



(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT APPLICATION**

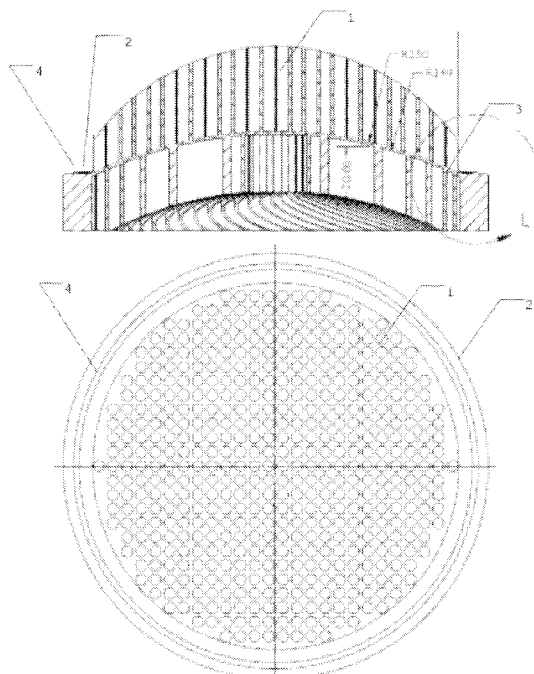
(13) **A1**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2020/05/26
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2020/12/17
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2021/12/07
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2020/050882
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2020/249885
(30) Priorité/Priority: 2019/06/13 (FR1906299)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F24S 20/20* (2018.01),
F24S 70/10 (2018.01), *F24S 70/16* (2018.01),
F24S 70/20 (2018.01), *F24S 70/60* (2018.01)
(71) Demandeur/Applicant:
NEWS, FR
(72) Inventeur/Inventor:
PARE, SYLVAIN, FR
(74) Agent: GOWLING WLG (CANADA) LLP

(54) Titre : ABSORBEUR HYBRIDE DE RAYONNEMENTS POUR CENTRALE SOLAIRE, ET PROCEDE DE PREPARATION D'UN TEL ABSORBEUR
(54) Title: HYBRID RADIATION ABSORBER FOR SOLAR POWER PLANT, AND METHOD FOR PREPARING SUCH AN ABSORBER

Fig.1



(57) **Abrégé/Abstract:**

La présente invention concerne un absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration caractérisé en ce qu'il est formé d'une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est par exemple revêtue de dendrites de tungstène, notamment pour la réalisation d'un capteur ou d'un système pour centrale solaire, ainsi qu'un procédé de préparation d'un tel absorbeur.

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(10) Numéro de publication internationale

WO 2020/249885 A1

(43) Date de la publication internationale
17 décembre 2020 (17.12.2020)

WIPO | PCT

(51) Classification internationale des brevets :

<i>F24S 20/20</i> (2018.01)	<i>F24S 70/16</i> (2018.01)
<i>F24S 20/40</i> (2018.01)	<i>F24S 70/20</i> (2018.01)
<i>F24S 70/10</i> (2018.01)	<i>F24S 70/60</i> (2018.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2020/050882

(22) Date de dépôt international :

26 mai 2020 (26.05.2020)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1906299 13 juin 2019 (13.06.2019) FR

(71) Déposant : NEWS [FR/FR] ; 10 A rue pente Nicole, 97421 LA RIVIERE SAINT LOUIS (FR).

(72) Inventeur : PARE, Sylvain ; 24 A chemin de la pompe, 97421 LA RIVIERE SAINT LOUIS (FR).

(74) Mandataire : BREESE, Pierre ; IP TRUST, 2 rue de Cllichy, 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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).

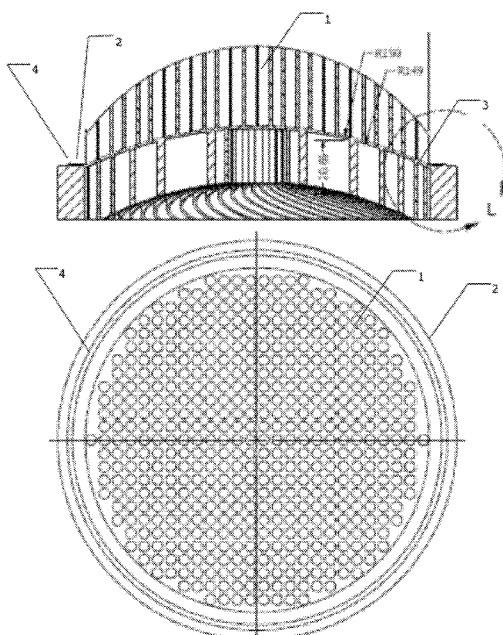
Publiée:

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

(54) Title: HYBRID RADIATION ABSORBER FOR SOLAR POWER PLANT, AND METHOD FOR PREPARING SUCH AN ABSORBER

(54) Titre : ABSORBEUR HYBRIDE DE RAYONNEMENTS POUR CENTRALE SOLAIRE, ET PROCÉDE DE PREPARATION D'UN TEL ABSORBEUR

Fig. 1



(57) Abstract: The present invention relates to a solar radiation absorber for a concentrated solar thermal power plant, the absorber being characterised in that it is formed from a monolithic piece of silicon carbide, the absorption surface of which is, for example, coated with tungsten dendrites, in particular for the production of a collector or a system for a solar power plant. The invention also relates to a method for preparing such an absorber.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration caractérisé en ce qu'il est formé d'une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est par exemple revêtue de dendrites de tungstène, notamment pour la réalisation d'un capteur ou d'un système pour centrale solaire, ainsi qu'un procédé de préparation d'un tel absorbeur.

WO 2020/249885 A1

ABSORBEUR HYBRIDE DE RAYONNEMENTS POUR CENTRALE SOLAIRE, ET
PROCÉDE DE PRÉPARATION D'UN TEL ABSORBEUR

Domaine de l'invention

5

La présente invention concerne le domaine des absorbeurs d'énergie, dont les caractéristiques se rapprochent du comportement d'un corps noir.

Le corps noir est un objet idéal qui absorberait parfaitement
10 toute l'énergie électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ni en transmettre. Sous l'effet de l'agitation thermique, le corps noir émet un rayonnement électromagnétique. À l'équilibre thermique, émission et absorption s'équilibrent et le rayonnement effectivement émis ne dépend que de la température
15 (rayonnement thermique).

Applications types non limitatives : Fluide gazeux : moteur à combustion externe type Stirling/Ericsson, turbine à air chaud (turbo alternateurs), process industriels, cuisson, etc... le
20 fluide liquide peut être de l'eau que l'on souhaite chauffer, un liquide à stériliser, une production de vapeur pour alimenter un turbo alternateur standard, un ECS (eau chaude sanitaire/chauffage), fluides divers,...

L'invention concerne plus particulièrement le domaine des
25 absorbeurs destinés à la production d'énergie à partir du rayonnement solaire par des centrales thermo-solaires complétés par une flamme idéalement hho ou renouvelable

Les procédés thermo-solaires ont de meilleurs rendements que les procédés photovoltaïques, de l'ordre de 30%, en revanche ils
30 sont plus encombrants et adaptés pour une production importante d'électricité.

De nouveaux dispositifs couplant un moteur Stirling avec un concentrateur, sont actuellement développés pour produire du courant électrique. Toutefois le rendement thermodynamique est
35 lié corrélativement à la température d'entrée qui nécessite

d'être alors suffisamment élevée pour la meilleure efficacité. Les dispositifs existants sont limités à 650/800°C et ne peuvent donc dépasser les 40% de rendement. L'invention permet d'atteindre 1200°C et donc d'atteindre et dépasser 60% de rendement net.

5 D'autre part l'absorbeur selon l'invention permet l'hybridation de différentes sources de chaleur, par exemple solaire et « solar fuel » = hho (ou biogaz, dérivés du pétrole, ...), permettant ainsi un fonctionnement continu et à pleine puissance d'une
10 installation malgré les variations ou absences du flux solaires.

Etat de la technique

Il existe différentes techniques pour concentrer les rayonnements solaires, pour transporter et éventuellement
15 stocker la chaleur et pour convertir la chaleur en électricité. Dans tous les cas, un des éléments essentiels d'une centrale solaire thermique à concentration est l'élément absorbeur de rayonnements solaires qui forme une partie du récepteur. Afin de maximiser le rendement de l'absorbeur, celui-ci comporte en
20 général un revêtement, appelé revêtement sélectif ou traitement sélectif. Le revêtement sélectif est destiné à permettre une absorption maximale de l'énergie solaire incidente tout en réémettant le moins possible de rayonnements infrarouges (principe du corps noir). En particulier, un tel revêtement
25 sélectif est considéré comme parfait s'il absorbe toutes les longueurs d'ondes inférieures à une longueur d'onde de coupure et réfléchit toutes les longueurs d'ondes supérieures à cette même longueur d'onde de coupure. La longueur d'onde de coupure optimale dépend de la température de fonctionnement de
30 l'élément absorbeur considéré et elle est en général comprise entre 1,5µm et 2,5µm. Elle est, par exemple, d'environ 1,8 µm pour une température de l'ordre de 650 K.

La demande de brevet US2015033740 décrit un récepteur solaire comprenant :

- une chambre à fluide à basse pression configurée pour fonctionner à des pressions allant jusqu'à 2 atmosphères, et comprenant une entrée de fluide, une sortie de fluide et une ouverture pour recevoir le rayonnement solaire concentré;
- un absorbeur solaire logé dans la chambre de fluide basse pression; et
- une pluralité d'objets transparents qui définissent une paroi segmentée de la chambre à fluide basse pression;
- dans lequel le rayonnement solaire concentré reçu à travers l'ouverture passe à travers la paroi segmentée et entre des objets transparents pour passer dans la chambre de fluide à basse pression et frappe l'absorbeur solaire.

La demande de brevet US4047517 décrit un récepteur d'énergie rayonnante comprenant une pluralité de structures à aubes allongées agencées dans une configuration convergente d'une partie extérieure de celle-ci à une partie intérieure de gorge de celle-ci, les surfaces extérieures aux surfaces intermédiaires des aubes étant au moins en partie une surface réfléchissante et les surfaces intermédiaires aux surfaces intérieures des aubes étant au moins en partie d'une surface sélective qui absorbe l'énergie rayonnante frappant la surface sélective à un petit angle d'incidence, mais reflète une telle énergie frappant à un angle d'incidence plus grand, l'énergie rayonnante frappant les parties extérieures de l'aube étant réfléchi vers la gorge convergente des aubes et l'énergie rayonnante dans la partie intérieure frappant la surface sélective à un angle d'incidence relativement faible, comme l'indiquerait une inversion naissante ou réelle de la direction de déplacement de l'énergie rayonnante par rapport aux aubes est absorbée tandis que celle frappant la surface sélective à un angle d'incidence relativement grand est réfléchi dans la gorge des aubes pour générer une température élevée adjacente à la gorge des aubes.

Inconvénients de l'art antérieur

Les performances des solutions de l'état de la technique sont limitées par les capacités de conversion énergétique de l'absorbeur, ce qui conduit à des rendements limités. D'autre
5 part les absorbeurs connus sont exposés à l'air libre générant une déperdition thermique importante. Les absorbeurs connus présentent une surface de captation lisse peu absorbante et fortement émissive. Les matériaux des absorbeurs connus ne permettent pas une utilisation dans les hautes températures et
10 ne peuvent supporter de trop fortes pressions ou contraintes.

Solution apportée par l'invention

Afin de remédier à ces inconvénients, l'invention concerne selon son acception la plus générale un absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration
15 caractérisé en ce qu'il est formé une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est par exemple revêtue de dendrites de tungstène (ou autre substrat)

L'invention concerne aussi un capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration caractérisé en ce qu'il est
20 formé par une cavité par exemple en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans laquelle est disposée l'absorbeur selon l'invention formé par une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est idéalement revêtue de dendrites de tungstène (ou autres).

25
Avantageusement, le capteur comporte un brûleur disposé à l'intérieur de ladite cavité, orientant une flamme en direction dudit absorbeur.

Selon une variante, il comporte une fibre optique transportant
30 l'énergie solaire vers ledit absorbeur.

Avantageusement, une partie au moins de la surface intérieure de la cavité présente des cavités se comportant comme un piège à lumière (nid d'abeille conique).

L'invention concerne aussi un système constitué par un capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration accouplé thermiquement et mécaniquement à l'admission d'une machine thermique caractérisé en ce que ledit capteur est formé par une cavité en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans laquelle est disposé un absorbeur formé par une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est revêtue de dendrites de tungstène.

5

10 Avantageusement, ladite machine à détente avec partie supérieure en carbure de silicium.

L'invention concerne encore un procédé de préparation d'un absorbeur selon l'invention caractérisé en ce qu'il comporte une étape de dépôt d'une fine couche absorbant le rayonnement pouvant être constitué par exemple d'une projection par torche plasma ou flux solaire concentré de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce monolithique en carbure de silicium. Ladite couche peut aussi avantageusement être déposée dès la sortie du moulage, la pâte obtenue étant relativement collante et permettant ainsi la fixation aisée des dendrites par simple projection mécanique ou poudrage.

15

20

Selon une variante, le procédé comporte une étape de projection par laser de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce monolithique en carbure de silicium.

25

Selon d'autres variantes, l'invention concerne :

30 Un capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration caractérisé en ce qu'il est formé par une cavité isolée sous vide par exemple en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans laquelle est disposé un absorbeur formé d'une pièce monolithique en carbure de silicium de grande

pureté dont la surface d'absorption est revêtue de dendrites de tungstène.

Avantageusement, cet absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration présente :

- 5 - une configuration en nid d'abeille dont les cellules sont coniques/évasées avec une hauteur plus importante au centre et présentant des microcavités.
- une interface sphérique étanche supportant supérieur/inférieur faisant office de bride
10 d'assemblage/étanchéité avec un support présentant un nid et des ailettes et un assemblage par filetages d'un tuyau sur un dispositif thermodynamique.
- des ailettes pour l'échange thermique avec le fluide en forme de rosaces et présentant des microcavités avec
15 une hauteur plus élevée au centre.
- un disque obturation et des lumières de passage du fluide.
- une section tronconique hélicoïdale centrale avec un renvoi à 90° et une forme évasée/conique.
- 20 - un brûleur disposé à l'intérieur de ladite cavité, orientant une flamme en direction dudit absorbeur.
- des surfaces d'échange avec microcavités.

L'invention concerne aussi un système constitué par un capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration
25 susvisé, accouplé thermiquement et mécaniquement à une tubulure (sortie fluide chaud) ou à l'admission d'une machine thermique caractérisé en ce que ledit capteur est formé par une cavité en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans laquelle est disposé un absorbeur formé d'une pièce monolithique en
30 carbure de silicium dont la surface d'absorption est revêtue de dendrites de tungstène.

De préférence, ladite machine à détente avec partie supérieure en carbure de silicium.

Avantageusement, il comporte une étape de projection par plasma
35 de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce monolithique

en carbure de silicium et/ou une étape de dépôt par poudrage lors de l'élaboration en phase pâteuse de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce monolithique en carbure de silicium.

Description détaillée d'un exemple non limitatif de l'invention

- 5 La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description détaillée d'un exemple non limitatif de l'invention qui suit, se référant aux dessins annexés où :
- La figure 1 représente un absorbeur vu en coupe, partie supérieure vers le haut (soleil/flamme) comportant le nid d'abeille, l'interface étanche au milieu (3) et les ailettes de l'échangeur fluide en dessous
 - 10 - La figure 2 représente une vue de dessous de l'échangeur avec son cône hélicoïdal au centre.
 - La figure 3 représente une coupe de l'interface et de la partie inférieure seule.
 - 15 - La figure 4 représente une vue des nids d'abeille
 - La figure 4A représente une vue des dendrites
 - La figure 5 est une représentation simplifiée de la matrice nid d'abeilles
 - 20 - La figure 6 est une représentation d'une première forme de dendrite de tungstène agrandies
 - La figure 6A est une représentation d'une autre forme de dendrite de tungstène agrandies
 - La figure 7 représente une gros plan dendrites fusionnées sur le support en CSi
 - 25 - La figure 8 représente une enceinte de confinement externe (unité pour concentrateur solaire).
 - La figure 9 représente une coupe détaillée du cône hélicoïdal
 - La figure 10 représente une représentation 3D du cône hélicoïdal pour la compréhension du dispositif.
 - 30

Description du contexte d'utilisation d'un absorbeur selon
l'invention

Le capteur thermique permet d'absorber le rayonnement solaire pour le transformer en chaleur. Cette chaleur est ensuite transmise à un fluide caloporteur. Un capteur est composé d'un absorbeur, d'un fluide caloporteur, d'une isolation, parfois d'un vitrage et de réflecteurs.

L'absorbeur est l'un des éléments les plus importants d'un capteur thermique ; il convertit le rayonnement solaire en chaleur.

L'absorbeur se caractérise par deux paramètres :

- le facteur d'absorption solaire α^* (ou absorptivité): le rapport du rayonnement lumineux absorbé par le rayonnement lumineux incident;
- le facteur d'émission infrarouge ε (ou émissivité): le rapport entre l'énergie rayonnée dans l'infrarouge lorsque l'absorbeur est chaud et celle qu'un corps noir rayonnerait à la même température.

Dans les applications de chauffage solaire, on cherche à obtenir le meilleur rapport facteur d'absorption solaire / facteur d'émission infrarouge. Ce rapport est appelé sélectivité.

Le matériau constituant l'absorbeur est en règle générale en cuivre ou aluminium mais aussi parfois en matière plastique. Les propriétés de quelques matériaux utilisés comme absorbeurs.

La structure de l'absorbeur est illustrée par les figures 1, 2, 3 et 8.

Il comprend une structure (1) en nid d'abeille exposé au rayonnement solaire par l'intermédiaire d'un hublot (10). Elle est fixée sur l'enceinte par une bride (2). Une membrane (3) forme une interface étanche. Un joint (4) assure l'étanchéité entre la bride (2) et un épaulement interne de l'enceinte. Une structure (6, 12) présente une section tronconique hélicoïdale centrale avec des ailettes inférieures (5). Elle est fixée par des vis (7).

Un disque d'obturation (11) s'étend sous la structure (12).

Dans la zone comprise entre le hublot (10) et la structure en nid d'abeille (1), un brûleur injecte des gaz chauds. Cette zone présente par ailleurs des orifices d'évacuation (14).

- 5 La structure en nid d'abeilles reçoit le flux thermique, et présente une interface étanche au centre, avec une bride sur les côtés avec les ailettes sur toute la hauteur (permet de supporter de fortes pressions), en dessous au centre le cône hélicoïdal (permet de renvoyer le fluide à 90°), en bas le disque
- 10 d'obturation = permet de rendre étanche le circuit fluide et permettre la circulation de la périphérie vers le centre et inversement (réversible/alternatif)

Tableau 1

Matériaux	absorptivité	émissivité	sélectivité	Température max.
	α^*	ε	α^* / ε	
Nickel noirci (Black nickel)	0,88 - 0,98	0,03 - 0,25	3,7 - 32	300°C
Film graphite (Graphitic films)	0,876 - 0,92	0,025 - 0,061	14,4 - 36,8	250°C
Cuivre noirci (Black copper)	0,97 - 0,98	0,02	48,5 - 49	250°C
Chrome noirci (Black chrome)	0,95 - 0,97	0,09 - 0,30	3,2 - 10,8	350 - 425°C

15

Afin d'obtenir un meilleur rendement, certains systèmes sont donc constitués d'un revêtement particulier.

Le fluide caloporteur (ou calorporteur) permet d'évacuer la chaleur emmagasinée par l'absorbeur et de la transmettre vers là

où elle doit être consommée. Un bon fluide caloporteur doit prendre en compte les conditions suivantes :

- 5 - être chimiquement stable lorsqu'il atteint une forte température, en particulier lors de la stagnation du capteur;
- posséder des propriétés antigel en corrélation avec les conditions météorologiques locales;
- posséder des propriétés anticorrosives selon la nature des matériaux présents dans le circuit capteur;
- 10 - posséder une chaleur spécifique et une conductivité thermique élevées afin de transporter efficacement la chaleur;
- être non-toxique et avoir un faible impact sur l'environnement;
- 15 - avoir une basse viscosité afin de faciliter la tâche de la pompe de circulation;
- être facilement disponible et bon marché

Le bon compromis par rapport à ces critères est un mélange d'eau et de glycol (utilisé dans le liquide de refroidissement des automobiles), même s'il n'est pas rare de trouver des systèmes fonctionnant à l'eau pure ou tout simplement à l'air selon l'utilisation.

Le vitrage permet de protéger l'intérieur du capteur contre les effets de l'environnement et d'améliorer le rendement du système par effet de serre.

Si l'on souhaite un vitrage efficace, il doit posséder les propriétés suivantes:

- réfléchir le rayonnement lumineux au minimum quelle que soit son inclinaison;
- 30 - absorber le rayonnement lumineux au minimum;
- avoir une bonne isolation thermique en gardant le rayonnement infrarouge au maximum;
- résister dans le temps aux effets de l'environnement (pluie, grêle, rayonnement solaire,...) et aux grandes variations de températures.
- 35

Les principaux vitrages utilisés pour les capteurs thermiques sont à base de verre non-ferrugineux ou en verre acrylique, et souvent dotés d'un revêtement anti-reflet.

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques, sa caractéristique est le coefficient de conductivité; plus il est faible meilleur est l'isolant. Les principaux matériaux utilisés pour les capteurs thermiques sont la laine de roche et de verre, des mousses de polyuréthane ou encore de la résine de mélamine.

10

Quelques isolants utilisés pour les capteurs thermiques :

Tableau 2

Matériaux	Conductivité thermique
Laine de roche	0,032 - 0,040 W/m.K
Laine de verre	0,030 - 0,040 W/m.K
Mousses de polyuréthane (étanchéité)	0,022 - 0,030 W/m.K

Dans le cas des capteurs thermiques vitrés, il est aussi intéressant de remplacer l'isolation entre la vitre et l'absorbeur par de l'air. En effet, l'air a un grand pouvoir d'isolation, il est ainsi utilisé dans le double vitrage. Toujours dans l'objectif d'obtenir de meilleurs rendements, certains fabricants utilisent d'autres gaz comme l'argon ou le xénon, et lorsque cela est possible, on préférera même utiliser le vide. Voici les coefficients d'isolation de gaz utilisés comme isolants :

25 Tableau 3

Gaz	Conductivité thermique à 283 K, 1 bar.
Air	0,0253 W/m.K
Argon	0,01684 W/m.K

Xénon	0,00540 W/m.K
-------	---------------

Description de l'absorbeur selon l'invention

L'absorbeur selon l'invention est constitué par une pièce monolithique en CSi sur laquelle sont déposés lors de l'élaboration en phase pâteuse, ou encore projeté par laser ou plasma des dendrites de tungstène, une forme cristalline absorbant 98% du rayonnement infra-rouge et à un point de fusion supérieur à 3.400 °C.

On entend par dendrite au sens du présent brevet une forme cristalline obtenue par solidification, et présentant une forme arborescente. Un flocon de neige, par exemple, a une structure dendritique. Lesdites dendrites sont préférentiellement des résidus ou poussières industrielles ou être réalisées par voie solaire à haute température.

L'agglomération des dendrites de tungstène sur le CSi peut être réalisée en couche mince et sous haute température ou par tout autre procédé.

L'absorbeur forme ainsi un piège à lumière, notamment à l'aide de micro cavités réalisées lors du moulage, pour présenter des caractéristiques proches d'un corps noir.

Description détaillée de l'invention

Les principales qualités d'un absorbeur sont :

- a) Capacité à recevoir et transférer le maximum d'énergie
- b) Être un très bon conducteur thermique
- c) Ne pas réfléchir ou rayonner les IR (infra rouge)
- d) Supporter une très forte densité énergétique
- e) Supporter les chocs thermiques et rester inerte chimiquement
- f) Ne pas se détériorer dans le temps
- g) Avoir un coût de fabrication le plus bas possible

- h) Être facilement industrialisable
- i) Avoir d'importantes propriétés mécaniques

La première qualité d'un absorbeur est sa capacité à recevoir un rayonnement (soleil/flamme) et le transférer dans un fluide avec le meilleur rendement possible.

L'absorbeur se trouve être dans une enceinte sous vide permettant une isolation thermique parfaite, laquelle est idéalement en graphite et recouverte d'un hublot transparent au rayonnement solaire et recouverte d'un revêtement anti réflexion limitant les pertes optiques. La cavité sous vide est équipée d'un brûleur permettant d'apporter l'énergie nécessaire lors de l'absence du flux solaire et une sortie est aménagée pour évacuer les résidus de la combustion.

La majorité des absorbeurs connus utilisent des matériaux tels que l'inox, avec ou sans revêtement absorbant/sélectif. Ce matériau à un taux d'absorption très limité et rediffuse une bonne part du rayonnement infrarouge. D'autre part sa conductivité est très limitée puisque de l'ordre de 20 W/m.K, ce qui est très peu comparé à d'autres matériaux reconnus tels que le cuivre = 386 W/m.k qui s'avère être 20 fois meilleur conducteur thermique, propriété importante pour la qualité d'un absorbeur. Ensuite l'inox n'est utilisable que jusqu'à 800°C ce qui limite d'autant les rendements thermodynamiques avantageux dans les hautes plages de température. L'un des matériaux appropriés proposé dans l'invention et qui sera cité à titre d'exemple est le CSi (carbure de silicium) sous une forme relativement pure.

Le CSi pur est un excellent conducteur thermique jusqu'à 1.200 °C avec une conductivité maximale d'environ 350 W/m.k proche de celle du cuivre, ce qui lui confère des propriétés exceptionnelles, de plus il conduit parfaitement les IR (infra rouges). Il supporte d'importants chocs thermiques et sa très

importante dureté et résistance mécanique permet de concevoir des pièces pouvant supporter de très fortes contraintes permettant ainsi la réalisation de pièces de faible épaisseur dans avec une excellente conductivité thermique. Inerte chimiquement, il supporte les très hautes températures et ne se dégrade pas dans le temps.

Par contre le CSi pur est entaché de plusieurs problématiques car il est quasi transparent au rayonnement solaire, ressemblant à du verre, et n'absorbe donc pas le flux solaire concentré.

D'autre part il est très difficile de réaliser des pièces de géométrie complexe nécessaires pour réaliser des absorbeurs quasi parfaits. Enfin, sa mise en œuvre nécessite une très grande quantité d'énergie et de très hautes températures.

Pour remédier à cela, l'absorbeur selon l'invention est recouvert d'une fine couche de dendrites de tungstène sur la face exposée à la source de chaleur. Les dendrites de tungstène ont la propriété de capter parfaitement le rayonnement solaire ou provenant d'une flamme et le transmettre dans un substrat support avec une efficacité de 98%. Pour cela on dépose les dendrites par l'intermédiaire, par exemple, d'une torche à plasma ou tout autre procédé adapté, notamment lorsque le CSi sort de la phase de moulage, sa consistance pâteuse adhérente permettant une parfaite cohésion.

Pour absorber avec la plus grande efficacité possible un flux incident, il est nécessaire de réaliser une géométrie particulière qui puisse capter et piéger le rayonnement incident. Les absorbeurs connus ont en générale une surface lisse, laquelle réfléchit une grande part du rayonnement.

L'invention dispose d'une géométrie agissant comme un piège à lumière et se compare à un corps noir. Pour cela la surface est constituée d'une structure en nid d'abeille dont la section est conique, fine en partie supérieure, et large en partie inférieure. Ainsi il est possible de capter avec la plus grande efficacité qui soit le rayonnement entrant car il ne peut ainsi s'échapper

et est parfaitement capté par les dendrites qui transfèrent dès lors le flux dans le substrat en CSi. D'autre part la conformation conique du nid d'abeilles permet un démoulage aisé. Concernant la réalisation, l'état de l'art ne permet pas
5 actuellement de fabriquer des pièces à géométries complexes, d'autant que pour un bon absorbeur il faut limiter au maximum l'épaisseur, au détriment de sa solidité, ce qui n'est actuellement pas envisageable dans l'état de l'art car nécessitant un usinage avec des outils dont le diamètre et la
10 longueur sont limités pour des raisons mécaniques.

L'invention permet de remédier à ces problèmes grâce à deux procédés novateurs, l'un étant le pressage isostatique haute pression, le second en fabrication additive par imprimante 3D.
15 Le pressage isostatique haute pression développé par l'inventeur permet d'envoyer une pâte de CSi dans un moule formé de deux ou plusieurs pièces, quasi similaire à l'injection plastique ou métallique, l'un pour la partie supérieure, et le second pour la partie inférieure, et éventuellement un troisième pour le cône
20 hélicoïdal central pouvant nécessiter une fonction de vissage/devissage ou encore deux demi-coquilles de moulages indépendantes. Il est ainsi possible d'obtenir des pièces de géométrie complexe avec une très faible épaisseur, pouvant être de l'ordre du millimètre, l'architecture géométrique de la pièce permettant ce genre de réalisation. Le disque d'obturation
25 pouvant être rajoutés dans la foulée pour obtenir une pièce monolithique.

Le second procédé testé avec succès par l'inventeur est
30 l'impression additive ou impression 3D. Une buse ou un ensemble de buses dépose la pâte de CSi au fur et à mesure sur un plateau formant progressivement une pièce à géométrie dont la complexité est quasi infinie ou l'obtention de formes impossibles à réaliser autrement.

35

La surface en nid d'abeilles est idéalement constituée d'une surface rugueuse présentant des microcavités absorbant avantageusement la lumière et permettant une accroche plus facile des dendrites. De même, les ailettes de la partie inférieure peuvent présenter des microcavités générant des micro-turbulences, lesquelles contribuent d'une part à augmenter les coefficients d'échange thermique, d'autre part à diminuer les frottements sur les surfaces augmentant le rendement global.

10 Les pièces, après différents traitements appropriés, sont ensuite frittées dans un four à haute température, traditionnellement alimenté par du gaz ou électrique, mais peuvent aussi idéalement être frittées par voie solaire à concentration pour diminuer drastiquement les coûts de production. L'absence de la source solaire étant idéalement 15 palliée par la combustion d'un mélange hho lequel produit une flamme de très grande qualité à 2800°C dont le résidu n'est que de la vapeur d'eau laquelle peut indéfiniment être recyclée. Le mélange hho, aussi appelé « solar fuel », peut idéalement être produit par voie solaire et baisser d'autant le coût énergétique. 20 L'autre avantage de ce procédé solaire est que l'on peut ensuite envisager un recuit contrôlé pour libérer les tensions, celui-ci étant très peu coûteux.

25 On peut ainsi envisager la production industrielle à très grande cadence de pièces de géométrie complexe et à très bas coût de fabrication tout en ayant un indice carbone proche ou égal à zéro et donc aucun impact environnemental.

30 L'absorbeur bien qu'il soit monolithique, est divisé ici en trois sections pour des raisons de compréhension de la description. La première section est la partie supérieure recevant le flux thermique, la seconde est l'interface permettant de supporter les deux sections principales et de réaliser l'assemblage dans 35 une structure sous pression tout en garantissant l'étanchéité.

La troisième section est la partie inférieure, laquelle est chargée de transmettre l'énergie thermique au sein d'un fluide. L'ensemble est de forme concave de manière à optimiser la captation et transfert d'énergie, mais aussi d'assurer la meilleure résistance mécanique qui soit en rendant homogènes les flux d'énergie et les forces mécaniques appliquées sur les surfaces.

La partie supérieure, décrite précédemment, est une structure en nid d'abeilles de forme conique évasée vers la partie opposée (Fig 4) de manière à uniformiser les gradients de température, et sa surface est recouverte d'une fine couche de dendrites de tungstène. Ces cônes sont plus hauts et larges au centre du fait qu'un flux solaire ou une flamme est toujours plus important en son centre, nécessitant de ce fait une densité de matière plus importante laquelle transmet ensuite par conduction aux éléments environnants.

Du fait des excellentes propriétés du Csi et de la méthode de mise en œuvre selon l'invention, il est possible de réaliser des ailettes de convection (nid d'abeille) d'une épaisseur de l'ordre du millimètre à sa partie haute. Le « bord d'attaque » (terminologie ?), qui reçoit le rayonnement solaire direct ou la flamme (donc le dessus), est arrondi pour éviter les angles vifs trop fragiles et permettre le démoulage

L'autre intérêt de la structure en nid d'abeille est qu'elle répartie de manière parfaite les contraintes tant thermiques que mécaniques. La hauteur du nid d'abeille étant plus important au centre qu'en périphérie, les contraintes tant thermiques que mécaniques sont ainsi uniformément réparties sur l'ensemble de la surface et la structure peut dès lors subir une pression beaucoup plus importante en son centre ce qui permet de supporter des densités d'énergie et mécaniques les plus extrêmes,

contrairement aux absorbeurs connus par exemple en inox dont la surface est lisse, sphérique et d'épaisseur constante.

Dans la continuité de la structure en nid d'abeille vient une
5 « interface » (disque concave étanche séparant partie inférieure et supérieure), laquelle reçoit les deux parties échangeuses, supérieure et inférieure. Cette interface permet d'assurer la continuité de l'étanchéité entre les deux parties opposées et la bonne transmission énergétique uniformément répartie sur toute
10 sa surface. Sa forme est préférentiellement sphérique et sa concavité orientée vers la partie supérieure (recevant le flux), ce qui permet à l'absorbeur de supporter de très importantes pressions avec l'épaisseur la plus faible qui soit, concourant ainsi au rendement thermique. Cette faible épaisseur permet en
15 outre de limiter le stress mécanique ou les défauts moléculaires connus dans une forte épaisseur ainsi que la qualité du frittage, lequel est essentiel pour assurer la pérennité et fiabilité de l'absorbeur.

20 Pour assurer le montage étanche de l'absorbeur entre les différents constituants d'un dispositif thermique, le pourtour extérieur est constitué d'une portée périphérique s'apparentant à une bride, laquelle vient s'assembler avec les dispositifs extérieurs. Celle-ci est d'épaisseur adaptée aux contraintes qui
25 lui seront soumises et est prévue pour s'insérer dans un cylindre de section légèrement plus grande sur laquelle l'absorbeur vient se positionner et assurer un assemblage étanche.

Pour cela il peut être envisagé un anneau identique à un joint
30 d'étanchéité, lequel est réalisé sur le pourtour central de manière à appliquer une pression sur une surface limitée définie comme au sein d'une bride, idéal dans le cadre de très fortes pressions appliquées. Cet anneau en relief peut aussi être remplacé par une gorge recevant un joint standard ou être une
35 portée plate pour certains joints plats notamment du type

métallique. Un joint isolant, par exemple en graphite, peut aussi être idéalement envisagé pour supporter les hautes températures, l'autre avantage de ce type de joint est qu'il constitue un pont thermique évitant de ce fait la transmission de chaleur vers le support externe.

Dans ce cas de figure l'absorbeur vient se monter directement sur le cylindre de réception extérieur tel que Fig 8, et l'on applique une pression gazeuse suffisante permettant un montage rapide et aisé, à la façon des pneus tubeless, considérant d'autant plus que le hublot de la cavité recevant l'absorbeur est idéalement sous vide. On évite ainsi de créer un stress mécanique lors des écarts de dilation des différents constituants du dispositif en permettant un auto-ajustement et déplacement de l'absorbeur sur la portée étanche.

La partie inférieure de la « bride » permet le montage de composants et dispositifs complémentaires et dispose en ce sens d'éléments permettant leur liaison mécanique tels que des filetages ou tout système d'assemblage approprié, notamment un assemblage type quart de tour pour permettre un assemblage rapide et économique. Lesdits filetages ou dispositifs d'assemblage peuvent se trouver sur les deux faces pour permettre un assemblage mécanique durable et sans risque tout en permettant un parfait maintien de la pression devant être exercée sur le dispositif d'étanchéité/joint.

La partie inférieure Figures 2 et 3 est constituée de fines ailettes formant une rosace (terminologie à vérifier) permettant de transmettre l'énergie thermique au fluide caloporteur ou fluide de travail/à réchauffer. Les ailettes sont imbriquées dans la partie « bride » sur toute leur hauteur de manière à obtenir une pièce monolithique particulièrement résistante aux fortes pressions et répartir les forces de manière uniforme.

35

Le flux solaire concentré s'apparente à une courbe de Gauss, soit avec un maxima d'intensité en son centre. De ce fait le fluide provient idéalement de la périphérie vers le centre pour éviter des pertes thermiques au niveau de la bride d'étanchéité.

5 Pour cela une « lumière » (passage) est pratiquée sur tout le pourtour de l'entrée des ailettes pour permettre le passage du fluide. Cette lumière est imposée par un disque obturateur apposé sur les ailettes et verrouillé par un procédé tel que des ergots de montage pour éviter son déplacement ou toutes vibrations. Son
10 montage peut aussi avantageusement se faire sous forme monolithique suivant la méthode de fabrication, cette dernière évitant le rajout de dispositifs de fixation/maintien mécanique.

Cette disposition en portions de cercles (rosaces ?) imbriquées
15 les unes dans les autres permet de créer un certain nombre de turbulences et de guider le fluide dans une direction bien précise. De plus la force centripète permet d'augmenter l'interaction du fluide sur la surface des ailettes, améliorant ainsi le coefficient d'échange. Cette disposition singulière
20 permet aussi d'augmenter les surfaces d'échange et augmenter le rendement thermique de l'absorbeur. L'espace entre les ailettes est plus important à la périphérie qu'au centre pour une parfaite corrélation avec la densité énergétique mise en œuvre sur les surfaces.

25 D'autre part les ailettes sont plus hautes en leur centre que vers la périphérie ce qui permet d'une part d'optimiser les échanges thermiques, la plus grande densité d'énergie étant au centre, et d'autre part de contribuer à la résistance mécanique de l'ensemble lorsqu'il est soumis à de très fortes pressions
30 rendues nécessaires notamment dans les dispositifs thermodynamiques par exemple du type Stirling. Il est ainsi possible de disposer d'une interface de très faible épaisseur tout en assurant une extrême résistance mécanique aux très fortes
35 pressions.

Du fait de la géométrie particulière des ailettes, un vortex rapide est formé au centre de la structure inférieure, lequel est redirigé à l'extérieur de l'absorbeur par une section tronconique hélicoïdale reprenant le sens du flux initial dans
5 une direction perpendiculaire soit vers une tuyauterie, soit vers un piston pour certains dispositifs thermodynamiques. Ladite section tronconique comporte des ailettes de formes hélicoïdales, lesquelles permettent de diriger le flux dans le
10 nouvel axe perpendiculaire d'une part, et d'éviter la surchauffe sur la zone centrale la plus exposée au rayonnement thermique incident d'autre part du fait d'une vitesse d'écoulement accrue par effet Venturi. Le centre du cône est relativement épais alors que son extrémité est plus fine. La base inférieure de la section
15 tronconique est avantageusement de forme courbe pour éviter de trop grandes turbulences et pertes de charge préjudiciables au rendement global. Cette forme hélicoïdale se rapproche du disque obturateur pour éviter des pertes liées à des fuites ou défauts de guidage préférentiellement dans une direction du fluide.

20 Pour assurer l'étanchéité de la partie inférieure un disque d'obturation permet de refermer et d'ainsi parfaitement diriger le fluide destiné à être chauffé. Ce disque comporte une ouverture en son centre permettant l'éventuelle connexion par
25 une section de cylindre sur une tuyauterie ou l'envoi sur un piston, ainsi qu'un diamètre extérieur légèrement inférieur au diamètre des ailettes permettant ainsi le passage du fluide depuis la périphérie.

30 Un dispositif d'accrochage avec le corps de l'absorbeur est réalisé sur le disque d'obturation, celui-ci pouvant être de plusieurs façons telles que des ergots, des échancrures ou tout autre procédé d'assemblage, ou constituant un ensemble
35 monolithique dans le cas d'impression additive. Un autre procédé avantageux étant l'assemblage du disque dès lors que le corps de

l'absorbeur sort de moulage, l'adhérence se faisant alors aisément, ou encore lors de la réalisation par impression additive.

5 De manière générale tous les angles vifs interférant avec le déplacement du fluide sont arrondis pour éviter de générer des turbulences et autres pertes de charge préjudiciables.

10 La partie inférieure est aussi conçue pour permettre un passage alternatif rapide et sans pertes de charges de fluides dans le sens aller et retour, comme par exemple dans le cas d'un procédé FPSE (free piston Stirling engine, cela avec des fréquences pouvant être de l'ordre de plusieurs dizaines de cycles par seconde.

Revendications

1 - Capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration caractérisé en ce qu'il est formé par
5 une cavité isolée sous vide par exemple en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans laquelle est disposé un absorbeur formé d'une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est revêtue de dendrites de tungstène.

10

2 - Absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente une configuration en nid d'abeille dont les cellules sont
15 coniques/évasées avec une hauteur plus importante au centre et présentant des microcavités.

3 - Absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente une interface sphérique étanche supportant supérieur et inférieur faisant office de bride d'assemblage et d'étanchéité avec un support présentant un nid et des ailettes et un assemblage par filetages d'un tuyau sur un dispositif thermodynamique.

25

4 - Absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente des ailettes pour l'échange thermique avec le fluide en forme de rosaces et
30 présentant des microcavités avec une hauteur plus élevée au centre.

5 - Absorbeur de rayonnements solaires, pour centrale solaire thermique à concentration selon la

revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente un disque obturation et des lumières de passage du fluide.

5 6 - Capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente une section tronconique hélicoïdale centrale avec un renvoi à 90° et une forme évasée et conique.

10 7 - Capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce que ce qu'il comporte un brûleur disposé à l'intérieur de ladite cavité, orientant une flamme en direction dudit absorbeur.

15 8 - Capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il présente des surfaces d'échange avec microcavités.

20 9 - Système constitué par un capteur thermique pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication 1, accouplé thermiquement et mécaniquement à une tubulure (sortie fluide chaud) ou à l'admission d'une machine thermique caractérisé en ce que ledit capteur est formé par une cavité en graphite avec une fenêtre d'entrée transparente dans
25 laquelle est disposé un absorbeur formé d'une pièce monolithique en carbure de silicium dont la surface d'absorption est revêtue de dendrites de tungstène.

30 10 - Système pour centrale solaire thermique à concentration selon la revendication précédente caractérisé en ce que ladite machine à détente avec partie supérieure en carbure de silicium.

35 11 - Procédé de préparation d'un absorbeur conforme à la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comporte une étape

de projection par plasma de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce monolithique en carbure de silicium.

12 – Procédé de préparation d'un absorbeur selon la
5 revendication précédente caractérisé en ce qu'il comporte une
étape de dépôt par poudrage lors de l'élaboration en phase
pâteuse de dendrites de tungstène sur la surface d'une pièce
monolithique en carbure de silicium.

Fig.2

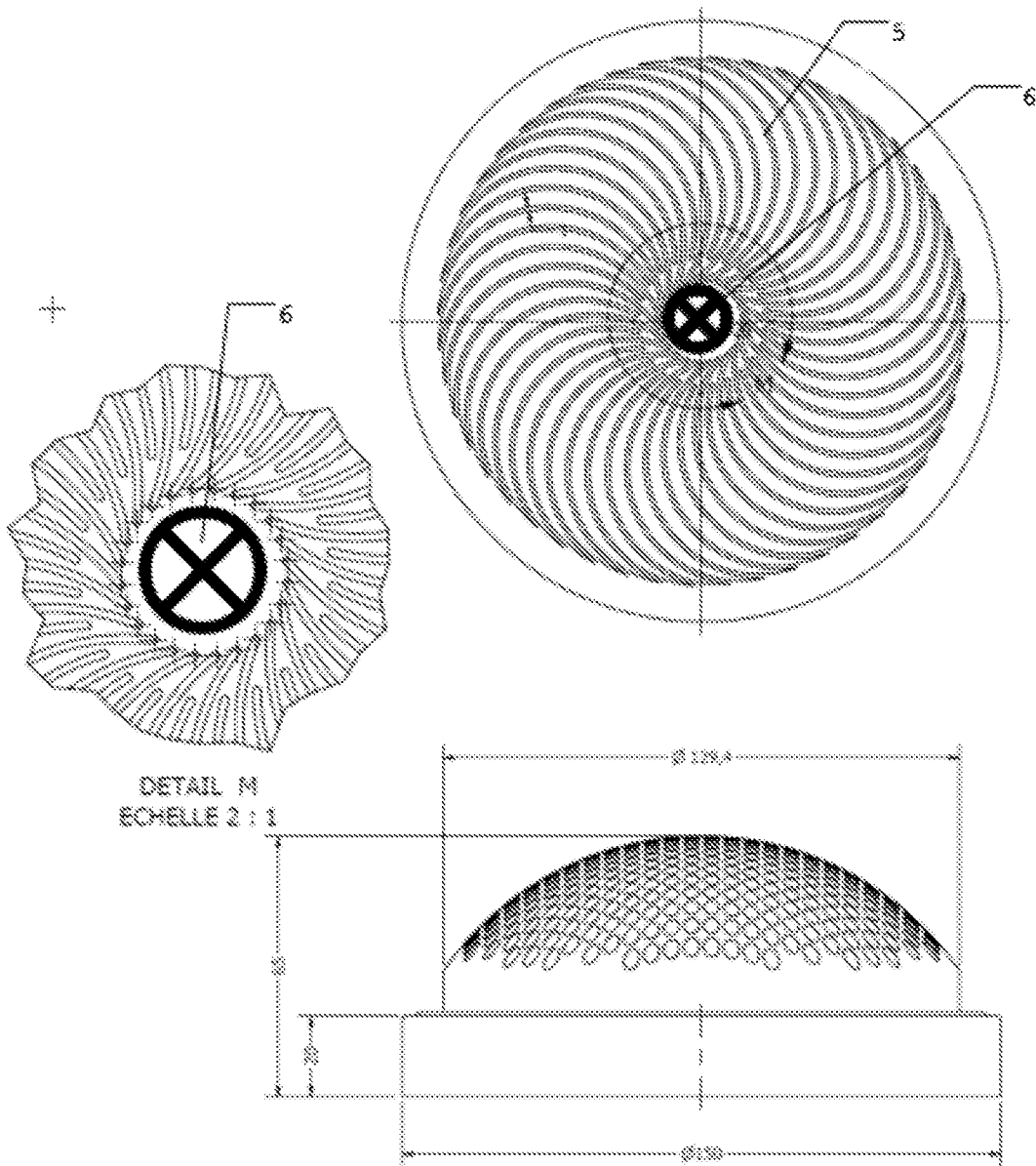


Fig.3

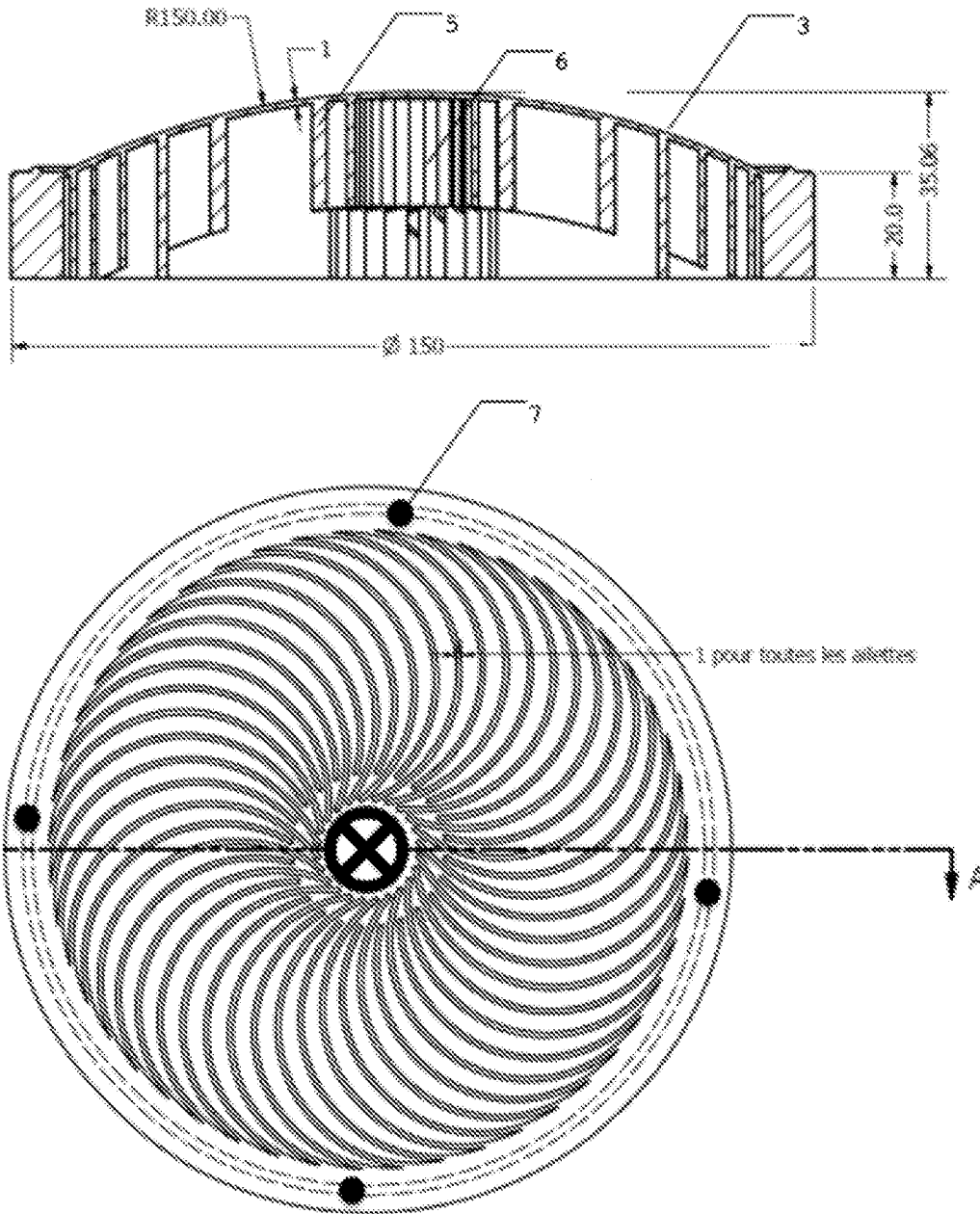


Fig.4

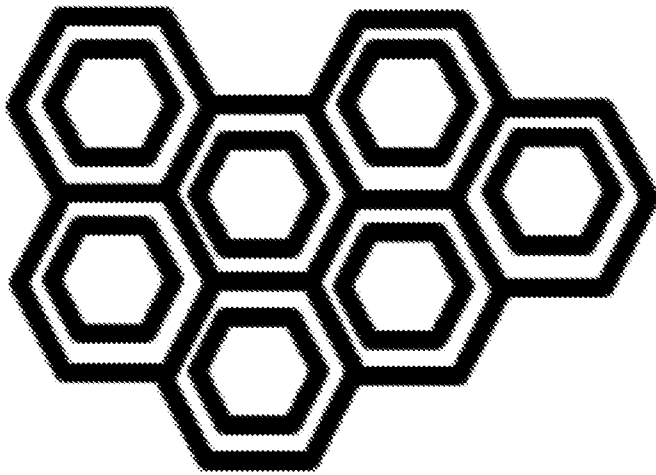


Fig.4A

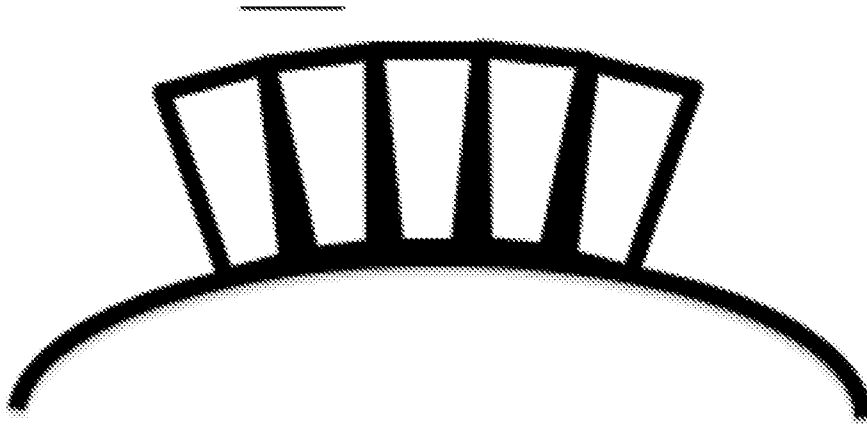


Fig.5

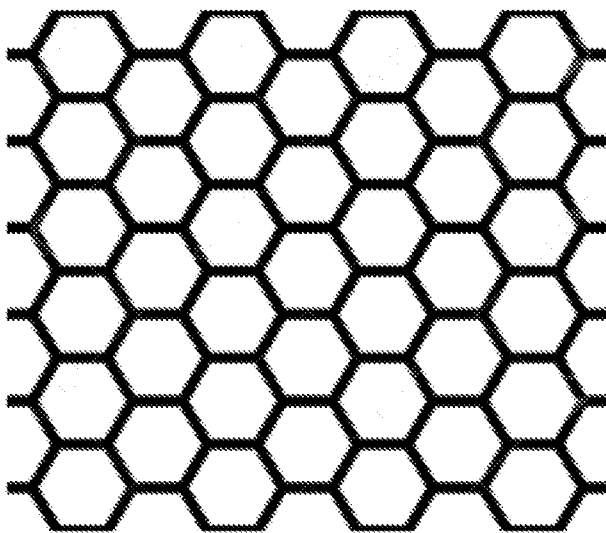


Fig.6

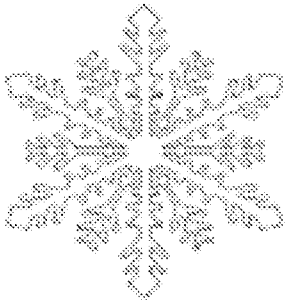


Fig.6A

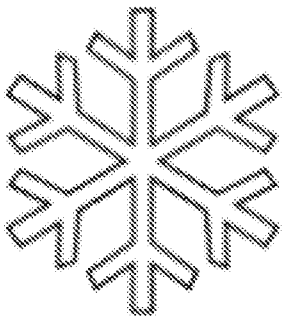


Fig.7

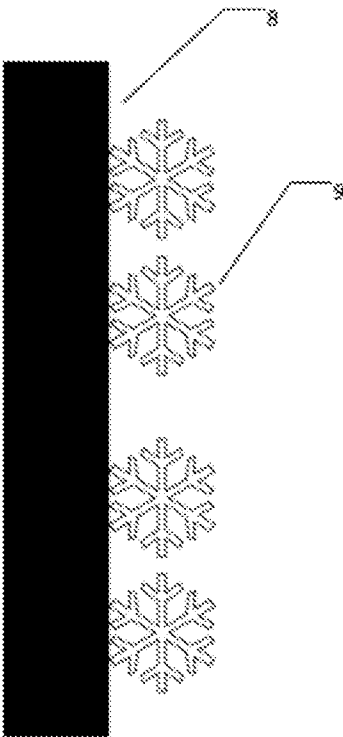


Fig.8

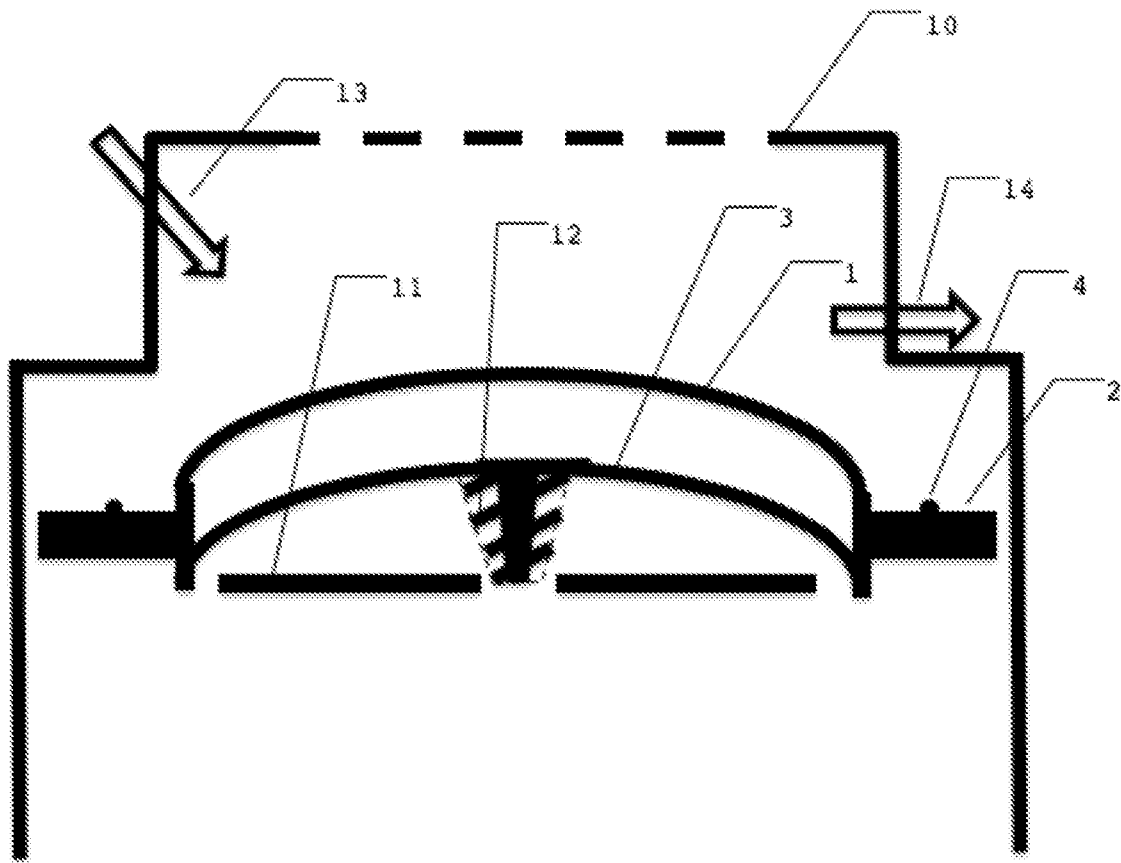


Fig.9

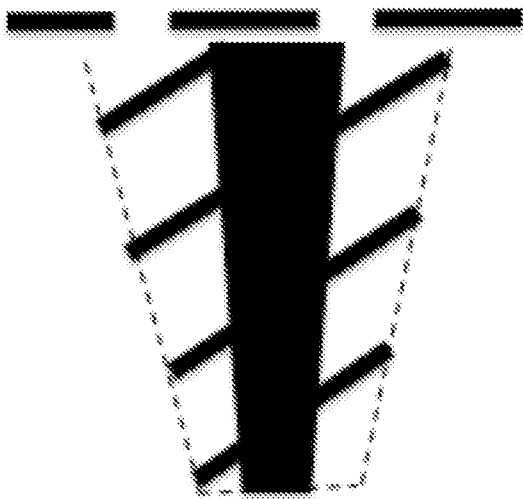


Fig.10

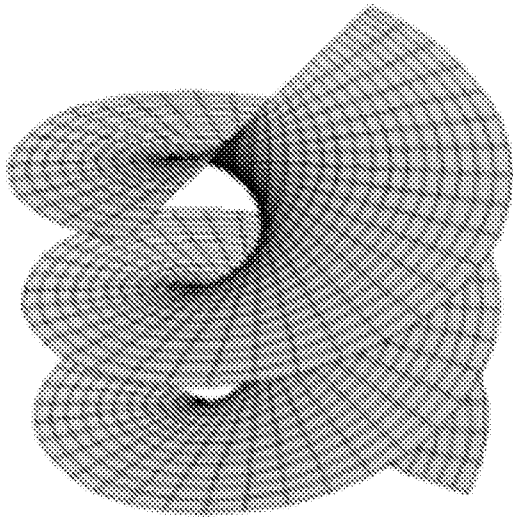


Fig.1

