(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
15 novembre 2018 (15.11.2018)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2018/206767 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01L 33/00 (2010.01) *H01L 33/60* (2010.01)
H01L 25/075 (2006.01) *H01S 5/026* (2006.01)
H01L 33/58 (2010.01) *H01S 5/183* (2006.01)
A01G 7/04 (2006.01) *H01S 5/50* (2006.01)
H01L 25/16 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2018/062210

(22) Date de dépôt international :
11 mai 2018 (11.05.2018)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1754163 12 mai 2017 (12.05.2017) FR

(71) Déposants : **UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE** [FR/FR] ; 74 Rue Louis Pasteur, 84000 AVIGNON (FR). **UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER** [FR/FR] ; 163 Rue Auguste Broussonnet, 34090 MONTPELLIER (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE** [FR/FR] ; 3 rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR).

(72) Inventeurs : **AARROUF, Jawad** ; 41 Rue Botticelli, 84130 LE PONTET (FR). **CHABANE SARI, Dounyazade** ; 5 Rue Cité Valette - Appartement 6, 34070 MONTPELLIER (FR). **ORSAL, Bernard** ; 8 Les Romarins, 34270 LES MATELLES (FR). **URBAN, Laurent** ; 297 Avenue du Mas Neuf, 13940 MOLLEGES (FR).

(74) Mandataire : **COLOMBO, Michel** et al. ; Innovation Competence Group, 310 avenue Berthelot, 69372 LYON cedex 08 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: LIGHT EMITTING DEVICE COMPRISING LEDS EMITTING IN THE UVC RANGE

(54) Titre : DISPOSITIF D'ÉMISSION LUMINEUSE À LEDS ÉMETTANT DANS LE DOMAINE DES UVC

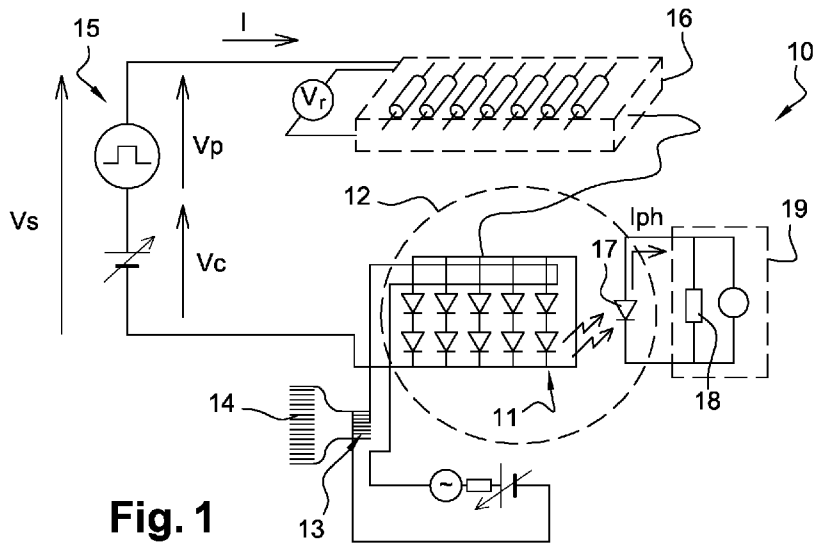


Fig. 1

(57) **Abstract:** A light emitting device comprising: a plurality of light emitting diodes (LEDs) suitable for emitting a photon wave having an emission wavelength λ of less than 270 nm and having an energy at the emission wavelength λ greater than an optical gap Eg = h.c/X, the plurality of LEDs comprising at least one LED; and a confinement device suitable for confining and amplifying the photon wave.

(57) **Abrégé :** Un dispositif d'émission lumineuse comprenant : • une pluralité de diodes électroluminescentes (LEDs) adaptées pour émettre une onde photonique ayant une longueur d'onde À d'émission inférieure à 270 nm et ayant une énergie à la longueur d'onde λ d'émission supérieure à un gap optique Eg = h.c/X, la pluralité de LEDs comprenant au moins une LEDs, et • un dispositif de confinement adapté pour confiner et amplifier l'onde photonique.

WO 2018/206767 A1

[Suite sur la page suivante]

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), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, 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))*

Dispositif d'émission lumineuse à LEDs émettant dans le domaine des UVC

Domaine technique et état de l'art

L'invention concerne un dispositif d'émission lumineuse à diodes électroluminescentes (ou LEDs). L'invention est particulièrement intéressante notamment pour la stimulation du métabolisme secondaire des plantes, la stimulation de leurs défenses naturelles, la stimulation de la croissance et du développement des végétaux, la stimulation des mécanismes de tolérance aux stress abiotiques des plantes, la décontamination chimique et biologique de l'eau, de l'air et des surfaces des végétaux. Pour de telles applications, de fortes densités de puissance sont requises. Or, il n'existe pas aujourd'hui de dispositif simple et peu onéreux à base de LEDs adapté pour produire, dans le domaine des ultraviolets UVC, une puissance lumineuse suffisante pour de telles applications.

Description de l'invention

L'invention propose un nouveau dispositif d'émission lumineuse comprenant :

- une pluralité de diodes électroluminescentes (LEDs) adaptées pour émettre une onde photonique ayant une longueur d'onde λ d'émission inférieure à 300 nm et ayant une énergie à la longueur d'onde λ d'émission supérieure à un gap optique Eg, où $Eg = h.c/\lambda$, h étant la constante de Planck et c étant la vitesse de la lumière, la pluralité de LEDs comprenant au moins une LED, et
- un dispositif de confinement adapté pour confiner et générer l'amplification de l'onde photonique.

De préférence, la longueur d'onde d'émission des LEDs est inférieure à 270 nm.

Classiquement, lorsqu'une LED est alimentée par un courant d'alimentation, des paires électroniques électron/trou sont injectées dans la cavité semiconductrice constituant la zone active de la LED et se recombinent spontanément en émettant un photon selon la relation :

$$(1e+ + 1e-) \rightarrow 1\ h\nu_{sp} \qquad (1)$$

La puissance lumineuse ainsi émise est proportionnelle au taux d'émission spontané de la LED, lui-même proportionnel au courant d'alimentation de la LED.

De manière fortuite, les inventeurs ont mis en évidence un phénomène de superluminescence lors d'essais sur une pluralité de LEDs ayant une longueur d'onde d'émission inférieure à 300 nm et confinées à l'intérieur d'un dispositif adapté pour réfléchir sur lesdites LEDs au moins une partie de la puissance lumineuse émise par les LEDs. Plus précisément, lorsque le courant d'alimentation I_a augmente alors la puissance optique émise par les LEDs augmente. En conséquence, le nombre de photons présents dans le

dispositif de confinement augmente et un nombre non négligeable de ces photons est réinjecté par rétrodiffusion ou réflexion dans la cavité semiconductrice constituant la zone active des LEDs où ils interagissent avec les paires électroniques injectées par le courant d'alimentation I_a dans la zone active des LEDS . Les photons réinjectés vont ainsi renforcer l'émission lumineuse spontanée des LEDs en permettant d'atteindre la transparence optique. L'émission spontanée naturelle équilibre alors l'absorption optique intrinsèque du matériau semiconducteur constituant les LEDs. Alors tout photon supplémentaire va interagir avec une paire électronique en produisant la réaction optoélectronique suivante caractéristique de l'émission stimulée ou superluminescence :

$$(1e^+ + 1e^-) + 1\ hv_{sp} \rightarrow 2\ hv_{sp} \qquad (2)$$

Par la suite, une réaction en chaîne va se produire.Les photons stimulent la recombinaison des paires électroniques ($1e^+ + 1e^-$) injectées par le courant et contribuent à leur multiplication par un phénomène d'avalanche qui croît de façon exponentielle avec le courant d'alimentation I_a des LEDs. Cet effet est appelé émission spontanée amplifiée ou superluminescence.

Cette amplification de l'émission spontanée des LEDs est rendue possible par le fait que l'écart entre le niveau de Fermi des électrons E_{fc} et le niveau de Fermi des trous E_{fv} est supérieur ou égal à la largeur de bande interdite du matériau semiconducteur constituant la zone active des LEDs pour produire des photons dont l'énergie $E = hv_{sp}$ est supérieure ou égale à la largeur de bande interdite ou gap optique. Cette condition est dite de Duraffourg. Pour un matériau émettant dans les UVC, c'est-à-dire un matériau dont la longueur d'onde λ d'émission est inférieure à 300 nm, le gap optique est égal à $Eg = h.c/\lambda = 4{,}13$ eV selon la relation de Planck-Einstein, h étant la constante de Planck et c étant la vitesse de la lumière. Pour un matériau dont la longueur d'onde λ d'émission est inférieure à 270 nm, le gap optique est égal à $Eg = h.c/\lambda = 4{,}6$ eV

Lorsque la condition de Duraffourg est atteinte, l'émission spontanée du matériau devient égale ou légèrement supérieure à son absorption intrinsèque, la population de photons augmente alors très vite avec le courant. C'est la condition nécessaire pour que la probabilité que les photons interagissent avec les paires électron/trou injectées par le courant tende vers 1. Ainsi le nombre de photons va croître de façon exponentielle dans la zone active des LEDs sans réflexion d'extrémité et dans le milieu délimité par le dispositif de confinement selon un processus d'avalanche photonique, décrit par la relation suivante :

$$P_{opt}(\lambda) = (h.c/\lambda).[\pi(\lambda)/c].R_{sp}.G_{za}, \text{ avec } G_{za} = \{(\exp[(g(\lambda)-\alpha(\lambda)).L]-1)/(g(\lambda)-\alpha(\lambda))\} \qquad (3)$$

où h représente la constante de Planck, λ la longueur d'onde d'émission des LEDs, L la longueur de la zone active des LEDs, $\alpha(\lambda)$ le coefficient d'absorption intrinsèque du milieu propre à la zone active, R_{sp} est

le facteur d'émission spontanée spécifique du semiconducteur constituant la zone active des LEDs. $g(\lambda)$ est le gain modal du milieu, il augmente proportionnellement au courant électrique injecté dans la zone active de la LED. Le terme $\pi(\lambda)/c$ définit quant à lui la taille du mode guidé dans la zone active des LEDs.

Le facteur d'émission spontanée R_{sp} est amplifié par le gain G_{za} de la zone active dès que le gain optique $g(\lambda)$ est suffisamment élevé pour compenser l'absorption intrinsèque du matériau semiconducteur, c'est-à-dire dès que $(g(\lambda) > \alpha(\lambda)$.

Selon un mode de réalisation, la ou les LEDs peuvent être remplacées par des diodes laser à cavité verticale émettant par la surface (UVCSEL). Ces structures émettent un faisceau optique plus directif que les LEDs classiques ou les lasers à émission latérale par la tranche. Ainsi le couplage est meilleur et les pertes optiques beaucoup plus faibles.

Selon un mode de réalisation, la zone active des LEDs est réalisée dans un matériau semiconducteur de type Aluminium-Galium-nitride ($Ga_xAl_{1-x}N$), x étant un nombre réel, de préférence compris entre 0,45 et 0,7. Un tel matériau a une longueur d'onde d'émission dans les UVC comprise entre 200 et 300 nm, selon la valeur de x. Le choix de la valeur de x permet d'optimiser la fabrication des LEDs ou des UVCSEL.s.

Dans un exemple, avec x = 0,53, le matériau semiconducteur Aluminium-Galium-nitride ($Ga_{0,53}Al_{0,47}N$) émet à 265 nm et l'énergie des photons émis par le matériau excité est de l'ordre de 4,7 eV, supérieure donc au gap optique Eg qui est de l'ordre de 4,63 eV pour une longueur d'onde de 265 nm. La condition dite de Duraffourg est donc atteinte pour le rayonnement UVC à 265 nm dans ce matériau :

$$E_{fc}-E_{fv} = h\nu_{sp} > Eg \qquad (4)$$

Selon un mode de réalisation, le dispositif de confinement est une sphère intégrante ou sphère d'Ulbricht à l'intérieur de laquelle la ou les LEDs sont positionnées, le dispositif de confinement étant adapté pour réfléchir au moins une partie du signal lumineux sur une zone d'émission des LEDs. Une telle sphère permet de confiner au maximum la lumière émise par les LEDs.

Selon un autre mode de réalisation, le dispositif de confinement peut comprendre une structure comprenant une zone active comprenant une pluralité de couches de semi-conducteurs qui enferme une cavité de confinement formant également un guide amplificateur, le dispositif de confinement étant couplé en sortie de la diode pour recevoir l'onde photonique émise par la LED. Le dispositif de confinement est par exemple un amplificateur optique fuselé (également connu sous l'expression anglo-saxonne « tapered amplifier ») comme on le verra mieux plus loin. Un tel amplificateur semiconducteur présente l'avantage de pouvoir être réalisé en même temps que les LEDs selon un procédé connu par

ailleurs. La densité de puissance produite par le guide amplificateur est fonction d'une largeur du dit guide amplificateur.

Un dispositif selon l'invention peut notamment être utilisé pour le traitement des plantes par rayonnement UVC.

Brève description des figures

L'invention sera mieux comprise, et d'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée qui suit d'exemples de mise en œuvre d'un dispositif d'émission lumineuse selon l'invention. Ces exemples sont donnés à titre non limitatif. La description est à lire en relation avec les dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 est un schéma d'un dispositif selon l'invention
- les figures 2 à 4 montrent des résultats de mesures réalisées sur le dispositif de la figure 1,
- la figure 7 est un schéma d'un autre dispositif selon l'invention et
- les figures 5 et 6 détaillent les éléments de la figure 7.

Description d'un mode de réalisation de l'invention

Comme dit précédemment, l'invention concerne un dispositif d'émission lumineuse comprenant :

- une pluralité de diodes électroluminescentes (LEDs) adaptées pour émettre une onde photonique ayant une longueur d'onde λ d'émission inférieure à 300 nm et ayant une énergie à la longueur d'onde λ supérieure à un gap optique $Eg = h.c/\lambda$, la pluralité de LEDs comprenant au moins une LED, et
- un dispositif de confinement adapté pour confiner et amplifier l'onde photonique.

La figure 1 montre un prototype 10 selon l'invention permettant de caractériser le processus de superluminescence. Vingt LEDs 11 sont positionnées sur une carte électronique, connectées en dix branches parallèles comprenant chacune deux LEDs en série. Les LEDs sont réalisées dans un matériau semiconducteur de type $Ga_xAl_{1-x}N$, avec x = 0,53 . Les LEDs sont positionnées à l'intérieur d'une sphère intégrante 12 (encore appelée sphère d'Ulbricht) qui homogénéise le rayonnement optique produit par les LEDs tout en assurant le confinement du rayonnement optique. La carte électronique supportant les LEDs est stabilisée en température par un circuit thermique comprenant un dispositif Peltier 13 couplé à un radiateur 14 de dissipation thermique. Un dispositif d'alimentation comprend une source de tension

15 en série avec un boîtier 16 de dix résistances de 10 Ω chacune alimente les dix branches de LEDs. Les dix résistances permettent également de mesurer le courant circulant dans chaque branche de LEDs.

Pour la mesure de la puissance lumineuse émise par les LEDs, une photodiode 17 est également positionnée à l'intérieur de la sphère intégrante. Lorsqu'elle est éclairée, la photodiode en régime linéaire produit un photocourant I_{ph} directement proportionnel à la puissance lumineuse qu'elle reçoit à travers sa surface active ; à l'intérieur de la sphère intégrante, la puissance reçue sur la surface active de la photodiode étant égale à la puissance optique rayonnée par les LEDs multipliée par le rapport entre la surface active de la photodiode et la surface intérieure de la sphère intégrante, le photocourant $I_{ph}(\lambda)$ émis par la photodiode est donc directement proportionnel à la puissance lumineuse rayonnée par les LEDs, et plus précisément ici avec la photodiode choisie :

$$I_{ph} = S(\lambda)*P_{opt}(\lambda) \qquad (5),$$

avec S = 0,1 A/W, $I_{ph}(\lambda)$ étant mesuré en Ampère (A).

Par commodité pour la mesure, la photodiode débite sur une résistance 18 de charge, ici de 470 kΩ, aux bornes de laquelle est branché un oscilloscope pour visualiser une image du photocourant, qui est également une image de la puissance lumineuse émise par les LEDs.

Des mesures sur le prototype décrit ci-dessus ont permis d'obtenir les résultats suivants.

De manière connue, lorsqu'une LED émet de la lumière, la puissance optique émise $P_{opt}(\lambda)$ est proportionnelle au courant d'alimentation I_a de la LED. Ce processus de luminescence est vérifié sur le prototype testé où le photocourant I_{ph} produit par la photodiode est proportionnel au courant d'alimentation I_a des LEDs lorsque le courant est faible, ici inférieur à 10 mA.

Lorsque le courant d'alimentation I_a des diodes augmente, les résultats montrent que le photocourant I_{ph} augmente plus vite que le courant d'alimentation des LEDs.

La figure 2 représente le courant I_{ph} émis par la photodiode en fonction du courant I_{a1} alimentant la première branche de LEDs, en échelle linéaire. La figure 3 présente la puissance optique P_{opt} rayonnée par les LEDs (directement proportionnelle au courant I_{ph}) en fonction du courant d'alimentation I_{a1} alimentant la première branche de LEDs, en échelle logarithmique. La linéarité de la courbe de la figure 3 met clairement en évidence l'évolution exponentielle de la puissance P_{opt} rayonnée par les LEDs en fonction du courant qu'elles reçoivent. Plus précisément, si on double le courant d'alimentation I_a dans une branche de LEDs, par exemple si I_a varie de 40mA à 80mA, les mesures montrent que la puissance lumineuse émise par les LEDs est multipliée par un coefficient compris entre 3,5 à 4 selon la branche de

LEDs considérée. Dit autrement, le photocourant I_{ph} augmente 1,75 à 2 fois plus vite que le courant d'alimentation I_a des LEDs. Sur la figure 4, qui montre la puissance totale émise par l'ensemble des LEDs en fonction du courant d'alimentation en échelle logarithmique, ceci se traduit par une droite de pente égale à 2.

Le prototype détaillé ci-dessus, n'est bien sûr qu'un exemple d'un mode de mise en œuvre de l'invention, construit essentiellement pour mettre en évidence le phénomène de superluminescence.

Des variantes du prototype de la figure 1 peuvent être envisagés. 20 LEDs ont été utilisées pour le prototype. Toutefois, le nombre de LEDs n'est pas limité, il suffit qu'il y ait au moins une LED. On adaptera simplement les dimensions du dispositif de confinement en fonction du nombre de LEDs, de sorte à avoir une bonne concentration de photons autour de la zone active des LEDs. Egalement, pour le contrôle de la densité d'énergie mise en jeu lors d'essais physiologiques ou autres, un capteur optique doit être mis en œuvre. Dans le prototype, une photodiode permet d'évaluer les valeurs des puissances optiques émises par les LEDs. Le boîtier de résistances quant à lui est utilisé uniquement à des fins de mesure et peut être supprimé ou remplacé, l'essentiel étant d'avoir une alimentation adaptée pour les LEDs.

Le prototype décrit ci-dessus susceptible d'être mis en œuvre dans des lampes UVC (longueur d'ondes inférieure à 300 nm) à LEDs de première génération est relativement encombrant. Il est donc peu adapté pour des applications où un système portable et / ou léger est recherché, par exemple pour le traitement de plantes sur site.

Ainsi, d'autres dispositifs selon l'invention utilisant le principe mis en œuvre par le prototype décrit ci-dessus peuvent être envisagés, par exemple des dispositifs à base de diodes laser et de guide amplificateur optique (toujours avec $\lambda < 300$ nm) peuvent être utilisés pour réaliser des lampes portables et légères qui tiennent dans la main d'un opérateur. Une telle lampe peut comprendre une puce optique UVC selon l'invention, un capteur de contrôle, une électronique de commande et une batterie (par ex. Li-Ion).

Un exemple de puce optique UVC appropriée pour une telle application est décrit ci-dessous, en lien avec les figures 5 à 7. La puce optique comprend une structure de diode laser à émission verticale (UVCSEL) et un laser guide amplificateur. La figure 5 présente la structure de diode en coupe verticale, la figure 6 présente le laser guide amplificateur en coupe verticale et la figure 7 présente la combinaison de la structure de diode et du laser guide amplificateur.

Les schémas des figures 5-7 correspondent à des structures émettant à une longueur d'onde de 265 nm, mais d'autres schémas peuvent être envisagés notamment avec des longueurs d'onde comprises entre

200 et 400 nm, pour tenir compte, selon les applications envisagées, de paramètres souhaités tels que la densité de puissance (Watt/m² ou Watt/cm²) lumineuse émise à un instant donné, la dose (c'est à dire la quantité totale de puissance émise pendant un temps donné, en Joule/m²), le temps d'exposition ou la fréquence de répétition (dans le cas de l'émission d'une lumière pulsée) . Ainsi, par exemple pour le traitement de plantes, un temps d'exposition compris entre 100 µm et 1 s et / ou une fréquence comprise entre 0,1 Hz et 10^4 Hz et / ou une densité de puissance de l'ordre de quelques Watt/cm² peuvent être intéressants.

Les structures représentées sur les figures 5-7 comprennent chacune un empilement plusieurs couches en matériau GaN, en matériau AlN ou en matériau $Ga_XAl_{1-X}N$, les couches en matériau $Ga_XAl_{1-X}N$ étant de compositions différentes en Aluminium ($0 < X < 1$) et de différents dopages.

La figure 5 est une structure caractéristique d'une LED ou d'une diode Laser (DL) à émission par la surface à 265nm dénommée UVCSEL. La diode comprend une zone active d'émission 51 constituée de 5 à 7 puits quantiques métalliques (ou MQW pour Metallic Quantum Well) empilés, chaque puits quantique étant composé ici d'une couche de $Al_{0,55}Ga_{0,45}N$ et d'une couche de $Al_{0,70}Ga_{0,30}N$. De part et d'autre de la zone active sont positionnées des couches de confinement 52a, 52b. De part est d'autre des couches de confinement sont positionnées des couches d'oxyde 53a, 53b en forme de couronne (plus précisément, couche ayant un périmètre extérieur rectangulaire ou carré, et un évidement central en forme de disque). De part et d'autre des couches d'oxyde sont positionnés des miroirs de Bragg 54a, 54b, en forme de disque. Enfin, de part et d'autre des miroirs de Bragg sont positionnés respectivement un contact P (+) et un contact N (-). Les contacts P 55a et N 55b permettent l'alimentation en courant de la structure. Le contact P (en GaN) a quant à lui une forme de couronne (plus précisément, couche ayant un périmètre extérieur rectangulaire ou carré, et un évidement central en forme de rectangle ou de carré ici) pour laisser passer en son centre l'onde photonique émise.

De par leur forme en couronne, les couches d'oxyde forment un masque bloquant le passage du courant électrique d'alimentation sur les zones latérales de la structure et limitent ainsi le courant entrant dans la zone active. Les électrons et les trous ne peuvent circuler qu'au centre de la structure et sont injectés dans les couches de confinement pour se recombiner dans la zone active d'émission qui est une couche à multi puits quantique. L'utilisation de puits quantiques dans la zone active 51 permet d'augmenter le taux R_{sp} d'émission spontanée et le gain optique de la zone active. Ainsi la transparence est atteinte beaucoup plus tôt car la condition de Durrafourg est beaucoup plus facile à obtenir que dans une structure à zone active sans puits quantique. Ceci permet d'avoir un gain optique plus important et d'abaisser le courant de seuil nécessaire à l'obtention de la superluminescence. Les couches de confinement favorisent le confinement des paires (électrons - trous) dans la zone active ce qui facilite les recombinaisons radiatives

des paires en augmentant le rendement quantique interne. Les miroirs de Bragg dopés côté P et côté N de la structure assurent le confinement optique des photons (de l'onde photonique) pour favoriser la recombinaison des paires tout en maintenant la cohérence de phase. Les miroirs sont constitués d'un empilement de couches en matériau AlN ou GaN en alternance, le nombre de couche étant fonction notamment du coefficient de réflexion souhaité. Le miroir 54b, côté N a un coefficient de réflexion égal à 1, pour réfléchir totalement les photons en direction des couches de confinement et de la zone active. Le miroir 54a, côté P a quant à lui un coefficient de réflexion plus faible de l'ordre de 0,3, pour laisser passer une partie des photons produits dans la zone active et ainsi émettre la puissance optique. En complément, Grâce à la présence du masque d'oxyde (couches 53a, 53b), l'émission du mode fondamental longitudinal est favorisée selon la direction verticale et on évite toute amplification transversale car le gain reste inférieur à l'absorption intrinsèque du matériau.

La figure 6 est une structure amplificatrice 60 à émission par la tranche qui se compose aussi d'un empilement plusieurs couches en matériau GaN, en matériau AlN ou en matériau $Ga_XAl_{1-X}N$, les couches en matériau $Ga_XAl_{1-X}N$ étant de compositions différentes en Aluminium ($0 < X < 1$) et de différents dopages.

La structure amplificatrice 60 comprend les couches suivantes, dans l'ordre à partir d'un substrat N :

- un substrat 65 en matériau AlN,
- un buffer 66 en matériau AlN également,
- une couche de contact N 67, en matériau $Ga_XAl_{1-X}N$,
- une zone active d'émission 61 constituée de 5 à 7 puits quantiques métalliques (ou MQW pour Metallic Quantum Well) empilés, chaque puits quantique étant composé ici d'une couche de $Al_{0,55}Ga_{0,45}N$ et d'une couche de $Al_{0,70}Ga_{0,30}N$,
- une couche de blocage 62 EBL (Electron Blocking Layer) en matériau $Al_{0,80}Ga_{0,20}N$, et
- une couche de contact P 63 en matériau GaN, un ruban 64 (fig.7) permettant l'alimentation en courant du contact P.

La structure amplificatrice est une jonction (P I N) polarisée en direct. L'injection du courant dans la structure est réalisée par les contacts N et P. La couche de blocage EBL 62 retient et piège les électrons dans la zone active pour participer aux recombinaisons radiatives comme pour la diode laser à émission par la surface (UVCSEL). Comme la couche EBL et la couche de contact N possèdent aussi un indice de réfraction plus faible que la couche active, elles vont aussi participer au maintien de l'onde optique dans la zone active d'émission des photons. Ainsi toute onde optique qui prend naissance dans la zone active à puits quantiques ou qui est injectée par la diode 50 depuis l'extrémité va pouvoir être guidée et amplifiée tout au long de sa propagation dans ce milieu amplificateur de longueur L pourvue que la condition de

Durrafourg (relation 4) soit vérifiée. Dès lors la puissance optique va s'accroître de façon exponentielle tout au long de la propagation de l'onde optique dans la zone Active de longueur L (relation 3 citée précédemment) :

$$P_{opt}(\lambda) = (h.c/\lambda).[\pi(\lambda)/c].R_{sp}.\{(\exp[(g(\lambda)-\alpha(\lambda)).L]-1)/(g(\lambda)-\alpha(\lambda))\} \quad (3)$$

Le contrôle de la puissance optique émise par la structure amplificatrice sera obtenu en agissant sur le courant d'alimentation I_a appliqué au guide amplificateur. Le courant I_a fait croître linéairement le taux d'émission spontanée R_{Sp} et le gain optique $g(\lambda)$. Il est évident que gain optique $g(\lambda)$ doit être supérieur au coefficient d'absorption intrinsèque $\alpha(\lambda)$ du milieu actif pour que la puissance optique de l'onde issue de la source puisse être amplifiée tout au long de sa propagation dans la zone active du guide amplificateur 60 et que la densité de puissance optique souhaitée (par ex. le traitement de plantes) pour l'application envisagée puisse être atteinte.

Les dimensions du guide amplificateur 60 sur la figure 7 pourront être les suivantes :

Longueur totale	Largeur totale	Epaisseur de la zone active	Epaisseur EBL côté P	Epaisseur Couche N
1 à 5mm	5 à 50 µm	0,5µm	1µm	1µm

Le dispositif actif laser (UVCSEL + guide amplificateur) est ainsi très compact puisqu'il peut être contenu dans un volume de 2 cm^3. Il faut toutefoa ajouter le volume du refroidisseur et de la partie électronique de commande soit 30 cm^3 = (3 cm^2 X 10 cm) .

Les recherches bibliographiques donnent 50 $cm^{-1} < \alpha(\lambda) < 100\ cm^{-1}$ pour le coefficient d'absorption intrinsèque d'une zone active comprenant 5 à 7 puits quantiques réalisée selon la technologie connue aujourd'hui alité de la technologie de croissance du matériau semi conducteur $Ga_xAl_{1-x}N$ joue un rôle primordial dans la valeur du coefficient d'absorption de la zone active. Plus la qualité du matériau de la zone active est bonne (ici MQW), plus $\alpha(\lambda)$ sera faible et plus la puissance optique sera grande pour une même valeur du courant I_a. Ceci revient à baisser le seuil du courant I_s à partir duquel l'amplification optique s'installe dans la zone active.

Le prototype de la figure 1 donne déjà de belles performances en terme de puissance optique. La mise en œuvre d'une structure telle que celles des figures 5-7, avec une cavité amplificatrice capable de générer un gain optique additionnel (ce qui n'est pas le cas de la sphère intégrante du prototype de la figure 1) permettra des performances bien supérieures, notamment en termes de puissance optique. A titre

indicatif, le gain optique attendu d'une structure selon la figure 7 est de l'ordre de 100 à 10 000, ce qui permettra d'obtenir une puissance optique en sortie de 0,1 à 10 Watt / cm^2.

D'autre part, grâce à la superluminescence du guide amplificateur, il est possible de générer de la lumière pulsée soit en modulant le courant de la source UVCSEL, soit en modulant le gain de la Zone Active du guide amplificateur.

Pour une application telle que le traitement des végétaux, Afin d'éviter de détruire les végétaux qui doivent être traités il conviendra d'adapter la forme du guide amplificateur optique aux surfaces à traiter avec une densité de puissance optique réglable soit par le courant d'alimentation pilote du guide amplificateur ou par celui du laser UVCSEL

Les propriétés du matériau GaN/GaAlN /AlN, associées aux résultats obtenus avec le prototype de la figure 1 et des propriétés d'une structure telle que celle des figures 5-7 permettront d'atteindre des densités de puissance en impulsion de l'ordre de 0,5W rayonnée sur 1 cm^2 (soit 5 KW/m^2). Cela permet d'envisager la réalisation d'un instrument portatif, par exemple un instrument ayant les dimensions d'un stylo, équipé d'une tête optique émettant quelques W/cm^2 dans le domaine des UVC, par ex. 265 nm. Un tel instrument serait facilement manipulable à la main et particulièrement pratique, par exemple sur site pour le traitement des maladies sur les feuilles des végétaux.

REVENDICATIONS

1. Dispositif d'émission lumineuse comprenant :

- une pluralité de diodes électroluminescentes (LEDs) adaptées pour émettre une onde photonique ayant une longueur d'onde λ d'émission inférieure à 270 nm et ayant une énergie à la longueur d'onde λ d'émission supérieure à un gap optique Eg égal à $Eg = h.c/\lambda$, h étant la constante de Planck et c étant la vitesse de la lumière, la pluralité de LEDs comprenant au moins une LED, et
- un dispositif de confinement adapté pour confiner et amplifier l'onde photonique.

2. Dispositif selon la revendication 1 dans lequel la ou les LEDs sont des diodes laser à cavité verticale émettant par la surface (UVCSEL).

3. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel la zone active des LEDs est réalisée dans un matériau semiconducteur de type Aluminium-Galium-nitride ($Ga_xAl_{1-x}N$), x étant un nombre réel.

4. Dispositif selon la revendication 3 dans lequel dans lequel x est compris entre 0,45 et 0,7, et de préférence x = 0,53.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4 dans lequel le dispositif de confinement est une sphère intégrante ou sphère d'Ulbricht à l'intérieur de laquelle la ou les LEDs sont positionnées, le dispositif de confinement étant adapté pour réfléchir au moins une partie du signal lumineux sur une zone d'émission des LEDs.

6. Dispositif selon l'une des revendication 1 à 5 dans lequel le dispositif de confinement comprend une zone active comprenant une pluralité de couches de semi-conducteurs qui enferme une cavité de confinement formant également un guide amplificateur, le dispositif de confinement étant couplé en sortie de la diode pour recevoir l'onde photonique émise par la LED.

7. Dispositif selon la revendication précédente dans lequel le dispositif de confinement est un amplificateur optique fuselé (tapered amplifier).

8. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 7 dans lequel la densité de puissance produite par le guide amplificateur est fonction d'une largeur du dit guide amplificateur.

9. Utilisation d'un dispositif selon l'une des revendications précédentes pour le traitement des plantes par rayonnement UVC.

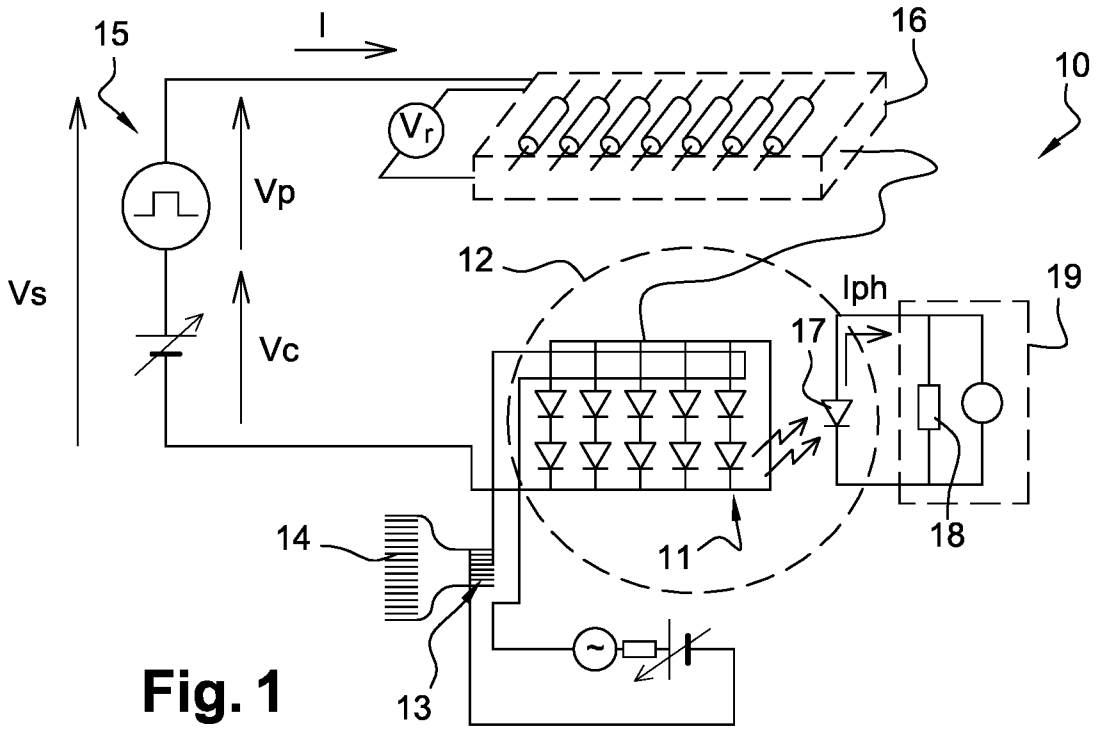

15
I
16
10
Vr
Vp
Vs
Vc
12
Iph
19
17
18
14
11
13

Fig. 1

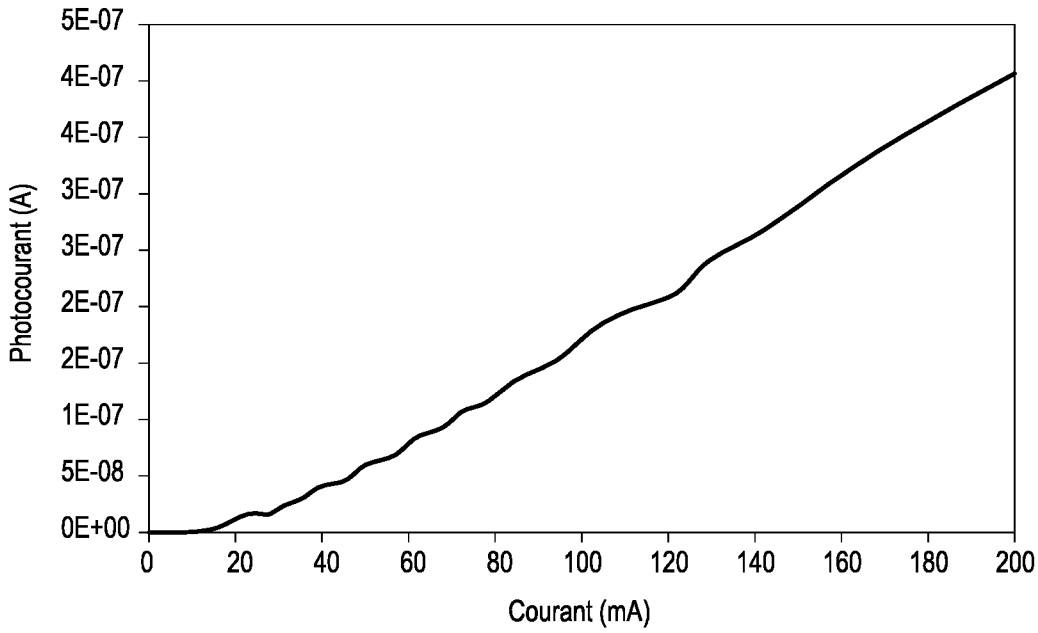

5E-07
4E-07
4E-07
3E-07
3E-07
2E-07
2E-07
1E-07
5E-08
0E+00
Photocourant (A)
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
Courant (mA)

Fig. 2

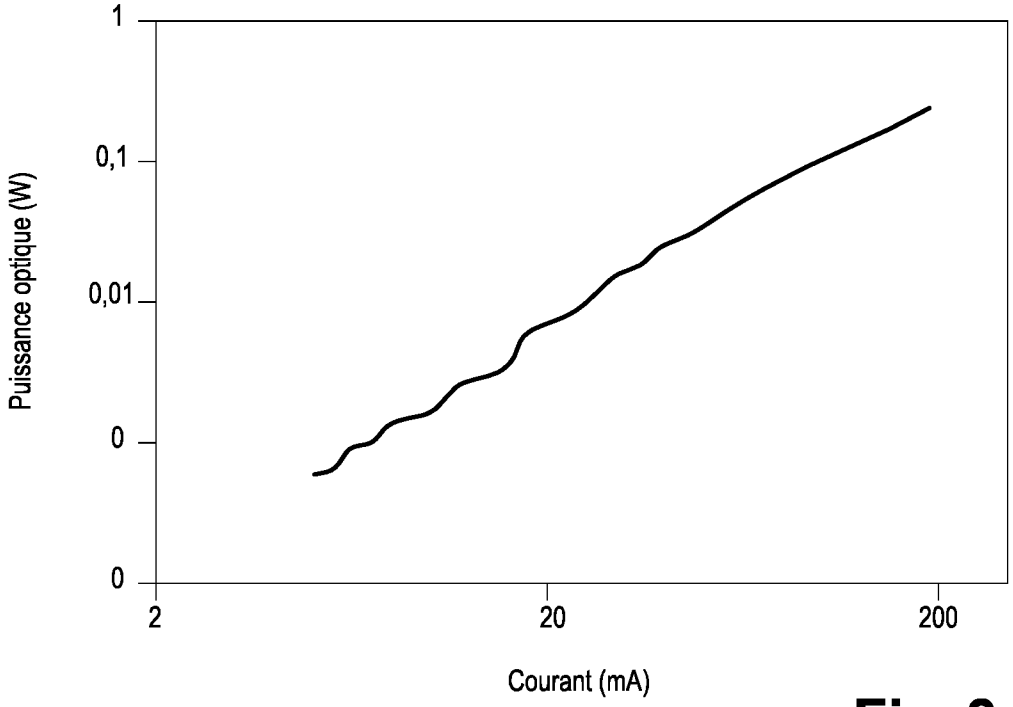

1
0,1
0,01
0
0
Puissance optique (W)
2
20
200
Courant (mA)

Fig. 3

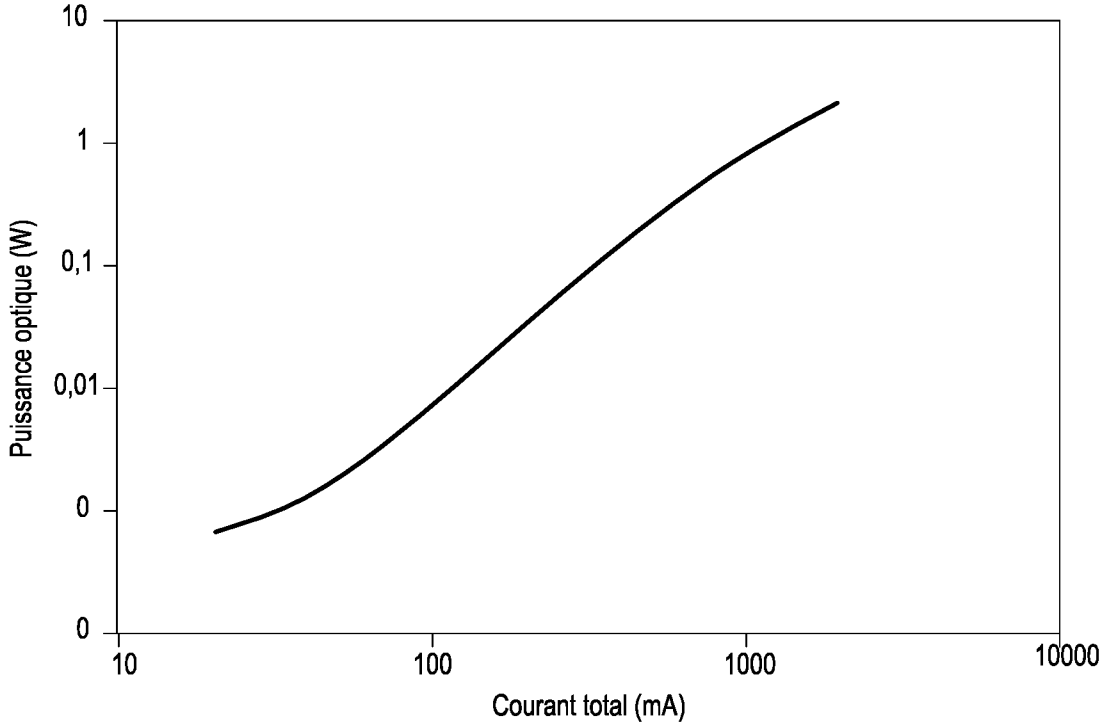

10
1
0,1
0,01
0
0
Puissance optique (W)
10
100
1000
10000
Courant total (mA)

Fig. 4

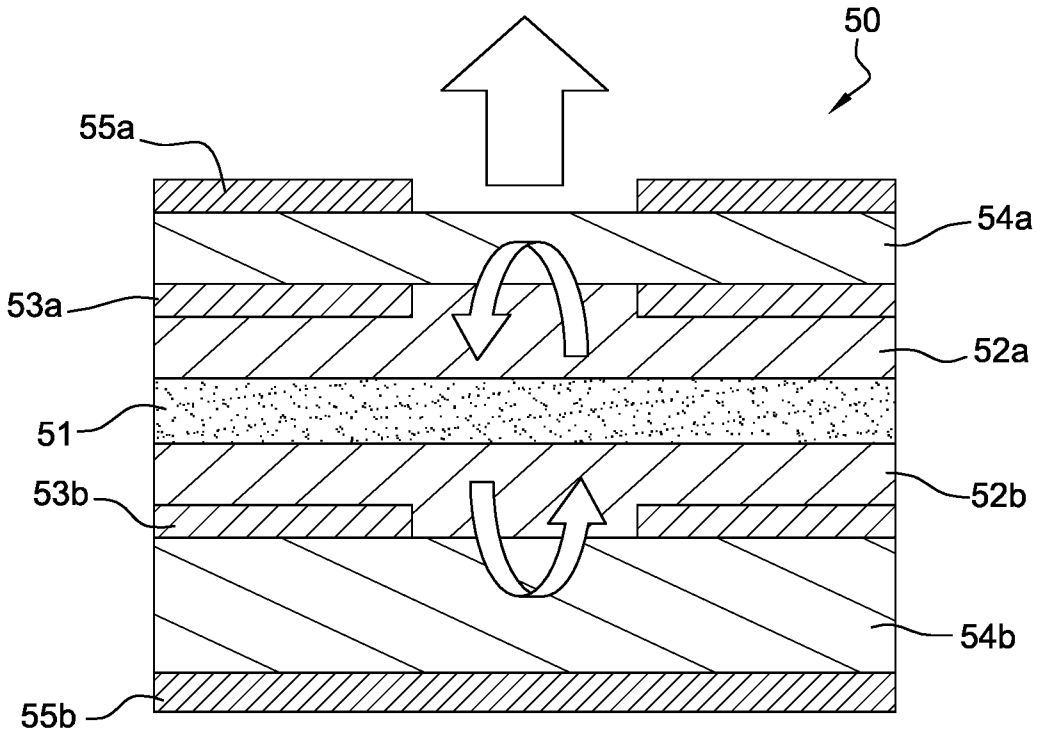


Fig. 5

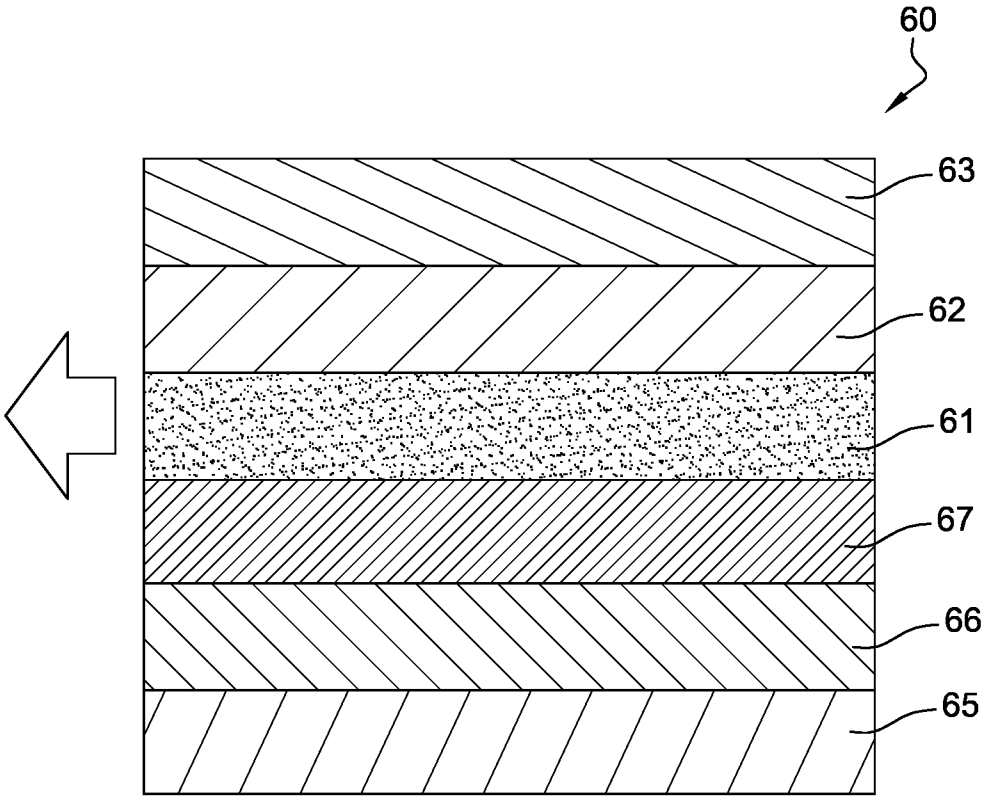


Fig. 6

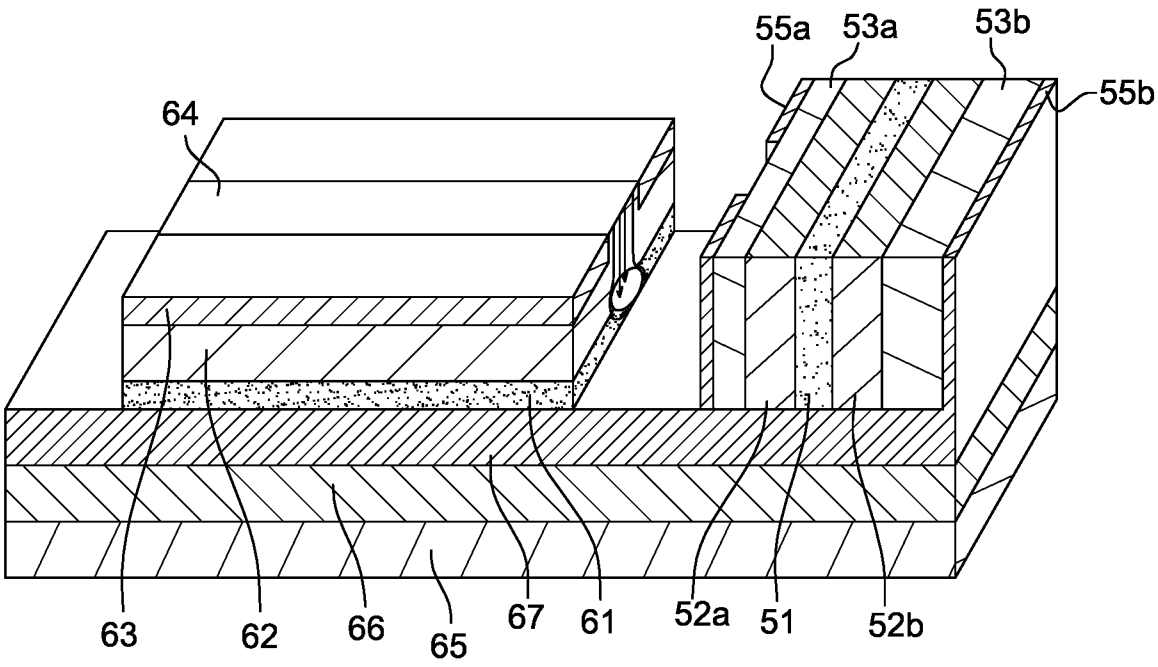


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2018/062210

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L33/00 H01L25/075 H01L33/58
ADD. A01G7/04 H01L25/16 H01L33/60 H01S5/026 H01S5/183
H01S5/50

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 A01G H01S

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.
X Y	US 2009/207873 A1 (JANSEN MICHAEL [US]) 20 August 2009 (2009-08-20) paragraphs [0001] - [0015], [0028] - [0063], [0069] - [0087]; figures 1-4; table 1	1-4 5,9
X Y	US 2005/243874 A1 (PAOLETTI ROBERTO [IT] ET AL) 3 November 2005 (2005-11-03) paragraphs [0001] - [0014], [0021] - [0032], [0055], [0056]; figures 1, 2	1,3,4,6, 8 2,7,9
Y	US 2001/048536 A1 (LEHMANN MATHIAS [CH] ET AL) 6 December 2001 (2001-12-06) paragraphs [0001] - [0026], [0038]; figure 2	5

-/--

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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	Date of mailing of the international search report
1 August 2018	10/08/2018

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

2

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2004/017604 A1 (DIJAILI SOL P [US] ET AL) 29 January 2004 (2004-01-29) paragraphs [0001] - [0022], [0050] - [0090]; figures 1-9	2,7
Y	EP 3 143 869 A1 (UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE [FR]; UNIVERSITÉ DE MONTP) 22 March 2017 (2017-03-22) the whole document	9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2018/062210

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009207873 A1	20-08-2009	CN 102089944 A	08-06-2011
		EP 2245711 A2	03-11-2010
		JP 5406858 B2	05-02-2014
		JP 2011512681 A	21-04-2011
		KR 20100133977 A	22-12-2010
		US 2009207873 A1	20-08-2009
		US 2011002355 A1	06-01-2011
		WO 2009103056 A2	20-08-2009
US 2005243874 A1	03-11-2005	NONE	
US 2001048536 A1	06-12-2001	CA 2340474 A1	26-11-2001
		CN 1332569 A	23-01-2002
		EP 1158760 A1	28-11-2001
		JP 2002055403 A	20-02-2002
		US 2001048536 A1	06-12-2001
US 2004017604 A1	29-01-2004	NONE	
EP 3143869 A1	22-03-2017	AU 2016321907 A1	22-03-2018
		EP 3143869 A1	22-03-2017
		EP 3349564 A1	25-07-2018
		WO 2017046389 A1	23-03-2017

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2018/062210

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01L33/00 H01L25/075 H01L33/58
ADD. A01G7/04 H01L25/16 H01L33/60 H01S5/026 H01S5/183
H01S5/50
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 A01G H01S

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
X	US 2009/207873 A1 (JANSEN MICHAEL [US]) 20 août 2009 (2009-08-20)	1-4
Y	alinéas [0001] - [0015], [0028] - [0063], [0069] - [0087]; figures 1-4; tableau 1	5,9
X	US 2005/243874 A1 (PAOLETTI ROBERTO [IT] ET AL) 3 novembre 2005 (2005-11-03)	1,3,4,6, 8
Y	alinéas [0001] - [0014], [0021] - [0032], [0055], [0056]; figures 1, 2	2,7,9
Y	US 2001/048536 A1 (LEHMANN MATHIAS [CH] ET AL) 6 décembre 2001 (2001-12-06) alinéas [0001] - [0026], [0038]; figure 2	5
Y	US 2004/017604 A1 (DIJAILI SOL P [US] ET AL) 29 janvier 2004 (2004-01-29) alinéas [0001] - [0022], [0050] - [0090]; figures 1-9	2,7

-/--

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

[X] 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
1 août 2018	10/08/2018

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Saynova, Desislava

2

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 3 143 869 A1 (UNIVERSITÉ D'AVIGNON ET DES PAYS DE VAUCLUSE [FR]; UNIVERSITÉ DE MONTP) 22 mars 2017 (2017-03-22) le document en entier -----	9

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2018/062210

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009207873 A1	20-08-2009	CN 102089944 A	08-06-2011
		EP 2245711 A2	03-11-2010
		JP 5406858 B2	05-02-2014
		JP 2011512681 A	21-04-2011
		KR 20100133977 A	22-12-2010
		US 2009207873 A1	20-08-2009
		US 2011002355 A1	06-01-2011
		WO 2009103056 A2	20-08-2009
US 2005243874 A1	03-11-2005	AUCUN	
US 2001048536 A1	06-12-2001	CA 2340474 A1	26-11-2001
		CN 1332569 A	23-01-2002
		EP 1158760 A1	28-11-2001
		JP 2002055403 A	20-02-2002
		US 2001048536 A1	06-12-2001
US 2004017604 A1	29-01-2004	AUCUN	
EP 3143869 A1	22-03-2017	AU 2016321907 A1	22-03-2018
		EP 3143869 A1	22-03-2017
		EP 3349564 A1	25-07-2018
		WO 2017046389 A1	23-03-2017