

⑤④ Elément d'interféromètre de Fabry-Pérot et son procédé de fabrication.

②② Date de dépôt : 05.07.19.

③③ Priorité : 10.07.18 DE 10 2018 211 325.4.

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : ROBERT BOSCH GMBH GMBH —
DE.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 17.01.20 Bulletin 20/03.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 05.08.22 Bulletin 22/31.

⑦② Inventeur(s) : Huber Christian, Schelling Christoph,
Kraemmer Christoph Daniel, Schmid Marc, Roedel
Reinhold et Stein Benedikt.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

⑦③ Titulaire(s) : ROBERT BOSCH GMBH GMBH.

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦④ Mandataire(s) : CABINET HERRBURGER.



Description

Titre de l'invention : Elément d'interféromètre de Fabry-Pérot et son procédé de fabrication

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention se rapporte à un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot et à son procédé de fabrication.

ETAT DE LA TECHNIQUE

[0002] Une relative déformation bombée des structures de miroir les unes par rapport aux autres dans un MEMS d'interféromètre de Fabry-Pérot peut conduire à des pertes de résolutions car la condition de résonance varie par la déformation de l'intervalle entre les miroirs dans le domaine de l'ouverture. Une déformation bombée peut donner de façon dynamique, sous l'effet de la pression dynamique résultant de l'actionnement, des déformations au niveau des ressorts ou de façon statique, des conditions de contraintes asymétriques dans la structure ou l'emballage. Les intervalles gaz/air/vide possèdent avantageusement un contraste d'indice de réfraction maximum, nécessaire pour des miroirs à bande large DBR (réflecteur de Bragg réparti) comme cela est le cas de façon caractéristique pour les composants MOEMS. Toutefois la rigidité en flexion de tels miroirs DBR est très faible si bien que les miroirs peuvent prendre une forme bombée qui détériore les propriétés optiques du composant MOEMS. Pour des structures particulièrement minces, la faible tenue en flexion est compensée par l'utilisation de couches mises en contraintes de tension de sorte que l'on évite la flèche par la mise en tension de la membrane. La distance entre les couches de miroirs (miroir dit miroir électrique de Bragg) se réalise dans le cas de la structure gaz/air/vide comme couche à faible réfraction par des organes d'écartement (section de renforcement ou cols) ou encore par des couches à faibles réfraction. La matière polycristalline des miroirs peut rester pratiquement sans tension ou être mise modérément en tension par rapport au substrat ce qui donne une faible rigidité en flexion au miroir.

[0003] Les documents US 7 733 495 et US 8 995 044 décrivent des interféromètres de Fabry-Pérot comportant un miroir fixe et un miroir mobile. Les miroirs peuvent être réalisés chacun comme pile de miroirs DBR, avec du silicium cristallin comme couche $\lambda/4$ à forte réfraction et de l'air/vide comme intervalle ou couche $\lambda/4$ à faible réfraction.

[0004] Le document US 8 913 332 propose d'augmenter la densité des organes d'écartement dans la plage de transmission optique et ainsi d'augmenter localement la rigidité en flexion.

[0005] EXPOSE ET AVANTAGES DE L'INVENTION

- [0006] L'invention a pour but de remédier aux inconvénients des solutions connues et a pour objet un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot comprenant :
- [0007] un substrat de support ayant un orifice de passage avec un nombre d'ouverture,
- [0008] un premier élément de miroir et un second élément de miroir superposés sur le substrat de support en étant écartés l'un de l'autre,
- [0009] le premier élément de miroir et le second élément de miroir couvrent l'orifice de passage et le premier élément de miroir et le second élément de miroir comportant chacun un miroir diélectrique de Bragg, avec au moins deux couches de miroir planes parallèles à fort indice de réfraction et entre elles une couche de miroir à faible indice de réfraction,
- [0010] le premier élément de miroir et le second élément de miroir ayant,
- [0011] une zone extérieure qui se trouve latéralement à l'extérieur de l'orifice de passage et adjacente à celui-ci et sans contact mécanique avec le substrat de support, et
- [0012] une zone de suspension latéralement à l'extérieur de la zone extérieure, adjacente à celle-ci et en contact mécanique avec le substrat de support,
- [0013] la zone extérieure et/ou la zone de suspension ayant une matière avec un autre état de contrainte que la première et la seconde couche de miroir dans la zone de l'orifice de passage.
- [0014] L'invention a également pour objet un procédé de réalisation d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot comprenant les étapes suivantes consistant à :
- [0015] S1) utiliser un substrat de support,
- [0016] S2) appliquer un premier élément de miroir ayant au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et entre elles une couche à faible indice de réfraction et dépôt d'une couche sacrificielle d'une épaisseur (d)
- [0017] S3) appliquer un second élément de miroir avec au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et entre elles une couche à faible indice de réfraction, plane, parallèle sur le premier élément de miroir et sur la couche sacrificielle, le premier élément de miroir et/ou le second élément de miroir ayant dans la zone extérieure, une matière mise en contrainte par compression et/ou une matière mise en contrainte par tension dans et/ou entre les couches de miroir, et
- [0018] S4) réaliser un orifice traversant dans le substrat de support sous le premier et le second élément de miroir, perpendiculairement à la direction principale d'extension des éléments de miroir et enlèvement de la couche sacrificielle entre les éléments de miroir à l'aide d'un procédé de gravure de couche sacrificielle et développement d'une gravure en contre-dépouille sous le premier élément de miroir dans la zone extérieure dans le substrat de support latéralement autour de l'orifice de passage à l'aide d'un procédé de gravure de couche sacrificielle en passant par des orifices verticaux de gravure de couche sacrificielle, réalisés dans le premier élément de miroir et le second

élément de miroir.

- [0019] La présente invention consiste à développer un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot qui se distingue par un meilleur parallélisme plan des éléments de miroir et par une meilleure rigidité en flexion. Cette rigidité en flexion, élevée, donne à l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot avantageusement une meilleure résolution en permettant de réduire, voire d'éviter la déformation bombée des éléments de miroir et par conséquence éviter la variation de l'intervalle optique ou écart entre les éléments de miroir. Cela permet ainsi de développer avantageusement des éléments de miroir plans parallèles silicium polycristallin/air et dont la transmission optique n'est de façon avantageuse, que faiblement concernée ou ne l'est pas du tout par des déformations bombées ; la rigidité en flexion s'obtient avantageusement par une mise en contrainte par tension exercée sur les éléments de miroir ; la tension se réalise avantageusement par la conception latérale, telle que la conception latérale, des couches des éléments de miroir.
- [0020] En d'autres termes, selon l'invention, l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot comporte un substrat de support muni d'un orifice de passage. Cet orifice de passage définit une ouverture optique (nombre d'ouverture). Il est prévu un premier élément de miroir et un second élément de miroir superposés écartés sur le substrat de support ; le premier élément de miroir et le second élément de miroir couvrent l'orifice de passage ; et comportent chacun un miroir diélectrique de Bragg ; ces deux miroirs comportent au moins deux couches de miroir, planes, parallèles l'une par rapport à l'autre et à fort indice de réfraction et entre elles, une couche de miroir à faible indice de réfraction ; le premier et le second élément de miroir ont une zone extérieure adjacente latéralement à l'extérieur de l'orifice de passage, sans contact mécanique avec le substrat de support ainsi qu'une zone de suspension adjacente latéralement à la zone extérieure en étant en contact mécanique avec le substrat de support ; la zone extérieure et/ou la zone de suspension sont en une matière ayant un autre état de contrainte que la première et la seconde couche de miroir dans la zone de l'orifice de passage.
- [0021] Selon un développement préférentiel de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la couche de miroir à faible réfraction est réalisée sous la forme d'un intervalle à gaz/air ou un intervalle vide.
- [0022] L'état de contrainte est avantageusement un état de contrainte par tension ou par compression.
- [0023] Le substrat de support comporte avantageusement une matière opaque pour la lumière à analyser par l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot de sorte que la lumière incidente ne peut traverser que l'orifice de passage à nombre d'ouverture pour pénétrer dans l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot puis en sortir. Le premier et le second élément de miroir ont chacun plusieurs couches, et de façon avantageuse au

moins les couches de miroir sont solidarisiées mécaniquement. La liaison mécanique est avantageusement dans la zone extérieure ou dans la zone de suspension ou également à l'intérieur de la zone de l'orifice de passage à l'aide de structures de liaison verticale.

- [0024] Les couches de miroir ont avantageusement chacune une couche retardatrice de longueur d'onde comme une « couche $\lambda/4$ » pour l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, vis-à-vis de la lumière à transmettre et analyser. Pour les autres longueurs d'ondes, la couche de miroir est réfléchissante. Dans la suite de la description la couche de miroir sera également appelée « couche à retard » ou « lame à retard ».
- [0025] La zone extérieure présente avantageusement un espace libre sous le premier élément de miroir, c'est-à-dire entre le substrat de support et le premier élément de miroir ; ce premier élément de miroir se trouve indirectement après le substrat de support, le second élément de miroir étant sur le premier élément de miroir. Le premier élément de miroir est installé de manière fixe sur le substrat de support dans la zone de suspension. La disposition des éléments de miroir peut toutefois être inversée. L'espace libre s'étend latéralement sur l'orifice de passage à nombre d'ouverture dans le substrat de support. Le premier et le second élément de miroir comportent des membranes miroirs.
- [0026] Selon un développement préférentiel, l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot est encapsulé et se présente sous la forme d'un composant MEMS, c'est-à-dire un micro-système électromécanique.
- [0027] L'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot peut avantageusement être encapsulé, au moins par un côté, avec le substrat de support. Le composant MEMS est avantageusement un composant micromécanique.
- [0028] Selon une forme de réalisation préférentielle, l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot entoure de façon annulaire la zone extérieure de l'orifice de passage.
- [0029] L'orifice de passage est entouré de manière annulaire par la zone extérieure et également une zone de miroir dégagée par la gravure en contre-dépouille qui correspond à un espace libre sous la couche du premier élément de miroir et qui dépasse latéralement de l'orifice de passage à nombre d'ouverture.
- [0030] Selon un mode de réalisation préférentiel de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la zone extérieure comporte une matière mise en contrainte par compression ; elle est prévue dans le premier élément de miroir et/ou dans le second élément de miroir, entre les couches de miroir et elle forme une zone annulaire autour de l'orifice de passage.
- [0031] La matière mise en contrainte par compression exerce avantageusement une tension sur l'élément de miroir adjacent vers l'intérieur, sur les couches de miroir et réduit ainsi avantageusement l'éventuelle déformation bombée de l'élément de miroir. La

matière en contrainte par compression peut être obtenue au cours du procédé de fabrication de l'élément de miroir sous la forme d'une couche sacrificielle entre les couches ou lames à retard. La matière mise en contrainte par compression se trouve au moins dans la zone extérieure du premier et/ou du second élément de miroir. La libération des contraintes internes des éléments de miroir, permet d'exercer une faible tension au moins sur la zone d'ouverture de l'élément de miroir. De façon avantageuse, la tension ne dépasse pas une valeur limite critique qui elle, endommagerait mécaniquement la matière de l'élément de miroir. Grâce à la zone annulaire, l'élément de miroir est symétrique vis-à-vis de la mise en contrainte. La contrainte réalise un meilleur parallélisme plan du ou des éléments de miroir, avantageusement de la couche réfléchissante dans la région du nombre d'ouverture. En outre, la faible déformation bombée des couches du ou des éléments de miroir (deux ou plus d'éléments de miroir pour réduire la déformation bombée réciproque des miroirs) de façon avantageuse celle des lames à retard, permet d'éviter ou de réduire au minimum la variation de l'intervalle (meilleur parallélisme plan ou amélioration des miroirs), augmentant la résolution de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot ou améliorant sa résolution.

- [0032] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la matière mise en contrainte par compression est SiO₂.
- [0033] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la zone annulaire a un bord intérieur vertical et un bord extérieur vertical dans la direction latérale.
- [0034] Les bords ont une matière d'arrêt pour la couche sacrificielle et qui bloque le procédé de gravure ; ainsi ce procédé utilisé pour dégager l'élément de miroir par rapport au substrat de support, ne peut pas graver la couche sacrificielle sous l'élément de miroir. Les bords ont également une zone de paroi d'un orifice vertical de la couche sacrificielle ; cet orifice sert au procédé de gravure sacrificielle pour dégager l'élément de miroir par rapport au substrat de support. L'orifice vertical de la couche de gravure peut également être séparé des bords à l'intérieur et/ou à l'extérieur de la zone annulaire dans l'élément de miroir. La matière des bords est la matière des lames à retard de l'élément de miroir. Les orifices verticaux de la couche sacrificielle traversent l'ensemble de l'élément de miroir et ils sont réalisés dans au moins l'un ou les deux éléments de miroir. Le bord intérieur et/ou le bord extérieur entourent la zone annulaire, latéralement vers l'extérieur et/ou vers l'intérieur.
- [0035] Pour réaliser l'intervalle ou la fente optique on peut graver la couche sacrificielle à cet endroit ; on peut également réaliser l'écartement entre les deux éléments de miroir en les séparant tout d'abord par une couche sacrificielle pour ensuite l'enlever par gravure en passant par les orifices réalisés dans la couche sacrificielle.
- [0036] Selon une autre forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de

Fabry-Pérot, la zone extérieure du premier élément de miroir et/ou du second élément de miroir comportent une matière mise en contrainte par tension, et cette matière arrive jusque dans la zone de suspension qui est la zone non dégagée par la gravure des éléments de miroir.

- [0037] La matière mise en contrainte par tension peut, en variante ou en plus de la matière mise en contrainte par compression, entourer de façon annulaire l'orifice de passage à nombre d'ouverture dans l'un ou les deux éléments de miroir. La matière mise en contrainte par tension exerce avantageusement une traction latérale sur l'élément de miroir.
- [0038] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la matière mise en contrainte par tension rejoint latéralement vers l'extérieur, la matière mise en contrainte par compression.
- [0039] La succession latérale de l'intérieur vers l'extérieur, des matières mises en contrainte par compression et par tension peut également être développée en sens inverse ou selon d'autres modes de réalisation tels qu'une succession alternée. Ainsi et au choix, on peut avantageusement prévoir une succession telle que la zone intérieure selon le sens latéral de l'élément de miroir, présente dans la zone de l'orifice de passage à nombre d'ouverture, une plus grande tension que la zone extérieure et/ou la zone de suspension. Cela permet toutefois une autre répartition latérale des valeurs de la tension. Cette variation latérale de la tension, par exemple une plus grande tension à l'intérieur de la zone de l'élément de miroir, permet d'avoir une plus grande résistance dans la zone de suspension et un meilleur parallélisme plan dans la zone intérieure.
- [0040] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la matière mise en contrainte par tension est une couche localement structurée dans ou sur le premier élément de miroir et/ou le second élément de miroir.
- [0041] La couche localement structurée dans la zone prévue est appliquée lors de la fabrication de l'élément de miroir en plus à la matière de la couche de miroir, en structurant par gravure et par insertion autour de la zone mise en contrainte et permettant ainsi de régler la traction de manière définie. La formation d'un siliciure convient avantageusement à cela.
- [0042] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, la matière mise en contrainte par tension est du nitrure de silicium Si_3N_4 , du carbure de silicium SiC , du nitrure riche en silicium SiN , du carbonitrure de silicium SiCN , du borocarbure nitrure de silicium SiCBCN ou du boronitrure de silicium SiBN .
- [0043] La couche localement structurée comprend avantageusement ces matières mises en contrainte par tension. En variante, il est également possible de modifier localement la matière des lames à retard pour les mettre avantageusement en contrainte par tension, par exemple en développant un siliciure à partir de silicium polycristallin, par exemple

pour avoir du siliciure de nickel NiSi_2 , du siliciure de titane TiSi_2 ou du siliciure de platine PtSi_2 .

- [0044] A la fois la matière mise en contrainte par tension et celle mise en contrainte par compression permettent avantageusement de remplacer dans la zone annulaire, la matière des lames à retard ou la couche sacrificielle en partie ou totalement, par la matière mise en contrainte par tension et/ou par compression et en ce que cette matière arrive jusque dans la zone de suspension non dégagée par la gravure.
- [0045] A la place ou en plus du silicium polycristallin ou SIC qui peut correspondre à des lames à retard à fort indice de réfraction, on peut également avoir du germanium ou d'autres matières selon la plage souhaitée de longueurs d'ondes.
- [0046] Selon une forme de réalisation préférentielle de l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, les couches de miroir sont réalisées sous la forme de lames à retard et elles comportent chacune une couche $\lambda/4$ à faible indice de réfraction en silicium polycristallin ou SIC. La couche $\lambda/4$ à faible indice de réfraction est dégagée comme fente optique et contient du gaz ou le vide.
- [0047] La ou les lames à retard comportent une couche $(2n+1)*\lambda/4$ à fort indice de réfraction pour la zone de transmission optique. Entre deux telles lames à retard, on a un intervalle $(2n+1)*\lambda/4$ de gaz ou d'air ou le vide (dans cette relation $n=0,1,2,3\dots$).
- [0048] Selon l'invention, le procédé de fabrication d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot comporte une étape de procédé S1 consistant à utiliser un substrat de support, une étape de procédé S2 pour appliquer un premier élément de miroir avec au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et entre celles-ci une couche à faible indice de réfraction ainsi que le dépôt d'une couche sacrificielle d'une épaisseur (d), une autre étape de procédé S3 consistant à appliquer un second élément de miroir avec au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et entre celles-ci une couche plane, parallèle, à faible indice de réfraction au-dessus du premier élément de miroir et sur la couche sacrificielle, le premier élément de miroir et/ou le second élément de miroir ayant une matière mise en contrainte par compression et/ou par tension dans la zone extérieure et/ou entre les couches de miroir et dans une étape S4, on réalise un orifice de passage dans le substrat de support sous le premier et le second élément de miroir, perpendiculairement à la direction principale d'extension des éléments de miroir et on enlève la couche sacrificielle entre les éléments de miroir à l'aide d'un procédé de gravure de couches sacrificielles par la gravure en contre-dépouille sous le premier élément de miroir dans la zone extérieure du substrat de support, latéralement autour de l'orifice de passage par la gravure de la couche sacrificielle en passant par des orifices verticaux réalisés dans la couche sacrificielle du premier élément de miroir et du second élément de miroir.
- [0049] Le procédé se caractérise avantageusement par les caractéristiques de l'élément

d'interféromètre de Fabry-Pérot selon l'invention tel que décrit ci-dessus et réciproquement.

- [0050] La gravure en contre-dépouille se développe au moins dans la zone extérieure sous le premier élément de miroir ou aussi sous la zone de suspension. La disposition du second élément de miroir sur le premier élément de miroir peut être inversée.
- [0051] La mise en contrainte à l'intérieur de la zone annulaire des éléments de miroir se fait par lithographie lors de la réalisation des zones annulaires de sorte qu'il n'y a pas de dépendance entre la mise en contrainte et l'uniformité de la mise en contrainte, par exemple par une plaquette dans les couches de l'élément de miroir à partir des procédés de dépôt pour la fabrication. La mise en contrainte par tension des couches peut se faire par le seul choix des conditions de dépôt en étant toutefois influencée seulement de manière très limitée. Si le substrat de support a un coefficient de dilatation thermique analogue ou identique (comme cela est le cas des éléments de miroir en silicium polycristallin), à celui du substrat de support, la contrainte se réalise par les conditions de dépôt mais elle est limitée par la matière ; elle est améliorée ou augmentée avantageusement par la matière mise en contrainte dans la zone annulaire. Ainsi la mise en contrainte par tension avec la zone annulaire compense avantageusement ou prend en compte, de sorte que les couches déposées ultérieurement subiront un effet thermique moindre que les couches déposées précédemment ce qui peut se traduire par des différences de contrainte entre les couches précédemment déposées et celles déposées ultérieurement. Il est également possible que le procédé de dépôt génère une mise en contrainte non homogène par la plaquette ou le substrat de support qui peut être réglée ou compensée ou être prise en compte.
- [0052] Selon un développement préférable du procédé, dans l'étape S3 on démoule une matière mise en contrainte par tension en modifiant la matière des couches de miroir, cette modification se faisant en formant un siliciure à partir d'un silicium polycristallin pour obtenir NiSi_2 , TiSi_2 , PtSi_2 .
- [0053] Selon une caractéristique particulièrement avantageuse, la matière mise en contrainte par tension (TV) est Si_3N_4 , SiC , un nitrure riche en silicium, SiCN , SiBCN ou SiBN .
- [0054] Suivant une autre caractéristique particulièrement avantageuse, dans l'étape S3 du procédé on moule une matière mise en contrainte par tension (TV) en modifiant la matière des couches de miroir (LS1,LS2), la modification se faisant par la formation d'un siliciure à partir du silicium polycristallin pour obtenir NiSi_2 , TiSi_2 ou PtSi_2 .

Brève description des dessins

- [0055] La présente invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide de modes de réalisation représentés dans les dessins annexés dans lesquels :
- [0056] [Fig.1] est une vue en coupe schématique d'un élément d'interféromètre de Fabry

Pérot selon un exemple de réalisation de la présente invention,

[0057] [Fig.2] est une section schématique d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot correspondant à un autre exemple de réalisation de la présente invention,

[0058] [Fig.3] est une vue de dessus schématique d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot selon un exemple de réalisation de la présente invention, et

[0059] [Fig.4] montre un schéma par blocs des étapes du procédé selon un exemple de réalisation de la présente invention.

[0060] Dans les différentes figures, on utilisera les mêmes références pour les mêmes éléments ou des éléments de même fonction.

[0061] DESCRIPTION D'UN MODE DE REALISATION

[0062] La [Fig.1] est une section schématique d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot selon un exemple de réalisation de la présente invention.

[0063] L'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot FP comporte un substrat de support TS muni d'un orifice de passage NA ; cet orifice de passage NA a un nombre d'ouverture optique ; un premier élément de miroir SP1 et un second élément de miroir SP2 superposés sur le substrat de support TS sont écartés l'un de l'autre ; le premier élément de miroir SP1 et le second élément de miroir SP2 couvrent l'orifice de passage NA ; le premier élément de miroir SP1 et le second élément de miroir SP2 ont chacun un miroir diélectrique de Bragg, avec au moins deux couches de miroir LS1, LS2 fortement réfractrices, parallèles, planes et une couche de miroir intermédiaire faiblement réfractive ; le premier élément de miroir SP1 et le second élément SP2 ont une zone extérieure AB qui se raccorde latéralement à l'extérieur de l'orifice de passage NA sans aucun contact mécanique avec le substrat de support TS et une zone de suspension AufB qui se raccorde latéralement à l'extérieur de la zone extérieure AB à celle-ci en étant en contact mécanique avec le substrat de support TS ; la zone extérieure AB et/ou la zone de suspension AufB sont en un matériau ayant un autre état de contrainte que la première et la seconde couche de miroir LS1, LS2 dans une zone de l'orifice de passage NA.

[0064] Bien que la zone extérieure AB de même que la zone de suspension AufB entourent de façon annulaire, latéralement l'orifice de passage NA, la zone de suspension AufB de la zone extérieure AB peut avoir une forme annulaire. Sous le premier élément de miroir SP1, on développe un espace libre par une gravure en contre-dépouille U du substrat de support TS s'étendant latéralement à l'orifice de passage NA, avantageusement avec une forme annulaire et au moins sous la zone extérieure AB ou également sous la zone de suspension AufB. Le premier élément de miroir SP1 et le second élément de miroir SP2 ont des orifices de couches sacrificielles 3, verticaux, réalisés dans les couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 pour effectuer une opération de gravure dans le substrat de support TS et développer une gravure en

contre-dépouille. Entre les couches retardatrices de longueur d'onde LS1, LS2 on peut avoir au moins par zone, dans la zone extérieure AB, un matériau KV mis avantageusement en contrainte par compression et/ou un matériau TV mis en contrainte par tension et remplissant l'intervalle LS en partie ou en totalité. Dans le cas du matériau mis en contrainte de traction, l'extension s'étend avantageusement sur la zone de suspension AufB vers l'extérieur sur la partie sans gravure en contre-dépouille des éléments de miroir. L'ouverture verticale dans la couche sacrificielle passe avantageusement par le premier et/ou le second élément de miroir SP1 et SP2 et la gravure en contre-dépouille U dans le substrat de support TS est faite à l'extérieur de l'orifice de passage NA. Les ouvertures de gravure verticales de la couche sacrificielle peuvent s'étendre en partie ou en totalité dans la matière mise en contrainte par compression KV ou dans la matière mise en contrainte par tension TV. Dans le premier et/ou le second élément de miroir SP1, SP2 la zone extérieure AB ou également la zone de suspension AufB, latéralement vers l'intérieur, au niveau de la matière KV mise en contrainte par compression ou la matière TV mise en contrainte par tension, ont un bord vertical intérieur InB et latéralement vers l'extérieur sur la matière mise en contrainte par compression ou de traction KV ou TV, un bord vertical extérieur AuB directement adjacent. En variante, il est également possible d'écarter ce bord de la matière mise en contrainte par compression ou par traction ou de la former entre la matière mise en contrainte par traction ou par compression. Les bords InB et AuB séparent avantageusement la zone mise en contrainte par tension et les zones qui l'entourent. De façon avantageuse la zone extérieure AB et la zone de suspension AufB séparent la zone intérieure des éléments de miroir et l'orifice de passage NA à nombre d'ouverture, de façon mécanique du point de vue de la mise en contrainte par rapport à une autre zone située plus à l'extérieur de la zone de suspension AufB ou encore de la zone de suspension AufB elle-même ; ainsi de manière avantageuse, les électrodes d'activation peuvent être prévues dans cette zone extérieure ou être reliées de façon à coopérer avec celle-ci. Ainsi la mise en contrainte des zones optiques des éléments de miroir est découplée de la zone d'actionnement de façon que l'intervalle (gaz/air/vide) reste constant même pour l'actionnement.

- [0065] Entre les couches retardatrices de longueurs d'onde LS1 et LS2, on peut avoir avantageusement des organes d'écartement AH qui maintiennent un écartement constant de l'intervalle LS, entre les couches retardatrices de longueur d'onde à l'intérieur du premier et/ou du second élément de miroir SP1 ou SP2. Ces organes d'écartement AH sont dans la matière des couches retardatrices de longueur d'onde ou dans une autre matière applicable. Dans la zone extérieure AB et/ou la zone de suspension AufB on peut avoir une multiplicité d'ouvertures verticales 3 dans la couche sacrificielle dans l'un ou dans les deux éléments de miroir SP1, SP2 pour déployer la gravure en contre-

dépouille U sous l'élément de miroir SP1. Dans les zones dans lesquelles il n'y a pas de matière mise en compression et/ou en tension, les ouvertures de couche sacrificielle 3, verticales, peuvent ne pas avoir de bord vertical.

- [0066] La matière KV, mise en contrainte par compression peut être conservée par le bord intérieur InB et le bord extérieur AuB, latéralement vers l'intérieur et vers l'extérieur et comporter une couche sacrificielle telle qu'une couche de SiO₂ entre les couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 dans la zone extérieure AB.
- [0067] La zone du premier élément de miroir SP1 et/ou du second élément de miroir SP2, la zone au-dessus de l'orifice de passage NA peuvent n'avoir aucun organe d'écartement ou seulement quelques organes d'écartement entre les couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 et/ou entre les éléments de miroir SP1, SP2 ce qui augmente avantageusement la plage optiquement utile car ainsi on ne réduit ni ne bloque par les organes d'écartement AH, les caractéristiques optiques de la lumière incidente et sa transmission. Les organes d'écartement AH peuvent être supprimées si la contrainte par tension est suffisante, résultant de la matière mise en contrainte par compression ou par tension sur la zone intérieure. La zone extérieure AB et/ou la zone de suspension AufB peuvent développer un anneau de tension autour de l'orifice de passage NA à un nombre d'ouverture.
- [0068] Plus loin vers l'extérieur dans la zone de suspension AufB, entre les couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 on ne peut prévoir un matériau de remplissage ou un matériau mis en contrainte par compression ou tension. Pour le reste, l'intervalle LS dans la zone extérieure au matériau mis en contrainte, est avantageusement formé par un gaz, de l'air ou le vide. Selon la forme de réalisation de la [Fig.1], la lumière incidente passant par l'orifice de passage NA, arrive avantageusement de bas en haut. La distance (d) entre le premier et le second élément de miroir SP1 et SP2 forme un intervalle optique.
- [0069] La [Fig.2] est une section schématique d'un élément interféromètre Fabry-Pérot selon un autre mode de réalisation de la présente invention.
- [0070] L'exemple de réalisation de la [Fig.2] a une plus grande zone pour le substrat de support TS ainsi que le premier et que le second élément de miroir SP1 et SP2, dans une zone extérieure AB et dans une zone de suspension AufB. L'exemple de réalisation de la [Fig.2] diffère ainsi du premier exemple de réalisation selon la [Fig.1] en ce qu'à la fois dans le premier et aussi dans le second élément de miroir SP1 et SP2, entre le bord vertical intérieur InB jusque dans la zone allant à l'extérieur de la zone de gravure en contredépouille, la matière est mise en contrainte par tension à la place de la matière des couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2. Cela permet d'avoir une couche Z structurée localement, formée d'une matière TV mise en contrainte par tension sur les couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2, par plage, dans la

zone extérieure des deux couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 des deux éléments de miroir SP1 et SP2 ou encore la matière des couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 dans cette zone sera modifiée pour avoir une matière TV mise en contrainte par tension, par exemple en formant un siliciure. L'ouverture de gravure 3, verticale, peut être prévue dans la matière mise en contrainte par tension TV, dans les deux éléments de miroir SP1 et SP2 et dans les mêmes positions latérales orientées l'une vers l'autre et comporter son propre bord par rapport à la matière mise en contrainte par tension TV, par exemple avec la matière des couches retardatrices de longueur d'onde LS1 et LS2 ou d'un autre matériau d'arrêt de gravure. Entre les couches Z de la matière mise en contrainte par tension TV, la dimension de l'intervalle LS reste avantageusement la même qu'au-delà de la zone extérieure AB.

- [0071] La [Fig.3] est une vue de dessus schématique d'un élément d'interféromètre Fabry-Pérot selon un exemple de réalisation de la présente invention.
- [0072] La vue de dessus montre la zone extérieure AB et la zone de suspension AufB qui sont réalisées avantageusement avec la matière KV mise en contrainte par tension/compression ou encore la matière TV, avec un anneau de contrainte comme zone annulaire R autour de la zone intérieure des éléments de miroir formant l'orifice de passage NA.
- [0073] La [Fig.3] montre certes une matière TV ou KV mise en contrainte par tension et/ou de compression dans la zone extérieure AB, la zone intérieure de la zone extérieure ne comporte pas de matière de mise en contrainte par compression ou de tension ; on peut néanmoins avoir une distribution des matières de mise en contrainte dans toute la zone extérieure et la zone de suspension. Pour dégager par gravure, de façon avantageuse par zone, les éléments de miroir, par rapport au substrat de support, on réalise des orifices de gravure de couche sacrificielle 3, verticaux, circulaires dans la zone extérieure AB et dans la zone de suspension AufB. La matière mise en contrainte peut avantageusement être dégagée dans une zone latérale au-delà de la zone extérieure des éléments de miroir. La [Fig.3] montre en outre les positions possibles des organes d'écartement AH entre les couches retardatrices de longueur d'onde. La zone annulaire R est formée avantageusement dans l'un ou dans les deux éléments de miroir SP1 et SP2.
- [0074] La [Fig.4] montre schématiquement la succession des étapes du procédé selon un exemple de réalisation de la présente invention.
- [0075] Selon le procédé de fabrication d'un élément d'interféromètre de Fabry-Pérot, dans une première étape S1, on utilise un substrat de support ; dans une étape S2, on applique un premier élément de miroir avec au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et une couche faiblement réfractrice dans l'intervalle et on dépose une couche sacrificielle d'épaisseur (d) ; dans l'étape S3 on applique un second élément de

miroir avec au moins deux couches de miroir, planes, parallèles et on interpose une couche à faible réfraction, plane, parallèle sur le premier élément de miroir et sur la couche sacrificielle, le premier élément de miroir et/ou le second élément de miroir comportant dans une zone extérieure, une matière mise en contrainte par compression et/ou une matière mise en contrainte par tension dans et/ou entre les couches de miroir ; dans l'étape S4 on réalise un orifice de passage dans le substrat de support sous le premier et le second élément de miroir, perpendiculairement à la direction principale d'extension des éléments de miroir et éloigné de la couche sacrificielle entre les éléments de miroir, par un procédé de gravure de la couche sacrificielle et le développement d'une gravure en contre-dépouille sous le premier élément de miroir dans la zone extérieure du substrat de support, latéralement autour de l'orifice traversant, à l'aide d'un procédé de gravure de la couche sacrificielle en passant par des orifices verticaux de gravure de la couche sacrificielle dans le premier élément de miroir et dans le second élément de miroir.

- [0076] NOMENCLATURE DES ELEMENTS PRINCIPAUX
- [0077] FP Elément d'interféromètre de Fabry-Pérot
- [0078] NA Orifice de passage
- [0079] TS Substrat de support
- [0080] SP1, SP2 Elément de miroir
- [0081] AB Zone extérieure
- [0082] AufB Zone de suspension
- [0083] LS1, LS2 Première et seconde couche de miroir
- [0084] U Gravure en contre-dépouille
- [0085] 3 Orifice vertical
- [0086] TV Matériau mis en contrainte par tension
- [0087] KP Matériau mis en contrainte par compression
- [0088] InB Bord intérieur
- [0089] AuB Bord extérieur
- [0090] AH Organe d'écartement
- [0091] d Distance entre le premier et le second élément de miroir
- [0092] S1-S4 Etapes du procédé
- [0093] LSP Couche de miroir à faible indice de réfraction
- [0094] R Zone annulaire autour de l'orifice de passage (NA)
- [0095] InB Bord vertical intérieur
- [0096] AuB Bord vertical extérieur
- [0097] Z Couche structurée localement dans le premier ou le second élément de miroir
- [0098] LS Intervalle avec du gaz ou le vide

Revendications

[Revendication 1]

Elément d'interféromètre de Fabry-Pérot (FP) comprenant

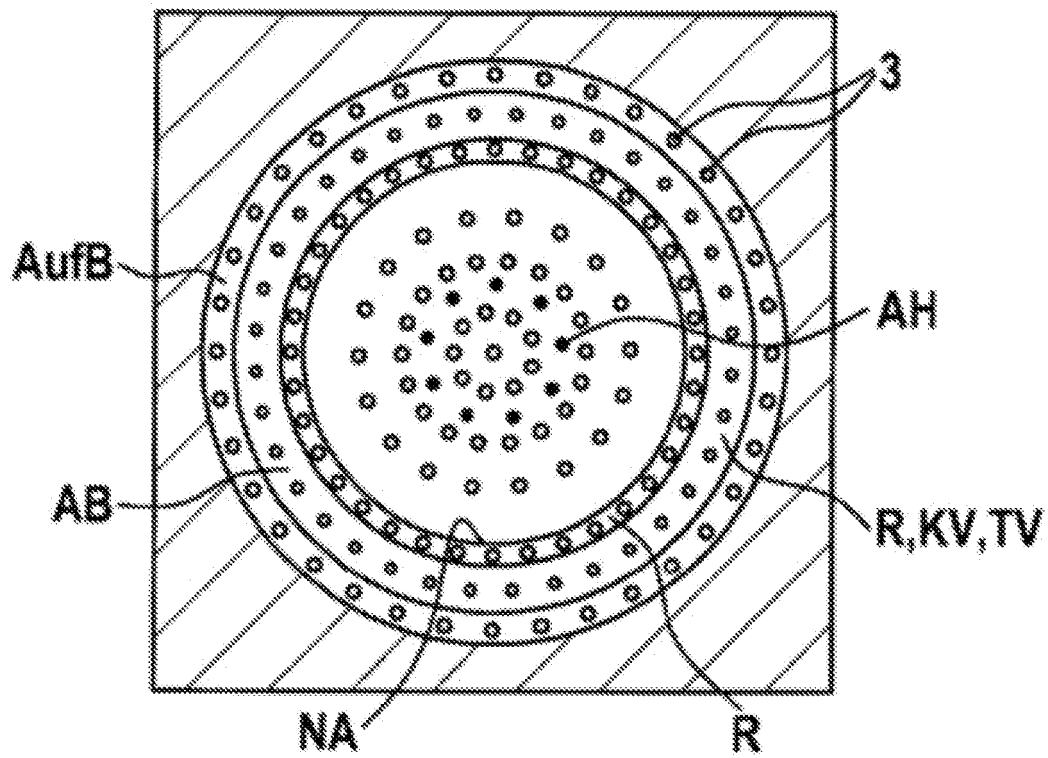
- un substrat de support (TS) ayant un orifice de passage (NA), avec un nombre d'ouverture,
 - un premier élément de miroir (SP1) et un second élément de miroir (SP2) superposés sur le substrat de support (TS) en étant écartés l'un de l'autre,
 - * le premier élément de miroir (SP1) et le second élément de miroir (SP2) couvrant l'orifice de passage (NA),
 - * le premier élément de miroir (SP1) et le second élément de miroir (SP2) ayant chacun,
 - une zone extérieure (AB) latéralement à l'extérieur de l'orifice de passage (NA) en étant adjacent à celui-ci et sans contact mécanique avec le substrat de support (TS), et
 - une zone de suspension (AufB) latéralement à l'extérieur de la zone extérieure (AB) en étant adjacente à celle-ci et en contact mécanique avec le substrat de support (TS),
 - * la zone extérieure (AB) et/ou la zone de suspension (AufB) ayant une matière avec un autre état de contrainte que la première et la seconde couche de miroir (LS1, LS2) dans la zone de l'orifice de passage (NA), caractérisé en ce que
- le premier élément de miroir (SP1) et le second élément de miroir (SP2) comportent chacun un miroir diélectrique de Bragg, avec au moins deux couches de miroir, planes parallèles (LS1, LS2) à fort indice de réfraction et entre elles une couche de miroir (LSP) à faible indice de réfraction
- * la couche de miroir à faible indice de réfraction du premier élément de miroir (SP1) et du deuxième élément de miroir (SP2) est au moins par zones sous la forme d'un intervalle de gaz, ou d'air ou intervalle vide,
 - * la zone extérieure (AB) du premier élément de miroir (SP1) et celle du second élément de miroir (SP2) comportent une matière mise en contrainte par compression (KV) qui est dans le premier élément de miroir (SP1) et/ou dans le second élément de miroir (SP2) entre les couches de miroir (LS1, LS2) et forme une zone annulaire (R) autour de l'orifice de passage (NA).

[Revendication 2]

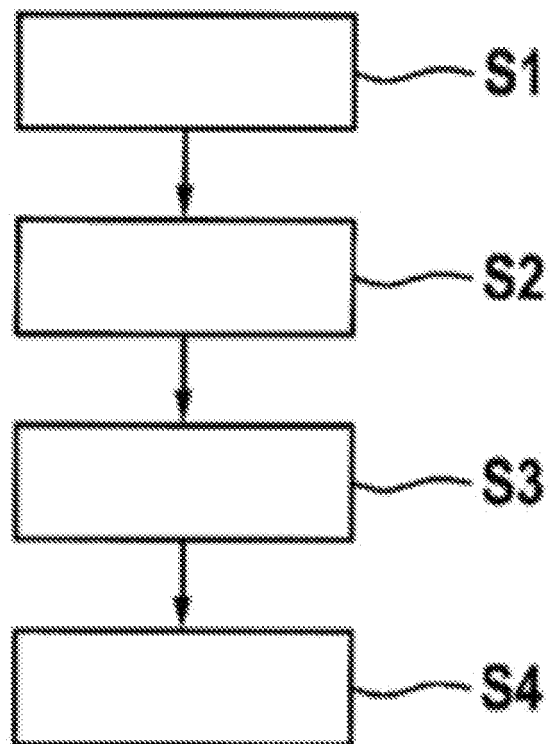
Elément d'interféromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que

- l'élément d'interféromètre de Fabry-Pérot est encapsulé et sous la forme d'un composant (MEMS).
- [Revendication 3] Elément d'interféromètre selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la zone extérieure (AB) entoure de façon annulaire l'orifice de passage (NA).
- [Revendication 4] Elément d'interféromètre selon la revendication 1, caractérisé en ce que la matière mise en contrainte par compression (KV) est SiO₂.
- [Revendication 5] Elément d'interféromètre selon la revendication 1 ou 4, caractérisé en ce que la zone annulaire (R) présente dans la direction latérale, un bord vertical intérieur (InB) et un bord vertical extérieur (AuB)
- [Revendication 6] Elément d'interféromètre selon les revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la zone extérieure (AB) du premier élément de miroir (SP1) et/ou du second élément de miroir (SP2) comporte une matière mise en contrainte par tension (TV).
- [Revendication 7] Elément d'interféromètre selon les revendications 1 et 4, caractérisé en ce que la matière mise en contrainte par tension (TV) rejoint latéralement vers l'extérieur, la matière mise en contrainte par compression (KV).
- [Revendication 8] Elément d'interféromètre selon la revendication 6 ou 7, caractérisé en ce que la matière mise en contrainte par tension (TV) est sous la forme d'une couche locale structurée (Z) dans ou sur le premier élément de miroir (SP1) et/ou le second élément de miroir (SP2).
- [Revendication 9] Elément d'interféromètre selon l'une des revendications 6, 7 et/ou 8, caractérisé en ce que la matière mise en contrainte par tension (TV) est Si₃N₄, SiC, un nitrure riche en silicium, SiCN, SiBCN ou SiBN.
- [Revendication 10] Elément d'interféromètre selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que les couches de miroir (LS1, LS2) sont réalisées sous la forme de couches retardatrices de longueur d'onde (LS1, LS2) et elles ont chacune une couche $\lambda/4$ à faible indice de réfraction comme couche de polysilicium ou SiC et l'intervalle (LS) est vide ou contient du gaz.

[Fig. 3]



[Fig. 4]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2001/028503 A1 (FLANDERS DALE C [US] ET AL) 11 octobre 2001 (2001-10-11)

WO 2012/168545 A1 (TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY [FI]; TUOHINIEMI MIKKO [FI]) 13 décembre 2012 (2012-12-13)

WO 2011/036346 A1 (VALTION TEKNILLINEN [FI]; BLOMBERG MARTTI [FI]) 31 mars 2011 (2011-03-31)

US 2005/094963 A1 (HOU JIDONG [CN]) 5 mai 2005 (2005-05-05)

EP 0 693 683 A1 (VAISALA OY [FI]) 24 janvier 1996 (1996-01-24)

WO 03/042729 A1 (ATMEL GRENOBLE SA [FR]; PAUTET CHRISTOPHE [FR]; HUGON XAVIER [FR]) 22 mai 2003 (2003-05-22)

SPISSER A ET AL: "HIGHLY SELECTIVE AND WIDELY TUNABLE 1.55-MUM INP/AIR-GAP MICROMACHINED FABRY-PEROT FILTER FOR OPTICAL COMMUNICATIONS", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 10, no. 9, 1 septembre 1998 (1998-09-01), pages 1259-1261, XP000783228, ISSN: 1041-1135, DOI: 10.1109/68.705609

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT