

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 014 094

21 N° d'enregistrement national : 13 61890

51 Int Cl⁸ : B 81 B 7/02 (2013.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 29.11.13.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 05.06.15 Bulletin 15/23.

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 :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

72 Inventeur(s) : BILLIOT GERARD et VILLARD
PATRICK.

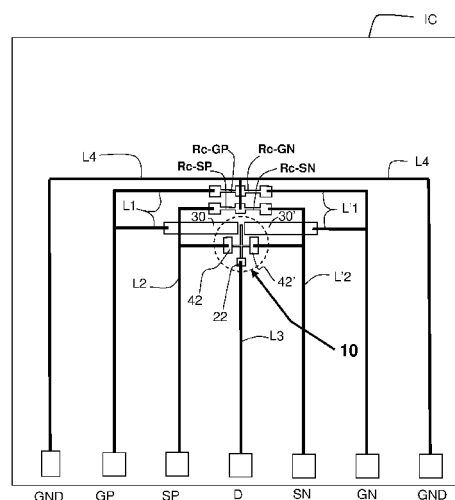
73 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société
en nom collectif.

54 SYSTEME MECANIQUE MICRO-USINE (NEMS) AVEC RESISTANCES D'ADAPTATION.

57 L'invention concerne les capteurs micro-usinés (MEMS ou NEMS). Le capteur (10) utilise une détection par jauge de contrainte et est formé sur une puce (IC) comprenant un substrat, des plots de connexion extérieure (GP, SP, D...). Le capteur comporte au moins une jauge de contrainte réalisée dans une couche de matériau piézorésistif et située à distance (plusieurs centaines de micromètres) d'un plot de connexion.

Un réseau de connexions conductrices (L1, L'1, L2, L'2, L3) relie les plots de connexion au capteur micro-usiné. Au moins une résistance d'adaptation d'impédance (Rc-SP, Rc-SN), est réalisée dans la même couche de matériau piézorésistif que la jauge de contrainte et est placée à proximité immédiate (quelques dizaines de micromètres au plus) de la jauge; elle est reliée électriquement entre la jauge et une ligne de masse (L4) qui arrive à proximité immédiate du capteur. L'adaptation est bien meilleure que lorsque des résistances d'adaptation sont connectées aux plots de connexion, à l'extérieur de la puce.



FR 3 014 094 - A1



SYSTEME MECANIQUE MICRO-USINE (NEMS) AVEC RESISTANCES D'ADAPTATION

L'invention concerne les systèmes électromécaniques micro-usinés, encore appelés MEMS ou NEMS pour "Micro Electro-Mechanical Systems" ou "Nano Electro-Mechanical Systems" selon l'échelle de miniaturisation dans laquelle ils sont fabriqués. Sont concernés par exemple
5 les nano-résonateurs servant à la mesure de masses très faibles, pouvant descendre jusqu'à 10^{-21} grammes, voire même 10^{-24} grammes. Les applications envisagées sont par exemple l'analyse de gaz ou la spectrométrie de masse ; les molécules qui se déposent sur la surface d'une poutre vibrante, ou sont adsorbées par cette surface, modifient sa masse et
10 changent la fréquence de résonance de la poutre.

La poutre vibrante et les autres éléments qui servent à exciter la vibration ou à détecter cette vibration sont de très petite taille et sont le plus souvent usinés dans une puce de silicium, selon des techniques de micro-usinage issues de la fabrication collective de circuits intégrés.

15 La puce de silicium possède ou ne possède pas de circuiterie électronique de traitement des signaux d'excitation ou des signaux de détection de la vibration, mais dans tous les cas l'élément électromécanique actif est le plus souvent très petit devant les dimensions de la puce elle-même ; si la puce fait quelques millimètres de côté, le système électro-
20 mécanique proprement dit peut faire quelques micromètres ou dizaines de micromètres de côté. Les plots de connexion électrique permettant la connexion du système électro-mécanique avec l'extérieur sont toujours situés sur les bords de la puce, alors que le ou les systèmes électro-
25 mécaniques sont situés plutôt au centre de la puce. Il y a donc, entre les plots extérieurs et les systèmes électro-mécaniques, des connexions électriques de dimensions relativement importantes par rapport aux dimensions de ces systèmes.

Les plots et les connexions possèdent des impédances parasites non négligeables par rapport aux impédances propres des systèmes électro-
30 mécaniques, et même des impédances qui peuvent être très supérieures aux impédances propres des systèmes.

Par exemple, dans un système électro-mécanique où la vibration d'une poutre est excitée par des forces électrostatiques entre des électrodes d'excitation et la poutre, la capacité existant entre ces électrodes et la poutre peut être de l'ordre du femtofarad (10^{-15} farad) alors que la capacité parasite des connexions allant des plots au système peut être de 1 à 10 picofarads, soit 1 000 à 10 000 fois plus.

C'est en particulier le cas lorsque les systèmes électromécaniques sont formés par usinage d'une couche de silicium monocristallin déposée sur un substrat de type SOI, c'est-à-dire un substrat recouvert d'une couche d'oxyde de silicium, elle-même recouverte de la couche de silicium monocristallin. La faible épaisseur de la couche d'oxyde de silicium induit un fort couplage capacitif entre les connexions et le substrat, ce qui se traduit par des capacités parasites d'autant plus importantes que la longueur des connexions est grande. De la même manière, les longueurs importantes de connexions peuvent se traduire par des résistances d'accès parasites importantes.

Il en résulte la nécessité de prendre en compte ces impédances parasites lorsque la puce de silicium est reliée à l'extérieur par ses plots de connexion. Cela se fait en prévoyant des impédances d'adaptation entre les sources de tension ou courant connectées à la puce et les plots de connexion extérieure de la puce. Par exemple, si les sources de tension ont une impédance de sortie de 50 ohms, l'utilisateur connectera des impédances d'adaptation à la sortie des sources pour donner à la puce, vue de la source de tension, une impédance qui est adaptée à l'impédance de la source de tension (impédance égale à celle de la source de tension si c'est une impédance purement résistive, impédance conjuguée si c'est une impédance complexe). Outre le fait que cette nécessité d'adaptation peut gêner l'utilisateur, on notera que l'adaptation d'impédance ainsi réalisée n'empêche pas des pertes et perturbations à l'intérieur de la puce.

Pour faciliter l'adaptation d'impédance entre les sources de tension et les éléments du système électro-mécanique, on propose selon l'invention de réaliser une adaptation à l'emplacement même du système électro-mécanique, à l'intérieur de la puce et non pas à l'extérieur ou à proximité des plots de connexion extérieure, en utilisant pour faire des

impédances d'adaptation les couches technologiques utilisées pour faire le système électro-mécanique et notamment la couche de matériau piézorésistif qui constitue les jauges de contrainte dans les systèmes électromécaniques à détection par jauges de contrainte piézorésistives.

5 C'est pourquoi on propose selon l'invention un circuit électro-mécanique comportant un capteur à détection par jauge de contrainte, micro-usiné sur une puce, la puce comportant :

- un substrat,
- des plots de connexion extérieure,
- 10 - au moins une jauge de contrainte piézorésistive réalisée dans une couche de matériau piézorésistif et reliée mécaniquement à un point d'ancrage de jauge solidaire du substrat et situé à distance d'un plot de connexion,

- un réseau de connexions conductrices reliant les plots de connexion au capteur micro-usiné, ce réseau comportant au moins une connexion conductrice reliant le plot de connexion au point d'ancrage de jauge,

15 caractérisé en ce qu'au moins une résistance d'adaptation d'impédance, réalisée dans la même couche de matériau piézorésistif que la jauge de contrainte et placée à proximité immédiate de la jauge, est reliée électriquement entre le point d'ancrage de jauge et au moins une ligne conductrice portée à un potentiel fixe d'alimentation de la puce, reliée à un autre plot de connexion et passant à proximité immédiate du capteur.

25 L'adaptation est donc faite à l'endroit même des éléments actifs (poutre, jauges) du capteur et non pas à distance ou à l'extérieur de la puce. Les résistances d'adaptation sont tout près des éléments actifs et donc éloignés des plots de connexion, en ce sens que les résistances d'adaptation sont au moins 10 fois, voire même 50 ou 100 fois plus près des éléments
30 actifs que des plots de connexion. Le capteur est alors beaucoup moins sensible aux perturbations qu'apporteraient une désadaptation d'impédance entre les sources de tension et la puce ou une adaptation ne prenant pas suffisamment en compte les impédances parasites présentes entre les plots de connexion extérieure et le capteur micro-usiné proprement dit.
35 Typiquement, l'ordre de grandeur des distances entre les plots de connexion

et le système électro-mécanique micro-usiné est de l'ordre de 500 micromètres à plusieurs millimètres, alors que la distance entre les éléments actifs de ce système et les résistances d'adaptation sera d'au plus 50 micromètres.

5

La jauge de contrainte peut être formée par une portion, suspendue au-dessus du substrat, de la couche de matériau piézorésistif, laquelle peut être en silicium monocristallin. Les points d'ancrage de jauge sont non suspendus et solidaires du substrat. La résistance d'adaptation est également formée par une ou plusieurs portions de la même couche, suspendues à partir de points d'ancrage non suspendus. Mais la résistance d'adaptation pourrait aussi être formée dans la même couche de matériau piézorésistif mais non suspendue.

Le substrat peut être un substrat de silicium sur isolant et les éléments suspendus sont formés par enlèvement local de la couche isolante recouvrant le substrat là où la couche doit être suspendue, c'est-à-dire à l'endroit de la jauge ou des jauges, et éventuellement à l'endroit d'une résistance d'adaptation. La résistance d'adaptation peut être réalisée par mise en parallèle de plusieurs résistances suspendues. Les portions de couche piézorésistive non suspendues sont solidaires du substrat par l'intermédiaire de la couche isolante et forment des points d'ancrage.

Le capteur micro-usiné peut comporter une poutre vibrante suspendue au-dessus du substrat à partir d'un point d'ancrage et une ou plusieurs électrodes d'excitation. Des résistances d'adaptation, formées dans la couche de matériau piézorésistif, sont de préférence disposées à proximité immédiate du capteur micro-usiné et sont reliées entre une électrode d'excitation et une ligne conductrice portée à un potentiel d'alimentation.

Dans une application particulière, le capteur comporte deux électrodes d'excitation symétriques par rapport à la poutre et deux jauges de contrainte symétriques par rapport à la poutre, avec des résistances d'adaptation respectives reliées à chacune des électrodes d'excitation et des résistances d'adaptation reliées à chacune des jauges de contrainte.

La poutre vibrante peut être mise en vibration à une fréquence proche de sa fréquence de résonance à l'aide des électrodes d'excitation

fixes, s'étendant jusqu'à la poutre vibrante sans la toucher et formant avec elle une capacité engendrant des forces électrostatiques sur la poutre.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux
5 dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente en vue de dessus un exemple de puce comportant un capteur micro-usiné à poutre vibrante et jauges de contrainte ;
- la figure 2 représente des coupes verticales du capteur de la
10 figure 1, montrant la constitution physique de la poutre, des jauges, et de leurs points d'ancrage ;
- la figure 3 représente un schéma électrique équivalent du capteur ;
- la figure 4 représente la puce avec le capteur de la figure 1, les
15 plots de connexion, et les lignes de connexion entre le capteur et les plots ;
- la figure 5 représente la puce selon l'invention avec les résistances d'adaptation à proximité immédiate du capteur ;
- la figure 6 représente une vue détaillée du capteur selon l'invention ;
- la figure 7 représente une puce avec un réseau de plusieurs
20 capteurs.

On va décrire l'invention à propos d'une puce électro-mécanique micro-usinée comportant un capteur de mesure de très faibles masses ; la
25 puce électro-mécanique est destinée par exemple à l'analyse de gaz : les molécules de gaz qui se déposent sur une poutre vibrante en modifient la masse et donc la fréquence de résonance. Mais l'invention est applicable à d'autres types de capteurs micro-usinés pour la mesure de masses ou d'autres grandeurs physiques telles que la pression, la température,
30 l'accélération, etc.

Le capteur comporte dans cet exemple une poutre vibrante excitée par des forces électrostatiques à une fréquence voisine de la fréquence de résonance, et deux jauges de contrainte piézorésistives reliées mécaniquement à la poutre et permettant d'établir des signaux électriques de

détection des déplacements afin qu'on puisse en déduire les variations de fréquence de résonance.

La figure 1 représente les éléments principaux d'un tel capteur micro-usiné, en vue de dessus. Le capteur 10 a une dimension de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres de côté et est situé à la surface d'une puce électro-mécanique non représentée sur la figure 1, ayant des dimensions beaucoup plus grandes que celles du capteur (au moins 10 fois et de préférence au moins 50 fois plus grandes). Le capteur 10 comprend une poutre vibrante allongée 20, deux électrodes d'excitation 30 et 30' situées de part et d'autre de la poutre, et deux jauges de contrainte 40 et 40' reliées à la poutre de part et d'autre de celle-ci.

Dans cet exemple, la poutre vibrante 20 est suspendue à partir d'un point d'ancrage fixe 22. Par le mot "fixe", on entend le fait que le point d'ancrage ne subit pas de mouvement par rapport au corps de la puce électro-mécanique, contrairement à la poutre qui peut vibrer. Les électrodes d'excitation 30 et 30' sont fixes.

Les jauges de contrainte sont également suspendues et peuvent subir des efforts de traction dus aux mouvements de la poutre vibrante. Elles sont fixées chacune d'un côté à un point d'ancrage fixe respectif 42, 42' et de l'autre à la poutre, par exemple vers le milieu de la poutre dans le sens de la longueur.

Les électrodes d'excitation fixes sont proches de la poutre ; elles reçoivent un signal à haute fréquence (typiquement de l'ordre de 10 à 100 MHz) et exercent des forces électrostatiques sur la poutre pour la faire entrer en vibration à cette fréquence. Dans cet exemple, les électrodes d'excitation sont situées vers l'extrémité libre vibrante de la poutre. Elles seraient situées à un autre endroit si la poutre était ancrée à ses deux extrémités.

D'un point de vue technologique, la poutre et les jauges sont de préférence formées par une même couche de matériau piézorésistif, suspendue, c'est-à-dire ne reposant pas sur le substrat de la puce ou sur une couche solidaire du substrat. Les points d'ancrage et les électrodes d'excitation sont formés par la même couche de silicium mais qui repose cette fois sur une couche solidaire du substrat. Le matériau piézorésistif est de préférence du silicium monocristallin, mais d'autres matériaux ou assemblages de matériaux sont possibles.

Pour une puce électro-mécanique formée sur un substrat de silicium sur isolant (substrat SOI), la couche de silicium mentionnée ci-dessus est la couche supérieure de silicium monocristallin de la structure SOI, c'est-à-dire la couche de silicium formée sur une couche d'oxyde de silicium elle-même formée sur un substrat qui est de préférence en silicium.

Un mode de fonctionnement possible de ce capteur est le suivant : une haute fréquence d'excitation F_0 est appliquée aux électrodes d'excitation 30, 30' ; un signal de polarisation à une fréquence de polarisation est appliqué aux jauges de contrainte 40, 40' à partir de leurs points d'ancrage 42, 42' ; un signal composite est recueilli par le point d'ancrage 22 de la poutre vibrante, ce signal comportant une composante à la fréquence différence entre la fréquence d'excitation et la fréquence de polarisation, et c'est cette composante qui sera utilisée pour déterminer la fréquence de résonance. Un asservissement de phase et de fréquence peut être utilisé (en général à l'extérieur de la puce électro-mécanique) pour asservir la fréquence d'excitation sur la fréquence de résonance de la poutre vibrante.

Des lignes conductrices (par exemple en aluminium ou en une combinaison de métaux tels que Ti/Mn/Au) viennent contacter les électrodes d'excitation (lignes L1, L'1), les points d'ancrage de jauge (lignes L2, L'2), et le point d'ancrage de poutre (ligne L3) ; ces lignes relient les électrodes d'excitation et points d'ancrage à des plots de connexion extérieure de la puce, non représentés sur la figure 1.

La figure 2 représente en plusieurs coupes verticales les éléments de ce capteur. La coupe de la figure 2A est une coupe longitudinale le long de la poutre vibrante 20 selon la ligne A-A de la figure 1 ; la coupe de la figure 2B est une coupe selon la ligne B-B, perpendiculaire à la poutre à l'endroit des électrodes d'excitation ; la coupe de la figure 2C est une coupe selon la ligne C-C, coupant longitudinalement les jauges de contrainte et transversalement la poutre 20.

La structure est usinée sur un substrat de silicium, de préférence de type SOI, comportant un substrat proprement dit 50 (en principe en silicium) revêtu d'une couche d'oxyde de silicium 52, elle-même revêtue d'une couche de silicium monocristallin 54. Les jauges de contrainte piézorésistives 40 et la poutre vibrante 20 sont usinées dans la couche de

silicium monocristallin 54. Les jauges et la poutre sont suspendues au-dessus du substrat 50, en raison du fait qu'on a éliminé la couche d'oxyde de silicium 52 initialement présente au-dessous d'elles. Au contraire, les points d'ancrage 22, les électrodes 30, 30', sont solidaires du substrat 50 par l'intermédiaire de la couche d'oxyde de silicium 52. Les lignes conductrices sont formées par une couche métallique gravée, reposant sur une couche isolante 56 et venant en contact ponctuellement, sur les points d'ancrage ou les électrodes d'excitation, avec le silicium de la couche 54. Sur les figures on a considéré que le silicium de la couche 54 était éliminé au-dessous des lignes conductrices, mais les lignes pourraient aussi être déposées au-dessus du silicium pourvu qu'elles en soient séparées par une couche isolante 56.

Les jauges 40, 40' sont constituées exactement comme la poutre 20 et ne forment qu'une même structure comme on le voit sur la figure 2 ; elles sont suspendues au-dessus du substrat et seuls leurs points d'ancrage 42, 42' reposent sur de l'oxyde de silicium. Ce sont des rubans allongés dans une direction horizontale (de préférence perpendiculaire à la poutre comme on le voit sur la figure 1; leur longueur est très supérieure à leur largeur et à leur hauteur (au moins dix fois supérieure) pour avoir un comportement élastique en extension lors de la vibration de la poutre. Dans cet exemple, les jauges sont disposées symétriquement par rapport à la poutre.

Le motif de poutre, jauges, pieds d'ancrage, électrodes, est gravé dans la couche 54. L'oxyde de silicium dénudé par cette gravure est ensuite éliminé au moyen d'acide fluorhydrique ; l'acide attaque isotropiquement l'oxyde jusqu'au-dessous des éléments de silicium de faible largeur (poutre, jauges), les séparant ainsi du substrat. Les points d'ancrage ont des dimensions suffisantes pour que cette sous-gravure partielle (visible sur la figure 2) les laisse suffisamment solidaires de la couche 52 et du substrat 50.

La figure 3 rappelle pour mémoire le schéma électrique équivalent de cette structure de capteur micro-usiné, avec des capacités C_e entre les électrodes d'excitation 30, 30' et la poutre, des résistances R_j de jauges entre un point d'ancrage de jauge et la poutre, des résistances propres R_{b1} et R_{b2} de la poutre entre le point d'ancrage de la poutre et le point d'attache des jauges, puis entre ce point d'attache et la zone de poutre qui est en relation capacitive avec les électrodes d'excitation.

D'autres schémas équivalents seraient bien entendu utilisés si la structure micro-usinée était différente, par exemple si les jauges étaient accrochées en deux points différents de la poutre, ou si la poutre était ancrée à ses deux extrémités et si elle avait des électrodes d'excitation agissant en des points intermédiaires de la longueur de la poutre, etc.

La figure 4 représente la puce micro-usinée elle-même (référence IC), dans le cas d'un capteur unique présent sur la puce. Pour des raisons de fabrication la puce IC peut avoir des dimensions d'au moins 1 millimètre de côté, alors que le capteur proprement dit (poutre, jauges et points d'ancrage) des figures 1 et 2 ne fait que quelques dizaines de micromètres de côté au plus. La puce est reliée à l'extérieur par des plots de connexion sur lesquelles peuvent par exemple être soudés des fils. Compte-tenu de la dimension des plots (de l'ordre de 100 micromètres de côté environ), le capteur est nécessairement situé à distance de l'ensemble des plots, c'est-à-dire à une distance d'au moins 500 micromètres de certains plots auquel il est raccordé.

Les plots de connexion correspondent respectivement aux lignes de liaison L1, L'1, L2, L'2, L3 mentionnées précédemment. Ce sont des plots GP et GN reliés par les lignes L1, L'1 aux électrodes d'excitation 30, 30' ; des plots SP, SN reliés par les lignes L2, L'2 aux points d'ancrage des jauges ; et un plot D relié par la ligne L3 au plot d'ancrage de la poutre. D'autres plots de connexion peuvent être prévus, par exemple un plot de masse GND.

Les lignes de liaison L1, L'1, L2, L'2, L3 qui relient les points d'ancrage et électrodes du capteur aux plots de connexion ont des dimensions (un ou plusieurs millimètres) très supérieures aux dimensions du capteur (par exemple 100 fois moins) et elles constituent des éléments résistifs et capacitifs parasites dont les valeurs numériques peuvent être très supérieures aux valeurs de résistance R_j , R_{b1} , R_{b2} , et de capacités de la structure micro-usinée, mentionnées à propos de la figure 3. Ces éléments résistifs et capacitifs du réseau de connexion (interne à la puce) qui relie les plots de connexion au capteur sont gênants pour l'utilisateur ; celui-ci doit prendre des précautions pour appliquer des sources de tension aux différents plots pour faire fonctionner correctement le système électromécanique.

La figure 5 représente une réalisation de capteur selon l'invention, dans lequel la structure générale de la puce IC et du capteur est la même qu'aux figures 1, 2 et 4, mais des résistances d'adaptation ont été ajoutées à proximité immédiate du capteur, et une ligne conductrice L4, portée à un potentiel fixe part d'un (ou plusieurs, ici deux) plot de connexion GND et rejoint la zone à proximité immédiate du capteur. Cette ligne est ici un conducteur à un potentiel de masse 0.

Les résistances d'adaptation ajoutées, Rc-SP et Rc-SN, s'étendent entre la ligne de masse L4 et les lignes L2, L'2 aboutissant aux points d'ancrage de jauge (42 et 42'). Elles sont fabriquées selon la même technologie que les jauges : ici, elles sont formées dans la couche de silicium monocristallin piézorésistive. Elles sont suspendues, sauf si leur valeur numérique de résistance est très inférieure à la valeur des résistances des jauges, auquel cas elles peuvent être significativement plus larges que les jauges et reposer alors directement sur la couche d'oxyde de silicium sans être suspendues.

D'autres résistances d'adaptation, Rc-GP et Rc-GN, sont de préférence prévues à proximité immédiate du capteur, entre la ligne de masse L4 et d'autres éléments du capteur, notamment entre la ligne de masse et les lignes conductrices L1, L'1 aboutissant aux électrodes d'excitation (30, 30').

La figure 6 représente un exemple de réalisation détaillée de l'invention dans un capteur du type de celui des figures 1 et 2.

Les résistances d'adaptation Rc-SP et Rc-SN connectées électriquement aux points d'ancrage, représentées en surfaces pointillées sur la figure 6, sont ici constituées comme les jauges, c'est-à-dire par la couche résistive 54 mentionnée à propos de la figure 2. Ce sont des rubans allongés de silicium usinés en même temps que les jauges. Dans l'exemple représenté, ce sont des résistances suspendues, comme les jauges, en raison de leur faible largeur qui permet une sous-gravure d'oxyde jusqu'à enlèvement complet au-dessous de la résistance. Dans cet exemple, chaque résistance est composée de trois résistances en parallèle, de faible largeur chacune.

On pourrait cependant utiliser cette couche de silicium comme résistance d'adaptation sur une largeur plus forte, donc sans sous-gravure (résistances non suspendues), si les valeurs de résistance d'adaptation sont suffisamment faibles. Les caractéristiques de longueur et largeur des 5 résistances d'adaptation sont définies en fonction des valeurs numériques souhaitées pour les résistances d'adaptation. Les valeurs souhaitées dépendent des caractéristiques électriques des éléments du capteur et des lignes conductrices.

Dans l'exemple représenté à la figure 6, les résistances 10 d'adaptation Rc-SP et Rc-SN qui sont connectées aux points d'ancrage de jauges sont des résistances suspendues de faible largeur, alors que les résistances d'adaptation Rc-GP et Rc-GN qui sont connectées aux électrodes d'excitation sont des résistances plus larges, non suspendues.

Dans un exemple numérique, les jauges ont des résistances de 2 15 kilo-ohms et sont formées par des rubans allongés de longueur 2 micromètres pour une largeur de 100 nanomètres. Si on veut faire des résistances d'adaptation de 50 ohms on pourra mettre en parallèle 40 rubans suspendus ayant exactement la configuration des jauges ; alternativement on pourra utiliser une résistance de longueur 2 micromètres et de largeur 4 20 micromètres, non suspendue. Pour une jauge de 1000 ohms et une résistance d'adaptation de 100 ohms, il suffit de dix résistances en parallèle identiques à la jauge, ou d'une résistance non suspendue de largeur dix fois supérieure à celle de la jauge et de longueur identique.

Pour éviter d'utiliser deux niveaux de métallisation pour réaliser 25 les lignes conductrices, alors que les lignes L1, L'1 doivent maintenant rejoindre les résistances Rc-GP et Rc-GN, et les lignes L2, L'2 doivent maintenant rejoindre les résistances Rc-SP et Rc-SN, on prévoit de préférence que les lignes L2 et L'2 croisent les électrodes 30, 30' (réalisées dans la couche de matériau piézorésistif) et non les lignes métalliques L1, 30 L'1 qui aboutissent sur ces électrodes. Cela allonge la géométrie de ces électrodes et donc leur résistance interne, mais ces électrodes ne consomment pas de courant et cet accroissement n'est donc pas gênant.

Parmi les avantages de l'invention, il y a le fait que les 35 résistances d'adaptation internes à la puce électro-mécanique contribuent à

la protection des circuits contre les décharges électrostatiques en provenance des plots. En effet, ces résistances constituent des chemins d'écoulement des charges vers les lignes d'alimentation dès lors que celles-ci sont connectées.

5

Dans ce qui précède, on a considéré que la puce électromécanique ne comporte qu'un seul capteur. Dans certaines applications on souhaite disposer d'un réseau de capteurs, fonctionnant en parallèle. La figure 7 représente un tel réseau avec quatre capteurs juxtaposés. Les lignes de connexion qui aboutissent à chaque capteur ont toutes la même configuration. Pour uniformiser l'influence de la présence de ces lignes sur tous les capteurs, on a en outre disposé de part et d'autre de la série de quatre capteurs, un agencement de lignes fantômes qui fait que chaque capteur, y compris aux extrémités de la série, est entouré par des lignes identiques de chaque côté, ce qui uniformise l'influence des éléments parasites. La résistance d'adaptation globale est répartie entre les quatre capteurs et il faut en tenir compte dans le calcul des résistances individuelles.

20

REVENDEICATIONS

1. Circuit électro-mécanique comportant un capteur (10) à détection par jauge de contrainte, micro-usiné sur une puce (IC), la puce comportant :

- 5 - un substrat (50),
- des plots de connexion extérieure (GP, SP, D ...),
- au moins une jauge de contrainte piézorésistive (40, 40') réalisée dans une couche (54) de matériau piézorésistif et reliée mécaniquement à un point d'ancrage de jauge (42, 42') solidaire du substrat et situé à distance d'un plot de connexion,
- 10 - un réseau de connexions conductrices (L1, L'1, L2, L'2, L3) reliant les plots de connexion au capteur micro-usiné, ce réseau comportant au moins une connexion conductrice (L2, L'2) reliant le plot de connexion au point d'ancrage de jauge,
- caractérisé en ce qu'au moins une résistance d'adaptation
- 15 d'impédance (Rc-SP, Rc-SN), réalisée dans la même couche de matériau piézorésistif que la jauge de contrainte et placée à proximité immédiate de la jauge, est reliée électriquement entre le point d'ancrage de jauge et au moins une ligne conductrice (L4) portée à un potentiel fixe d'alimentation de la puce, reliée à un autre plot de connexion (GND) et passant à proximité
- 20 immédiate du capteur.

2. Circuit électro-mécanique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la jauge de contrainte est formée par une portion, suspendue au-dessus du substrat, de la couche de matériau piézorésistif, les

25 points d'ancrage de jauge étant non suspendus et solidaires du substrat, et la résistance d'adaptation est également formée par une ou plusieurs portions de la même couche, suspendues à partir de points d'ancrage non suspendus.

30 3. Circuit électro-mécanique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la jauge de contrainte est formée par une portion suspendue de la couche de matériau piézorésistif, les points d'ancrage de

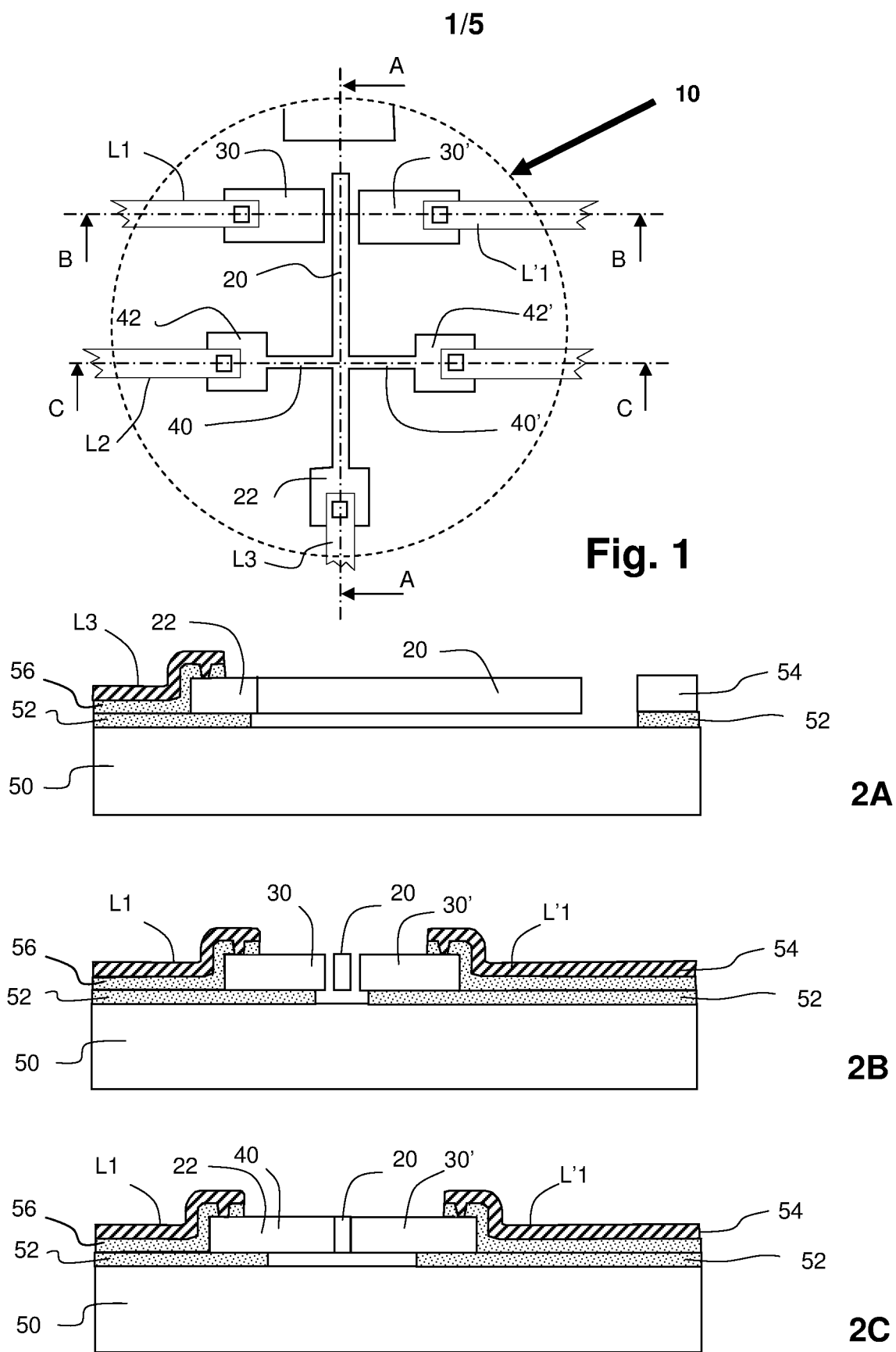
jauge étant non suspendus et solidaires du substrat, et la résistance d'adaptation est formée par une portion de la même couche, non suspendue et solidaire du substrat.

5 4. Circuit électro-mécanique selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la jauge de contrainte est réalisée en silicium et le substrat est recouvert d'une couche isolante enlevée localement là où la jauge ou des résistances sont suspendues.

10 5. Circuit électro-mécanique selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que le capteur micro-usiné comporte une poutre vibrante suspendue au-dessus du substrat et au moins une électrode d'excitation (30, 30'), et une résistance d'adaptation (Rc-GP, Rc-GN) formée dans la couche de matériau piézorésistif est disposée à proximité immédiate
15 du capteur micro-usiné et est reliée entre une ligne (L1, L'1) aboutissant à l'électrode d'excitation et une ligne conductrice (L4) portée à un potentiel d'alimentation.

20 6. Circuit électro-mécanique selon la revendication 5, caractérisé en ce que le capteur micro-usiné comporte deux électrodes d'excitation symétriques par rapport à la poutre et deux jauges de contrainte symétriques par rapport à la poutre, avec des résistances d'adaptation respectives reliées à chacune des électrodes d'excitation et des résistances d'adaptation reliées à chacune des jauges de contrainte.

25 7. Circuit électro-mécanique selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que la puce comporte un réseau de capteurs individuels à jauges de contrainte reliés électriquement par le réseau de lignes conductrices à des plots de connexion extérieure de la puce, à distance des capteurs, caractérisé en ce que chaque capteur individuel comporte des résistances d'adaptation formés dans la même couche de matériau piézorésistif que les jauges de contrainte, chaque capteur individuel comportant au moins une résistance d'adaptation formée dans la couche de
30 matériau piézorésistif et situé à proximité immédiate de ce capteur, à
35 distance des plots de connexion extérieure.

**Fig. 2**

2/5

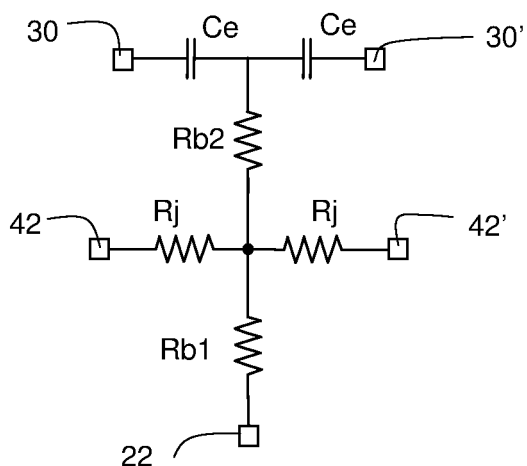


Fig. 3

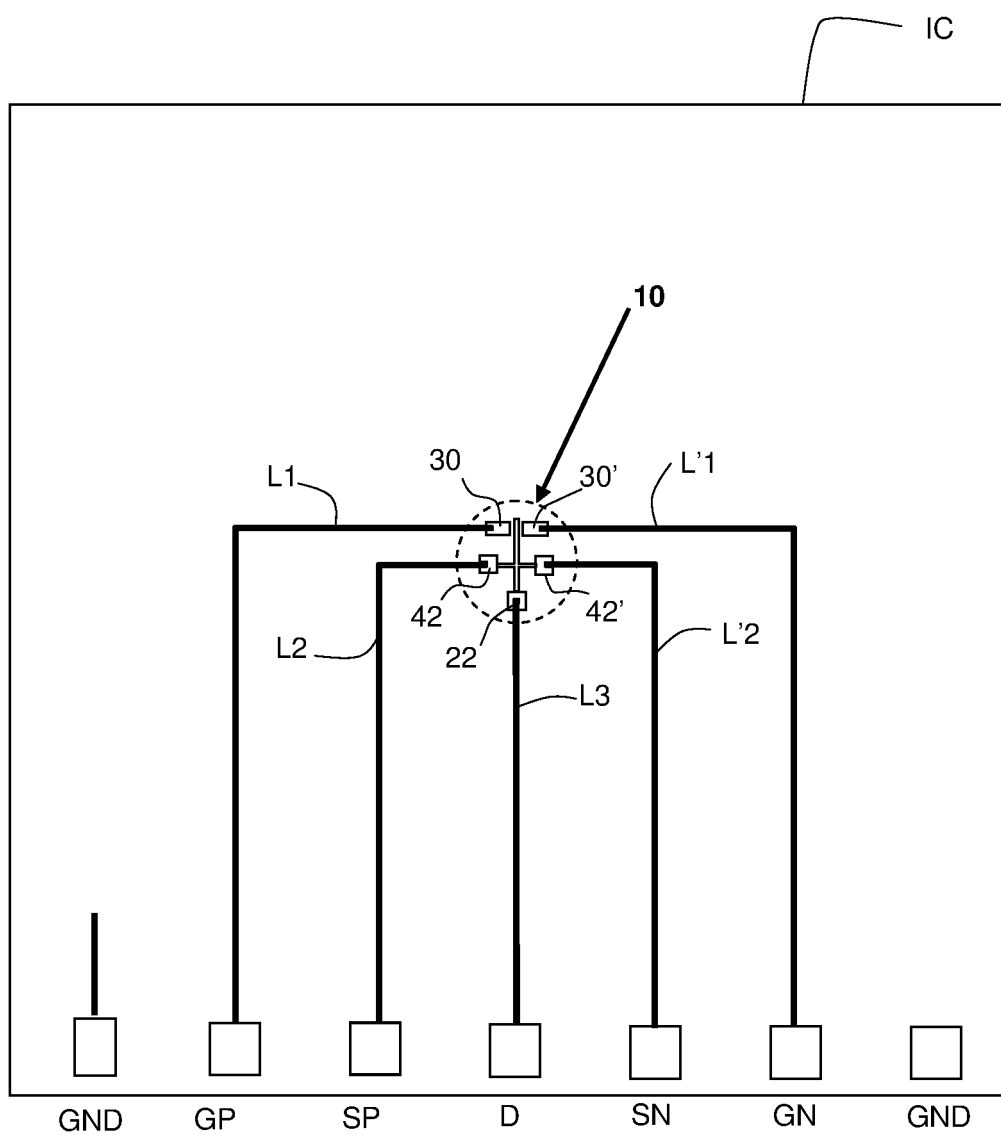


Fig. 4

3/5

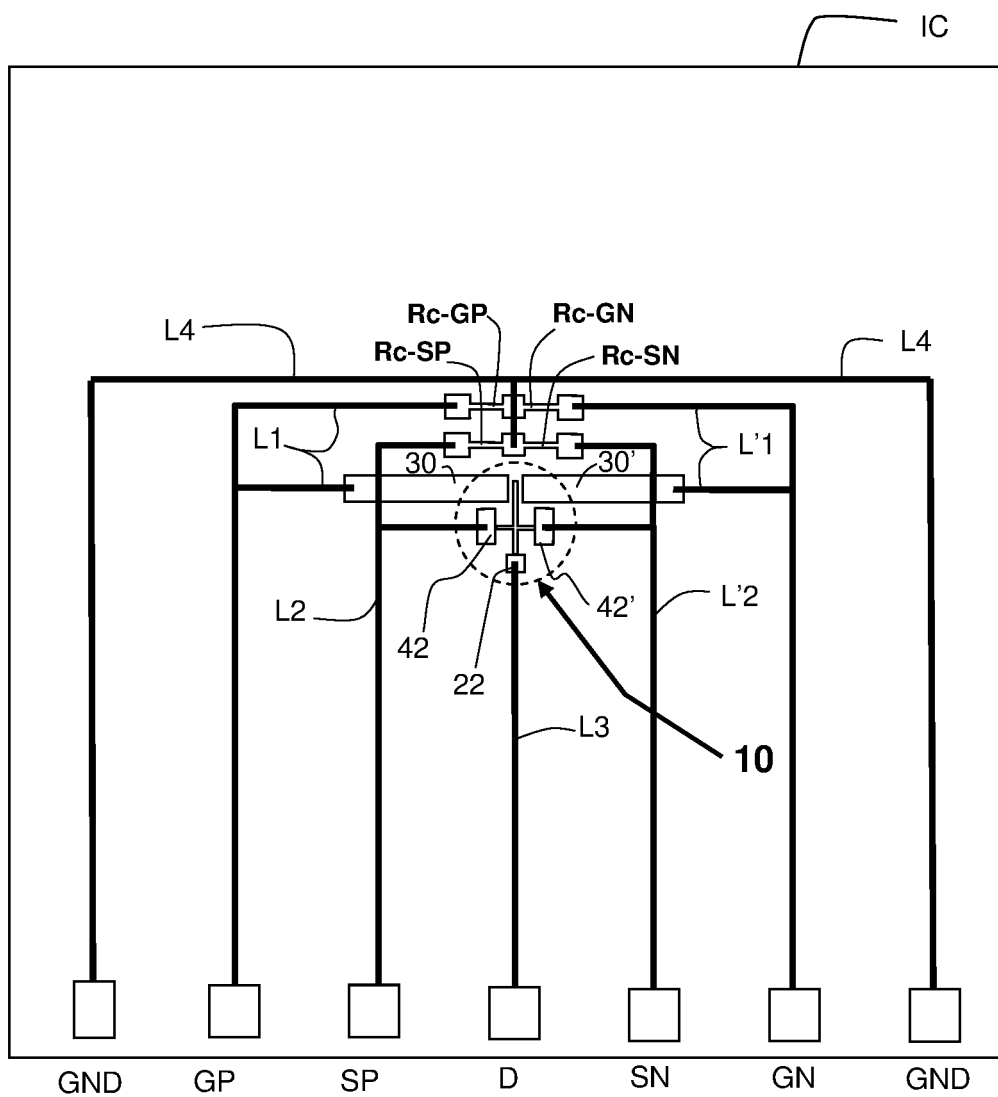


Fig. 5

4/5

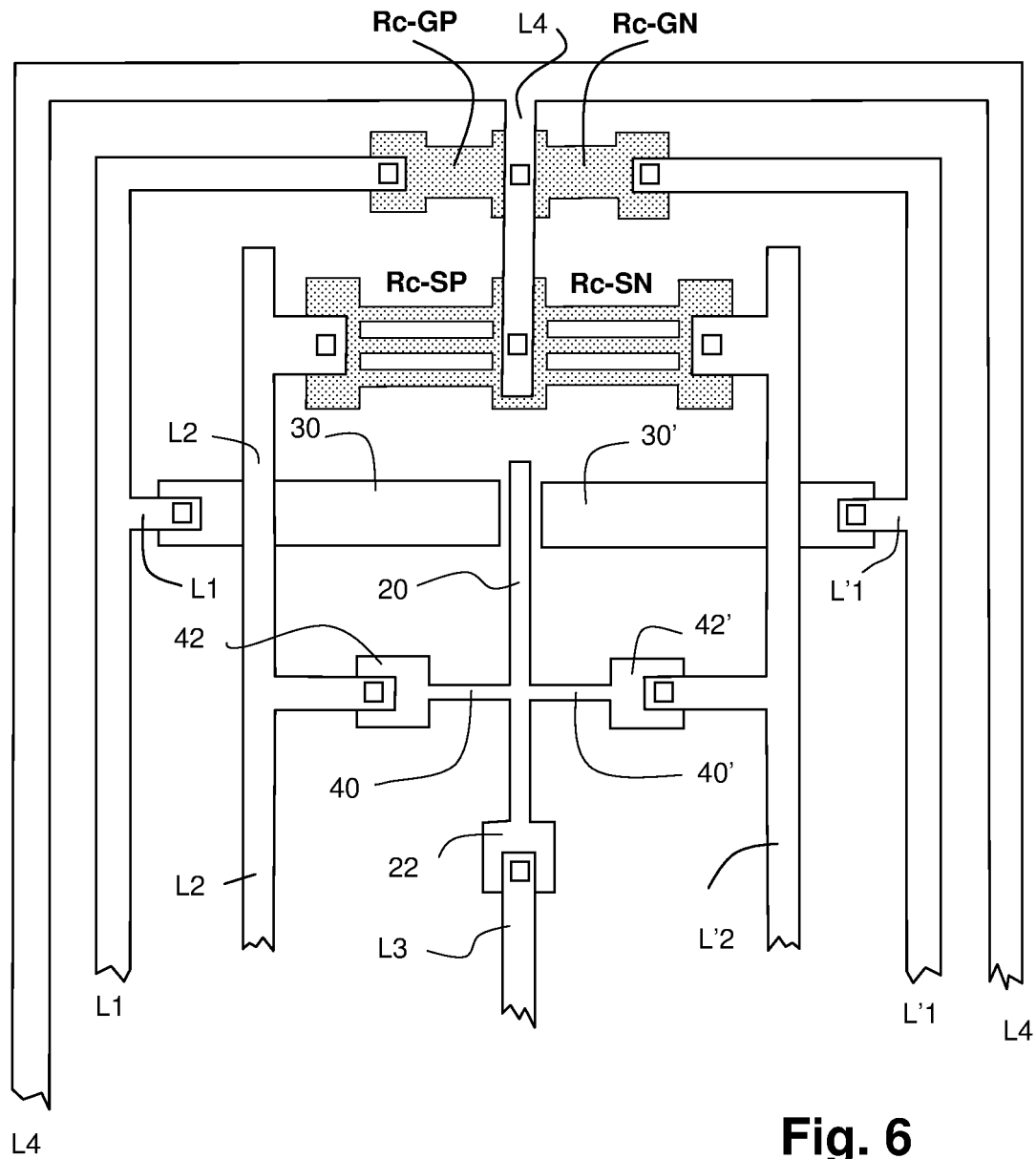


Fig. 6

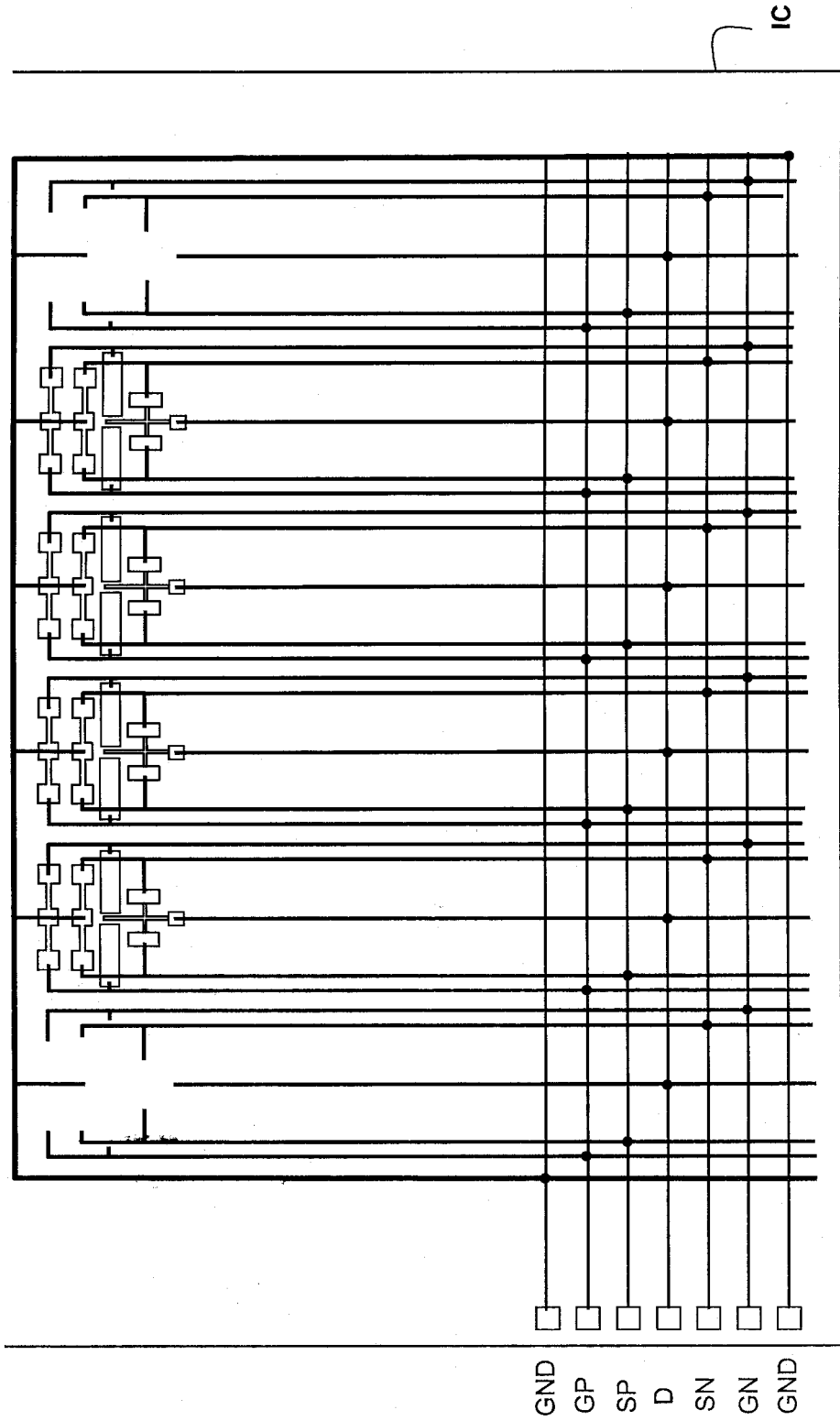


Fig. 7



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

N° d'enregistrement
national

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

FA 790965
FR 1361890

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		
A	EP 1 855 107 A1 (TOKYO ELECTRON LTD [JP]) 14 novembre 2007 (2007-11-14) * abrégé * * figures 1-5 * * alinéas [0008] - [0042] * -----	1	B81B7/02
A	US 5 525 549 A (FUKADA TSUYOSHI [JP] ET AL) 11 juin 1996 (1996-06-11) * abrégé * * figures 1-5 * * colonne 4, ligne 40 - colonne 5, ligne 27 * -----	1	
A	FR 2 988 935 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 4 octobre 2013 (2013-10-04) * abrégé * * figure 1b * -----	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B81B H03H
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 juin 2014		Guidoin, M	
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 1361890 FA 790965**

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 **26-06-2014**

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
EP 1855107	A1	14-11-2007	CN 101133320 A	27-02-2008
			EP 1855107 A1	14-11-2007
			JP 4628419 B2	09-02-2011
			KR 20070108246 A	08-11-2007
			TW 1289204 B	01-11-2007
			US 2008190206 A1	14-08-2008
			WO 2006093232 A1	08-09-2006

US 5525549	A	11-06-1996	DE 69330980 D1	29-11-2001
			DE 69330980 T2	11-07-2002
			DE 69334194 T2	04-12-2008
			EP 0567075 A2	27-10-1993
			EP 1119032 A2	25-07-2001
			US 5525549 A	11-06-1996

FR 2988935	A1	04-10-2013	FR 2988935 A1	04-10-2013
			WO 2013150013 A1	10-10-2013
