

①2

**DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

②2 Date de dépôt : 21 décembre 1984.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 27 juin 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : *ETAT FRANCAIS, représenté par le ministre des PTT (Centre National d'Etudes des Télécommunications) et CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS). — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : Monique Moisan, Dominique Pavy, Daniel Collobert, Philippe Le Prince et Jean Marec.

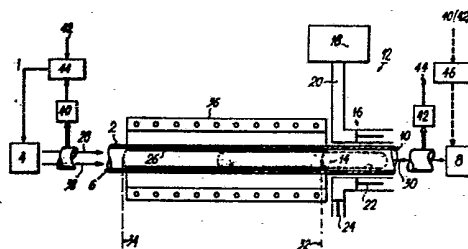
⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : Brevatome.

⑤4 Procédé et dispositif de fabrication de préformes pour fibres optiques, et préformes obtenues par ce procédé.

⑤7 Procédé et dispositif de fabrication de préformes pour fibres optiques, et préformes obtenues par ce procédé.

Selon l'invention, pour fabriquer une préforme, on est amené à former un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube en verre 2. Pour ce faire, on fait passer continûment, d'une extrémité à l'autre du tube, un mélange de composés gazeux, ionisables et aptes à donner naissance au revêtement par réaction entre eux, tout en formant dans le tube, à l'aide d'un coupleur hyperfréquence 16, une colonne de plasma 14 destinée à activer la réaction, et en réalisant un déplacement relatif d'au moins une extrémité de la colonne de plasma par rapport au tube. Le coupleur hyperfréquence est apte à injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma. Application au domaine des télécommunications.



PROCEDE ET DISPOSITIF DE FABRICATION DE PREFORMES  
POUR FIBRES OPTIQUES, ET PREFORMES OBTENUES PAR  
CE PROCEDE

5 un dispositif de fabrication de préformes pour fibres optiques ainsi que les préformes obtenues par ce procédé. Elle s'applique notamment au domaine des Télécommunications.

10 L'invention fait partie des techniques de fabrication des préformes pour fibres optiques, utilisant la formation de couches de verre à l'intérieur d'un tube de verre, par dépôt chimique en phase vapeur, ce dépôt chimique étant obtenu grâce à une activation par un plasma micro-onde engendré à l'intérieur  
15 du tube.

Une telle technique est déjà connue par le brevet américain n° 4145456 et par le brevet britannique n°2068359 qui enseignent tous deux l'utilisation d'une cavité résonnante engendrant des ondes stationnaires pour l'entretien du plasma.  
20

L'utilisation d'ondes stationnaires présente l'inconvénient de conduire à des modifications des conditions de dépôt au cours du temps, dans les différentes parties du tube, ce qui entraîne une détérioration du couplage de la cavité et donc une baisse importante des rendements de réaction et de dépôt.  
25

La présente invention a pour objet un procédé et un dispositif de fabrication de préformes pour fibres optiques qui remédient aux inconvénients précédents en assurant un couplage maximal de l'énergie hyperfréquence quelles que soient les conditions de travail (débit des gaz dans le tube, diamètre du tube) et qui autorisent des vitesses de dépôt élevées, compatibles avec la fabrication de préformes à gradient d'indice, tout en donnant des rendements de dépôt élevés.  
30  
35 Pour ce faire, la présente invention propose d'engen-

drer et d'entretenir le plasma au moyen d'une onde progressive de surface.

De façon précise, la présente invention a pour objet un procédé de fabrication d'une préforme pour fibres optiques, comprenant une étape de formation d'un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube en verre, étape dans laquelle on fait passer continûment, d'une extrémité à l'autre du tube, un mélange de composés gazeux ionisables et aptes à donner naissance au revêtement par réaction entre eux, la pression du mélange dans le tube étant maintenue inférieure à  $10^4$  Pa environ, tout en formant dans le tube, à l'aide d'un coupleur hyperfréquence, une colonne de plasma destinée à activer la réaction, et en réalisant un déplacement relatif d'au moins une extrémité de la colonne de plasma par rapport au tube, procédé caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence est apte à injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma.

L'onde hyperfréquence de surface ainsi injectée dans la colonne de plasma se propage le long de la surface de cette colonne. L'énergie électromagnétique est ainsi transmise au plasma par l'intermédiaire de cette onde de surface, ce qui permet d'entretenir le plasma. Celui-ci absorbe l'énergie de l'onde de surface au cours de la propagation de celle-ci, si bien que cette onde s'atténue et que la longueur de la colonne de plasma dépend de la puissance électromagnétique injectée. Cette longueur est une fonction croissante de la puissance incidente et dépend aussi des conditions expérimentales (pression, débit et nature des gaz, dimensions du tube). La puissance étant nulle à l'extrémité de la colonne de plasma, l'onde est totalement absorbée par ce plasma. Aucune réflexion, et donc aucune onde stationnaire,

n'est possible. Aussi, l'impédance de la colonne de plasma varie peu et n'affecte pas le rendement de couplage entre l'onde hyperfréquence incidente et l'onde de surface. Ce rendement n'est donc pas modifié  
5 par les caractéristiques physiques et chimiques du plasma. Le couplage peut ainsi être conservé à sa valeur maximale quelles que soient les conditions de travail à l'intérieur du tube dans lequel s'effectue le dépôt.

10 Contrairement à la technique proposée dans les brevets américain et britannique précités, le système propagatif utilisé dans l'invention est toujours adapté et ne nécessite, contrairement au brevet britannique, aucun tube électriquement conducteur concentrique et extérieur au tube de verre dans lequel se  
15 forme le revêtement vitreux.

La fréquence d'excitation du coupleur est par exemple comprise entre 200 MHz et 10000 MHz environ. A titre indicatif et non limitatif, on peut utiliser la fréquence industrielle de 2450 MHz.  
20

Selon un mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention, le coupleur hyperfréquence est maintenu fixe par rapport au tube, à l'extrémité de celui-ci d'où sort le mélange, et l'on fait  
25 varier continûment et progressivement la puissance électromagnétique fournie au coupleur hyperfréquence de façon que l'extrémité de la colonne de plasma balaie le tube.

De préférence, la puissance fournie au coupleur hyperfréquence est modulée entre deux valeurs comprises entre 0 et 3 kW environ.  
30

De préférence également, la fréquence de modulation est comprise entre 0 et 10 kHz environ.

Selon un autre mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention, le coupleur  
35

hyperfréquence est animé d'un mouvement relatif par rapport au tube et la puissance électromagnétique fournie au coupleur hyperfréquence est maintenue sensiblement constante.

5 Le mélange gazeux utilisé peut comprendre de l'oxygène, un tétrahalogénure de silicium et, pendant au moins une partie de l'étape de formation du revêtement, au moins un corps choisi dans le groupe comprenant le fluor, les composés du fluor et les halogénures aptes à produire un dopant pour la silice.

10 De préférence, le mélange comporte un excès d'oxygène par rapport au tétrahalogénure et audit corps, cet excès étant maintenu constant, dans un rapport compris entre 2 et 10 environ.

15 Le mélange peut comprendre en outre un gaz rare tel que l'argon, qui est facilement ionisable.

L'intérieur du tube peut être avantageusement balayé par un courant d'un gaz rare, préalablement à l'étape de formation du revêtement.

20 De préférence, le tube est maintenu à une température au moins égale à 1000°C environ.

De façon avantageuse, la pression moyenne dans le tube peut être maintenue constante pendant l'étape de formation du revêtement. On peut aussi maintenir constante la perte de charge dans le tube pendant l'étape de formation du revêtement, par exemple par asservissement sur le débit gazeux total.

25 La présente invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé également objet de l'invention, ce dispositif étant destiné à former un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube en verre, ce dispositif comprenant :

30 - des moyens pour faire passer continûment, d'une extrémité à l'autre du tube, un mélange de composés gazeux ionisables et aptes à donner naissance au re-

35

vêtement par réaction entre eux, la pression du mélange dans le tube étant maintenue inférieure à  $10^4$  Pa environ,

- 5 - un coupleur hyperfréquence prévu pour former dans le tube une colonne de plasma destinée à activer la réaction, et
- des moyens pour réaliser un déplacement relatif d'au moins une extrémité de la colonne de plasma par rapport au tube,
- 10 caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence est apte à injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma.

15 Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, le coupleur hyperfréquence est fixe et destiné à recevoir l'extrémité du tube d'où sort le mélange et les moyens pour effectuer le déplacement relatif comprennent un générateur de micro-ondes à puissance variable, prévu pour fournir une puissance électromagnétique au coupleur hyperfré-

20 quence et pour faire varier continûment et progressivement cette puissance, de façon que l'extrémité de la colonne de plasma balaye le tube.

25 Selon un autre mode de réalisation particulier, les moyens pour effectuer le déplacement relatif comprennent :

- un générateur de micro-ondes pour alimenter le coupleur hyperfréquence, et
- des moyens de déplacement relatif du coupleur hyperfréquence par rapport au tube, suivant l'axe de ce
- 30 dernier.

Enfin, le dispositif objet de l'invention peut comprendre en outre des moyens de régulation de pression dans le tube, prévus pour maintenir constantes la pression moyenne et/ou la perte de charge dans ce tube pendant l'étape de formation du revêtement.

35

Selon l'invention, le transfert de l'énergie micro-onde à la colonne de plasma est donc obtenu par tout système hyperfréquence qui permet d'exciter une onde de surface. A cet effet, des coupleurs connus tels que ceux qui sont décrits dans le brevet français n°2290126 peuvent être avantageusement utilisés.

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement limitatif, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, dans lequel le coupleur hyperfréquence reste fixe par rapport au tube dans lequel se forme le dépôt vitreux,

- la figure 2 montre l'évolution de différents paramètres relatifs à la formation de ce dépôt, en fonction du temps de dépôt,

- la figure 3 est une vue schématique d'un mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention,

- la figure 4 est une vue schématique d'un autre mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, dans lequel le coupleur hyperfréquence est mobile par rapport au tube dans lequel se forme le dépôt vitreux, et

- la figure 5 représente l'évolution de paramètres relatifs à la formation du dépôt vitreux, en fonction du temps de dépôt, dans des conditions qui seront précisées ultérieurement.

Sur la figure 1, on a représenté schématiquement un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, permettant de former un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube 2 en

verre, ce tube étant maintenu en position fixe horizontale ou verticale, grâce à des moyens non représentés. Ce mode de réalisation particulier comprend essentiellement un système d'alimentation 4, prévu pour injecter par une extrémité 6 du tube 2, un mélange gazeux 28 composé d'oxygène et de vapeurs de tétrachlorure de silicium auxquels sont ajoutés des dopants sous forme d'halogénures tels que  $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{BBr}_3$ ,  $\text{BCl}_3$  ou  $\text{POCl}_3$ , ou encore du fluor ou bien des dérivés de celui-ci. Le dispositif comprend également des moyens 8 de pompage, prévus pour pomper le mélange gazeux à l'autre extrémité 10 du tube 2, ainsi que des moyens 12 de production d'une colonne de plasma 14 dans le tube. Ces moyens 12 de production comprennent un coupleur hyperfréquence 16 et un générateur de micro-ondes à puissance variable 18, prévu pour alimenter le coupleur 16 par l'intermédiaire d'un guide d'onde 20.

Le coupleur 16 est maintenu en position fixe et entoure l'extrémité 10 du tube, qui est située du côté des moyens de pompage 8.

Le coupleur 16 est par exemple du genre de ceux qui sont connus sous le nom de SURFAGUIDE. Bien entendu, tout autre dispositif permettant d'injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma 14 peut être utilisé.

Le surfaguide comprend un double court-circuit qui est mécaniquement adapté au guide d'onde 20. Un premier court-circuit 22 est destiné à limiter le plasma à une zone du tube 2 dans laquelle on souhaite réaliser le revêtement ou dépôt vitreux et un second court-circuit 24 est destiné à ajuster le couplage entre le coupleur 16 et la colonne de plasma 14 avec un rendement très proche de l'unité.

La formation d'un revêtement vitreux 26 sur la paroi interne du tube 2 est réalisée de la façon

5 suivante : le mélange gazeux 28 est introduit par  
l'extrémité 6 du tube 2, en quantité connue et contrô-  
lée, grâce aux moyens 4 d'alimentation tandis que les  
10 effluents 30 résultant de la réaction entre les compo-  
sants du mélange gazeux, réaction qui est activée par  
la colonne de plasma 14, sont évacués par l'autre ex-  
trémité 10 du tube 2, à l'aide des moyens 8 de pompage  
comprenant une pompe à vide, cette dernière et les  
moyens 4 d'alimentation étant réglés de façon à obte-  
15 nir une pression comprise entre environ 1 et  $10^4$  Pa à  
l'intérieur du tube 2. La colonne de plasma 14, pro-  
duite par le coupleur 16, active chimiquement le mé-  
lange gazeux et un dépôt vitreux croît à l'extrémité  
de ladite colonne.

15 Le revêtement vitreux 26 à réaliser, com-  
prend un certain nombre de couches vitreuses élémentai-  
res. La formation d'une telle couche vitreuse élémen-  
taire est obtenue en faisant varier la longueur de la  
20 colonne de plasma 14 entre une première position 32  
située du côté de l'extrémité 10 du tube 2 et une  
seconde position 34 située du côté de l'extrémité 6  
dudit tube. Cette variation de longueur de la colonne  
de plasma 14 est réalisée par une modulation de la  
25 puissance du générateur 18 et donc de la puissance  
injectée dans la colonne de plasma 14 par l'intermé-  
diaire du coupleur 16. Pour obtenir plusieurs couches  
élémentaires successives, la puissance du générateur  
18 est modulée à une fréquence comprise entre 0 et  
30 quelque dizaines de kHz. Cette fréquence est détermi-  
née notamment par le nombre total de couches que l'on  
désire obtenir, une couche vitreuse élémentaire cor-  
respondant à une demi-période de la puissance.

35 La composition du dépôt peut être modifiée  
lors de la réalisation de chaque couche élémentaire,  
par variation de la composition du mélange gazeux 28.

Lorsque le nombre total de couches est atteint, la phase de dépôt est terminée et une préforme se présentant sous la forme d'un barreau cylindrique est obtenue par rétreint du tube 2, ce rétreint étant effectué à l'aide de moyens thermiques classiques tels qu'un chalumeau oxyhydrique ou simultanément au fibrage. L'ajustement du rapport entre le diamètre du coeur et le diamètre de la gaine des fibres optiques à produire est effectué ensuite par la technique "barreau-tube" ou par le dépôt, à l'aide d'une torche à plasma, de grains de silice minérale sur la périphérie du barreau.

L'homogénéité spatiale du dépôt sur une circonférence de la paroi interne du tube 2 résulte de la parfaite symétrie radiale de la colonne de plasma 14. Ainsi la rotation du tube 2 n'est elle pas nécessaire pour obtenir cette homogénéité.

Par ailleurs, l'homogénéité du dépôt sur la longueur d'une couche élémentaire déposée est assurée par le fait que l'extrémité de la colonne de plasma 14 est absolument identique du point de vue de la composition en espèces chimiques activées et du point de vue énergétique, quelle que soit la puissance incidente et donc quelle que soit la position de l'extrémité de la colonne de plasma 14 au cours du balayage du tube.

Il faut noter que la formation du dépôt ne dépend pas du sens de déplacement de l'extrémité de la colonne de plasma 14, deux couches étant donc formées pendant un aller et retour de l'extrémité de cette colonne de plasma, c'est-à-dire pendant un cycle de la modulation, ce qui supprime les temps morts lors de la phase de dépôt.

Lorsque la chaleur dégagée par le plasma n'est pas suffisante, un moyen de chauffage facultatif

36 peut être prévu pour porter le tube 2 à une température comprise entre 900°C et 1250°C de façon à réaliser une désorption efficace des effluents de la réaction qui peuvent être incorporés dans la couche vitreuse élémentaire lors de sa formation, sans activer thermiquement la réaction chimique. A cet effet, on utilise par exemple un four électrique tubulaire dont l'élément chauffant cylindrique a un diamètre égal à plusieurs fois le diamètre du tube 2, de façon à ne pas perturber la propagation de l'onde de surface engendrée par le coupleur 16.

En outre, un gaz 38 facilement ionisable tel que l'argon peut être avantageusement fourni par les moyens 4 d'alimentation en gaz. En effet, une décharge électrique effectuée dans ce gaz préalablement à l'opération de dépôt permet de nettoyer efficacement la paroi interne du tube 2. En outre, l'incorporation dudit gaz mélange gazeux pendant la phase de dépôt, permet d'augmenter la longueur de la colonne de plasma et donc la longueur de la zone balayée par l'extrémité de cette colonne de plasma dans le tube.

Dans le cas d'une vitesse de dépôt élevée et d'une forte épaisseur déposée, l'augmentation résultante des pertes de charge peut être compensée par une diminution progressive du débit gazeux total au cours du dépôt, sans affecter le couplage de la puissance micro-ondes, compte tenu de l'emploi d'un coupleur apte à engendrer une onde progressive de surface.

A cet effet, un premier capteur de pression 40 et un second capteur de pression 42 respectivement disposés en amont et en aval du tube 2 sont prévus pour capter la pression respectivement à l'entrée et à la sortie dudit tube. Les signaux de sortie des capteurs de pression 40 et 42 sont reçus et comparés par des moyens de régulation 44 destinés à commander le

débit gazeux total dans le tube 2 par l'intermédiaire des moyens 4 d'alimentation en gaz.

5 On peut aussi maintenir constante la pression moyenne dans le tube à l'aide d'autres moyens de régulation 46 prévus pour asservir le débit des moyens 8 de pompage à la pression mesurée par le premier capteur 40 et/ou par le second capteur 42.

10 La diminution du débit total, bien qu'elle permette de se placer dans des conditions optimales de dépôt à chaque instant, provoque une diminution de la vitesse instantanée de dépôt au cours de la phase de dépôt. La vitesse de fabrication, qui tient compte du temps réel d'occupation-machine, c'est-à-dire du temps de préparation (montage du tube et éventuellement décharge en atmosphère d'argon pur), et de la

15 durée du dépôt, passe par un maximum en fonction du temps de dépôt, tandis que la masse totale déposée augmente en fonction de ce temps.

20 La figure 2 représente l'évolution de différents paramètres du dépôt en fonction du temps de dépôt  $t$ , pour un diamètre interne  $D_0$  du tube 2, un débit initial total  $Q_0$ , une longueur de dépôt, un temps de préparation et un type de fibres optiques (rapport diamètre du coeur/diamètre de la gaine) donnés.

25 Les paramètres considérés sont les suivants :

- A : débit total du mélange gazeux
- B : diamètre interne du tube
- C : vitesse moyenne de dépôt à l'instant considéré
- 30 - D : capacité kilométrique de la préforme finale
- E : vitesse de fabrication de fibres optiques (en kilomètres de fibres par heure).

35 Lorsque la fréquence du coupleur hyperfréquence 16 est de 2450 MHz, pour ne pas perturber le couplage entre le coupleur 16 et la colonne de plasma

14, il est préférable que le diamètre externe du tube 2 dont une partie traverse le coupleur 16, ne dépasse pas 30 à 40 mm environ. Dans le cas où un tube de diamètre externe supérieur à ces valeurs est nécessaire, on peut utiliser, conformément à la figure 3, un tel tube adapté de telle manière que la partie 48 de ce dernier, destinée à traverser le coupleur hyperfréquence 16, ait un diamètre externe inférieur à 30 mm. L'extrémité de la colonne de plasma 14 se propageant entre les deux positions extrêmes 32 et 34 dans le reste du tube, la formation du revêtement vitreux a effectivement lieu dans un tube dont le diamètre externe est supérieur à 30 ou 40 mm.

On notera toutefois que l'on peut utiliser des tubes de diamètre externe supérieur à 40 mm sans avoir à rétrécir le diamètre externe de ces tubes au niveau du coupleur, en utilisant des coupleurs à des fréquences inférieures à 2450 MHz.

Sur la figure 4, on a représenté schématiquement un autre mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, qui diffère essentiellement du dispositif représenté sur la figure 1 par le fait que le coupleur hyperfréquence 16 n'est plus fixé à une extrémité du tube 2 mais peut être animé d'un mouvement relatif par rapport audit tube, parallèlement à l'axe 50 de ce dernier.

De préférence, conformément à la figure 4, le coupleur hyperfréquence 16 est mobile en translation par rapport au tube 2 à l'aide de moyens 21, ce tube 2 étant maintenu en position fixe. Le principe de la réaction chimique conduisant au dépôt vitreux est identique à celui qui a été indiqué en référence à la figure 1. En revanche, la fabrication des couches vitreuses élémentaires entre les deux positions 32 et 34 n'est plus obtenue par une variation de la longueur de

la colonne de plasma 14, mais par un déplacement du coupleur 16 et donc de la colonne de plasma 14. La puissance électromagnétique fournie par le générateur 18 est maintenue constante au cours de la formation de chaque couche vitreuse élémentaire, ce qui permet d'obtenir une zone de dépôt constante. En outre, cette puissance est choisie de façon que la longueur de la colonne de plasma 14 soit petite devant la longueur du tube 2, de manière à minimiser la longueur inutile du dépôt au-delà de la position référencée 32 (à droite sur la figure 4).

Le coupleur 16 est comme précédemment apte à engendrer une onde progressive de surface. A cet effet, on peut utiliser un dispositif connu sous le nom de SURFATRON, comportant essentiellement une cavité réentrante 52 et une antenne 54 reliée au générateur 18 par l'intermédiaire d'un câble coaxial 56.

Le fait d'engendrer et de déplacer un plasma de taille réduite permet une utilisation aisée de l'énergie thermique dégagée par ce plasma. En effet, l'échauffement de la paroi interne du tube 2 par le plasma est alors le même sur toute la longueur du déplacement. Les paramètres influant sur le plasma (pression, débit et composition chimique du mélange gazeux) sont alors ajustés de façon à obtenir une température de la paroi interne du tube 2 qui soit comprise entre 800 et 1200°C environ. La désorption de certains effluents gazeux des couches vitreuses élémentaires formées peut donc être réalisée sans moyen de chauffage supplémentaire. Par ailleurs, à un aller et retour du coupleur 16 le long du tube 2 correspond la formation de deux couches vitreuses élémentaires.

Au lieu de maintenir le tube 2 fixe et de rendre le coupleur 16 déplaçable en translation par rapport à ce tube, il est possible de maintenir le

5 coupleur 16 fixe et de déplacer le tube 2 en translation par rapport à ce coupleur. Le choix entre les deux possibilités (tube fixe et coupleur mobile ou, au contraire, coupleur fixe et tube mobile) dépend essentiellement du type de coupleur choisi et de la structure mécanique de l'ensemble du dispositif.

10 A titre purement indicatif et nullement limitatif, quatre exemples de fabrication de préformes pour fibres optiques multimodes à gradient d'indice sont donnés ci-après, ces exemples correspondant au

15 L'exemple 1 correspond à une vitesse de dépôt relativement élevée et à une capacité kilométrique classique (de l'ordre de 10 km). L'épaisseur n'étant pas très importante, le débit est maintenu constant sans augmentation gênante de la perte de charge. Dans les exemples 2, 3 et 4, la combinaison d'une vitesse de dépôt très élevée et d'une forte capacité kilométrique nécessite une variation du débit au cours du dépôt. Dans les exemples 2 et 3, on envisage la fabrication de fibres à ouverture numérique classique (de l'ordre de 0,2), de diamètre de coeur 50  $\mu\text{m}$  et de diamètre de gaine 125  $\mu\text{m}$ , avec différentes capacités kilométriques de préforme et dans l'exemple 20 25 4, on envisage la production de fibres ayant une ouverture numérique élevée (0,23), un diamètre de coeur de 85  $\mu\text{m}$  et un diamètre de gaine de 125  $\mu\text{m}$ .

#### EXEMPLE 1

30 Dans cet exemple, les diamètres intérieur et extérieur du tube 2 sont respectivement de 19 mm et 25 mm. Dans une première phase, le mélange gazeux est composé d'argon pur avec un débit de 100 centimètres cube standard par minute (sccm) et un plasma d'argon est formé pendant environ 15 minutes, ce qui permet 35 une désorption très efficace des parois internes du

tube 2. Ensuite, la composition du mélange gazeux réactif est la suivante : 1600 sccm d'oxygène, 400 sccm de  $\text{SiCl}_4$  et entre 0 et 60 sccm de  $\text{GeCl}_4$ . La pression est maintenue à 400 Pa environ et la puissance incidente est modulée de 250 à 2500 W, ce qui permet d'obtenir une longueur de dépôt utile de 50 cm. La forme du signal de modulation est telle que la vitesse de déplacement de l'extrémité de la colonne de plasma soit constante.

La durée d'un cycle, correspondant au dépôt de deux couches, est de 5 secondes. On forme 1200 couches d'environ  $0,5 \mu\text{m}$  d'épaisseur, ce qui correspond à un dépôt total de 53 grammes de silice en 50 minutes. La perte de charge est ainsi inférieure à 5% sur la longueur du dépôt durant tout ce dépôt. On utilise un four électrique tubulaire dont la température est de  $1100^\circ\text{C}$ . Lorsque la phase de dépôt est terminée, le tube est transféré sur un tour de verrier pour effectuer une opération de rétreint. La préforme obtenue a un diamètre de 18 mm et une longueur de 50 cm, c'est-à-dire une capacité kilométrique de 10 km de fibres ayant un diamètre extérieur de 125 microns et un diamètre de coeur de 50 microns.

En ce qui concerne les exemples 2, 3 et 4, l'objectif fixé est la combinaison d'une vitesse de dépôt très élevée et d'une forte capacité kilométrique.

Sur la figure 5, on a représenté l'évolution de paramètres du dépôt en fonction du temps de dépôt  $t$  exprimé en minutes. Les paramètres sont les suivants :

- la vitesse de fabrication  $V_f$  exprimée en kilomètres de fibres par heure
- le débit total du flux gazeux  $Q$  exprimé en litres standard par minute (slm)
- le diamètre interne du tube  $R$  exprimé en millimètres

- la vitesse moyenne de dépôt  $V_d$  à l'instant considéré exprimée en grammes par minute
- la capacité kilométrique  $C_p$  de la préforme finale exprimée en kilomètres.

5 Les conditions utilisées sont les suivantes :

- au départ le tube a un diamètre interne de 25 mm et un diamètre extérieur de 30 mm
- débit initial total :  $Q_0 = 6$  slm
- 10 - excès d'oxygène : 3
- débit de  $GeCl_4$  pour une ouverture numérique de 0,20 : 0 à 15% du débit de  $SiCl_4$
- débit de  $GeCl_4$  pour une ouverture numérique de 0,23 : 0 à 18% du débit de  $SiCl_4$
- 15 - pression interne : constante et égale à  $10^3$  Pa
- perte de charge : 1% sur une longueur de 1 mètre
- longueur de dépôt : 50 cm
- 20 - longueur utile : 40 cm
- puissance microonde : modulée de 500 à 3000 W
- fréquence de modulation : 0,05 Hz
- temps de mise en place du tube : 15 mn
- 25 - durée de la décharge préalable en argon pur : 15 mn

#### EXEMPLE 2

30 La vitesse de fabrication maximale est recherchée au niveau de la phase de dépôt pour des fibres ayant un diamètre de coeur de 50 microns un diamètre de gaine de 125 microns et une ouverture numérique de 0,20. Selon la figure 5, la durée de l'opération de dépôt est de 60 mn d'où résulte une capacité kilométrique utile de 32 kilomètres et une vitesse de

35 fabrication de 27 kilomètres par heure. On a déposé

360 couches élémentaires d'une épaisseur moyenne de 6 microns, avec une vitesse moyenne de dépôt de 3 grammes par minute.

5 La phase de dépôt est suivie d'un rétreint et l'ajustement du rapport du diamètre de coeur au diamètre de gaine est obtenu par un dépôt de silice minérale en grains au moyen d'une torche à plasma. Le diamètre final de la préforme avant fibrage est de 35,3 millimètres pour une longueur de 40 cm.

10 EXEMPLE 3

Lorsque des préformes de capacité kilométrique plus importante sont désirées, notamment dans l'intention d'augmenter la vitesse de fabrication de la phase "fibrage", un temps de dépôt plus long est nécessaire. La vitesse de fabrication de la phase "dépôt" est donc plus faible.

15 On réalise ainsi une préforme équivalant à 50 kilomètres de fibre ayant un diamètre de coeur de 50 microns, un diamètre de gaine de 125 microns et une ouverture numérique de 0,20 en 130 minutes, ce qui correspond à une vitesse de fabrication de 23 kilomètres par heure pour une vitesse moyenne de dépôt de 2 grammes par minute, une épaisseur totale déposée de 4 mm comprenant 750 couches et un diamètre final après rétreint et recharge externe de silice, de 44,2 mm

20

25 pour une longueur de 40 cm.

EXEMPLE 4

Des fibres ayant une ouverture numérique importante (0,23), un diamètre de coeur de 85 microns et un diamètre de gaine de 125 microns peuvent être également obtenues mais leur vitesse de fabrication est cependant inférieure à celle qui est considérée dans les exemples 2 et 3. La durée du dépôt est de 90 minutes ce qui correspond à une vitesse moyenne de dépôt de 2,5 grammes par minutes, 450 couches élémentaires,

30

35

une épaisseur totale déposée de 2,25 mm, une longueur utile de 40 cm et une capacité kilométrique de 13 kilomètres de fibre ayant un diamètre de coeur de 85 microns et un diamètre de gaine de 125 microns. La vitesse de fabrication résultante est de 8,5 kilomètres par heure. Le diamètre de la préforme finale après rétreint est de 22,5 millimètres. L'opération de recharge extérieure n'est pas utile dans ce cas puisque, dans l'exemple 4, le rapport des diamètres de coeur et de gaine est exact, c'est-à-dire que le rapport du diamètre de coeur au diamètre de gaine obtenu dans la préforme correspond au rapport 85/125 voulu pour la fibre finale et qu'il n'y a donc pas besoin de réajustement.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de fabrication d'une préforme pour fibres optiques, comprenant une étape de formation d'un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube en verre (2), étape dans laquelle on fait passer continûment, d'une extrémité à l'autre du tube, un mélange de composés gazeux ionisables et aptes à donner naissance au revêtement par réaction entre eux, la pression du mélange dans le tube étant maintenue inférieure à  $10^4$  Pa environ, tout en formant dans le tube, à l'aide d'un coupleur hyperfréquence (16), une colonne de plasma (14) destinée à activer la réaction, et en réalisant un déplacement relatif d'au moins une extrémité de la colonne de plasma par rapport au tube, procédé caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence est apte à injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence (16) est maintenu fixe par rapport au tube (2), à l'extrémité de celui-ci d'où sort le mélange, et en ce que l'on fait varier continûment et progressivement la puissance électromagnétique fournie au coupleur hyperfréquence de façon que l'extrémité de la colonne de plasma balaye le tube.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la puissance fournie au coupleur hyperfréquence (16) est modulée entre deux valeurs comprises entre 0 et 3 kW environ.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 et 3, caractérisé en ce que la fréquence de modulation est comprise entre 0 et 10 kHz environ.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence (16) est

animé d'un mouvement relatif par rapport au tube (2) et en ce que la puissance électromagnétique fournie au coupleur hyperfréquence est maintenue sensiblement constante.

5                   6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le mélange comprend de l'oxygène, un tétrahalogénure de silicium et, pendant au moins une partie de l'étape de formation du revêtement, au moins un corps choisi dans le groupe  
10 comprenant le fluor, les composés du fluor et les halogénures aptes à produire un dopant pour la silice.

                  7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le mélange comporte un excès d'oxygène par rapport au tétrahalogénure et audit corps, cet excès étant maintenu constant, dans un rapport compris  
15 entre 2 et 10 environ.

                  8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, caractérisé en ce que le mélange comprend en outre un gaz rare.

20                   9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'intérieur du tube (2) est balayé par un courant d'un gaz rare, préalablement à l'étape de formation du revêtement.

                  10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que le tube (2) est maintenu à une température au moins égale à 1000°C environ.

                  11. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que la pression moyenne dans le tube (2) est maintenue constante pendant l'étape de formation du revêtement.

                  12. Dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon la revendication 1, ce dispositif étant destiné à former un revêtement vitreux sur la face interne d'un tube en verre (2), ce dispositif comprenant :  
35

- des moyens (4, 8) pour faire passer continûment, d'une extrémité à l'autre du tube, un mélange de composés gazeux ionisables et aptes à donner naissance au revêtement par réaction entre eux, la pression du mélange dans le tube étant maintenue inférieure à  $10^4$  Pa environ,
- un coupleur hyperfréquence (16) prévu pour former dans le tube une colonne de plasma (14) destinée à activer la réaction, et
- des moyens (18, 21) pour réaliser un déplacement relatif d'au moins une extrémité de la colonne de plasma par rapport au tube, caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence (16) est apte à injecter une onde progressive de surface dans la colonne de plasma.

13. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que le coupleur hyperfréquence (16) est fixe et destiné à recevoir l'extrémité du tube d'où sort le mélange et en ce que les moyens pour effectuer le déplacement relatif comprennent un générateur de micro-ondes à puissance variable (18), prévu pour fournir une puissance électromagnétique au coupleur hyperfréquence et pour faire varier continûment et progressivement cette puissance, de façon que l'extrémité de la colonne de plasma balaye le tube.

14. Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens pour effectuer le déplacement relatif comprennent :

- un générateur de micro-ondes (18) pour alimenter le coupleur hyperfréquence (16), et
- des moyens (21) de déplacement relatif du coupleur hyperfréquence par rapport au tube (2), suivant l'axe (50) de ce dernier.

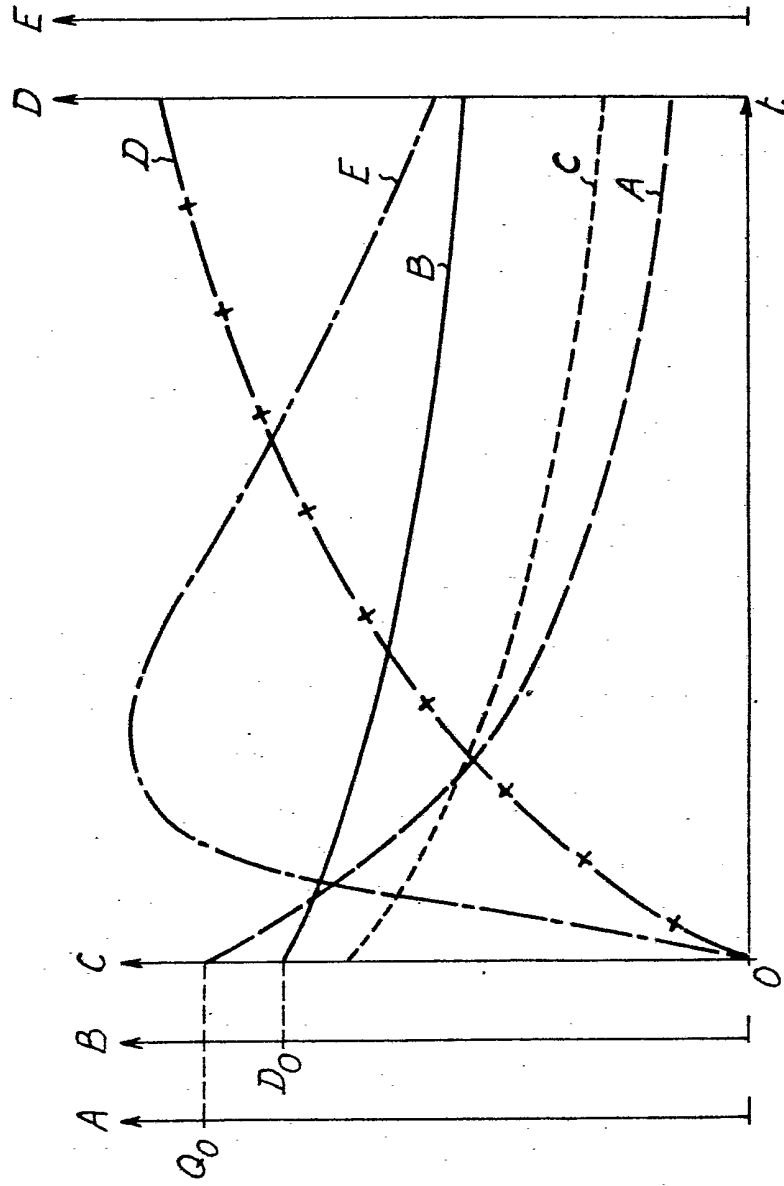
15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, caractérisé en ce qu'il com-

prend en outre des moyens (44, 46) de régulation de pression dans le tube, prévus pour maintenir constantes la pression moyenne et/ou la perte de charge dans ce tube pendant l'étape de formation du revêtement.

- 5           16. Préforme pour fibres optiques, caractérisée en ce qu'elle est obtenue par le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 11.



FIG.2



3/4

FIG. 3

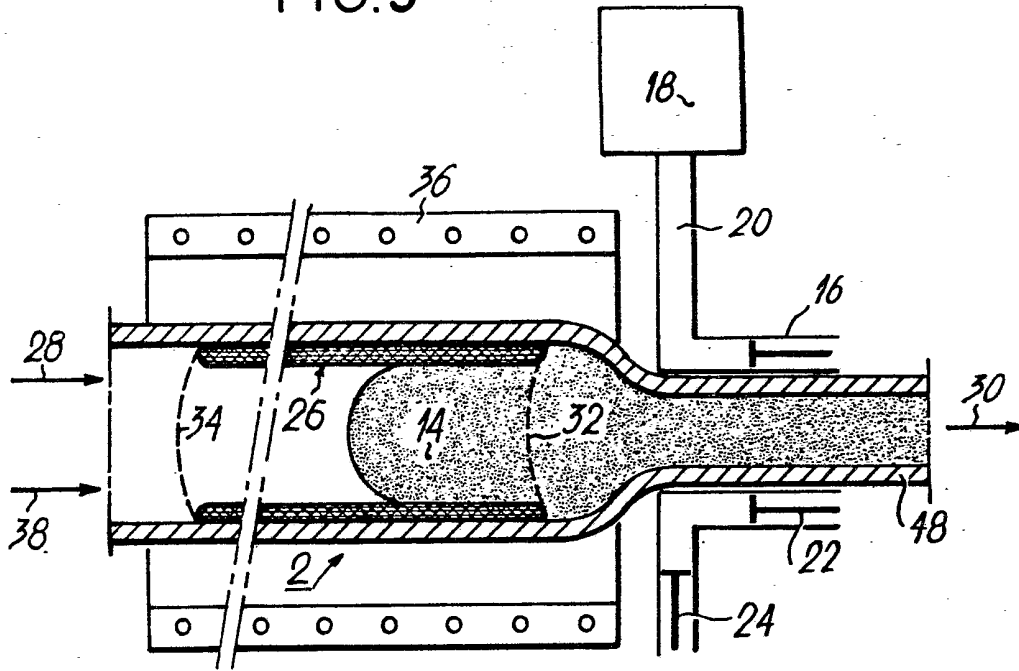
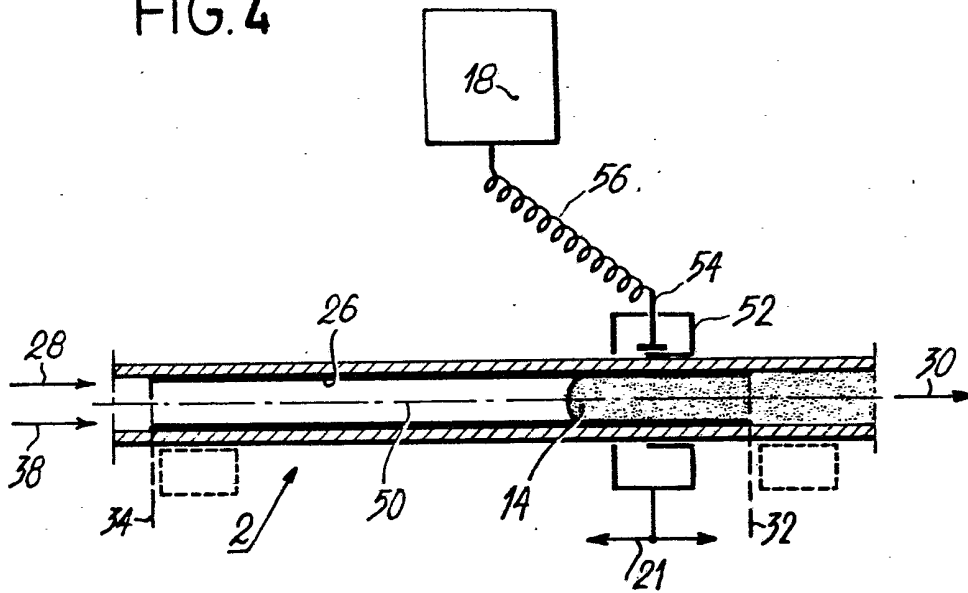


FIG. 4



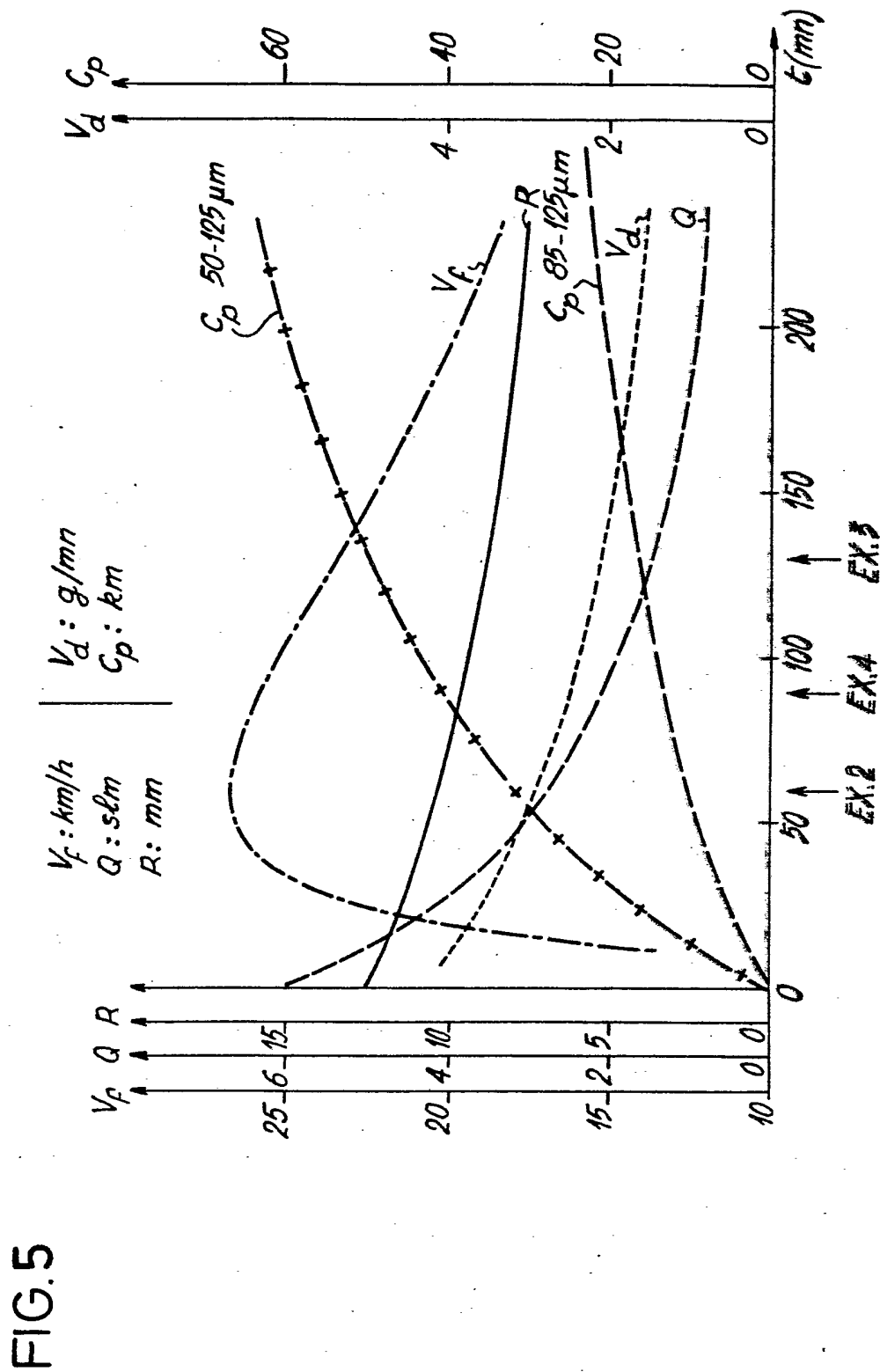


FIG.5