

ROYAUME DU MAROC

OFFICE MAROCAIN DE LA PROPRIÉTÉ (19)
INDUSTRIELLE ET COMMERCIALE



المملكة المغربية

المكتب المغربي
للملكية الصناعية والتجارية

(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 32720 B1** (51) Cl. internationale : **F24J 2/05**
(43) Date de publication : **02.10.2011**

(21) N° Dépôt : **33781**

(22) Date de Dépôt : **20.04.2011**

(30) Données de Priorité : **26.09.2008 IT MI2008A001716**

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT : **PCT/IB2009/006944 23.09.2009**

(71) Demandeur(s) : **TVP SOLAR S.A., 36, PLACE DU BOURG -DE - FOUR CH-1204 GENEVA (CH)**

(72) Inventeur(s) : **PALMIERI, Vittorio**

(74) Mandataire : **SABA & CO**

(54) Titre : **PANNEAU THERMIQUE SOLAIRE A VIDE COMPORTANT UN ECRAN RAYONNANT**

(57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UN PANNEAU SOLAIRE THERMIQUE SOUS VIDE À DOUBLE FACE QUI COMPREND UNE ENVELOPPE (30) SOUS VIDE CAPABLE DE RÉSISTER À LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE QUAND ELLE EST MISE SOUS VIDE, LADITE ENVELOPPE (30) COMPRENANT UNE PREMIÈRE ET UNE DEUXIÈME FEUILLE (1, 2) DE VERRE TRANSPARENTES AU RAYONNEMENT SOLAIRE ET SE FAISANT FACE, UN CADRE (3) PÉRIPHÉRIQUE DÉFINISSANT LA SURFACE LATÉRALE DE L'ENVELOPPE (30). LE PANNEAU SOLAIRE COMPREND AU MOINS UN PREMIER ÉLÉMENT (11) ABSORBANT LA CHALEUR, UN SECOND ÉLÉMENT (12) ABSORBANT LA CHALEUR, UN TUYAU (13) QUI PÉNÈTRE DANS L'ENVELOPPE (30) ET SORT DE CELLE-CI EN PASSANT ENTRE LES PREMIER ET SECOND ÉLÉMENTS (11, 12) ABSORBANT LA CHALEUR, ET UN ÉLÉMENT CAISSON (10) QUI ENTOURE LA SURFACE EXTÉRIEURE DU TUYAU (13).

**PANNEAU THERMIQUE SOLAIRE A VIDE COMPORTANT UN ECRAN
RAYONNANT**

ABREGE

- 5 Un panneau solaire thermique sous vide à double face comprenant une
enveloppe étanche au vide (30) capable de supporter la pression
atmosphérique quand évacuée, ladite enveloppe (30) comprenant une
première et une seconde plaques en verre (1, 2) transparentes au
rayonnement solaire et opposées, un cadre périphérique (3) définissant la
10 surface latérale de ladite enveloppe (30), ledit panneau solaire
comprenant au moins un premier absorbeur de chaleur (11), un second
absorbeur de chaleur (12), un tuyau (13) qui entre et quitte l'enveloppe
(30) en passant entre lesdits premier et second absorbeurs de chaleur
(11, 12), et un élément en forme de boîte (10) qui entoure la surface
15 externe du tuyau (13).

Nombre de lignes : 360

32720

03 OCT 2011

G71274.CK.sgh

PANNEAU THERMIQUE SOLAIRE A VIDE COMPORTANT UN ECRAN
RAYONNANT

La présente invention concerne un panneau solaire thermique sous vide à double face conformément à l'introduction de la revendication principale.

Les panneaux solaires thermiques sous vide à double face sont faits pour absorber le rayonnement solaire de deux surfaces actives, soit en recevant la lumière du soleil directement ou réfléchié par un miroir. Ceux-ci sont connus par exemple à partir du EP0387843, DE 103 06 532, DE 203 19 299 U1, EP 1 342 964, DE 202 20 874.

Le EP0387843 concerne des panneaux solaires constitués d'une enveloppe étanche au vide formée de deux plaques en verre transparentes au rayonnement solaire. Dans l'enveloppe sont placés un ou plusieurs absorbeurs de chaleur pour absorber le rayonnement solaire en le convertissant en énergie thermique. L'absorbeur de chaleur est généralement une feuille métallique rectangulaire faite en cuivre, en aluminium ou un autre métal ayant un haut coefficient de conduction thermique et un bas coefficient d'émission infrarouge, couverte d'un revêtement d'absorption sélectif absorbant fortement le rayonnement visible mais transparent au rayonnement infrarouge (par exemple, l'oxyde de chrome ou de nickel). Un tuyau à travers lequel s'écoule un fluide thermovecteur, généralement l'eau, entre et quitte l'enveloppe, celui-ci étant en bon contact avec lesdits absorbeurs de chaleur, généralement moyennant un soudage fait le long d'une génératrice de sa surface externe. Ce soudage est typiquement effectué au laser ou aux ultrasons afin de minimiser la déformation de la feuille métallique et l'endommagement de son revêtement. L'énergie thermique recueillie par l'absorbeur de chaleur est transmise via ce soudage au tuyau par conduction, chauffant ainsi le fluide s'y écoulant.

Les deux côtés des panneaux solaires à double face reçoivent le rayonnement solaire. Pour cette raison, afin de maximiser la performance,

ledit revêtement d'absorption sélectif est également placé sur la surface externe du tuyau, en contact avec un côté de l'absorbeur de chaleur. Un tel tuyau étant normalement fait en cuivre pour réaliser une faible émissivité infrarouge.

5 Des pompes à sorbeur sont également positionnées dans des panneaux sous vide, pour absorber par un effet chimique tout résidu gazeux toujours présent dans l'enveloppe après son évacuation, afin de maintenir un niveau de vide adéquat pendant la période d'opération entière du panneau. Ces pompes à sorbeur comportent normalement des
10 éléments massifs situés dans l'enveloppe sous vide ou des revêtements de film formés par l'évaporation sous vide d'un sorbeur flash sur une surface interne de ladite enveloppe. Toutefois, elles peuvent également être avantageusement formées comme des revêtements de film mince placés sur la surface des absorbeurs de chaleur sous le revêtement
15 d'absorption sélectif comme décrit dans le EP1706678.

Un problème des panneaux solaires sous vide à double face actuels est que l'agencement d'un film mince de sorbeur sur une surface d'absorbeur sous le revêtement d'absorption sélectif modifie négativement les propriétés dudit revêtement, en réduisant son absorption de la lumière
20 visible tout en augmentant l'émissivité infrarouge de l'absorbeur.

Un autre problème est que le coefficient d'émissivité infrarouge d'une surface munie d'un revêtement d'absorption sélectif dépend du matériau constitutif de ladite surface et pas du revêtement en soi. Par conséquent, pour limiter les pertes d'énergie thermique par irradiation du
25 tuyau, celui-ci est préférablement fait en cuivre, un matériau présentant une faible émissivité infrarouge, mais qui augmente considérablement les coûts de production du panneau ou limite la pression fonctionnelle maximale du fluide thermovecteur.

Un autre problème est que le soudage entre le tuyau et l'absorbeur
30 nécessite un soin à positionner lesdits composants puisque l'aire de surface de contact est très petite, en particulier dans le cas d'un soudage au laser dans lequel la dimension du joint de soudure est très petite.

Le DE 103 06 532 présente un panneau de collecteur de chaleur solaire non à vide comprenant : une structure en forme de boîte creuse, et des tuyaux enfermés dans des absorbeurs ouverts sur leurs côtés latéraux.

5 Par conséquent, un objectif de la présente invention consiste à fournir un panneau solaire qui permet de surmonter ces inconvénients et dans lequel la dispersion thermique due à la fois au rayonnement et à la conduction est limitée.

10 Un objectif particulier consiste à fournir un panneau solaire thermique sous vide à double face comprenant une pompe à sorbeur qui n'altère pas les propriétés d'absorption et de réflexion du rayonnement électromagnétique des absorbeurs thermiques.

15 Un autre objectif consiste à fabriquer le tuyau à fluide thermovecteur avec un matériau moins coûteux et plus robuste que le cuivre, tout en limitant en même temps ses pertes en rayonnement infrarouge.

20 Un autre objectif consiste à améliorer le transfert thermique entre l'absorbeur de chaleur et le fluide thermovecteur s'écoulant dans le tuyau, tout en facilitant en même temps leur soudage, en particulier par la technique au laser.

Lesdits objectifs sont atteints grâce à un panneau solaire sous vide à double face dont les caractéristiques selon l'invention sont définies dans les revendications.

25 L'invention sera plus apparente à partir de la description détaillée suivante d'un mode de réalisation de celle-ci, donné à titre d'exemple non restrictif et illustré dans les dessins annexés, où :

La figure 1 est une vue en perspective du panneau solaire conformément à l'invention ;

La figure 2 est une vue en perspective éclatée du panneau solaire ;

30 La figure 3 est une coupe à travers le panneau solaire conformément à l'invention ;

La figure 4 est une vue en perspective d'un élément en forme de boîte traversé par le tuyau de transport du fluide thermovecteur ;

La figure 5 est une vue en perspective d'une partie du second absorbeur de chaleur avec l'élément support transversal et les plaques de criblage ;

5 La figure 6 est une coupe à travers le panneau solaire au niveau de l'élément support transversal.

La figure 1 montre une vue en perspective du panneau solaire thermique sous vide à double face. Ce panneau solaire comprend une enveloppe étanche au vide 30 capable de supporter la pression
10 atmosphérique quant évacuée, comprenant une première et seconde plaques en verre opposées 1, 2 transparentes au rayonnement solaire. Les première et seconde plaques définissent les deux surfaces actives du panneau solaire. Les panneaux à face unique présentent une seule plaque en verre, tandis qu'une seconde plaque opposée à la première est
15 faite en métal. Les panneaux à double face présentent deux plaques en verre opposées pour augmenter la production d'énergie thermique et où la seconde plaque en verre est traversée par le rayonnement solaire réfléchi par un miroir.

Comme on peut l'observer dans la vue éclatée de la figure 2,
20 l'enveloppe étanche au vide 30 est délimitée latéralement par un cadre métallique périphérique 3. Le cadre périphérique 3 rejoint les plaques en verre 1, 2 au moyen d'une courroie métallique flexible 4, 5 jointe au cadre périphérique 3 par soudage, brasage fort ou brasage tendre et aux plaques en verre 1, 2 par un joint en verre-métal du type en vrac, où le
25 bord de la courroie métallique est intégré dans le verre d'après le brevet MI2008A 001245.

Les premiers absorbeurs de chaleur 11 sont placés à l'intérieur de l'enveloppe 30 pour faire face à la première plaque en verre 1 de façon à recevoir et absorber le rayonnement solaire qui, au moyen de la première
30 plaque en verre 1, entre dans l'enveloppe 30 directement. Les seconds absorbeurs de chaleur 12 sont placés de nouveau à l'intérieur de ladite enveloppe 30 mais opposés à la seconde plaque en verre 2 de façon à

recevoir et absorber le rayonnement solaire qui entre dans l'enveloppe 30 au moyen de la seconde plaque en verre 2. Ces absorbeurs de chaleur 11, 12 sont des feuilles métalliques rectangulaires dont la surface est parallèle aux plaques en verre 1, 2. Un revêtement sélectif, très absorbant de la lumière visible mais transparent aux rayons infrarouges, est placé sur ces surfaces desdits absorbeurs de chaleur 11, 12 opposées aux plaques en verre 1, 2.

Ces absorbeurs de chaleur 11, 12 sont préférablement faits en cuivre couvert d'un revêtement d'absorption sélectif, puisque le cuivre présente une conductivité thermique élevée et un faible coefficient d'émission infrarouge. En effet, l'émission infrarouge par un revêtement d'absorption sélectif dépend du métal constitutif de la surface, vu que le revêtement d'absorption sélectif est transparent au rayonnement infrarouge. Un revêtement transparent à la lumière visible et réflecteur des rayons infrarouges est également placé sur cette surface des plaques en verre 1, 2 opposée aux absorbeurs de chaleur 11, 12 à l'intérieur de l'enveloppe 30. De cette manière, le rayonnement visible en provenance du soleil passe à travers les plaques en verre avec une faible atténuation, pour atteindre les surfaces des absorbeurs de chaleur 11, 12 où il est absorbé et transformé en énergie thermique tandis qu'en même temps le rayonnement infrarouge des absorbeurs de chaleur, déjà très limité par le fait que ces absorbeurs sont faits en cuivre et couverts par un revêtement sélectif transparent au rayonnement infrarouge, est largement réfléchi par le revêtement placé à la surface des plaques en verre 1, 2 à l'intérieur de l'enveloppe qui est transparente à la lumière visible mais réfléchissante du rayonnement infrarouge, réduisant davantage les pertes vers l'extérieur.

Un côté du cadre périphérique est muni de deux ports de sortie 20, agencés de façon à permettre à un tuyau 13 d'entrer et de quitter l'enveloppe étanche au vide 30 avec des pertes de transfert thermique minimales dues à la conduction, et d'un port de pompage 19 pour évacuer ladite enveloppe 30. Le tuyau 13 entre et quitte ladite enveloppe 30 en passant entre lesdits premier et second absorbeurs de chaleur 11, 12 et

sert à transporter le fluide thermovecteur, généralement l'eau, qui doit être chauffé en passant à travers l'enveloppe du panneau solaire 30. La surface externe du tuyau 13 est en contact avec les premier et second absorbeurs de chaleur 11, 12, qui sont généralement soudés le long de deux génératrices opposées de la surface externe du tuyau 13, de façon à
5 créer un bon contact thermique entre les absorbeurs de chaleur 11, 12 et le tuyau 13, pour un transfert d'énergie thermique aisé par conduction à partir des absorbeurs 11, 12 au tuyau 13 et au fluide s'y écoulant. Pour élargir la surface de contact tout en facilitant en même temps le soudage
10 et en améliorant la conductivité thermique entre les absorbeurs de chaleur 11, 12 et le tuyau 13, le tuyau 13 peut avoir avantageusement une forme aplatie en son centre, pour former une surface de contact plate 21, 22 avec chacun des absorbeurs de chaleur 11, 12 (Figure 3). Cette surface de contact plate 21, 22 permet un soudage plus aisé entre le tuyau 13 et
15 les absorbeurs de chaleur 11 et 12. Elle permet aussi une meilleure transmission de chaleur entre les absorbeurs de chaleur 11, 12 et le tuyau 13.

Pour limiter les dispersions par rayonnement entre le tuyau 13 et le cadre périphérique 3, qui est à une température inférieure, le panneau
20 solaire comprend des éléments en forme de boîte 10 entourant la surface externe du tuyau 13, pour former un écran rayonnant pour le rayonnement infrarouge sortant. Le tuyau 13 qui, après son entrée dans l'enveloppe 30, est généralement incurvé pour former une bobine en serpentin, entre et quitte lesdits éléments en forme de boîte 10. De cette manière, le tuyau
25 13, en passant à l'intérieur des éléments en forme de boîte 10 qui masquent son émission rayonnante, peut être fait en matériaux différents du cuivre, comme l'aluminium, qui est décidément moins coûteux, même s'il a un coefficient d'émission infrarouge bien supérieur, en particulier à une température élevée.

30 De tels éléments en forme de boîte 10 définissent un volume optiquement fermé autour de la surface latérale externe du tuyau 13 et comprennent lesdits premier et second absorbeurs de chaleur 11, 12,

leurs bords 14, 15, 16, 17 étant inclinés pour entourer la surface latérale externe du tuyau 13, et un premier et un second tampons 31, 32 pour refermer optiquement les extrémités de base de l'élément en forme de boîte 10. Dans la figure 2, on peut observer que ces tampons 31 et 32 s'étendent pour masquer aussi latéralement le tuyau 13. Les bords 14, 15, 16, 17 des absorbeurs de chaleur 11, 12 sont incurvés pour obtenir une section essentiellement en "C" pour chaque absorbeur de chaleur 11, 12 individuel (Figure 3). De cette manière, un premier et un second absorbeur de chaleur 11, 12 forment ensemble la surface latérale de l'élément en forme de boîte 10. Les bords 14, 15, 16, 17 des premier et second absorbeurs de chaleur 11, 12 se chevauchent optiquement par rapport à la surface externe du tuyau 13 pour capturer le rayonnement thermique émis latéralement par ledit tuyau 13. Un bord de chaque absorbeur de chaleur pourrait aussi être incurvé pour conférer à l'absorbeur de chaleur une section en "L". Deux absorbeurs de chaleur couplés ayant une section en "L" pourraient former la surface latérale de l'élément en forme de boîte. L'élément en forme de boîte 10 peut présenter une surface latérale entourant le tuyau 13, mais être ouvert sur les extrémités de base en raison de l'absence des tampons 31 et 32. Ceci aggraverait la perte de rayonnement, mais pourrait être justifié par des coûts de production inférieurs du panneau solaire. La pompe à sorbeur formée du revêtement de film mince est placée sur la surface interne dudit élément en forme de boîte 10, non interférant avec les propriétés d'absorption sélective du revêtement placé en revanche sur la surface externe. Les pompes à sorbeur en vrac d'un type différent pourraient également être insérées dans l'élément en forme de boîte 10, par exemple en forme de pilules ou de bandes, qui sont placées en contact avec la surface interne desdits éléments en forme de boîte. Finalement un sorbeur flash peut être évaporé sur la surface interne de l'élément en forme de boîte 10 en appliquant une énergie en forme d'ondes électromagnétiques, de façon à se déposer sur la surface interne de l'élément en forme de boîte 10 suite à un ordre provenant de l'extérieur. Aucune de ces pompes à sorbeur

n'interfère avec les propriétés d'absorption et d'émission du rayonnement électromagnétique des absorbeurs de chaleur 11, 12 étant donné que ceux-ci sont tous placés à l'intérieur de l'élément en forme de boîte 10.

L'enveloppe 30 est soutenue par un cadre support 26 comprenant
5 des éléments longitudinaux 27 et un élément transversal 28. Lesdits éléments longitudinaux 27 et élément transversal 28 servent aussi à supporter le tuyau 13 qui forme une bobine en serpentin à l'intérieur de ladite enveloppe. Plusieurs tuyaux parallèles pourraient également entrer et quitter l'enveloppe 30 sans former de bobine en serpentin, auquel cas
10 plusieurs ports de sortie 20 seraient présents.

Les figures 5 et 6 montrent que les absorbeurs de chaleur 11 et 12 présentent des trous 18 à travers lesquels les supports 24 du tuyau 13 passent sans entrer en contact avec les absorbeurs 11 et 12 et que des pièces de verrouillage 33 sont fixées par des vis aux extrémités de ces
15 supports 24. Ces trous 18 sont fermés par des plaques en cuivre 23 fixées aux supports 24 du tuyau 13, pour masquer le rayonnement infrarouge quittant l'intérieur des éléments en forme de boîte 10 à travers lesdits trous 18. L'absence de ces plaques 23 réduirait l'efficacité du panneau solaire global, comme les trous 18, bien que petits, présentent l'émissivité
20 d'un corps noir, égale à environ vingt fois celle d'un bon revêtement sélectif placé sur une surface en cuivre.

Durant l'opération, le panneau solaire conformément à l'invention reçoit le rayonnement solaire, qui passe à travers les plaques en verre 1 et 2, est absorbé par la surface des absorbeurs de chaleur 11, 12 couverts
25 par le revêtement sélectif, et est transformé en énergie thermique. Cette énergie thermique est transférée au tuyau 13 essentiellement par conduction puis au fluide thermovecteur à l'intérieur du tuyau 13 par convection. Les pertes de convection des absorbeurs et du tuyau en direction des parois externes de l'enveloppe 30 sont supprimées par le
30 vide établi dans l'enveloppe 30, tandis que les pertes de rayonnement du tuyau 13 sont fortement limitées par les éléments en forme de boîte 10 qui entourent les diverses parties de bobine en serpentin formées par le tuyau

13 pour agir à titre d'écrans rayonnants de ce dernier. Le vide élevé à l'intérieur de l'enveloppe 30 est maintenu avec le temps par la pompe à sorbeur placée à l'intérieur de l'élément en forme de boîte 10.

5 Un des avantages du panneau solaire conformément à l'invention est que la pompe à sorbeur placée à l'intérieur de l'élément en forme de boîte ne modifie pas les propriétés d'émission infrarouge des absorbeurs de chaleur, permettant ainsi une utilisation efficace du revêtement d'absorption sélectif afin d'optimiser l'absorption de rayonnement solaire.

10 Un autre avantage est que les pertes de rayonnement du tuyau sont fortement limitées par la présence des éléments en forme de boîte l'entourant pour former un écran rayonnant de ce dernier. Ceci permet de fabriquer le tuyau 13, utilisé pour transporter le fluide thermovecteur, d'un matériau moins coûteux que le cuivre, par exemple l'aluminium, tout en limitant toujours les pertes de rayonnement.

15 Les surfaces de contact plates 21, 22 du tuyau 13 permettent d'élargir la surface de contact entre le tuyau 12 et les absorbeurs de chaleur 11, 12, améliorant ainsi le transfert thermique au fluide thermovecteur s'écoulant à travers le tuyau et en même temps facilitant son soudage par la technique au laser.

20 Un autre avantage est que l'élément en forme de boîte peut être facilement et économiquement produit en inclinant les bords des absorbeurs de chaleur pour former une forme en "C".

25

30

REVENDEICATIONS

1. Un panneau solaire thermique sous vide à double face comprenant une enveloppe étanche au vide (30) capable de supporter la pression atmosphérique quand évacuée, ladite enveloppe (30) comprenant une
5 première et une seconde plaques (1, 2) transparentes au rayonnement solaire et opposées pour définir les deux surfaces actives du panneau solaire, un cadre périphérique (3) définissant la surface latérale de ladite enveloppe (30), ledit panneau solaire comprenant au moins un premier absorbeur de chaleur (11) placé à l'intérieur de ladite enveloppe (30) et
10 capable de recevoir le rayonnement solaire à travers la première plaque en verre (1), un second absorbeur de chaleur (12) placé à l'intérieur de ladite enveloppe (30) et capable de recevoir le rayonnement solaire à travers la seconde plaque en verre (2), un tuyau (13) qui entre et quitte ladite enveloppe (30) en passant entre lesdits premier et second
15 absorbeurs de chaleur (11, 12) et présentant une surface externe en contact avec lesdits premier et second absorbeurs de chaleur (11, 12), qui se caractérise par le fait que ledit panneau solaire comprend à l'intérieur de l'enveloppe (30) un élément en forme de boîte (10) entourant la surface externe du tuyau (13).
- 20 2. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se caractérise par le fait que ledit élément en forme de boîte (10) présente une surface latérale comprenant lesdits premier et second absorbeurs de chaleur (11, 12).
3. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se
25 caractérise par le fait que ledit élément en forme de boîte (10) définit un volume qui est optiquement fermé autour d'au moins une partie de la surface externe du tuyau (13).
4. Un panneau solaire conformément à la revendication 2, qui se
30 caractérise par le fait que ledit élément en forme de boîte (10) présente deux extrémités de base et comprend un premier et un second tampons (31, 32) capables de fermer optiquement lesdites extrémités de base.
5. Un panneau solaire conformément à la revendication 2, qui se

caractérise par le fait que lesdits absorbeurs de chaleur (11, 12) ont des bords (14, 15, 16, 17) qui sont incurvés de façon à définir une section essentiellement en forme de C pour chaque absorbeur de chaleur (11, 12).

5 6. Un panneau solaire conformément à la revendication précédente, qui se caractérise par le fait que lesdits bords (14, 15, 16, 17) des premier et second absorbeur de chaleur (11, 12) se chevauchent optiquement par rapport à la surface externe du tuyau (13).

7. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se
10 caractérise par le fait que ledit tuyau (13) présente sur sa surface externe une surface plate (21, 22) en contact avec un absorbeur de chaleur (11, 12).

8. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se
15 caractérise par le fait qu'il comprend une pompe à sorbeur placée à l'intérieur dudit élément en forme de boîte (10).

9. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se
20 caractérise par le fait que ledit élément en forme de boîte (10) présente des trous (18) pour le passage de supports (24) adaptés pour soutenir le tuyau (13), ledit panneau solaire comprenant de petites plaques (23) capables de masquer le rayonnement infrarouge sortant par les trous (18).

10. Un panneau solaire conformément à la revendication 1, qui se
25 caractérise par le fait que ledit tuyau (13) de transport d'un fluide thermovecteur est fait en matériaux différents du cuivre, comme l'aluminium, qui sont décidément moins coûteux même s'ils ont un coefficient d'émission infrarouge bien supérieur, en particulier à une température élevée.

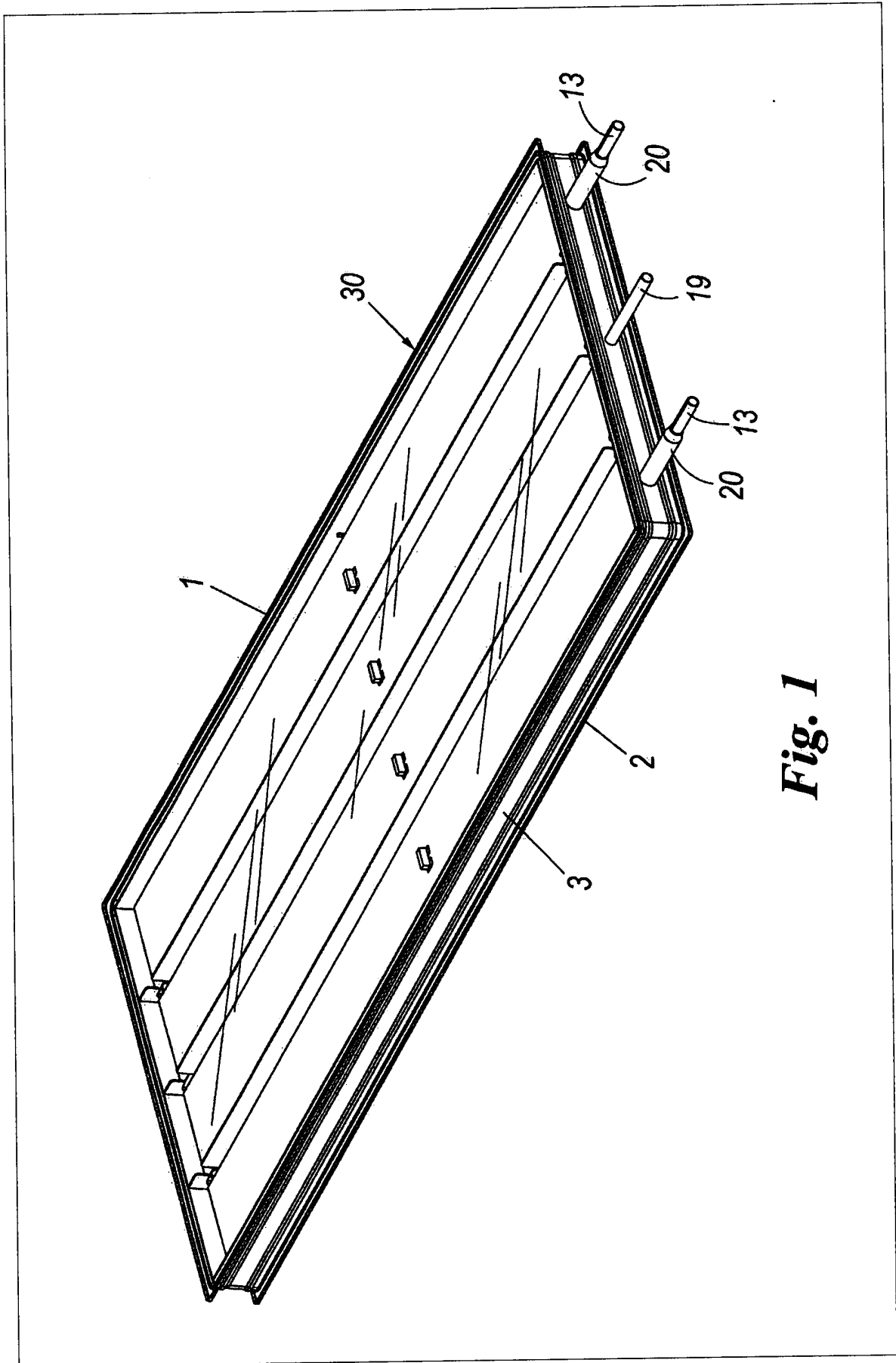


Fig. 1

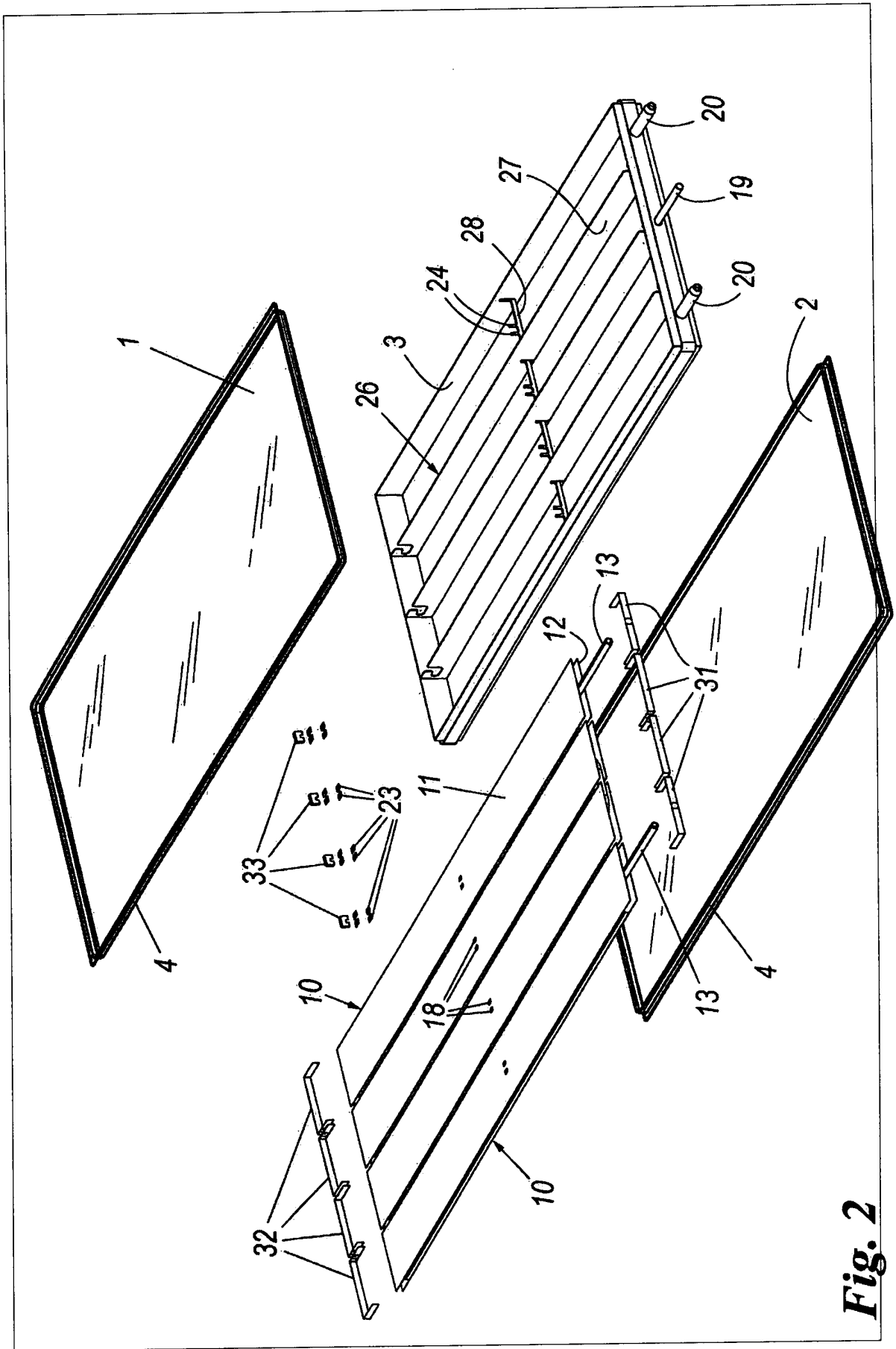


Fig. 2

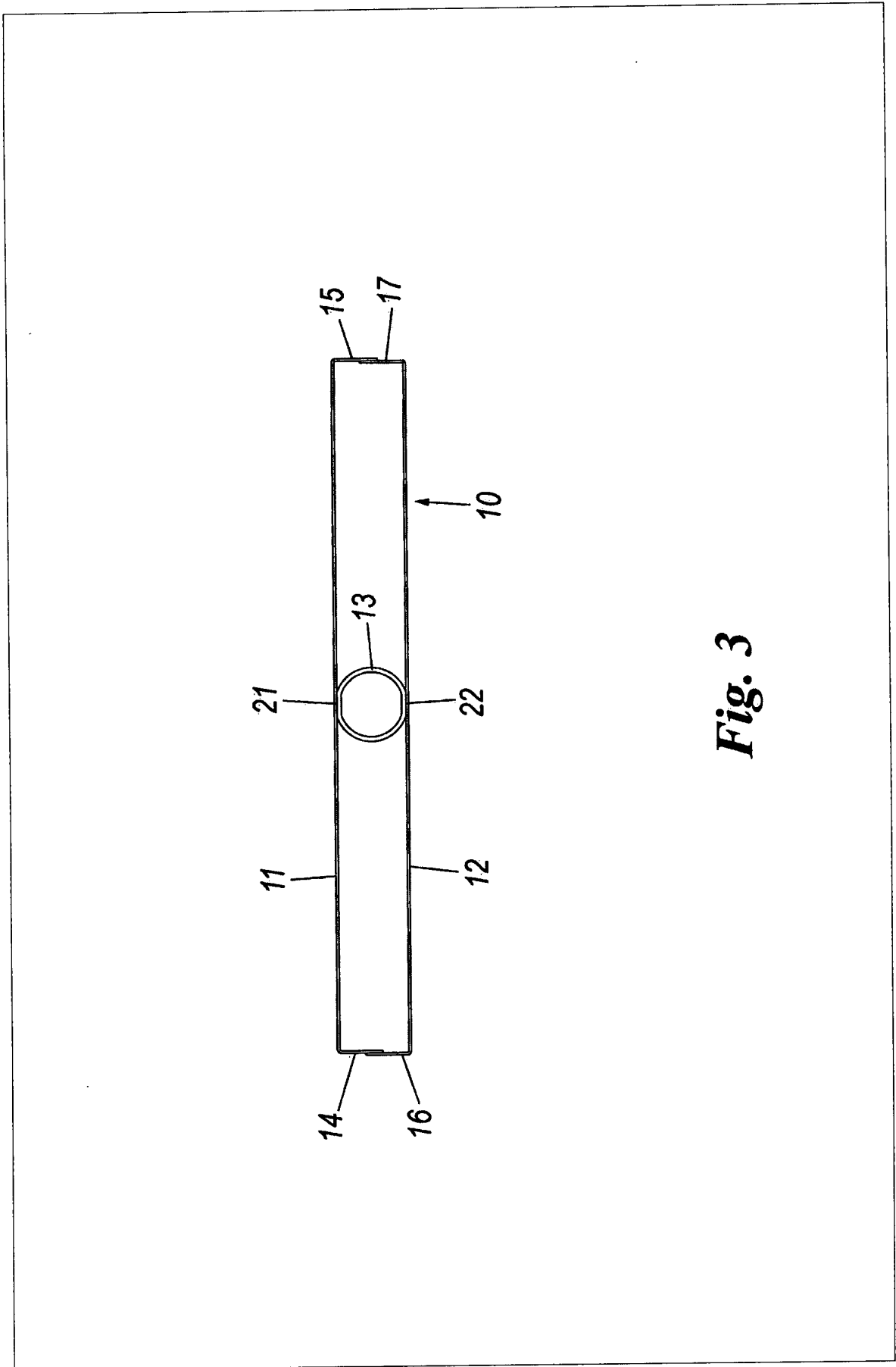


Fig. 3

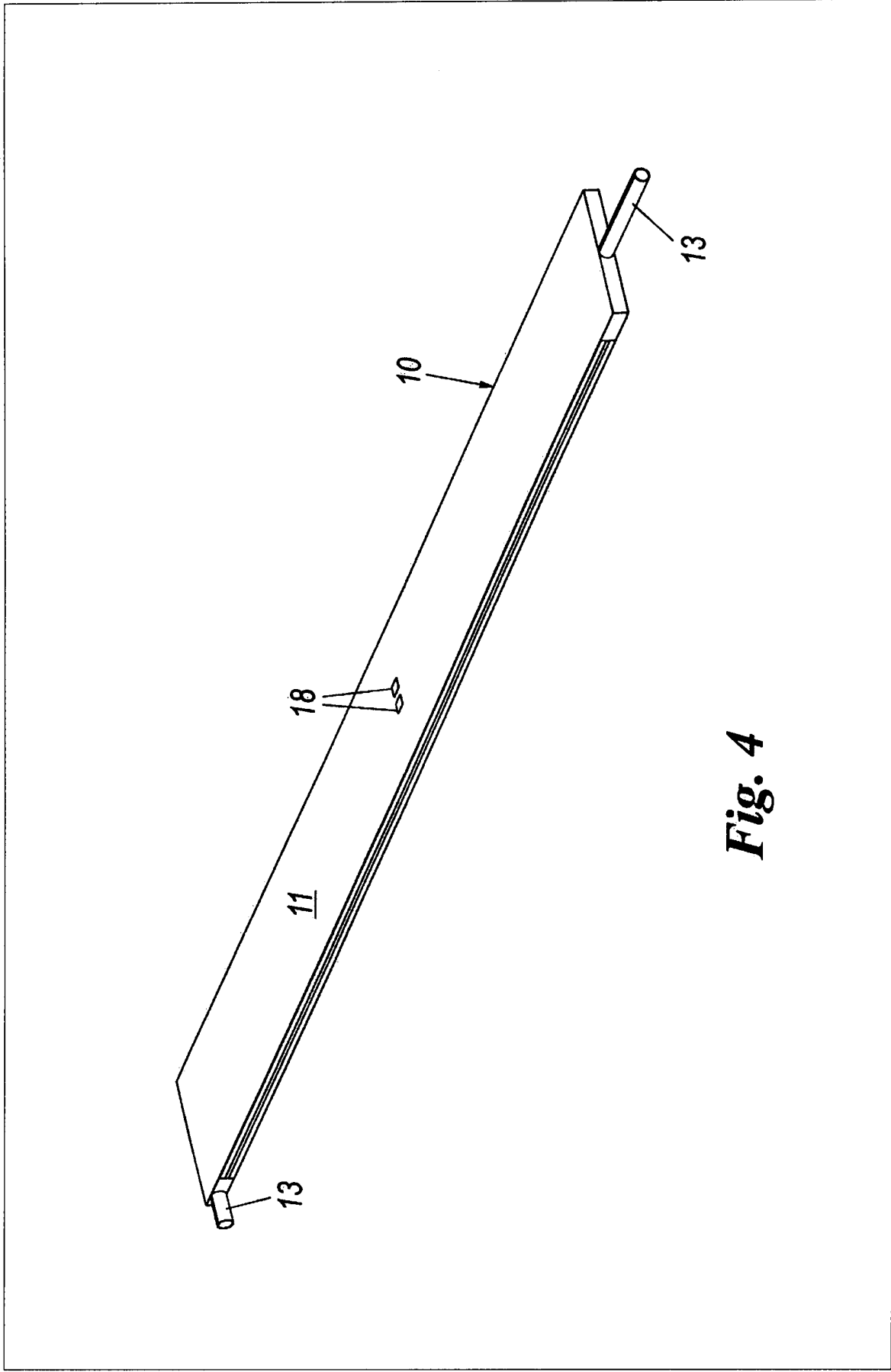


Fig. 4

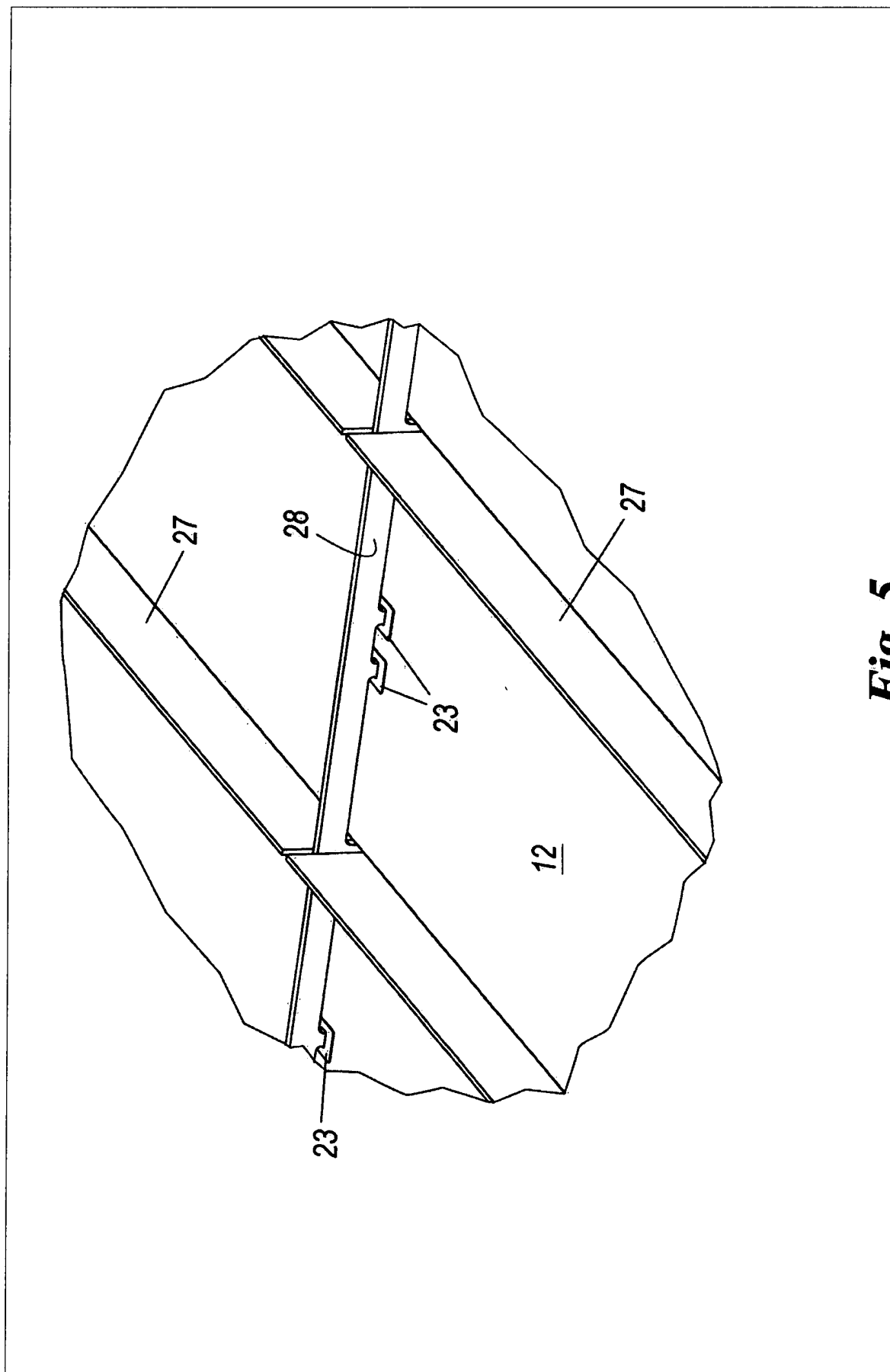


Fig. 5

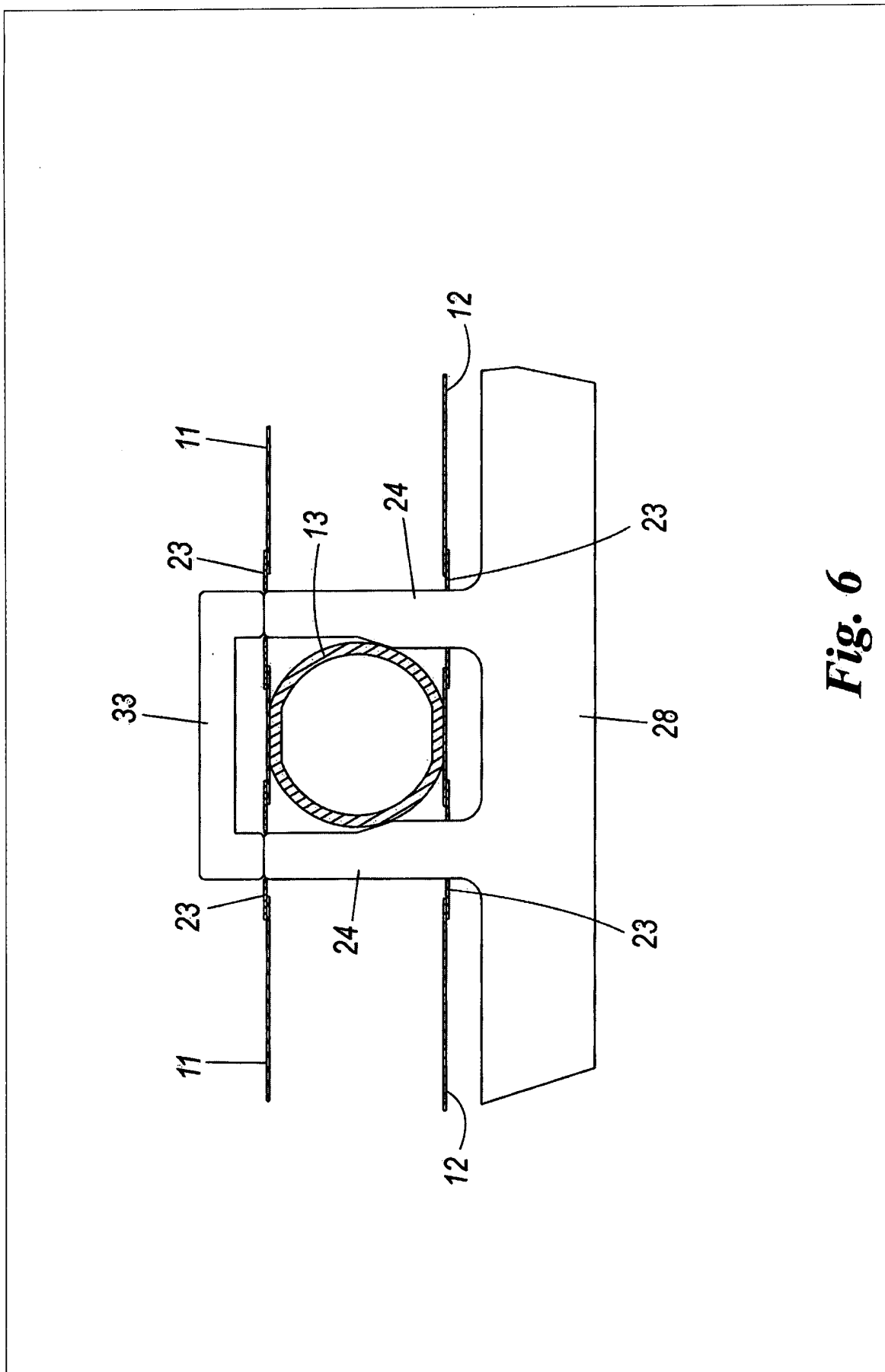


Fig. 6