



(43) Date de la publication internationale
29 décembre 2016 (29.12.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/207495 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H01S 5/026 (2006.01) H01S 5/22 (2006.01)
H01S 5/042 (2006.01) H01S 5/343 (2006.01)
H01S 5/12 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/051740

(22) Date de dépôt international :
26 juin 2015 (26.06.2015)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(71) Déposants : STMICROELECTRONICS (CROLLES 2)
SAS [FR/FR]; 850, Rue Jean Monnet, 38920 Crolles (FR).
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, Rue Michel Ange, 75794 Paris Cedex 16 (FR). UNIVERSITE PARIS DIDEROT [FR/FR]; 5, Rue Thomas Mann, 75205 Paris Cedex 13 (FR).

(72) Inventeurs : CROSNIER, Guillaume; 30, Rue Charles de
Gaulle, 91400 Orsay (FR). RAINERI, Fabrice; 52, Rue
Damesme, 75013 Paris (FR). RAJ, Rama; 9, Rue de la
Clef, 75005 Paris (FR). MONNIER, Paul; 920, Rue
Grande, 77310 Saint-fargeau Ponthierry (FR).

(74) Mandataire : CABINET BEAUMONT; 1, Rue Cham-
pollion, 38000 Grenoble (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, 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), 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).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : ELECTRICALLY PUMPED PHOTONIC CRYSTAL NANOLASER

(54) Titre : NANOLASER A CRISTAL PHOTONIQUE POMPE ÉLECTRIQUEMENT

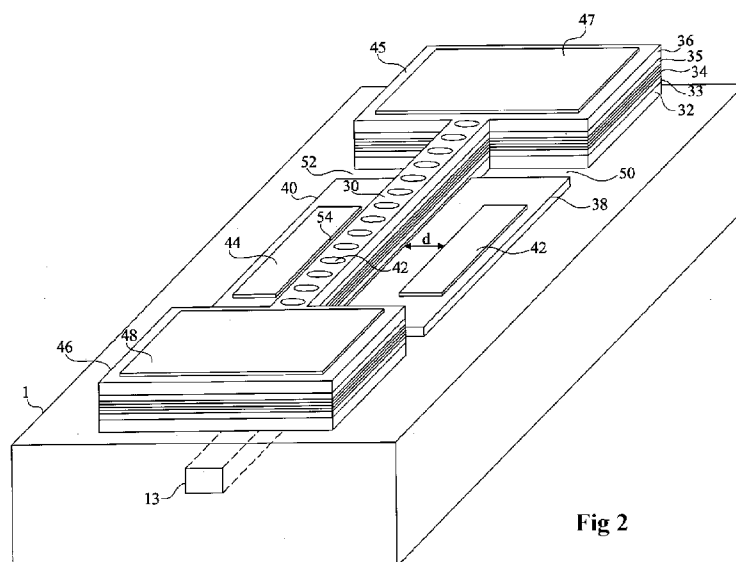


Fig 2

(57) Abstract : The invention relates to a semiconductor nanolaser comprising a rib including a stack of layers, in which stack central layers (33, 34, 35) forming a set of quantum wells are placed between a lower layer (32) of a first conductivity type and an upper layer (36) of a second conductivity type, holes (42) moreover being drilled right through the thickness of the rib, wherein the lower layer includes first extensions (38, 40) that extend laterally on either side of the rib, and that are coated with first metallisations (42, 44) that are located a distance away from the rib, and the stack includes second extensions (45, 46) that extend longitudinally beyond said rib, and that are coated with second metallisations (47, 48).

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

L'invention concerne un nanolaser à semi-conducteurs comprenant une nervure comportant un empilement de couches dans lequel des couches centrales (33, 34, 35) formant un ensemble de puits quantiques sont disposées entre une couche inférieure (32) d'un premier type de conductivité et une couche supérieure (36) d'un deuxième type de conductivité, des trous (42) étant percés sur toute l'épaisseur de la nervure, dans lequel la couche inférieure comporte des premiers prolongements (38, 40) qui s'étendent latéralement de part et d'autre de la nervure, et qui sont revêtus de premières métallisations (42, 44) distantes de la nervure; et l'empilement comporte des seconds prolongements (45, 46) qui s'étendent longitudinalement au-delà de ladite nervure, et qui sont revêtus de deuxième métallisations (47, 48).

NANOLASER A CRISTAL PHOTONIQUE POMPE ELECTRIQUEMENTDomaine

La présente demande concerne un laser de dimensions submicrométriques, ou nanolaser, dont la source de lumière est réalisée à partir d'un semiconducteur à intervalle de bande direct, pompé électriquement.

Exposé de l'art antérieur

La figure 1 est une représentation schématique d'un nanolaser à pompage optique dont la structure est décrite dans l'article de Y.Halioua et al, "Hybrid III-V semiconductor-silicon nanolaser", publié dans Optics Express vol. 19, N°10, du 9 mai 2011.

Le nanolaser comprend, sur un support 1, une nervure 3 constituée d'un empilement de couches successives. La nervure 3 comprend des couches alternées d'arséniure de gallium et d'indium, InGaAs, et d'arséniure phosphure de gallium et d'indium, InGaAsP, comprises entre des couches d'InGaAsP. L'empilement est constitué de sorte que les couches d'arséniure de gallium et d'indium constituent des puits quantiques.

La nervure 3 est percée, sur toute sa hauteur, de deux séries de trous 9, 11 alignés suivant l'axe de la nervure avec un pas régulier. Les espacements et les diamètres des trous sont prévus de sorte que chaque série de trous forme un miroir de

haute réflectivité. La nervure 3 constitue ainsi un cristal photonique.

Lorsque la nervure 3 est éclairée par une lumière de longueur d'onde appropriée, un pompage optique des puits quantiques peut être réalisé, et une amplification laser apparaît à l'intérieur de la nervure. Une partie évanescente de l'onde laser est captée par un guide optique 13 présent dans le support 1 sous la nervure et parallèlement à celle-ci.

Un inconvénient est qu'un pompage optique est difficile à mettre en œuvre et à utiliser.

Résumé

Un mode de réalisation prévoit un nanolaser à pompage électrique de puits quantiques compris dans une nervure constituant un cristal photonique.

Un mode de réalisation prévoit un nanolaser à semi-conducteurs comprenant une nervure comportant un empilement de couches dans lequel des couches centrales formant un ensemble de puits quantiques sont disposées entre une couche inférieure d'un premier type de conductivité et une couche supérieure d'un deuxième type de conductivité, des trous étant percés sur toute l'épaisseur de la nervure, dans lequel la couche inférieure comporte des premiers prolongements qui s'étendent latéralement de part et d'autre de la nervure, et qui sont revêtus de premières métallisations distantes de la nervure ; et l'empilement comporte des seconds prolongements qui s'étendent longitudinalement au-delà de ladite nervure, et qui sont revêtus de deuxièmes métallisations.

Selon un mode de réalisation, les seconds prolongements ont une épaisseur réduite par rapport au reste de la couche inférieure.

Selon un mode de réalisation, la distance entre les premières métallisations et la base de la nervure est de l'ordre de la longueur d'onde divisée par l'indice de réfraction du matériau recouvrant la métallisation.

Selon un mode de réalisation, la nervure comprend successivement :

- une couche inférieure d'un semi-conducteur III-V dopé de type P ;
- 5 - un empilement de couches de semi-conducteurs III-V, d'intervalles de bandes différents, constitué de façon à former des puits quantiques ;
- une couche supérieure d'un semi-conducteur III-V dopé de type N.

10 Selon un mode de réalisation, la nervure comprend successivement :

- une couche inférieure d'arséniure phosphure de gallium d'indium, InGaAsP, dopée de type P, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}_{0,45}\text{P}_{0,55}$, dopée par des atomes de zinc à 10^{18} atomes/cm³ ;
- une couche d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$;
- 20 - un empilement de couches d'une première composition d'InGaAsP séparées par des couches d'InGaAsP d'une deuxième composition, constitué de sorte que les couches d'InGaAsP de la première composition forment des puits quantiques ;
- une couche d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$; et
- 25 - une couche supérieure 36 de phosphure d'indium dopé de type N par des atomes de silicium à 10^{18} atomes/cm³, la première composition de l'empilement étant telle que le
- 30 gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 25 et 75% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,76}\text{P}_{0,24}$, et la deuxième composition étant telle que le gallium constitue entre 5 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple
- 35 $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$.

Selon un mode de réalisation la nervure comprend successivement :

- une couche inférieure d'arséniure phosphure de gallium d'indium, InGaAsP, dopée de type P, d'une épaisseur comprise
5 entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 130 nm ;
- une couche d'InGaAsP intrinsèque d'une épaisseur comprise entre 15 et 100 nm, de préférence entre 15 et 60 nm, par exemple 40 nm ;
- 10 - un empilement de couches d'une première composition d'InGaAsP séparées par des couches d'InGaAsP d'une deuxième composition, les couches de la première composition ayant une épaisseur comprise entre 4 et 12 nm, par exemple 6,5 nm, et
15 les couches de la deuxième composition ayant des épaisseurs comprises entre 10 et 50 nm, de préférence entre 10 et 20 nm, par exemple 15 nm;
- une couche d'InGaAsP intrinsèque d'une épaisseur comprise entre 15 et 100 nm, de préférence entre 15 et 60 nm, par exemple 40 nm ; et
- 20 - une couche supérieure de phosphure d'indium dopé de type N d'une épaisseur comprise entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 150 nm.

Un mode de réalisation prévoit une structure comprenant un nanolaser tel que ci-dessus disposé sur un
25 substrat de silicium dans lequel est formé un guide optique configuré pour se coupler en fonctionnement au nanolaser.

Un mode de réalisation prévoit un procédé de fabrication d'un nanolaser tel que ci-dessus, comprenant les étapes consistant à assembler un empilement multicouche III-V
30 sur un substrat de silicium et à photolithogrer ledit empilement après assemblage.

Brève description des dessins

Ces caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres, seront exposés en détail dans la description suivante de modes

de réalisation particuliers faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1, décrite précédemment, représente schématiquement un nanolaser à cristal photonique à pompage optique ;

5 et

la figure 2 représente schématiquement un mode de réalisation d'un nanolaser à cristal photonique à pompage électrique.

Description détaillée

10 De mêmes éléments ont été désignés par de mêmes références dans les différentes figures et, de plus, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle. Par souci de clarté, seuls les éléments utiles à la compréhension des modes de réalisation décrits ont été représentés et sont détaillés.

15 Dans la description qui suit, lorsque l'on fait référence à des qualificatifs de position absolue, tels que les termes "haut", "bas", etc., ou relative, tels que les termes "supérieur", "inférieur", etc., ou à des qualificatifs d'orientation, tels que le terme "vertical", il est fait référence à
20 l'orientation des figures.

La figure 2 représente un mode de réalisation d'un nanolaser à cristal photonique à pompage électrique.

Le nanolaser comprend, sur un support 1 dont la couche supérieure est par exemple en oxyde de silicium, une nervure
25 formée par une structure multicouche. Dans cet exemple, la structure comprend successivement, à partir du support :

- une couche inférieure 32 d'arséniure phosphure de gallium d'indium, InGaAsP, dopée de type P, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0
30 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}_{0,45}\text{P}_{0,55}$, dopée par des atomes de zinc à 10^{18} atomes/cm³ ;
- une couche 33 d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 50% des anions, par exemple
35 $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$;

- un empilement 34 de couches d'une première composition d'InGaAsP séparées par des couches d'InGaAsP d'une deuxième composition, constitué de sorte que les couches d'InGaAsP de la première composition forment des puits quantiques ;
- 5 - une couche 35 d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$; et
- une couche supérieure 36 de phosphure d'indium dopé de type N
- 10 par des atomes de silicium à 10^{18} atomes/cm³.

Dans l'exemple ci-dessus, la première composition de l'empilement 34 est par exemple telle que le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 25 et 75% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,76}\text{P}_{0,24}$, et la

15 deuxième composition est par exemple telle que le gallium constitue entre 5 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$.

La couche 32 a une épaisseur comprise entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 130 nm. Les

20 couches 33 et 35 ont des épaisseurs comprises entre 15 et 100 nm, de préférence entre 15 et 60 nm, par exemple 40 nm. Les couches de la première composition de l'empilement 34 ont une épaisseur comprise entre 4 et 12 nm, par exemple 6,5 nm. Les couches de la deuxième composition de l'empilement 34 ont des

25 épaisseurs comprises entre 10 et 50 nm, de préférence entre 10 et 20 nm, par exemple 15 nm. La couche 36 a une épaisseur comprise entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 150 nm.

La nervure 30 constitue un guide optique et est percée

30 de trous 42 sur toute sa hauteur. La répartition des trous 42 permet de créer un cristal photonique du type décrit en relation avec la figure 1, dans lequel l'espacement entre les trous a été optimisé suivant la méthode décrite dans l'article de A. Bazin et al, "Design of Silica Encapsuled High-Q Photonic Crystal

Nanobeam Cavity", publié dans Journal of Lightwave Technology, Vol 32, N° 5, du 1 mars 2014.

La couche inférieure 32 dopée de type P comprend deux prolongements latéraux 38, 40, de chaque côté, au niveau d'une
5 partie centrale de la nervure 30. Ces prolongements peuvent avoir une épaisseur inférieure du tiers à la moitié de celle de la couche 32 de la nervure. Chaque prolongement latéral 38, 40 est en contact avec une métallisation latérale 42, 44, par exemple à base de zinc et d'or. Les métallisations latérales
10 sont disposées sur les prolongements latéraux symétriquement de part et d'autre de la nervure.

Une distance d est prévue entre chacune des métallisations latérales 42 et 44 et la base de la nervure 30. Le choix de la distance d est critique. Cette distance d doit être
15 suffisamment grande pour limiter l'absorption de l'onde électromagnétique présente dans la nervure 30 et donc pour préserver la qualité optique de la nervure (la réduction d'épaisseur susmentionnée des prolongements 38 et 40 contribue à cette limitation). Cette distance d doit être suffisamment
20 petite pour que la conduction entre les métallisations et la zone active de la couche 32 soit suffisamment élevée. On propose ici de calculer la distribution spatiale du champ électromagnétique dans la nervure et les prolongements latéraux afin de placer les métallisations dans des zones où l'amplitude
25 de ce champ est faible. Ceci conduit à une distance d de l'ordre de la longueur d'onde de la lumière, à 20% près, divisée par l'indice de réfraction du matériau recouvrant la métallisation.

La structure multicouche se prolonge longitudinalement, au-delà de chacune des deux extrémités de la nervure 30,
30 en deux prolongements longitudinaux 45, 46. La couche supérieure 36 dopée de type N des prolongements longitudinaux est en contact avec des métallisations supérieures 47, 48, par exemple à base de titane et d'or. Les métallisations 47 et 48 sont disposées sur les prolongements respectivement 45 et 46. Dans
35 l'exemple représenté, la largeur de ces prolongements

longitudinaux, de l'ordre de 25 μm à 10 % près, est supérieure à la largeur de la nervure 30, ce qui permet une diminution de la résistance de contact.

Les parties 38, 40 de la couche 32 sont interrompues
5 pour ne pas rejoindre la partie de cette couche 32 située sous les prolongements longitudinaux, ce qui définit des espacements 50, 52 situés de part et d'autre de la nervure.

En fonctionnement, un courant circule des métallisations inférieures 42 et 44 connectées à un même premier
10 potentiel vers les métallisations supérieures 47 et 48 connectées à un même second potentiel. Les espacements 50, 52 contribuent à canaliser le courant vers la couche inférieure 32 dopée de type P de la nervure 30. Le courant circule alors verticalement dans la nervure puis rejoint les métallisations
15 supérieures 47 et 48. Les porteurs se recombinent radiativement au sein de l'empilement 34, permettant le pompage au sein des puits quantiques, et la qualité optique de la nervure 30 permet qu'une amplification laser se produise. Une partie de l'onde laser est captée par un guide optique 13 noyé dans le support 1
20 de la manière décrite en relation avec la figure 1.

Le nanolaser décrit en relation avec la figure 2 est réalisé à partir d'une structure multicouche reportée sur le support 1 et est défini par des gravures plasma successives.

Une première étape de gravure, sur la totalité de
25 l'épaisseur de la structure multicouche, permet de réaliser les trous 42, les espacements 50, 52 et le pourtour de l'ensemble de la nervure 30 et des prolongements latéraux 38, 40 et longitudinaux 45, 46.

Une deuxième étape de gravure, qui laisse en place une
30 épaisseur limitée de la couche inférieure 32, permet de finaliser la nervure 30, et de réaliser les prolongements latéraux 38, 40.

Les métallisations 42, 44 et 47 et 48, sont ensuite réalisées par exemple par un procédé de lift off.

Des modes de réalisation particuliers ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, bien que les puits quantiques décrits soient réalisés par des couches d'arséniure de gallium et d'indium comprises entre des couches d'arséniure phosphore de gallium et d'indium, il sera clair pour l'homme de l'art que d'autres semi-conducteurs à intervalle de bande direct pourraient être choisis, par exemple parmi les semi-conducteurs III-V.

10 Bien que les dopages de type N et P décrits ici soient respectivement à base d'atomes de silicium et d'atomes de zinc, il sera clair pour l'homme de l'art que d'autres atomes pourraient être utilisés.

15 Bien que les contacts métalliques aient été décrits avec des compositions particulières, il sera clair pour l'homme de l'art que d'autres compositions, adaptées pour réaliser des contacts électriques avec les couches dopées, sont possibles.

20 Bien que la couche inférieure dopée de type P décrite ait un contact direct avec le support 1, il sera clair pour l'homme de l'art que ce contact peut être fait, par exemple, par l'intermédiaire d'une couche en phosphore d'indium intrinsèque.

REVENDEICATIONS

1. Nanolaser à semi-conducteurs comprenant une nervure comportant un empilement de couches dans lequel des couches centrales (33, 34, 35) formant un ensemble de puits quantiques sont disposées entre une couche inférieure (32) d'un premier
5 type de conductivité et une couche supérieure (36) d'un deuxième type de conductivité, des trous (42) étant percés sur toute l'épaisseur de la nervure, dans lequel :

la couche inférieure comporte des premiers prolongements (38, 40) qui s'étendent latéralement de part et d'autre de
10 la nervure, et qui sont revêtus de premières métallisations (42, 44) distantes de la nervure ; et

l'empilement comporte des seconds prolongements (45, 46) qui s'étendent longitudinalement au-delà de ladite nervure, et qui sont revêtus de deuxièmes métallisations (47, 48).

15 2. Nanolaser selon la revendication 1, dans lequel les premiers prolongements (45, 46) ont une épaisseur réduite par rapport au reste de la couche inférieure.

3. Nanolaser selon la revendication 1 ou 2, dans lequel la distance (d) entre les premières métallisations (42, 20 44) et la base de la nervure est de l'ordre de la longueur d'onde divisée par l'indice de réfraction du matériau recouvrant la métallisation.

4. Nanolaser selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la nervure (30) comprend successivement :
25 - une couche inférieure (32) d'un semi-conducteur III-V dopé de type P ;
- un empilement (33, 34, 35) de couches de semi-conducteurs III-V, d'intervalles de bandes différents, constitué de façon à former des puits quantiques ;
30 - une couche supérieure (36) d'un semi-conducteur III-V dopé de type N.

5. Nanolaser selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel la nervure (30) comprend successivement :

- une couche inférieure (32) d'arséniure phosphure de gallium de d'indium, InGaAsP, dopée de type P, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,8}\text{Ga}_{0,2}\text{As}_{0,45}\text{P}_{0,55}$, dopée par des atomes de zinc à 10^{18} atomes/cm³ ;
- une couche (33) d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$;
- un empilement (34) de couches d'une première composition d'InGaAsP séparées par des couches d'InGaAsP d'une deuxième composition, constitué de sorte que les couches d'InGaAsP de la première composition forment des puits quantiques ;
- une couche (35) d'InGaAsP intrinsèque, dont le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$; et
- une couche supérieure 36 de phosphure d'indium dopé de type N par des atomes de silicium à 10^{18} atomes/cm³, la première composition de l'empilement (34) étant telle que le gallium constitue entre 0 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 25 et 75% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,76}\text{P}_{0,24}$, et la deuxième composition étant telle que le gallium constitue entre 5 et 40% des cations et le phosphore constitue entre 0 et 60% des anions, par exemple $\text{In}_{0,84}\text{Ga}_{0,16}\text{As}_{0,48}\text{P}_{0,52}$.

6. Nanolaser selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la nervure (30) comprend successivement :

- une couche inférieure (32) d'arséniure phosphure de gallium de d'indium, InGaAsP, dopée de type P, d'une épaisseur comprise entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 130 nm ;

- une couche (33) d'InGaAsP intrinsèque d'une épaisseur comprise entre 15 et 100 nm, de préférence entre 15 et 60 nm, par exemple 40 nm ;
- un empilement (34) de couches d'une première composition d'InGaAsP séparées par des couches d'InGaAsP d'une deuxième composition, les couches de la première composition ayant une épaisseur comprise entre 4 et 12 nm, par exemple 6,5 nm, et les couches de la deuxième composition ayant des épaisseurs comprises entre 10 et 50 nm, de préférence entre 10 et 20 nm, par exemple 15 nm ;
- une couche (35) d'InGaAsP intrinsèque d'une épaisseur comprises entre 15 et 100 nm, de préférence entre 15 et 60 nm, par exemple 40 nm ; et
- une couche supérieure (36) de phosphure d'indium dopé de type N d'une épaisseur comprise entre 50 et 250 nm, de préférence entre 100 et 150 nm, par exemple 150 nm.

7. Structure comprenant un nanolaser selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 disposé sur un substrat de silicium dans lequel est formé un guide optique (13) configuré pour se coupler en fonctionnement au nanolaser.

8. Procédé de fabrication d'un nanolaser selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, comprenant les étapes consistant à assembler un empilement multicouche III-V sur un substrat de silicium et à photolithogrer ledit empilement après assemblage.

1/2

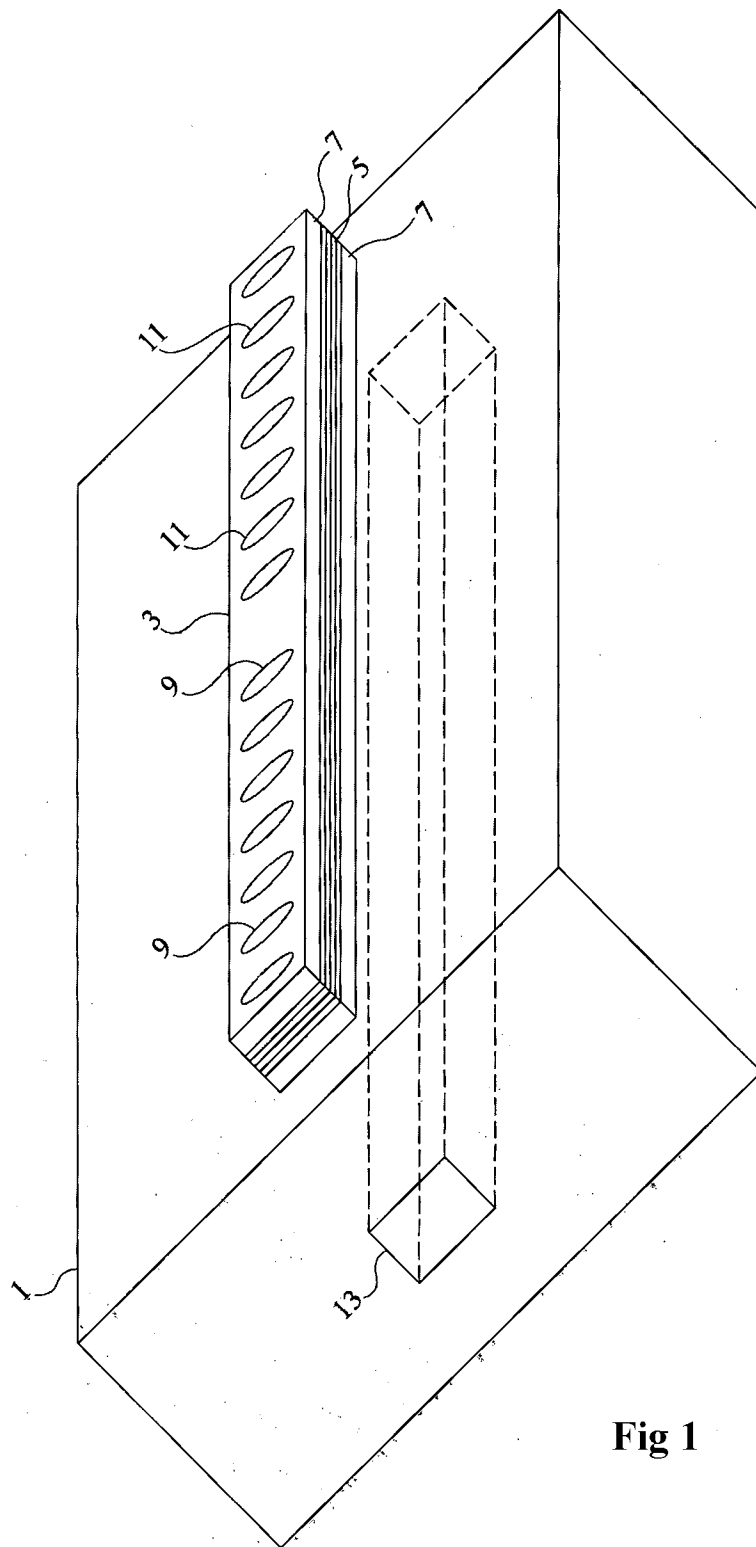
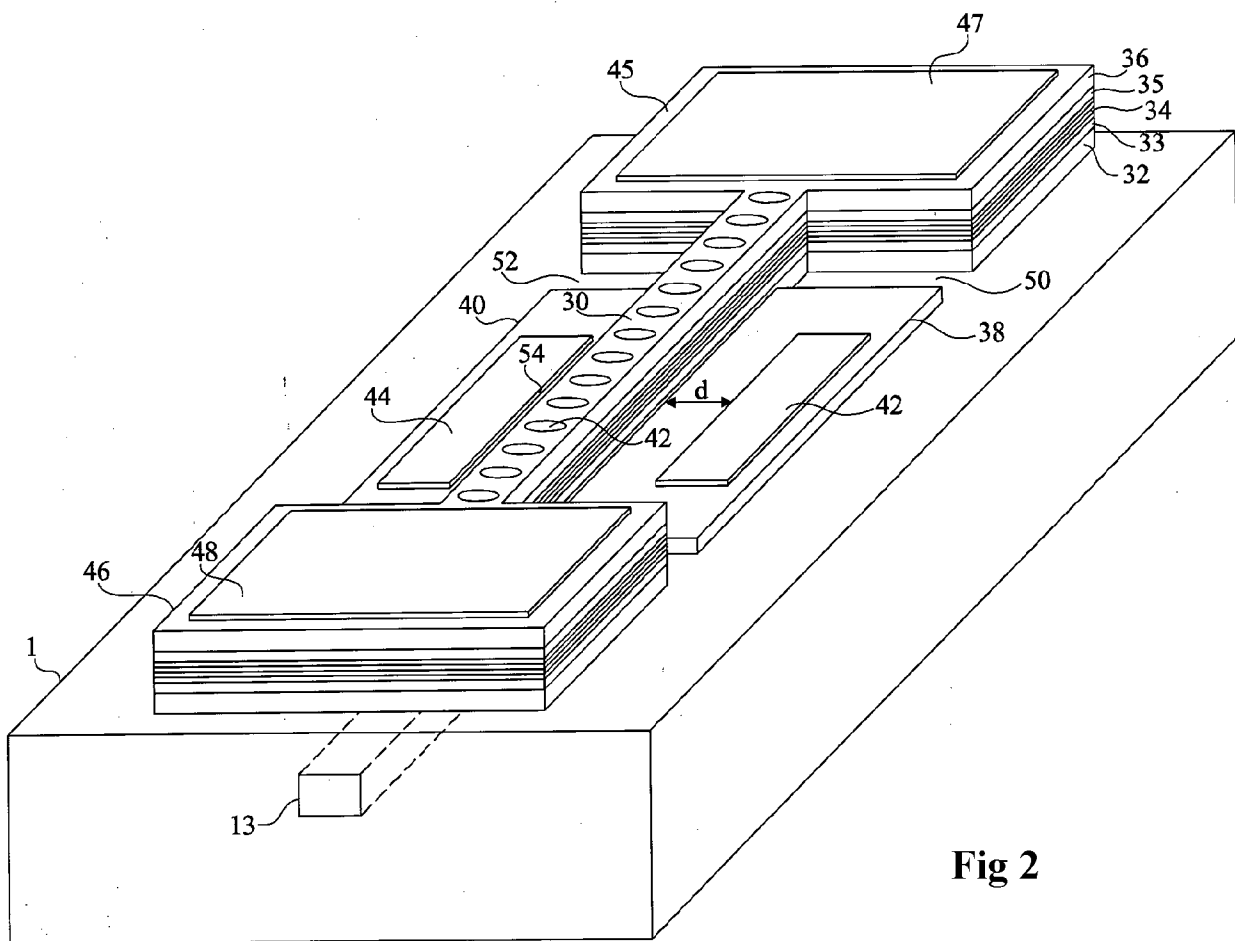


Fig 1

2/2



FEUILLE DE REMPLACEMENT (REGLE 26)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/051740

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. H01S5/026 H01S5/042 H01S5/12 H01S5/22 H01S5/343 ADD.		
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) 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, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Y. HALIOUA ET AL: "Hybrid III-V semiconductor/silicon nanolaser", OPTICS EXPRESS, vol. 19, no. 10, 9 May 2011 (2011-05-09), page 9221, XP055250887, ISSN: 2161-2072, DOI: 10.1364/OE.19.009221 cited in the application abstract; figures 1,3 the whole document ----- -/--	1-8
☒ 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 24 February 2016		Date of mailing of the international search report 03/03/2016
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 Lendroit, Stéphane

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2015/051740

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BAZIN ALEXANDRE ET AL: "Design of Silica Encapsulated High-Q Photonic Crystal Nanobeam Cavity", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 32, no. 5, 1 March 2014 (2014-03-01), pages 952-958, XP011537190, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2013.2295267 [retrieved on 2014-01-13] cited in the application the whole document	1-8
A	----- US 7 603 016 B1 (SOREF RICHARD A [US]) 13 October 2009 (2009-10-13) abstract; figure 2	1-8
A	----- GUANG-HUA DUAN ET AL: "Hybrid III--V on Silicon Lasers for Photonic Integrated Circuits on Silicon", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 20, no. 4, 1 July 2014 (2014-07-01), pages 158-170, XP055198161, ISSN: 1077-260X, DOI: 10.1109/JSTQE.2013.2296752 abstract; figure 4 the whole document -----	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/051740

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7603016	B1	13-10-2009	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/051740

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H01S5/026 H01S5/042 H01S5/12 H01S5/22 H01S5/343 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) 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, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	Y. HALIOUA ET AL: "Hybrid III-V semiconductor/silicon nanolaser", OPTICS EXPRESS, vol. 19, no. 10, 9 mai 2011 (2011-05-09), page 9221, XP055250887, ISSN: 2161-2072, DOI: 10.1364/OE.19.009221 cité dans la demande abrégé; figures 1,3 le document en entier ----- -/--	1-8
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 24 février 2016		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 03/03/2016
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 Lendroit, Stéphane

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	BAZIN ALEXANDRE ET AL: "Design of Silica Encapsulated High-Q Photonic Crystal Nanobeam Cavity", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 32, no. 5, 1 mars 2014 (2014-03-01), pages 952-958, XP011537190, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2013.2295267 [extrait le 2014-01-13] cité dans la demande le document en entier -----	1-8
A	US 7 603 016 B1 (SOREF RICHARD A [US]) 13 octobre 2009 (2009-10-13) abrégé; figure 2 -----	1-8
A	GUANG-HUA DUAN ET AL: "Hybrid III--V on Silicon Lasers for Photonic Integrated Circuits on Silicon", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, vol. 20, no. 4, 1 juillet 2014 (2014-07-01), pages 158-170, XP055198161, ISSN: 1077-260X, DOI: 10.1109/JSTQE.2013.2296752 abrégé; figure 4 le document en entier -----	1-8

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/051740

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7603016	B1	13-10-2009	AUCUN
