

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

①① N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 089 686

②① N° d'enregistrement national : **18 72710**

⑤① Int Cl⁸ : **H 01 L 33/08 (2019.01)**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Dispositif optoélectronique comportant des pixels émettant trois couleurs.

②② Date de dépôt : 11.12.18.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.06.20 Bulletin 20/24.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 13.11.20 Bulletin 20/46.

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) : Robin Ivan-Christophe.

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

⑦④ Mandataire(s) : Cabinet GERMAIN & MAUREAU.

FR 3 089 686 - B1



Description

Titre de l'invention : Dispositif optoélectronique comportant des pixels émettant trois couleurs

Domaine technique

- [0001] L'invention concerne un dispositif optoélectronique comprenant au moins un pixel, ledit au moins un pixel comportant au moins un sous-pixel primaire comprenant au moins une diode électroluminescente primaire apte à émettre un premier rayonnement lumineux présentant sensiblement une première longueur d'onde et formé sur une surface support d'un substrat.
- [0002] La présente invention concerne également un procédé de fabrication d'un tel dispositif optoélectronique.
- [0003] L'invention trouve une application notamment dans les écrans d'affichage ou les systèmes de projection d'images.

Technique antérieure

- [0004] Par « dispositif optoélectronique », il est entendu dans ce document un dispositif adapté à effectuer la conversion d'un signal électrique en un rayonnement électromagnétique à émettre, notamment de la lumière.
- [0005] Il existe des dispositifs optoélectroniques comportant des diodes électroluminescentes, également connues sous l'acronyme « LED » pour « light-emitting diode » selon la terminologie anglo-saxonne consacrée, formées sur un substrat.
- [0006] Il est connu que chaque diode électroluminescente comprend une couche active exploitant des puits quantiques, une portion semiconductrice dopée selon un premier type de dopage pour jouer le rôle de jonction dopée N et une portion semiconductrice dopée selon un deuxième type de dopage pour jouer le rôle de jonction dopée P.
- [0007] Chaque diode électroluminescente peut être formée sur la base d'éléments semiconducteurs, par exemple obtenus au moins partiellement par épitaxie. Les diodes électroluminescentes sont typiquement formées à base d'un matériau semiconducteur comprenant des éléments de la colonne III et de la colonne V du tableau périodique, tel qu'un composé III-V, notamment le nitrure de gallium (GaN), le nitrure d'indium et de gallium (InGaN) ou le nitrure d'aluminium et de gallium (AlGaN).
- [0008] Afin de former une image, le dispositif optoélectronique peut être organisé en pixels indépendants.
- [0009] Il existe notamment des dispositifs optoélectroniques comportant une matrice de diodes électroluminescentes présentant une certaine surface d'émission au travers de laquelle est transmis les rayonnements lumineux émis par les diodes électroluminescentes. De tels dispositifs optoélectroniques peuvent notamment être utilisés dans la

constitution d'écrans d'affichage ou de systèmes de projection d'images, où la matrice de diodes électroluminescentes définit une matrice de pixels lumineux où chaque pixel comporte une ou plusieurs diodes électroluminescentes. Notamment, chaque pixel comprend classiquement :

- au moins un sous-pixel formé d'au moins une diode électroluminescente apte à générer directement, ou à transmettre par l'intermédiaire d'un convertisseur de lumière adapté, de la lumière bleue,
- au moins un sous-pixel formé d'au moins une diode électroluminescente apte à générer directement, ou à transmettre par l'intermédiaire d'un convertisseur de lumière adapté, de la lumière verte,
- au moins un sous-pixel formé d'au moins une diode électroluminescente apte à générer directement, ou à transmettre par l'intermédiaire d'un convertisseur de lumière adapté, de la lumière rouge.

- [0010] L'une des difficultés est de parvenir à ce que chaque pixel puisse émettre des lumières de différentes couleurs, par exemples bleues, vertes et rouges et ce à partir de matériaux de type GaN, InGaN ou AlGaN qui ne requièrent pas de changement de technique de formation d'un sous-pixel à l'autre et d'un pixel à l'autre.
- [0011] Une première solution connue prévoit que chaque pixel comprenne au moins une diode électroluminescente apte à émettre de la lumière bleue, au moins une diode électroluminescente apte à émettre de la lumière verte et au moins une diode électroluminescente apte à émettre de la lumière rouge. Pour y parvenir, les diodes électroluminescentes qui sont aptes à émettre une lumière dans une couleur donnée sont fabriquées sur un même substrat, cela étant répété séparément pour les trois couleurs. Puis chaque substrat est découpé afin de délimiter des dispositifs individuels. Chaque pixel est alors obtenu par reconstruction afin d'associer de tels dispositifs individuels de manière à disposer des trois couleurs.
- [0012] Cette solution, également connue sous le nom de « pick and place » selon la terminologie anglo-saxonne consacrée, n'est pas optimale car elle engendre de nombreuses manipulations, un temps de fabrication et des coûts élevés, ainsi qu'un nombre de connexions important. Compte tenu de la miniaturisation toujours croissante, cette solution peut même parfois s'avérer malheureusement impossible à mettre en œuvre.
- [0013] D'autre part, généralement la couleur rouge est obtenue à partir du matériau de formule « InGaAIP » mais cette technique présente des inconvénients tels que le fait de présenter une variation importante de la longueur d'onde en fonction de la température, le fait de varier d'efficacité en fonction de la taille des diodes électroluminescentes (l'efficacité diminuant pour des micro diodes inférieures à 30 microns) et le fait que la croissance de ce matériau est délicate.

- [0014] Un autre inconvénient de cette dernière technique est qu'elle implique la présence d'une couche d'isolant électronique intercalaire (souvent du SiO_2) dans l'assemblage des couches. Ceci impose que la formation des reprises de contacts électriques est complexe et peut générer des capacités parasites.
- [0015] Une autre solution consiste à prévoir que les diodes électroluminescentes soient adaptées à émettre une lumière dans les couleurs bleues. Afin que le pixel lumineux puisse émettre dans les couleurs vertes et/ou dans les couleurs rouges, ce dernier peut comporter des plots photoluminescents jouant le rôle de convertisseur de couleur au niveau de certains sous-pixels : chaque plot photoluminescent est conçu de sorte à absorber au moins une partie de la lumière bleue émise par les diodes électroluminescentes et à la convertir en une lumière verte ou rouge. Ces plots photoluminescents sont habituellement formés d'une matrice liante adaptée.
- [0016] Toutefois, cette solution ne donne pas une entière satisfaction car les plots photoluminescents induisent des pertes lumineuses élevées. Généralement, le taux de conversion des plots est en effet compris entre 50% et 80%. De plus, elle reste complexe et assez coûteuse à mettre en œuvre en raison des opérations dédiées à la fabrication des plots photoluminescents.

Exposé de l'invention

- [0017] La présente invention vise à résoudre tout ou partie des inconvénients présentés ci-avant.
- [0018] Dans ce contexte, un objectif est donc de fournir une solution répondant à au moins l'un des objectifs suivants :
- disposer d'une architecture monolithique permettant de générer au moins deux couleurs, voire trois couleurs, dans un même pixel sans manipulation mécanique,
 - proposer une fabrication simple et économique,
 - avoir un rendement lumineux élevé,
 - incorporer des quantités élevées d'Indium, notamment dans une proportion supérieure à 20%, dans des puits quantiques d'InGaN sans dégrader l'efficacité des puits quantiques, notamment pour s'affranchir du recours à de l'InGaAIP,
 - obtenir un arrangement de couches sans isolant électronique intercalaire.
- [0019] Ce but peut être atteint grâce à la mise en œuvre d'un dispositif optoélectronique comprenant au moins un pixel, ledit au moins un pixel comportant au moins un sous-pixel primaire comprenant au moins une diode électroluminescente primaire apte à émettre un premier rayonnement lumineux présentant sensiblement une première longueur d'onde et formé sur une surface support d'un substrat, le sous-pixel primaire comprenant :
- au moins un premier empilement primaire comportant au moins deux premières

couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement primaire étant formé sur tout ou partie de la surface support ;

- au moins une première couche active primaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement primaire, ladite au moins une première couche active primaire comportant au moins un premier puits quantique ;

- au moins un deuxième empilement primaire formé en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire et comportant au moins deux deuxième couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$, séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

- au moins une deuxième couche active primaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du deuxième empilement primaire et comportant au moins un deuxième puits quantique ;

- une première couche de jonction primaire formée sur la deuxième couche active primaire et en contact de la deuxième couche active primaire, la première couche de jonction primaire étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la deuxième couche active primaire est apte à émettre ledit premier rayonnement lumineux.

[0020] Certains aspects préférés mais non limitatifs du dispositif optoélectronique sont les suivants.

[0021] Le sous-pixel primaire comprend d'une part une deuxième couche de jonction primaire formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire et dopée selon ledit deuxième type de dopage, d'autre part une première jonction tunnel primaire formée entre tout ou partie du deuxième empilement primaire et tout ou partie de la deuxième couche de jonction primaire.

[0022] Le sous-pixel primaire comprend au moins une couche tampon semiconductrice formée sur la surface support du substrat et sur laquelle tout ou partie du premier empilement primaire est formé.

[0023] La première longueur d'onde du premier rayonnement lumineux apte à être émis par la deuxième couche active primaire est comprise entre 500 et 580 nm de sorte que le premier rayonnement lumineux est sensiblement de couleur verte.

- [0024] Le sous-pixel primaire comprend des premiers contacts électriques primaires connectés électriquement avec la première couche de jonction primaire et des seconds contacts électriques primaires connectés électriquement avec ledit au moins un deuxième empilement primaire.
- [0025] Ledit au moins un pixel comprend au moins un sous-pixel secondaire formé sur la surface support du substrat en étant décalé du sous-pixel primaire dans un plan général orienté parallèlement au plan de la surface support du substrat, le sous-pixel secondaire comprenant au moins une diode électroluminescente secondaire apte à émettre un deuxième rayonnement lumineux présentant sensiblement une deuxième longueur d'onde, le sous-pixel secondaire comportant :
- au moins un premier empilement secondaire comportant au moins deux premières couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement secondaire étant formé sur tout ou partie de la surface support ;
 - au moins une première couche active secondaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement secondaire, ladite au moins une première couche active secondaire comportant au moins un premier puits quantique ;
 - au moins un deuxième empilement secondaire formé en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active secondaire et comportant au moins deux deuxièmes couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$, séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
 - au moins une deuxième couche active secondaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du deuxième empilement secondaire et comportant au moins un deuxième puits quantique ;
 - au moins un troisième empilement secondaire formé en tout ou partie sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire et comportant au moins deux troisièmes couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ où $0,2 \leq y \leq 0,35$, séparées deux à deux au moins par une troisième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des troisièmes couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
 - au moins une troisième couche active secondaire formée en tout ou partie sur tout

ou partie du troisième empilement secondaire et comportant au moins un troisième puits quantique ;

- une première couche de jonction secondaire formée sur la troisième couche active secondaire et en contact de la troisième couche active secondaire, la première couche de jonction secondaire étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la troisième couche active secondaire est apte à émettre ledit deuxième rayonnement lumineux.

[0026] Le sous-pixel secondaire comprend :

- une deuxième couche de jonction secondaire formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active secondaire et dopée selon ledit deuxième type de dopage,

- une première jonction tunnel secondaire formée entre tout ou partie du deuxième empilement secondaire et tout ou partie de la deuxième couche de jonction secondaire,

- une troisième couche de jonction secondaire formée en tout ou partie sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire et dopée selon ledit deuxième type de dopage,

- une deuxième jonction tunnel secondaire formée entre tout ou partie du troisième empilement secondaire et tout ou partie de la troisième couche de jonction secondaire.

[0027] Le sous-pixel secondaire comprend au moins une couche tampon semiconductrice formée sur la surface support du substrat et sur laquelle tout ou partie du premier empilement secondaire est formé.

[0028] La deuxième longueur d'onde du deuxième rayonnement lumineux apte à être émis par la troisième couche active secondaire est comprise entre 590 et 680 nm de sorte que le deuxième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur rouge.

[0029] Le sous-pixel secondaire comprend des premiers contacts électriques secondaires connectés électriquement avec la première couche de jonction secondaire et des seconds contacts électriques secondaires connectés électriquement avec ledit au moins un troisième empilement secondaire.

[0030] Ledit au moins un pixel comprend au moins un sous-pixel tertiaire formé sur la surface support du substrat en étant décalé du sous-pixel primaire dans un plan général orienté parallèlement au plan de la face support du substrat, le sous-pixel tertiaire comprenant au moins une diode électroluminescente tertiaire apte à émettre un troisième rayonnement lumineux présentant sensiblement une troisième longueur d'onde, le sous-pixel tertiaire comportant :

- au moins un premier empilement tertiaire comportant au moins deux premières couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de

nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement tertiaire étant formé sur tout ou partie de la surface support ;

- au moins une couche active tertiaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement tertiaire, ladite au moins une couche active tertiaire comportant au moins un puits quantique ;

- une couche de jonction tertiaire formée sur la couche active tertiaire et en contact de la couche active tertiaire, la couche de jonction tertiaire étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la couche active tertiaire est apte à émettre ledit troisième rayonnement lumineux.

[0031] Le sous-pixel tertiaire comprend :

- au moins un deuxième empilement tertiaire formé en tout ou partie sur tout ou partie de la couche de jonction tertiaire et comportant au moins deux deuxième couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

- et une jonction tunnel tertiaire formée entre tout ou partie du deuxième empilement tertiaire et tout ou partie de la couche de jonction tertiaire.

[0032] Le sous-pixel tertiaire comprend au moins une couche tampon semiconductrice formée sur la surface support du substrat et sur laquelle tout ou partie du premier empilement tertiaire est formé.

[0033] La troisième longueur d'onde du troisième rayonnement lumineux apte à être émis par la couche active tertiaire est comprise entre 400 et 490 nm de sorte que le troisième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur bleue.

[0034] Le sous-pixel tertiaire comprend des premiers contacts électriques tertiaires connectés électriquement avec la couche de jonction tertiaire et des seconds contacts électriques tertiaires connectés électriquement avec ledit au moins un premier empilement tertiaire.

[0035] Ledit au moins un sous-pixel primaire est isolé électriquement par rapport à tout autre sous-pixel par l'intermédiaire d'une tranchée isolante orientée transversalement par rapport au plan général orienté parallèlement au plan de la face support du substrat.

[0036] Au moins un des contacts électriques choisi parmi les seconds contacts électriques tertiaires et le second contact électrique secondaire est en contact électrique direct avec au moins un élément choisi parmi les couches tampons semiconductrices et les

premiers empilements.

[0037] L'invention porte également sur un procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique, comportant une phase de formation d'au moins un sous-pixel primaire incluant les étapes suivantes :

- a) formation d'un substrat ayant une surface support ;
- b) formation d'une couche tampon semiconductrice sur la face support du substrat ;
- c) formation d'au moins un premier empilement primaire comportant au moins deux premières couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$ et séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement primaire étant formé sur tout ou partie de la couche tampon semiconductrice ;
- d) formation d'au moins une première couche active primaire formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement primaire, ladite au moins une première couche active primaire comportant au moins un premier puits quantique ;
- e) formation, sur tout ou partie de la première couche active primaire, de tout ou partie d'au moins un deuxième empilement primaire comportant au moins deux deuxièmes couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
- f) formation, sur tout ou partie du deuxième empilement primaire, de tout ou partie d'au moins une deuxième couche active primaire comportant au moins un deuxième puits quantique ;
- g) formation de tout ou partie d'une première couche de jonction primaire sur et en contact de la deuxième couche active primaire et dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent du premier type de dopage, de telle sorte que la deuxième couche active primaire est apte à émettre un premier rayonnement lumineux présentant sensiblement une première longueur d'onde.

[0038] Certains aspects préférés mais non limitatifs du procédé de fabrication sont les suivants.

[0039] La phase de formation du sous-pixel primaire comprend une étape h) de formation de tout ou partie d'une deuxième couche de jonction primaire dopée selon ledit deuxième type de dopage sur tout ou partie de la première couche active primaire et d'une jonction tunnel primaire entre tout ou partie du deuxième empilement primaire et tout

ou partie de la deuxième couche de jonction primaire.

[0040] La phase de formation du sous-pixel primaire comprend une étape i) de formation de premiers contacts électriques primaires connectés électriquement avec la première couche de jonction primaire et de seconds contacts électriques primaires connectés électriquement avec ledit au moins un deuxième empilement primaire.

[0041] Le procédé comporte une phase de formation d'au moins un sous-pixel secondaire comportant les étapes suivantes :

j) formation d'une couche tampon semiconductrice sur la surface support du substrat ;

k) formation d'au moins un premier empilement secondaire comportant au moins deux premières couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$ séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement secondaire étant formé sur tout ou partie de la couche tampon semiconductrice;

l) formation de tout ou partie d'au moins une première couche active secondaire sur tout ou partie du premier empilement secondaire, ladite au moins une première couche active secondaire comportant au moins un premier puits quantique ;

m) formation de tout ou partie d'au moins un deuxième empilement secondaire sur tout ou partie de la première couche active secondaire, ledit au moins un deuxième empilement secondaire comportant au moins deux deuxième couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

n) formation de tout ou partie d'au moins une deuxième couche active secondaire sur tout ou partie du deuxième empilement secondaire, ladite au moins une couche active comportant au moins un deuxième puits quantique ;

o) formation de tout ou partie d'au moins un troisième empilement secondaire sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire, ledit au moins un troisième empilement secondaire comportant au moins deux troisième couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ où $0,2 \leq y \leq 0,35$ séparées au moins par une troisième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des troisième couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

p) formation de tout ou partie d'au moins une troisième couche active secondaire, sur tout ou partie du troisième empilement secondaire, comportant au moins un troisième

puits quantique ;

q) formation de tout ou partie d'au moins une première couche de jonction secondaire sur et en contact de la troisième couche active secondaire, ladite au moins une première couche de jonction secondaire étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent du premier type de dopage, de telle sorte que la troisième couche active secondaire est apte à émettre un deuxième rayonnement lumineux présentant sensiblement une deuxième longueur d'onde.

[0042] La phase de formation du sous-pixel secondaire comprend une étape r) de formation de tout ou partie d'au moins une deuxième couche de jonction secondaire sur tout ou partie de la première couche active secondaire où la deuxième couche de jonction secondaire est dopée selon ledit deuxième type de dopage et de tout ou partie d'au moins une première jonction tunnel secondaire entre tout ou partie du deuxième empilement secondaire et tout ou partie de la deuxième couche de jonction secondaire, et une étape s) de formation de tout ou partie d'au moins une troisième couche de jonction secondaire dopée selon ledit deuxième type de dopage sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire et d'une deuxième jonction tunnel secondaire entre tout ou partie du troisième empilement secondaire et tout ou partie de la troisième couche de jonction secondaire.

[0043] La phase de formation du sous-pixel secondaire comprend une étape t) de formation de premiers contacts électriques secondaires connectés électriquement avec la première couche de jonction secondaire et de seconds contacts électriques secondaires connectés électriquement avec ledit au moins un troisième empilement secondaire.

[0044] Le procédé comprend une phase de formation d'au moins un sous-pixel tertiaire comportant les étapes suivantes :

u) formation d'une couche tampon semiconductrice sur la surface support du substrat ;

v) formation d'au moins un premier empilement tertiaire comportant au moins deux premières couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$ séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement tertiaire étant formé sur tout ou partie de la couche tampon semiconductrice;

w) formation d'au moins une couche active tertiaire en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement tertiaire, ladite au moins une couche active tertiaire comportant au moins un puits quantique ;

x) formation d'au moins une couche de jonction tertiaire sur et en contact de la

couche active tertiaire et dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la couche active tertiaire est apte à émettre un troisième rayonnement lumineux présentant sensiblement une troisième longueur d'onde.

- [0045] La phase de formation du sous-pixel tertiaire comprend les étapes suivantes :
- y) formation d'au moins un deuxième empilement tertiaire en tout ou partie sur tout ou partie de la couche de jonction tertiaire et comportant au moins deux deuxième couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
 - z) formation d'une jonction tunnel tertiaire entre tout ou partie du deuxième empilement tertiaire et tout ou partie de la couche de jonction tertiaire.

- [0046] La phase de formation du sous-pixel tertiaire comprend une étape z1) de formation de premiers contacts électriques tertiaires connectés électriquement avec la couche de jonction tertiaire et de seconds contacts électriques tertiaires connectés électriquement avec ledit au moins un premier empilement tertiaire.

- [0047] Tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel primaire est mise en œuvre durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel secondaire et/ou durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel tertiaire.

Brève description des dessins

- [0048] 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 :

- [0049] [fig.1]

est une vue schématique en coupe d'un exemple de réalisation d'un empilement de couches pouvant être utilisé dans les figures suivantes.

- [0050] [fig.2]

est une vue schématique en coupe, au niveau d'un sous-pixel, d'un exemple de réalisation d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

- [0051] [fig.3]

est une vue schématique en coupe, au niveau d'un sous-pixel, d'un autre exemple de réalisation d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

- [0052] [fig.4]

est une vue schématique en coupe, au niveau d'un sous-pixel, d'un autre exemple de réalisation d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0053] [fig.5]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une première étape d'un premier exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0054] [fig.8]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une deuxième étape du premier exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0055] [fig.10]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une troisième étape du premier exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0056] [fig.6]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une première étape d'un second exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0057] [fig.7]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une deuxième étape du second exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0058] [fig.9]

est une vue schématique en coupe, au niveau de trois sous-pixels, d'une troisième étape du second exemple de procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique selon l'invention.

[0059] **EXPOSE DETAILLE DE MODES DE REALISATION PARTICULIERS**

[0060] Sur les figures et dans la suite de la description, les éléments identiques ou similaires sont repérés par des références identiques, pour simplifier la lecture et la compréhension. De plus, les différents éléments ne sont pas représentés à l'échelle de manière à privilégier la clarté des figures. Par ailleurs, les différents modes de réalisation et variantes ne sont pas exclusifs les uns des autres et peuvent être combinés entre eux.

[0061] Dans la suite de la description, sauf indication contraire, les termes "sensiblement", "environ" et "de l'ordre de" signifient "à 10 % près".

[0062] La figure 1 représente un exemple de réalisation d'un empilement de couches minces décrites ci-après, cet empilement étant noté « E » et pouvant servir à la constitution d'un premier empilement primaire 103a, d'un deuxième empilement primaire 105a ou

d'un troisième empilement primaire 107a détaillés plus loin. Alternativement ou de manière combinée, l'empilement E peut être utilisé pour la constitution d'un premier empilement secondaire 103, d'un deuxième empilement secondaire 105 ou d'un troisième empilement secondaire 107 détaillés plus loin et/ou pour la constitution d'un premier empilement tertiaire 103b ou d'un deuxième empilement tertiaire 105b.

[0063] A l'image de l'empilement E schématisé sur la figure 1, chacun des empilements primaires 103a, 105a, 107a, des empilements secondaires 103, 105, 107 et des empilements tertiaires 103b, 105b comporte au moins deux couches principales notées « 100b » formées en nitrure d'indium et de gallium, ce matériau étant de formule « InGaN ». Ces deux couches 100b sont séparées deux à deux au moins par une couche intermédiaire notée « 100a » formée en nitrure de gallium, de formule « GaN ». Dans l'empilement E, au moins l'une des couches principales 100b est dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P. Le mode de réalisation illustré sur la figure 1, qui met en œuvre sept couches principales 100b et six couches intermédiaires 100a, voire en plus deux couches supplémentaires respectivement supérieure et inférieure identiques aux couches intermédiaires 100a, est toutefois non limitatif et illustré uniquement à titre d'exemple pour faciliter la compréhension de l'invention. En effet, le nombre des couches 100a et 100b peut être variable en fonction des besoins. Pour être efficaces, les empilements primaires 103a, 105a, 107a, les empilements secondaires 103, 105, 107 ou les empilements tertiaires 103b, 105b peuvent contenir au minimum deux couches principales 100b et une couche intermédiaire 100a. Mais chacun des empilements susmentionnés peut comprendre par exemple jusqu'à environ cinquante couches principales 100b et environ cinquante couches intermédiaires 100a. Les proportions en Indium peuvent varier d'une couche principale à une autre.

[0064] Chacun des empilements primaires 103a, 105a, 107a est notamment configuré de sorte à pouvoir servir de base à la fabrication ultérieure de couches actives primaires 104a, 106a d'un sous-pixel primaire 112 d'un dispositif optoélectronique 10. De manière complémentaire, chacun des empilements secondaires 103, 105, 107 est notamment configuré de sorte à pouvoir servir de base à la fabrication ultérieure de couches actives secondaires 104, 106, 108 d'un sous-pixel secondaire 111 du dispositif optoélectronique 10. En complément ou en substitution, les empilements tertiaires 103b, 105b peuvent notamment être configurés de sorte à pouvoir servir de base à la fabrication ultérieure de couches actives tertiaires 104b d'un sous-pixel tertiaire 113 du dispositif optoélectronique 10. Etant intercalés entre les couches actives, les empilements primaires, secondaires et tertiaires permettent avantageusement de pouvoir obtenir des couches actives de concentration en Indium différentes au sein d'un même sous-pixel et ce par relaxation progressive des contraintes.

- [0065] L'invention trouvera une application notamment dans la fabrication d'écrans d'affichage ou de systèmes de projection d'images sur la base d'un tel dispositif opto-électronique 10.
- [0066] Une couche principale 100b peut contenir une proportion d'Indium selon la formule $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ où w est supérieur ou égal à 0 et inférieur à 1. Cependant, dans la pratique, si la couche d' $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ a des proportions d'Indium dépassant 25%, pour des épaisseurs importantes et si la couche sur laquelle est obtenue ladite couche active contient une proportion d'indium très différente de la proportion d'indium contenue dans la couche active, cela pourrait éventuellement engendrer des défauts structuraux pénalisants. Pour pallier à cela, les empilements primaires 103a, 105a, 107a, les empilements secondaires 103, 105, 107 ou les empilements tertiaires 103b, 105b peuvent optionnellement alterner plusieurs couches principales 100b de faibles épaisseurs entre 0,5 nm et 15 nm et plusieurs couches intermédiaires 100a de faibles épaisseurs 0,5 nm et 15 nm. Cela permet avantageusement d'obtenir des proportions d'Indium pouvant atteindre 50% et de permettre de limiter les désaccords de maille. Un premier empilement primaire 103a, ou un premier empilement secondaire 103 ou un premier empilement tertiaire 103b peut ainsi avantageusement contenir une proportion d'Indium telle que des couches actives primaires 104a ou des couches actives secondaires 104 ou des couches actives tertiaires 104b obtenues sur ces premiers empilements 103a, 103, 103b peuvent par exemple contenir une proportion d'Indium permettant de générer une couleur sensiblement rouge ou verte ou bleue.
- [0067] A titre d'exemple, chaque couche principale 100b d'InGaN présente une épaisseur comprise entre 5 nm et 9 nm et chaque couche intermédiaire 100a de GaN présente une épaisseur comprise 0,5 nm et 1 nm.
- [0068] Avantageusement, les premiers empilements primaires 103a, les premiers empilements secondaires 103 ou les premiers empilements tertiaires 103b contiennent une proportion d'Indium telle que $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où z est supérieur ou égal à 0 et est inférieur à 0,1. Ainsi, les couches actives primaires 104a ou les couches actives secondaires 104 ou les couches actives tertiaires 104b formées sur ces premiers empilements primaires 103a, ces premiers empilements secondaires 103 ou ces premiers empilements tertiaires 103b, respectivement, peuvent par exemple contenir une proportion d'Indium permettant de générer une couleur sensiblement bleue.
- [0069] Avantageusement, les deuxièmes empilements primaires 105a, les deuxièmes empilements secondaires 105 ou les deuxièmes empilements tertiaires 105b contiennent une proportion d'Indium telle que $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où x est supérieur ou égal à 0,1 et est inférieur à 0,2. Ainsi, les couches actives primaires 106a et les couches actives secondaires 106 formées respectivement sur ces deuxièmes empilements primaires 105a ou sur ces deuxièmes empilements secondaires 105 peuvent par exemple contenir une

proportion d'Indium permettant de générer une couleur sensiblement verte.

- [0070] Avantageusement, les troisièmes empilements primaires 107a ou les troisièmes empilements secondaires 107 contiennent une proportion d'Indium telle que $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ où y est supérieur ou égal à 0,2 et est inférieur à 0,35. Ainsi, les couches actives primaires 108 formées sur les troisièmes empilements secondaires 107 peuvent par exemple contenir une proportion d'Indium permettant de générer une couleur sensiblement rouge.
- [0071] Dans un exemple, la concentration en Indium de la première couche active secondaire 104 est supérieure ou égale à la concentration en Indium d'au moins l'une des premières couches principales 100b du premier empilement secondaire 103.
- [0072] Dans un autre exemple, la concentration en Indium de la deuxième couche active secondaire 106 est supérieure ou égale à la concentration en Indium d'au moins l'une des deuxièmes couches principales 100b du deuxième empilement secondaire 105.
- [0073] Dans un autre exemple, la concentration en Indium de la troisième couche active secondaire 108 est supérieure ou égale à la concentration en Indium d'au moins l'une des troisièmes couches principales 100b du troisième empilement secondaire 107.
- [0074] Les couches principales 100b et/ou les couches intermédiaires 100a peuvent être dopées selon un premier type de dopage (typiquement un dopage de type P pour jouer le rôle de partie dopée P d'une jonction P-N ou un dopage de type N pour jouer le rôle de partie dopée N d'une jonction P-N) ou selon un deuxième type de dopage (opposé au premier type de dopage décrit ci-avant : il s'agit d'un dopage de type P si le premier type de dopage est un dopage N, ou d'un dopage de type N si le premier type de dopage est un dopage P).
- [0075] A titre d'exemple, le dopant peut être choisi 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 de 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.
- [0076] Avantageusement, au sein d'un même sous-pixel donné, la formation d'un troisième empilement 107 formé sur un deuxième empilement 105, 105a lui-même formé sur un premier empilement 103, 103a, 103b pour fabriquer ce sous-pixel, permet de générer la couleur rouge, sans utiliser le matériau de formule InGaAlP , par adaptation progressive de paramètres de maille et par diminution des contraintes. Cela permet d'utiliser également un même procédé de fabrication pour obtenir trois couleurs différentes en trois sous-pixels différents obtenus en même temps et par des mêmes techniques sur un même substrat, permettant de limiter considérablement le nombre de manipulation, le temps de fabrication, le nombre de connexions et/ou le nombre de tests. Cela permet également de s'affranchir de la nécessité de recourir à des convertisseurs de couleurs,

facilitant encore la fabrication et permettant d'atteindre de très bons rendements lumineux.

[0077] Dans ce document, la notion de « primaire » fait uniquement référence à un premier sous-pixel d'un pixel donné, ce premier sous-pixel étant destiné à émettre une lumière selon une première couleur. La notion de « secondaire » fait uniquement référence à un deuxième sous-pixel du pixel, ce deuxième sous-pixel étant destiné à émettre une lumière selon une deuxième couleur différente de la première couleur. La notion de « tertiaire » fait uniquement référence à un troisième sous-pixel du pixel, ce troisième sous-pixel étant destiné à émettre une lumière selon une troisième couleur différente de la première couleur et de la deuxième couleur. Autrement dit, les termes « primaire », « secondaire » et « tertiaire » n'induisent aucune notion d'ordre de fabrication ou d'ordre d'importance entre les différents sous-pixels.

[0078] D'autre part, le dispositif optoélectronique 10 selon l'invention, qui peut comprendre une pluralité de pixels où chaque pixel comprend différents sous-pixels capables d'émettre à des lumières différentes et où chaque sous-pixel comprend lui-même une ou plusieurs diodes électroluminescentes, est tel qu'un pixel donné peut comprendre au moins un sous-pixel primaire 112 tel que détaillé plus loin et illustré sur les figures, voire également en plus au moins un sous-pixel secondaire 111 tel que détaillé plus loin et illustré sur les figures et/ou au moins un sous-pixel tertiaire 113 tel que détaillé plus loin et illustré sur les figures. Autrement dit, en plus d'au moins un sous-pixel primaire 112, le pixel peut comprendre :

- un sous-pixel tertiaire 113 indépendamment de la présence ou non d'un sous-pixel secondaire 111,

- un sous-pixel secondaire 111 indépendamment de la présence ou non d'un sous-pixel tertiaire 113.

[0079] La figure 2 illustre un mode de réalisation d'un sous-pixel secondaire 111. Le sous-pixel secondaire 111 est formé par la superposition, sur un substrat 101, d'au moins un empilement secondaire 103, d'une couche active secondaire 104, d'au moins un deuxième empilement secondaire 105, d'au moins une deuxième couche active secondaire 106, d'au moins un troisième empilement secondaire 107, d'au moins une troisième couche active secondaire 108 et d'au moins une première couche de jonction secondaire 109b dopée selon un deuxième type de dopage avantageusement P. Par « formé », il est entendu que l'empilement secondaire 103 peut être formé directement sur la face supérieure 110 du substrat 101 ou peut être formé indirectement sur celle-ci avec interposition au moins d'une couche tampon 102 semiconductrice formée sur la face support 101.

[0080] Comme montré sur la figure 10, en réalisant des premiers contacts électriques secondaires 131, 131i connectés électriquement avec la première couche de jonction se-

conductive 109b, et des seconds contacts électriques secondaires 131a, 132 connectés électriquement avec au moins un troisième empilement secondaire 107, il est possible d'obtenir, par une stimulation électrique appropriée, une émission de lumière d'un deuxième rayonnement lumineux préférentiellement rouge depuis la troisième couche active secondaire 108. Typiquement, la deuxième longueur d'onde du deuxième rayonnement lumineux apte à être émis par la troisième couche active secondaire 108 est comprise entre 590 et 700 nm de sorte que le deuxième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur rouge.

- [0081] Par « connecté électriquement », il est entendu que des électrons ou des trous peuvent passer depuis les contacts électriques jusqu'à atteindre les couches concernées et ceci à travers une ou plusieurs couches. Autrement dit, les électrons étant beaucoup plus mobiles que les trous, lorsqu'une différence de potentiels positive est appliquée entre la première couche de jonction secondaire 109b et la couche tampon 102 semiconductrice, les trous circulant de la première couche de jonction secondaire 109b vers la couche tampon 102 semiconductrice restent dans la troisième couche active secondaire 108 alors que les électrons circulant de la première couche de jonction secondaire 109b vers la couche tampon 102 semiconductrice peuvent traverser les couches ou empilements 103, 104, 105, 106 et 107 pour se recombinaisonner avec les trous dans la couche active secondaire 108. Les recombinaisons ont lieu dans la zone active la plus proche de la couche p. Ainsi, il n'y a pas exactement le même potentiel électrique entre la couche tampon 102 semiconductrice et le troisième empilement secondaire 107. Il en est de même pour le sous-pixel 112.
- [0082] Dans un exemple, au moins un des contacts électriques choisi parmi les seconds contacts électriques tertiaires 131e, 132i et les seconds contacts électriques secondaires 132 est en contact électrique direct avec au moins un élément choisi parmi les couches tampon 102, 102a, 102b semiconductrices et les premiers empilements 103a, 103, 103b. Par « contact électrique direct », il est entendu ici que l'élément conducteur faisant contact électrique est agencé sur et en contact mécanique avec l'élément à contacter électriquement.
- [0083] Le substrat 101 peut être transparent au rayonnement lumineux concerné, par exemple être en un matériau isolant ou semiconducteur comme par exemple de l' Al_2O_3 ou du saphir ou du ZnO. L'étape de formation du substrat n'est pas limitative en soi et il peut être envisagé de mettre en œuvre toute technique connue à cet effet.
- [0084] Par « transparent », il est entendu que le substrat 101 est tel qu'il peut être traversé avec une absorption nulle ou faible par des rayons lumineux du domaine visible et/ou de l'ultraviolet. Il peut également être prévu la formation d'une couche de nucléation (non représentée) apte à favoriser la croissance de couches semiconductrices, par exemple de GaN, entre le substrat 101 et la couche tampon 102 semiconductrice proprement

dite.

- [0085] Dans un exemple, le substrat 101 est transparent au premier rayonnement lumineux et/ou au deuxième rayonnement lumineux et/ou au troisième rayonnement lumineux.
- [0086] Le substrat 101 peut contenir des parties conductrices (non représentées) aptes à constituer des électrodes pour les sous-pixels.
- [0087] Le substrat 101 peut être obtenu en formant un substrat non-transparent, par exemple en silicium ou en GaAs, et par exemple en le gravant en tout ou partie ou en le retirant au moyen, par exemple, d'une étape intermédiaire de collage.
- [0088] La couche tampon 102 semiconductrice, est telle qu'elle permet l'adaptation des paramètres de maille et la relaxation des contraintes entre le substrat 101 et les premiers empilements secondaires 103, les premiers empilements tertiaires 103b ou les premiers empilements primaires 103a ou les premières couches actives 104, 104a, 104b. Elle peut être composée de nitrure de gallium de plusieurs microns d'épaisseur. Alternativement, elle peut être composée d'une alternance de couches de nitrure de gallium et de nitrure d'aluminium. De façon générale, les couches tampon semiconductrices, repérées 102a, 102, 102b respectivement pour les sous-pixels primaires 112, les sous-pixels secondaires 111 et les sous-pixels tertiaires 113, peuvent être issues d'une seule couche continue déposée initialement sur tout ou partie du substrat 101 puis mise en forme ultérieurement.
- [0089] Selon un exemple, la première couche active secondaire 104 peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques unitaires ou multiples. Elle est par exemple constituée d'une alternance de couches de GaN et de InGaN ayant des épaisseurs respectives de 5 à 20 nm (par exemple 8 nm) et de 1 à 15 nm (par exemple 2,5 nm). Les couches de GaN peuvent être dopées, par exemple de type N ou P. Selon un autre exemple, la couche active peut comprendre une seule couche d'InGaN, par exemple d'épaisseur supérieure à 10 nm. Préférentiellement, la proportion d'Indium dans la première couche active secondaire 104 est supérieure à la proportion d'Indium dans le premier empilement secondaire 103. Dans un exemple, la proportion d'Indium dans les couches principales des premiers empilements primaires, secondaires et tertiaires 103a, 103, 103b est comprise entre 0 et 10 % (ce qui peut se traduire par l'expression $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$). La proportion d'Indium dans les puits quantiques de la première couche active secondaire 104 peut alors être supérieure ou égale à 10 %, préférentiellement entre 15% et 25%.
- [0090] Selon un exemple, la deuxième couche active secondaire 106 peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques multiples. Elle est par exemple constituée d'une alternance de couches de GaN et de InGaN ayant des épaisseurs respectives de 5 à 20 nm (par exemple 8 nm) et de 1 à 15 nm (par exemple 2,5 nm). Les couches de GaN peuvent être dopées, par exemple de

- type N ou P. Selon un autre exemple, la deuxième couche active secondaire 106 peut comprendre une seule couche d'InGaN, par exemple d'épaisseur supérieure à 10 nm.
- [0091] Préférentiellement, la proportion d'indium dans la deuxième couche active secondaire 106 est supérieure à la proportion d'Indium dans le deuxième empilement secondaire 105.
- [0092] Dans un exemple, la proportion d'Indium dans les couches principales 100b du deuxième empilement secondaire 105 est comprise entre 10 et 20 % (ce qui peut se traduire par l'expression $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$). La proportion d'Indium dans les puits quantiques de la deuxième couche active 106 peut alors être supérieure ou égale à 22%, préférentiellement entre 22% et 35%.
- [0093] La troisième couche active secondaire 108 est la couche depuis laquelle est émise une partie du rayonnement rouge fourni par le pixel. Selon un exemple, la troisième couche active secondaire 108 peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques multiples. Elle est par exemple constituée d'une alternance de couches de GaN et de InGaN ayant des épaisseurs respectives de 5 à 20 nm (par exemple 8 nm) et de 1 à 15 nm (par exemple 2,5 nm). Les couches de GaN peuvent être dopées, par exemple de type N ou P. Selon un autre exemple, la troisième couche active secondaire 108 peut comprendre une seule couche d'InGaN, par exemple ayant une épaisseur supérieure à 10 nm.
- [0094] Préférentiellement, la proportion d'Indium dans la troisième couche active secondaire 108 est supérieure ou égale à la proportion d'Indium dans le troisième empilement secondaire 107.
- [0095] Dans un exemple, la proportion d'Indium dans les couches principales 100b du troisième empilement secondaire 107 est comprise entre 20 et 35 % (ce qui peut se traduire par l'expression $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ avec $0,2 \leq y \leq 0,35$). La proportion d'Indium dans les puits quantiques de la troisième couche active secondaire 108 peut alors être supérieure ou égale à 30 %, préférentiellement comprise entre 30% et 50% pour obtenir une émission de lumière rouge.
- [0096] La première couche de jonction secondaire 109b est une couche semiconductrice, composée par exemple de GaN, d'InGaN ou d'un empilement de plusieurs de ces deux matériaux. Cette couche peut être dopée selon un dopage P si le premier type de dopage du premier empilement est dopé N ou dopée N si le premier type de dopage du premier empilement est de type P. La première couche de jonction secondaire 109b permet de former la seconde partie dopée d'une jonction P-N ou P-I-N.
- [0097] Avantageusement, la première couche de jonction secondaire 109b est composée de GaN dopé selon un dopage P car, associé à des couches d'InGaN, cela permet de ne pas utiliser de couche d'isolant intercalaire (encore appelée couche d'arrêt électronique ou « electron blocking layer » selon la terminologie anglo-saxonne appropriée).

- [0098] Les figures 3 et 4 illustrent un autre mode de réalisation d'un sous-pixel secondaire 111. Le sous-pixel secondaire 111 est formé par la superposition, sur un substrat 101, d'une couche tampon 102 semiconductrice obtenue sur tout ou partie de la face support 110 du substrat 101, d'au moins un premier empilement secondaire 103, d' au moins une première couche active secondaire 104, d'au moins un deuxième empilement secondaire 105, d'au moins une deuxième couche active secondaire 106, d'au moins un troisième empilement secondaire 107, d'au moins une troisième couche active secondaire 108 et d'au moins une première couche de jonction secondaire 109b dopée selon un deuxième type de dopage avantageusement P. Le sous-pixel secondaire 111 comprend également une deuxième couche de jonction secondaire 109 formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active secondaire 104 et dopée selon le deuxième type de dopage, d'autre part une première jonction tunnel secondaire 121 formée entre tout ou partie du deuxième empilement secondaire 105 et tout ou partie de la deuxième couche de jonction secondaire 109. Le sous-pixel secondaire 111 comprend également une troisième couche de jonction secondaire 109a formée en tout ou partie sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire 106 et dopée selon le deuxième type de dopage. Le sous-pixel secondaire 111 comprend également de façon facultative mais préférée une deuxième jonction tunnel secondaire 122 formée entre tout ou partie du troisième empilement secondaire 107 et tout ou partie de la troisième couche de jonction secondaire 109a.
- [0099] Les jonctions tunnels 121, 122 sont implémentées pour répondre à la problématique de la reprise de contact électrique sur une couche mince de GaN dopé P (notée « P-GaN ») rendue accessible au préalable par gravure plasma. En effet, les ions énergétiques utilisés pour la gravure plasma induisent des défauts dans la couche de P-GaN. Les jonctions tunnels sont obtenues en créant une première zone fortement dopée P (notée « P++-GaN ») et une deuxième zone fortement dopée N (notée « N++-GaN ») obtenue sur la couche P++-GaN. Les trous sont ainsi injectés dans la couche P++-GaN par effet tunnel des électrons entre la bande de valence de la couche P++-GaN et la bande de conduction de la couche N++-GaN. Ainsi, il est possible de reprendre un contact électrique sur une couche dopée N++-GaN plutôt que sur une couche dopée P-GaN ayant subie une gravure plasma.
- [0100] Les deuxièmes et troisièmes couches secondaires de jonction peuvent être dopées P si le premier type de dopage du premier empilement secondaire 103 est dopé N ou dopées N si le premier type de dopage du premier empilement secondaire 103 est de type P.
- [0101] Avantageusement, les premières, deuxièmes et troisièmes couches de jonction secondaires 109b, 109, 109a sont composées de GaN dopé P car cela permet de ne pas utiliser de couche d'isolant intercalaire. Un autre avantage est que cela permet

d'empiler plusieurs jonctions P-N.

- [0102] De façon générale, les différentes couches composant les sous-pixels primaires, secondaires ou tertiaires 112, 111, 113 respectivement, peuvent être obtenues par exemple par épitaxie en utilisant des jets moléculaires (technique connue sous l'acronyme « MBE » pour « Molecular Beam Epitaxy » selon l'expression anglo-saxonne consacrée) ou bien par dépôt métallo-organique chimique en phase vapeur (technique connue sous l'acronyme « MOCVD » pour « Metal Organic Chemical Vapor Deposition » selon l'expression anglo-saxonne consacrée) ou toute autre technique connue et adaptée.
- [0103] Comme illustré sur les figures 7, 9 et 10, des premiers contacts électriques secondaires 131, 131i peuvent être formés et connectés électriquement avec la première couche de jonction secondaire 109b et des seconds contacts électriques secondaires 131a, 132 peuvent être formés et connectés électriquement avec ledit au moins un troisième empilement secondaire 107. Avantageusement, les premiers contacts électriques secondaires 131, 131i sont isolés électriquement par rapport aux seconds contacts électriques secondaires 131a, 132. Par exemple, une couche d'isolant électrique 15 peut les séparer. Il est également possible, dans un autre exemple qui peut être combiné au précédent, de former des tranchées isolantes 14 électriquement sensiblement transversales à la surface support 110.
- [0104] En appliquant une tension entre les premiers contacts électriques secondaires 131 et les seconds contacts électriques secondaires 131a, il est ainsi obtenu l'émission de lumière préférentiellement rouge depuis la troisième couche active secondaire 108.
- [0105] Dans un autre mode de réalisation illustré sur les figures 5, 8 et 10, un sous-pixel primaire 112 est formé par au moins un premier empilement primaire 103a comportant au moins deux premières couches principales 100b de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où z est supérieur ou égal à 0 et est inférieur à 0,1, les premières couches principales 100b étant séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire 100a de nitrure de gallium. Au moins l'une des premières couches principales 100b peut être dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P. Tout ou partie du premier empilement primaire 103a est formé sur tout ou partie de la couche tampon 102a semi-conductrice facultative formée préalablement sur la surface support 110. Au moins une première couche active primaire 104a est formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement primaire 103a. La première couche active primaire 104a peut comporter au moins un puits quantique. Au moins un deuxième empilement primaire 105a est formé en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire 104a. L'empilement primaire 105a comporte au moins deux deuxièmes couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$

où x est supérieur ou égal à 0,1 et est inférieur à 0,2, les deuxièmes couches principales 100b étant séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire 100a de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales 100b étant dopée selon le premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P. Au moins une deuxième couche active primaire 106a est formée en tout ou partie sur tout ou partie du deuxième empilement primaire 105a et elle comporte au moins un deuxième puits quantique. Une première couche de jonction primaire 109d est formée sur la deuxième couche active primaire 106a de sorte à être en contact avec celle-ci. La première couche de jonction primaire 109d est dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, le deuxième type de dopage étant différent du premier type de dopage, de sorte que la deuxième couche active primaire 106a puisse émettre un premier rayonnement lumineux sensiblement vert.

- [0106] La première couche de jonction primaire 109d est une couche semiconductrice composée par exemple de GaN, d'InGaN ou d'un empilement de plusieurs de ces deux matériaux.
- [0107] La couche tampon 102a semiconductrice est telle qu'elle permet l'adaptation des paramètres de maille et la relaxation des contraintes entre le substrat 101 et le premier empilement primaire 103a ou la première couche active primaire 104a. Elle peut être composée de GaN de plusieurs microns d'épaisseur. Alternativement, elle peut être composée d'une alternance de couches de GaN, d'AlN ou encore d'AlGaN.
- [0108] Selon un exemple, la première couche active primaire 104a peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques multiples. Elle est par exemple constituée d'une alternance de couches de GaN et de InGaN ayant des épaisseurs respectives de 5 à 20 nm (par exemple 8 nm) et de 1 à 15 nm (par exemple 2,5 nm). Les couches de GaN peuvent être dopées, par exemple de type N ou P. Selon un autre exemple, la couche active 104a peut comprendre une seule couche d'InGaN, par exemple d'épaisseur supérieure à 10 nm. Préférentiellement, la proportion d'Indium dans la première couche active primaire 104a est supérieure ou égale à la proportion d'Indium dans le premier empilement primaire 103a. Dans un exemple, la proportion d'Indium dans les couches principales 100b des premiers empilements primaires 103a est comprise entre 0 et 10 % (ce qui peut se traduire par l'expression $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$). La proportion d'Indium dans les puits quantiques de la première couche active primaire 104a peut alors être supérieure ou égale à 10%, préférentiellement entre 15% et 22%.
- [0109] Selon un exemple, la deuxième couche active primaire 106a peut comporter des moyens de confinement des porteurs de charge électrique, tels que des puits quantiques multiples. Elle est par exemple constituée d'une alternance de couches de GaN et de

InGaN ayant des épaisseurs respectives de 5 à 20 nm (par exemple 8 nm) et de 1 à 15 nm (par exemple 2,5 nm). Les couches de GaN peuvent être dopées, par exemple de type N ou P. Selon un autre exemple, la deuxième couche active primaire 106a peut comprendre une seule couche d'InGaN, par exemple d'épaisseur supérieure à 10 nm.

- [0110] Préférentiellement, la proportion d'Indium dans la deuxième couche active primaire 106a est supérieure ou égale à la proportion d'indium dans le deuxième empilement primaire 105a.
- [0111] Dans un exemple, la proportion d'indium dans les couches principales 100b du deuxième empilement primaire 105a est comprise entre 10 et 20 % (ce qui peut se traduire par l'expression $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$). La proportion d'Indium dans les puits quantiques de la deuxième couche active primaire 106a peut alors être supérieure ou égale à 25 %, préférentiellement entre 25% et 35%.
- [0112] Des premiers contacts électriques primaires 131b, 131ii peuvent être formés pour être connectés électriquement avec la première couche de jonction primaire 109d et des seconds contacts électriques primaires 131c, 132i pour être connectés électriquement avec le deuxième empilement primaire 105a d'un sous-pixel primaire 112. Les seconds contacts électriques primaires 131c, 132i peuvent être formés directement en contact avec le substrat 101.
- [0113] Avantageusement, les premiers contacts électriques primaires 131b, 131iii sont isolés électriquement par rapport aux seconds contacts électriques secondaires 131a, 132. Par exemple, une couche d'isolant électrique 15 peut les séparer. Il est également possible, dans un autre exemple qui peut être combiné au précédent, de former des tranchées isolantes 14 sensiblement transversales à la surface support 110.
- [0114] Avantageusement, afin de créer au moins une électrode commune à au moins deux sous-pixels 111, 112, 113 au niveau du substrat 101, un matériau isolant électrique 15 est formé dans tout ou partie du volume libre d'au moins une tranchée isolante 14 obtenue précédemment. Une électrode commune à au moins deux sous-pixel 111, 112, 113 est réalisée en formant au moins un des contacts électriques 132, 132i sur tout ou partie de la face support 110 du substrat 101 et/ou à travers tout ou partie du matériau isolant électrique 15 obtenu précédemment. Le substrat 101 peut déjà contenir, à sa formation, des électrodes prédéfinies. Les contacts électriques 132, 132i peuvent alors être connectés lors de leur formation directement à ces électrodes prédéfinies (non représentées). Les contacts électriques 132, 132i peuvent également avantageusement être connectés électriquement aux premiers empilements 103, 103a, 103b et/ou aux couches tampon 102, 102a, 102b semiconductrices. Avantageusement, cette architecture permet d'avoir une électrode commune à au moins deux sous-pixels.
- [0115] En appliquant une tension entre les premiers contacts électriques primaires 131ii et les seconds contacts électriques primaires 132i, il peut être obtenu l'émission de

lumière préférentiellement selon une deuxième longueur d'onde sensiblement verte depuis la deuxième couche active primaire 106a. La première longueur d'onde du premier rayonnement lumineux apte à être émis par la deuxième couche active primaire 106a est comprise entre 500 nm et 550 nm de sorte que le deuxième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur verte.

- [0116] Dans un autre mode de réalisation d'un sous-pixel primaire 112 illustré sur les figures 6, 7 et 9, une deuxième couche de jonction primaire 109c dopée selon le deuxième type de dopage (préférentiellement un dopage de type P) est formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire 104a. La deuxième couche de jonction primaire 109c est une couche semiconductrice composée par exemple de GaN, d'InGaN ou d'un empilement de plusieurs de ces deux matériaux.
- [0117] D'autre part, une première jonction tunnel primaire 121a est formée entre tout ou partie du deuxième empilement primaire 105a et tout ou partie de la deuxième couche de jonction primaire 109c.
- [0118] Facultativement, une deuxième jonction tunnel primaire 122a peut être formée entre tout ou partie du deuxième empilement primaire 106a et tout ou partie de la deuxième couche de jonction primaire 109d.
- [0119] Les jonctions tunnels 121a, 122a sont implémentées pour répondre à la problématique de la reprise de contact électrique sur une couche mince de GaN dopé P (notée « P-GaN ») rendue accessible au préalable par gravure plasma. En effet, les ions énergétiques utilisés pour la gravure plasma induisent des défauts dans la couche de P-GaN. Les jonctions tunnels sont obtenues en créant une première zone fortement dopée P (notée « P++-GaN ») et une deuxième zone fortement dopée N (notée « N++-GaN ») obtenue sur la couche P++-GaN. Les trous sont ainsi injectés dans la couche P++-GaN par effet tunnel des électrons entre la bande de valence de la couche P++-GaN et la bande de conduction de la couche N++-GaN. Ainsi, il est possible de reprendre un contact électrique sur une couche dopée N++-GaN plutôt que sur une couche dopée P-GaN ayant subie une gravure plasma.
- [0120] Des premiers contacts électriques primaires 131b, 131ii sont formés sur tout ou partie du troisième empilement primaire 107a. Des seconds contacts électriques primaires 131c, 132i peuvent également être formés en contact avec le deuxième empilement primaire 105a. Pour atteindre le deuxième empilement primaire 105a avant de former les seconds contacts électriques primaires 131c, 132i, il est possible de réaliser une gravure à travers les différentes couches.
- [0121] Dans un autre mode de réalisation illustré sur les figures 5, 8 et 10, au moins un sous-pixel tertiaire 113 est formé sur la surface support 110 du substrat 101 en étant décalé d'au moins un sous-pixel primaire 112 dans un plan général orienté parallèlement au plan de la face support 110 du substrat 101. Le sous-pixel tertiaire 113 est formé par la

superposition des éléments décrits ci-après. Une couche tampon 102b semiconductrice facultative est formée sur tout ou partie du substrat 101. Un premier empilement tertiaire 103b comportant au moins deux premières couches principales 100b de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où z est supérieur ou égale à 0 et est inférieur à 0,1, est formé sur tout ou partie de la couche tampon 102b semiconductrice. Les premières couches principales 100b sont séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales 100b étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P. Au moins une couche active tertiaire 104b est formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement tertiaire 103b. Ladite au moins une couche active tertiaire 104b comporte au moins un puits quantique. Au moins une couche de jonction tertiaire 109e est formée sur la couche active tertiaire 104b en étant en contact avec celle-ci. La couche de jonction tertiaire 109e est une couche semiconductrice composée par exemple de GaN, d'InGaN ou d'un empilement de plusieurs de ces deux matériaux. La couche de jonction tertiaire 109e est dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, le deuxième type de dopage étant différent du premier type de dopage, de sorte que la couche active tertiaire 104b soit apte à émettre ledit troisième rayonnement lumineux.

[0122] Avantageusement, la concentration en Indium de la première couche active tertiaire 104b est supérieure ou égale à la concentration en Indium d'au moins l'une des premières couches principales 100b du premier empilement tertiaire 103b. La proportion d'indium dans les puits quantiques de la première couche active primaire 104a peut alors être supérieure ou égale à 10 %, préférentiellement entre 15% et 22%.

[0123] La troisième longueur d'onde du troisième rayonnement lumineux émis par la couche active tertiaire 104b est comprise entre 430 nm et 490 nm de sorte que le troisième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur bleue.

[0124] Des premiers contacts électriques tertiaires 131d, 131iii peuvent être formés sur la couche de jonction tertiaire 109e pour connecter électriquement la couche de jonction tertiaire 109e. Des seconds contacts électriques tertiaires 131e, 132i sont connectés électriquement avec le premier empilement tertiaire 103b. Avantageusement, au moins un sous-pixel tertiaire 113 est isolé électriquement par rapport à un autre sous-pixel tertiaire 113 ou par rapport au sous-pixel secondaire 111 ou par rapport au sous-pixel primaire 112 par une tranchée isolante 14, ladite tranchée isolante 14 étant orientée transversalement par rapport au plan général orienté parallèlement au plan de la face support 110 du substrat 101. Avantageusement, afin de créer au moins une électrode commune à au moins deux sous-pixels 111, 112, 113 au niveau du substrat 101, un matériau isolant électrique 15 est formé dans tout ou partie du volume libre d'au moins

une tranchée 14 obtenue précédemment. Une électrode commune à au moins deux sous-pixel 111, 112, 113 est réalisée en formant au moins un contact électrique 132, 132i sur tout ou partie de la face support 110 du substrat 101 et/ou à travers tout ou partie du matériau isolant électrique 15 obtenu précédemment. Le substrat 101 peut déjà contenir, à sa formation, des électrodes prédéfinies. Les contacts électriques 132, 132i peuvent alors être connectés lors de leur formation directement à ces électrodes prédéfinies (non représentées).

- [0125] Dans un autre mode de réalisation illustré sur les figures 6, 7 et 9, au moins un sous-pixel tertiaire 113 comprend au moins un deuxième empilement tertiaire 105b formé en tout ou partie sur tout ou partie de la couche de jonction tertiaire 109e et comportant au moins deux deuxième couches principales 100b de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où x est supérieur ou égal à 0,1 et est inférieur à 0,2. Les deuxième couches principales 100b sont séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire 100a de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales 100b étant dopée selon le premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P. Au moins une jonction tunnel tertiaire 121b est formée entre tout ou partie du deuxième empilement tertiaire 105b et tout ou partie de la couche de jonction tertiaire 109e.
- [0126] Avantageusement, la jonction tunnel 121b est implémentée pour répondre à la problématique de la reprise de contact électrique sur la couche de jonction tertiaire 109e rendue accessible au préalable par gravure plasma.
- [0127] Des premiers contacts électriques tertiaires 131d, 131iii peuvent être formés sur le deuxième empilement tertiaire 105b. Les seconds contacts électriques tertiaires 131e, 132i sont connectés électriquement avec le premier empilement tertiaire 103b. A cet effet, une gravure débouchant sur le premier empilement tertiaire 103b permet de découvrir le premier empilement tertiaire 103b pour pouvoir y former directement un contact électrique.
- [0128] Les contacts électriques primaires, secondaires ou tertiaires 131i, 131ii, 131b, 131, 131c, 132, 132i, 131e, 131iii sont faits de préférence : d'une couche métallique, par exemple en aluminium, en cuivre, en or, en ruthénium ou en argent, ou d'un empilement de couches métalliques, par exemple en titane-aluminium, en silicium-aluminium, en titane-nickel-argent, en cuivre ou en zinc. A titre d'exemple, les contacts électriques primaires, secondaires ou tertiaires 131i, 131ii, 131b, 131, 131c, 132i, 132 ont une épaisseur comprise entre 5 nm et 5000 nm, de préférence entre 400 nm et 800 nm. Ils peuvent également avoir un rôle de réflecteur pour renvoyer dans la direction du substrat 101 les rayons émis en provenance des zones actives primaires 106a ou secondaires 108 ou tertiaires 104b.
- [0129] A l'exception des contacts électriques, les différentes couches composant les sous-

pixels primaires 112, les sous-pixels secondaires 111 et les sous-pixels tertiaires 113 peuvent être avantageusement aptes à laisser passer tout ou partie d'au moins un rayonnement électromagnétique de longueur d'onde comprise entre 350 nm et 800 nm. En effet, il est intéressant de prévoir que le deuxième rayonnement de lumière rouge émis par la troisième couche active secondaire 108 d'un sous-pixel secondaire 111 et le premier rayonnement de lumière verte émis par la deuxième couche active 106a d'un sous-pixel primaire 112 et le troisième rayonnement lumineux issu des sous-pixels 113 puissent avantageusement sortir à travers le substrat 101.

- [0130] Avantageusement, tout ou partie d'au moins un sous-pixel primaire 112 est formé dans le même temps que tout ou partie d'au moins un premier sous-pixel secondaire 111 et/ou dans le même temps que tout ou partie d'au moins un premier sous-pixel tertiaire 113. Autrement dit, tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel primaire 112 est mise en œuvre durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel secondaire 111 et/ou durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel tertiaire 113.
- [0131] De telles configurations permettent avantageusement, de part la forme avantageuse de la structure des bandes de conduction et de valence et des profils de potentiels obtenus, d'obtenir une émission de lumière uniquement rouge depuis un sous-pixel secondaire 111, ainsi qu'une émission de lumière uniquement verte depuis un sous-pixel primaire 112, ainsi qu'une émission de lumière uniquement bleue depuis un sous-pixel tertiaire 113.
- [0132] Avantageusement, ces architectures permettent de s'affranchir de la présence de couches de blocage d'électrons EBL.
- [0133] Avantageusement, ces architectures permettent de s'affranchir de la présence d'une couche d'isolant intercalaire car il n'y a pas d'action de collage. En effet, l'utilisation de plusieurs empilements comme décrits précédemment permet d'utiliser une architecture monolithique faite de matériaux similaires (InGaN/GaN) dans toutes les étapes des différentes phases de formation des différents sous-pixels contrairement à l'utilisation d'un semiconducteur différent comme l'InGaAlP. Cela permet également d'obtenir un bon rendement, une bonne productivité de fabrication du fait que les dépôts se font dans la même machine et potentiellement sans manipulation mécanique.
- [0134] Préférentiellement, les couches similaires comme les premiers empilements 103, 103a, 103b, ou les seconds empilements 105, 105a, 105b, ou les premières couches actives 104, 104a, 104b, ou les deuxièmes couches actives 106, 106a, ou les couches de jonctions 109, 109e, 109c ou les troisièmes empilements 107, 107a ou encore les premières jonctions tunnels 121, 121b, 121a ou les deuxièmes jonctions tunnels 122, 122a, sont formées en même temps et avec la même technique.
- [0135] Dans un mode de réalisation dont les étapes sont illustrées sur les figures 2, 5, 8 et

10, une étape illustrée sur la figure 2 consiste à obtenir un empilement, sur un substrat 101, d'une couche tampon 102 semiconductrice, d'un premier empilement secondaire 103, d'une première couche active secondaire 104, d'un deuxième empilement secondaire 105, d'une deuxième couche active secondaire 106, d'un troisième empilement 107 et d'une troisième couche active secondaire 108. Ensuite, comme illustré sur la figure 5, à l'aide d'une méthode de gravure sélective par exemple par masque dur, tout ou partie des couches prises parmi un deuxième empilement secondaire 105, une deuxième couche active secondaire 106, un troisième empilement secondaire 107 et une troisième couche active secondaire 108 sont gravées de façon à obtenir, soit l'empilement de couches composant un sous-pixel primaire 112, et/ou l'empilement de couches composant un sous-pixel tertiaire 113. Il n'est pas la peine de graver l'empilement pour obtenir un sous-pixel secondaire 111. La gravure est réalisée par zones correspondant à l'emplacement des sous-pixels primaires 112 et des sous-pixels tertiaires 113 à travers l'empilement constitué des couches ou empilements 102 à 108. Pour un sous-pixel primaire 112, les couches et empilements 108 et 107 sont gravés tandis que pour obtenir un sous-pixel tertiaire 113, les couches et empilements 108, 107, 106 et 105 sont gravés.

[0136] Une autre étape consiste à former, sur les couches devenues accessibles par l'étape de gravure sélective précédente, les couches de jonctions primaires 109d et/ou secondaires 109b et/ou tertiaires 109e. Préférentiellement, les couches de jonctions primaires 109d et/ou secondaires 109b et/ou tertiaires 109e sont réalisées en même temps et par la même technique. Des tranchées isolantes 14 sensiblement transversales à la surface 110 du substrat 101 sont ensuite réalisées par gravure. Les tranchées isolantes 14 permettent d'isoler électriquement et de définir physiquement les sous-pixels primaires 112 et/ou secondaires 112 et/ou tertiaires 113 entre eux. Ce procédé permet avantageusement de pouvoir obtenir, en même temps et par les mêmes techniques et sans étape de report et de collage, des sous-pixels primaires 112 et/ou des sous-pixels secondaires 111 et/ou des sous-pixels tertiaires 113. Dans une étape supplémentaire, des premiers contacts électriques primaires 131b, 131ii et/ou secondaires 131i, et/ou tertiaires 131iii sont formés sélectivement sur les couches de jonctions primaires 109d et/ou secondaires 109b et/ou tertiaires 109e. Dans une autre étape supplémentaire, un matériau isolant électriquement 15, comme du SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 ou Al_2O_3 , mais préférentiellement du TiO_2 , est déposé sélectivement dans tout ou partie des tranchées d'isolation 14. Ce dépôt peut être obtenu par exemple par un dépôt conforme d'oxyde. Puis, une étape ultérieure de gravure directive permet d'obtenir un dégagement à travers le matériau isolant électriquement 15. Ce dégagement peut déboucher avantageusement sur au moins une électrode (non représentée) contenue dans le substrat 101. Le dégagement peut ensuite être rempli par un matériau

conducteur pour constituer au moins un deuxième contact électrique primaire et/ou secondaire et/ou tertiaire 132i, 132. Cette architecture permet avantageusement d'obtenir une électrode ou des électrodes communes à plusieurs sous-pixels primaires 112 et/ou secondaires 111 et/ou tertiaires 113.

[0137] Dans un autre mode de réalisation, dont les étapes sont illustrées sur les figures 4, 6, 7 et 9, une étape illustrée sur la figure 4 consiste à obtenir un empilement, sur un substrat 101, d'une couche tampon 102 semiconductrice, d'un premier empilement secondaire 103, d'une première couche active secondaire 104, d'une deuxième couche de jonction secondaire 109, d'une première jonction tunnel secondaire 121, d'un deuxième empilement secondaire 105, d'une deuxième couche active secondaire 106, d'une troisième couche de jonction 109a, d'une seconde jonction tunnel secondaire 122, d'un troisième empilement secondaire 107, d'une troisième couche active secondaire 108 et d'une première couche de jonction 109b. Une autre étape illustrée sur la figure 6 consiste à obtenir, par exemple par gravure sélective utilisant un masque dur d'épaisseur variable tridimensionnel, qui permet des épaisseurs de gravure différenciées dans une même étape, les emplacements préalables à la formation des premiers et seconds contacts électriques primaires, secondaires et tertiaires 131, 131a, 131b, 131c, 131d et 131e. Ainsi, les emplacements préalables aux premiers contacts primaires 131b et aux seconds contacts secondaires 131a, sont obtenus respectivement par arrêt de la gravure sur tout ou partie des couches de troisième empilement primaire 107a et secondaire 107. Egalement, les emplacements préalables aux seconds contacts primaires 131c et aux premiers contacts tertiaires 131d sont obtenus respectivement par arrêt de la gravure sur tout ou partie des couches de deuxième empilement primaire 105a et tertiaire 105b. Les emplacements préalables aux seconds contacts tertiaires sont obtenus par arrêt de la gravure sur tout ou partie des couches de premier empilement tertiaire 103b.

[0138] Une autre étape consiste à réaliser des tranchées d'isolation 14 traversant toutes les couches obtenues précédemment jusqu'au substrat 101. Les tranchées isolantes 14 permettent d'isoler électriquement et de définir physiquement les sous-pixels primaires 112 et/ou secondaires 111 et/ou tertiaires 113 entre eux. Ce procédé permet avantageusement de pouvoir obtenir, en même temps et par les mêmes techniques et sans étape de report et de collage, des sous-pixels primaires 112 et/ou des sous-pixels secondaires 111 et/ou des sous-pixels tertiaires 113. Dans une étape suivante illustrée sur la figure 9, une couche de matériau isolant électriquement 15 est formée de façon sélective sur les faces latérales des différents sous-pixels. Dans une étape suivante, les premiers et seconds contacts électriques primaires, secondaires et tertiaires 131, 131a, 131b, 131c, 131d et 131e sont formés sélectivement sur les faces libres et sensiblement parallèles à la surface support 110 du substrat 101 des différents sous-pixels définis

précédemment par les étapes de gravure.

Revendications

- [Revendication 1] Dispositif optoélectronique (10) comprenant au moins un pixel (11), ledit au moins un pixel (11) comportant au moins un sous-pixel primaire (112) comprenant au moins une diode électroluminescente primaire apte à émettre un premier rayonnement lumineux présentant sensiblement une première longueur d'onde et formé sur une surface support (110) d'un substrat (101), le sous-pixel primaire (112) comprenant :
- au moins un premier empilement primaire (103a) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement primaire (103a) étant formé sur tout ou partie de la surface support (110) ;
 - au moins une première couche active primaire (104a) formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement primaire (103a), ladite au moins une première couche active primaire (104a) comportant au moins un premier puits quantique ;
 - au moins un deuxième empilement primaire (105a) formé en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire (104a) et comportant au moins deux deuxièmes couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$, séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
 - au moins une deuxième couche active primaire (106a) formée en tout ou partie sur tout ou partie du deuxième empilement primaire (105a) et comportant au moins un deuxième puits quantique ;
 - une première couche de jonction primaire (109d) formée sur la deuxième couche active primaire (106a) et en contact de la deuxième couche active primaire (106a), la première couche de jonction primaire (109d) étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la

deuxième couche active primaire (106a) est apte à émettre ledit premier rayonnement lumineux.

- [Revendication 2] Dispositif optoélectronique (10) selon la revendication 1, caractérisé en ce que le sous-pixel primaire (112) comprend d'une part une deuxième couche de jonction primaire (109c) formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active primaire (104a) et dopée selon ledit deuxième type de dopage, d'autre part une première jonction tunnel primaire (121a) formée entre tout ou partie du deuxième empilement primaire (105a) et tout ou partie de la deuxième couche de jonction primaire (109c).
- [Revendication 3] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le sous-pixel primaire (112) comprend au moins une couche tampon (102a) semiconductrice formée sur la surface support (110) du substrat (101) et sur laquelle tout ou partie du premier empilement primaire (103a) est formé.
- [Revendication 4] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la première longueur d'onde du premier rayonnement lumineux apte à être émis par la deuxième couche active primaire (106a) est comprise entre 500 et 580 nm de sorte que le premier rayonnement lumineux est sensiblement de couleur verte.
- [Revendication 5] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le sous-pixel primaire (112) comprend des premiers contacts électriques primaires (131b, 131ii) connectés électriquement avec la première couche de jonction primaire (109d) et des seconds contacts électriques primaires (131c, 132i) connectés électriquement avec ledit au moins un deuxième empilement primaire (105a).
- [Revendication 6] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ledit au moins un pixel (11) comprend au moins un sous-pixel secondaire (111) formé sur la surface support (110) du substrat (101) en étant décalé du sous-pixel primaire (112) dans un plan général orienté parallèlement au plan de la surface support (110) du substrat (101), le sous-pixel secondaire (111) comprenant au moins une diode électroluminescente secondaire apte à émettre un deuxième rayonnement lumineux présentant sensiblement une deuxième longueur d'onde, le sous-pixel secondaire (111) comportant :
- au moins un premier empilement secondaire (103) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux

à deux au moins par une première couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement secondaire (103) étant formé sur tout ou partie de la surface support (110) ;

- au moins une première couche active secondaire (104) formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement secondaire (103), ladite au moins une première couche active secondaire (104) comportant au moins un premier puits quantique ;

- au moins un deuxième empilement secondaire (105) formé en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active secondaire (104) et comportant au moins deux deuxième couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$, séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

- au moins une deuxième couche active secondaire (106) formée en tout ou partie sur tout ou partie du deuxième empilement secondaire (105) et comportant au moins un deuxième puits quantique ;

- au moins un troisième empilement secondaire (107) formé en tout ou partie sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire (106) et comportant au moins deux troisième couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ où $0,2 \leq y \leq 0,35$, séparées deux à deux au moins par une troisième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des troisième couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

- au moins une troisième couche active secondaire (108) formée en tout ou partie sur tout ou partie du troisième empilement secondaire (107) et comportant au moins un troisième puits quantique ;

- une première couche de jonction secondaire (109b) formée sur la troisième couche active secondaire (108) et en contact de la troisième couche active secondaire (108), la première couche de jonction secondaire (109b) étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type

de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la troisième couche active secondaire (108) est apte à émettre ledit deuxième rayonnement lumineux.

[Revendication 7]

Dispositif optoélectronique (10) selon la revendication 6, caractérisé en ce que le sous-pixel secondaire (111) comprend :

- une deuxième couche de jonction secondaire (109) formée en tout ou partie sur tout ou partie de la première couche active secondaire (104) et dopée selon ledit deuxième type de dopage,
- une première jonction tunnel secondaire (121) formée entre tout ou partie du deuxième empilement secondaire (105) et tout ou partie de la deuxième couche de jonction secondaire (109),
- une troisième couche de jonction secondaire (109a) formée en tout ou partie sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire (106) et dopée selon ledit deuxième type de dopage,
- une deuxième jonction tunnel secondaire (122) formée entre tout ou partie du troisième empilement secondaire (107) et tout ou partie de la troisième couche de jonction secondaire (109a).

[Revendication 8]

Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 6 ou 7, caractérisé en ce que le sous-pixel secondaire (111) comprend au moins une couche tampon (102) semiconductrice formée sur la surface support (110) du substrat (101) et sur laquelle tout ou partie du premier empilement secondaire (103) est formé.

[Revendication 9]

Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que la deuxième longueur d'onde du deuxième rayonnement lumineux apte à être émis par la troisième couche active secondaire (108) est comprise entre 590 et 680 nm de sorte que le deuxième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur rouge.

[Revendication 10]

Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 6 à 9, caractérisé en ce que le sous-pixel secondaire (111) comprend des premiers contacts électriques secondaires (131, 131i) connectés électriquement avec la première couche de jonction secondaire (109b) et des seconds contacts électriques secondaires (131a, 132) connectés électriquement avec ledit au moins un troisième empilement secondaire (107).

[Revendication 11]

Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que ledit au moins un pixel (11) comprend au moins un sous-pixel tertiaire (113) formé sur la surface support (110) du substrat (101) en étant décalé du sous-pixel primaire (111) dans un plan général

orienté parallèlement au plan de la face support (110) du substrat (101), le sous-pixel tertiaire (113) comprenant au moins une diode électroluminescente tertiaire apte à émettre un troisième rayonnement lumineux présentant sensiblement une troisième longueur d'onde, le sous-pixel tertiaire (113) comportant :

- au moins un premier empilement tertiaire (103b) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $In_zGa_{1-z}N$ où $0 \leq z < 0,1$, séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement tertiaire (103b) étant formé sur tout ou partie de la surface support (110) ;

- au moins une couche active tertiaire (104b) formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement tertiaire (103b), ladite au moins une couche active tertiaire (104b) comportant au moins un puits quantique ;

- une couche de jonction tertiaire (109e) formée sur la couche active tertiaire (104b) et en contact de la couche active tertiaire (104b), la couche de jonction tertiaire étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la couche active tertiaire (104b) est apte à émettre ledit troisième rayonnement lumineux.

[Revendication 12]

Dispositif optoélectronique (10) selon la revendication 11, caractérisé en ce que le sous-pixel tertiaire (113) comprend :

- au moins un deuxième empilement tertiaire (105b) formé en tout ou partie sur tout ou partie de la couche de jonction tertiaire (109e) et comportant au moins deux deuxièmes couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $In_xGa_{1-x}N$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;
- et une jonction tunnel tertiaire (121b) formée entre tout ou partie du deuxième empilement tertiaire (105b) et tout ou partie de la couche de jonction tertiaire (109e).

- [Revendication 13] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 11 ou 12, caractérisé en ce que le sous-pixel tertiaire (113) comprend au moins une couche tampon (102b) semiconductrice formée sur la surface support (110) du substrat (101) et sur laquelle tout ou partie du premier empilement tertiaire (103b) est formé.
- [Revendication 14] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que la troisième longueur d'onde du troisième rayonnement lumineux apte à être émis par la couche active tertiaire (104b) est comprise entre 400 et 490 nm de sorte que le troisième rayonnement lumineux est sensiblement de couleur bleue.
- [Revendication 15] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisé en ce que le sous-pixel tertiaire (113) comprend des premiers contacts électriques tertiaires (131d, 131iii) connectés électriquement avec la couche de jonction tertiaire (109e) et des seconds contacts électriques tertiaires (131e, 132i) connectés électriquement avec ledit au moins un premier empilement tertiaire (103b).
- [Revendication 16] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que ledit au moins un sous-pixel primaire (112) est isolé électriquement par rapport à tout autre sous-pixel (112, 111, 113) par l'intermédiaire d'une tranchée isolante (14) orientée transversalement par rapport au plan général orienté parallèlement au plan de la face support (110) du substrat (101).
- [Revendication 17] Dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'au moins un des contacts électriques choisi parmi les seconds contacts électriques tertiaires (131e, 132i) et le second contact électrique secondaire (132) est en contact électrique direct avec au moins un élément choisi parmi les couches tampons (102, 102a, 102b) semiconductrices et les premiers empilements (103a, 103, 103b).
- [Revendication 18] Procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique (10), comportant une phase de formation d'au moins un sous-pixel primaire (112) incluant les étapes suivantes :
- a) formation d'un substrat (101) ayant une surface support (110) ;
 - b) formation d'une couche tampon (102a) semiconductrice sur la face support (110) du substrat (101) ;
 - c) formation d'au moins un premier empilement primaire (103a) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$ et séparées deux à deux au moins par une première couche in-

termédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement primaire (103a) étant formé sur tout ou partie de la couche tampon (102a) semiconductrice ;

d) formation d'au moins une première couche active primaire (104a) formée en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement primaire (103a), ladite au moins une première couche active primaire (104a) comportant au moins un premier puits quantique ;

e) formation, sur tout ou partie de la première couche active primaire (104a), de tout ou partie d'au moins un deuxième empilement primaire (105a) comportant au moins deux deuxième couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxième couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

f) formation, sur tout ou partie du deuxième empilement primaire (105a), de tout ou partie d'au moins une deuxième couche active primaire (106a) comportant au moins un deuxième puits quantique ;

g) formation de tout ou partie d'une première couche de jonction primaire (109d) sur et en contact de la deuxième couche active primaire (106a) et dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent du premier type de dopage, de telle sorte que la deuxième couche active primaire (106a) est apte à émettre un premier rayonnement lumineux présentant sensiblement une première longueur d'onde.

[Revendication 19] Procédé de fabrication selon la revendication 18, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel primaire (112) comprend une étape h) de formation de tout ou partie d'une deuxième couche de jonction primaire (109c) dopée selon ledit deuxième type de dopage sur tout ou partie de la première couche active primaire (104a) et d'une jonction tunnel primaire (121a) entre tout ou partie du deuxième empilement primaire (105a) et tout ou partie de la deuxième couche de jonction primaire (109c).

[Revendication 20] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 18 ou 19, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel primaire (112)

comprend une étape i) de formation de premiers contacts électriques primaires (131b, 131ii) connectés électriquement avec la première couche de jonction primaire (109d) et de seconds contacts électriques primaires (131c, 132i) connectés électriquement avec ledit au moins un deuxième empilement primaire (105a).

[Revendication 21]

Procédé de fabrication d'un dispositif optoélectronique (10) selon l'une des revendications 18 à 20, caractérisé en ce que le procédé comporte une phase de formation d'au moins un sous-pixel secondaire (111) comportant les étapes suivantes :

j) formation d'une couche tampon (102) semiconductrice sur la surface support (110) du substrat (101) ;

k) formation d'au moins un premier empilement secondaire (103) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $In_zGa_{1-z}N$ où $0 \leq z < 0,1$ séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement secondaire (103) étant formé sur tout ou partie de la couche tampon (102) semiconductrice;

l) formation de tout ou partie d'au moins une première couche active secondaire (104) sur tout ou partie du premier empilement secondaire (103), ladite au moins une première couche active secondaire (104) comportant au moins un premier puits quantique ;

m) formation de tout ou partie d'au moins un deuxième empilement secondaire (105) sur tout ou partie de la première couche active secondaire (104), ledit au moins un deuxième empilement secondaire (105) comportant au moins deux deuxièmes couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $In_xGa_{1-x}N$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

n) formation de tout ou partie d'au moins une deuxième couche active secondaire (106) sur tout ou partie du deuxième empilement secondaire (105), ladite au moins une couche active (106) comportant au moins un deuxième puits quantique ;

o) formation de tout ou partie d'au moins un troisième empilement se-

conculaire (107) sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire (106), ledit au moins un troisième empilement secondaire (107) comportant au moins deux troisièmes couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ où $0,2 \leq y \leq 0,35$ séparées au moins par une troisième couche intermédiaire (100a) de nitrure de gallium, au moins l'une des troisièmes couches principales (100b) étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

p) formation de tout ou partie d'au moins une troisième couche active secondaire (108), sur tout ou partie du troisième empilement secondaire (107), comportant au moins un troisième puits quantique ;

q) formation de tout ou partie d'au moins une première couche de jonction secondaire (109b) sur et en contact de la troisième couche active secondaire (108), ladite au moins une première couche de jonction secondaire (109b) étant dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent du premier type de dopage, de telle sorte que la troisième couche active secondaire (108) est apte à émettre un deuxième rayonnement lumineux présentant sensiblement une deuxième longueur d'onde.

[Revendication 22] Procédé de fabrication selon la revendication 21, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel secondaire (111) comprend une étape r) de formation de tout ou partie d'au moins une deuxième couche de jonction secondaire (109) sur tout ou partie de la première couche active secondaire (104) où la deuxième couche de jonction secondaire (109) est dopée selon ledit deuxième type de dopage et de tout ou partie d'au moins une première jonction tunnel secondaire (121) entre tout ou partie du deuxième empilement secondaire (105) et tout ou partie de la deuxième couche de jonction secondaire (109), et une étape s) de formation de tout ou partie d'au moins une troisième couche de jonction secondaire (109a) dopée selon ledit deuxième type de dopage sur tout ou partie de la deuxième couche active secondaire (106) et d'une deuxième jonction tunnel secondaire (122) entre tout ou partie du troisième empilement secondaire (107) et tout ou partie de la troisième couche de jonction secondaire (109a).

[Revendication 23] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 21 ou 22, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel secondaire (111) comprend une étape t) de formation de premiers contacts électriques se-

secondaires (131, 131i) connectés électriquement avec la première couche de jonction secondaire (109b) et de seconds contacts électriques secondaires (131a, 132) connectés électriquement avec ledit au moins un troisième empilement secondaire (107).

[Revendication 24]

Procédé de fabrication selon l'une des revendications 21 à 23, le procédé comprenant une phase de formation d'au moins un sous-pixel tertiaire (113) comportant les étapes suivantes :

u) formation d'une couche tampon (102b) semiconductrice sur la surface support (110) du substrat (101) ;

v) formation d'au moins un premier empilement tertiaire (103b) comportant au moins deux premières couches principales (100b) de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ où $0 \leq z < 0,1$ séparées deux à deux au moins par une première couche intermédiaire (100b) de nitrure de gallium, au moins l'une des premières couches principales (100b) étant dopée selon un premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P, tout ou partie du premier empilement tertiaire (103b) étant formé sur tout ou partie de la couche tampon (102b) semiconductrice;

w) formation d'au moins une couche active tertiaire (104b) en tout ou partie sur tout ou partie du premier empilement tertiaire (103b), ladite au moins une couche active tertiaire (104b) comportant au moins un puits quantique ;

x) formation d'au moins une couche de jonction tertiaire (109e) sur et en contact de la couche active tertiaire (104b) et dopée selon un deuxième type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P où le deuxième type de dopage est différent dudit premier type de dopage, de telle sorte que la couche active tertiaire (104b) est apte à émettre un troisième rayonnement lumineux présentant sensiblement une troisième longueur d'onde.

[Revendication 25]

Procédé de fabrication selon la revendication 24, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel tertiaire (113) comprend les étapes suivantes :

y) formation d'au moins un deuxième empilement tertiaire (105b) en tout ou partie sur tout ou partie de la couche de jonction tertiaire (109e) et comportant au moins deux deuxièmes couches principales de nitrure d'indium et de gallium répondant à la formule $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ où $0,1 \leq x < 0,2$ séparées deux à deux au moins par une deuxième couche intermédiaire de nitrure de gallium, au moins l'une des deuxièmes couches principales

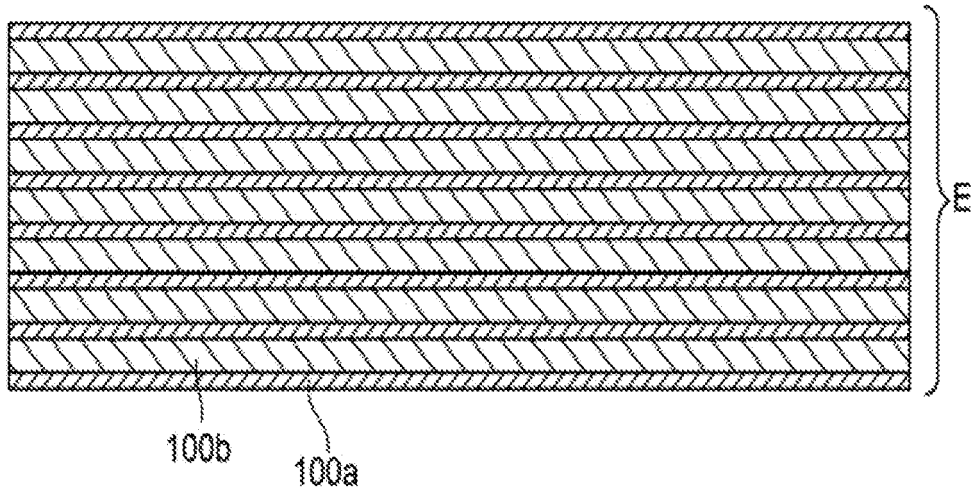
étant dopée selon ledit premier type de dopage choisi parmi un dopage de type N et un dopage de type P ;

z) formation d'une jonction tunnel tertiaire (121b) entre tout ou partie du deuxième empilement tertiaire (105b) et tout ou partie de la couche de jonction tertiaire (109e).

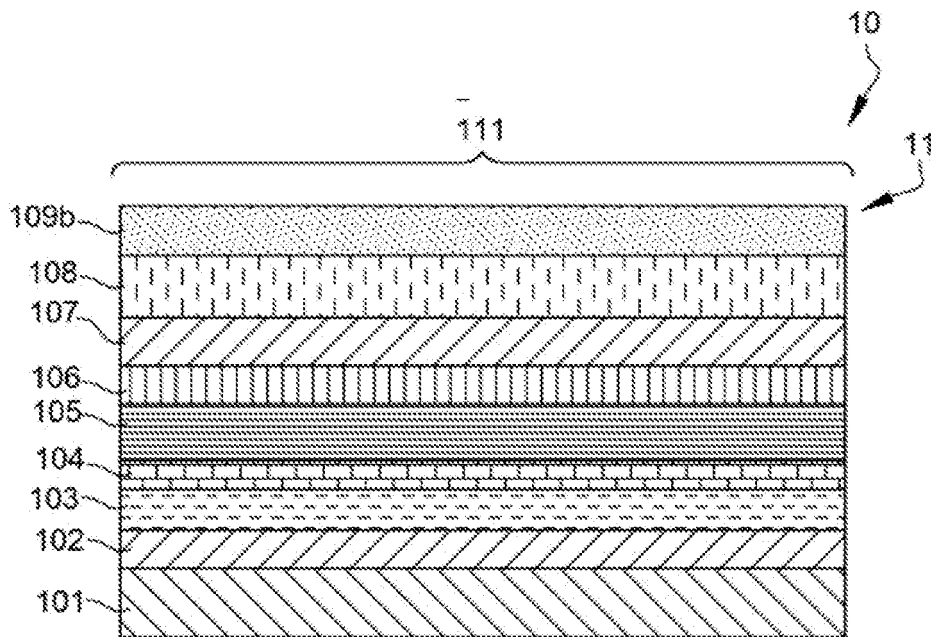
[Revendication 26] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 24 ou 25, caractérisé en ce que la phase de formation du sous-pixel tertiaire (113) comprend une étape z1) de formation de premiers contacts électriques tertiaires (131d, 131iii) connectés électriquement avec la couche de jonction tertiaire (109e) et de seconds contacts électriques tertiaires (131e, 132i) connectés électriquement avec ledit au moins un premier empilement tertiaire (103b).

[Revendication 27] Procédé de fabrication selon la revendication 21 et/ou 24, caractérisé en ce que tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel primaire (112) est mise en œuvre durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel secondaire (111) et/ou durant tout ou partie de la phase de formation du sous-pixel tertiaire (113).

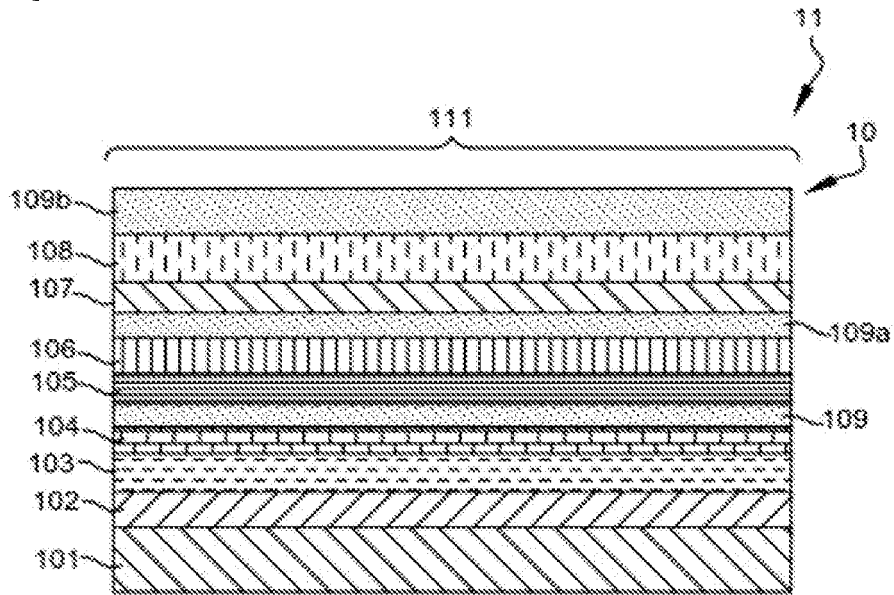
[Fig. 1]



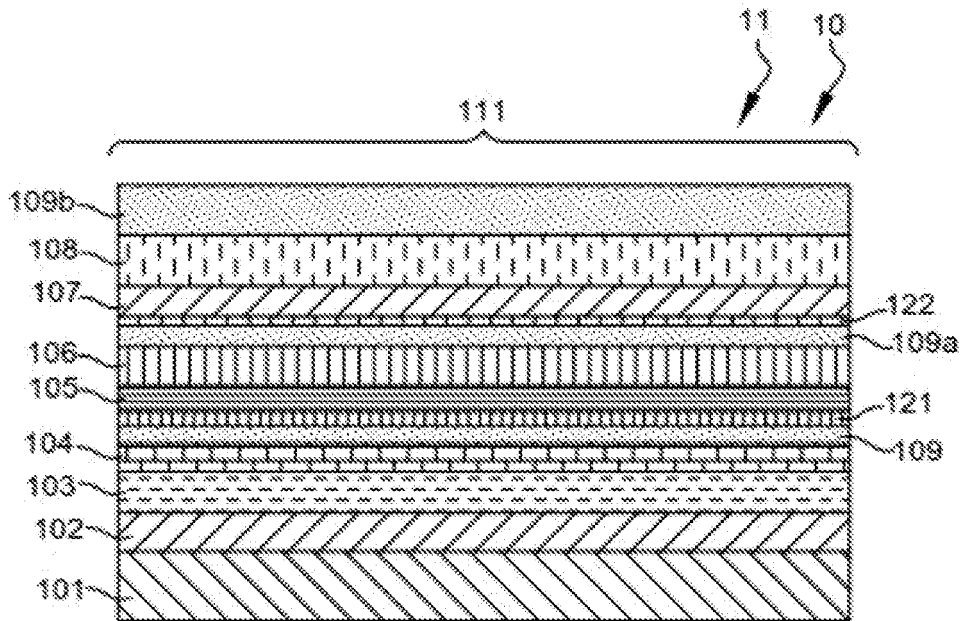
[Fig. 2]



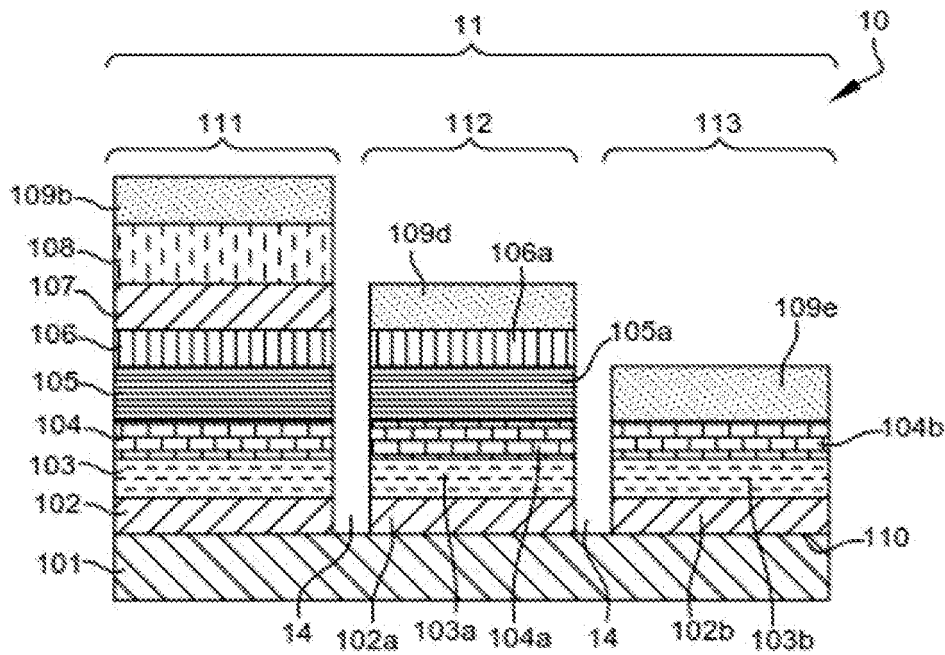
[Fig. 3]



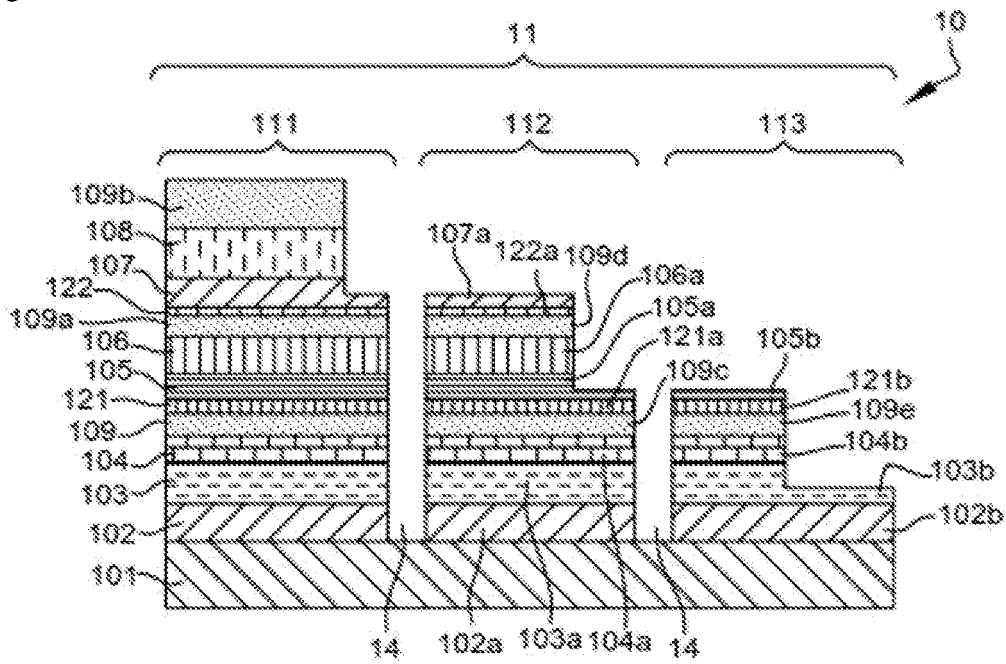
[Fig. 4]



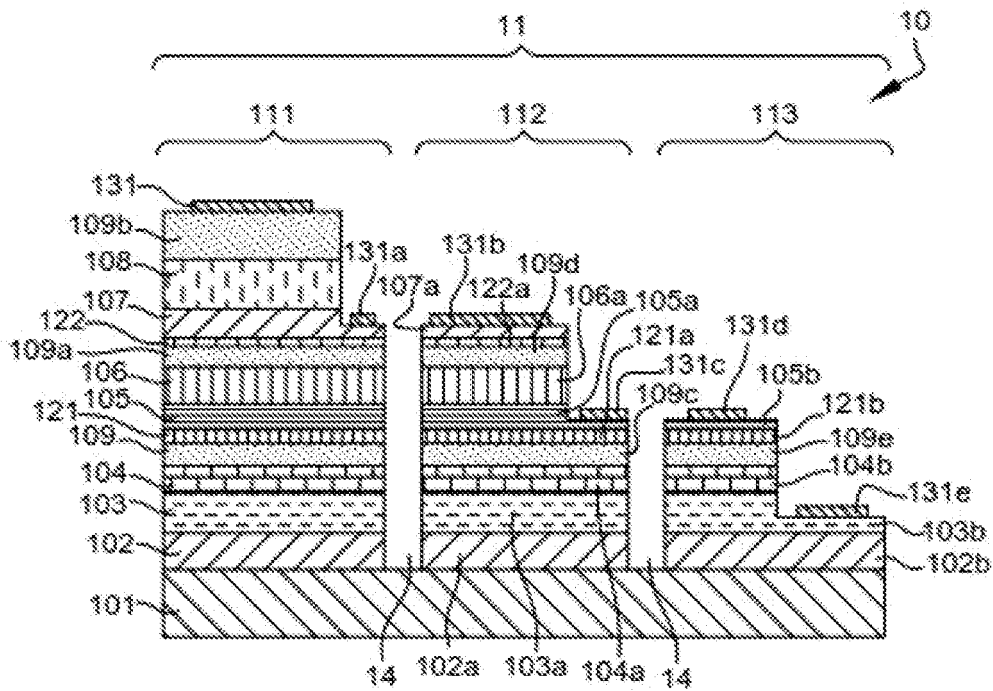
[Fig. 5]



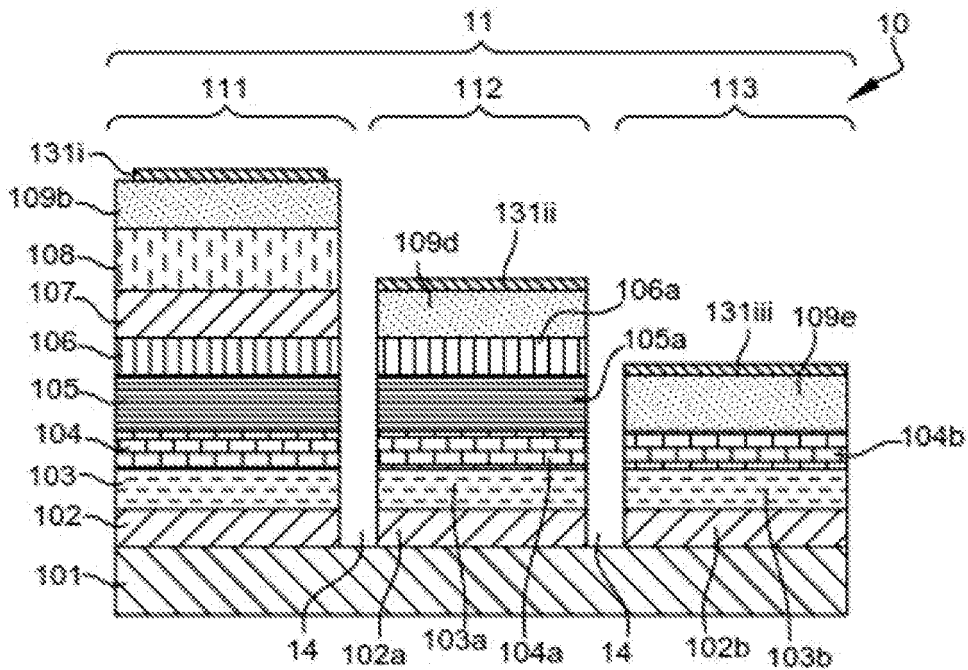
[Fig. 6]



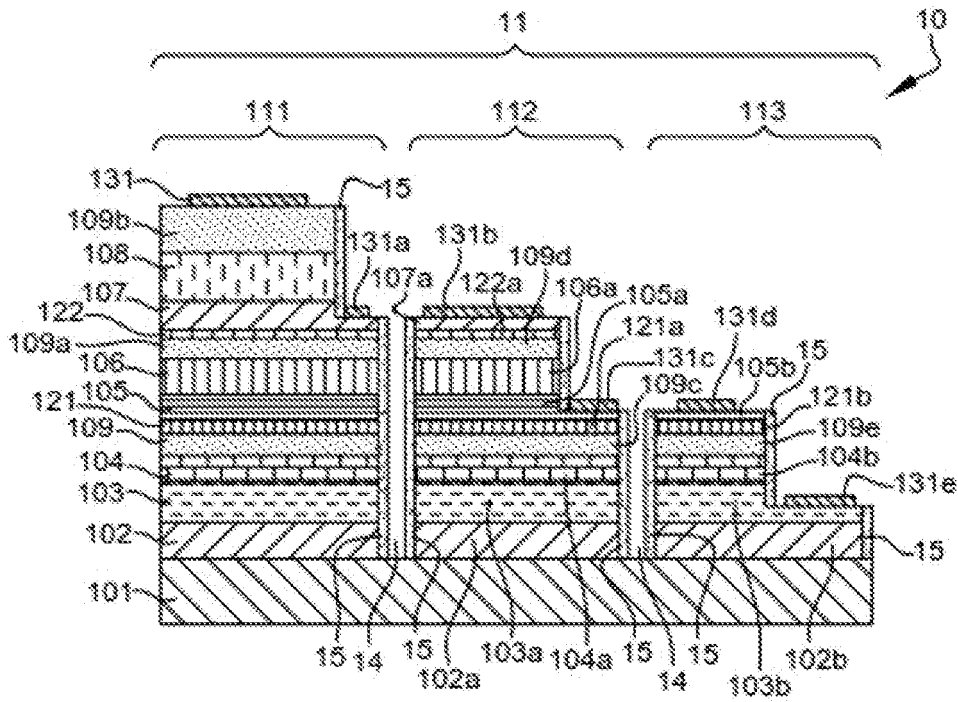
[Fig. 7]



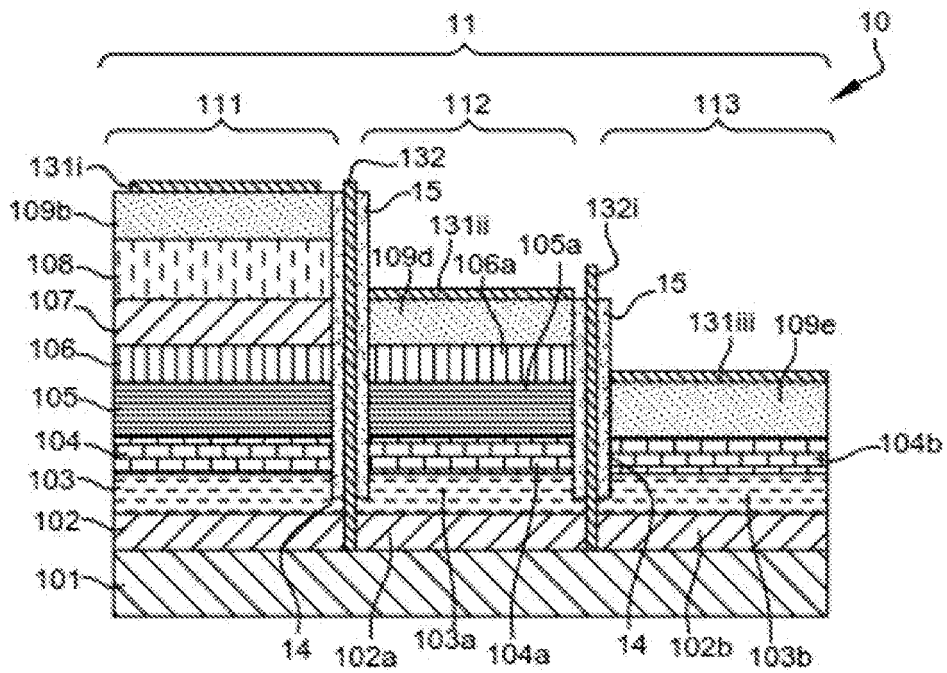
[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2009/078955 A1 (FAN ZHAOYANG [US] ET AL) 26 mars 2009 (2009-03-26)

US 2013/134388 A1 (UEDA MASAYA [JP] ET AL) 30 mai 2013 (2013-05-30)

WO 2017/062889 A1 (OSTENDO TECH INC [US]) 13 avril 2017 (2017-04-13)

MITCHELL BRANDON ET AL: "Perspective: Toward efficient GaN-based red light emitting diodes using europium doping", JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, US, vol. 123, no. 16, 29 mars 2018 (2018-03-29), XP012227404, ISSN: 0021-8979, DOI: 10.1063/1.5010762 [extrait le 2018-03-29]

FR 3 019 380 A1 (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 2 octobre 2015 (2015-10-02)

US 2018/269352 A1 (TIAN TING [CN] ET AL) 20 septembre 2018 (2018-09-20)

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

NEANT

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

NEANT