



(43) Date de la publication internationale
6 août 2015 (06.08.2015)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/114278 A1

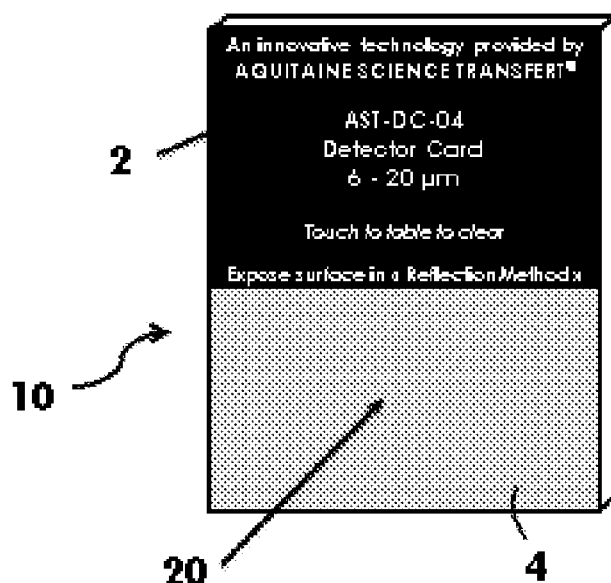
- (51) Classification internationale des brevets :
G01J 1/50 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2015/050233
- (22) Date de dépôt international :
2 février 2015 (02.02.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
14 00294 3 février 2014 (03.02.2014) FR
- (71) Déposants : UNIVERSITE DE BORDEAUX [FR/FR];
351 Cours de la Libération, F-33400 Talence (FR).
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3 rue Michel Ange, F-75016 Paris (FR).
- (72) Inventeurs : FREYSZ, Eric; 6 rue Vincent Van Gogh, F-33600 Pessac (FR). PHILIPPEAU, Benoît; 4 rue de Cépages, Résidence Carré Muscadelle, F-33170 Gradignan (FR).
- (74) Mandataires : CHAUVIN, Vincent et al.; Cabinet Harle et Phelip, 14-16 Rue Ballu, F-75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD AND SYSTEM FOR VISUALISING INFRARED ELECTROMAGNETIC RADIATION EMITTED BY A SOURCE

(54) Titre : PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE VISUALISATION D'UN RAYONNEMENT ÉLECTROMAGNÉTIQUE INFRA-ROUGE ÉMIS PAR UNE SOURCE

Fig. 5



(57) Abstract : The present invention relates to a method and system for visualising infrared radiation emitted by a source. According to the invention, the visualising system comprises a substrate, at least one solid temperature-sensitive layer containing thermochromic pigments having at least one transition temperature T_H associated with a visible colour change, and at least one intermediate layer placed between the substrate and the solid layer containing thermochromic pigments; the substrate, said at least one intermediate layer and the solid temperature-sensitive layer containing thermochromic pigments forming a multilayer suitable for absorbing infrared electromagnetic radiation and for inducing a local temperature increase dT ; and said at least one intermediate layer being suitable for transferring, by thermal conduction, said local temperature increase dT to a region of the solid temperature-sensitive layer, so as to induce a local change in the visible colour of the solid temperature-sensitive layer of thermochromic pigments.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

La présente invention concerne un procédé et un système de visualisation d'un rayonnement infrarouge émis par une source. Selon l'invention, le système de visualisation comprend un substrat, au moins une couche solide thermosensible comprenant des pigments thermochromes ayant au moins une température de transition T_H associée à un changement de couleur apparente, et au moins une couche intermédiaire disposée entre le substrat et la couche solide comprenant des pigments thermochromes; le substrat, ladite au moins une couche intermédiaire et la couche solide thermosensible comprenant des pigments thermochromes formant un empilement adapté pour absorber un rayonnement électromagnétique infrarouge et pour induire une augmentation locale de température dT ; et ladite au moins une couche intermédiaire étant adaptée pour transférer par conduction thermique ladite augmentation locale de température dT vers une région de la couche solide thermosensible, de manière à induire un changement local de la couleur apparente de la couche solide thermosensible de pigments thermochromes.

Procédé et système de visualisation d'un rayonnement électromagnétique infrarouge émis par une source

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé et un système de visualisation d'un rayonnement électromagnétique infrarouge.

Dans le présent document, on entend par rayonnement électromagnétique de fréquence infrarouge, un rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde est supérieure à 1 micron et inférieure à 20 microns.

Etat de la technique

Dans un montage optique, lorsque le spectre du rayonnement électromagnétique est situé en dehors du spectre visible, notamment dans l'infrarouge, on utilise généralement une carte de visualisation pour détecter, positionner ou observer la répartition spatiale de ce rayonnement électromagnétique.

Il existe différents systèmes de visualisation en fonction du domaine spectral du rayonnement électromagnétique considéré. En particulier, on connaît des cartes de visualisation simples d'utilisation et peu coûteuses.

Les différents systèmes de visualisation sont basés sur différents types d'interactions entre un matériau et un rayonnement électromagnétique infrarouge, ces différentes interactions modifiant les propriétés optiques ou les propriétés physico-chimiques du matériau considéré.

Un premier type d'interactions repose sur l'utilisation de matériaux optiques non linéaires qui permettent de convertir, par des interactions non linéaires à deux ou trois photons, un faisceau dans le domaine infrarouge en un faisceau dans le domaine visible. Toutefois, ces systèmes optiques non linéaires sont extrêmement complexes, et ils sont limités à des faisceaux laser cohérents de forte intensité et à un domaine spectral limité à une seule longueur d'onde pour un matériau particulier.

Un autre type d'interactions repose sur l'utilisation de matériaux phosphorescents ou fluorescents qui ont la propriété d'absorber un rayonnement infrarouge et de réémettre un rayonnement dans le domaine du visible. Ainsi, le document US5772916 décrit un écran comportant une poudre phosphorescente déposée sur un substrat permettant de détecter ou localiser une source de rayonnement infrarouge. De même, le document US6340820 décrit une carte de visualisation comprenant une couche active de composants phosphorescents déposée sur un substrat, pour détecter et mesurer le profil d'un faisceau dans le domaine du proche infrarouge de 0,8 à 1,7 microns. Les cartes de visualisation phosphorescentes sont suffisamment sensibles pour permettre de visualiser un rayonnement infrarouge émis par une diode électroluminescente. Toutefois, la sensibilité des cartes de visualisation phosphorescentes dans le proche infrarouge dépend de l'éclairement ambiant. D'autre part, l'utilisation des cartes de visualisation phosphorescentes

rencontre des limites pour des rayonnements infrarouges de longueur d'onde supérieure à deux microns ou de forte densité de puissance. Un rayonnement de forte densité de puissance peut désactiver la zone sensible de la carte de visualisation. Dans ce cas, on utilise une lampe ultraviolette (UV) pour réactiver la surface sensible en composé phosphorescent et ainsi visualiser la trace du faisceau infrarouge. Cette méthode est évidemment beaucoup moins pratique qu'une visualisation directe. Dans tous les cas, des cartes de visualisation phosphorescentes sont inefficaces pour visualiser un rayonnement infrarouge lointain, de 2 à 20 microns.

Par exemple, le document de brevet GB2235060 décrit un dispositif et procédé de visualisation de rayonnement visible et proche infrarouge limité dans une gamme de longueur d'onde de 600 nm à 1500 nm, qui présente une largeur de bande spectrale limitée à quelques centaines de nanomètres.

Il existe d'autres systèmes de visualisation de faisceau infrarouge basés sur l'interaction avec des cristaux liquides ou sur des systèmes électroniques. Toutefois, ces derniers systèmes sont complexes d'utilisation et en général assez coûteux.

Le document de brevet WO2014016525 décrit un dispositif et un procédé de visualisation de rayonnement électromagnétique térahertz qui met en œuvre des matériaux à transition de spin.

Il existe un besoin pour un procédé et un système de visualisation de faisceau électromagnétique infrarouge peu coûteux, facile à mettre en œuvre, présentant un seuil de sensibilité à l'exposition de rayonnement infrarouge sur une large gamme spectrale, de préférence de 1 à 20 microns, pour une densité de puissance allant de de 1 mW/cm² à quelques centaines de W/cm², tout en étant peu sensible aux variations d'éclairement ou de température ambiante. Il existe aussi un besoin pour un procédé et un système de visualisation de la répartition spatiale de la densité de puissance d'un faisceau infrarouge, sensible sur une large gamme spectrale.

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients des systèmes antérieurs de visualisation de rayonnement infrarouge et propose plus particulièrement un système de visualisation du rayonnement électromagnétique infrarouge émis par une source.

Selon l'invention, le système de visualisation comprend un substrat, au moins une couche solide thermosensible comprenant des pigments thermochromes dispersés dans une matrice solide, les pigments thermochromes ayant au moins une température de transition (T_H , T_B), de préférence supérieure à la température d'utilisation du système, ladite au moins une température de transition (T_H , T_B) étant associée à un changement de couleur apparente des pigments thermochromes dans le visible, et au moins une couche intermédiaire disposée entre le substrat et la couche solide thermosensible comprenant des pigments thermochromes, ladite au moins une couche intermédiaire étant thermiquement conductrice ; le substrat, ladite au moins une couche intermédiaire et la couche solide thermosensible forment ensemble un empilement

adapté pour absorber un rayonnement électromagnétique infrarouge et pour induire une augmentation locale de température dT ; et ladite au moins une couche intermédiaire est adaptée pour transférer par conduction thermique ladite augmentation locale de température dT vers une région de la couche solide thermosensible, de manière à induire un changement local de la couleur apparente de la couche solide thermosensible comprenant des pigments thermochromes.

Avantageusement, le rayonnement infrarouge a une densité de puissance I comprise dans une gamme de 1 mW/cm² à quelques centaines de W.cm⁻².

Le système de visualisation est simple d'utilisation, peu coûteux à fabriquer et sensible à une très large gamme de longueurs d'onde dans l'infrarouge. Avantageusement, le système de visualisation de l'invention est sensible dans une gamme de longueur d'onde qui s'étend sur une largeur de bande spectrale de plusieurs microns à l'intérieur d'un domaine de longueur d'onde de 1 micron à 20 microns. Dans un exemple de réalisation, le système de visualisation est sensible dans une gamme de longueur d'onde s'étendant au moins de 1.5 microns à 5 microns. Autrement dit, ce système de visualisation a une largeur de bande spectrale s'étendant au moins de 1.5 microns à 5 microns. Dans un autre exemple de réalisation, le système de visualisation est sensible dans une gamme de longueur d'onde s'étendant au moins de 6 microns à 20 microns. Autrement dit, ce système de visualisation a une largeur de bande spectrale s'étendant au moins de 6 microns à 20 microns.

Le système de visualisation de l'invention présente une gamme de sensibilité étendue en termes de densité de puissance du rayonnement infrarouge incident et de gamme de longueur d'onde.

Contrairement aux systèmes dans lesquels la commutation des pigments thermochromes est une commutation photoinduite, la commutation des pigments est ici induite thermiquement par modification de la température du système sur lequel sont déposés les pigments. Ce système ne requiert pas de propriétés de photocommutation ni d'absorption des pigments thermochromes dans le domaine infrarouge. Les pigments thermochromes sont sensibles essentiellement à l'augmentation de température de la matrice dans laquelle ils sont dispersés.

Selon un aspect de l'invention, ledit empilement présente un coefficient d'absorption a dans une gamme de longueur d'onde infrarouge, de préférence comprise entre 1 et 20 microns, une densité r et une capacité calorifique C_p définissant un rapport :

$$\frac{a}{r.C_p}$$

supérieur à une valeur seuil sur ladite gamme de longueur d'onde infrarouge, ledit rapport étant adapté pour induire par absorption locale d'un rayonnement infrarouge

incident ayant une longueur d'onde dans ladite gamme de longueur d'onde infrarouge et une densité de puissance I , une augmentation locale de température dT dans ledit empilement telle que :

$$dT \approx \frac{a.I}{r.C_p}$$

lorsque le rayonnement infrarouge incident a une densité de puissance I comprise dans une gamme, de préférence de 1 mW.cm^{-2} à 100 W.cm^{-2} .

Préférentiellement, le matériau du substrat est choisi parmi du papier, du carton, du plastique, un métal, tel que l'aluminium, le cuivre, ou un alliage de métaux, ou une céramique, par exemple de l'alumine (Al_2O_3).

Selon un aspect de l'invention, ladite au moins une couche intermédiaire comprend une couche de contraste d'indice dans le visible formée d'un matériau ayant un coefficient d'absorption faible dans le domaine spectral du visible, ladite couche de contraste d'indice étant de préférence une couche chargée en dioxyde de titane (TiO_2).

Selon un autre aspect de l'invention, ladite au moins une couche intermédiaire comprend une couche absorbante dans l'infrarouge, ladite couche absorbante dans l'infrarouge ayant un coefficient d'absorption supérieur à 20% dans au moins une partie du domaine de longueur d'onde compris entre 1 et 20 microns, ladite couche absorbante dans l'infrarouge étant de préférence chargée en noir de carbone.

De façon particulièrement avantageuse, le système de visualisation comprend une première zone adaptée pour absorber un premier rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance comprise dans une première gamme de densité de puissance, de préférence comprise entre 5 W/cm^2 et environ 100 W/cm^2 , le système de visualisation étant adapté pour transformer, par conduction thermique, une augmentation de température induite par absorption du premier rayonnement infrarouge en une augmentation locale de température dT_1 supérieure à un seuil de commutation thermochromique dans une première région de la couche solide thermosensible de pigments thermochromes, de manière à induire une commutation de la couche de pigments thermochromes qui produit un changement de la couleur apparente de la couche de pigments thermochromes lorsque le premier rayonnement infrarouge a une densité de puissance comprise dans la première gamme de densité de puissance. Le système de visualisation comprend une deuxième zone adaptée pour absorber un deuxième rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance comprise dans une deuxième gamme de densité de puissance, de préférence comprise entre 1 mW/cm^2 et 5 W/cm^2 , et le système de visualisation est adapté pour transformer, par conduction thermique, une augmentation de température induite par absorption du deuxième rayonnement infrarouge dans l'empilement en une augmentation locale de température dT_2 supérieure à un seuil de commutation thermochromique sur une deuxième région de la au moins une couche solide thermosensible de pigments thermochromes, de manière à induire une commutation de

la au moins une couche de pigments thermochromes qui produit un autre changement de la couleur apparente de la au moins une couche solide thermosensible de pigments thermochromes lorsque le deuxième rayonnement infrarouge a une densité de puissance comprise dans la deuxième gamme de densité de puissance.

5 Selon un mode de réalisation préféré, la couche solide thermosensible comporte au moins un pigment thermochrome, à transition de spin ou non, à l'exclusion des cristaux liquides.

Selon un autre mode de réalisation préféré, la couche solide thermosensible comporte au moins un pigment thermochrome choisi parmi des leuco-colorants.

10 Dans une variante, la couche solide thermosensible comporte un mélange d'au moins deux pigments thermochromes ayant des seuils de transition en température différents.

Selon un aspect d'un mode de réalisation, la couche de pigments thermochromes comporte des nanoparticules et/ou microparticules de pigments thermochromes dans une matrice polymère absorbante de préférence dans le domaine infrarouge compris entre 1 et 20 microns.

15 Selon un aspect particulier et avantageux de l'invention, le substrat a une première face et une deuxième face opposée à la première face, la deuxième face du substrat comprenant au moins une zone d'exposition ayant une surface nue adaptée à recevoir ledit rayonnement électromagnétique infrarouge incident pour un fonctionnement en transmission, et la première face étant adaptée à recevoir ledit rayonnement électromagnétique infrarouge incident pour un fonctionnement en réflexion.

25 L'invention concerne aussi un procédé de visualisation du rayonnement électromagnétique infrarouge émis par une source, comprenant l'exposition à un rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance supérieure ou égale à un seuil de densité de puissance, d'au moins une zone d'un système de visualisation selon l'un des modes de réalisation, de manière à induire par absorption dans l'empilement puis par conduction thermique une augmentation locale de la température dans la couche de pigments thermochromes supérieure à un seuil de transition T_H , adaptée pour induire un changement de couleur apparente d'une région de la couche solide thermosensible de pigments thermochromes.

35 L'invention trouvera une application particulièrement avantageuse dans les cartes de détection et/ou de visualisation de la distribution spatiale de la densité de puissance de rayonnements électromagnétiques infrarouges.

La présente invention concerne également les caractéristiques qui ressortiront au cours de la description qui va suivre et qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles.

40 Cette description donnée à titre d'exemple non limitatif fera mieux comprendre comment l'invention peut être réalisée en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1-4 représentent différentes étapes de fabrication d'un système de visualisation de rayonnement infrarouge selon un premier mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 5 illustre un exemple de système de visualisation de rayonnement infrarouge, vu du côté de la face portant la couche à pigments thermochromes ;

- la figure 6 illustre l'exemple de système de visualisation de rayonnement infrarouge de la figure 5, vu du côté opposé à la couche à pigments thermochromes ;

- les figures 7-10 illustrent différentes étapes de fabrication d'un système de visualisation selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;

- les figures 11 et 12 illustrent un autre exemple de système de visualisation à deux zones de sensibilité différentes en longueur d'onde et/ou en densité de puissance selon le deuxième mode de réalisation de l'invention ;

- la figure 13 illustre différentes couleurs associées à différentes plages de températures pour un mélange de pigments thermochromes ;

- la figure 14 illustre un exemple de la visualisation de la distribution spatiale de la densité de puissance d'un rayonnement électromagnétique infrarouge à partir d'un mélange de pigments thermochromes ;

- les figures 15A-15B illustrent un exemple de réalisation d'une carte de visualisation infrarouge ;

- les figures 16A-16D illustre un autre exemple de réalisation d'une carte de visualisation infrarouge fonctionnant en réflexion et en transmission.

Description détaillée

L'invention repose sur l'interaction entre un rayonnement électromagnétique infrarouge, et un système de visualisation comprenant une couche solide thermosensible, la couche thermosensible comportant un matériau thermochrome, ou pigment thermochrome.

Les pigments thermochromes ont la capacité de changer de couleur apparente dans le visible en fonction d'un changement de température, chauffage ou refroidissement. Ce changement de couleur peut être lié à un changement de forme d'une molécule, par exemple dans le cas d'un leuco-colorant (ou leuco dye), à un changement de phase. Ainsi, à 68°C, le dioxyde de vanadium VO₂ présente une transition de phase, d'un état semi-conducteur, qui présente une structure monoclinique distordue, à un état métallique, qui présente une structure quadratique de type rutile. De même, le semi-conducteur BiVO₄, matériau à transfert de charge qui est jaune à température ambiante, présente un aspect rouge à 300°C. Enfin, ce changement de couleur peut être lié à une transition de spin, dans le cas d'un matériau à transition de spin, tel que décrit par exemple dans les documents FR2894581 et FR2963015. Un pigment thermochrome passe ainsi d'une première couleur, à basse température, à une deuxième couleur, lorsque la température augmente au dessus

d'un seuil de transition en température T_H . Pour certains matériaux, cette transition est irréversible, pour d'autres matériaux elle peut être réversible. Dans le cas où cette transition est réversible, lorsque la température passe en dessous d'un certain seuil de température T_B , on observe un changement de couleur inverse. Selon la nature physico-chimique du matériau thermochrome, la plage de transition en température pour commuter d'un état à l'autre état peut s'étaler sur quelques degrés à plusieurs dizaines de degrés. En outre, de nombreux matériaux thermochromes présentent une boucle d'hystérésis thermique.

Les matériaux thermochromes peuvent aussi présenter un effet de photocommutation sous un rayonnement infrarouge de longueur d'onde précise.

En particulier, on connaît du document FR2963015, des composés thermochromes, de type à transition de spin, sous forme de poudre ou insérés dans une matrice polymère, qui permettent de visualiser un faisceau laser à une longueur d'onde de 10,6 microns ayant une densité de puissance comprise entre 1 mW/cm² et 1 W/cm².

Cependant, les matériaux thermochromes ne présentent pas d'effet de photocommutation sur une large bande spectrale infrarouge, s'étendant par exemple de 1 à 20 microns. D'autre part, les matériaux à transition de spin présentent une faible sensibilité.

Dans le domaine des composés thermochromes, les leuco-dyes offrent un changement de couleur abrupte dans un intervalle d'environ 1.5°C aux environs de la température de transition T_H qui ne peut, actuellement, pas être atteint avec les matériaux à transition de spin conventionnels.

Les leuco-dyes sont donc très réactifs au changement de température et permettent ainsi d'atteindre une forte sensibilité.

De manière plus générale, la photocommutation directe d'un matériau particulier, par exemple à transition de spin, lors de l'exposition de ce matériau à transition de spin à un faisceau infrarouge, présente une sensibilité limitée spectralement dans l'infrarouge, et ne permet pas de visualiser un faisceau infrarouge sur une large gamme spectrale, ni de visualiser le profil spatial de la densité de puissance d'un faisceau infrarouge.

Un matériau thermochrome pris isolément ne convient donc pas pour permettre de visualiser un faisceau infrarouge ayant une longueur d'onde quelconque dans la gamme comprise entre 1 et 20 microns.

Une constatation faisant partie de la présente invention est qu'un dispositif de l'art antérieur basé sur un matériau phosphorescent ou sur un matériau thermochrome particulier peut être adapté pour la détection d'un faisceau infrarouge dans une gamme spectrale relativement étroite et dans une gamme de densité de puissance réduite, mais ne convient pas pour la détection d'un rayonnement ayant une longueur d'onde

quelconque dans une large gamme spectrale infrarouge, et ne permet pas de visualiser le profil spatial de la densité de puissance d'un faisceau infrarouge.

On propose un procédé et un système de détection et/ou de visualisation de la distribution spatiale de la densité de puissance d'un rayonnement infrarouge basé sur l'utilisation d'un système comprenant un substrat 1, une couche solide 4 comportant des particules de pigment thermochrome dispersées en quantité contrôlée dans une matrice, et au moins une couche intermédiaire (2, 3) disposée entre le substrat et la couche solide 4.

La couche solide 4 comprenant un pigment thermochrome est dite thermosensible, c'est-à-dire qu'elle est sensible à une augmentation et/ou une baisse de température par rapport à au moins un seuil de transition T_H . Toutefois, une couche thermochrome n'est pas nécessairement une couche thermiquement conductrice : la matrice dans laquelle sont insérés les pigments thermochromes peut être une matrice isolante thermiquement.

Le principe de fonctionnement du système de visualisation repose sur un échauffement local du système suite à une exposition à un rayonnement électromagnétique infrarouge.

Plus précisément, le rayonnement électromagnétique infrarouge est absorbé par le système de visualisation et transformé en une augmentation locale de température, qui induit un changement de couleur, de préférence réversible, du pigment thermochrome utilisé. Le pigment thermochrome change ainsi indirectement de couleur, sous irradiation d'un rayonnement infrarouge, lorsque la température du système augmente localement au-dessus d'un seuil de transition T_H du pigment thermochrome. Lorsque le rayonnement est interrompu, l'absorption infrarouge dans le système de visualisation et l'échauffement induit cessent : le système revient à l'équilibre à la température ambiante, et le pigment thermochrome retrouve sa couleur initiale.

Ainsi, on propose un système de visualisation comprenant un empilement, l'empilement comprenant un substrat, une couche solide thermosensible de pigments thermochromes ayant au moins une température de transition prédéfinie (T_H , T_B), et au moins une couche intermédiaire, l'empilement du système de visualisation ayant un coefficient d'absorption prédéfini pour un rayonnement infrarouge sur tout un domaine de longueur d'onde compris entre 1 et 20 microns, de manière à ce que le système de visualisation absorbe le rayonnement infrarouge. D'autre part, l'empilement a une densité r et une capacité calorifique C_p qui produisent une augmentation locale de température dans l'empilement et permettent de transférer cette augmentation de température dans une région de la couche de pigments thermochromes, qui induit un changement de la couleur apparente de la couche thermosensible lorsque le rayonnement infrarouge a une densité de puissance comprise dans une gamme, de préférence de 1 mW.cm^{-2} à 100 W.cm^{-2} .

Le substrat utilisé dans le système de visualisation peut être de différents types.

Le substrat 1 est de préférence sous forme d'une plaque mince, de quelques dixièmes de millimètre à quelques millimètres d'épaisseur.

Par exemple, le substrat 1 peut être en papier, carton, bois, matière plastique, céramique, plaque métallique.

Dans une variante, le système de visualisation présente un seuil de sensibilité de préférence dans la gamme de densité de puissance comprise entre quelques mW.cm^{-2} à environ 10 W.cm^{-2} , et on choisit un substrat qui présente une faible conductivité thermique, de préférence inférieure à $1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à température ambiante, tel que le papier, le bois, une matière plastique, tel que le PVC, de manière à limiter les déperditions caloriques du système de visualisation vers l'air ambiant. Par conséquent, un tel système de visualisation présente un temps de relaxation relativement long, de l'ordre de 5s à 10s. On note que le temps de relaxation, pour le retour du dispositif à la couleur d'origine, est fonction de la densité de puissance du rayonnement infrarouge.

Dans une autre variante, le système de visualisation présente un seuil de sensibilité de préférence dans la gamme de densité de puissance comprise entre 10 W.cm^{-2} à environ 100 W.cm^{-2} et on choisit un substrat qui présente une forte conductivité thermique, de préférence supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à température ambiante, tel qu'une plaque métallique ou une plaque céramique, par exemple de l'alumine. Un tel système de visualisation est plus résistant à une densité de puissance du rayonnement infrarouge élevée, et présente un temps de relaxation court, de l'ordre de 3s.

Le principe de détection du système de visualisation de l'invention est basé sur un changement de couleur d'au moins une partie des pigments thermochromes dispersés dans une matrice solide déposée en couche sur un substrat, le système comportant au moins une autre couche intermédiaire entre la couche thermosensible et le substrat.

Pour déterminer le seuil de détection des rayonnements électromagnétiques, il est nécessaire de prendre en compte différents paramètres physiques du système de visualisation complet.

La relation entre la modification de température et les paramètres physiques du système de visualisation est la suivante :

$$dT \approx \frac{aI}{r.Cp}$$

où dT représente la modification de température par unité de temps, I la densité de puissance par unité de surface du rayonnement électromagnétique incident, a le coefficient d'absorption du système de visualisation, r la densité du système et Cp la capacité calorifique du système. Le coefficient d'absorption a du système de visualisation est en général fonction de la longueur d'onde.

Ainsi, pour réduire le seuil de sensibilité et accroître l'augmentation de température induite dT pour une densité d'énergie par unité de surface fixée, il est préférable de sélectionner un système ayant un fort coefficient d'absorption α une faible densité r et/ou une faible capacité calorifique C_p .

Une fois les paramètres physiques du système sélectionnés, on choisit un pigment thermochrome ayant une température de transition supérieure à la température d'utilisation, par exemple de ± 5 °C au-dessus de la température d'utilisation.

On observe que les pigments thermochromes ne sont pas utilisés ici pour absorber directement le rayonnement infrarouge mais comme indicateur d'une modification de température du système de visualisation. Les pigments thermochromes sont sélectionnés essentiellement en fonction de leur température de transition et de leur couleur apparente dans le visible. Les pigments thermochromes sont avantageusement dispersés dans une matrice liquide, qui est solidifiée après dépôt sur le substrat et la couche intermédiaire. La quantité de pigments dispersés dépend de la couleur initiale et du changement de couleur recherché. A titre d'exemple, la quantité de pigments dispersés est comprise entre 5 % et 20 % en poids du poids total dans une encre formant la couche solide thermosensible chargée en pigments thermochromes.

Selon un aspect avantageux, la ou les couches intermédiaires disposées entre le substrat et la couche thermosensible permettent, par réflexion ou transmission, de procurer un contraste visuel permettant à l'utilisateur de mieux visualiser un changement de couleur.

De manière complémentaire, la ou les couches intermédiaires peuvent aussi absorber une partie du rayonnement électromagnétique infrarouge.

Les figures 1 à 4 représentent différentes étapes de fabrication d'un système de visualisation de rayonnement infrarouge selon un premier mode de réalisation de l'invention, qui est compatible avec une densité de puissance de rayonnement électromagnétique élevée, de l'ordre de 10 W.cm^{-2} à environ 100 W.cm^{-2} .

La figure 1 représente un substrat 1. De façon avantageuse, le substrat 1 est un substrat ayant une bonne tenue mécanique aux températures élevées et une bonne conductivité thermique (supérieure à $50 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ à température ambiante). Par exemple, le substrat 1 est formé d'une plaque métallique ou d'une plaque céramique, telle que l'alumine. L'épaisseur du substrat est de préférence comprise entre quelques dixièmes de millimètre et quelques millimètres.

On dépose sur une première face du substrat, une couche 2, qui recouvre toute la surface de la première face. De façon avantageuse, la couche 2 est une couche absorbante dans l'infrarouge, par exemple composée de noir de carbone, qui est absorbant sur une gamme spectrale très étendue du visible à l'infrarouge. Par exemple,

on utilise un vernis chargé en noir de carbone (Gamme UVISOFT) de la société VFP Ink Technologies.

La figure 2 représente le substrat 1 de la figure 1, vu de la deuxième face, qui est opposée à la première face. Sur la figure 2, on a déposé une couche 12 qui permet de délimiter la zone d'exposition au rayonnement infrarouge en mode transmission. La zone d'exposition en mode transmission ne présente donc aucun dépôt et est indiquée par la surface nue 13 du substrat 1, qui est opposé à la zone thermosensible 4.

Sur la figure 3, représente le substrat 1 de la figure 1, vu de la première face. On a déposé une couche de contraste d'indice 3, de préférence en vernis blanc opaque, qui recouvre une partie de la couche absorbante 2. Dans un exemple de réalisation, la couche de contraste d'indice 3 est un vernis chargé en dioxyde de titane (TiO_2) de la société VFP Ink Technologies (Gamme UVISOFT).

Sur la figure 4, on a déposé une couche thermosensible 4 comprenant des particules de pigments thermochromes dispersés dans une matrice. Par exemple, la couche thermosensible 4 est formée par dépôt d'un vernis incolore de la société VFP Ink Technologies (Gamme UVISOFT) chargé en pigments thermochromes. La couleur du vernis peut être par exemple orange ou violette à l'état initial en dessous du seuil de transition T_H .

Dans un mode de réalisation particulier, la matrice de la couche thermosensible 4 est un vernis polymérisable sous irradiation à un rayonnement ultraviolet. On polymérise la couche thermosensible 4 chargé en pigments thermochromes de la même manière, par exposition à un rayonnement ultraviolet. Dans une variante, la couche thermosensible est formée d'un vernis incolore à base de solvants, qui est solidifié par évaporation.

Selon un procédé particulier, les différentes couches 2, 12, 3 et 4 sont déposées par sérigraphie, en un ou plusieurs passages.

L'épaisseur de la couche absorbante 2, de la couche de contraste d'indice 3 et de la couche thermosensible 4 est de préférence comprise entre quelques dixièmes de microns et quelques centaines de microns.

La figure 5 représente un système de visualisation obtenu suivant le procédé détaillé en lien avec les figures 1 à 4, vu de la face portant la couche thermosensible 4. On a imprimé, par exemple par sérigraphie, à l'encre blanche sur la couche 2 des indications de fonctionnement du dispositif, telle que le domaine de longueur d'onde, ici par exemple de 6 à 20 microns. Dans un autre exemple, le domaine de longueur d'onde du système de visualisation s'étend de 1,5 à 5 microns.

Le système de visualisation 10 de la figure 5 fonctionne ainsi en réflexion. Un rayonnement infrarouge 20, de densité de puissance de 10 à 50 W/cm^2 , est incident sur la couche thermosensible 4. Lorsqu'un rayonnement infrarouge 20 est incident sur la couche 4 chargée en pigments thermochromes, le rayonnement infrarouge peut être absorbé par la matrice de la couche thermosensible et/ou par la couche de contraste

d'indice 3 et/ou par la couche absorbante 2 et/ou par le substrat 1. Le rayonnement infrarouge absorbé se transforme en augmentation locale de la température du système de visualisation 10. Cette augmentation de température induite par absorption du rayonnement infrarouge 20 dans l'empilement, est transférée par conduction thermique à la couche thermosensible 4. Lorsque l'augmentation de température de la couche thermosensible 4 est supérieure à la température de transition T_H , elle induit une transition des pigments thermochromes, et donc un changement local de couleur apparente de la couche thermosensible dans le visible. Un observateur détecte ainsi un changement de couleur sur la face de la couche thermosensible directement exposée au rayonnement infrarouge 20.

La figure 6 représente le système de visualisation de la figure 5, vu de la face opposée à celle portant la couche 4 de pigments thermochromes.

Le système de visualisation 10 de la figure 6 fonctionne ainsi en transmission. Un faisceau infrarouge 21, de forte densité de puissance, de 50 à 100 W/cm², est incident sur la surface nue 13 du substrat 1. Le rayonnement infrarouge peut être absorbé par le substrat 1 et/ou par les différentes couches situées sur la face opposée c'est-à-dire par la couche absorbante 2 et/ou par la couche de contraste d'indice 3 et/ou par la matrice de la couche thermosensible 4. Le rayonnement infrarouge 21 ainsi absorbé induit une augmentation locale de la température dans l'empilement du système de visualisation 10. Cette augmentation de température induite dans l'empilement, est transférée par conduction thermique à la couche thermosensible 4. Lorsque l'augmentation de température de la couche thermosensible 4 est supérieure à la température de transition T_H des pigments thermochromes, elle induit une transition des pigments thermochromes, et donc un changement local de couleur apparente de la couche thermosensible dans le visible. Un observateur détecte ainsi un changement de couleur sur la face opposée à la face exposée au rayonnement infrarouge 21.

En transmission, la couche de pigments thermochromes n'est pas exposée directement au rayonnement électromagnétique. La résistance mécanique du substrat permet au système de supporter de fortes densités de puissance, par exemple de l'ordre de 100 W .cm⁻². L'utilisation du système de visualisation en transmission permet d'éviter d'endommager la couche thermosensible 4 du fait d'une exposition directe à un rayonnement infrarouge 21 de forte densité de puissance.

La sensibilité en densité de puissance d'un même système de visualisation est différente selon qu'il est utilisé en mode réflexion (figure 5) ou en mode transmission (figure 6). Un seul système de visualisation tel que représenté sur les figures 5 et 6 présente ainsi deux gammes de fonctionnement complémentaires.

Un tel système de visualisation 10 permet de visualiser et de localiser simplement un rayonnement électromagnétique de faible et/ou de forte densité de puissance.

Les figures 16A-16D, illustrent le fonctionnement d'un système de visualisation tel que décrit en lien avec les figures 5 et 6. Sur la figure 16A, on a représenté une carte de visualisation à température ambiante vue du côté de la couche thermosensible 4. La couche thermosensible 4 est déposée sous forme rectangulaire et apparaît grise à température ambiante. Sur la figure 16B, on a représenté la carte de visualisation de la figure 16A à une température supérieure à la température de transition de la couche thermosensible : les pigments thermochromes ont commuté, et la couche thermosensible apparaît uniformément verte. Sur la figure 16C, on a représenté la même carte de visualisation à température ambiante, exposée à un rayonnement infrarouge à une longueur d'onde de 10,6 microns, de densité de puissance de 20 W/cm², en mode réflexion. On observe sur la figure 16C, au centre de la couche thermosensible, une tache plus claire 40, qui permet de visualiser et de localiser le rayonnement infrarouge. Sur la figure 16D, on a représenté la même carte de visualisation à température ambiante, exposée à un rayonnement infrarouge à une longueur d'onde de 10,6 microns, de densité de puissance de 60 W/cm², en mode transmission. On observe sur la figure 16D, au centre de la couche thermosensible, une tache 41 centrale plus claire, qui permet de visualiser et de localiser le rayonnement infrarouge par transmission.

Les figures 7 à 10 représentent différentes étapes de fabrication d'un système de visualisation de rayonnement infrarouge selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

La figure 7 représente un substrat 1, par exemple formé d'une carte blanche en PVC, par exemple laminée sans couche protectrice (ou overlay). On a déposé sur une première face du substrat 1, une couche absorbante 2, qui recouvre toute la surface de la première face. De façon avantageuse, la couche 2 est composée de noir de carbone, qui est absorbant sur une gamme spectrale très étendue du visible à l'infrarouge. Par exemple, on utilise un vernis chargé en noir de carbone de la société VFP Ink Technologies (Gamme UVISOFT). On a déposé sur la couche 2, une couche de contraste 3 qui recouvre toute la surface de la couche 2. De façon avantageuse, la couche de contraste 3 est un vernis blanc opaque. Dans un exemple de réalisation, la couche de contraste 3 est une couche d'un vernis chargé en dioxyde de titane (TiO₂) de la société VFP Ink Technologies (Gamme UVISOFT).

Sur la figure 8, on a déposé une première couche thermosensible 4 comprenant des particules de pigments thermochromes dispersés dans une matrice sur une région seulement de la surface de la couche de contraste 3. Par exemple, la première couche thermosensible 4 est formée par dépôt d'un vernis incolore (Gamme UVISOFT) de la société VFP Ink Technologies chargé en pigments thermochromes.

Sur la figure 9, on a déposé une autre couche thermosensible 5 comprenant des particules de pigments thermochromes dispersés dans une matrice sur autre une région de la surface de la couche de contraste 3, distincte de la région de la première

couche thermosensible 4. Par exemple, la couche thermosensible 5 est formée par dépôt d'un vernis incolore (Gamme UVISOFT) de la société VFP Ink Technologies chargé en pigments thermochromes, d'une autre couleur, correspondant à une autre température de transition (T_H) et donc à une sensibilité différente de celle de la première couche thermosensible 4.

Par exemple, à l'état en dessous de leur seuil de transition respectif, la couleur du vernis de la première couche thermosensible 4 peut par exemple être rose, et la couleur du vernis de l'autre couche thermosensible 5 violette ou noire.

Dans un mode de réalisation particulier, le vernis des couches thermosensibles 4 et 5 est un vernis polymérisable sous irradiation à un rayonnement ultraviolet. On polymérise la couche thermosensible 4 chargé en pigments thermochromes de la même manière, par exposition à un rayonnement ultraviolet. De façon avantageuse, la couche absorbante 2, la couche de contraste 3, ainsi que les couches thermosensibles 4 et 5 sont déposées par sérigraphie, en un ou plusieurs passages.

La figure 10 représente un système de visualisation obtenu suivant le procédé détaillé en lien avec les figures 7 à 9, vu de la face portant les couches thermosensibles 4 et 5. On a imprimé, par exemple par sérigraphie, à l'encre noire sur la couche de contraste 3 des indications de fonctionnement du dispositif, telles que le domaine de longueur d'onde, ici par exemple de 1,5 à 5 microns.

La figure 11 représente un autre exemple de procédé de fabrication, analogue au procédé illustré en lien avec les figures 7-8, et dans lequel on dépose d'autres couches thermosensibles 14, 15 juxtaposées sur une couche de contraste 3, elle-même déposée sur une couche absorbante 2 dans l'infrarouge, par exemple de noir de carbone, recouvrant le substrat 1.

Sur la figure 12, est représenté un autre exemple de système de visualisation obtenu suivant le procédé détaillé en lien avec les figures 7, 8 et 11, vu de la face portant les couches thermosensibles 14 et 15 chargées en pigments thermochromes. On a imprimé, par exemple par sérigraphie, à l'encre noire sur la couche de contraste 3, des indications de fonctionnement du dispositif, telles que le domaine de longueur d'onde, qui s'étend de 6 à 20 microns.

Les systèmes de visualisation illustrés sur les figures 10 et 12 fonctionnent par réflexion, le rayonnement infrarouge étant incident sur une des couches de pigments thermosensibles 4 ou 5 pour le dispositif de visualisation 30 de la figure 10, et respectivement sur une des couches de pigments thermosensibles 14 ou 15 pour le dispositif de visualisation 30 de la figure 12.

L'utilisation d'un système de visualisation 30 peut présenter deux plages de sensibilité différentes selon la densité de puissance du rayonnement électromagnétique à visualiser.

D'autre part, on peut utiliser deux systèmes de visualisation 30 ayant chacun des gammes de sensibilité en longueur d'onde spécifiques.

De façon particulièrement avantageuse, on choisit un pigment thermochrome qui réagit à température ambiante, dont la température de transition T_H , est de préférence située au dessus de la température ambiante, ce qui permet d'enregistrer une trace du rayonnement infrarouge de manière non permanente.

Alternativement, on peut aussi choisir un matériau dont la température ambiante est située à l'intérieur de la boucle d'hystérésis, ce qui permet de garder une trace du rayonnement infrarouge pendant le temps nécessaire à l'observation puis de l'effacer par chauffage ou refroidissement.

De façon préférée, on utilise un pigment thermochrome ayant une plage de transition la plus abrupte possible, c'est-à-dire que la transition de la totalité du pigment thermochrome s'étale sur une plage de transition étroite en température. Avantageusement, on utilise des leuco-dye qui présentent l'avantage d'avoir une boucle d'hystérésis sur une plage de 1.5 à 2°C seulement.

Avantageusement, on choisit un pigment thermochrome ayant une température de transition de couleur de basse température à haute température, telle que cette température de transition est située dans une gamme comprise entre +5 degrés et +20 degrés au dessus de la température ambiante. Ainsi, le pigment thermochrome est peu sensible aux variations ambiantes de quelques degrés de température ambiante et ne commute pas spontanément.

Plus l'écart entre la température d'utilisation du système et la température de transition est grand, plus la densité de puissance nécessaire pour obtenir la commutation du pigment thermochrome est élevée et plus le seuil de sensibilité de la carte de visualisation est élevé.

On peut citer parmi les pigments thermochromes les composés à transition de spin décrits dans les documents de brevet FR2894581 et FR2917410 qui se présentent sous forme de particules micrométriques ou nanométriques. Ces composés présentent une variété de couleurs dans chaque état de spin en fonction de la composition, la concentration, la dimension et la forme des particules.

De façon avantageuse, on peut utiliser comme pigments thermochromes ceux commercialisés par les sociétés Naxagoras Technology, Paint With Pearl, Solar Color Dust ou encore ceux notamment sous forme de capsules thermochromiques de la société française Gem'Innov. Les pigments thermochromes ont l'avantage d'être disponibles sur une large gamme de couleurs apparentes dans le visible.

De plus, les pigments thermochromes sont disponibles dans une très grande variété de couleurs et avec une grande gamme de température de transition, ce qui permet d'adapter la configuration d'un système de visualisation à différentes applications.

Plus précisément, la valeur du seuil de densité de puissance qui permet de commuter la couche thermosensible dépend notamment du coefficient d'absorption infrarouge de l'empilement et du spectre du rayonnement infrarouge.

Dans un troisième mode de réalisation, on utilise une encre thermosensible comprenant un mélange de pigments thermochromes ayant différentes températures de commutation. Par exemple, on mélange un premier pigment thermochrome ayant une température de commutation T_H égale à 30°C avec un deuxième pigment thermochrome ayant une température de commutation T_H égale à 42°C, puis un troisième pigment thermochrome ayant une température de commutation T_H égale à 60°C. On obtient ainsi une couche thermosensible ayant quatre couleurs apparentes indiquant respectivement quatre domaines de température : une première couleur en dessous de 30°C, une deuxième couleur entre 30°C et 42°C, une troisième couleur entre 42°C et 60°C et enfin une quatrième couleur au-dessus de 60°C. La figure 13 illustre un exemple de mélange de trois pigments thermochromes associés à différentes couleurs apparentes en fonction des plages de température. Lorsque la couche thermosensible du mélange de pigments est à une température inférieure à 30°C, sa couleur apparente 45 est bleue. Ensuite, lorsque la même couche thermosensible est à une température comprise entre 30°C et 42°C, sa couleur apparente 46 est bleu clair. Pour une température comprise entre 42°C et 60°C, la couleur apparente 47 de la couche thermosensible devient verte. Enfin, pour une température supérieure à 60°C, la couleur apparente 48 est blanche.

La figure 14 illustre l'exposition d'un système de visualisation selon le troisième mode de réalisation à un rayonnement infrarouge à une longueur d'onde de 10,6 microns de densité de puissance de 10 W/cm². Le système de visualisation comprend un empilement formé d'un substrat, d'une couche intermédiaire et d'une couche thermosensible. La couche thermosensible 4 comporte ici un mélange de différents pigments thermochromes. On observe, au centre de la couche thermosensible 4, une tache sur laquelle on peut distinguer les quatre couleurs : la couleur 48 blanche au centre, où la densité de puissance du rayonnement est la plus élevée, la couleur verte 47 sous forme d'un anneau entourant le centre, la couleur bleu clair 46 entourant l'anneau vert 47, et la couleur bleue 45 sur tout le reste de la surface de la couche thermosensible. Chaque couleur étant associée à un domaine de température. La couleur apparente de la couche thermosensible du mélange de pigments permet ainsi de déterminer la gamme de température. Après calibration, cette gamme de couleur peut être associée, pour une gamme de longueurs d'onde infrarouge déterminée, à différentes gammes de densité de puissance de rayonnement infrarouge.

Une couche thermosensible comportant un tel mélange de différents pigments thermochromes permet ainsi de visualiser la distribution spatiale de la densité de puissance d'un rayonnement électromagnétique.

Toutefois, la conductivité thermique du système peut induire une diffusion thermique dans le système, nuisible à la résolution spatiale du changement de couleur.

Dans une variante, on dépose le mélange de pigments thermochromes sous forme de plots sur un support peu absorbant et ayant une bonne conductivité

thermique. Cette variante permet de visualiser la distribution spatiale d'intensité du rayonnement incident.

De façon avantageuse, le choix des pigments permet de sélectionner différentes gammes de température et différentes couleurs.

Le système de visualisation selon l'un ou l'autre des modes de réalisation de l'invention apporte une réponse simple et efficace au problème de visualisation d'un rayonnement invisible à l'œil nu.

La mise en œuvre d'un tel système de visualisation est extrêmement simple. Cette simplicité d'usage est particulièrement avantageuse par comparaison avec les systèmes électroniques de visualisation de rayonnements infrarouge existants.

On a ainsi fabriqué un dispositif de visualisation de rayonnement infrarouge fonctionnant de préférence entre 1 et 20 microns et avec une largeur spectrale s'étendant sur plusieurs microns. Par exemple, la bande spectrale du dispositif de visualisation s'étend de 1.5 à 5 microns et/ou de 6 à 20 microns.

La durée de l'exposition nécessaire pour permettre de visualiser le rayonnement infrarouge dépend de nombreux paramètres, entre autres du coefficient d'absorption de l'empilement, du type de pigments thermochromes de la couche thermosensible. En pratique, le temps de réponse peut aller de quelques millisecondes à quelques dizaines de secondes.

Les figures 15A-15B représentent une carte de visualisation infrarouge, à température ambiante, respectivement en absence d'exposition à un rayonnement infrarouge, et suite à une exposition à un faisceau infrarouge ayant une longueur d'onde de 2 microns et une densité de puissance de 500 mW/cm². Sur la figure 15A, la couche thermosensible est de couleur uniforme. Sur la figure 15B, la tache 42 plus claire au centre de la couche thermosensible 4, correspond à la zone d'exposition au rayonnement infrarouge.

Le système de visualisation subit une augmentation locale de température induite par absorption du rayonnement infrarouge, qui produit une transition des pigments thermochromes associé à un changement de couleur apparente de la couche thermosensible. En dehors de la zone de diffusion thermique, le reste de la surface de la carte de visualisation n'a pas subi d'augmentation de température suffisante pour induire une transition des pigments thermochromes et changer de couleur. La tache claire s'efface lentement si on bloque le rayonnement infrarouge et la carte reprend sa couleur uniforme.

L'invention permet de visualiser et de localiser un rayonnement dans le domaine des longueurs d'onde infrarouge.

Un exemple de dispositif de visualisation a été testé pour une densité de puissance de l'ordre de 500 mW/cm² avec une source laser émettant en continu aux longueurs d'onde suivantes : 2 microns, 3 microns, et 4 microns, avec un temps d'exposition de quelques secondes en mode réflexion. Le rayonnement non polarisé

émis par cette source est utilisé directement sans précautions particulières. Une même carte de visualisation permet de visualiser le rayonnement infrarouge aux différentes longueurs d'onde indiquées ci-dessus.

Un exemple de dispositif de visualisation fonctionnant en réflexion et en transmission a été testé avec une source laser CO₂ délivrant un rayonnement électromagnétique à la longueur d'onde de 10,6 microns. Pour cette application, on utilise un substrat conducteur thermique, de préférence un matériau céramique, tel que l'alumine (Al₂O₃). En mode réflexion, la carte de visualisation permet de visualiser un faisceau laser CO₂ ayant une densité de puissance de 20 W/cm², avec un temps d'exposition de quelques secondes. En mode transmission, la même carte de visualisation permet de visualiser un faisceau laser CO₂ ayant une densité de puissance de 60 W/cm², avec un temps d'exposition de quelques secondes, sans détérioration du système de visualisation. La taille apparente du spot sur la carte de visualisation dépend de la densité de puissance et du temps d'exposition au faisceau laser. Plus la densité de puissance et/ou le temps d'exposition augmente, plus la taille du spot est large. La taille du spot n'est pas représentative uniquement de la répartition spatiale du faisceau.

L'invention met à profit l'absorption du rayonnement infrarouge par un empilement de différents matériaux, et la conduction thermique de cet empilement vers une couche thermosensible, pour permettre de visualiser un rayonnement infrarouge, dans une gamme spectrale et dans une gamme de densité de puissance allant d'une densité de puissance faible jusqu'à une densité de puissance élevée.

L'invention apporte une réponse simple et efficace à un problème de visualisation d'un rayonnement infrarouge dans un domaine de fréquence invisible à l'œil nu.

L'invention permet de localiser un rayonnement infrarouge d'une source laser ou autre. L'invention permet aussi de caractériser la répartition spatiale d'un faisceau laser d'un rayonnement infrarouge. Par conséquent, l'invention facilite le réglage d'un montage optique infrarouge. L'invention permet d'étendre considérablement le domaine spectral de visualisation sur une large gamme spectrale dans l'infrarouge.

De façon avantageuse, les pigments thermochromes utilisables présentent une large gamme de couleurs de visualisation dans le visible. La mise en œuvre du dispositif et du procédé de visualisation de l'invention est peu onéreuse. De plus, l'invention est peu sensible aux variations de température ambiante ou d'éclairage ambiant.

L'utilisation de différents pigments thermochromes ayant différents seuils de transition en fonction de la densité de puissance du rayonnement infrarouge permet d'obtenir des dispositifs de visualisation ayant une sensibilité différente. Il est ainsi possible d'ajuster la sensibilité du dispositif et procédé de visualisation en fonction de la puissance du rayonnement infrarouge que l'on cherche à visualiser.

REVENDICATIONS

1. Système de visualisation (10, 30) du rayonnement électromagnétique infrarouge émis par une source, le système de visualisation (10, 30) comprenant :

- un substrat (1),
- au moins une couche solide thermosensible (4) comprenant des pigments thermochromes dispersés dans une matrice solide, les pigments thermochromes ayant au moins une température de transition (T_H , T_B), ladite au moins une température de transition (T_H , T_B) étant associée à un changement de couleur apparente desdits pigments thermochromes, et
- au moins une couche intermédiaire (2, 3) disposée entre le substrat et la couche solide thermosensible (4) comprenant des pigments thermochromes, ladite au moins une couche intermédiaire (2, 3) étant thermiquement conductrice,
- dans lequel le substrat (1), ladite au moins une couche intermédiaire (2, 3) et la couche solide thermosensible (4) forment ensemble un empilement adapté pour absorber un rayonnement électromagnétique infrarouge et pour induire une augmentation locale de température dT et dans lequel ladite au moins une couche intermédiaire (2, 3) est adaptée pour transférer par conduction thermique ladite augmentation locale de température dT vers une région de la couche solide thermosensible (4), de manière à induire un changement local de la couleur apparente de la couche solide thermosensible (4) de pigments thermochromes.

2. Système de visualisation (10, 30) selon la revendication 1, dans lequel ledit empilement présente un coefficient d'absorption a dans une gamme de longueur d'onde infrarouge, une densité r et une capacité calorifique C_p , définissant un rapport :

$$\frac{a}{r.C_p}$$

supérieur à une valeur seuil sur ladite gamme de longueur d'onde infrarouge, ledit rapport étant adapté pour induire par absorption locale d'un rayonnement infrarouge incident ayant une longueur d'onde dans ladite gamme de longueur d'onde infrarouge et une densité de puissance I , une augmentation locale de température dT dans ledit empilement telle que :

$$dT \approx \frac{a.I}{r.C_p}$$

lorsque le rayonnement infrarouge incident a une densité de puissance I comprise dans une gamme, de préférence de 1 mW.cm^{-2} à 100 W.cm^{-2} .

3. Système de visualisation (10, 30) selon l'une des revendications 1 à 2, dans lequel le matériau du substrat (1) est choisi parmi du papier, du carton, du plastique, du métal ou une céramique, de préférence de l'alumine.
4. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel ladite au moins une couche intermédiaire (2, 3) comprend une couche de contraste d'indice (3) dans le visible formée d'un matériau ayant un coefficient d'absorption faible dans le domaine spectral du visible, ladite couche de contraste d'indice (3) étant de préférence une couche chargée en dioxyde de titane.
5. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ladite au moins une couche intermédiaire (2, 3) comprend une couche absorbante (2) dans l'infrarouge, ladite couche absorbante (2) dans l'infrarouge ayant un coefficient d'absorption supérieur à 20% dans au moins une partie du domaine de longueur d'onde compris entre 1 et 20 microns, ladite couche absorbante (2) dans l'infrarouge étant de préférence chargée en noir de carbone.
6. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 5, le système de visualisation (10, 30) comprenant une première zone adaptée pour absorber un premier rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance comprise dans une première gamme de densité de puissance, de préférence comprise entre 5 W/cm^2 et environ 100 W/cm^2 , et le système de visualisation étant adapté pour transformer, par conduction thermique, une augmentation de température induite par absorption du premier rayonnement infrarouge en une augmentation locale de température dT_1 supérieure à un seuil de commutation thermochromique dans une première région de la couche de pigments thermochromes, de manière à induire une commutation thermochromique de la couche de pigments thermochromes qui produit un changement de la couleur apparente de la couche solide thermosensible (4) de pigments thermochromes lorsque le premier rayonnement infrarouge a une densité de puissance comprise dans la première gamme de densité de puissance, et le système de visualisation comprenant une deuxième zone adaptée pour absorber un deuxième rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance comprise dans une deuxième gamme de densité de puissance, de préférence comprise entre 1 mW/cm^2 et 5 W/cm^2 , et le

système de visualisation étant adapté pour transformer, par conduction thermique, une augmentation de température induite par absorption du deuxième rayonnement infrarouge dans l'empilement en une augmentation locale de température ΔT_2 supérieure à un seuil de commutation thermochromique sur une deuxième région de la au moins une couche solide thermosensible (4) de pigments thermochromes, de manière à induire une commutation de la au moins une couche de pigments thermochromes qui produit un autre changement de la couleur apparente de la au moins une couche solide thermosensible (4) de pigments thermochromes lorsque le deuxième rayonnement infrarouge a une densité de puissance comprise dans la deuxième gamme de densité de puissance.

7. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la couche solide thermosensible (4) comporte au moins un pigment thermochrome choisi parmi des leuco-colorants.

8. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel la couche solide thermosensible (4) comporte un mélange d'au moins deux pigments thermochromes ayant des seuils de transition en température différents.

9. Système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le substrat (1) a une première face et une deuxième face opposée à la première face, la deuxième face du substrat comprenant au moins une zone d'exposition ayant une surface nue (13) adaptée à recevoir ledit rayonnement électromagnétique infrarouge incident pour un fonctionnement en transmission, et la première face étant adaptée à recevoir ledit rayonnement électromagnétique infrarouge incident pour un fonctionnement en réflexion.

10. Procédé de visualisation du rayonnement électromagnétique infrarouge émis par une source, comprenant :

- l'exposition à un rayonnement infrarouge ayant une densité de puissance supérieure ou égale à un seuil de densité de puissance, d'au moins une zone d'un système de visualisation selon l'une des revendications 1 à 9, de manière à induire par absorption dans l'empilement puis par conduction thermique une augmentation locale de la température dans la couche de pigments thermochromes supérieure à un seuil de transition T_H , adaptée pour induire un changement de couleur apparente d'une région de la couche solide thermosensible (4) de pigments thermochromes.

Fig. 1



Fig. 2

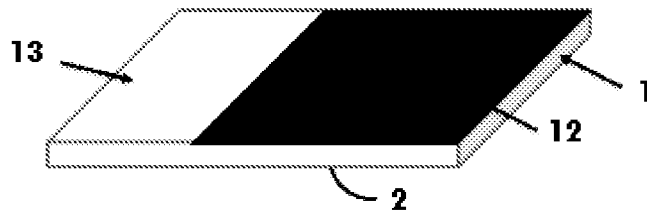


Fig. 3

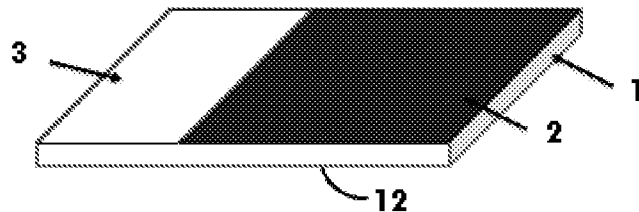


Fig. 4

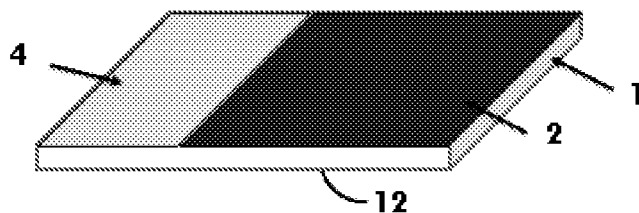


Fig. 5

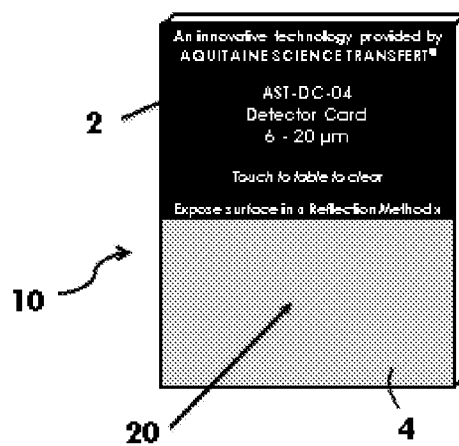


Fig. 6

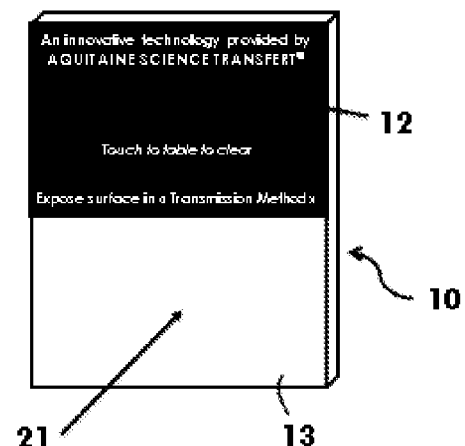


Fig. 7

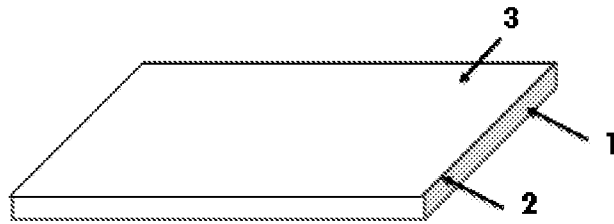


Fig. 8

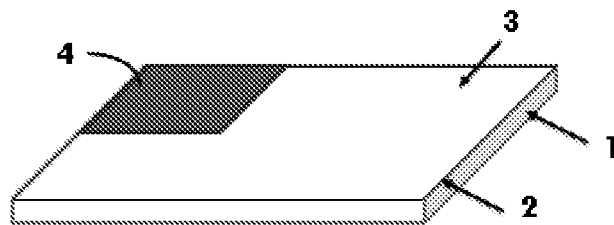


Fig. 9

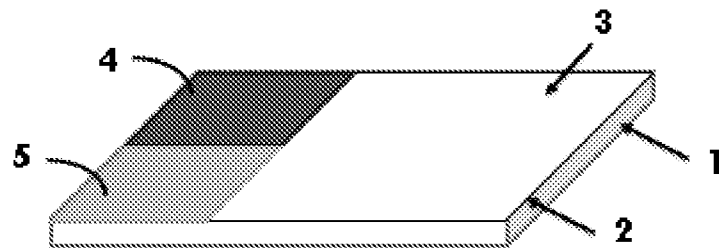


Fig. 10

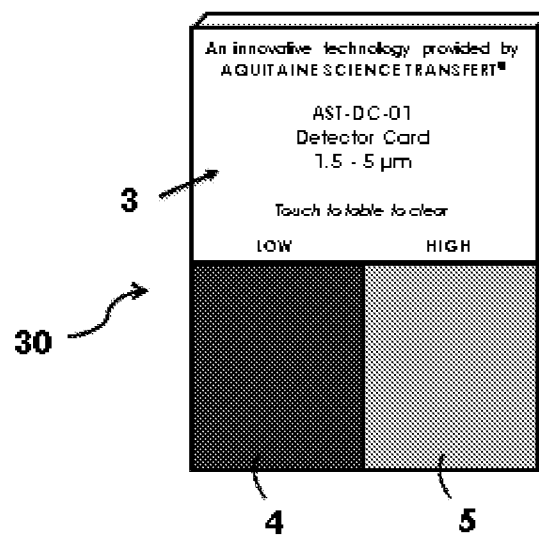


Fig. 11

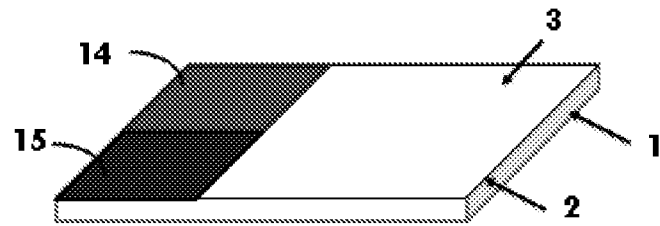


Fig. 12

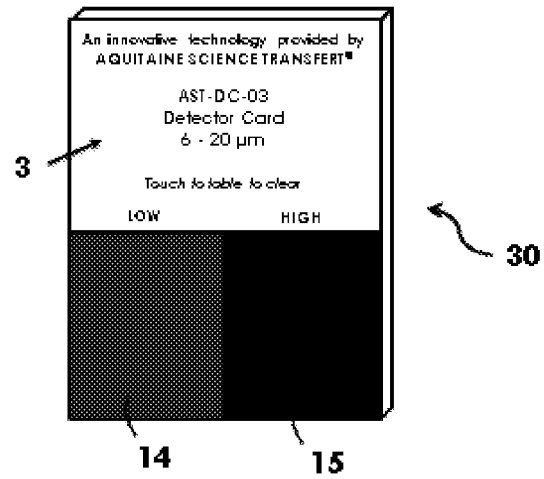


Fig. 13

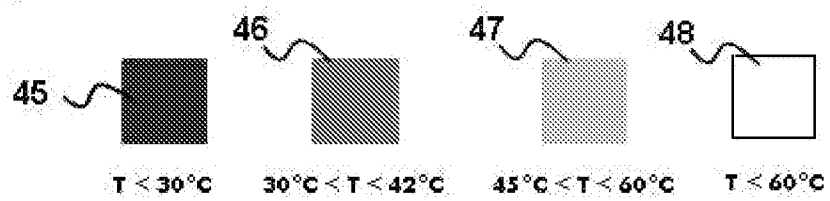
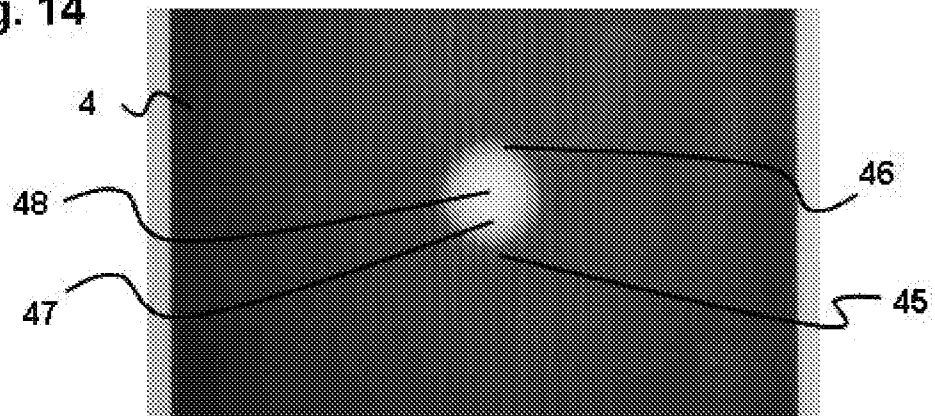
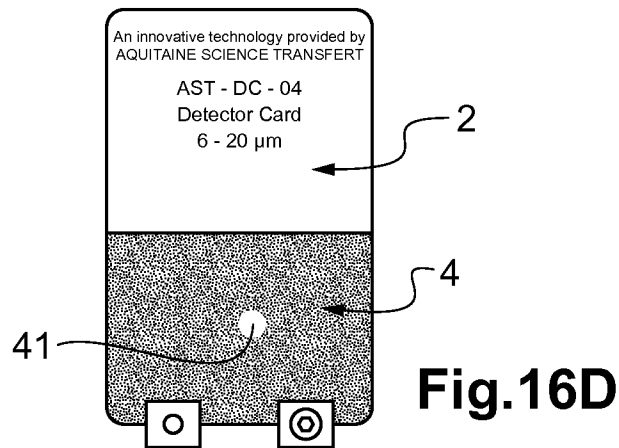
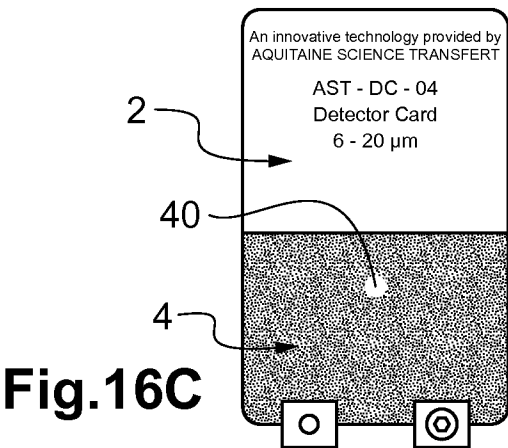
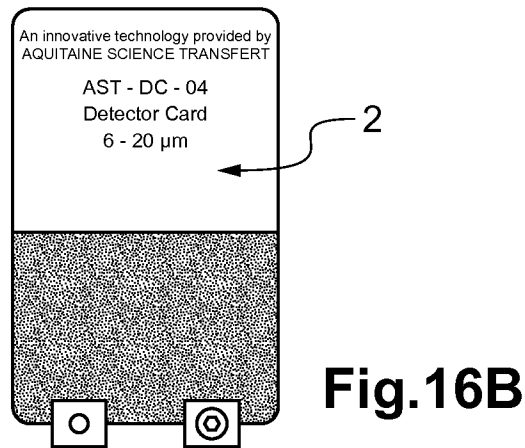
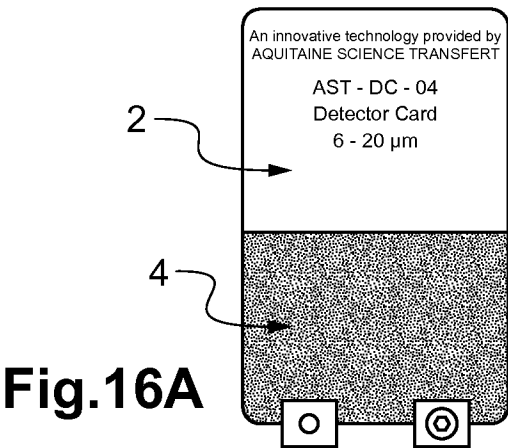
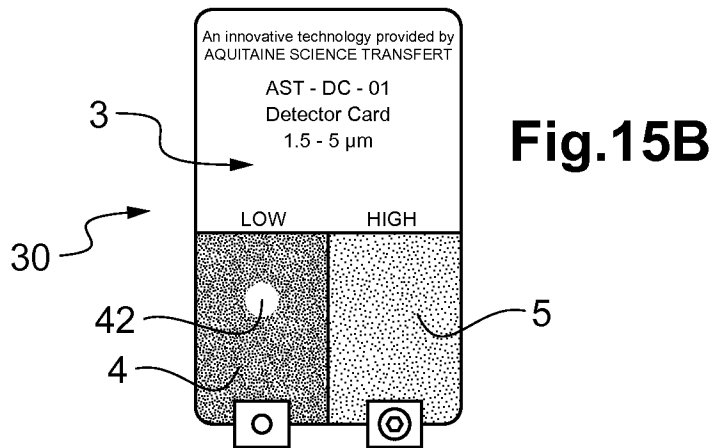
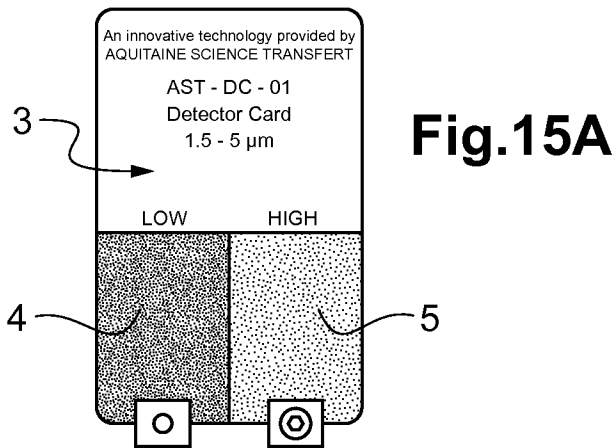


Fig. 14





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2015/050233

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01J1/50
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2014/016525 A1 (UNIV BORDEAUX 1 [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 30 January 2014 (2014-01-30) page 7, line 4 - line 5 page 7, line 18 - line 34 page 9, line 5 - page 10, line 7 figure 3	1-5,8-10
X	GB 2 235 060 A (JUJO PAPER CO LTD [JP]) 20 February 1991 (1991-02-20) page 4, last paragraph - page 6, paragraph 1 page 19, paragraph 1 page 24, paragraph 2	1,6,7,10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2015

Date of mailing of the international search report

22/04/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jacquin, Jérôme

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2015/050233

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2014016525 A1	30-01-2014	FR 2993978 A1 WO 2014016525 A1	31-01-2014 30-01-2014
GB 2235060 A	20-02-1991	DE 4025796 A1 GB 2235060 A JP H0373814 A US 5178990 A	21-02-1991 20-02-1991 28-03-1991 12-01-1993

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050233

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01J1/50 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01J		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	WO 2014/016525 A1 (UNIV BORDEAUX 1 [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 30 janvier 2014 (2014-01-30) page 7, ligne 4 - ligne 5 page 7, ligne 18 - ligne 34 page 9, ligne 5 - page 10, ligne 7 figure 3	1-5,8-10
X	----- GB 2 235 060 A (JUJO PAPER CO LTD [JP]) 20 février 1991 (1991-02-20) page 4, dernier alinéa - page 6, alinéa 1 page 19, alinéa 1 page 24, alinéa 2 -----	1,6,7,10
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités:		
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
14 avril 2015	22/04/2015	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Jacquin, Jérôme

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2015/050233

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2014016525 A1	30-01-2014	FR 2993978 A1	31-01-2014
		WO 2014016525 A1	30-01-2014

GB 2235060 A	20-02-1991	DE 4025796 A1	21-02-1991
		GB 2235060 A	20-02-1991
		JP H0373814 A	28-03-1991
		US 5178990 A	12-01-1993
