



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Int. Cl.³: F 24 J 3/02

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



FASCICULE DU BREVET A5

(11)

633 097

(21) Numéro de la demande: 10538/79

(73) Titulaire(s):
Saint-Gobain Industries, Neuilly-sur-Seine (FR)

(22) Date de dépôt: 27.11.1979

(30) Priorité(s): 28.11.1978 FR 78 33609

(72) Inventeur(s):
André Paymal, Saint-Germain-en-Laye (FR)
Gérard Durand, Saint-Cyr-l'Ecole (FR)
Stéphane Hategan, Maisons Alfort (FR)

(24) Brevet délivré le: 15.11.1982

(45) Fascicule du brevet
publié le: 15.11.1982

(74) Mandataire:
Kirker & Cie, Genève

(54) Capteur d'énergie solaire.

(57) Le capteur solaire comprend une lentille de Fresnel (10) à zone de focalisation rectiligne et un miroir presque parabolique (14) de largeur sensiblement égale, disposé parallèlement derrière cette lentille et renvoyant la lumière reçue de la lentille sur une cible rectiligne (16) disposée entre la lentille et la surface réfléchissante. La largeur (1) du miroir et la largeur (L) de la lentille, la distance focale (f) de la parabole et de la distance focale (F) de la lentille en incidence normale, la distance (d) de la cible au miroir et la distance (D) de la lentille au miroir, enfin la largeur (t) de la tache focale formée par la lentille sont liées à la largeur (c) de la cible par les relations suivantes où $c = 3a$:

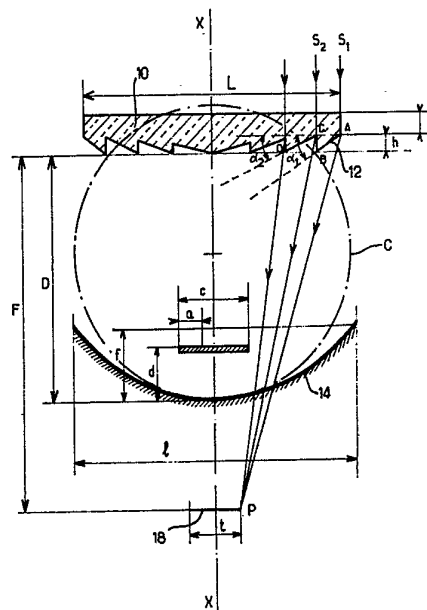
$$f = 4a \pm 0,5a$$

$$F = 20a \pm 5a$$

$$t \leq 2a$$

$$d = 3a \pm 0,5a$$

$$D = 13,5a \pm a.$$



REVENDICATIONS

1. Capteur solaire comprenant au moins une lentille de Fresnel à zone de focalisation rectiligne et un miroir cylindrique concave de largeur sensiblement égale, disposé parallèlement derrière cette lentille et renvoyant la lumière reçue de la lentille sur au moins une cible rectiligne disposée entre la lentille et la surface réfléchrice, caractérisé en ce que la section droite du miroir est proche d'une parabole et que la largeur l du miroir et la largeur L de la lentille, la distance focale f de la parabole et la distance focale F de la lentille en incidence normale, la distance d de la cible au miroir et la distance D de la lentille au miroir, enfin la largeur t de la tache focale formée par la lentille sont liées à la largeur c de la cible par les relations suivantes où $c = 3a$:

$$f = 4a \pm 0,5a \quad F = 20a \pm 5a$$

$$d = 3a \pm 0,5a \quad D = 13,5a \pm a$$

2. Capteur solaire selon la revendication 1, caractérisé en ce que $1 \approx L \approx 15a$

$$f = 4a \pm 0,2a \quad F = 19,5a \pm 1,5a$$

$$d = 3,2a \pm 0,2a \quad D = 13,5a \pm 0,5a$$

3. Capteur solaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la lentille de Fresnel (10) est une lentille prismatique.

4. Capteur solaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les sommets des prismes (12) de la lentille de Fresnel sont tous situés dans un même plan.

5. Capteur solaire selon la revendication 4, caractérisé en ce que la lentille est constituée d'une feuille de verre coulé laminé (20).

6. Capteur solaire selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la face de la cible (16) tournée vers la lentille est couverte par une bande de vitrage de largeur proche de c .

7. Capteur solaire selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la cible (16) est constituée d'un tube absorbeur à fluide caloporteur placé dans une gaine en verre.

8. Capteur solaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend, d'une part, un vitrage (20) formé par l'association de plusieurs lentilles de Fresnel (10) accolées le long de leurs côtés longitudinaux, d'autre part, une feuille à surface réfléchrice (22) comprenant plusieurs alvéoles parallèles (14) dont les plans de symétrie sont confondus avec ceux des lentilles, enfin un absorbeur calorifique (24) constitué de plusieurs tubes (16) disposés dans la zone de concentration de chacun des systèmes optiques formés par une lentille et le miroir associé, ces tubes étant reliés en série.

9. Capteur solaire selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est monté réglable et verrouillable dans plusieurs positions sur un bâti fixe par l'intermédiaire d'un axe (36) parallèle à la longueur de chacun des systèmes optiques et orienté est-ouest en direction de la position moyenne du soleil.

La présente invention concerne un capteur d'énergie solaire susceptible d'être utilisé en position fixe et ayant cependant de bons rendements de captage, et plus spécialement un capteur à absorbeur calorifique susceptible de fonctionner à des températures relativement élevées ainsi que pour des écarts angulaires notables du rayonnement solaire incident par rapport à l'incidence normale.

Les capteurs solaires plans, les plus connus à ce jour, sont constitués essentiellement d'un vitrage placé à quelques centimètres devant une surface noircie, qui est plus souvent une tôle métallique, recevant les rayonnements solaires à travers le vitrage et ayant de ce fait tendance à s'échauffer. L'énergie captée est en règle générale évacuée par un fluide caloporteur circulant dans des tuyauteries

intimement liées à la surface absorbante ou entre deux tôles parallèles liées entre elles, dont celle tournée vers le vitrage absorbe le rayonnement solaire incident.

C'est uniquement pour de faibles températures de fonctionnement que ces capteurs permettent d'obtenir des rendements de captage acceptables. On peut définir cette température de fonctionnement comme étant l'écart δT entre la température moyenne du capteur (pratiquement la moyenne arithmétique entre la température d'entrée et la température de sortie du fluide caloporteur) et la température extérieure de l'air au contact de la face avant du capteur. Ces capteurs ont un rendement de 70 à 80% par rapport à l'énergie solaire arrivant sur la face avant du vitrage, quand l'écart δT ci-dessus défini est inférieur à 10°C environ. Ce rendement diminue rapidement, quand l'écart δT augmente, et tombe au-dessous de 20% pour une valeur de δT de l'ordre de 60 à 80°C (plus ou moins selon l'intensité du rayonnement solaire incident).

Différents perfectionnements ont été apportés à ce capteur de base, afin d'améliorer son rendement pour des températures de fonctionnement supérieures à 50°C.

Selon un premier perfectionnement, la couche noire absorbante est remplacée par une couche spéciale dite sélective, dont la propriété est d'absorber au maximum l'énergie solaire incidente et de limiter, autant que possible, l'émission propre de la surface absorbante échauffée par l'absorption du rayonnement solaire incident. De tels capteurs ont souvent un rendement inférieur au précédent pour de faibles valeurs de δT , mais un rendement nettement supérieur pour des valeurs de δT de l'ordre de 40 à 80°C. De plus, leur seuil de fonctionnement correspond à de plus faibles valeurs du flux solaire incident.

Selon un second perfectionnement, on associe au premier vitrage un second vitrage ou une structure particulière du genre d'un nid d'abeilles, réalisé le plus souvent en matériau transparent très mince.

Malheureusement, ces perfectionnements réduisent notablement l'énergie solaire incidente et ne permettent pas d'obtenir des rendements de captage intéressants pour des valeurs de δT égales ou supérieures à 80°C.

D'autres solutions ont été proposées pour obtenir de bons rendements avec des températures de fonctionnement voisines de 100°C. Ces solutions consistent à concentrer l'énergie solaire arrivant sur la surface absorbante par différents systèmes optiques, tels que miroirs ou lentilles.

Pour obtenir des facteurs de concentration élevés, de l'ordre de 10 ou de 100 ou plus, il est nécessaire que les miroirs soient animés d'un mouvement tel qu'ils réfléchissent en permanence les rayons du soleil sur la cible que constitue la surface absorbante. On constitue alors un champ d'héliostats commandés par un mécanisme complexe et par conséquent coûteux.

Pour obtenir des facteurs de concentration intermédiaires permettant l'emploi de dispositifs fixes, on a proposé d'utiliser des systèmes de lentilles et de miroirs effectuant une concentration sensiblement linéaire sur un tube parallèle aux génératrices du système.

L'effet concentrateur peut être obtenu soit avec des lentilles et miroirs à surface continue, soit avec des lentilles et miroirs à surface discontinue à optique de Fresnel.

Ces dispositifs sont naturellement orientés est-ouest et dirigés vers la position moyenne du soleil. En réalité, l'expérience a montré que ce type de capteur est peu capable de performances élevées, à moins d'être rendu mobile et orienté en permanence, au moins selon une direction, de façon que la zone de focalisation des rayons solaires se maintienne à l'endroit où l'on a placé le tube absorbeur qui collecte les calories; ou encore il faut déplacer en permanence le tube absorbeur si le miroir est fixe. Cela résulte du fait que la zone de concentration linéaire se déplace transversalement quand les rayons solaires s'inclinent eux aussi transversalement par rapport à la lentille et qu'il n'a pas été possible jusqu'ici de dessiner un dispositif conservant un rendement convenable sous l'ensemble des incidences rencontrées, non plus qu'en lumière diffuse.

La présente invention a pour but de réaliser un capteur fixe ou semi-fixe assurant cependant une concentration suffisante pour obtenir des rendements de captage acceptables sous des incidences très diverses, notamment en utilisant des absorbeurs calorifiques portés à des températures de fonctionnement comprises entre 60 et 180°C environ.

Le capteur selon l'invention est défini par la revendication 1. L'agencement des éléments du capteur se fait selon un dessin précis. La lentille de Fresnel peut avantageusement être une lentille prismatique, c'est-à-dire une lentille à facettes planes, car il n'est pas nécessaire qu'elle fournisse du soleil une image nette, mais seulement une tache focale suffisamment concentrée dont la largeur maximale t en incidence normale ne dépasse pas de préférence une valeur égale aux deux tiers de la largeur c de la cible constituée par l'absorbeur, c'est-à-dire au double de la largeur a définie plus haut; par convention, sera considérée comme distance focale d'une telle lentille la distance entre sa face arrière et la tache de largeur minimale.

Dans la pratique, il est avantageux d'utiliser plusieurs capteurs élémentaires, identiques au capteur qui vient d'être décrit et que l'on associe côte à côte le long des côtés longitudinaux des lentilles optiques cylindriques et des miroirs cylindriques concaves en reliant en série les tuyauteries contenant le fluide caloporteur.

Un mode de réalisation particulier de l'invention sera à présent décrit à titre d'exemple et en regard des dessins annexés, dans lesquels:

la fig. 1 montre en coupe transversale la disposition relative des différents éléments du capteur et le tracé d'un faisceau de lumière solaire tombant sur un cylindre du capteur, sous incidence normale;

la fig. 2 illustre le tracé d'une lentille prismatique de Fresnel ainsi que la position du miroir parabolique associé;

la fig. 3 est une vue en coupe transversale, selon la ligne III-III de la fig. 4, d'un capteur solaire composé de quatre capteurs élémentaires, et

la fig. 4 est un plan de la fig. 3, à échelle réduite, vu du côté vitrage, et sur lequel les tubes sont visibles par transparence à travers les lentilles optiques.

Le capteur représenté comprend une lentille de Fresnel 10 de forme rectangulaire et dont les cannelures 12 sont orientées dans le sens longitudinal de la lentille, un miroir parabolique 14 disposé parallèlement à la lentille de Fresnel 10 entre cette dernière et sa ligne focale et un tube rectiligne 16, à ailettes 16a, traversé par un fluide caloporteur, et monté le long de la zone de concentration de l'ensemble catadioptrique formé par l'association de la lentille et du miroir.

Un tracé particulier de la lentille de Fresnel sera expliqué en regard de la fig. 2.

On se donne la dimension transversale L de la lentille 10, la distance focale F de cette lentille en incidence normale et la largeur t de sa zone de concentration 18, c'est-à-dire la zone où se forme une pseudo-image du soleil à travers la lentille.

En supposant que la face extérieure de la lentille est plane, on calcule l'angle α_1 de la face plane inclinée AB de la première cannelure extérieure de la lentille, pour qu'un rayon incident S_1A normal à la lentille passe par le point P , bord extrême de la zone de concentration 18. En pratique, c'est la hauteur h de cannelure que l'on s'impose pour la fabrication de la lentille qui détermine le point B . On trace ensuite la face BC qui est perpendiculaire au plan de la lentille et la distance AC est inférieure à la largeur t .

Ensuite, on reconstruit la construction à partir du point C pour que le rayon incident S_2C soit dévié et passe par le point P . On obtient ainsi l'angle α_2C et donc le point D . On procède ainsi de suite sur la moitié de la lentille 10 sans dépasser la largeur t , jusqu'à ce que la face inclinée d'un prisme coupe le plan médiateur $X-X$ de la lentille. L'autre moitié de la lentille est tracée symétriquement par rapport au plan $X-X$. On ramène avantageusement les sommets des prismes centraux dans le plan des autres sommets.

Cette lentille spéciale peut être fabriquée industriellement par la technique du verre coulé laminé moyennant quelques adaptations

technologiques. Par exemple, on introduit une légère inclinaison des faces telles que BC , afin de former une dépouille, et des rayons de 0,5 mm environ dans les angles dièdres des points tels que B , C , D . Bien entendu, l'épaisseur maximale de la lentille sera égale à l'épaisseur e de l'âme du vitrage augmentée de la hauteur h des cannelures 12, qui reste de préférence inférieure à 3 mm. Les différentes grandeurs caractéristiques du système visibles sur la fig. 2 sont les suivantes:

$$\begin{aligned} f &= 4a \pm 0,5a & F &= 20a \pm 5a \\ t &\leq 2a & D &= 13,5a \pm a. \end{aligned}$$

Avec référence aux fig. 3 et 4, le capteur d'énergie solaire comprend, d'une part, un vitrage 20 formé par l'association de plusieurs lentilles optiques allongées, accolées par leurs côtés longitudinaux, et, d'autre part, des miroirs constitués par exemple à partir d'une tôle mince 22 en acier inoxydable, sur laquelle on imprime, par emboutissage, ou par tout autre procédé équivalent, des alvéoles parallèles, de profil parabolique, jouant le rôle de miroirs. Dans le cas de l'exemple choisi, les systèmes optiques sont au nombre de quatre, disposés parallèlement au vitrage 20, à une distance de ce dernier voisine du double du rayon de courbure au sommet des miroirs, et de manière que les plans de symétrie $X-X$ de ces derniers correspondent à ceux des lentilles.

Le capteur comporte en outre une surface absorbante 24 constituée par exemple par quatre tubes 16 reliés en série, ce qui permet d'avoir une seule entrée 26 et une seule sortie 28 pour le fluide caloporteur. Chaque tube est disposé dans le plan médian de l'association catadioptrique lentille/miroir. La distance focale des lentilles, le rayon des miroirs et la distance comprise entre les lentilles et les miroirs sont choisis comme il a été indiqué plus haut.

Avantageusement, les éléments du capteur sont enfermés à l'intérieur d'un boîtier parallélépipédique 30, ouvert à une base et ayant une section sensiblement égale à celle du système optique défini ci-dessus. La surface alvéolée 22 est disposée au-dessus du fond 32 du boîtier, avec interposition d'une matière isolante 34 destinée à limiter les pertes calorifiques des miroirs 14, tandis que le vitrage 20 est adapté dans la face ouverte du boîtier. La concavité des miroirs 14 et les cannelures 12 des lentilles de Fresnel 10 sont tournées vers l'intérieur du boîtier.

Le boîtier lui-même est monté sur un axe 36 sur lequel il est verrouillé après réglage de son inclinaison.

Sa longueur peut être avantageusement de 3 m afin de correspondre à des dimensions de vitrages faciles à manipuler.

Le tube absorbeur, de largeur c , peut être avantageusement traité de façon que sa surface devienne une surface sélective ayant de faibles déperditions par rayonnement.

Devant la face du tube tournée vers la lentille, on peut prévoir une petite bande de vitrage de même largeur c , de façon à diminuer les pertes du tube par rayonnement et par convection.

Le tube avec ailettes peut être remplacé par un tube de plus gros diamètre sans ailettes ou un tube aplati. On peut prévoir de le placer dans une gaine en verre de faible épaisseur qui augmente l'efficacité du capteur si on désire le faire travailler dans sa gamme de températures la plus élevée. La présence de la gaine n'est pas bénéfique pour des fonctionnements à des températures de l'ordre de 80°C.

On trouvera ci-dessous, à titre d'exemple non limitatif, les caractéristiques numériques d'un capteur selon l'invention.

Focale de la lentille de Fresnel (F)	200 mm
Largeur de la lentille de Fresnel (L)	150 mm
Hauteur des prismes (h)	2,5 mm
Largeur de la tache focale (t)	10 mm
Focale du miroir parabolique (f)	40 mm
Distance de la face plane de la lentille au sommet du miroir (D + h + e)	143 mm
Diamètre du tube à ailettes	10 mm
Largeur des ailettes	10 mm
Distance du tube au miroir (d)	32 mm

Bien entendu, tout système homothétique de celui-ci lui est équivalent.

De plus, le système garde pratiquement les mêmes performances pour des variations de :

- ± 10 mm de la focale de la lentille de Fresnel,
- ± 2 mm de la focale du miroir,
- ± 5 mm sur la distance lentille/miroir,
- ± 1 à 2 mm sur la position du tube à ailettes.

Avec un tel capteur d'énergie solaire, le rendement géométrique, défini comme étant la fraction de la surface de la lentille dont les rayons émergents sont captés par le tube absorbeur, est supérieur à 70% et souvent à 90%, pour des incidences horaires, ou longitudinales, de ± 40° (correspondant à une durée de ± 2 h 40 min) mais de ± 10° seulement pour des incidences transverses par rapport au plan médiateur du système optique. On rappelle que l'incidence horaire varie au cours d'une même journée, tandis que l'incidence par rapport au plan médiateur du capteur a en outre une variation saisonnière pour une même heure de la journée. La deuxième limitation mentionnée ci-dessus montre que, pour obtenir un rendement géométrique correct tout au long de l'année, il reste nécessaire de faire varier l'inclinaison du capteur, mais que l'on obtient de bons résultats en adoptant seulement deux positions, une position moyenne pour l'été et une position moyenne pour l'hiver.

Plus généralement, il est possible de conserver au capteur un rendement géométrique acceptable dans les domaines suivants :

Focale de la lentille de Fresnel	150 à 250 mm
Focale du miroir	35 à 45 mm
Distance lentille/miroir	130 à 150 mm
Distance du tube au miroir	25 à 35 mm

Enfin, un avantage du capteur selon l'invention est de pouvoir fonctionner même en l'absence de soleil direct, uniquement avec de l'énergie solaire diffuse, par temps couvert. Cela s'explique aisément, du fait que le rendement du capteur ne dépend pas de l'azimut du soleil, le fonctionnement étant correct pour une variation de hauteur

d'environ 40°, puisque l'on admet que l'énergie diffuse présente une certaine anisotropie avec un maximum d'intensité dans la direction d'une couronne entourant le soleil.

Sur le plan technologique, le fait de pouvoir utiliser dans de bonnes conditions un capteur à semi-concentration, en position fixe, simplifie considérablement son bâti-support et, par suite, accroît la sécurité de fonctionnement et diminue sensiblement le prix global de l'installation.

L'application principale du capteur selon l'invention est le chauffage d'un fluide caloporteur tel que l'eau, l'eau glycolée, l'eau sous pression, les liquides organiques caloporteurs, l'eau de mer à préchauffer en vue de sa distillation, les produits chimiques à réchauffer, les gaz tels que l'air ou la vapeur d'eau.

L'appareil est intéressant chaque fois qu'on a besoin d'échauffer des gaz ou des liquides à une température supérieure à 60°C, mais il est également intéressant pour échauffer des liquides à des températures faibles, d'environ 50°C, notamment dans le cas où la densité énergétique du rayonnement solaire est faible, en particulier dans les régions du globe où l'énergie diffuse est importante, telles que certains pays nordiques ou certaines régions tropicales.

D'autres applications sont parfaitement possibles, chaque fois que l'on recherche une concentration de l'énergie solaire, par exemple dans le cas des cellules photovoltaïques qu'il suffit de disposer en lieu et place du tube absorbeur précédemment décrit.

Pour éliminer l'énergie calorifique dans la gamme des longueurs d'onde inutiles et nuisibles aux cellules photovoltaïques, le vitrage peut avantageusement être traité sur sa face plane par une couche très réfléchissante pour le proche infrarouge.

Bien entendu, on peut aussi utiliser l'appareil comme étage de préchauffage d'autres types de capteurs prévus pour une zone de températures très élevées, nécessaires à la production thermodynamique de l'électricité par exemple.

On peut aussi associer, en série, des capteurs plans ordinaires, qui seront utilisés en préchauffage du liquide alimentant les capteurs à semi-concentration.

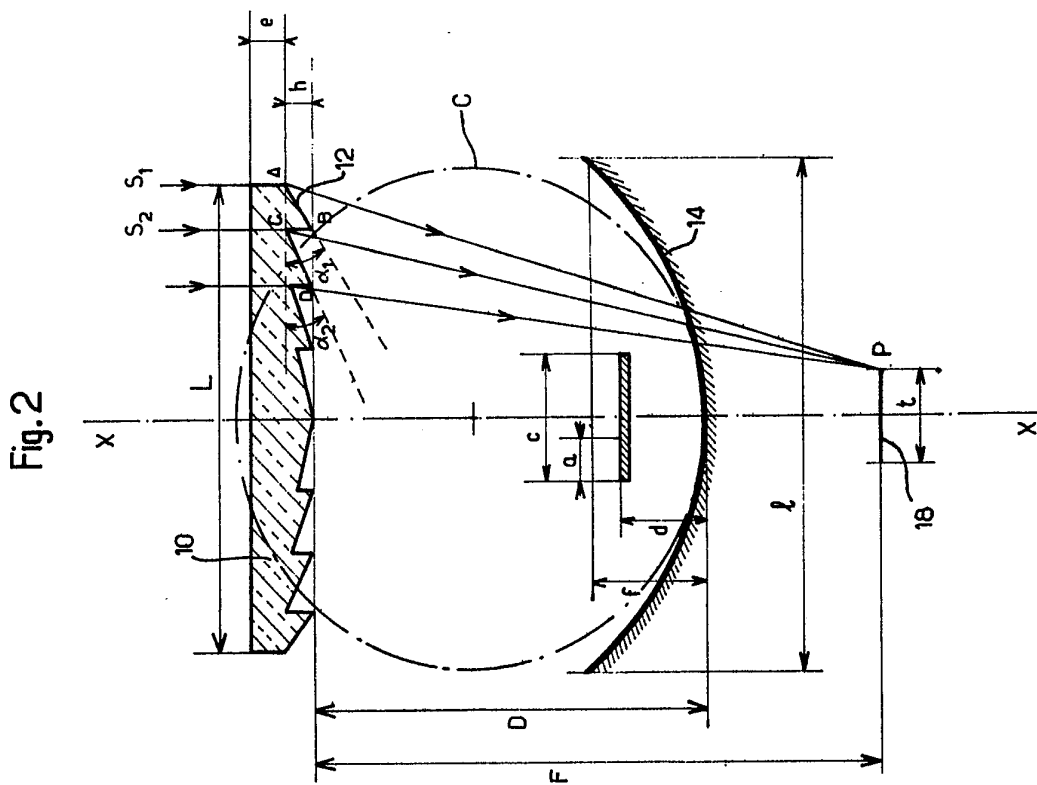


Fig. 2

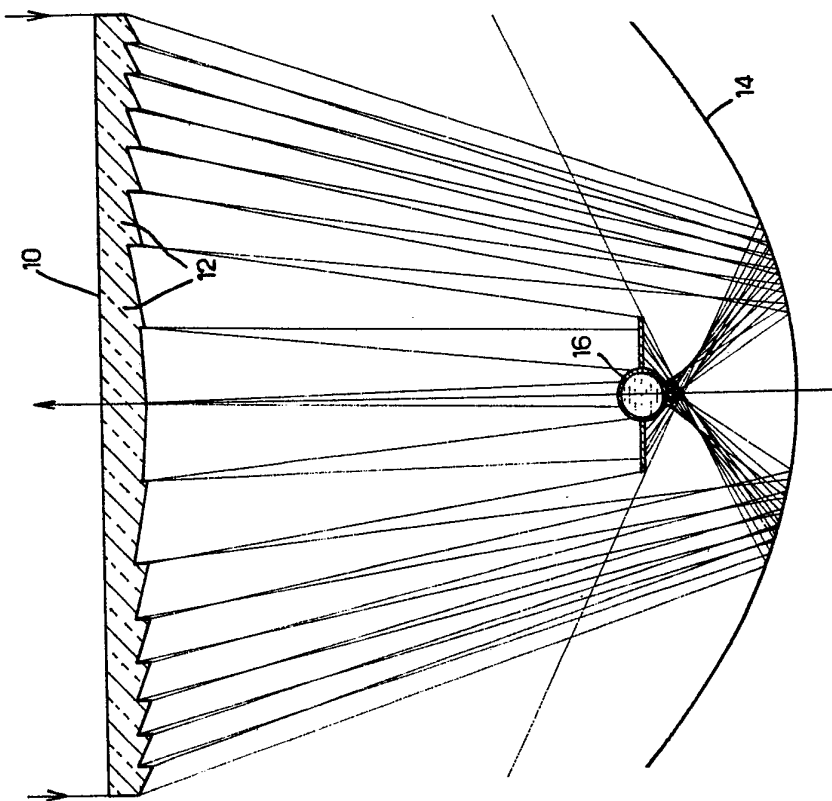


Fig. 1

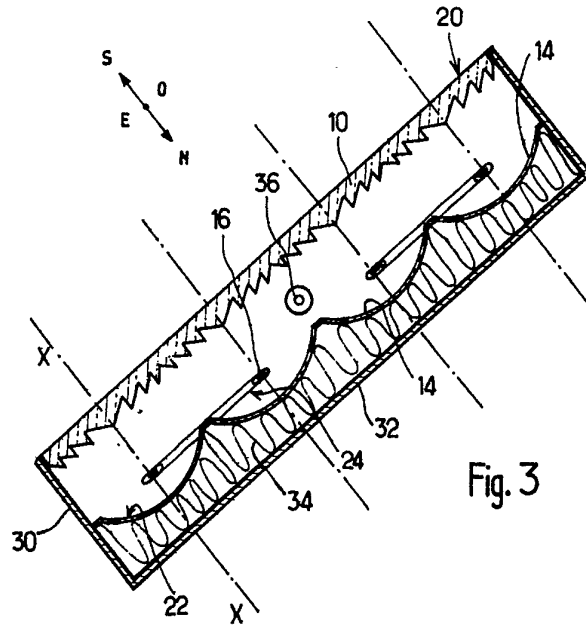


Fig. 3

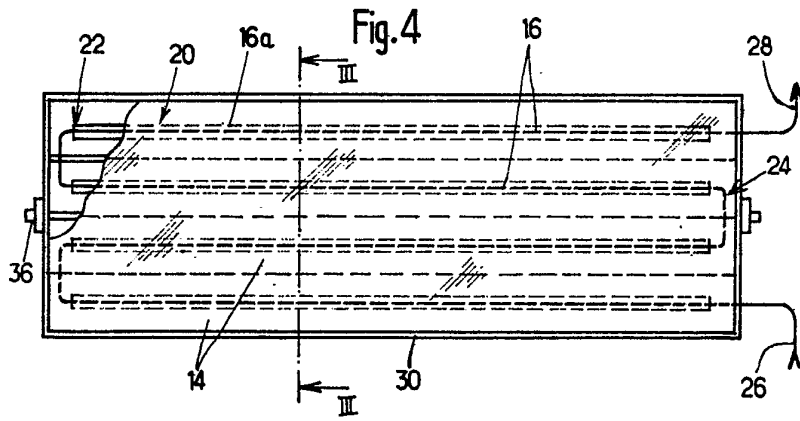


Fig. 4