

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **FILTRE DE LUMIERE FONCTIONNALISE POUR DETECTEUR SWIR OU VIS-SWIR, ET UTILISATIONS.**

②② **Date de dépôt** : 04.08.17.

③③ **Priorité** :

⑥③ **Références à d'autres documents nationaux apparentés** :

☐ **Demande(s) d'extension** :

⑦① **Demandeur(s)** : *TEMATYS Société à responsabilité limitée — FR.*

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 08.02.19 Bulletin 19/06.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 30.08.19 Bulletin 19/35.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② **Inventeur(s)** : ROBIN THIERRY et D'HUMIERES BENOIT.

⑦③ **Titulaire(s)** : TEMATYS Société à responsabilité limitée.

⑦④ **Mandataire(s)** : IP TRUST.

FR 3 069 923 - B1



FILTRE DE LUMIERE FONCTIONNALISE POUR DETECTEUR SWIR OU VIS-SWIR, ET UTILISATIONS

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 L'invention concerne la détection et l'analyse de signaux lumineux émis au moins dans le domaine de l'Infrarouge Proche ou « infrarouge à courtes longueurs d'onde » (dont l'acronyme anglais généralement utilisé est « SWIR » pour « Short-Wave Infrared »), les dispositifs optiques associés et leur fabrication.

10 L'infrarouge proche (SWIR) est généralement défini comme le spectre lumineux se situant dans la gamme de longueur d'onde 0,9 - 1,7 μm mais pouvant être étendu de manière courante à la gamme 0,7 - 2,5 μm . Les détecteurs classiques en silicium possèdent une limite haute de fonctionnement située à environ 1,0 μm , ainsi, l'imagerie basée sur le SWIR
15 exige des capteurs optiques différents, capables de fonctionner sur cette gamme spectrale. Les détecteurs en indium-arséniure de gallium (InGaAs) ont été parmi les premiers capteurs utilisés dans l'imagerie SWIR, couvrant ainsi la bande spectrale typique du SWIR de 0,9 à 1,7 μm , mais pouvant s'étendre en deçà de 0,7 μm et jusqu'à 2,5 μm environ. On peut citer d'autres détecteurs
20 SWIR tels que certains capteurs basés sur les boîtes quantiques (« quantum dots »). Certains détecteurs peuvent couvrir, en plus de la gamme SWIR, la bande du visible (0,4 - 0,7 μm), couvrant ainsi une bande élargie : VIS-SWIR.

Les gammes de l'infrarouge à « moyennes longueurs d'onde » (MWIR) et de l'infrarouge à « grandes longueurs d'onde » (LWIR) sont en grande partie
25 émises par l'objet lui-même. Les photons dans l'infrarouge proche (SWIR) peuvent être émis par les objets (notamment à forte température) mais aussi, de manière similaire à la lumière du visible, peuvent être transmis, réfléchis ou absorbés par un objet, apportant ainsi le contraste nécessaire à l'imagerie en pleine bande ainsi que les variations en fonction de la longueur d'onde
30 nécessaire à la spectroscopie et à l'imagerie multispectrale ou hyperspectrale.

La lumière ambiante émise par le soleil et le rayonnement dû à l'éclairage artificiel (les lampes à halogène notamment), sont des émetteurs du SWIR qui fournissent un excellent éclairage en extérieur ou en intérieur.

5 Un grand nombre d'applications, difficiles ou impossibles à réaliser avec la lumière du visible, sont rendues possibles en utilisant l'imagerie à infrarouge proche (SWIR). C'est le cas pour les applications de surveillance en temps de brume ou avec de la fumée ou de la pollution. C'est aussi le cas pour les applications de contrôle non destructif de pièces ou de composants réalisés avec des matériaux tels que le silicium qui sont transparents dans le SWIR
10 mais pas dans le visible. Par ailleurs, des matériaux qui apparaissent presque identiques dans le visible peuvent être facilement différenciés en utilisant le SWIR.

L'imagerie SWIR est utilisée dans une multitude d'applications, notamment dans l'inspection de composants électroniques, de cellules solaires, dans la
15 production, l'identification et le tri, la surveillance, la contrefaçon, le contrôle de qualité, et bien plus encore.

Selon les applications, l'imagerie sera :

- De l'imagerie en pleine bande, c'est-à-dire utilisant l'ensemble de la bande de longueur d'onde détectée par le capteur. Ici, par exemple l'ensemble de la
20 bande SWIR de 0,9 μm à 1,7 μm .
- De l'imagerie en bande restreinte, c'est-à-dire dans une bande unique correspondant à la bande de transmission d'un filtre de 1,30 μm à 1,35 μm par exemple.
- De l'imagerie de polarisation, où l'image est obtenue par un ou plusieurs
25 filtres polarisants.
- De l'imagerie multispectrale ou hyperspectrale où l'image est obtenue dans au moins deux bandes de longueurs d'onde différentes.

Il est nécessaire que les lentilles et autres composants SWIR tels que les filtres de séparation en bandes de longueurs d'onde d'un spectre de lumière
30 incidente ou les filtres de polarisation, utilisés en complément d'un détecteur

SWIR, soient spécifiquement conçus et traités au moins pour le spectre du SWIR.

ETAT DE LA TECHNIQUE ET SES INCONVENIENTS

5 Dans le domaine des capteurs de lumière visible (0,4 à 0,7 microns), ou du très proche infrarouge (0,7 à 1,0 microns) tels que des capteurs CMOS, CCD ou autres, différents filtres optiques fonctionnalisés sont utilisés pour polariser la lumière incidente ou la séparer en différentes bandes spectrales permettant ainsi d'obtenir une imagerie multispectrale ou hyperspectrale.

10

Ainsi, le brevet américain US 9 304 039 cite un filtre dont la fonctionnalisation est obtenue par une épaisseur variable de son matériau constitutif sur sa largeur (structure en section transversale dite « en marche d'escalier »). Cette structure est obtenue grâce à l'utilisation de masques permettant de protéger une portion rectiligne du matériau d'un processus de gravure qui conservera une épaisseur donnée et filtrera en fonction, la lumière incidente dans une bande spectrale différente que ne l'effectue une portion adjacente du filtre qui aura été au contraire exposée à la gravure et présentera pour ce motif une moindre épaisseur de matériau assurant une fonction de filtrage pour une bande de longueur d'onde différente de la portion d'épaisseur initiale.

20

D'autre part, le brevet européen EP 2 275 790 décrit un filtre de polarisation pour un capteur de polarisation intégré conçu pour détecter un rayonnement électromagnétique polarisé circulairement. Ce filtre de polarisation est fonctionnalisé grâce à la superposition de couches métalliques alternées, présentant respectivement une structure en méandres et une structure à ligne de grille et pouvant intégrer chacune des motifs géométriques formés par des orifices de géométries diverses réalisés dans l'épaisseur de la couche métallique concernée. A différents points de la surface du filtre, la lumière incidente qui traverse le filtre rencontre des successions d'orifices/matériau métallique différentes, susceptibles de polariser différemment la lumière incidente.

30

Le brevet américain US 5 615 008 illustre un guide d'onde transparent le long duquel est inscrit un réseau de diffraction. Le réseau diffracte une lumière incidente parcourant le guide d'onde séparant les longueurs d'onde vers un détecteur CCD matriciel linéaire. Celui-ci détecte les différentes longueurs d'onde de la lumière dans la bande visible. Dans ce document, la réalisation des réseaux de diffraction est effectuée par exposition de matériau photosensible à un motif d'interférence formé par un réseau, un interféromètre ou par des moyens de photolithographie.

10

Ces filtres ou guides d'onde fonctionnalisés par épaisseur variable, gravure, impression photosensible, sont relativement économiques de fabrication compte tenu du volume de filtres de ce type fabriqué pour le volume important de capteurs ou guides d'ondes de lumière visible.

15

Etant donné cependant que le développement de détecteurs SWIR ou VIS-SWIR n'est pas à un stade de déploiement aussi avancé que les détecteurs du visible, les économies d'échelle réalisées lors de la fabrication de filtres fonctionnalisés pour des détecteurs du visible ne peuvent être rencontrées lors de la fabrication de filtres fonctionnalisés spécifiquement pour des détecteurs SWIR ou VIS-SWIR.

20

OBJET DE L'INVENTION

25

Il existe donc un besoin de conception de filtres et guides d'onde fonctionnalisés spécifiquement pour détecteur SWIR ou VIS-SWIR qui permettent, sinon de réaliser des économies d'échelle équivalentes à celles obtenues pour des détecteurs du visible, de proposer des procédés de fabrication relativement compétitifs pour cette niche économique, et susceptibles de rester compétitifs lorsque le marché des détecteurs SWIR ou VIS-SWIR se sera déployé plus largement.

30

A cet effet, l'invention concerne un dispositif optique comprenant au moins une couche de détection comprenant au moins deux détecteurs aptes à détecter des signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde, et un matériau transparent pour la lumière détectée par les détecteurs et fonctionnalisé pour filtrer ou polariser la lumière parvenant aux détecteurs, le matériau fonctionnalisé étant pourvu d'au moins une zone fonctionnalisée par des nanostructures et une zone restante du matériau fonctionnalisé, les nanostructures étant situées dans le volume du matériau fonctionnalisé, ladite au moins une zone fonctionnalisée et ladite zone restante étant situées en correspondance respectivement avec les au moins deux détecteurs du dispositif optique.

L'invention peut par ailleurs présenter l'une et/ou l'autre des caractéristiques suivantes :

- la couche de détection est composée d'une matrice de détecteurs et de l'électronique associée (circuit de lecture : ROIC)
- le matériau transparent fonctionnalisé peut se présenter sous la forme d'une couche (plaque) ou d'un guide d'onde (par exemple, une fibre optique) et comprend différentes zones fonctionnalisées par des nanostructures, zones disposées en regard d'un ou plusieurs détecteurs de la matrice
- les zones fonctionnalisées par des nanostructures peuvent être des zones à changement d'indice optique par exemple par changement de la densité locale du matériau transparent par exemple grâce à la définition de structures poreuses dont les bulles de gaz ou de vide viendront abaisser localement la densité de la matière vis à vis d'une zone restante dépourvue de ces nanostructures poreuses ou par exemple par introduction ou précipitation de nanoparticules métalliques ou non métalliques
- les zones fonctionnalisées peuvent être des zones à nanostructures périodiques ou quasi périodiques à effet biréfringent
- les zones fonctionnalisées peuvent être des combinaisons de zones à changement d'indice optique et à effet biréfringent

- les détecteurs sont constitués de matériaux de détection identiques ou différents
- le matériau fonctionnalisé comprend une pluralité de zones fonctionnalisées qui sont réparties dans la largeur du matériau fonctionnalisé, pour filtrer respectivement des bandes de longueurs d'onde distinctes de la lumière incidente et/ou pour filtrer différents états de polarisation de la lumière incidente et la matrice de détection comprend une pluralité de détecteurs situées en correspondance respectivement avec la pluralité de zones fonctionnalisées du matériau fonctionnalisé
- chaque zone fonctionnalisée est formée par une pluralité de plans de répartition répartis dans l'épaisseur du matériau de fonctionnalisation avec un pas d'écartement constant ou variable, deux zones fonctionnalisées distinctes présentant des pas d'écartement différents
- les plans de répartition des zones fonctionnalisées sont parallèles à, perpendiculaires à ou inclinés vis à vis d'un axe principal du matériau fonctionnalisé
- le matériau fonctionnalisé et la matrice de détection se présentent sous la forme de deux couches superposées l'une à l'autre par leurs grandes faces en regard, l'épaisseur de la couche fonctionnalisée est comprise entre 50 et 1000 microns, et les zones fonctionnalisées de ce matériau sont situées à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face libre de la couche fonctionnalisée et à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face de la couche fonctionnalisée située en regard de la matrice de détection
- la couche fonctionnalisée comprend une portion vierge de toute zone fonctionnalisée servant de référence
- la couche fonctionnalisée et la couche de détection forment une seule et même pièce
- la couche fonctionnalisée et la couche de détection sont accolées l'une à l'autre par leurs grandes surfaces en regard et forment une seule et même pièce

- selon une autre variante de réalisation, une ou plusieurs couche(s) supplémentaire(s) formant par exemple un polariseur, est (sont) interposée(s) entre la couche fonctionnalisée et la couche de détection, ou est présente au-dessus de la couche fonctionnalisée, la ou les
5 couche(s) supplémentaire(s) formant avec la couche fonctionnalisée et la couche de détection, une seule et même pièce dont les grandes faces des couches en regard sont accolées l'une à l'autre
- la couche fonctionnalisée et la couche de détection sont deux pièces distinctes l'une de l'autre juxtaposées sans jointure l'une à l'autre par
10 leurs grandes surfaces en regard
- le matériau fonctionnalisé se présente sous la forme d'un guide d'onde définissant un axe principal le long duquel sont répartis les différentes zones fonctionnalisées, et la couche de détection se présente sous la forme d'une (ou plusieurs) matrice de détecteurs linéaire ou non, les
15 détecteurs étant disposés respectivement en regard des différentes zones fonctionnalisées du matériau fonctionnalisé, chaque zone fonctionnalisée du guide d'onde étant formée par une pluralité de plans parallèles inclinés vis à vis de l'axe principal du guide d'onde vers le détecteur, les écartements des plans des différentes portions
20 fonctionnalisées étant différents les uns des autres de façon à ce que chaque zone fonctionnalisée soit apte à filtrer une bande spectrale particulière d'un signal incident et à la rediriger vers le détecteur correspondant de la matrice de détecteurs placé en regard.
- le matériau de détection comprend une couche d'InGaAs et/ou une
25 nanostructure de semi-conducteurs de type boîte quantique.

L'invention concerne également un procédé de fonctionnalisation d'au moins un détecteur de signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde, formé par un matériau de détection apte à détecter des
30 signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde.

Selon l'invention, le procédé consiste à exposer un matériau initialement non

fonctionnalisé et transparent pour la lumière détectée par le matériau de
déttection, destiné à être juxtaposé au matériau de déttection, à un spot de
laser femtoseconde de façon à créer des nanostructures définissant dans le
matériau initialement non fonctionnalisé, des variations d'indice optique ou de
la biréfringence au sein du matériau transparent afin de le fonctionnaliser dans
la portion du matériau transparent destinée à être située en regard du
détecteur.

Avantageusement, le procédé selon l'invention peut présenter l'une et/ou
l'autre des caractéristiques suivantes :

- le détecteur est constitué d'une couche de déttection incluant le matériau
de déttection, et d'une couche de protection transparente pour la lumière
détctée par le matériau de déttection, formant une seule et même
pièce, le procédé consistant à fonctionnaliser la couche de protection en
exposant cette couche au spot de laser femtoseconde de façon à créer
lesdites nanostructures
- le détecteur est constitué d'une couche de déttection incluant le matériau
de déttection, et d'une couche de protection transparente pour la lumière
détctée par le matériau de déttection, accolée à la couche de déttection,
le procédé consistant à fonctionnaliser une plaque rapportée de
matériau transparent, indépendante du détecteur, en exposant cette
plaque au spot de laser femtoseconde de façon à créer lesdites
nanostructures, et consistant à juxtaposer sur la couche de protection
lors de l'utilisation du détecteur, la plaque rapportée fonctionnalisée en
regard du détecteur
- la couche de déttection comprend une pluralité de détecteurs organisée
en une matrice de détecteurs, le spot laser étant réglé pour former dans
la couche de protection transparente, et en regard des différents
détecteurs de la matrice, respectivement des zones fonctionnalisées
différemment les unes des autres

L'invention concerne aussi l'utilisation du dispositif optique précédemment

décrit pour filtrer et/ou polariser un signal lumineux situé au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde.

5 Ainsi que l'utilisation du dispositif optique comme guide d'onde et matrice de détecteurs associée afin de former un spectromètre pour analyser différentes bandes spectrales d'un signal lumineux situées au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde.

10 BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres objets et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description qui suit, faite en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

- 15 - la figure 1 représente schématiquement par une vue en perspective un dispositif selon l'invention doté d'une matrice de détecteurs SWIR et d'une couche d'un matériau fonctionnalisé filtrant la polarisation de la lumière incidente au moyen de différentes zones fonctionnalisées internes réparties sur la largeur de la couche,
- 20 - la figure 2 représente par une vue schématique en coupe une variante de réalisation de la couche fonctionnalisée selon laquelle chaque zone fonctionnalisée est formée par des plans parallèles écartés d'un pas constant, les pas des différentes zones étant distincts les uns des autres
- 25 - la figure 3 illustre par une vue schématique en coupe une variante de réalisation de la couche fonctionnalisée selon laquelle chaque zone fonctionnalisée est formée par des plans parallèles écartés d'un pas variable, les pas variables des différentes zones étant distincts les uns des autres
- 30 - la figure 4 représente schématiquement une vue de dessus d'une variante de réalisation d'une couche fonctionnalisée pour permettre trois types de filtre de polarisation de la lumière (trois types de hachures) et la définition d'une référence (portion sans hachure)

- la figure 5 illustre schématiquement une vue de côté d'un guide d'onde pourvu de zones fonctionnalisées selon l'invention, et d'un détecteur SWIR ou VIS-SWIR
- la figure 6 montre par une vue schématique de dessus un exemple de nanostructures périodiques, constituant une zone fonctionnalisée interne particulière de la couche fonctionnalisée de la figure 1, au sein de laquelle les nanostructures constituent des trous (quasiment vides de matière) ou des zones d'indice plus faible que la matière environnante réalisés dans l'épaisseur de la matière constitutive de la couche fonctionnalisée, répartis sous la forme de nano-plans parallèles, par exemple sous la forme de disques, chacun d'une taille d'environ 1 micron, d'une épaisseur d'environ 50 nm, séparés deux à deux d'environ 250 nm
- la figure 7 représente par une vue schématique de dessus un exemple de zone fonctionnalisée interne particulière de la couche fonctionnalisée de la figure 2, au sein de laquelle les nanostructures constituent des zones d'indice optique différent du reste de la couche fonctionnalisée, sont réalisées dans l'épaisseur de la matière constitutive de la couche fonctionnalisée, et sont réparties sous la forme de nano-plans parallèles, par exemple sous la forme de lamelles parallélépipédiques, chacune d'une taille d'environ 10 micron, d'une épaisseur d'environ 500 nm, et séparées deux à deux d'environ 1 micron.

DESCRIPTION DETAILLEE DES FIGURES

- L'invention telle que représentée sur la figure 1, concerne un dispositif optique 1 intégrant au moins deux détecteurs SWIR ou VIS-SWIR et un matériau transparent au moins pour les longueurs d'onde détectées par le détecteur, et qui est fonctionnalisé pour filtrer et/ou polariser la lumière incidente L de façon singulière.

Cette fonctionnalisation s'effectue en outre par un laser femtoseconde avec la précision nécessaire sans coût exorbitant compte tenu du volume relativement restreint de détecteurs SWIR ou VIS-SWIR répondant aux besoins du marché actuel.

5 Il a été effectivement trouvé de façon surprenante que les nanostructures introduites dans un matériau transparent de type verre minéral ou organique par un laser femtoseconde formaient des zones de fonctionnalisation propices à filtrer et/ou polariser une lumière SWIR ou VIS-SWIR.

10 Le laser femtoseconde sera réglé pour former dans le matériau transparent, qui sera par exemple du verre de silice, mais pourrait également être constitué de verre organique ou de matériau photosensible transparent à la lumière de détection du détecteur matriciel associé, des zones fonctionnalisées dotées de nanostructures de composition et/ou d'agencements différents.

15 Ces nanostructures seront formées pour permettre un changement d'indice optique (par exemple en introduisant un changement de densité de matériau par exemple en introduisant des bulles de gaz en étant de structure poreuse) ou des zones à nanostructures périodiques ou quasi périodiques à effet biréfringent, comme explicité en fin de description.

20 Selon une première variante de réalisation du dispositif optique selon l'invention, représentée sur les figures 1 à 4, le dispositif optique est formé par une matrice de détecteurs SWIR ou VIS-SWIR qui est fonctionnalisée, soit intrinsèquement, soit au moyen d'un filtre rapporté.

25 Un capteur SWIR par exemple réalisé à base d'InGaAs a typiquement comme format de la matrice de détecteurs 320 lignes x 256 colonnes au pas de 30 microns avec une cadence image de 400 Hz, par exemple, ou 640 lignes x 512 colonnes au pas de 15 microns avec une cadence image de 300 Hz, qui correspondent à l'état de l'art actuel. Des formats plus grands peuvent être envisagés. La matrice de détecteurs intègre son circuit de lecture et de multiplexage dit ROIC (acronyme de l'expression anglo-saxonne « Read Out

Integrated Circuit »).

5 Le filtre intrinsèque 11 au détecteur matriciel constitue une barrière de protection physique pour le matériau du détecteur matriciel, ce matériau étant par exemple, constitué d'InGaAs ou de structures à base de boîtes quantiques. Il est constitué d'un matériau transparent aux longueurs d'onde de détection du détecteur matriciel, idéalement en verre minéral (silice).

10 Pour former une association entre le détecteur matriciel et une couche transparente fonctionnalisée filtrant ou polarisant la lumière incidente avant que celle-ci ne parvienne au détecteur, l'invention prévoit de fonctionnaliser le filtre intrinsèque 11 du détecteur matriciel, ou une couche rapportée transparente aux longueurs d'onde de détection du détecteur matriciel, idéalement en verre minéral (silice) (couche 4 de la figure 1).

15 L'exemple des figures 1 à 3 illustre la fonctionnalisation d'une couche de matériau transparent rapporté à un détecteur matriciel, sachant que cette fonctionnalisation pourrait tout autant être effectuée sur le filtre intrinsèque de protection de ce détecteur.

20 Plus précisément, sur la figure 1 est représentée une matrice de détecteurs SWIR ou VIS-SWIR 3 dont trois sont visibles 2_1 , 2_2 , 2_3 surmontée d'une couche 4 de matériau transparent pour les longueurs d'onde détectées par les détecteurs, dont chaque zone 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 en regard d'un détecteur 2_1 , 2_2 , 2_3 de la matrice, est fonctionnalisée pour filtrer ou polariser la lumière parvenant au matériau de détection.

25 Idéalement, l'épaisseur de la couche fonctionnalisée est comprise entre 50 et 1000 microns, et les zones fonctionnalisées de ce matériau sont situées à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face libre de la couche fonctionnalisée et à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face de la couche fonctionnalisée située en regard de la couche de détection.

Dans l'exemple de la figure 1, chaque zone est fonctionnalisée par la

réalisation suivant un même plan (parallèle au plan P), de lignes parallèles de nanostructures périodiques ou quasi périodique à effet biréfringent ou de lignes parallèles de changement d'indice optique 6, obtenues au moyen d'un laser femtoseconde réglé à cet effet.

- 5 Deux zones fonctionnalisées adjacentes 4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4 présentent des lignes orientées différemment et/ou avec un pas d'écartement différent.

Dans l'exemple de la figure 2, chaque zone 7_1 , 7_2 , 7_3 , est fonctionnalisée par la réalisation dans l'épaisseur de la couche fonctionnalisée de motifs identiques suivant des plans parallèles. Chaque motif peut représenter vu de dessus une
10 ligne unique, une pluralité de ligne, ou une surface de nanostructures périodiques ou quasi périodique à effet biréfringent ou de changement d'indice optique 6.

La figure 4 illustre vue de dessus une couche fonctionnalisée avec des motifs carrés de trois types différents à titre d'exemple (hachures inclinées selon deux orientations 9_1 et 9_2 , hachures horizontales 9_3 , absence de motif 9_4), complétés
15 par un quatrième carré vierge de toute zone fonctionnalisée servant de référence, chaque groupement de trois motifs différents et la référence associée étant répété dans la largeur et dans la longueur de la couche fonctionnalisée vus de dessus. La matrice de détecteurs associée à cette
20 couche fonctionnalisée sera bien entendu pourvue de détecteurs organisés en correspondance de chaque motif.

Idéalement, si les nanostructures utilisées sont de type biréfringent, on accolera au-dessus ou en dessous de la couche fonctionnalisée (et ainsi dans ce dernier cas entre la couche fonctionnalisée et la couche de détection), une
25 couche supplémentaire formant un polariseur, couvrant l'ensemble des zones fonctionnalisées et qui permettra de différencier les différentes zones. Un polariseur pouvant convenir à cette utilisation est par exemple le Polariseur Linéaire Proche IR commercialisé par la société Edmund Optics®. constitué d'un film polymère de polarisation compris entre deux plaques de verre de
30 qualité optique, présentant une gamme de longueurs d'onde par exemple

comprise entre 750-850nm ou entre 1000-2000nm, et par exemple un rapport d'Extinction de 50dB pour les Longueurs d'Onde 1310nm et 1550nm.

Vus de côté, les plans de répartition des motifs d'une même zone peuvent être séparés d'un pas constant (figure 2) ou d'un pas variable (figure 3). Les motifs de deux zones fonctionnalisées distinctes présentent des pas différents soit en nature (constant ou variable) soit en écartement.

Une zone de la couche fonctionnalisée pourra être prévue vierge de tout motif (zone 7₄ de la figure 2 ou 8₃ de la figure 3) afin de servir de référence ou de « zone restante du matériau fonctionnalisé ».

10 Selon la variante de réalisation représentée sur la figure 5, le dispositif optique selon l'invention est formé par une matrice de détecteurs SWIR ou VIS-SWIR qui n'est pas fonctionnalisée 12, et qui est associée à un guide d'onde constitué d'un matériau transparent pour la lumière détectée par la matrice 12, et qui est fonctionnalisé par la réalisation de zones par laser femtoseconde.

15 Plus précisément, le guide d'onde se présente sous la forme d'un matériau constitué par exemple d'une fibre optique ou d'une lamelle et s'étendant selon un axe principal (qui pourrait être linéaire ou curviligne) et le détecteur matriciel est configuré pour suivre l'axe principal du guide d'onde afin de disposer de détecteurs le long de cet axe.

20 Le guide d'onde est pourvu dans l'exemple représenté de trois zones fonctionnalisées 14₁, 14₂, 14₃ formées chacune par une pluralité de motifs répartis suivant des plans parallèles inclinés afin de diriger une lumière incidente parcourant le guide d'onde, vers le détecteur associé à cette zone fonctionnalisée. L'écartement des plans d'une zone fonctionnalisée diffère vis à
25 vis des autres zones fonctionnalisées du guide d'onde, afin que cette zone filtre une bande de longueurs d'onde B₁, B₂, B₃ spécifique du spectre de lumière incidente. Ce dispositif optique peut ainsi constituer un spectromètre formé d'un guide d'onde et d'un détecteur matriciel SWIR ou VIS-SWIR.

Exemples de réglage d'un laser femtoseconde pour réaliser les zones fonctionnalisées selon l'invention sur du verre minéral (silice) :

- Formation de zones à changement d'indice optique :

5 Le laser femtoseconde à la longueur d'onde de 800 nm (pulse de 150 fs à une cadence de 100 kHz) est réglé à une relativement faible énergie (autour de 150 nJ pour une ouverture numérique (« Numerical Aperture » : NA) de 0,6.

- Formation de zones à nanostructures périodiques ou quasi périodique à effet biréfringent :

10 Le laser femtoseconde à la longueur d'onde de 800 nm (pulse de 150 fs à une cadence de 100 kHz) est réglé à une énergie moyenne (autour de 300-500 nJ pour une ouverture numérique (« Numerical Aperture » : NA) de 0,65.

15 D'autres réglages du laser femtoseconde pourront être déterminés par l'homme du métier en fonction des nanostructures à réaliser à l'aide des éléments ci-dessus, de ses connaissances générales et/ou de documents ou d'articles scientifiques décrivant ce type de réglage pour la formation de nanostructures dans des matériaux transparents qui s'avèrent d'après les connaissances générales de l'homme du métier, également être
20 transparent pour le SWIR (type verre de silice), même si les documents et articles en question ne concernent pas spécifiquement le SWIR. Par exemple le chapitre « 1 « Fundamentals of Femtosecond Laser Modification of Bulk Dielectrics » Shane M. Eaton, Giulio Cerullo, et Roberto Osellame, de l'ouvrage « Femtosecond Laser Micromachining
25 Photonic and Microfluidic Devices in Transparent Materials ».

REVENDEICATIONS

- 5 1. Dispositif optique comprenant au moins une couche de détection (3) comprenant au moins deux détecteurs (2_1 , 2_2 , 2_3) aptes à détecter des signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde, et un matériau (4) initialement transparent pour la lumière détectée par les détecteurs et fonctionnalisé pour filtrer la lumière ou modifier l'état de polarisation de la lumière parvenant aux détecteurs, le matériau fonctionnalisé étant pourvu d'au moins une

10 zone fonctionnalisée (4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4) par des nanostructures et une zone restante du matériau fonctionnalisé, les nanostructures étant situées dans le volume du matériau fonctionnalisé, ladite au moins une zone fonctionnalisée et ladite zone restante étant situées en correspondance respectivement avec les au moins deux

15 détecteurs de la couche de détection .
- 20 2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel le matériau fonctionnalisé comprend une pluralité de zones fonctionnalisées (4_1 , 4_2 , 4_3 , 4_4) qui sont réparties dans la largeur du matériau fonctionnalisé, pour filtrer respectivement des bandes (B1, B2, B3) distinctes de longueurs d'onde de la lumière incidente et/ou modifier des états de polarisation de la lumière incidente et la couche de

25 détection comprend une pluralité de détecteurs (2_1 , 2_2 , 2_3) situés en correspondance respectivement avec la pluralité de zones fonctionnalisées du matériau fonctionnalisé
- 30 3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel chaque zone fonctionnalisée est formée par une pluralité de plans de répartition des nanostructures répartis dans l'épaisseur du matériau de fonctionnalisation avec un pas d'écartement constant ou variable, deux zones fonctionnalisées distinctes présentant des pas d'écartement différents
- 35 4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les plans de répartition des nanostructures sont parallèles à, perpendiculaires à ou inclinés vis à vis d'un axe ou d'un plan principal du matériau fonctionnalisé
5. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le matériau fonctionnalisé et la couche de détection se présentent sous la forme de deux couches superposées l'une à l'autre par leurs grandes faces en regard, l'épaisseur

de la couche fonctionnalisée est comprise entre 50 et 1000 microns, et les zones fonctionnalisées de ce matériau sont situées à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face libre de la couche fonctionnalisée et à une distance minimale de 10 à 50 microns de la grande face de la couche fonctionnalisée située en regard de la couche de détection

5

6. Dispositif selon la revendication 5, dans lequel la couche fonctionnalisée (4) comprend une portion vierge de toute zone fonctionnalisée servant de référence

10

7. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, dans lequel la couche fonctionnalisée (4) et la couche de détection (3) forment une seule et même pièce.

8. Dispositif selon la revendication 5 ou 6, dans lequel la couche fonctionnalisée (4) et la couche de détection (3) sont deux pièces distinctes l'une de l'autre.

15

9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel le matériau fonctionnalisé se présente sous la forme d'un guide d'onde (13) définissant un axe principal (A) le long duquel sont répartis les différentes zones fonctionnalisées, et la couche de détection se présente sous la forme d'une matrice de détecteurs, linéaire ou non, les détecteurs étant disposés respectivement en regard des différentes zones fonctionnalisées du matériau fonctionnalisé, chaque zone fonctionnalisée du guide d'onde étant formée par une pluralité de nanostructures réparties selon des plans parallèles ou non inclinés vis à vis de l'axe principal du guide d'onde vers le détecteur, les écartements des plans des différentes portions fonctionnalisées étant différents les uns des autres de façon à ce que chaque zone fonctionnalisée soit apte à filtrer une bande spectrale particulière d'un signal incident et à la rediriger vers le détecteur correspondant de la matrice de détecteurs placé en regard.

20

25

30

10. Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la zone est fonctionnalisée par des nanostructures à effet de changement d'indice optique par densification locale du matériau transparent ou par la présence de nanostructures poreuses ou par la présence de nanoparticules métalliques ou non métalliques, ou par des nanostructures périodiques ou quasi périodiques à effet biréfringent.

35

11. Procédé de fonctionnalisation d'au moins un détecteur de signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde, formé par un matériau de détection apte à détecter des signaux lumineux situés au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde, consistant à exposer un matériau initialement non fonctionnalisé et transparent pour la lumière détectée par le matériau de détection, destiné à être juxtaposé au matériau de détection, à un spot de laser femtoseconde de façon à réaliser des nanostructures créant dans le matériau initialement non fonctionnalisé, des variations d'indice optique ou de la biréfringence au sein du matériau transparent afin de le fonctionnaliser dans la portion du matériau transparent destinée à être située en regard du détecteur.
12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le détecteur est constitué d'une couche de détection incluant le matériau de détection, et d'une couche de protection transparente pour la lumière détectée par le matériau de détection formant une seule et même pièce, le procédé consistant à fonctionnaliser la couche de protection en exposant cette couche au spot de laser femtoseconde de façon à créer lesdites nanostructures.
13. Procédé selon la revendication 11, dans lequel le détecteur est constitué d'une couche de détection incluant le matériau de détection, le procédé consistant à fonctionnaliser une plaque rapportée de matériau transparent, indépendante du détecteur, en exposant cette plaque au spot de laser femtoseconde de façon à créer lesdites nanostructures, et consistant à juxtaposer sur la couche de détection lors de l'utilisation du détecteur, la plaque rapportée fonctionnalisée en regard du détecteur.
14. Procédé selon l'une des revendications 11 à 13, dans lequel la couche de détection comprend une pluralité de détecteurs organisée en une matrice de détecteurs linéaire ou non, le spot laser étant réglé pour former dans la couche de matériau transparente, et en regard des différents détecteurs de la matrice, respectivement des zones fonctionnalisées différemment les unes des autres, conformément aux zones fonctionnalisées du matériau fonctionnalisé du dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 5.

15. Utilisation du dispositif optique selon l'une des revendications 1 à 10 pour filtrer et/ou modifier l'état de polarisation d'un signal lumineux situé au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde.
- 5 16. Utilisation du dispositif optique selon la revendication 10 comme guide d'onde et matrice de détecteurs associés afin de former un spectromètre pour analyser différentes bandes spectrales d'un signal lumineux situées au moins dans l'infrarouge à courtes longueurs d'onde.

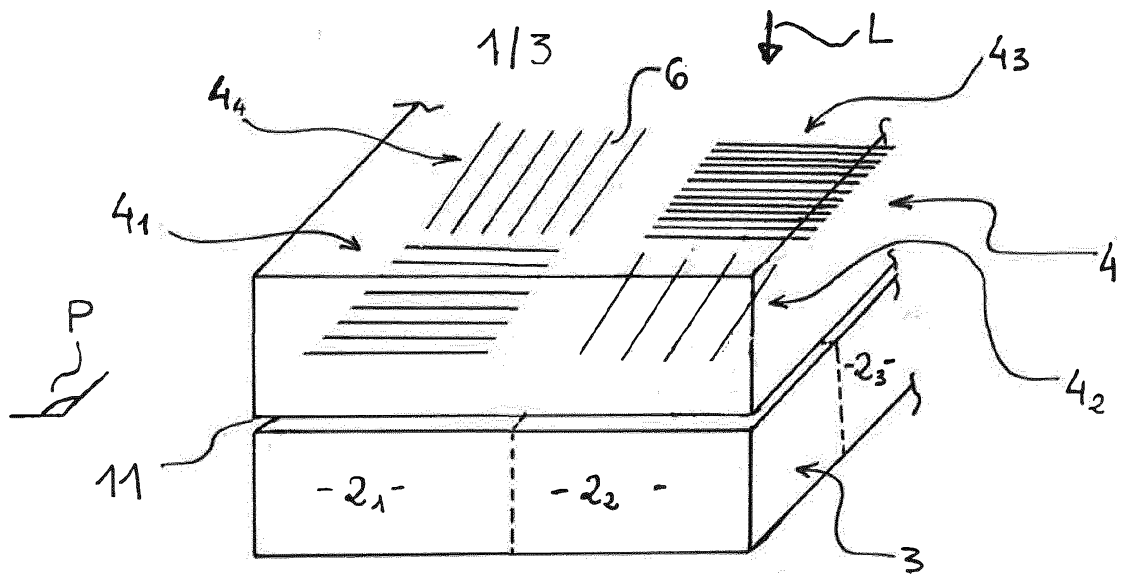


Figure 1

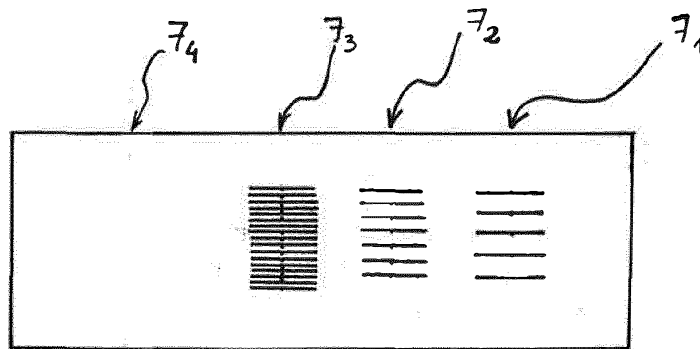


Figure 2

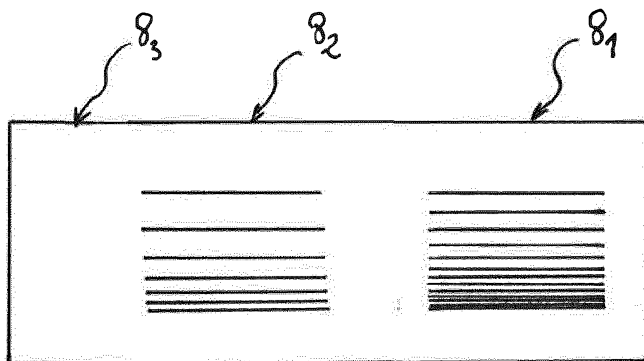


Figure 3

2 / 3

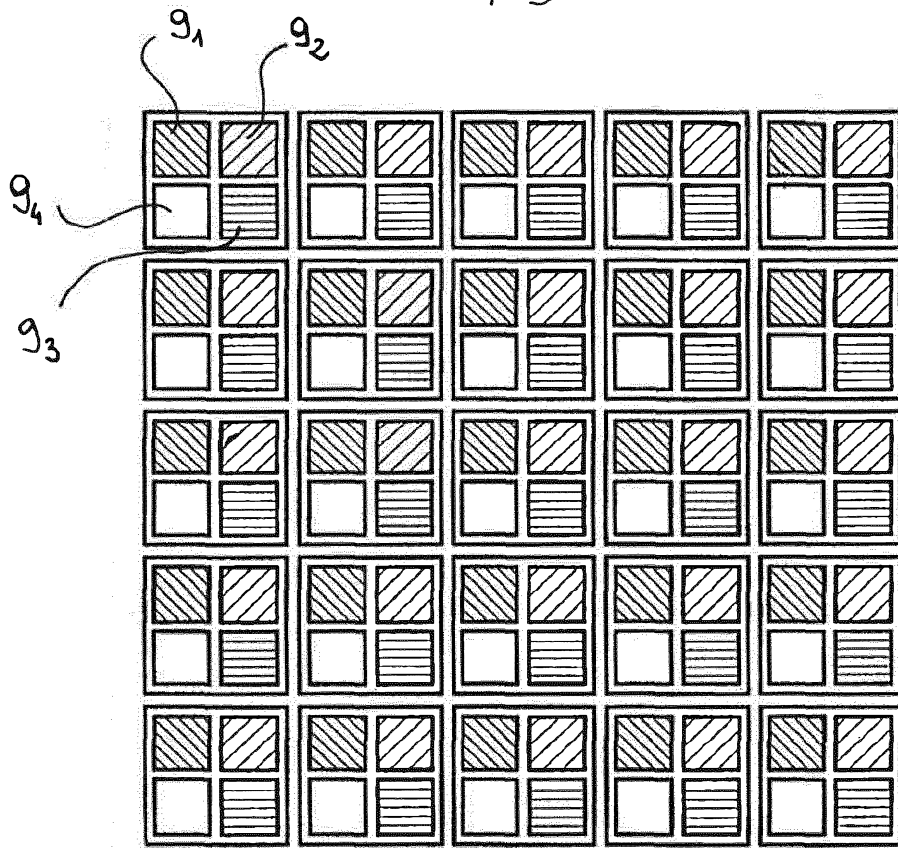


Figure 4

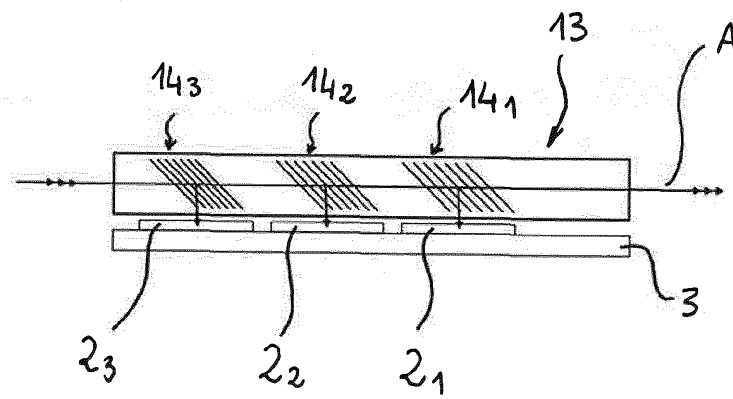


Figure 5

3/3

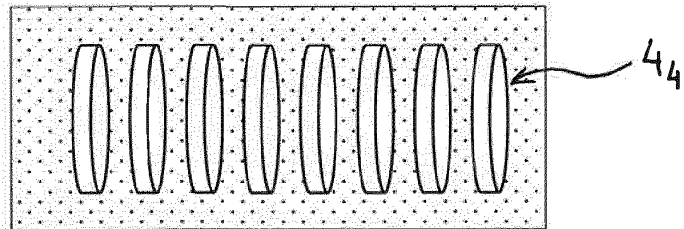


Figure 6

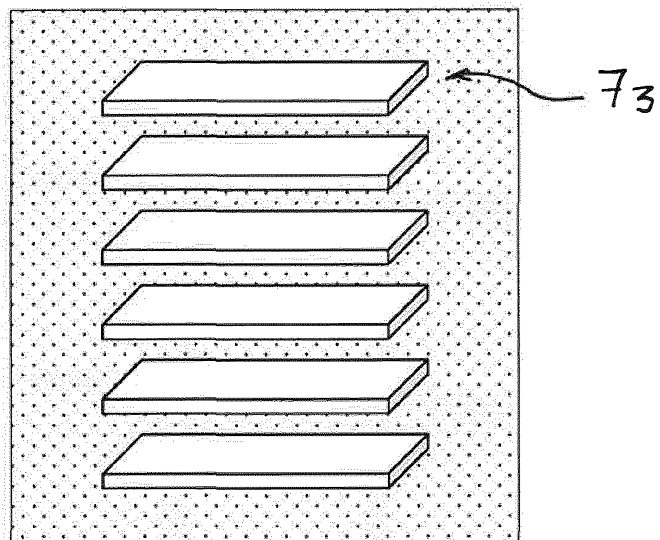


Figure 7

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

CN 101 631 194 A (RICOH KK) 20 janvier 2010 (2010-01-20)

US 8 238 026 B1 (KEMME SHANALYN A [US] ET AL) 7 août 2012 (2012-08-07)

R Martinez-Vazquez ET AL: "Fabrication of photonic devices in nanostructured glasses by femtosecond laser pulses", Optics express, 1 octobre 2007 (2007-10-01), pages 12628-2251, XP055479991, United States DOI: 10.1364/OE.15.012628 Extrait de l'Internet:
URL: https://www.osapublishing.org/DirectPDFAccess/1073AA92-DBF9-6AEA-802ED7358C84CA2E_141872/oe-15-20-12628.pdf?da=1&id=141872&seq=0&mobile=no

US 5 615 008 A (STACHELEK THOMAS M [US]) 25 mars 1997 (1997-03-25)

WO 2005/040874 A2 (UNIV ASTON [GB]; KHRUSCHEV IGOR [GB]; OKHRIMCHUCK ANDREI [GB]; SHESTAK) 6 mai 2005 (2005-05-06)

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

NEANT

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

NEANT