



(43) Date de la publication internationale
10 novembre 2016 (10.11.2016)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2016/177835 A1

(51) Classification internationale des brevets :
G02F 1/1343 (2006.01) **G02F 1/137** (2006.01)
G02F 1/1337 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/060095

(22) Date de dépôt international :
4 mai 2016 (04.05.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1554108 7 mai 2015 (07.05.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", 75015 Paris (FR).

(72) Inventeur : ROSSINI, Umberto; 194 Bois Joli, 38500 Coublevie (FR).

(74) Mandataires : PRIORI, Enrico et al.; Marks & Clerk France, Conseils en Propriété Industrielle - Immeuble "Vismium", 22 avenue Aristide Briand, 94117 Arcueil Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : LIQUID-CRYSTAL SPATIAL LIGHT MODULATOR AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) Titre : MODULATEUR SPATIAL DE LUMIERE A CRISTAL LIQUIDE ET SON PROCEDE DE FABRICATION

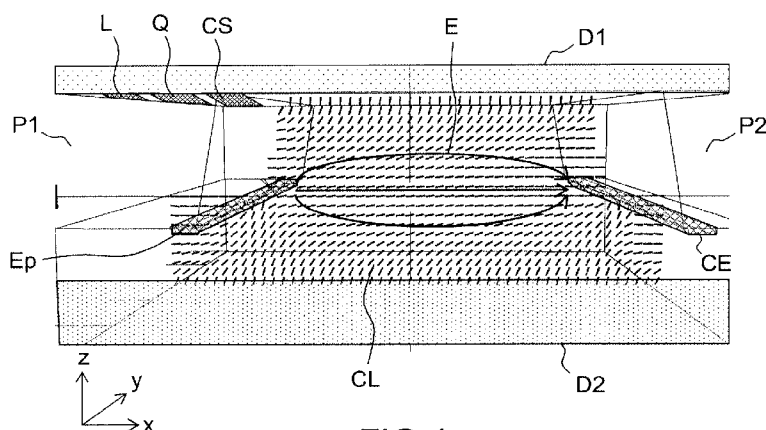


FIG.4

(57) Abstract : The invention relates to a liquid-crystal spatial light modulator, including a matrix of liquid crystal pixels (CL) defined, in a so-called vertical direction (z), by first (D1) and second (D2) transparent slabs which are parallel to one another and spaced apart in said vertical direction, each of said pixels including a first electrode (Ep), referred to as pixel electrode, and a second electrode (CE), referred to as counter-electrode, and containing a liquid crystal (CL) in which the molecules have a natural inoperative orientation which is not parallel to the slabs, characterised in that the pixel electrode and the counter-electrode of each pixel are arranged facing one another at opposite ends of the pixel, spaced apart from both the first and the second slab in said vertical direction. The electrodes are preferably supported by side walls (P1, P2) extending over at least one portion of the space between the first and the second slab and laterally defining the pixels. The invention also relates to a method for manufacturing such a spatial light modulator.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

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

Modulateur spatial de lumière à cristal liquide comprenant une matrice de pixels à cristal liquide (CL) délimitées, dans une direction dite verticale (z), par une première (D1) et une seconde (D2) dalles transparentes parallèles l'une à l'autre et espacées dans la dite direction verticale, chaque dite pixel comprenant une première électrode (Ep), dite électrode de pixel, et un deuxième électrode (CE), dite contre-électrode, et contenant un cristal liquide (CL) dont les molécules ont une orientation naturelle de repos non parallèle aux dalles, caractérisé en ce que l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel sont agencées en face à face à des extrémités opposées du pixel, espacées aussi bien de la première que de la seconde dalle dans ladite direction verticale. De préférence, les électrodes sont portées par des parois latérales (P1, P2) s'étendant sur au moins une partie de l'espacement entre la première et la seconde dalle et délimitant latéralement les pixels. Procédé de fabrication d'un tel modulateur spatial de lumière.

MODULATEUR SPATIAL DE LUMIERE A CRISTAL LIQUIDE ET SON PROCEDE DE FABRICATION

L'invention porte sur un modulateur spatial de lumière à cristal liquide et sur son procédé de fabrication. Elle permet notamment, mais pas
5 uniquement, la réalisation de modulateurs spatiaux de lumière transmissifs de petites dimensions (quelques millimètres de côté) pouvant être intégrés à des systèmes optiques pour des applications d'optique adaptative, afin d'obtenir à la fois un grand champ, une haute résolution et un faible encombrement.

Le terme « modulateur spatial de lumière » (ou « SLM », de
10 l'anglais « Spatial Light Modulator ») désigne tout dispositif susceptible de moduler spatialement l'amplitude, la phase et/ou l'état de polarisation de la lumière incidente ; les afficheurs, par exemple, peuvent être considérés comme des SLM agissant sur l'amplitude. L'invention se prête
particulièrement à la réalisation de modulateurs spatiaux de phase
15 fonctionnant en transmission.

Un SLM à cristal liquide comprend habituellement une matrice de lignes et colonnes de pixels à cristal liquide, comportant chacun un volume rempli de cristal liquide, une électrode de pixel qui reçoit une tension correspondant à une information de modulation et une contre-électrode qui
20 définit un potentiel de référence, commun à tous les pixels. La tension appliquée entre l'électrode de pixel et la contre-électrode produit un champ électrique qui oriente les molécules du cristal liquide. Ces molécules étant optiquement anisotropes, leur orientation affecte la phase et/ou l'état de polarisation de la lumière incidente ; dans le cas des afficheurs (SLM
25 d'amplitude), un film polarisant transforme une modulation d'état de polarisation induite par le cristal liquide en modulation d'amplitude.

La figure 1 montre une vue en coupe d'un pixel d'un SLM à cristal liquide conventionnel. L'électrode de pixel E_p , de forme plane, est réalisée à la surface d'un substrat SUB ; elle définit la forme de la du pixel, qui
30 n'est pas délimité par des parois latérales ; l'application d'une tension à l'électrode E_p s'effectue par l'intermédiaire d'un transistor à couche mince Q. La contre-électrode CE, réalisée en matériau conducteur transparent tel que

l'oxyde d'indium et étain (ITO), est formée à la surface d'une dalle transparente, parallèle au substrat et séparée de ce dernier par des espaceurs (non représentés) ; la distance Ep – CE est typiquement de quelques micromètres. Un cristal liquide LC remplit l'espace entre le substrat et la plaque transparente portant la contre-électrode. Au repos, en l'absence de champ électrique, les molécules formant le cristal liquide sont orientées avec leur axe principal presque parallèle aux plans des électrodes. Plus exactement, cet axe forme un petit angle, dit de « tilt », avec ces plans afin de faciliter leur rotation dans une direction déterminée lors de l'application du champ électrique ; cela est obtenu en déposant sur les électrodes un film polymère traité par frottement (cas le plus fréquent) ou par insolation UV polarisée, ou bien déposé par évaporation oblique. L'application d'une différence de potentiel entre les électrodes engendre un champ électrique E orienté selon une direction verticale (perpendiculaire aux plans des électrodes), qui provoque une rotation des molécules du cristal liquide. Si le champ E est suffisamment intense, les molécules prennent une orientation sensiblement verticale ; s'il est plus faible, elles prennent une orientation intermédiaire.

Il est connu (F Templier et al. « *Development of 5 μ m-Pixel Pitch Active-Matrix for Transmissive LCD Picoprojector* », Leti Annual Research Report 2012 – Optics and photonics, page 34) de réaliser des SLM du type représenté sur la figure 1 à partir d'un substrat SOI (« Silicon On Insulator », c'est-à-dire silicium sur isolant), comprenant un substrat massif - « bulk » en anglais - de silicium, une couche enterrée de SiO₂ et une couche épitaxiale de silicium déposée au-dessus de cette couche enterrée. Les électrodes Ep et les transistors Q sont déposés sur ce substrat, puis recouverts d'une couche de SiO₂ qui est ensuite planarisée par planarisation mécano-chimique (CMP, de l'anglais « Chemical-Mechanical Planarization »). Une dalle de verre – destinée à former le « substrat » SUB du modulateur – est collée à cette couche de SiO₂ planarisée par adhésion moléculaire directe (sans apport de matière), puis le silicium massif du substrat SOI est enlevé par abrasion. Une étape de photolithographie permet la reprise des contacts à

travers la couche de SiO_2 « enterrée » – qui est désormais exposée. Toutefois, le collage du substrat SOI à la dalle de verre induit l'apparition de contraintes mécaniques qui déforment la matrice d'électrodes E_p et transistors Q . Dans le cas de dispositifs très miniaturisés, ces déformations
5 rendent délicate cette étape de reprise des contacts.

La figure 2A montre une vue en plan d'un pixel à cristal liquide d'un SLM présentant une structure alternative dite IPS, de l'anglais « In Plane Switching », c'est-à-dire « commutation dans le plan » (voir par exemple le document FR 2976707). Dans une telle structure aussi bien les électrodes de
10 pixel E_p que les contre-électrodes CE sont agencées à la surface d'un substrat qui, comme dans le cas précédent, peut être une dalle sur laquelle est rapportée une structure réalisée à partir d'un substrat de fabrication en SOI. Le champ électrique E est donc horizontal, c'est à dire parallèle au plan dudit substrat, et induit une rotation dans un plan horizontal des molécules du
15 cristal liquide LC qui se trouvent au-dessus du substrat. Sur la figure 2, les références L_i , L_{i+1} , C_j , C_{j+1} désignent les conducteurs de ligne et de colonne connectés, respectivement, aux grilles et aux drains des transistors Q . Les conducteurs de ligne sont superposés aux contre-électrodes, mais sans contact électrique. Dans le cas des SLM de type IPS, toutes les électrodes,
20 les transistors et les conducteurs d'adressage L_i , C_j sont réalisés sur un même substrat de fabrication ; il n'est donc pas nécessaire de réaliser une étape de lithographie après transfert de la structure du substrat de fabrication à une dalle de verre. Ainsi, la technologie IPS s'avère particulièrement bien adaptée à la réalisation de pixels très petits (quelques micromètres de côtés, au lieu
25 d'environ 100 micromètres comme dans le cas des afficheurs à cristal liquide conventionnels). D'ailleurs les petites dimensions latérales des pixels permettent d'obtenir un champ électrique suffisamment intense sans devoir appliquer une différence de potentiel trop importante aux électrodes, ou sans avoir à prévoir des électrodes interdigitées.

30 La technologie IPS présuppose une orientation horizontale des molécules du cristal liquide. Une telle orientation est avantageuse pour la réalisation d'afficheurs à vision directe (écrans de téléviseur ou d'ordinateur,

par exemple) à large angle de vue sans besoin d'utiliser des films de compensation, nécessaires dans les écrans exploitant un basculement horizontal – vertical des molécules. Cependant, elle ne convient pas à la réalisation de modulateurs de phase car la rotation de molécules dans le plan s'accompagne d'une torsion du cristal liquide. En effet seules les molécules qui se trouvent à mi-hauteur, entre la dalle portant les électrodes et la dalle supérieure qui ferme la structure, peuvent tourner librement sous l'influence du champ électrique E ; les molécules les plus proches des deux dalles maintiennent une orientation fixe. Ainsi, après application d'une différence de potentiel entre les électrodes Ep et CE, les molécules du cristal liquide LC prennent en réalité une configuration en hélice, comme le montre la vue en coupe de la figure 2B, où les références D1 et D2 désignent les deux dalles confinant le cristal liquide dans une direction verticale. Cela n'est pas gênant si l'on cherche à obtenir une rotation de la polarisation de la lumière traversant le cristal liquide, comme dans le cas des afficheurs en technologie IPS ; mais une telle configuration n'est pas adaptée à la réalisation d'un modulateur de phase, où l'on souhaite que le cristal liquide se comporte comme un matériau biréfringent aussi homogène que possible, présentant un axe optique principal dont l'orientation est contrôlée par l'application d'un champ électrique.

Le document WO 2014/117411 un réseau lenticulaire constitué de lentilles cylindriques à cristaux liquides pour écrans auto-stéréoscopiques. Ce réseau lenticulaire comprend deux dalles délimitant verticalement un volume rempli de cristaux liquides, des contre-électrodes agencées à la surface de la dalle supérieure et des électrodes adressables, espacées des deux dalles.

L'invention vise à remédier aux inconvénients précités de l'art antérieur. Plus particulièrement elle vise à procurer une nouvelle structure de modulateur spatial de lumière permettant une modulation de phase et convenant à la réalisation de pixels de très petites dimensions latérales.

Conformément à l'invention, un tel but est atteint par un modulateur spatial de lumière à cristal liquide comprenant une matrice de pixels à cristal liquide délimités, dans une direction dite verticale, par une

première et une seconde dalles transparentes parallèles l'une à l'autre et espacées dans ladite direction verticale, chaque dit pixel comprenant une première électrode, dite électrode de pixel, et une deuxième électrode, dite contre-électrode, et contenant un cristal liquide ; le modulateur comprenant
5 également un circuit électrique permettant l'adressage individuel des électrodes de pixel, ainsi que la connexion des contre-électrodes à un potentiel commun, et étant caractérisé en ce que l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel sont agencées en face à face à des extrémités latérales opposées du pixel, espacées aussi bien de la première
10 que de la seconde dalle dans ladite direction verticale.

Un autre objet de l'invention est un procédé de fabrication d'un tel modulateur spatial de lumière à cristal liquide, comportant les étapes suivantes :

a) sur un substrat de fabrication, déposer un premier
15 matériau formant des blocs agencés en matrice, destinés à former des pixels à cristal liquide, et un second matériau, diélectrique et différent du premier matériau, formant des parois latérales délimitant lesdits blocs ;

b) déposer un matériau conducteur sur lesdites parois latérales pour former des paires d'électrodes agencées en face à face aux
20 extrémités de chaque dit bloc destiné à former un pixel à cristal liquide ;

c) coller, par adhésion moléculaire, une poignée au-dessus de l'ensemble formé par le premier et le second diélectrique et les électrodes ;

d) supprimer le substrat de fabrication ;

e) coller par adhésion moléculaire de l'ensemble formé par
25 le premier et le second matériau diélectrique et les électrodes à une première dalle transparente ;

f) supprimer la poignée ;

g) graver sélectivement le premier matériau en laissant subsister le second matériau de manière à obtenir, à la place des pavés, des
30 cavités formant lesdits pixels à cristal liquide ; et

h) agencer une seconde dalle transparente au-dessus de l'ensemble ainsi obtenu, de telle sorte que lesdites électrodes soient

espacées aussi bien de la première que de la seconde dalle, remplir d'un cristal liquide le volume compris entre la première et la seconde dalle et sceller l'ensemble ainsi obtenu avec un cordon de scellement.

Ledit substrat de fabrication peut notamment être un substrat
5 d'oxyde sur isolant.

D'autres caractéristiques, détails et avantages de l'invention ressortiront à la lecture de la description faite en référence aux dessins annexés, donnés à titre d'exemple, dans lesquels :

- Les figures 1, 2A et 2B, décrites plus haut, illustrent l'état
10 de la technique ;
- La figure 3 illustre une structure hypothétique de pixel à cristal liquide, non conforme à l'invention et donnée à titre de comparaison ;
- La figure 4 illustre la structure d'un pixel à cristal liquide selon un mode de réalisation de l'invention ;
- 15 - Les figures 5A à 5G illustrent les différentes étapes d'un procédé de fabrication d'un modulateur spatial de lumière selon un mode de réalisation de l'invention ; et
- La figure 6 illustre la structure matricielle d'un modulateur spatial de lumière selon un mode de réalisation de l'invention.

20 L'invention préconise l'utilisation de pixels à cristal liquide dans lesquels, comme dans le cas de la technologie IPS, les électrodes de pixel et les contre-électrodes se font face dans une direction horizontale, c'est-à-dire dans un plan parallèle à celui des deux dalles transparentes confinant le cristal liquide ; avantageusement, aucune électrode n'est directement
25 portée par les dalles et coplanaire avec elles. Cependant, afin d'éviter l'effet de torsion en hélice du cristal liquide illustré sur la figure 2B, et contrairement au cas de la technologie IPS, les molécules de ce dernier sont orientées verticalement dans leur position de repos. En outre, les électrodes ne sont pas agencées sur « le fond » du pixel, comme dans le cas de la structure IPS,
30 mais se trouvent à mi-hauteur entre les deux dalles, ou plus précisément à une position intermédiaire entre les interfaces de chaque dalle avec le cristal liquide (typiquement à une distance de chaque interface comprise entre 25 %

et 75%, de préférence entre 40% et 60% et de manière encore préférée entre 45% et 55% de l'espacement entre les deux interfaces cristal liquide – dalle).

La figure 3 illustre la configuration qu'on obtiendrait en appliquant une différence de potentiel entre les électrodes Ep et CE d'un pixel
5 IPS modifié pour que l'orientation de repos des molécules du cristal liquide LC soit sensiblement verticale (perpendiculaire aux deux dalles D1, portant les électrodes, et D2). On indique par « z » la direction verticale, par « x » la direction dans laquelle les électrodes se font face et par « y » celle dans laquelle les électrodes s'étendent ; ainsi, les dalles sont parallèles au plan « x-
10 y ». Les molécules du cristal liquide ont tendance à s'aligner suivant les lignes du champ électrique E ; mais comme elles ne sont pas polaires, elles peuvent prendre deux orientations opposées. On observe ainsi des plans de disclinaison DIS qui séparent des domaines du cristal liquide dans lesquels les molécules basculent dans des sens opposés (si les molécules au repos
15 étaient parfaitement verticales, les plans de disclinaison seraient situés à mi-chemin entre les électrodes Ep et CE ; l'angle dit de « tilt » que les molécules forment avec la verticale dans leur état de repos brise cette symétrie). On constate que l'orientation des molécules – et donc l'indice de réfraction vu par un rayon lumineux se propageant dans la direction verticale « z » – varie le
20 long de la direction inter-électrodes « x » : la modulation de phase ainsi obtenue n'est donc pas homogène d'un point à l'autre du pixel.

La figure 4 montre une structure de pixel à cristal liquide selon un mode de réalisation de l'invention, permettant de surmonter cet inconvénient. Dans un tel pixel, les électrodes Ep et CE sont portées par des
25 parois latérales P1, P2 s'étendant verticalement sur une partie de la distance entre les dalles D1, D2, de manière à se situer à mi-hauteur entre ces dernières. Dans ces conditions, les plans de disclinaison disparaissent et l'orientation des molécules du cristal liquide devient presque indépendante des coordonnées « x » et « y » (sauf directement au-dessous des parois
30 latérales, mais cela n'a pas d'importance car ces dernières bloquent le passage de la lumière). L'orientation des molécules varie le long de la direction « z », mais cela n'est pas gênant : un rayon de lumière polarisée

dans le plan « x-y » verra simplement un indice de réfraction efficace dépendant de l'orientation moyenne des molécules, la moyenne étant calculée selon la direction « z ». On peut dire que, contrairement à l'architecture IPS qui assure une commutation « dans le plan », dans le cas
5 d'un pixel selon l'invention la commutation s'effectue « dans le volume » du pixel.

Les parois latérales P1 et/ou P2 peuvent porter à leur surface les lignes d'adressage L, les transistors Q et, optionnellement, des condensateurs de stockage CS destinés à être connectés en parallèle aux
10 pixels à cristal liquide pour stabiliser la tension à leurs bornes : comme au moins certains de ces éléments sont, de toute façon, indispensables, la présence des parois ne réduit pas significativement la transmission optique du pixel.

La structure de la figure 4 peut être obtenue au moyen d'un
15 procédé qui sera décrit à l'aide des figures 5A à 5G.

Comme illustré sur la figure 5A, le procédé commence par des opérations de dépôt réalisées sur un substrat de fabrication SF de type SOI, comprenant un substrat massif (« bulk ») de silicium BS, une couche d'oxyde (SiO_2) enterrée BOX et une couche épitaxiale de silicium ES. Au-
20 dessus de la couche ES on dépose des lignes conductrices d'adressage L, puis un premier et un deuxième matériau OX1, OX2 présentant des propriétés chimiques différentes. Le matériau OX1 forme des blocs ou pavés sacrificiels, qui occupent des volumes qui seront ensuite remplis par le cristal liquide ; le matériau OX2, qui doit être isolant, forme des parois délimitant latéralement
25 ces pavés. Par exemple, OX1 peut être de l'oxyde de silicium et OX2 du nitrure de silicium, ou inversement. Des électrodes Ep, CE sont réalisées par dépôt métallique au-dessus du matériau OX2, à la limite entre les parois latérales d'un pixel et le bloc de matériau OX1 occupant provisoirement le volume interne de ce pixel. Les électrodes sont reliées aux lignes
30 conductrices L par des interconnexions verticales, ou « vias ». On peut également déposer, sur les parois latérales en matériau OX2, des transistors à couche mince reliant les lignes conductrice L aux électrodes Ep (non

représentés), ainsi que des condensateurs montés en parallèle auxdites électrodes. Ensuite, une couche diélectrique CP est déposée au-dessus des pavés et des parois latérales et planarisée. La couche CP peut être constituée du matériau OX1 ; dans ce cas, il peut être avantageux de procéder dans l'ordre suivant : dépôt des lignes L, dépôt du matériau OX2 et sa gravure pour réaliser les interconnexions verticales, dépôt des électrodes, dépôt du matériau OX1 en couche épaisse entre les dépôts d'OX2 et en couche mince au-dessus de ces derniers, planarisation du matériau OX1. Cela n'est cependant pas essentiel.

10 Ensuite (figure 5B) un substrat en silicium SP destiné à former une « poignée » est collé, par adhésion moléculaire, à la couche planarisée CP.

 Puis (figure 5C) le substrat en silicium BS est abrasé jusqu'à exposer la couche d'oxyde BOX, qui est planarisée pour permettre son collage, également par adhésion moléculaire, à une dalle transparente D1, typiquement en verre (figure 5D). De préférence, l'abrasion laisse subsister une épaisseur de silicium de quelques dizaines de micromètres, l'élimination du substrat étant ensuite achevée par attaque chimique jusqu'à la couche d'oxyde BOX.

20 A ce point, on détache la poignée (figure 5E) et on procède à la gravure chimique sélective du matériau OX1 (et de la couche CP, si elle est réalisée en un autre matériau), en laissant intactes les parois latérales en matériau OX2 et les électrodes Ep, CE (figure 5F). Par exemple, si le matériau OX1 est de l'oxyde de silicium (SiO_2), sa gravure peut être réalisée par $\text{CHF}_3 + \text{O}_2$.

25 Ensuite une couche mince (épaisseur de l'ordre de 50 nm, par exemple) de polyimide est déposée (par exemple à la tournette) sur la surface de la structure ainsi réalisée, et sur celle de la deuxième dalle transparente D2. Cette couche de polyimide est ensuite traitée, généralement par frotage, pour déterminer l'orientation des molécules de cristal liquide destinées à remplir les pixels ; cela a déjà été mentionné plus haut en référence à l'art antérieur.

Puis la deuxième dalle transparente D2 est agencée en face de la première dalle D1 et maintenue à une distance prédéfinie de cette dernière par des espaceurs (billes de silice ou fibres) non représentés, le volume entre les deux dalles est rempli avec le cristal liquide LC et ce volume
5 est scellé au moyen d'un cordon de scellement CS. Généralement, les espaceurs sont mélangés à la colle formant le cordon de scellement. On remarque que les parois latérales P1, P2 ne séparent que partiellement les différents pixels CL, dont un seul est représenté sur la figure 5G. En raison de la présence de la couche de polyimide traitée, les molécules du cristal liquide
10 s'orientent presque – mais de préférence pas parfaitement – perpendiculairement aux dalles D1, D2 ; l'angle de « tilt » formé par l'axe principal de ces molécules et la direction « z » en l'absence de champ électrique est généralement inférieur à 20° et typiquement compris entre 75° et 89° ; il peut par exemple valoir 85°.

15 Un pixel CL selon l'invention présente de préférence des dimensions latérales comprises entre 2 et μm et 15 μm et une hauteur (distance, selon la direction « z », entre les interfaces du cristal liquide avec les dalles D1 et D2) comprise entre 1 μm et 5 μm . La largeur des parois latérales séparant deux pixels est de préférence inférieure ou égale à 1 μm ,
20 par exemple comprise entre 500 nm et 1 μm (plus généralement, cette largeur devrait être la plus faible possible, sous réserve des contraintes technologiques, pour minimiser la fraction opaque de la surface de la matrice). On peut, par exemple, prendre des pixels carrés de 5 μm de côté avec une épaisseur de 2,4 μm .

25 La figure 6 représente la structure générale d'un SLM comprenant une matrice de pixels à cristal liquide CL du type de la figure 4. Comme dans la figure 2A, les conducteurs de ligne, dits aussi « de commande, connectées aux grilles des transistors Q des pixels d'une même ligne, sont désignés par L_1 à L_n pour une matrice de n lignes, et les
30 conducteurs de colonne, connectées aux drains des électrodes E_p des pixels d'une même colonne, sont désignés par C_1 à C_m pour une matrice de m colonnes ; les conducteurs reliant les contre-électrodes à un potentiel de

référence ne sont pas représentés pour ne pas surcharger la figure. Un décodeur de ligne DEC adresse successivement les différentes lignes. Un circuit de conversion numérique-analogique DAC applique aux conducteurs de colonne pendant l'adressage d'une ligne, un ensemble de tensions analogiques représentant la modulation spatiale de phase à réaliser par cette ligne. Le circuit de conversion établit ces tensions analogiques à partir d'un signal numérique. Un circuit de séquençage SEQ assure le fonctionnement synchronisé du décodeur de ligne et du circuit de conversion DAC.

L'invention a été décrite en référence à un mode de réalisation particulier, mais de nombreuses variantes sont envisageables. Par exemple :

- Le cas où l'orientation au repos des molécules du cristal photonique est approximativement verticale paraît le plus intéressant, notamment car il permet la réalisation d'un modulateur spatial de phase optique. Cependant, si on souhaite réaliser une modulation spatiale de direction de polarisation ou d'amplitude, il est également possible d'utiliser un cristal liquide dont les molécules présentent une orientation au repos sensiblement horizontale, comme dans le cas de la technologie IPS.

- Un film polariseur peut être collé à l'une des dalles ; cela n'est pas nécessaire si le SLM est destiné à être éclairé par un faisceau de lumière qui est déjà polarisé.

- La présence de parois latérales n'est pas essentielle en soi : il s'agit simplement de la manière la plus simple pour supporter les électrodes. Ce qui est essentiel, en revanche, est le positionnement des électrodes à un niveau intermédiaire entre les deux dalles.

- Les pixels ne présentent pas nécessairement une forme rectangulaire, et la structure des électrodes peut être plus complexe, par exemple interdigitée.

- Le terme « matrice » doit être entendu dans un sens large, comme indiquant tout agencement bidimensionnel, voire unidimensionnel. En effet, il n'est pas essentiel que les pixels soient agencés par lignes et par colonnes.

- Les transistors peuvent être absents, en particulier si l'on adopte un adressage direct des pixels (autant de lignes d'alimentation distinctes que d'électrodes de pixel devant être pilotés de manière indépendante), mais cela n'est intéressant que dans le cas de matrices
5 comportant un petit nombre de pixels.

- Le substrat de fabrication ne doit pas nécessairement être de type SOI. Plus généralement, de nombreux matériaux peuvent être utilisés pour la réalisation d'un SLM selon l'invention.

REVENDICATIONS

1. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide comprenant une matrice de pixels à cristal liquide (CL) délimités, dans une direction dite verticale (z), par une première (D1) et une seconde (D2) dalles transparentes parallèles l'une à l'autre et espacées dans ladite direction verticale, chaque dit pixel comprenant une première électrode (Ep), dite électrode de pixel, et une deuxième électrode (CE), dite contre-électrode, et contenant un cristal liquide (LC) ; le modulateur comprenant également un circuit électrique (DEC, DAC, Q) permettant l'adressage individuel des électrodes de pixel, ainsi que la connexion des contre-électrodes à un potentiel commun, et étant caractérisé en ce que l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel sont agencées en face à face à des extrémités latérales opposées du pixel, espacées aussi bien de la première que de la seconde dalle dans ladite direction verticale.

2. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon la revendication 1, dans lequel l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel sont situées à une position intermédiaire entre les interfaces de chaque dite dalle avec le cristal liquide, à une distance de chaque dite interface comprise entre 25% et 75% de l'espacement entre les deux interfaces.

3. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les molécules dudit cristal liquide ont une orientation naturelle de repos non parallèle aux dalles.

4. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon la revendication 3, dans lequel les molécules du cristal liquide ont une orientation naturelle de repos formant un angle inférieur à 20°, et de préférence compris entre 1° et 15°, avec ladite direction verticale.

5. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon l'une des revendications précédentes, dans lequel lesdits pixels sont également délimités par des parois latérales (P1, P2) s'étendant sur au moins une partie de l'espacement entre la première et la seconde dalle, et dans lequel
5 l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel sont portées par deux parois latérales opposées dudit pixel.

6. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon la revendication 5, dans lequel chaque pixel comprend également un transistor
10 (Q) configuré pour relier sélectivement ladite électrode de pixel à une ligne conductrice (C_1 , C_m) dite d'alimentation, ledit transistor étant agencé à la surface de la paroi latérale portant ladite électrode.

7. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon la revendication 6 comprenant une pluralité de dites lignes conductrices (C_1 , C_m) d'alimentation reliées aux électrodes de pixel des pixels par des transistors respectifs, une pluralité de lignes conductrices de commande (L_1 , L_n) reliées à des grilles desdits transistors et une pluralité de lignes conductrices de référence reliées aux contre-électrodes des pixels, ces lignes conductrices
15 d'alimentation et de commande étant agencées, au moins en partie, au-dessus de parois latérales respectives.
20

8. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon la revendication 7, dans lesquels les pixels à cristal liquide sont organisés par
25 lignes et par colonnes, les électrodes de pixels des pixels d'une même ligne étant reliées à une même ligne conductrice d'alimentation par l'intermédiaire de transistors respectifs, et les transistors des pixels d'une même colonne ayant des grilles reliées à une même ligne conductrice de commande.

9. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'espacement entre les deux
30

interfaces entre le cristal liquide et la première et la seconde dalle est compris entre 1 et 5 μm .

10. Modulateur spatial de lumière à cristal liquide selon l'une
5 des revendications précédentes, dans lequel l'espacement entre l'électrode de pixel et la contre-électrode de chaque pixel est compris entre 2 et 15 μm .

11. Procédé de fabrication d'un modulateur spatial de lumière
à cristal liquide selon l'une des revendications précédentes, comportant les
10 étapes suivantes :

a) sur un substrat de fabrication (SF), déposer un premier
matériau (OX1) formant des blocs agencés en matrice, destinés à former des
pixels à cristal liquide (CL), et un second matériau (OX2), diélectrique et
différent du premier matériau, formant des parois latérales (P1, P2) délimitant
15 lesdits blocs ;

b) déposer un matériau conducteur sur lesdites parois
latérales pour former des paires d'électrodes (Ep, CE) agencées en face à
face aux extrémités de chaque dit bloc destiné à former un pixel à cristal
liquide ;

20 c) coller, par adhésion moléculaire, une poignée (SP) au-
dessus de l'ensemble formé par le premier et le second diélectrique et les
électrodes ;

d) supprimer le substrat de fabrication ;

e) coller par adhésion moléculaire de l'ensemble formé par
25 le premier et le second matériau diélectrique et les électrodes à une première
dalle transparente (D1) ;

f) supprimer la poignée ;

g) graver sélectivement le premier matériau en laissant
subsister le second matériau de manière à obtenir, à la place des pavés, des
30 cavités formant lesdits pixels à cristal liquide ; et

h) agencer une seconde dalle transparente (D2) au-dessus
de l'ensemble ainsi obtenu, de telle sorte que lesdites électrodes soient

espacées aussi bien de la première que de la seconde dalle, remplir d'un cristal liquide le volume compris entre la première et la seconde dalle et sceller l'ensemble ainsi obtenu avec un cordon de scellement (CS).

- 5 12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel ledit substrat de fabrication est un substrat d'oxyde sur isolant.

1/6

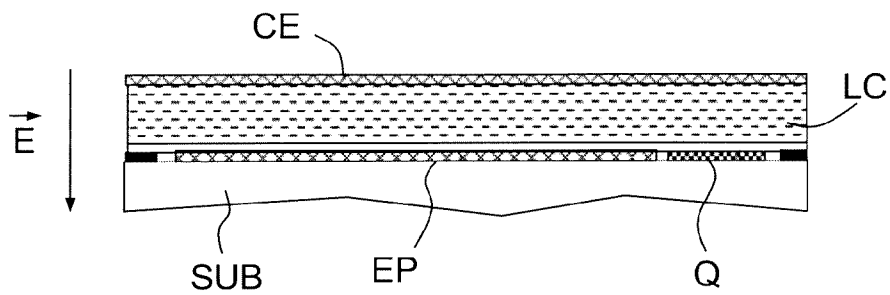


FIG.1

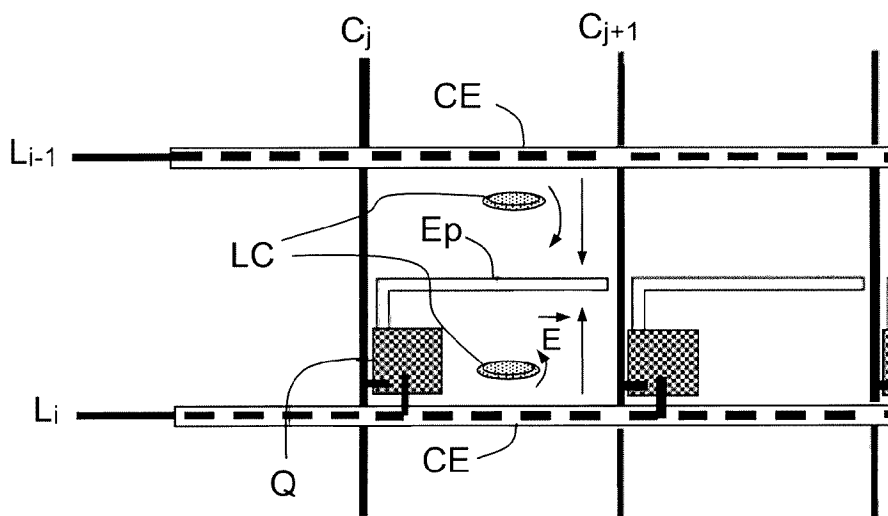


FIG.2A

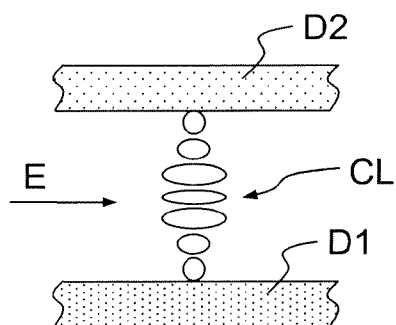


FIG.2B

2/6

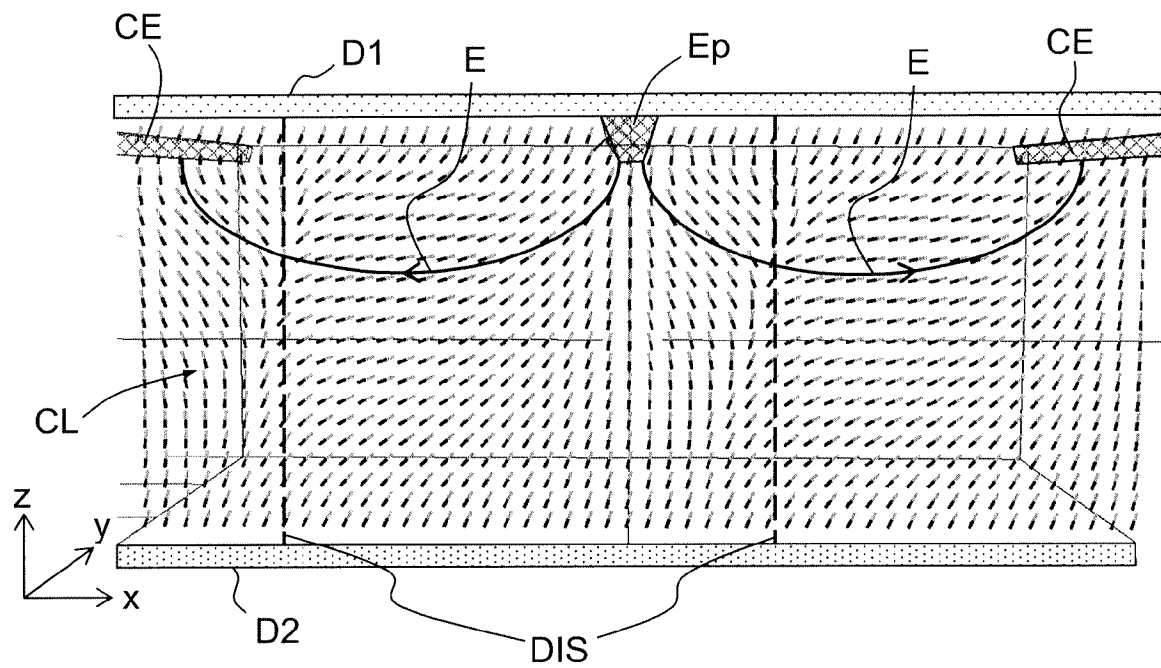


FIG.3

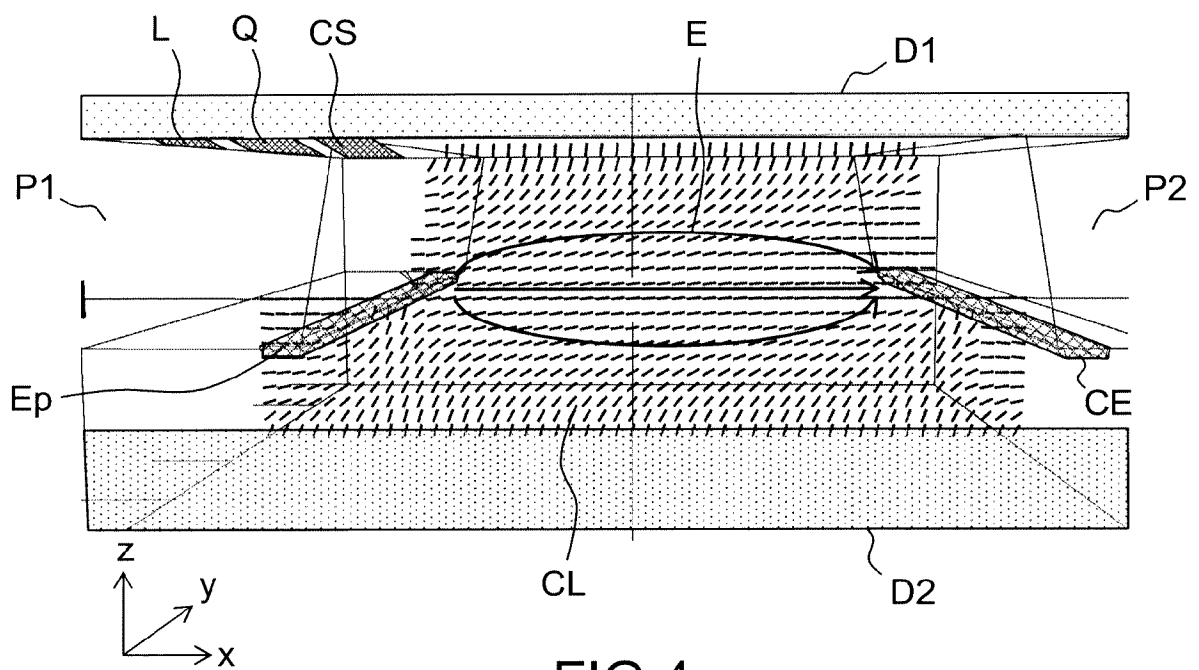


FIG.4

3/6

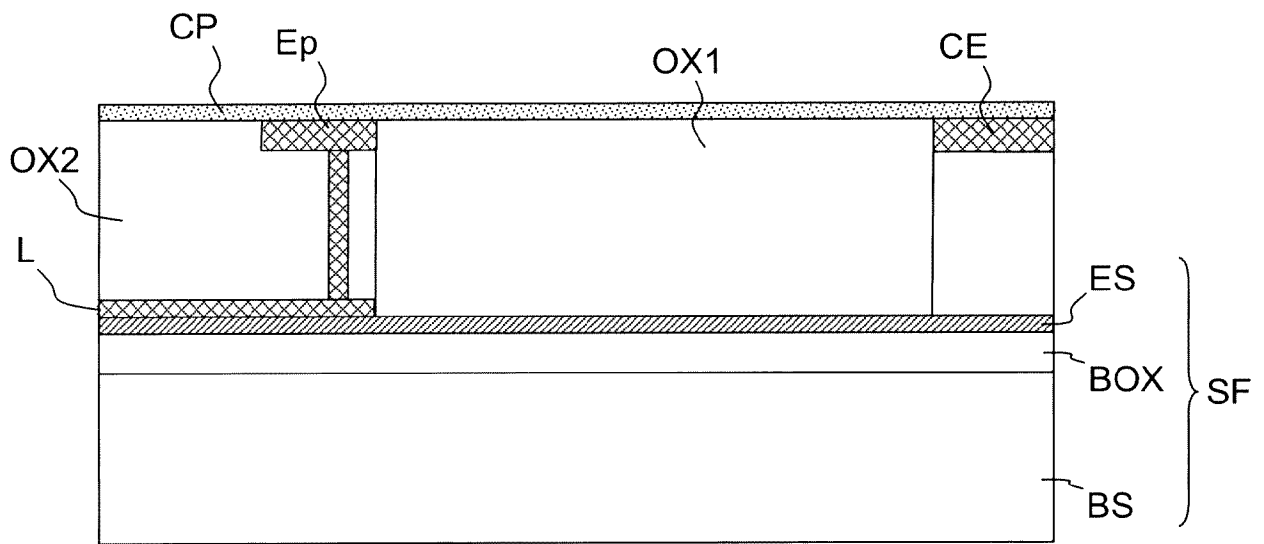


FIG.5A

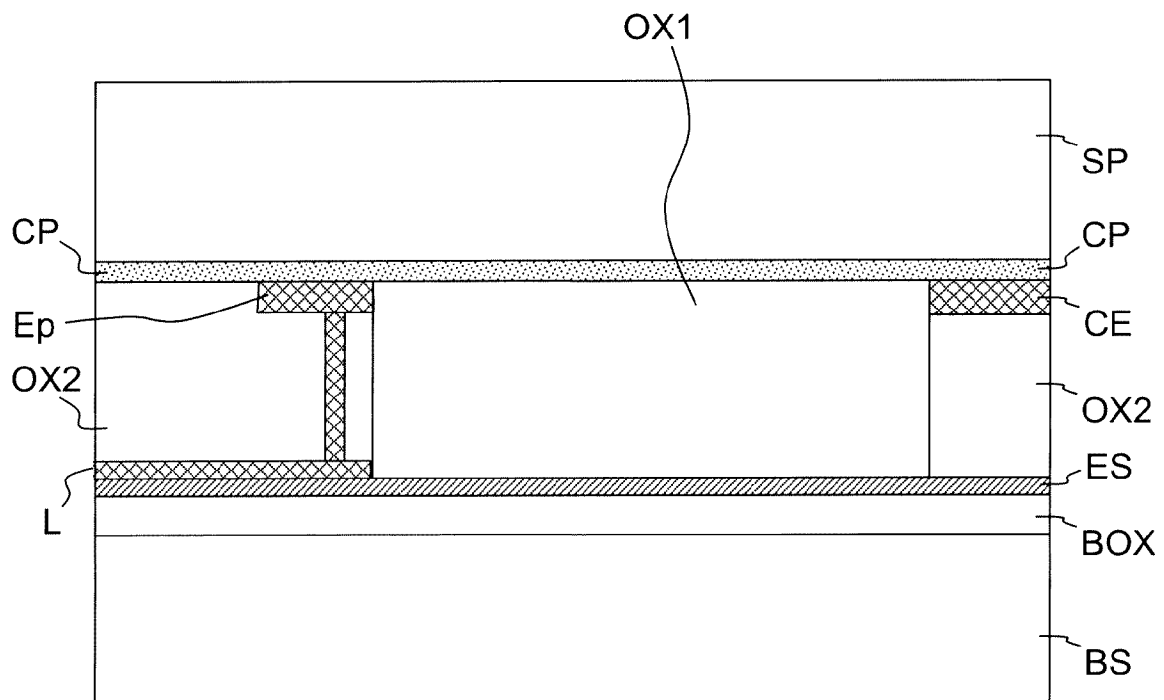


FIG.5B

4/6

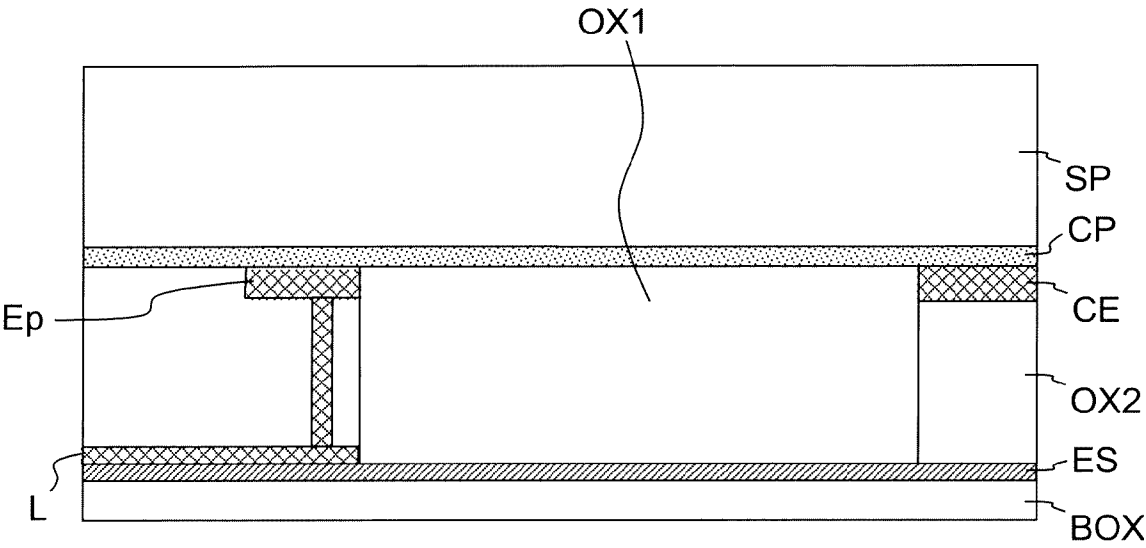


FIG.5C

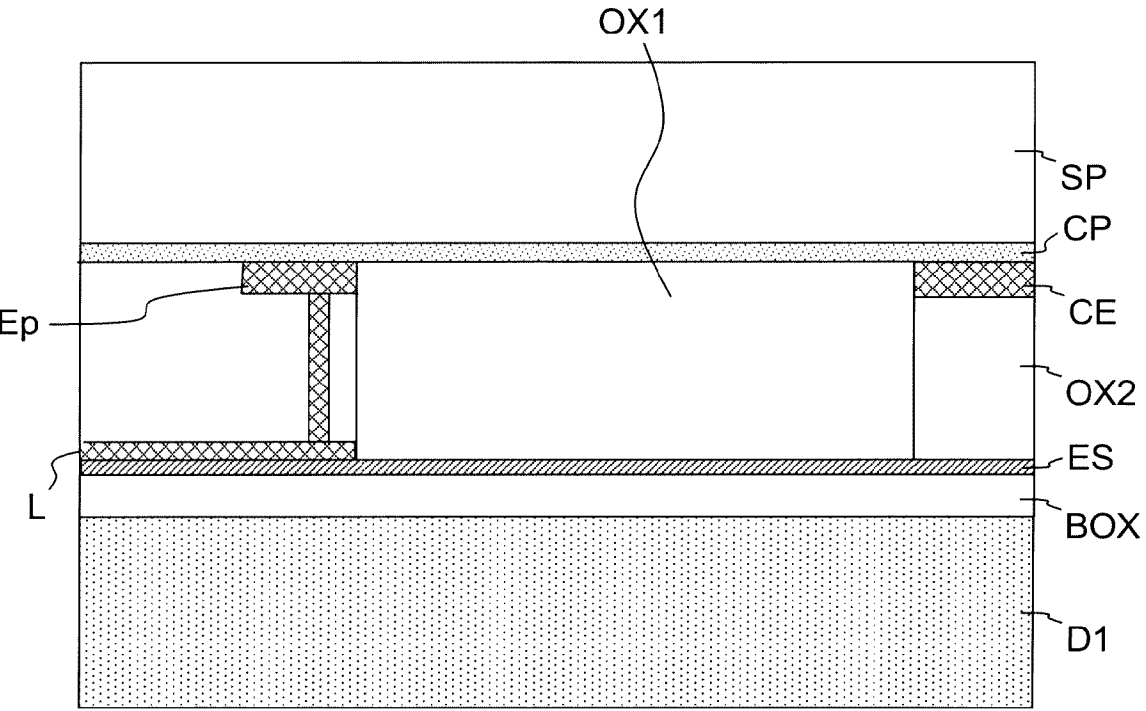


FIG.5D

5/6

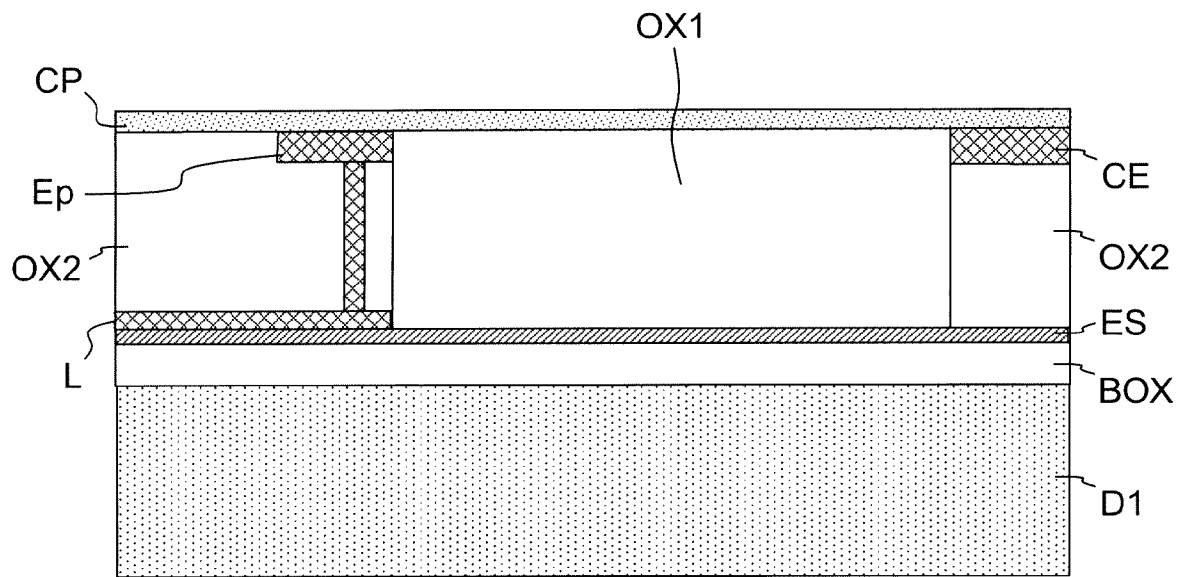


FIG.5E

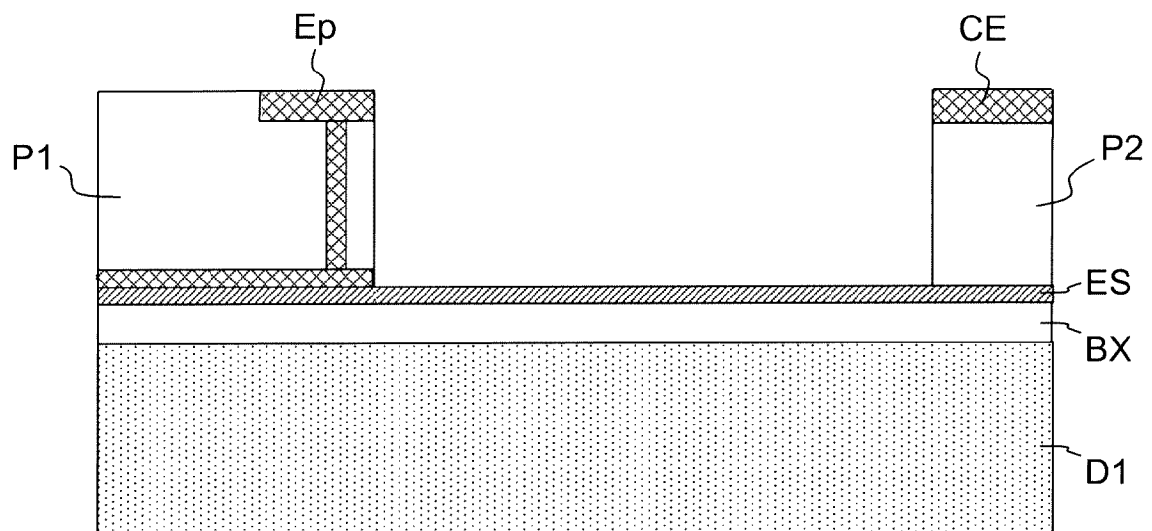


FIG.5F

6/6

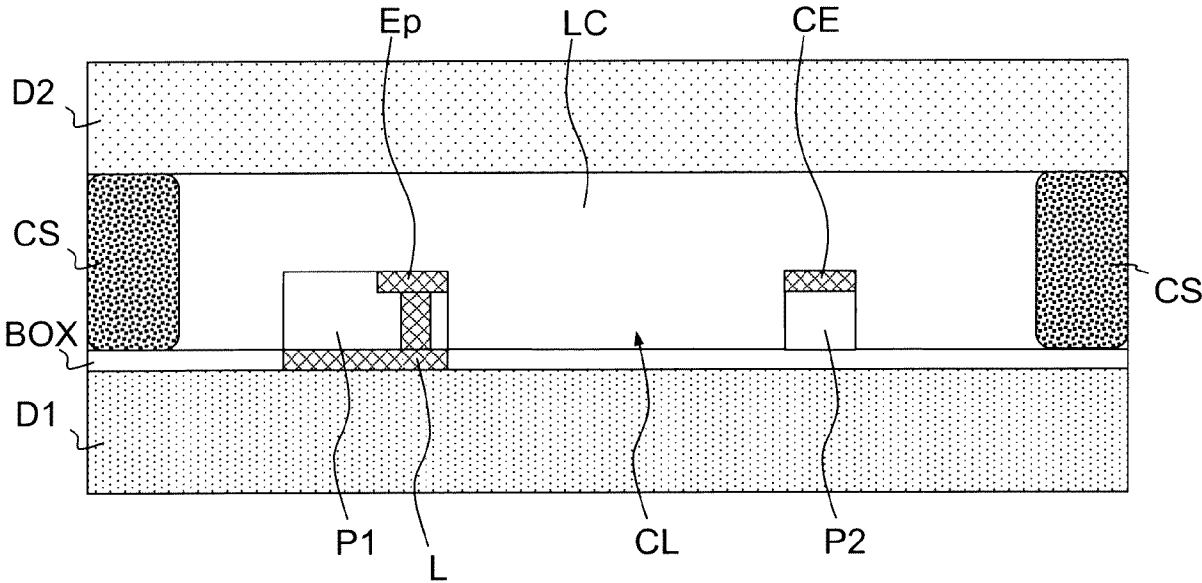


FIG.5G

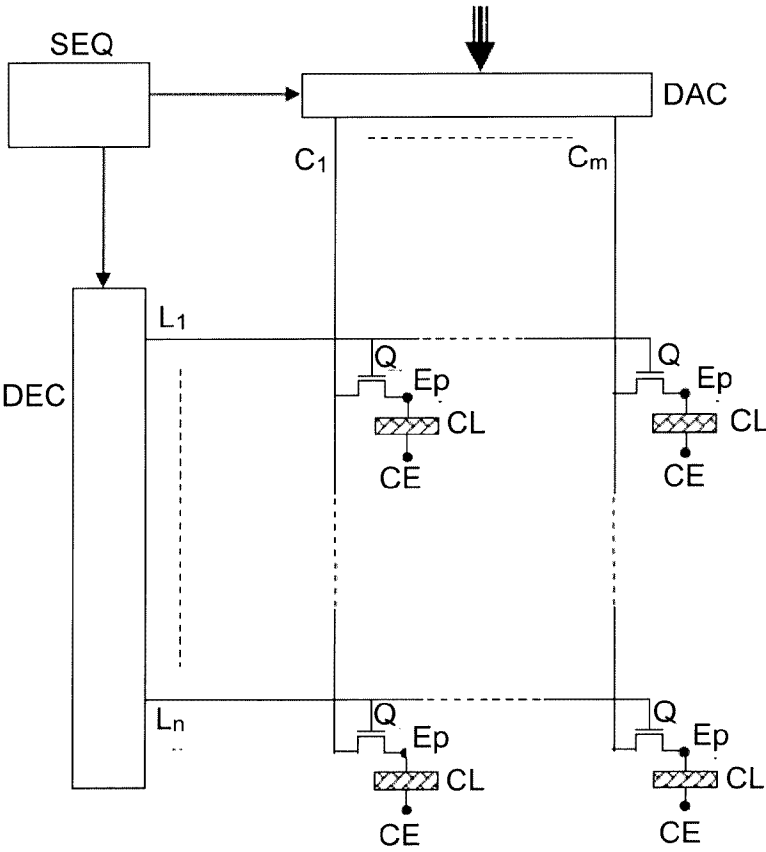


FIG.6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/060095

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02F1/1343

ADD. G02F1/1337 G02F1/137

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02F

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

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2014/117411 A1 (SHENZHEN CHINA STAR OPTOELECT [CN]) 7 August 2014 (2014-08-07) abstract figures 1,2 -----	1-12



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

30 May 2016

Date of mailing of the international search report

08/06/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sittler, Gilles

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/060095

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014117411 A1	07-08-2014	CN 103091930 A WO 2014117411 A1	08-05-2013 07-08-2014

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/060095

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G02F1/1343 ADD. G02F1/1337 G02F1/137		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G02F		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2014/117411 A1 (SHENZHEN CHINA STAR OPTOELECT [CN]) 7 août 2014 (2014-08-07) abrégé figures 1,2 -----	1-12
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
30 mai 2016	08/06/2016	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Sittler, Gilles

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

PCT/EP2016/060095

Formulaire PCT/ISA/210 (annexe familles de brevets) (avril 2005)