

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
26 février 2015 (26.02.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/025007 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/08 (2010.01)
H01L 33/32 (2010.01) H01L 33/18 (2010.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2014/067843
- (22) Date de dépôt international :
21 août 2014 (21.08.2014)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
13 58121 22 août 2013 (22.08.2013) FR
- (71) Déposants : COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 Rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR). ALEDIA [FR/FR]; 7 Parvis Louis Néel, BP50, F-38040 Grenoble (FR).
- (72) Inventeurs : ROBIN, Ivan-Christophe; 15 Avenue de Ville, F-38000 Grenoble (FR). DUSSAIGNE, Amélie; 34 chemin de Longecheval, F-38690 Bizonnes (FR).
- (74) Mandataire : BREVALEX; 95, rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasiatique (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

(54) Title : LIGHT-EMITTING DIODE OF WHICH AN ACTIVE AREA COMPRISES LAYERS OF INN

(54) Titre : DIODE ELECTROLUMINESCENTE DONT UNE ZONE ACTIVE COMPORTE DES COUCHES D'INN

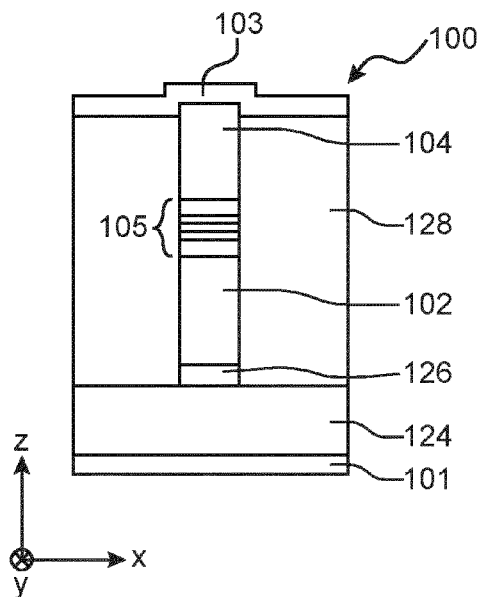


FIG. 7A

(57) Abstract : A light-emitting diode (100) comprising an n-doped layer of $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ (102) and a p-doped layer of $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ (104), and an active area (105) arranged between the layer of $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ and the layer of $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ comprising: - a first layer of InN (106) of thickness $e_{\text{InN}106}$; - a second layer of InN (108) of thickness $e_{\text{InN}108}$; - a separating layer (110) disposed between the layers of InN and comprising $\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{N}$ and a thickness of $< 3\text{nm}$; - a layer of $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{(1-x_1)}\text{N}$ (112) disposed between the layer of $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ and the first layer of InN ; - a layer of $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{(1-x_2)}\text{N}$ (114) disposed between the layer of $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ and the second layer of InN ; in which indium compositions x_n , x_p , x_b , x_1 and x_2 are between 0 and 0.25, and in which the thicknesses of $e_{\text{InN}106}$ and $e_{\text{InN}108}$ are such that $e_{\text{InN}106} < e_{\text{InN}108}$.

(57) Abrégé : Diode électroluminescente (100) comportant une couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et une couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p (104), et une zone active (105) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ et la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ comprenant: - une première couche d' InN (106) d'épaisseur $e_{\text{InN}106}$; - une deuxième couche d' InN (108) d'épaisseur $e_{\text{InN}108}$; - une couche de séparation (110) disposée entre les couches d' InN et comprenant de l' $\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{N}$ et une épaisseur $< 3\text{nm}$; - une couche d' $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{(1-x_1)}\text{N}$ (112) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ et la première couche d' InN ; - une couche d' $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{(1-x_2)}\text{N}$ (114) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ et la deuxième couche d' InN ; dans laquelle les compositions en indium x_n , x_p , x_b , x_1 et x_2 sont comprises entre 0 et 0,25, et dans laquelle les épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ sont telles que $e_{\text{InN}106} < e_{\text{InN}108}$.

WO 2015/025007 A1

**DIODE ELECTROLUMINESCENTE DONT UNE ZONE ACTIVE COMPORTE DES COUCHES
D'InN**

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR

5 L'invention concerne le domaine des diodes électroluminescentes (appelées DELs ou LEDs), ainsi que celui des dispositifs émissifs lumineux à base de telles LEDs (écrans, projecteurs, murs d'images, etc.). L'invention s'applique avantageusement à des LEDs émettant dans la gamme des longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte et/ou rouge, c'est-à-dire dans la gamme des longueurs d'ondes comprises entre
10 environ 500 nm et 700 nm.

Actuellement, les LEDs émettant dans la gamme des longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte sont principalement fabriquées avec des puits quantiques d'InGaN comprenant une importante composition en indium, c'est-à-dire supérieure à environ 25%, par rapport au gallium. De telles LEDs sont par exemple
15 décrites dans les documents US 2013/0028281 A1 et « Approaches for high internal quantum efficiency green InGaN light-emitting diodes with large overlap quantum wells » de H. Zhao et al., Optics Express, Vol. 19, Issue S4, pp. A991-A1007, 2011. Un des problèmes de ces LEDs est qu'une démixtion d'alliage se produit dans de tels puits quantiques d'InGaN, ce qui ne permet pas d'obtenir de bonnes efficacités radiatives au
20 sein de tels puits quantiques en raison des défauts engendrés par cette démixtion d'alliage. Un autre problème de ces LEDs est lié à la forte contrainte qui existe entre le GaN des couches barrières (entre lesquelles se trouvent les puits quantiques) et l'InGaN des puits quantiques, cette contrainte résultant de la différence de rapports de maille entre ces deux matériaux et entraînant la formation de défauts, par exemple des
25 dislocations, dans les puits quantiques. Cette contrainte a aussi tendance à favoriser la démixtion de l'InGaN des puits quantiques.

Pour réduire les dislocations dans les puits quantiques, le document « Proposal and achievement of novel structure InN/GaN multiple quantum wells consisting of 1 ML and fractional monolayer InN wells inserted in GaN matrix » de

A. Yoshikawa et al., Appl. Phys. Lett. 90, 073101 (2007) décrit une LED à multiples puits quantiques chacun formé par une couche d'InN dont l'épaisseur est égale à une ou deux monocouches, chaque couche d'InN étant disposée entre deux couches barrières de GaN d'épaisseur égale à environ 15 nm. La figure 1 représente le taux de recombinaisons radiatives, en échelle logarithmique et par $\text{cm}^3.\text{s}$, obtenu dans une LED comprenant un puits quantique formé d'une couche d'InN d'épaisseur égale à 2 monocouches et disposée entre deux couches barrières de GaN chacune d'épaisseur égale à environ 10 nm. Or, on voit sur cette figure que le taux de recombinaisons radiatives dans la couche d'InN est du même ordre de grandeur que celui dans la couche barrière de GaN se trouvant du côté n de la LED, et est relativement faible (de l'ordre de 10^{21} recombinaisons. $\text{cm}^{-3}.\text{s}^{-1}$) en raison de la très faible densité d'états dans la couche d'InN. De plus, avec un tel puits quantique, il est difficile de réaliser une émission lumineuse dans la gamme des longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte.

Pour répondre au problème de gamme de longueurs d'ondes d'émission de la LED décrite ci-dessus, le document « 1-2 ML thick InN-based quantum wells with InGaN barriers for blue-green light emitters » de A. Yuki et al., PHYSICA STATUS SOLIDI C 6; n°S2; S417-S420 (2009) propose de séparer les différents puits quantiques non pas par des couches barrières de GaN, mais par des couches barrières d'InGaN chacune d'épaisseur égale à environ 10 nm. L'utilisation d'InGaN pour réaliser les couches barrières entre les différents puits quantiques permet d'augmenter les valeurs des longueurs d'ondes émises par la LED.

La figure 2 représente le taux de recombinaisons radiatives, en échelle logarithmique et par $\text{cm}^3.\text{s}$, obtenu dans un puits quantique formé d'une couche d'InN d'épaisseur égale à 2 monocouches et disposée entre deux couches barrières d' $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ chacune d'épaisseur égale à environ 10 nm. Or, comme pour le puits quantique dont le taux de recombinaisons radiatives est représenté sur la figure 1, le taux de recombinaisons radiatives dans la couche d'InN est ici également du même ordre de grandeur que celui dans la couche barrière d'InGaN se trouvant du côté n de la LED, et est relativement faible (de l'ordre de 10^{21} recombinaisons. $\text{cm}^{-3}.\text{s}^{-1}$) en raison de la très faible densité d'états dans la couche d'InN.

Le document US 2011/0204328 A1 décrit un puits quantique symétrique comprenant une couche centrale d'InN disposée entre deux couches barrières d'InGaN. Comme précédemment, la très faible densité d'états dans la couche d'InN ne permet pas d'avoir un taux de recombinaisons radiatives satisfaisant pour obtenir une émission
5 suffisante dans la gamme des longueurs d'ondes souhaitées.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Un but de la présente invention est de proposer une diode électroluminescente permettant d'obtenir un meilleur taux de recombinaisons radiatives et avoir ainsi une meilleure efficacité d'émission, notamment dans la gamme des
10 longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte ou rouge, tout en évitant les problèmes de défauts et de démixtion d'alliage dans la zone active de la diode électroluminescente.

Pour cela, la présente invention propose un diode électroluminescente comportant au moins une couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n et une couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$
15 dopé p formant ensemble une jonction p-n de la diode, et une zone active disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n et la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p et dans laquelle des recombinaisons radiatives sont aptes à se produire, la zone active comprenant au moins :

- une première couche d'InN d'épaisseur $e_{\text{InN}106}$;
- une deuxième couche d'InN d'épaisseur $e_{\text{InN}108}$;
- 20 - une couche de séparation disposée entre la première couche d'InN et la deuxième couche d'InN et telle que la première couche d'InN soit disposée entre la couche de séparation et la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n, la couche de séparation comprenant de $\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{N}$ et une épaisseur inférieure ou égale à environ 3 nm ;
- une couche d' $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{(1-x_1)}\text{N}$ disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$
25 dopé n et la première couche d'InN ;
- une couche d' $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{(1-x_2)}\text{N}$ disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p et la deuxième couche d'InN ;

dans laquelle les compositions en indium X_n , X_p , X_b , X_1 et X_2 sont comprises entre 0 et environ 0,25, et dans laquelle les épaisseurs e_{InN106} et e_{InN108} sont telles que $e_{\text{InN106}} \leq e_{\text{InN108}}$.

Grâce à la faible épaisseur de la couche séparant les deux couches d'InN, les porteurs de charge peuvent facilement passer d'une couche d'InN à l'autre. Ainsi, la deuxième couche d'InN se trouvant du côté p de la diode forme un réservoir de trous, ces trous passant facilement dans la première couche d'InN qui se trouve du côté n de la diode. Des concentrations sensiblement équivalentes en électrons et en trous sont obtenues dans la première couche d'InN, ce qui permet d'avoir un très fort taux de recombinaisons radiatives dans cette première couche d'InN, et donc une meilleure efficacité d'émission de la diode électroluminescente que celles de l'art antérieur. De plus, compte tenu des matériaux utilisés, une émission lumineuse dans la gamme des longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte ou rouge est bien obtenue. Enfin, cette excellente efficacité d'émission est obtenue sans faire appel à de l'InGaN à forte concentration d'indium, ce qui permet d'éviter les problèmes de démixtion d'alliage et de défauts dans la zone active de la diode électroluminescente.

L'épaisseur inférieure ou égale à 3 nm de la couche séparant les deux couches d'InN permet donc d'obtenir un effet tunnel asymétrique, c'est-à-dire que les électrons sont piégés dans la première couche d'InN (celle se trouvant du côté de la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n) alors que les trous peuvent passer de la deuxième couche d'InN (celle se trouvant du côté de la couche d' $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p) à la première couche d'InN. La deuxième couche d'InN forme un réservoir de trous et la première couche d'InN forme la couche émissive de la diode.

Les épaisseurs e_{InN106} et e_{InN108} peuvent être comprises entre 1 monocouche et 3 monocouches, et avantageusement entre 1 monocouche et 2 monocouches.

Lorsque l'une ou chacune de la première couche d'InN et de la deuxième couche d'InN a une épaisseur comprise entre 2 monocouches et 3 monocouches, la composition en indium X_b peut être supérieure ou égale à environ 0,15. Lorsque la composition en indium X_b est inférieure à environ 0,15, l'épaisseur de

ladite une ou de chacune de la première couche d'InN et de la deuxième couche d'InN peut être inférieure ou égale à 2 monocouches.

Les épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ peuvent être telles que $e_{\text{InN}106} < e_{\text{InN}108}$. Cette configuration permet d'accentuer les rôles de couche émissive et de réservoir de trous remplis respectivement par la première couche d'InN et par la deuxième couche d'InN.

Les compositions en indium X1 et X2 peuvent être telles que $X1 \leq X2$. Les compositions en indium X_n , X_p , X1 et X2 peuvent être telles que $X_n < X1 < X2 < X_p$, ce qui permet d'homogénéiser la répartition des électrons dans les différentes couches de la zone active. Les compositions en indium X_n , X_p , X1, Xb et X2 peuvent être telles que $X_n = X_p = 0$ et/ou $X1 = Xb = X2$, ce qui permet de simplifier la réalisation de la diode électroluminescente.

L'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n et/ou l'épaisseur de la couche $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p peut être comprise entre environ 20 nm et 10 μm , et/ou l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X1}\text{Ga}_{(1-X1)}\text{N}$ et/ou l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X2}\text{Ga}_{(1-X2)}\text{N}$ peut être comprise entre environ 1 nm et 200 nm.

La diode électroluminescente peut comporter en outre une première électrode métallique disposée contre la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n et une deuxième électrode métallique disposée contre la couche $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p.

La zone active de la diode électroluminescente peut comporter un nombre de couches d'InN supérieur à 2, chacune des couches d'InN étant séparée de la ou de chacune des couches d'InN adjacentes par une couche de séparation comprenant de l'InGaN ou du GaN et d'épaisseur inférieure ou égale à environ 3 nm.

La diode électroluminescente peut comporter plusieurs zones actives disposées entre la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n et la couche $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p et dans lesquelles des recombinaisons radiatives sont aptes à se produire.

La diode électroluminescente peut comporter en outre, entre la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n et la zone active, une couche tampon d'InGaN dopé n, l'InGaN dopé n de la couche tampon comportant une énergie de bande interdite inférieure ou égale à environ 97 % de l'énergie de bande interdite de $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'une diode électroluminescente telle que décrite ci-dessus, dans lequel les couches de la diode électroluminescente sont des couches planaires réalisées par croissance les unes au-dessus des autres, ou dans lequel les couches de la diode électroluminescente sont
5 réalisées par croissance sous la forme de nanofils radiaux ou axiaux.

L'invention concerne également un dispositif émissif lumineux comprenant au moins une diode électroluminescente telle que décrite ci-dessus.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description
10 d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1 et 2 représentent des taux de recombinaisons radiatives obtenus dans des diodes électroluminescentes de l'art antérieur ;
- la figure 3 représente schématiquement une diode
15 électroluminescente, objet de la présente invention, selon un mode de réalisation particulier ;
- la figure 4 représente le taux de recombinaisons radiatives obtenu dans la zone active d'une diode électroluminescente, objet de la présente invention, selon un premier exemple de réalisation ;
- 20 - la figure 5 représente les concentrations en électrons et en trous obtenues dans la zone active de la diode électroluminescente, objet de la présente invention, selon le premier exemple de réalisation ;
- la figure 6 représente le taux de recombinaison radiatives obtenu dans une diode électroluminescente, objet de la présente invention, selon un deuxième
25 exemple de réalisation ;
- les figures 7A et 7B représentent schématiquement des diodes électroluminescentes, objets de la présente invention, réalisées sous la forme de nanofils.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas
5 nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent se combiner entre elles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

10 On se réfère tout d'abord à la figure 3 qui représente schématiquement une diode électroluminescente 100, ou LED 100, selon un mode de réalisation particulier. Dans la notation $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$ utilisée par la suite, X représente la composition en indium du matériau, c'est-à-dire la proportion d'indium par rapport à la quantité totale d'indium et de gallium dans le matériau $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}$.

15 La LED 100 comporte une jonction p-n formée par une couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n 102 (également appelé $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N-n}$), avec une concentration de donneurs égale à environ $3 \cdot 10^{18}$ donneurs/cm³, et une couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p 104 (également appelé $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N-p}$) avec une concentration d'accepteurs égale à environ $2 \cdot 10^{19}$ accepteurs/cm³. Ces deux couches dopées 102 et 104 ont par exemple chacune
20 une épaisseur (dimension selon l'axe Z représenté sur la figure 3) comprise entre environ 20 nm et 10 µm. Une première électrode métallique 101 est disposée contre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N-n}$ 102 et forme une cathode de la LED 100, et une deuxième électrode métallique 103 est disposée contre la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N-p}$ 104 et forme une anode de la LED 100. De manière générale, la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N-n}$ 102 peut avoir une
25 concentration de donneurs comprise entre environ 10^{17} et 10^{20} donneurs/cm³, et la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N-p}$ 104 peut avoir une concentration d'accepteurs comprise entre environ 10^{15} et 10^{20} accepteurs/cm³.

La LED 100 comporte, entre les couches dopées 102 et 104, une zone active 105 dans laquelle se produisent des recombinaisons radiatives entraînant une

émission lumineuse de la LED 100. La zone active 105 comporte notamment une première couche d'InN 106 se trouvant du côté de la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N-n}$ 102, et une deuxième couche d'InN 108 se trouvant du côté de la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N-p}$ 104. Les deux couches d'InN 106 et 108 sont séparées l'une de l'autre par une fine couche de
5 séparation 110 comprenant de $\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{N}$. De plus, la première couche d'InN 106 est séparée de la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N-n}$ 102 par une couche d' $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{(1-x_1)}\text{N}$ 112, et la deuxième couche d'InN 108 est séparée de la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N-p}$ 104 par une couche d' $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{(1-x_2)}\text{N}$ 114.

Toutes les couches de la zone active 105 de la LED 100 (c'est-à-dire les
10 couches 106, 108, 110, 112 et 114 sur l'exemple de la figure 3) comportent de matériaux non intentionnellement dopés (de concentration en donneurs résiduels n_{nid} égale à environ 10^{17} cm^{-3} , ou comprise entre environ 10^{16} et 10^{20} donneurs/ cm^3).

De manière générale, chacune des compositions en indium X_1 , X_2 et X_b
15 peut être comprise entre 0 et 0,25 (lorsque l'une de ces compositions en indium a une valeur nulle, le matériau associé à cette composition est alors du GaN). De plus, on a également $X_1 \leq X_2$. De manière avantageuse, les compositions en indium X_1 et X_2 sont telles que $0,05 \leq X_1 \leq 0,08$ et $0,12 \leq X_2 \leq 0,2$, et la composition en indium X_b est telle que $0,05 \leq X_b \leq 0,2$.

Les compositions en indium X_n , X_1 , X_2 et X_p respectivement des
20 couches 102, 112, 114 et 104 sont avantageusement telles que $X_n < X_1 < X_2 < X_p$, ce qui permet d'homogénéiser la répartition des électrons dans les couches de la zone active 105 de la LED 100. Ces compositions en indium sont par exemple telles que $X_n = 0$ (ce qui signifie dans ce cas que la couche dopée n 102 comporte du GaN-n), $X_1 = 0,05$, $X_2 = 0,1$ et $X_p = 0,18$.

Afin de simplifier la réalisation de la LED 100, il est possible d'avoir
25 $X_n = X_p = 0$ (les couches dopées 102 et 104 comportant alors respectivement du GaN-n et du GaN-p) et/ou d'avoir $X_1 = X_b = X_2$, ce qui permet par exemple de réaliser les couches 102, 104, 110, 112 et 114 avec une même température de croissance et/ou de réaliser les couches 106 et 108 avec une même température de croissance.

Les épaisseurs (dimensions selon l'axe Z représenté sur la figure 3) des couches d'InN 106 et 108, appelées respectivement $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$, sont telles que $e_{\text{InN}106} \leq e_{\text{InN}108}$. Chacune de ces épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ est comprise entre 1 monocouche et 3 monocouches (1 monocouche d'InN correspondant à une épaisseur égale à environ 0,25 nm), et de préférence entre 1 monocouche et 2 monocouches. Toutefois, lorsque l'une ou chacune des deux épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ est comprise entre 2 monocouches et 3 monocouches, il est par exemple possible d'avoir $X_b \geq 0,15$. De manière complémentaire, lorsque $X_b < 0,15$, l'épaisseur de cette ou de chacune de ces couches est de préférence choisie inférieure ou égale à environ 2 monocouches.

Afin de permettre aux porteurs de charges de passer facilement de la deuxième couche d'InN 108 à la première couche d'InN 106, l'épaisseur de la couche de séparation 110 est inférieure ou égale à environ 3 nm, et avantageusement inférieure ou égale à environ 2 nm. Contrairement à deux puits quantiques réalisés l'un à côté de l'autre, les deux couches d'InN 106 et 108 font parties de la même zone active de la LED 100 et fonctionnent conjointement pour réaliser une émission lumineuse depuis cette zone active 105 de la LED 100. Les épaisseurs des couches 112 et 114 sont comprises entre environ 1 nm et 200 nm.

On décrit ci-dessous un premier exemple de réalisation de la diode 100.

La couche dopée n 102 a une épaisseur égale à environ 500 nm et comporte du GaN-n avec une concentration de donneurs égale à environ $3 \cdot 10^{18}$ donneurs/cm³. La couche dopée p 104 a une épaisseur égale à environ 500 nm et comporte du GaN-p avec une concentration d'accepteurs égale à environ $2 \cdot 10^{19}$ accepteurs/cm³. Les couches 112 et 114 ont chacune une épaisseur égale à environ 5 nm et comportent du GaN non intentionnellement dopé (GaN-nid) de concentration en donneurs résiduels n_{nid} égale à environ 10^{17} cm⁻³. Les couches d'InN 106 et 108 ont chacune une épaisseur égale à environ 2 monocouches et comportent de l'InN-nid. Enfin, la couche de séparation 110 a une épaisseur égale à environ 1 nm et comporte de l'In_{0,2}Ga_{0,8}N-nid.

Les simulations décrites ci-dessous sont réalisées avec le logiciel de simulation SILVACO® d'ATLAS®.

La figure 4 représente le taux de recombinaisons radiatives obtenues dans les différentes couches de la zone active 105 de la LED 100 selon le premier exemple de réalisation décrit ci-dessus. Les références des différentes couches de la LED 100 sont rappelées sur la figure 4, les traits verticaux représentés sur la figure 4 symbolisant les interfaces entre les couches de la LED 100. On voit sur cette figure qu'un taux maximum de recombinaisons radiatives d'environ 10^{24} recombinaisons.cm⁻³.s⁻¹ est obtenu dans la première couche d'InN 106 se trouvant du côté de la couche de GaN-n 102, ce qui est bien supérieur au taux d'environ 10^{21} recombinaisons.cm⁻³.s⁻¹ obtenu avec un puits quantique formé d'une seule couche d'InN disposée entre deux couches barrières d'InGaN ou de GaN comme précédemment décrit en liaison avec les figures 1 et 2.

La figure 5 représente les concentrations en électrons (représentées par des croix référencées 120) et en trous (représentées par des losanges référencés 122), par cm³, obtenues dans les différentes couches de la zone active 105 de la LED 100 selon le premier exemple de réalisation décrit ci-dessus. Cette figure montre bien que dans la première couche d'InN 106, du côté de la couche dopée n 102, les concentrations en électrons et en trous sont sensiblement équivalentes, ce qui permet d'avoir un fort taux de recombinaisons radiatives dans cette première couche d'InN 106. Cette bonne efficacité radiative dans la première couche d'InN 106 se trouvant du côté de la couche dopée n 102, est obtenue notamment grâce à l'utilisation de la fine couche de séparation 110 entre les deux couches d'InN 106, 108 car la deuxième couche d'InN 108 forme alors, vis-à-vis de la première couche d'InN 106, un réservoir de trous à partir de laquelle ces trous migrent dans la première couche d'InN 106.

On décrit ci-dessous un deuxième exemple de réalisation de la LED 100.

La couche dopée n 102 a une épaisseur égale à environ 500 nm et comporte du GaN-n avec une concentration de donneurs égale à environ 3.10^{18} donneurs/cm³. La couche dopée p 104 a une épaisseur égale à environ 500 nm et comporte du GaN-p avec une concentration d'accepteurs égale à environ 2.10^{19} accepteurs/cm³. Les couches 112 et 114 ont chacune une épaisseur égale à environ 2 nm et comportent de l'In_{0,2}Ga_{0,8}N non intentionnellement dopé (In_{0,2}Ga_{0,8}N-nid) de concentration en donneurs résiduels n_{nid} égale à environ 10^{17} cm⁻³. Les deux couches

d'InN 106 et 108 comportent toutes les deux de l'InN-nid. Dans ce deuxième exemple de réalisation, les deux couches d'InN 106 et 108 ont par contre des épaisseurs différentes. Ainsi, la première couche d'InN 106 se trouvant du côté de la couche dopée n 102 a une épaisseur égale à environ 1 monocouche et la deuxième couche d'InN 108 se trouvant du côté de la couche dopée p 104 a une épaisseur égale à environ 3 monocouches. Enfin, la couche de séparation 110 a une épaisseur égale à environ 2 nm et comporte de l' $\text{In}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{N}$ -nid. Le taux de recombinaisons radiatives obtenu dans la LED 100 selon ce deuxième exemple de réalisation est représenté sur la figure 6.

Cette dissymétrie entre les épaisseurs des couches d'InN 106 et 108 permet de favoriser l'émission lumineuse réalisée par la couche d'InN la plus fine (ici la première couche d'InN 106 se trouvant du côté de la couche dopée n 102) car cette faible épaisseur permet d'avoir un meilleur contrôle de l'émission lumineuse réalisée par la première couche d'InN 106. D'une part, l'épaisseur plus importante de la deuxième couche d'InN 108 permet d'accentuer le rôle de réservoir, ou de capture, de trous rempli par cette couche, et donc d'augmenter le taux de recombinaisons se produisant dans la première couche d'InN 106. D'autre part, avec une telle structure, du fait que la première couche d'InN 106 est plus fine, ce qui entraîne une augmentation de l'énergie de transition dans la première couche d'InN 106 sans en modifier le gap, on obtient une émission lumineuse efficace pour des longueurs d'ondes égales à environ 530 nm, c'est-à-dire des longueurs d'ondes correspondant à la couleur verte.

Dans tous les modes et exemples de réalisation précédemment décrits, la zone active 105 de la LED 100 peut comporter plus de deux couches d'InN-nid, chacune de ces couches d'InN étant dans ce cas séparée de la ou de chacune des couches d'InN adjacentes par une fine couche de séparation similaire à la couche 110 et comprenant de l'InGaN (la proportion d'indium de l'InGaN de chacune de ces fines couches de séparation pouvant être similaire ou non d'une couche à l'autre) ou du GaN.

De plus, dans tous les modes et exemples de réalisation précédemment décrits, il est possible de réaliser la LED 100 telle qu'elle comporte, entre les couches dopées 102 et 104, plusieurs zones actives, par exemple similaires à la zone active 105 précédemment décrite, disposées les unes au-dessus des autres, et comportant chacune

au moins deux couches d'InN séparées l'une de l'autre par une fine couche de séparation similaire à la couche de séparation 110 précédemment décrite. La LED forme alors une LED à multiples puits quantiques.

Selon une autre variante de réalisation de la LED 100, il est possible de former, entre la couche dopée n 102 et la couche 112 d' $\text{In}_{x1}\text{Ga}_{(1-x1)}\text{N}$, une couche tampon d' InGaN -n comportant une énergie de bande interdite inférieure ou égale à environ 97 % de l'énergie de bande interdite de l' $\text{In}_{xp}\text{Ga}_{(1-xp)}\text{N}$ -p de la couche 104. Une telle couche tampon crée, de part son énergie de bande interdite inférieure ou égale à environ 97 % de l'énergie de bande interdite de la couche dopée p 104, c'est-à-dire telle que le gap de cette couche tampon soit inférieur d'au moins 3 % par rapport au gap de la couche dopée p 104 ($E_{g\text{tampon}} \leq 0,97 E_{g104}$), une asymétrie dans la structure de la LED 100, et plus particulièrement une asymétrie dans la jonction p-n de la LED 100. Cette asymétrie facilite la circulation des trous dans la LED 100 et permet d'obtenir une répartition plus homogène des porteurs (électrons et trous) dans la zone active 105 de la LED 100. Cela se traduit par une meilleure émission lumineuse depuis la zone active 105 de la LED 100 et donc par un meilleur rendement quantique interne de la LED 100. Cette couche tampon comporte de l' InGaN avec avantageusement une composition en indium supérieure d'au moins 2,5 % par rapport à la valeur de x_p , c'est-à-dire de la composition en indium du semi-conducteur de la couche dopée p 104.

La couche tampon et la couche dopée n 102 peuvent comporter un semi-conducteur de composition et/ou de dopage identiques. Ainsi, la composition en indium du semi-conducteur de la couche dopée n 102 peut être similaire à la composition en indium du semi-conducteur de la couche tampon, et/ou la concentration de donneurs dans le semi-conducteur de la couche dopée n 102 peut être similaire à la concentration de donneurs dans le semi-conducteur dopé n de la couche tampon.

En variante, la composition en indium du semi-conducteur de la couche tampon peut varier le long de l'épaisseur de la couche tampon, formant ainsi un gradient dans la composition d'indium le long de l'épaisseur de la couche tampon. Il est également possible de réaliser un super-réseau $(\text{In,Ga})\text{N}/\text{InGaN}$ pour la couche tampon.

Il est également possible que la LED 100 comporte une couche de blocage d'électrons, par exemple à base d'AlGaN, disposée entre la couche 114 et la couche dopée p 104. Une telle couche de blocage d'électrons permet d'empêcher le passage des électrons vers la couche dopée p 104. Une telle couche de blocage d'électrons permet de diminuer également le DROOP, c'est-à-dire la chute de l'efficacité quantique interne lorsque la densité de courant dans la LED augmente, cette chute étant partiellement due à l'échappement des électrons de la zone active 105 quand le courant augmente.

Une telle LED 100 fonctionne quelle que soit l'orientation de la structure, que ce soit selon le plan c (sous la présence d'un fort champ électrique interne), le plan M, en semi-polaire, etc.

La LED 100 peut être réalisée sous la forme d'une diode planaire comme représenté sur la figure 3, c'est-à-dire sous la forme d'un empilement de couches formées sur un substrat (le substrat n'étant pas représenté sur la figure 3), les faces principales des différentes couches étant disposées parallèlement au plan du substrat (parallèles au plan (X,Y)).

On décrit ci-dessous un exemple de réalisation de la LED 100 sous la forme d'une telle diode planaire.

On réalise tout d'abord la croissance d'une première couche de GaN d'épaisseur égale à environ 2 μm sur un substrat saphir, par exemple par MOCVD (« MetalOrganic Chemical Vapour Deposition » en anglais) à une température d'environ 1000°C. Cette croissance est achevée en formant la couche 102 de GaN-n dopé par du silicium à $3 \cdot 10^{18}$ donneurs/cm³, d'épaisseur égale à environ 500 nm. La température est ensuite abaissée à environ 830 °C pour faire croître environ 10 nm d'In_{0,05}Ga_{0,95}N non intentionnellement dopé, formant la couche 112. La température est ensuite abaissée à environ 600°C pour faire croître 3 monocouches d'InN non intentionnellement dopé, formant la première couche d'InN 106. La température est remontée à environ 720°C pour faire croître 1 nm d'In_{0,2}Ga_{0,8}N non intentionnellement dopé, formant la couche de séparation 110. La température est abaissée de nouveau à environ 600°C pour faire croître 2 monocouches d'InN non intentionnellement dopé, formant la deuxième couche

d'InN 108. La température est remontée à environ 750°C pour faire croître 10 nm d'In_{0,12}Ga_{0,88}N non intentionnellement dopé, formant la couche 114. La température est abaissée à environ 730°C pour faire croître 500 nm d'In_{0,18}Ga_{0,82}N dopé par du magnésium, formant la couche 104. La deuxième électrode métallique 103 est ensuite
5 réalisée sous la forme d'une couche de Ni/Au sur la couche dopée p 104, et la première électrode métallique 101 est enfin réalisée sous la forme d'une couche de Ti/Au sur la couche dopée n 102 (après désolidarisation de la couche dopée n 102 avec la première couche de GaN d'épaisseur égale à environ 2 µm).

En variante, la LED 100 peut être réalisée sous la forme de nanofils. La
10 figure 7A représente une telle LED 100 réalisée sous la forme de nanofils axiaux, ces nanofils comportant un empilement formé de la première électrode 101, d'un substrat 124 de semi-conducteur (par exemple du gallium) de type n, d'une couche de nucléation 126 permettant la croissance des nanofils, de la couche dopée n 102, de la zone active 105, de la couche dopée p 104, et de la deuxième électrode 103. Un matériau isolant 128
15 peut entourer au moins une partie de ces nanofils qui s'étendent parallèlement à l'axe Z.

La figure 7B représente une LED 100 réalisée sous la forme de nanofils radiaux, ces nanofils comportant un empilement formé de la première électrode 101, du substrat 124 de semi-conducteur, de la couche de nucléation 126 et de la couche dopée n
20 de nucléation 126. La zone active 105 (formée au moins des couches 106, 108, 110, 112 et 114) est réalisée telle qu'elle entoure au moins une partie de la couche dopée n 102. La couche dopée p 104 est réalisée telle qu'elle entoure la zone active 105. Enfin, la deuxième électrode 103 est réalisée en recouvrant la couche dopée p 104.

En variante des deux exemples de réalisation décrits sur les figures 7A et
25 7B, la structure de ces nanofils peut être inversée, avec dans ce cas un substrat 124 de semi-conducteur, par exemple de nitrure de gallium, de type p sur lequel est réalisée la couche dopée p 104, puis les autres éléments de la LED 100 dans l'ordre inverse de celui décrit sur les figures 7A et 7B.

On décrit ci-dessous un exemple de réalisation de la diode 100 sous la
30 forme de nanofils radiaux.

Des nanofils de GaN dopés par du silicium avec une concentration de donneurs égale à environ 3.10^{18} donneurs/cm³ sont réalisés par croissance sur un substrat saphir, par exemple par MOCVD à une température d'environ 1050°C, formant également une couche de GaN dopé silicium entre les nanofils, l'ensemble correspondant à la première couche dopée n 102. La température est ensuite abaissée à environ 830 °C pour faire croître une coquille d'environ 50 nm d'épaisseur d'In_{0,05}Ga_{0,95}N non intentionnellement dopé, formant la couche 112. La température est ensuite abaissée à environ 600°C pour faire croître une coquille d'épaisseur égale à environ 3 monocouches d'InN non intentionnellement dopé, formant la première couche d'InN 106. La température est remontée à environ 720°C pour faire croître une coquille d'épaisseur égale à environ 1 nm d'In_{0,2}Ga_{0,8}N non intentionnellement dopé, formant la couche de séparation 110. La température est abaissée de nouveau à environ 600°C pour faire croître une coquille d'épaisseur égale à environ 2 monocouches d'InN non intentionnellement dopé, formant la deuxième couche d'InN 108. La température est remontée à environ 750°C pour faire croître une coquille d'épaisseur égale à environ 10 nm d'In_{0,12}Ga_{0,88}N non intentionnellement dopé, formant la couche 114. La zone active 105 forme ici un empilement de coquilles les unes sur les autres. La température est abaissée à environ 720°C pour faire croître une coquille d'épaisseur égale à environ 500 nm d'In_{0,18}Ga_{0,82}N dopé par du magnésium, formant la couche dopée p 104. La deuxième électrode métallique 103 est ensuite réalisée sous la forme d'une couche de Ni/Au sur la coquille d'In_{0,18}Ga_{0,82}N dopé Mg, et la première électrode métallique 101 est ensuite réalisée sous la forme d'une couche de Ti/Au sur la couche de GaN dopé Si se trouvant entre les nanofils de GaN (couche dopée n de Si 102 précédemment décrite). Avant de déposer l'électrode métallique 101, l'électrode 103 Ni/Au qui est aussi déposée entre les fils est gravée par gravure ionique réactive fluorée pour le nickel et par attaque chimique au KI pour l'or. Selon ce mode de réalisation, on obtient des nanofils dopés n reliés par une couche 2D continue de GaN dopé n. Une électrode contact dans ce cas la coquille externe de type p des nanofils et une électrode contact la couche de GaN de type n entre les nanofils.

Les différentes caractéristiques (épaisseurs, dopage, etc.) précédemment exposées pour la LED 100 de type planaire peuvent être similaires pour la LED 100 réalisée sous la forme de nanofils. Les températures indiquées ci-dessus pour la réalisation de la LED 100 sous forme planaire ou de nanofils varient selon le dispositif MOCVD utilisé. De plus, dans le cas d'une structure de nanofils, les températures peuvent varier en fonction des diamètres, longueurs et densité des nanofils. Pour obtenir des interfaces abruptes entre les différentes couches plus ou moins riches en indium, il est possible de réaliser des dépôts préalables d'indium en surface avant la croissance d'InGaN, et/ou de réaliser une évaporation d'indium en surface après la croissance d'InGaN.

REVENDEICATIONS

1. Diode électroluminescente (100) comportant au moins une couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et une couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p (104) formant ensemble une jonction p-n de la diode électroluminescente (100), et une zone active (105) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p (104) et dans laquelle des recombinaisons radiatives sont aptes à se produire, la zone active (105) comprenant au moins :
- une première couche d' InN (106) d'épaisseur $e_{\text{InN}106}$;
 - une deuxième couche d' InN (108) d'épaisseur $e_{\text{InN}108}$;
 - une couche de séparation (110) disposée entre la première couche d' InN (106) et la deuxième couche d' InN (108) et telle que la première couche d' InN (106) soit disposée entre la couche de séparation (110) et la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102), la couche de séparation (110) comprenant de $\text{In}_{x_b}\text{Ga}_{(1-x_b)}\text{N}$ et une épaisseur inférieure ou égale à environ 3 nm ;
 - une couche d' $\text{In}_{x_1}\text{Ga}_{(1-x_1)}\text{N}$ (112) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et la première couche d' InN (106) ;
 - une couche d' $\text{In}_{x_2}\text{Ga}_{(1-x_2)}\text{N}$ (114) disposée entre la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p (104) et la deuxième couche d' InN (108) ;
- dans laquelle les compositions en indium x_n , x_p , x_b , x_1 et x_2 sont comprises entre 0 et environ 0,25, et dans laquelle les épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ sont telles que $e_{\text{InN}106} < e_{\text{InN}108}$.
2. Diode électroluminescente (100) selon la revendication 1, dans laquelle les épaisseurs $e_{\text{InN}106}$ et $e_{\text{InN}108}$ sont comprises entre 1 monocouche et 3 monocouches.
3. Diode électroluminescente (100) selon la revendication 2, dans laquelle, lorsque l'une ou chacune de la première couche d' InN (106) et de la deuxième couche d' InN (108) a une épaisseur comprise entre 2 monocouches et 3 monocouches, la

composition en indium X_b est supérieure ou égale à environ 0,15, ou lorsque la composition en indium X_b est inférieure à environ 0,15, l'épaisseur de ladite une ou de chacune de la première couche d'InN (106) et de la deuxième couche d'InN (108) est inférieure ou égale à 2 monocouches.

5

4. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les compositions en indium X_1 et X_2 sont telles que $X_1 \leq X_2$, ou dans laquelle les compositions en indium X_n , X_p , X_b , X_1 et X_2 sont telles que $X_n < X_1 < X_2 < X_p$, ou telles que $X_n = X_p = 0$ et/ou $X_1 = X_b = X_2$.

10

5. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n (102) et/ou l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p (104) est comprise entre environ 20 nm et 10 μm , et/ou l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X_1}\text{Ga}_{(1-X_1)}\text{N}$ (112) et/ou l'épaisseur de la couche d' $\text{In}_{X_2}\text{Ga}_{(1-X_2)}\text{N}$ (114) est comprise entre environ 1 nm et 200 nm.

15

6. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre une première électrode métallique (101) disposée contre la couche d' $\text{In}_{X_n}\text{Ga}_{(1-X_n)}\text{N}$ dopé n (102) et une deuxième électrode métallique (103) disposée contre la couche d' $\text{In}_{X_p}\text{Ga}_{(1-X_p)}\text{N}$ dopé p (104).

20

7. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la zone active (105) comporte un nombre de couches d'InN supérieur à 2, chacune des couches d'InN étant séparée de la ou de chacune des couches d'InN adjacentes par une couche de séparation comprenant de l'InGaN ou du GaN et d'épaisseur inférieure ou égale à environ 3 nm.

25

8. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, comportant plusieurs zones actives (105) disposées entre la couche

d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et la couche d' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p (104) et dans lesquelles des recombinaisons radiatives sont aptes à se produire.

5 9. Diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications précédentes, comportant en outre, entre la couche d' $\text{In}_{x_n}\text{Ga}_{(1-x_n)}\text{N}$ dopé n (102) et la zone active (105), une couche tampon (110) d' InGaN dopé n, l' InGaN dopé n de la couche tampon (110) comportant une énergie de bande interdite inférieure ou égale à environ 97 % de l'énergie de bande interdite de l' $\text{In}_{x_p}\text{Ga}_{(1-x_p)}\text{N}$ dopé p.

10 10. Procédé de réalisation d'une diode électroluminescente (100) selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel les couches de la diode électroluminescente (100) sont des couches planaires réalisées par croissance les unes au-dessus des autres, ou dans lequel les couches de la diode électroluminescente (100) sont réalisées par croissance sous la forme de nanofils radiaux ou axiaux.

15

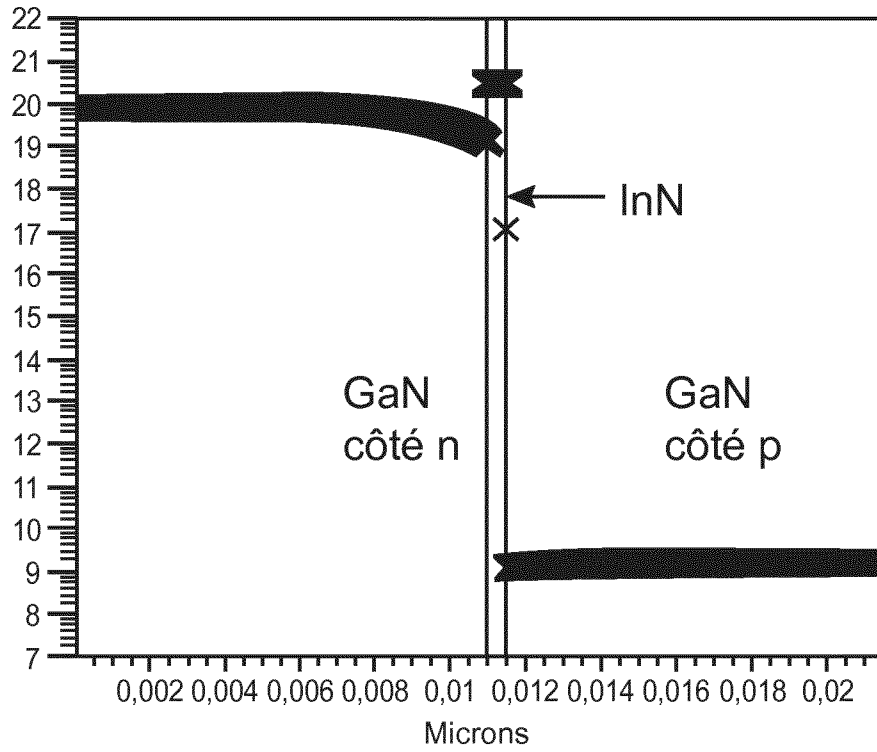


FIG.1

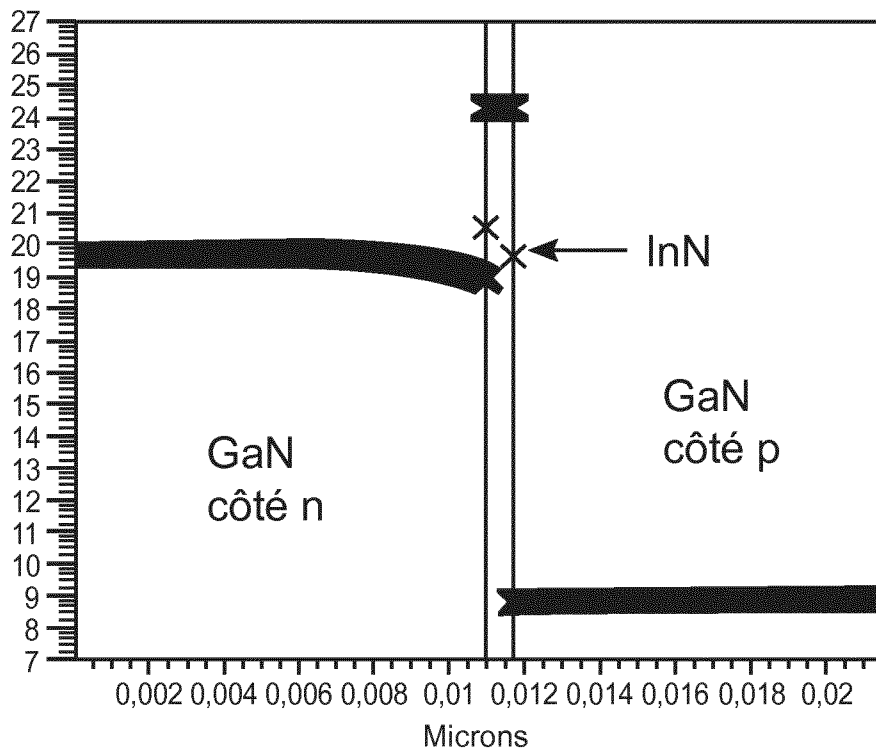


FIG.2

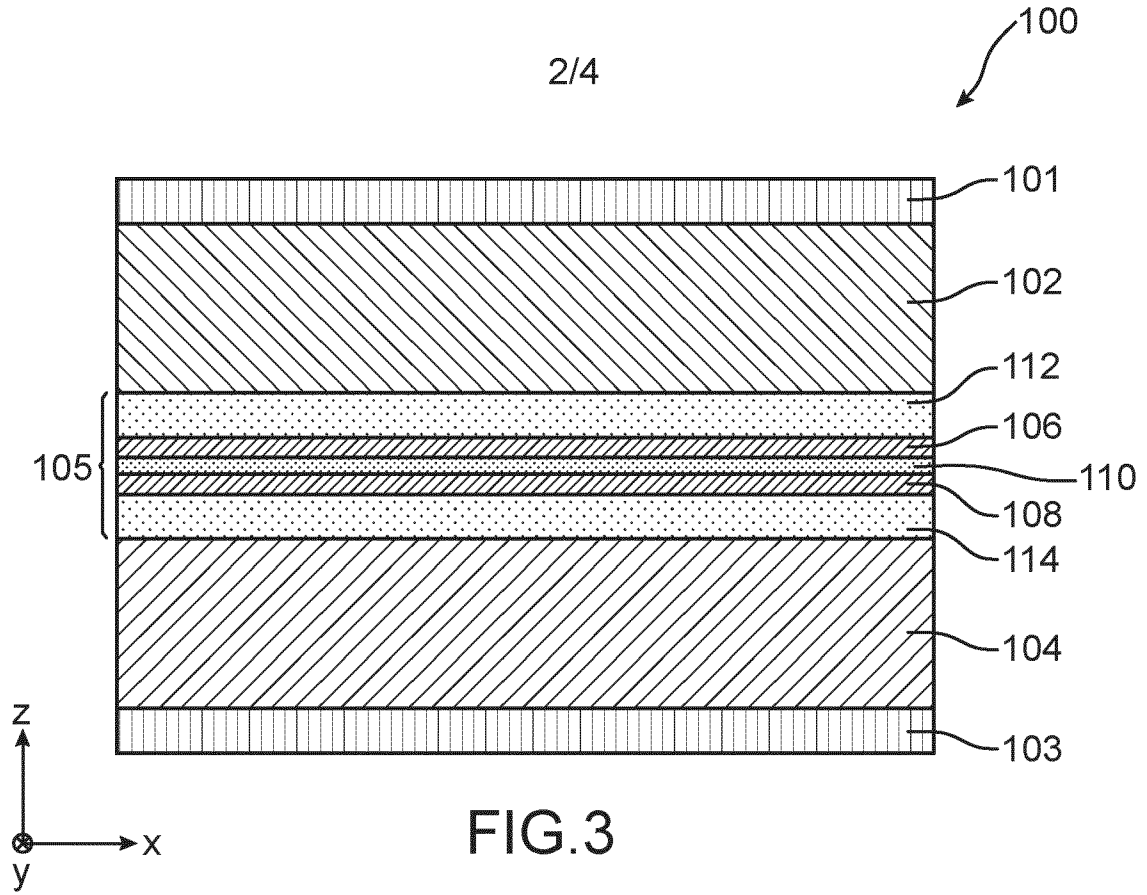


FIG.3

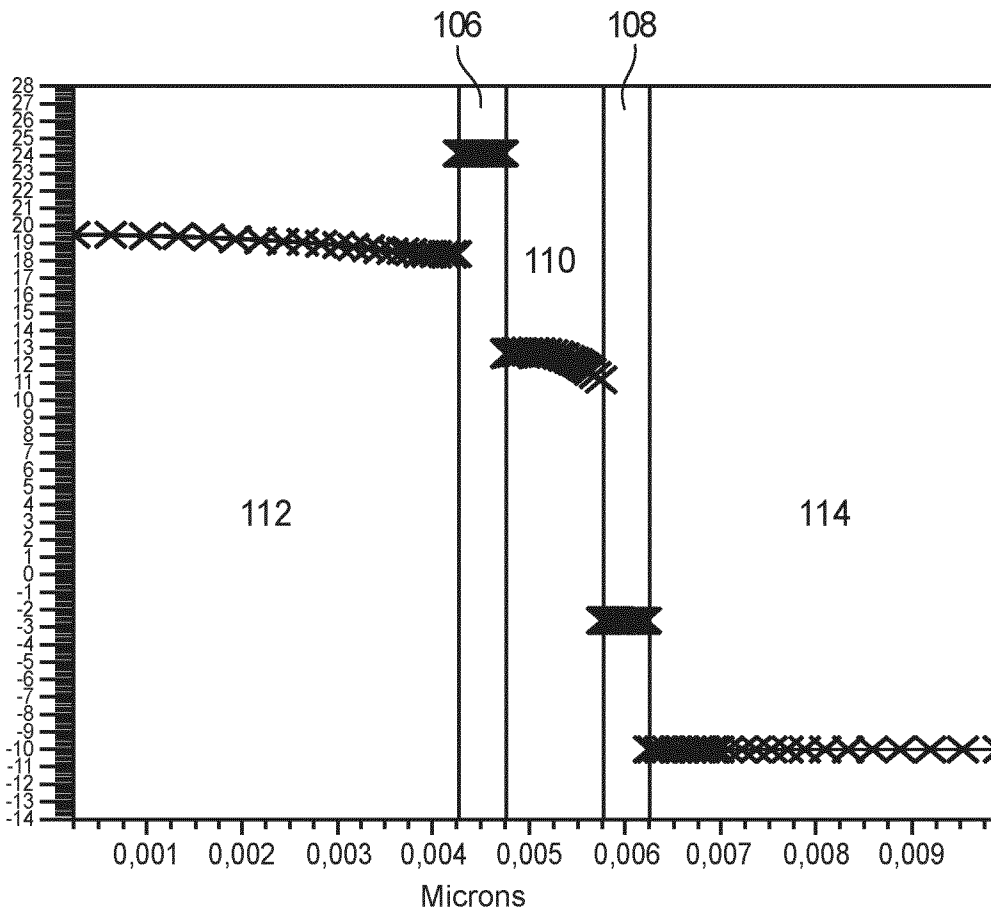


FIG.4

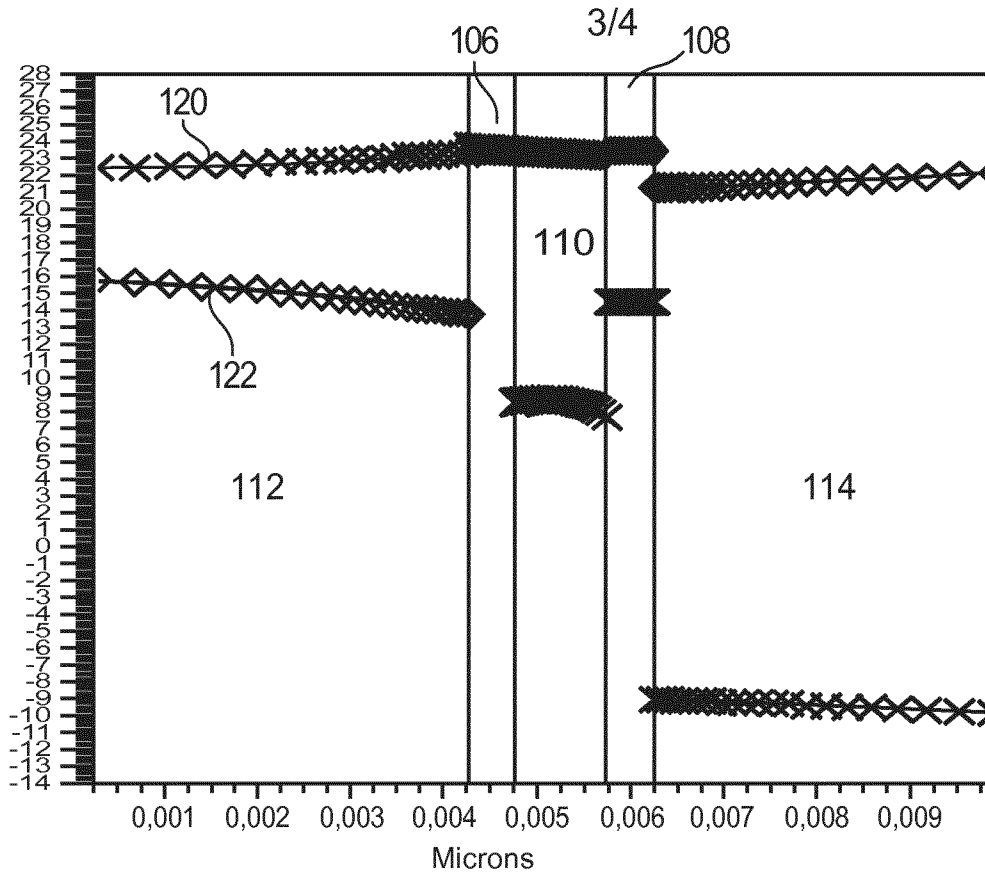


FIG.5

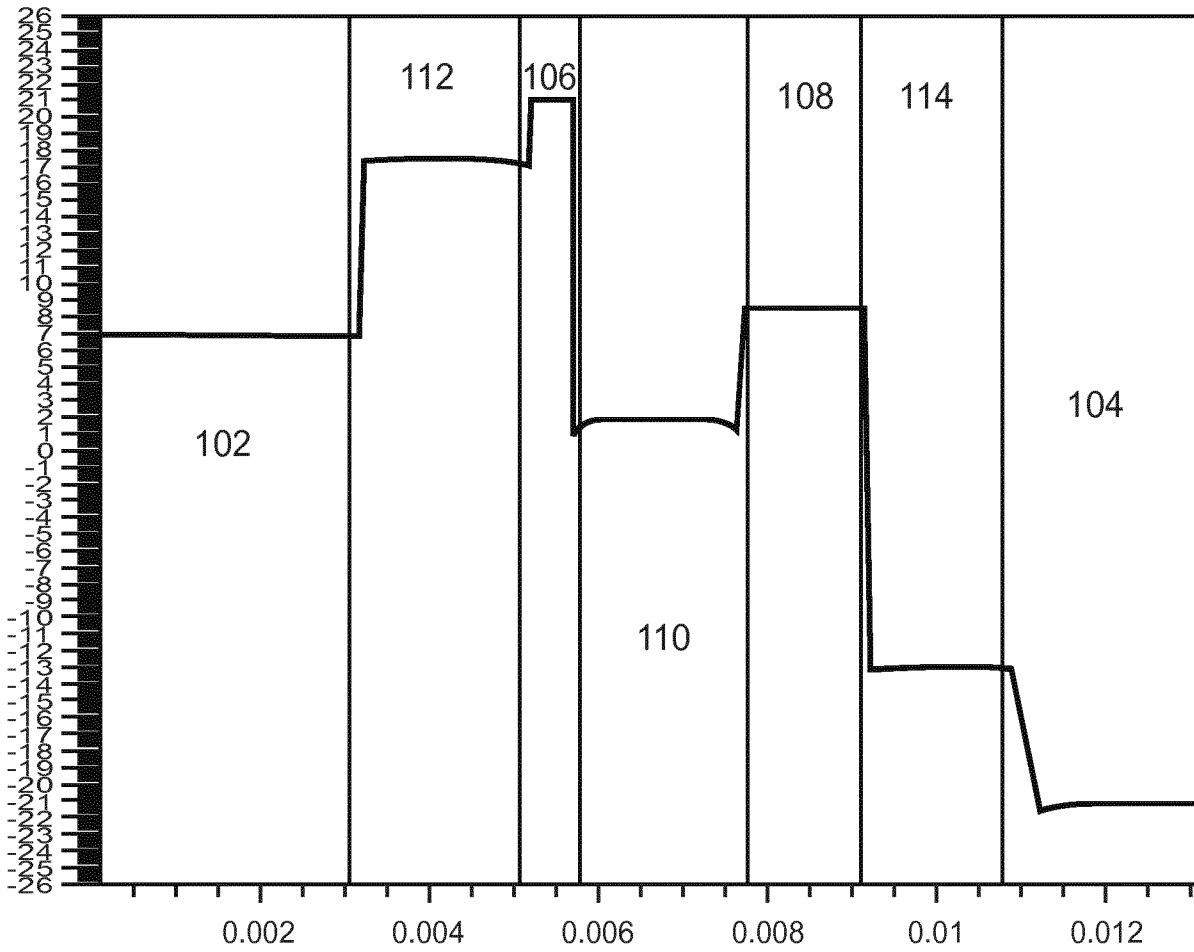


FIG.6

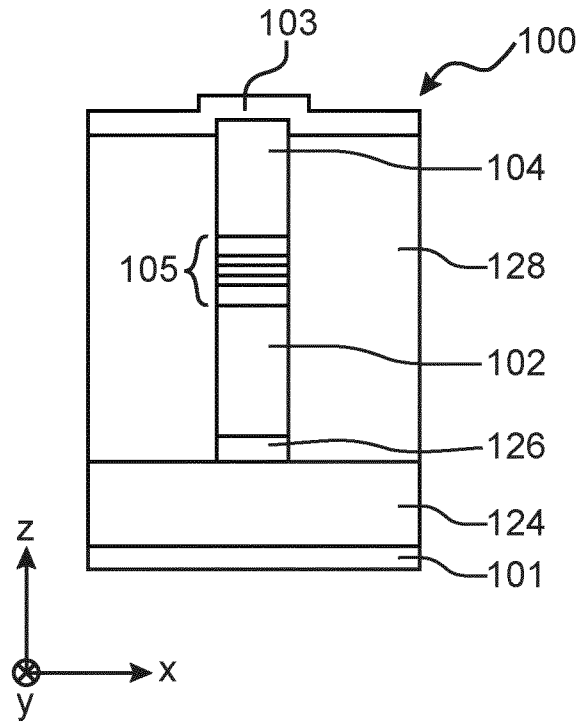


FIG. 7A

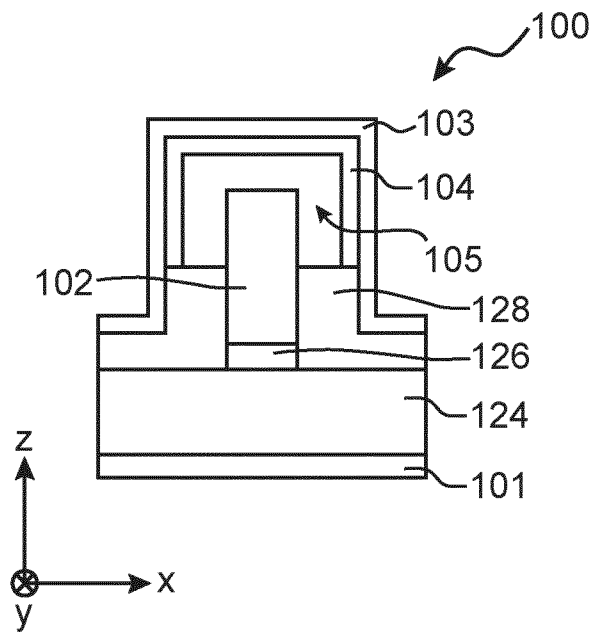


FIG. 7B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/067843

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. H01L33/06 H01L33/32
 ADD. H01L33/08 H01L33/18

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 H01L

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	AKIHIKO YUKI ET AL: "1-2 ML thick InN-based quantum wells with InGaN barriers for blue-green light emitters", PHYSICA STATUS SOLIDI (C), vol. 6, no. S2, 26 June 2009 (2009-06-26), pages S417-S420, XP055113385, ISSN: 1862-6351, DOI: 10.1002/pssc.200880969 cited in the application section 2; figure 1	1-10
Y	----- EP 1 903 619 A1 (OPTOGAN OY [FI]) 26 March 2008 (2008-03-26) paragraphs [0008], [0026], [0027], [0028], [0030]; figures 1,2,3 ----- -/--	1-10

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

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

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

Date of the actual completion of the international search 16 October 2014	Date of mailing of the international search report 28/10/2014
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Simeonov, Dobri
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/067843

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 411 559 A2 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR] SAMSUNG ELECTRO MECH [KR] SAMSUNG LED) 21 April 2004 (2004-04-21) paragraphs [0023] - [0030]; figures 2,3,4A-4D -----	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/067843

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1903619	A1	26-03-2008	AT 448572 T 15-11-2009
			CN 101057343 A 17-10-2007
			EP 1794815 A1 13-06-2007
			EP 1903619 A1 26-03-2008
			FI 20045387 A 18-03-2006
			HK 1110147 A1 30-10-2009
			JP 4961346 B2 27-06-2012
			JP 2008513987 A 01-05-2008
			KR 20070062556 A 15-06-2007
			RU 2376680 C2 20-12-2009
			TW I429153 B 01-03-2014
			US 2008283818 A1 20-11-2008
			WO 2006030064 A1 23-03-2006
EP 1411559	A2	21-04-2004	CN 1490910 A 21-04-2004
			EP 1411559 A2 21-04-2004
			JP 2004140370 A 13-05-2004
			JP 2011035427 A 17-02-2011
			US 2004125839 A1 01-07-2004

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2014/067843

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01L33/06 H01L33/32 ADD. H01L33/08 H01L33/18		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) H01L		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	AKIHIKO YUKI ET AL: "1-2 ML thick InN-based quantum wells with InGaN barriers for blue-green light emitters", PHYSICA STATUS SOLIDI (C), vol. 6, no. S2, 26 juin 2009 (2009-06-26), pages S417-S420, XP055113385, ISSN: 1862-6351, DOI: 10.1002/pssc.200880969 cité dans la demande section 2; figure 1	1-10
Y	EP 1 903 619 A1 (OPTOGAN OY [FI]) 26 mars 2008 (2008-03-26) alinéas [0008], [0026], [0027], [0028], [0030]; figures 1,2,3 ----- -/--	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents		
<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 16 octobre 2014		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 28/10/2014
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Simeonov, Dobri

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>EP 1 411 559 A2 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD [KR] SAMSUNG ELECTRO MECH [KR] SAMSUNG LED) 21 avril 2004 (2004-04-21) alinéas [0023] - [0030]; figures 2,3,4A-4D -----</p>	1-10

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2014/067843

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 1903619	A1	26-03-2008	AT 448572 T	15-11-2009
			CN 101057343 A	17-10-2007
			EP 1794815 A1	13-06-2007
			EP 1903619 A1	26-03-2008
			FI 20045387 A	18-03-2006
			HK 1110147 A1	30-10-2009
			JP 4961346 B2	27-06-2012
			JP 2008513987 A	01-05-2008
			KR 20070062556 A	15-06-2007
			RU 2376680 C2	20-12-2009
			TW I429153 B	01-03-2014
			US 2008283818 A1	20-11-2008
			WO 2006030064 A1	23-03-2006

EP 1411559	A2	21-04-2004	CN 1490910 A	21-04-2004
			EP 1411559 A2	21-04-2004
			JP 2004140370 A	13-05-2004
			JP 2011035427 A	17-02-2011
			US 2004125839 A1	01-07-2004
