

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 10.09.90.

⑫③ Priorité : 18.12.89 DE 3941706.

⑫④ Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 21.06.91 Bulletin 91/25.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche : *Le rapport de recherche n'a pas été  
établi à la date de publication de la demande.*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : Société dite: GESELLSCHAFT FÜR  
STRAHLEN- UND UMWELTFORSCHUNG MBF  
(GSF) — DE.

⑦② Inventeur(s) : Beyer Wolfgang, Heinze Armin et  
Unsold Eberhard.

⑦③ Titulaire(s) :

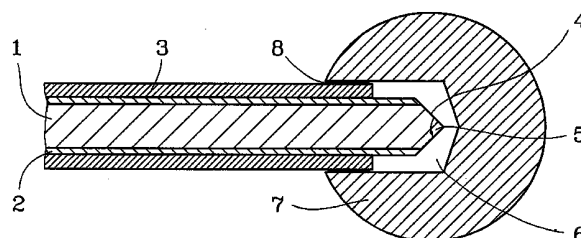
⑦④ Mandataire : Cabinet Herrburger.

⑤④ Dispositif d'extrémité d'un guide de lumière d'émission et de réception isotrope.

⑤⑦ a) Dispositif d'extrémité d'un guide de lumière, d'émission et de réception isotrope

b) Dispositif caractérisé en ce que l'extrémité distale du guide d'ondes lumineuses (1, 2, 3) est constituée en forme de cône et est, à ses endroits de contact (8) avec l'enveloppe (3) du guide d'ondes lumineuses, entourée par le corps de dispersion (7) relié de manière fixe à celui-ci, de telle sorte qu'il se crée une cavité (6) entre l'extrémité du guide d'ondes lumineuses (4) et le corps de dispersion et que ce corps de dispersion (7) est une sphère creuse.

c) L'invention concerne un dispositif d'extrémité d'un guide de lumière, d'émission et de réception isotrope.



"Dispositif d'extrémité d'un guide de lumière, d'émission et de réception isotrope"

5 L'invention concerne un dispositif destiné à l'émission isotrope et à la réception de lumière qui est constitué par un guide d'ondes lumineuses, dont l'extrémité distale se trouve dans un corps de dispersion.

10 Sur des dispositifs de cette catégorie un corps de dispersion faiblement absorbant est fixé sur l'extrémité distale plane d'un guide d'ondes lumineuses.

15 Avec des émetteurs de rayonnement isotropes le guide d'ondes lumineuses émet un faisceau de lumière divergent, symétrique par rapport à son axe (valeur maximale théorique de la divergence ou de l'acceptation) de fibres de verre en quartz courante : env.  $30^\circ$ ).

20 - les photons ayant pénétré dans le corps de dispersion changent plusieurs fois de direction en fonction du parcours effectué et de la densité des particules dispersées. Cela n'aboutit que dans le cas idéal à un rayonnement non dirigé.

25 - avec des détecteurs isotropes, des photons provenant de directions quelconques de l'espace pénétrant dans un corps de dispersion analogue à une

sphère dans lequel ils perdent leur direction initiale. Les photons qui atteignent la surface d'extrémité plane du guide de lumière à l'intérieur de l'angle d'acceptation peuvent pénétrer dans le guide d'ondes lumineuses.

Ces principes sont basés sur toutes les études jusqu'ici connues d'émetteurs de rayonnement ou de détecteurs isotropes.

On a uniquement fait varier jusqu'ici le mode d'exécution du corps de diffusion ou sa fixation sur le guide d'ondes lumineuses, mais non la géométrie de la surface d'extrémité du guide d'ondes lumineuses afin d'influer de manière adéquate sur sa caractéristique de rayonnement ou de détection.

Le brevet US, N° 4 693 556, Mc Caughan, Jr. se rapporte à un procédé de réalisation de corps de dispersion qui utilise une suspension durcissant aux UV à base de colle et de particules dispersées. Celle-ci est appliquée par couches sur une extrémité du guide d'ondes lumineuses plane, puis durcies et on obtient ainsi le corps de dispersion après plusieurs phases d'élaboration.

Dans "Advances in Laser Medicine, Safety and Laser tissue interaction (Editeurs : G.J. Müller, H.P : Berlien) ecomed, Landsberg, 1989, pages 358-368 W.M. Star et J.P.A. Marijnissen décrivent la fabrication de détecteurs isotropes à partir de sphères de matières plastiques percées et collées sur l'extrémité du guide d'ondes lumineuses.

Dans "Photodynamic Therapy of Tumors and other Diseases (Editeurs : G. Jori, C. Perria), Liberaia progetto éditeur padova, 1985, pages 371-385, V. Russo décrit, entre autres, des extrémités du guide d'ondes lumineuses coniques distales. Toutefois il ne s'agit ici que d'une émission de lumière latérale (de

forme circulaire). Il n'est pas établi de rapport mathématique entre l'angle du cône et la caractéristique de rayonnement. (La technique de corrosion utilisée pour la réalisation des extrémités du cône est, de toute manière, difficilement reproductible).

5 Avec toutes les solutions connues la caractéristique de rayonnement du guide d'ondes lumineuses dirigée axialement n'est transformée que de manière incomplète en une caractéristique symétrique de  
10 sphère.

Un rayonnement trop inefficace dans l'hémisphère arrière s'avère particulièrement critique. Cela est dû à :

Une dégradation par des éléments reliant le  
15 corps de dispersion et le guide d'ondes lumineuses ainsi que par le guide d'ondes lumineuses lui-même (des éléments de liaison sont nécessaires lorsque la densité de puissance sur la surface d'entrée de lumière du corps de dispersion doit être réduite par  
20 une augmentation de la distance entre le guide d'ondes lumineuses et le corps de dispersion).

Une possibilité limitée d'optimisation de la déviation de la lumière, lorsque les dimensions du corps de dispersion (applications endoscopiques) et  
25 les pertes par absorption (surchauffe du corps de dispersion) devant être maintenues à un faible niveau.

Les émetteurs de rayonnement isotropes courants (diamètre : 3-4 mm environ) sont trop grands pour la plupart des canaux d'endoscopes et de  
30 cathéters. Il faut donc s'efforcer de réduire les dimensions des émetteurs. On demande en même temps des puissances d'émission d'au moins 2 W. Les deux objectifs ne peuvent pas être atteints en utilisant des extrémités de guides de lumière planes, car il en  
35 résulterait une dégradation inacceptable de la carac-

téristique de rayonnement.

Les détecteurs isotropes connus sont caractérisés par une faible sensibilité.

5 Le guide de lumière pourvu d'une extrémité de fibres planes possède par rapport à la surface du corps de dispersion une petite surface d'entrée à laquelle les photons ne peuvent accéder que dans un secteur d'angle solide considérablement resserré (acceptation maximale environ  $30^\circ$ ).

10 Afin de garantir une déviation suffisante de la lumière dans le corps de dispersion, on doit choisir une densité des particules de dispersion suffisamment élevée pour qu'une grande partie de la lumière incidente soit rétrodiffusée par le corps de  
15 dispersion.

L'invention se fixe pour objet de mettre au point un dispositif pour l'émission et la détection de lumière dans des cavités difficiles d'accès au moyen du guide d'ondes lumineuses par exemple pour des  
20 applications médicales du laser telles que la thérapie photodynamique intégrale d'organes avec des cavités. Il convient à cet effet de réaliser une caractéristique directionnelle aussi symétrique que possible avec une sphère et avec de petits diamètres.

25 Ce but est atteint en ce que l'extrémité distale du guide d'ondes lumineuses est constituée en forme de cône et est, à ses endroits de contact avec l'enveloppe du guide d'ondes lumineuses, entourée par le corps de dispersion relié de manière fixe à celui-ci,  
30 de telle sorte qu'il se crée une cavité entre l'extrémité du guide d'ondes lumineuses et le corps de dispersion.

Suivant une autre caractéristique de l'invention le corps de dispersion est une sphère creuse.

35 Suivant une autre caractéristique de l'in-

vention le corps de dispersion est une sphère avec un trou borgne destiné à la réception du guide d'ondes lumineuses.

5 Suivant une autre caractéristique de l'invention l'extrémité du guide d'ondes lumineuses est un cône tronqué.

Le dispositif propre à l'invention permet notamment d'obtenir les avantages suivants.

10 Le corps de dispersion est déchargé fonctionnellement, autrement dit il doit uniquement égaliser la caractéristique d'émission de rayonnement ou de détection de l'extrémité du guide de lumière.

15 Le nombre total des processus de dispersion nécessités par un rayonnement ou une détection pourvue d'une symétrie sphérique se trouve abaissé. Il résulte de la réduction possible des particules de dispersion (densité) :

20 Une moindre perte par absorption dans le corps de dispersion et, par suite, une valeur de seuil élevée pour une défaillance de l'émetteur de rayonnement par surchauffe.

Une réduction des pertes de détection par suite d'une rétrodiffusion sur la surface du corps de dispersion.

25 Par rapport à l'extrémité de fibres planes, l'extrémité en cône irradie toujours une surface beaucoup plus grande, par exemple dans un perçage cylindrique du corps de dispersion. On peut donc éviter une réduction de la densité de puissance au  
30 moyen d'une fixation du guide de lumière décalée vers l'arrière.

Les obscurcissements vers l'arrière sont ainsi réduits sur les fibres conduisant la lumière elles-mêmes et, de ce fait, minimisés.

35 Par rapport aux modes d'exécution conven-

tionnels, on peut obtenir des émetteurs de moindres dimensions et une caractéristique de rayonnement plus homogène pour une capacité de charge au moins égale.

L'extrémité du guide d'ondes lumineuses en  
5 forme de cône détecte, sur un grand secteur, l'angle d'entrée prévu et possède ainsi une plus grande sensibilité qu'une extrémité du guide d'ondes lumineuses plane.

Si on le désire, on peut aussi effectuer au  
10 moyen d'une variation appropriée de l'angle du cône, une irradiation accouplée de l'hémisphère arrière.

Cela s'avère avantageux lorsque, par suite de l'intégration de l'émetteur dans un cathéter, il y a lieu de craindre un obscurcissement accru par le  
15 cathéter.

Avec la thérapie photodynamique intégrale après la concentration sélective de tumeurs par un photosensibilisateur dans la paroi de l'organe, il est appliqué aux tumeurs et aux tissus sains voisins une  
20 dose de lumière commune qui serait, dans le cas idéal, constante localement sur toute la paroi de l'organe.

L'éclairage homogène nécessaire à cet effet est obtenu dans les meilleures conditions dans des organes analogues à une sphère, tels que la vessie, à  
25 l'aide d'un émetteur "isotrope" de rayonnement présentant une symétrie sphérique approximative.

En partant de valeurs expérimentales cliniques, il convient d'imposer tout d'abord les exigences suivantes à un émetteur de rayonnement isotrope  
30 approprié.

La caractéristique de rayonnement doit être, autant que possible, égalisée par secteurs et les asymétries doivent être évitées en premier lieu au détriment de l'hémisphère arrière.

35 La puissance d'émission en service continu

doit être d'au moins 2 watts afin de pouvoir appliquer l'énergie lumineuse nécessaire au cours d'un temps de traitement acceptable.

5 L'émetteur doit être intégrable dans des systèmes cliniques d'endoscope ou de cathéter (diamètre des corps de dispersion autoportants ; nettement inférieur à 3 mm).

10 On n'a besoin pour des simulations en laboratoire que d'une moindre puissance d'émission, d'une caractéristique de rayonnement optimisée et, selon l'objet de l'application, de dimensions minimisées.

Deux exemples d'exécution de l'invention vont être expliqués ci-après à l'aide des figures.

15 - les figures 1 et 2 montrent des exemples d'émetteurs de rayonnement et,

- la figure 3 montre une coupe longitudinale centrale de l'extrémité distale du guide d'ondes lumineuses.

20 Les figures 1 et 2 montrent un guide d'ondes lumineuses avec une âme 1, une garniture 2 et une enveloppe 3, dont la surface d'extrémité 4 distale présente une des formes suivantes : cône, tronc de cône, respectivement pourvus d'un angle de cône 5, un milieu 6 entourant l'extrémité du guide d'ondes lumineuses et plus atténué optiquement que celui-ci. Un corps de dispersion 7 qui est fixé sur l'enveloppe du guide d'ondes lumineuses au moyen de l'assemblage 8.

30 Le corps de dispersion est un corps autoportant constitué d'un matériau support (par exemple matière plastique, verre ou matière composite) et d'une substance dispersante (par exemple  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ ) dont le diamètre est inférieur à 5 mm et sur lequel le rapport entre les diamètres du corps de dispersion et

35



l'enveloppe du guide d'ondes lumineuses est supérieur à 2.

La variante I (figure 1) montre un corps de dispersion massif), de préférence en forme de sphère avec un tronc borgne destiné à la réception du guide d'ondes lumineuses et

La variante II (figure 2) un corps de dispersion, de préférence en forme de sphère creuse avec un guidage en forme de tube destiné à la réception et à la fixation du guide d'ondes lumineuses.

Le corps de dispersion 7 a les propriétés optiques suivantes :

Variante I :

- absorption en 7 :  $<10\%$
- rétrodiffusion de 7 en 6 :  $<50\%$
- transmission par 7 :  $>50\%$

Variante II :

- absorption en 7 :  $<10\%$
- rétrodiffusion de 7 en 6 :  $<50\%$
- transmission par 7 :  $<50\%$

L'indice de réfraction nécessaire de l'espace 6 rempli par le milieu (fluide) est fonction de l'indice de réfraction de 1. Le rapport entre les indices de 3 et 6 doit être supérieur à 1,3.

L'extrémité conique du guide d'ondes lumineuses 1, 2, 3 sert au rayonnement de lumière contrôlable dans les hémisphères avant (cycle de rayonnement par rapport à l'axe du guide d'ondes lumineuses :  $\beta_a < 90^\circ$ ) et arrière ( $\beta_a > 90^\circ$ ).

La répartition de lumière sur les deux hémisphères est à obtenir comme suit en fonction de l'angle du cône 5, de la répartition des angles des photons avant leur premier contact avec la surface limite (représentés par les angles entre les parcours des photons et l'axe du guide d'ondes lumineuses) et

le rapport entre les indices de réfraction  $n_1$  et  $n_6$  de 1 et 6.

En admettant que l'âme du guide d'ondes lumineuses soit optiquement plus dense que le milieu environnant, deux phénomènes sont possibles lors d'un contact avec la surface limite d'un photon se trouvant dans le guide d'ondes lumineuses.

- 1) Réfraction : le photon sort du guide d'ondes lumineuse d'après la loi sur la réfraction.
- 2) Réflexion : le photon reste dans le guide d'ondes lumineuses et change de direction d'après la loi sur la réflexion totale.

L'angle limite de la réflexion totale  $\alpha_g$  et de l'angle d'incidence  $\alpha_{10}$  du photon par rapport à la normale à la surface limite détermine lequel de ces phénomènes se produit. On a :

$$\text{- Réfraction} \quad |a| \leq \alpha_g \quad (1)$$

$$\text{- Réflexion totale} \quad |\alpha| > \alpha_g \quad (2)$$

Dans les extrémités du guide d'ondes lumineuses coniques on a pour l'angle d'incidence  $\alpha$  lors du 1<sup>er</sup> contact avec la surface limite (modèle à deux dimensions) :

$$\alpha = 90^\circ - \varphi - \delta/2 \cdot (2n-1) \quad (3)$$

avec  $\varphi$  = angle entre le parcours du photon et l'axe du guide d'ondes lumineuses avant le 1. Contact avec la surface limite (signe positif : le parcours du photon part de l'axe du guide d'ondes lumineuses et inversement, sur la figure 3 : 9),

$\delta$  = angle du cône (angle formé par les

10

génératrices),

On a pour l'angle de rayonnement 11  $\beta_a$  :

$$5 \quad \beta_a = 90^\circ - \delta/2 - \arcsin(n_1/n_6 \sin \alpha)$$

Les parcours de rayons exemplaires 12, 13 et 14 représentés en deux dimensions à la figure 3 sont particulièrement importants pour l'invention.

10 On a pour ceux-ci avec les conditions a) et b) :

a) ouverture d'angle du cône :  $80^\circ \leq \delta \leq 90^\circ$

b) rapport entre les indices de réfraction :

$$n_1/n_6 > 1,3$$

15 12 = Réfraction primaire (n=1) :

$$\alpha \leq \alpha_g$$

$$0 \leq \beta_a \leq \delta$$

20 ce qui aboutit toujours au rayonnement dans l'hémisphère avant.

13 = Réfraction primaire totale (n=1), réfraction secondaire (n=2) :

$$25 \quad n=1 : \quad \alpha > \alpha_g$$

$$n=2 : \quad |\alpha| \leq \alpha_g \quad \text{environ } 70^\circ < \beta_a < \text{environ } 135^\circ$$

30 on peut avec cette partie irradier, selon le choix du paramètre, la seule hémisphère ou bien les deux hémisphères.

14 = Réflexion primaire totale (n=1), réflexion secondaire totale (n=2) :

$$35 \quad n=1 : \quad \alpha > \alpha_g$$

$n=2 : |\alpha| > \alpha_g, \quad \alpha \text{ négatif.}$

cette partie est réfléchiée dans le guide de lumière et est ainsi perdue.

5            On peut, en faisant varier l'angle  $\delta$  (8), la répartition d'angles dans le guide d'ondes lumineuses (soit en réserve d'angles 9) et le saut d'indices de réfraction 1, 6, répartir de manière adéquate l'influence totale sur les photons du guide de lumière sur  
10 les parcours des rayons 12, 13 et 14.

L'extrémité du guide d'ondes lumineuses conique permet ainsi une émission appropriée de lumière dans les deux hémisphères qui est conforme aux propriétés du corps de dispersion.

15            La marge désirée du rapport avant-arrière  $v$ , soit  $1 < v < 3$ , se trouve converti avec les conditions a) et b) (s.o.) :

L'extrémité conique du guide d'ondes lumineuses 4 peut être tronquée pour augmenter la lumière  
20 diffusée dans l'hémisphère avant.

Les corps de dispersion sont exactement construits pour des détecteurs isotropes comme pour des sources lumineuses isotropes.

25            On a ce qui suit pour des extrémités de conducteurs de lumière de forme conique :

à l'extrémité d'un conducteur de lumière des photons pouvant pénétrer dans celui-ci dans un grand secteur angulaire et être ainsi détectés.

30            Les parcours de rayons 12 et 13 définis pour des émetteurs de rayonnement isotropes peuvent être inversés, le parcours de rayons 14 n'intervient pas (géométrie analogue à la figure 3).

- angles de détection  $\beta_e$  (analogues à 11) avec les conditions a) et b) (voir émetteurs) :

35    1 :  $0^\circ < \beta_e < \delta$  pour N.A. (ouverture numérique du

guide d'ondes lumineuses) = 0,4  
 2 : environ  $70^\circ < \beta_e < \text{environ } 135^\circ$  pour N.A. = 0,4

Les taux de détection des parcours des  
 5 rayons 12 et 13 pour les photons qui heurtent la  
 surface latérale du cône dépendant de la répartition  
 de direction des photons - et ainsi indirectement des  
 propriétés optiques du corps de dispersion - de  
 l'ouverture numérique du guide de lumière, de l'angle  
 10 du cône 5 (8) et du saut de réfraction des indices de  
 réfraction 1, 6.

Un choix approprié des paramètres précités  
 permet d'optimiser la caractéristique de détection.

L'idée directrice de l'invention réside dans  
 15 la combinaison d'une extrémité de guide de lumière de  
 forme conique avec un corps de dispersion, les  
 caractéristiques de rayonnement ou de détection étant  
 essentiellement déterminées par l'angle du cône dans  
 un secteur défini.

20

25

30

35

LISTE DES SIGNES DE REFERENCE

- 1) Ame du guide d'ondes lumineuses
- 2) Garniture du guide d'ondes lumineuses
- 5 3) Enveloppe du guide d'ondes lumineuses
- 4) Surface d'extrémité du guide d'ondes lumineuses
- 5) Angle du cône du guide d'ondes lumineuses
- 6) Milieu
- 7) Corps de dispersion
- 10 8) Assemblage du corps de dispersion et de l'enveloppe du guide d'ondes lumineuses
- 9) Angle du parcours des photons et de l'axe du guide d'ondes lumineuses avant le 2ème contact avec la surface limite
- 15 10) Angle d'incidence avec la verticale sur la surface limite
- 11) Angle d'émission de rayonnement et angle de détection avec l'axe du guide d'ondes lumineuses
- 12) Parcours des rayons "calcul primaire"
- 20 13) Parcours des rayons "Réflexion totale primaire, calcul secondaire"
- 14) Parcours des rayons "Réflexion totale primaire, réflexion totale secondaire.

25

30

35

R E V E N D I C A T I O N S

1°) Dispositif destiné à l'émission isotrope et à la réception isotrope de lumière, qui est constitué par un guide d'ondes lumineuses, dont  
5 l'extrémité distale se trouve dans un corps de dispersion, caractérisé en ce que l'extrémité distale du guide d'ondes lumineuses (1, 2, 3) est constituée en forme de cône et est, à ses endroits de contact (8) avec l'enveloppe (3) du guide d'ondes lumineuses,  
10 entourée par le corps de dispersion (7) relié de manière fixe à celui-ci, de telle sorte qu'il se crée une cavité (6) entre l'extrémité du guide d'ondes lumineuses (4) et le corps de dispersion.

2°) Dispositif selon la revendication 1,  
15 caractérisé en ce que le corps de dispersion (7) est une sphère creuse.

3°) Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que le corps de dispersion est une sphère avec un trou borgne destiné à la réception du  
20 guide d'ondes lumineuses (1, 2, 3).

4°) Dispositif selon la revendication 1 ou des suivantes, caractérisé en ce que l'extrémité du guide d'ondes lumineuses (4) est un cône tronqué.

25

30

35

1/3

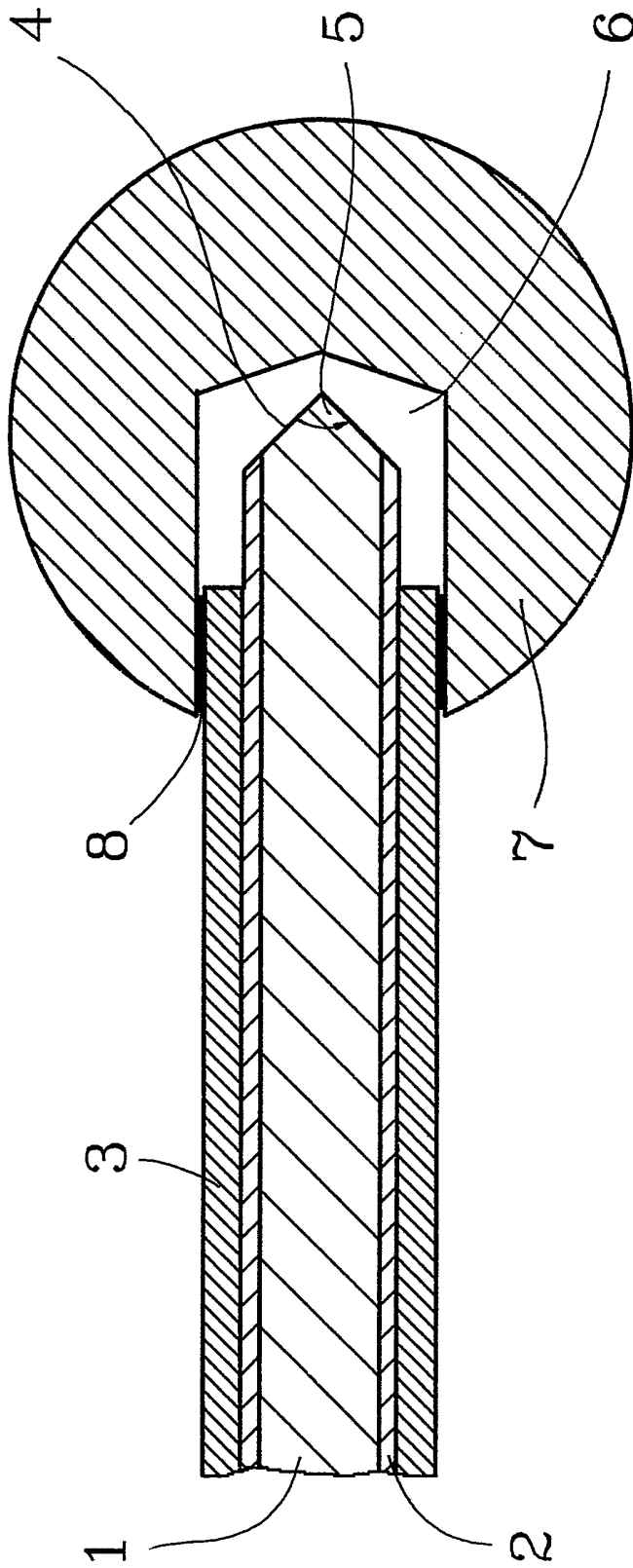


Fig. 1



2/3

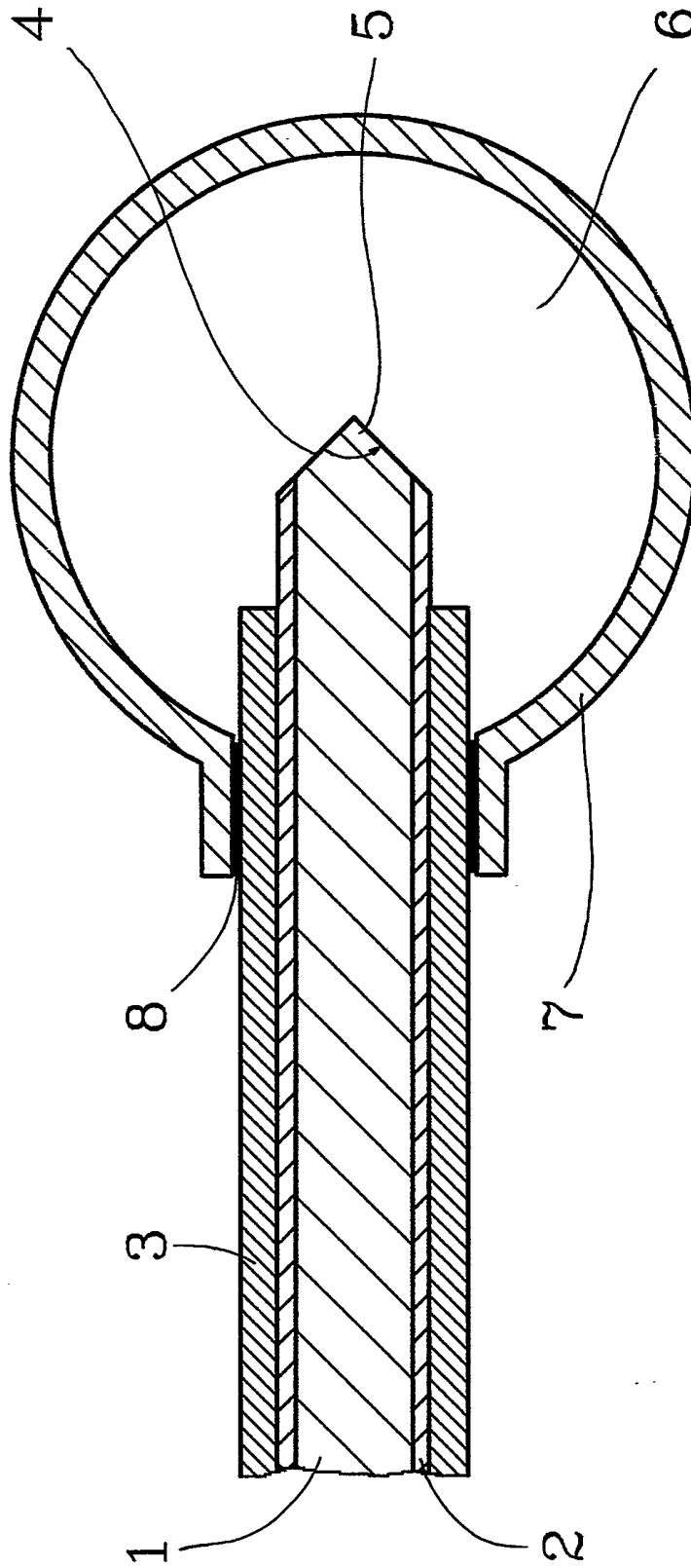


Fig. 2

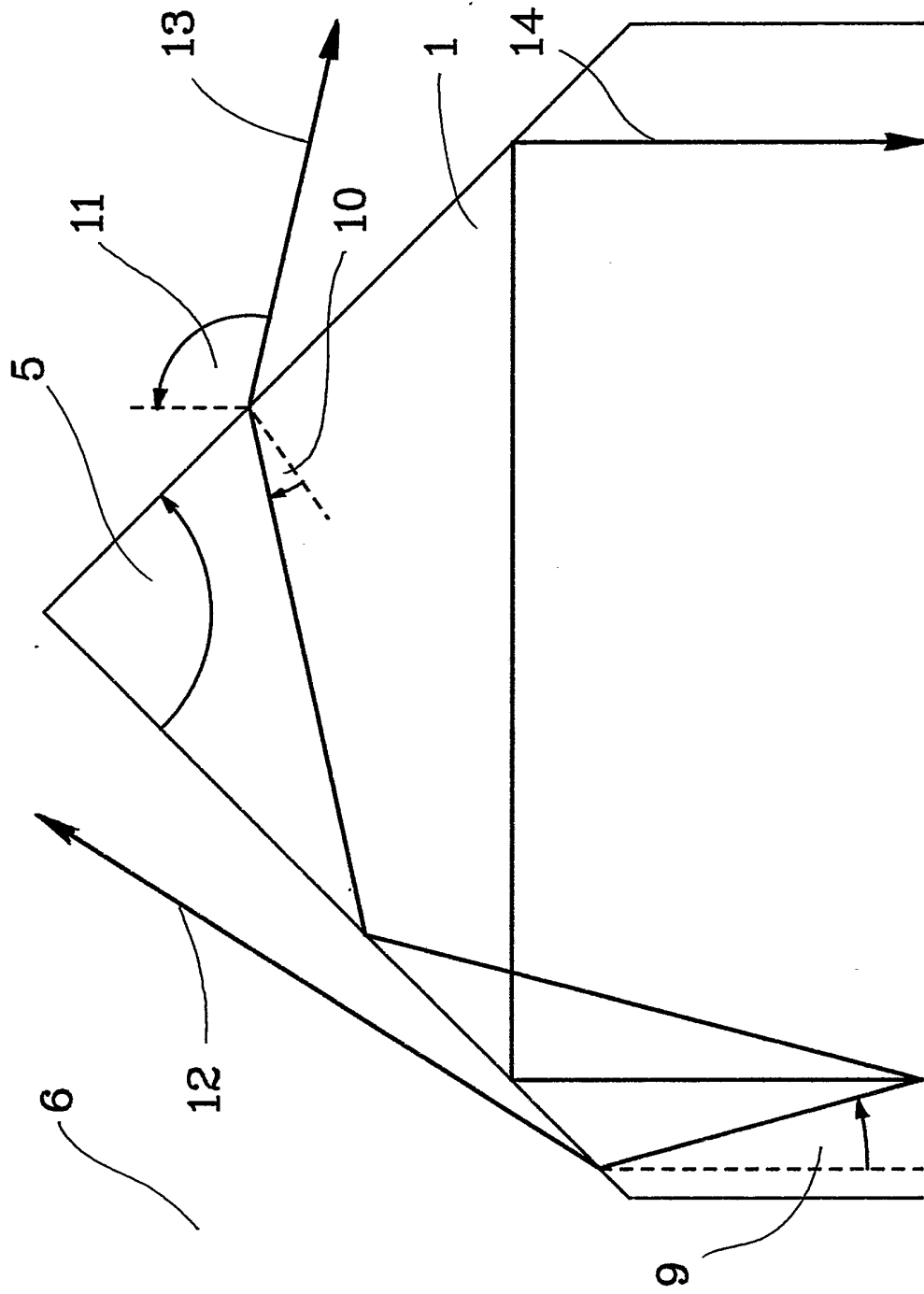


Fig. 3