban 20, c'est-à-dire des extrémités 24 et 25. A cet effet, les rubans 36 et 38 sont électriquement isolés des extrémités 24 et 25 par des fentes 40, 41 d'épaisseur e constante. L'épaisseur e et la largeur L des extrémités 24, 25 sont choisies pour adapter l'impédance des parties fixes du ruban 20 sur une valeur prédéterminée telle que 50 Ohms. A cet effet, l'épaisseur e est par exemple comprise entre 10 et 100 μm.

[0050] Les éléments de masse comprennent également un plan de masse inférieur 44 qui a pour fonction d'adapter l'impédance de la partie centrale 22 du ruban 7. Ce plan de masse est situé en dessous de la partie centrale 22 et plus précisément en dessous de la branche 10. Le plan de masse 44 est ici déposé sur le fond de la cavité 30. Le plan de masse 40 est espacé d'une face inférieure de la partie centrale 22 par une hauteur h constante (figure 2). Cette hauteur h est choisie pour adapter l'impédance de la partie centrale 22 sur la même valeur que celle choisie pour les extrémités 24 et 25. Cette valeur est donc ici égale à 50 Ohms. Toutefois, étant donné que la perméabilité de l'élément magnétique 8 est destinée à varier, l'adaptation de l'impédance de la partie centrale 22 consiste à maintenir l'impédance de cette partie centrale 22 autour de 50 Ohms. Par exemple, l'adaptation est réalisée de telle façon que l'impédance de la partie centrale 22, lors du fonctionnement du dispositif 2, soit systématiquement égale à 50 Ohms à $\pm$50 % près. Dans l'exemple décrit ici, la hauteur h est choisie de manière à ce que l'impédance de la partie centrale soit comprise entre 30 et 70 Ohms quelle que soit la variation de perméabilité de l'élément magnétique 8. Par exemple, la hauteur h est comprise entre 5 et 50 μm.

[0051] Ici, le plan de masse 44 s'étend sous les zones 17 des parties transversales 9 de manière à former également les électrodes d'actionnement 11a.

[0052] Lors du fonctionnement du dispositif 2, une différence de tension est appliquée sur les électrodes d'actionnement 11a et 11b ce qui met sous contrainte l'élément magnétique 8. L'élément magnétique 8 se déforme élastiquement ce qui fait varier sa perméabilité. Cette variation de la perméabilité modifie au moins une caractéristique du signal électrique qui traverse le dispositif 2 le long du ruban 20. En particulier, la variation de la perméabilité de l'élément magnétique 8 affecte les équations de propagation du signal électrique.

[0053] Ce mode de réalisation du dispositif radiofréquence présente plusieurs avantages :

- le ruban 20 ne gène pas l'implémentation des électrodes d'actionnement 11b,
- la combinaison dans un seul bloc de matière du plan

de masse 44 et des électrodes d'actionnement 11a permet de raccorder cet ensemble d'élément à la masse à l'aide d'un seul plot de connexion,

- la faible distance qui sépare la partie centrale 22 de l'élément magnétique 8 accroît le couplage électromagnétique entre ces deux éléments et donc la variation du signal en réponse à une variation de contrainte exercée sur l'élément magnétique 8.

[0054] Il a été mesuré, par exemple, que la variation d'inductance est améliorée de 50 à 100 % par rapport au dispositif décrit en regard de la figure 5 dans la demande de brevet FR 2 905 793.

[0055] La figure 4 représente un dispositif 50 similaire au dispositif 2 à l'exception du fait que le ruban 20 est remplacé par un ruban conducteur 52 qui s'étend parallèlement à l'axe longitudinal de la poutre 7. Par conséquent, ce ruban 52 s'étend sur les parties transversales 9 de la poutre 7. Par exemple, le ruban 52 comporte deux extrémités 58 directement déposé sur les parties transversales 9 et une partie centrale 60 directement déposée sur la branche 10 et l'élément magnétique 8. Dans cet exemple, la couche isolante 32 est omise. En effet, cette couche isolante 32 peut être omise si la résistivité du ruban 52 est très inférieure à celle de l'élément magnétique 8. Par exemple, la résistivité du ruban 52 est inférieure à 1000 $\mu\Omega$/cm.

[0056] L'élément magnétique 8 est tourné pour que sa direction de plus facile aimantation reste parallèle à la direction dans laquelle s'étend le ruban 52.

[0057] Les électrodes d'actionnement 11b sont également remplacées par des électrodes d'actionnement 54 et 55 disposées de chaque côté des extrémités 58 du ruban conducteur 52. Ces électrodes 54 et 55 sont disposées en vis-à-vis des électrodes d'actionnement inférieures 11a.

[0058] Le plan de masse inférieur 44 et les rubans de masse 36, 38 sont remplacés par deux rubans de masse 62, 64 qui s'étendent parallèlement à la direction Y.

[0059] Les extrémités distales de ces rubans 62 et 64 sont disposées sous la poutre 7 sensiblement à la verticale des électrodes d'actionnement 54 et 55. Ainsi ces extrémités forment les électrodes d'actionnement 11a. Ensuite, les rubans de masse 62 et 64 se prolongent sur le fond de la cavité 30.

[0060] Ces rubans 62 et 64 permettent d'adapter l'impédance du dispositif 50. A cet effet, les extrémités distales des rubans 62 et 64 sont espacées des extrémités du ruban 52 par des fentes 66, 68 dont l'épaisseur e est choisie pour adapter l'impédance du dispositif 50 sur une valeur prédéterminée telle que 50 Ohms.

[0061] La hauteur entre le fond de la cavité 30 et le ruban 52 est choisie pour être inférieure à 1 μm. Dans ces conditions, en première approximation, les rubans 62 et 64 peuvent être considérés comme étant coplanaires au ruban 52 sur toute leur longueur. Ainsi, l'impédance du dispositif 50 est uniquement réglée en jouant sur l'épaisseur e des fentes 66, 68 et la largeur L du ruban 52.

[0062] La figure 5 représente un dispositif 70 identique au dispositif 50 à l'exception que les rubans de masse 62 et 64 sont électriquement raccordés l'un à l'autre par un plan de masse 72 situé en dessous de la branche 10 de la poutre 7. Dans ce cas, l'impédance de la partie centrale 60 du ruban 52 est réglée en jouant sur la hauteur h qui sépare cette partie centrale du plan de masse 72. Cette hauteur h est typiquement comprise entre 5 et 50μm. Le fait que la hauteur h varie légèrement lorsque le ruban 52 passe au-dessus de l'élément magnétique 8 peut être négligé car l'épaisseur de l'élément magnétique 8 est faible. Par exemple, l'épaisseur de l'élément magnétique est comprise entre 0,2 et 0,5 μm.

[0063] La figure 6 représente un organigramme d'un procédé de fabrication du dispositif 70. Les figures 7 à 13 représentent plus en détail différentes étapes de ce procédé de fabrication. Initialement, lors d'une étape 80, le substrat 12 est gravé pour créer la cavité 30 (figure 7).

[0064] Ensuite, lors d'une étape 82, le plan de masse 72 et les extrémités des rubans 62 et 64 formant les électrodes d'actionnement inférieures 11a sont déposés (figure 8).

[0065] Lors d'une étape 84, la cavité 30 est remplie d'un matériau sacrificiel 86 (figure 9), une résine organique ou une couche minérale comme de la silice ou un métal. Ce matériau 86 est destiné à être enlevé, par exemple, à l'aide d'un solvant ou par un procédé fluoré dans le cas d'une couche minérale.

[0066] Ensuite, lors d'une étape 88, la poutre 7 en matériau piézoélectrique est déposée (Figure 10). La poutre 7 s'étend aussi bien sur les électrodes d'actionnement inférieures 11a qu'au-dessus du matériau 86.

[0067] Ensuite, lors d'une étape 90, les électrodes d'actionnement supérieures 54 et 55 ainsi que l'élément magnétique 8 sont directement déposés sur la poutre 7 (figure 11). Lors de l'étape 90, les électrodes d'actionnement supérieures 54 et 55 sont structurées de manière à laisser un emplacement pour déposer le ruban conducteur 52.

[0068] Lors d'une étape 92, le ruban conducteur 52 est déposé directement sur la poutre 7 et l'élément magnétique 8 (figure 12).

[0069] Enfin, lors d'une étape 94, le matériau 86 est éliminé de manière à créer la cavité 30 (figure 13).

[0070] La figure 14 représente un ruban conducteur 100 susceptible d'être utilisé à la place de l'un quelconque des rubans conducteurs précédemment décrits. Ce ruban 100 est par exemple identique au ruban conducteur 52 à l'exception du fait que dans sa partie centrale, celui-ci est conformé en méandre. Plus précisément, dans la partie centrale directement déposée au-dessus de l'élément magnétique 8, le ruban 100 présente plusieurs brins 102 juxtaposés les uns à côté des autres et s'étendant parallèlement les uns aux autres. Ces brins 102 sont juxtaposés les uns à côté des autres dans la direction X et s'étendent tous parallèlement à la direction Y c'est-à-dire parallèlement à la direction de plus facile aimantation de l'élément magnétique 8. Ces brins sont

électriquement raccordés les uns aux autres de manière à ce que l'inductance mutuelle entre deux brins consécutifs soit négative. Cette conformation particulière de la partie centrale du ruban conducteur permet d'augmenter la plage de variation de l'inductance du dispositif. Par exemple, on estime que l'amplitude de la plage de variation de l'inductance est au moins deux fois plus grande lorsque le ruban conducteur est conformée en méandre que lorsque le ruban conducteur est uniquement rectiligne.

[0071] La figure 15 représente un ruban conducteur 110 identique au ruban 100 sauf que le méandre comporte un nombre pair de brins. Ici, le méandre est uniquement formé de deux brins 112 et 114. La longueur Lsp de chaque brin est par exemple comprise entre 300 et 500 μm. La largeur des brins 112 et 114 est comprise entre 5 et 30 μm. Enfin, l'espacement Esp entre les deux brins est compris entre 50 et 150 μm. Dans ces conditions, l'utilisation d'une conformation en méandre audessus de l'élément magnétique 8 permet de multiplier par deux l'amplitude de la plage de variation de l'inductance. Un nombre pair de brins permet d'avoir les deux extrémités du ruban conducteur 110 du même côté de la poutre 7 ce qui simplifie la connectique.

[0072] De nombreux autres modes de réalisation sont possibles. Par exemple, les moyens d'adaptation d'impédance réalisés à l'aide des différents éléments de masse peuvent être omis si le dispositif 2 est uniquement utilisé en tant qu'inductance variable. Dans ce cas, les rubans de masse et les plans de masse sont omis.

[0073] En variante, les largeurs L, L' et L", respectivement, des extrémités 24, 25, des ponts 26, 27 et de la partie centrale 22 sont différentes. Par exemple, dans le cas où le dispositif 2 est utilisé en tant qu'inductance variable, de préférence, la largeur L est supérieure à la largeur L' et la largeur L' est très supérieure à la largeur L". Par exemple, la largeur L' est au moins deux ou trois fois supérieure à la largeur L" de la partie centrale 22. Par exemple, la partie centrale 22 présente une largeur L", dans la direction Y, de 1 à 10 μm afin de maximiser sa contribution dans l'inductance globale et les extrémités 24 et 25 présentent une largeur L typiquement autour de 100 μm pour faciliter la connectique.

[0074] L'impédance des dispositifs précédents peut être adaptée sur une autre valeur que la valeur de 50 Ohms. Par exemple, ce qui vient d'être décrit peut être appliqué à toute valeur d'impédance caractéristique souhaitée telle que par exemple 600 Ohms.

[0075] La plupart des variantes décrites dans la demande FR 2 905 793 s'applique également ici. Par exemple, une seule des parties transversales 9 peut être équipée d'électrode d'actionnement. Dans ce cas, l'autre partie transverse sert essentiellement de point d'ancrage de la poutre 7 sur le substrat.

[0076] D'autres profils que celui représenté sont possibles pour la zone de transition 18. Par exemple les différents profils décrits dans la demande de brevet FR 2 905 793 sont utilisables.

[0077] Des orifices peuvent être ménagés au travers des zones 17 et 18 de la poutre 7 pour faciliter la libération du matériau sacrificiel lors de l'étape 94.

[0078] L'élément magnétique 8 peut avoir différentes formes. Des exemples de formes sont donnés dans la demande de brevet FR 2 905 793. En particulier, l'élément magnétique 8 peut être formé de plusieurs blocs magnétiques distincts. Par exemple, dans le mode de réalisation de la figure 14, l'élément magnétique 8 est remplacé par un élément magnétique formé de cinq blocs magnétiques distincts disposés chacun, respectivement, sous les brins 102. L'espace entre ces blocs magnétiques est alors rempli, par exemple, par un matériau non magnétique, c'est-à-dire ne présentant pas d'aimantation mesurable en absence de champ magnétique extérieur. Chacun de ces blocs magnétiques est oblong est s'étend parallèlement au brin en dessous duquel il est placé. Cette conformation de l'élément magnétique facilite le contrôle de l'inductance mutuelle entre les brins.

[0079] Dans les modes de réalisation des figures 14 et 15, le dispositif doit comporter au moins deux brins et peut comporter trois, quatre ou plus de cinq brins pour former le méandre.

[0080] Le dispositif peut également comporter plusieurs branches centrales parallèles les unes aux autres comme décrit dans la demande de brevet FR 2 905 793.

[0081] La cavité sous la branche centrale peut être remplie par un matériau suffisamment mou pour permettre les déformations de l'élément magnétique 8.

[0082] La branche centrale ainsi que la zone de transition de la poutre 7 peuvent être réalisées dans un autre matériau qu'un matériau piézoélectrique. Par exemple, la branche centrale est réalisée dans un matériau plus dur que le matériau piézoélectrique utilisé pour réaliser les parties transversales.

[0083] Le dispositif décrit ici est utilisable pour réaliser une inductance variable, un déphaseur, un transformateur d'impédance ou une ligne à retard de phase.

Revendications

1. Dispositif de modification d'une caractéristique d'un signal électrique, intégré sur un substrat, ce dispositif comportant :

   - une poutre (7) mobile par rapport au substrat présentant à chaque extrémité une partie transversale (9) ancrée mécaniquement au substrat et au moins une branche centrale (10) reliant les parties transversales entre elles, au moins l'une des parties transversales étant réalisée dans un matériau piézoélectrique,
   - des électrodes d'actionnement (11a, 11b) associées au matériau piézoélectrique pour appliquer une contrainte sur la branche centrale,
   - un élément magnétique (8) directement déposé sur la branche centrale, sans qu'aucun ruban

conducteur ou électrode conductrice ne soit interposée entre l'élément magnétique et la branche centrale, dont la perméabilité varie en fonction de la contrainte, et
- un ruban conducteur (20 ; 52 ; 100) placé d'un seul côté de la poutre et couplé électromagnétiquement avec l'élément magnétique,

caractérisé en ce que le ruban conducteur (20; 52; 100) comprend une partie centrale (22 ; 60) fixée sur une face supérieure de l'élément magnétique (8) opposée à la face inférieure de cet élément magnétique tournée vers la branche centrale.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'élément magnétique (8) est un matériau magnétique uniaxial dont l'axe de plus facile aimantation est parallèle à la direction dans laquelle s'étend principalement la partie centrale du ruban conducteur.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la branche centrale (10) s'étend le long d'un axe longitudinal (A1) et la partie centrale (22) du ruban conducteur (20) s'étend perpendiculairement à cet axe longitudinal.

4. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la branche centrale (10) s'étend le long d'un axe longitudinal (A1) et la partie centrale (60) du ruban conducteur (52 ; 100) s'étend parallèlement à cet axe longitudinal.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le dispositif comprend également des éléments de masse (36, 38 , 44 ; 62, 64 ; 72) s'étendant parallèlement au ruban conducteur (20 ; 52) pour permettre la propagation d'un signal radiofréquence entre le ruban conducteur et les éléments de masse.

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel le ruban conducteur (20) comprend également deux extrémités (24, 25 ; 58) de part et d'autre de sa partie centrale fixées sans aucun degré de liberté au substrat et les éléments de masse comprennent deux rubans (36, 38 ; 62, 64) de masse s'étendant parallèlement à ces extrémités et isolés électriquement de ces extrémités par des fentes dont les dimensions sont choisies pour adapter l'impédance de ces extrémités sur une valeur prédéterminée.

7. Dispositif selon la revendications 5, dans lequel le ruban conducteur comprend également deux extrémités (24, 25 ; 58) de part et d'autre de sa partie centrale fixées sans aucun degré de liberté au substrat et espacées des éléments de masse par une distance prédéterminée pour adapter l'impédance de ces extrémités sur une valeur prédéterminée, et les éléments de masse comprennent aussi un plan de masse (44 ; 72) disposé sous la branche centrale (10) et espacé de la partie centrale du ruban conducteur (20 ; 52) par une hauteur h choisie pour maintenir l'impédance entre la partie centrale et le plan de masse égale à la valeur prédéterminée à $\pm$50 % près.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la partie centrale (60) du ruban conducteur (52) est directement déposée sur la face supérieure de l'élément magnétique (8).

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel le dispositif comprend une couche (32) électriquement isolante directement déposée sur la face supérieure de l'élément magnétique (8) et la partie centrale (22) du ruban conducteur est directement déposée sur cette couche isolante.

10. Dispositif selon la revendication 9, dans lequel la couche (32) électriquement isolante a une épaisseur inférieure à 1 μm.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 10, dans lequel la partie centrale du ruban conducteur (100) est conformée en méandre formé de plusieurs brins parallèles à l'axe de plus facile aimantation de l'élément magnétique (8) et juxtaposés les uns à côté des autres de manière à ce que l'inductance mutuelle entre chaque paire de brins immédiatement l'un à côté de l'autre soit négative.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Veränderung eines Merkmals eines elektrischen Signals, die auf einem Substrat integriert ist, wobei diese Vorrichtung Folgendes aufweist:

- einen Träger (7), der gegenüber dem Substrat beweglich ist, der an jedem Ende ein Querteil (9), das mechanisch an dem Substrat verankert ist, und mindestens einen Mittelschenkel (10) aufweist, der die Querteile miteinander verbindet, wobei mindestens eines der Querteile aus einem piezoelektrischen Material hergestellt ist,
- Betätigungselektroden (11a, 11b), die mit dem piezoelektrischen Material verbunden sind, um eine Spannung auf den Mittelschenkel auszuüben,
- ein magnetisches Element (8), das direkt auf dem Mittelschenkel aufgebracht ist, ohne dass ein leitendes Band oder eine leitende Elektrode zwischen dem magnetischen Element und dem Mittelschenkel angeordnet ist, dessen Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Spannung va-

riiert, und
- ein leitendes Band (20; 52; 100), das an einer einzigen Seite des Trägers angeordnet ist und mit dem magnetischen Element elektromagnetisch gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das leitende Band (20; 52; 100) einen Mittelteil (22; 60) aufweist, der auf einer Oberseite des magnetischen Elements (8) befestigt ist, die der Unterseite dieses magnetischen Elements gegenüberliegt, die dem Mittelschenkel zugewandt ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das magnetische Element (8) ein einachsiges magnetisches Material ist, dessen Achse der leichteren Magnetisierung parallel zu der Richtung ist, in die sich der Mittelteil des leitenden Bandes hauptsächlich erstreckt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich der Mittelschenkel (10) entlang einer Längsachse (A1) erstreckt und sich der Mittelteil (22) des leitenden Bandes (20) senkrecht zu dieser Längsachse erstreckt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei sich der Mittelschenkel (10) entlang einer Längsachse (A1) erstreckt und sich der Mittelteil (60) des leitenden Bandes (52; 100) parallel zu dieser Längsachse erstreckt.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung ebenfalls Masseelemente (36, 38, 44; 62, 64; 72) aufweist, die sich parallel zu dem leitenden Band (20; 52) erstrecken, um die Ausbreitung eines Funkfrequenzsignals zwischen dem leitenden Band und den Masseelementen zu ermöglichen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das leitende Band (20) ebenfalls zwei Enden (24, 25; 58) auf beiden Seiten seines Mittelteils aufweist, die ohne einen Freiheitsgrad an dem Substrat befestigt sind, und die Masseelemente zwei Massebänder (36, 38; 62, 64) aufweisen, die sich parallel zu diesen Enden erstrecken und von diesen Enden durch Schlitze elektrisch isoliert sind, deren Abmessungen gewählt sind, um die Impedanz dieser Enden auf einem vorbestimmten Wert anzupassen.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei das leitende Band ebenfalls zwei Enden (24, 25; 58) auf beiden Seiten seines Mittelteils aufweist, die ohne einen Freiheitsgrad an dem Substrat befestigt sind und von den Masseelementen durch einen vorbestimmten Abstand beabstandet sind, um die Impedanz dieser Enden auf einem vorbestimmten Wert anzupassen, und die Masseelemente auch eine Masseebene (44; 72) aufweisen, die unter dem Mittelschenkel (10) angeordnet ist und von dem Mittelteil des leitenden Bandes (20; 52) durch eine Höhe h beabstandet ist, die gewählt ist, um die Impedanz zwischen dem Mittelteil und der Masseebene gleich dem vorbestimmten Wert ± etwa 50 % zu halten.

8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Mittelteil (60) des leitenden Bandes (52) direkt auf der Oberseite des magnetischen Elements (8) aufgebracht ist.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Vorrichtung eine elektrisch isolierende Schicht (32) aufweist, die direkt auf der Oberseite des magnetischen Elements (8) aufgebracht ist, und der Mittelteil (22) des leitenden Bandes direkt auf dieser isolierenden Schicht aufgebracht ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, wobei die elektrisch isolierende Schicht (32) eine Dicke von weniger als 1 μm aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 10, wobei der Mittelteil des leitenden Bandes (100) in einem Mäander ausgebildet ist, das aus mehreren Strängen gebildet ist, die parallel zu der Achse der leichteren Magnetisierung des magnetischen Elements (8) sind und nebeneinanderliegend derart angeordnet sind, dass die gegenseitige Induktivität zwischen jedem Paar Stränge, das direkt nebeneinander liegt, negativ ist.

Claims

1. Device for modifying a characteristic of an electric signal, integrated on a substrate, this device comprising:

- a beam (7) that is mobile in relation to the substrate, having, at each end, a transverse part (9) anchored mechanically to the substrate and at least one central branch (10) linking the transverse parts together, at least one of the transverse parts being produced in a piezoelectric material,
- actuation electrodes (11a, 11b) associated with the piezoelectric material to apply a strain on the central branch,
- a magnetic element (8) directly deposited on the central branch, without any conductive strip or conductive electrode being interposed between the magnetic element and the central branch, the permeability of which varies as a function of the strain, and
- a conductive strip (20; 52; 100) placed on just one side of the beam and coupled electromagnetically with the magnetic element,

characterized in that the conductive strip (20; 52; 100) comprises a central part (22; 60) fixed onto a top face of the magnetic element (8) opposite the bottom face of this magnetic element turned towards the central branch.

2. Device according to Claim 1, in which the magnetic element (8) is a uniaxial magnetic material of which the axis of easier magnetization is parallel to the direction in which the central part of the conductive strip primarily extends.

3. Device according to Claim 1 or 2, in which the central branch (10) extends along a longitudinal axis (A1) and the central part (22) of the conductive strip (20) extends at right angles to this longitudinal axis.

4. Device according to Claim 1 or 2, in which the central branch (10) extends along a longitudinal axis (A1) and the central part (60) of the conductive strip (52;100) extends parallel to this longitudinal axis.

5. Device according to any one of the preceding claims, in which the device also comprises ground elements (36, 38, 44; 62, 64; 72) extending parallel to the conductive strip (20; 52) to allow the propagation of a radiofrequency signal between the conductive strip and the ground elements.

6. Device according to Claim 5, in which the conductive trip (20) also comprises two ends (24, 25; 58) on either side of its central part fixed with no degree of freedom to the substrate and the ground elements comprise two ground strips (36, 38; 62, 64) extending parallel to these ends and insulated electrically from these ends by slits whose dimensions are chosen to adapt the impedance of these ends to a predetermined value.

7. Device according to Claim 5, in which the conductive strip also comprises two ends (24, 25; 58) on either side of its central part fixed with no degree of freedom to the substrate and spaced apart from the ground elements by a predetermined distance to adapt the impedance of these ends to a predetermined value, and the ground elements also comprise a ground plane (44; 72) disposed under the central branch (10) and spaced apart from the central part of the conductive strip (20; 52) by a height h chosen to keep the impedance between the central part and the ground plane equal to the predetermined value to within $\pm$ 50%.

8. Device according to any one of the preceding claims, in which the central part (60) of the conductive strip (52) is directly deposited on the top face of the magnetic element (8).

9. Device according to any one of Claims 1 to 7, in which the device comprises an electrically insulating layer (32) directly deposited on the top face of the magnetic element (8) and the central part (22) of the conductive strip is directly deposited on this insulating layer.

10. Device according to Claim 9, in which the electrically insulating layer (32) has a thickness less than 1 μm.

11. Device according to any one of Claims 2 to 10, in which the central part of the conductive strip (100) is conformed in meanders formed by several strands parallel to the axis of easier magnetization of the magnetic element (8) and juxtaposed alongside one another so that the mutual inductance between each pair of strands immediately side by side is negative.

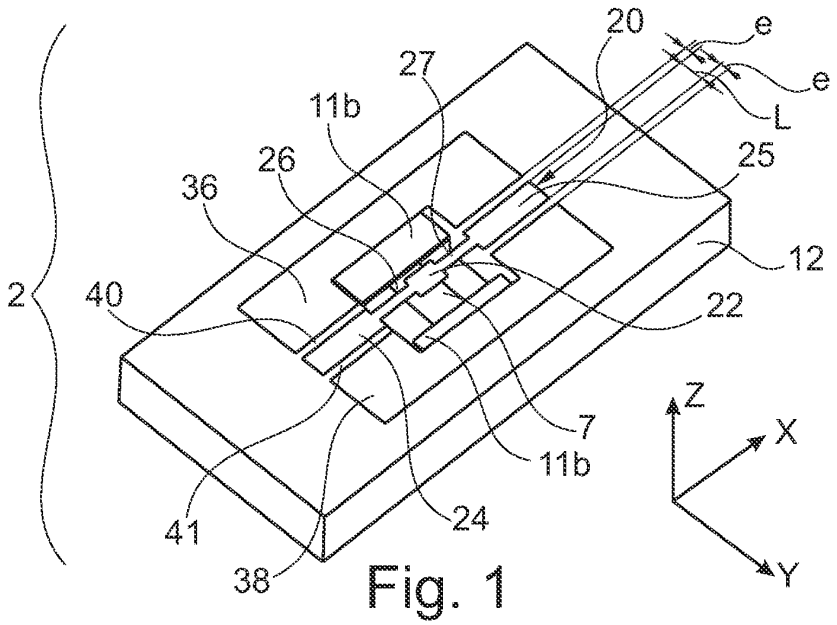


Fig. 1

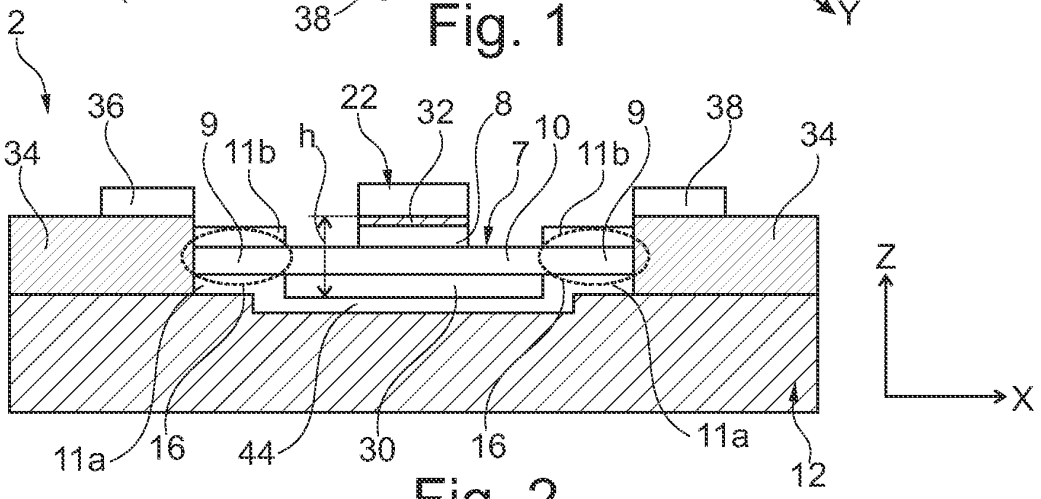


Fig. 2

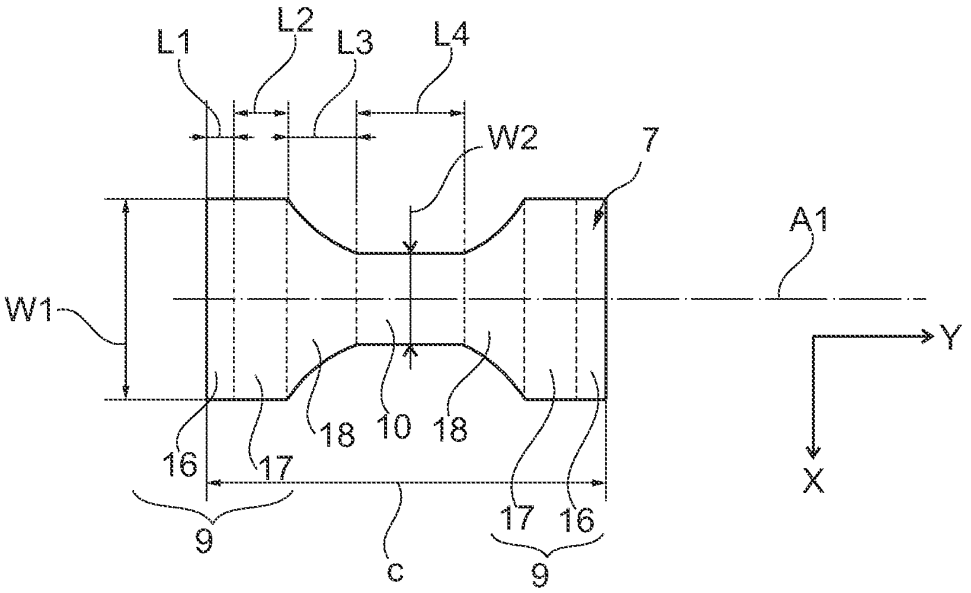


Fig. 3

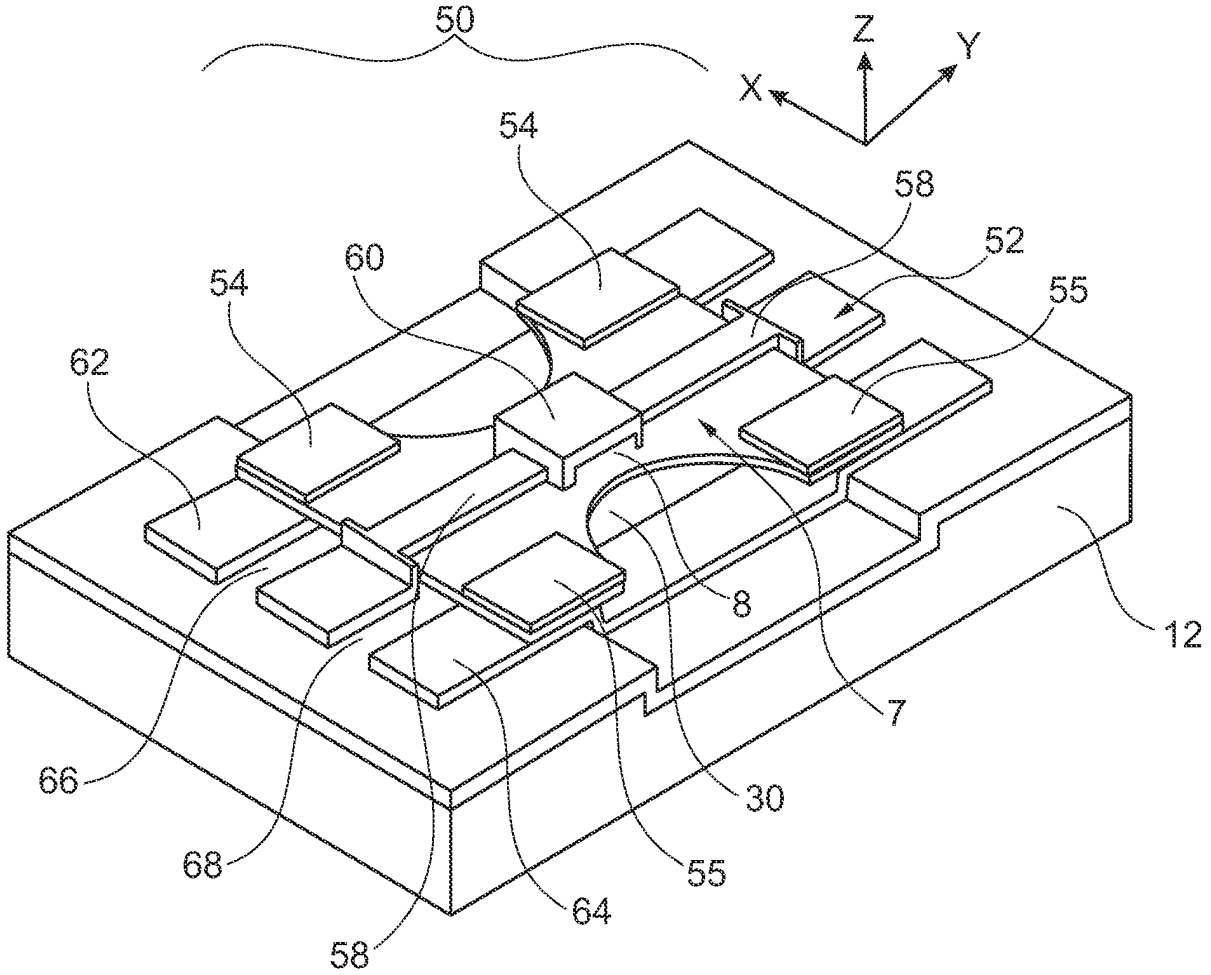

50
Z
Y
X
54
58
52
60
54
55
62
8
12
7
66
30
68
55
64
58

Fig. 4

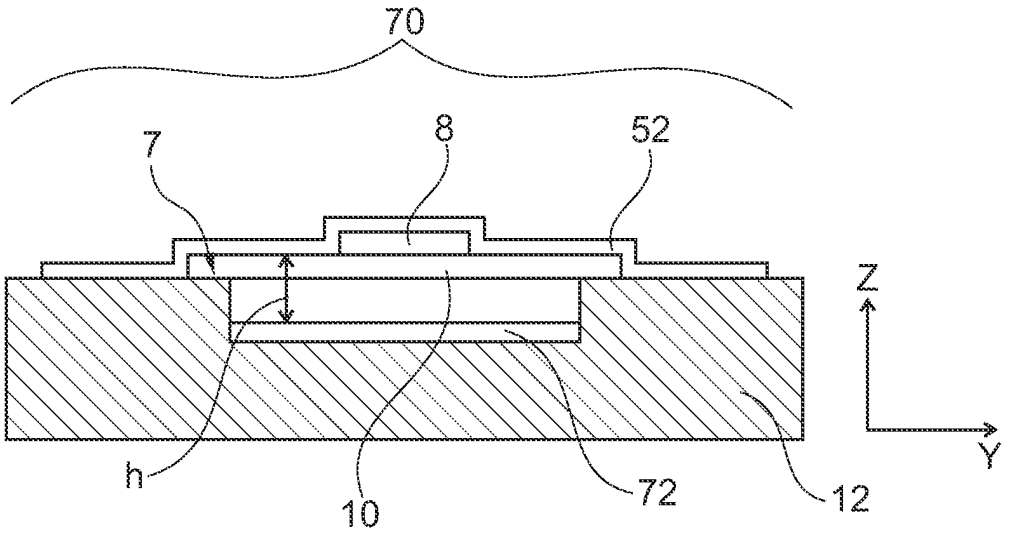

70
7
8
52
Z
Y
h
10
72
12

Fig. 5

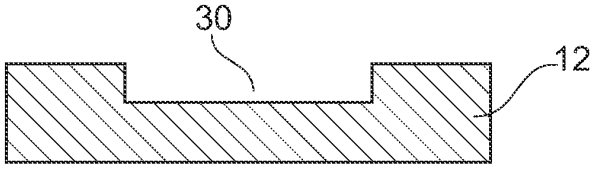


Fig. 7

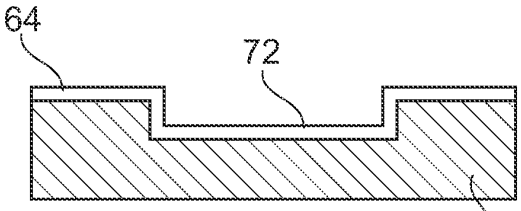


Fig. 8

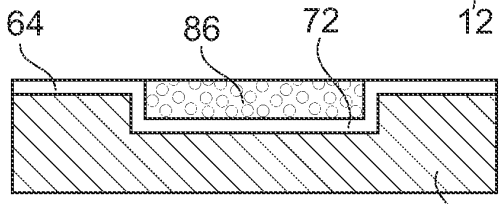


Fig. 9

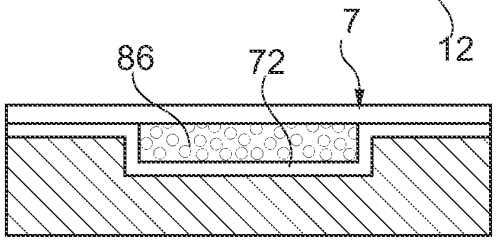


Fig. 10

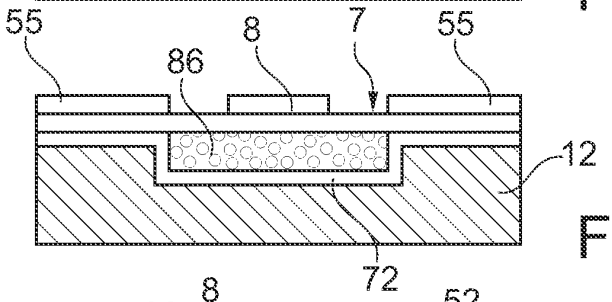


Fig. 11

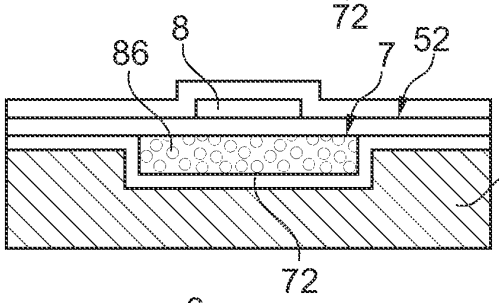


Fig. 12

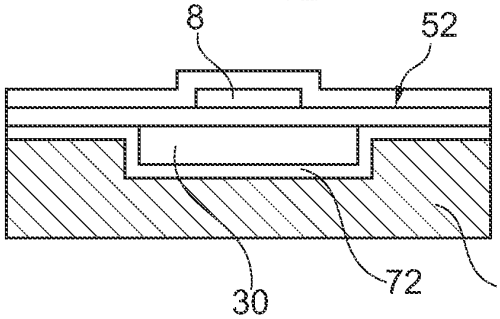


Fig. 13

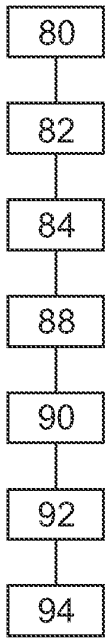


Fig. 6

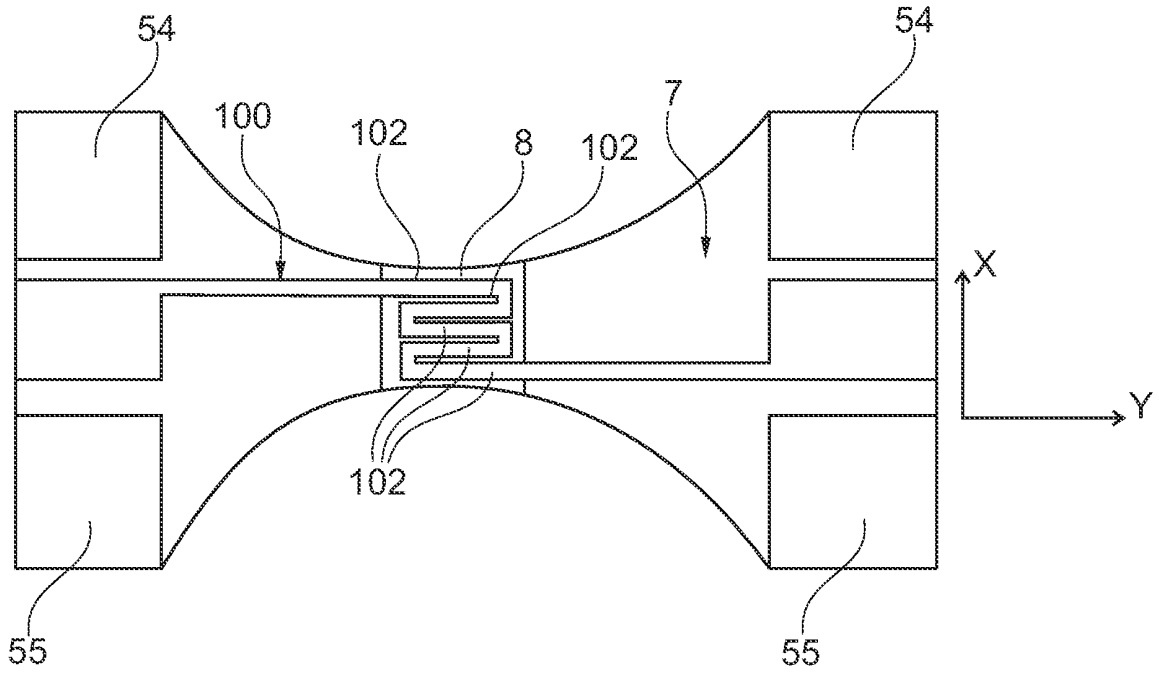

54
54
100
102
8
102
7
X
Y
102
55
55

Fig. 14

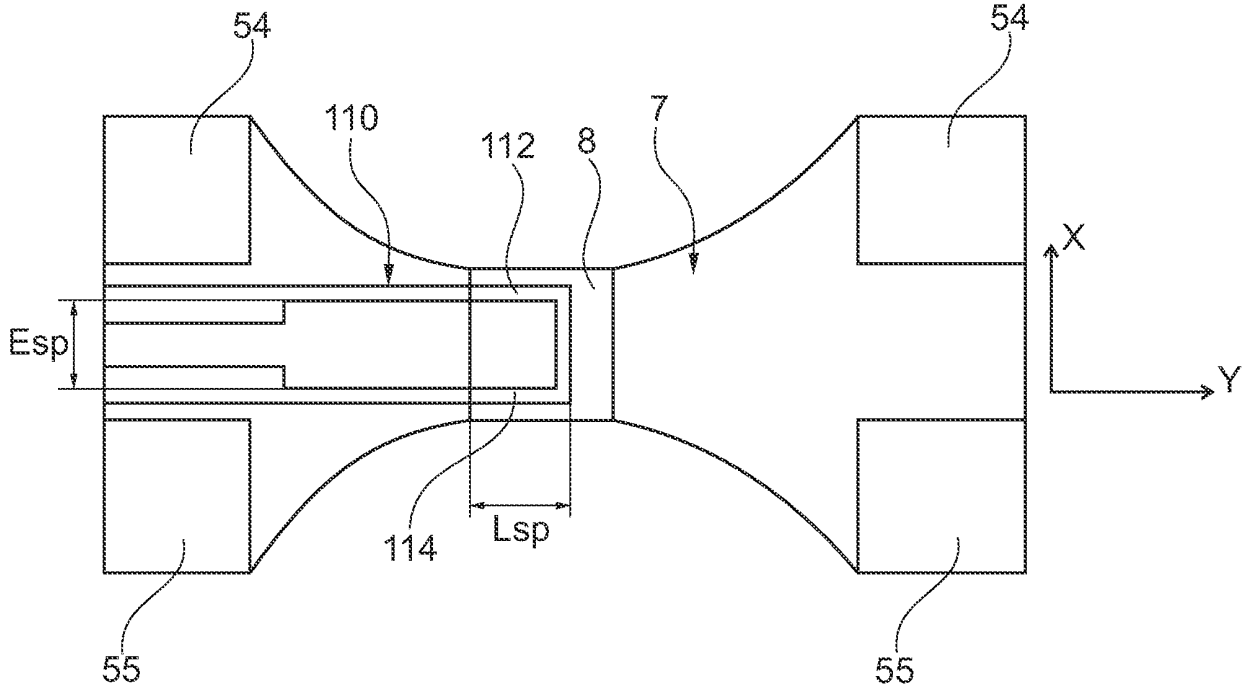

54
54
110
112
8
7
X
Y
Esp
114
Lsp
55
55

Fig. 15

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2905793 **[0008] [0010] [0054] [0075] [0076] [0078] [0080]**
- FR 2905793 A1 **[0014]**
- JP 2000296612 A **[0014]**
- JP 11040427 A **[0014]**
- JP 8288143 A **[0014]**

Littérature non-brevet citée dans la description

- A new hybride device using magnetostrictive amorphous films and piezoelectric substrates. **ARAI K I.** IEEE Transactions on magnetics. IEEE Service Center, 01 Mars 1994, vol. 30, 916-918 **[0014]**