

(19)



(11)

EP 3 281 217 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

12.12.2018 Bulletin 2018/50

(51) Int Cl.:

H01J 1/34 ^(2006.01)

H01J 40/06 ^(2006.01)

(86) Numéro de dépôt international:

PCT/EP2016/057468

(21) Numéro de dépôt: **16722055.7**

(22) Date de dépôt: **06.04.2016**

(87) Numéro de publication internationale:

WO 2016/162351 (13.10.2016 Gazette 2016/41)

(54) **PHOTOCATHODE MULTIBANDE**

MEHRFACHBAND-PHOTOKATHODE

MULTI-BAND PHOTOCATHODE

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorité: **08.04.2015 FR 1553027**

(43) Date de publication de la demande:

14.02.2018 Bulletin 2018/07

(73) Titulaire: **Photonis France**

19100 Brive (FR)

(72) Inventeurs:

- **CONDE, Moustapha**
19100 Brive-la-Gaillarde (FR)
- **FOLTZ, Justin**
30100 Ales (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**

**56, Boulevard de l'Embouchure
B.P. 27519
31075 Toulouse Cedex 2 (FR)**

(56) Documents cités:

US-A- 3 958 143

US-A- 6 005 257

US-A1- 2004 232 403

EP 3 281 217 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention concerne le domaine des photocathodes, en particulier pour des détecteurs de rayonnement électromagnétique tels que des intensificateurs d'image ou des capteurs de type EBCMOS (*Electron Bombarded CMOS*) ou EBCDD (*Electron Bombarded CDD*). Elle trouve à s'appliquer dans le domaine de la vision nocturne ou des caméras infrarouge.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0002] Les détecteurs de rayonnement électromagnétique, tels que, par exemple, les tubes intensificateurs d'image et les tubes photomultiplicateurs, permettent de détecter un rayonnement électromagnétique en le convertissant en un signal de sortie lumineux ou électrique.

[0003] Ils comportent habituellement une photocathode pour recevoir le rayonnement électromagnétique et émettre en réponse un flux de photoélectrons, un dispositif multiplicateur d'électrons pour recevoir ledit flux de photoélectrons et émettre en réponse un flux d'électrons dits secondaires, puis un dispositif de sortie pour recevoir ledit flux d'électrons secondaires et émettre en réponse le signal de sortie.

[0004] Le dispositif de sortie peut être un écran phosphore, assurant une conversion directe en image comme dans un intensificateur d'image ou bien une matrice CCD ou CMOS pour fournir un signal électrique représentatif de la distribution du flux de photons incidents.

[0005] Dans tous les cas, une photocathode comprend habituellement une couche, dite couche fenêtre, transparente dans la bande spectrale d'intérêt, ladite couche fenêtre comportant une face avant, dite face de réception, destinée à recevoir les photons incidents et une face arrière qui lui est opposée. Une couche antireflet est déposée sur la face avant. Une couche active est déposée sur la face arrière de la couche fenêtre. Ainsi les photons incidents traversent la couche fenêtre à partir de la face de réception, puis pénètrent dans la couche active où ils génèrent des paires électrons-trous.

[0006] Les électrons générés se déplacent jusqu'à la face d'émission de la couche active et sont émis dans le vide.

[0007] Les photoélectrons sont ensuite dirigés et accélérés vers un dispositif multiplicateur d'électrons tel qu'une galette de microcanaux.

[0008] Les photocathodes sont généralement réalisées en matériau semi-conducteur III-V tel que GaAs. Or, si les photocathodes en GaAs ont un bon rendement quantique dans le spectre visible (de l'ordre de 40%) elles sont inutilisables dans le proche infrarouge, pour des longueurs d'onde supérieures à 870nm (correspondant à la largeur de bande interdite du GaAs).

[0009] Pour obtenir des photocathodes présentant une sensibilité à la fois dans le spectre visible et le proche

infrarouge, il a été proposé dans le brevet US-B-6005257 d'utiliser une couche active composée d'une pluralité de couches élémentaires en matériaux semi-conducteurs III-V, de compositions différentes, les largeurs de bandes interdites de ces matériaux semi-conducteurs étant choisies décroissantes dans le sens du flux incident.

[0010] La Fig. 1 représente une photocathode, 100, ayant une structure multicouche, connue de l'état de la technique.

[0011] Celle-ci comprend une fenêtre d'entrée en verre, 110, sur laquelle sont déposés une couche anti-réflexion, 121, et un miroir électronique, 122. La couche active, 130, située au-dessus du miroir est constituée d'une superposition de N couches élémentaires, $130_1, \dots, 130_N$ de $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$, la concentration x en indium étant croissante dans le sens du flux incident. Autrement dit, dans le sens du flux incident, les bandes interdites des couches élémentaires successives ont des largeurs de bandes interdites, $E_{g1}, \dots, E_{gN}$ de plus en plus faibles dans le sens du flux incident, soit $E_{g1} > E_{g2} > \dots > E_{gN}$. La première couche élémentaire 130_1 absorbe les photons d'énergie supérieure à E_{g1} , la seconde couche 130_2 absorbe les photons non déjà absorbés et d'énergie supérieure à E_{g2} et ainsi de suite. Les électrons des paires électrons-trous générés dans une couche élémentaire diffusent jusqu'à la face d'émission photoélectrique, 150, d'où ils sont émis dans le vide et accélérés sous l'effet du champ électrique. Les électrons diffusant dans le sens inverse du flux incident sont réfléchis par la courbure bande induite par le miroir électronique. En pratique, le miroir électronique est constitué d'une couche de semi-conducteur ayant une largeur de bande interdite plus importante que celle de la couche active. Par exemple, la couche miroir est réalisée en GaAlAs lorsque la couche active est en GaInAs.

[0012] Une telle photocathode présente une sensibilité à la fois dans le spectre visible (de 0.4 à 0.8 μm) et le spectre proche infrarouge ($\lambda > 0.9 \mu\text{m}$) ou SWIR (*Short Wavelength IR*). Toutefois, une telle photocathode présente généralement une sensibilité insuffisante dans le spectre visible. En effet, les électrons générés dans les premières couches élémentaires de la couche active ont une probabilité non négligeable de se recombiner avec des trous ou d'être piégés par des défauts avant d'atteindre la face d'émission photoélectrique. En outre, une telle photocathode ne permet pas de sélectionner la partie du spectre que l'on souhaite imager.

[0013] Un premier but de la présente invention est par conséquent de proposer une photocathode présentant une sensibilité élevée (c'est-à-dire un rendement quantique de l'ordre de 25% voire plus), dans toute la gamme spectrale allant du visible au proche infrarouge. Un second but de la présente invention est de proposer un détecteur capable de sélectionner une bande spectrale déterminée voire de passer dynamiquement d'une première bande spectrale, telle que celle du spectre visible, à une seconde bande spectrale, telle que celle du proche infrarouge, et réciproquement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0014] La présente invention est définie par une photocathode comprenant une fenêtre d'entrée destinée à recevoir un flux de photons incidents et une couche active sur la fenêtre d'entrée opposée à la face d'entrée de la fenêtre, la couche active comprenant une pluralité de couches élémentaires en matériaux semiconducteurs ayant des largeurs de bande interdite décroissantes dans le sens du flux de photons incidents, la surface de la photocathode opposée à la face d'entrée étant structurée de manière à ce que chaque couche élémentaire de la couche active possède sa propre surface d'émission photoélectrique.

[0015] Typiquement, la surface d'émission photoélectrique de chaque couche élémentaire est formée par un réseau de motifs, les motifs de deux couches élémentaires successives étant entrelacés.

[0016] La couche active peut être constituée d'une première couche élémentaire en GaAs ou GaAsP et une seconde couche élémentaire dans un matériau semiconducteur choisi parmi $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ avec $1 > x > 0$.

[0017] Avantageusement, les différentes surfaces d'émission photoélectriques des couches élémentaires sont recouvertes par une couche d'activation.

[0018] Selon un mode de réalisation avantageux, la couche active est constituée d'une première couche élémentaire et d'une seconde couche élémentaire, la seconde couche élémentaire étant recouverte par une couche d'émission destinée à émettre dans le vide les photoélectrons générés dans la seconde couche élémentaire, la première couche élémentaire possédant une première surface d'émission photoélectrique et la couche d'émission possédant une seconde surface d'émission photoélectrique.

[0019] La première couche élémentaire est alors reliée à une première électrode et la couche d'émission est reliée à une seconde électrode distincte de la première électrode de manière à pouvoir porter les première et seconde électrodes à des potentiels différents.

[0020] De préférence, les première et seconde surfaces d'émission photoélectrique sont recouvertes par une couche d'activation.

[0021] La surface d'émission photoélectrique de la première couche élémentaire est typiquement formée par un premier réseau de motifs, et que la surface d'émission photoélectrique de la couche d'émission est formée par un second réseau de motifs, les motifs des premier et second réseaux étant entrelacés.

[0022] Les premier et second réseaux de motifs sont périodiques ou pseudo-périodiques.

[0023] La première couche élémentaire peut être en InP, la seconde couche élémentaire en GaInAs, GaInAsP, AlInAsP et la couche d'émission en InP.

[0024] La première couche élémentaire est en GaAs, la seconde couche élémentaire en GaInAs et que la couche d'émission en GaInP.

[0025] La couche d'activation est par exemple en Ag-Cs₂O.

[0026] Avantageusement, la couche active est déposée sur un miroir électronique constitué par une couche en un matériau semiconducteur dont la largeur de bande interdite est supérieure aux largeurs de bandes interdites des couches élémentaires.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0027] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de modes préférentiels de réalisation en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

La Fig. 1 représente schématiquement la structure d'une photocathode multicouche connue de l'état de la technique ;

La Fig. 2 représente schématiquement la structure d'une photocathode multicouche selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

Les Figs. 3A à 3D représentent en vue de dessus différents exemples de structuration de la couche active d'une photocathode multicouche selon le premier mode de réalisation de l'invention ;

La Fig. 4 représente schématiquement la structure d'une photocathode multicouche selon un second mode de réalisation de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

[0028] Le principe à la base de la présente invention est d'utiliser une photocathode de structure multicouche dont la surface opposée à la fenêtre d'entrée est structurée de manière à ce que chaque couche élémentaire de la couche active possède sa propre surface d'émission photoélectrique. La surface d'émission photoélectrique de chaque couche élémentaire se présente avantageusement sous la forme d'un réseau de motifs, les motifs des différentes couches élémentaires étant entrelacés. Plus précisément, chaque couche élémentaire autre que la première (dans le sens du flux incident) présente un réseau de fenêtres laissant apparaître la face d'émission photoélectrique de la couche élémentaire inférieure.

[0029] La Fig. 2 représente de manière schématique la structure d'une photocathode multicouche selon un premier mode de réalisation de l'invention.

[0030] Cette photocathode comprend une fenêtre d'entrée en verre, 210, destinée à recevoir le flux de photons incidents sur laquelle sont avantageusement déposés une couche antireflet, 221, et un miroir électronique, 222, le miroir électronique ayant pour fonction de réfléchir les photoélectrons générés dans la couche active 230, comme dans l'art antérieur précité. Cette couche active est composée d'une pluralité de N couches semiconductrices élémentaires de largeurs de bandes interdites dé-

croissantes dans le sens du flux des photons incidents, c'est-à-dire la face arrière vers la face avant de la couche active. Le miroir électronique est avantageusement constitué d'une couche de matériau semiconducteur ayant une bande interdite plus large que celles des couches élémentaires de la couche active.

[0031] Dans le cas présent, on a supposé que la couche active était composée d'une première couche élémentaire, 230_1 , présentant une première largeur de bande interdite E_{g1} , et une seconde couche élémentaire 230_2 présentant une seconde largeur de bande interdite $E_{g2} < E_{g1}$. De préférence, les couches élémentaires sont réalisées en matériaux semiconducteurs III-V, par exemple des alliages ternaires de matériaux III-V tels que $Ga_{1-x}In_xAs$, $GaAs_{1-x}Sb_x$, $GaAs_{1-x}Bi_x$ où la concentration x croît dans le sens du flux des photons incidents.

[0032] Une électrode 270 permet de polariser la photocathode négativement par rapport à l'anode du détecteur dans lequel elle est destinée à être montée, par exemple un détecteur EBCMOS ou EBCDD.

[0033] Dans le cas illustré, la première couche élémentaire pourra être une couche de GaAs ($x = 0$) voire un substrat de GaAs aminci et la seconde couche élémentaire l'un des composés ternaires précités avec $x > 0$. La concentration x est choisie de manière à couvrir la bande spectrale souhaitée. Le miroir électronique pourra être réalisé en GaAlAs.

[0034] Ces différentes couches semiconductrices sont réalisées par épitaxie, par exemple par MOCVD (*Metal Organic Chemical Vapour Deposition*) ou par MBE (*Molecular Beam Epitaxy*), de manière connue en soi.

[0035] La couche active est structurée par exemple au moyen d'une gravure différentielle. Cette structuration fait apparaître une première surface d'émission photoélectrique constituée par les zones 240_1 de la première couche élémentaire où la seconde couche élémentaire a été éliminée et une seconde surface d'émission photoélectrique constituée par les zones 240_2 de la seconde couche élémentaire où elle a été épargnée.

[0036] La première surface d'émission photoélectrique peut se présenter sous la forme d'un premier réseau de motifs à la surface de la première couche élémentaire. De même, la seconde surface d'émission photoélectrique peut se présenter sous la forme d'un second réseau de motifs à la surface de la seconde couche élémentaire. Les motifs des première et seconde surfaces d'émission photoélectrique sont entrelacés. Autrement dit, hormis sur les bords de la photocathode, un motif de la seconde couche élémentaire est alors situé entre deux motifs de la première couche élémentaire.

[0037] De manière générale, la photocathode présente une couche active composée de N couches semiconductrices élémentaires, chaque couche élémentaire possédant sa propre surface d'émission photoélectrique. Chacune des surfaces d'émission photoélectrique peut se présenter sous la forme d'un réseau de motifs, les motifs des surfaces d'émission photoélectrique de deux

couches élémentaires quelconques de la couche active étant alors entrelacés au sens précédent.

[0038] Ces motifs peuvent être de forme carrée, rectangulaire, hexagonale, annulaire, sectorielle voire plus complexe. Les motifs des différentes surfaces d'émission photoélectrique permettent avantageusement de réaliser un pavage du plan de la couche active.

[0039] Les tailles des motifs et/ou les pas des réseaux relatifs aux différentes couches élémentaires peuvent être choisis différents, sur la base de critères de pondération et de résolution spectrale comme expliqué plus loin.

[0040] La Fig. 3A représente un premier exemple de structuration de la couche active. La surface d'émission photoélectrique de la seconde couche élémentaire se présente sous la forme d'un réseau de motifs de pas b dans les directions Ox et Oy du plan, les motifs 240_2 étant ici de forme carrée et de taille $a \times a$. La surface d'émission photoélectrique de la première couche élémentaire est formée par les zones résiduelles 240_1 .

[0041] La Fig. 3B représente en vue de dessus un second exemple de structuration de la couche active. On distingue un premier réseau de motifs, de pas $b = 2a$ dans les directions Ox et Oy du plan. Les motifs 240_2 sont également de forme carrée et de taille $a \times a$. Le second réseau formé est la répétition des motifs 240_2 et présente les mêmes caractéristiques que le premier réseau, les premier et second réseaux étant entrelacés.

[0042] La Fig. 3C représente en vue de dessus un second exemple de structuration de la couche active. Celle-ci est composée ici de $N = 7$ couches élémentaires (par exemple des couches de $Ga_{1-x}In_xAs$ avec différentes valeurs de concentration x). Sur la figure, on a noté 240_1 à 240_7 les motifs respectifs des surfaces d'émission photoélectriques associées aux différentes couches élémentaires. Les motifs ont ici une forme hexagonale et sont entrelacés de manière à former un pavage du plan de la couche active.

[0043] La Fig. 3D représente en vue de dessus un troisième exemple de structuration de la couche active. Celle-ci est composée de $N = 3$ couches élémentaires. On a désigné par 240_1 à 240_3 les motifs respectifs des différentes surfaces d'émission photoélectrique. On notera que les motifs sont ici rectangulaires et de tailles différentes.

[0044] Quel que soit le type de structuration envisagé, les surfaces d'émission photoélectrique des différentes couches élémentaires sont avantageusement revêtues d'une mince couche d'activation, par exemple une couche en Cs_2O voire une couche de $Ag-Cs_2O$. Cette couche d'activation permet d'abaisser le niveau du vide au-dessous du niveau de la bande de conduction des couches élémentaires qu'elle recouvre et de faciliter ainsi l'émission des photoélectrons dans le vide (photocathode à affinité électronique négative).

[0045] Les tailles et les périodicités respectives des motifs des différentes couches semiconductrices élémentaires sont choisies de manière à pondérer la sen-

sibilité de la photocathode dans les différentes bandes spectrales.

[0046] Revenant à la Fig.2, on comprend que les photoélectrons émis par les zones 240₁ de la première couche élémentaire en GaAs correspondent à la partie visible du spectre. En revanche les photoélectrons émis par les zones 240₂ peuvent être soit des photoélectrons générés dans la première couche élémentaire 230₁ ayant ensuite diffusé jusqu'à la surface d'émission photoélectrique de la seconde couche élémentaire, soit des photoélectrons générés dans la seconde couche élémentaire ayant diffusé vers cette même surface. En d'autres termes, les photoélectrons émis par les zones 240₂ de la seconde couche élémentaire correspondent au spectre visible (absorption par le GaAs) ou au spectre en proche infrarouge (absorption par le Ga_{1-x}In_xAs).

[0047] En choisissant les tailles respectives des zones 240₁ et 240₂, il est alors possible de privilégier ou au contraire d'équilibrer la sensibilité de la photocathode dans le spectre visible et dans le spectre proche infrarouge. En particulier, il est ainsi possible d'obtenir une image de sensibilité élevée tant dans le spectre visible que dans le proche infrarouge.

[0048] Les zones de photoémission 240₁ et 240₂ des première et seconde couches élémentaires sont arrangées selon des motifs entrelacés. Autrement dit, un motif d'une zone est entouré par des motifs d'une autre zone. Ces motifs sont arrangés selon un réseau périodique ou pseudo-périodique dans le plan de la photocathode. Par exemple, en Fig. 3B, les motifs des zones de photoémission 240₁ et 240₂, sont arrangés selon deux réseaux périodiques de pas $b/2$ dans les directions Ox et Oy.

[0049] Toutefois, si le pas des éléments du capteur EBCMOS ou EBCDD diffère légèrement de celui des réseaux périodiques, il peut apparaître un effet de Moiré. Dans ce cas, il pourra être préféré d'arranger les motifs des zones de photoémission selon un motif pseudo-aléatoire c'est-à-dire avec un pas $b + \varepsilon(x, y)$, où $\varepsilon(x, y)$ est une variable pseudo-aléatoire.

[0050] La Fig. 4 illustre de manière schématique la structure d'une photocathode multicouche selon un second mode de réalisation de l'invention.

[0051] Cette photocathode comprend une fenêtre d'entrée en verre, 410, destinée à recevoir le flux de photons incidents, sur laquelle sont avantageusement déposées une couche antireflet, 421, et un miroir électronique, 422, comme dans le premier mode de réalisation.

[0052] La couche active 430 est composée d'une première couche élémentaire 430₁ dans un premier matériau semiconducteur ayant une première largeur de bande interdite E_{g1} et d'une seconde couche élémentaire 430₂ dans un second matériau semiconducteur ayant une largeur de bande interdite E_{g2} inférieure à la première largeur de bande interdite. Ces deux couches élémentaires sont des couches de génération de photoélectrons comme dans le premier mode de réalisation.

[0053] Une électrode, 470₁, permet de polariser négativement la photocathode par rapport à l'anode du détec-

teur dans lequel elle est destinée à être montée, par exemple un détecteur EBCMOS ou EBCDD.

[0054] A la différence du premier mode de réalisation, une couche d'émission de photoélectrons, 440, est déposée sur la couche active. Cette couche d'émission est réalisée dans un matériau semiconducteur dont la largeur de bande interdite est supérieure à la largeur de bande interdite du second matériau semiconducteur. La seconde couche élémentaire est dopée p⁺, à un niveau de dopage de l'ordre 10¹⁷ cm⁻³. La couche d'émission est en revanche dopée p à un niveau de dopage sensiblement inférieur, de l'ordre de 10¹⁵ cm⁻³. La couche d'émission est polarisée positivement par rapport à la seconde couche élémentaire au moyen des électrodes 470₂ de sorte que la couche d'émission est déplétée. Les photoélectrons générés dans la seconde couche élémentaire se retrouvent sous l'action du champ électrique dans la couche d'émission avec un niveau d'énergie élevée par rapport au bas de la bande de conduction de cette couche. Ils franchissent alors plus facilement la barrière d'interface avec la mince couche d'activation (non représentée) déposée sur la couche d'émission. Cette structure de photocathode est connue sous le nom de photocathode à transfert d'électrons ou TEP (*Transfer Electron Photocathode*). On pourra trouver une description détaillée d'une photocathode à transfert d'électrons dans le brevet US-B-3958143 inclus ici par référence.

[0055] La première couche élémentaire de la couche active peut être par exemple une couche d'InP et la seconde couche élémentaire peut être par exemple une couche de GaInAs. La couche d'émission peut être dans ce cas une couche d'InP.

[0056] Alternativement la première couche élémentaire de la couche active peut être une couche de GaAs, et la seconde couche élémentaire peut être une couche de GaInAs. La couche d'émission peut être dans ce cas une couche de GaInP.

[0057] Dans les deux cas le miroir électronique peut être une couche de GaAlAs.

[0058] La mince couche d'activation est par exemple une couche en Cs₂O ou Ag-Cs₂O, déposée par évaporation sous vide. Comme indiqué plus haut cette couche permet d'abaisser le niveau du vide et facilite ainsi l'émission photoélectrique.

[0059] D'autres compositions de couche active et de couche d'émission pourront notamment être envisagées par l'homme du métier sans sortir du cadre de la présente invention.

[0060] Selon le second mode de réalisation de l'invention, la surface de la photocathode opposée à la fenêtre d'entrée est structurée de manière à ce que la première couche élémentaire de la couche active possède sa propre surface d'émission photoélectrique. Par exemple, après dépôt d'un masque, la couche d'émission et la seconde couche élémentaire sont gravées jusqu'à la première couche élémentaire. On obtient ainsi une première surface d'émission photoélectrique associée à la première couche élémentaire 430₁ et une seconde surface

d'émission photoélectrique associée à la couche d'émission 440. La première surface d'émission photoélectrique est constituée de zones 440₁ de la première couche élémentaire 430₁ et la seconde surface d'émission photoélectrique est constituée de zones 440₂ de la couche d'émission, 440.

[0061] Le cas échéant, la couche mince d'activation est déposée après l'étape de gravure de sorte qu'elle recouvre non seulement les zones 440₂ de la couche d'émission 440 mais aussi les zones 440₁ de la première couche élémentaire 430₁.

[0062] Quelle que soit la variante envisagée, la première couche élémentaire est reliée à une première électrode 470₁ et les zones 440₂ de la couche d'émission 440 sont reliées à des électrodes élémentaires 470₂, formant une grille métallique. Ainsi la première couche élémentaire peut être portée à un potentiel V_1 et la couche d'émission peut être portée à un potentiel V_2 . La tension d'anode V_a du détecteur est choisie telle que $V_a > V_1, V_2$.

[0063] Lorsque l'on impose $V_2 > V_1$, avec V_2 légèrement supérieur à V_1 , les zones 440₂ de la couche d'émission émettent essentiellement des photoélectrons générés dans la seconde couche élémentaire. Les zones 440₁ de la première couche élémentaire émettent quant à elles des photoélectrons générés dans la première couche élémentaire. Ainsi, on peut obtenir une image à la fois dans le spectre visible (contribution des zones 440₁) et dans le spectre SWIR (contribution des zones 440₂), $I_{V\&SWIR}$. Lorsque la photocathode est montée dans un détecteur de type EBCMOS ou EBCDD, on peut ainsi discriminer les pixels correspondant aux zones 440₁ et ceux correspondant aux zones 440₂ et donc obtenir deux images distinctes respectivement

[0064] En revanche, lorsque l'on choisit $V_2 < V_1$, les zones 440₂ de la couche d'émission n'émettent pas de photoélectrons dans la mesure où ces derniers n'ont pas l'énergie suffisante pour passer au-dessus de la barrière d'interface. Les zones 440₁ continuent quant à elles à émettre les photoélectrons générés dans la première couche élémentaire. On obtient ainsi une image dans le spectre visible uniquement, I_V .

[0065] On comprend donc que selon les potentiels V_1, V_2 on peut obtenir une image dans le visible ou une image dans le spectre SWIR, voire une combinaison de ces deux images.

[0066] Pour aligner les images dans le visible et dans le spectre SWIR et améliorer leur résolution, on peut effectuer une interpolation entre les pixels correspondant aux motifs 440₁ et/ou entre les pixels correspondant aux motifs 440₂.

[0067] Comme dans le premier mode de réalisation, les motifs 440₁ et 440₂ peuvent être arrangés selon des réseaux périodiques ou, en cas d'effet de Moiré, selon des réseaux pseudo-périodiques.

[0068] La Fig. 5 représente la structure d'une photocathode multicouche selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention.

[0069] Les éléments 510 à 540₁-540₂, correspondent

aux éléments 210 à 240₁-240₂ de la Fig. 2.

[0070] Toutefois, selon cette variante, la première couche élémentaire 530₁ de la couche active est d'abord gravée après masquage des premiers motifs. On fait ensuite croître la seconde couche élémentaire 530₂ par épitaxie dans les puits obtenus par gravure pour obtenir les seconds motifs. Après épitaxie de la seconde couche, on procède à un polissage mécanique jusqu'à affleurement de la première couche élémentaire. On obtient ainsi une surface d'émission plane, dans laquelle alternent les premiers et seconds motifs.

[0071] La Fig. 6 représente la structure d'une photocathode multicouche selon une variante du second mode de réalisation de l'invention.

[0072] Les éléments 610 à 670₁-670₂, correspondent aux éléments 410 à 470₁-470₂ de la Fig. 4.

[0073] Cette variante diffère de celle de la Fig. 4 au sens où la première couche élémentaire 630₁ est gravée après masquage des premiers motifs. On fait ensuite croître la seconde couche élémentaire 630₂ par épitaxie dans les puits obtenus par gravure pour obtenir les seconds motifs. Après croissance de la seconde couche élémentaire, on fait croître la couche d'émission des photoélectrons, 640, avant d'éliminer le masque. On dépose ensuite la couche d'activation sur toute la surface avant de déposer les électrodes 670₁-670₂.

Revendications

1. Photocathode comprenant une fenêtre d'entrée (210,410,510,610) destinée à recevoir un flux de photons incidents et une couche active sur la fenêtre d'entrée opposée à la face d'entrée de la fenêtre, la couche active comprenant une pluralité de couches élémentaires (230₁...,230_N; 430₁...,430_N; 530₁...,530_N; 630₁...,630_N) en matériaux semiconducteurs ayant des largeurs de bande interdite décroissantes dans le sens du flux de photons incidents, ladite photocathode étant **caractérisée en ce que** la surface de la photocathode opposée à la face d'entrée est structurée de manière à ce que chaque couche élémentaire de la couche active possède sa propre surface d'émission photoélectrique (240₁...,240_N; 440₁...,440_N; 540₁...,540_N; 640₁...,640_N).
2. Photocathode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la surface d'émission photoélectrique de chaque couche élémentaire est formée par un réseau de motifs, les motifs de deux couches élémentaires successives étant entrelacés.
3. Photocathode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la couche active est constituée d'une première couche élémentaire en GaAs ou GaAsP et une seconde couche élémentaire dans un matériau semiconducteur choisi parmi

$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ avec $1 > x > 0$.

4. Photocathode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** les différentes surfaces d'émission photoélectriques des couches élémentaires sont recouvertes par une couche d'activation. 5
5. Photocathode selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** la couche active (430, 630) est constituée d'une première couche élémentaire (430₁, 630₁) et d'une seconde couche élémentaire (430₂, 630₂), la seconde couche élémentaire étant recouverte par une couche d'émission (440, 640) destinée à émettre dans le vide les photoélectrons générés dans la seconde couche élémentaire, la première couche élémentaire (430₁, 630₁) possédant une première surface d'émission photoélectrique (440₁, 640₁) et la couche d'émission possédant une seconde surface d'émission photoélectrique (440₂, 640₂). 10 15 20
6. Photocathode selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** la première couche élémentaire (430₁, 630₁) est reliée à une première électrode (470₁, 670₁) et que la couche d'émission est reliée à une seconde électrode (470₂, 670₂) distincte de la première électrode de manière à pouvoir porter les première et seconde électrodes à des potentiels différents. 25 30
7. Photocathode selon la revendication 5 ou 6, **caractérisée en ce que** les première et seconde surfaces d'émission photoélectrique sont recouvertes par une couche d'activation. 35
8. Photocathode selon l'une des revendications 6 à 7, **caractérisée en ce que** la surface d'émission photoélectrique de la première couche élémentaire est formée par un premier réseau de motifs, et que la surface d'émission photoélectrique de la couche d'émission est formée par un second réseau de motifs, les motifs des premier et second réseaux étant entrelacés. 40
9. Photocathode selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** les premier et second réseaux de motifs sont périodiques. 45
10. Photocathode selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** les premier et second réseaux sont pseudo-périodiques. 50
11. Photocathode selon l'une des revendications 5 à 10, **caractérisée en ce que** la première couche élémentaire est en InP, que la seconde couche élémentaire est en GaInAs, GaInAsP, AlInAsP et que la couche d'émission est en InP. 55

12. Photocathode selon l'une des revendications 5 à 10, **caractérisée en ce que** la première couche élémentaire est en GaAs, que la seconde couche élémentaire est en GaInAs et que la couche d'émission est en GaInP.
13. Photocathode selon l'une des revendications 4, 7 et 8-12, lorsqu'elles sont dépendantes de la revendication 7, **caractérisée en ce que** la couche d'activation est en Ag-Cs₂O.
14. Photocathode selon l'une des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** la couche active est déposée sur un miroir électronique de la photocathode constitué par une couche en un matériau semi-conducteur dont la largeur de bande interdite est supérieure aux largeurs de bandes interdites des couches élémentaires.

Patentansprüche

1. Fotokathode, umfassend ein Eingangsfenster (210, 410, 510, 610), das dazu ausgelegt ist, einen Strom von einfallenden Photonen zu empfangen, sowie eine aktive Schicht auf dem Eingangsfenster entgegengesetzt zur Eingangsfläche des Fensters, wobei die aktive Schicht eine Mehrzahl von Elementarschichten (230₁, ..., 230_N; 430₁, ..., 430_N; 530₁, ..., 530_N; 630₁, ..., 630_N) aus Halbleitermaterialien umfasst, die Breiten des verbotenen Bands haben, welche in der Richtung des Stroms von einfallenden Photonen abnehmen, wobei die Fotokathode **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die Oberfläche der Fotokathode entgegengesetzt zur Eingangsfläche derart strukturiert ist, dass jede Elementarschicht der aktiven Schicht ihre eigene fotoelektrische Emissionsoberfläche (240₁, ..., 240_N; 440₁, ..., 440_N; 540₁, ..., 540_N; 640₁, ..., 640_N) besitzt.
2. Fotokathode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die fotoelektrische Emissionsoberfläche jeder Elementarschicht durch ein Netz von Motiven gebildet ist, wobei die Motive von zwei aufeinanderfolgenden Elementarschichten verschachtelt sind.
3. Fotokathode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aktive Schicht gebildet ist aus einer ersten Elementarschicht aus GaAs oder GaAsP und einer zweiten Elementarschicht aus einem Halbleitermaterial ausgewählt aus $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Sb}_x$, $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$ mit $1 > x > 0$.
4. Fotokathode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verschiedenen fotoelektrischen Emissionsoberflächen

der Elementarschichten mit einer Aktivierungsschicht bedeckt sind.

5. Fotokathode nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aktive Schicht (430, 630) gebildet ist aus einer ersten Elementarschicht (430₁, 630₁) und einer zweiten Elementarschicht (430₂, 630₂), wobei die zweite Elementarschicht bedeckt ist durch eine Emissionsschicht (440, 640), die dazu ausgelegt ist, im Vakuum Fotoelektronen zu emittieren, die in der zweiten Elementarschicht generiert sind, wobei die erste Elementarschicht (430₁, 630₁) eine erste fotoelektrische Emissionsoberfläche (440₁, 640₁) besitzt, und wobei die Emissionsschicht eine zweite fotoelektrische Emissionsoberfläche (440₂, 640₂) besitzt. 5 10 15
6. Fotokathode nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Elementarschicht (430₁, 630₁) mit einer ersten Elektrode (470₁, 670₁) verbunden ist, und dass die Emissionsschicht mit einer zweiten Elektrode (470₂, 670₂) verbunden ist, die von der ersten Elektrode verschieden ist, derart, dass die erste und die zweite Elektrode auf unterschiedliche Potentiale gebracht werden können. 20 25
7. Fotokathode nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste und die zweite fotoelektrische Emissionsoberfläche durch eine Aktivierungsschicht bedeckt sind. 30
8. Fotokathode nach einem der Ansprüche 6 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die fotoelektrische Emissionsoberfläche der ersten Elementarschicht durch ein erste Netz von Motiven gebildet ist, und dass die fotoelektrische Emissionsoberfläche der Emissionsschicht durch ein zweites Netz von Motiven gebildet ist, wobei die Motive des ersten und des zweiten Netzes verschachtelt sind. 35 40
9. Fotokathode nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und das zweite Netz von Motiven periodisch sind. 45
10. Fotokathode nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste und das zweite Netz pseudoperiodisch sind. 50
11. Fotokathode nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Elementarschicht aus InP ist, dass die zweite Elementarschicht aus GaInAs, GaInAsP, AlInAsP ist, und dass die Emissionsschicht aus InP ist. 55
12. Fotokathode nach einem der Ansprüche 5 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Elementarschicht aus GaAs ist, dass die zweite Elementarschicht aus GaInAs ist, und dass die Emissions-

schicht aus GaInP ist.

13. Fotokathode nach einem der Ansprüche 4, 7 und 8 bis 12 in Abhängigkeit von Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aktivierungsschicht aus Ag-Cs₂O ist.
14. Fotokathode nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aktive Schicht aufgebracht ist auf einem elektronischen Spiegel der Fotokathode, gebildet durch eine Schicht aus einem Halbleitermaterial, bei dem die Breite des verbotenen Bands größer ist als die Breiten der verbotenen Bänder der Elementarschichten.

Claims

1. A photocathode comprising an input window (210, 410, 510, 610) for receiving a flow of incident photons and an active layer on the input window, opposite to the input face, the active layer comprising a plurality of elementary layers (230₁, ..., 230_N; 430₁, ..., 430_N; 530₁, ..., 530_N; 630₁, ..., 630_N) made of semiconductor materials having decreasing band gaps in the direction of the flow of incident photons, said photocathode being **characterized in that** the surface of the photocathode opposite to the input face is structured such that each elementary layer of the active layer has its own photoelectric emission surface (240₁, ..., 240_N; 440₁, ..., 440_N; 540₁, ..., 540_N; 640₁, ..., 640_N). 1. 2. 3. 4. 5.
2. The photocathode according to claim 1, **characterized in that** the photoelectric emission surface of each elementary layer is formed by an array of patterns, the patterns of two successive elementary layers being interleaved.
3. The photocathode according to one of the preceding claims, **characterized in that** the active layer consists of a first elementary layer made of GaAs or GaAsP and a second elementary layer of a semiconductor material chosen from Ga_{1-x}In_xAs, GaAs_{1-x}Sb_x, GaAs_{1-x}Bi_x with 1 > x > 0.
4. The photocathode according to one of the preceding claims, **characterized in that** the different photoelectric emission surfaces of the elementary layers are covered with an activation layer.
5. The photocathode according to claim 1, **characterized in that** the active layer (430, 630) consists of a first elementary layer (430₁, 630₁) and a second elementary layer (430₂, 630₂), the second elementary layer being covered by an emission layer (440, 640) for emitting in vacuum the photoelectrons generated in the second elementary layer, the first elementary

layer (430₁, 630₁) having a first photoelectric emission surface (440₁, 640₁) and the emission layer having a second photoelectric emission surface (440₂, 640₂).

5

6. The photocathode according to claim 5, **characterized in that** the first elementary layer (430₁, 630₁) is connected to a first electrode (470₁, 670₁) and **in that** the emission layer is connected to a second electrode (470₂, 670₂) distinct from the first electrode so as to be able to bring the first and second electrodes to different potentials. 10
7. The photocathode according to claim 5 or 6, **characterized in that** the first and second photoelectric emission surfaces are covered with an activation layer. 15
8. The photocathode according to one of claims 6 to 7, **characterized in that** the photoelectric emission surface of the first elementary layer is formed by a first array of patterns, and **in that** the photoelectric emission surface of the emission layer is formed by a second array of patterns, the patterns of the first and second arrays being interleaved. 20
25
9. The photocathode according to claim 8, **characterized in that** the first and second arrays of patterns are periodical. 30
10. The photocathode according to claim 8, **characterized in that** the first and second arrays are pseudo-periodical.
11. The photocathode according to one of claims 5 to 10, **characterized in that** the first elementary layer is made of InP, **in that** the second elementary layer is made of GaInAs, GaInAsP, AlInAsP and **in that** the emission layer is made of InP. 35
40
12. The photocathode according to one of claims 5 to 10, **characterized in that** the first elementary layer is made of GaAs, **in that** the second elementary layer is made of GaInAs and **in that** the emission layer is made of GaInP. 45
13. The photocathode according to one of claims 4, 7 and 8 to 12, **characterized in that** the activation layer is made of Ag-Cs₂O. 50
14. The photocathode according to one of the preceding claims, **characterized in that** the active layer is deposited on an electronic mirror of the photocathode consisting of a layer of a semiconductor material the band gap of which is higher than the band gaps of the elementary layers. 55

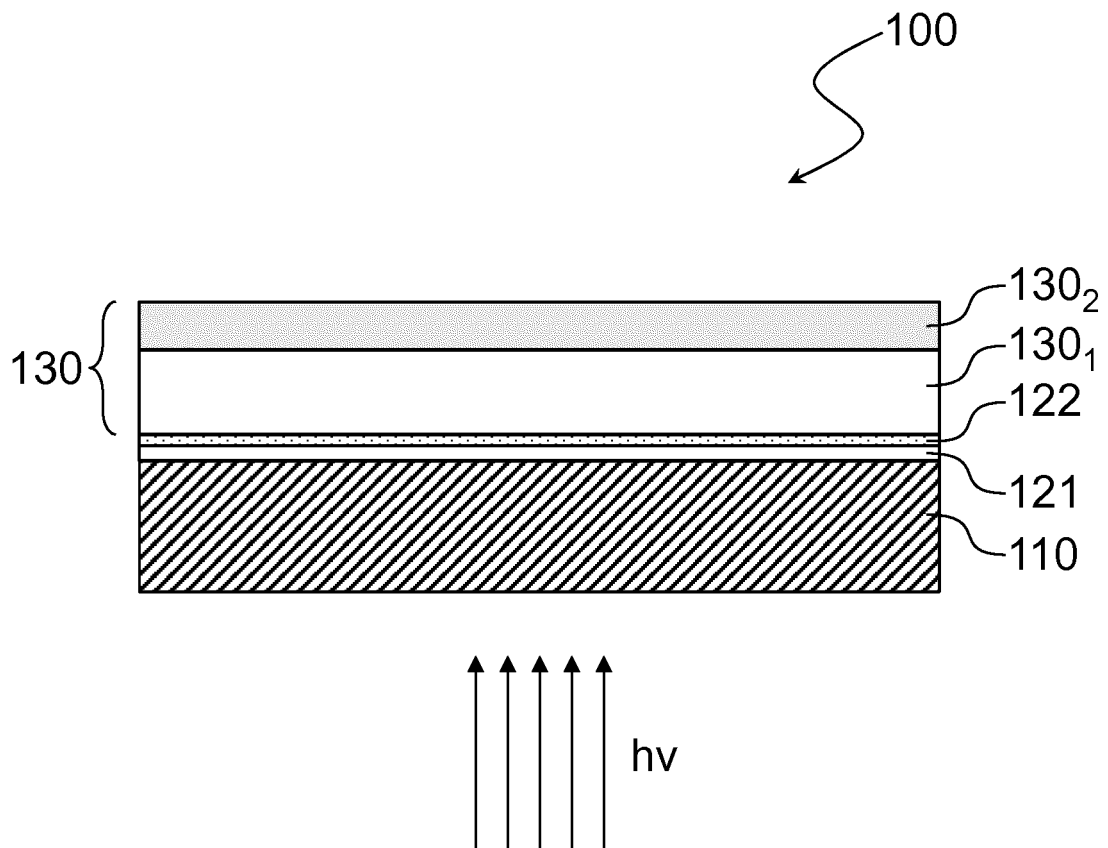


Fig. 1

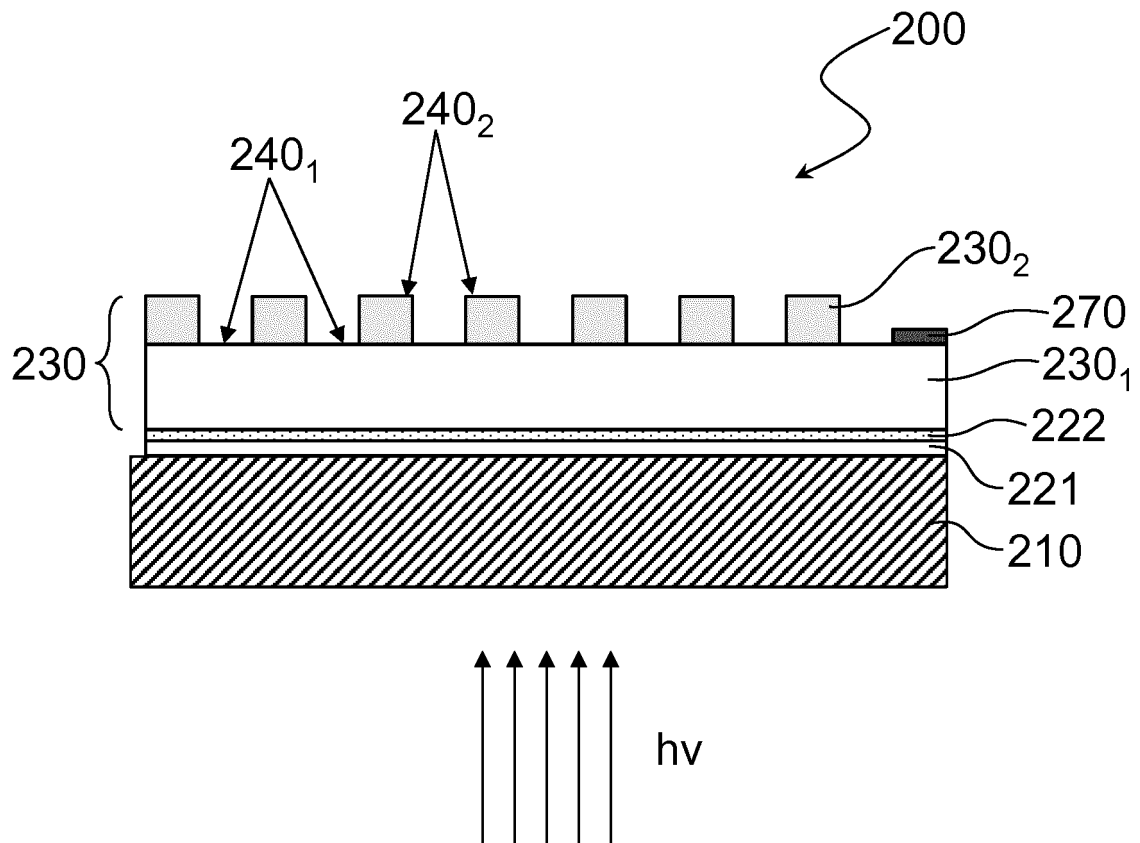


Fig. 2

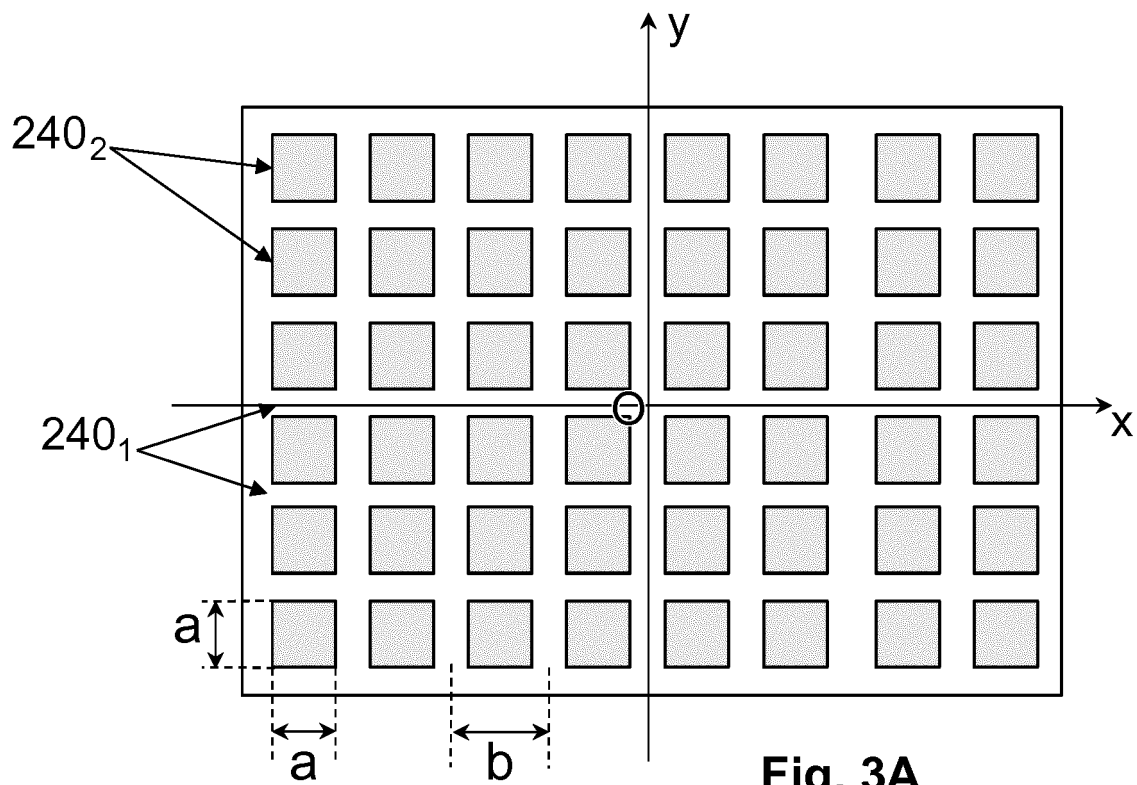


Fig. 3A

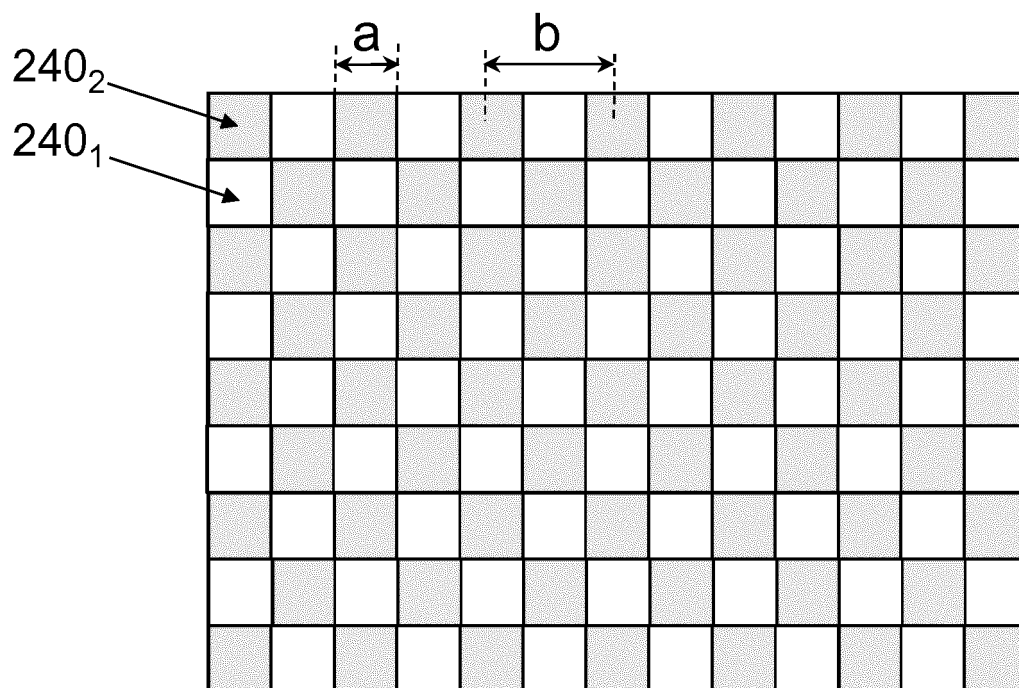


Fig. 3B

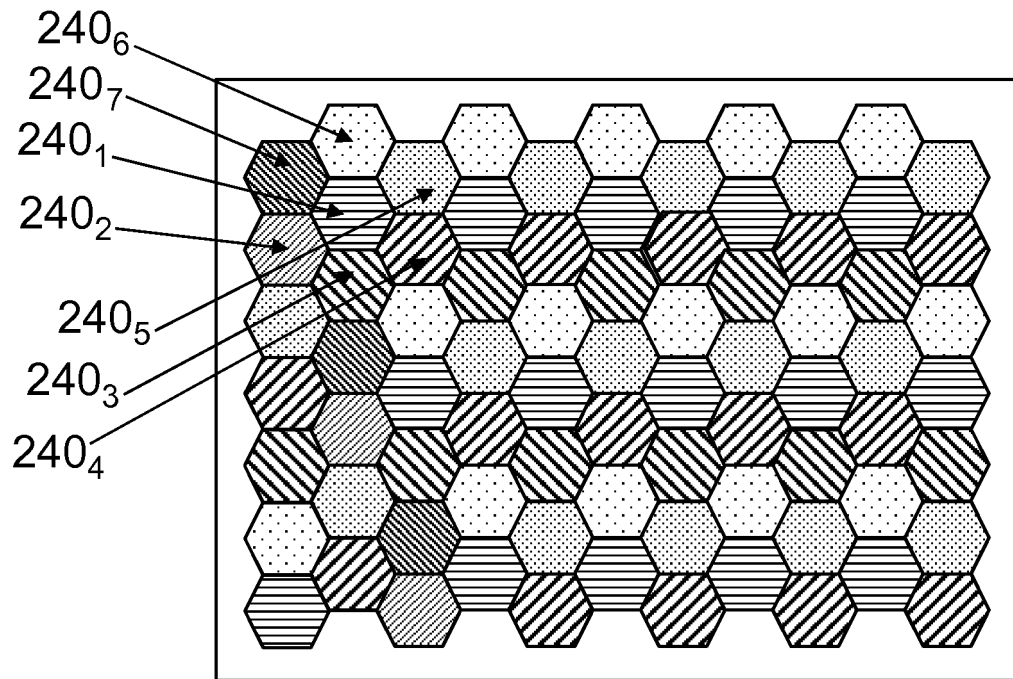


Fig. 3C

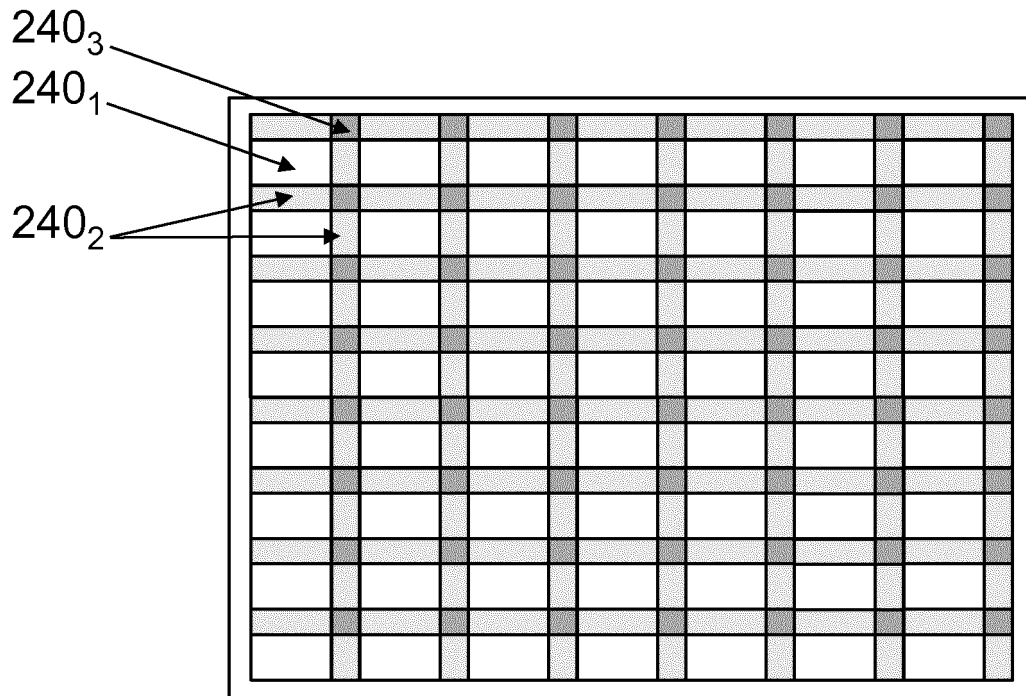


Fig. 3D

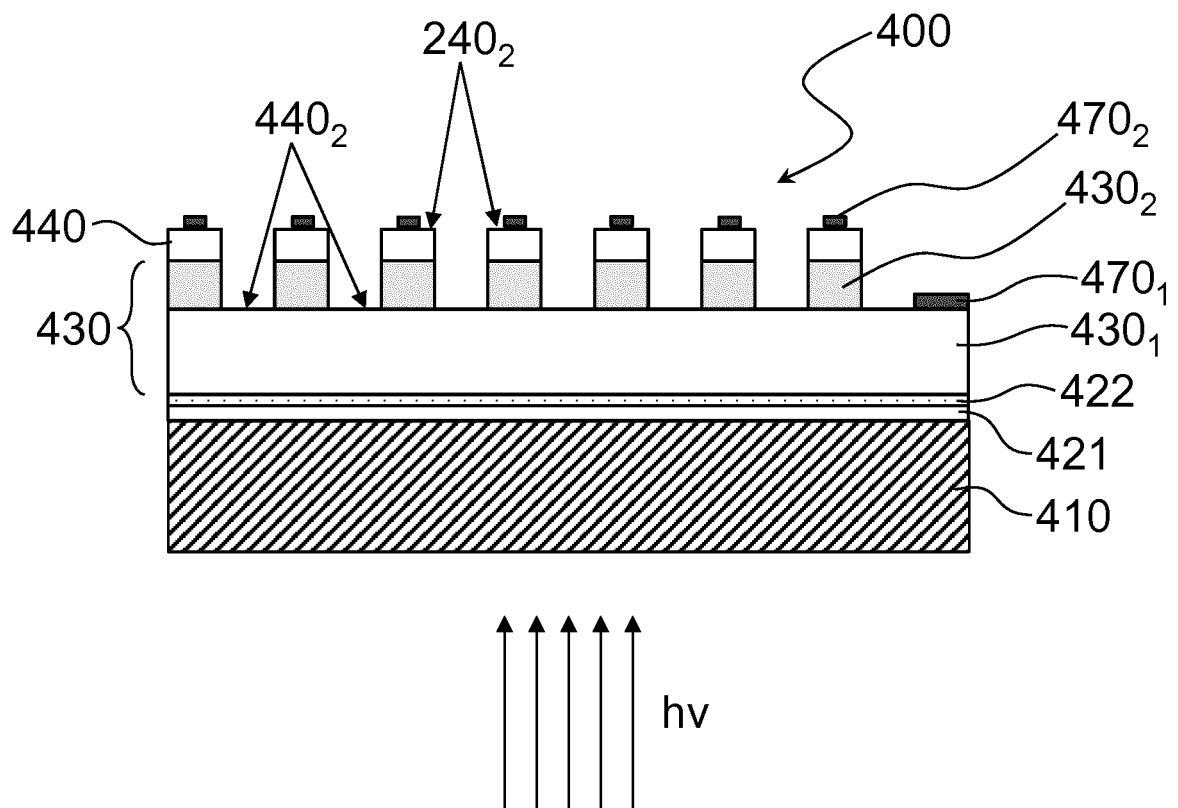


Fig. 4

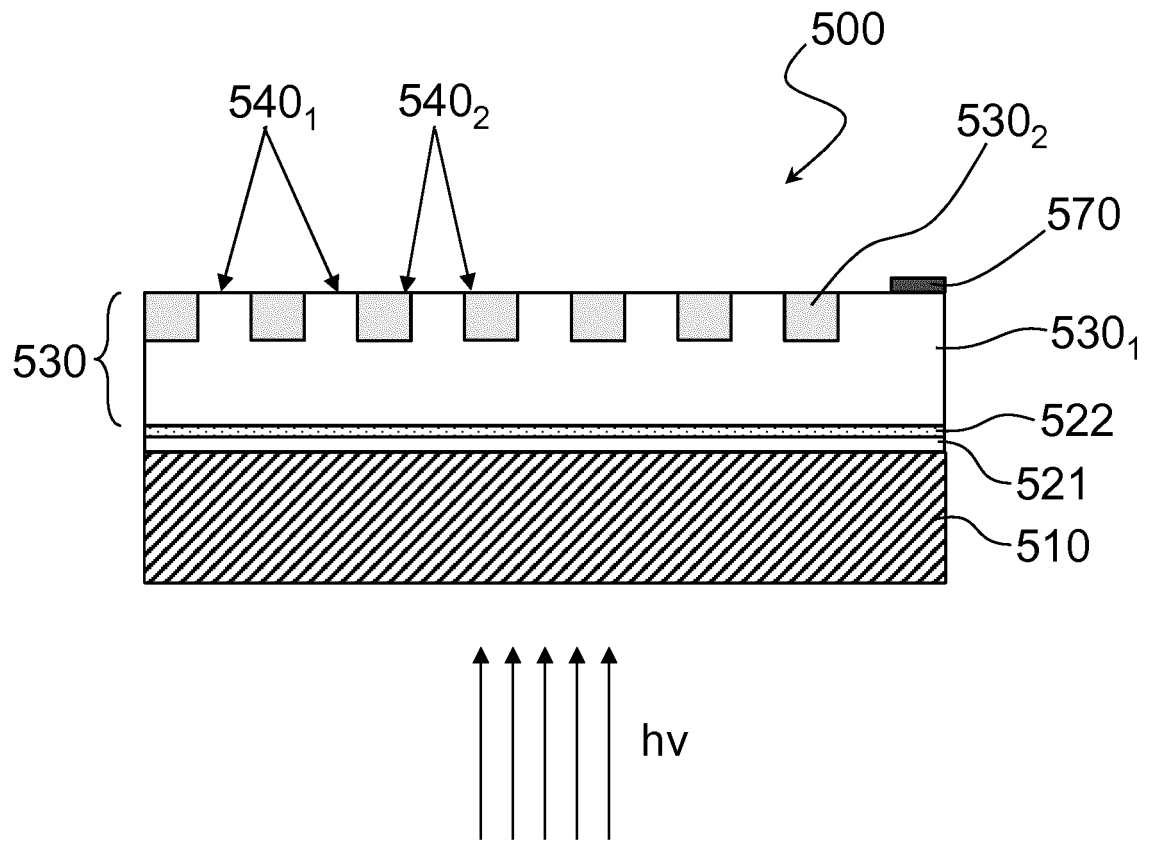


Fig. 5

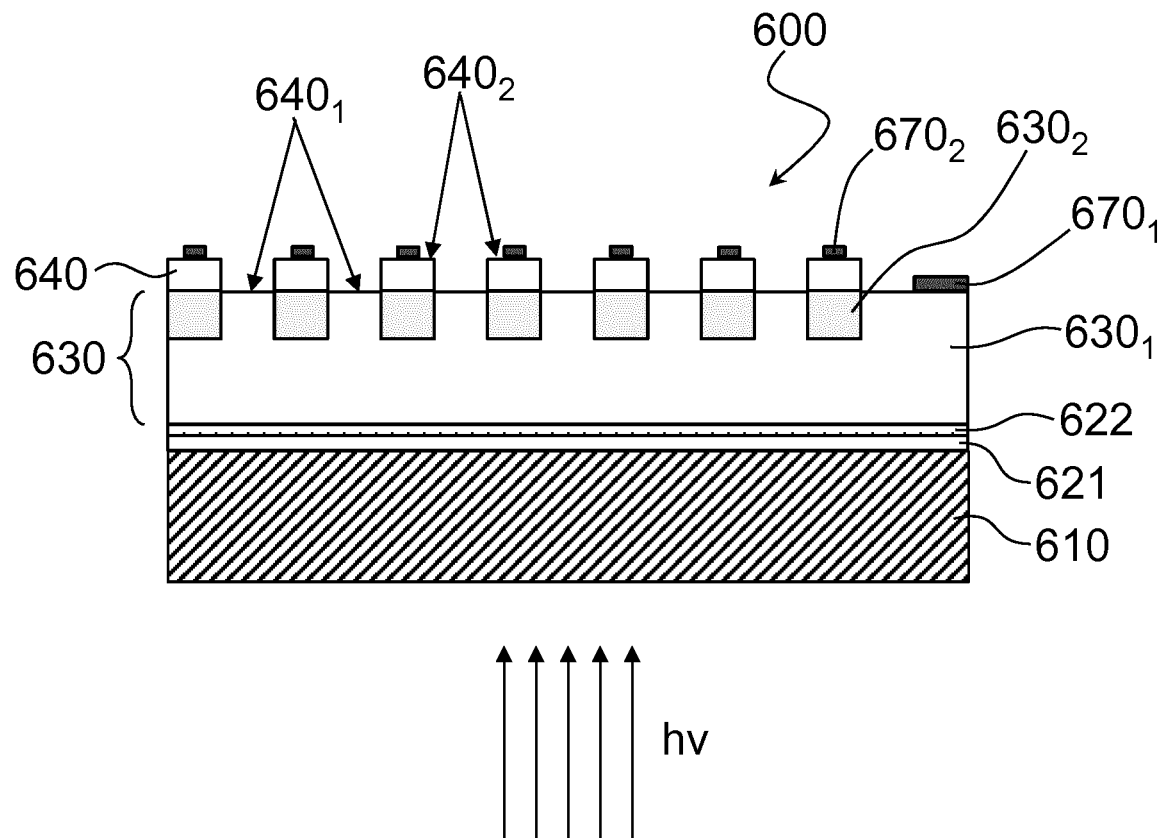


Fig. 6

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- US 6005257 B [0009]
- US 3958143 B [0054]