

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 132 864**

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

②① N° d'enregistrement national : **22 01458**

⑤① Int Cl⁸ : **B 29 C 70/54** (2024.01), B 29 C 70/48, F 01 D 5/28,
F 01 D 25/24, D 03 D 15/547, G 01 M 11/08, G 01 K 11/320,
B 29 C 70/86

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé de fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique.

②② Date de dépôt : 18.02.22.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 25.08.23 Bulletin 23/34.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 08.11.24 Bulletin 24/45.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *SAFRAN Société anonyme* — FR.

⑦② Inventeur(s) : *COMMARMOT Manon, TOUZE
Adrien et VENAT Romain.*

⑦③ Titulaire(s) : *SAFRAN Société anonyme.*

⑦④ Mandataire(s) : *CABINET BEAU DE LOMENIE.*

FR 3 132 864 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique

Domaine technique

[0001] L'invention concerne la fabrication d'une pièce en matériau composite à matrice organique instrumentée qui permet le suivi d'un ou plusieurs paramètres physiques.

Technique antérieure

[0002] Le contrôle de santé des structures (« Structural Health Monitoring » ; « SHM ») a pour objectif de maintenir et de prolonger la durée de vie des pièces structurales, de détecter et prédire leurs défaillances.

[0003] Il est souhaitable de disposer de nouvelles solutions d'instrumentation fiables afin de mesurer en fonctionnement ou sur banc d'essai différentes grandeurs physiques comme la déformation, la température ou l'accélération subie. Une telle instrumentation permettrait, lors d'un évènement imprévu, de pouvoir statuer précisément sur l'état de santé de la pièce en conséquence, par exemple d'éviter de changer la pièce à cause d'un diagnostic imprécis (gain de coût et de temps) et d'éviter une éventuelle faille de sécurité à cause d'une anomalie non détectée.

Exposé de l'invention

[0004] L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique, comprenant au moins :

- l'introduction d'une résine destinée à former la matrice organique dans une porosité d'une préforme fibreuse de la pièce à obtenir présente dans un moule, au moins une fibre optique formant élément de détection utile pour le suivi d'au moins un paramètre physique étant fixée à la préforme fibreuse et présentant au moins une extrémité d'interrogation isolée de la résine introduite.

[0005] L'invention propose la fabrication d'une pièce instrumentée dont l'état de santé peut être contrôlé de manière fiable pendant une période de service ou lors d'un essai sur banc. L'instrumentation du renfort fibreux est réalisée avant la fermeture du moule et avant l'introduction de la résine et présente l'avantage de ne pas affecter les propriétés textiles du renfort afin de ne pas affecter la tenue mécanique de la pièce. L'extrémité d'interrogation de la fibre optique, destinée à être connectée à une unité de contrôle pour le suivi du paramètre physique, est isolée de la résine afin de garantir son accessibilité.

[0006] Dans un exemple de réalisation, l'extrémité d'interrogation est présente dans un volume étanche recouvert d'un matériau anti-adhérent vis-à-vis de la résine introduite.

[0007] Une telle caractéristique permet avantageusement de réduire tout risque d'une solida-

risation de la résine à l'extrémité d'interrogation de la fibre optique.

- [0008] En particulier, le volume étanche peut être présent dans une zone obtenue par enlèvement de matière de la préforme.
- [0009] Dans un exemple de réalisation, la préforme est formée d'au moins une texture fibreuse et ladite au moins une fibre optique est maintenue entre un ou plusieurs fils de ladite texture fibreuse, écartés de celle-ci, et le reste de ladite texture.
- [0010] Une telle caractéristique permet avantageusement de s'affranchir de la présence d'un élément d'adhésion tiers pour fixer la ou les fibres optiques, permettant ainsi d'éviter tout risque de non-conformité matière une fois la pièce en matériau composite obtenue.
- [0011] Dans un exemple de réalisation, la préforme fibreuse est formée de fils de carbone ou de verre.
- [0012] Dans un exemple de réalisation, ladite au moins une fibre optique comprend un cœur présentant au moins un filtre optique à réseau de Bragg.
- [0013] L'emploi d'un filtre optique à réseau de Bragg permet de donner un état particulièrement précis de la santé matière de la pièce.
- [0014] Dans un exemple de réalisation, la pièce en matériau composite est une pièce d'aéronef, comme une aube ou un carter de soufflante ou un panneau, tel qu'un panneau de caractérisation mécanique.
- [0015] L'invention vise également un procédé de suivi d'un paramètre physique, comprenant au moins :
- la fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique par mise en œuvre d'un procédé tel que décrit plus haut, et
 - la détection d'une éventuelle modification du signal optique conduit par la fibre optique à l'aide d'une unité de contrôle reliée à l'extrémité d'interrogation, et la détermination d'une information relative au paramètre physique à partir de la détection réalisée.
- [0016] Dans un exemple de réalisation, le paramètre physique peut être choisi parmi l'un au moins de : la déformation de la pièce en matériau composite, l'application de contraintes mécaniques dans cette pièce, la température imposée à cette pièce ou l'accélération subie par cette pièce. Le paramètre physique détecté peut être relatif au renfort ou à la matrice.

Brève description des dessins

- [0017] [Fig.1] La [Fig.1] représente, de manière schématique et partielle, une préforme fibreuse instrumentée présente dans un moule d'injection dans le cadre d'un exemple de procédé selon l'invention.
- [0018] [Fig.2A-2B] Les figures 2A-2B représentent, de manière schématique et partielle, une possibilité pour fixer la fibre optique en surface d'une texture fibreuse.

- [0019] [Fig.3] La [Fig.3] représente, de manière schématique, une variante de fixation de la fibre optique.
- [0020] [Fig.4] La [Fig.4] représente un détail d'une fibre optique utilisable dans le cadre de l'invention.
- [0021] [Fig.5A-5C] Les figures 5A-5C sont des graphiques intensité-longueur d'onde relatifs respectivement à une onde incidente en entrée d'une fibre optique utilisable dans le cadre de l'invention, à l'onde transmise en sortie de cette fibre optique et à l'onde réfléchie en entrée de cette fibre optique.
- [0022] [Fig.6A-6B] Les figures 6A-6B illustrent, de manière schématique, le décalage de la longueur d'onde réfléchie en entrée d'une fibre optique utilisable dans le cadre de l'invention suite à des déformations de cette fibre.

Description des modes de réalisation

- [0023] La [Fig.1] représente un moule 1 d'injection comprenant une préforme fibreuse 3 ici formée d'une pluralité de textures fibreuses 3a superposées. Les textures fibreuses 3a peuvent chacune être obtenue par tissage tridimensionnel d'une manière connue en soi. La préforme 3 est destinée à former le renfort fibreux d'une pièce en matériau composite à matrice organique. Les textures 3a peuvent être formées de fils de carbone ou de verre. La préforme 3 est instrumentée en présentant sur une surface des textures 3a une ou plusieurs fibres optiques 5 formant un élément de détection permettant le suivi d'un paramètre physique comme il sera détaillé plus bas. Dans l'exemple illustré, une ou plusieurs fibres optiques 5 peuvent être présentes entre deux textures fibreuses 3a consécutives superposées. De la résine est introduite au travers d'orifices d'injection 2a (flèche I) de sorte à densifier la préforme fibreuse 3 et obtenir une pièce en matériau composite à matrice organique après une réticulation dans le cas d'une résine therm durcissable ou refroidissement dans le cas d'une résine thermoplastique. On peut réaliser, en parallèle, une aspiration au travers de l'orifice 2b (flèche A) de sorte à faciliter l'introduction du matériau de matrice. L'introduction de la résine fait appel à des techniques connues en soi, typiquement à une technique de moulage par transfert de résine (« Resin Transfer Molding » ; « RTM »). Les fibres optiques 5 comprennent chacune deux extrémités d'interrogation 5a qui sont ici isolées de la résine en étant placées dans un sachet 7. Le sachet 7 peut être en un matériau plastique et peut être scellé à une de ses extrémités par exemple par un ruban adhésif 8. Le sachet 7 ainsi scellé forme un volume étanche empêchant la pénétration de résine de sorte à protéger les extrémités 5a. On peut ainsi superposer plusieurs sachets 7 contenant des extrémités d'interrogation 5a et l'ensemble des sachets 7 peut être intercalé entre des couches 10 de matériau anti-adhérent vis-à-vis de la résine introduite, comme du silicone. L'exemple montre une isolation des deux extrémités 5a de chaque fibre

optique 5 mais, si la fibre optique est destinée à être utilisée en réflexion, il est possible de n'isoler qu'une seule des deux extrémités qui constituera alors l'extrémité d'interrogation où sera connectée l'unité de contrôle.

[0024] Plusieurs méthodes sont possibles pour fixer une fibre optique 5 à une texture fibreuse 3a. Selon un exemple, la fibre optique 5 peut être fixée à une texture non séchée pour laquelle un ou plusieurs fils de surface ont été écartés du reste de la texture selon la direction D de sorte à définir un logement dans lequel la fibre optique 5 est introduite. Cette possibilité est illustrée aux figures 2A-2B. La texture 3a est obtenue par tissage de premiers 13a et deuxièmes 13b fils. Le premier fil 13a présent en surface S de la texture 3a est écarté du reste de la texture le long de la direction D de sorte à définir un logement 13c entre lui et le reste de la texture. Cet écartement peut par exemple être réalisé à l'aide d'un outil pointu. La fibre optique 5 est alors glissée dans ce logement 13c et le premier fil 13a écarté est relâché pour venir en appui sur la fibre 5 et la maintenir à la surface S. Plusieurs points de maintien de ce type peuvent être réalisés pour une même fibre optique. Une autre possibilité est d'utiliser un adhésif pour fixer les fibres optiques 5 à la texture 3a comme illustré à la [Fig.3] où plusieurs morceaux 6 de ruban adhésif ont permis de former plusieurs points de maintien pour la fibre optique (non représentée à la [Fig.3]). On note également que, dans l'exemple de la [Fig.3], les sachets 7 contenant les extrémités 5a des fibres sont présents dans une zone 11 ménagée par découpe des textures 3a. Quelle que soit la méthode de fixation employée, on veillera à ce que la ou les fibres optiques 5 s'étendent selon un chemin prédéterminé qui peut être linéaire ou sinueux selon le besoin. Les exemples décrits concernent le cas où des fibres optiques 5 sont présentes entre plusieurs textures 3a superposées formant la préforme 3 mais on ne sort pas du cadre de l'invention si la préforme est réalisée en une seule pièce, par exemple en une seule pièce de tissu tridimensionnel. Dans ce cas, les fibres optiques 5 peuvent être fixées sur une surface de ce tissu ou dans une zone de déliaison selon le besoin.

[0025] Une fois la résine introduite et durcie, on obtient une pièce en matériau composite à matrice organique, par exemple en résine époxy. La pièce peut être une pièce d'aéronef, comme un panneau, une pièce de soufflante comme une aube de soufflante ou un carter de soufflante. On ne sort pas non plus du cadre de l'invention si la pièce n'est pas destinée à une application aéronautique. Une fois la pièce obtenue, les sachets 7 sont découpés précautionneusement pour pouvoir extraire les extrémités 5a des fibres optiques 5 et la pièce est extraite du moule 1.

[0026] Les exemples qui viennent d'être décrits, en lien avec les figures 1 à 3, illustrent un procédé selon l'invention et détaillent diverses solutions d'instrumentation de la préforme. La partie qui suit concerne un exemple de structure interne de fibre optique utilisable dans le cadre de l'invention, ainsi que son application pour le suivi de pa-

ramètres physiques.

[0027] La [Fig.4] illustre une structure de fibre optique 5 utilisable dans le cadre de l'invention. Elle comprend un cœur 50 permettant la transmission d'un signal optique entouré par une gaine 54 qui participe au confinement du signal optique dans le cœur 50. La gaine 54 et le cœur 50 sont entourés par un revêtement protecteur 56, par exemple en matériau polymérique. Dans l'exemple illustré, le cœur 50 comprend au moins un filtre optique 52 à réseau de Bragg (« Fiber Bragg Grating » dans la littérature anglosaxonne), ou plusieurs de ces filtres positionnés les uns à la suite des autres le long du cœur 50. Le filtre optique 52 à réseau de Bragg correspond à une structure connue en soi dans laquelle il y a une variation périodique de l'indice de réfraction avec un pas p qui permet de refléter une longueur d'onde précise, comme cela va être détaillé dans la suite.

[0028] Les figures 5A-5C montrent l'effet du filtre optique 52 à réseau de Bragg sur une onde lumineuse incidente ayant une répartition de l'intensité lumineuse IE en fonction de la longueur d'onde en entrée de fibre optique telle qu'illustrée en 5A. 5B montre l'intensité lumineuse transmise IT en fonction de la longueur d'onde au travers du filtre optique 52 et 5C montre l'intensité lumineuse réfléchie IR par le filtre optique 52. Le filtre optique 52 permet de refléter la lumière à la longueur d'onde λ_B donc de filtrer cette longueur d'onde avec une certaine précision comme illustré en 5C (λ_B est la longueur d'onde de référence filtrée par la fibre optique). La longueur d'onde réfléchie par le filtre optique 52 est donnée par la formule ci-dessous et est fournie par le fabricant de la fibre optique :

[0029] [Math.1]

$$\lambda_B = 2 * n * p$$

[0030] dans cette formule n l'indice de réfraction effectif et p le pas du filtre.

[0031] Une traction ou une compression de la fibre optique aboutit à un changement du pas p du filtre et, par conséquent, de la longueur d'onde réfléchie. On a une relation linéaire entre la variation de longueur d'onde et la variation de la longueur du filtre 52 (soit la déformation) comme indiqué dans la formule ci-dessous. L'analyse de la variation de λ_B permet d'en déduire la déformation.

[0032] [Math.2]

$$\frac{\Delta \lambda}{\lambda_B} = k * \frac{\Delta L}{L_0} = k * \varepsilon$$

[0033] L_0 désignant la longueur du filtre 52 permettant la filtration de la longueur d'onde λ_B

et le facteur k correspondant au facteur de fibre fourni par le fabricant de la fibre.

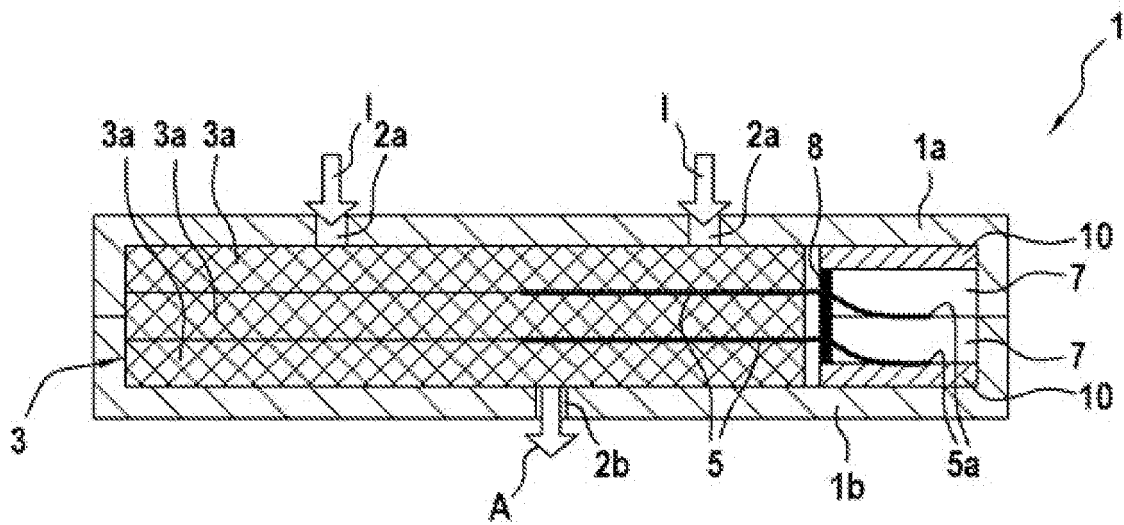
- [0034] Comme représenté en 6A, l'application d'une contrainte de traction sur la fibre aboutit à un décalage vers les longueurs d'onde supérieures de la longueur d'onde réfléchie. L'application d'une contrainte de compression aboutit à l'inverse à une diminution de la longueur d'onde réfléchie (6B). On peut réfracter le reste de la lumière en fin de fibre optique afin qu'elle n'interfère pas avec la mesure et l'on en déduit alors, à partir du décalage de longueur d'onde du signal optique réfléchi par la fibre optique, la déformation de celle-ci qui permet, si cela est souhaité, de remonter à la contrainte au niveau du filtre 52. Selon un exemple, on peut disposer en série plusieurs filtres optiques 52 à réseau de Bragg avec des pas différents afin de distinguer les signaux réfléchis par les différents filtres. On peut ainsi localiser l'application de la contrainte ou de la déformation le long de la fibre. On peut également utiliser les filtres optiques pour constituer des capteurs de pression ou d'accélération. On peut également mesurer la température appliquée à la pièce du fait d'un changement de l'indice de réfraction de la fibre optique aboutissant à une modification de la propagation du signal optique, aboutissant également dans le cas de l'emploi d'un filtre à réseau de Bragg à une modification de la longueur d'onde réfléchie.
- [0035] L'extrémité d'interrogation de la fibre optique est reliée à une unité de contrôle afin de pouvoir suivre un ou plusieurs paramètres physiques d'intérêt. L'unité de contrôle peut comprendre une source de lumière, comme un laser, permettant d'envoyer de la lumière dans la fibre optique ainsi qu'un analyseur permettant d'analyser le signal optique réfléchi, et notamment de déterminer sa longueur d'onde pour la comparer à la longueur d'onde de référence filtrée par la fibre optique. On peut monter l'unité de contrôle avec la pièce, ou en variante la connecter uniquement pour réaliser le contrôle et le déconnecter une fois le contrôle terminé. L'unité de contrôle peut comprendre un dispositif de stockage de données permettant de stocker une information relative au signal optique traversant les fibres optiques pour analyse en continu ou ultérieure.
- [0036] Les fibres optiques mises en œuvre dans le cadre de l'invention qui viennent d'être décrites présentent un réseau de Bragg. On notera que l'invention n'est pas limitée à ce cas dans la mesure où il est possible d'analyser le signal optique transmis par des fibres dépourvues de réseau de Bragg afin de suivre le paramètre physique d'intérêt. On peut par exemple analyser le signal optique en amplitude et/ou le spectrogramme de l'onde. Une analyse en transmission est également possible si les fibres optiques comprennent un réseau de Bragg. Une détection du signal optique réfléchi reste néanmoins préférable afin de ne pas multiplier les points de connexion de l'unité de contrôle.

Revendications

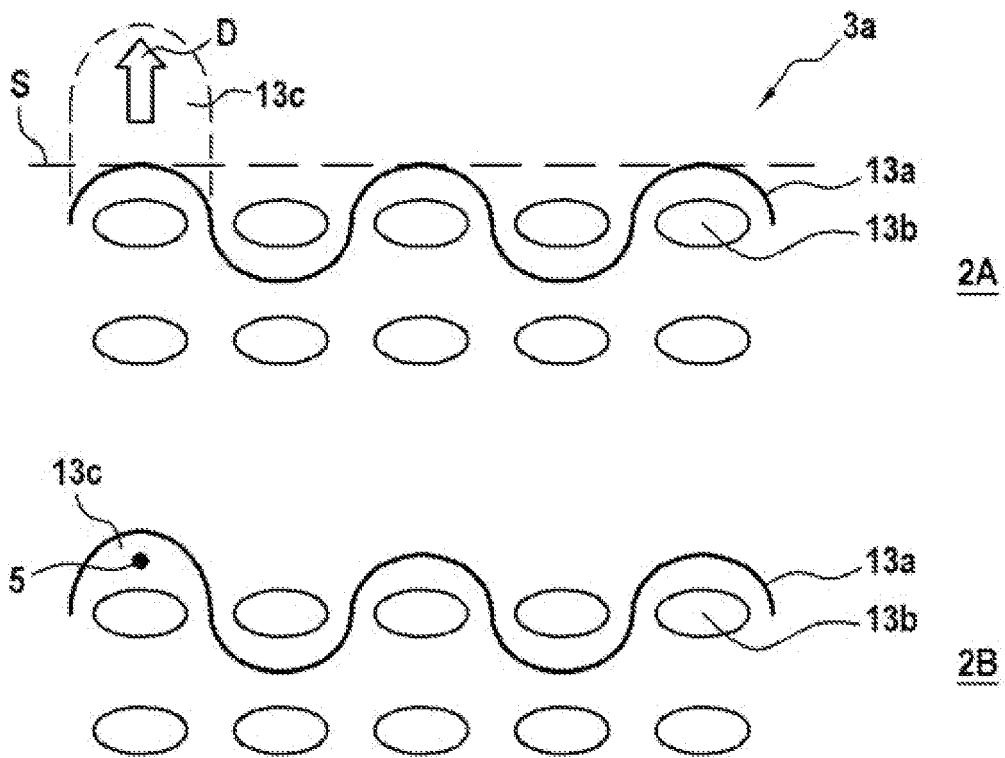
- [Revendication 1] Procédé de fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique, comprenant au moins :
- l'introduction (I) d'une résine destinée à former la matrice organique dans une porosité d'une préforme fibreuse (3) de la pièce à obtenir présente dans un moule (1), au moins une fibre optique (5) formant élément de détection utile pour le suivi d'au moins un paramètre physique étant fixée à la préforme fibreuse et présentant au moins une extrémité d'interrogation (5a) isolée de la résine introduite, la préforme étant formée d'au moins une texture fibreuse (3a) et ladite au moins une fibre optique étant maintenue entre un ou plusieurs fils (13a) de ladite texture fibreuse, écartés de celle-ci, et le reste de ladite texture.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel l'extrémité d'interrogation (5a) est présente dans un volume étanche (7) recouvert d'un matériau (10) anti-adhérent vis-à-vis de la résine introduite.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 2, dans lequel le volume étanche (7) est présent dans une zone (11) obtenue par enlèvement de matière de la préforme (3).
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la préforme fibreuse (3) est formée de fils de carbone ou de verre.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ladite au moins une fibre optique (5) comprend un cœur (50) présentant au moins un filtre optique (52) à réseau de Bragg.
- [Revendication 6] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la pièce en matériau composite est une pièce d'aéronef.
- [Revendication 7] Procédé de suivi d'un paramètre physique, comprenant au moins :
- la fabrication d'une pièce instrumentée en matériau composite à matrice organique par mise en œuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, et
 - la détection d'une éventuelle modification du signal optique conduit par la fibre optique à l'aide d'une unité de contrôle reliée à l'extrémité d'interrogation, et la détermination d'une information relative au paramètre physique à partir de la détection réalisée.
- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, dans lequel le paramètre physique peut être choisi parmi l'un au moins de : la déformation de la pièce en matériau composite, l'application de contraintes mécaniques dans cette pièce, la température imposée à cette pièce ou l'accélération subie par

cette pièce.

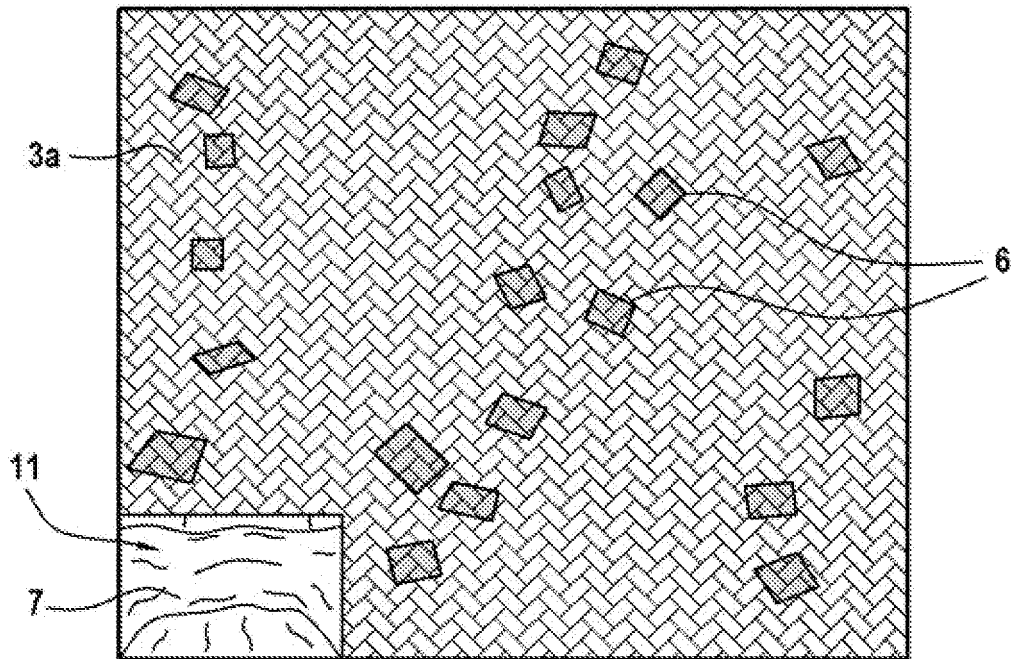
[Fig. 1]



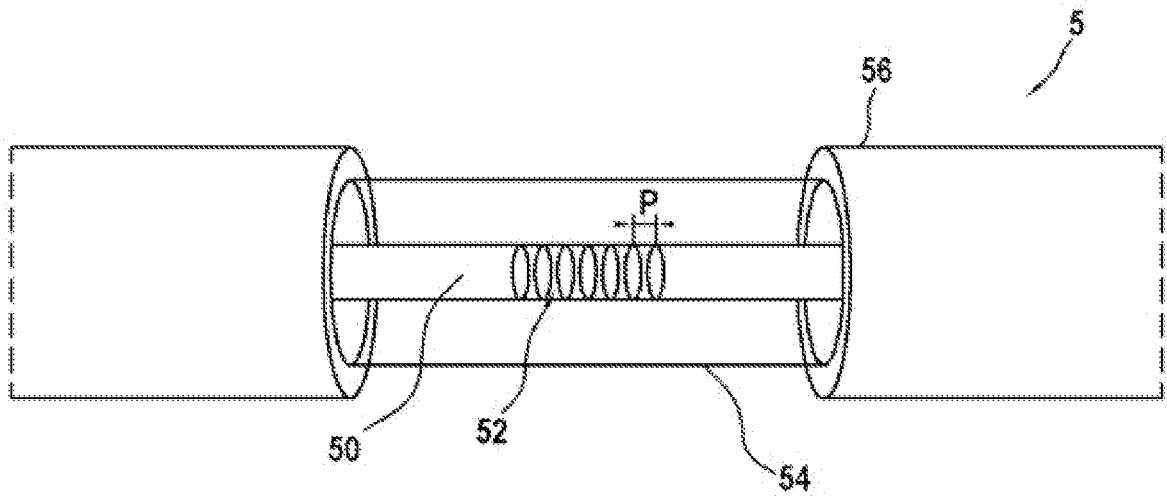
[Fig. 2A-2B]



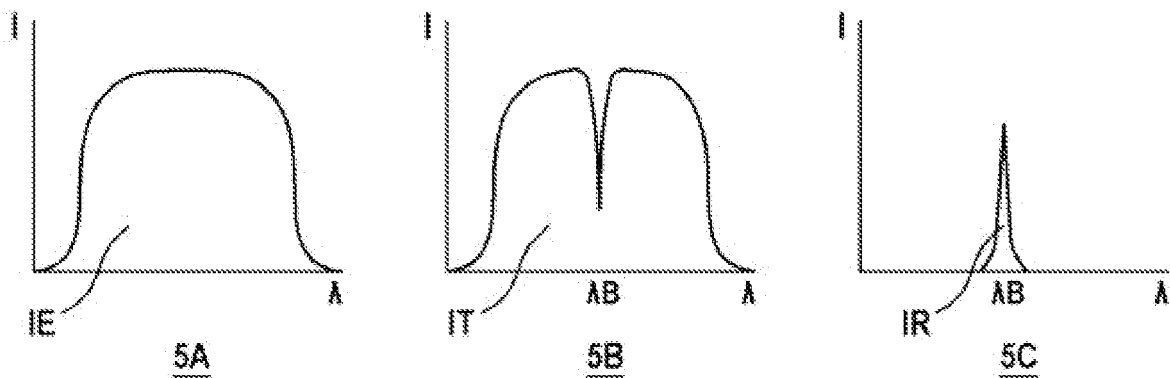
[Fig. 3]



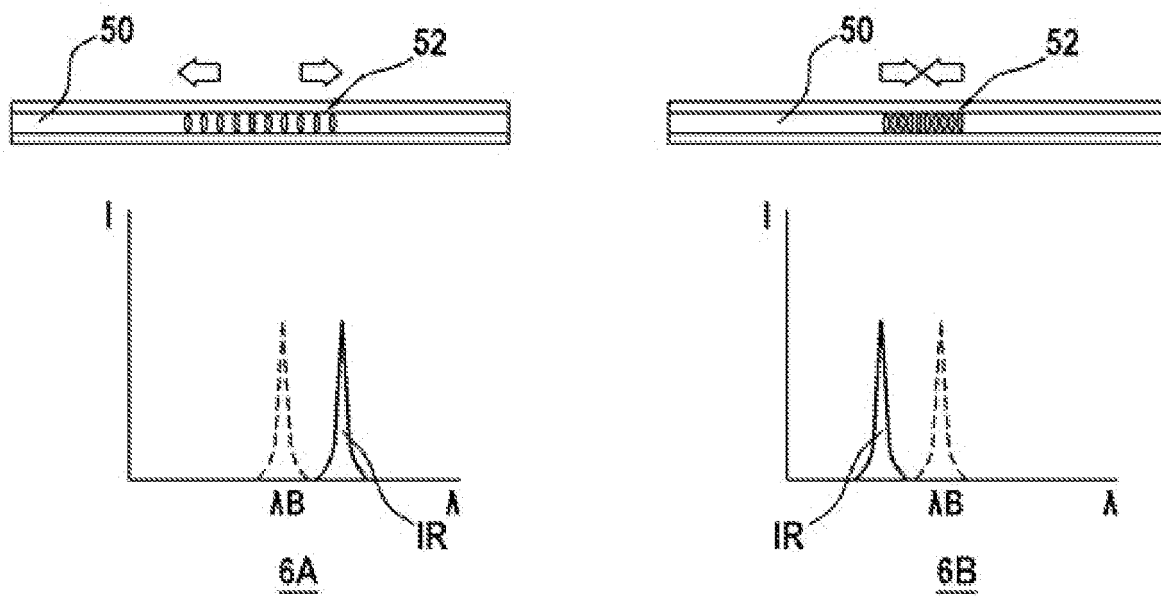
[Fig. 4]



[Fig. 5A-5C]



[Fig. 6A-6B]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

NEANT

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

US 4 888 076 A (MARTIN DAVID A [US])
19 décembre 1989 (1989-12-19)

WO 97/19325 A1 (UNITED TECHNOLOGIES CORP
[US]) 29 mai 1997 (1997-05-29)

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT