(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 115 364***

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

(21) **N° d'enregistrement national :** **20 10774**

(51) Int Cl[8] : ***G 01 N 21/64*** *(2020.12)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 21.10.20.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 22.04.22 Bulletin 22/16.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** VARACHE Renaud et DAHAN Patrick Jeremy.

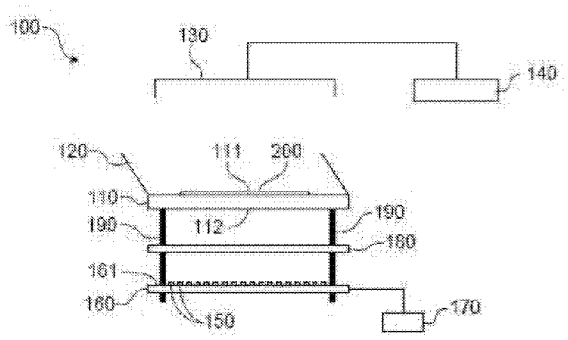
(73) **Titulaire(s) :** COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public.

(74) **Mandataire(s) :** BREVALEX.

(54) DISPOSITIF DE MESURE PAR PHOTOLUMINESCENCE.

(57) L'invention concerne un dispositif (100) de mesure par photoluminescence qui comprend :- un porte-échantillon (110) ;- un détecteur (130) configuré pour collecter un signal de photoluminescence ;- une unité de traitement (140) configurée pour traiter un signal collecté par le détecteur (130) ;le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un support (160) disposé en regard d'une face arrière (112) du porte-échantillon (110), opposée à la face avant (110), et sur une face duquel, dite face principale (161), repose au moins une sources de rayonnement (150) destinée à émettre un rayonnement lumineux illuminant la face arrière (112) et susceptible d'être collecté, par transparence du porte-échantillon (110) au regard dudit rayonnement lumineux, par le détecteur (130).

Figure pour l'abrégé : Figure 3.



FR 3 115 364 - A1

Description

Titre de l'invention : DISPOSITIF DE MESURE PAR PHOTOLUMINESCENCE

Domaine technique

[0001] La présente invention se rapporte au domaine de la caractérisation, et plus particulièrement à la caractérisation par mesure de photoluminescence ou par électroluminescence.

[0002] L'invention concerne notamment un dispositif de mesure par photoluminescence destiné à améliorer la détection, ainsi que la caractérisation, des bords des échantillons mesurés par ledit dispositif.

[0003] Le dispositif selon la présente invention est, à cet égard, avantageusement mis en œuvre pour la caractérisation des bords de cellule photovoltaïques formées sur ou dans des substrats de silicium.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0004] Les mesures par photoluminescence ou électroluminescence sont des techniques de choix pour sonder les propriétés électroniques et/ou optiques des matériaux, et notamment les matériaux semi-conducteurs.

[0005] En pratique, les mesures par photoluminescence mettent en œuvre l'excitation d'un matériau par une source de rayonnement lumineux de manière à promouvoir la transition d'électrons dudit matériau de leur niveau d'énergie fondamental (aussi appelé « état d'équilibre ») vers des niveaux d'énergies supérieures. La source de rayonnement lumineux peut, par exemple, être un rayonnement laser ou le rayonnement d'une diode électroluminescente.

[0006] Les électrons ainsi promus retournent dans leur état d'équilibre selon des chemins de recombinaisons radiatives ou non-radiatives dépendamment de la qualité du matériau sondé. A cet égard, l'homme du métier trouvera dans le document [1], cité à la fin de la description, une étude des modes de recombinaisons radiatives et non-radiatives intervenant lors d'une mesure par photoluminescence.

[0007] En particulier, les recombinaisons non-radiatives, généralement associées à la présence de défauts ou à des phénomènes de type Auger, se produisent au détriment des recombinaisons radiatives.

[0008] Le taux de recombinaisons radiatives, dont le niveau ou l'intensité mesurée dans le temps représente le signal de photoluminescence, permet de caractériser la qualité du matériau sondé. En particulier, les mesures par photoluminescence permettent de détecter et/ou de localiser des défauts susceptibles d'être présents dans le matériau sondé.

[0009] Selon une technique particulière de photoluminescence résolue spatialement développée par Trupke et al., et décrite dans le document [2] cité la fin de la description, il est également possible d'établir une cartographie de photoluminescence de l'échantillon sondé et notamment repérer les défauts dudit échantillon.

[0010] A cet égard, la [fig.1] représente une cartographie de photoluminescence, en niveaux de gris, d'un échantillon de silicium reposant sur un socle et comprenant une surface passivée avec du silicium amorphe.

[0011] Les zones les plus claires sont le siège d'un taux de recombinaisons radiatives plus fort que les zones sombres. Inversement les zones sombres sont le siège d'un taux de recombinaisons non-radiatives plus fort que les zones claires. Les zones claires sont donc des zones caractéristiques d'une faible densité de défauts et les zones sombres sont révélatrices d'une densité de défauts importante.

[0012] Parmi les zones sombres, la section périphérique ou bord de l'échantillon attire particulièrement l'attention.

[0013] En effet, les procédés de fabrication de tels échantillons, notamment des cellules photovoltaïques, impliquent des étapes particulièrement agressives qui peuvent chacune contribuer à la dégradation des bords desdits échantillons qui, à terme, concentrent une densité de défauts importante.

[0014] De cette concentration de défauts importante résulte un très faible niveau de photoluminescence et donc une impossibilité de distinguer le bord de l'échantillon du socle sur lequel ce dernier repose. En d'autres termes, le contraste de l'intensité de photoluminescence entre le bord de l'échantillon et le socle est insuffisant pour repérer ledit bord ([fig.2]).

[0015] Le document [3] cité à la fin de la description propose à cet égard une méthode permettant de mieux distinguer le bord de l'échantillon. Cette méthode impose notamment la mise en œuvre d'un socle susceptible d'émettre un signal de photoluminescence afin d'améliorer le contraste au niveau du bord de l'échantillon lors d'une mesure de photoluminescence.

[0016] Toutefois, le socle peut également présenter des défauts, notamment à proximité du bord de l'échantillon, et par voie de conséquence limiter l'amélioration de contraste recherchée.

[0017] En outre, cette méthode peut nécessiter de sélectionner un socle qui présente un niveau de photoluminescence approprié.

[0018] Ce document [3] propose également de mettre en œuvre une charge de type Corona sur une face arrière du socle.

[0019] Cette méthode reste néanmoins compliquée à mettre en œuvre.

[0020] Un but de la présente invention est alors de proposer un dispositif de mesure par photoluminescence permettant de mieux distinguer les bords d'échantillon et plus simple à

mettre en œuvre que les méthodes proposées dans le document [3].

Exposé de l'invention

[0021] Le but de l'invention est atteint par un dispositif de mesure par photoluminescence ou par électroluminescence qui comprend :

- un porte-échantillon ;
- un détecteur configuré pour collecter un signal de photoluminescence ou d'électroluminescence émis par un échantillon susceptible d'être disposé sur une face avant du porte-échantillon ;
- une unité de traitement configurée pour traiter un signal collecté par le détecteur ;

le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un support disposé en regard d'une face arrière du porte-échantillon, opposée à la face avant, et sur une face duquel, dite face principale, repose au moins une source de rayonnement destinée à émettre un rayonnement lumineux illuminant la face arrière et susceptible d'être collecté, par transparence du porte-échantillon au regard dudit rayonnement lumineux, par le détecteur.

[0022] Selon un mode de mise en œuvre, l'au moins une source de rayonnement comprend une pluralité de sources de rayonnement agencées de manière matricielle sur la face principale.

[0023] Selon un mode de mise en œuvre, ledit dispositif comprend en outre un diffuseur intercalé entre le porte-échantillon et le support, et configuré pour homogénéiser le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement.

[0024] Selon un mode de mise en œuvre, le porte-échantillon, le diffuseur et le support sont maintenu solidaires les uns des autres par des moyens de maintien.

[0025] Selon un mode de mise en œuvre, ledit dispositif comprend au moins un filtre configuré pour filtrer en longueur d'onde le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement.

[0026] Selon un mode de mise en œuvre, lorsqu'un échantillon de contour C repose par une première face sur la face avant du porte-échantillon, et de sorte que ledit échantillon soit circonscrit par une zone de débordement du porte-échantillon susceptible d'être traversée par un rayonnement lumineux susceptible d'être émis par l'au moins une source de rayonnement, ledit détecteur est également configuré pour établir une cartographie de l'intensité lumineuse du rayonnement susceptible de traverser la zone de débordement et du signal de photoluminescence émis par l'échantillon.

[0027] Selon un mode de mise en œuvre, l'unité de traitement comprend un programme d'ordinateur conçu pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

a) une étape d'extraction d'un profil d'intensité lumineuse selon une trace linéaire chevauchant le contour de l'échantillon, ledit profil comprenant une première section

associée à l'intensité du rayonnement lumineux traversant la zone de débordement, et une deuxième section associée à l'intensité de la photoluminescence de l'électroluminescence émise par l'échantillon ;

b) une étape de détermination de la position x_0, associée à une intensité y_0 du signal, et repérée à partir d'une position de référence de la première section, du contour sur le profil d'intensité lumineuse, ladite étape de localisation comprenant un calcul de pente, la position x_0 correspondant à une position pour laquelle une rupture de pente supérieure en valeur absolue à une valeur prédéterminée est observée dans un sens allant de la première section vers la deuxième section, ladite valeur prédéterminée étant avantageusement supérieure à 10 %.

[0028] Selon un mode de mise en œuvre, le programme d'ordinateur est également conçu pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

c) une étape de détermination d'une intensité de référence y_{max} dans la deuxième section S2, ladite intensité de référence y_{max} correspondant à un maximum glissant ;

d) une étape de détermination d'une première étendu E_1 selon une méthode dite de la tangente, ladite méthode de la tangente comprend les sous étapes suivantes :

d1) le calcul de la pente P_0 d'une droite D_0 passant par le point de coordonnées x_0 et y_0 et par un autre point du bord de l'échantillon pris sur la trace linéaire ;

d2) le calcul d'une position, dite position cible x_c, pour laquelle la droite D_0 présente une ordonnée égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y_{max} et l'intensité y_0 ;

d3) le calcul d'un écart entre la position cible x_c et la position x_0, ledit écart étant associé à la première étendue E_1 ;

e) une étape de détermination d'une deuxième étendu E_2 selon une méthode dite directe, ladite méthode directe comprend les sous étapes suivantes :

e1) la détermination d'une position, dite position directe x_d, pour laquelle l'intensité, dans la deuxième section S2, est égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y_{max} et l'intensité y_0,

e2) le calcul d'un écart entre la position directe x_d et la position x_0, ledit écart étant associé à la deuxième étendue E_2.

f) le calcul d'une largeur D du bord alors définie comme la valeur minimale entre la première étendue E_1 et la deuxième étendue E_2.

[0029] Le maximum glissant, déterminé à l'étape c), est glissant en dehors de la courbe, sur la zone adjacente à la trace linéaire.

[0030] Selon un mode de mise en œuvre, le programme d'ordinateur est également conçu pour calculer un métrique M représentatif de la quantité de défaut présents en bord de plaques, le Métrique M répond à la relation suivante :

[Math 1]

$$M = \int_{x_0}^{D} \frac{y_{max} - y(x)}{y_{max}} dx$$

Où y(x) représente la variation du profil d'intensité selon la trace linéaire en fonction de sa position x.

[0031] Selon un mode de mise en œuvre, ledit dispositif comprend en outre une source d'émission lumineuse (120) destinée à induire l'émission d'un signal de photoluminescence par un échantillon (200) susceptible de reposer sur la face avant (111) du porte-échantillon (110).

[0032] Selon un mode de mise en œuvre, le détecteur (130) configuré pour collecter le signal de photoluminescence.

Brève description des dessins

[0033] D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront dans la description qui va suivre d'un dispositif de mesure par photoluminescence selon l'invention, donnés à titre d'exemples non limitatifs, en référence aux dessins annexés dans lesquels :

[0034] [fig.1] est une cartographie de la photoluminescence d'un échantillon de silicium reposant sur un porte-échantillon mesurée selon une méthode connue de l'état de la technique, l'intensité de la photoluminescence est donnée selon une échelle de niveaux de gris attachée à la figure ;

[0035] [fig.2] est une représentation graphique d'un profil de mesure de l'intensité de photoluminescence (selon l'axe vertical en unité arbitraire) en fonction d'une position selon un segment (selon l'axe vertical en unité arbitraire) traversant le bord de l'échantillon, le segment figurant également en traits interrompus sur une section de cartographie extraite de la [fig.1] et attachée à ladite représentation graphique ;

[0036] [fig.3] est une représentation schématique du dispositif de mesure par photoluminescence selon la présente invention ;

[0037] [fig.4] est une photographie d'un support sur lequel sont agencées de manière matricielle des diodes électroluminescentes ;

[0038] [fig.5] est une représentation schématique de la mise en œuvre du dispositif de la [fig.3] pour la mesure par photoluminescence d'un échantillon ;

[0039] [fig.6] est un exemple de cartographie susceptible d'être obtenue à l'issue d'une caractérisation par photoluminescence d'un échantillon reposant sur le porte-échantillon du dispositif de la [fig.3] ;

[0040] [fig.7a]

[0041] [fig.7b] sont des cartographies du signal collecté par le détecteur avec les diodes électroluminescentes, respectivement, éteintes et allumées ;

[0042] [fig.7c] est une représentation graphique de profils d'intensité collectés par le détecteur selon les traces « A » et « B », respectivement, de la [fig.7a] et de la [fig.7b] ;

[0043] [fig.8] est une représentation graphique de la mise en œuvre du programme d'ordinateur selon la présente invention.

[0044] **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

[0045] La présente invention concerne un dispositif de mesure par photoluminescence ou par électroluminescence pourvu d'un porte-échantillon sur une face duquel, dite face avant, un échantillon est susceptible de reposer.

[0046] Le dispositif comprend par ailleurs une source d'émission lumineuse, par exemple un LASER, et un détecteur. La source d'émission lumineuse est notamment destinée à induire l'émission d'un signal de photoluminescence par l'échantillon, tandis que le détecteur est agencé pour collecter ledit signal de photoluminescence.

[0047] Le dispositif selon la présente invention comprend au moins une diode électroluminescente configurée pour émettre un rayonnement lumineux illuminant la face arrière du porte-échantillon. Ce rayonnement est notamment adapté pour traverser, par transparence, le porte-échantillon.

[0048] Ainsi, lors d'une mesure de photoluminescence, le détecteur collecte, d'une part, le signal de photoluminescence émis par l'échantillon, et d'autre part, le rayonnement lumineux traversant le porte-échantillon au niveau d'une zone de débordement dans laquelle l'échantillon est circonscrit.

[0049] La suite de l'énoncé se limite à la description d'un dispositif adapté pour la mesure par photoluminescence. Toutefois, l'homme du métier, à la seule lecture de la suite de l'énoncé et de ses connaissances générales dans le domaine des mesure par électroluminescente, pourra généraliser les concepts exposés aux dispositifs de mesure par électroluminescence. A cet égard, il pourra prévoir des contacts électriques sur une face d'un échantillon destiné à être mesure par électroluminescence.

[0050] La [fig.3] est une représentation schématique d'un dispositif 100 de mesure par photoluminescence selon la présente invention.

[0051] Le dispositif 100 comprend notamment un porte-échantillon 110 de forme généralement plane. Le porte-échantillon 110 comprend notamment deux faces parallèles entre elles dites, respectivement, face avant 111 et face arrière 112.

[0052] Le dispositif 100 comprend également une source d'émission lumineuse 120 destinée à induire un signal de photoluminescence d'un échantillon 200 reposant sur la face avant 111 du porte-échantillon 110. La source d'émission lumineuse peut à cet égard comprendre un laser.

[0053] Le dispositif 100 comprend en outre un détecteur 130. Le détecteur 130 est plus particulièrement agencé pour collecter un signal de photoluminescence émis par l'échantillon 200 sous l'action d'une excitation par la source d'émission lumineuse 120. Le détecteur forme avantageusement une matrice de capteur, notamment des capteurs photosensibles.

[0054] Le détecteur 130 est par ailleurs associé à une unité de traitement 140 configurée pour traiter le signal collecté par le détecteur 130.

[0055] L'unité de traitement peut comprendre un calculateur, notamment un processeur, sur lequel est chargé un logiciel ou programme d'ordinateur configuré pour exécuter des étapes aboutissant au traitement des données collectées par le détecteur 130.

[0056] Le dispositif 100 comprend en outre une ou plusieurs sources de rayonnement 150 agencées pour émettre un rayonnement lumineux illuminant la face arrière 112 du porte-échantillon 100 ([fig.3]).

[0057] Plus particulièrement, l'une ou plusieurs diodes 150 peut notamment reposer sur une face principale 161 d'un support 160. Le support 160 peut à cet égard comprendre un agencement de pistes métalliques, en particulier sous forme de circuit imprimé, destinées à assurer la connexion des sources de rayonnement 150 avec un générateur 170. De manière avantageuse, le générateur 170 est configuré pour ajuster l'intensité du rayonnement lumineux susceptible d'être émis par l'une ou plusieurs sources de rayonnement 150. Le générateur peut également être configuré pour alimenter les sources de rayonnement uniquement lorsque la source d'émission lumineuse 120 émet effectivement un rayonnement lumineux.

[0058] L'au moins une diode électroluminescente 150 comprend avantageusement une pluralité de sources de rayonnement 150 agencées de manière matricielle ([fig.4]).

[0059] Par « agencées de manière matricielle », il est entendu un maillage à N lignes et M colonnes. Chaque diode électroluminescente 150 est alors disposée à l'intersection d'une ligne avec une colonne du maillage.

[0060] Par ailleurs, le porte-échantillon 110 est fait d'un matériau transparent au regard du rayonnement émis par les sources de rayonnement 150.

[0061] En particulier, le porte-échantillon 110 peut comprendre une plaque acrylique, du verre dépoli ou encore un matériau polymère. A cet égard, les sources de rayonnement 150 peuvent être configurées pour émettre un rayonnement lumineux d'une longueur d'onde inférieure à 1000 nm. Par exemple, les sources de rayonnement 150 peuvent être configurées pour émettre un rayonnement lumineux à 940 nm. A cet égard, les sources de rayonnement 150 peuvent comprendre, des lasers, des sources halogène, ou encore des diodes émettant, par exemple, un rayonnement d'une longueur d'onde de 940 nm de la société Kingbright.

[0062] Selon cette configuration, le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement 150 peut être collecté par le détecteur 130.

[0063] Le dispositif 100 peut également comprendre un diffuseur 180 intercalé entre le porte-échantillon 110 et le support 160, et configuré pour homogénéiser le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement.

[0064] Le diffuseur 180 peut comprendre au moins un des matériaux choisis parmi : plaque

acrylique, du verre dépoli ou encore un matériau polymère.

[0065] Par ailleurs, le porte-échantillon 110, le diffuseur 180 et le support 160 sont avantageusement maintenus solidaires les uns des autres par des moyens de maintien. Les moyens de maintien peuvent à cet égard comprendre des tirants 190.

[0066] Toujours de manière avantageuse, le dispositif 100 peut comprendre au moins un filtre configuré pour filtrer en longueur d'onde le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement. La mise en œuvre d'un ou plusieurs filtres permet notamment de limiter la saturation du détecteur 130 par le rayonnement lumineux émis par les sources de rayonnement.

[0067] La [fig.5] est une illustration de la mise en œuvre du dispositif 100 de mesure par photoluminescence selon la présente invention. L'échantillon 200 destiné à être caractérisé est alors disposé sur la face avant 111 du porte-échantillon 110.

[0068] Cet échantillon 200 comprend notamment un contour C et repose par une première face 201 sur la face avant 111 du porte-échantillon 110. L'échantillon 200 est notamment positionné sur la face avant 111 de manière à être circonscrit par une zone de débordement ZB du porte-échantillon 110 susceptible d'être traversée par un rayonnement lumineux émis par l'au moins une diode électroluminescente 150. Ainsi, le détecteur 130 collecte d'une part le signal de photoluminescence émis par l'échantillon 200 et d'autre part le signal associé au rayonnement lumineux émis par les sources de rayonnement et traversant le porte-échantillon 110 au niveau de la zone de débordement.

[0069] La [fig.6] représente une cartographie de l'intensité du signal collecté par le détecteur 130 lors de cette mesure. Cette cartographie laisse apparaître deux régions. Plus particulièrement, on peut observer sur cette cartographie une région grise, dite première région, délimitée par un contour sombre et associée au signal de photoluminescence émis par l'échantillon. L'autre région, dite deuxième région, très claire, est associée au rayonnement lumineux traversant la zone de débordement. La délimitation, et plus particulièrement le contraste, très nette entre ces deux régions est une conséquence de la mise en œuvre des sources de rayonnement.

[0070] A cet égard, la [fig.7a] et la [fig.7b] sont des cartographies du signal collecté par le détecteur avec les sources de rayonnement, respectivement, éteintes et allumées. L'examen de ces deux cartographies permet d'illustrer clairement l'amélioration du contraste dès lors que les sources de rayonnement 150 sont allumées. Cette amélioration est d'autant plus notable lorsqu'un défaut D est à proximité du bord de l'échantillon. Les profils d'intensité de signal « A » et « B » sont représentés graphiquement à la [fig.7c]. Le profil « A », obtenu lorsque les diodes sont éteintes, ne permet pas de repérer précisément le bord de l'échantillon. Le profil « B », pour sa part, permet non seulement de repérer précisément le bord de l'échantillon mais

également d'extraire l'étendue du défaut D.

[0071] Le dispositif 100 selon la présente invention comprend également un programme d'ordinateur chargé sur l'unité de traitement 140.

[0072] Notamment le programme d'ordinateur est conçu pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

a) une étape d'extraction d'un profil d'intensité lumineuse selon une trace linéaire chevauchant le contour C de l'échantillon 200, ledit profil comprenant une première section S1 associée à l'intensité du rayonnement lumineux traversant la zone de débordement ZD, et une deuxième section S2 associée à l'intensité de la photoluminescence de l'échantillon 200 ;

b) une étape de détermination de la position x_0, associée à une intensité y_0, repérée à partir d'une position de référence de la première section S1, du contour C sur le profil d'intensité lumineuse. Cette étape de localisation comprend un calcul de pente. Plus particulièrement, la position x_0 correspond à une position pour laquelle une rupture de pente supérieure, en valeur absolue, à une valeur prédéterminée est observée dans un sens allant de la première section S1 vers la deuxième section S2. La valeur prédéterminée est avantageusement supérieure à 10 %.

[0073] Le programme d'ordinateur peut également être conçu pour mettre en œuvre des étapes qui conduisent à la détermination de la largeur du bord de l'échantillon. En particulier, le programme d'ordinateur peut comprendre les étapes suivantes :

c) une étape de détermination d'une intensité de référence y_{max} dans la deuxième section S2, ladite correspondant à un maximum glissant sur une fenêtre encadrant la zone en cours d'étude.

d) une étape de détermination d'une première étendu E_1 selon une méthode dite de la tangente.

[0074] Ladite méthode de la tangente comprend les sous étapes suivantes :

d1) le calcul de la pente P_0 d'une droite D_0 passant par le point de coordonnées x_0 et y_0 et par un autre point du bord de l'échantillon pris sur la trace linéaire, l'autre point du bord peut par exemple être espacé de 3 à 8 pixels du point x0 (chaque pixel étant un site de détection du détecteur).

d2) le calcul d'une position, dite position cible x_c, pour laquelle la droite D_0 présente une ordonnée égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y_{max} et l'intensité y_0,

d3) le calcul d'un écart entre la position cible x_c et la position x_0, ledit écart étant associé à la première étendue E_1,

e) une étape de détermination d'une deuxième étendu E_2 selon une méthode dite directe. Ladite méthode directe comprend les sous étapes suivantes :

e1) la détermination d'une position, dite position directe x_d, pour laquelle l'intensité, dans la deuxième section S2, est égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y

$_{max}$ et l'intensité y_0,

e2) le calcul d'un écart entre la position directe x_d et la position x_0, ledit écart étant associé à la deuxième étendue E_2.

[0075] La largeur du bord D est alors définie comme la valeur minimale entre la première étendue E_1 et la deuxième étendue E_2.

[0076] La programme d'ordinateur est conçu pour calculer un métrique M représentatif de la quantité de défaut présents en bord de plaques.

[0077] Le métrique M répond à cet égard à la relation suivante :

[Math 2]

$$M = \int_{x_0}^{D} \frac{y_{max} - y(x)}{y_{max}} dx$$

Où y(x) représente la variation du profil d'intensité selon la trace linéaire en fonction de sa position x.

[0078] L'invention est ainsi avantageusement mise en œuvre pour la caractérisation de cellules photovoltaïques à base de Silicium.

[0079] Cette caractérisation peut notamment permettre d'optimiser les étapes de découpe de cellule, et ainsi amélioré la qualité des bords desdites cellules.

REFERENCES

[0080] [1] P. Würfel, S. Finkbeiner, and E. Daub, "*Generalized Planck's radiation law for luminescence via indirect transitions*", Appl. Phys. A Mater. Sci. Process., vol. 60, no. 1, pp. 67–70, Jan. 1995,

[0081] [2] T. Trupke, R. A. Bardos, M. C. Schubert, and W. Warta, "*Photoluminescence imaging of silicon wafers*", Appl. Phys. Lett., vol. 89, no. 4, p. 44107, Jul. 2006,

[0082] [3] FR 3073944.

Revendications

[Revendication 1] Dispositif (100) de mesure par photoluminescence ou par électroluminescence qui comprend :
- un porte-échantillon (110) ;
- un détecteur (130) configuré pour collecter un signal de photoluminescence ou d'électroluminescence émis par un échantillon (200) susceptible d'être disposé sur une face avant (110) du porte-échantillon (110) ;
- une unité de traitement (140) configurée pour traiter un signal collecté par le détecteur (130) ;
le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre un support (160) disposé en regard d'une face arrière (112) du porte-échantillon (110), opposée à la face avant (110), et sur une face duquel, dite face principale (161), repose au moins une source de rayonnement (150) destinée à émettre un rayonnement lumineux illuminant la face arrière (112) et susceptible d'être collecté, par transparence du porte-échantillon (110) au regard dudit rayonnement lumineux, par le détecteur (130).

[Revendication 2] Dispositif selon la revendication 1, dans lequel l'au moins une source de rayonnement (150) comprend une pluralité de sources de rayonnement agencées de manière matricielle sur la face principale.

[Revendication 3] Dispositif selon la revendication 2, dans lequel ledit dispositif comprend en outre un diffuseur (180) intercalé entre le porte-échantillon (110) et le support, et configuré pour homogénéiser le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement.

[Revendication 4] Dispositif selon la revendication 3, dans lequel le porte-échantillon (110), le diffuseur (180) et le support sont maintenu solidaires les uns des autres par des moyens de maintien.

[Revendication 5] Dispositif selon la revendication 3 ou 4, dans lequel ledit dispositif comprend au moins un filtre configuré pour filtrer en longueur d'onde le rayonnement lumineux susceptible d'être émis par les sources de rayonnement.

[Revendication 6] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel lorsqu'un échantillon (200) de contour C repose par une première face sur la face avant (110) du porte-échantillon (110), et de sorte que ledit échantillon (200) soit circonscrit par une zone de débordement du porte-échantillon (110) susceptible d'être traversée par un rayonnement lumineux sus-

ceptible d'être émis par l'au moins une source de rayonnement (150), ledit détecteur (130) est également configuré pour établir une cartographie de l'intensité lumineuse du rayonnement susceptible de traverser la zone de débordement et du signal de photoluminescence émis par l'échantillon (200).

[Revendication 7] Dispositif selon la revendication 6, dans lequel l'unité de traitement (140) comprend un programme d'ordinateur conçu pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

a) une étape d'extraction d'un profil d'intensité lumineuse selon une trace linéaire chevauchant le contour de l'échantillon (200), ledit profil comprenant une première section associée à l'intensité du rayonnement lumineux traversant la zone de débordement, et une deuxième section associée à l'intensité de la photoluminescence de l'électroluminescence émise par l'échantillon (200) ;

b) une étape de détermination de la position x_0, associée à une intensité y_0 du signal, et repérée à partir d'une position de référence de la première section, du contour sur le profil d'intensité lumineuse, ladite étape de localisation comprenant un calcul de pente, la position x_0 correspondant à une position pour laquelle une rupture de pente supérieure en valeur absolue à une valeur prédéterminée est observée dans un sens allant de la première section vers la deuxième section, ladite valeur prédéterminée étant avantageusement supérieure à 10 %.

[Revendication 8] Dispositif selon la revendication 7, dans lequel le programme d'ordinateur est également conçu pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

c) une étape de détermination d'une intensité de référence y_{max} dans la deuxième section S2, ladite intensité de référence y_{max} correspondant à un maximum glissant ;

d) une étape de détermination d'une première étendu E_1 selon une méthode dite de la tangente, ladite méthode de la tangente comprend les sous étapes suivantes :

d1) le calcul de la pente P_0 d'une droite D_0 passant par le point de coordonnées x_0 et y_0 et par un autre point du bord de l'échantillon (200) pris sur la trace linéaire ;

d2) le calcul d'une position, dite position cible x_c, pour laquelle la droite D_0 présente une ordonnée égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y_{max} et l'intensité y_0 ;

d3) le calcul d'un écart entre la position cible x_c et la position x_0, ledit

écart étant associé à la première étendue E_1 ;

e) une étape de détermination d'une deuxième étendu E_2 selon une méthode dite directe, ladite méthode directe comprend les sous étapes suivantes :

e1) la détermination d'une position, dite position directe x_d, pour laquelle l'intensité, dans la deuxième section S2, est égale à 70% de l'écart entre l'intensité de référence y_{max} et l'intensité y_0,

e2) le calcul d'un écart entre la position directe x_d et la position x_0, ledit écart étant associé à la deuxième étendue E_2.

f) le calcul d'une largeur D du bord alors définie comme la valeur minimale entre la première étendue E_1 et la deuxième étendue E_2.

[Revendication 9] Dispositif selon la revendication 8, dans lequel le programme d'ordinateur est également conçu pour calculer un métrique M représentatif de la quantité de défaut présents en bord de plaques, le Métrique M répond à la relation suivante :

[Math 3]

$$M = \int_{x_0}^{D} \frac{y_{max} - y(x)}{y_{max}} dx$$

Où y(x) représente la variation du profil d'intensité selon la trace linéaire en fonction de sa position x.

[Revendication 10] Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel ledit dispositif comprend en outre une source d'émission lumineuse (120) destinée à induire l'émission d'un signal de photoluminescence par un échantillon (200) susceptible de reposer sur la face avant (111) du porte-échantillon (110).

[Revendication 11] Dispositif selon la revendication 10, dans lequel le détecteur (130) configuré pour collecter le signal de photoluminescence.

[Fig. 1]

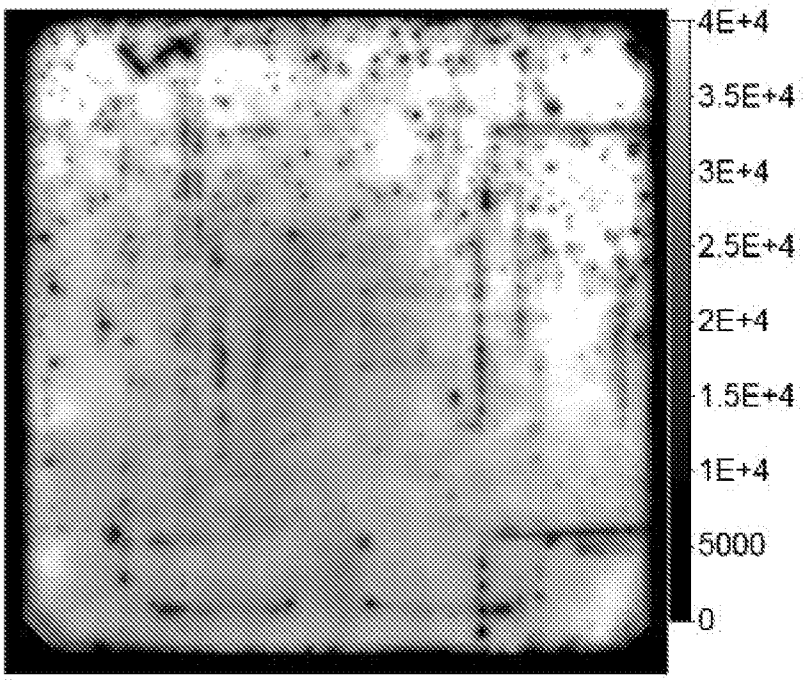


FIG.1

[Fig. 2]

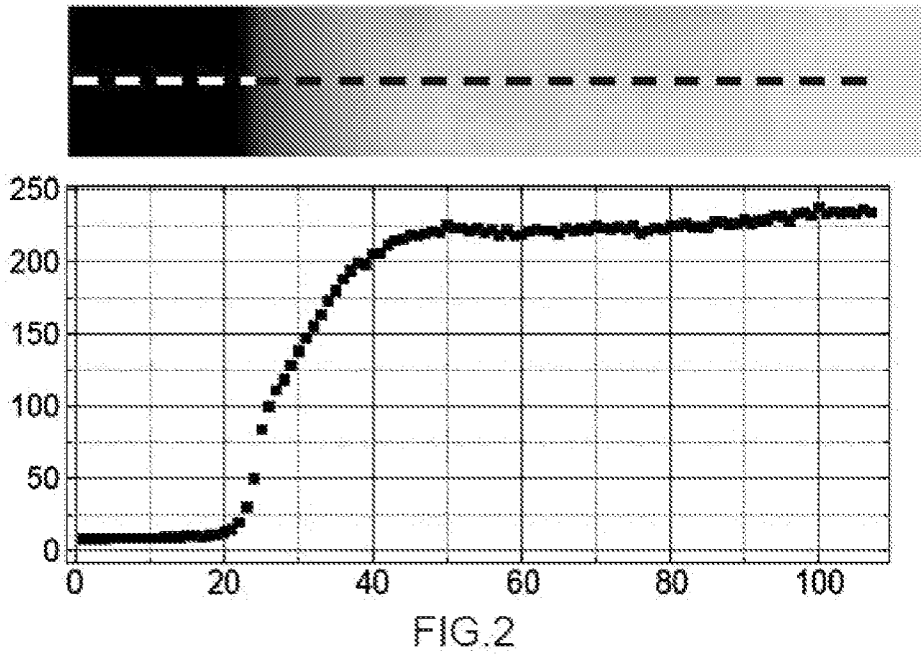


FIG.2

[Fig. 3]

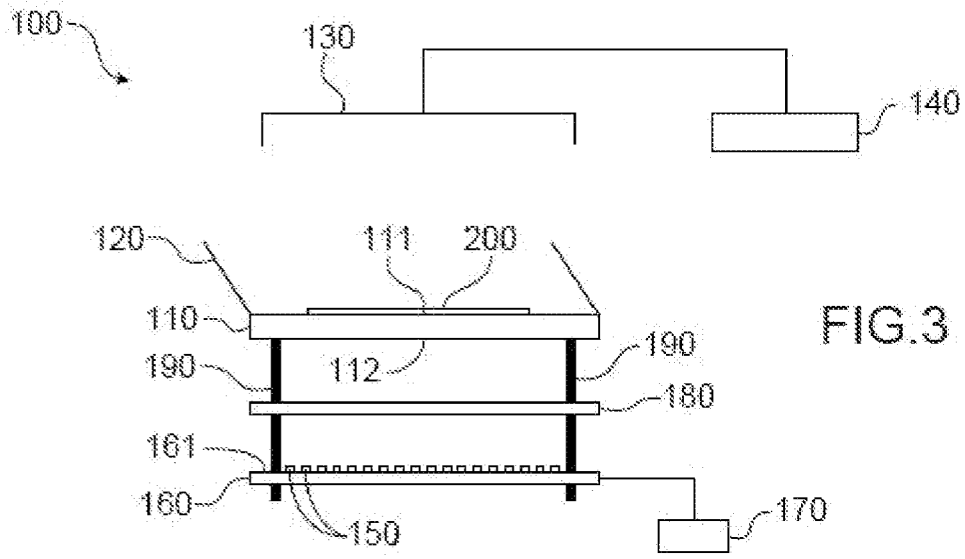


FIG.3

[Fig. 4]

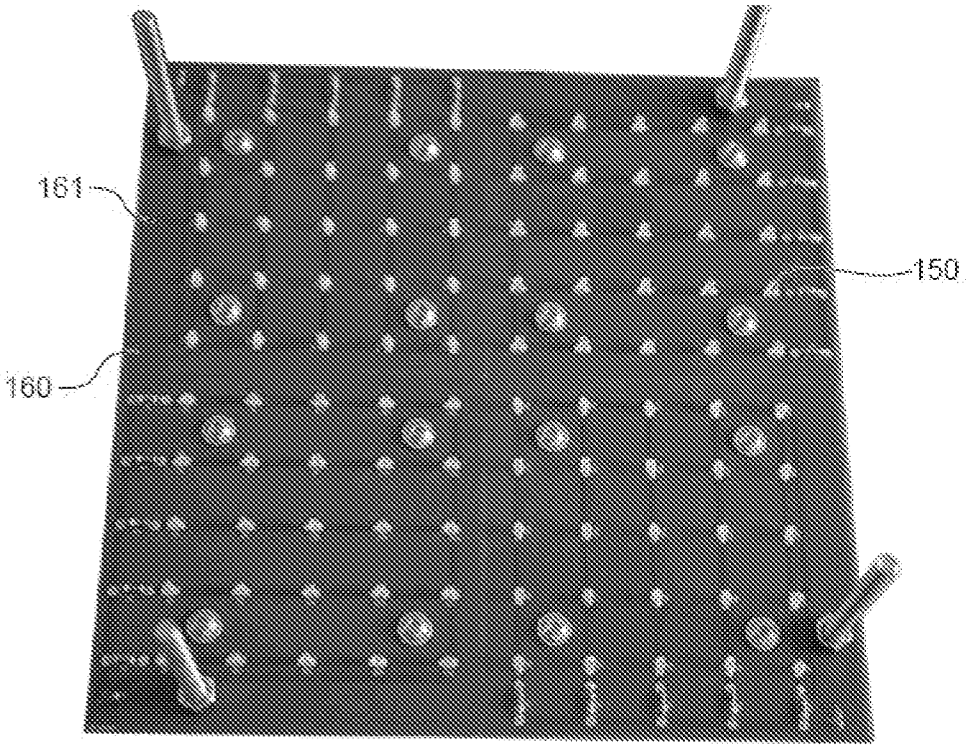


FIG.4

[Fig. 5]

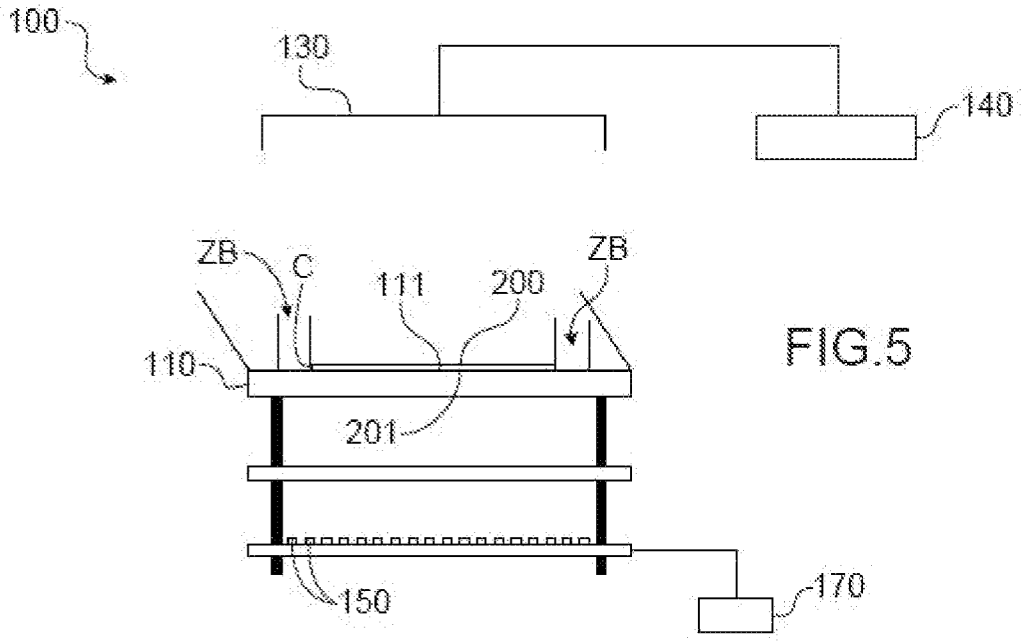


FIG.5

[Fig. 6]

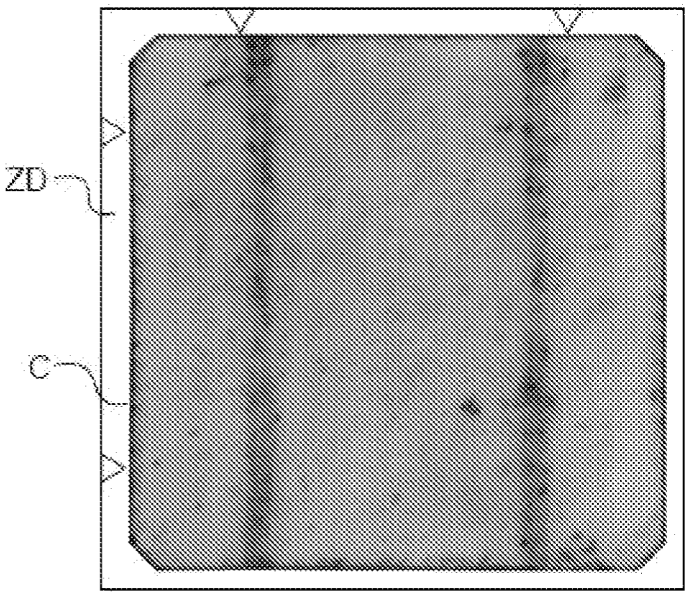


FIG.6

[Fig. 7a]

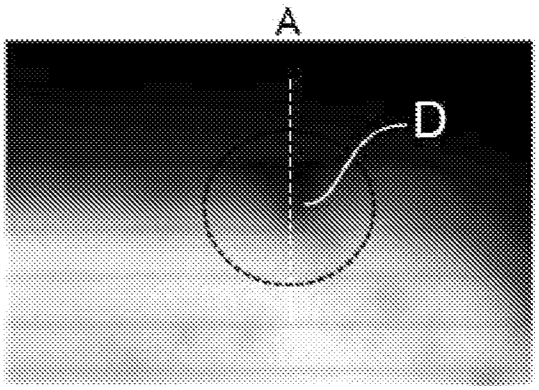


FIG.7a

[Fig. 7b]

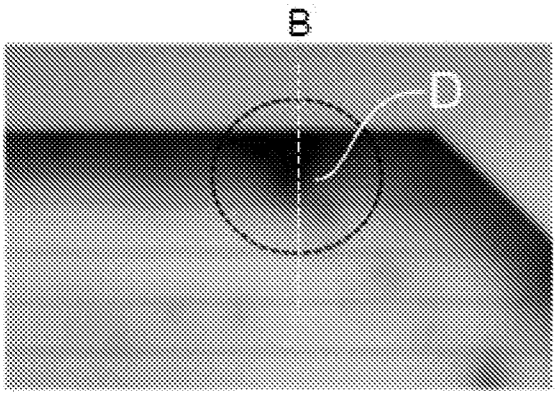


FIG.7b

[Fig. 7c]

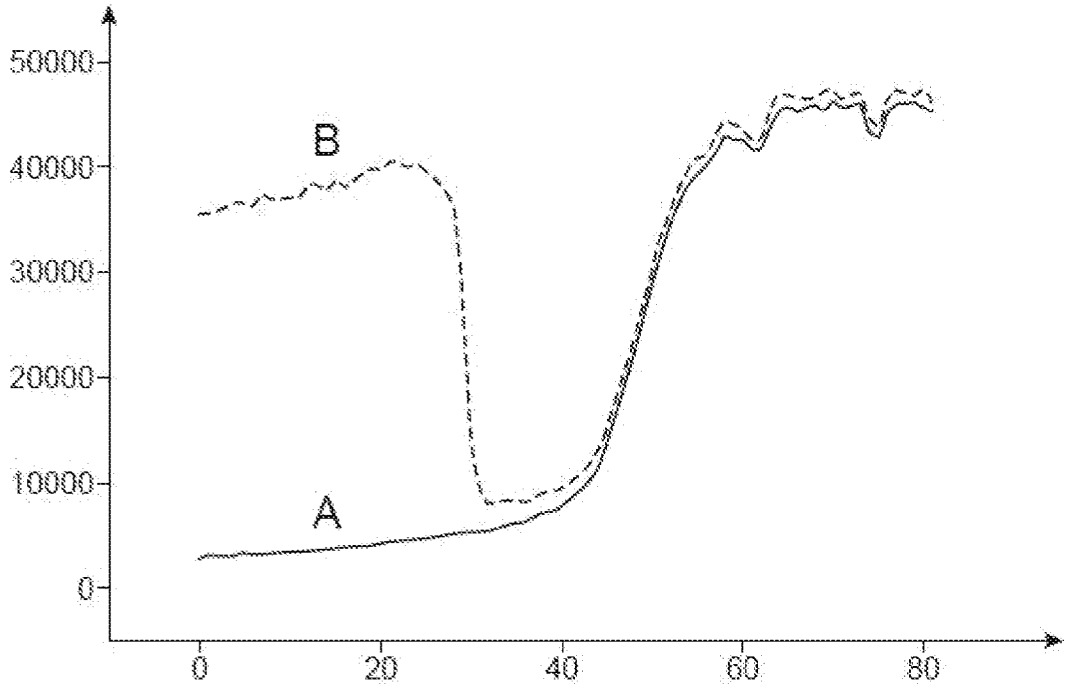


FIG.7c

[Fig. 8]

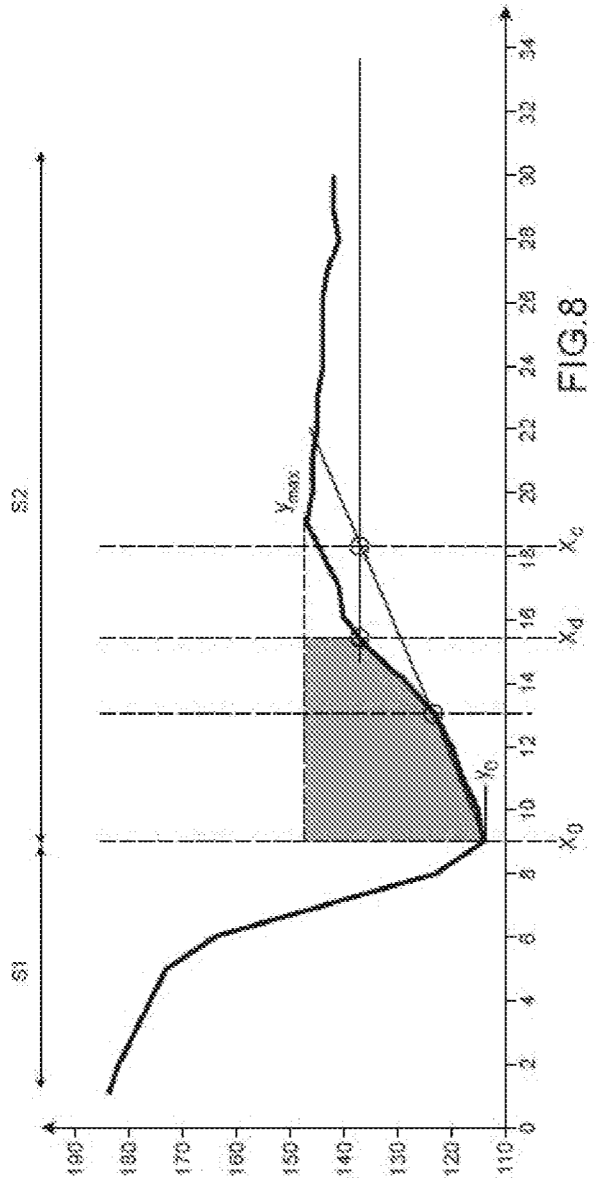

S1
S2
Y_{max}
X_0
X_d
X_c
Y_0
190
180
170
160
150
140
130
120
110
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
30
32
34

FIG.8

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 886743
FR 2010774

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	WO 2019/117228 A1 (PANASONIC IP MAN CO LTD [JP]) 20 juin 2019 (2019-06-20) * abrégé; figures * * alinéas [0011], [0022] - [0023], [0025] * -----	1-7,10, 11 8,9	G01N21/64
X A	US 8 269 830 B1 (DELANEY MARK LAWRENCE [US]) 18 septembre 2012 (2012-09-18) * colonne 8, lignes 3-63; figures 1-2 * -----	1-6,10, 11 8,9	
A	SONG MEI-PING ET AL: "Research On Broken Corner And Black Edge Detection Of Solar Cell", 2018 INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING AND CYBERNETICS (ICMLC), IEEE, vol. 1, 15 juillet 2018 (2018-07-15), pages 80-84, XP033443648, DOI: 10.1109/ICMLC.2018.8526960 [extrait le 2018-11-07] * Section 2. * -----	8,9	
A	WILLIAMS D J ET AL: "Normalized edge detector", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PATTERN RECOGNITION. ATLANTIC CITY, JUNE 16 - 21, 1990. CONFERENCE A : COMPUTER VISION AND CONFERENCE B : PATTERN RECOGNITION SYSTEMS AND APPLICATIONS; [PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON PAT, vol. i, 16 juin 1990 (1990-06-16), pages 942-946, XP010020337, DOI: 10.1109/ICPR.1990.118245 ISBN: 978-0-8186-2062-1 * le document en entier * -----	8,9	
	-/--		

DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

G01N
H02S

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
29 juin 2021	Riblet, Philippe

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

3

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 886743
FR 2010774

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	US 2006/029284 A1 (STEWART BRIAN D [GB]) 9 février 2006 (2006-02-09) * alinéas [0002] - [0005]; figure 1 *	8,9	
A	SHI BAO-SHAN ET AL: "A Method for Threshold Selection in Edge Width Detection of Objects in the Image", 2009 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING SYSTEMS, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 15 mai 2009 (2009-05-15), pages 402-405, XP031491234, ISBN: 978-0-7695-3654-5 * le document en entier *	8,9	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
29 juin 2021	Riblet, Philippe

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons

& : membre de la même famille, document correspondant

3

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2010774 FA 886743

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 29-06-2021
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2019117228 A1	20-06-2019	AUCUN	
US 8269830 B1	18-09-2012	CN 102735221 A	17-10-2012
		DE 102012206079 A1	18-10-2012
		JP 6001305 B2	05-10-2016
		JP 2012225913 A	15-11-2012
		US 8269830 B1	18-09-2012
US 2006029284 A1	09-02-2006	EP 1624672 A1	08-02-2006
		US 2006029284 A1	09-02-2006

EPO FORM P0465