

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 090 208

②1 N° d'enregistrement national : **18 73251**

⑤1 Int Cl⁸ : **H 01 L 41/25 (2019.01), B 81 B 3/00**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 18.12.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la demande : 19.06.20 Bulletin 20/25.

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 ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public — FR.

⑦2 Inventeur(s) : HILT Thierry, FANGET Stéphane et JOET Loïc.

⑦3 Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

⑦4 Mandataire(s) : BREVALEX.

⑤4 MICROSYSTEME ELECTROMECHANIQUE COMPRENANT UN ELEMENT ACTIF POURVU D'UNE COUCHE CŒUR STRUCTUREE.

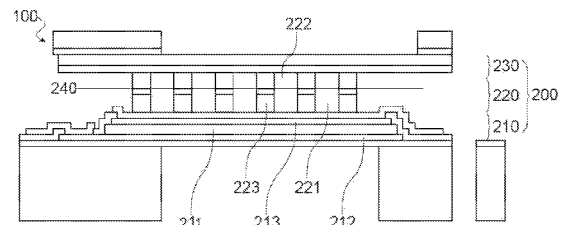
⑤7 L'invention concerne un microsystème électromécanique (100) pourvu d'un élément actif (200),

l'élément actif (200) comprend une couche active (210), une couche cœur (220) et une couche de maintien (230), la couche active (210) étant adaptée pour, sous l'effet d'un premier signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint, avantageusement un état de compression, destiné à générer une flexion de l'élément actif (200) selon une direction perpendiculaire à la face avant, et inversement,

la couche active (210), la couche cœur (220) et la couche de maintien (230) sont agencées de sorte que la fibre neutre (240), associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif (200), se trouve dans le volume de la couche cœur (220) ou de la couche de maintien (230),

la couche cœur (220) comprend au moins 20% d'évidements (221).

Figure pour l'abrégé : figure 2.



FR 3 090 208 - A1



Description

Titre de l'invention : MICROSYSTEME ELECTROMECHANIQUE COMPRENANT UN ELEMENT ACTIF POURVU D'UNE COUCHE CŒUR STRUCTUREE

Domaine technique

- [0001] L'invention appartient au domaine des systèmes électromécaniques, et notamment des micros systèmes électromécaniques (« MEMS » ou « MicroElectroMechanical System » selon la terminologie Anglo-Saxonne).
- [0002] En particulier, l'invention concerne un système électromécanique pourvu d'un élément actif formant une poutre ou une membrane susceptible de fléchir sous l'effet d'un signal électrique et inversement.
- [0003] L'élément actif, selon la présente invention, peut notamment être mis en œuvre pour réaliser une fonction capteur ou une fonction d'actuation.

Technique antérieure

- [0004] Les micros systèmes électromécaniques connus de l'état de la technique, qu'ils soient destinés à assurer une fonction de capteur (« sensor » selon la terminologie Anglo-Saxonne) ou d'actionneur (« actuator » selon la terminologie Anglo-Saxonne), exercent ladite fonction via un élément actif adapté pour transformer un signal électrique en un signal physique et inversement.
- [0005] Le signal physique peut notamment comprendre une température (signal thermique), un champ magnétique (signal magnétique), une force ou pression, une sollicitation à distance (gravité, accélération) ou une vibration.
- [0006] L'élément actif comprend généralement un ensemble multicouche formant par exemple une membrane ou une poutre.
- [0007] À cet égard, la figure 1 illustre la structure d'un élément actif 1 d'un MEMS connu de l'état de la technique qui comprend, d'une face avant vers une face arrière essentiellement parallèle à la face avant, une couche active 2 reposant sur une couche de maintien 3.
- [0008] La couche active comprend en particulier un matériau qui est susceptible de subir une déformation et de déformer la poutre ou membrane selon une direction perpendiculaire au plan défini par la face avant dès lors qu'un signal électrique lui est imposé ou inversement.
- [0009] En particulier, un MEMS fonctionnant en mode capteur verra son élément actif subir une déformation sous l'action d'une contrainte extérieure de sorte que ledit élément actif produise un signal électrique représentatif de ladite contrainte extérieure.
- [0010] À contrario, un MEMS fonctionnant en mode actuateur verra son élément actif subir

une déformation sous l'action d'un signal électrique, de manière à imposer une action mécanique à l'environnement extérieur, par exemple pour faire pivoter un micro miroir.

- [0011] Le phénomène de flexion de la poutre ou membrane précédemment mentionné répond aux principes énoncés en théorie des poutres et notamment dans le document [1] cité à la fin de la description.
- [0012] Cette théorie révèle l'existence d'une surface, dite fibre neutre, dans le volume de l'élément actif, parallèle à la face supérieure de l'élément actif et qui ne subit ni allongement ni rétrécissement lors de la flexion dudit élément actif.
- [0013] La fibre neutre délimite avec la face supérieure et avec la face inférieure, respectivement, une première région et une seconde région, soumises chacune à une contrainte opposée lorsque l'élément actif est en flexion.
- [0014] Afin de conférer à l'élément actif une rigidité suffisante et compatible avec les fonctions d'actuateur ou de capteur envisagées, la couche de maintien présente en général une épaisseur et/ou une rigidité supérieure à la couche active de sorte que la fibre neutre se trouve dans ladite couche de maintien.
- [0015] Cette configuration n'est toutefois pas satisfaisante.
- [0016] En effet, dès lors que le système fonctionne en mode actuateur, la contraction de la couche active, via l'application d'un signal électrique, contribue également à contracter la partie de la couche de maintien se trouvant dans la première région.
- [0017] Cette perte d'énergie se traduit par une perte d'énergie exercée par la couche active et par voie de conséquence une perte d'efficacité du micro système électromécanique.
- [0018] De la même manière, dans le cadre d'une application capteur, un tel effet se traduit par une perte de sensibilité dudit capteur.
- [0019] La solution consistant à réduire la rigidité imposée par la couche de maintien, par exemple en réduisant l'épaisseur de ladite couche, aurait pour conséquence de réduire la force exercée par l'élément actif lorsque ce dernier est soumis au signal électrique.
- [0020] Par ailleurs, pour certaines applications, notamment les micro-pompes, ou les hauts parleurs, la tendance est à l'épaississement de l'élément actif.
- [0021] Ainsi, un objectif de la présente invention est de proposer un micro système électromécanique qui présente une meilleure efficacité énergétique ou une meilleure sensibilité que les micros systèmes électromécaniques connus de l'état de la technique.
- [0022] Un autre objectif de la présente invention est de proposer un micro système électromécanique pourvu d'un élément actif plus épais que les éléments actifs connus de l'état de la technique sans toutefois dégrader l'efficacité énergétique ou la sensibilité du micro système électromécanique considéré.

Exposé de l'invention

- [0023] Les objectifs de la présente invention sont, au moins en partie, atteints par un microsystème électromécanique pourvu d'un élément actif apte à réaliser une fonction électromécanique,
- [0024] l'élément actif comprend, d'une face supérieure vers une face inférieure essentiellement parallèle à la face supérieure, une couche active, une couche cœur et une couche de maintien, la couche active étant adaptée pour, sous l'effet d'un premier signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint, destiné à générer une flexion de l'élément actif selon une direction perpendiculaire à la face avant, et inversement,
- [0025] la couche active, la couche cœur et la couche de maintien sont agencées de sorte qu'une fibre neutre, associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif, se trouve dans le volume de l'une ou l'autre de la couche cœur et de la couche de maintien,
- [0026] la couche cœur comprend en outre au moins 20%, avantageusement au moins 30%, encore plus avantageusement au moins 50%, d'évidements dans son volume,
- [0027] Selon un mode de mise en œuvre, les évidements sont compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre et une interface formée entre la couche active et la couche cœur.
- [0028] Selon un mode de mise en œuvre, les évidements sont compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre et une interface formée par la couche cœur et la couche de maintien.
- [0029] Selon un mode de mise en œuvre, les évidements sont répartis régulièrement dans tout de volume de la couche cœur.
- [0030] Selon un mode de mise en œuvre, les évidements forment des ouvertures traversantes débouchant sur chacune des interfaces que ladite couche cœur forme avec, respectivement, la couche active et la couche de maintien.
- [0031] Selon un mode de mise en œuvre, la couche cœur comprend des piliers, espacés les uns des autres, qui s'étendent avantageusement, selon leur plus grande dimension dite hauteur H, entre les deux interfaces que ladite couche cœur forme avec la couche active et la couche de maintien.
- [0032] Selon un mode de mise en œuvre, la couche de maintien et la couche cœur sont faites du même matériau.
- [0033] Selon un mode de mise en œuvre, les piliers comprennent un métal, avantageusement le métal comprend au moins une des espèces choisies parmi : cuivre, nickel.
- [0034] Selon un mode de mise en œuvre, la couche active comprend une couche matériau piézoélectrique.

- [0035] Selon un mode de mise en œuvre, la couche active comprend en outre deux électrodes sous forme de couches entre lesquelles est intercalée la couche de matériau piézoélectrique, et qui sont destinées à appliquer le premier signal électrique sur la couche de matériau piézoélectrique.
- [0036] Selon un mode de mise en œuvre, la couche de maintien est adaptée pour, lorsqu'elle est soumise à un second signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint opposé à l'état contraint de la couche active lorsque cette dernière est soumise au premier signal électrique.
- [0037] Selon un mode de mise en œuvre, l'élément actif est une poutre.
- [0038] Selon un mode de mise en œuvre, l'élément actif comprend une membrane.
- [0039] L'invention concerne également un microsystème électromécanique pourvu d'un élément actif apte à réaliser une fonction électromécanique,
- [0040] l'élément actif comprend, d'une face supérieure vers une face inférieure essentiellement parallèle à la face supérieure, une couche active, une couche cœur et une couche de maintien, la couche active étant adaptée pour, sous l'effet d'un signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint, avantageusement un état de compression, destiné à générer une flexion de l'élément actif selon une direction perpendiculaire à la face avant, et inversement,
- [0041] la couche active, la couche cœur et la couche de maintien sont agencées de sorte que la fibre neutre, associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif, se trouve dans le volume de l'une ou l'autre de la couche cœur et de la couche de maintien
- [0042] la couche cœur, comprend un matériau mécaniquement anisotrope, avantageusement orthotrope, agencé de sorte que sa direction de plus grande rigidité soit normale à la face avant.
- [0043] Selon un mode de mise en œuvre, la couche active comprend une couche de matériau piézoélectrique.
- [0044] Selon un mode de mise en œuvre, la couche active comprend en outre deux électrodes sous forme de couches entre lesquelles est intercalée la couche de matériau piézoélectrique, et qui sont destinées à appliquer le premier signal électrique sur la couche de matériau piézoélectrique.
- [0045] Selon un mode de mise en œuvre, la couche de maintien est adaptée pour, lorsqu'elle est soumise à un second signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint opposé à l'état contraint de la couche active lorsque cette dernière est soumise au premier signal électrique.
- [0046] Selon un mode de mise en œuvre, l'élément actif est une poutre.
- [0047] Selon un mode de mise en œuvre, l'élément actif comprend une membrane.

Breve description des dessins

[0048] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description qui va suivre d'un microsystème électromécanique selon l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

[0049] [fig.1]

est une représentation d'un élément actif au repos d'un MEMS connu de l'état de la technique, l'élément actif est notamment représenté en coupe selon un plan perpendiculaire à la face avant dudit élément ;

[0050] [fig.2]

est une représentation schématique de l'élément actif selon un mode de réalisation de la présente invention, la représentation est notamment établie selon un plan de coupe perpendiculaire aux faces principales de l'élément actif ;

[0051] [fig.3A]

[0052] [fig.3B]

[0053] [fig.3C]

[0054] [fig.3D]

[0055] [fig.3E]

[0056] [fig.3F]

[0057] [fig.3G]

[0058] [fig.3H]

[0059] [fig.3I]

[0060] [fig.3J]

[0061] [fig.3K]

sont des représentations schématiques d'un procédé de fabrication d'un microsystème électromécanique selon la présente invention.

[0062] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0063] La présente invention décrite de manière détaillée dans la suite de l'énoncé concerne un microsystème électromécanique pourvu d'un élément actif fait d'un empilement qui comprend, d'une face supérieure vers une face inférieure, une couche active, une couche cœur et une couche de maintien destinée à assurer un maintien mécanique dudit élément actif.

[0064] La couche cœur, selon les termes de la présente invention, est structurée de manière à conférer à ladite couche une rigidité anisotrope.

[0065] En particulier, la couche cœur présente une rigidité selon une direction perpendiculaire à la face avant supérieure à sa rigidité selon une direction parallèle à cette même face.

[0066] Par ailleurs, les couches formant l'élément actif sont dimensionnées en termes

d'épaisseur et/ou de propriétés mécaniques de manière à ce que la fibre neutre se situe soit dans le volume de la couche cœur soit dans celui de la couche de maintien.

- [0067] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la fibre neutre peut être dans le volume de la couche cœur, par exemple à proximité de l'interface formée entre la couche cœur et la couche de maintien.
- [0068] Un positionnement de la fibre neutre à mi-distance entre la couche active et la couche de maintien peut également être considéré notamment si la couche de maintien est également active.
- [0069] La localisation de la fibre neutre selon les termes de l'invention permet notamment de minimiser l'effort nécessaire à la flexion de l'élément actif.
- [0070] Les figures 2, et 3a à 3k représentent un microsystème électromécanique 100 selon les termes de la présente invention.
- [0071] Le microsystème électromécanique peut assurer, via un élément actif 200, soit une fonction de capteur, tel un microphone, soit une fonction d'actuateur, pour le déplacement de micro miroirs par exemple.
- [0072] L'élément actif 200 comprend deux faces principales dites, respectivement, face supérieure et face inférieure essentiellement parallèles entre elles.
- [0073] L'élément actif 200 peut prendre la forme d'une poutre ou d'une membrane.
- [0074] Il est entendu sans qu'il soit nécessaire de le préciser que l'élément actif 200, quel que soit sa forme, est généralement maintenu selon un ou plusieurs de ses bords à un support.
- [0075] L'élément actif 200 comprend, de sa face supérieure vers sa face inférieure, une couche active 210, une couche cœur 220, et une couche de maintien 230.
- [0076] La couche active 210 est en particulier adaptée pour voir son état de contrainte varier dès qu'un signal électrique, dit premier signal électrique, lui est imposé et inversement.
- [0077] Le changement d'état de contrainte peut comprendre une mise en compression ou une mise en tension de la couche active 210.
- [0078] Le premier signal électrique peut comprendre une tension imposée à la couche active, imposée notamment sur chacune des faces de la couche active 210.
- [0079] À cet égard, la couche active 210 peut comprendre une couche de matériau piézoélectrique 211 ainsi que deux électrodes 212, 213 en recouvrement de chacune des faces de ladite couche de matériau piézoélectrique 211.
- [0080] Les deux électrodes 212 et 213 sont notamment destinées à imposer une tension électrique entre chacune des faces principales de la couche de matériau piézoélectrique.
- [0081] La couche de matériau piézoélectrique 211 peut comprendre au moins l'un des matériaux piézoélectriques choisis parmi : PZT, AlN, LNO.
- [0082] La couche de matériau piézoélectrique peut présenter une épaisseur comprise entre

10nm et 5mm.

- [0083] Un élément actif 210 sous forme de poutre peut présenter une longueur comprise entre 100nm et 20mm, et une largeur comprise entre 100nm et 20mm.
- [0084] La largeur et la longueur d'un élément actif 210 formant une poutre sont, selon la présente invention, les dimensions de sa face supérieure et de sa face inférieure.
- [0085] Un élément actif 210 sous forme de membrane peut être de forme ronde, carrée, rectangulaire ou trapézoïdale.
- [0086] L'élément actif 210 peut également prendre la forme d'une spirale. Selon cette configuration il est possible de considérer un ruban de grande longueur enroulé sur lui-même, et occupant donc un espace réduit.
- [0087] Les électrodes peuvent présenter une épaisseur comprise entre 1nm et 100µm, et comprendre au moins un des éléments choisis parmi : Cu, Mo, Pt, Ru, Al, Ni, Au.
- [0088] La couche de maintien 230 assure la tenue mécanique de l'ensemble formé par la couche active 210, la couche cœur 220, et ladite couche de maintien 230.
- [0089] La couche de maintien 230 peut comprendre au moins un des matériaux choisis parmi : Silicium, Cu, Ni, Al.
- [0090] La couche de maintien 230 peut présenter une épaisseur comprise entre 1µm et 1mm.
- [0091] De manière particulièrement avantageuse, la couche de maintien 230 peut être adaptée pour, lorsqu'elle est soumise à un second signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint opposé à l'état contraint de la couche active 210 lorsque cette dernière est soumise au premier signal électrique.
- [0092] La couche cœur 220 est agencée, avec la couche de maintien 230, de sorte qu'une fibre neutre 240 associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif 200, se trouve dans le volume de la couche cœur ou de la couche de maintien.
- [0093] L'homme du métier, avec ses connaissances générales, est à même de dimensionner la couche cœur 220 en termes d'épaisseur et de propriétés mécaniques en vue de positionner la fibre neutre dans l'une ou l'autre de la couche cœur ou de la couche de maintien.
- [0094] Selon un premier mode de réalisation, la couche cœur 220 peut comprendre au moins 20%, avantageusement au moins 30%, encore plus avantageusement au moins 50%, d'évidements 221.
- [0095] Les évidements 221 peuvent être compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre 240 et une interface formée entre la couche active 220 et la couche cœur 220.
- [0096] Alternativement, les évidements 221 peuvent être compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre 240 et une interface formée entre la couche cœur (220) et la couche de maintien 230.
- [0097] Par « évidement », on entend par exemple des cavités, en d'autres termes des zones

de la couche cœur 220 dépourvues de matière.

- [0098] Les évidements 221 présents dans la section d'évidement 222, permettent de réduire l'effort nécessaire à la flexion de la couche cœur 220 dans la section d'évidement 222.
- [0099] Les évidements 221 peuvent être régulièrement répartis dans la section d'évidement 222, et plus particulièrement dans tout le volume de la couche cœur 220.
- [0100] En particulier, les évidements 221 forment des ouvertures traversantes débouchant sur chacune des interfaces que ladite couche cœur 220 forme avec, respectivement, la couche active 210 et la couche de maintien 230.
- [0101] Notamment, les ouvertures traversantes peuvent correspondre à des espaces ménagés entre des piliers 223 qui forment la couche cœur 220.
- [0102] En d'autres termes, la couche cœur 220 peut comprendre des piliers, espacés les uns des autres, qui s'étendent, selon leur plus grande dimension, dite hauteur H, entre les deux interfaces que ladite couche cœur 220 forme avec la couche active 210 et la couche de maintien 230.
- [0103] La hauteur H des piliers 223 peut être comprise entre 5 μ m et 1mm.
- [0104] Les piliers 223 peuvent également présenter un rapport d'aspect, défini par le rapport entre leur hauteur H et leur largeur ou diamètre, compris entre 0.1 à 30.
- [0105] Les piliers 223 peuvent par ailleurs être métalliques.
- [0106] En particulier, les piliers 223 peuvent comprendre au moins l'un des éléments choisis parmi : cuivre, nickel, aluminium.
- [0107] Selon un second mode de réalisation, la couche cœur 220 peut comprendre un matériau mécaniquement anisotrope, avantageusement orthotrope, agencé de sorte que sa direction de plus grande rigidité soit normale à la face avant.
- [0108] Par « mécaniquement anisotrope », on entend un matériau qui présente une rigidité anisotrope.
- [0109] En particulier, la rigidité selon la direction normale à la face avant est nommée rigidité normale par opposition à la rigidité dans un plan défini par la face avant, nommée rigidité parallèle.
- [0110] Par « matériau orthotropique », on entend un matériau qui présente une rigidité anisotrope selon trois axes principaux orthogonaux.
- [0111] En particulier, la rigidité normale peut être dix fois supérieure à la rigidité parallèle.
- [0112] Un matériau peut présenter naturellement des propriétés orthotropiques, et comprendre au moins un matériau cristallin.
- [0113] Un matériau orthotropique peut également être le résultat d'un mélange de matériaux. Par exemple, la couche cœur 220 peut comprendre un matériau massif dans lequel sont noyées des fibres orientées ou des particules orientées selon une direction normale à la face avant.
- [0114] Les figures 3a à 3k illustrent les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'un

microsystème électromécanique qui comprend une couche cœur faite de piliers selon le premier mode de mise en œuvre. Toutefois, l'homme du métier avec ses connaissances générales pourra adapter ce procédé de fabrication dans le cadre du second mode de réalisation.

- [0115] Le procédé de fabrication comprend alors les étapes suivantes :
- a) Une étape a) qui comprend la formation d'un empilement de couches 20, destiné à former la couche active 210, sur une première face 10a d'un premier substrat, notamment un substrat de silicium (figure 3a).
- [0116] L'empilement de couches 20 comprend notamment, à partir de la première face 10a :
- une couche d'oxyde thermique 21 ;
 - une couche d'oxyde de titane 22 ;
 - une couche de platine 23 destinée à former, avec la couche d'oxyde de titane, une électrode ;
 - une couche de matériau piézoélectrique 24 qui comprend du titano-zirconate de plomb ;
 - une couche de ruthénium 25, destinée à former une électrode.
- [0117] b) L'étape a) est alors suivie d'une étape b) qui comprend une étape de gravure de l'empilement des couches destinées à délimiter l'étendue de la couche active (figure 3b).
- [0118] c) Une étape c) de définition de reprises de contact au niveau des électrodes formées par la couche de platine 23 et la couche de ruthénium 25 (figure 3c).
- [0119] Cette étape c) comprend notamment la formation d'une couche de passivation 26, par exemple de l'oxyde de silicium, et la formation d'ouvertures 27, 28 dans ladite couche, par gravure, afin d'accéder aux électrodes.
- [0120] d) Une étape d) de formation de reprises de contact au niveau des ouvertures 27, 28 formées dans la couche de passivation 26.
- [0121] L'étape d) comprend à cet égard la formation d'une couche d'or et de titane 29, suivie d'une gravure de ladite couche destinée à délimiter les reprises de contact 30, 31 (figure 3d).
- [0122] e) Une étape e) de formation de premiers demi-piliers 223a destinés à former, avec des seconds demi piliers 223b, les piliers de la couche cœur 220 (figure 3e).
- [0123] L'étape e) de formation des premiers demi-piliers 223a comprend en particulier une étape d'électrodéposition.
- [0124] f) Une étape f) qui consiste à fournir un second substrat 40, notamment un substrat de silicium sur isolant. Le second substrat comprend également, sur sa couche silicium, une couche d'oxyde de silicium 41 (figure 3f).
- [0125] g) une étape g) de formation des seconds demi-piliers 223b, sur la couche d'oxyde de silicium 41 (figure 3g). Les seconds demi-piliers 223b sont agencés de manière à être

en correspondance avec les premiers demi-piliers 223a.

[0126] L'étape g) comprend une étape d'électrodéposition.

[0127] h) une étape h) de gravure de manière à délimiter la couche de maintien 230 dans l'empilement formé par la couche de silicium du second substrat 40, et par la couche d'oxyde de silicium 41 (figure 3h).

[0128] i) une étape i) d'assemblage du premier substrat et du second substrat qui comprend une mise en contact des premiers demi-piliers avec les seconds demi-piliers de manière à former les piliers 223 de la couche cœur 220 (figure 3i).

[0129] Le procédé comprend enfin des étapes de gravure du premier substrat (figure 3j) et du second substrat (figure 3k) destinées à libérer partiellement l'élément actif.

[0130] L'élément actif 200 selon l'un ou des deux modes de réalisation présentés dans la présente invention, confère au microsystème électromécanique une meilleure efficacité énergétique.

[0131] En effet, quel que soit le mode de réalisation présenté, la première région délimitée par la fibre neutre et la couche active présente une rigidité selon une direction parallèle à la face avant contrôlée. Il est ainsi possible de faire fléchir l'élément actif sans toutefois dissiper une énergie trop importante au niveau de cette première région.

[0132] Une rigidité normale plus élevée permet par ailleurs à l'élément actif de produire une force importante.

[0133] La mise en œuvre de la couche cœur permet également d'envisager des éléments actifs plus épais que ceux connus de l'état de la technique.

Liste des documents cités

[0134] [1] : Jean-Louis Fanchon, Guide de mécanique, Nathan, 2001 (ISBN 2-09-178965-8).

Revendications

- [Revendication 1] Microsystème électromécanique (100) pourvu d'un élément actif (200) apte à réaliser une fonction électromécanique, l'élément actif (200) comprend, d'une face supérieure vers une face inférieure essentiellement parallèle à la face supérieure, une couche active (210), une couche cœur (220) et une couche de maintien (230), la couche active (210) étant adaptée pour, sous l'effet d'un premier signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint, destiné à générer une flexion de l'élément actif (200) selon une direction perpendiculaire à la face avant, et inversement, la couche active (210), la couche cœur (220) et la couche de maintien (230) sont agencées de sorte qu'une fibre neutre (240), associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif (200), se trouve dans le volume de l'une ou l'autre de la couche cœur (220) et de la couche de maintien (230), la couche cœur (220) comprend en outre au moins 20%, avantageusement au moins 30%, encore plus avantageusement au moins 50%, d'évidements (221) dans son volume,
- [Revendication 2] Microsystème électromécanique selon la revendication 1, dans lequel les évidements (221) sont compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre (240) et une interface formée entre la couche active (220) et la couche cœur (220).
- [Revendication 3] Microsystème électromécanique selon la revendication 1, dans lequel les évidements (221) sont compris dans une section de volume délimitée par la fibre neutre (240) et une interface formée entre la couche cœur (220) et la couche de maintien (230).
- [Revendication 4] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel les évidements sont répartis régulièrement dans tout de volume de la couche cœur (220).
- [Revendication 5] Microsystème électromécanique selon l'une des revendication 1 à 4, dans lequel les évidements (221) forment des ouvertures traversantes débouchant sur chacune des interfaces que ladite couche cœur (220) forme avec, respectivement, la couche active (210) et la couche de maintien (230).
- [Revendication 6] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel la couche cœur (220) comprend des piliers (223), espacés les uns des autres, qui s'étendent, selon leur plus grande dimension dite

- hauteur H, entre les deux interfaces que ladite couche cœur (220) forme avec la couche active (210) et la couche de maintien (230).
- [Revendication 7] Microsystème électromécanique selon la revendication 6, dans lequel les piliers comprennent un métal, avantageusement le métal comprend au moins une des espèces choisie parmi : cuivre, nickel.
- [Revendication 8] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la couche de maintien (230) et la couche cœur (220) sont faites du même matériau
- [Revendication 9] Microsystème électromécanique pourvu d'un élément actif (200) apte à réaliser une fonction électromécanique, l'élément actif (200) comprend, d'une face supérieure vers une face inférieure essentiellement parallèle à la face supérieure, une couche active (210), une couche cœur (220) et une couche de maintien (230), la couche active (210) étant adaptée pour, sous l'effet d'un signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint, avantageusement un état de compression, destiné à générer une flexion de l'élément actif (200) selon une direction perpendiculaire à la face avant, et inversement, la couche active (210), la couche cœur (220) et la couche de maintien (230) sont agencées de sorte que la fibre neutre, associée à un allongement nul en cas de flexion de l'élément actif (200), se trouve dans le volume de l'une ou l'autre de la couche cœur (220) et de la couche de maintien (230) la couche cœur (220) présente, en outre, comprend un matériau mécaniquement anisotrope, avantageusement orthotrope, agencé de sorte que sa direction de plus grande rigidité soit normale à la face avant.
- [Revendication 10] Microsystème électromécanique selon les revendications 1 à 9, dans lequel la couche active (210) comprend une couche de matériau piézoélectrique (211).
- [Revendication 11] Microsystème électromécanique selon la revendication 10, dans lequel la couche active (210) comprend en outre deux électrodes (212, 213) sous forme de couches entre lesquelles est intercalée la couche de matériau piézoélectrique (211), et qui sont destinées à appliquer le premier signal électrique sur la couche de matériau piézoélectrique.
- [Revendication 12] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel la couche de maintien (230) est adaptée pour, lorsqu'elle est soumise à un second signal électrique, passer dans un état mécaniquement contraint opposé à l'état contraint de la couche active (210)

lorsque cette dernière est soumise au premier signal électrique.

[Revendication 13] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel l'élément actif (200) est une poutre.

[Revendication 14] Microsystème électromécanique selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel l'élément actif (200) comprend une membrane.

[Fig. 1]

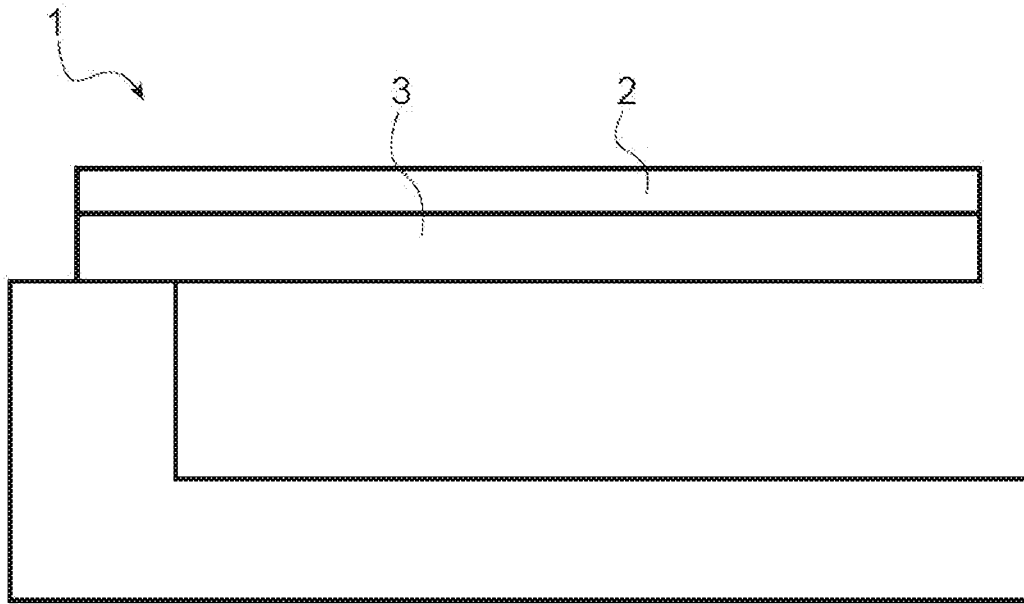


FIG. 1

[Fig. 2]

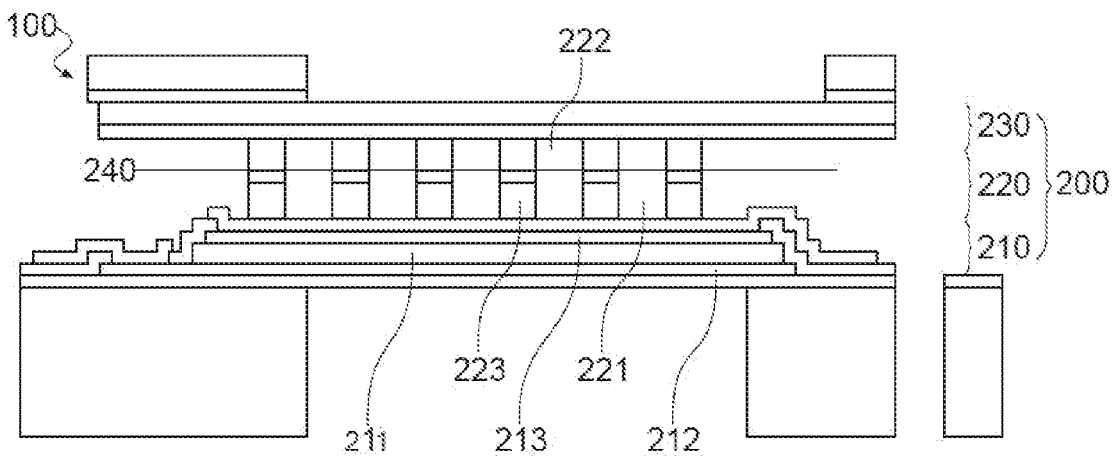


FIG. 2

[Fig. 3A]

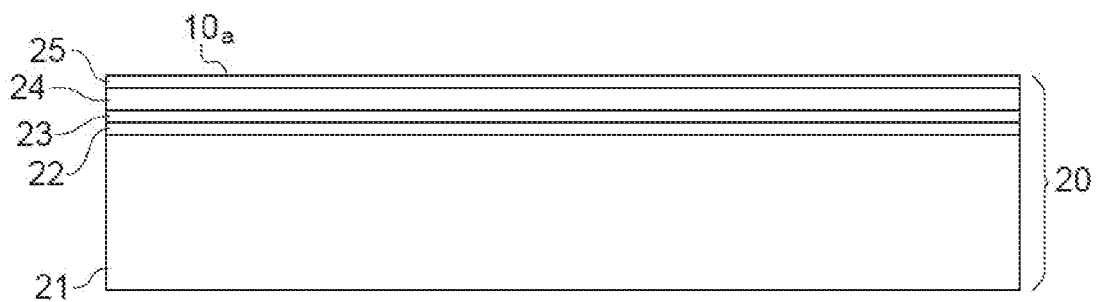


FIG. 3a

[Fig. 3B]

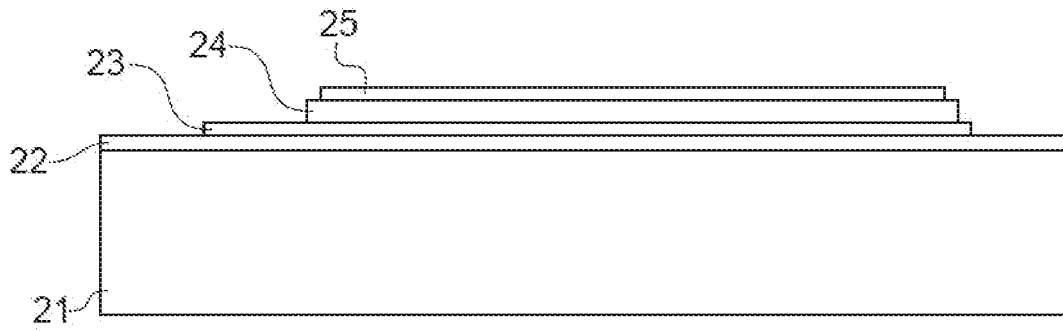


FIG.3b

[Fig. 3C]

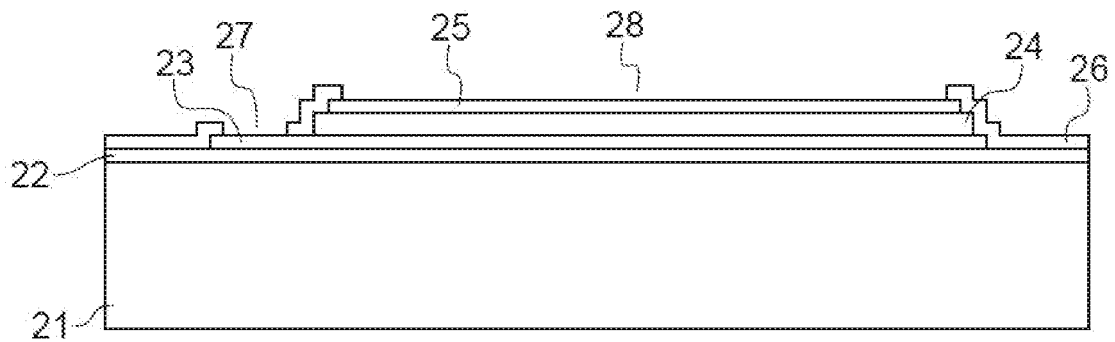


FIG.3c

[Fig. 3D]

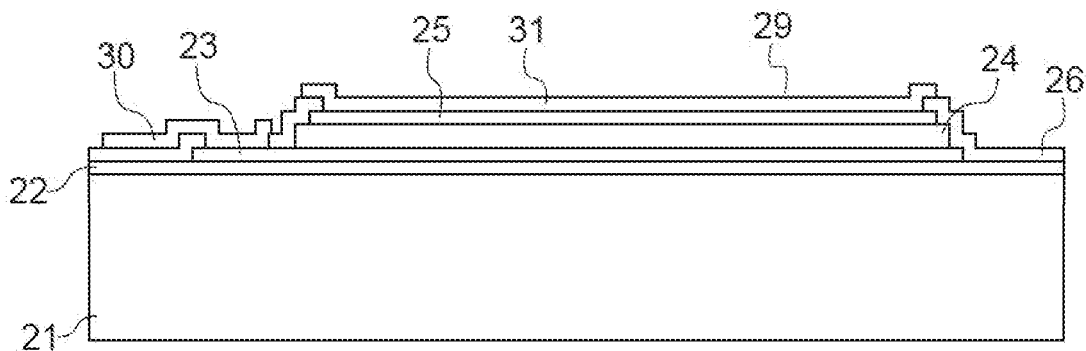


FIG.3d

[Fig. 3E]

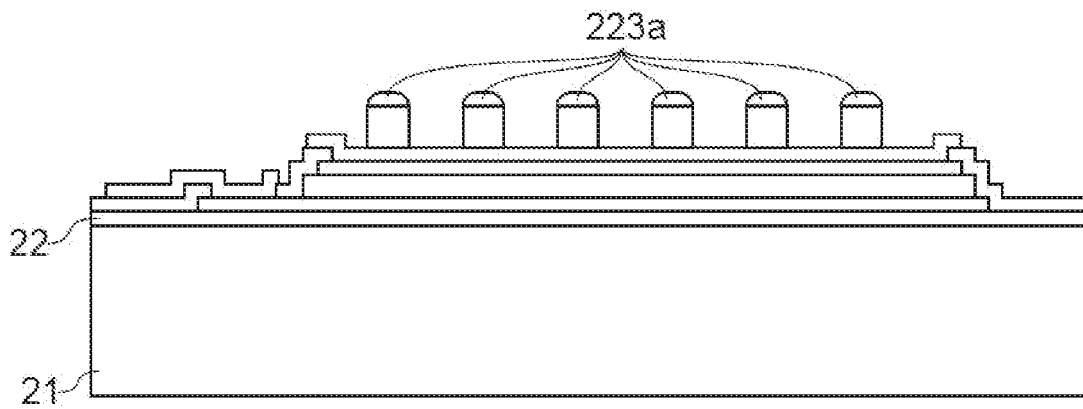


FIG.3e

[Fig. 3F]

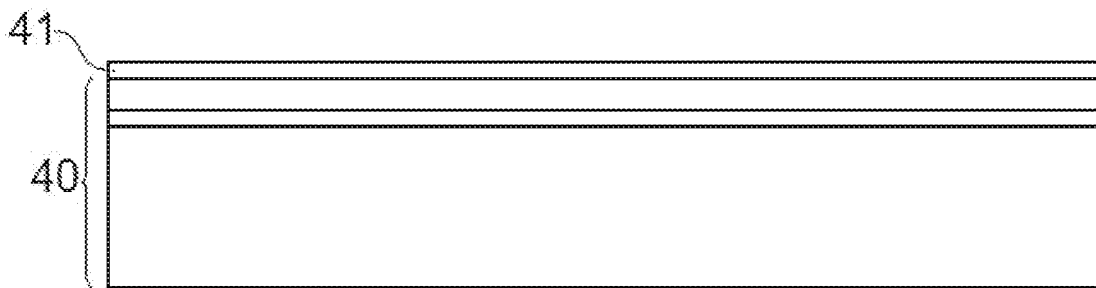


FIG.3f

[Fig. 3G]

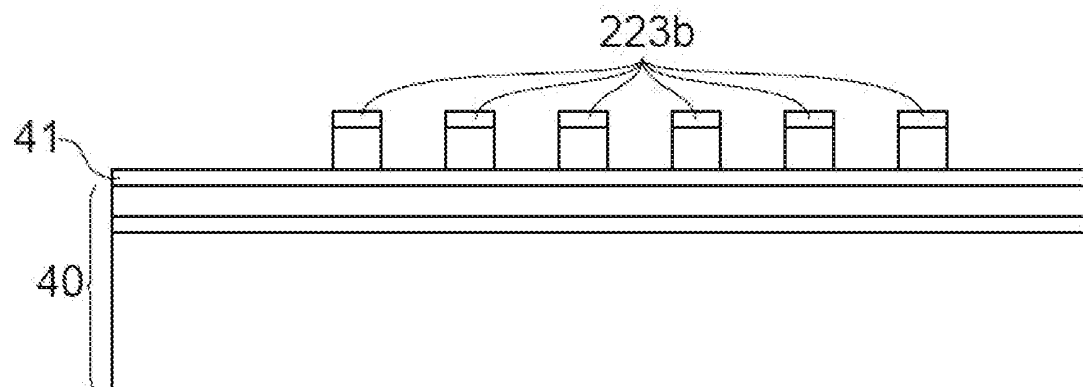


FIG.3g

[Fig. 3H]

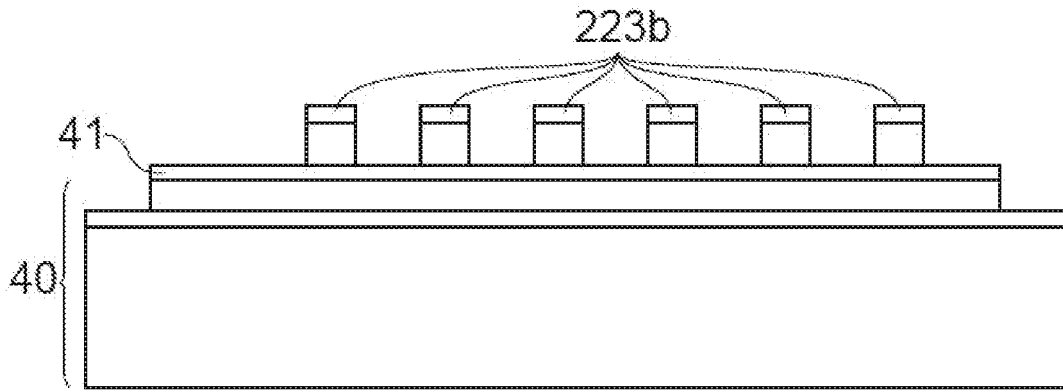


FIG.3h

[Fig. 3I]

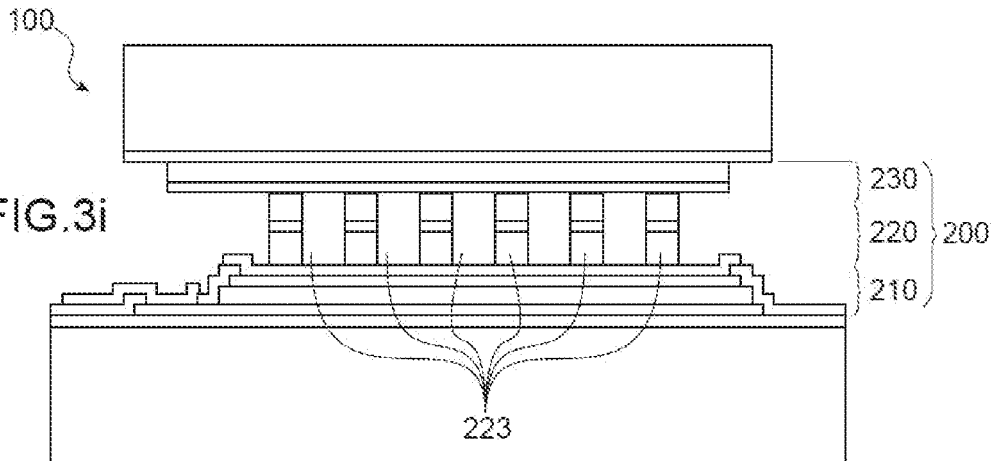


FIG.3i

[Fig. 3J]

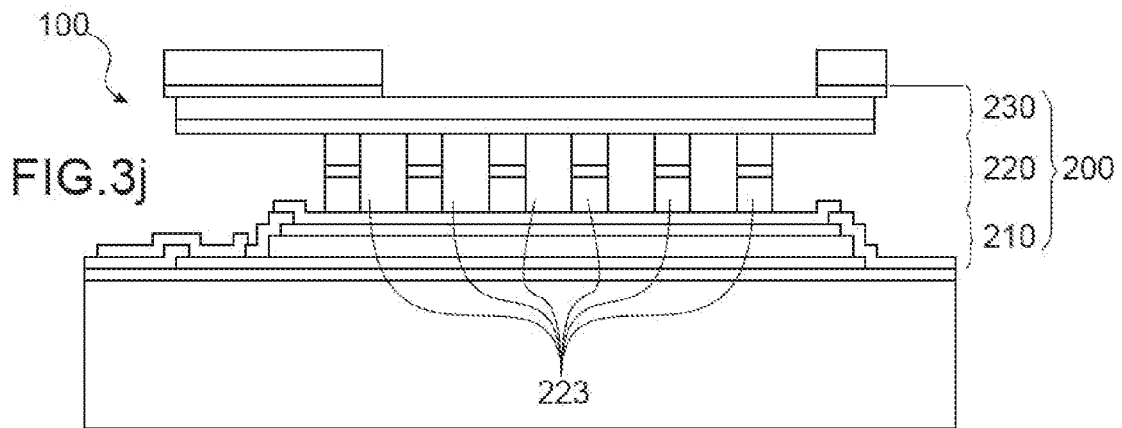


FIG.3j

[Fig. 3K]

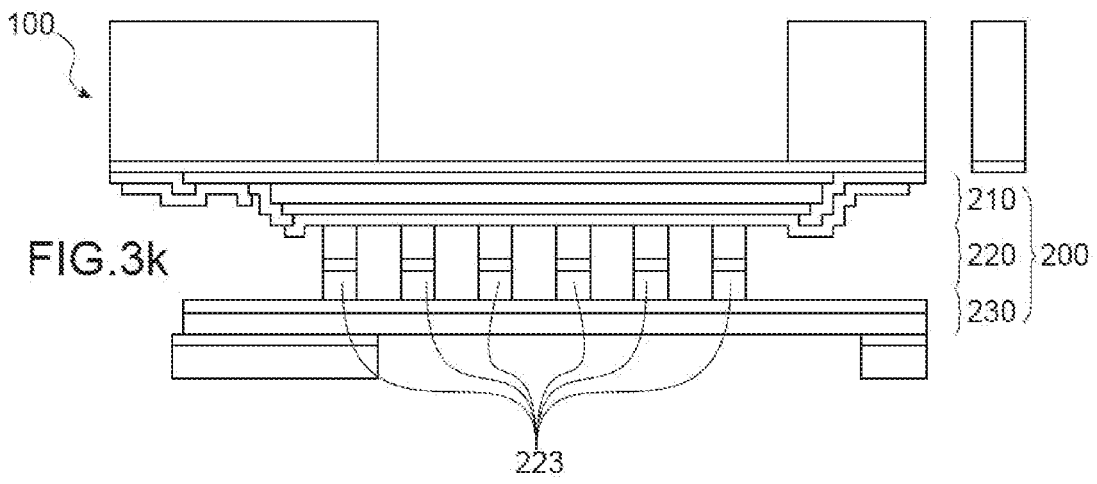


FIG.3k



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 864846
FR 1873251

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2017/246662 A1 (KIDWELL JR DONALD WILLIAM [US] ET AL) 31 août 2017 (2017-08-31) * alinéa [0076] - alinéa [0087]; figure 7D *	1,3,6, 10,11,14	H01L41/25 B81B3/00
X	EP 0 036 187 A1 (SIEMENS AG [DE]) 23 septembre 1981 (1981-09-23) * page 3 - page 3; figures 1-2 *	1-5, 9-11,13	
A	JP H06 275884 A (CASIO COMPUTER CO LTD) 30 septembre 1994 (1994-09-30)	1-14	
A	US 2018/078970 A1 (ONO TOMIO [JP] ET AL) 22 mars 2018 (2018-03-22)	1-14	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
28 novembre 2019		Koskinen, Timo	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		
		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1873251 FA 864846**

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 **28-11-2019**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2017246662 A1	31-08-2017	CN 108698084 A	23-10-2018
		EP 3423200 A1	09-01-2019
		US 2017246662 A1	31-08-2017
		WO 2017151445 A1	08-09-2017

EP 0036187 A1	23-09-1981	BR 8101593 A	22-09-1981
		DE 3010580 A1	24-09-1981
		EP 0036187 A1	23-09-1981
		JP S56148724 A	18-11-1981
		PT 72690 A	01-04-1981

JP H06275884 A	30-09-1994	AUCUN	

US 2018078970 A1	22-03-2018	JP 2018046512 A	22-03-2018
		US 2018078970 A1	22-03-2018
