

Description

Titre de l'invention : SUPPORT COMPRENANT UNE COUCHE DE PIEGEAGE DE CHARGES ELECTRIQUES POUR UN SUBSTRAT COMPOSITE. DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne un procédé de préparation d'un support présentant une couche de piégeage de charges électriques, le support étant destiné à recevoir une couche mince cristalline par une technique de report de couche. Un substrat composite formé d'un tel support trouve son application dans le domaine des composants électroniques intégrés, en particulier des composants radiofréquences (RF) traitant des signaux dont la fréquence peut être typiquement comprise entre 20 kHz et 300 GHz, ou plus. La couche mince du substrat composite peut être constituée d'un matériau semi-conducteur tel que du silicium ou d'un matériau isolant, ou tel qu'un matériau présentant des propriétés piézoélectrique et/ou ferroélectrique. Outre le procédé de préparation du support en tant que tel, l'invention concerne également le procédé de fabrication du substrat composite comportant ce support et sur lequel on a reporté la couche mince.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] L'état de la technique regorge de solutions visant à former un support muni d'une couche de piégeage de charges électriques (plus simplement « couche de piégeage » dans la suite de cette description). Un tel support est destiné à former le substrat de base d'un substrat composite, par exemple du type silicium sur isolant. La couche de piégeage permet de limiter le couplage électromagnétique qui se produit entre un composant RF formé dans ou sur la couche mince du substrat composite et ce support. Les pièges électriques de la couche de piégeage limitent la mobilité des porteurs de charge et donc les interactions avec les champs électromagnétiques issus des signaux hautes fréquences produits par les composants RF se propageant dans la profondeur du substrat composite. On préserve ainsi la qualité des signaux utiles en limitant leur distorsion non linéaire, les pertes d'insertion et les influences possibles entre composants.

[0003] D'une manière générale, on cherche à former une couche de piégeage pour qu'elle présente une densité importante de défauts structuraux tels que des dislocations, des joints de grains, des zones amorphes, des interstices, des inclusions, des pores... Ces défauts structuraux forment des pièges pour les charges susceptibles de circuler dans le matériau, par exemple au niveau de liaisons chimiques non complètes ou

pendantes. On prévient ainsi la conduction dans la couche de piégeage qui présente en conséquence une résistivité élevée.

[0004] Le document US2017062284 propose de former cette couche de piégeage en silicium poreux. Toutefois une telle couche se révèle chimiquement et mécaniquement fragile. Elle est susceptible de se dégrader lors des trainements appliqués au support, notamment les traitements de report de la couche mince monocristalline lors de la fabrication du substrat composite. Ces traitements peuvent solliciter mécaniquement le support, par exemple lors du report de la couche mince par fracture d'un substrat donneur qui lui a été préalablement assemblé. Ils peuvent également le solliciter chimiquement, par exemple lors des étapes de nettoyage ou de gravure humide d'une séquence de finition du substrat composite, appliquée après le report de la couche mince.

[0005] Le document US2018047614 propose le remplissage des pores de la couche poreuse, par exemple à l'aide de silicium amorphe ou poly-cristallin, par dépôt physique en phase vapeur ou par dépôt chimique en phase vapeur du matériau de remplissage. Le document US2022359272 propose quant à lui de former une couche méso-poreuse présentant des pores creux dont les parois internes sont majoritairement tapissées d'oxyde par recuit sous atmosphère oxydante.

OBJET DE L'INVENTION

[0006] Un but de l'invention est de fournir une manière alternative pour constituer une couche de piégeage de charges électriques formée à partir d'une couche poreuse, cette couche de piégeage étant mécaniquement et chimiquement robuste.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0007] En vue de la réalisation de ce but, l'objet de l'invention propose un procédé de préparation d'un support pour un substrat composite, le procédé de préparation comprenant :

- une première étape de porosification visant à former une couche poreuse superficielle sur une première face (1c) du support ;
- une deuxième étape de fourniture d'une solution visqueuse comprenant un solvant et un précurseur d'un matériau de remplissage ;
- une troisième étape de dispense de la solution visqueuse sur la première face du support de sorte à absorber une partie au moins de la solution visqueuse dans des pores ouverts de la couche poreuse superficielle;
- une quatrième étape de traitement thermique du support visant à transformer la solution visqueuse présente dans les pores ouverts pour qu'ils soient emplis du matériau de remplissage.

- [0008] Du fait que certains au moins des pores sont entièrement emplis du matériau de remplissage, la couche de pignage présente une bonne tenue mécanique et chimique.
- [0009] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :
- le support présente une résistivité inférieure à 10ohms centimètres, de préférence comprise entre 1 et 2 ohms centimètres ;
 - la première étape de porosification est réalisée par gravure dans un bain acide, notamment un bain comprenant un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique ;
 - la première étape de porosification est opérée par voie électrochimique ou photo-électrochimique ;
 - la couche poreuse superficielle présente une épaisseur comprise entre 100nm et 20 micromètres ;
 - la troisième étape de dispense est opérée par centrifugation ;
 - le matériau de remplissage est un diélectrique ;
 - le matériau de remplissage est de l'oxyde de silicium ;
 - le précurseur du matériau de remplissage est une résine de silsesquioxane hydrogénée.
 - le procédé comprend, avant la quatrième étape de traitement thermique, une étape préalable d'évaporation du solvant.
 - la quatrième étape de traitement thermique comprend l'exposition du support à une température comprise entre 300°C et 1100°C ;
 - on forme également une couche de recouvrement comprenant le matériau de remplissage sur et en contact avec la couche poreuse superficielle ;
 - Procédé de préparation selon la revendication précédente dans lequel on procède à l'enlèvement de la couche de recouvrement.
- [0010] Selon un autre aspect, l'objet de l'invention propose un procédé de fabrication d'un substrat composite comprenant la fourniture d'un support préparé tel que présenté ci-dessus et le report d'une couche mince monocristalline sur la première face du support.
- [0011] La couche mince monocristalline peut être constituée de silicium, de carbure de silicium ou d'un matériau piézoélectrique.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0012] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquels :
- [0013] [Fig.1]
- [0014] La [Fig.1] représente un support conforme à l'invention ;
- [0015] [Fig.2]

- [0016] La [Fig.2] représente un substrat composite employant un support conforme à l'invention ;
- [0017] [Fig.3a]
- [0018] [Fig.3b]
- [0019] [Fig.3c]
- [0020] [Fig.3d]
- [0021] Les figures 3a,3b,3c et 3d illustrent un procédé de préparation d'un support conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0022] La [Fig.1] représente un support 1 conforme à l'invention et destiné à recevoir, par une technique de transfert de couche, une couche mince cristalline pour former un substrat composite S, représenté sur la [Fig.2]. D'une manière très générale, le support 1 comprend, du côté d'une première face 1c, une couche de piégeage 1a formée à partir d'une couche poreuse dont certains au moins des pores sont entièrement emplis d'un matériau de remplissage. Préférentiellement une proportion majoritaire des pores sont emplis du matériau de remplissage, par exemple plus de 50%, plus de 60% voire même plus de 95%. Ce matériau peut notamment comprendre ou être constitué d'un diélectrique tel qu'un oxyde de silicium. Du fait de sa constitution, la couche de piégeage 1a présente une résistivité élevée, typiquement supérieure à 10 kohm.cm sur toute son épaisseur et une bonne tenue mécanique et chimique.
- [0023] La morphologie des pores peut être quelconque et la couche poreuse, dont on a empli au moins certains des pores par le matériau de remplissage, être de nature macro-poreuse (diamètre de pores supérieur à 50nm), méso-poreuse (diamètre de pores compris entre 2nm et 50nm) et/ou nano-poreux (diamètre de pores inférieur à 2nm). Préférentiellement toutefois, on choisira un matériau de nature méso-poreuse. Le taux de porosité se situe typiquement entre 40% et 60%, mais cela ne forme pas une caractéristique essentielle de l'invention.
- [0024] La personne du métier saura choisir, selon la nature du matériau de remplissage, le taux de porosité et la nature des pores qui assurent un bon équilibre entre les propriétés mécaniques et les propriétés électriques recherchées de la couche de piégeage 1a.
- [0025] La couche de piégeage 1a présente une épaisseur typiquement comprise entre 100 nm et 20 micromètres, mais de préférence supérieure à 1 micromètre, ou à 10 micromètres, une couche de piégeage relativement épaisse permettant de mieux isoler électromagnétiquement les composants du support. La partie 1b du support 1 située sous la couche de piégeage 1a présente quant à elle une épaisseur de plusieurs centaines de microns pour assurer la tenue mécanique de l'ensemble.

- [0026] On peut prévoir de munir le support 1, comme cela est représenté en pointillé sur l'illustration de la [Fig.1], d'une couche diélectrique 2, sur et en contact avec la couche de piégeage 1a, mais cette couche diélectrique 2 est parfaitement optionnelle. Lorsqu'elle est présente, elle peut être constituée ou comprendre de l'oxyde de silicium, du nitrure de silicium et/ou un oxynitrure de silicium.
- [0027] De manière conventionnelle dans le domaine des substrats pour dispositifs intégrés, le support 1 peut se présenter sous la forme d'une plaquette circulaire dont le diamètre peut être de 100, 150 200, 300 voire même 450mm.
- [0028] Préférentiellement, le support de départ dans lequel on a formé la couche de piégeage 1a est en silicium monocristallin. Il présente avantageusement une résistivité relativement faible, inférieure à 10 Ohms.cm, préférentiellement de l'ordre de 1 à 2 Ohm.cm, mais sans exclure que ce substrat puisse présenter une résistivité différente comme cela sera exposé dans la suite de cette description. Il peut être du type p ou de type n.
- [0029] Pour former la couche de piégeage 1a, et en référence aux figures 3a à 3d qui illustrent un procédé de préparation d'un support conforme à l'invention, on applique au support de départ une première étape de porosification visant à former une couche poreuse superficielle P sur une au moins de ses faces 1c (désignée « première face » dans la suite de cette description).
- [0030] Cette étape peut être opérée de multiples manières. Selon une première approche, la première étape de porosification est réalisée par gravure dans un bain acide, notamment un bain comprenant un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique. On pourra se référer au document de Starostina et al « Porous-Silicon Formation in HF-HNO₃-H₂O Etchants », *Russian Microelectronics* **31**, 88-96 (2002) pour une description des phénomènes physiques conduisant à la formation de la couche poreuse superficielle à l'aide d'un tel traitement chimique.
- [0031] Cette approche tend à former une couche poreuse superficielle P dont l'épaisseur est relativement réduite, de l'ordre de 1 micromètre ou moins. La formation de la couche poreuse est favorisée par une résistivité relativement faible du support 1, ce qui peut conduire à choisir ce support 1 pour qu'il soit peu résistif, de l'ordre de 10 Ohm.cm ou moins. On peut envisager de traiter un support 1 pour qu'il présente superficiellement une épaisseur peu résistive, le reste du support 1b pouvant alors présenter une résistivité choisie plus librement. Il peut s'agir d'introduire des dopants dans cette épaisseur superficielle ou de former par dépôt une couche superficielle dopée.
- [0032] Selon une autre approche, la première étape de porosification est opérée par voie électrochimique ou photo-électrochimique, mettant en œuvre un phénomène de dissolution anodique en milieu acide, par électrolyse. En pratique, le support 1 est

placé dans une cellule électrochimique, sa première face 1c étant exposée à une solution électrolyte à base d'acide fluorhydrique (HF). Cette solution peut présenter une concentration HF supérieure à 30% et peut comprendre un additif (par exemple, de l'alcool isopropylique dit IPA ou de l'éthanol). Le support 1 est en contact avec une anode, par exemple en contact avec la face opposée à la première face 1c, une cathode étant placée en vis-à-vis de la première face 1c pour permettre la circulation d'un courant à travers l'électrolyte et le support 1. La densité de courant circulant dans la cellule (typiquement compris entre 1 et 50mA/cm²) conduit à former la couche poreuse superficielle du côté de la première face 1c du support 1, c'est-à-dire celle exposée à l'électrolyte. Cette approche permet de former une couche poreuse P relativement épaisse, de l'ordre de 10 micromètres, voire même 20 micromètres, en prolongeant la durée de cette étape.

[0033] On note qu'il existe d'autres configurations de cellule électrochimique permettant de former la couche poreuse superficielle P. On connaît notamment (voir par exemple le document US11049724) des configurations dites à « double cellule », dans lesquelles les deux faces opposées du support de départ sont en mises en contact soit avec la même solution électrolyte, soit avec des solutions différentes. On peut dans ce cas illuminer l'une des faces de manière à ce que cette face génère des porteurs de charges lors de la phase électrochimique.

[0034] Quelle que soit la manière avec laquelle cette première étape de porosification a été opérée, on dispose à l'issue de cette étape d'une couche peureuse superficielle P sur une première face 1c du support 1. Les pores constituant cette couche poreuse superficielle P peuvent, pour certains d'entre eux, être ouverts et déboucher (directement ou indirectement) sur la première face 1c du support. On peut maîtriser les paramètres de cette étape pour obtenir un taux de porosité et une nature des pores (leurs dimensions moyennes notamment) déterminés, comme cela a été évoqué dans un passage précédent de cette description. La durée de porosification définit, toute chose étant égale par ailleurs, l'épaisseur de la couche poreuse superficielle P, qui est destinée à former la couche de piégeage. De préférence, on choisira cette épaisseur pour être comprise entre 100nm et 20 micromètres, comme on l'a déjà précisé.

[0035] Dans une deuxième étape de préparation du support 1, on prépare une solution visqueuse comprenant un solvant et un précurseur d'un matériau de remplissage. Cette solution est destinée à emplir les pores de la couche poreuse P, elle doit donc avoir une viscosité faible pour lui permettre de pénétrer et de s'écouler dans les pores de cette couche P. La viscosité de la solution peut notamment être maîtrisée en ajustant la proportion de solvant dans la solution.

[0036] Outre le solvant, la solution comprend un précurseur du matériau de remplissage. Par « précurseur du matériau de remplissage » on désigne tout matériau qui, directement

ou après un traitement, conduit à obtenir ou former le matériau de remplissage, une fois le solvant évacué de la solution visqueuse.

- [0037] Dans un mode de mise en œuvre préféré, le matériau de remplissage est du dioxyde de silicium et son précurseur est du silsesquioxane hydrogéné. Le silsesquioxane hydrogéné est un composé inorganique de formule $[\text{HSiO}_{3/2}]_n$ qui, après traitement thermique conduisant à évacuer une partie au moins de l'hydrogène qu'il contient, forme un oxyde riche en silicium SiO chimiquement résistant au produit de gravure tel que l'hydroxyde de tétraméthylammonium (TMAH ou TMAOH). Il peut être combiné à un solvant organique, par exemple du méthylisobutylcétone (souvent noté MIBC ou MIBK en anglais), pour former la solution visqueuse.
- [0038] Mais l'invention n'est nullement limitée à un matériau de remplissage en oxyde de silicium et à ce précurseur. On peut envisager un matériau de remplissage à base de nitrure de silicium, d'oxyniture de silicium ou d'un alliage comprenant du silicium et du carbone en exploitant un précurseur à base de silicium et d'azote, par exemple un composé chimique de type silazane, disilazane ou polysilazane.
- [0039] L'utilisation de ces polymères précurseurs de matériau de remplissage est par exemple documentée dans US4312970A ou US4756977A.
- [0040] Dans une troisième étape du procédé de préparation du substrat support 1, on dispense la solution visqueuse sur la première face 1c du support 1 de sorte à absorber une partie au moins de la solution visqueuse dans les pores ouverts la couche poreuse superficielle P. Cette étape de dispense vise avantageusement à enduire la première face 1c du support de manière uniforme pour permettre d'emplir les pores ouverts sur toute l'étendue de la première face 1c. Cette étape, illustrée sur la [Fig.3b], peut notamment être mise en œuvre par centrifugation (« spin coating » selon la terminologie anglosaxonne du domaine), par immersion (« dip coating »), par pulvérisation (« spray coating ») ou par simple écoulement (« flow coating »).
- [0041] La faible viscosité de la solution lui permet de pénétrer dans les pores de la couche poreuse superficielle P pour les emplir. On note que les pores de cette couche qui ne communiquent pas, directement ou indirectement, avec la première face 1c du support ne peuvent recevoir, par écoulement, la solution visqueuse. Cela ne pose toutefois pas de problème manifeste dans la mesure où ces pores non débouchant ne sont pas majoritaires dans la couche poreuse superficielle.
- [0042] Si la solution visqueuse est fournie en excès, elle tend à former une couche de recouvrement 4 sur et en contact avec la couche poreuse superficielle P. Cette couche de recouvrement peut présenter une épaisseur de plusieurs micromètres et être très uniforme, du fait du caractère visqueux de la solution, notamment lorsque la dispense est mise en œuvre par centrifugation.

- [0043] On peut prévoir de manière optionnelle, à ce stade du procédé, une étape d'évaporation du solvant. Cette étape d'évaporation peut être obtenue par simple séchage du support ou en élevant sa température dans une étuve, par exemple à une température modérée comprise entre 50°C et 300°C.
- [0044] Que cette étape d'évaporation ait été appliquée ou pas, un procédé de préparation d'un support 1 conforme à l'invention prévoit, après la troisième étape de dispense de la solution visqueuse, une quatrième étape de traitement thermique. Cette étape, représentée sur la [Fig.3c], vise à transformer la solution visqueuse présente dans les pores ouverts de la couche poreuse pour qu'ils soient emplis du matériau de remplissage. Si l'étape préalable d'évaporation du solvant n'a pas été appliquée, le solvant est éliminé de la solution au cours de ce traitement thermique. Celui-ci conduit également à éliminer les espèces volatiles présentes dans le précurseur du matériau de remplissage, de sorte que, à l'issue de ce traitement thermique, les pores soient effectivement emplis de ce matériau. Par exemple, lorsque le précurseur de la solution visqueuse est du silsesquioxane hydrogéné, le traitement thermique conduit à évacuer une partie au moins de l'hydrogène du précurseur (formant dans ce cas l'espèce volatile) pour remplir les pores d'un oxyde riche en silicium et appauvri en hydrogène.
- [0045] Ce traitement thermique est bien entendu adapté à la nature de solution visqueuse et plus particulièrement à la nature du précurseur présent dans cette solution. Lorsque celui-ci est du silsesquioxane hydrogéné, le recuit peut être compris entre 300°C et 1100°C.
- [0046] Lorsqu'une couche de recouvrement 4 est présente sur le support, l'étape de traitement thermique conduit à transformer également la matière visqueuse composant la couche de recouvrement. On peut prévoir d'éliminer cette couche, si elle n'est pas désirable pour l'utilisation du support, par exemple par une étape de polissage. Alternativement, elle peut être préservée et contribuer à former la couche diélectrique 3 du support 1, si le matériau de remplissage est effectivement de nature diélectrique.
- [0047] Que cette couche de recouvrement 4 soit préservée ou pas, un procédé de préparation conforme à l'invention peut également comprendre une étape de formation de la couche diélectrique 2 sur le support, par un procédé de dépôt conventionnel.
- [0048] La [Fig.3d] représente le substrat support 1 obtenu à l'issue de ce traitement (sans avoir formé dans l'exemple représenté de couche diélectrique 2). La couche poreuse superficielle P formée initialement a été transformée par la couche de piégeage 2 formé de silicium et de pores emplis d'un matériau de remplissage.
- [0049] Comme on l'a déjà mentionné, le substrat support 1 a pour vocation de recevoir, par report, une couche mince 3 et former ainsi un substrat composite S, représenté à titre d'illustration sur la [Fig.2]. La couche mince 3 est généralement de nature cristalline, et avantageusement monocristalline. Le support 1 présente des propriétés adaptées (en

termes de rugosité de surface et de déformation notamment) ou a été préalablement traité (par exemple par polissage) pour recevoir une telle couche mince 3. Le substrat composite S comprend, en contact et intercalé entre le support 1 et la couche mince 3, une couche diélectrique 2. Cette couche diélectrique présente une épaisseur choisie selon la nature des composants qui seront formés dans et sur la couche mince 3 et donc de l'application visée par le substrat composite S. Cette épaisseur peut par exemple être comprise entre 10 nm et 10 micromètres.

- [0050] Comme cela est bien connu en soi, le report de la couche mince 3 sur le support 1 est usuellement réalisé en assemblant une face libre d'un substrat donneur à la première face 1c du support 1, préférentiellement par adhésion moléculaire. On prévoit de munir l'une au moins de ces faces d'une couche diélectrique superficielle, ces couches formant en combinaison la couche diélectrique 2 du substrat composite S.
- [0051] La nature du substrat donneur est choisie selon la nature désirée de la couche mince 3. Il peut donc s'agir d'un substrat formé d'un semi-conducteur monocristallin, par exemple de silicium, ou d'un substrat formé d'un matériau piézo-électrique monocristallin ou comprenant une couche superficielle d'un tel matériau piézo-électrique monocristallin. Il peut s'agir dans ce cas de tantalate de lithium ou de niobate de lithium.
- [0052] Il est également possible que le substrat donneur présente des composants finis ou semi-finis, le report visant à placer ces composants sur le support 1 pour tirer profit de ses propriétés radiofréquences.
- [0053] Tout comme le support 1, le substrat donneur peut prendre la forme d'une plaquette, circulaire, dont la dimension peut correspondre à celle du support.
- [0054] Après cette étape d'assemblage, le substrat donneur est réduit en épaisseur pour former la couche mince 4. Cette étape de réduction peut être réalisée par amincissement mécanique ou chimique, notamment lorsque le substrat donneur comprend des composants que l'on souhaite placer sur le support 1. La réduction d'épaisseur du substrat donneur peut préférentiellement être réalisée par fracture au niveau d'un plan de fragilisation préalablement introduit dans le substrat donneur, par exemple par implantation d'espèces légères comme de l'hydrogène et/ou de l'hélium. Ce plan de fragilisation définit, avec la surface libre du substrat donneur, la couche mince 3.
- [0055] Après cette étape d'amincissement ou, préférentiellement, de fracture, des étapes de finition de la couche mince 3 peuvent être appliquées, telles qu'une étape de polissage, un traitement thermique sous atmosphère réductrice ou neutre, une oxydation sacrificielle, etc...
- [0056] On dispose à l'issue de ces étapes d'un substrat composite S formé de la couche mince monocristalline reportée sur le support 1.

[0057] Bien entendu l'invention n'est pas limitée aux modes de mise en œuvre décrits et on peut y apporter des variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé de préparation d'un support (1) pour un substrat composite (S), le procédé de préparation comprenant :
- une première étape de porosification visant à former une couche poreuse superficielle (P) sur une première face (1c) du support (1) ;
 - une deuxième étape de fourniture d'une solution visqueuse comprenant un solvant et un précurseur d'un matériau de remplissage ;
 - une troisième étape de dispense de la solution visqueuse sur la première face (1c) du support (1) de sorte à absorber une partie au moins de la solution visqueuse dans des pores ouverts de la couche poreuse superficielle (P);
 - une quatrième étape de traitement thermique du support (1) visant à transformer la solution visqueuse présente dans les pores ouverts pour qu'ils soient emplis du matériau de remplissage.
- [Revendication 2] Procédé de préparation selon la revendication précédente dans lequel le support (1) présente une résistivité inférieure à 10 ohms centimètres, de préférence comprise entre 1 et 2 ohms centimètres.
- [Revendication 3] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la première étape de porosification est réalisée par gravure dans un bain acide, notamment un bain comprenant un mélange d'acide nitrique et d'acide fluorhydrique.
- [Revendication 4] Procédé de préparation selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel la première étape de porosification est opérée par voie électrochimique ou photo-électrochimique.
- [Revendication 5] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la couche poreuse superficielle (P) présente une épaisseur comprise entre 100nm et 20 micromètres.
- [Revendication 6] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la troisième étape de dispense est opérée par centrifugation.
- [Revendication 7] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel le matériau de remplissage est un diélectrique.
- [Revendication 8] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel le matériau de remplissage est de l'oxyde de silicium.

- [Revendication 9] Procédé de préparation selon l'une des deux revendications précédentes dans lequel le précurseur du matériau de remplissage est une résine de silsesquioxane hydrogénée.
- [Revendication 10] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel le procédé comprend, avant la quatrième étape de traitement thermique, une étape préalable d'évaporation du solvant.
- [Revendication 11] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel la quatrième étape de traitement thermique comprend l'exposition du support (1) à une température comprise entre 300°C et 1100°C.
- [Revendication 12] Procédé de préparation selon l'une des revendications précédentes dans lequel on forme également une couche de recouvrement (4) comprenant le matériau de remplissage sur et en contact avec la couche poreuse superficielle (P).
- [Revendication 13] Procédé de préparation selon la revendication précédente dans lequel on procède à l'enlèvement de la couche de de recouvrement (4).
- [Revendication 14] Procédé de fabrication d'un substrat composite (S) comprenant la fourniture d'un support (1) préparé selon l'une des revendications précédentes et le report d'une couche mince monocristalline (4) sur la première face du support.
- [Revendication 15] Procédé de fabrication selon la revendication précédente dans lequel la couche mince monocristalline (4) est constituée de silicium, de carbure de silicium ou d'un matériau piézoélectrique.