

**PHOTOCATHODE SEMI-TRANSPARENTE
À TAUX D'ABSORPTION AMÉLIORÉ**

DESCRIPTION

5

DOMAINE TECHNIQUE

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.

15

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

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.

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.

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.

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.

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.

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

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.

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

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.

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

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

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
15 transport de l'électron généré jusqu'à la face d'émission de la couche photoémissive ; et l'émission de l'électron dans le vide.

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

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

25 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
30 photons qui n'auront pas été absorbés sont transmis au travers de la couche photoémissive.

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
5 couche est importante, plus le rendement ϵ_t 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.

10 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.

A titre illustratif, pour la photocathode de type S25 fréquemment utilisée dans les tubes
15 intensificateurs d'image, l'épaisseur optimale de la couche photoémissive, réalisée en SbNaK ou SbNa₂KCs, est habituellement entre 50 et 200 nm.

La figure 2 illustre, pour une telle couche photoémissive, l'évolution du taux d'absorption ϵ_a en
20 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.

Il apparaît que, pour les grandes longueurs d'onde,
25 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.

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

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
5 augmenter l'épaisseur de ladite couche.

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
10 diminué à 36%.

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
15 davantage de chances de se recombiner.

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,
20 puisque le taux de transport est dégradé.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

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

Pour ce faire, l'invention a pour objet une photocathode semi-transparente pour détecteur de
30 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.

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.

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.

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.

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.

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

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

Par définition, les angles d'incidence, de
5 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
10 est disposé le réseau de diffraction.

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
15 distribution donnée de l'angle d'incidence, on observe une distribution sensiblement plus étalée de l'angle de diffraction.

Ainsi, pour une épaisseur de la couche photoémissive, notée e et mesurée suivant la direction
20 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.

25 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.

30 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.

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

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

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.

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

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

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.

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.

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.

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 $\arcsin(1/n_p)$.

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.

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.

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.

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

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

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

Alternativement, la couche photoémissive peut être
5 formée d'AgOCs.

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

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

10 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
15 ladite photocathode.

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

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

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

On décrira à présent, à titre d'exemples non
25 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 ;

30 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 ;

5 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
10 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
15 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
20 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.

25

EXPOSÉ DÉTAILLÉ D'UN MODE DE RÉALISATION PRÉFÉRÉ

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

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

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.

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

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

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

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.

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

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

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

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

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.

5 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.

10 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.

15 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.

Alternativement, le réseau de diffraction peut être
20 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.

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

Sur la Fig. 4, le réseau de diffraction 30 est localisé dans la couche support 10, de sorte que le
30 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.

5 La couche photoémissive 20 est disposée contre la face arrière 12 de la couche support 10.

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
10 photoélectrons.

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

La couche photoémissive 20 est réalisée en un
15 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
20 d'argent AgOCs .

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
25 d'émission de la couche photoémissive 20 peuvent s'en extraire naturellement et être ainsi émis dans le vide.

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

30 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.

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.

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.

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.

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

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

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

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.

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.

La distribution angulaire du faisceau diffracté est par conséquent plus étalée que celle du faisceau incident. Les électrons voient une couche photoémissive 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 $\alpha_{\max}$ est l'angle d'incidence maximal sur le réseau.

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.

L'absorption des photons diffractés entraîne la génération de paires électrons-trous. Les électrons

généérés se propagent dans la couche photoémissive 20 jusqu'à la face aval 22 d'émission où ils sont émis dans le vide.

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.

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.

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

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

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.

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 ($n \sim 1,7$), du TiO_2 ($n \sim 2,3-2,6$) ou du Ta_2O_5 ($n \sim 2,2$), voire du HfO_2 .

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 vapour deposition*, 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).

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.

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.

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 $\lambda/10$).

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

5 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.

La couche support 10 est réalisée en quartz.

10 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.

15 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.

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

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

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.

25 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.

30 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.

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.

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

Ainsi, pour $\lambda \sim 825\text{nm}$, 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.

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

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

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 ($\alpha_i=0$), diffracté et non absorbé dans la couche photoémissive 20, soit réfléchi au niveau de la face aval 22 d'émission.

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
5 $\arcsin(1/n_p)$.

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

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

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

La figure 7 illustre une photocathode, vue de dessus, selon un troisième mode de réalisation de l'invention, dans laquelle deux réseaux de diffraction
20 30, 40 sont présents dans la couche support 10 au niveau de la face arrière 12.

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

25 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.

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

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 .

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

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.

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.

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.

L'homme du métier comprendra que ce mode de réalisation n'est pas limité à deux réseaux de
5 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.

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

Enfin la photocathode décrite ci-dessus peut être intégrée dans un système optique de détection de
15 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).
20 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 :

5 - 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
10 (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
15 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,
20 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,
25 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).

30 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 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.

10 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.

15 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),
20 formé d'un arrangement périodique de motifs (41) selon une direction distincte de celle des motifs du premier réseau.

25 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.

30 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,
5 caractérisée en ce que la couche photoémissive (20) est réalisée en un matériau choisi parmi SbNaKCs, SbNa₂KCs, SbNaK, SbKCs, SbRbKCs ou SbRbCs.

11. Photocathode (1) selon l'une quelconque des
10 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
15 photoémissive (20) présente une épaisseur sensiblement constante.

13. Photocathode (1) selon la revendication 12,
caractérisée en ce que la couche photoémissive (20)
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
25 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
30 tube photomultiplicateur, de type EB-CCD ou EBCMOS.