

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

②

N° 82 04858

⑤④ Dispositif de transmission d'un faisceau laser et procédé de fabrication d'un tronçon de fibre optique à section variable du dispositif.

⑤① Classification internationale (Int. Cl.⁸). G 02 B 5/172, 7/26.

②② Date de dépôt..... 22 mars 1982.

③③ ③② ③① Priorité revendiquée : *Italie, 24 mars 1981, n° 9367 A/81.*

④① Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 39 du 1-10-1982.

⑦① Déposant : CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, résidant en Italie.

⑦② Invention de : Stefano Sottini, Massimo Brenzi, Riccardo Falciai, Giancarlo Righini, Vera Russo et Annamaria Verga Scheggi.

⑦③ Titulaire : *Idem* ⑦①

⑦④ Mandataire : Cabinet Martinet,
62, rue des Mathurins, 75008 Paris.

1

DISPOSITIF DE TRANSMISSION D'UN FAISCEAU LASER ET PROCEDE
DE FABRICATION D'UN TRONCON DE FIBRE OPTIQUE A SECTION
VARIABLE DU DISPOSITIF.

La présente invention concerne un dispositif de transmission d'un faisceau laser incluant une fibre optique à section variable à saut d'indice de réfraction pour transférer sur une cible l'énergie émise par une source laser à haute puissance (par exemple du type Nd-YAG de puissance 50 W). Un tel dispositif a déjà fait l'objet de nombreuses études et essais en vue de l'utiliser pour le traitement de matériaux ainsi qu'à des fins médicales, notamment pour l'incision de tissus et la coagulation.

Il est connu que, pour des distances de quelques mètres, l'utilisation d'une seule fibre optique confère des rendements de transmission au dessus de 80%. Les fibres à saut d'indice, par exemple ayant un coeur en quartz de diamètre compris entre 100 et 1000 μm et un revêtement plastique semblent les mieux adaptées.

Cependant, certaines difficultés peuvent encore apparaître au niveau du couplage de ces fibres à certains types de sources dans lesquelles le faisceau laser est sujet à certaines instabilités et par suite à une certaine dérive par rapport à la direction initiale qui est propre au couplage optimal de la fibre. Il en résulte qu'il n'y a pas seulement une diminution du rendement au niveau du couplage lui-même mais qu'il y a également endommagement du revêtement de la fibre et des parties de support mécaniques dû à la portion du faisceau laser qui ne pénètre pas dans le coeur en quartz.

Dans le US-A-3.843.865 (G. NATH) est décrite l'utilisation d'une fibre optique ayant un coeur à section variable et un revêtement non conventionnel (air ou liquide d'indice de réfraction approprié). La fibre permet de remédier aux inconvénients précédents et, en même temps, de réduire au minimum l'augmentation de la divergence angulaire du faisceau laser de sortie. Il est également possible d'obtenir un spot focal de dimensions réduites en intro-

- 2 -

duisant une lentille à la sortie de la fibre.

5 Outre les avantages précédents, la fibre selon le US-A-3.843.865 présente également certains inconvénients remarquables. En premier lieu les procédés de fabrication du coeur semblent plutôt complexes et coûteux puisqu'ils limitent, au moins en pratique, à 2 à 3 m la longueur du tronçon de fibre à obtenir. L'épaississement de l'extrémité de la fibre rend difficile l'enroulement de la fibre autour d'un tambour ; en outre, le procédé par bain chimique présente aussi certains problèmes embarrassants. Mais 10 l'inconvénient majeur de la fibre selon le US-A-3.843.865 est l'absence d'un revêtement du type traditionnel en verre ou plastique qui peut conduire à des fissures dans le coeur de la fibre. Les solutions suggérées pour survenir à l'absence de revêtement peuvent plus vraisemblablement 15 présenter certains avantages tels que pour le refroidissement de la fibre dans le cas de puissances élevées transmises, mais cependant, elles peuvent être complexes et onéreuses. De plus, il apparaît clairement que, pour au moins des 20 puissances de 100 W et plus, les fibres en quartz-plastique à grand diamètre (par exemple 600 μ s) sont suffisantes.

Par ailleurs, en dépendance des exigences dues au changement de l'utilisation du dispositif, ou à un endommagement de l'extrémité de sortie de fibre, il sera nécessaire de 25 remplacer la totalité du dispositif comprenant la fibre à section variable. Des inconvénients similaires ne sont pas également négligeables lors de la présence d'un flux de gaz de protection, à cause des particules et fumées émises par la cible.

30 L'invention a pour but d'obvier à ces inconvénients.

A cette fin, un dispositif de transmission d'un faisceau laser notamment à haute puissance est caractérisé en ce qu'il comprend :

35 un premier tronçon pouvant être couplé rigidement à une source laser, constitué par une fibre optique ayant un coeur à section variable, un revêtement et une gaine externe en matière plastique, la face d'entrée dudit premier

tronçon étant traitée optiquement et ayant un diamètre plus grand que celui de l'extrémité de sortie dudit premier tronçon inséré dans un premier embout d'un connecteur de fibres optique , et

5 un second tronçon constitué par une fibre optique ayant un coeur, un revêtement et une gaine externe, dont l'extrémité d'entrée est insérée dans le second embout dudit connecteur.

10 Les coeurs des premier et second tronçons de fibre peuvent être en quartz, leurs revêtements en quartz ou en résine de silicium.

15 Selon un aspect de l'invention, le second tronçon de fibre peut être constitué en dépendance de son usage soit par une fibre de type traditionnel ayant un diamètre constant, soit par une fibre ayant un coeur à section variable dont les caractéristiques sont analogues à celles du premier tronçon mais dont la section à grand diamètre est au niveau de l'extrémité de sortie du second tronçon.

20 Le dispositif selon l'invention peut également inclure deux tronçons de fibre optique comme décrits ci-dessus, entre lesquels est interposé un élément adaptateur constitué par une fibre optique qui a un coeur en quartz, un revêtement et une gaine externe et qui présente une section d'entrée qui est égale à la section de sortie de la fibre
25 du premier tronçon et une section de sortie qui est égale à la section d'entrée de la fibre du second tronçon.

30 Selon l'invention, l'extrémité de sortie de la fibre constituant le second tronçon peut être plate, convexe, sphéroïdale, conoïde, dopée et peut être associée à un système de focalisation externe. Quel que soit le débit, l'extrémité de sortie peut être associée à un jet coaxial de gaz ou d'eau à des fins de protection et de propreté.

35 Pour fabriquer un tronçon de fibre optique à section variable du dispositif selon l'invention, on peut débiter soit par un prémoulage, éventuellement dopé si on désire une fibre avec un revêtement en quartz dopé, soit par la fusion de matière dans un ou plusieurs fours (le revêtement

pouvant être en quartz dopé), puis étirer la fibre avec une vitesse qui peut être commandée par un circuit électrique en fonction de la longueur, de la section et du profil en forme tronconique du tronçon à section variable, et aussitôt
5 après l'étirage de la fibre, gagner la fibre par une couche en matière plastique.

Avantageusement le gainage de la fibre par de la matière plastique, formant revêtement ou gaine externe, est obtenu par la traversée de la fibre à travers un récipient
10 qui contient la matière plastique à l'état liquide, qui a un orifice de sortie variable en fonction de la section de la fibre et qui est suivi par un four à polymérisation.

Selon l'invention, le récipient contenant la matière plastique peut être caractérisé en ce que son orifice de
15 sortie à section variable est en matière élastique adaptable automatiquement au diamètre de la fibre.

Selon un autre aspect de l'invention, un autre procédé pour gagner la fibre avec de la matière plastique est caractérisé par l'utilisation d'un récipient ayant une structure
20 rigide dont la hauteur est au moins égale à la longueur du tronçon de fibre à section variable, qui est démontable en deux coquilles ayant un profil interne analogue au profil du tronçon de fibre à section variable et est caractérisé par l'arrêt de l'étirage de la fibre lorsque ledit tronçon
25 à section variable épouse la forme dudit récipient dans lequel la polymérisation de la matière plastique est réalisée par chauffage au moyen de résistance électrique.

Lorsque le gainage en matière plastique constitue le revêtement, il est commode d'ajouter un second revêtement
30 ou gainage pour la protection. Le procédé de son obtention est entièrement similaire au précédent et les deux procédés sont effectués en cascade.

Les avantages de la présente invention consistent en la possibilité de réaliser un dispositif de transmission
35 d'un faisceau laser à haute puissance ayant un rendement élevé grâce à la fibre à section variable, et une grande résistance et fiabilité grâce au revêtement plastique de cette

- 5 -

même fibre qui, entre autre, présente de faible risque de fissure ou cassure. Par ailleurs, la séparation du dispositif en deux parties permet de ne point limiter en longueur des tronçons de fibre à section variable obtenus selon le
5 procédé ci-dessus, et de pouvoir changer facilement le second tronçon de fibre afin de l'adapter aux diverses exigences de l'utilisation du dispositif ou de ^{le}remplacer en cas d'usure et d'endommagement. A ce stade, le premier tronçon de fibre est positionné une fois pour toutes et
10 forme un ensemble monobloc avec la source laser et par conséquent ses caractéristiques (telles que longueur du tronçon à section variable, diamètre des petite et grande sections) peuvent être choisies afin qu'elles s'adaptent à celles de la source laser.

15 L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit de plusieurs modes de réalisation de l'invention en référence aux dessins annexés correspondants, dans lesquels :

20 - la Fig. 1 montre schématiquement un dispositif de transmission d'un faisceau laser à fibres optiques selon l'invention ;

25 - la Fig. 2 montre un élément adaptateur interposé entre les deux tronçons de fibre optique inclus dans le dispositif de la Fig. 1, ayant une section d'entrée égale à la section de sortie du premier tronçon de fibre et une section de sortie égale à la section d'entrée du second tronçon de fibre ;

30 - la Fig. 3 montre schématiquement les moyens pour obtenir le gainage d'une fibre à section variable par de la matière plastique selon le procédé de l'invention ;

35 - la Fig. 4 montre en détail un récipient contenant la matière plastique à l'état liquide comme illustré à la Fig. 3 et ayant un orifice de sortie en matière ayant une élasticité élevée et adaptable automatiquement au diamètre de la fibre ;

- la Fig. 5 montre une autre réalisation du récipient contenant la matière plastique pour recouvrir la fibre com-

- 6 -

me illustré à la Fig. 3, ayant une structure rigide dont la hauteur est au moins égale à la longueur de la section variable du tronçon de fibre et qui est séparable en deux coquilles ; et

5 - la Fig. 6 montre en détail les deux coquilles formant le récipient de la Fig. 5.

En référence à la Fig. 1, une source laser 1 émet un faisceau laser 2 qui, après avoir éventuellement convergé à travers une lentille 3, pénètre dans la face d'entrée 4 du coeur 5 d'une fibre optique 6. La face 4 est conformée en une surface plate ou sphérique et présente une section ayant une largeur suffisante (par exemple ayant un diamètre de 2 à 4 mm) pour assurer à un quelconque débit un couplage convenable avec la source laser, y compris en présence de dérives ou glissements et d'instabilité. Le coeur 5
15 conserve à l'entrée la section constante d'entrée sur un tronçon court 7 ; puis la fibre se poursuit par un tronçon 8 dont la section varie suivant celle d'un tronc de cône à génératrice incurvée de préférence selon une cosinusoïde et dont la longueur est au moins aussi grande que 50 à 100 fois le plus grand diamètre de l'extrémité d'entrée 7 de la fibre.

Dans de telles conditions, la diminution de l'angle de pénétration par rapport à une fibre à section variable fabriquée en une même matière, dépend seulement du rapport entre les plus petit et plus grand diamètres de la fibre considérée (par exemple dans une fibre en silice plastique avec un rapport de 0,4 entre les deux diamètres précités, l'angle de pénétration est réduit de 15° à 6°).

30 A la petite base du tronçon 8, le diamètre du coeur de la fibre est réduit à une valeur typique des fibres classiques en silice plastique (par exemple 200, 400 ou 600µm). La fibre conserve ensuite une section constante jusqu'à son extrémité de sortie.

35 Le coeur 5 de la fibre 6 est entouré par une gaine 9 comprenant classiquement deux couches, l'une interne constituant le revêtement du coeur et étant en verre, en résine

de silicium, en quartz dopé ou en plastique et l'autre externe, étant en une matière convenable et constituant une gaine de protection en vue de réduire la fragilité de la fibre et, en général, d'optimiser ses caractéristiques mécaniques.

5 Au niveau du tronçon d'entrée 7 de la fibre 6 et partiellement autour du revêtement est prévu un manchon métallique 10 qui, au voisinage de la face d'entrée 4, peut être centré convenablement au moyen d'un anneau calibré 11 en quartz ou rubis. De cette manière, après enserrage dudit manchon métallique par un système mécanique convenable 12, 10 l'entrée de la fibre peut être positionnée d'une manière stable et précise.

15 L'extrémité de sortie 13 n'exige pas généralement à cet endroit un traitement optique eu égard à la section petite de la fibre et peut être obtenue par tronçonnage au moyen d'une machine coupeuse de fibre convenable. L'extrémité de sortie est ensuite insérée dans l'un, 14, des embouts d'un connecteur de fibres optiques convenable ayant 20 de très faibles pertes. Des connecteurs de fibres de ce type sont bien connus dans le domaine des télécommunications. Des pertes de l'ordre de 0,5 dB peuvent être obtenues (voir par exemple l'article de G. COCITO et al. paru dans I.E.E.E. Trans on Com 26, p. 1029, 1978) et différents types de connecteurs sont déjà commercialisés. Des connecteurs de fibres ayant un diamètre relativement grand, similaires à ceux 25 mis en oeuvre par la présente invention, peuvent être trouvés dans le commerce.

30 Enfin, il sera noté que la totalité de la fibre 6 est enfermée dans un boîtier 15 de la source laser. Le fabricant la place et la fixe d'une manière stable et durable.

35 La seconde partie du dispositif selon l'invention est essentiellement constituée par un second tronçon de fibre optique 16 du même type que le précédent (coeur en quartz et revêtement en plastique, quartz dopé ou verre).

- 8 -

L'extrémité d'entrée du tronçon 16, qui peut être obtenue par tronçonnage, est insérée dans l'autre embout 17 du connecteur de fibres optiques susmentionné. Dans ces conditions, les deux tronçons du dispositif 18 peuvent
5 être connectés solidairement avec de très faibles pertes.

En fonction de l'utilisation, le tronçon de fibre 16 peut être constitué soit par une fibre classique ayant un diamètre constant, soit, comme illustré dans la Fig.1, par
10 une fibre ayant un coeur à section variable dont les caractéristiques sont analogues à celles du premier tronçon mais dont la section à grand diamètre est située du côté de l'extrémité de sortie. Dans ce dernier cas, le tronçon 19 ayant la section variable peut être beaucoup plus court que le tronçon 8 de la première fibre. La face de sortie est
15 du même ordre de grandeur que celui de la face d'entrée 4 de la fibre 6 (2 à 4 mm) et par conséquent doit être traitée optiquement.

Au niveau du tronçon de sortie 20 est généralement prévu un manchon de protection 22, par exemple métallique,
20 éventuellement concentrique à la face de sortie au moyen d'un anneau calibré conventionnel 21 en quartz ou rubis. Le manchon 22 peut également servir à connecter la fibre 16, éventuellement manuellement, à un microscope ou à d'autres instruments nécessaires. Enfin, toujours en vue de protéger
25 la fibre 16 et notamment son extrémité de sortie, une enveloppe de protection externe 23 peut être ajoutée qui est propre à convoyer un jet de gaz convenable coaxialement à la fibre. Le gaz est prévu pour pénétrer dans l'espace compris entre l'enveloppe et la fibre à travers une entrée
30 d'admission 24.

Afin de l'adapter aux différents usages, l'extrémité de sortie du second tronçon de fibre peut être plate, convexe, sphéroïdale, conoïde, dopée et peut être associée
à un système de focalisation externe. En correspondance,
35 le faisceau laser sortant peut être, par exemple, pratiquement collimaté ou au contraire focalisé sur un point de dimension très réduite.

Puisque la fibre 6 du dispositif 18 est placée une fois pour toutes à l'intérieur du boîtier 15 contenant la source laser, il peut être également prévu que la section de sortie de la fibre 6 ne coïncide pas avec la section d'entrée de la fibre 16. Dans ce cas, comme montré à la Fig. 2, entre les deux tronçons de fibre optique du dispositif selon l'invention, un élément adaptateur 25 y est interposé et est constitué par un tronçon de fibre ayant un coeur en quartz 26 dont la section varie entre ses deux tronçons extrêmes courts 27 et 28 ayant des sections constantes respectivement égales à la section d'entrée de la fibre 16 et à la section de sortie de la fibre 6.

La fibre de l'adaptateur 25 a une gaine 29 analogue à celles des fibres 6 et 16. En outre, les extrémités 30 et 31 de l'adaptateur, généralement obtenues par tronçonnage, sont insérées dans deux embouts de connecteurs analogues à celui déjà mentionné en référence à la Fig. 1, de sorte que l'élément adaptateur 25 puisse effectivement relier les embouts relatifs aux fibres 6 et 16 en conférant de faibles pertes.

Pour fabriquer la fibre à section variable du dispositif selon l'invention, on peut partir soit d'un prémouillage dopé éventuellement soit de la fusion de matière dans un ou deux fours coaxiaux et étirer la fibre avec une vitesse qui peut être contrôlée par un circuit électronique en fonction de la longueur, de la section et du profil de la fibre à fabriquer. Aussitôt que la fibre est étirée, elle peut être gainée d'une couche en matière plastique.

En référence à la Fig. 3, ladite gaine peut être obtenue en passant la fibre à travers^{de} la matière plastique liquide et par polymérisation successive. La fibre à section variable 32 est étirée par un tambour tractif 33 entraîné par moteur 34, la vitesse duquel est ajustable au moyen d'un dispositif électronique 35 pour obtenir le profil désiré de la forme conique. Avant son enroulement autour du tambour 33, le coeur de la fibre 32 traverse le récipient 36 contenant le plastique liquide 37. La fibre mouillée

- 10 -

par le plastique traverse l'orifice 38 du récipient, la section duquel est également ajustable par le dispositif 35. Après la sortie de la fibre par l'orifice 38, la fibre traverse un four à résistance électrique 39 dans lequel le plastique est durci.

5

Selon un autre mode de réalisation montré schématiquement à la Fig. 4, le récipient 36 contenant le plastique liquide a son fond 40 en matière élastique et de forme conoïde. Dans ce cas le diamètre de l'orifice est adapté, dans certaines limites, au diamètre de la fibre ; par ailleurs, la forme conoïde contraint la fibre à sortir du récipient en traînant sur elle une quantité suffisante de plastique liquide.

10

La Fig. 5 montre encore un autre mode de réalisation du récipient 36. Le récipient a une enceinte rigide dont la hauteur est au moins égale au tronçon de la section variable de fibre, et est constitué par deux coquilles 41 montrées en détail à la Fig. 6 et maintenues solidaires au moyen par exemple de vis 42. La fibre 32 coulissant à l'intérieur du récipient 36 et gainée par le plastique le long du tronçon constant comme pour les deux modes de réalisation précédents, est bloquée (par exemple par une commande électro-optique) aussitôt que la totalité de forme conique se trouve plonger dans le plastique liquide remplissant le récipient. La forme du récipient doit être conçue pour constituer pratiquement un boîtier à la forme conique de la fibre. Après cette opération, le récipient est chauffé par l'extérieur au moyen de résistance électrique 39 jusqu'au durcissement du plastique; ensuite les deux coquilles 41 sont ouvertes et retirées.

15

20

25

30

35

REVENDEICATIONS.

1 - Dispositif de transmission d'un faisceau laser notamment à haute puissance, caractérisé en ce qu'il comprend :

5 un premier tronçon (6) pouvant être couplé rigidement à une source laser (1), constitué par une fibre optique ayant un coeur (5) à section variable, un revêtement et une gaine externe (9) en matière plastique, la face d'entrée (4) dudit premier tronçon étant traitée optiquement et ayant un diamètre plus grand que celui de l'extrémité de
10 sortie (13) dudit premier tronçon insérée dans un premier embout (14) d'un connecteur de fibres optiques, et

un second tronçon (16) constitué par une fibre optique ayant un coeur, un revêtement et une gaine externe, dont l'extrémité d'entrée est insérée dans le second embout
15 (17) dudit connecteur.

2 - Dispositif conforme à la revendication 1, caractérisé en ce que le coeur de fibre est en quartz.

3 - Dispositif conforme à la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le revêtement de fibre est en quartz.

20 4 - Dispositif conforme à la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que le revêtement est en résine de silicium.

5 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le profil de la section variable
25 (8) du premier tronçon de fibre (6) est conformé suivant une portion d'une cosinusoïdale ayant une longueur au moins aussi grande que 50 à 100 fois le plus grand diamètre de la fibre correspondant à celui de l'extrémité d'entrée (4, 7) du premier tronçon de fibre (6).

30 6 - Dispositif conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que la fibre optique constituant le second tronçon (16) a un diamètre constant.

7 - Dispositif conforme à la revendication 5, caractérisé en ce que la fibre optique constituant le second tronçon
35 (16) a un diamètre variable.

- 12 -

8 - Dispositif conforme à la revendication 7, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre optique constituant le second tronçon (16) a un diamètre plus grand que celui du reste de la fibre.

5 9 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce qu'entre les premier et second tronçons de fibre (6, 16) est interposé un élément adaptateur (25) constitué par une fibre optique qui a un coeur (26), un revêtement et une gaine externe (29) et qui présente une section d'entrée (30) qui est égale à la section de sortie (13) de la fibre du premier tronçon (6), et une section de sortie (31) qui est égale à la section d'entrée de la fibre du second tronçon (16).

10 10 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre constituant le second tronçon (16) est plate.

15 11 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre constituant le second tronçon (16) est convexe.

20 12 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre constituant le second tronçon (16) est sphéroïdale.

25 13 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre constituant le second tronçon (16) est conoïde.

 14 - Dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que l'extrémité de sortie (20) de la fibre constituant le second tronçon (16) est dopée.

30 15 - Procédé de fabrication d'un tronçon de fibre optique à section variable du dispositif conforme à l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il consiste d'abord en un prémoulage éventuellement dopé ou en une fusion de matière dans au moins un four (39), en l'étirage de la fibre (32) avec une vitesse qui peut être commandée par un circuit électronique (35) en fonction de la longueur, de la section et du profil en forme tronconique du tronçon

35

à section variable (8 ; 19) à obtenir, et aussitôt après l'étirage de la fibre, en un gainage de la fibre par une couche en matière plastique.

5 16 - Procédé conforme à la revendication 15, caracté-
risé en ce que le gainage de la fibre par de la matière
plastique, formant revêtement ou gaine externe, est obtenu
par la traversée de la fibre à travers un récipient (36) qui
contient la matière plastique à l'état liquide (37), qui a un
10 orifice de sortie (38) variable en fonction de la section
de la fibre et qui est suivi par un four à polymérisation
(39).

15 17 - Procédé conforme à la revendication 16, caracté-
risé en ce que le récipient (36) contenant la matière plas-
tique (37) pour le gainage de la fibre a son fond (40)
percé de l'orifice de sortie à section variable réalisé
en matière élastique adaptable automatiquement au diamètre
de la fibre.

20 18 - Procédé conforme à la revendication 15, caracté-
risé par l'utilisation d'un récipient (36) contenant de la
matière plastique (37) propre au gainage de la fibre et
ayant une structure rigide dont la hauteur est au moins
égale à la longueur de la section variable du tronçon de
fibre (32) et qui est séparable en deux coquilles (41)
25 ayant approximativement un profil interne analogue à celui
du tronçon à section variable de la fibre et caractérisé par
l'arrêt de l'étirage de la fibre lorsque ledit tronçon à
section variable épouse la forme dudit récipient dans lequel
la polymérisation de la matière plastique est réalisée par
chauffage au moyen de résistance électrique (39).

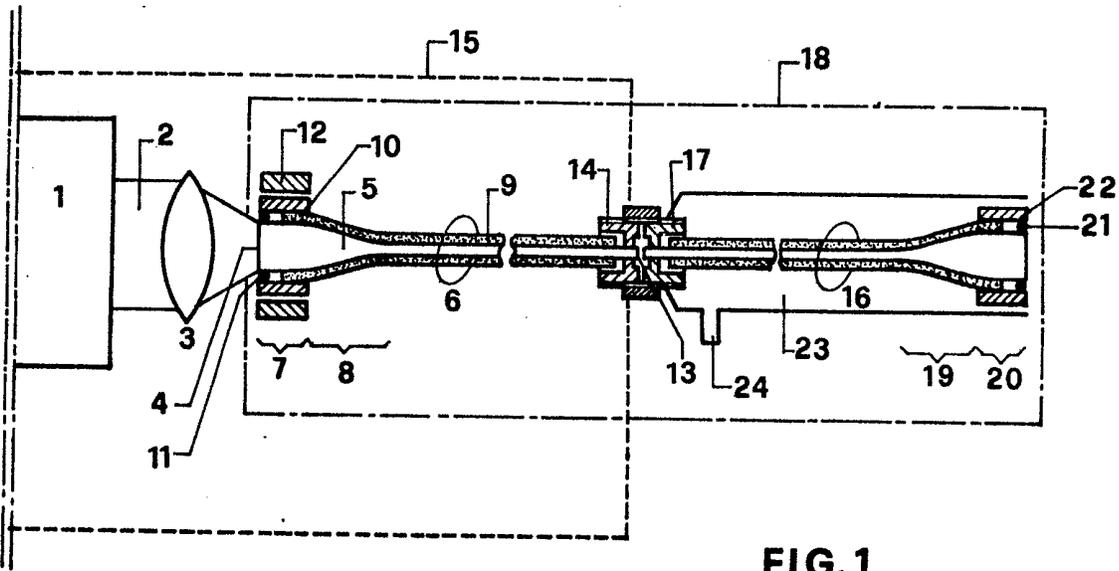


FIG. 1

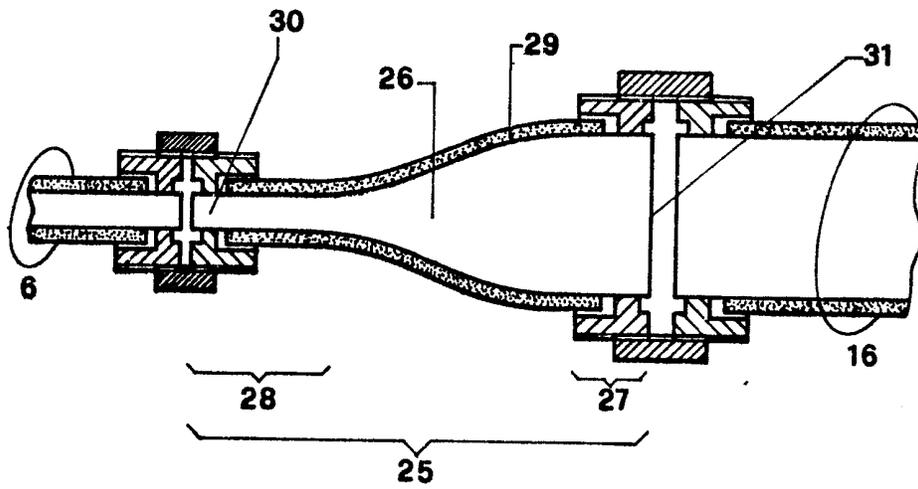


FIG. 2

