

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 096 509**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **19 05257**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 L 33/14 (2019.01), H 01 L 33/30**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ DISPOSITIF OPTOELECTRONIQUE AVEC DIODES ELECTROLUMINESCENTES DONT UNE ZONE DOPEE INTEGRE UNE PORTION EXTERNE A BASE D'ALUMINIUM ET DE NITRURE DE GALIUM.

②② Date de dépôt : 20.05.19.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 27.11.20 Bulletin 20/48.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 28.05.21 Bulletin 21/21.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *ALEDIA Société par actions
simplifiée (SAS) — FR.*

⑦② Inventeur(s) : Tchoulfian Pierre et Amstatt Benoît.

⑦③ Titulaire(s) : ALEDIA Société par actions simplifiée
(SAS).

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet GERMAIN & MAUREAU.

FR 3 096 509 - B1



Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF OPTOELECTRONIQUE AVEC DIODES ELECTROLUMINESCENTES DONT UNE ZONE DOPEE INTEGRE UNE PORTION EXTERNE A BASE D'ALUMINIUM ET DE NITRURE DE GALIUM

Domaine technique

- [0001] La présente invention concerne un dispositif optoélectronique comportant un substrat ayant une face support et une pluralité de diodes électroluminescentes, chacune étant de forme filaire et formée sur la face support pour être allongée suivant un axe longitudinal sensiblement transversal à la face support du substrat, chaque diode électroluminescente comprenant une première zone dopée formée sur la face support par des éléments semiconducteurs dopés selon un premier type de dopage, une zone active formée dans un matériau actif et une seconde zone dopée formée par des éléments semiconducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage.
- [0002] L'invention concerne aussi un procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique comportant une pluralité de diodes électroluminescentes.
- [0003] L'invention trouvera une application notamment dans les écrans d'affichage ou les systèmes de projection d'images ou d'éclairage.

Technique antérieure

- [0004] De manière connue, un dispositif optoélectronique à diodes électroluminescentes permet d'effectuer la conversion d'un signal électrique en un rayonnement électromagnétique.
- [0005] Il existe des dispositifs optoélectroniques, notamment des écrans d'affichage ou des dispositifs de projection d'images, comprenant des diodes électroluminescentes à base de matériaux semiconducteurs comprenant un empilement de couches semiconductrices ou des éléments tridimensionnels comportant majoritairement au moins un élément du groupe III et un élément du groupe V, appelé par la suite composé III-V, notamment le nitrure de gallium (GaN), le nitrure de gallium et d'indium (InGaN) et le nitrure de gallium et d'aluminium (AlGaN).
- [0006] Il est connu que chaque diode électroluminescente comprenne une couche active exploitant des puits quantiques comprise dans une jonction P-N. La jonction P-N comprend une portion semiconductrice dopée selon un premier type de dopage de type N et une portion semiconductrice dopée selon un deuxième type de dopage de type P.
- [0007] L'une des difficultés dans les diodes électroluminescentes ayant une architecture tri-

dimensionnelle de type cœur-coquille est que dans certaines conditions de croissance des éléments semiconducteurs constitutifs de la diode électroluminescente, comme par exemple le matériau d'un noyau filaire en nitrure de Gallium ou GaN, des défauts au niveau de l'interface entre la diode électroluminescente et le substrat et au niveau des faces latérales de la diode électroluminescente sont malheureusement susceptibles d'apparaître.

[0008] Ces défauts peuvent créer des fuites de courant néfastes pour les performances. Pour tenter de limiter ces risques, il a déjà été imaginé de réaliser des étapes supplémentaires pour isoler électriquement ces interfaces. A titre d'exemple, il a déjà été mis en œuvre de déposer un matériau isolant au niveau de la bordure inférieure des diodes électroluminescentes après la croissance des diodes électroluminescentes ou bien en réalisant la diode électroluminescence en plusieurs étapes de croissance, en intercalant un nettoyage par exemple entre le cœur et la coquille.

[0009] Cependant, ces solutions impliquent des coûts non négligeables, souvent rédhibitoires, et susceptibles de créer d'autres défauts.

[0010] Une autre problématique repose sur le fait qu'il est nécessaire de parvenir à passiver les surfaces latérales des diodes électroluminescentes afin d'éviter leur oxydation ou limiter les fuites de courant par ces mêmes faces. Pour ce faire, il existe des techniques de passivation qui impliquent des étapes supplémentaires de procédé après la croissance des diodes électroluminescentes. Ceci n'est pas avantageux car cela contribue à la mise en œuvre d'étapes supplémentaires, impliquant une augmentation des coûts de fabrication.

Exposé de l'invention

[0011] La présente invention a pour but de résoudre tout ou partie des problématiques présentées ci-avant.

[0012] Notamment, le but de l'invention est de proposer un dispositif optoélectronique du type précité qui réponde à au moins l'un des objectifs suivants :

- disposer d'un dispositif optoélectronique présentant le moins de défauts possible,
- disposer d'un dispositif optoélectronique ayant des fuites de courant au niveau de l'interface avec le substrat réduites ou nulles,
- disposer d'un dispositif optoélectronique ayant des fuites de courant au niveau des surfaces latérales réduites ou nulles,
- disposer d'un dispositif optoélectronique ayant des surfaces latérales au moins en partie passivées.

[0013] L'invention a également pour but de proposer un procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique, le procédé répondant à au moins l'un des objectifs

suivants :

- avoir un nombre d'étapes pour la passivation d'au moins une partie des surfaces latérales réduit,
- avoir un nombre d'étapes pour la limitation des fuites de courant entre la diode électroluminescente et le substrat réduit,
- avoir un nombre d'étapes pour la limitation des fuites de courant provenant des surfaces latérales de la diode électroluminescente.

[0014] Ce but peut être atteint grâce à la fourniture d'un dispositif optoélectronique comportant un substrat ayant une face support et une pluralité de diodes électroluminescentes, chacune étant de forme filaire et formée sur la face support pour être allongée suivant un axe longitudinal sensiblement transversal à la face support du substrat, chaque diode électroluminescente comprenant une première zone dopée formée sur la face support par des éléments semi-conducteurs dopés selon un premier type de dopage, une zone active formée dans un matériau actif et une seconde zone dopée formée par des éléments semi-conducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage, la première zone dopée étant constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal, d'une première portion centrale sensiblement allongée suivant l'axe longitudinal formée dans un premier matériau à base de nitrure de gallium et d'une seconde portion externe formée dans un second matériau à base de nitrure de gallium et d'aluminium, la seconde portion étant constituée d'une première partie externe agencée latéralement autour de la première portion, tout ou partie de la première partie présentant une première concentration atomique moyenne en aluminium et d'une seconde partie inférieure agencée, suivant l'axe longitudinal, au moins entre la première partie de la seconde portion et le substrat, tout ou partie de la seconde partie présentant une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne et adaptée de sorte que la seconde partie est électriquement isolante.

[0015] Certains aspects préférés mais non limitatifs du dispositif optoélectronique sont les suivants.

[0016] Dans une mise en œuvre du dispositif optoélectronique, le rapport entre la section de la première partie de la seconde portion, prise dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinale et positionné à une distance D par rapport à la face support, et la section de la première portion prise dans ledit plan, diminue lorsque la distance D augmente.

[0017] Dans une mise en œuvre du dispositif optoélectronique, la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium ponctuelles prises en différents points de la première partie, les concentrations atomiques en aluminium ponctuelles pouvant varier dans le plan et selon la distance D .

- [0018] Dans une mise en œuvre du dispositif optoélectronique, la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 20% et 50%.
- [0019] Dans une mise en œuvre du dispositif optoélectronique, ledit second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau.
- [0020] L'invention porte également sur un procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique comportant une pluralité de diodes électroluminescentes où chacune est de forme filaire allongée suivant un axe longitudinal A et comprend une première zone dopée formée sur la face support par des éléments semi-conducteurs dopés selon un premier type de dopage, une zone active formée dans un matériau actif et une seconde zone dopée formée par des éléments semi-conducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage, le procédé comprenant les étapes suivantes :
- a) fourniture d'un substrat ayant une face support, ledit axe longitudinal A étant destiné à être sensiblement transversal à ladite face support ;
 - b) formation, au niveau de ladite face support, d'une pluralité de zones chacune étant propice à la formation ultérieure d'au moins l'une des diodes électroluminescentes ;
 - c) formation de la première zone dopée de chaque diode électroluminescente au niveau de la zone correspondante, l'étape c) étant réalisée de telle manière qu'à l'issue de l'étape c), la première zone dopée est constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal, d'une part d'une première portion centrale sensiblement allongée suivant l'axe longitudinal formée dans un premier matériau à base de nitrure de gallium, et d'autre part d'une seconde portion externe formée dans un second matériau à base de nitrure de gallium et d'aluminium, la seconde portion étant constituée d'une première partie externe agencée latéralement autour de la première portion, tout ou partie de la première partie présentant une première concentration atomique moyenne en aluminium et d'une seconde partie inférieure agencée, suivant l'axe longitudinal, entre au moins la première partie de la seconde portion et le substrat, tout ou partie de la seconde partie présentant une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne et adaptée de sorte que la seconde partie est électriquement isolante ;
 - d) formation de la zone active de chaque diode électroluminescente ;
 - e) formation de la seconde zone dopée de chaque diode électroluminescentes.
- [0021] Certains aspects préférés mais non limitatifs du procédé sont les suivants.
- [0022] Dans une mise en œuvre du procédé, l'étape c) est réalisée par épitaxie en utilisant au moins en partie un premier gaz contenant du gallium et un deuxième gaz contenant de l'aluminium et un troisième gaz contenant du silane SiH₄.

- [0023] Dans une mise en œuvre du procédé, l'étape c) est réalisée dans une enceinte dans laquelle règne une température comprise entre 900 et 1100 °C.
- [0024] Dans une mise en œuvre du procédé, la première partie de la seconde portion, et la seconde partie de la seconde portion sont obtenues par une première phase de ségrégation lors de l'étape c).
- [0025] Dans une mise en œuvre du procédé, la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 20% et 50%.
- [0026] Dans une mise en œuvre du procédé, l'étape c) comprend une deuxième phase de ségrégation de sorte qu'après la deuxième phase de ségrégation, le rapport entre la section de la première partie de la seconde portion, prise dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal et positionné à une distance D par rapport à la face support, et la section de la première portion prise dans ledit plan, diminue lorsque la distance D augmente.
- [0027] Dans une mise en œuvre du procédé, la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium ponctuelles prises en différents points de la première partie, les concentrations atomiques en aluminium ponctuelles pouvant varier dans le plan et selon la distance D.
- [0028] Dans une mise en œuvre du procédé, la première phase de ségrégation et la deuxième phase de ségrégation sont réalisées au moins en partie en même temps.
- [0029] Dans une mise en œuvre du procédé, lors de l'étape c) le deuxième gaz contenant de l'aluminium est injecté avec un débit compris entre 1000 et 2000 sccm et le troisième gaz contenant du silane SiH₄ est injecté avec un débit compris entre 400 et 800 sccm.
- [0030] Dans une mise en œuvre du procédé, la première phase de ségrégation est réalisée de telle façon que le second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau.

Brève description des dessins

- [0031] D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de modes de réalisation préférés de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0032] [fig.1] est une vue schématique vue de dessus représentant des zones propices à la croissance d'éléments de diodes électroluminescentes sur la face support d'un substrat.
- [0033] [fig.2] est une vue schématique en coupe d'une partie d'une diode électroluminescente selon l'invention.
- [0034] [fig.3] est une vue schématique en coupe d'une partie d'une diode électroluminescente selon l'invention.

[0035] **EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

- [0036] Sur les figures et dans la suite de la description, les mêmes références représentent les éléments identiques ou similaires. De plus, les différents éléments ne sont pas représentés à l'échelle de manière à privilégier la clarté des figures. Par souci de simplicité le nombre de diodes électroluminescentes représenté est limité mais dans les modes de réalisations décrits ci-après il n'y a pas de limitation quant à leur nombre. Par ailleurs, les différents modes de réalisation et variantes ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent être combinés entre eux.
- [0037] Dans le texte, sauf indication contraire, les termes « sensiblement », « environ » et « de l'ordre de » signifient « à 10 % près ».
- [0038] L'invention porte en premier lieu sur un dispositif optoélectronique 10 comportant au moins une diode électroluminescente 12.
- [0039] L'invention porte également sur un procédé de fabrication d'un tel dispositif optoélectronique 10.
- [0040] Grâce au dispositif optoélectronique 12 selon l'invention, une application particulièrement visée est la fourniture d'un écran d'affichage d'images ou d'un dispositif de projection d'images.
- [0041] Il est également clair que l'invention peut viser d'autres applications, en particulier la détection ou la mesure de radiations électromagnétiques ou encore des applications photovoltaïques.
- [0042] Le dispositif optoélectronique 10 comporte un substrat 11 ayant une face support 110. Le substrat 11 est constitué par exemple par un empilement d'une couche monolithique (non représentée), d'une couche d'électrode inférieure (non représentée) qui peut être une couche de nucléation conductrice et d'une première couche d'isolation électrique (non représentée). Des ouvertures 14 propices à la croissance de premières portions 121 et de secondes portions 123 de diodes électroluminescentes 12 peuvent être formées à travers l'une des couches précédemment citées. L'homme du métier pourra se référer par exemple au brevet FR3053530 pour mettre en œuvre un tel substrat 11 et de telles ouvertures 14.
- [0043] La face support 110 du substrat 11 est constituée par exemple par la face libre de ladite première couche d'isolation électrique ou bien par la face libre des électrodes inférieures.
- [0044] La couche monolithique peut être formée dans un matériau semiconducteur dopé ou non, par exemple de l' Al_2O_3 ou du silicium ou encore du germanium, et plus particulièrement du silicium monocristallin. Il peut aussi être formé en saphir voire en un matériau semiconducteur III-V, par exemple en GaN. Il peut alternativement s'agir d'un substrat de type silicium sur isolant ou « SOI » pour « Silicon On Insulator » selon la terminologie anglo-saxonne consacrée. Alternativement, la couche mono-

lithique peut être formée dans un matériau électriquement isolant.

[0045] La couche de nucléation permet d'initier la croissance de premières portions 121 et des secondes portions 123 de diodes électroluminescentes. Elle peut être continue ou discontinue. Le matériau composant la couche de nucléation peut être un nitrure, un carbure ou un borure d'un métal de transition de la colonne IV, V ou VI du tableau périodique des éléments ou une combinaison de ces composés. A titre d'exemple, la couche de nucléation peut être en nitrure d'aluminium, en oxyde d'aluminium, en bore, en nitrure de bore, en titane, en nitrure de titane, en tantale, en nitrure de tantale, en hafnium, en nitrure d'hafnium, en niobium, en nitrure de niobium, en zirconium, en borure de zirconium, en nitrure de zirconium, en carbure de silicium, en nitrure et carbure de tantale, ou en nitrure de magnésium sous la forme Mg_xN_y , où x est environ égal à 3 et y est environ égal à 2, par exemple du nitrure de magnésium sous la forme Mg_3N_2 . La couche de nucléation peut être dopée et du même type de conductivité que celle des éléments semiconducteurs destinés à croître, et présenter une épaisseur par exemple comprise entre 1 nm et 200 nm, de préférence comprise entre 10 nm et 50 nm. La couche de nucléation peut être composée d'un alliage ou d'un empilement d'au moins un matériau mentionné dans la liste ci-dessus. La première couche d'isolation électrique peut comprendre une première couche isolante intermédiaire qui recouvre ladite couche d'électrode inférieure. Elle forme un masque de croissance autorisant la croissance par exemple épitaxiale des premières portions 121 et des secondes portions 123 de diodes électroluminescentes 12 à partir d'ouvertures 14 traversantes débouchant localement sur les surfaces de la couche d'électrode inférieure. La première couche d'isolation électrique participe également à assurer l'isolation électrique entre les couches de nucléation (non représentées) et les secondes électrodes supérieures (non représentées). La première couche isolante intermédiaire est réalisée dans au moins un matériau(x) diélectrique(s) tel(s) que, par exemple, un oxyde de silicium (par exemple SiO_2 ou $SiON$) ou un nitrure de silicium (par exemple Si_3N_4 ou SiN), voire un oxynitrure de silicium, un oxyde d'aluminium (par exemple Al_2O_3) ou un oxyde de hafnium (par exemple HfO_2). L'épaisseur de la première couche isolante intermédiaire peut être comprise entre 5 nm et 1 μm , de préférence comprise entre 20 nm et 500 nm, par exemple égale à 100 nm environ. La première couche de matériau d'isolation électrique peut comporter, en outre, une deuxième couche isolante électriquement intermédiaire (non représentée) qui recouvre les premières électrodes inférieures et participe à assurer l'isolation électrique entre les premières électrodes inférieures et les secondes électrodes supérieures. Ladite deuxième couche isolante électriquement intermédiaire peut recouvrir également le masque de croissance formé par la première couche isolante intermédiaire. La deuxième couche isolante intermédiaire peut être réalisée en un matériau diélectrique identique ou différent de celui du masque de

croissance, tel que, par exemple, un oxyde de silicium (par exemple SiO_2) ou un nitrure de silicium (par exemple Si_3N_4 ou SiN), voire un oxynitrure de silicium, un oxyde d'aluminium (par exemple Al_2O_3) ou un oxyde de hafnium (par exemple HfO_2).

L'épaisseur de la deuxième couche isolante intermédiaire peut être comprise entre 5 nm et 1 μm , de préférence comprise entre 20 nm et 500 nm, par exemple égale à 100 nm environ.

- [0046] Les diodes électroluminescentes 12 décrites dans la présente invention sont agencées par exemple comme cela est représenté sur les figures 2 et 3, en étant de forme filaire et formées sur la face support 110 pour être allongée suivant un axe longitudinal A sensiblement transversal à la face support 110 du substrat 11. Les diodes électroluminescentes 12 sont préférentiellement tridimensionnelles, selon des dimensions micrométriques ou nanométriques.
- [0047] Chaque diode électroluminescente 12 comprend une première zone dopée formée sur la face support 110 par des éléments semi-conducteurs dopés selon un premier type de dopage. Par « former sur » on entend soit que la diode électroluminescente 12 est formée directement sur la face support 110 moyennant un contact, soit indirectement en prévoyant l'interposition d'au moins une couche intermédiaire, comme par exemple une couche de passivation ou de nucléation ou une couche d'isolation électrique.
- [0048] La première zone dopée est constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal A, d'une première portion 121 centrale sensiblement allongée suivant l'axe longitudinal A. La première portion 121 est formée préférentiellement dans un premier matériau à base de nitrure de gallium. La première zone dopée est constituée en outre d'une seconde portion 123 externe formée dans un second matériau préférentiellement à base de nitrure de gallium et d'aluminium. Avantageusement, le premier matériau et le second matériau ont des paramètres de maille atomique proches ce qui permet de les associer par épitaxie par exemple en limitant les contraintes.
- [0049] La seconde portion 123 est constituée d'une première partie 124a externe agencée latéralement autour de la première portion 121. Avantageusement, cet agencement permet de limiter les fuites de courant car le second matériau de la seconde portion 123 a une conductivité plus faible que celle du premier matériau. Tout ou partie de la première partie 124a présente une première concentration atomique moyenne en aluminium.
- [0050] Dans un mode de réalisation particulier, la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et préférentiellement entre 0,5% et 7,5%. La première concentration atomique moyenne en aluminium induit, dans le second matériau une résistivité électrique élevée. Avantageusement, cette concentration atomique moyenne en aluminium permet de limiter les fuites de courant

car le second matériau a alors une conductivité plus faible que celle du premier matériau à base de nitrure de gallium.

- [0051] La seconde portion 123 est constituée d'une seconde partie 124b inférieure agencée, suivant l'axe longitudinal A, entre au moins la première partie 124a de la seconde portion 123 et le substrat 11. Egalement la seconde partie 124b peut être agencée à l'interface entre la première partie 124a de la seconde portion 123 et la première portion 121. La seconde partie 124b présente une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne. La deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est telle que le second matériau, dans cette seconde partie 124b, est électriquement isolant. Dans un exemple, ladite seconde portion 123 est agencée avantageusement au moins en partie latéralement autour de la première portion 121 de façon à entourer au moins une partie de la première portion 121 à la façon d'une gaine. Ladite seconde portion 123 est formée au moins en partie de façon à être en contact avec le substrat 11. Par « en contact avec le support », on entend qu'une interface de la seconde portion 123 peut être la face libre de la couche de nucléation du substrat 11 décrite précédemment ou bien la face libre de la première couche d'isolation électrique du substrat 11 décrite précédemment.
- [0052] Dans un mode de réalisation particulier, la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium de la seconde partie 124b est comprise entre 20% et 50% et plus préférentiellement entre 25% et 35%. Avantageusement, cette deuxième concentration atomique moyenne en aluminium permet de limiter fortement les fuites de courant car le second matériau a alors un caractère isolant électriquement.
- [0053] Dans un mode de réalisation particulier, ledit second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau. La deuxième concentration atomique moyenne en aluminium peut également être présente à l'interface entre la face support 110 du substrat 11 et la partie du second matériau ayant la première concentration atomique moyenne en aluminium. Avantageusement, cette configuration permet de limiter les fuites de courant entre par exemple la première zone dopée et la deuxième zone dopée décrite plus en profondeur ci-après. Cette configuration permet également de se passer d'une isolation électrique externe à la diode électroluminescente 12 qui est coûteuse et fastidieuse. Par « isolant électrique », on entend que le second matériau, à l'endroit où il présente une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium, a une résistivité élevée. Avantageusement, cela permet également une passivation du premier matériau de la première portion 121 vis-à-vis de l'extérieur puisque le second matériau entoure au moins en partie le premier matériau latéralement. Cela permet également de limiter la fuite de courant et de créer une passivation entre le premier matériau et les faces extérieures de la diode électroluminescente 12.

- [0054] Dans un mode de réalisation particulier, le rapport entre la section de la première partie 124a de la seconde portion 123, prise dans un plan P perpendiculaire à l'axe longitudinal A et positionné à une distance D par rapport à la face support 110, et la section de la première portion 121 prise dans ledit plan P, diminue lorsque D augmente. Cette configuration permet avantageusement de privilégier la présence du second matériau au niveau où la distance D est faible ce qui est l'endroit le plus vulnérable aux fuites de courant. Dans un exemple, la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium ponctuelles prises en différents points de la première partie 124a. Les concentrations atomiques en aluminium ponctuelles peuvent varier dans le plan P et selon la distance D par exemple en suivant un gradient de concentration. Avantageusement, dans les parties de la première zone dopée où la distance D est plus élevée, le second matériau n'est pas présent ce qui préserve l'efficacité du courant allant de la première zone dopée à la zone active décrite ci-après.
- [0055] La diode électroluminescente 12 comprend également une zone active 126 formée dans un matériau actif. La zone active 126 est la partie depuis laquelle est émise la majorité du rayonnement fourni par la diode électroluminescente 12. Elle peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques. Elle est, par exemple, constituée d'une alternance de couches de GaN et d'InGaN. Les couches de GaN peuvent être dopées. Alternativement, la zone active 126 est constituée par une unique couche d'InGaN.
- [0056] La diode électroluminescente 12 comprend en outre une seconde zone dopée 125 formée par des éléments semi-conducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage.
- [0057] Préférentiellement, les éléments semiconducteurs des diodes électroluminescentes 12 tels que sont la première portion 121 ou la seconde portion 123 ou la seconde zone dopée 125 présentent une forme sensiblement filaire, conique ou tronconique. Dans le texte, les termes « élément de diode électroluminescente » font référence à la première portion 121 et/ou à la seconde portion 123 et/ou à la seconde zone dopée 125 et/ou à la zone active 126 ainsi que l'ensemble de ces différentes zones ou portions.
- [0058] Dans la suite de la description et sur les figures, les modes de réalisation sont décrits pour des diodes électroluminescentes 12 tridimensionnelles de type cœur-coquille comme montrées sur la figure 3. Le cœur est constitué par les premières et deuxièmes portions 121 et 123. La coquille est formée par la zone active 126 recouverte de la seconde zone dopée 125. Toutefois, ces modes de réalisation peuvent indifféremment être mis en œuvre pour des diodes électroluminescentes 12 tridimensionnelles présentant une structure axiale où la seconde portion 123, la première portion 121, la zone active 126 et la seconde zone dopée 125 sont empilées selon une direction

transversale au plan du substrat 11. Autrement dit, selon un mode de réalisation, chaque diode électroluminescente 12 présente une structure cœur-coquille dans laquelle la première zone dopée constitue un noyau filaire dont la partie sommitale et les bordures latérales sont au moins partiellement recouvertes par une coque elle-même comprenant l'empilement d'au moins une couche formant la zone active et d'au moins une couche formant la seconde zone dopée. Alternativement dans un autre mode de réalisation non représenté, chaque diode électroluminescente 12 présente une structure axiale où la première zone dopée 121, la zone active 126 et la seconde zone dopée 125 sont respectivement empilées le long de l'axe longitudinal A.

- [0059] De manière générale les différents éléments constituant les diodes électroluminescentes 12 peuvent être obtenus par toute technique de l'homme du métier comme par exemple : un dépôt chimique en phase vapeur (CVD) sigle anglais pour chemical Layer deposition, un dépôt de couche atomique (ALD) sigle anglais pour Atomic Layer Deposition, ou dépôt physique en phase vapeur (PVD) sigle anglais pour Physical Vapor Deposition ou encore par épitaxie (par exemple MBE pour molecular beam epitaxy selon l'expression anglaise consacrée) ou encore metal organic vapor epitaxy selon l'expression anglaise consacrée (MOVPE).
- [0060] La première zone dopée peut être dopée P si la seconde zone dopée est dopée N mais la première zone dopée sera préférentiellement dopée N et la seconde zone dopée 125 dopée P. Le premier matériau peut être dopé pour former une première partie d'une jonction PN ou PIN. Avantagusement la première zone dopée est dopée N.
- [0061] A titre d'exemple, les éléments de diodes électroluminescentes 12 peuvent être, au moins en partie, formés à partir de matériaux semiconducteurs de groupe IV comme du silicium ou du germanium ou bien comportant majoritairement un composé III-V, par exemple des composés III-N. Des exemples du groupe III comprennent le gallium, l'indium ou l'aluminium. Des exemples de composés III-N sont GaN, AlN, InGaN ou InAlGaN ou AlGaIn. D'autres éléments du groupe V peuvent également être utilisés, par exemple, le phosphore, l'arsenic ou l'antimoine. De façon générale, les éléments dans le composé III-V peuvent être combinés avec différentes fractions molaires. Il convient de préciser que les éléments de diodes électroluminescentes 12 peuvent indifféremment être formés à partir de matériaux semiconducteurs comportant majoritairement un composé II-VI. Le dopant peut être choisi, dans le cas d'un composé III-V, parmi le groupe comprenant un dopant de type P du groupe II, par exemple du magnésium, du zinc, du cadmium ou du mercure, un dopant du type P du groupe IV par exemple du carbone, ou un dopant de type N du groupe IV, par exemple du silicium, du germanium, du sélénium, du soufre, du terbium ou de l'étain. Préférentiellement la première portion 121 est en contact avec au moins une des parties composant le substrat 11.

- [0062] Dans un exemple, la première portion 121 et la seconde portion 123 sont obtenues au moins en partie dans le même temps préférentiellement par épitaxie en utilisant au moins un premier gaz contenant du gallium (par exemple du TMGa pour Triméthylgallium) avec un débit compris entre 500 et 1000 sccm (pour standard centimètre cube par minute), au moins un deuxième gaz contenant de l'aluminium (par exemple : TMAI pour triméthylaluminium) avec un débit compris entre 800 et 1200 sccm et au moins un troisième gaz contenant du silane SiH_4 avec un débit compris entre 50 et 200 sccm . La température utilisée pour la formation de la première portion 121 et de la seconde portion 123 est comprise entre 900°C et 1100°C et plus préférentiellement entre 950 et 1050 °C.
- [0063] Dans un mode de réalisation, la première portion 121 et la seconde portion 123 sont obtenues dans le même temps par une première phase de ségrégation entre le premier matériau et le deuxième matériau. Dans un autre mode de réalisation, une deuxième phase de ségrégation permet d'obtenir une première concentration atomique moyenne en aluminium et une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium dans le second matériau. Les deux phases de ségrégation peuvent avoir lieu préférentiellement en même temps. Le recours à des phases de ségrégation pour obtenir une ou des parties plus résistives ou isolantes d'un matériau est avantageux car cela ne requiert aucune opération additionnelle.
- [0064] Une troisième partie de la diode électroluminescente 12 peut être constituée par la seconde zone dopée 125. La seconde zone dopée 125 peut être dopée selon un deuxième type de dopage préférentiellement P. Elle peut être formée directement ou indirectement sur les interfaces libres de la zone active 126. Une fois la seconde zone dopée 125 formée, la diode électroluminescente 12 est apte à émettre de la lumière sous une excitation électrique.
- [0065] L'invention porte également sur la mise en œuvre d'un procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique 10 selon l'invention comme décrit ci-dessus. Le procédé de fabrication comprend les étapes suivantes :
- a. fourniture du substrat 11 ayant une face support 110, ledit axe longitudinal A étant destiné à être sensiblement transversal à ladite face support 110 ;
 - b. formation, au niveau de ladite face support 110, d'une pluralité de zones 14 chacune étant propice à la formation ultérieure d'au moins l'une des diodes électroluminescentes 12 ;
 - c. formation de la première zone dopée de chaque diode électroluminescente 12 au niveau de la zone 14 correspondante. L'étape c) est réalisée de telle manière qu'à l'issue de l'étape c), la première zone dopée est constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal A, d'une part d'une première portion 121 centrale sensiblement allongée suivant l'axe lon-

gitudinal A. La première portion 121 est formée dans un premier matériau à base de nitrure de gallium. La première zone dopée est constituée d'autre part d'une seconde portion 123 externe formée dans un second matériau à base de nitrure de gallium et d'aluminium. La seconde portion 123 est constituée d'une première partie 124a externe agencée latéralement autour de la première portion 121. Tout ou partie de la première partie 124a présente une première concentration atomique moyenne en aluminium. La seconde portion 123 est constituée en outre d'une seconde partie 124b inférieure agencée, suivant l'axe longitudinal, entre au moins la première partie 124a de la seconde portion 123 et le substrat 11. Tout ou partie de la seconde partie 124b présente une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne. Comme décrit précédemment, la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est adaptée de sorte que la seconde partie 124b est électriquement isolante ;

- d. formation de la zone active 126 de chaque diode électroluminescente 12 ;
- e. formation de la seconde zone dopée 125 de chaque diode électroluminescentes 12.

[0066] Selon un mode de réalisation du procédé de fabrication, l'étape c) est réalisée par épitaxie en utilisant au moins en partie un premier gaz contenant du gallium et un deuxième gaz contenant de l'aluminium et un troisième gaz contenant du silicium tel que le silane SiH_4 . L'intérêt d'utiliser du silane SiH_4 est de favoriser la croissance verticale plutôt qu'horizontale.

[0067] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, l'étape c) est réalisée dans une enceinte dans laquelle règne une température comprise entre 900°C et 1100°C et de préférence entre 950°C et 1000°C .

[0068] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, la première partie 124a de la seconde portion 123, et la seconde partie 124b de la seconde portion 123 sont obtenues par une première phase de ségrégation lors de l'étape c).

[0069] Selon un mode de réalisation du procédé de fabrication, la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et préférentiellement entre 0,5% et 7,5% et la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 20% et 50% et plus préférentiellement entre 25% et 35%.

[0070] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, l'étape c) comprend une deuxième phase de ségrégation de sorte qu'après la deuxième phase de ségrégation, le rapport entre la section de la première partie 124a de la seconde portion 123, prise dans un plan P perpendiculaire à l'axe longitudinal A et positionné à une distance D par rapport à la face support 110, et la section de la première portion 121 prise dans ledit plan P, diminue lorsque D augmente. Cela permet avantageusement

d'obtenir un matériau isolant naturellement placé entre la première portion 121 et la deuxième zone dopée 125 ce qui évite des étapes coûteuses pour limiter les fuites de courant entre ces deux entités. Cela permet également de passiver la première portion 121 car la seconde portion 123 l'entoure en partie vis-à-vis de l'extérieur. Dans un exemple, la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium qui seraient mesurées en différents points de la première partie 124a et ainsi dénommées concentrations ponctuelles. Les concentrations atomiques en aluminium ponctuelles peuvent ainsi varier dans le plan P et selon la distance D par exemple en suivant un gradient de concentration atomique.

[0071] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, la première phase de ségrégation et la deuxième phase de ségrégation sont réalisées au moins en partie en même temps. Ceci permet avantageusement de réduire le nombre d'étapes pour isoler électriquement la première zone dopée et la deuxième zone dopée vis-à-vis de courants de fuites.

[0072] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, lors de l'étape c), le premier gaz (par exemple du TMGa) est injecté avec un débit compris entre 200 et 600 sccm, de préférence 400 sccm, le deuxième gaz contenant de l'aluminium est injecté avec un débit compris entre 1000 et 2000 sccm et le troisième gaz le silane SiH_4 est injecté avec un débit compris entre 400 et 800 sccm de préférence 600 sccm.

[0073] Selon un autre mode de réalisation du procédé de fabrication, la première phase de ségrégation est réalisée de telle façon que le second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau. Cela permet avantageusement que par exemple, une partie de la première portion 121 et que l'interface entre la deuxième portion 123 et le substrat soient isolés électriquement du substrat. Ceci limite ainsi les courants de fuite.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif optoélectronique (10) comportant un substrat (11) ayant une face support (110) et une pluralité de diodes électroluminescentes (12), chacune étant de forme filaire et formée sur la face support (110) pour être allongée suivant un axe longitudinal (A) sensiblement transversal à la face support (110) du substrat (11), chaque diode électroluminescente (12) comprenant une première zone dopée formée sur la face support (110) par des éléments semi-conducteurs dopés selon un premier type de dopage, une zone active (126) formée dans un matériau actif et une seconde zone dopée (125) formée par des éléments semi-conducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage, la première zone dopée étant constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal (A), d'une première portion (121) centrale sensiblement allongée suivant l'axe longitudinal (A) formée dans un premier matériau à base de nitrure de gallium et d'une seconde portion (123) externe formée dans un second matériau à base de nitrure de gallium et d'aluminium, la seconde portion (123) étant constituée d'une première partie (124a) externe agencée latéralement autour de la première portion (121), tout ou partie de la première partie (124a) présentant une première concentration atomique moyenne en aluminium et d'une seconde partie (124b) inférieure agencée, suivant l'axe longitudinal (A), au moins entre la première partie (124a) de la seconde portion (123) et le substrat (11), tout ou partie de la seconde partie (124b) présentant une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne et adaptée de sorte que la seconde partie (124b) est électriquement isolante.
- [Revendication 2] Dispositif optoélectronique (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le rapport entre la section de la première partie (124a) de la seconde portion (123), prise dans un plan (P) perpendiculaire à l'axe longitudinal (A) et positionné à une distance (D) par rapport à la face support (110), et la section de la première portion (121) prise dans ledit plan (P), diminue lorsque la distance (D) augmente.
- [Revendication 3] Dispositif optoélectronique (10) selon la revendication 2, caractérisé en ce que la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium ponctuelles prises en différents points de la première partie (124a), les concen-

trations atomiques en aluminium ponctuelles pouvant varier dans le plan (P) et selon la distance (D).

[Revendication 4] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 20% et 50%.

[Revendication 5] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que ledit second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau.

[Revendication 6] Procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique (10) comportant une pluralité de diodes électroluminescentes (12) où chacune est de forme filaire allongée suivant un axe longitudinal (A) et comprend une première zone dopée formée sur la face support (110) par des éléments semi-conducteurs dopés selon un premier type de dopage, une zone active (126) formée dans un matériau actif et une seconde zone dopée (125) formée par des éléments semi-conducteurs dopés selon un deuxième type de dopage opposé au premier type de dopage, le procédé comprenant les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat (11) ayant une face support (110), ledit axe longitudinal (A) étant destiné à être sensiblement transversal à ladite face support (110) ;

b) formation, au niveau de ladite face support (110), d'une pluralité de zones (14) chacune étant propice à la formation ultérieure d'au moins l'une des diodes électroluminescentes (12) ;

c) formation de la première zone dopée de chaque diode électroluminescente (12) au niveau de la zone (14) correspondante, l'étape c) étant réalisée de telle manière qu'à l'issue de l'étape c), la première zone dopée est constituée, sur tout ou partie de sa hauteur comptée suivant l'axe longitudinal (A), d'une part d'une première portion (121) centrale sensiblement allongée suivant l'axe longitudinal (A) formée dans un premier matériau à base de nitrure de gallium, et d'autre part d'une seconde portion (123) externe formée dans un second matériau à base de nitrure de gallium et d'aluminium, la seconde portion (123) étant constituée d'une première partie (124a) externe agencée latéralement autour de la première portion (121), tout ou partie de la première partie (124a) présentant une première concentration atomique moyenne en aluminium et d'une seconde partie (124b) inférieure agencée, suivant

l'axe longitudinal (A), entre au moins la première partie (124a) de la seconde portion (123) et le substrat (11), tout ou partie de la seconde partie (124b) présentant une deuxième concentration atomique moyenne en aluminium différente de la première concentration atomique moyenne et adaptée de sorte que la seconde partie (124b) est électriquement isolante ;

d) formation de la zone active (126) de chaque diode électroluminescente (12) ;

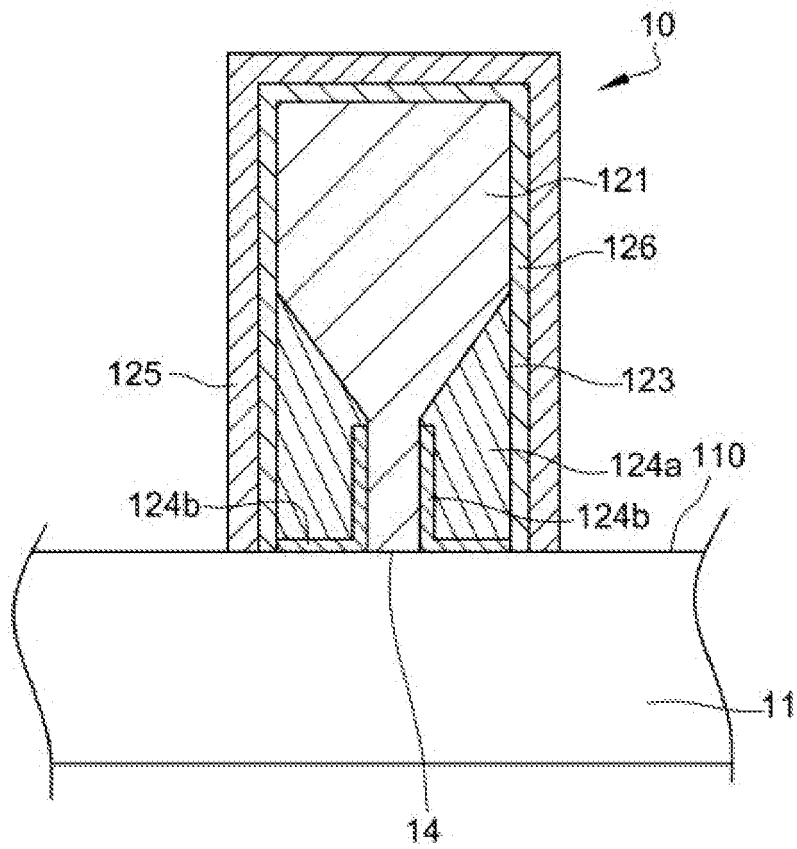
e) formation de la seconde zone dopée (125) de chaque diode électroluminescentes (12).

- [Revendication 7] Procédé de fabrication selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'étape c) est réalisée par épitaxie en utilisant au moins en partie un premier gaz contenant du gallium et un deuxième gaz contenant de l'aluminium et un troisième gaz contenant du silane SiH_4 .
- [Revendication 8] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 6 à 7, caractérisé en ce que l'étape c) est réalisée dans une enceinte dans laquelle règne une température comprise entre 900 et 1100 °C.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que la première partie (124a) de la seconde portion (123), et la seconde partie (124b) de la seconde portion (123) sont obtenues par une première phase de ségrégation lors de l'étape c).
- [Revendication 10] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que la première concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 0,5% et 15% et la deuxième concentration atomique moyenne en aluminium est comprise entre 20% et 50%.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 6 à 10, caractérisé en ce que l'étape c) comprend une deuxième phase de ségrégation de sorte qu'après la deuxième phase de ségrégation, le rapport entre la section de la première partie (124a) de la seconde portion (123), prise dans un plan (P) perpendiculaire à l'axe longitudinal (A) et positionné à une distance (D) par rapport à la face support (110), et la section de la première portion (121) prise dans ledit plan (P), diminue lorsque la distance (D) augmente.
- [Revendication 12] Procédé de fabrication selon la revendication 11, caractérisé en ce que la première concentration atomique moyenne en aluminium correspond à des concentrations atomiques en aluminium ponctuelles prises en différents points de la première partie (124a), les concentrations atomiques en aluminium ponctuelles pouvant varier dans le plan (P) et

selon la distance (D).

- [Revendication 13] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce que la première phase de ségrégation et la deuxième phase de ségrégation sont réalisées au moins en partie en même temps.
- [Revendication 14] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 7 à 13, caractérisé en ce que lors de l'étape c) le deuxième gaz contenant de l'aluminium est injecté avec un débit compris entre 1000 et 2000 sccm et le troisième gaz contenant du silane SiH_4 est injecté avec un débit compris entre 400 et 800 sccm.
- [Revendication 15] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 9 à 14, caractérisé en ce que la première phase de ségrégation est réalisée de telle façon que le second matériau présente la deuxième concentration atomique moyenne au niveau de tout ou partie de son interface avec le premier matériau.

[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

WO 2017/042512 A1 (ALEDIA [FR])
16 mars 2017 (2017-03-16)

WO 2019/002720 A1 (ALEDIA [FR])
3 janvier 2019 (2019-01-03)

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

NEANT