

Description**Titre de l'invention : Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) et procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI)**

- [001]. L'invention concerne un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) comprenant dans cet ordre un substrat support, une structure de piégeage, une couche diélectrique et une couche piézoélectrique, ainsi qu'un procédé de fabrication d'un tel substrat POI.
- [002]. De tels substrats sont connus dans l'état de l'art, par exemple un substrat POI comprenant un substrat silicium monocristallin, une structure de piégeage en silicium polycristallin, une couche d'oxyde de silicium et une couche piézoélectrique, en particulier une couche de tantalate de lithium (LTO) ou de niobate de lithium (LNO). La structure de piégeage permet de réduire des pertes liées à des effets de conduction parasitique à l'interface entre le substrat support et la couche diélectrique. En effet, la couche de piégeage, qui est insérée entre le substrat support et la couche diélectrique, sert à réduire la durée de vie des charges dans cette région.
- [003]. Cependant on observe que, lors de traitements thermiques dans le cadre de ou ultérieurs à la fabrication des substrats POI, des éléments métalliques de la couche piézoélectrique, tel que le lithium, peuvent diffuser à travers la couche diélectrique et la structure de piégeage jusqu'à l'interface avec le substrat support. L'accumulation de ces éléments métalliques réduit les performances de la structure de piégeage et la suppression des courants parasites est ainsi négativement affectée.
- [004]. Il est possible d'augmenter l'épaisseur de la couche de piégeage pour augmenter le nombre de pièges disponibles. Or, dans ce cas, des modes parasites apparaissent dans des dispositifs utilisant le substrat POI, tels que des filtres, des capteurs etc.
- [005]. L'objet de l'invention est donc d'augmenter le nombre de pièges avec moins de risque d'apparition d'effets parasites.
- [006]. L'objet de l'invention est réalisé par un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) comprenant : un substrat support, en particulier un substrat à base de silicium, une couche piézoélectrique, en particulier une couche de tantalate de lithium (LTO) ou de niobate de lithium (LNO), une couche diélectrique, en particulier une couche d'oxyde de silicium, en sandwich entre la couche piézoélectrique et le substrat support, et une structure de piégeage en sandwich entre la couche diélectrique et le substrat support comprenant une première couche de piégeage à base de silicium polycristallin ou amorphe ou poreux, de préférence à base de silicium polycristallin. Ce substrat POI est caractérisé en ce que la structure de piégeage comprend une deuxième couche de piégeage à base d'un matériau différent.
- [007]. L'ajout d'une deuxième couche de piégeage avec un matériau différent dans la structure de piégeage permet d'augmenter le nombre de pièges, sans avoir à augmenter l'épaisseur totale de la structure de piégeage dans la même mesure qu'il le serait nécessaire dans le cas d'une structure de piégeage mono-matériau.

- [008]. Selon un mode de réalisation, la deuxième couche de piégeage peut être à base de carbure de silicium. Une deuxième couche à base de carbure de silicium permet de réduire de manière efficace les courants parasites.
- [009]. Selon un mode de réalisation, la deuxième couche de piégeage à base de carbure de silicium peut être plus fine que la première couche. Ainsi l'apport d'une couche plus mince de carbure de silicium permet d'augmenter le nombre de pièges, tout en limitant l'apparition de modes parasites dus à la présence de la structure de piégeage, notamment en comparaison avec une couche de piégeage mono-matériau à base de silicium ayant le même nombre de piège.
- [0010]. Selon un mode de réalisation, la deuxième couche de piégeage à base de carbure de silicium peut avoir une épaisseur inférieure ou égale à 500nm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 200nm, plus en particulier inférieure ou égale à 50nm. Même pour de telles faibles épaisseurs, on observe une augmentation suffisante du nombre de pièges.
- [0011]. Selon un mode de réalisation, la première couche de piégeage à base de silicium peut avoir une épaisseur inférieure ou égale à 2 μ m, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 1 μ m. En utilisant une deuxième couche de piégeage, il devient possible de maintenir l'épaisseur de la première couche de piégeage suffisamment faible. Ainsi les modes parasites dus à cette couche ne peuvent pas se développer, ou tout au moins leur contribution reste négligeable.
- [0012]. Selon un mode de réalisation, la deuxième couche de piégeage peut être directement formée sur la première couche de piégeage. Ainsi peut être maintenue une structure compacte.
- [0013]. Selon un mode de réalisation, la première couche de piégeage est positionnée entre le substrat support et la deuxième couche de piégeage. Ceci facilite la formation de la structure de piégeage, car une couche de carbure de silicium est déposée à plus basse température qu'une couche de silicium.
- [0014]. Selon un mode de réalisation, la structure de piégeage comprend seulement la première couche de piégeage et la deuxième couche de piégeage.
- [0015]. Selon un mode de réalisation, la structure de piégeage est arrangée directement sur le substrat et la couche diélectrique est arrangée directement sur la structure de piégeage.
- [0016]. L'objet de l'invention est également réalisé par un procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) tel que décrit ci-dessus et comprenant les étapes de : fournir un substrat support, en particulier un substrat à base de silicium, fournir un substrat comprenant une couche piézoélectrique, en particulier un substrat comprenant du tantalate de lithium (LTO) ou du niobate de lithium (LNO), former une structure de piégeage par-dessus le substrat support, former une couche diélectrique, en particulier une couche d'oxyde de silicium, par-dessus le substrat comprenant une couche piézoélectrique et/ou par-dessus la structure de piégeage, assembler le substrat piézoélectrique avec le substrat support tel que la couche diélectrique et la structure de piégeage sont en sandwich entre la couche piézoélectrique et le substrat support, caractérisé en ce que la formation de la structure de piégeage comprend la formation d'une première couche à

- base de silicium polycristallin ou amorphe ou poreux, de préférence à base de silicium polycristallin, et la formation d'une deuxième couche de piégeage à base d'un matériau différent.
- [0017]. Selon un mode de réalisation, le procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique peut comprendre de plus une étape de : former une zone de fragilisation à l'intérieur de la couche piézoélectrique, en particulier avant l'étape d'assemblage, et réaliser une fracture le long de la zone de fragilisation pour séparer une partie de la couche piézoélectrique du restant du substrat comprenant la couche piézoélectrique après l'étape d'assemblage pour transférer la partie de la couche piézoélectrique sur le substrat support. Ce procédé permet de fabriquer les substrats POI selon l'invention de manière industrielle.
- [0018]. L'invention et ses avantages sont décrits plus en détail dans la suite au moyen de modes de réalisation avantageux exemplaires et en se référant notamment aux figures d'accompagnement suivantes, dans lesquelles les numéros de référence identifient des caractéristiques de l'invention.
- [0019]. [Figure 1] représente schématiquement un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon un premier mode de réalisation de l'invention.
- [0020]. [Figure 2] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.
- [0021]. Les modes de réalisation décrits sont simplement des configurations possibles et il convient de garder à l'esprit que les caractéristiques individuelles telles que décrites ci-dessus peuvent être fournies indépendamment les unes des autres, ou peuvent être omises intégralement lors de la mise en œuvre de la présente invention.
- [0022]. [Figure 1] représente schématiquement un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) 100 selon le premier mode de réalisation de l'invention.
- [0023]. Le substrat piézoélectrique sur isolant 100 comprend un substrat support 102. Dans ce premier mode de réalisation, le substrat support 102 est un substrat à base de silicium, notamment une plaquette de silicium monocristallin.
- [0024]. Une structure de piégeage 104 est agencée par-dessus le substrat support 102. La structure de piégeage 104 peut être en contact direct avec le substrat support 102. La structure de piégeage 104 a une épaisseur égale ou inférieure à 2µm, de préférence égale ou inférieure à 1µm, encore plus de préférence égale ou inférieure à 600nm.
- [0025]. Selon le premier mode de réalisation la structure de piégeage 104 comprend deux couches : une première couche de piégeage 104a et une deuxième couche de piégeage 104b ayant un matériau différent du matériau de la première couche de piégeage 104a.
- [0026]. Selon une variante, la structure de piégeage 104 comprend seulement la première couche de piégeage 104a et la deuxième couche de piégeage 104b.
- [0027]. La première couche de piégeage 104a est à base de silicium polycristallin ou à base de silicium amorphe ou à base de silicium poreux. La deuxième couche de piégeage 104b est à base de carbure de silicium (SiC). De préférence il s'agit de couches déposées par dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (LPCVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur activé par

- plasma (PECVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur activé par plasma haute densité (HDP-CVD).
- [0028]. Dans ce mode de réalisation les deux couches de piégeage 104a, 104b ont des épaisseurs différentes. La couche de piégeage à base de silicium 104a a, de préférence, une épaisseur inférieure ou égale à 2µm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 1µm. La couche de piégeage à base de carbure de silicium 104b a de préférence une épaisseur inférieure ou égale à 500nm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 200nm, et plus en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 50nm. Selon un exemple de l'invention, la première couche de piégeage 104a a une épaisseur de 500nm et la deuxième couche de piégeage 104b a une épaisseur de 50nm.
- [0029]. Une couche diélectrique 106 est agencée par-dessus, en particulier directement sur la structure de piégeage 104. La couche diélectrique 106 est de préférence une couche à base d'oxyde de silicium. La couche diélectrique 106 a de préférence une épaisseur entre 100nm et 1µm, en particulier entre 200nm et 700nm. La couche diélectrique 106 peut être formée par dépôt CVD ou tout autre procédé de dépôt approprié.
- [0030]. Une couche piézoélectrique 108 est agencée par-dessus, en particulier directement sur la couche diélectrique 106. Il s'agit de préférence d'une couche de tantalate de lithium (LTO) ou de niobate de lithium (LNO). La couche piézoélectrique 108 a typiquement une épaisseur comprise entre 200nm et 1µm.
- [0031]. L'utilisation d'une structure de piégeage 104 avec deux couches de piégeage 104a, 104b de matériaux différents permet d'augmenter le nombre de pièges sans pour autant augmenter l'épaisseur de la structure de piégeage 104 de manière excessive.
- [0032]. En ajoutant une deuxième couche de piégeage 104b d'un matériau différent, et en particulier plus mince, il devient possible d'augmenter le nombre de pièges tout en gardant une épaisseur suffisamment faible de la structure de piégeage pour limiter l'apparition de modes parasites dans des dispositifs finaux tels que des capteurs, des filtres etc.
- [0033]. Selon une variante, l'ordre de la première couche de piégeage 104a et de la deuxième couche de piégeage 104b peut être inversé. Dans ce cas c'est la deuxième couche de piégeage à base de carbure de silicium qui se trouve entre le substrat support 102 et la première couche de piégeage 104a à base de silicium polycristallin ou à base de silicium amorphe ou à base de silicium poreux.
- [0034]. [Figure 2] représente schématiquement un procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon le deuxième mode de réalisation de l'invention pour obtenir un substrat POI 100 selon le premier mode de réalisation tel que décrit ci-dessus en relation avec la Figure 1. Les numéros de référence déjà utilisés en référence à la Figure 1 dans le cadre de la description du substrat POI 100 sont réutilisés afin de décrire le procédé du second mode de réalisation.
- [0035]. Le procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) 100 commence par l'étape I) de fournir un substrat support 102, notamment un substrat à base de silicium, en particulier une plaquette de silicium monocristallin.

- [0036]. Selon ce deuxième mode de réalisation de l'invention, l'étape II) prévoit la formation de la structure de piégeage 104 sur une surface libre 120 du substrat support 102.
- [0037]. La formation de la structure de piégeage 104 commence par la formation d'une première couche de piégeage 104a réalisée par dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (LPCVD). Selon des variantes, la formation de la première couche de piégeage 104a de l'étape II) peut être réalisée par une technique de croissance thermique ou par dépôt physique en phase vapeur (PVD).
- [0038]. La couche de piégeage 104a formée sur le substrat support 102 est une couche à base de silicium polycristallin, à base de silicium amorphe ou à base de silicium poreux.
- [0039]. L'épaisseur de la couche de piégeage 104a est égale ou inférieure à 2µm, en particulier égale ou inférieure à 1µm.
- [0040]. Ensuite, une deuxième couche de piégeage 104b est formée sur la première couche de piégeage 104a. Cette deuxième couche de piégeage 104b est à base de carbure de silicium. La deuxième couche de piégeage 104b est formée avec une épaisseur inférieure à la première couche de piégeage, de préférence avec une épaisseur égale ou inférieure à 500nm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 200nm, plus en particulier d'une épaisseur égale ou inférieure à 50nm.
- [0041]. La deuxième couche de piégeage 104b est réalisée par dépôt chimique en phase vapeur à basse pression (LPCVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur activé par plasma (PECVD) ou par dépôt chimique en phase vapeur activé par plasma haute densité (HDP-CVD). Selon des variantes, la formation de la deuxième couche de piégeage 104b lors de l'étape II) peut être réalisée par une technique de croissance thermique ou par dépôt physique en phase vapeur (PVD). Typiquement la formation de la deuxième couche de piégeage 104b est réalisée à plus basse température que la première couche de piégeage 104a.
- [0042]. Avant la formation de la deuxième couche de piégeage un ou plusieurs traitements de la surface de la première couche de piégeage 104a peuvent avoir lieu, tel qu'un polissage, en particulier un polissage de type CMP, ou une activation de la surface par traitement plasma ou ozone.
- [0043]. Lors de l'étape III) une couche diélectrique 106a est formée sur la surface libre 122 de la deuxième couche de piégeage 104b. La couche diélectrique 106a est de préférence une couche d'oxyde de silicium formée par dépôt chimique en phase vapeur (CVD) ou par dépôt physique en phase vapeur (PVD).
- [0044]. La couche diélectrique 106a a de préférence une épaisseur égale ou inférieure à 1µm, en particulier égale ou inférieure à 700nm.
- [0045]. Un traitement thermique peut être réalisé après le dépôt de la couche diélectrique 106a pour la densifier.
- [0046]. Lors de l'étape IV), un substrat 124 comprenant une couche piézoélectrique 126, en particulier un substrat 124 comprenant du tantalate de lithium (LTO) ou du niobate de lithium (LNO), est fourni. La couche piézoélectrique 124 est, dans ce mode de réalisation, agencée par-dessus d'un

substrat de base 126. Dans une alternative, la couche piézoélectrique 126 est une couche massive et forme le substrat 124 en entier.

- [0047]. Lors de l'étape V) une deuxième couche diélectrique 106b, en particulier une couche d'oxyde de silicium, est réalisée sur la surface libre 130 de la couche piézoélectrique 126. Cette couche est réalisée de la même manière que la couche diélectrique 106a formée lors de l'étape III). L'épaisseur est choisie telle que la somme des épaisseurs des deux couches diélectriques 106a et 106b est entre 100nm et 1µm, en particulier entre 200nm et 700nm.
- [0048]. Selon une variante, une ou plusieurs étapes de traitement de surface de la surface libre 130 du substrat 124 comprenant une couche piézoélectrique peuvent être réalisées avant la formation de la couche diélectrique 106b. Par exemple peut être réalisés un traitement d'activation de surface, tel qu'un traitement plasma et/ou un traitement à base d'ozone.
- [0049]. Lors de l'étape VI), le substrat 124 obtenu après l'étape V) est assemblé avec le substrat support 102 obtenu à l'étape III) pour former un assemblage 132 substrat support – substrat comprenant une couche piézoélectrique.
- [0050]. L'assemblage est mis en œuvre de manière à ce que les couches diélectriques 106a et 106b soient mis en contact direct. L'assemblage se met en œuvre de préférence par adhésion moléculaire.
- [0051]. Une fois les deux substrats assemblés, une étape d'amincissement VII) de l'assemblage 132 est réalisée pour obtenir le substrat POI 100 avec une couche plus mince piézoélectrique 108, tel qu'illustré dans la Figure 1.
- [0052]. Par exemple, l'étape d'amincissement peut être réalisée par meulage, ou par une étape de formation d'une zone de fragilisation dans la couche piézoélectrique 126 avant l'étape VI) d'assemblage, de manière à délimiter la couche piézoélectrique 108 à transférer sur le substrat support 102, suivi par une fracturation. Cette étape de formation d'une zone de fragilisation est réalisée par une implantation d'espèces atomiques ou ioniques dans la couche piézoélectrique 126. L'implantation atomique ou ionique peut être réalisée de telle manière que la zone de fragilisation est située à l'intérieur de la couche piézoélectrique 126 et délimite une couche piézoélectrique 108 à transférer du reste de la couche piézoélectrique 126. Ensuite, une étape de fracturation de l'assemblage 132 par un apport d'énergie thermique et/ou mécanique au niveau de la zone de fragilisation de la couche piézoélectrique 126 est ensuite réalisé, afin d'obtenir le substrat piézoélectrique sur isolant (POI) 100.
- [0053]. Selon des variantes, le collage entre le substrat support 102 et le substrat 124 peut aussi se faire entre la structure de piégeage 104 et la couche diélectrique 106b, c'est-à-dire sans réaliser l'étape III), ou entre la couche diélectrique 106a et la couche piézoélectrique 126.
- [0054]. Avant la réalisation d'une ou plusieurs des couches mentionnées ci-dessus, une ou plusieurs étapes de nettoyage, de brossage ou de polissage de la surface directement en dessous peuvent être réalisées pour enlever la présence de particules et de poussière.

Revendications

[Revendication 1]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) comprenant :

- un substrat support (102), en particulier un substrat à base de silicium,
- une couche piézoélectrique (108), en particulier une couche de tantalate de lithium (LTO) ou de niobate de lithium (LNO),
- une couche diélectrique (106), en particulier une couche d'oxyde en silicium, en sandwich entre la couche piézoélectrique (108) et le substrat support (102),
- une structure de piégeage (104) en sandwich entre la couche diélectrique (106) et le substrat support (102) comprenant une première couche de piégeage (104a) à base de silicium polycristallin ou amorphe ou poreux, de préférence à base de silicium polycristallin, et, la structure de piégeage (104) comprend une deuxième couche de piégeage (104b) à base de carbure de silicium

caractérisé en ce que

la première couche de piégeage (104a) est positionnée entre le substrat support (102) et la deuxième couche de piégeage (104b).

[Revendication 2]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon la revendication 1, dans lequel la deuxième couche de piégeage (104b) est plus fine que la première couche de piégeage (104a).

[Revendication 3]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la deuxième couche de piégeage (104b) a une épaisseur inférieure ou égale à 500nm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 200nm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 50nm.

[Revendication 4]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon une des revendications 1 à 3, dans lequel la première couche de piégeage a une épaisseur inférieure ou égale à 2µm, en particulier une épaisseur inférieure ou égale à 1µm.

[Revendication 5]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon une des revendications 1 à 4, dans lequel la deuxième couche de piégeage (104b) est directement formée sur la première couche de piégeage (104a).

[Revendication 6]. Substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon une des revendications 1 à 5, dans lequel la structure de piégeage (104) comprend seulement la première couche de piégeage (104a) et la deuxième couche de piégeage (104b).

[Revendication 7]. Procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique sur isolant (POI) selon une des revendications 1 à 5 comprenant les étapes de :

- fournir un substrat support, en particulier un substrat à base de silicium,
- fournir un substrat comprenant une couche piézoélectrique, en particulier un substrat comprenant du tantalate de lithium (LTO) ou du niobate de lithium (LNO),
- former une structure de piégeage par-dessus le substrat support,
- former une couche diélectrique, en particulier une couche d'oxyde de silicium, pardessus le

substrat piézoélectrique et/ou par-dessus la structure de piégeage,

- assembler le substrat comprenant une couche piézoélectrique avec le substrat support tel que la couche diélectrique et la structure de piégeage sont en sandwich entre la couche piézoélectrique et le substrat support

la formation de la structure de piégeage comprend la formation d'une première couche à base de silicium polycristallin ou amorphe ou poreux sur le substrat support, de préférence à base de silicium polycristallin, et, ensuite la formation d'une deuxième couche de piégeage à base de carbure de silicium.

[Revendication 8]. Procédé de fabrication d'un substrat piézoélectrique selon la revendication 6, comprenant par ailleurs une étape de :

- former une zone de fragilisation à l'intérieur de la couche piézoélectrique, et
- réaliser une fracture le long de la zone de fragilisation pour séparer une partie de la couche piézoélectrique du restant du substrat comprenant la couche piézoélectrique après l'étape d'assemblage pour transférer la partie de la couche piézoélectrique sur le substrat support.