

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la  
Propriété Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
16 août 2012 (16.08.2012)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2012/107888 A1**

- (51) Classification internationale des brevets :  
H01L 41/047 (2006.01) B81B 3/00 (2006.01)  
H01L 41/09 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/IB2012/050567
- (22) Date de dépôt international :  
8 février 2012 (08.02.2012)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
1100403 9 février 2011 (09.02.2011) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :  
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : FAUCHER, Marc [FR/FR]; 16 rue Réaumur, F-59000 Lille (FR).
- (74) Mandataires : CORRET, Hélène et al.; Cabinet Ores, 36 rue de St Pétersbourg, F-75008 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :  
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : MICROELECTROMECHANICAL DEVICE WITH PIEZOELECTRIC ACTUATION STRUCTURE

(54) Titre : DISPOSITIF MICROELECTROMECHANIQUE AVEC STRUCTURE D'ACTIONNEMENT PIEZOELECTRIQUE

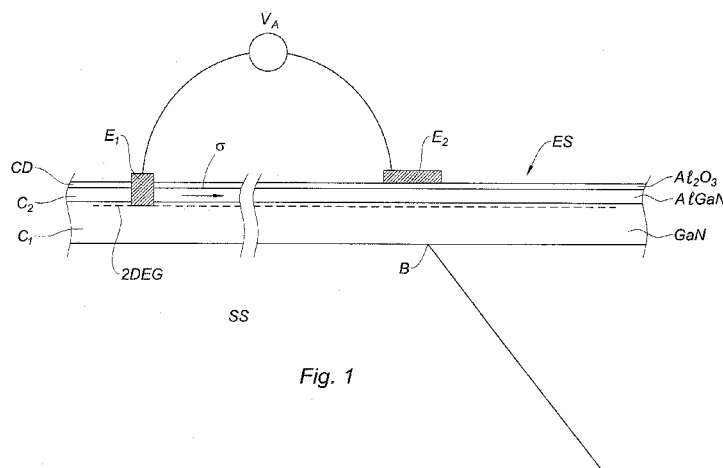


Fig. 1

(57) Abstract : Microelectromechanical device comprising: a substrate (SS); a first layer (C<sub>1</sub>) of a first semiconducting material, deposited on a surface of said substrate; a second layer (C<sub>2</sub>) of a second piezoelectric semiconducting material different from said first semiconducting material, deposited on said first layer, said first and second layers forming a heterostructure able to confine a bidimensional gas of carriers (2DEG); at least one suspended element (ES), formed by prolongations of said layers extending beyond an edge (B) of said substrate; and a first (E<sub>1</sub>) and a second (E<sub>2</sub>) actuation electrode for establishing a potential difference between said bidimensional gas of carriers and said first layer in such a way as to form a piezoelectric actuation structure for said suspended element; characterized in that a dielectric layer (CD) is provided between said second actuation electrode and said second layer so as to prevent the passage of an electric current between them.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



WO 2012/107888 A1

---

Dispositif microélectromécanique comportant : un substrat (SS); une première couche (C<sub>1</sub>) d'un premier matériau semi-conducteur, déposée sur une surface dudit substrat; une deuxième couche (C<sub>2</sub>) d'un deuxième matériau semi-conducteur piézoélectrique différent dudit premier matériau semi-conducteur, déposée sur ladite première couche, lesdites première et deuxième couches formant une hétérostructure susceptible de confiner un gaz bidimensionnel de porteurs (2DEG); au moins un élément suspendu (ES), formé par des prolongements desdites couches s'étendant au-delà d'un bord (B) dudit substrat; et une première (E<sub>1</sub>) et une deuxième (E<sub>2</sub>) électrodes d'actionnement pour établir une différence de potentiel entre ledit gaz bidimensionnel de porteurs et ladite première couche de manière à former une structure d'actionnement piézoélectrique dudit élément suspendu; caractérisé en ce qu'une couche diélectrique (CD) est prévue entre ladite deuxième électrode d'actionnement et ladite deuxième couche pour empêcher le passage d'un courant électrique entre elles.

## DISPOSITIF MICROELECTROMECHANIQUE AVEC STRUCTURE D'ACTIONNEMENT PIEZOELECTRIQUE

L'invention porte sur un dispositif microélectromécanique dont le fonctionnement est basé sur un effet piézoélectrique et constitué au moins en partie par un matériau semi-conducteur piézoélectrique, tel qu'un semi-conducteur de type III-N (nitrures d'éléments du groupe III).

Les dispositifs et systèmes microélectromécaniques (dits « MEMS » pour l'anglais « *Micro-Electro-Mechanical Systems* ») ont connu un développement important dans les dernières décennies. Fabriqués à l'aide de techniques empruntées à la microélectronique, ces dispositifs comportent typiquement des éléments mécaniques de dimensions submillimétriques (poutres encastées, membranes...), ainsi que des actionneurs pour mettre en mouvement lesdits éléments mécaniques et/ou des capteurs pour détecter le mouvement desdits éléments mécaniques.

Lorsque les dimensions caractéristiques des éléments mécaniques sont inférieures au micromètre, on parle parfois de dispositifs et systèmes nanoélectromécaniques (dits « NEMS » pour l'anglais « *Nano-Electro-Mechanical Systems* »). Dans la suite, les expressions « MEMS » et « dispositif micromécaniques » seront utilisées dans un sens large, incluant les dispositifs et systèmes nanoélectromécaniques (NEMS).

Les documents WO2004/083110, US2007/0176211 et WO2010/116061 divulguent des MEMS de type à micro-poutre, réalisés en hétérostructure AlGaIn/GaN, dans lesquels les mouvements de la micro-poutre sont détectés à l'aide d'un transistor de type HEMT intégré à l'hétérostructure.

L'article de K. Tonisch et al. « *Piezoelectric actuation of all nitride MEMS* », Phys. Stat. Sol. (c), No. 6, 1910 – 1913 (2008) porte plus spécifiquement sur le mécanisme d'actionnement des MEMS réalisés en hétérostructure AlGaIn/GaN.

Les MEMS décrits par ces documents comportent une première couche en GaN déposée sur un substrat en Si, et une deuxième couche en AlGaIn déposée sur ladite deuxième couche. Ces matériaux sont à la fois semi-conducteurs et piézoélectriques, et forment une hétérostructure confinant un gaz bidimensionnel d'électrons. L'actionnement est obtenu en appliquant une

différence de potentiel aux bornes de la couche en AlGaN ; pour ce faire on utilise une électrode supérieure constituée par une couche de métallisation, tandis que le gaz bidimensionnel d'électrons joue le rôle d'électrode inférieure.

Dans ces conditions, l'interface entre la deuxième couche et l'électrode supérieure a un comportement rectifiant (jonction Schottky). Dans un régime de fonctionnement normal du dispositif, cette jonction doit être polarisée inversement, ou alors directement mais à un niveau de tension inférieur à  $V_S \approx 0,5V$  environ pour éviter le passage d'un courant électrique important, qui conduirait à une dégradation rapide de l'interface et en tout cas à une différence de potentiel mal définie aux bornes de la couche piézoélectrique. En d'autres termes, le potentiel  $V_2$  de l'électrode supérieure doit être inférieur ou égal à  $V_1 + V_S$ , où  $V_1$  est le potentiel du gaz bidimensionnel d'électrons faisant fonction d'électrode supérieure et  $V_S \approx 0,5V$ .

En même temps, si l'électrode supérieure est amenée à un potentiel inférieur à celui du gaz bidimensionnel d'électrons, ces derniers sont repoussés et la densité du gaz diminue. Lorsque la différence de potentiel  $V_2 - V_1$  devient inférieure à une valeur  $-V_P$  (typiquement de l'ordre de  $-4V$ ), le gaz d'électrons disparaît complètement et ne peut plus jouer le rôle d'électrode pour l'établissement d'un champ électrique dans la deuxième couche.

Par conséquent, un dispositif microélectromécanique connu de l'art antérieur ne peut fonctionner correctement que tant que sa tension d'actionnement  $V_A = V_2 - V_1$  évolue dans une plage relativement limitée, entre  $-V_P$  et  $V_S$ , c'est-à-dire typiquement entre  $-4V$  et  $0,5V$ . Cela limite l'efficacité de l'actionnement.

Pour ces mêmes raisons, l'art antérieur ne permet pas de réaliser un dispositif microélectromécanique basé sur une hétérostructure du type « normalement éteint », c'est-à-dire ne présentant un gaz bidimensionnel d'électrons à l'interface entre les deux couches semi-conductrice que lorsque  $V_2 - V_1 \geq V_E > 0$ . L'utilisation d'une hétérostructure de ce type serait avantageuse car elle permettrait la co-intégration de transistors à effet de champ de type « à enrichissement » (« *enhancement mode* » en anglais), appréciés pour leur faible niveau de consommation.

L'invention vise à remédier aux inconvénients précités de l'art antérieur.

Un objet de l'invention, permettant d'atteindre ce but, est un dispositif microélectromécanique comportant :

- 5                   - un substrat ;
  - une première couche d'un premier matériau semi-conducteur, déposée sur une surface dudit substrat ;
  - une deuxième couche d'un deuxième matériau semi-conducteur piézoélectrique différent dudit premier matériau semi-conducteur,  
10               déposée sur ladite première couche, lesdites première et deuxième couches formant une hétérostructure susceptible de confiner un gaz bidimensionnel de porteurs ;
  - au moins un élément suspendu, formé par des prolongements desdites couches s'étendant au-delà d'un bord dudit substrat ;  
15               et
  - une première et une deuxième électrodes d'actionnement pour établir une différence de potentiel entre ledit gaz bidimensionnel de porteurs et une face supérieure de ladite deuxième couche, opposée audit gaz bidimensionnel de porteurs, de manière à former une structure d'actionnement  
20               piézoélectrique dudit élément suspendu ;
- caractérisé en ce qu'une couche diélectrique est prévue entre ladite deuxième électrode d'actionnement et ladite deuxième couche pour empêcher le passage d'un courant électrique entre elles.
- Grâce aux propriétés isolantes de la couche diélectrique, le  
25               dispositif microélectromécanique de l'invention peut fonctionner correctement même avec une tension d'actionnement sensiblement positive, et supérieure à  $V_s$ , sans qu'un courant appréciable ne puisse passer de l'électrode supérieure à la couche semi-conductrice et piézoélectrique. La dynamique d'actionnement du dispositif s'en trouve considérablement améliorée.
- 30               Selon différents modes de réalisation particuliers de l'invention :
- Ladite couche diélectrique peut présenter une épaisseur inférieure à trois fois celle de ladite deuxième couche, de préférence entre 0,1

fois et 1 fois – et de manière encore plus préférée entre 0,1 fois et 0,3 fois – celle de ladite deuxième couche.

- Ladite couche diélectrique peut présenter une permittivité diélectrique relative supérieure ou égale à 3.

5 - Ladite couche diélectrique peut présenter un champ de claquage, ou rigidité diélectrique, supérieur ou égal à 0,5 fois celui de ladite deuxième couche, et de préférence supérieur ou égal à celui de ladite deuxième couche.

- La première et la deuxième couches peuvent être réalisées  
10 en des matériaux semi-conducteurs différents de type III-N. Plus particulièrement, ladite première couche peut être réalisée en GaN, ladite deuxième couche peut être réalisée en AlGaInN, et ladite couche diélectrique peut être réalisée en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . D'une manière conventionnelle :

15 - AlGaInN est une écriture abrégée pour  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  avec typiquement  $y=1-x$  et  $0,1 \leq x \leq 0,35$  et avantageusement  $0,2 \leq x \leq 0,3$  (idéalement,  $x=0,25$ );

- AlInN est une écriture abrégée pour  $\text{Al}_x\text{In}_y\text{N}$  avec typiquement  $y=1-x$  et  $0,7 \leq x \leq 1$  et avantageusement  $0,8 \leq x \leq 0,9$  (idéalement,  $x=0,83$ );  
20

- AlGaInN est une écriture abrégée pour  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{N}$  avec typiquement  $z=1-x-y$  et  $0,1 \leq (x+y) \leq 0,9$  et avantageusement  $0,75 \leq x \leq 0,85$ ;  $0,05 \leq y \leq 0,15$  (idéalement,  $x=0,8$  et  $y=0,1$ ).

- Lesdites première et deuxième couches peuvent former  
25 une hétérostructure susceptible de confiner un gaz bidimensionnel de porteurs seulement lorsqu'une différence de potentiel est appliquée entre ces deux couches (hétérostructure « normalement éteinte »).

- Ledit élément suspendu peut présenter une forme choisie entre: une poutre, un disque ou une plaque. Plus précisément, il peut présenter  
30 une forme choisie entre : une poutre encastree à ses deux extrémités et un disque ou plaque encastres sur tout leur périmètre, lesdites première et deuxième électrodes d'actionnement étant agencées au niveau d'une partie d'encastrement dudit élément.

- Le dispositif peut comporter également un transistor à effet de champ intégré à ladite deuxième couche et/ou à son prolongement pour détecter des déplacements dudit élément suspendu, ledit transistor à effet de champ comprenant une électrode de source et une électrode de drain en contact électrique avec ledit gaz bidimensionnel d'électron, et une électrode de grille réalisée (généralement par dépôt) au-dessus de ladite deuxième couche, séparée par elle par une couche isolante. Avantageusement, ladite couche isolante peut être réalisée dans le même matériau, et déposée dans la même étape technologique, que ladite couche diélectrique.

- L'électrode de source dudit transistor à effet de champ, et/ou une piste conductrice en contact électrique avec ladite électrode, peut être connectée électriquement à ladite première électrode d'actionnement et interposée entre ladite deuxième électrode d'actionnement et l'électrode de drain du transistor, de manière à former un écran électrostatique. Cet agencement permet de minimiser les couplages, à la fois capacitifs et par conduction, entre la structure d'actionnement et le transistor de détection des oscillations de l'élément suspendu. Un tel agencement peut être appliqué à des dispositifs microélectromécaniques piézoélectriques indépendamment de l'utilisation de la couche diélectrique entre la deuxième électrode d'actionnement et la couche piézoélectrique.

D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et qui représentent, respectivement :

- la figure 1, une vue en coupe de la structure d'actionnement d'un dispositif microélectromécanique selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 2, un graphique mettant en évidence l'élargissement de la plage admissible de variation de la tension d'actionnement obtenue grâce à l'invention ;

- la figure 3, une vue en coupe d'un dispositif microélectromécanique selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;  
et

- les figures 4 à 7, des vues en plan de dispositifs microélectromécaniques selon un troisième, quatrième, cinquième et sixième mode de réalisation de l'invention, respectivement.

Le dispositif de la figure 1 est fabriqué à partir d'un substrat SS, qui peut être réalisé en Si, SiC, verre, ou tout autre matériau adapté, sur lequel sont déposées deux couches épitaxiales  $C_1$  et  $C_2$ , respectivement en GaN et en AlGaN (plus précisément en  $Al_xGa_{(1-x)}N$ , par exemple en  $Al_{0,25}Ga_{0,75}N$ ). L'AlGaN ou l'AlInN peuvent aussi être utilisés.

Des prolongements des couches  $C_1$  et  $C_2$  s'étendent au-delà d'un bord B du substrat SS pour former un élément suspendu ES, en l'espèce un levier ou poutre encastré à une extrémité. Typiquement, le bord B n'est pas le bord latéral du substrat, mais le bord d'une cavité réalisé par gravure anisotrope après le dépôt des couches  $C_1$  et  $C_2$  afin de libérer l'élément suspendu ES.

La couche  $C_1$  présente typiquement une épaisseur de quelques micromètres (1 – 5  $\mu\text{m}$ , et par exemple 3  $\mu\text{m}$ ), tandis que la couche  $C_2$  est sensiblement plus mince (10 – 100 nm, et par exemple 20 nm). Les dimensions de l'élément suspendu dépendent des caractéristiques mécaniques souhaitées : typiquement, mais d'une manière non limitative, un micro-levier peut avoir une longueur comprise entre 10 et 1000  $\mu\text{m}$  et une largeur comprise entre 100 nm et 100  $\mu\text{m}$ . On remarquera que la figure n'est pas à l'échelle.

Les matériaux constituant les couches  $C_1$  et  $C_2$  sont des semi-conducteurs présentant des bandes interdites de largeurs différentes : ils forment ainsi une hétérostructure. Plus précisément, il est connu qu'un gaz bidimensionnel d'électrons (indiqué par la référence 2DEG pour « 2-dimensional electron gas » en anglais) ou, dans certains cas, de trous, se forme dans la couche  $C_1$ , quelques nanomètres au-dessous de l'interface. Un tel gaz bidimensionnel de porteurs est très conducteur ; il peut être relié électriquement à la surface par l'intermédiaire d'un plot conducteur formant électrode,  $E_1$ , traversant la deuxième couche. Un tel plot peut être obtenu, d'une manière connue en soi, en déposant du métal sur la surface supérieure de la couche  $C_2$ , puis en chauffant l'ensemble de manière à faciliter la diffusion des atomes métalliques. Typiquement, on réalise un dépôt Ti/Al/Ni/Au d'une épaisseur

totale de 400 nm qu'on recuit à 900°C pendant 1 min. On obtient ainsi, par diffusion et création d'alliages, un contact ohmique entre le métal et la couche C<sub>2</sub>.

5 Une couche mince diélectrique CD est déposée au-dessus de la couche C<sub>2</sub>, ou au moins d'une portion de sa surface supérieure. Cette couche peut recouvrir l'électrode E<sub>1</sub> (une ouverture étant prévue pour permettre la prise de contact avec cette électrode) ou pas ; dans ce dernier cas, l'ensemble du dispositif peut être avantageusement recouvert d'une deuxième couche diélectrique de passivation, non représentée (dans ce cas également, 10 des ouvertures permettent les prises de contact).

Une métallisation est réalisée sur la couche CD à un emplacement situé à proximité de l'élément suspendu, formant une deuxième électrode E<sub>2</sub>. Par application d'une différence de potentiel V<sub>A</sub> entre la première électrode E<sub>1</sub> (et donc le gaz bidimensionnel d'électrons) et la deuxième 15 électrode E<sub>2</sub>, un champ électrique s'établit à travers la couche C<sub>2</sub>, dans le sens de son épaisseur. Etant donné que le matériau constituant C<sub>2</sub> (AlGaIn) est piézoélectrique en plus d'être semi-conducteur, une contrainte mécanique est générée à l'intérieur de la couche, ce qui provoque un actionnement mécanique (en l'espèce : une flexion) de l'élément suspendu ES ; sur la figure, la référence 20  $\sigma$  indique la direction de la contrainte principale, qui dans ce cas gît dans le plan de la couche et est parallèle à l'orientation du levier ES. La tension V<sub>A</sub> peut être oscillatoire, par exemple sinusoïdale avec éventuellement une composant continue, et présenter une fréquence résonante avec un mode d'oscillation mécanique de l'élément suspendu. Dans le cas d'un actionnement en flexion, 25 pour que ce mécanisme d'actionnement puisse être efficace, il est préférable que la deuxième électrode soit déposée à proximité immédiate du bord B, voire sur l'élément suspendu lui-même, tandis que la première électrode E<sub>1</sub> doit, de préférence, être suffisamment éloignée pour ne pas perturber l'orientation des lignes de force du champ électrique et pour rendre négligeable le courant circulant entre les deux électrodes (une distance de l'ordre de quelques 30 micromètres, voire un micromètre, peut suffire).

La tension V<sub>A</sub> peut être positive (auquel cas la première électrode E<sub>1</sub> se trouve à un potentiel inférieur à celui de la deuxième électrode

$E_2$ ) ou négative (auquel cas la première électrode  $E_1$  se trouve à un potentiel supérieur à celui de la deuxième électrode  $E_2$ ). Cependant, comme le montre la courbe CAR1 sur le graphique tension-courant de la figure 2, elle ne peut pas varier sans limites. En effet, plus elle est négative, plus la densité du gaz bidimensionnel d'électrons 2DEG diminue, car les électrons sont repoussés par la deuxième électrode ; lorsque la valeur absolue de  $V_A$  dépasse une valeur limite  $V_P$  (tension de pincement, typiquement de l'ordre de 5V), ce gaz disparaît complètement (pincement). La présence/absence du gaz bidimensionnel d'électrons est représentée symboliquement sur la figure 2 par une bande hachurée. En conditions de pincement, il n'y a plus de parcours conducteur reliant l'électrode  $E_1$  et la région immédiatement au-dessous de l'électrode supérieure  $E_2$  ; par conséquent, les lignes de force du champ électrique changent de configuration pour relier directement ces deux électrodes : elles deviennent très inclinées, voire presque parallèles à la couche  $C_2$ , et l'intensité du champ diminue ; l'actionnement devient alors très inefficace. Si on continue à augmenter la valeur absolue de  $V_A$  au-delà d'une deuxième valeur limite  $V_{BD}$  un courant intense commence à circuler entre les deux électrodes à cause de la formation d'un arc électrique (ou « claquage »), ce qui peut conduire à la destruction du dispositif.

Pour des valeurs positifs de  $V_A$ , l'actionnement continue à fonctionner correctement (il n'y a pas de pincement) jusqu'à la rupture par claquage lorsque  $V_A > V_{BD}'$ . On remarquera que  $V_{BD}' < V_{BD}$  car la configuration des lignes de champ est différente que dans le cas précédent.

En conclusion, la tension d'actionnement  $V_A$  peut varier utilement entre  $-V_P$  et  $V_{BD}'$ , c'est-à-dire sur une plage d'environ 8V.

La courbe CAR2 illustre les conditions de fonctionnement d'un dispositif selon l'art antérieur, dans lequel la deuxième électrode  $E_2$  est disposée en contact direct avec la couche  $C_2$ , sans interposition de la couche diélectrique CD.

Pour des tensions  $V_A$  négatives, le fonctionnement est sensiblement le même que pour le dispositif de l'invention, à ceci près que le pincement se produit au-delà d'un seuil  $V_P' < V_P$ . Cela s'explique facilement. En effet, seule la différence de tension aux bornes de la couche  $C_2$  contribue

effectivement au pincement (et à l'actionnement) ; or, dans un dispositif selon l'art antérieur la tension  $V_A$  est directement appliquée aux bornes de cette couche, tandis que dans le dispositif de l'invention elle se répartit entre la couche diélectrique CD et la couche  $C_2$  selon le principe du partiteur capacitif.

5 Pour la même raison, le claquage se produit à une tension  $V_{BD}''$ , inférieure (en valeur absolue) à  $V_{BD}$ . On remarquera que l'élargissement de la plage d'actionnement du dispositif selon l'invention qui est obtenue de cette manière n'est qu'apparente : certes, la tension  $V_A$  peut prendre une valeur absolue plus importante, mais seule une fraction  $\alpha < 1$  de cette tension contribue

10 effectivement à l'actionnement ; et le pincement se produit toujours lorsque la tension d'actionnement effective  $\alpha V_A$  atteint la valeur de seuil  $V_P$ .

C'est pour des tensions d'actionnement positives que l'avantage procuré par la couche diélectrique CD apparait clairement. En effet, comme expliqué plus haut, en l'absence d'une telle couche, un courant

15 électrique s'établit dès que  $V_A$  dépasse une valeur de seuil  $V_S$  égal à 0,5 V environ. Le courant croit rapidement avec la tension, ce qui fait que  $V_A$  ne peut pas augmenter sensiblement au-delà de  $V_S$ . En outre, le passage du courant est susceptible de provoquer une dégradation de l'interface entre l'électrode  $E_2$  et la couche  $C_2$ .

20 La couche diélectrique CD doit de préférence être aussi mince que possible. En effet, comme expliqué plus haut, les couches CD et  $C_2$  forment un partiteur capacitif, ce qui fait que seulement une fraction  $\alpha < 1$  de la tension  $V_A$  contribue effectivement à l'actionnement de la couche diélectrique  $C_2$ . Or, le facteur  $\alpha$  est d'autant plus proche de l'unité que la couche CD est

25 mince.

Une limite inférieure à l'épaisseur de la couche CD est imposée par la nécessité d'assurer qu'elle constitue une bonne barrière au passage d'un courant électrique. En outre, une couche CD trop mince pourrait être

excessivement sensible au claquage.

30 Dans certaines applications, la couche diélectrique CD peut être aussi mince qu'une monocouche atomique (environ 0,3 nm) ou, au contraire, présenter une épaisseur supérieure, jusqu'à 300 nm environ, ou jusqu'à trois fois l'épaisseur de la couche piézoélectrique  $C_2$ . De préférence,

cependant, l'épaisseur de la couche CD sera comprise entre 0,1 fois et 1 fois – et de manière encore plus préférée entre 0,1 fois et 0,3 fois – celle de ladite couche diélectrique  $C_2$ .

Afin de maximiser le facteur  $\alpha$ , et donc l'efficacité de l'actionnement, il est également opportun que la couche diélectrique présente une permittivité diélectrique relative aussi grande que possible, en général supérieure ou égale à 3,9. L'alumine,  $Al_2O_3$  se révèle un choix particulièrement avantageux en raison de sa permittivité diélectrique de l'ordre de 9. Il en va de même pour le nitrure de silicium,  $Si_3N_4$ , de permittivité 7,5 environ. L'oxyde de silicium  $SiO_2$ , avec une permittivité diélectrique de l'ordre de 3, constitue un choix moins avantageux.

Au moins pour des valeurs positives de  $V_A$ , la dynamique d'actionnement est limitée par le claquage qui peut se produire soit dans la couche piézoélectrique  $C_2$ , soit dans la couche électrique CD. Il est donc opportun que ces deux couches présentent des champs de claquage comparables (le champ de claquage, ou rigidité diélectrique, étant défini comme le champ électrique maximal pouvant être appliqué sans induire un claquage). Typiquement, la couche CD peut présenter un champ de claquage supérieur ou égal à 0,5 fois celui de la couche  $C_2$ , et de préférence supérieur ou égal à celui de ladite couche. Là encore,  $Al_2O_3$  se révèle un choix particulièrement avantageux, grâce à son champ de claquage supérieur à 4MV/cm.

La figure 3 montre un dispositif microélectromécanique selon un mode de réalisation de l'invention, comprenant un élément suspendu ES de type à poutre doublement encastrée.

A une première extrémité de la poutre se trouve un actionneur tel que décrit ci-dessus, présentant cependant la particularité d'être basé sur une hétérostructure du type « normalement éteint ». Cela signifie que les deux matériaux formant les couches  $C_1$  et  $C_2$  sont choisis de telle manière qu'à leur interface il n'y ait pas de gaz bidimensionnel de porteurs, sauf si une différence de potentiel positive est appliquée entre les électrodes  $E_2$  et  $E_1$ . Dans ces conditions, le signal d'actionnement  $V_A(t)$  doit comporter une composante continue, ou de polarisation,  $V_{0A}$  permettant de créer un gaz bidimensionnel d'électrons 2DEG, et une composante oscillatoire  $V_a(t)$  excitant un mode de

résonance de la poutre. Une hétérostructure « normalement éteinte » est décrite dans l'article de F. Medjdoub et al. « Novel E-Mode GaN-on-Si MOSHEMT Using a Selective Thermal Oxidation », IEEE Electron Device Letters, Vol. 31, No. 9, Sept. 2010, pp. 948 – 950.

5 A l'extrémité opposée de la poutre se trouve un transistor T de type HEMT, permettant la détection des oscillations de l'élément suspendu. Ce transistor, qui est également « normalement éteint » comprend une électrode de grille G, séparée de la couche C<sub>2</sub> par une couche isolante de grille CIG, permettant d'appliquer la tension V<sub>G</sub>, positive par rapport au substrat SS, de  
10 nécessaire à générer un gaz bidimensionnel d'électrons, ainsi qu'une électrode de source S et une électrode de drain D, en contact avec ledit gaz bidimensionnel d'électrons. Avantagement, la couche isolante de grille CIG et la couche diélectrique de la partie d'actionnement du dispositif peuvent être réalisées en un même matériau, et être déposées au cours d'une même étape  
15 technologique.

En variante, la partie d'actionnement et la partie de détection peuvent être réalisées d'un même coté de l'élément suspendu ES, certaines électrodes étant mutualisées entre l'actionneur et le transistor de détection (principe de la « grille résonante », décrit par les documents précités  
20 WO2004/083110, US2007/0176211 et WO2010/116061).

D'une manière connue en soi, l'élément suspendu pourra présenter des formes différentes : poutre simplement encastrée, membrane circulaire encastrée sur la totalité ou une partie de son bord, etc.

La figure 4 montre une vue en plan d'un dispositif  
25 microélectromécanique plus complexe, dans lequel l'élément suspendu comprend un « promontoire » PR dont se départent deux leviers ou poutres P1, P2 de longueurs différentes. On entend par « promontoire » un élément suspendu dont la largeur (parallèlement à la ligne d'encastrement avec le substrat, et donc au bord B dudit substrat) est sensiblement supérieure à la  
30 longueur (perpendiculairement à ladite ligne d'encastrement). Les électrodes d'actionnement sont disposées sur le promontoire, ce qui permet de remédier au problème constitué par le manque de place sur les poutres, dont la largeur peut être très faible (quelques micromètres).

Chaque poutre est équipée d'un transistor de détection respectif, T1, T2, comportant une électrode de drain D1, D2, une électrode de source S1, S2 et une électrode de grille, G1, G2 disposée entre le drain et la source. Dans le mode de réalisation de la figure 4 les électrodes de drain, de grille et de source des transistors de détection présentent une forme allongée et sont orientées dans le sens de la longueur des poutres.

Les poutres P1 et P2 étant du type simplement encastré, la structure d'actionnement et les transistors de détection sont agencés du même côté – celui d'encastrement – à proximité immédiate l'un de l'autre.

Les deux poutres P1 et P2 sont de longueurs différentes, de manière à avoir des fréquences de résonance distinctes ; ainsi, l'actionnement du promontoire met en résonance l'une seule de ces poutres, et pas l'autre. La poutre destinée à être excitée à sa fréquence de résonance (P1) peut – par exemple – présenter une surface fonctionnalisée de manière à servir en tant que capteur chimique. L'autre poutre (P2) est hors résonance avec la fréquence d'excitation, par conséquent elle n'oscille pratiquement pas. Son transistor T1 produit donc un signal « de référence », essentiellement dû au bruit et aux couplages parasites, qui doit être soustrait au signal issu du transistor T2 de la poutre active. Il s'agit donc d'une détection différentielle.

Mise à part la différente longueur des poutres P1, P2, le dispositif de la figure 4 présente une structure symétrique ; ainsi, les électrodes d'actionnement sont dédoublées :  $E_1'$ ,  $E_1''$  et  $E_2'$ ,  $E_2''$ . Les deuxièmes électrodes d'actionnement  $E_2'$ ,  $E_2''$  se trouvent sur les côtés ; les premières électrodes  $E_1'$ ,  $E_1''$  se trouvent plus vers le centre du promontoire ; elles forment une structure (un contact ohmique) unique avec les sources S1, S2 des transistors de détection. Ces structures sont maintenues à un potentiel de référence, la « masse ». Elles sont interposées entre les premières électrodes d'actionnement et les drains des transistors, dont sont prélevés les signaux de sortie. Ainsi, elles captent les courants de fuite et assurent une fonction d'écrantage, minimisant les couplages parasites entre les parties d'actionnement et de détection du dispositif. Ces couplages parasites constituent un problème majeur dans les dispositifs microélectromécaniques de

l'art antérieur, d'autant plus grave que la fréquence de fonctionnement est élevée.

Sur la figure 4, mais aussi sur les figures 5 à 7, les métallisations de grille et de l'actionneur (deuxièmes électrodes) sont représentées par un hachurage gris clair ; les pistes de connexion, par un hachurage plus foncé ; les contacts ohmiques par un hachurage encore plus foncé. Les régions de petites dimensions caractérisées par un hachurage foncé correspondent aux zones d'ouverture dans le ou les couche(s) isolante(s).

Le dispositif de la figure 5 se différencie de celui de la figure 4 par l'orientation des transistors de détection. Leurs électrodes de drain, de grille et de source sont orientées dans le sens de la largeur des poutres et alignées dans le sens de leur longueur. Dans ce mode de réalisation, les premières électrodes d'actionnement et les électrodes de source des transistors sont formées par des contacts ohmiques séparés, mais connectés électriquement entre eux par des pistes conductrices PCS1, PCS2 déposées sur la surface du dispositif (mais sous la couche de passivation éventuelle). De même, les contacts ohmiques de drain sont connectés par l'intermédiaire de pistes conductrices respectives PCD1, PCD2.

Dans ce cas aussi, chaque ensemble constitué par une électrode de source, une première électrode d'actionnement et la piste conductrice reliant ces deux électrodes, forme un écran entre une deuxième électrode d'actionnement et le drain du transistor correspondant.

Dans le dispositif de la figure 6 l'élément suspendu ES se présente sous la forme d'une membrane circulaire encastrée sur tout son périmètre (le bord B du substrat est matérialisé par la ligne pointillée). La deuxième électrode d'actionnement  $E_2$  se présente comme une piste conductrice circulaire déposée sur la membrane suspendue. L'électrode de source S – qui sert aussi de première électrode d'actionnement  $E_1$  – est constituée par un contact ohmique, lui aussi de forme circulaire. Il en va de même pour l'électrode de drain D, qui dans ce mode de réalisation se trouve à cheval de la ligne d'encastrement de la membrane. L'électrode de grille présente une structure semblable à celle de la deuxième électrode d'actionnement. Du centre de la membrane vers la périphérie, l'ordre des

électrodes est le suivant : deuxième électrode d'actionnement source/première électrode d'actionnement – grille – drain. On peut vérifier que, dans ce cas aussi, le contact ohmique circulaire formant à la fois l'électrode de grille du transistor et la première électrode d'actionnement agit comme écran  
5 entre la deuxième électrode d'actionnement et le drain.

Les références PCE2, PCG, PCD, PCS indiquent les pistes conductrices de connexion de l'électrode  $E_2$ , de la grille, du drain et de la source, respectivement.

Dans le dispositif de la figure 7 l'élément suspendu ES se  
10 présente aussi sous la forme d'une membrane circulaire encastrée sur tout son périmètre. Cette fois-ci, cependant, les structures d'actionnement et de détection sont séparées : le transistor de détection T est sur la partie droite de la figure, tandis que la structure d'actionnement se trouve sur la partie gauche.

Les électrodes présentent une forme semi-circulaire. On  
15 remarque cinq pistes conductrices reliant entre elles – et à la masse – les électrodes de source et  $E_1$  : la piste circulaire PCS1, sur l'élément suspendu, et les quatre pistes extérieures PCS2 – PCS4. Il est facile de vérifier que ces pistes conductrices assurent l'écrantage entre la deuxième électrode d'actionnement et le drain du transistor de détection.

20

## REVENDEICATIONS

1. Dispositif microélectromécanique comportant :
  - un substrat (SS) ;
  - une première couche ( $C_1$ ) d'un premier matériau semi-conducteur, déposée sur une surface dudit substrat ;
  - une deuxième couche ( $C_2$ ) d'un deuxième matériau semi-conducteur piézoélectrique différent dudit premier matériau semi-conducteur, déposée sur ladite première couche, lesdites première et deuxième couches formant une hétérostructure susceptible de confiner un gaz bidimensionnel de porteurs (2DEG) ;
  - au moins un élément suspendu (ES), formé par des prolongements desdites couches s'étendant au-delà d'un bord (B) dudit substrat ; et
  - une première ( $E_1$ ) et une deuxième ( $E_2$ ) électrodes d'actionnement pour établir une différence de potentiel entre ledit gaz bidimensionnel de porteurs et une face supérieure de ladite deuxième couche, opposée audit gaz bidimensionnel de porteurs, de manière à former une structure d'actionnement piézoélectrique dudit élément suspendu ;

caractérisé en ce qu'une couche diélectrique (CD) est prévue entre ladite deuxième électrode d'actionnement et ladite deuxième couche pour empêcher le passage d'un courant électrique entre elles.
2. Dispositif microélectromécanique selon la revendication 1, dans lequel ladite couche diélectrique présente une épaisseur inférieure à trois fois celle de ladite deuxième couche, de préférence entre 0,1 fois et 1 fois – et de manière encore plus préférée entre 0,1 fois et 0,3 fois – celle de ladite deuxième couche.
3. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite couche diélectrique présente une permittivité diélectrique relative supérieure ou égale à 3.
4. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ladite couche diélectrique présente un champ de claquage supérieur ou égal à 0,5 fois celui de ladite deuxième couche, et de préférence supérieur ou égal à celui de ladite deuxième couche.

5. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la première et la deuxième couches sont réalisées en des matériaux semi-conducteurs différents de type III-N.

6. Dispositif microélectromécanique selon la revendication 5 dans lequel :

- ladite première couche est réalisée en GaN ;
- ladite deuxième couche est réalisée en AlGaIn, AlInN ou AlGaInN ; et
- ladite couche diélectrique est réalisée en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

7. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdites première et deuxième couches forment une hétérostructure susceptible de confiner un gaz bidimensionnel de porteurs seulement lorsqu'une différence de potentiel est appliquée entre ces deux couches.

8. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes, dans lequel ledit élément suspendu présente une forme choisie entre: une poutre, un disque ou une plaque.

9. Dispositif microélectromécanique selon la revendication 8, dans lequel ledit élément présente une forme choisie entre :

- une poutre encastrée à ses deux extrémités ; et
- un disque ou plaque encastrés sur tout leur périmètre, lesdites première (E<sub>1</sub>) et deuxième (E<sub>2</sub>) électrodes d'actionnement étant agencées au niveau d'une partie d'encastrement dudit élément.

10. Dispositif microélectromécanique selon l'une des revendications précédentes comportant également un transistor à effet de champ (FET) intégré à ladite deuxième couche et/ou à son prolongement pour détecter des déplacements dudit élément suspendu, ledit transistor à effet de champ comprenant une électrode de source (S) et une électrode de drain (D) en contact électrique avec ledit gaz bidimensionnel d'électron, et une électrode de grille (G) réalisée au-dessus de ladite deuxième couche, séparée par elle par une couche isolante.

11. Dispositif microélectromécanique selon la revendication 10, dans lequel ladite couche isolante est réalisée dans le même matériau, et déposée dans la même étape technologique, que ladite couche diélectrique (CD).

5 12. Dispositif microélectromécanique selon la revendication 10 ou 11, dans lequel l'électrode de source dudit transistor à effet de champ, et/ou une piste conductrice (PCS1) en contact électrique avec ladite électrode, est connectée électriquement à ladite première électrode d'actionnement ( $E_1$ ) et interposée entre ladite deuxième électrode d'actionnement ( $E_2$ ) et l'électrode de  
10 drain du transistor, de manière à former un écran électrostatique.

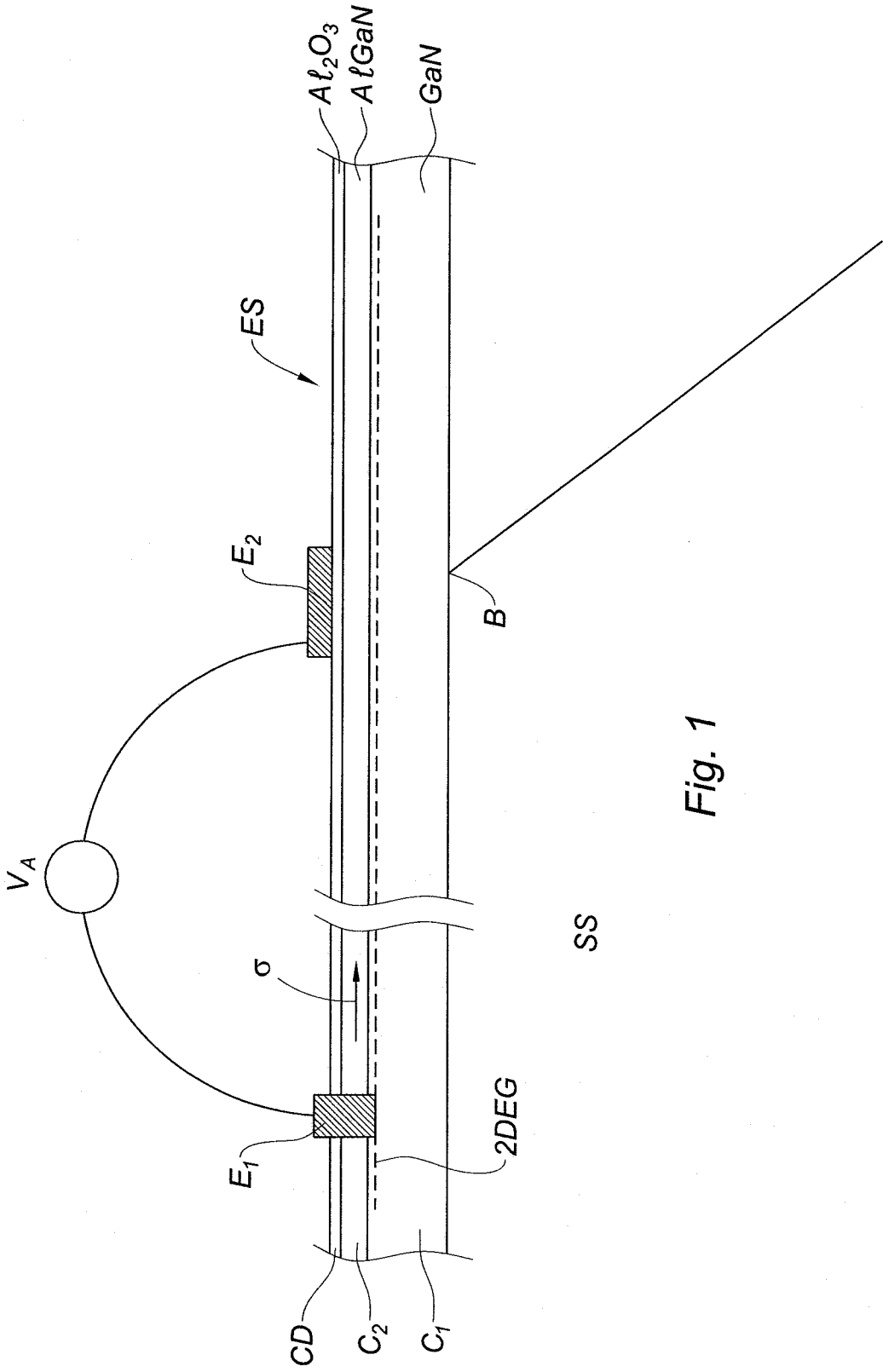


Fig. 1

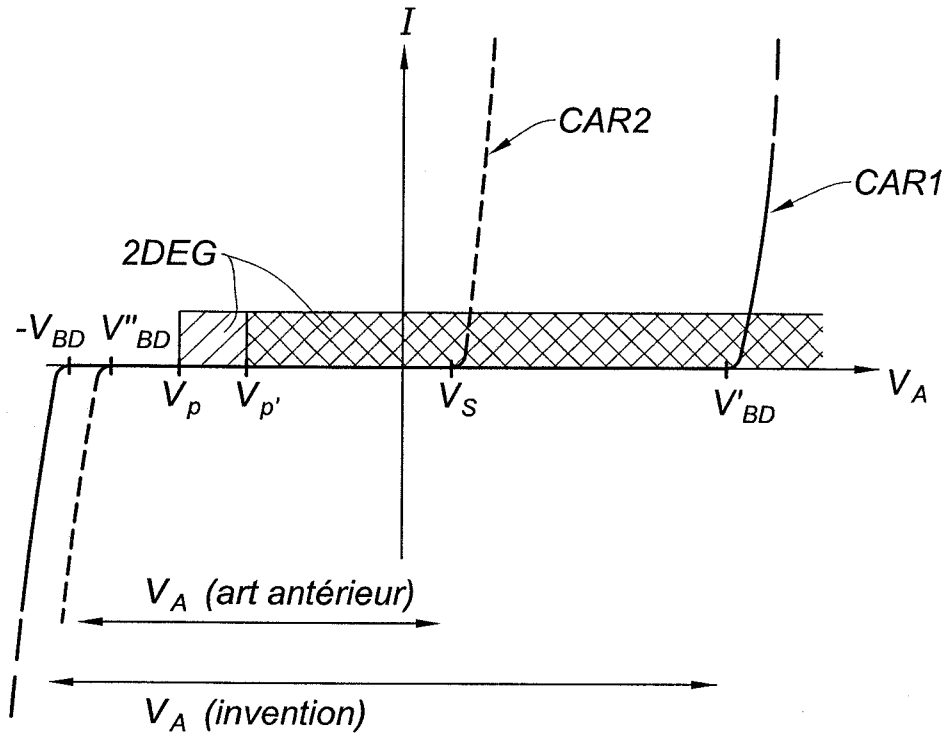


Fig. 2

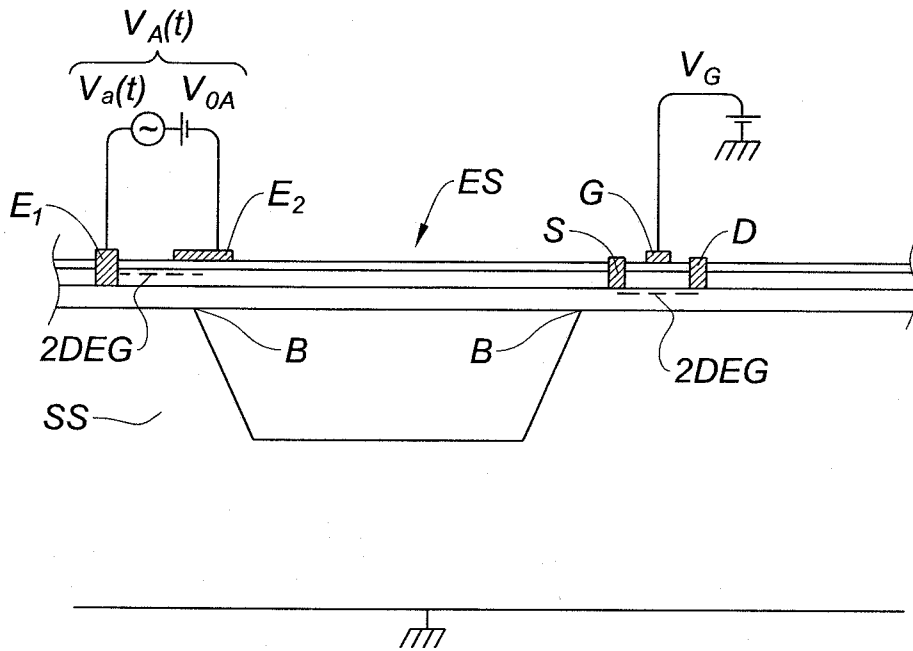


Fig. 3

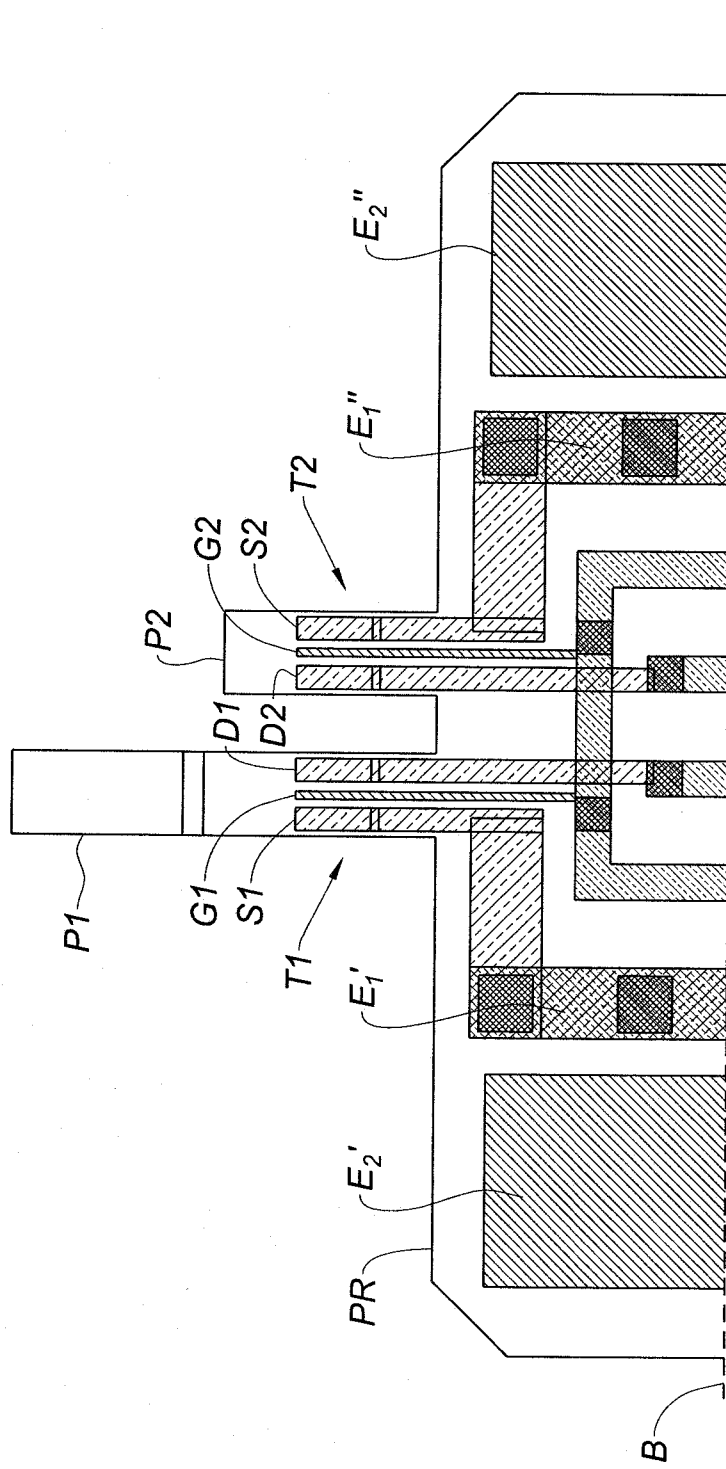


Fig. 4

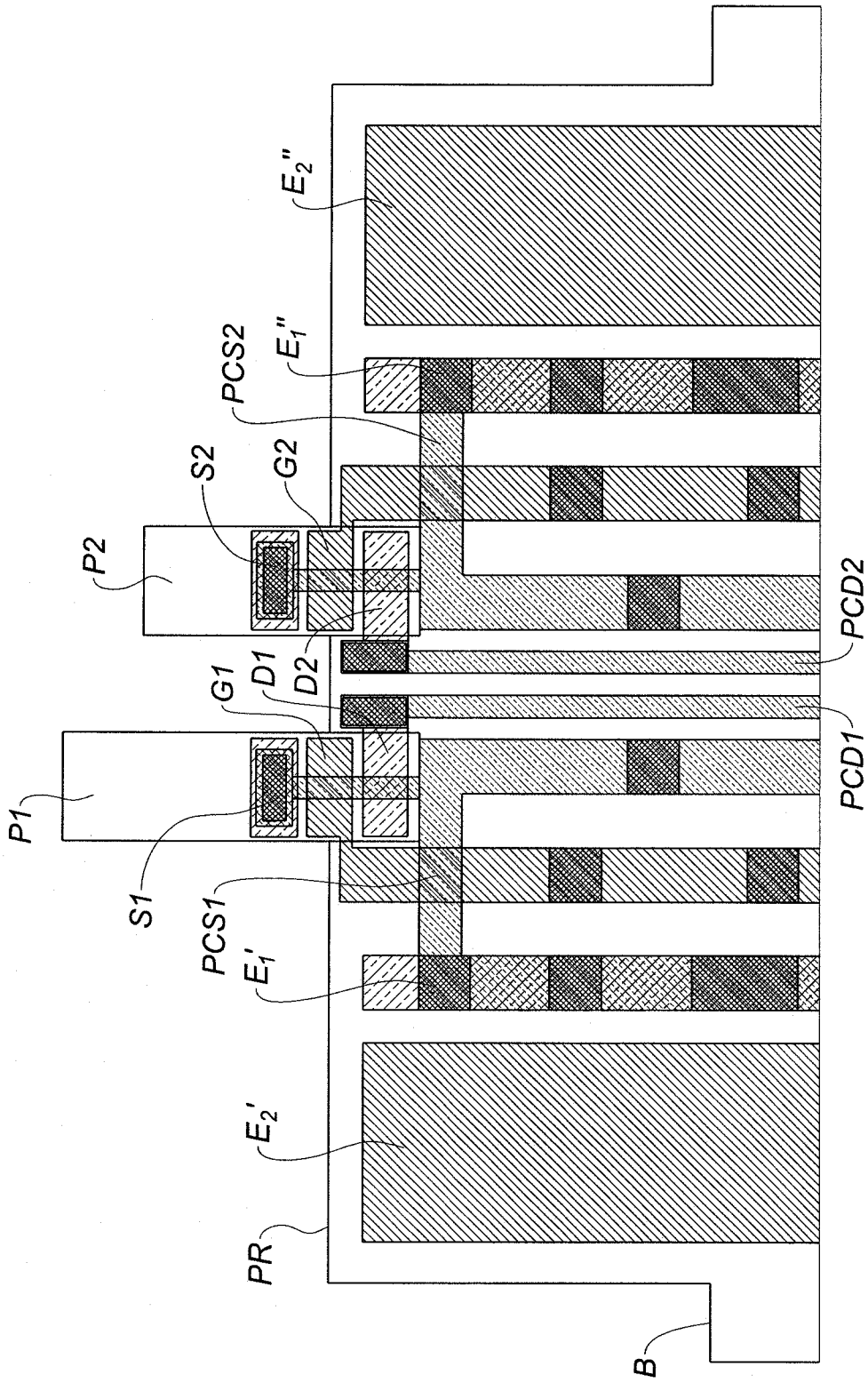


Fig. 5



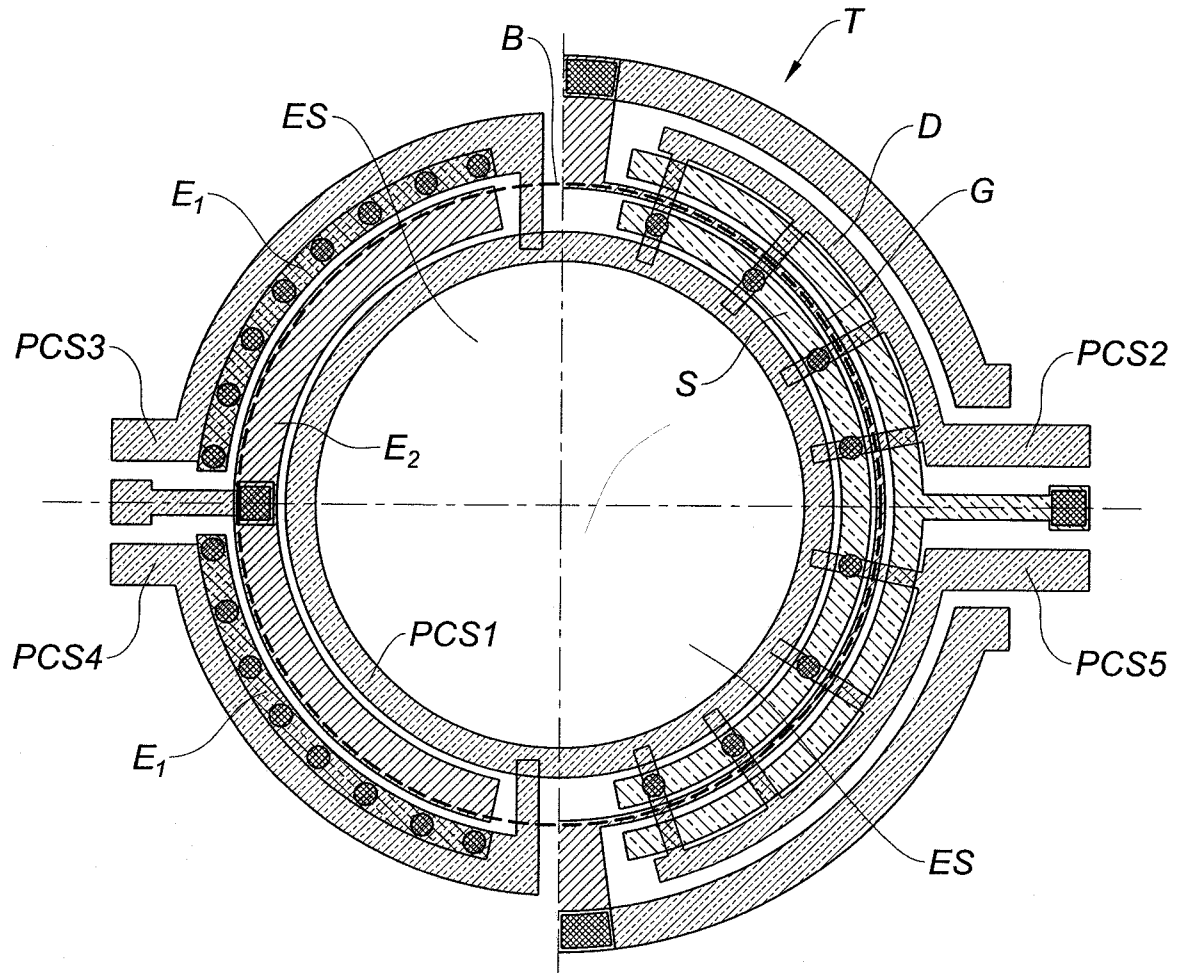


Fig. 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/IB2012/050567
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> INV. H01L41/047 H01L41/09 B81B3/00 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) H01L B81B G01L G01P G02B H03H		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2009/174014 A1 (KUNZE MIKE [DE] ET AL) 9 July 2009 (2009-07-09) paragraph [0027] - paragraph [0038]; figure 3 -----	1-12
A	US 7 426 067 B1 (BRIGHT VICTOR M [US] ET AL) 16 September 2008 (2008-09-16) column 15, line 45 - column 16, line 52; figures 3,4 ----- -/--	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <span style="margin-left: 200px;"><input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.</span>		
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
21 March 2012	23/05/2012	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Gröger, Andreas	

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/IB2012/050567

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>TONISCH K ET AL: "Piezoelectric actuation of all-nitride MEMS",  PHYSICA STATUS SOLIDI (C) CURRENT TOPICS IN SOLID STATE PHYSICS - PAPERS PRESENTED AT THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF NITRIDE SEMICONDUCTORS, ICNS-7 2008  WILEY-VCH VERLAG DEU,  vol. 5, no. 6,  16 September 2007 (2007-09-16), pages 1910-1913, XP002656900,  DOI: DOI:10.1002/PSSC.200778423  cited in the application  figure 1</p>	1-12
A	<p>-----  BECK R G ET AL: "GaAs/AlGaAs self-sensing cantilevers for low temperature scanning probe microscopy",  APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US,  vol. 73, no. 8,  24 August 1998 (1998-08-24), pages 1149-1151, XP012022032,  ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.122112  figure 1</p>	1-12
A	<p>-----  WO 2010/064706 A1 (NEC CORP [JP]; NAKAYAMA TATSUO [JP]; ANDO YUJI [JP]; MIYAMOTO HIRONOBU) 10 June 2010 (2010-06-10)  abstract; figure 2  -----</p>	1-12

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2012/050567

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2009174014	A1	09-07-2009	EP 2018673 A2	28-01-2009
			JP 2009537337 A	29-10-2009
			US 2009174014 A1	09-07-2009
			WO 2007131796 A2	22-11-2007
-----				
US 7426067	B1	16-09-2008	NONE	
-----				
WO 2010064706	A1	10-06-2010	NONE	
-----				

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n° PCT/IB2012/050567
--

<b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b> INV. H01L41/047 H01L41/09 B81B3/00 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
<b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b>				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L B81B G01L G01P G02B H03H				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data, INSPEC				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
A	US 2009/174014 A1 (KUNZE MIKE [DE] ET AL) 9 juillet 2009 (2009-07-09) alinéa [0027] - alinéa [0038]; figure 3 -----	1-12		
A	US 7 426 067 B1 (BRIGHT VICTOR M [US] ET AL) 16 septembre 2008 (2008-09-16) colonne 15, ligne 45 - colonne 16, ligne 52; figures 3,4 ----- -/--	1-12		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale			
21 mars 2012	23/05/2012			
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé			
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentiaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Gröger, Andreas			

**RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE**

Demande internationale n°  
PCT/IB2012/050567

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>TONISCH K ET AL: "Piezoelectric actuation of all-nitride MEMS", PHYSICA STATUS SOLIDI (C) CURRENT TOPICS IN SOLID STATE PHYSICS - PAPERS PRESENTED AT THE 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF NITRIDE SEMICONDUCTORS, ICNS-7 2008 WILEY-VCH VERLAG DEU, vol. 5, no. 6, 16 septembre 2007 (2007-09-16), pages 1910-1913, XP002656900, DOI: DOI:10.1002/PSSC.200778423 cité dans la demande figure 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>BECK R G ET AL: "GaAs/AlGaAs self-sensing cantilevers for low temperature scanning probe microscopy", APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 73, no. 8, 24 août 1998 (1998-08-24), pages 1149-1151, XP012022032, ISSN: 0003-6951, DOI: 10.1063/1.122112 figure 1</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12
A	<p>WO 2010/064706 A1 (NEC CORP [JP]; NAKAYAMA TATSUO [JP]; ANDO YUJI [JP]; MIYAMOTO HIRONOBU) 10 juin 2010 (2010-06-10) abrégé; figure 2</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-12

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2012/050567

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009174014 A1	09-07-2009	EP 2018673 A2	28-01-2009
		JP 2009537337 A	29-10-2009
		US 2009174014 A1	09-07-2009
		WO 2007131796 A2	22-11-2007
-----			
US 7426067 B1	16-09-2008	AUCUN	
-----			
WO 2010064706 A1	10-06-2010	AUCUN	
-----			