

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :

3 131 431

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national :

21 14586

51 Int Cl⁸ : H 01 G 9/20 (2022.01), G 03 F 7/16, H 01 L 21/00,
G 01 J 1/10

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.12.21.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.06.23 Bulletin 23/26.

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) : *TRIXELL Société par actions simpli-
fiée — FR.*

72 Inventeur(s) : COMMERE Bruno, MARECAUX
Simon, WIRTH Thibaut, ZEKHNINI Mohamed et
DUCOURANT Thierry.

73 Titulaire(s) : *TRIXELL Société par actions simplifiée.*

74 Mandataire(s) : *ATOUT PI LAPLACE.*

54 Détecteur photosensible matriciel et procédé de réalisation du détecteur photosensible.

57 L'invention concerne un détecteur photosensible (20)
matriciel organisé en pixels (30) et un procédé de réalisation
du détecteur, le détecteur comprenant :

- un substrat plat (22) ayant plusieurs niveaux d'inter-
connexion reliés entre eux par des vias traversants,
- un photodétecteur (24) regroupant les pixels (30) du
détecteur photosensible, disposé sur une première face ex-
terne du substrat plat (22) et configuré pour assurer une
conversion d'un rayonnement auquel le détecteur est sen-
sible en signal électrique par chacun des pixels (30),
- des microcircuits (26) à semi-conducteurs configurés
pour assurer le pilotage et la lecture de chacun des pixels,
les microcircuits (26) étant disposés en regard de chacun
des pixels (30) ou entre des pixels adjacents perpendiculai-
rement au substrat (22), chaque microcircuits (26) étant por-
té sur un micro-substrat (27) indépendant du substrat plat
(22) du détecteur photosensible, les microcircuits (26) étant
raccordés individuellement au substrat plat (22) à l'un de
ses niveaux d'interconnexion.

Figure pour l'abrégié : Fig. 2b.

FR 3 131 431 - A1



Description

Titre de l'invention : Détecteur photosensible matriciel et procédé de réalisation du détecteur photosensible

- [0001] L'invention concerne un détecteur photosensible et son procédé de réalisation. L'invention trouve une utilité particulière pour la réalisation d'un détecteur photosensible utilisé pour élaborer des images visibles. L'invention n'est pas limitée à la réalisation de ce type de détecteur. L'invention peut être mise en œuvre pour réaliser un détecteur permettant d'élaborer des cartographies de pression ou de température ou encore des représentations en deux dimensions de potentiels chimiques ou électriques. Ces cartographies ou représentations forment des images de grandeurs physiques.
- [0002] L'invention s'applique notamment à la réalisation de détecteurs à matrices actives utilisés par exemple à des fins de détection dans des dispositifs d'imagerie par rayonnements ionisants, par exemple par rayons X ou gamma.
- [0003] Dans un détecteur matriciel, un pixel représente l'élément sensible élémentaire du détecteur. Chaque pixel convertit un phénomène physique auquel il est soumis en un signal électrique. Les signaux électriques issus des différents pixels sont collectés lors d'une phase de lecture de la matrice puis numérisés de manière à pouvoir être traités et stockés pour former une image. Les pixels sont formés d'une zone sensible au phénomène physique et délivrent par exemple un courant de charges électriques. Le phénomène physique peut être un rayonnement électromagnétique véhiculant un flux de photons et par la suite, l'invention sera expliquée au moyen de ce type de rayonnement et le courant de charge est fonction du flux de photons reçu par la zone sensible. La généralisation à tout type de détecteur matriciel sera aisée.
- [0004] Un détecteur d'images matriciel comprend des conducteurs de ligne, chacun reliant les pixels d'une même ligne, et des conducteurs de colonnes, chacun reliant les pixels d'une même colonne. Les conducteurs de colonnes sont connectés à des circuits de conversion généralement disposés sur un bord de la matrice que l'on peut appeler " pied de colonne ". Il est bien entendu que les appellations " lignes " et " colonnes " sont purement conventionnelles et peuvent être inversées.
- [0005] Chaque pixel comprend généralement un composant photosensible, ou photodétecteur, qui peut par exemple être une photodiode, une photorésistance ou un phototransistor. On trouve des matrices photosensibles de grandes dimensions qui peuvent posséder plusieurs millions de pixels organisés en lignes et en colonnes. Chaque pixel comprend en outre un circuit électronique comprenant au moins un actionneur. Le circuit électronique peut comprendre en outre d'autres interrupteurs, des capacités, des résistances, en aval desquels est placé l'actionneur. L'ensemble constitué par le

composant photosensible et le circuit électronique permet de générer des signaux électriques et de les collecter. Le circuit électronique permet généralement la réinitialisation du signal collecté dans chaque pixel après un transfert pour la lecture du pixel. Le rôle de l'actionneur est de transférer ou de recopier, dans un conducteur de colonne, les signaux collectés par le circuit électronique en fonction des informations reçues du composant photosensible. Ce transfert est réalisé lorsque l'actionneur en reçoit l'instruction d'un conducteur de ligne. La sortie de l'actionneur correspond à la sortie du pixel.

- [0006] Les détecteurs de rayonnement X sont soumis à une contrainte de dimension. En effet, on ne dispose pas de moyen simple pour dévier ce type de rayonnement. Le détecteur doit donc posséder les dimensions de l'image à réaliser. Par exemple en radiologie médicale, un détecteur peut dépasser les 400 mm de côté. La réalisation de détecteurs possédant de telles dimensions n'est pas aisée.
- [0007] A ce jour, il existe deux grandes familles de détecteurs matriciels de rayonnement X. La première famille met en œuvre des matériaux comme le silicium à l'état amorphe, polycristallin ou microcristallin. Ces matériaux sont déposés en couches minces sur des substrats comme par exemple en verre ou en polyimide. Une deuxième famille met en œuvre des matériaux monocristallins. La seconde famille permet d'atteindre des performances bien meilleures que la première famille. En revanche, la seconde famille est limitée en dimension du fait des substrats silicium utilisés. Pour réaliser des détecteurs de grande dimension, dans la seconde famille, il est nécessaire de rabouter plusieurs substrats sur lesquels sont réalisées des parties du détecteur.
- [0008] Par ailleurs, dans les deux familles de détecteurs, le taux de rebut peut être important lors de la fabrication du détecteur. En effet, plus le nombre de pixels est important plus le risque qu'au moins un pixel soit défectueux augmente. il est possible d'accepter que quelques pixels isolés soient défectueux au moyen de correction de l'image mais cela reste un palliatif imparfait.
- [0009] Un des paramètres important conduisant à un taux de rebut élevé réside dans la complexité des circuits électroniques associés à chaque pixel. En pratique, plus la complexité des circuits électroniques augmente plus le taux de rebut augmente.
- [0010] L'invention vise à pallier tout ou partie des problèmes cités plus haut en proposant un détecteur photosensible matriciel dans lequel les circuits électroniques assurant au moins les fonctions de pilotage et la lecture de chacun des pixels sont réalisés séparément chacun sur son propre substrat, ce qui rend possible la mise en œuvre de substrats de technologies différentes pour les circuits électroniques et pour le détecteur lui-même. L'invention permet également le test individuel de chaque circuit électronique avant son report sur le substrat du détecteur. Ceci permet une amélioration de la fiabilité des détecteurs.

- [0011] A cet effet, l'invention a pour objet un détecteur photosensible matriciel organisé en pixels comprenant :
- un substrat plat ayant plusieurs niveaux d'interconnexion reliés entre eux par des vias traversants,
 - un photodétecteur regroupant les pixels du détecteur photosensible, disposé sur une première face externe du substrat plat et configuré pour assurer une conversion d'un rayonnement auquel le détecteur est sensible en signal électrique par chacun des pixels,
 - des microcircuits à semi-conducteurs configurés pour assurer le pilotage et la lecture de chacun des pixels, les microcircuits étant disposés en regard de chacun des pixels ou entre des pixels adjacents perpendiculairement au substrat, chaque micro-circuit étant porté sur un micro-substrat indépendant du substrat plat du détecteur photosensible, les microcircuits étant raccordés individuellement au substrat plat à l'un de ses niveaux d'interconnexion.
- [0012] Avantageusement, le substrat plat possède une seconde face externe et des plots de raccordement disposés sur la seconde face externe et raccordés aux niveaux d'interconnexion, les microcircuits étant disposés sur la seconde face externe et sont raccordés aux plots de raccordement.
- [0013] Avantageusement, le substrat plat possède des plots de raccordement disposés sur la première face externe et raccordés aux niveaux d'interconnexion, les plots de raccordement de la première face externe formant chacun une électrode individuelle d'un des pixels.
- [0014] Le photodétecteur peut avoir la forme d'une couche continue disposée sur les plots de raccordement de la première face externe. Alternativement, le photodétecteur est formé de composants de photo-détection discrets formant chacun un des pixels.
- [0015] Les composants de photo-détection peuvent être noyés dans le substrat plat.
- [0016] Les microcircuits peuvent être disposés dans le substrat plat.
- [0017] Les microcircuits peuvent être communs à plusieurs pixels adjacents.
- [0018] L'invention a également pour objet un procédé de réalisation d'un détecteur photosensible, consistant à :
- réaliser un substrat plat ayant plusieurs niveaux d'interconnexion reliés entre eux par des vias traversants,
 - réaliser des microcircuits à semi-conducteurs configurés pour assurer le pilotage et la lecture de chacun des pixels, chacun sur un micro-substrat indépendant du substrat plat du détecteur photosensible,
 - reporter chaque microcircuit sur le substrat plat en le raccordant individuellement à l'un des niveaux d'interconnexion.
- [0019] Avantageusement, le procédé consiste à tester les microcircuits avant de les reporter sur le substrat plat du détecteur photosensible.

- [0020] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description détaillée d'un mode de réalisation donné à titre d'exemple, description illustrée par le dessin joint dans lequel :
- [0021] la [Fig.1] représente schématiquement plusieurs niveaux d'interconnexion d'un substrat d'un détecteur photosensible conforme à l'invention ;
- [0022] les figures 2a et 2b représentent une première variante d'un premier mode de réalisation d'un détecteur photosensible conforme à l'invention ;
- [0023] les figures 3a et 3b représentent une seconde variante du premier mode de réalisation ;
- [0024] les figures 4a et 4b représentent deux variantes d'un second mode de réalisation d'un détecteur photosensible conforme à l'invention ;
- [0025] les figures 5a et 5b représentent une variante dans laquelle un microcircuit est commun à plusieurs pixels contigus du détecteur ;
- [0026] les figures 6a et 6b représentent une variante dans laquelle un microcircuit est intégré dans un substrat d'un détecteur photosensible conforme à l'invention.
- [0027] Par souci de clarté, les mêmes éléments porteront les mêmes repères dans les différentes figures.
- [0028] L'invention concerne un détecteur matriciel photosensible apte à détecter un rayonnement lumineux atteignant une zone de détection. Le détecteur photosensible comprend une matrice d'éléments photosensibles ou pixels de détection répartis sur la zone de détection. La [Fig.1] représente schématiquement un substrat 10 d'un détecteur photosensible conforme à l'invention. Le substrat 10 est en forme de plaque ayant au moins la surface de la zone de détection. Les éléments photosensibles seront décrits ultérieurement. Le substrat remplit deux fonctions principales : le support mécanique et le raccordement des éléments photosensibles. Pour assurer la fonction de support mécanique, le substrat 10 est par exemple réalisé à partir d'une plaque de verre, de matériau organique, de tout autre matériau utilisé pour réaliser des circuits imprimés... Tout autre type de matériau peut être mis en œuvre dans le cadre de l'invention. Le matériau retenu pourra par exemple permettre une flexibilité du détecteur. Les éléments photosensibles nécessitent généralement au moins deux types de raccordement, l'un pour le pilotage et l'autre pour la lecture des éléments photosensibles. D'autres types de raccordement peuvent également être mis en œuvre, comme par exemple des alimentations. Les éléments photosensibles sont ainsi raccordés au travers du substrat à des modules de pilotage et des circuits de lecture pouvant être situés en dehors de la zone de détection. Par exemple lorsque la zone de détection est de forme rectangulaire, les modules de pilotage peuvent être situés sur un côté de la forme rectangulaire et les circuits de lecture sur un côté adjacent. Pour assurer la fonction de raccordement des éléments photosensibles, le substrat peut alors

comporter des conducteurs de ligne permettant le raccordement des modules de pilotage aux éléments photosensibles et des conducteurs de colonne permettant le raccordement des circuits de lecture aux éléments photosensibles. Il est bien entendu que les appellations « lignes » et « colonnes » sont purement conventionnelles et peuvent être inversées. Dans le substrat 10, les conducteurs de ligne et les conducteurs de colonne doivent se croiser sans être au contact. A cet effet, le substrat 10 comprend deux niveaux d'interconnexion, l'un comprenant les conducteurs de ligne 12 et l'autre les conducteurs de colonne 14. les éléments photosensibles sont disposés sur l'une des faces du substrat 10 et des vias traversant 16 assurent les connexions entre les conducteurs 12 et/ou 14 et les éléments photosensibles. En pratique le substrat 10 peut comprendre plus de deux niveaux d'interconnexion, en fonction des besoins de raccordement des différents éléments photosensibles. Les niveaux d'interconnexion peuvent être internes ou disposés sur des faces externes du substrat 10.

[0029] Le substrat 10 représenté sur la [Fig.1] ne comprend qu'un seul conducteur de ligne et un seul conducteur de colonne associé à chaque élément photosensible. il est bien entendu possible de prévoir, associé à chaque élément photosensible plusieurs conducteurs de ligne et/ou plusieurs conducteurs de colonne.

[0030] Les figures 2a et 2b illustrent, en coupe partielle, dans un plan perpendiculaire au plan du substrat, une première variante d'un premier mode de réalisation d'un détecteur photosensible 20. La [Fig.2a] représente à distance trois composants du détecteur 20, un substrat 22 tel qu'illustré sur la [Fig.1], un photodétecteur 24 et un microcircuit 26 porté par un micro-substrat 27 indépendant du substrat 22. On entend par indépendant, le fait de pouvoir être fabriqué séparément. Le photodétecteur 24 est disposé en regard d'une première face 22a du substrat 22 et le microcircuit 26 est disposé en regard d'une seconde face 22b du substrat 22. La seconde face 22b est opposée à la première face 22a. Les trois composants du détecteur 20 peuvent être réalisés séparément et assemblés ensuite pour former le détecteur photosensible 20 tel que représenté sur la [Fig.2b] où le photodétecteur 24 est disposé sur la face 22a et où le microcircuit 26 est disposé sur la face 22b.

[0031] Le substrat 22 comprend sur sa face 22a des plots conducteurs 30 et sur sa face 22b des plots conducteurs 32. Les plots conducteurs 30 et 32 sont raccordés aux différents niveaux d'interconnexion, non représentés sur les figures 2a et 2b. seuls quelques vias 16 sont représentés à titre d'exemple. Les niveaux d'interconnexion peuvent être disposés sur des couches internes ou sur les faces externes 22a et 22b du substrat 22. Le microcircuit 26 est per exemple raccordé aux niveaux d'interconnexion du substrat 22 au travers de plots 28 présents sur le micro-substrat 27 et venant au contact des plots 32 du substrat 22.

[0032] Sur les figures 2a et 2b, un seul microcircuit 26 est représenté. Il est ici commun à

deux éléments photosensibles adjacents et donc raccordé à deux plots 30. Alternativement, un microcircuit 26 peut n'être associé qu'à un seul élément photosensible ou à plus de deux éléments photosensibles, quatre comme illustré plus loin à l'aide des figures 5a et 5b. Le nombre de microcircuits est proportionnel au nombre d'éléments photosensibles. Les microcircuits comprennent des semi-conducteurs et sont configurés pour assurer au moins le pilotage et la lecture de chacun des éléments photosensibles. Comme indiqué en introduction, le fonctionnement d'un élément photosensible nécessite généralement au moins un interrupteur électronique permettant la lecture de l'élément photosensible en transférant, lorsqu'il est fermé, le signal accumulé par exemple dans une photodiode sous forme de charge, vers un conducteur de colonne. La commande de l'interrupteur se fait au moyen d'un conducteur de ligne. Dans l'art antérieur l'interrupteur et la photodiode sont réalisés par des techniques de microélectronique directement sur le substrat. Certains éléments photosensibles mettent en œuvre des circuits plus complexes, par exemple avec trois transistors. On retrouve un transistor remplissant la fonction d'interrupteur de lecture et on y ajoute un transistor suiveur disposé entre la photodiode et le transistor de lecture ainsi qu'un transistor de remise à zéro permettant d'appliquer à la photodiode à un potentiel fixe. La commande du transistor de remise à zéro nécessite son raccordement à un conducteur de ligne particulier. Dans l'art antérieur où les transistors sont directement réalisés sur le substrat du détecteur, il n'est guère possible de réaliser des circuits de commande plus complexes car la nécessité d'associer un circuit à chaque photodiode présente un risque de fiabilité pour un détecteur possédant plusieurs millions de pixels. La réalisation de circuits complexes a notamment été envisagée dans des détecteurs réalisés en technologie dite CMOS ou IGZO. La technologie CMOS sur silicium met en œuvre des transistors à effet de champ du type métal / oxyde / semi-conducteur en associant des composants complémentaires de type n et p. Cette technologie est connue par son acronyme anglo-saxon CMOS pour : « Complementary Metal Oxide Semiconductor ». La technologie IGZO met en œuvre des semi-conducteurs à bas d'oxyde d'Indium-Gallium-Zinc et est connue par son acronyme anglo-saxon IGZO pour : « Indium Gallium Zinc Oxide ».

[0033] L'invention propose de dissocier l'élément photosensible lui-même, par exemple formé par une photodiode, un photoconducteur...et le circuit qui lui est associé et réalisant à part le circuit sur son propre substrat indépendant du substrat du détecteur. Ce circuit étant de petite dimension, par exemple de l'ordre de quelques μm , il est appelé microcircuit. La dimension des microcircuits est à regarder en rapport à celle du détecteur lui-même. Le substrat 22 du détecteur peut avoir, quant à lui, une surface voisine de celle du détecteur complet. Dans une application en radiologie X, un format classique de détecteur est de 430mm x 430mm. Les microcircuits 26, étant réalisés sé-

parément du substrat principal du détecteur, peuvent être testés individuellement avant d'être reportés sur le substrat 22. Ainsi, ne sont reportés sur le substrat du détecteur que les microcircuits ayant passé avec succès l'étape de test individuel. La fiabilité améliorée des microcircuits permet d'envisager des circuits beaucoup plus complexes que ceux évoqués plus haut à un ou trois transistors. Il est notamment possible de mettre en œuvre des circuits intégrant des fonctions complexes de comptage, de numérisation... Un autre avantage à réaliser séparément le substrat du détecteur et les microcircuits est de permettre l'emploi de procédés de fabrication différents. Il est par exemple possible de réaliser les microcircuits mettant en œuvre des matériaux semi-conducteurs performants dont les températures d'obtention sont très nettement supérieures, typiquement dans la gamme des 500 à 1000 °C. A titre d'exemple, les technologies CMOS, déjà évoquées plus haut, permettent de réaliser des circuits complexes et performants mais nécessitent des températures de réalisation supérieures aux limites supportables par les substrats à base de verre ou de matériaux organiques.

[0034] Dans l'exemple représenté sur les figures 2a et 2b, le substrat 22 comprend sur sa face 22a des plots conducteurs 30 dont la surface de chacun forme la surface d'un élément photosensible. Plus précisément, les plots 30 forment une électrode individuelle de chacun des éléments photosensibles. Autrement dit, le détecteur comprend autant d'éléments photosensibles que de plots 30. Le détecteur photosensible 20 est un détecteur matriciel organisé en pixels. Dans cet exemple, la surface de chaque plot 30 forme la surface photosensible d'un pixel. Le photodétecteur 24 regroupe les pixels du détecteur photosensible. Les microcircuits 26 sont disposés en regard de chacun des pixels perpendiculairement au substrat 22, et donc de ces faces externes 22a et 22b. Dans la pratique, le substrat 22 peut être souple et posséder une légère courbure. La perpendicularité est alors définie localement au niveau de chaque pixel.

[0035] En pratique pour un détecteur utilisé en radiologie X, les éléments photosensibles ont par exemple chacun une surface carrée de l'ordre de 50 à 200µm de côté selon les applications envisagées. Les plots 30 ont donc cette forme carrée et sont espacés de 5 à 10µm. Il est avantageux de réduire au maximum la distance séparant les éléments photosensibles afin de maximiser la surface occupée par les éléments photosensibles. Ceci permet de maximiser la sensibilité du détecteur 20. Dans ce mode de réalisation, il est avantageux de ne pas utiliser la face externe 22a pour y faire cheminer des conducteurs de ligne ou de colonne entre les plots 30. Les conducteurs de lignes et de colonne cheminent alors sur la face 22b et dans des couches internes au substrat 22.

[0036] Dans l'exemple représenté sur les figures 2a et 2b, le photodétecteur 24 comprend une couche assurant la conversion directe du rayonnement incident que l'on souhaite détecter. En radiologie X, il est possible de mettre en œuvre des matériaux à base de sélénium, de tellurure de cadmium (CdTe), des matériaux de la famille des pé-

rovsckites... pour assurer la conversion directe des photons X en charges électriques se diffusant sur les électrodes formées par les plots 30. Ces matériaux peuvent être déposés sous forme d'une couche 34 recouvrant la face 22a. La couche 34 peut être soit continue, si la diffusion latérale est suffisamment faible, soit délimitée en pixels. Le dépôt d'une couche 34 continue présente l'avantage d'éviter de se préoccuper du positionnement latéral de la couche en regard de chacun des plots 30. La couche 34 peut être réalisée directement sur le substrat 22 si le procédé de dépôt de la couche 34 est compatible avec le substrat 22, notamment en termes de température. Alternativement, il est possible de réaliser la couche 34 sur un substrat dédié 36 formant une seconde électrode pour le photodétecteur 24. L'ensemble formé par le substrat 36 et la couche 34 formant le photodétecteur est ensuite reporté sur le substrat 22.

[0037] Pour faciliter le positionnement, sur le substrat 22, d'un photodétecteur à couche discontinue, c'est-à-dire délimitée en pixels ou en groupe de pixels, il est possible réaliser sur le substrat 36 la couche discontinue et des électrodes formant la surface de détection de chacun des pixels. Ces électrodes sont ensuite mises en contact avec des plots 30 de plus petite surface que celle des électrodes du photodétecteur. La tolérance de positionnement est d'autant plus large que les plots 30 sont petits.

[0038] Dans la première variante, la détection est dite « directe ». Autrement dit, le rayonnement incident devant être détecté par le détecteur est directement converti en un signal électrique dans le photodétecteur 24. Une seconde variante, dite à détection « indirecte » et illustrée sur les figures 3a et 3b représente un détecteur photosensible 40. On y retrouve le substrat 22 et les microcircuits 26 disposés en regard d'une seconde face 22b du substrat 22. Le photodétecteur 24 de la première variante est remplacé par un photodétecteur 44 formé d'un scintillateur 46 et d'un composant de photo-détection, comme par exemple une photodiode 48. Comme pour la première variante, la [Fig.3a] représente le substrat 22, un microcircuit 26 et un photodétecteur 44 à distance les uns des autres. La [Fig.3b], représente ces mêmes éléments assemblés.

[0039] Le rayonnement incident traverse le scintillateur 46 en convertissant ses photons en d'autres photons dans une bande de longueur d'onde adaptée à la photodiode 48. Cette seconde variante est bien adaptée à la détection de rayonnement X où le scintillateur convertit les photons X en photons visibles. Différents matériaux peuvent être mis en œuvre pour réaliser le scintillateur, comme par exemple l'iodure de césium dopé au thallium, l'oxysulfure de gadolinium connu sous les abréviations GOS ou GADDOX ...

[0040] Le composant de photo-détection est ici une photodiode 48. Alternativement, il est possible de mettre en œuvre tout type de composant apte à convertir des photons émis par le scintillateur en un signal électrique. De façon générale, une photodiode

comprend deux électrodes séparées par une couche photodéetectrice apte à transformer les photons qu'elle reçoit en signal électrique. Comme précédemment, une des électrodes peut être formée par un plot 30 appartenant au substrat 22. La photodiode 48 comprend également une électrode 50 et une couche photodéetectrice 52. L'électrode 50 est ici transparente aux photons émis par le scintillateur 46. L'électrode 50 est par exemple réalisée en oxyde d'étain, en oxyde d'indium-étain... Ce type d'électrode pouvant avoir une résistivité importante, il est possible d'ajouter un maillage métallique 54 afin de réduire l'impédance de la surface de l'électrode 50.

[0041] La [Fig.3a] représente une électrode 50 et une couche photodéetectrice 52 continues. Comme pour la première variante, il est possible de réaliser l'électrode 50 et la couche photodéetectrice 52 de façon discontinue, c'est-à-dire délimitée en pixels ou en groupe de pixels. Comme précédemment, en cas de couches discontinues, l'électrode 30 peut être réalisée directement sur la couche photodéetectrice 52. L'ensemble formé par le scintillateur 46 et la photodiode 48 comprenant ces deux électrodes 30 et 50 est rapporté sur des plots de la face 22a du substrat 22.

[0042] La [Fig.3b] représente le substrat 22, un microcircuit 26 et un photodéetecteur 44 assemblés. En complément des circuits permettant le pilotage et la lecture du pixel qui lui est associé, de façon optionnelle, le microcircuit 26 peut comprendre une diode électroluminescente 56 permettant d'émettre un flash lumineux en direction de la photodiode 48 afin de la saturer. Ce type d'éclairage peut intervenir après la lecture de la photodiode 48 afin d'éviter toute rémanence. Lorsqu'une diode électroluminescente 56 est mise en œuvre, l'électrode 30 et le substrat 22 sont au moins en partie transparente au rayonnement lumineux émis par la diode électroluminescente 56. D'autres composants tels que par exemple des capteurs thermiques ou mécaniques peuvent également être reportés en complément ou à la place de la diode électroluminescente 56.

[0043] Toujours de façon optionnelle, le détecteur 40 peut comprendre un second scintillateur 58 recouvrant les microcircuits 26 sur toute la surface de détection du détecteur 40. Le scintillateur 58 permet de récupérer des photons X n'ayant pas été convertis dans le scintillateur 46 pour en renvoyer l'énergie sous forme de photons visibles vers la photodiode 48, améliorant ainsi la sensibilité du détecteur ou permettant de réaliser des images en mode double énergie.

[0044] Les figures 4a et 4b illustrent deux variantes d'un second mode de réalisation d'un détecteur photosensible selon l'invention. Dans ces deux variantes, les microcircuits sont disposés dans le substrat. Plus précisément, les microcircuits, chacun réalisés sur son substrat indépendant, sont reportés dans le substrat du détecteur.

[0045] La [Fig.4a] représente en coupe le détecteur 60 comprenant un substrat 62, un photodéetecteur 64 et plusieurs microcircuits 66 dont un apparait sur la [Fig.4a]. Le substrat

62 comprend par exemple deux niveaux d'interconnexion 68 et 70 connectés par des vias 72 dont un apparaît sur la [Fig.4a]. Les niveaux d'interconnexion 68 et 70 sont noyés dans un matériau diélectrique ajouré en partie pour laisser apparaître un plot 74 dans le niveau d'interconnexion 68. Le plot 72 remplit la même fonction que le plot 30 apparaissant sur les figures 2a et 2b. Le photodétecteur 64 est en contact avec le plot 74. La surface de chaque plot 74 forme la surface photosensible d'un pixel. Les microcircuits 66 sont disposés entre deux pixels adjacents.

[0046] La [Fig.4b] représente en coupe un détecteur 80 dans lequel on retrouve le substrat 62 et ses deux niveaux d'interconnexion 68 et 70 connectés par des vias 72. On retrouve le plot 74 dans le niveau d'interconnexion 68 et formant la surface de détection d'un pixel du détecteur 80. Dans le détecteur 60 illustré sur la [Fig.4a], le microcircuit 66 est situé sur une face du niveau d'interconnexion 68 et dans le détecteur 80, illustré sur la [Fig.4b], le microcircuit 66 est situé sur une face opposée du niveau d'interconnexion 68. Sur la [Fig.4b], Les microcircuits 66 sont également disposés entre deux pixels adjacents. La disposition du détecteur 80 permet, en cas de besoin de disposer les microcircuits 66 en partie en regard des plots 74 et donc en regard des pixels du détecteur 80. En complément, en cas de besoin, il est possible de disposer un plot 82 sur la face 32b du substrat 62. Le plot 82 est connecté au niveau d'interconnexion 70 au travers d'un via 84. Le plot 82 remplit la même fonction que le plot 32 et permet d'y raccorder un autre microcircuit si le détecteur le nécessite.

[0047] Plus généralement, les détecteurs 60 et 80 peuvent être équipés de scintillateurs 46 et d'un composant de photo-détection comme par exemple une photodiode 48 à la place du photodétecteur 64. Associés à chaque pixel, les détecteurs 60 et 80 peuvent comprendre un ou plusieurs microcircuits disposés à l'intérieur du substrat 62 du détecteur et/ou sur l'une de ses faces externes.

[0048] Les figures 5a et 5b représentent en vue de face pour la [Fig.5a] et en coupe pour la [Fig.5b], une variante d'un détecteur 90 selon l'invention comprenant un substrat 92 tel qu'illustré sur la [Fig.1], un microcircuit 26, une diode électroluminescente 56, qui est ici réalisée à part du microcircuit 26, ainsi qu'un photodétecteur réalisé en deux parties : un scintillateur 46 et une matrice de composants de photo-détection comme par exemple une matrice de photodiode 94. La matrice de composants de photo-détection peut être réalisée sur un substrat distinct 96 puis rapportée sur le substrat d'interconnexion 92 ou peut faire partie du substrat d'interconnexion. Comme précédemment, chaque photodiode 94 comprend deux électrodes 96 et 98 raccordées chacune à un des niveaux d'interconnexion au moyen de vias. Les photodiodes 94 peuvent par exemple être réalisées en silicium amorphe ou avec un matériau semi-conducteur organique.

[0049] D'autres composants, tels que par exemple des capteurs thermiques ou mécaniques

peuvent également être reportés en complément ou à la place de la diode électroluminescente 56. Ces autres composants peuvent être associés individuellement à chaque pixel ou à chaque groupe de pixels, par exemple à quatre pixels comme les micro-circuits 26.

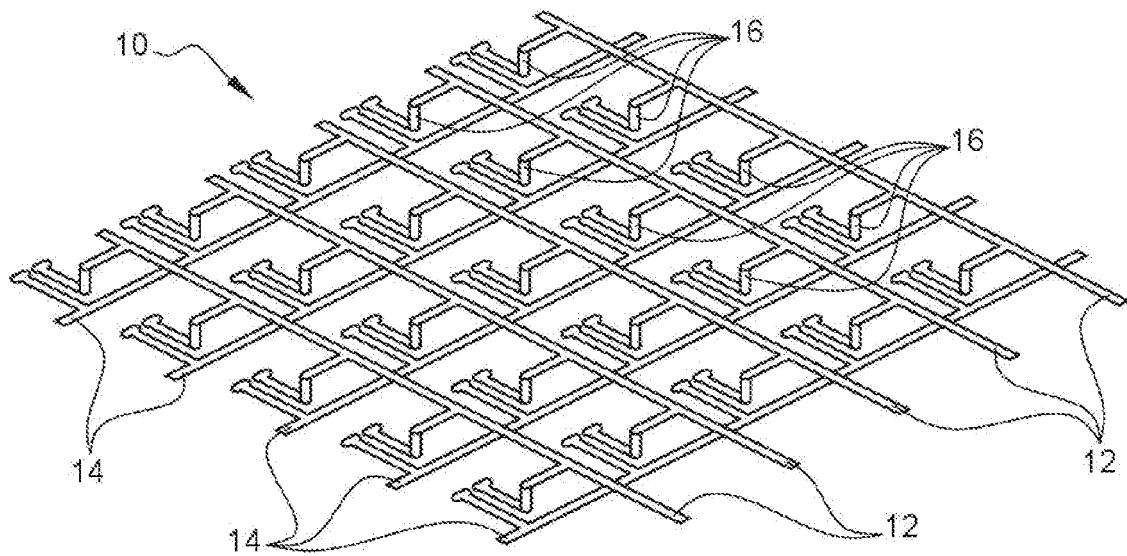
- [0050] La mise en commun d'un microcircuit 26 commun à plusieurs pixels contigus peut bien entendu s'appliquer à tous les modes de réalisation de l'invention.
- [0051] Les figures 6a et 6b représentent en vue de face pour la [Fig.6a] et en coupe pour la [Fig.6b], une variante d'un détecteur 100 selon l'invention comprenant un substrat 102 tel qu'illustré sur la [Fig.1], plusieurs microcircuits 26 dont un est visible, une matrice de photodiodes 104 et un scintillateur 46. A la différence du détecteur 90, dans le détecteur 100, les photodiodes 104, ou plus généralement les composants de photo-détection, sont intégrées dans le substrat 102.
- [0052] Dans le détecteur 100 représenté sur les figures 6a, 6b le microcircuit 26 n'est associé qu'à une seule photodiode 104. Il est également possible de mutualiser le microcircuit 26 en l'associant à plusieurs photodiodes 104 adjacentes.
- [0053] La matrice de composants de photo-détection est réalisée de façon discontinue dans le détecteur 90 représenté sur les figures 5a, 5b et dans le détecteur 100 représenté sur les figures 6a, 6b. Plusieurs procédés de fabrication des composants de photo-détection peuvent être mis en œuvre. A titre d'exemple on peut citer des procédés de photolithographie habituellement utilisés pour les matrices de composants de photo-détection en silicium amorphe sur substrat à base de verre. Il est également possible de mettre en œuvre des techniques d'impression d'encres conductrices et de matériaux semi-conducteurs organiques.

Revendications

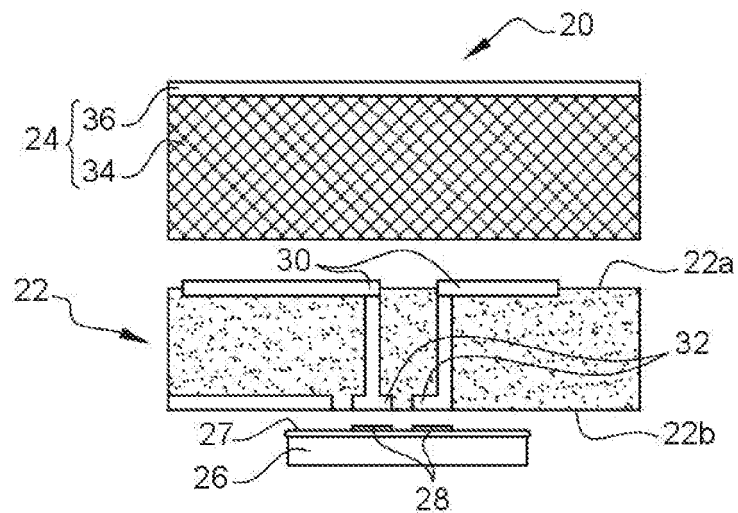
- [Revendication 1] Détecteur photosensible matriciel organisé en pixels (30, 74 ; 94 ; 104) comprenant :
- un substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102) ayant plusieurs niveaux d'interconnexion (12, 14) reliés entre eux par des vias traversants (16 ; 72 ; 84),
 - un photodétecteur (24 ; 44 ; 64 ; 94 ; 104) regroupant les pixels (30, 74 ; 94 ; 104) du détecteur photosensible, disposé sur une première face externe (22a) du substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102) et configuré pour assurer une conversion d'un rayonnement auquel le détecteur est sensible en signal électrique par chacun des pixels (30, 74 ; 94 ; 104),
 - des microcircuits (26 ; 66) à semi-conducteurs configurés pour assurer le pilotage et la lecture de chacun des pixels, les microcircuits (26 ; 66) étant disposés en regard de chacun des pixels (30, 94 ; 104) ou entre des pixels (74) adjacents perpendiculairement au substrat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102), chaque microcircuits (26 ; 66) étant porté sur un micro-substrat (27) indépendant du substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92) du détecteur photosensible, les microcircuits (26 ; 66) étant raccordés individuellement au substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92) à l'un de ses niveaux d'interconnexion.
- [Revendication 2] Détecteur photosensible selon la revendication 1, dans lequel le substrat plat (10 ; 22 ; 92) possède une seconde face externe (22b) et des plots de raccordement (32) disposés sur la seconde face externe (22b) et raccordés aux niveaux d'interconnexion (12, 14), et dans lequel, les microcircuits (26) sont disposés sur la seconde face externe (22b) et sont raccordés aux plots de raccordement (32).
- [Revendication 3] Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le substrat plat (10 ; 22 ; 92 ; 102) possède des plots de raccordement (30 ; 74) disposés sur la première face externe (22a) et raccordés aux niveaux d'interconnexion (12, 14), les plots de raccordement (30 ; 74) de la première face externe (22a) formant chacun une électrode individuelle d'un des pixels.
- [Revendication 4] Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le photodétecteur (24 ; 44 ; 64) a la forme d'une couche continue disposée sur les plots de raccordement (30 ; 74) de la première face externe (22a).
- [Revendication 5] Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le photodétecteur est formé de composants de photo-détection (94 ; 104) discrets formant chacun un des pixels.
- [Revendication 6] Dispositif selon la revendication 4, dans lequel les composants de

- photo-détection (104) sont noyés dans le substrat plat (102).
- [Revendication 7] Détecteur photosensible selon la revendication 1, dans lequel les microcircuits (66) sont disposés dans le substrat plat (62).
- [Revendication 8] Dispositif selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les microcircuits (26 ; 66) sont communs à plusieurs pixels adjacents.
- [Revendication 9] Procédé de réalisation d'un détecteur photosensible selon l'une des revendications précédentes, comprenant les étapes suivantes :
- réalisation d'un substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92) ayant plusieurs niveaux d'interconnexion (12, 14) reliés entre eux par des vias traversants (16 ; 72 ; 84),
 - réalisation de microcircuits (26 ; 66) à semi-conducteurs configurés pour assurer le pilotage et la lecture de chacun des pixels, chacun sur un micro-substrat indépendant du substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102) du détecteur photosensible,
 - report de chaque microcircuit (26 ; 66) sur le substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102) en le raccordant individuellement à l'un des niveaux d'interconnexion (12, 14).
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, comprenant en outre une étape de test des microcircuits (26 ; 66) avant de les reporter sur le substrat plat (10 ; 22 ; 62 ; 92 ; 102) du détecteur photosensible.

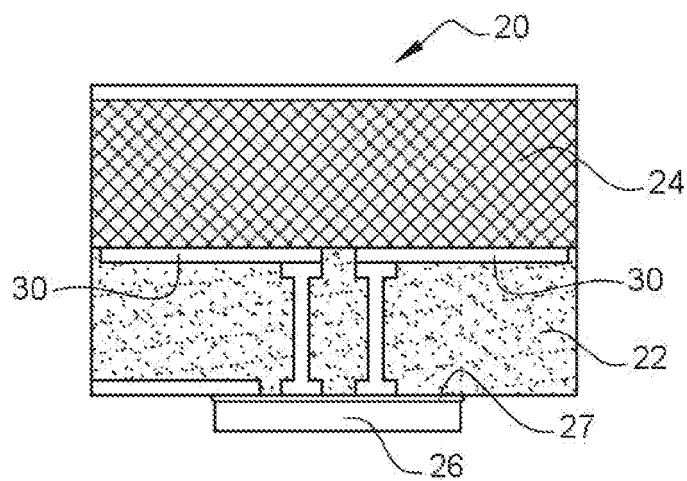
[Fig. 1]

Fig. 1

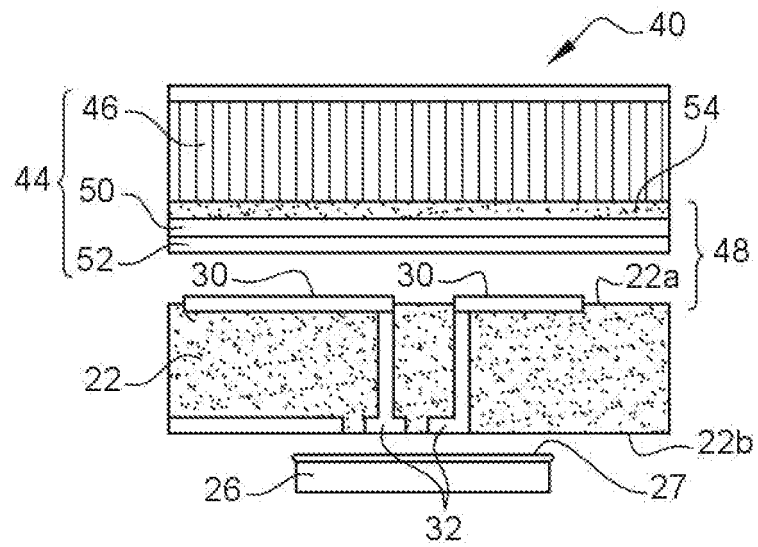
[Fig. 2a]

Fig. 2a

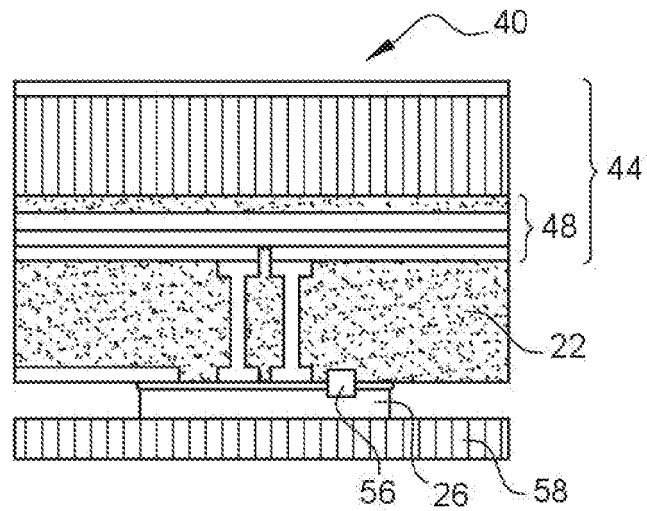
[Fig. 2b]

Fig. 2b

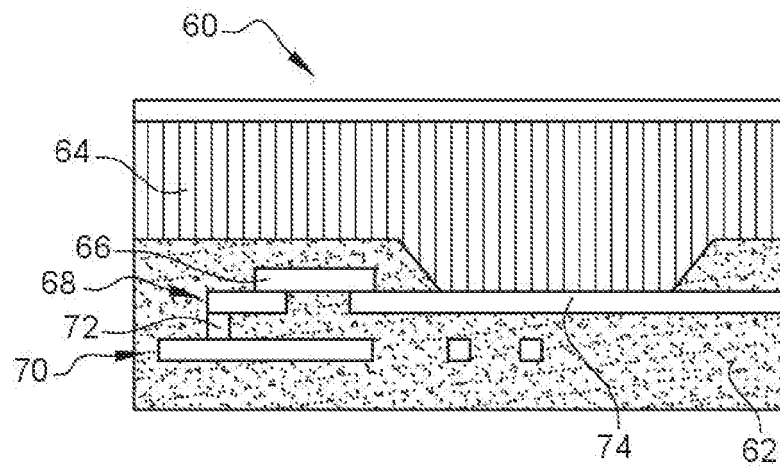
[Fig. 3a]

Fig. 3a

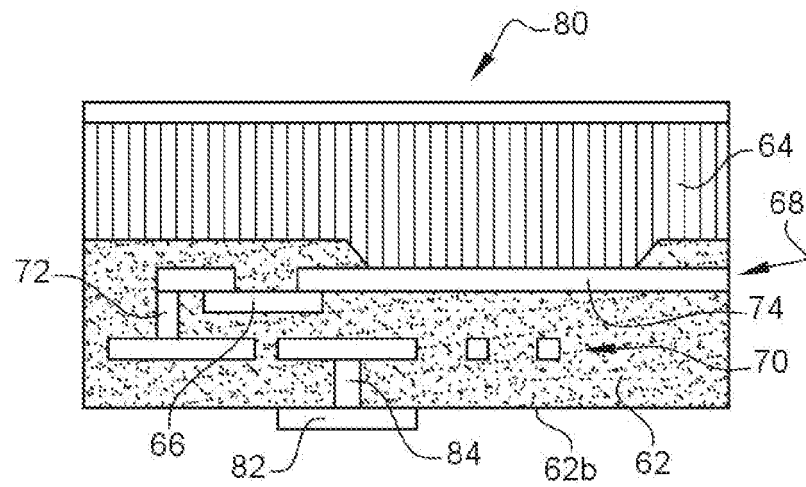
[Fig. 3b]

Fig. 3b

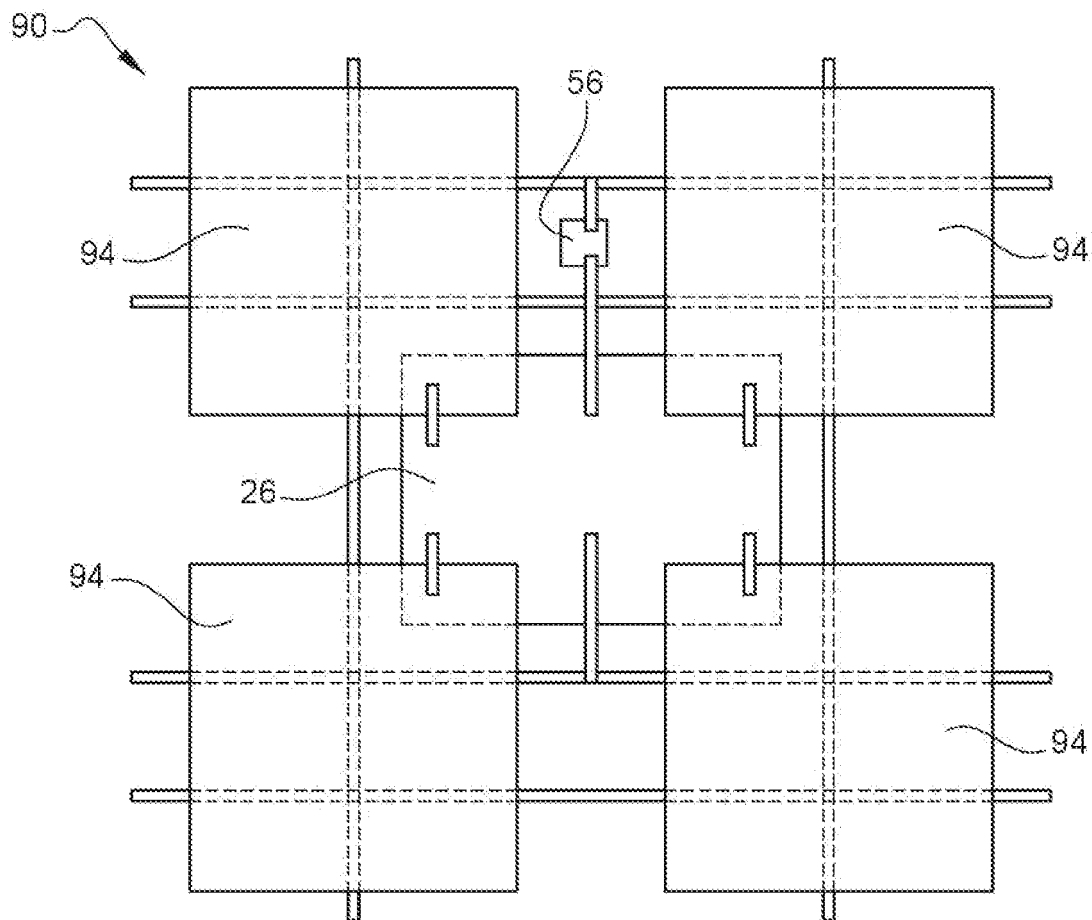
[Fig. 4a]

Fig. 4a

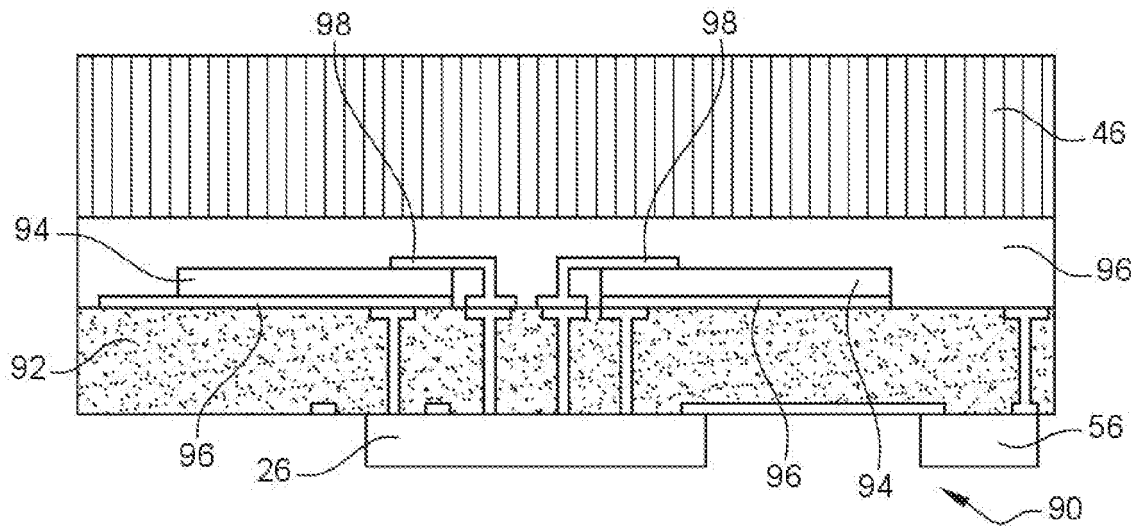
[Fig. 4b]

Fig. 4b

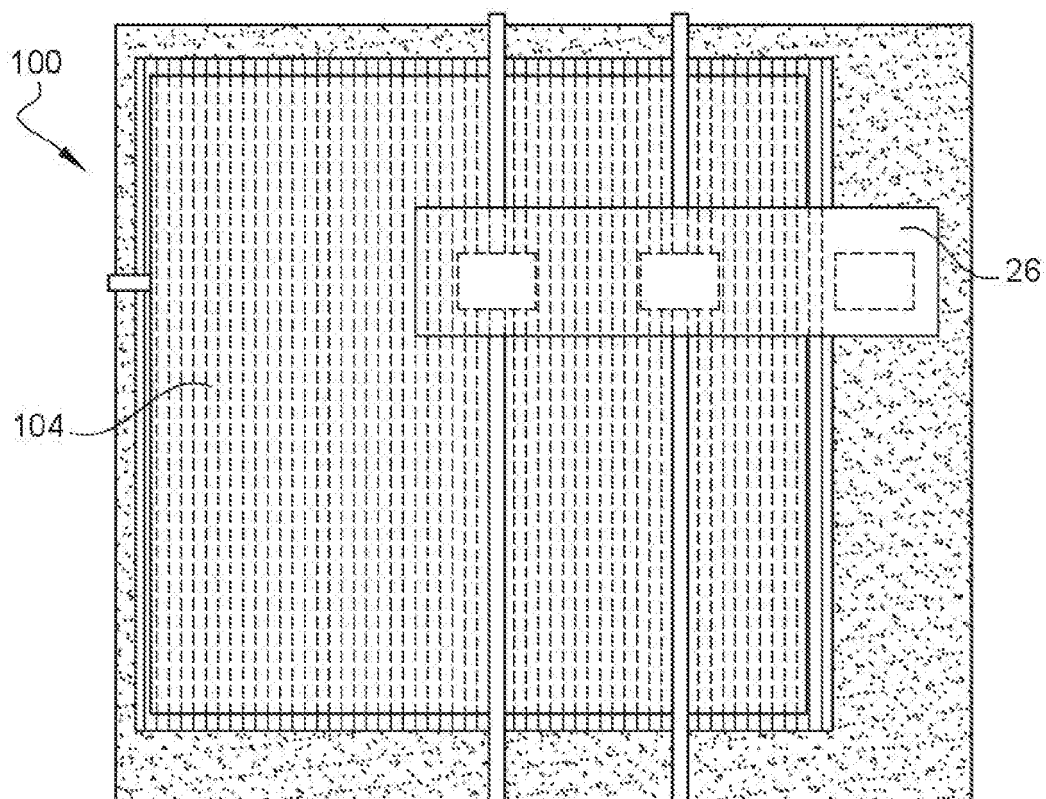
[Fig. 5a]

Fig. 5a

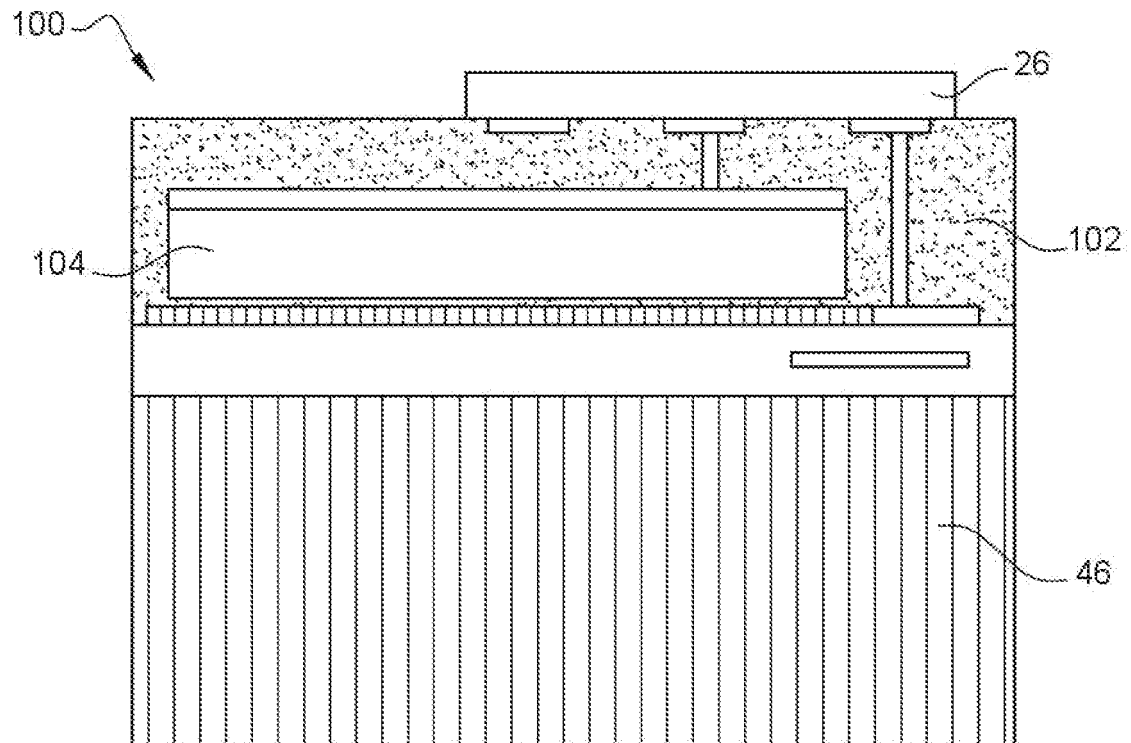
[Fig. 5b]

Fig. 5b

[Fig. 6a]

Fig. 6a

[Fig. 6b]

Fig. 6b

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 903395
FR 2114586

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2017/230597 A1 (FAHIM FARAH [US] ET AL) 10 août 2017 (2017-08-10) * alinéas [0041], [0042], [0054], [0066], [0075]; figures 1, 6-8 * -----	1-10	H01G9/20 G03F7/16 H01L21/00 G01J1/10
X	JP 5 868575 B2 (HAMAMATSU PHOTONICS KK) 24 février 2016 (2016-02-24) * alinéas [0019] - [0027], [0036] - [0041]; figures 1-4 * -----	1-10	
A	EP 3 359 981 B1 (SHENZHEN XPECTVISION TECH CO LTD [CN]) 26 mai 2021 (2021-05-26) * figures 1-8E * -----	1-10	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
20 juillet 2022		Cabrita, Ana	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2114586 FA 903395**

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 **20-07-2022**
 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 2017230597 A1	10-08-2017	AUCUN	
JP 5868575 B2	24-02-2016	CN 102870006 A	09-01-2013
		EP 2560027 A1	20-02-2013
		IL 222083 A	31-05-2015
		JP 5868575 B2	24-02-2016
		JP 2011226817 A	10-11-2011
		TW 201143104 A	01-12-2011
		US 2013032389 A1	07-02-2013
		WO 2011129133 A1	20-10-2011
EP 3359981 B1	26-05-2021	CN 108027448 A	11-05-2018
		EP 3359981 A1	15-08-2018
		TW 201714316 A	16-04-2017
		US 2019035831 A1	31-01-2019
		US 2021242253 A1	05-08-2021
		WO 2017059573 A1	13-04-2017