(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 907 154 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention de la délivrance du brevet:
23.11.2016 Bulletin 2016/47

(21) Numéro de dépôt: **12773306.1**

(22) Date de dépôt: **12.10.2012**

(51) Int Cl.:
H01J 1/34 *(2006.01)* ***H01J 40/06*** *(2006.01)*
H01J 40/16 *(2006.01)*

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2012/070313

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2014/056550 (17.04.2014 Gazette 2014/16)

(54) **PHOTOCATHODE SEMI-TRANSPARENTE À TAUX D'ABSORPTION AMÉLIORÉ**

HALBTRANSPARENTE FOTOKATHODE MIT VERBESSERTER ABSORPTIONSRATE

SEMI-TRANSPARENT PHOTOCATHODE WITH IMPROVED ABSORPTION RATE

(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

(43) Date de publication de la demande:
19.08.2015 Bulletin 2015/34

(73) Titulaire: **Photonis France**
19100 Brive La Gaillarde (FR)

(72) Inventeurs:
- **NÜTZEL, Gert**
  Delft, 2611 RV (NL)
- **LAVOUTE, Pascal**
  F-19100 Brive La Gaillarde (FR)

(74) Mandataire: **Brevalex**
95, rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(56) Documents cités:
EP-A1- 2 006 876
WO-A1-01/09915
WO-A1-99/50875
US-A- 3 697 794
US-A- 4 999 211
US-A1- 2010 253 218

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).

EP 2 907 154 B1

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] La présente invention se rapporte au domaine général des photocathodes semi-transparentes, et plus précisément, à celui des photocathodes semi-transparentes de type à antimoine et métal alcalin, ou à oxyde d'argent (AgOCs), fréquemment utilisées dans les détecteurs de rayonnement électromagnétique, tels que, par exemple, les tubes intensificateurs d'image et les tubes photomultiplicateurs.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

[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] Comme le montre la figure 1, une telle photocathode 1 comprend habituellement une couche support 10 transparente et une couche 20 d'un matériau photoémissif déposée sur une face 12 de ladite couche support.

[0005] La couche support 10 comporte une face avant 11, dite de réception, destinée à recevoir les photons incidents, et une face arrière 12 opposée. La couche support 10 est transparente vis-à-vis des photons incidents, et présente donc une transmittance proche de l'unité.

[0006] La couche photoémissive 20 présente une face amont 21 en contact avec la face arrière 12 de la couche support 10, et une face aval 22 opposée, dite face d'émission, de laquelle sont émis les photoélectrons générés.

[0007] Ainsi, les photons traversent la couche support 10 à partir de la face de réception 11, puis pénètrent dans la couche photoémissive 20.

[0008] Ils sont ensuite absorbés dans la couche photoémissive 20 et y génèrent des paires électrons-trous. Les électrons générés se déplacent jusqu'à la face d'émission 22 de la couche photoémissive 20 et sont émis dans le vide. Le vide est en effet réalisé à l'intérieur du détecteur pour que le déplacement des électrons ne soit pas perturbé par la présence de molécules de gaz.

[0009] Les photoélectrons sont ensuite dirigés et accélérés vers un dispositif multiplicateur d'électrons tel qu'une galette de microcanaux ou un ensemble de dynodes.

[0010] EP 2 006 876 A1, US 2010/253218 A1, US 3 697 794 A, US 4 999 211 A et WO 01/09915 A1 décrivent des photocathodes semi-transparentes conventionnelles pour détecteur de photons, comportant :

- une couche support transparente présentant une face avant pour recevoir lesdits photons et une face arrière opposée, et
- une couche photoémissive disposée sur ladite face arrière et présentant une face d'émission opposée, destinée à recevoir lesdits photons à partir de ladite couche support et à émettre en réponse des photoélectrons à partir de ladite face d'émission.

[0011] Le rendement de la photocathode, dit rendement quantique, est classiquement défini comme le rapport du nombre de photoélectrons émis sur le nombre de photons incidents reçus.

[0012] Il dépend notamment de la longueur d'onde des photons incidents et de l'épaisseur de la couche photoémissive.

[0013] A titre illustratif, pour une photocathode de type S25, le rendement quantique est de l'ordre de 15% pour une longueur d'onde de 500nm.

[0014] Le rendement quantique dépend plus précisément des trois étapes principales, mentionnées précédemment, du phénomène de photoémission : l'absorption du photon incident et la formation d'une paire électron-trou ; le transport de l'électron généré jusqu'à la face d'émission de la couche photoémissive ; et l'émission de l'électron dans le vide.

[0015] Chacune de ces trois étapes présente un rendement propre, le produit des trois rendements définissant le rendement quantique de la photocathode.

[0016] Cependant, les rendements des étapes d'absorption et de transport sont directement dépendants de l'épaisseur de la couche photoémissive.

[0017] Ainsi, le rendement ε_a de l'étape d'absorption est une fonction croissante de l'épaisseur de la couche photoémissive. Plus la couche photoémissive est épaisse, plus le rapport du nombre de photons absorbés sur le nombre de photons incidents est important. Les photons qui n'auront pas été absorbés sont transmis au travers de la couche

photoémissive.

[0018] Par contre, le rendement ε_t de la phase de transport, c'est-à-dire le rapport entre les électrons atteignant la face d'émission sur les électrons générés, est une fonction décroissante de l'épaisseur de la couche photoémissive. Plus l'épaisseur de la couche est importante, plus le rendement Et est faible. En effet, les électrons générés auront d'autant plus de chance de se recombiner avec des trous que la distance à parcourir est grande.

[0019] Aussi, il existe une épaisseur optimale qui maximise le produit du taux d'absorption ε_a avec le taux de transport ε_t, et donc le rendement quantique.

[0020] A titre illustratif, pour la photocathode de type S25 fréquemment utilisée dans les tubes intensificateurs d'image, l'épaisseur optimale de la couche photoémissive, réalisée en SbNaK ou $SbNa_2KCs$, est habituellement entre 50 et 200 nm.

[0021] La figure 2 illustre, pour une telle couche photoémissive, l'évolution du taux d'absorption ε_a en fonction de la longueur d'onde des photons incidents, ainsi que les taux de réflexion ε" des photons incidents et de transmission ε' de ceux-ci au travers de la couche photoémissive.

[0022] Il apparaît que, pour les grandes longueurs d'onde, notamment les longueurs d'onde proches du seuil de photoémission, le taux d'absorption ε_a diminue fortement alors que le taux de transmission ε' augmente.

[0023] Ainsi, pour les photons incidents de 800μm de longueur d'onde, seuls 40% d'entre eux sont absorbés alors que 60% sont transmis au travers de la couche photoémissive.

[0024] Pour diminuer le taux de transmission de la couche photoémissive au profit du taux d'absorption dans le but d'augmenter le rendement quantique, notamment aux grandes longueurs d'onde, une solution peut consister à augmenter l'épaisseur de ladite couche.

[0025] Ainsi, augmenter l'épaisseur à 280nm de la couche photoémissive mentionnée précédemment conduit, pour la longueur d'onde de 800μm, à un taux d'absorption de 64%, au lieu de 40%, et à un taux de transmission diminué à 36%.

[0026] Cependant, cela entraîne une forte diminution du taux de transport dans la mesure où les électrons générés ont davantage de distance à parcourir jusqu'à la face d'émission de la couche photoémissive, et donc davantage de chances de se recombiner.

[0027] Aussi, l'augmentation de l'épaisseur de la couche photoémissive, bien qu'améliorant le taux d'absorption, ne conduit pas à une augmentation du rendement quantique, notamment aux grandes longueurs d'onde, puisque le taux de transport est dégradé.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0028] L'invention a principalement pour but de présenter une photocathode semi-transparente pour détecteur de photons, comportant une couche photoémissive présentant un taux d'absorption des photons incidents élevé et un taux de transport des électrons préservé.

[0029] Pour ce faire, l'invention a pour objet une photocathode semi-transparente pour détecteur de photons, comportant :

- une couche support transparente présentant une face avant pour recevoir lesdits photons et une face arrière opposée, et
- une couche photoémissive disposée contre ladite face arrière et présentant une face d'émission opposée, destinée à recevoir lesdits photons à partir de ladite couche support et à émettre en réponse des photoélectrons à partir de ladite face d'émission.

[0030] Selon l'invention, ladite photocathode comporte un réseau de diffraction en transmission apte à diffracter lesdits photons, disposé dans la couche support et situé au niveau de ladite face arrière.

[0031] Par photocathode dite semi-transparente, on entend une photocathode dont les photoélectrons sont émis à partir d'une face d'émission opposée à la face de réception des photons incidents. Elle se distingue des photocathodes dites opaques pour lesquelles les électrons sont émis à partir de la face de réception des photons.

[0032] La couche support est dite transparente dans la mesure où elle permet la transmission des photons incidents. La transmittance de la couche support, ou rapport des photons transmis sur les photons reçus, est donc proche ou égale à l'unité.

[0033] Ainsi, les photons incidents pénètrent dans la couche support par la face avant dite de réception et la traversent jusqu'à la face arrière opposée.

[0034] Ils sont alors diffractés par le réseau de diffraction en direction de la couche photoémissive.

[0035] Ils pénètrent dans la couche photoémissive avec un angle de diffraction sensiblement différent de l'angle d'incidence.

[0036] Par définition, les angles d'incidence, de diffraction et de réfraction des photons sont mesurés par rapport à la normale à la face considérée. Ainsi, les angles d'incidence et de diffraction mentionnés précédemment sont définis par

rapport à la normale à la face arrière de la couche support au niveau de laquelle est disposé le réseau de diffraction.

[0037] Lorsqu'un photon arrive sur le réseau de diffraction avec un angle d'incidence sensiblement nul, il pénètre dans la couche photoémissive avec un angle de diffraction non nul. De manière générale, pour une distribution donnée de l'angle d'incidence, on observe une distribution sensiblement plus étalée de l'angle de diffraction.

[0038] Ainsi, pour une épaisseur de la couche photoémissive, notée e et mesurée suivant la direction d'épaisseur de celle-ci, l'épaisseur apparente moyenne pour les photons est $e.E(1/|\cos\alpha_d|)$ où α_d est l'angle de diffraction des photons et $E(.)$ désigne la moyenne prise sur la distribution angulaire de l'angle de diffraction des photons.

[0039] Le taux d'absorption de la couche photoémissive est alors plus élevé que celui de la photocathode selon l'art antérieur mentionnée précédemment, dans la mesure où il est une fonction croissante de l'épaisseur, ici de l'épaisseur apparente, de la couche photoémissive.

[0040] De plus, le taux de transport est alors préservé dans la mesure où il ne dépend pas de l'épaisseur apparente de la couche photoémissive vue par les photons, mais de l'épaisseur réelle de celle-ci. En effet, lorsque les photons génèrent des paires électrons-trous, les électrons générés se déplacent jusqu'à la face d'émission indépendamment du sens de propagation préalable des photons.

[0041] Ainsi, la photocathode selon l'invention présente un taux élevé d'absorption des photons et un taux de transport des électrons préservé.

[0042] Cela permet d'améliorer le rendement quantique de la photocathode.

[0043] Il est à noter que le rendement quantique pour les grandes longueurs d'onde, donc proche du seuil de photoémission, est significativement augmenté, dans la mesure où les photons avec de telles longueurs d'onde avaient tendance, selon l'exemple de l'art antérieur cité précédemment, à être davantage transmis qu'absorbés.

[0044] Ledit réseau de diffraction est avantageusement gravé dans la face arrière de la couche support.

[0045] Ledit réseau de diffraction est, de préférence, disposé de manière à délimiter au moins en partie la face arrière de la couche support.

[0046] Ledit réseau de diffraction est, de préférence, formé d' un arrangement périodique de motifs remplis d'un matériau présentant un indice optique différent du matériau de la couche support.

[0047] Par motifs, on entend des échancrures, ou entailles, ou évidements ou encoches, ou rayures présentant une forme sinusoïdale, à échelle, trapézoïdale, pratiqués dans la couche support.

[0048] De préférence, la différence entre les indices optiques du matériau du réseau de diffraction présent dans lesdits motifs d'une part et du matériau de la couche support d'autre part est supérieure ou égale à 0,2.

[0049] Avantageusement, le pas du réseau et/ou le matériau du réseau de diffraction sont choisis de sorte que les photons sont diffractés dans la couche photoémissive avec un angle de diffraction strictement supérieur à $\arcsin(1/n_p)$.

[0050] Selon un autre mode de réalisation, la photocathode comprend au moins un réseau de diffraction supplémentaire apte à diffracter lesdits photons, situé dans la couche support et disposé à proximité dudit premier réseau de diffraction, formé d'un arrangement périodique de motifs remplis d'un matériau présentant un indice optique différent du matériau de la couche support.

[0051] Les réseaux de diffraction sont orientés selon des directions distinctes, et distants les uns des autres d'une distance négligeable par rapport à l'épaisseur moyenne de la couche support. Cette distance est environ d'un dixième à dix fois la longueur d'onde considérée.

[0052] L'arrangement périodique de motifs dudit au moins un réseau de diffraction supplémentaire peut être décalé suivant une direction orthogonale à la direction d'épaisseur de la couche support par rapport à l'arrangement dudit premier réseau de diffraction.

[0053] Alternativement, le réseau de diffraction et le réseau de diffraction supplémentaire sont disposés dans le même plan.

[0054] La couche photoémissive peut comprendre de l'antimoine et au moins un métal alcalin.

[0055] Une telle couche photoémissive peut être réalisée en un matériau choisi parmi SbNaKCs, $SbNa_2KCs$, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs ou SbRbCs.

[0056] Alternativement, la couche photoémissive peut être formée d'AgOCs.

[0057] La couche photoémissive présente, de préférence, une épaisseur sensiblement constante.

[0058] La couche photoémissive présente, de préférence, une épaisseur inférieure ou égale à 300nm.

[0059] L'invention porte également sur un système optique de détection de photons comportant une photocathode selon l'une quelconque des caractéristiques précédentes, et un dispositif de sortie pour émettre un signal de sortie en réponse aux photoélectrons émis par ladite photocathode.

[0060] Un tel système optique peut être un tube intensificateur d'image ou un tube photomultiplicateur.

[0061] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0062] On décrira à présent, à titre d'exemples non limitatifs, des modes de réalisation de l'invention, en se référant aux dessins annexés, dans lesquels :

La figure 1, déjà décrite, est une vue schématique en coupe transversale d'une photocathode selon un exemple de l'art antérieur ;
La figure 2, déjà décrite, illustre un exemple d'évolution des taux d'absorption, de transmission et de réflexion en fonction de la longueur d'onde d'une couche photoémissive de 140nm d'épaisseur d'une photocathode du type S25 selon un exemple de l'art antérieur ;
La figure 3 est une vue schématique en coupe transversale de la photocathode selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention ;
La figure 4 est une vue schématique en coupe transversale agrandie d'une partie de la photocathode illustrée sur la figure 3 ;
La figure 5 illustre un exemple d'évolution du rendement quantique en fonction de la longueur d'onde pour une photocathode selon l'art antérieur et pour une photocathode selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention ;
La figure 6 est une vue schématique en coupe transversale de la photocathode selon un autre mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel les photons diffractés sont réfléchis totalement au niveau de la couche d'émission de la photocathode ; et
La figure 7 est une vue schématique en coupe transversale de la photocathode selon un autre mode de réalisation préféré de l'invention, dans lequel la photocathode comprend deux réseaux de diffraction.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PRÉFÉRÉ

[0063] Les figures 3 et 4 illustrent une photocathode 1 semi-transparente selon un premier mode de réalisation préféré de l'invention.

[0064] Il est à noter que les échelles ne sont pas respectées, pour privilégier la clarté du dessin.

[0065] La photocathode 1 selon l'invention peut équiper tout type de détecteur de photons, tel que, par exemple, un tube intensificateur d'image ou un tube multiplicateur d'électrons.

[0066] La photocathode a pour fonction de recevoir un flux de photons incidents et d'émettre en réponse des électrons, dits photoélectrons.

[0067] Elle comprend une couche support 10 transparente, une couche 20 d'un matériau photoémissif et, selon l'invention, au moins un réseau de diffraction 30 apte à diffracter les photons incidents.

[0068] La couche support 10 est une couche d'un matériau transparent sur laquelle est déposée la couche photoémissive 20.

[0069] Elle est dite transparente dans la mesure où les photons incidents la traversent sans être absorbés. La transmittance de la couche support 10 est donc sensiblement égale à l'unité.

[0070] Elle comporte une face avant 11, dite face de réception des photons, et une face arrière 12 opposée.

[0071] Au moins un réseau de diffraction 30 en transmission est disposé dans la couche support 10 au niveau de ladite face arrière 12.

[0072] Dans le mode de réalisation préféré de l'invention illustré sur les figures 3 et 4, un unique réseau de diffraction 30 est prévu.

[0073] Le réseau de diffraction 30 est formé d'un arrangement périodique de motifs 31 remplis d'un matériau présentant un indice optique différent du matériau de la couche support 10.

[0074] Par motifs, on entend des échancrures, entailles, évidements, encoches ou rayures, présentant une forme sinusoïdale, à échelle, trapézoïdale ou autre, pratiqués dans la couche support.

[0075] La différence entre les indices optiques du matériau du réseau de diffraction 30 présent dans lesdits motifs 31 d'une part et du matériau de la couche support 10 d'autre part est supérieure ou égale à 0,2.

[0076] Le réseau de diffraction 30 est notamment caractérisé par la distance, appelée pas du réseau, entre deux motifs 31 voisins. Le pas du réseau est défini en fonction de la longueur d'onde des photons incidents, de manière à pouvoir les diffracter.

[0077] Comme le montre en détail la figure 4, le réseau de diffraction 30 peut être disposé dans la couche support 10 au niveau de la face arrière 12, délimitant ainsi au moins en partie la face arrière 12.

[0078] Alternativement, le réseau de diffraction peut être disposé à l'intérieur la couche support et situé à proximité immédiate de la face arrière, à une distance de celle-ci négligeable par rapport à l'épaisseur de la couche support.

[0079] Il est à noter que la face arrière 12 de la couche support 10 est sensiblement plane. Elle peut cependant être courbe dans le cas d'une photocathode présentant elle-même une courbure définie.

[0080] Sur la Fig. 4, le réseau de diffraction 30 est localisé dans la couche support 10, de sorte que le matériau remplissant les motifs 31 du réseau ne fait pas saillie hors desdits motifs. Toutefois, comme nous le verrons lors de la réalisation de la photocathode, le matériau remplissant les motifs 31 peut, selon une variante, former une couche entre la face arrière 12 de la couche support et la couche photoémissive 20.

[0081] La couche photoémissive 20 est disposée contre la face arrière 12 de la couche support 10.

[0082] Elle présente une face amont 21, en contact avec la face arrière 12 de la couche support 10, et une face aval 22 opposée, dite face d'émission des photoélectrons.

[0083] La couche photoémissive 20 présente une épaisseur moyenne sensiblement constante, notée e. L'épaisseur est de préférence inférieure ou égale à 300nm.

[0084] La couche photoémissive 20 est réalisée en un matériau semi-conducteur adapté, de préférence un composé alcalin à base d'antimoine. Un tel matériau alcalin peut être choisi parmi SbNaKCs, $SbNa_2KCs$, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs ou SbRbCs. La couche photoémissive 20 peut également être formée en oxyde d'argent AgOCs.

[0085] La face d'émission 22 peut être traitée à l'hydrogène, au césium ou à l'oxyde de césium pour diminuer son affinité électronique. Ainsi, les photoélectrons qui atteignent la face aval 22 d'émission de la couche photoémissive 20 peuvent s'en extraire naturellement et être ainsi émis dans le vide.

[0086] Une électrode (non représentée), formant réservoir d'électrons, est au contact de la couche photoémissive 20 et est portée à un potentiel électrique.

[0087] Elle peut être disposée contre une face latérale de la couche photoémissive 20, pour ne pas diminuer ou perturber l'émission des électrons à partir de la face aval 22 d'émission.

[0088] Le réservoir d'électrons permet la recombinaison des trous générés par les photons incidents. Ainsi, la charge électrique globale de la couche photoémissive 20 reste sensiblement constante.

[0089] Il est à noter que la couche photoémissive 20 est suffisamment mince pour que les électrons générés se déplacent naturellement jusqu'à la face d'émission 22.

[0090] Il n'est donc pas nécessaire de générer un champ électrique dans la couche photoémissive 20 pour assurer le transport des électrons jusqu'à la face d'émission. La génération d'un tel champ électrique nécessiterait en effet de déposer deux électrodes de polarisation, l'une contre la face amont 21 de la couche photoémissive 20 et l'autre contre la face aval 22 d'émission.

[0091] Le fonctionnement de la photocathode selon l'invention est décrit ci-après.

[0092] Des photons pénètrent dans la photocathode 1 par la face avant 11 de réception de la couche support 10.

[0093] Ils traversent la couche support 10 jusqu'à la face arrière 12 de celle-ci.

[0094] Ils sont ensuite diffractés par le réseau de diffraction 30 et transmis dans la couche photoémissive 20. Ils présentent statistiquement un angle de diffraction sensiblement supérieur, en valeur absolue, à l'angle d' incidence, les angles d'incidence et de diffraction sont définis par rapport à la normale à la face arrière 12.

[0095] Plus précisément, si l'on note $\alpha=\alpha_i$ l'angle d'incidence sur le réseau, $f(\alpha)$ la distribution angulaire du faisceau incident, α_d l'angle de diffraction, la distribution angulaire du faisceau diffracté peut s'écrire :

$$F(\alpha) = \Pi \otimes f(\alpha) \approx f(\alpha+\theta) + f(\alpha-\theta)$$

où Π est la figure de diffraction du réseau et l'approximation est faite en se limitant au premier ordre de diffraction avec $\theta = \lambda/p$ où p est le pas du réseau.

[0096] La distribution angulaire du faisceau diffracté est par conséquent plus étalée que celle du faisceau incident. Les électrons voient une couche photoémissive 20 d'épaisseur moyenne apparente :

$$e_d = e \int_{-\alpha_{max}+\theta}^{\alpha_{max}+\theta} \frac{F(\alpha_d)}{|\cos\alpha_d|} d\alpha_d$$

où e est l'épaisseur réelle de la couche et α_{max} est l'angle d'incidence maximal sur le réseau.

[0097] L'épaisseur moyenne apparente e_d de la couche photoémissive est sensiblement supérieure à son épaisseur réelle e, autrement dit la distance moyenne parcourue par les photons dans la couche est sensiblement plus importante que dans l'art intérieur. Il en résulte qu' un pourcentage plus élevé des photons diffractés est absorbé.

[0098] L'absorption des photons diffractés entraîne la génération de paires électrons-trous. Les électrons générés se propagent dans la couche photoémissive 20 jusqu'à la face aval 22 d'émission où ils sont émis dans le vide.

[0099] Dans la mesure où le transport des électrons dans la couche photoémissive 20 est indépendant de la direction de propagation préalable des photons, le taux de transport de la couche photoémissive 20 est sensiblement égal à celui

d'une photocathode selon l'art antérieur, c'est-à-dire sans réseau de diffraction. Le taux de transport est ainsi préservé.

[0100] La photocathode 1 selon l'invention présente ainsi un taux d'absorption élevé et un taux de transport préservé, ce qui conduit à un rendement quantique optimisé, notamment pour les énergies proches du seuil de photoémission.

[0101] La photocathode 1 selon l'invention peut être réalisée comme suit.

[0102] La couche support 10 est réalisée en un matériau transparent adapté, par exemple en quartz ou en verre borosilicate.

[0103] Les motifs 31 du réseau de diffraction 30 sont gravés dans la couche support 10 au niveau de la face arrière 12 par des techniques connues de gravure, telles que, par exemple, les techniques d'holographie et/ou de décapage ionique, voire de gravure par diamant.

[0104] Les motifs 31 sont ensuite remplis par un matériau de diffraction dont l'indice optique est différent de celui de la couche support, comme, par exemple, de l'Al_2O_3 (n~1, 7), du TiO_2 (n~2, 3-2, 6) ou du Ta_2O_5 (n~2,2), voire du HfO_2.

[0105] Ce matériau peut être déposé par des techniques connues de dépôt physique en phase vapeur, telles que, par exemple, la pulvérisation cathodique (*sputtering,* en anglais), l'évaporation, ou le dépôt physique en phase vapeur à faisceau d'électrons EBPVD (*electron beam physical vapeur déposition,* en anglais). Les techniques connues de dépôt chimique en phase vapeur, telles que, par exemple, le dépôt en couche atomique ALD (*atomic layer deposition,* en anglais) peuvent également être utilisées, ainsi que les techniques connues dites hybrides, telles que, par exemple, la pulvérisation réactive et le dépôt assisté par faisceau d'ions (IBAD pour *ion beam assisted deposition,* en anglais).

[0106] Selon une première variante avantageuse, illustrée en Fig. 4, la face arrière 12 est polie de manière à enlever tout surplus de matériau de diffraction faisant saillie hors des motifs 31 du réseau de diffraction 30.

[0107] Selon une seconde variante, non représentée, la face arrière est polie sans pour autant affleurer au niveau de la face arrière. Il en résulte qu'une couche uniforme de matériau de diffraction reste présente sur la face arrière 22, en continuité avec les motifs.

[0108] Quelle que soit la variante, une fine barrière de diffusion peut être ensuite déposée pour prévenir toute migration/interaction chimique entre le matériau de la couche photoémissive et le matériau du réseau de diffraction. L'épaisseur de la barrière de diffusion est choisie suffisamment mince (moins de $\lambda/4$ et de préférence de l'ordre de $\lambda/10$).

[0109] Dans tous les cas, la couche photoémissive 20 est ensuite déposée par l'une des techniques de dépôt précédemment mentionnées.

[0110] A titre illustratif, une photocathode 1 de type S25 selon le premier mode de réalisation préféré de l'invention peut être réalisée de la manière suivante.

[0111] La couche support 10 est réalisée en quartz.

[0112] Le réseau de diffraction 30 est gravé dans la couche support 10 au niveau de la face arrière 12, sous forme d'un arrangement périodique de rainures 31 parallèles les unes aux autres.

[0113] Les rainures 31 présentent une largeur de 341nm et une profondeur de 362nm. Le pas du réseau, c'est-à-dire la distance séparant deux rainures 31 voisines et parallèles, est de 795nm.

[0114] Les rainures 31 sont remplies par exemple de TiO_2, dont l'indice optique est compris entre 2,3 et 2,6.

[0115] Le TiO_2 peut être déposé par la technique connue de dépôt de couche atomique (ALD, pour *Atomic Layer Deposition,* en anglais).

[0116] Une étape de polissage de la face arrière 12 est effectuée pour enlever tout surplus de matériau de diffraction en saillie hors des rainures 31.

[0117] Ainsi, la face arrière 12 est sensiblement plane, et délimitée en partie par le matériau (quartz) de la couche support 10 et en partie par le matériau (TiO_2) de diffraction des rainures 31 du réseau de diffraction 30.

[0118] La couche photoémissive 20 est enfin réalisée en SbNaK ou $SbNa_2KCs$ et est déposée sur la face arrière 12 de la couche support 10 de manière à présenter une épaisseur de 50 à 240 nm sensiblement constante.

[0119] La figure 5 illustre l'évolution du rendement quantique en fonction de la longueur d'onde des photons incidents, pour une telle photocathode d'une part et pour une photocathode selon l'exemple de l'art antérieur décrit précédemment d'autre part.

[0120] On remarque que le rendement quantique est amélioré sur toute la gamme de longueur d'onde, et plus particulièrement aux grandes longueurs d'onde.

[0121] Ainsi, pour λ~825nm, le rendement quantique de la photocathode selon l'invention est de l'ordre de 18% alors qu' il est de l'ordre de 10% dans le cas d' une photocathode sans réseau de diffraction, ce qui donne une amélioration de près de 80% du rendement quantique.

[0122] La figure 6 illustre une photocathode selon un second mode de réalisation de l'invention.

[0123] Les références numériques identiques à celles de la figure 3 précédemment décrite désignent des éléments identiques ou similaires.

[0124] La photocathode 1 ne diffère du premier mode de réalisation préféré que par le fait que le réseau de diffraction 30 est dimensionné de sorte que tout photon arrivant sous incidence normale (α_i=0), diffracté et non absorbé dans la couche photoémissive 20, soit réfléchi au niveau de la face aval 22 d'émission.

[0125] Alternativement, le réseau de diffraction 30 est avantageusement dimensionné de sorte que l'angle de diffraction

moyen $\overline{\alpha_d}$ (compte tenu de la distribution angulaire $F(\alpha_d)$) soit strictement supérieur à arcsin(1/n_p) où n_p est l'indice optique de la couche photoémissive. Plus précisément, le pas p du réseau et/ou l'indice optique du matériau de diffraction remplissant les motifs 31 sont choisis de sorte que l'angle de diffraction moyen $\overline{\alpha_d}$ soit strictement supérieur à arcsin(1/n_p).

[0126] Ainsi, ces photons réfléchis restent localisés dans la couche photoémissive 20 jusqu'à leur absorption et la génération de paire électron-trou.

[0127] Cela permet de diminuer significativement le taux de transmission des photons de la couche photoémissive 20 en faveur du taux d'absorption.

[0128] Le taux de transport des électrons restant inchangé, le rendement quantique de la photocathode est par conséquent encore amélioré, en particulier pour les photons d'énergie proche du seuil de photoémission.

[0129] La figure 7 illustre une photocathode, vue de dessus, selon un troisième mode de réalisation de l'invention, dans laquelle deux réseaux de diffraction 30, 40 sont présents dans la couche support 10 au niveau de la face arrière 12.

[0130] Les références numériques identiques à celles de la figure 3 précédemment décrite désignent des éléments identiques ou similaires.

[0131] La photocathode ne diffère du premier mode de réalisation préféré que par la présence d'un réseau de diffraction supplémentaire 40 dans la couche support 10.

[0132] Ce réseau supplémentaire 40 est disposé à proximité du premier réseau de diffraction 30, en amont de celui-ci suivant le sens de propagation des photons.

[0133] Ces deux réseaux 30, 40 sont orientés selon des directions distinctes, de préférence orthogonales, et sont distants l'un de l'autre d'une distance négligeable par rapport à l'épaisseur de la couche support, par exemple d'une distance de l'ordre de $\lambda/10$ à 10λ.

[0134] Le réseau supplémentaire 40 est par exemple de même pas que le premier réseau de diffraction 30 précédemment décrit.

[0135] Selon une variante, le premier réseau de diffraction et le réseau supplémentaire sont réalisés dans un même plan selon un motif bidimensionnel dont la fonction de transmission est le produit des fonctions de transmission respectives du premier réseau et du réseau supplémentaire. Le motif bidimensionnel peut être obtenu par des techniques holographiques.

[0136] Dans l'hypothèse de deux réseaux orthogonaux, la distribution angulaire des photons diffractés peut alors s'écrire sous la forme :

$$F(\alpha,\beta) = \Pi \otimes f(\alpha,\beta)$$
$$\approx f(\alpha+\theta,\beta+\theta') + f(\alpha+\theta,\beta-\theta') + f(\alpha-\theta,\beta+\theta') + f(\alpha-\theta,\beta-\theta')$$

en gardant les mêmes notations, où α et β sont respectivement les angles d'incidence du photon dans le plan perpendiculaire à la direction du premier réseau et dans le plan perpendiculaire à la direction du réseau supplémentaire, $\theta=\lambda/p$; $\theta'=\lambda/p'$ où p et p' sont les pas du premier réseau et du réseau supplémentaire.

[0137] Ainsi, la distribution angulaire est davantage étalée que dans le premier mode de réalisation et l'épaisseur apparente de la couche photoémissive 20 pour les photons est plus importante, ce qui améliore le taux d'absorption.

[0138] L'homme du métier comprendra que ce mode de réalisation n'est pas limité à deux réseaux de diffraction. Un plus grand nombre de réseaux de diffraction de directions distinctes peuvent être présents dans la couche support au niveau de la face arrière.

[0139] Par ailleurs, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite uniquement à titre d'exemples non limitatifs.

[0140] Enfin la photocathode décrite ci-dessus peut être intégrée dans un système optique de détection de photons. Un tel système optique comprend un dispositif de sortie adapté à convertir les photoélectrons en un signal électrique. Ce dispositif de sortie peut comprendre une matrice CCD, le système optique étant connu sous l'acronyme EB-CCD (Electron Bombarded CCD). Alternativement, le dispositif de sortie peut comprendre une matrice CMOS sur substrat aminci et passivé, le système optique étant alors connu sous l'acronyme EBCMOS (Electron Bombarded CMOS).

Revendications

1. Photocathode (1) semi-transparente pour détecteur de photons, comportant :

- une couche support (10) transparente présentant une face avant (11) pour recevoir lesdits photons et une face arrière (12) opposée, et

- une couche photoémissive (20) disposée sur ladite face arrière (12) et présentant une face d'émission (22) opposée, destinée à recevoir lesdits photons à partir de ladite couche support (10) et à émettre en réponse des photoélectrons à partir de ladite face d'émission (22),

caractérisée en ce qu'elle comporte un réseau de diffraction (30) en transmission apte à diffracter lesdits photons, disposé dans la couche support (10) et situé au niveau de ladite face arrière (12).

2. Photocathode (1) selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** ledit réseau de diffraction (30) est gravé dans la face arrière (12) de la couche support (10).

3. Photocathode (1) selon la revendication 1 ou 2, **caractérisée en ce que** ledit réseau de diffraction (30) est formé d'un arrangement périodique de motifs (31) remplis d'un matériau présentant un indice optique différent du matériau de la couche support (10).

4. Photocathode (1) selon la revendication 3, **caractérisée en ce que** ledit réseau de diffraction (30) est disposé de manière à délimiter au moins en partie la face arrière (12) de la couche support (10) en affleurant au niveau de celle-ci.

5. Photocathode (1) selon la revendication 3, **caractérisée en ce qu'**une couche du dit matériau est disposée directement sur la face arrière, en continuité avec lesdits motifs.

6. Photocathode (1) selon la revendication 4 ou 5, **caractérisée en ce qu'**une barrière de diffusion est disposée entre le réseau de diffraction et la couche photoémissive.

7. Photocathode (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisée en ce qu'**elle comprend au moins un réseau de diffraction supplémentaire (40) adapté à diffracter lesdits photons, situé dans la couche support (10) et disposé à proximité dudit premier réseau de diffraction (30), formé d'un arrangement périodique de motifs (41) selon une direction distincte de celle des motifs du premier réseau.

8. Photocathode (1) selon la revendication 7, **caractérisée en ce que** le premier réseau et le réseau de diffraction supplémentaire (40) sont situés dans un même plan et réalisés au moyen de motifs bidimensionnels.

9. Photocathode (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** la couche photoémissive (20) comprend de l'antimoine et au moins un métal alcalin.

10. Photocathode (1) selon la revendication 8, **caractérisée en ce que** la couche photoémissive (20) est réalisée en un matériau choisi parmi SbNaKCs, $SbNa_2KCs$, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs ou SbRbCs.

11. Photocathode (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** la couche photoémissive (20) est formée d'AgOCs.

12. Photocathode (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisée en ce que** la couche photoémissive (20) présente une épaisseur sensiblement constante.

13. Photocathode (1) selon la revendication 12, **caractérisée en ce que** la couche photoémissive (20) présente une épaisseur inférieure ou égale à 300nm.

14. Système optique de détection de photons comportant une photocathode (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, et un dispositif de sortie pour émettre un signal de sortie en réponse aux photoélectrons émis par ladite photocathode (1).

15. Système optique selon la revendication 14, celui-ci étant un tube intensificateur d'image ou un tube photomultiplicateur, de type EB-CCD ou EBCMOS.

Patentansprüche

1. Semitransparente Fotokathode (1) für einen Photonendetektor, umfassend:

- eine transparente Trägerschicht (10), die eine Vorderfläche (11) zum Empfangen der Photonen und eine entgegengesetzte Rückfläche (12) aufweist, und
- eine Fotoemissionsschicht (20), die auf der Rückfläche (12) angeordnet ist und eine entgegengesetzte Emissionsfläche (22) aufweist, die dazu ausgelegt ist, die Photonen ausgehend von der Trägerschicht (10) zu empfangen und in Antwort hierauf Fotoelektronen ausgehend von der Emissionsfläche (22) zu emittieren,

dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Transmissionsbeugungsgitter (30) umfasst, das dazu ausgelegt ist, die Photonen zu beugen, das in der Trägerschicht (10) angeordnet und im Bereich der Rückfläche (12) platziert ist.

2. Fotokathode (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Beugungsgitter (30) in die Rückfläche (12) der Trägerschicht (10) graviert ist.

3. Fotokathode (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Beugungsgitter (30) durch eine periodische Anordnung von Motiven (31) gebildet ist, die mit einem Material gefüllt sind, das einen anderen optischen Index aufweist als das Material der Trägerschicht (10).

4. Fotokathode (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Beugungsgitter (30) derart angeordnet ist, dass die Rückfläche (12) der Trägerschicht (10) wenigstens teilweise begrenzt wird, indem es bündig im Bereich derselben angeordnet ist.

5. Fotokathode (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Schicht des Materials direkt auf der Rückfläche in Fortsetzung der Motive angeordnet ist.

6. Fotokathode (1) nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Diffusionsbarriere zwischen dem Beugungsgitter und der Fotoemissionsschicht angeordnet ist.

7. Fotokathode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie wenigstens ein zusätzliches Beugungsgitter (40) umfasst, das dazu ausgelegt ist, die Photonen zu beugen, das in der Trägerschicht (10) platziert und in der Nähe des ersten Beugungsgitters (30) angeordnet ist und durch eine periodische Anordnung von Motiven (41) entlang einer Richtung gebildet ist, die von jener der Motive des ersten Gitters verschieden ist.

8. Fotokathode (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das erste Gitter und das zusätzliche Beugungsgitter (40) in ein und derselben Ebene angeordnet und mit Hilfe von zweidimensionalen Motiven realisiert sind.

9. Fotokathode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fotoemissionsschicht (20) Antimon und wenigstens ein Alkalimetall enthält.

10. Fotokathode (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fotoemissionsschicht (20) aus einem Material realisiert ist, ausgewählt aus SbNaKCs, $SbNa_2KCs$, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs oder SbRbCs.

11. Fotokathode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fotoemissionsschicht (20) aus AgOCs gebildet ist.

12. Fotokathode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fotoemissionsschicht (20) eine im Wesentlichen konstante Dicke aufweist.

13. Fotokathode (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Fotoemissionsschicht (20) eine Dicke kleiner oder gleich 300nm aufweist.

14. Optisches System zur Erfassung von Photonen, umfassend eine Fotokathode (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, sowie eine Ausgangsvorrichtung zum Emittieren eines Ausgangssignals in Antwort auf Fotoelektronen, die durch die Fotokathode (1) emittiert sind.

15. Optisches System nach Anspruch 14, das eine Bildverstärkerröhre oder eine Fotovervielfältigerröhre vom Typ EB-CCD oder EBCMOS ist.

Claims

1. A semi-transparent photocathode (1) for a photon detector, including:

   - a transparent support layer (10) having a front face (11) to receive said photons and an opposite back face (12), and
   - a photoemissive layer (20) provided on said back face (12) and having an opposite emitting face (22), intended to receive said photons from said support layer (10) and to responsively emit photoelectrons from said emitting face (22),

   characterized in that it includes a transmission diffraction grating (30) able to diffract said photons, provided in the support layer (10) and located at said back face (12).

2. The photocathode (1) according to claim 1, **characterized in that** said diffraction grating (30) is etched in the back face (12) of the support layer (10).

3. The photocathode (1) according to claim 1 or 2, **characterized in that** said diffraction grating (30) is formed of a periodical arrangement of patterns (31) filled with a material having an optical index different from the material of the support layer (10).

4. The photocathode (1) according to claim 3, **characterized in that** said diffraction grating (30) is provided so as to bound at least partly the back face (12) of the support layer (10) by being flush with the same.

5. The photocathode (1) according to claim 3, **characterized in that** a layer of said material is directly provided on the back face, in continuity with said patterns.

6. The photocathode (1) according to claim 4 or 5, **characterized in that** a diffusion barrier is provided between the diffraction grating and the photoemissive layer.

7. The photocathode (1) according to any of claims 1 to 6, **characterized in that** it includes at least a further diffraction grating (40) able to diffract said photons, which is located in the support layer (10) and provided in the vicinity of said first diffraction grating (30), formed of a periodical arrangement of patterns (41) along a direction distinct from that of the patterns of the first grating.

8. The photocathode (1) according to claim 7, **characterized in that** the first grating and the further diffraction grating (40) are located in a same plane and made by means of two-dimensional patterns.

9. The photocathode (1) according to any of claims 1 to 8, **characterized in that** the photoemissive layer (20) comprises antimony and at least one alkaline metal.

10. The photocathode (1) according to claim 8, **characterized in that** the photoemissive layer (20) is made of a material selected from SbNaKCs, $SbNa_2KCs$, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs, or SbRbCs.

11. The photocathode (1) according to any of claims 1 to 8, **characterized in that** the photoemissive layer (20) is formed of AgOCs.

12. The photocathode (1) according to any of claims 1 to 11, **characterized in that** the photoemissive layer (20) has a substantially constant thickness.

13. The photocathode (1) according to claim 12, **characterized in that** the photoemissive layer (20) has a thickness lower than or equal to 300nm.

14. A photon detection optical system including a photocathode (1) according to any of claims 1 to 13, and an output device for emitting an output signal in response to the photoelectrons emitted by said photocathode (1).

15. The optical system according to claim 14, being an image intensifier tube or a photomultiplier tube, of the EB-CCD or EBCMOS type.

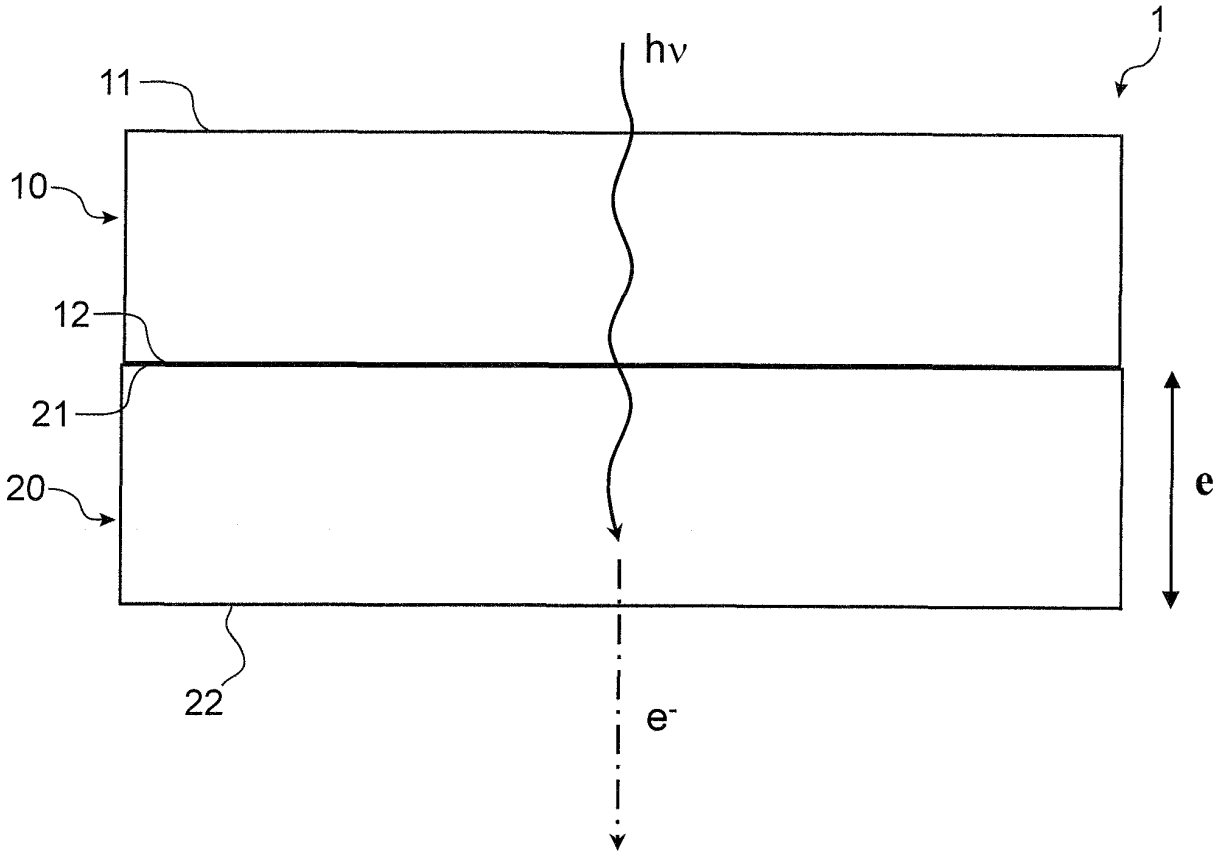

Fig. 1

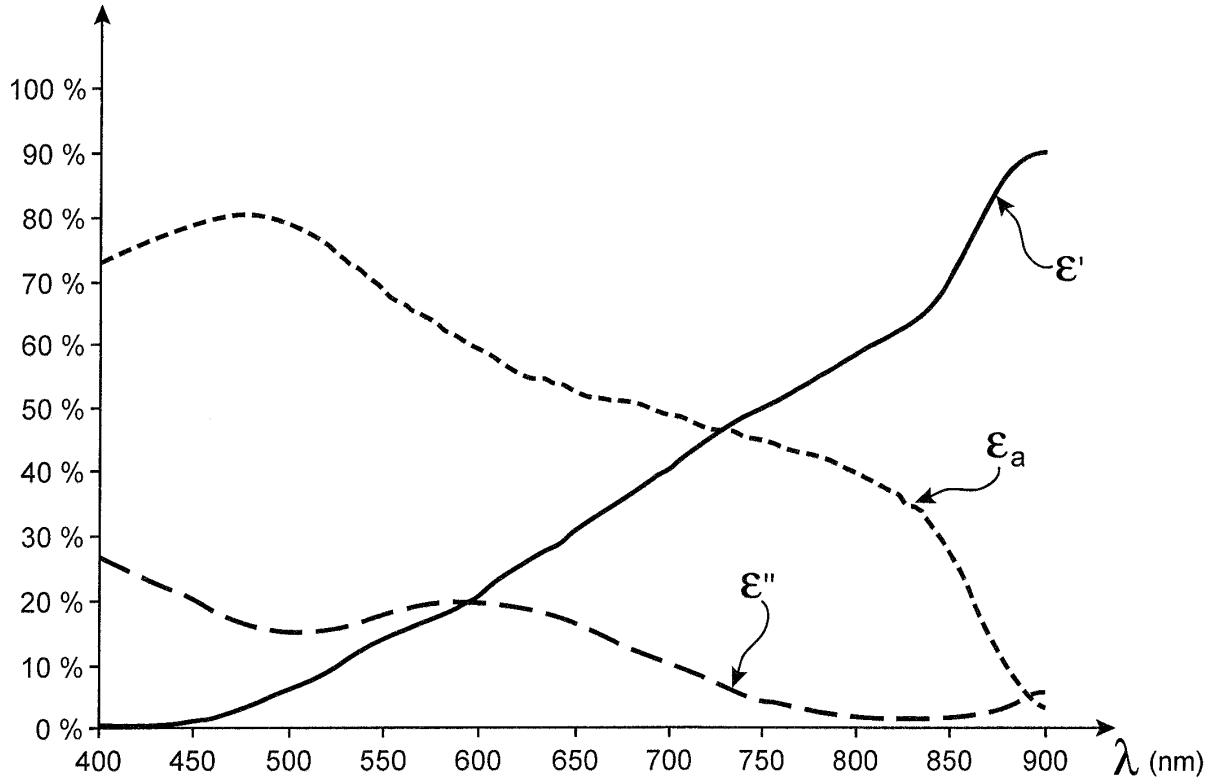
100 %
90 %
80 %
70 %
60 %
50 %
40 %
30 %
20 %
10 %
0 %
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900
λ (nm)
ε'
εa
ε''

Fig. 2

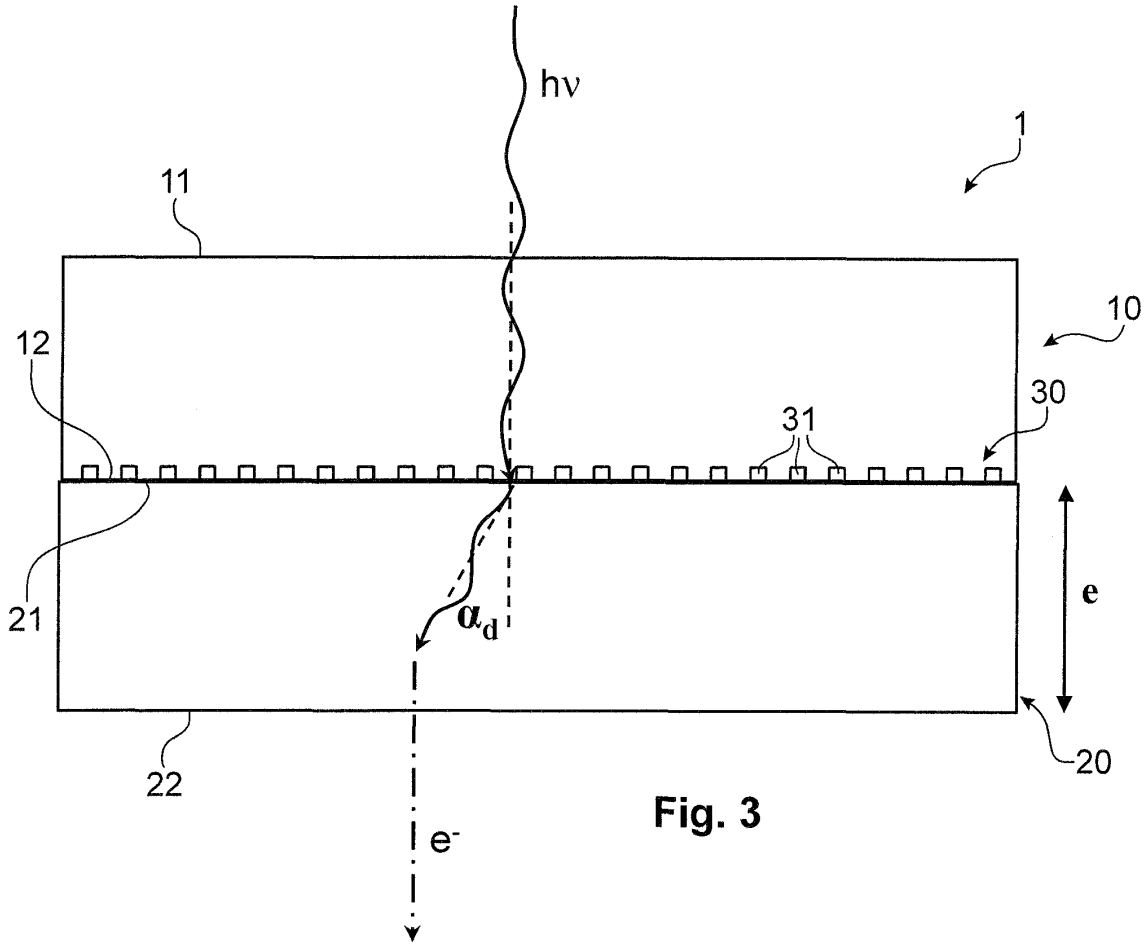

Fig. 3

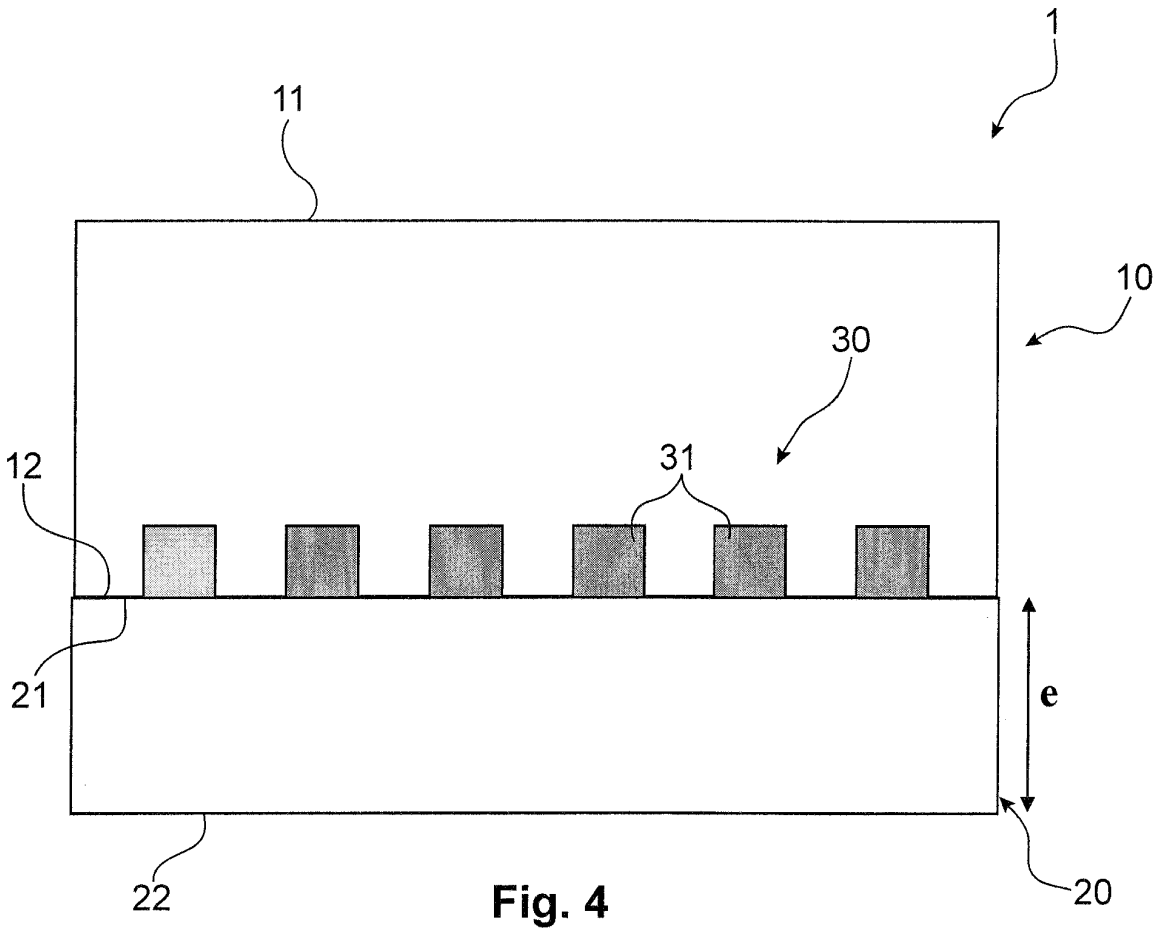

Fig. 4

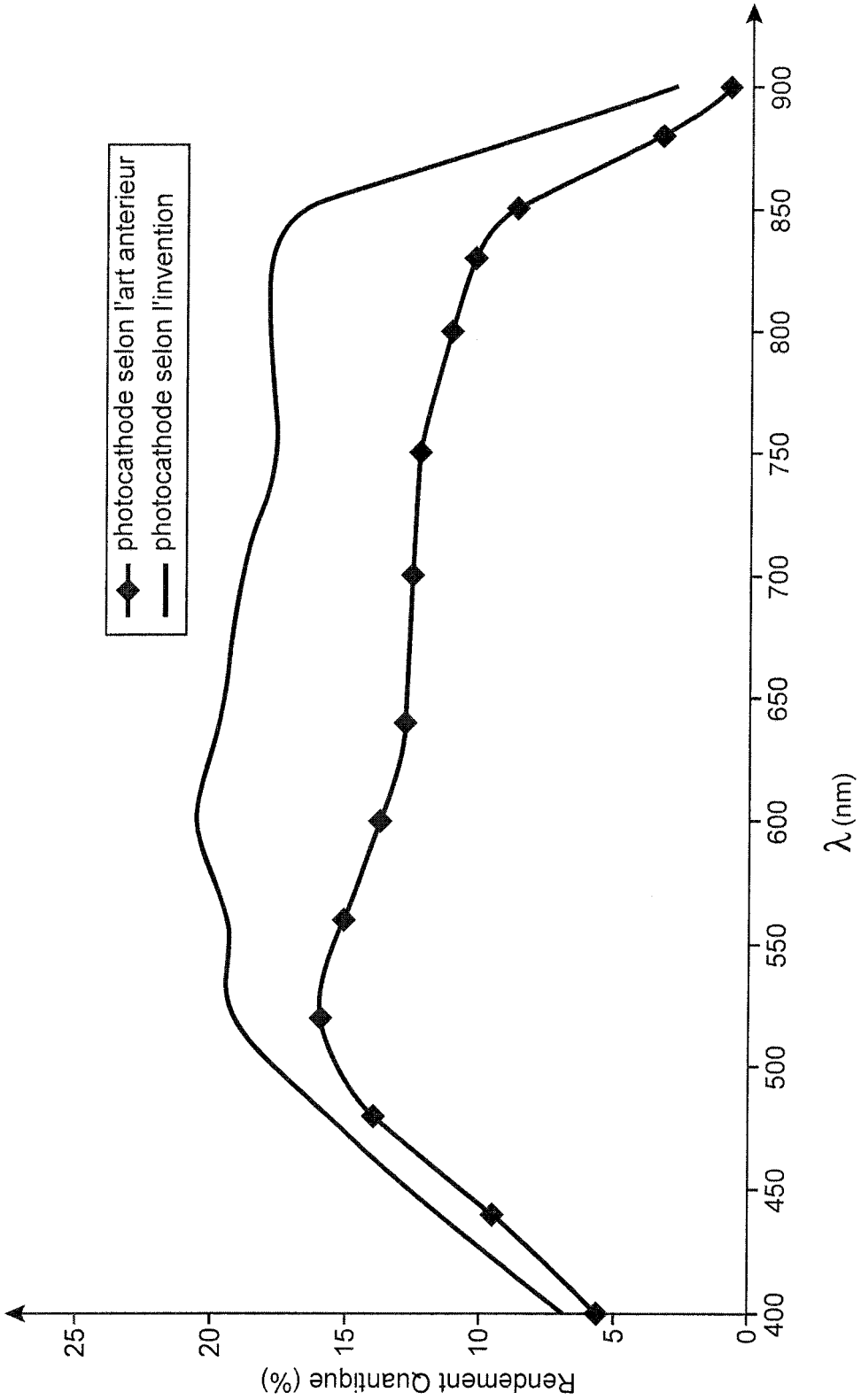
photocathode selon l'art anterieur
photocathode selon l'invention
Rendement Quantique (%)
λ (nm)
0
5
10
15
20
25
400
450
500
550
600
650
700
750
800
850
900

Fig. 5

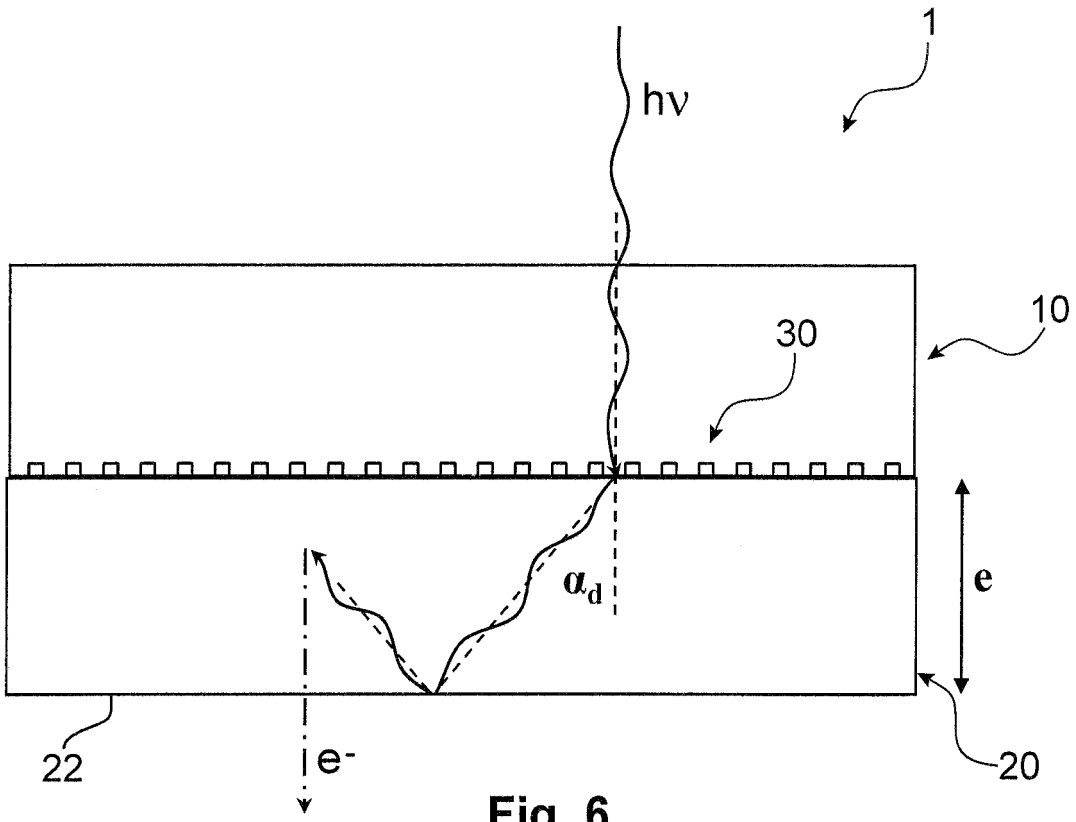

Fig. 6

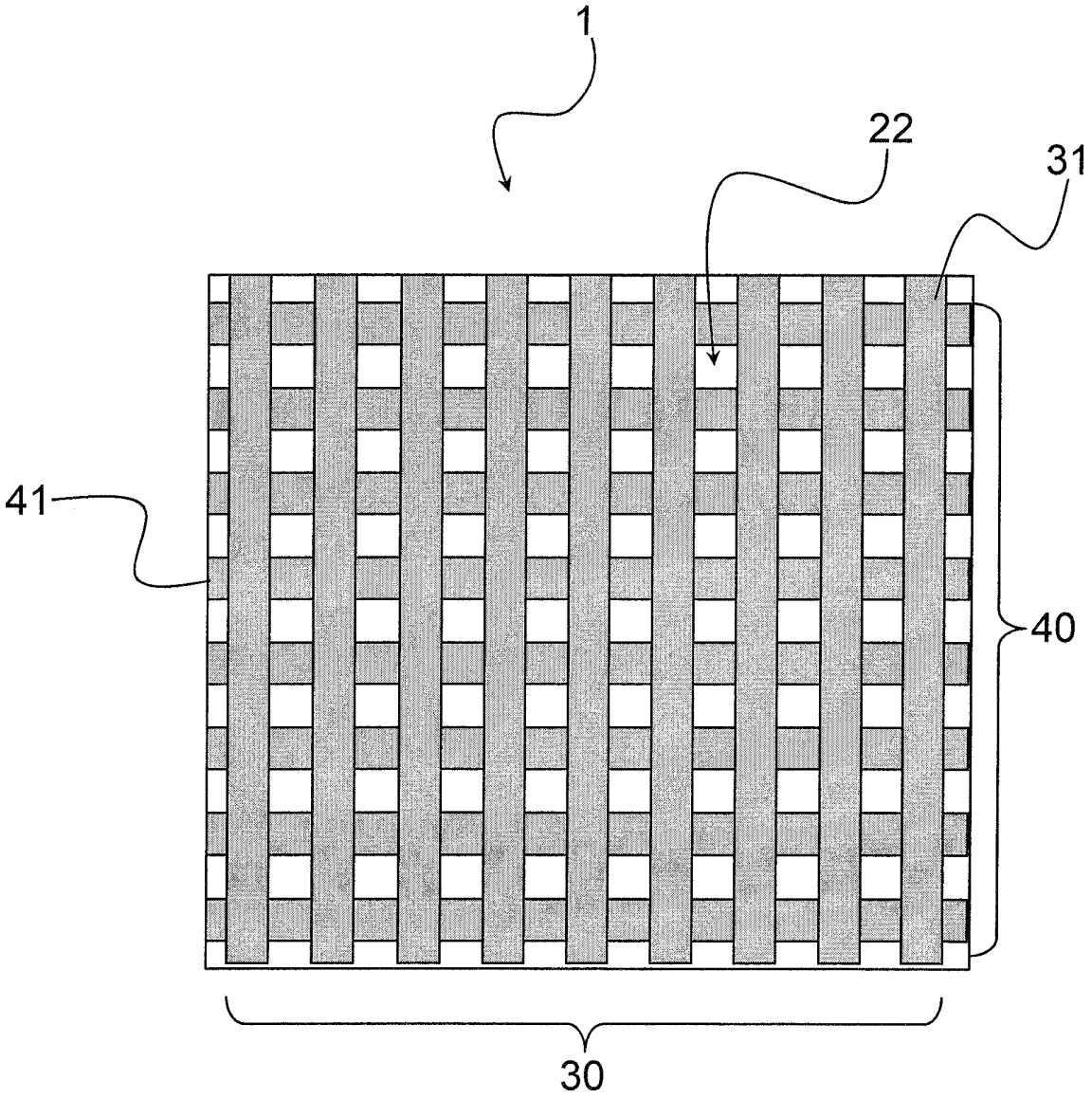

Fig. 7

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

- EP 2006876 A1 **[0010]**
- US 2010253218 A1 **[0010]**
- US 3697794 A **[0010]**
- US 4999211 A **[0010]**
- WO 0109915 A1 **[0010]**