

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

(19) Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
22 mai 2025 (22.05.2025)

(10) Numéro de publication internationale

WO 2025/103654 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 21/02 (2006.01) *H01L 21/66* (2006.01)
H01L 21/762 (2006.01)

(71) Déposant : SOITEC [FR/FR] ; PARC TECHNOLOGIQUE DES FONTAINES, CHEMIN DES FRANQUES, 38190 BERNIN (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2024/077149

(72) Inventeur : ALLIBERT, Frédéric ; C/O SOITEC, PARC TECHNOLOGIQUE DES FONTAINES, CHEMIN DES FRANQUES, 38190 BERNIN (FR).

(22) Date de dépôt international :
26 septembre 2024 (26.09.2024)

(74) Mandataire : IP TRUST ; 2 rue de Clichy, 75009 PARIS (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
FR2312617 17 novembre 2023 (17.11.2023) FR
FR2402462 12 mars 2024 (12.03.2024) FR

(54) Title: CARRIER COMPRISING A LAYER FOR TRAPPING ELECTRICAL CHARGES FOR A COMPOSITE SUBSTRATE AND METHOD FOR SELECTING SUCH A CARRIER

(54) Titre : SUPPORT COMPRENANT UNE COUCHE DE PIEGEAGE DE CHARGES ELECTRIQUES POUR UN SUBSTRAT COMPOSÉ ET PROCÉDÉ DE SÉLECTION D'UN TEL SUPPORT

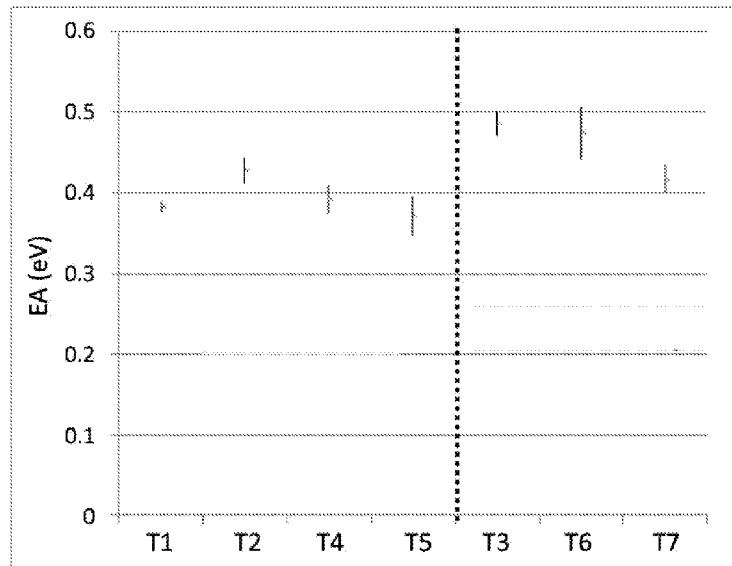


Figure 1

(57) Abstract: The invention relates to a carrier (1) for a composite substrate (S). The carrier comprises a base substrate and a trapping layer (3a) made of polycrystalline silicon arranged on the base substrate (2). The trapping layer has electric traps of a first type having an activation energy of 0.383 eV within a tolerance of 0.008 eV, and an effective capture cross-section for holes and electrons of less than 10^{-16} cm^2 . The trapping layer has electrical traps of a second type having an activation energy of 0.428 eV within a tolerance of 0.016 eV, and an effective capture cross-section for holes and electrons of less than 10^{-16} cm^2 .



MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

- *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*
- *en noir et blanc ; la demande internationale telle que déposée était en couleur ou en échelle de gris et est disponible sur PATENTSCOPE pour téléchargement.*

(57) Abrégé : L'invention porte sur un support (1) pour un substrat composite (S). Le support comprend un substrat de base et une couche de piégeage (3a) en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base (2). La couche de piégeage présente des pièges électriques d'un premier type présentant une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près et une section efficace de capture pour les trous et, pour les électrons, inférieure à 10^{-16} cm^2 . La couche de piégeage présente des pièges électriques d'un deuxième type présentant une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,016 eV près et une section efficace de capture pour les trous et, pour les électrons, inférieure à 10^{-16} cm^2 .

Description

Titre de l'invention : SUPPORT COMPRENANT UNE COUCHE DE PIEGEAGE DE CHARGES ELECTRIQUES POUR UN SUBSTRAT COMPOSITE ET PROCEDE DE SELECTION D'UN TEL SUPPORT.

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne 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. Outre le support en tant que tel, l'invention concerne également un procédé de sélection d'un substrat support.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0002] Pour des raisons de simplicité de mise en œuvre, la couche de piégeage de charges électriques (plus concisément désignée « couche de piégeage » dans la suite de cette description) est généralement formée par dépôt d'une couche de silicium polycristallin sur un substrat de base, comme cela est notamment illustré par les documents US7585748 et US9293473.

[0003] Les joints des grains de silicium constituant la couche polycristalline constituent des pièges pour les charges électriques susceptibles de circuler. Ces pièges peuvent être formés par les liaisons chimiques non complètes ou pendantes au niveau de ces joints. On prévient ainsi la conduction électrique dans la couche de piégeage qui présente en conséquence une résistivité élevée, typiquement supérieure à 1000 Ohms.cm.

[0004] D'une manière générale, l'état de la technique révèle le besoin de disposer d'une couche de piégeage de charges électriques qui présente une résistivité élevée et qui soit stable en température. Cette stabilité en température est une caractéristique importante, car la fabrication d'un substrat composite met en œuvre des traitements thermiques élevant typiquement la température du support à plus de 1000°C, ce qui tend à faire perdre les caractéristiques recherchées par recristallisation de la couche de piégeage et disparition des défauts structurels de cette couche.

[0005] Afin de préserver la qualité polycristalline de la couche de piégeage au cours des traitements thermiques que peut subir le support, on peut avantageusement prévoir une couche amorphe, en dioxyde de silicium par exemple, sur le substrat de base avant le dépôt de la couche de piégeage comme cela est proposé par les documents US8765571 et US9129800. Mais la présence de cette couche amorphe n'est pas toujours suffisante

pour prévenir la recristallisation d'une couche de piégeage et/ou la disparition de ses défauts structurels.

[0006] La demanderesse a observé que la bonne tenue en température d'une couche de piégeage était étroitement liée aux paramètres de formation de cette couche. Il n'est toutefois pas possible à ce jour de corrélérer les paramètres de formation de cette couche (ou des caractéristiques mesurables de cette couche) avec cette propriété de tenue en température. La seule évaluation possible se fait par une caractérisation à postériori des performances radiofréquences (RF) du substrat composite dans lequel elle est intégrée, après que la couche de piégeage ait subit les traitements thermiques de fabrication de ce substrat.

OBJET DE L'INVENTION

[0007] Un but de l'invention est d'adresser, au moins en partie, ce problème. Plus précisément, un but de l'invention est de pouvoir déterminer à l'avance, simplement, si une couche de piégeage d'un support est apte à recevoir les traitements thermiques d'un procédé de fabrication d'un substrat composite sans se recristalliser excessivement, et donc préserver ses qualités de piégeage dans le substrat composite. Un but de l'invention est donc de déterminer des caractéristiques d'une couche de piégeage qui soit stable en température. Un autre but de l'invention est d'exploiter ces caractéristiques pour sélectionner un support muni d'une couche de piégeage en vue de former un substrat composite.

BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0008] En vue de la réalisation de ce but, l'objet de l'invention propose un support pour un substrat composite, le support comprenant un substrat de base et une couche de piégeage en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base.

[0009] Selon l'invention la couche de piégeage présente des pièges électriques d'un premier type et d'un deuxième type.

[0010] Les pièges électriques du premier type présentant une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 . Les pièges électriques du deuxième type présentent une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,016 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .

[0011] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- les pièges électriques du premier type présentent une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les électrons de $5,4 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près ;

- les pièges électriques du deuxième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $1,8 \cdot 10^{-17}$ à $1,1 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $5,7 \cdot 10^{-17}$ à $3,7 \cdot 10^{-18}$ près ;
- la couche de piégeage est dépourvue des pièges électriques d'un troisième type, les pièges électriques du troisième type présentant une énergie d'activation de 0,485 eV à 0,015 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons supérieure à 10^{-16} cm^2 ;
- les pièges électriques du troisième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $1,0 \cdot 10^{-15}$ à $0,1 \cdot 10^{-15}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $3,3 \cdot 10^{-16}$ à $0,2 \cdot 10^{-16}$ près ;
- la couche de piégeage comprend en outre des pièges électriques d'un quatrième type et d'un cinquième type, les pièges électriques du quatrième type présentant une énergie d'activation de 0,392 eV à 0,018 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du cinquième type présentant une énergie d'activation de 0,371 eV à 0,025 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 ;
- les pièges électriques du quatrième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $3,8 \cdot 10^{-17}$ à $0,3 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $1,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près ;
- les pièges électriques du cinquième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $6,9 \cdot 10^{-17}$ à $0,7 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $2,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près ;
- la couche de piégeage est dépourvue de pièges électriques d'un sixième type et d'un septième type, les pièges électriques du sixième type présentant une énergie d'activation de 0,474 eV à 0,032 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du septième type présentant une énergie d'activation de 0,416 eV à 0,017 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 ;
- les pièges électriques du sixième type présentent une section efficace de capture pour les trous de $5,2 \cdot 10^{-16}$ à $0,5 \cdot 10^{-16}$ près ;
- les pièges électriques du septième type présentent une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-16}$ à $0,1 \cdot 10^{-16}$ près.

[0012] Selon un autre aspect, l'objet de l'invention propose un procédé de sélection d'un support, le procédé comprenant:

- Une étape de fourniture du support comprenant un substrat de base et une couche de piégeage en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base, la couche de piégeage comportant des pièges électriques ;

- Une étape de caractérisation comprenant la mesure d'une énergie d'activation et d'une section efficace de capture de trous et/ou d'électrons des pièges électriques de la couche de piégeage, l'étape de caractérisation comprenant également l'identification de différents types de pièges électriques présent dans la couche de piégeage ;
 - Une étape de sélection au cours de laquelle on sélectionne le support si la couche de piégeage présente des pièges électriques d'un premier type et d'un deuxième type, les pièges électriques du premier type présentant une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du deuxième type présentant une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,0160eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .
- [0013] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de cet aspect de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :
- au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support si la couche de piégeage est également dépourvue des pièges électriques d'un troisième type, les pièges électriques du troisième type présentant une énergie d'activation de 0,485 eV à 0,015 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons supérieure à 10^{-16} cm^2 ;
 - au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support si la couche de piégeage comporte également des pièges électriques d'un quatrième type et d'un cinquième type, les pièges électriques du quatrième type présentant une énergie d'activation de 0,392 eV à 0,018 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du cinquième type présentant une énergie d'activation de 0,371 eV à 0,025 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 ;
 - au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support si la couche de piégeage est également dépourvue de pièges électriques d'un sixième type et d'un septième type, les pièges électriques du sixième type présentant une énergie d'activation de 0,474 eV à 0,032 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du septième type présentant une énergie d'activation de 0,416 eV à 0,017 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 .

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0014] 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 :
- [0015] [Fig.1] [Fig.2]
- [0016] Les figures 1 et 2 présentent sept types de pièges électriques (T1 à T7) présents dans des couches de piégeage en silicium polycristallin ;
- [0017] [Fig.3]
- [0018] La [Fig.3] représente un support conforme à l'invention ;
- [0019] [Fig.4]
- [0020] La [Fig.4] représente un substrat composite employant un support conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLÉE DE L'INVENTION

- [0021] En introduction, on rappelle que certains défauts introduits dans la maille cristalline d'un matériau semi-conducteur peuvent être électriquement actifs et introduire des niveaux d'énergies dans la bande interdite de ce matériau. C'est notamment le cas des défauts intrinsèques de la maille cristalline : lacune, auto-interstitiels, antisite, dislocations, interfaces, joints de grain (pour un matériau polycristallin).
- [0022] Ces niveaux d'énergie sont appelés pièges électriques et la présence de ces pièges modifie les propriétés électriques du matériau semi-conducteur par la capture d'électrons ou de trous libres et/ou par l'émission d'électrons ou de trous piégés. En fonction du niveau d'énergie des pièges, c'est-à-dire de sa position dans la bande interdite, certaines probabilités de transition deviennent dominantes ce qui confère aux matériaux munis de tels pièges des caractéristiques particulières.
- [0023] Si le niveau d'énergie le situe entre l'énergie minimale de la bande de conduction et le milieu de la bande interdite, alors le piège aura plutôt tendance à agir comme un piège à électrons. La probabilité de réémission d'un électron par le piège va dépendre de son énergie d'activation, qui est l'énergie nécessaire pour surmonter la barrière de potentiel créée par le piège. Cette énergie est égale à la différence entre l'énergie minimale de la bande de conduction et le niveau d'énergie du piège. Similairement, si le niveau d'énergie situe un piège entre l'énergie maximale de la bande de valence et le milieu de la bande interdite alors le piège agira comme un piège à trou. L'énergie d'activation permettant la réémission de ce trou correspond à la différence entre le niveau d'énergie du piège et l'énergie maximale de la bande de valence.
- [0024] L'énergie d'activation d'un piège forme donc une caractéristique importante de ce piège. Outre ce niveau, un piège électrique peut être caractérisé par sa section efficace de capture (exprimé généralement en cm^2) de trous et/ou d'électrons. D'un point de vue physique cette section représente l'aire effective autour du piège qu'un porteur doit traverser pour pouvoir être capturé. Les porteurs se déplacent de manière aléatoire

dans le réseau cristallin du matériau, et ceux qui rentrent dans l'aire effective autour du piège sont suffisamment proches pour être capturés par ce dernier. Les valeurs physiquement admissibles d'une section efficace de capture peuvent varier entre 10^{-18} et 10^{-14} cm^2 .

- [0025] De nombreuses méthodes existent pour extraire les caractéristiques des pièges électriques présent dans un matériau. Le principe de base de ces méthodes est souvent le même, indépendamment du matériau à analyser, de la structure de test ou de la technique employée. Il consiste à perturber l'équilibre électrique du matériau en injectant (ou en enlevant) des porteurs. Cela peut être accompli par exemple en changeant brusquement la tension inverse d'une diode Schottky ou par illumination du matériau. On observe ensuite le retour à l'équilibre électrique du matériau pour différentes températures et/ou sous excitation optique. Le changement d'occupation dans les pièges est analysé par mesure du courant ou de la capacité (en fonction de la structure de test utilisée).
- [0026] La spectroscopie thermique du transitoire de courant photo-induit (« Photo-Induced Current Transient Spectroscopy » dans son expression anglo-saxonne) est une technique bien connue qui est particulièrement efficace lorsqu'il s'agit de caractériser les pièges électriques présents dans une couche de piégeage en silicium polycristallin disposée sur un substrat de base. On pourra trouver un exposé détaillé de cette technique dans le document « Deep level spectroscopy in high resistivity materials » (Appl. Phys. Lett. 32, 821 (1978); doi: 10.1063/1.89929) ou dans le document « Characterization and Role of Deep Traps on the Radio Frequency Performances of High Resistivity Substrates » J. Appl. Phys. 7 June 2021; 129 (21): 215701. <https://doi.org/10.1063/5.0045306>.
- [0027] Selon cette technique, l'injection de porteurs est assurée par l'illumination de l'échantillon de matériau à analyser et les signatures des pièges (niveau d'activation et section efficace de capture) sont extraites d'un spectre construit à partir de la mesure du courant transitoire provenant des porteurs libérés thermiquement.
- [0028] Les inventeurs de la présente demande ont eu l'intuition que certains défauts de la maille cristalline d'une couche de piégeage en silicium polycristallin étaient plus robuste à la température que d'autres. Pour tenter de discriminer parmi tous les défauts possibles ceux résistant à la température et ceux qui ne le sont pas, ils ont identifié les types de pièges présents dans une grande variété de couche piégeage en silicium polycristallin, en mesurant leurs caractéristiques électriques, puis ont repéré les types de pièges associés à des couches de piégeage robustes à la température (peu susceptible de recristalliser entièrement) et ceux associés à des couches de piégeage peu robuste à la température (et donc susceptible de recristalliser entièrement).

[0029] La demanderesse a notamment identifié sept types de pièges électriques dont nous faisons une description ci-dessous. Pour obtenir cette classification, la demanderesse a réalisé une série d'expérimentations conduisant à constituer une pluralité de supports en déposant des couches de silicium polycristallin (i.e. la couche de piégeage) sur des substrats de base, les couches étant réalisés selon des techniques et des paramètres de dépôts distincts. Les défauts présents dans la couche de piégeage de chaque support ont été caractérisés à l'aide de la technique de spectroscopie thermique du transitoire de courant photo-induit exposée ci-dessus, pour en déterminer l'énergie d'activation et la section efficace de capture d'électrons et/ou de trous, ce qui a permis d'identifier les différents types de pièges électriques. Les supports ont subit un traitement thermique à 1100°C pendant deux heures et la couche de piégeage a ensuite été observé pour déterminer si sa nature poly cristalline avait été préservée ou pas.

[0030] Les types de pièges sont caractérisés par leurs énergie d'activation et par leurs sections efficaces. Dans certains cas, la méthode de caractérisation ne permet pas de déterminer si les pièges d'un type donné, sont des pièges à trous, des pièges à électrons ou des pièges mixtes. Pour ces types de pièges, ont défini donc deux caractéristiques de section efficace, l'un considérant qu'il s'agit d'un piège à trou et l'autre qu'il s'agit d'un piège à électron.

Pièges de type 1

[0031] Les pièges électriques du premier type qui se sont révélés robustes à la température présentent :

- une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près.
- une section efficace de capture pour les électrons de $5,4 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près.
- une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près.

Pièges de type 2

[0032] Les pièges électriques du deuxième type qui se sont révélés robustes à la température présentent :

- une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,016 eV près.
- une section efficace de capture pour les électrons de $1,8 \cdot 10^{-17}$ à $1,1 \cdot 10^{-17}$ près.
- une section efficace de capture pour les trous de $5,7 \cdot 10^{-17}$ à $3,7 \cdot 10^{-18}$ près.

Pièges de type 3

[0033] Les pièges électriques du troisième type ne se retrouvent pas dans les couches de piégeage en silicium polycristallin qui se sont révélés robustes à la température. Ces pièges du troisième type présentent :

- une énergie d'activation de 0,485 eV à 0,015eV près.
- une section efficace de capture pour les électrons de $1,0 \cdot 10^{-15}$ à $0,1 \cdot 10^{-15}$ près.
- une section efficace de capture pour les trous de $3,3 \cdot 10^{-16}$ à $0,2 \cdot 10^{-16}$ près.

Pièges de type 4

[0034] Les pièges électriques du quatrième type qui se sont révélés robustes à la température présentent :

- une énergie d'activation de 0,392 eV à 0,018 eV près.
- une section efficace de capture pour les électrons de $3,8 \cdot 10^{-17}$ à $0,3 \cdot 10^{-17}$ près.
- une section efficace de capture pour les trous de $1,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près.

Pièges de type 5

[0035] Les pièges électriques du cinquième type qui se sont révélés robustes à la température présentent :

- une énergie d'activation de 0,371 eV à 0,025 eV près.
- une section efficace de capture pour les électrons de $6,9 \cdot 10^{-17}$ à $0,7 \cdot 10^{-17}$ près.
- une section efficace de capture pour les trous de $2,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près.

Pièges de type 6

[0036] Les pièges électriques du sixième type ne se retrouvent pas dans les couches de piégeage en silicium polycristallin qui se sont révélés robustes à la température. Ces pièges du sixième type présentent :

- une énergie d'activation de 0,474 eV à 0,032 eV près.
- une section efficace de capture pour les trous de $5,2 \cdot 10^{-16}$ à $0,5 \cdot 10^{-16}$ près.

Pièges de type 7

[0037] Les pièges électriques du septième type ne se retrouvent pas dans les couches de piégeage en silicium polycristallin qui se sont révélés robustes à la température. Ces pièges du sixième type présentent :

- une énergie d'activation de 0,416 eV à 0,017 eV près.

- une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-16}$ à $0,1 \cdot 10^{-16}$ près.
- [0038] On note qu'outre la nature des pièges, il est bien entendu important que la densité cumulée de l'ensemble des pièges soit suffisante pour que l'effet de piégeage soit présent. Il faut au moins une densité surfacique de $2.0 \cdot 10^{11}$ pièges.cm $^{-2}$, préférentiellement plus de $1.0 \cdot 10^{12}$ pièges.cm $^{-2}$, voire plus de $1.0 \cdot 10^{13}$ pièges.cm $^{-2}$. Pour une couche de $1 \mu\text{m}$ d'épaisseur, cela donne respectivement $2.0 \cdot 10^{15}$, $2.0 \cdot 10^{16}$ et $2.0 \cdot 10^{17}$ pièges.cm $^{-3}$.
- [0039] On a représenté sur la [Fig.1] les sept types de pièges T1 à T7 selon leur niveau d'énergie d'activation EA. On note qu'il n'est pas possible de discriminer les types de pièges qui sont présent dans les couches de piégeage robustes des pièges présent dans les couches de piégeage non robustes à partir de ce niveau d'énergie d'activation seulement, et que la caractérisation complète (comportant la valeur de la section efficace de capture) est nécessaire pour cela. Cela est rendu apparent sur la [Fig.2] sur laquelle on remarque que la section efficace de capture pour les trous et pour les électrons est inférieure à 10^{-16} cm^2 pour tous les types de pièges que l'on retrouve dans une couche de piégeage robuste, et supérieure à cette limite de 10^{-16} cm^2 dans le cas contraire.
- [0040] Aussi, et selon l'invention, un support 1 formé d'un substrat de base 2 et d'une couche de piégeage 3a, destiné à la réalisation d'un substrat composite, est constitué d'une couche de piégeage 3a présentant des pièges électriques du premier type et du deuxième type. Avantageusement, la couche de piégeage 3a est dépourvue de pièges électriques du troisième type. Plus avantageusement, la couche de piégeage 3a comprend en outre des pièges électriques du quatrième type et du cinquième type, et elle est dépourvue des pièges électriques du sixième type et du septième type.
- [0041] La [Fig.3] représente ainsi un support 1 conforme à l'un des modes de mise en œuvre. Ce support 1 est destiné à recevoir, par une technique de transfert de couche, une couche mince cristalline pour former un substrat composite S, représenté sur la [Fig.4]. D'une manière très générale, le support 1 comprend, disposée sur un substrat de base 2, une couche de piégeage 3a en contact avec le substrat de base 2. On peut prévoir, comme cela est représenté sur la [Fig.1], une couche diélectrique 3b disposée sur et en contact avec la couche de piégeage 3a, mais cette couche diélectrique 3b est parfaitement optionnelle. Lorsqu'elle est présente, la couche diélectrique 3b présente une épaisseur typiquement comprise entre 10nm et 10 microns, essentiellement dictée par le besoin de l'application du substrat composite S que le support 1 est destiné à former.

- [0042] De manière conventionnelle, 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.
- [0043] Le substrat de base 2 du support 1 sur lequel repose la couche de piégeage 3a présente typiquement une épaisseur de plusieurs centaines de micromètres. Préférentiellement, le substrat de base 2 présente une résistivité élevée, supérieure à 1000 ohms centimètres, et plus préférentiellement encore, supérieure à 2000 ohms centimètres. On limite de la sorte la densité des charges, trous ou électrons, qui sont susceptibles de se déplacer dans le substrat de base 2. Mais l'invention n'est pas limitée à un substrat de base 2 présentant une telle résistivité, et elle procure également des avantages de performance RF lorsque le substrat de base 2 présente une résistivité plus conforme, de l'ordre de quelques centaines d'ohms centimètres, par exemple inférieur à 1000 ohm.cm, ou à 500 ohm.cm voire même à 10 ohm.cm.
- [0044] Pour des raisons de disponibilité et de coût, le substrat de base 2 est préférentiellement en silicium monocristallin. Le substrat de base 2 peut alternativement être formé d'un autre matériau : il peut s'agir par exemple de saphir, de verre, de quartz, de carbure de silicium, de germanium, de nitride de gallium, de phosphure d'indium... Dans certaines circonstances, et notamment lorsque la couche de piégeage 3a présente une épaisseur suffisante, par exemple supérieur à 10 micromètres, le substrat de base 2a peut présenter une résistivité standard, inférieure à 1 kohm.cm.
- [0045] Afin de chercher à préserver les propriétés de la couche de piégeage 3a au cours des traitements thermiques que peut subir le support 1, on peut éventuellement prévoir une couche amorphe, en dioxyde de silicium par exemple, directement intercalée entre le substrat de base 2 et la couche de piégeage 3a. Lorsque le substrat de base 2 est en silicium, cette couche amorphe peut être une couche d'oxyde natif présent à la surface de ce substrat ou formée intentionnellement par oxydation chimique ou thermique du substrat de base. Mais la couche de piégeage 3a conforme à la présente description est particulièrement stable avec la température, et la présence de la couche amorphe est parfaitement optionnelle.
- [0046] La couche de piégeage 3a peut présenter une épaisseur comprise entre 10 nm et 50 micromètres. Préférentiellement, cette épaisseur est inférieure à 2 microns, voire même à 1 micron, pour limiter la quantité de matière, et les éventuelles contraintes que cette couche peut appliquer au support 1, et qui pourraient le déformer. Mais cette gamme d'épaisseur avantageuse n'est nullement limitative, et on pourra choisir de former une couche de piégeage 3a de toute épaisseur qui convient, selon les besoins de l'application visée.

- [0047] Selon un autre aspect, l'invention concerne un procédé de sélection d'un support. Ce procédé comprend une première étape de fourniture d'un support comprenant un substrat de base et une couche de piégeage 3a en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base.
- [0048] Cette étape de fourniture consiste à former, par tout moyen connu en soi, la couche de piégeage 3a. Il peut ainsi s'agir d'un dépôt du type HTCVD (acronyme de l'expression anglo-saxonne « High Temperature Chemical Vapor Deposition ») ou dépôt chimique en phase vapeur assisté à haute température) ou encore du type PECVD (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition ») ou dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma). Il peut également s'agir d'un dépôt LPCVD (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Low Pressure Chemical Vapor Deposition ») ou dépôt chimique en phase vapeur à pression sous atmosphérique). Ces dépôts peuvent être réalisés à partir de tout gaz précurseur de silicium qui convient, tel que du silane, du dichlorosilane, du trichlorosilane ou du TEOS (orthosilicate de tétraéthyle). Dans tous les cas, la couche de piégeage 3a comporte des pièges électriques qui peuvent être d'une variété de types.
- [0049] Les expérimentations menées ont montré qu'une même technique de dépôt, mais déployant des précurseurs de nature différentes (par exemple dichlorosilane et trichlorosilane) conduisait à former des couches de piégeage présentant des niveaux de performance différents. L'analyse des pièges présents dans ces couches a montré que ceux-ci était bien distincts d'une couche à l'autre, ce qui confirme l'intérêt d'une méthode de caractérisation conforme à l'invention.
- [0050] Dans une étape suivante du procédé qui fait l'objet à la présente description, on met en œuvre une étape de caractérisation de la couche de piégeage 3a. Cette étape comprend la mesure de l'énergie d'activation et de la section efficace de capture de trous et/ou d'électrons des pièges électriques de la couche de piégeage.
- [0051] Cette étape de caractérisation comprend également l'identification de différents types de pièges électriques présent dans la couche de piégeage, et notamment des types T1 à T7 dont on a fait la description dans une section précédente.
- [0052] Enfin, le procédé comprend une étape de sélection du support 1 au cours de laquelle ce support 1 est sélectionné si la couche de piégeage 3a présente des pièges électriques du premier type et du deuxième type.
- [0053] Avantageusement, on ne retient, au cours de cette étape de sélection, un support 1 uniquement si la couche de piégeage 3a est dépourvue de pièges électriques du troisième type. Plus avantageusement encore, on ne retient un support uniquement si la couche de piégeage 3a comprend en outre des pièges électriques du quatrième type et du cinquième type, et si elle est dépourvue de pièges électriques du sixième type et du septième type.

- [0054] Un support 1 sélectionné peut être avantageusement exploité dans un procédé de transfert de couche visant à reporter sur la couche de piégeage de charge 3a ou sur une couche diélectrique 3b constituée sur cette couche 3a, un film mince 4 cristallin. Ce film peut notamment être constitué ou comprendre du silicium, du carbure de silicium, un matériau III-V ou piézoélectrique.
- [0055] 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]

Support (1) pour un substrat composite (S), le support comprenant un substrat de base et une couche de piégeage (3a) en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base (2), le support (1) étant caractérisé en ce que la couche de piégeage présente des pièges électriques d'un premier type et d'un deuxième type, les pièges électriques du premier type présentant une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du deuxième type présentant une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,016 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 2]

Support (1) selon la revendication précédente dans lequel les pièges électriques du premier type présentent une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les électrons de $5,4 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près.

[Revendication 3]

Support (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel les pièges électriques du deuxième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $1,8 \cdot 10^{-17}$ à $1,1 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $5,7 \cdot 10^{-17}$ à $3,7 \cdot 10^{-18}$ près.

[Revendication 4]

Support (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel la couche de piégeage est dépourvue des pièges électriques d'un troisième type, les pièges électriques du troisième type présentant une énergie d'activation de 0,485 eV à 0,015 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons supérieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 5]

Support (1) selon la revendication précédente dans lequel les pièges électriques du troisième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $1,0 \cdot 10^{-15}$ à $0,1 \cdot 10^{-15}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $3,3 \cdot 10^{-16}$ à $0,2 \cdot 10^{-16}$ près.

[Revendication 6]

Support (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel la couche de piégeage comprend en outre des pièges électriques d'un quatrième type et d'un cinquième type, les pièges électriques du quatrième type présentant une énergie d'activation de 0,392 eV à 0,018 eV près et une section efficace de capture pour les trous et

pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du cinquième type présentant une énergie d'activation de 0,371 eV à 0,025 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 7]

Support (1) selon la revendication précédente dans lequel les pièges électriques du quatrième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $3,8 \cdot 10^{-17}$ à $0,3 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $1,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,1 \cdot 10^{-17}$ près.

[Revendication 8]

Support (1) selon l'une des deux revendications précédentes dans lequel les pièges électriques du cinquième type présentent une section efficace de capture pour les électrons de $6,9 \cdot 10^{-17}$ à $0,7 \cdot 10^{-17}$ près et une section efficace de capture pour les trous de $2,2 \cdot 10^{-17}$ à $0,2 \cdot 10^{-17}$ près.

[Revendication 9]

Support (1) selon l'une des revendications précédentes dans lequel la couche de piégeage est dépourvue de pièges électriques d'un sixième type et d'un septième type, les pièges électriques du sixième type présentant une énergie d'activation de 0,474 eV à 0,032 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du septième type présentant une énergie d'activation de 0,416 eV à 0,017 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 10]

Support (1) selon la revendication précédente dans lequel les pièges électriques du sixième type présentent une section efficace de capture pour les trous de $5,2 \cdot 10^{-16}$ à $0,5 \cdot 10^{-16}$ près.

[Revendication 11]

Support (1) selon l'une des deux revendications précédentes dans lequel les pièges électriques du septième type présentent une section efficace de capture pour les trous de $1,7 \cdot 10^{-16}$ à $0,1 \cdot 10^{-16}$ près.

[Revendication 12]

Procédé de sélection d'un support (1), le procédé comprenant:

- Une étape de fourniture du support comprenant un substrat de base et une couche de piégeage (3a) en silicium polycristallin disposé sur le substrat de base, la couche de piégeage comportant des pièges électriques ;
- Une étape de caractérisation comprenant la mesure d'une énergie d'activation et d'une section efficace de capture de trous et/ou d'électrons des pièges électriques de la couche de piégeage, l'étape de caractérisation comprenant

également l'identification de différents types de pièges électriques présent dans la couche de piégeage ;

– Une étape de sélection au cours de laquelle on sélectionne le support (1) si la couche de piégeage présente des pièges électriques d'un premier type et d'un deuxième type, les pièges électriques du premier type présentant une énergie d'activation de 0,383 eV à 0,008 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du deuxième type présentant une énergie d'activation de 0,428 eV à 0,016 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 13]

Procédé de sélection selon la revendication 12 dans lequel au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support (1) si la couche de piégeage est également dépourvue des pièges électriques d'un troisième type, les pièges électriques du troisième type présentant une énergie d'activation de 0,485 eV à 0,015 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons supérieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 14]

Procédé de sélection selon l'une des revendications 12 à 13 dans lequel au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support (1) si la couche de piégeage comporte également des pièges électriques d'un quatrième type et d'un cinquième type, les pièges électriques du quatrième type présentant une énergie d'activation de 0,392 eV à 0,018 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du cinquième type présentant une énergie d'activation de 0,371 eV à 0,025 eV près et une section efficace de capture pour les trous et pour les électrons inférieure à 10^{-16} cm^2 .

[Revendication 15]

Procédé de sélection selon l'une des revendications 12 à 14 dans lequel au cours de l'étape de sélection on sélectionne le support (1) si la couche de piégeage est également dépourvue de pièges électriques d'un sixième type et d'un septième type, les pièges électriques du sixième type présentant une énergie d'activation de 0,474 eV à 0,032 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 , les pièges électriques du septième type présentant

une énergie d'activation de 0,416 eV à 0,017 eV près et une section efficace de capture pour les trous supérieure à 10^{-16} cm^2 .

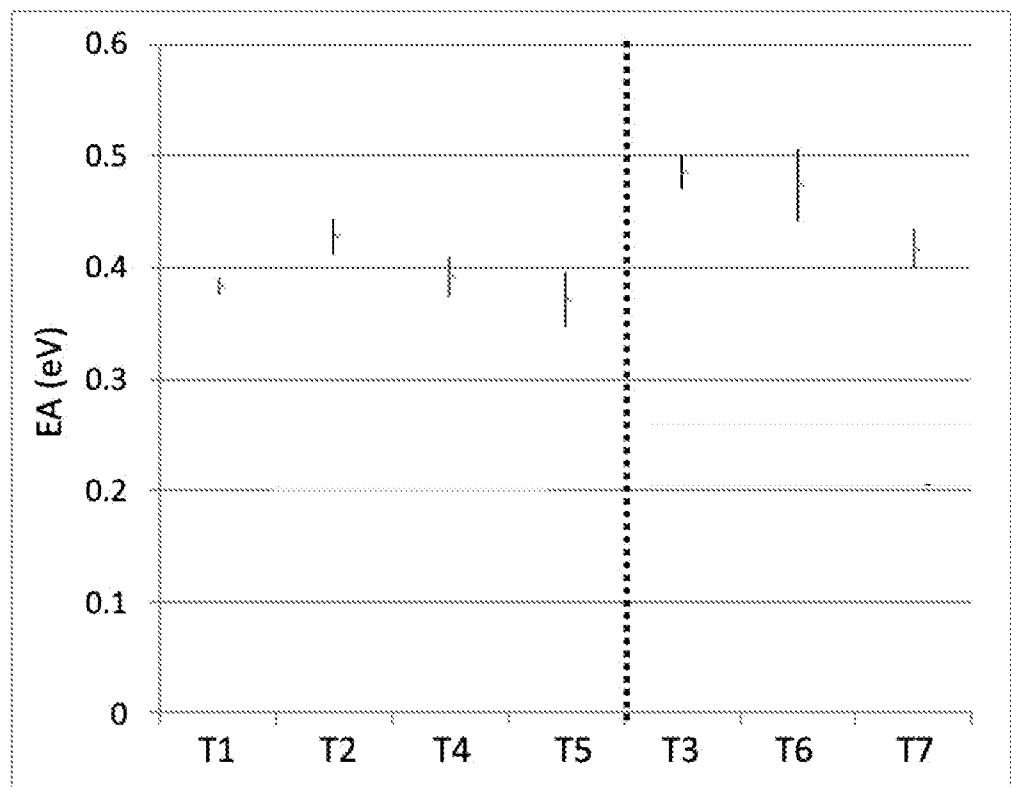


Figure 1

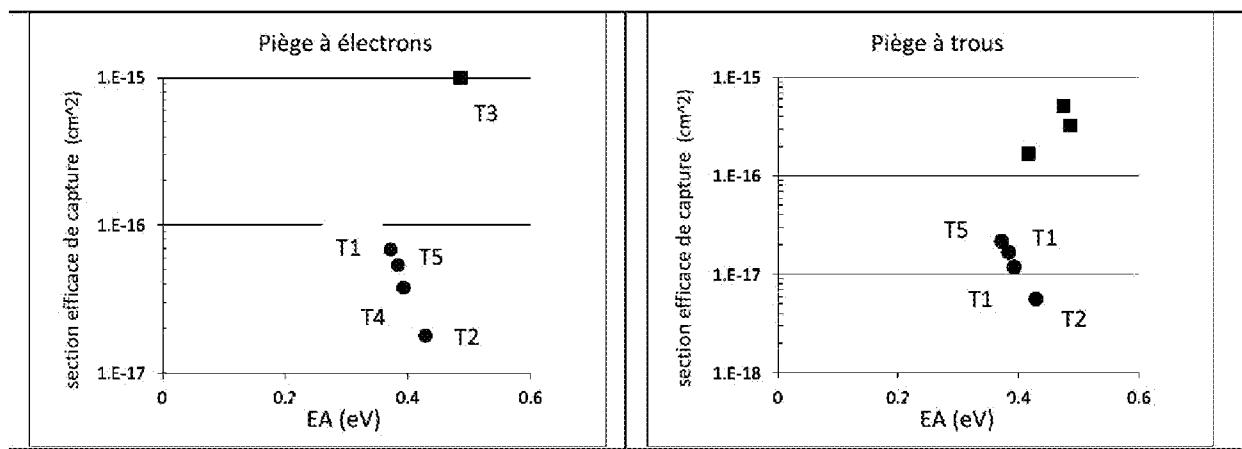


Figure 2

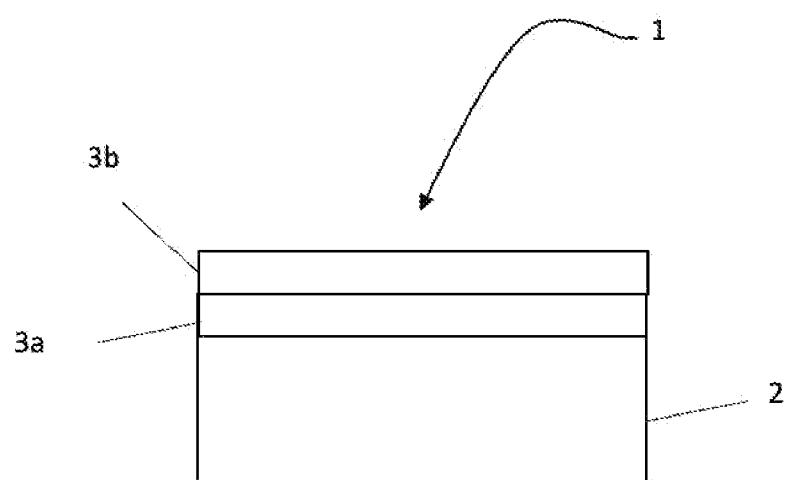


Figure 3

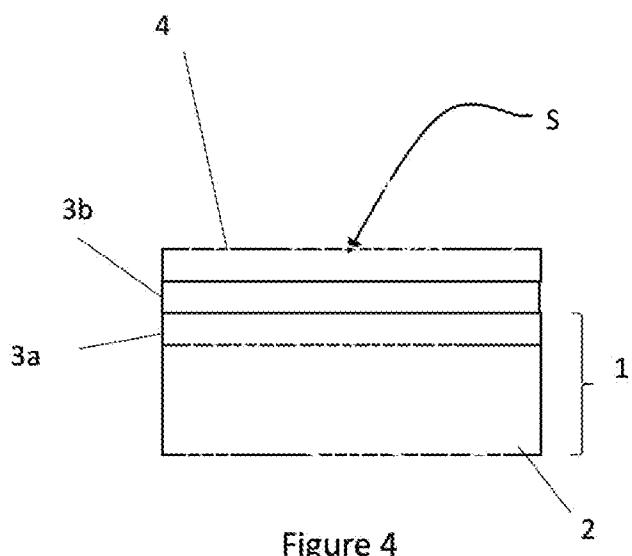


Figure 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2024/077149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01L 21/02(2006.01)i; **H01L 21/762**(2006.01)i; **H01L 21/66**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 9293473 B2 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 22 March 2016 (2016-03-22) cited in the application column 2, line 49 - column 5, line 22; figures 1A-1G	1-15

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- “E” earlier application or patent but published on or after the international filing date
- “L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- “O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- “P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- “T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- “X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- “Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- “&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 10 December 2024	Date of mailing of the international search report 03 January 2025
--	--

Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016	Authorized officer Ott, André Telephone No.
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2024/077149

Patent document cited in search report		Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)	
US	9293473	B2	22 March 2016	CN	102640278	A	15 August 2012
				EP	2507827	A1	10 October 2012
				FR	2953640	A1	10 June 2011
				JP	2013513234	A	18 April 2013
				KR	20120087188	A	06 August 2012
				SG	181093	A1	30 July 2012
				TW	201140697	A	16 November 2011
				US	2012319121	A1	20 December 2012
				US	2014038388	A1	06 February 2014
				US	2015171110	A1	18 June 2015
				WO	2011067394	A1	09 June 2011

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2024/077149

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE

INV. H01L21/02 H01L21/762 H01L21/66

ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H01L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO - Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>US 9 293 473 B2 (SOITEC SILICON ON INSULATOR [FR]) 22 mars 2016 (2016-03-22) cité dans la demande colonne 2, ligne 49 - colonne 5, ligne 22; figures 1A-1G</p> <p>-----</p>	1-15



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

10 décembre 2024

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

03/01/2025

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2

NL - 2280 HV Rijswijk

Tel. (+31-70) 340-2040,

Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Ott, André

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2024/077149

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 9293473	B2	22-03-2016	CN 102640278 A	15-08-2012
			EP 2507827 A1	10-10-2012
			FR 2953640 A1	10-06-2011
			JP 2013513234 A	18-04-2013
			KR 20120087188 A	06-08-2012
			SG 181093 A1	30-07-2012
			TW 201140697 A	16-11-2011
			US 2012319121 A1	20-12-2012
			US 2014038388 A1	06-02-2014
			US 2015171110 A1	18-06-2015
			WO 2011067394 A1	09-06-2011