

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 076 404

21 N° d'enregistrement national : 17 01390

51 Int Cl⁸ : H 01 S 5/00 (2018.01)

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.12.17.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.07.19 Bulletin 19/27.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : THALES Société anonyme — FR, UNIVERSITE DE MONTPELLIER — FR, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE — FR et COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES — FR.

72 Inventeur(s) : GRISARD ARNAUD, ROUX SOPHIE, GERARD BRUNO, TOURNIE ERIC et CERRUTI LAURENT.

73 Titulaire(s) : THALES Société anonyme, UNIVERSITE DE MONTPELLIER, CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE, COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES.

74 Mandataire(s) : MARKS & CLERK FRANCE Société en nom collectif.

54 SOURCE INFRAROUGE MONOLITHIQUE.

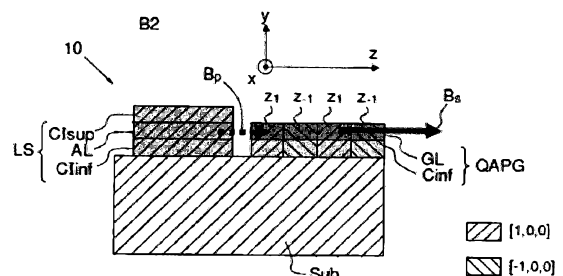
57 L'invention concerne un dispositif (10) de génération d'un faisceau signal (Bs) présentant une longueur d'onde signal (λ_s) comprise entre 2 et 15 μm , le dispositif comprenant:

- une source laser (LS) multicouches,
- un guide d'onde optique multicouches à quasi accord de phase (QAPG), dénommé guide,

- la source laser (LS) et le guide (QAPG) étant couplés de sorte que le faisceau pompe (Bp) issu de la couche active (AL) de la source laser (LS) soit injecté dans le cœur (GL) du guide (QAPG),

- les couches du guide étant réalisées par épitaxie sur un substrat (Sub) et comprenant, selon l'axe Z, une alternance de premières zones ($Z_{>1}$) présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones ($Z_{<-1}$) présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, de manière à réaliser un transfert d'énergie du faisceau pompe (Bp) vers le faisceau signal (Bs) et un faisceau complémentaire par quasi accord de phase,

- les couches de la source laser étant également réalisées par épitaxie, formant ainsi avec les couches du guide et le substrat (Sub) un bloc cristallin monolithique.



FR 3 076 404 - A1



Source Infrarouge Monolithique

DOMAINE DE L'INVENTION

L'invention concerne la réalisation de sources cohérentes de photons
5 moyen-infrarouge, c'est-à-dire de longueur d'onde comprise entre 2 et 15 μm
à partir d'une diode laser dite de pompage et d'un convertisseur de la
longueur d'onde de cette diode fonctionnant en configuration guidée et sur le
principe du quasi-accord de phase (QAP) dans un matériau semi-conducteur
à fort coefficient non-linéaire d'ordre deux.

10

ETAT DE LA TECHNIQUE

La réalisation de composants capables d'émettre dans le moyen IR, à la fois
15 compacts, présentant un coût réduit, une large gamme de longueurs d'onde
accessibles et un rendement énergétique élevé est un enjeu important pour
une large gamme d'applications, en particulier celles qui exploitent les
propriétés spectroscopiques de la région dite d'empreintes digitales de
l'infrarouge, allant de l'analyse de polluants à la chirurgie ophtalmique en
20 passant par la structuration de cellules photovoltaïques organiques.

Malgré d'importants progrès scientifiques qui ont ces dernières années
revivifié le domaine des sources infrarouges de longueur d'onde supérieure à
deux microns, ces sources n'ont toutefois pas encore atteint la maturité
nécessaire. Un éclairage sur les verrous à lever est fourni par le point de vue
25 de l'utilisateur sur les caractéristiques de ces sources, que l'on peut séparer
en deux groupes :

- Le premier comprend les lasers à gaz, à semi-conducteurs et à
matériaux dopés aux terres rares ou aux métaux de transition, sous
forme massive ou fibrée, qui génèrent directement des photons
30 infrarouges à partir d'un dispositif de pompage optique ou électrique. Les
gammes spectrales au-dessus de deux microns sont généralement plus
difficiles à obtenir et l'accordabilité de ces sources est souvent limitée.

Dans le cas des semi-conducteurs, leur coût peut en revanche potentiellement bénéficier d'importantes économies d'échelle.

- 5 - Le second regroupe les sources fondées sur la conversion de fréquence de lasers de pompage émettant entre 1 et 2,5 microns vers les plus grandes longueurs d'onde, par effet paramétrique dans des matériaux optiques non-linéaires d'ordre deux ou par génération de supercontinuum à partir d'impulsions courtes. Il est souvent possible de les faire émettre sur une plus grande gamme de longueur d'onde
10 que les sources du premier groupe, mais à un coût supérieur souvent lié au couplage pompe/convertisseur.

Il est connu que les matériaux non-linéaires d'ordre deux permettent la conversion paramétrique de la longueur d'onde d'un faisceau de pompage,
15 notée λ_p , en deux longueurs d'onde supérieures, notées λ_s (faisceau signal) et λ_c (faisceau complémentaire ou « idler »), qui respectent la loi de conservation de l'énergie :

$$1/\lambda_p = 1/\lambda_s + 1/\lambda_c$$

- 20 Le paramètre qui décide des valeurs de λ_s et λ_c parmi les différents couples possibles est déduit de la condition d'accord de phase entre ces trois ondes. La dispersion des indices optiques permet en pratique de satisfaire cette condition pour un nombre limité de matériaux biréfringents. Malheureusement ces matériaux ne possèdent pas nécessairement les
25 meilleurs coefficients non-linéaires, des plages de longueur d'onde de fonctionnement importantes, des gammes de température d'utilisation et de focalisation des faisceaux suffisantes.

L'utilisation de réseaux optiques composés de structures à base de cristaux
30 optiques non-linéaires permet, sous certaines conditions, de s'affranchir en partie de ces limitations. Pour cela on utilise la technique du quasi-accord de phase, ou QAP (Quasi Phase Matching ou QPM en anglais) qui consiste à réaliser des modifications locales du coefficient non-linéaire d'ordre 2 ou $\chi^{(2)}$ afin que le désaccord de phase entre les ondes accumulé au cours de la
35 propagation soit périodiquement compensé. On crée ainsi un réseau non

linéaire artificiel de période Λ tel qu'illustré figure 1, avec F_p faisceau pompe, F_s faisceau signal et F_c faisceau complémentaire.

Dans des matériaux ferroélectriques comme le niobate de lithium, on sait
5 inverser le signe de la polarisation diélectrique de domaines de quelques micromètres de large, dans toute la profondeur, par application d'un champ électrique selon l'axe cristallographique de ce matériau. Le faisceau se propageant voit une modulation de la susceptibilité propice au QAP.

Certains semi-conducteurs, comme l'arséniure de gallium, noté GaAs,
10 présentent à la fois de forts coefficients non-linéaires et de larges gammes de transparence. Toutefois ces cristaux appartiennent à la classe cristallographique de symétrie cubique, ce qui les rend isotropes, et donc impropres au traditionnel accord de phase biréfringent. D'autre part ils ne disposent pas des propriétés ferroélectriques du niobate de lithium. Il est
15 cependant possible d'utiliser le GaAs à l'aide de la technique du QAP en fabriquant des structures à orientation cristalline périodiquement inversée, notées OP de l'anglais « Orientation-Patterned ». On obtient ainsi également un $\chi^{(2)}$ dont le signe s'inverse périodiquement.

Contrairement aux cristaux non-linéaires conçus pour un accord de phase
20 biréfringent, les matériaux à QAP permettent des interactions efficaces sur toute leur gamme de transparence et sont donc des composants de choix pour la réalisation de sources cohérentes largement accordables. Selon le besoin, leurs longueurs d'onde d'émission peuvent être accordées en changeant la température T des cristaux, la période Λ du QAP ou la longueur
25 d'onde de pompage. Pour un QAP à l'ordre 1, ces grandeurs sont classiquement liées par l'équation suivante, où les symboles $n_i(T)$ représentent les indices de réfraction à la température T aux différentes longueurs d'onde $\lambda_p, \lambda_s, \lambda_c$:

$$n_p(T)/\lambda_p - n_s(T)/\lambda_s - n_c(T)/\lambda_c = 1/\Lambda$$

30

La figure 2 donne un exemple de doublets de longueurs d'onde accessibles
(λ_s, λ_c) en fonction de λ_p pour l'arséniure de gallium à orientation périodique
(OP-GaAs en anglais). La figure 3 donne un exemple de doublets de
longueurs d'onde accessibles (λ_s, λ_c) en fonction de λ_p pour l'OP-GaAs
35 (zoom en longueur d'onde) et pour le niobate de lithium à polarisation

périodique (PPLN en anglais), à température ambiante et pour des cristaux massifs. On constate que les matériaux semi-conducteurs à QAP comme l'OP-GaAs offrent un choix de longueurs d'onde converties bien plus étendu dans le moyen-infrarouge que les oxydes comme le PPLN.

5 On sait par ailleurs qu'un pompage à plus grande longueur d'onde est favorable à une plus grande accordabilité et est également utile pour limiter des effets parasites comme l'absorption à deux photons. Pour générer des grandes longueurs d'onde, on montre également qu'il est plus intéressant en termes de rendement de conversion de recourir à un pompage lui aussi le
10 plus haut possible en longueur d'onde, afin de minimiser le défaut quantique.

De nombreuses architectures de sources infrarouges tirent parti de ces matériaux massifs. Pour des dispositifs moins gourmands en puissance de pompage, des configurations guidées ont été proposées. Sous réserve de
15 concevoir des guides d'onde offrant un recouvrement suffisant entre les modes propagés aux trois longueurs d'onde d'intérêt, les fortes densités de puissance liées au confinement permettent des interactions non-linéaires très efficaces. L'équation précédente s'écrit alors avec les indices effectifs $n_i^{\text{eff}}(T)$ de ces modes :

$$20 \quad n_p^{\text{eff}}(T)/\lambda_p - n_s^{\text{eff}}(T)/\lambda_s - n_c^{\text{eff}}(T)/\lambda_c = 1/\Lambda$$

Des guides à faibles pertes fabriqués par diffusion de titane dans du PPLN peuvent ainsi fonctionner en oscillateur paramétrique optique grâce à un pompage externe, mais avec les mêmes limites en termes de longueurs
25 d'onde accessibles que le PPLN massif. En outre, il n'est pas possible d'envisager un pompage électrique intégré.

Le domaine des guides d'onde à QAP est moins développé dans le cas des semi-conducteurs. Pour des raisons historiques, la majorité des dispositifs décrits dans la littérature visait des applications dans la bande C des
30 télécommunications réalisées dans des guides GaAs/GaAlAs. A ces longueurs d'onde, les valeurs de période de QAP nécessaires et les tailles des motifs définissant les guides d'onde sont typiquement inférieures à 4 μm et donc sensibles aux nombreuses imperfections technologiques. Ceci se traduit par des pertes à la propagation trop importantes pour des efficacités
35 de conversion satisfaisantes. Ces limitations se sont avérées rédhibitoires

pour justifier le coût d'intégration hybride d'une diode laser de pompage par une des techniques connues de report avec un guide QAP, permettant couplage optique et assemblage mécanique.

5 Pour des longueurs d'onde supérieures à 2 μm , des études plus récentes ont pointé qu'il devient plus facile de fabriquer des guides d'onde à QAP à faibles pertes car les dimensions caractéristiques des structures augmentent et deviennent moins sensibles aux imperfections technologiques. Dans de tels guides fabriqués par croissance épitaxiale d'alliages GaAs/GaAlAs dans
10 des conditions compatibles avec les besoins du QAP, des pertes de l'ordre d'1 dB/cm ont ainsi été obtenues. Cependant ces matériaux GaAs/GaAlAs se prêtent peu à un pompage à grande longueur d'onde.

En revanche, très récemment des guides à QAP à faibles pertes à partir d'antimoniure de gallium et de ses alliages ont été réalisés et décrits dans la
15 publication : S. Roux, L. Cerutti, E. Tournié, M. Garcia, B. Gérard, G. Patriarche and A. Grisard, "First orientation-patterned GaSb ridge waveguides fabrication and preliminary characterization for frequency conversion in the mid-infrared," Proc. SPIE 9894, Nonlinear Optics and its Applications IV, 989415 (27 April 2016).

20 Ces matériaux à base de GaSb présentent l'avantage d'une susceptibilité non-linéaire d'ordre 2 du GaSb 50% supérieure à celle du GaAs, et ils sont transparents de 2 à 20 μm .

La figure 4 illustre un guide 20 tel que décrit dans la publication précitée, en coupe perpendiculaire à la direction de guidage Z. La couche guidante est en
25 GaSb, et le guide présente deux couches de confinement inférieures en alliage $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{Sb}_{1-y}$ avec deux stœchiométries x et y différentes. Le confinement supérieur est réalisé par l'air. La courbe de droite illustre le confinement spatial de l'onde lumineuse guidée.

La structure QAP est obtenue par épitaxie des matériaux AlGaAsSb et GaSb
30 à partir d'un substrat-germe, tel qu'illustré figure 5 et décrit dans la publication précitée.

Dans une première étape a) on réalise un premier empilement 40, comprenant un premier substrat en GaAs 50 d'orientation [1,0,0] sur lequel est épitaxiée une couche d'arrêt 55 et une fine couche d'épaisseur e voisine

de 0,1 μm également de GaAs d'orientation [1,0,0] que l'on retourne pour le mettre en face d'un deuxième substrat en GaAs 70 d'orientation [1,0,0].

Dans une deuxième étape b) on réalise le collage de l'empilement 40 sur le substrat 70 par adhésion moléculaire. Alternativement il est possible de déposer avant la mise en contact une couche de SiO_2 ou un empilement SiN/SiO_2 sur chaque surface de GaAs et de réaliser alors un collage $\text{SiO}_2/\text{SiO}_2$. L'orientation cristallographique de l'empilement 40 se retrouve inversée par rapport à celle du substrat 70.

Dans une étape c) on fait disparaître le substrat 50 et la couche d'arrêt 55 par amincissement.

Dans une étape d) on procède à la réalisation de motifs sur la couche 60 par photolithographie, puis gravure au travers de la couche 60 (et des éventuelles couches de SiN et SiO_2 insérées pour le collage). On obtient alors un substrat-germe SubG constitué d'une tranche de GaAs [1,0,0] comprenant localement des zones cristallines en GaAs inversé [-1,0,0] d'épaisseur t et de périodicité Λ ou tout autre motif répondant aux besoins QAP. Le substrat-germe SubG, ici réalisé à partir de GaAs, est dénommé dans l'état de la technique OP-GaAs (pour «Orientation-Patterned» en anglais).

Dans une étape finale e) on fait croître, ici par hétéro-épitaxie, les couches de AlGaAsSb et la couche de GaSb (non représentées) qui conservent l'orientation de départ du substrat-germe, puis on réalise la forme spécifique du guide par gravure, pour obtenir le guide QAP 20.

A noter que la gravure à l'étape d) des motifs conduit à un relief résiduel d'épaisseur supérieure ou égale à t (de l'ordre de la centaine de nanomètres) qui peut s'avérer gênant du point de vue des pertes optiques. Il peut alors être avantageusement supprimé par une étape supplémentaire de reprise épitaxiale avec ou sans planarisation mécano-chimique (CMP en anglais).

Il existe deux modes de couplage entre le laser de pompe et la structure à QAP.

Le mode le plus fréquent met en relation un laser de pompage émettant en espace libre ou couplé dans une fibre optique avec un guide à QAP par l'intermédiaire de lentilles, ou en positionnant le guide à QAP en face de la fibre de pompage.

Un deuxième mode est l'hybridation, consistant à rapporter individuellement une diode laser devant un guide d'onde par collage ou toute autre méthode permettant à la fois le couplage optique et l'assemblage mécanique.

Les deux voies présentent des limites en termes d'efficacité de couplage du pompage et de coût de fabrication.

Ainsi les systèmes hybrides laser de pompe/PPLN massif et les systèmes hybrides diode laser de pompage et report d'un guide QAP à base d'alliages GaAs/GaAlAs présentent une gamme réduite de longueurs d'onde accessibles, un coût élevé et des difficultés de réalisation importantes sinon rédhibitoires.

Un but de la présente invention est de remédier aux inconvénients précités en proposant une source moyen infrarouge monolithique s'appuyant sur la technologie récente des guides d'onde à QAP à base de GaSb ou d'alliages de GaSb.

DESCRIPTION DE L'INVENTION

La présente invention a pour objet un dispositif de génération d'un faisceau signal présentant une longueur d'onde signal comprise entre 2 et 15 μm , le dispositif comprenant :

-une source laser multicouches configurée pour émettre un faisceau pompe présentant une longueur d'onde pompe comprise entre 1.8 et 5 μm , la source laser comprenant une couche active comprenant un premier matériau et disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure et au moins une couche de confinement et d'injection inférieure,

-un guide d'onde optique multicouches à quasi accord de phase, dénommé guide, le guide comprenant une couche guidante dénommée cœur comprenant un deuxième matériau et configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement inférieure disposée sous le cœur,

-le premier matériau comprenant de l'antimoniure de gallium ou un de ses alliages, et le deuxième matériau comprenant de l'antimoniure ou de l'arséniure de gallium ou un de leurs alliages,

- la source laser et le guide étant couplés de sorte que le faisceau pompe issu de la couche active de la source laser soit injecté dans le cœur du guide,
- les couches du guide étant réalisées par épitaxie sur un substrat et comprenant, selon l'axe Z, une alternance de premières zones présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, de manière à réaliser un transfert d'énergie du faisceau pompe vers le faisceau signal et un faisceau complémentaire par quasi accord de phase,
- 10 -les couches de la source laser étant également réalisées par épitaxie, formant ainsi avec les couches du guide et le substrat un bloc cristallin monolithique.

Préférentiellement les couches de la source laser, les couches du guide dans les premières zones et le substrat présentent une orientation cristallographique $[1, 0, 0]$, et les couches du guide dans les deuxièmes zones présentent une orientation cristallographique $[-1, 0, 0]$ ou inversement.

Préférentiellement le substrat est choisi parmi l'arséniure de gallium ou l'antimoniure de gallium.

Selon une première variante les couches du guide présentent une partie sans alternances d'orientation cristallographique et dans lequel les couches de la source laser sont réalisées par épitaxie sur ladite partie, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

Selon un mode de réalisation, pour réaliser le couplage par ondes évanescentes, la source laser comprend une extrémité en forme de pointe de manière à présenter une diminution progressive de son indice effectif.

Selon un mode de réalisation le dispositif selon l'invention comprend en outre une première diode laser signal configurée pour émettre le faisceau signal et pour l'injecter dans le cœur du guide, le guide opérant alors comme un amplificateur du faisceau signal injecté.

Selon un mode de réalisation une facette respective de chaque extrémité des couches du guide présente un traitement réfléchissant configuré pour

réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal.

5 Selon une deuxième variante les couches de la source laser sont réalisées par épitaxie sur une partie du substrat ne comprenant pas de couches du guide, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé de manière directe par alignement de la couche active et du cœur.

Préférentiellement les couches du guide présentent une partie sans alternances d'orientation cristallographique et les couches de la source laser
10 sont réalisées par épitaxie dans un caisson creusé jusqu'au substrat dans ladite partie sans alternances d'orientation cristallographique.

Selon un mode de réalisation le dispositif selon l'invention comprend en outre une deuxième diode laser signal configurée pour émettre le faisceau signal et pour l'injecter dans le cœur du guide, le guide opérant alors comme un
15 amplificateur du faisceau signal injecté, la deuxième diode laser signal étant épitaxiée sur une partie de la couche supérieure du guide ne comprenant pas d'alternances d'inversion cristallographique, le couplage entre la deuxième diode laser signal et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

20 Selon une première sous variante il existe un espace entre la source laser et le guide, ledit espace étant au moins partiellement rempli d'un matériau diélectrique.

Selon un mode de réalisation une facette respective de chaque extrémité des couches du guide présente un traitement réfléchissant configuré pour
25 réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal.

Selon une deuxième sous variante les couches de la source laser et les couches du guide forment un continuum, une cavité de la source laser
30 s'étendant alors entre les deux extrémités dudit continuum.

Selon un mode de réalisation les extrémités du continuum présentent chacune un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal.

Selon un autre aspect l'invention concerne un procédé de fabrication d'un dispositif de génération d'un faisceau signal présentant une longueur d'onde signal comprise entre 2 et 15 μm , comprenant les étapes consistant à :

- 5 -réaliser un substrat présentant une première orientation cristallographique et comprenant une première partie présentant des reliefs périodiques d'orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, et une deuxième partie dépourvue de reliefs,
- 10 -réaliser un guide optique à quasi accord de phase multicouches, dénommé guide, par épitaxie desdites couches sur le substrat, le guide comprenant une couche guidante dénommée cœur configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement inférieure disposée sous le cœur, les couches du guide comprenant, selon l'axe Z et au-dessus de la première partie, une alternance de premières zones présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique,
- 15 -réaliser une source laser multicouches par épitaxie desdites couches, la source laser étant configurée pour émettre un faisceau pompe présentant une longueur d'onde pompe comprise entre 1.8 et 5 μm , la source laser comprenant une couche active disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure et au moins une couche de confinement et d'injection inférieure, la couche active de la source laser comprenant un premier matériau
- 25 comprenant de l'antimoniure de gallium ou un de ses alliages, le cœur du guide comprenant un deuxième matériau comprenant de l'antimoniure ou de l'arséniure de gallium ou un de leurs alliages, la source laser et le guide étant couplés de sorte qu'un faisceau pompe issu de la couche active de la source laser soit injecté dans le cœur du guide,
- 30 les couches de la source laser formant avec les couches du guide et le substrat un bloc cristallin monolithique.

Selon une première variante les couches de la source laser sont réalisées par épitaxie sur les couches du guide, le procédé comprenant en outre une

étape de gravure des couches de la source laser pour définir la source laser au dessus de la partie du guide située au dessus de la deuxième partie.

5 Selon une deuxième variante l'étape de réalisation des couches du guide est suivie d'une étape de réalisation d'un Caisson par gravure desdites couches du guide situées au dessus de la deuxième partie du substrat. Les couches de la source laser sont réalisées par épitaxie dans ledit caisson et les couches de la source laser sont configurées de sorte que le couplage entre la source laser et le guide soit réalisé par alignement de la couche active et
10 du cœur. Le procédé comprend en outre une étape de retrait des couches épitaxiées excédentaires.

Selon un mode de réalisation l'étape de réalisation du caisson comprend une étape de réalisation d'un masque et une étape de gravure au travers d'une ouverture du masque.

15

Selon une option l'étape de gravure au travers d'une ouverture du masque est une gravure sèche, le caisson présentant alors des flancs verticaux ou faiblement inclinés

20 Selon un mode de réalisation le procédé comprend, après l'étape de réalisation du caisson et avant l'étape d'épitaxie des couches de la source laser, une étape de dépôt d'un diélectrique sur les flancs du caisson.

Selon une autre option l'étape de gravure au travers d'une ouverture est réalisée de sorte que le caisson présente des flancs inclinés.

25

D'autres caractéristiques, buts et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui va suivre et en regard des dessins annexés donnés à titre d'exemples non limitatifs et sur lesquels :

30

La figure 1, déjà citée, illustre un réseau non-linéaire artificiel.

La figure 2, déjà citée, donne des exemples de doublets de longueurs d'onde accessibles en fonction de la longueur d'onde de pompe pour l'arséniure de gallium à orientation périodique.

La figure 3, déjà citée, donne des exemples de doublets de longueurs d'onde accessibles en fonction de la longueur d'onde de pompe pour l'arséniure de gallium à orientation périodique (zoom de la figure 2) et pour le niobate de lithium à polarisation périodique.

5 La figure 4, déjà citée, illustre une coupe transverse d'un guide à QAP selon l'état de l'art.

La figure 5, déjà citée, illustre les différentes étapes d'obtention d'une structure QAP à partir d'un substrat germe selon l'état de l'art.

10 La figure 6 illustre une première variante du dispositif de génération d'un faisceau signal selon l'invention.

La figure 7 illustre une deuxième variante du dispositif de génération d'un faisceau signal selon l'invention.

La figure 7bis illustre un mode de réalisation du dispositif selon la deuxième variante de l'invention.

15 La figure 8 illustre un exemple d'empilement pour la réalisation du guide QAPG du dispositif selon l'invention.

La figure 9 illustre les différentes longueurs d'onde signal λ_s accessibles pour une longueur d'onde de pompe λ_p de 2 μm ou de 2.2 μm , en fonction de la période Λ des alternances cristallographiques dans un guide QAPG.

20 La figure 10 illustre le substrat de départ du dispositif selon l'invention, à partir duquel les différentes couches sont épitaxiées.

La figure 11 illustre une solution pour réaliser un couplage par onde évanescente entre la source laser et le guide QAPG de type « taper ».

25 La figure 12 illustre un système selon l'invention comprenant sur un même substrat une pluralité de dispositifs selon la première variante de l'invention.

La figure 13 rappelle les trois modes principaux de génération paramétrique en optique non-linéaire. La figure 13a illustre un fonctionnement OPG pour « Optical Parametric Generation » en anglais, la figure 13b illustre un fonctionnement OPA pour « Optical Parametric Amplifier » en anglais, et la figure 13c illustre un fonctionnement OPO pour « Optical Parametric Oscillator » en anglais.

La figure 14 illustre un dispositif selon la première variante de l'invention en configuration OPG.

35 La figure 15 illustre un dispositif selon la première variante de l'invention en configuration OPA selon une première option préférée.

La figure 16 illustre un dispositif selon la première variante de l'invention en configuration OPA selon une autre option.

La figure 17 illustre un dispositif selon la première variante de l'invention en configuration OPO.

5 La figure 18 illustre un dispositif selon le premier mode de réalisation (espace entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en configuration OPG.

La figure 19 illustre un dispositif selon le premier mode de réalisation (espace entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en
10 configuration OPA.

La figure 20 illustre un dispositif selon le premier mode de réalisation (espace entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en configuration OPO.

La figure 21 illustre un dispositif selon le deuxième mode de réalisation
15 (continuum entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en configuration OPG.

La figure 22 illustre un dispositif selon le deuxième mode de réalisation (continuum entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en configuration OPA.

20 La figure 23 illustre un dispositif selon le deuxième mode de réalisation (continuum entre source laser et guide QAPG) de la deuxième variante de l'invention en configuration OPO.

La figure 24 illustre un procédé de réalisation d'un dispositif de génération d'un faisceau signal selon un autre aspect de l'invention.

25 La figure 25 illustre une première variante du procédé de réalisation d'un dispositif de génération d'un faisceau signal selon un autre aspect de l'invention, correspondant à la réalisation de la première variante du dispositif.

La figure 26 illustre une deuxième variante du procédé de réalisation d'un
30 dispositif de génération d'un faisceau signal selon un autre aspect de l'invention, correspondant à la réalisation de la deuxième variante du dispositif.

La figure 27 illustre la réalisation du masque et la gravure au travers de l'ouverture du masque.

La figure 28 illustre un premier mode de réalisation de la deuxième variante du procédé dans lequel le caisson présente des flancs verticaux ou faiblement inclinés.

5 La figure 29 illustre un deuxième mode de réalisation de la deuxième variante du procédé dans lequel le caisson présente des flancs inclinés.

La figure 30 illustre la structure obtenue après l'étape d'épitaxie des couches laser, la structure au-dessus du guide étant polycristalline.

10 La figure 31 illustre un mode de réalisation du premier mode de réalisation (flancs verticaux ou faiblement inclinés du caisson) de la deuxième variante du procédé, dans lequel on dépose une couche diélectrique sur les flancs du caisson.

La figure 32 illustre un exemple de structure obtenue après l'étape de retrait des couches excédentaires.

15 La figure 33 illustre un exemple de structure obtenue après l'étape d'épitaxie de la source laser dans un caisson à flancs inclinés.

La figure 34 illustre un exemple de structure obtenue après l'étape d'épitaxie de la source laser dans un caisson à flancs inclinés et l'étape de retrait des couches excédentaires.

20 La figure 35 illustre un dispositif final réalisé selon la deuxième variante du procédé.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

25 L'invention tire parti de la technologie récente des guides d'onde à QAP à base d'antimoniure de gallium ou d'un de ses alliages tels que décrits précédemment, et du fait que ce même matériau (ou un de ces alliages) permet également la réalisation de diodes lasers émettant dans une gamme de longueurs d'onde $1.8\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ compatible d'une conversion vers des
30 longueurs d'onde IR supérieures.

Le dispositif 10 selon l'invention, illustré figures 6 et 7, est un dispositif de génération d'un faisceau signal Bs présentant une longueur d'onde signal λ_s comprise entre 2 et 15 μm .

Il comprend une source laser LS multicouches configurée pour émettre un faisceau pompe Bp présentant une longueur d'onde pompe λ_p comprise entre 1.8 et 5 μm . La source laser LS comprend une couche active AL comprenant un premier matériau M1 et disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure Clsup et au moins une couche de confinement et d'injection inférieure Clinf. La source laser est pompée électriquement.

Les deux fonctionnalités, injection de porteurs et confinement optique, peuvent être réalisées par une seule couche (une de chaque côté). Plus classiquement chaque fonctionnalité nécessite au moins une couche spécifique, soit une couche d'injection et une couche de confinement supérieures, soit une couche d'injection et une couche de confinement inférieures.

Le dispositif comprend également un guide d'onde optique multicouches à quasi accord de phase QAPG, dénommé guide dans la suite de l'exposé. Le guide comprend une couche guidante GL dénommée cœur comprenant un deuxième matériau M2 et configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z.

Le guide comprend également au moins une couche de confinement inférieure Cinf disposée sous le cœur. Une couche de confinement supérieure n'est pas nécessaire, le guidage pouvant être réalisé par l'air. La couche active AL et le cœur GL sont spatialement séparés.

La source laser LS et le guide QAPG sont couplés de sorte que le faisceau pompe Bp issu de la couche active AL de la source laser LS soit injecté dans le cœur GL du guide QAPG. Différents modes de couplage sont possibles et décrits plus loin.

Les couches du guide sont réalisées par épitaxie sur un substrat Sub et comprennent selon l'axe Z une alternance de premières zones Z_1 présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones Z_2 présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, de manière à réaliser un transfert d'énergie du faisceau pompe Bp vers le faisceau signal Bs et un faisceau complémentaire par quasi accord de phase QAP.

En outre les couches de la source laser sont également réalisées par épitaxie, formant ainsi avec les couches du guide et le substrat Sub un bloc cristallin monolithique.

5

La figure 6 décrit une première variante du dispositif 10 selon l'invention selon laquelle les couches de la source laser LS sont épitaxiées sur les couches du guide, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

10 Ce sont donc ici les couches du guide qui constituent le substrat sur lequel sont épitaxiées les couches de la source laser.

Le faisceau pompe Bp issu de la couche active AL est couplé par ondes évanescentes dans le cœur GL du guide, et dans le guide s'opère le transfert d'énergie permettant de générer le faisceau signal Bs. Le faisceau
15 complémentaire également généré n'est pas représenté figure 6.

Selon un mode de réalisation les couches du guide présentent une partie sans alternances d'inversion cristallographique. Préférentiellement les couches de la source laser LS sont épitaxiées sur cette partie. La fabrication de la source laser sur une zone du substrat exempte d'alternances
20 cristallographiques et de relief résiduel supprime les problèmes induits par les défauts lors de la croissance des couches.

La figure 7 décrit une deuxième variante du dispositif 10 selon l'invention selon laquelle les couches de la source laser LS sont réalisées par épitaxie
25 sur une partie du substrat ne comprenant pas de couches du guide. Le couplage entre la source laser et le guide est réalisé de manière directe par alignement de la couche active AL et du cœur GL.

Le guide et la source laser partagent ici le même substrat Sub.

30 Le faisceau pompe Bp issu de la couche active AL est couplé directement dans le cœur GL du guide, et dans le guide s'opère le transfert d'énergie permettant de générer le faisceau signal Bs. Le faisceau complémentaire également généré n'est pas représenté figure 7.

Le couplage direct peut s'opérer selon différents modes de réalisation décrits
35 plus loin.

La figure 7bis illustre un mode de réalisation de cette deuxième variante dans lequel les couches du guide présentent une partie sans alternance cristallographique, et les couches de la source laser sont réalisées par
5 épitaxie dans un caisson Caiss creusé jusqu'au substrat dans cette partie des couches du guide sans alternance cristallographique (voir plus loin dans la partie procédé).

Le fait que les couches soient réalisées par épitaxie induit des
10 caractéristiques structurales spécifiques, permettant la réalisation d'un dispositif 10 monolithique.

L'épitaxie est une méthode pour faire croître un cristal en déposant des atomes des éléments chimiques du cristal à réaliser sur la surface d'un substrat monocristallin, choisi de façon à avoir des paramètres de maille
15 proches de ceux du cristal que l'on souhaite déposer. Le cristal se forme progressivement à partir du substrat. Typiquement une méthode d'épitaxie est la MBE (Molecular Beam Epitaxy en anglais) ou la MOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy en anglais).

L'épitaxie permet de déposer des couches minces cristallines les unes sur
20 les autres, la maille cristalline d'une couche supérieure étant en quasi accord avec la maille cristalline de la couche inférieure. Les empilements de couches minces épitaxiales forment ainsi un quasi continuum. Cette structure ne peut pas être obtenue par d'autres méthodes de dépôts qui ont pour résultat une structure du matériau déposé en grains et non pas continue ou
25 quasi continue.

Les couches minces ont typiquement une épaisseur allant de quelques nanomètres à quelques microns. On distingue l'homo-épitaxie, qui consiste à faire croître un cristal sur un substrat de nature chimique identique (par exemple GaSb sur GaSb), et l'hétéro-épitaxie, dans laquelle le cristal et le
30 substrat sont de natures chimiques différentes (par exemple GaSb sur GaAs).

On choisit les différents matériaux des couches du dispositif 10 selon l'invention afin de pouvoir réaliser la croissance épitaxiale. La plateforme

semi-conductrice utilisée pour le guide doit être compatible avec la croissance d'une source laser appropriée.

Le premier matériau M1 de la couche active AL de la source laser LS comprend de l'antimoniure de gallium GaSb ou un de ses alliages. Le
5 deuxième matériau M2 du cœur du guide à QAPG comprend de l'antimoniure ou de l'arséniure de gallium GaSb, GaAs ou un de leurs alliages.

Préférentiellement le guide QAPG comprend de l'antimoniure de gallium
10 GaSb (ou un de ses alliages), qui présente une susceptibilité non-linéaire d'ordre 2 qui est 50% supérieure à celle du GaAs et est transparent de 2 à 20 μm . Dans ce cas la source laser et le guide sont tous deux à base de GaSb (ou d'un alliage de celui-ci).

15 Les matériaux des couches de confinement et d'injection de la source laser sont adaptés en fonction du matériau M1 constituant AL.
Le matériau de l'au moins une couche de confinement du guide QAPG est adapté en fonction du matériau M2 constituant le cœur GL.

20 Le dispositif 10 selon l'invention est un composant monolithique constituant une source cohérente de photons moyen IR compacte. Il combine les propriétés d'une source laser de pompage à alimentation électrique réalisée à partir d'antimoniure de gallium et de ses alliages et d'un convertisseur QAPG de la longueur d'onde de cette source, fonctionnant en configuration
25 guidée et sur le principe du quasi-accord de phase, et réalisé à partir de matériaux comme l'arséniure ou l'antimoniure de gallium et leurs alliages. Il présente un grand nombre de longueurs d'onde signal accessibles, et peut donc être utilisé dans un grand nombre d'applications, en particulier celles qui exploitent les propriétés spectroscopiques de la région dite d'empreintes
30 digitales de l'infrarouge.

Conçu et réalisé par croissance épitaxiale le dispositif 10 monolithique selon l'invention offre un couplage meilleur et plus simple entre une source laser de pompage et un guide d'onde non-linéaire à QAP, ce qui permet une efficacité énergétique améliorée. Par ailleurs sa réalisation est compatible avec une
35 fabrication collective par des techniques éprouvées, et donc à moindre coût.

Selon un mode de réalisation le matériau M1 et/ou le matériau M2 du guide QAPG comprend (comprennent) un alliage quaternaire d'antimoniure de gallium de formule chimique GaXAsSb, l'élément X étant choisi parmi
5 l'Aluminium ou l'Indium afin d'ajuster l'indice et le gap de l'alliage selon la fonction à remplir.

Pour la source, un alliage quaternaire est préféré pour avoir différentes largeurs de bande interdite, et donc pouvoir réaliser une hétéro-structure à confinement séparé.

10 Pour le guide, un matériau binaire est préféré pour sa qualité intrinsèquement supérieure à celle des alliages ternaires ou quaternaires. Pour une approche de type « Taper » un alliage ternaire ou quaternaire est nécessaire afin de modifier l'indice optique et donc le confinement, et de réaliser un couplage par ondes évanescentes.

15

Selon un mode de réalisation le substrat est de l'arséniure de gallium GaAs. Avec un substrat en GaAs, le guide QAPG présentant un matériau M2 à base de GaSb ou un de ses alliages est donc hétéroépitaxié sur le substrat GaAs.

20

Selon un autre mode de réalisation le substrat est de l'antimoniure de gallium GaSb. Avec un substrat en GaSb, le guide QAPG présentant un matériau M2 à base de GaSb ou un de ses alliages est donc homoépitaxié sur le substrat GaSb, ce qui permet d'éviter les défauts structuraux et les contraintes
25 générés en hétéroépitaxie du fait du désaccord de paramètre de maille entre GaSb et GaAs.

Un exemple d'empilement pour la réalisation du QAPG est illustré figure 8. Le matériau M2 du cœur est du GaSb dopé N à environ 10^{16} cm^{-3} , et le QAPG comprend deux couches de confinement inférieures Cinf1 et Cinf2 en
30 alliage AlGaAsSb, sur un substrat Sub en GaSb dopé N. Cette structure est compatible avec la croissance par homo-épitaxie d'une source laser à base de GaSb ou d'un alliage, soit sur le cœur du guide (sans alternances) en GaSb (première variante décrite figure 6), soit sur le substrat lui-même également en GaSb (deuxième variante décrite figure 7).

La figure 9 illustre les différentes longueurs d'onde signal λ_s accessibles pour une longueur d'onde de pompe λ_p de 2 μm ou de 2.2 μm , en fonction de la période Λ des alternances cristallographiques.

5 Préférentiellement les couches de la source laser AL, Clinf, Clsup, les couches du guide dans les premières zones Z_1 et le substrat Sub présentent une orientation cristallographique [1,0,0], et les couches du guide dans les deuxièmes zones Z_{-1} présentent une orientation cristallographique [-1,0,0] ou inversement.

10

Le substrat de départ Sub du dispositif 10 à partir duquel les différentes couches sont épitaxiées est illustré figure 10. Une première partie P1 correspond au substrat SubG tel qu'illustré figure 5d, avec un substrat d'orientation [1,0,0] sur lequel on a des reliefs en orientation [-1, 0,0]. Il s'agit par exemple d'un OP-GaAs (« Orientation Patterned », voir plus haut) ou

15 d'un OP-GaSb. Une deuxième partie P2 correspond au substrat dépourvu de reliefs.

Le substrat Sub de départ peut être semi-isolant ou dopé selon les choix de conception des structures pompées électriquement.

20 Lorsque le substrat est isolant, on est obligé de prendre les contacts du laser en face avant, ce qui n'est pas le cas lorsque le substrat Sub est dopé, le contact pouvant être pris sur la face arrière du substrat.

Les reprises d'épitaxie nécessaires à la réalisation d'un dispositif selon

25 l'invention sont effectuées dans des conditions qui préservent l'orientation cristalline du substrat de départ. Il peut s'agir, comme expliqué plus haut, d'homo-épitaxie ou d'hétéro-épitaxie.

Les couches du guide sont d'abord épitaxiées sur ce substrat et présenteront

30 une partie sans alternance et une partie avec alternance d'orientation cristallographique.

Ultérieurement la source laser est épitaxiée soit sur la partie des couches du guide dépourvues d'alternance (première variante illustrée figure 6) soit directement sur la partie du substrat sans alternance, les couches du guide

35 ayant été préalablement enlevées (deuxième variante illustrée figure 7).

Les différentes variantes du procédé de réalisation du dispositif selon l'invention sont décrites plus loin.

- 5 Selon un mode de réalisation la couche active AL de la source laser comprend des multi-puits quantiques MPQ (MQW en anglais pour Multi Quantum Well) à base dudit alliage quaternaire d'antimoniure de gallium de formule chimique GaXAsSb, l'élément X étant choisi parmi Aluminium (Al) ou Indium (In). Les lasers à MPQ ont des densités de courant de seuil plus
10 faibles que celles des diodes lasers standards.

Préférentiellement la source laser multicouches est choisie parmi une diode laser, un laser à cascade inter-bandes, un laser à cascade quantique.

- 15 Selon un mode de réalisation le guide comprend au moins une couche disposée du côté du cœur GL opposé au substrat, la couche la plus éloignée du cœur du côté opposé au substrat étant dénommée couche supérieure Csup. Cette (ou ces) couche(s) supérieure(s) peut (peuvent) être une couche optique de confinement. En outre lorsque le cœur est un alliage quaternaire
20 avec de l'aluminium, il est nécessaire d'encapsuler celui-ci afin d'éviter tout contact avec l'air.

Une première solution pour effectuer le couplage par ondes évanescentes de la première variante consiste à utiliser un simple couplage entre un guide
25 d'onde supérieur (source laser de pompe) et le guide non-linéaire à QAP. Ce couplage est conçu de façon à maximiser le transfert de puissance de pompe au bout d'une distance compatible avec les longueurs typiques de zones actives des diodes laser.

Une seconde solution de couplage par ondes évanescentes, schématisée
30 sur la figure 11, utilise une approche de type « taper » en anglais, plus robuste du point de vue de la sensibilité aux écarts liés à la technologie.

Dans cette approche, l'indice effectif du guide d'onde supérieur (source laser de pompe LS) est progressivement diminué en changeant sa géométrie (extrémité en forme de pointe) de façon à le rendre finalement inférieur à
35 l'indice effectif du guide non-linéaire à QAP, ce qui permet de transférer la

puissance optique de pompe, en allant de la région A vers la région C, très majoritairement depuis le guide laser LS vers le guide QAPG.

La condition principale pour assurer un transfert efficace est que l'indice effectif du guide laser, de l'ordre de 3,79 pour une diode laser en matériaux antimoniures optimisée à 2 μm , soit suffisamment supérieur à celui du guide à QAP. Ceci interdit l'utilisation d'un cœur en GaSb. Le guide à QAP peut alors être réalisé en matériaux quaternaires GaXAsSb, en matériaux ternaires GaXSb avec X choisi parmi Al ou In, ou en GaAs/GaAlAs.

10 Un avantage de la première variante est que, la source laser étant épitaxiée sur le guide, l'ensemble du dispositif 10 peut être réalisé en une seule épitaxie.

A la suite des étapes de fabrication collectives, des composants individuels sont obtenus par clivage des facettes.

15

Il est possible de tirer parti de la nature bi-couche du dispositif selon l'invention selon la première variante pour intégrer des fonctions plus complexes.

20 Selon un mode de réalisation, le dispositif 10 comprend une pluralité de sources lasers présentant des longueurs d'onde de pompe sensiblement identiques, et un premier combineur configuré pour combiner l'ensemble des faisceaux pompe issus des différentes sources lasers dans un faisceau pompe unique, qui est injecté dans un même guide à QAP.

25 Le caractère bi-couche du dispositif selon la première variante rend également possible la combinaison des longueurs d'onde signal produites dans plusieurs convertisseurs de longueur d'onde pompés électriquement vers un unique guide d'onde moyen-infrarouge. Ainsi selon un mode de réalisation illustré figure 12 l'invention concerne un système 100 comprenant sur le même substrat une pluralité de dispositifs 10-1, 10-2,... selon la première variante, chaque dispositif étant configuré pour générer un faisceau signal Bs1, Bs2,... de longueur d'onde signal associée λ_{s1} , λ_{s2} ,... et comprenant un deuxième combineur Comb2 configuré pour combiner l'ensemble des faisceaux signal dans un faisceau unique.

35

La deuxième variante du dispositif 10 illustrée figure 7 consiste en une intégration co-planaire de la source laser de pompage et du guide, couplés par couplage direct. Ce couplage direct consiste à aligner le mode du guide à QAP avec le mode du guide actif de la source laser dans la structure, en optimisant le recouvrement entre les deux.

La source laser est épitaxiée dans un caisson dans un second temps, après épitaxie du guide QAPG et gravure du caisson, dans des conditions qui permettent le couplage bout-à-bout avec le guide.

Pour la réalisation d'un dispositif illustré figure 7, deux épitaxies sont donc nécessaires : la première réalise les couches nécessaires au guide d'onde à QAP, la seconde a lieu dans un caisson gravé dans lequel sont épitaxiées les couches nécessaires à la source laser.

L'exemple de guide QAPG tel que décrit figure 8 est compatible de cette deuxième variante.

Concernant la morphologie des caissons, selon un premier mode de réalisation ils sont à flancs droits, et selon un deuxième mode de réalisation ils sont inclinés pour faciliter la deuxième reprise d'épitaxie (voir plus loin).

Cette deuxième variante de configuration du dispositif selon l'invention offre, en supplément à ceux de la première variante, plusieurs avantages :

-Un plus grand choix de paramètres de conception de la source laser est offert, en particulier en ce qui concerne la prise de contacts électriques, puisqu'elle n'est plus contrainte par les étapes de conception des coupleurs évanescents.

-Le couplage direct du guide actif de la diode vers le guide à QAP est plus aisé que le couplage évanescent de la première variante, et potentiellement moins sensible aux variations de la longueur d'onde de pompage.

La forme des caissons induit des caractéristiques structurales du dispositif selon l'invention selon la deuxième variante.

Selon le premier mode de réalisation le caisson est à flancs droits. Typiquement il existe un espace entre la source laser et le guide, cet espace étant au moins partiellement rempli d'un matériau diélectrique matD (voir plus loin figures 18 à 20).

Selon le deuxième mode de réalisation avec caisson incliné, une variante préférée est que les couches de la source laser et les couches du guide forment un continuum, la cavité de la source laser s'étendant alors entre les deux extrémités du continuum (voir plus loin figures 21 à 23).

5

Le caractère monolithique du dispositif 10 selon l'invention permet en outre la génération paramétrique du faisceau signal Bs selon différentes architectures du point de vue de l'optique non-linéaire, pour conduire à des sources compétitives dans le moyen-infrarouge.

10 On rappelle sur la figure 13 les trois modes principaux de génération paramétrique par un composant 90 en optique non-linéaire.

La figure 13a illustre un fonctionnement OPG pour « Optical Parametric Generation » en anglais tel que décrit et illustré figure 1, sans rétroaction.

15 La figure 13b illustre un fonctionnement OPA pour « Optical Parametric Amplifier » en anglais, dans lequel une diode laser signal DLs fournit un faisceau à la fréquence signal qui est amplifié dans le composant 90, sans rétroaction.

20 La figure 13c illustre un fonctionnement OPO pour « Optical Parametric Oscillator » en anglais, dans lequel le composant 90 est disposé dans une cavité oscillante pour la longueur d'onde signal λ_s , permettant un effet résonnant à cette longueur d'onde (avec rétroaction).

25 A la suite des étapes de fabrication collectives, des composants individuels selon l'invention sont obtenus par clivage des facettes et optimisés pour un fonctionnement OPG, OPA ou OPO. Dans les figures qui suivent le guide QAPG comprend une couche additionnelle Csup au-dessus du cœur, pouvant réaliser différentes fonctionnalités (voir plus haut).

30 Les figures 14 à 17 illustrent un dispositif selon la première variante de l'invention dans les différentes configurations optiques précitées. La source laser LS présente des facettes traitées haute réflexion pour la longueur d'onde de pompe.

La figure 14 illustre la configuration OPG telle que décrite figure 6.

Les figures 15 et 16 illustrent la configuration OPA dans laquelle le dispositif 10 comprend en outre une première diode laser signal DL1s configurée pour émettre le faisceau signal Bs et pour l'injecter dans le cœur du guide GL, le guide opérant alors comme un amplificateur du faisceau signal injecté.

5 La figure 15 illustre une première variante préférée dans laquelle la première diode laser signal DL1s est épitaxiée sur une partie de la couche supérieure du guide ne comprenant pas d'alternances d'inversion cristallographique. Le couplage entre la première source laser signal DL1s et le guide est réalisé par ondes évanescentes.

10 La figure 16 illustre une autre variante dans laquelle la source DL1s ne fait pas partie du bloc monolithique et est disposée à l'extérieur.

La figure 17 illustre la configuration OPO dans laquelle la facette respective de chaque extrémité des couches du guide présente un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal λ_s de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour cette

15 longueur d'onde signal.

La facette côté opposé à la sortie de Bs présente un traitement hautement réfléchissant HR1 tandis que la facette côté sortie de Bs présente un traitement partiellement réfléchissant pour laisser sortir une fraction du

20 faisceau signal.

Les figures 18 à 20 illustrent un dispositif selon le premier mode de réalisation (avec espace entre LS et QAPG) de la deuxième variante de l'invention (intégration coplanaire), dans les différentes configurations

25 optiques précitées. La source laser LS présente des facettes traitées haute réflexion pour la longueur d'onde de pompe.

La figure 18 illustre la configuration OPG, l'espace entre la source laser LS et le guide QAPG est au moins partiellement rempli avec un matériau

30 diélectrique MatD.

La figure 19 illustre la configuration OPA, dans laquelle le dispositif 10 comprend en outre une deuxième diode laser signal DL2s configurée pour émettre le faisceau signal Bs et pour l'injecter dans le cœur du guide, le guide opérant alors comme un amplificateur du faisceau signal injecté. La

35 deuxième diode laser signal DL2s est épitaxiée sur une partie de la couche

supérieure du guide ne comprenant pas d'alternances d'orientations cristallographiques, le couplage entre la deuxième diode laser signal et le guide d'onde étant réalisé par ondes évanescentes.

La figure 20 illustre la configuration OPO dans laquelle la facette respective
5 de chaque extrémité des couches constituant le guide présente un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour cette longueur d'onde. La facette côté opposé à la sortie de Bs présente un traitement hautement réfléchissant tandis que la facette côté sortie de Bs
10 présente un traitement partiellement réfléchissant pour laisser sortir une fraction du faisceau signal.

Les figures 21 à 23 illustrent un dispositif selon le deuxième mode de réalisation (continuum entre LS et QAPG) de la deuxième variante de
15 l'invention (intégration coplanaire), dans les différentes configurations optiques précitées.

La cavité de la source laser LS s'étend entre les deux extrémités du continuum, ces deux extrémités présentant donc un traitement hautement réfléchissant pour la longueur d'onde de pompe.

20

La figure 21 illustre la configuration OPG.

La figure 22 illustre la configuration OPA dans laquelle le dispositif 10 comprend en outre une deuxième diode laser signal DL2s configurée pour émettre le faisceau signal Bs et pour l'injecter dans le cœur du guide. Le
25 guide opère alors comme un amplificateur du faisceau signal injecté. La deuxième diode laser signal DL2s est épitaxiée sur une partie de la couche supérieure du guide ne comprenant pas d'alternances d'inversion cristallographique, le couplage entre la deuxième diode laser signal et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

30 La figure 23 illustre la configuration OPO dans laquelle les extrémités du continuum présentent chacune, en plus du traitement réfléchissant à λ_p , un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal λ_s , de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour cette longueur d'onde.

35

Selon un autre aspect l'invention concerne un procédé 80 de fabrication d'un dispositif de génération d'un faisceau signal Bs présentant une longueur d'onde signal λ_s comprise entre 2 et 15 μm illustré figure 24.

5 La première étape 100 réalise un substrat Sub présentant une première orientation cristallographique et comprenant une première partie P1 présentant des reliefs périodiques d'orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, et une deuxième partie P2 dépourvue de reliefs, tel que décrit précédemment.

10

Dans une deuxième étape 200 on réalise un guide optique à quasi accord de phase QAPG multicouches, dénommé guide, par épitaxie desdites couches sur le substrat Sub. Le guide comprend une couche guidante dénommée cœur GL configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement inférieure Cinf disposée sous le cœur.

15

Les couches du guide comprennent, selon l'axe Z et au-dessus de la première partie P1, une alternance de premières zones Z_1 présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones Z_{-1} présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, tel que décrit précédemment.

20

Dans une troisième étape 300 on réalise une source laser LS multicouches par épitaxie desdites couches, la source laser étant configurée pour émettre un faisceau pompe Bp présentant une longueur d'onde pompe λ_p comprise entre 1.8 et 5 μm , la source laser comprenant une couche active AL disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure CIsup et au moins une couche de confinement et d'injection inférieure Clinf, tel que décrit précédemment.

25

30 La couche active de la source laser comprend un premier matériau M1 comprenant du GaSb ou un de ses alliages. Le cœur du guide comprend un deuxième matériau M2 comprenant du GaSb ou du GaAs ou un de leurs alliages.

La source laser et le guide sont couplés de sorte qu'un faisceau pompe Bp issu de la couche active AL de la source laser soit injecté dans le cœur GL

35

du guide, les couches de la source laser formant avec les couches du guide et le substrat Sub un bloc cristallin monolithique.

La réalisation de l'ensemble des couches par épitaxie à partir du substrat Sub permet l'obtention d'un procédé simplifié tout en réalisant des composants LS et Guide QAP de bonne qualité. Les empilements de couches minces épitaxiales forment ainsi un quasi continuum qui ne peut être obtenu par d'autres méthodes de dépôts, qui résultent en une structure du matériau déposé en grains et non pas continue ou quasi-continue.

10

Pour réaliser un dispositif 10 selon la première variante, le procédé, illustré figure 25, présente les spécificités suivantes.

Lors de l'étape 300 les couches de la source laser LS sont réalisées par épitaxie sur les couches du guide. Lors de l'épitaxie les couches de LS s'étendent sur toute la surface supérieure du guide. Le procédé comprend donc une étape 400 de gravure des couches de LS pour définir le composant LS sur la partie du guide située au-dessus de P2, ne comprenant pas d'alternances et enlever les couches LS excédentaires sur au moins la partie du guide située au-dessus de P1.

20 Avec un couplage de type « taper », l'étape 400 inclut également la définition de la pointe.

Pour réaliser un dispositif 10 selon la deuxième variante, le procédé 80 illustré figure 26 présente les spécificités suivantes. L'étape de réalisation 200 des couches du guide QAPG est suivie d'une étape 250 de réalisation d'un caisson Caiss par gravure desdites couches du guide situées au-dessus de la partie P2 du substrat Sub. Les couches de la source laser LS sont alors réalisées par épitaxie dans le caisson Caiss. Au moins une épaisseur d'une couche de la source laser est configurée de sorte que le couplage entre la source laser et le guide soit réalisé par alignement de la couche active AL et du cœur GL. Le procédé 80 comprend en outre une étape 350 de retrait des couches excédentaires épitaxiées en dehors du caisson.

Selon un mode de réalisation préféré l'étape 250 de réalisation du caisson comprend une étape 252 de réalisation d'un masque Ma et une étape de

35

gravure 254 au travers d'une ouverture Op du masque, située dans la partie au-dessus de P2.

La figure 27 illustre la réalisation du masque et la gravure au travers de l'ouverture Op. Typiquement le masque est réalisé à l'aide d'une résine ou
5 d'un multicouche diélectrique/métal, l'ouverture étant réalisée par photolithographie.

Selon un premier mode de réalisation illustré figure 28 l'étape 254 de gravure au travers de l'ouverture Op du masque est une gravure sèche, le caisson
10 présentant alors des flancs 18 verticaux ou faiblement inclinés. Typiquement, une gravure de type ICP (Inductively Coupled Plasma en anglais) ou une gravure de type RIE (Reactive Ion Etching en anglais) peut produire de tels flancs.

Selon un deuxième mode de réalisation illustré figure 29 l'étape 254 de
15 gravure au travers d'une ouverture Op du masque est une gravure humide anisotrope, le caisson présentant alors des flancs 19 inclinés. Une gravure sèche peut également produire de tels flancs par un choix approprié des paramètres de gravure et du masque.

20 Optionnellement, il a été déposé une couche d'arrêt CA2 entre le substrat Sub et la première couche de confinement inférieure du guide Cinf1, tel qu'illustré sur les figures 27 à 29, afin qu'il soit possible d'arrêter la gravure du caisson 254 à la surface du substrat.

Si cette couche CA2 n'est pas présente, le substrat sera lui-même
25 légèrement gravé.

A la fin de l'étape 300 de réalisation des couches de LS, les couches épitaxiées sont présentes dans le caisson mais également au-dessus de la couche supérieure du guide QAPG, qui peut être soit GL soit une couche
30 Csup telle que décrite précédemment.

Pour le cas d'un caisson à flancs droits, la structure laser Poly réalisée au-dessus du guide est poly-cristalline, tel qu'illustré figure 30. L'empilement laser comprend dans cet exemple une couche de contact de type n CCn, une couche de confinement et d'injection inférieure Clinf, une couche active AL,
35 une couche de confinement et d'injection supérieure CIsup et une couche de

contact de type p CCp. L'épaisseur de CCn est ajustée pour aligner la couche active du laser et le cœur du guide. Les propriétés électriques de CCp et CCn sont choisies pour réaliser un bon contact électrique en déposant un métal dessus.

5

L'étape 350 consiste à retirer cette structure Poly excédentaire.

Une première option est par exemple de laisser le masque Ma pendant l'épitaxie de LS, l'étape 350 étant une étape d'attaque sélective du masque permettant de réaliser le « lift-off » du matériau excédentaire.

10

Une deuxième option est d'éliminer le masque avant l'étape 300 mais en ayant préalablement au dépôt du masque déposé sur la couche supérieure du guide une couche d'arrêt CA1 monocristalline. Lors de l'épitaxie 300 CA1 se couvre de matériaux monocristallins cette fois. On élimine ensuite ces matériaux sur le haut du guide par attaque (sous-gravure) sélective de CA1 ou par attaque jusqu'à CA1 en ayant préalablement protégé le caisson.

15

Une troisième option est d'éliminer le masque avant l'étape 300 sans présence de CA1. Dans ce cas, les matériaux également monocristallins excédentaires sont éliminés, après protection du caisson, en contrôlant précisément le procédé de gravure afin de l'arrêter dès que la couche supérieure du guide GL est atteinte. Cet arrêt peut être facilité par l'insertion lors de l'étape 300 d'une couche d'arrêt CA3 sous la structure laser LS.

20

25

Selon un mode de réalisation de la deuxième variante, le procédé comprend, après l'étape de réalisation du caisson 250 et l'élimination du masque et avant l'étape 300 d'épitaxie, une étape 270 de dépôt d'un diélectrique MatD sur les flancs du caisson tel qu'illustré figure 31. Cette couche réalise une interface optique entre la source laser LS et le guide QAPG et optionnellement permet de protéger le cœur GL lorsque celui-ci contient de l'aluminium.

30

Un exemple de structure obtenue après l'étape 350 est illustré figure 32. Le matériau diélectrique remplit ici l'espace entre LS et le guide QAPG.

On définit la couche active AL comme correspondant à la couche émettrice entourée des deux couches optiques définissant la cavité optique.

Par ailleurs, en maîtrisant une épitaxie de type « Butt-joint » il est possible
5 d'obtenir une structure sans aucun espace entre LS et le guide QAPG.

La figure 33 illustre un exemple de structure obtenue après l'étape 300 d'épitaxie dans un caisson à flancs inclinés. De manière naturelle les couches du laser se prolongent continûment sur le dessus du guide QAPG et
10 forment un continuum avec les couches du guide.

La figure 34 illustre un exemple de structure à caisson à flancs inclinés après l'étape 350, une fois la matière excédentaire enlevée.

Ces structures présentent l'avantage d'une excellente injection du mode
15 optique de AL vers GL, et les flancs des couches Cinf sont protégés avec AL.

Pour les deux variantes, une fois l'épitaxie réalisée et les couches excédentaires présentes suite à cette épitaxie enlevées, classiquement le procédé de réalisation du composant final comprend les étapes décrites ci-
20 dessous. La figure 35 illustre un dispositif final réalisé selon la deuxième variante du procédé.

-réalisation du contact p (métallique) Contp et définition du ruban laser StrL,
-réalisation éventuelle du contact n Contn en face avant/supérieure (comme illustré figure 35) par gravure jusqu'à CCn le long du ruban laser,

25 -définition du ruban du guide StrG

-amincissement du substrat,

-réalisation d'un contact n en face arrière si non réalisé en face avant,

-clivage face laser « gauche » et face laser « droite » ou gravure pour définir le composant final.

30

REVENDEICATIONS

1. Dispositif (10) de génération d'un faisceau signal (Bs) présentant une longueur d'onde signal (λ_s) comprise entre 2 et 15 μm , le dispositif comprenant :

- 5 -une source laser (LS) multicouches configurée pour émettre un faisceau pompe (Bp) présentant une longueur d'onde pompe (λ_p) comprise entre 1.8 et 5 μm , la source laser comprenant une couche active (AL) comprenant un premier matériau (M1) et disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure (CIsup) et au moins une couche de
10 confinement et d'injection inférieure (CInf),
 - un guide d'onde optique multicouches à quasi accord de phase (QAPG), dénommé guide, le guide comprenant une couche guidante dénommée cœur (GL) comprenant un deuxième matériau (M2) et configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement
15 inférieure (Cinf) disposée sous le cœur,
 - le premier matériau (M1) comprenant de l'antimoniure de gallium (GaSb) ou un de ses alliages, et le deuxième matériau (M2) comprenant de l'antimoniure ou de l'arséniure de gallium (GaSb, GaAs) ou un de leurs alliages,
- 20 -la source laser (LS) et le guide (QAPG) étant couplés de sorte que le faisceau pompe (Bp) issu de la couche active (AL) de la source laser (LS) soit injecté dans le cœur (GL) du guide (QAPG),
 - les couches du guide étant réalisées par épitaxie sur un substrat (Sub) et comprenant, selon l'axe Z, une alternance de premières zones (Z_1)
25 présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones (Z_{-1}) présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, de manière à réaliser un transfert d'énergie du faisceau pompe (Bp) vers le faisceau signal (Bs) et un faisceau complémentaire par quasi accord de phase,
- 30 -les couches de la source laser étant également réalisées par épitaxie, formant ainsi avec les couches du guide et le substrat (Sub) un bloc cristallin monolithique.

2. Dispositif selon la revendication 1 dans lequel les couches de la source laser (AL, Clinf, Clsup), les couches du guide dans les premières zones (Z_1) et le substrat (Sub) présentent une orientation cristallographique [1, 0, 0], et dans lequel les couches du guide dans les deuxièmes zones (Z_{-1}) présentent
5 une orientation cristallographique [-1, 0, 0] ou inversement.

3. Dispositif selon l'une des revendications précédentes dans lequel le substrat est choisi parmi l'arséniure de gallium (GaAs), ou l'antimoniure de gallium (GaSb).
10

4. Dispositif selon l'une des revendications précédentes dans lequel les couches du guide présentent une partie sans alternances d'orientation cristallographique et dans lequel les couches de la source laser (LS) sont réalisées par épitaxie sur ladite partie, le couplage entre la source laser (LS)
15 et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

5. Dispositif selon la revendication 4 dans lequel, pour réaliser le couplage par ondes évanescentes, la source laser comprend une extrémité en forme de pointe de manière à présenter une diminution progressive de son indice
20 effectif.

6. Dispositif selon l'une des revendications 4 ou 5 comprenant en outre une première diode laser signal (DL1s) configurée pour émettre le faisceau signal (Bs) et pour l'injecter dans le cœur du guide, le guide opérant alors comme
25 un amplificateur du faisceau signal injecté (OPA).

7. Dispositif selon l'une des revendications 4 à 6 dans lequel une facette respective de chaque extrémité des couches du guide présente un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur
30 d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal (OPO).

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel les couches de la source laser (LS) sont réalisées par épitaxie sur une partie du substrat ne
35 comprenant pas de couches du guide, le couplage entre la source laser et le

guide étant réalisé de manière directe par alignement de la couche active (AL) et du cœur (GL).

5 9. Dispositif selon la revendication précédente dans lequel les couches du guide (QAPG) présentent une partie sans alternances d'orientation cristallographique (Z_1, Z_{-1}) et dans lequel les couches de la source laser sont réalisées par épitaxie dans un caisson (Caiss) creusé jusqu'au substrat dans ladite partie sans alternances d'orientation cristallographique.

10 10. Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 9 comprenant en outre une deuxième diode laser signal (DL2s) configurée pour émettre le faisceau signal (Bs) et pour l'injecter dans le cœur du guide, le guide opérant alors comme un amplificateur du faisceau signal injecté (OPA), la deuxième diode laser signal étant épitaxiée sur une partie de la couche supérieure du guide
15 ne comprenant pas d'alternances d'inversion cristallographique, le couplage entre la deuxième diode laser signal et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

20 11. Dispositif selon l'une des revendications 8 à 10 dans lequel il existe un espace entre la source laser et le guide, ledit espace étant au moins partiellement rempli d'un matériau diélectrique.

25 12. Dispositif selon l'une des revendications 8 à 9 dans lequel une facette respective de chaque extrémité des couches du guide présente un traitement réfléchissant configuré pour réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal (OPO).

30 13. Dispositif selon l'une des revendications 8 à 10 dans lequel les couches de la source laser et les couches du guide forment un continuum, une cavité de la source laser s'étendant alors entre les deux extrémités dudit continuum.

35 14. Dispositif selon la revendication 13 dans lequel lesdites extrémités dudit continuum présentent chacune un traitement réfléchissant configuré pour

réfléchir au moins partiellement la longueur d'onde signal, de manière à réaliser une cavité amplificatrice pour ladite longueur d'onde signal (OPO).

15. Procédé de fabrication d'un dispositif de génération d'un faisceau signal
5 (Bs) présentant une longueur d'onde signal (λ_s) comprise entre 2 et 15 μm , comprenant les étapes consistant à :

-réaliser (100) un substrat (Sub) présentant une première orientation cristallographique et comprenant une première partie (P1) présentant des reliefs périodiques d'orientation cristallographique inversée par rapport à la
10 première orientation cristallographique, et une deuxième partie (P2) dépourvue de reliefs,

-réaliser (200) un guide optique à quasi accord de phase (QAPG) multicouches, dénommé guide, par épitaxie desdites couches sur le substrat (Sub), le guide comprenant une couche guidante dénommée cœur (GL)
15 configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement inférieure (Cinf) disposée sous le cœur,

les couches du guide comprenant, selon l'axe Z et au-dessus de la première partie (P1), une alternance de premières zones (Z_1) présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones (Z_{-1}) présentant une
20 orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique,

-réaliser (300) une source laser multicouches par épitaxie desdites couches, la source laser étant configurée pour émettre un faisceau pompe (Bp) présentant une longueur d'onde pompe (λ_p) comprise entre 1.8 et 5 μm , la
25 source laser comprenant une couche active (AL) disposée entre au moins une couche de confinement et d'injection supérieure (CIsup) et au moins une couche de confinement et d'injection inférieure (CInf),

la couche active de la source laser comprenant un premier matériau (M1) comprenant de l'antimoniure de gallium (GaSb) ou un de ses alliages,

30 le cœur du guide comprenant un deuxième matériau (M2) comprenant de l'antimoniure ou de l'arséniure de gallium (GaSb, GaAs) ou un de leurs alliages,

la source laser et le guide étant couplés de sorte qu'un faisceau pompe (Bp) issu de la couche active (AL) de la source laser soit injecté dans le cœur
35 (GL) du guide,

les couches de la source laser formant avec les couches du guide et le substrat (Sub) un bloc cristallin monolithique.

5 16. Procédé (80) selon la revendication 15 dans lequel les couches de la source laser (LS) sont réalisées par épitaxie sur les couches du guide, le procédé comprenant en outre une étape (400) de gravure des couches de la source laser pour définir la source laser au dessus de la partie du guide située au dessus de la deuxième partie (P2).

10 17. Procédé (80) selon la revendication 15 dans lequel l'étape de réalisation (200) des couches du guide est suivie d'une étape (250) de réalisation d'un Caisson (Caiss) par gravure desdites couches du guide situées au dessus de la deuxième partie (P2) du substrat,
dans lequel les couches de la source laser (LS) sont réalisées par épitaxie
15 dans ledit caisson (Caiss), les couches de la source laser étant configurées de sorte que le couplage entre la source laser et le guide soit réalisé par alignement de la couche active (AL) et du cœur (GL),
et comprenant en outre une étape (350) de retrait des couches épitaxiées excédentaires.

20

18. Procédé selon la revendication 17 dans lequel l'étape de réalisation du caisson (250) comprend une étape de réalisation d'un masque (252) et une étape de gravure (254) au travers d'une ouverture (Op) du masque.

25 19. Procédé selon la revendication 18 dans lequel l'étape (254) de gravure au travers d'une ouverture (Op) du masque est une gravure sèche, le caisson (Caiss) présentant alors des flancs (18) verticaux ou faiblement inclinés

30 20. Procédé selon la revendication 19 comprenant, après l'étape de réalisation du caisson (250) et avant l'étape (300) d'épitaxie des couches de la source laser (LS), une étape (270) de dépôt d'un diélectrique (MatD) sur les flancs (18) du caisson.

21 Procédé selon l'une des revendications 17 ou 18 dans lequel l'étape (254) de gravure au travers d'une ouverture (Op) est réalisée de sorte que le caisson présente des flancs (19) inclinés.

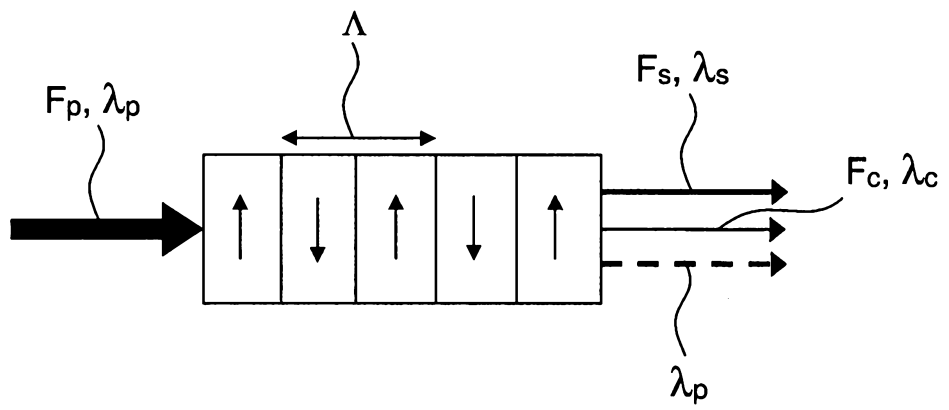


FIG.1

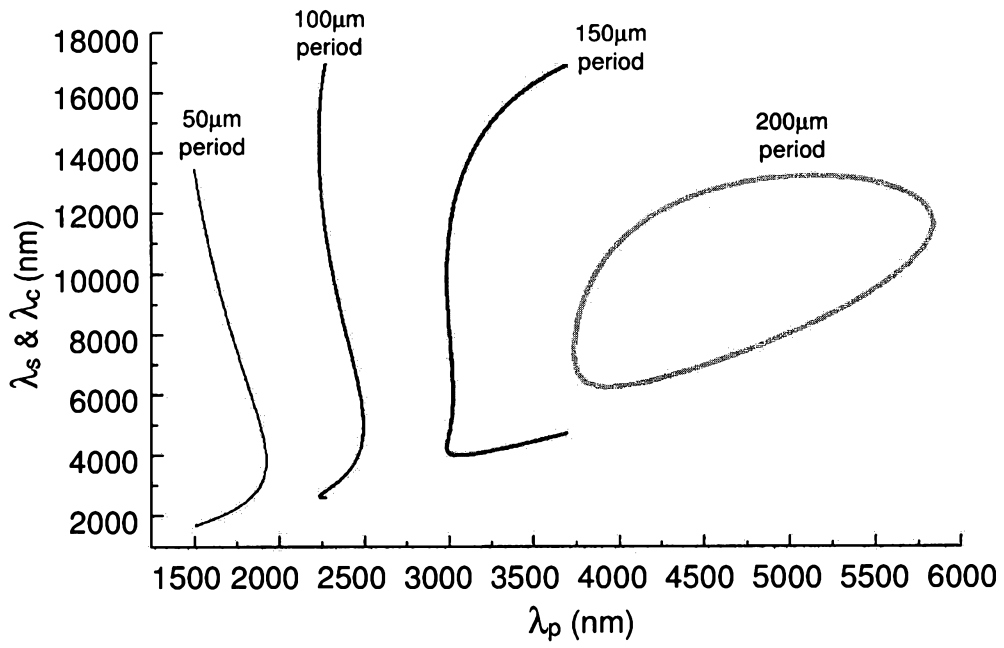


FIG.2

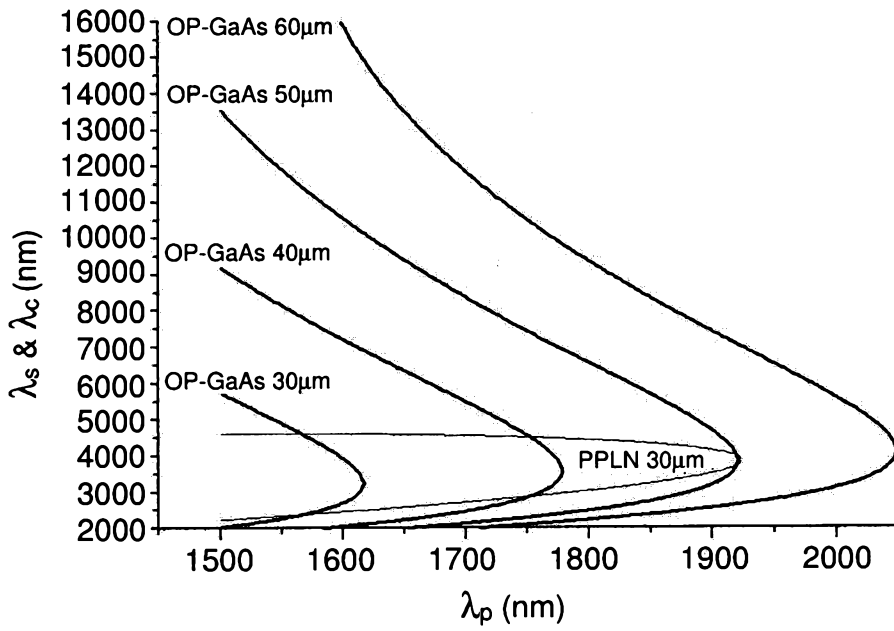


FIG.3

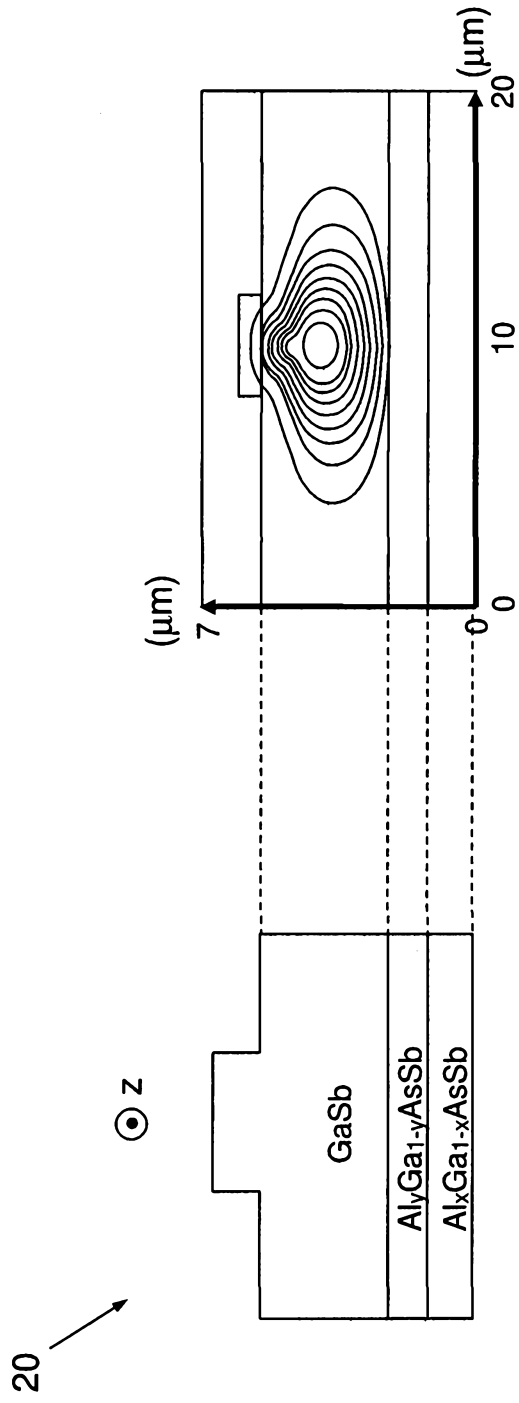


FIG.4

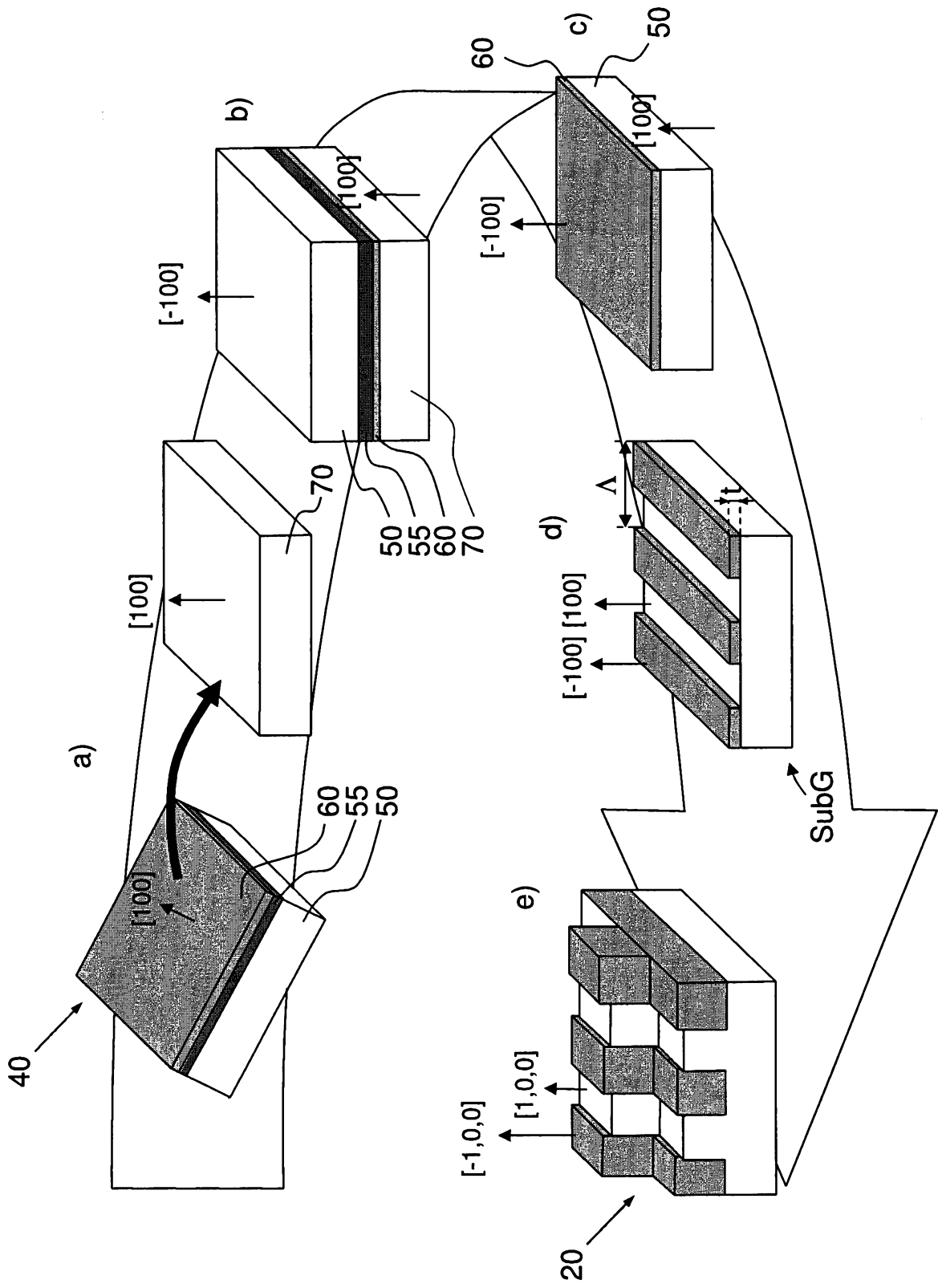


FIG.5

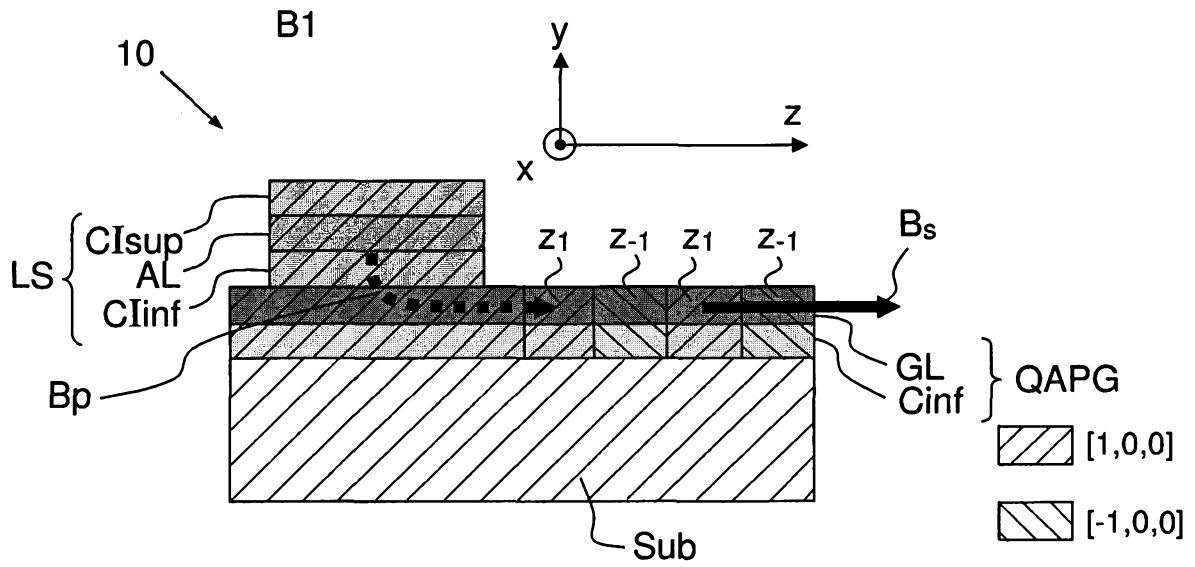


FIG.6

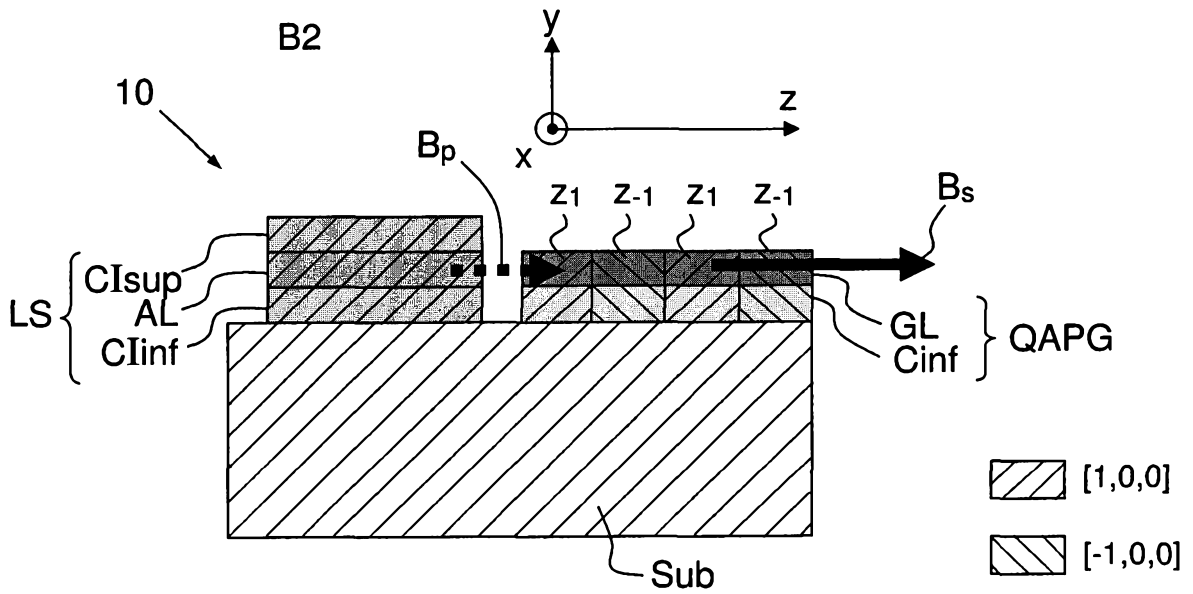


FIG.7

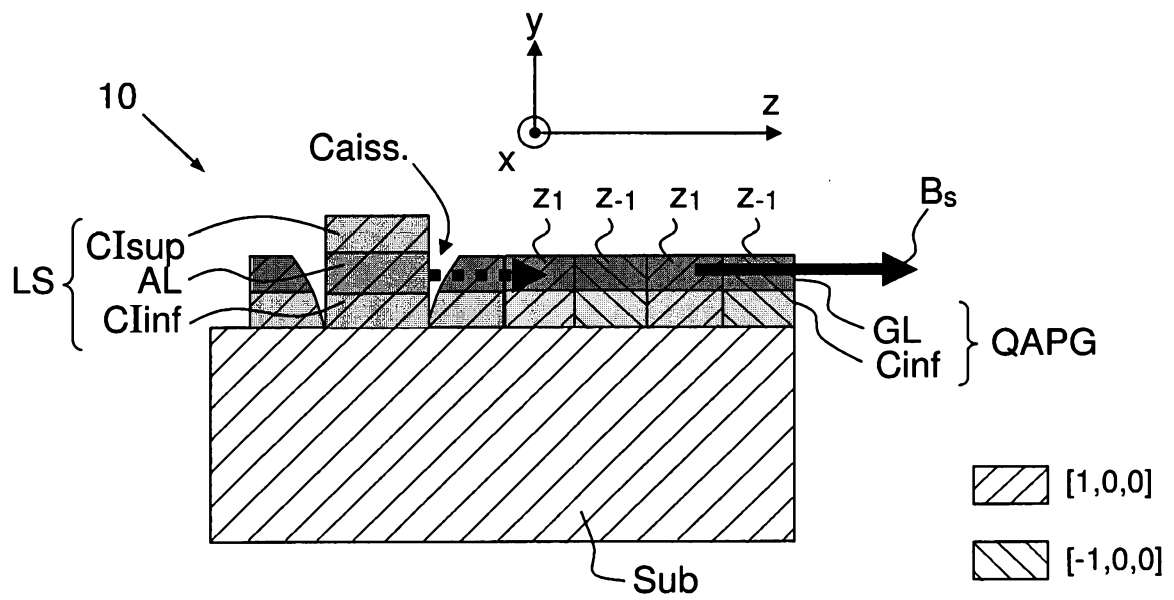


FIG.7bis

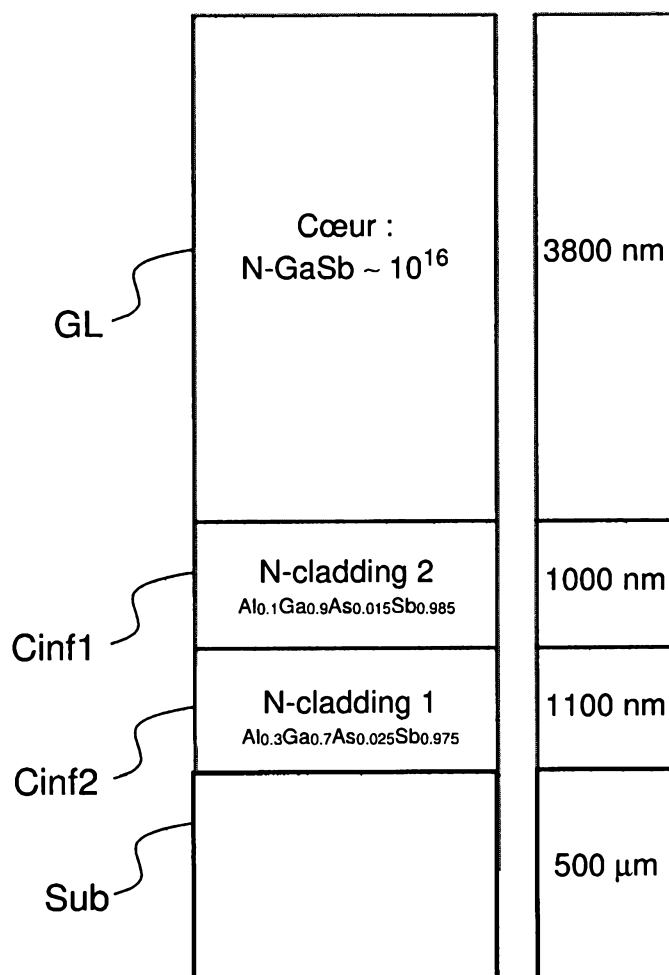


FIG.8

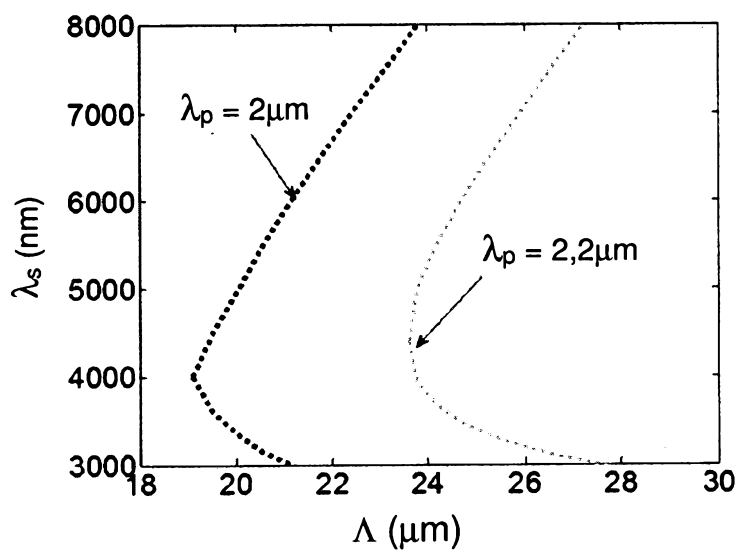


FIG.9

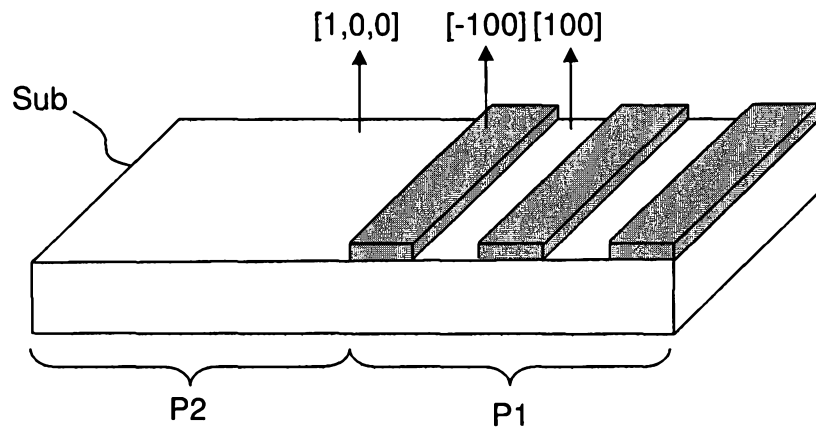


FIG.10

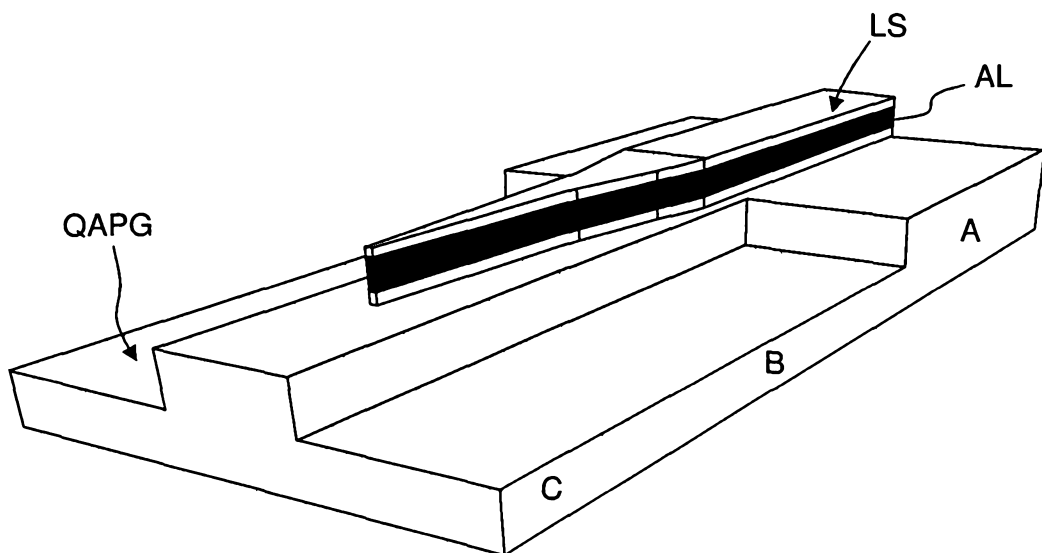


FIG.11

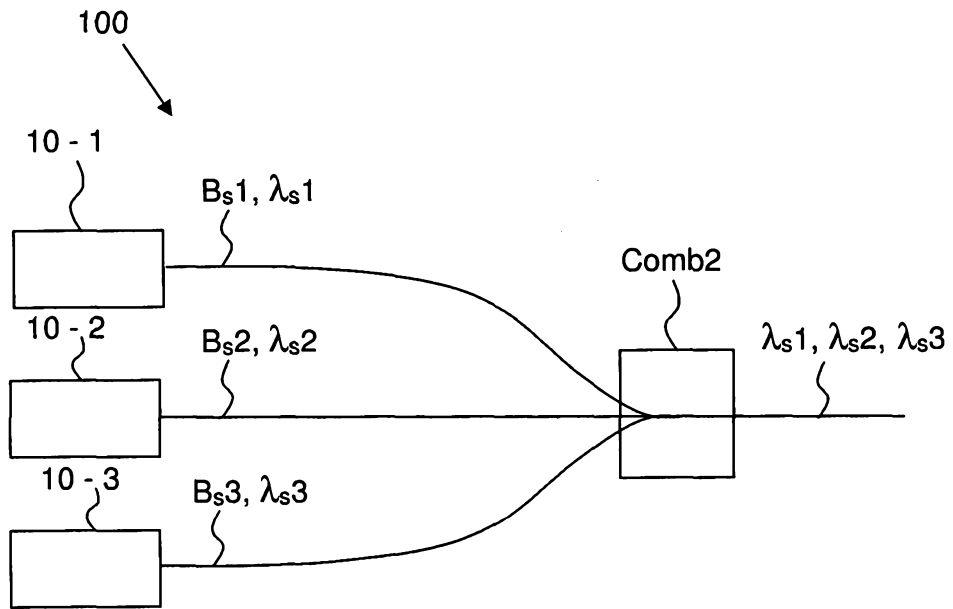


FIG.12

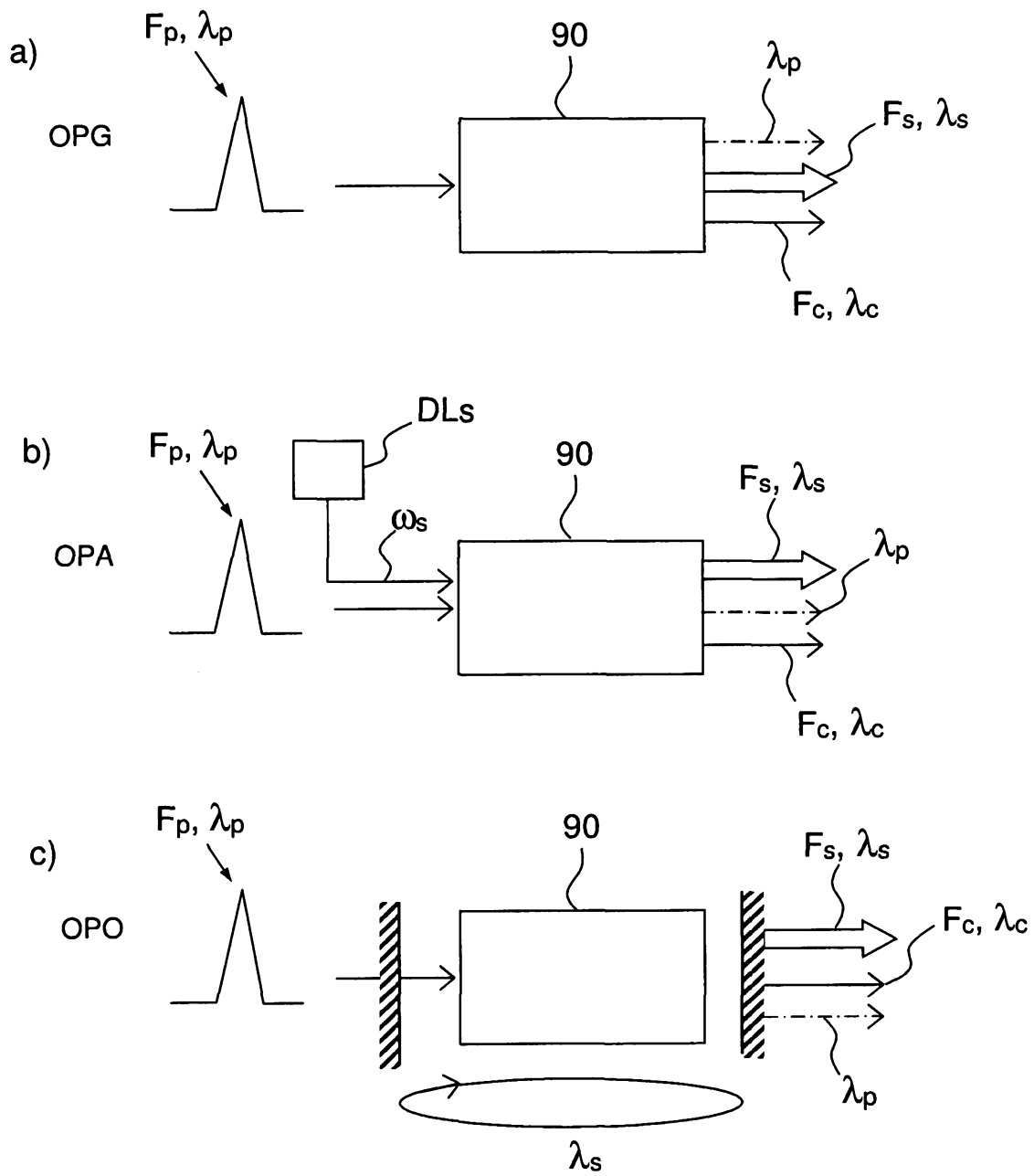


FIG.13

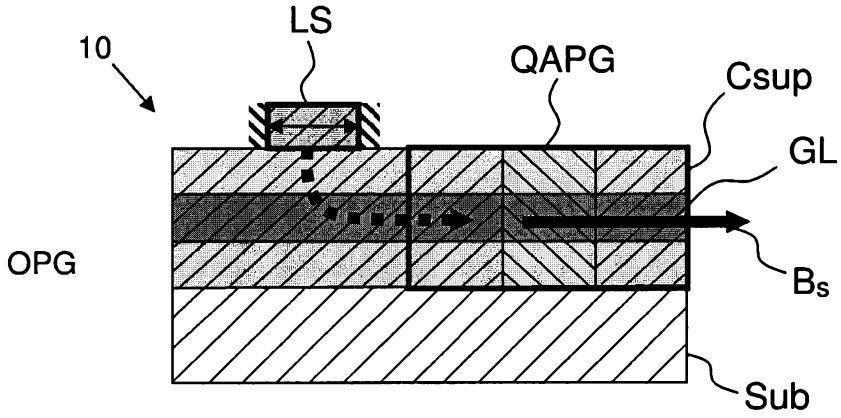


FIG.14

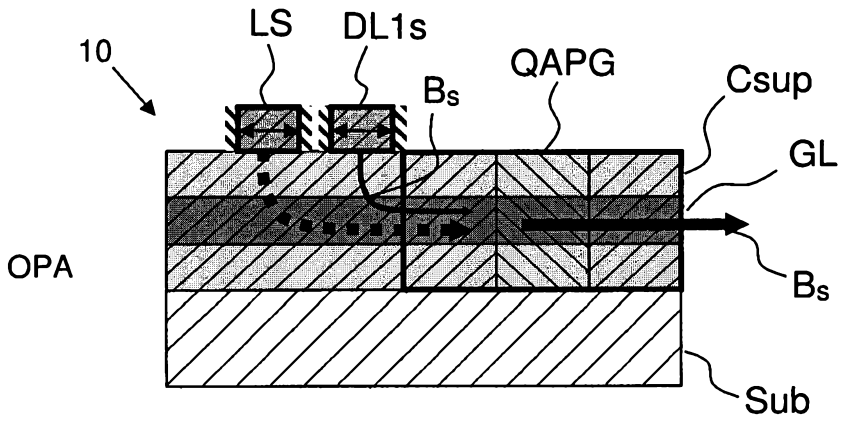


FIG.15

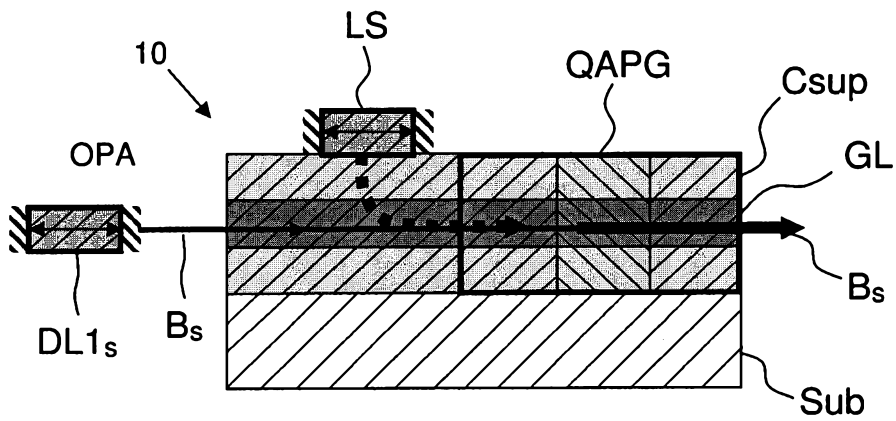


FIG.16

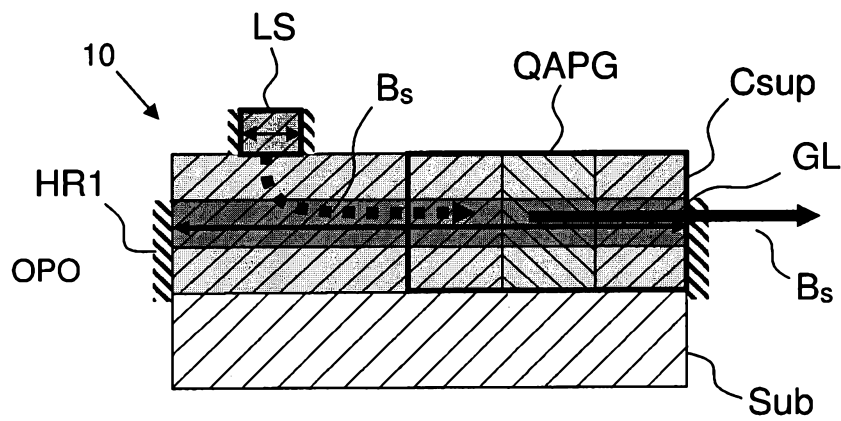


FIG.17

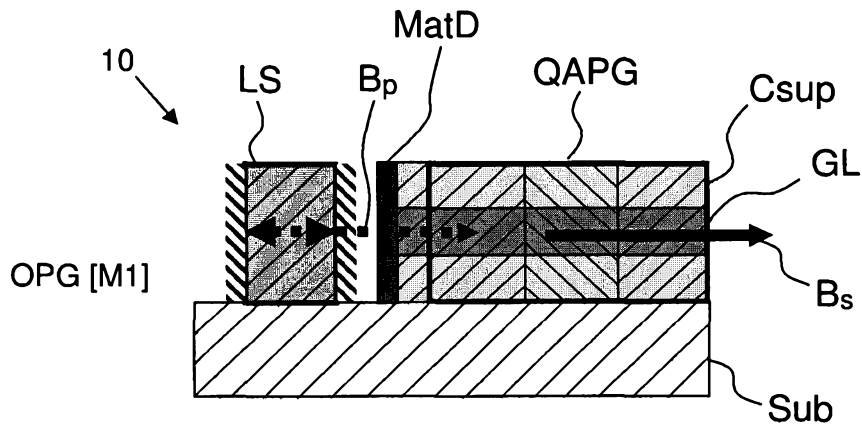


FIG.18

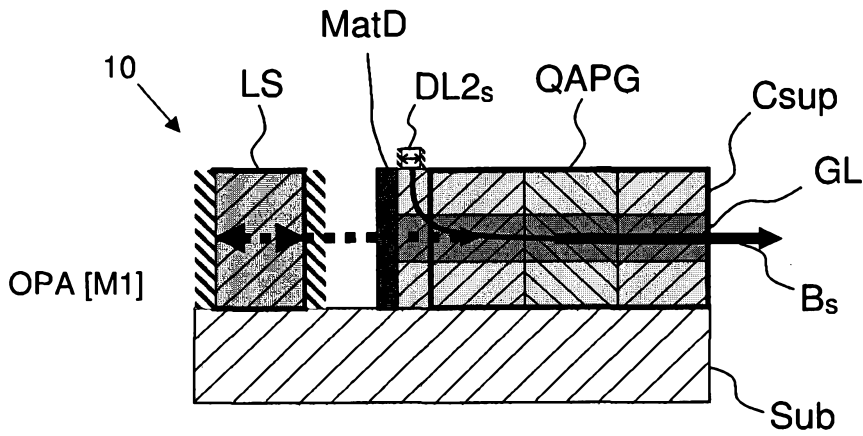


FIG.19

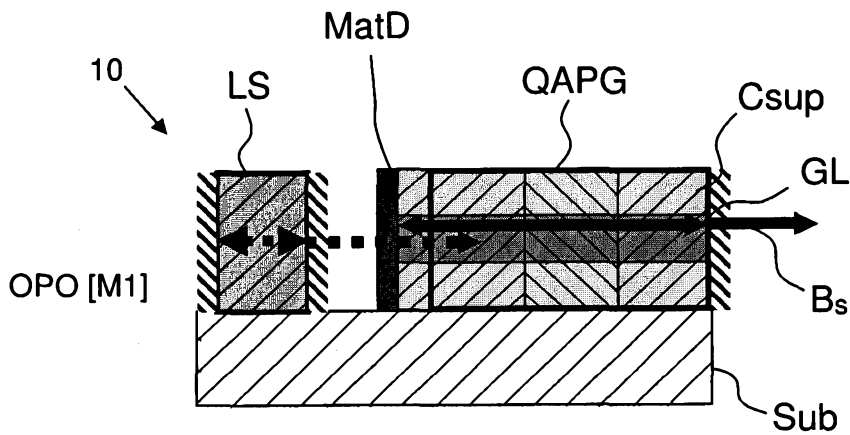


FIG.20

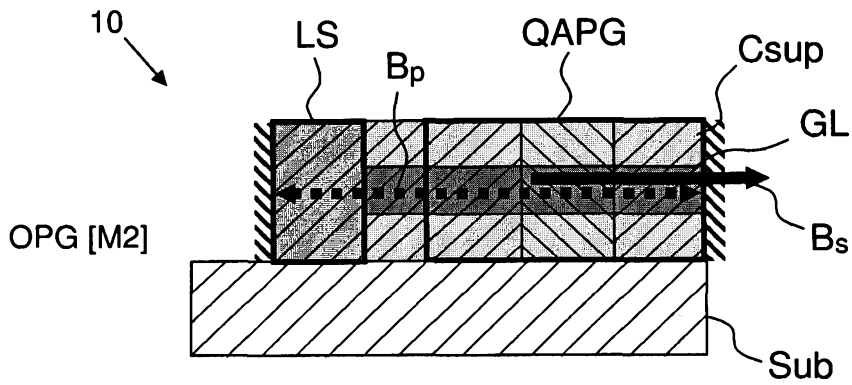


FIG.21

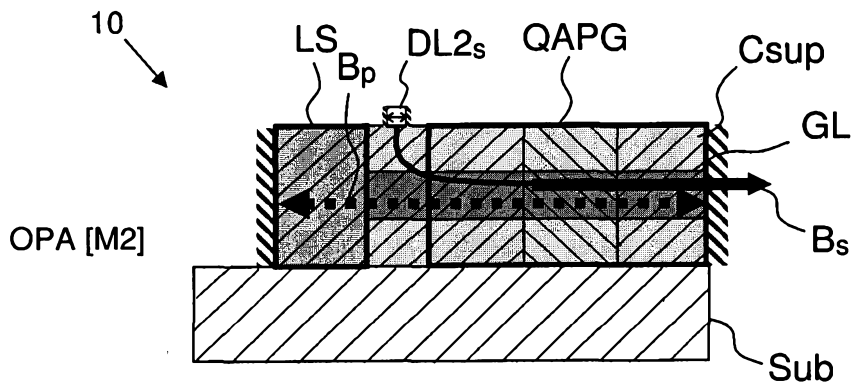


FIG.22

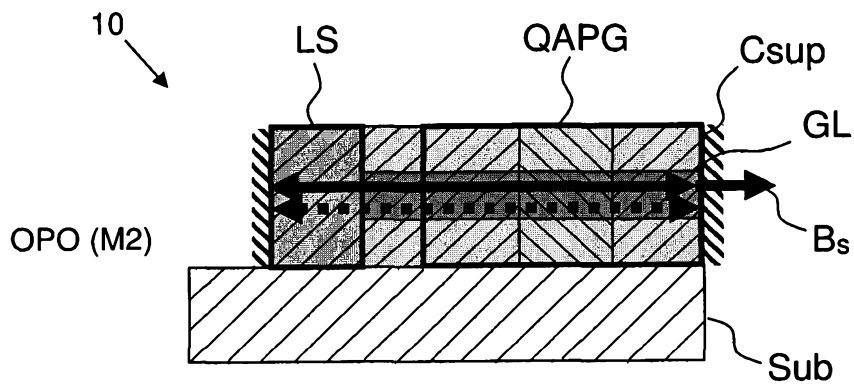


FIG.23

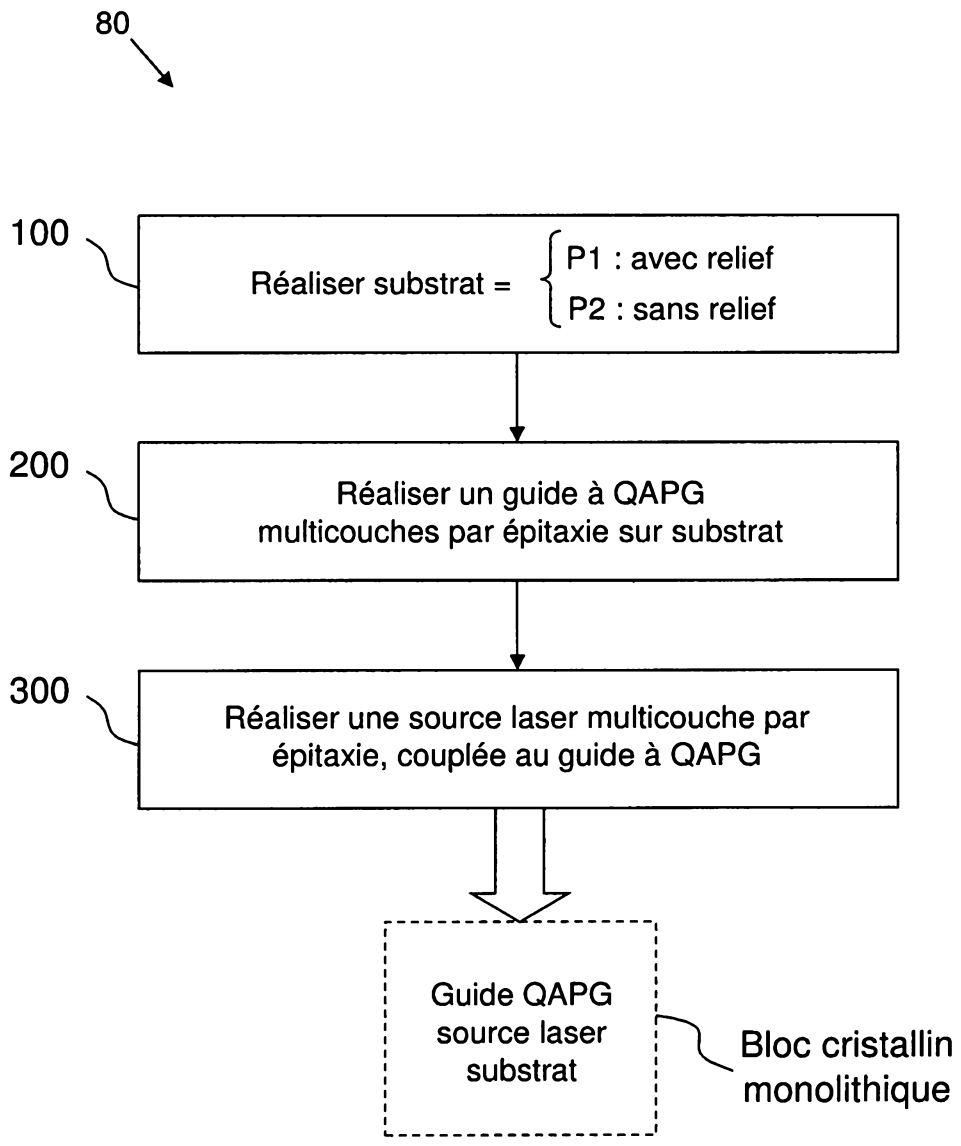


FIG.24

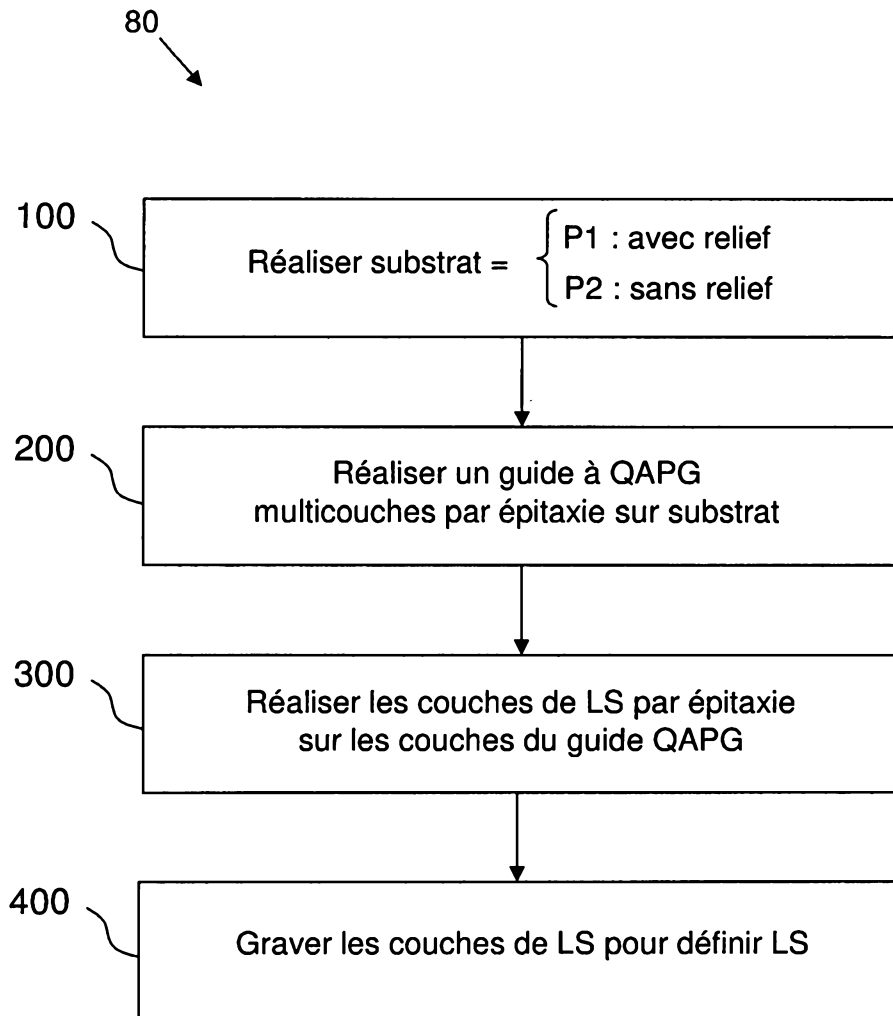


FIG.25

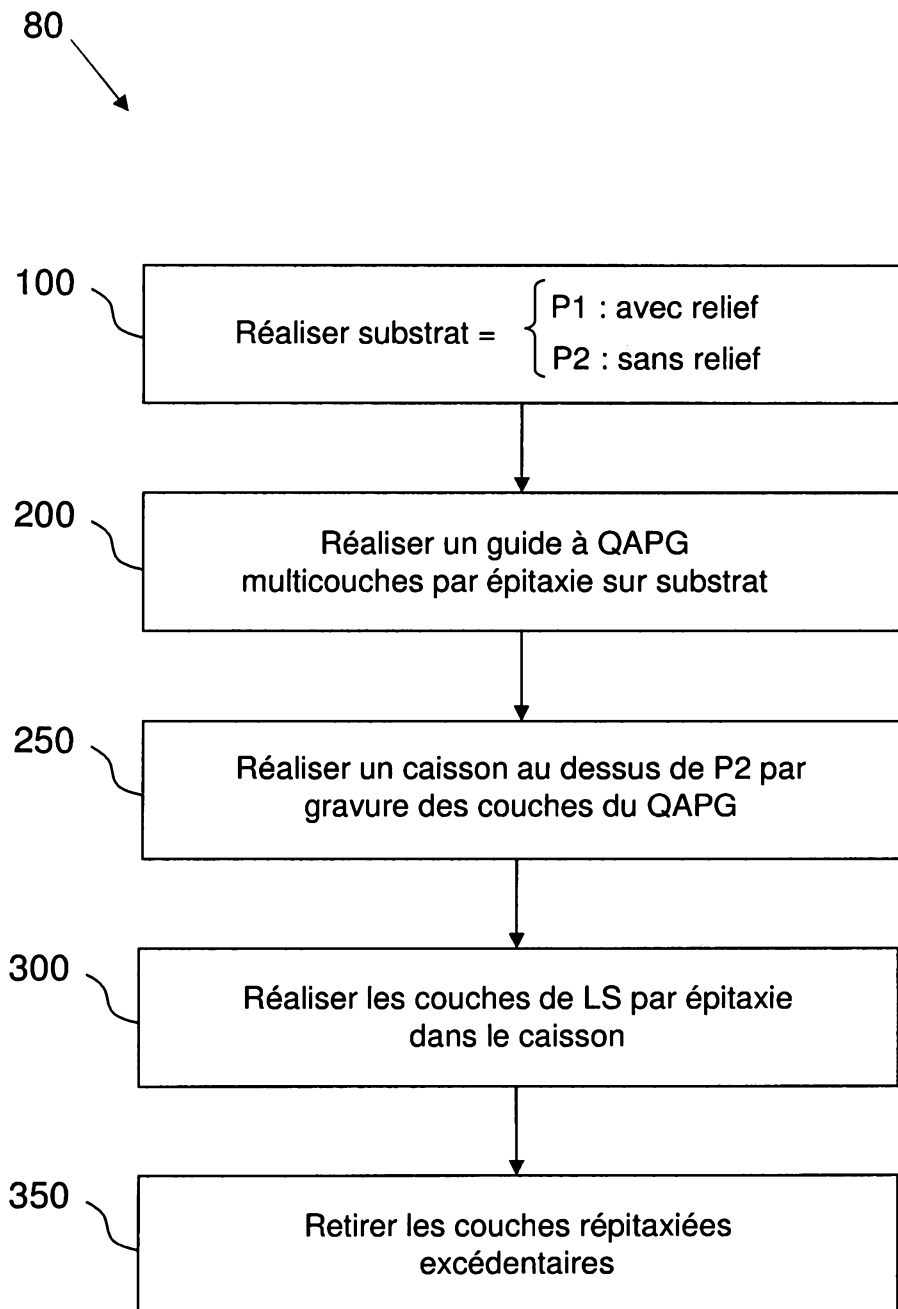


FIG.26

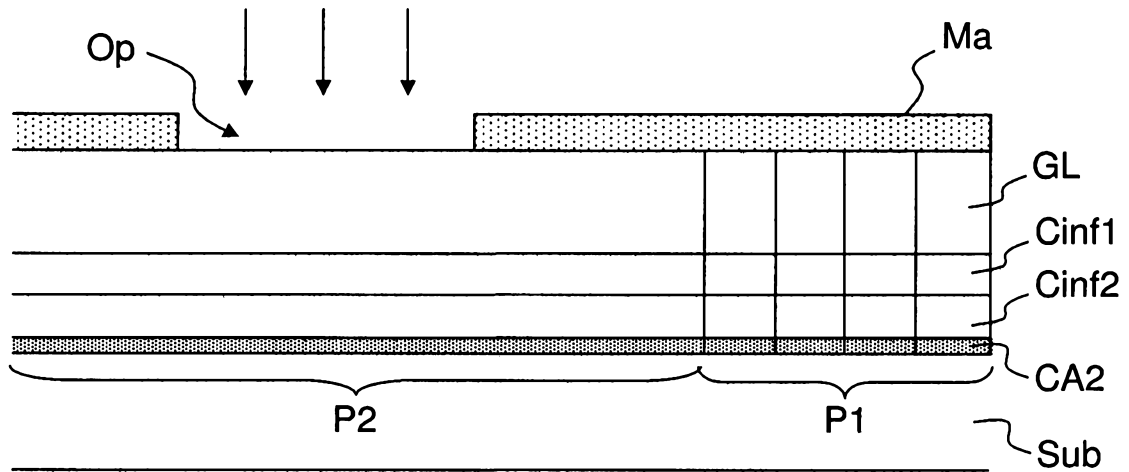


FIG.27

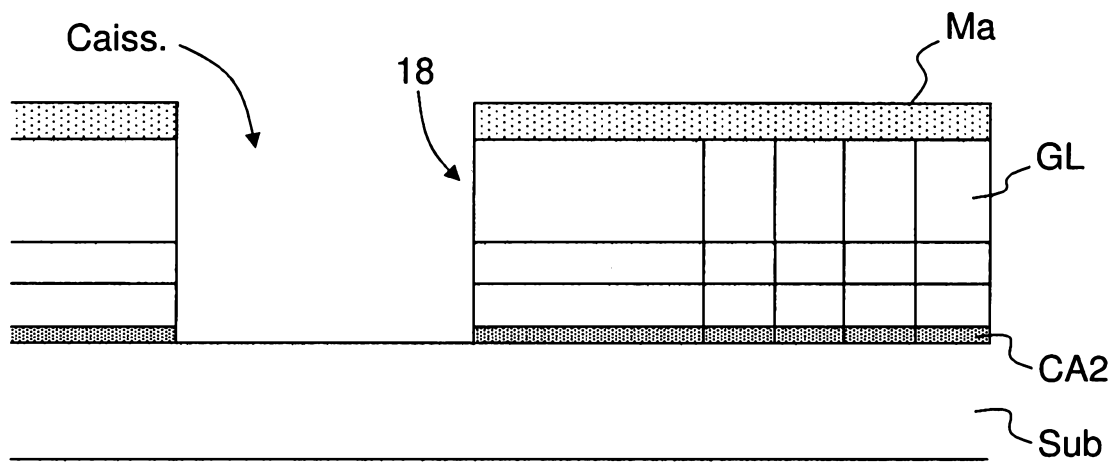


FIG.28

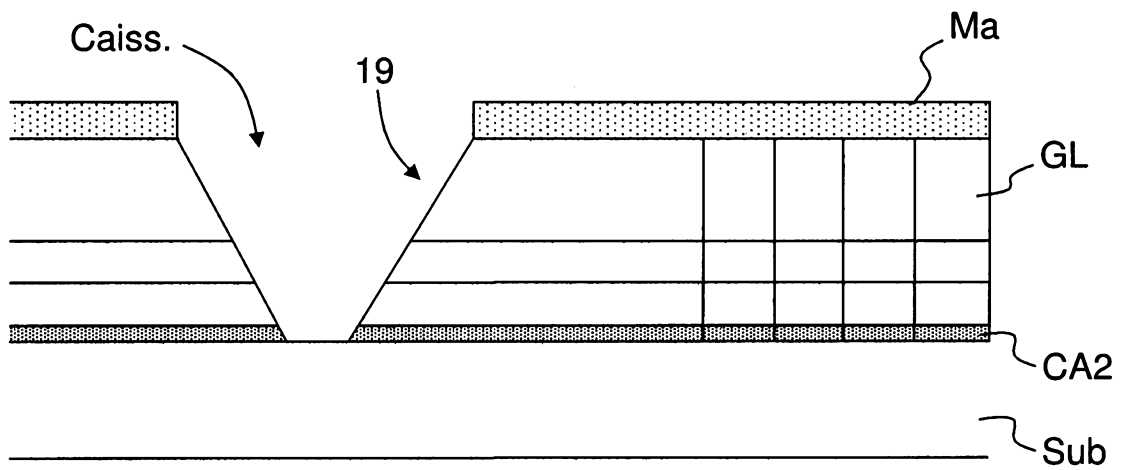


FIG.29

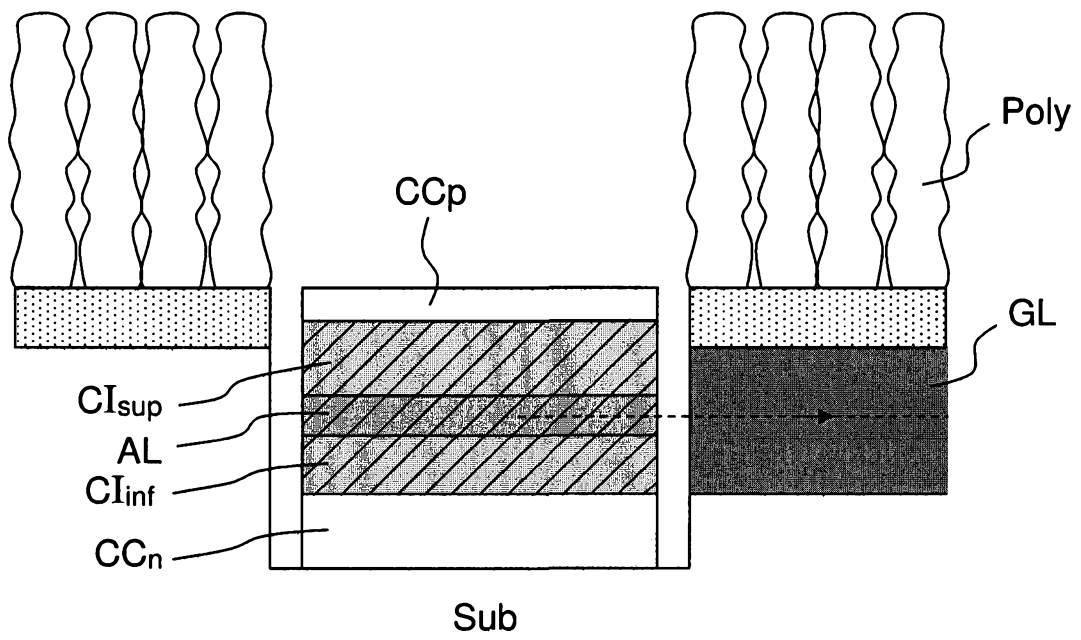


FIG.30

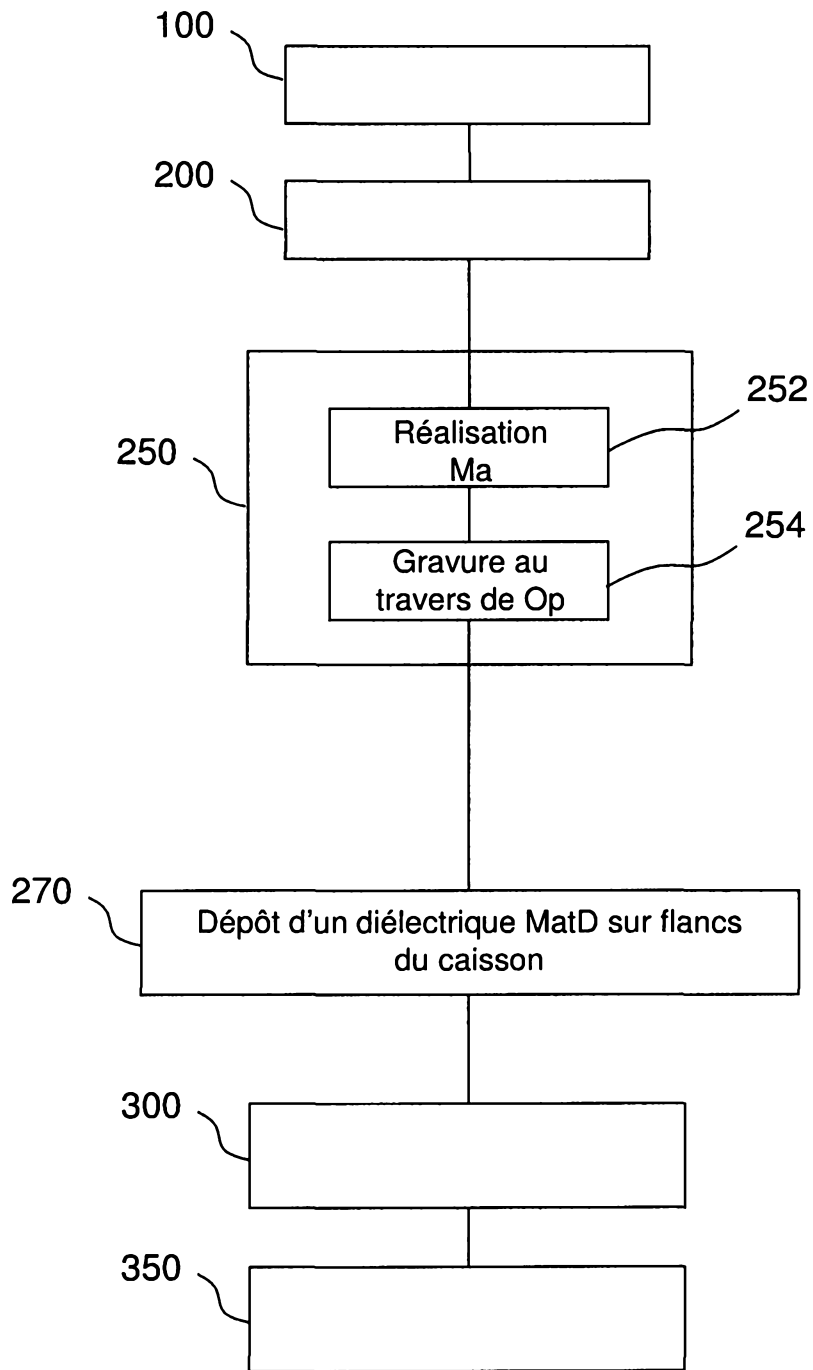


FIG.31

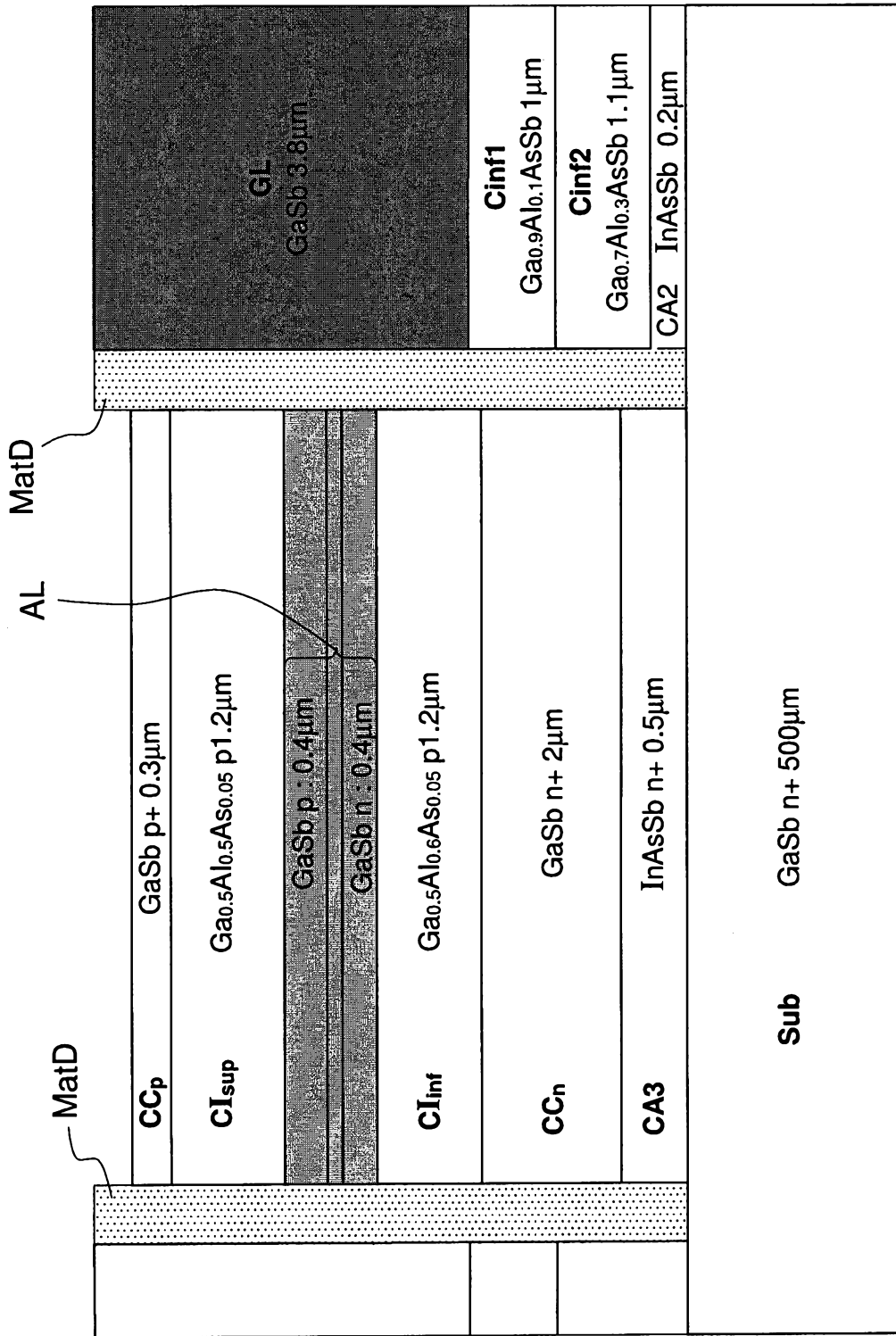


FIG.32

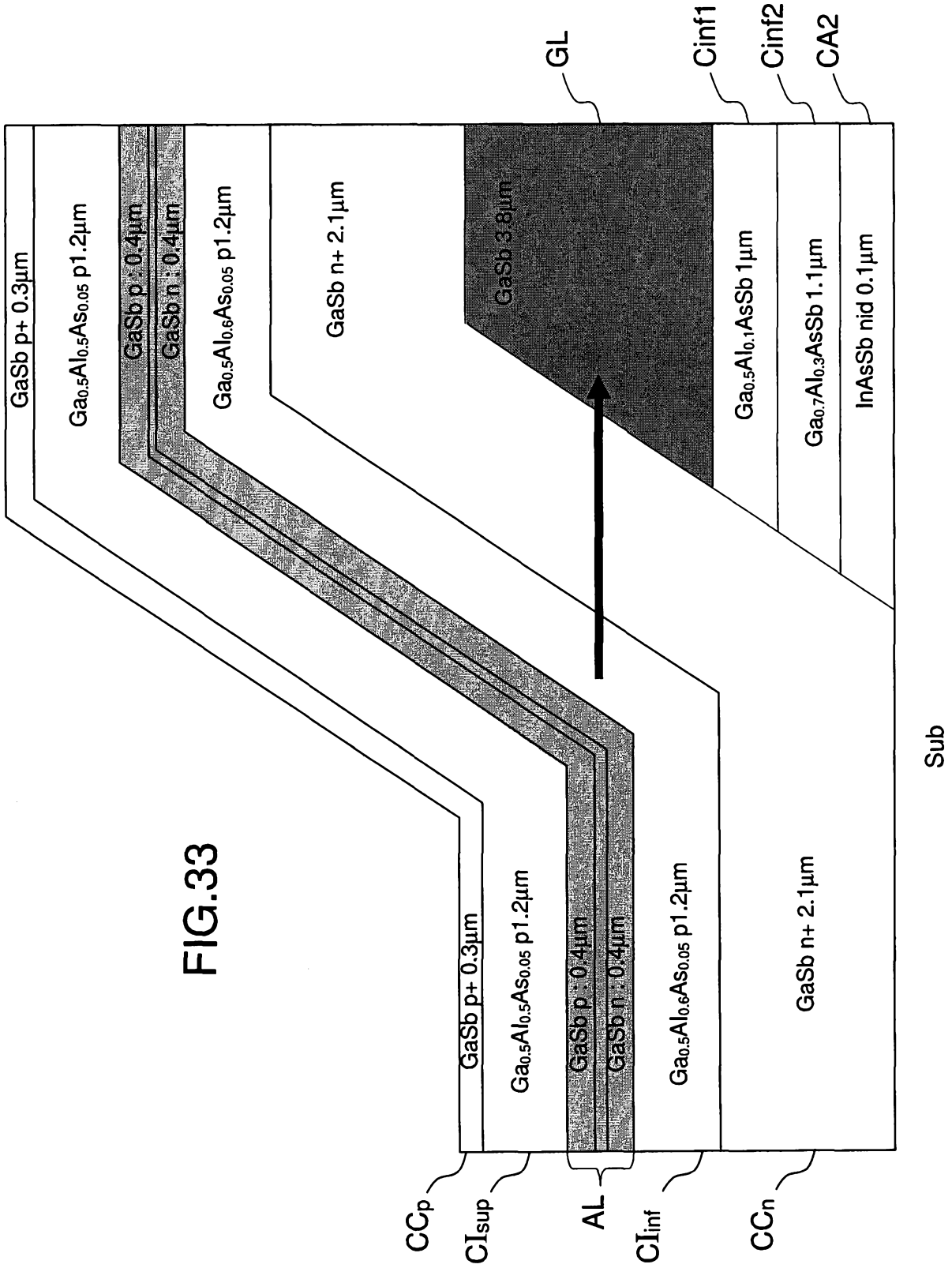


FIG. 33

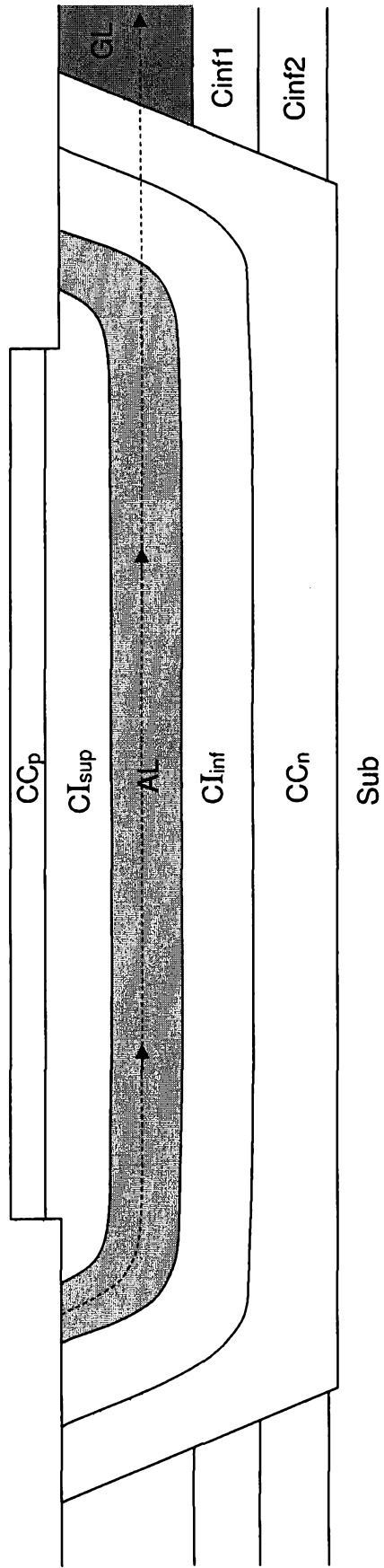


FIG.34

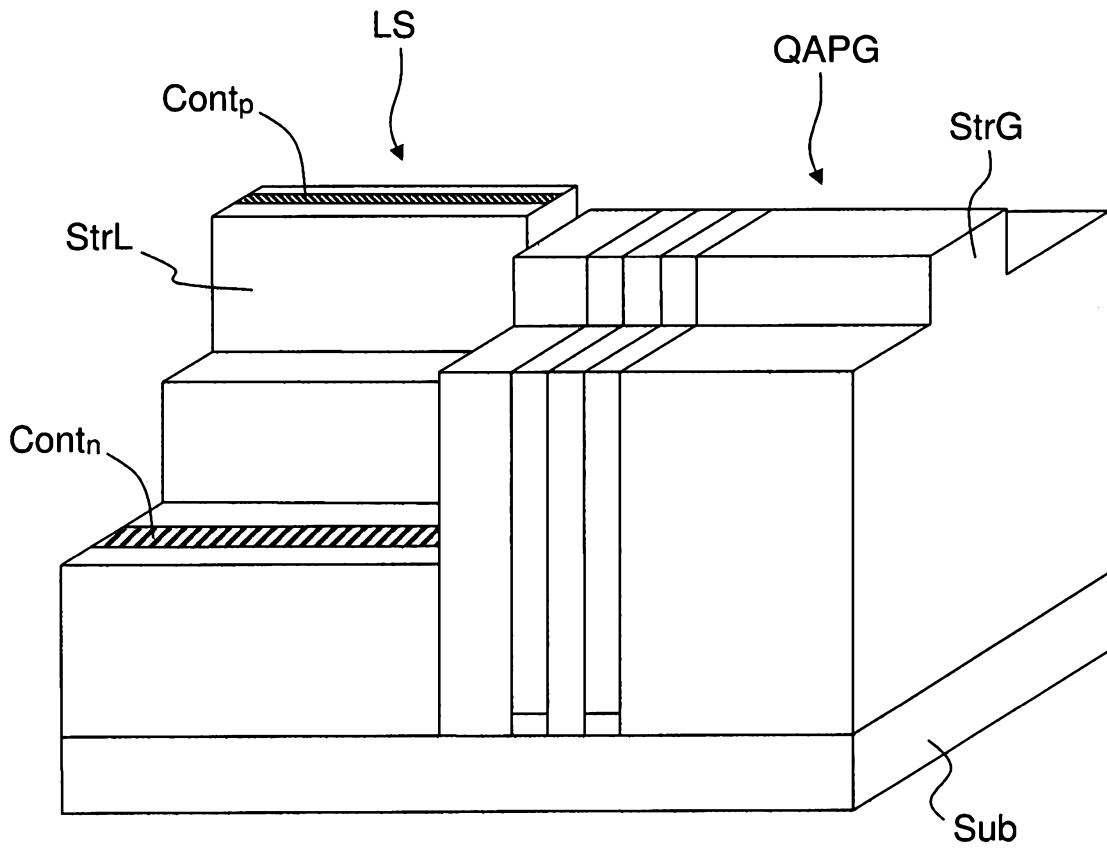


FIG.35



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 849571
FR 1701390

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	S. ROUX ET AL: "Low-loss orientation-patterned GaSb waveguides for mid-infrared parametric conversion", OPTICAL MATERIALS EXPRESS, vol. 7, no. 8, 1 août 2017 (2017-08-01), page 3011, XP055505866, ISSN: 2159-3930, DOI: 10.1364/OME.7.003011	1-3,15	H01S5/00
A	* abrégé * * conclusion * * le document en entier *	4-7,16	
A	US 5 796 902 A (BHAT RAJARAM [US] ET AL) 18 août 1998 (1998-08-18) * abrégé * * colonnes 9,11 *	1	
A	US 5 384 797 A (WELCH DAVID F [US] ET AL) 24 janvier 1995 (1995-01-24) * abrégé; figure 3 * * colonne 8 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01S G02F
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
25 septembre 2018		Lendroit, Stéphane	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 849571
FR 1701390

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

1. revendications: 1-7, 15, 16

Dispositif et méthode de génération d'un faisceau signal comprenant une source laser et un guide d'onde optique à quasi accord de phase, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

2. revendications: 1-3, 8-15, 17-21

Dispositif et méthode de génération d'un faisceau signal comprenant une source laser et un guide d'onde optique à quasi accord de phase, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé de manière directe par alignement de la couche active et du coeur, et dans lesquels des couches de la source laser sont réalisées par épitaxie dans un caisson creusé jusqu'au substrat dans une partie sans alternances d'orientation cristallographique.

La première invention a été recherchée.

D1 : S. Roux ET AL: "Low-loss orientation-patterned GaSb waveguides for mid-infrared parametric conversion", Optical Materials Express, vol. 7, no. 8, 1 août 2017 (2017-08-01), page 3011, XP055505866, ISSN: 2159-3930, DOI: 10.1364/OME.7.003011

L'objet de la revendication 1 n'est pas conforme au critère d'activité inventive.

Le document D1 (tout le document, en particulier fig.2,3, conclusion) décrit un dispositif de génération d'un faisceau signal présentant une longueur d'onde signal (λ_s) comprise entre 2 et 15 micromètres (4 micromètres), le dispositif comprenant :-une source laser;-un guide d'onde optique multicouches à quasi accord de phase, le guide comprenant une couche guidante comprenant un matériau (GaSb) et configurée pour guider un faisceau optique le long d'un axe Z, et au moins une couche de confinement inférieure (AlGaAsb) disposée sous le coeur-la source laser et le guide étant couplés de sorte que le faisceau pompe issu de la couche active de la source laser soit injecté dans le coeur du guide;-les couches du guide étant réalisées par épitaxie sur un substrat et comprenant, selon l'axe Z, une alternance de premières zones présentant une première orientation cristallographique et de deuxièmes zones présentant une orientation cristallographique inversée par rapport à la première orientation cristallographique, de manière à réaliser un transfert d'énergie du faisceau pompe vers le faisceau signal et un faisceau complémentaire par quasi accord de phase.

Le dispositif selon la demande se distingue de l'art antérieur en ce que le laser forme ainsi avec les couches du guide et le substrat un bloc cristallin monolithique.

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 849571
FR 1701390

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

Un problème que se pose l'homme du métier de manière classique est d'augmenter la compacité des sources infrarouges.

A cet égard, une intégration du laser et du guide d'onde optique non-linéaire permettant la conversion par quasi accord de phase en un bloc cristallin monolithique découle de manière évidente de ce souhait de compacité. Une telle intégration est d'ailleurs bien connue de l'art antérieur et fait partie des connaissances générales de l'homme du métier, tel qu'illustré par exemple dans les documents D2 (col.9, col.11) ou D3 (col.8) qui décrivent un couplage par intégration d'un laser et d'un guide d'onde optique non-linéaire permettant la conversion par quasi accord de phase en un bloc cristallin monolithique.

Par ailleurs D1 lui-même indique dans son introduction que son guide d'onde optique est destiné à l'intégration optique. Par ailleurs, la présente demande (p.4-5) souligne que les pertes optiques à la propagation des guides à semiconducteur s'avèraient rédhibitoires pour justifier le coût d'intégration hybride d'une diode laser de pompage avec un guide à quasi accord de phase.

Cependant, une fois ces limitations levées et la réalisation de guides à quasi accord de phase en GaSb connue, rendue possible, publique et accessible à l'homme du métier, il n'existe plus d'obstacle technique à l'intégration et l'homme du métier parviendra au dispositif de la revendication 1 sans l'exercice d'une quelconque activité inventive.

Si une quelconque difficulté s'opposant à l'intégration demeure, aucune caractéristique technique de la revendication 1 n'y a trait.

Le concept commun aux deux groupes de revendications (1-7, 15, 16) et (1-3, 8-15, 17-21) et défini par la revendication 1 n'implique donc pas d'activité inventive à posteriori.

Notons que l'objet des revendications (1-7, 15, 16) se distingue de D1 de par l'intégration monolithique d'une source laser et d'un guide d'onde optique à quasi accord de phase, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé par ondes évanescentes.

L'objet des revendications (1-3, 8-15, 17-21) se distingue de D1 de par l'intégration monolithique d'une source laser et d'un guide d'onde optique à quasi accord de phase, le couplage entre la source laser et le guide étant réalisé de manière directe par alignement de la couche active et du coeur, des couches de la source laser étant réalisées par épitaxie dans un caisson creusé jusqu'au substrat dans une partie sans alternances d'orientation cristallographique.

Par conséquent les caractéristiques techniques spéciales des groupes de revendications (1-7, 15, 16) et (1-3, 8-15, 17-21) ne sont ni identiques ni correspondantes.

Elles permettent dans le premier groupe un couplage par évanescente

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 849571
FR 1701390

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

nécessitant un nombre réduit d'étapes d'épitaxie, alors qu'elles permettent dans le second groupe un couplage direct plus efficace mais nécessitant un procédé de fabrication plus complexe.

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1701390 FA 849571**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **25-09-2018**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5796902	A	18-08-1998	CA 2246610 A1	21-08-1997
			EP 0880478 A1	02-12-1998
			JP H11504139 A	06-04-1999
			TW 370629 B	21-09-1999
			US 5796902 A	18-08-1998
			US 5802232 A	01-09-1998
			WO 9729999 A1	21-08-1997

US 5384797	A	24-01-1995	AUCUN	
