

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
—  
PARIS  
—

①1 N° de publication : **2 584 100**  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)  
②1 N° d'enregistrement national : **85 09951**  
⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : C 23 C 14/24.

①2 **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION** A1

②2 Date de dépôt : 28 juin 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 1 du 2 janvier 1987.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *KIEVSKY POLITEKHNIЧЕСKY INSTI-  
TUT IMENI 50-LETIA VELIKOI OKTYABRSKOI SOTSIA-  
LISTICHESKOI REVOLJUTSII. — SU.*

⑦2 Inventeur(s) : Georgy Timofeevich Levchenko et  
Alexandr Nikolaevich Radzikovsky.

⑦3 Titulaire(s) :

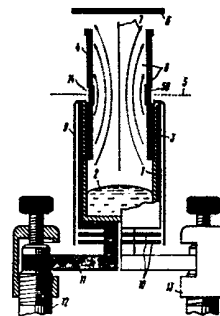
⑦4 Mandataire(s) : Cabinet Z. Weinstein.

⑤4 **Évaporateur pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces.**

⑤7 L'invention concerne les techniques d'application de revê-  
tements.

L'évaporateur faisant l'objet de l'invention est du type com-  
portant un creuset 1 pour la matière à évaporer 2, équipé d'un  
réchauffeur 3 et communiquant avec un moyen 7 de formation  
d'un flux dirigé de vapeur de ladite matière, et est caractérisé  
en ce que ledit moyen 7 de formation d'un flux dirigé est  
réalisé sous forme d'un tuyau 4 ayant un plan de symétrie  
transversal 5 et dont une extrémité est placée dans le creu-  
set 1.

L'évaporateur en question peut être utilisé notamment pour  
l'application de films de matières coûteuses telles que l'or,  
l'argent, le platine, le palladium.



FR 2 584 100 - A1

La présente invention se rapporte à la technique d'application de revêtements sur des produits divers et a notamment pour objet un évaporateur destiné à déposer sous vide des films minces.

5 Les évaporateurs pour l'obtention sous vide de dépôts de films minces, de préférence en matières coûteuses telles que, par exemple, l'or, l'argent, le platine, le palladium, peuvent être utilisés dans l'électronique, la radiotechnique, l'électrotechnique,  
10 l'optique et l'acoustique, pour la fabrication, par exemple, de circuits intégrés, de lignes à bandes à très haute fréquence, la métallisation de composants pour appareils radio et électroniques, de cartes et de rubans imprimés, ainsi que pour le gainage optique.

15 La principale exigence imposée aux évaporateurs pour l'obtention sous vide de dépôts de films minces est l'élimination des pertes de la matière qui n'arrive pas à atteindre le substrat, lorsque cette matière est récupérée pour être réutilisée, et la bonne homogénéité  
20 de l'épaisseur des films que l'on cherche à obtenir à partir d'une large gamme de matières pouvant être déposées par évaporation sur des substrats de grande surface.

25 Il est possible d'améliorer l'homogénéité des dépôts de couches minces en disposant le substrat à une distance considérable de l'évaporateur, et, pour réduire les pertes de la matière à déposer par évaporation, on peut faire appel à la collecte de la matière évaporée qui n'atteint pas le substrat.

30 On connaît bien un dispositif pour la métallisation sous vide de substrats, comportant un creuset et un substrat éloigné de ce creuset, ledit creuset et ledit substrat étant entourés par une chambre destinée à collecter la matière évaporée qui n'arrive pas à atteindre  
35 le substrat. Une fois le processus de métallisation terminé,

on procède à la récupération de la matière déposée sur les parois de la chambre afin de l'envoyer de nouveau dans le creuset pour évaporation.

5 Le dispositif du type connu n'assure pas la  
régularité de l'épaisseur des dépôts de films obtenus  
par évaporation, étant donné que la distance séparant  
le creuset du substrat se trouve limitée par les  
10 dimensions de la chambre. De plus, la matière récupérée  
sur les parois de la chambre pour la réutilisation est  
polluée par des corps étrangers. Ces impuretés sont dues  
au matériau des parois de la chambre, qui se mélange  
avec la matière évaporée lors du nettoyage des parois  
de la chambre, de même qu'avec les gaz résiduels de la  
15 chambre à vide qui se joignent à la matière évaporée  
au moment où cette dernière se condense sur les parois  
de la chambre dont les dimensions sont importantes à  
cause de l'éloignement du substrat. Par ailleurs, il y  
a lieu de signaler les importantes dépenses de main  
d'oeuvre nécessaire pour le nettoyage de la chambre de  
20 collecte.

Les difficultés liées au processus de nettoyage  
peuvent être réduites si l'on procède à une nouvelle  
évaporation de la matière se déposant sur les parois de  
la chambre de collecte, ce qui se fait dans un dispositif  
25 pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts  
de films minces (demande de brevet japonais N 57-134555,  
cl. C 23 C 13/00, 13/08 publiée le 19.08.82) qui comporte  
une source de vapeur, placée dans le vide et se présentant  
sous forme d'un creuset contenant la matière à évaporer,  
30 au-dessus duquel se trouve une chambre de collecte qui  
contourne le flux de vapeur de la matière à déposer, se  
dirigeant vers le substrat. La chambre de collecte est  
réalisée de façon à assurer le chauffage jusqu'à la  
température de la matière à évaporer se trouvant dans le  
35 creuset, ou jusqu'à une température qui peut réunir toutes

les conditions pour une nouvelle évaporation de la matière qui se dépose sur les parois de la chambre de collecte, de sorte que, lors de l'obtention de dépôts de films minces, la matière qui est évaporée dans le creuset, mais qui n'arrive pas sur le substrat, se dépose et subit encore une fois l'évaporation à partir des surfaces de la chambre de collecte ayant une température élevée.

Ce dispositif connu n'assure pas, lui non plus, une pureté suffisante des films minces obtenus par évaporation, vu le dégagement trop grand des gaz dans la chambre de collecte en raison de sa température élevée et de ses grandes dimensions qui sont comparables avec la distance entre le creuset et le substrat. Pour cette même raison, le substrat subira un réchauffement supplémentaire élevé inadmissible dû au rayonnement thermique, provenant de la chambre de collecte. De plus, le dispositif en question se caractérise par des pertes élevées de matière évaporée à la suite des fuites de cette matière à travers les écartements qui existent entre le creuset, la chambre de collecte et le substrat.

Les pertes de matière à évaporer peuvent être moins élevées si l'on abaisse la température dans la chambre de collecte. Dans ces conditions, la surchauffe du substrat devient elle-aussi moins forte. Ceci est réalisé dans un dispositif de régénération en phase liquide, utilisé pour obtenir des dépôts de films minces sous vide (demande de brevet japonais n° 57-155368, Cl. C 23 C 13/00, 13/08, publiée le 25.09.82) qui comporte un creuset contenant la matière à évaporer, au-dessus duquel, autour du flux de vapeur se dirigeant vers le substrat, se trouve une chambre de collecte. L'extrémité inférieure de la chambre est située à l'intérieur du creuset, dans sa partie supérieure. Pendant l'application des films minces par évaporation, la chambre de collecte

est chauffée à une température qui ne doit pas être inférieure à la température de fusion de la matière à évaporer, et la matière évaporée qui se dépose sur la chambre de collecte se présente à l'état liquide et coule le long de ses parois, en passant dans le creuset. Cependant, la régénération en phase liquide n'assure pas, elle non plus, une diminution suffisante des pertes lorsqu'il s'agit d'une gamme étendue de matières se prêtant à l'évaporation, car à la température de fusion la tension de vapeur de la plupart de ces matières donne lieu à une évaporation très intense. Aussi, dans ce dispositif, de même que dans le dispositif décrit précédemment, auront lieu des fuites de vapeur à travers les écartements qui existent entre le creuset, la chambre de collecte et le substrat. De même, en raison de la température élevée régnant dans la chambre de collecte et qui est déterminée par la température de la surface en phase liquide, on assiste à un dégagement des gaz et à un réchauffement supplémentaire indésirable du substrat.

On peut réduire les pertes de matière à évaporer si l'on supprime l'espacement entre le creuset et la chambre de collecte ou si l'on diminue la température dans la chambre de collecte pendant l'évaporation jusqu'à une température qui est inférieure au point de fusion de la matière à évaporer. Dans ce cas, l'écoulement de la matière déposée sur les parois de la chambre de collecte peut se faire en faisant passer périodiquement la température de la chambre de collecte au-delà du point de fusion de la matière utilisée pour l'évaporation. On arrive alors à réduire le dégagement des gaz à partir des parois de la chambre de collecte et le réchauffement du substrat. Ceci est réalisé dans un dispositif pour l'obtention sous vide de dépôts de films minces (brevet USA N° 4125086, cl. C 23 C, 13/08, publié le 14.11.78), comportant un creuset en oxyde d'aluminium qui contient la

matière à évaporer et dans lequel est descendu un tuyau en tungstène ayant un orifice assurant le passage de la vapeur. En face de cet orifice il y a un autre orifice qui est réalisé dans la paroi du creuset et destiné au passage d'une partie de la vapeur et son dépôt sur le substrat. La partie de la vapeur qui reste se dépose sur les parois du creuset autour de l'orifice. La paroi du creuset sert, en l'occurrence, de moyen de formation d'un flux de vapeur orienté. Dans ce dispositif, les réchauffeurs sont prévus séparément pour le creuset et pour le tuyau. Le tuyau est maintenu en permanence à une température élevée, ce qui permet d'évaporer la matière et de faire sortir par l'orifice la vapeur de la matière évaporée. Pour ce qui est de la température du creuset, elle doit croître périodiquement en vue d'assurer l'écoulement vers le bas de la matière déposée sur ses parois. La matière récupérée passe ensuite dans le tuyau pour être évaporée encore une fois.

Cependant, lorsque les dépôts de films sont obtenus par évaporation, par exemple, d'or, les pièces en tungstène sont mouillées par cette matière, en donnant naissance à une liaison mécanique lors de la solidification, ce qui conduit à la destruction du tuyau en tungstène après quelques cycles de chauffage par suite des coefficients de dilatation thermique différents de l'or et du tungstène. De plus, l'or pénètre à travers les joints d'étanchéité en tungstène et rend le dispositif inapte au fonctionnement.

En vue d'éviter la destruction du tuyau et la pénétration de la matière évaporée à travers les joints d'étanchéité, il est possible de réaliser le dispositif tout entier en matériau non mouillable. Ceci est réalisé dans un dispositif pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces (brevet USA N° 4412508,

cl. C 23 C 13/08, publié le 01.11.83), comportant un corps cylindrique en graphite ayant une cloison axiale le partageant en deux chambres parallèles. L'une de celles-ci, ou chambre collimatrice, remplit les fonctions d'un moyen de formation d'un flux de vapeur dirigé de matière évaporée et a dans sa paroi latérale un orifice qui laisse passer la vapeur se dirigeant vers le substrat. Dans l'autre chambre, qui est une chambre d'évaporation, est monté coaxialement un tuyau en graphite, ayant dans sa paroi latérale un orifice pour le passage de la vapeur et se trouvant sur l'axe de l'orifice réalisé dans la chambre collimatrice, ledit axe étant perpendiculaire à l'axe du corps du dispositif. L'extrémité inférieure de la chambre collimatrice forme un creuset équipé d'une canalisation pour le passage de la matière liquide vers la chambre d'évaporation où la matière liquide monte en passant par une mèche en tungstène, la température du tuyau étant maintenue à un niveau élevé en y faisant passer un courant électrique. La vapeur passe par l'orifice réalisé dans le tuyau et arrive dans la chambre collimatrice d'où une partie de cette vapeur sort à travers l'ouverture de collimation pour arriver au substrat, tandis que l'autre partie de ladite vapeur se condense sur les parois de la chambre collimatrice. Cette chambre est chauffée périodiquement par un réchauffeur prévu à cet effet, pour assurer la circulation de la matière liquide à destination de la mèche.

Le dispositif qui vient d'être décrit, lorsqu'il est utilisé pour évaporer l'or, se distingue par une longévité élevée, étant donné qu'il est réalisé en graphite, c'est-à-dire en un matériau mouillable par l'or.

Au cours de l'obtention par évaporation de dépôts de films minces, compte tenu des vitesses d'évaporation utilisées en pratique, le régime d'écoulement de la vapeur à travers l'orifice très petit ( $\sim 0,5$  mm) existant

dans le tuyau est visqueux ou presque. Pour cette raison, la variation de la répartition de l'intensité du flux de vapeur de la matière évaporée, au lieu d'être fonction du cosinus de l'angle par rapport à l'axe de l'orifice, est fonction de degrés de cosinus plus élevés en

5                   corrélation avec les régimes d'écoulement. Il en résulte que les dépôts de films minces obtenus par évaporation sont irréguliers en épaisseur et cette irrégularité est d'autant plus importante que la surface du substrat est plus grande.

10                  De plus, étant donné que la plupart des matières employées pour l'évaporation s'évaporent d'une façon suffisamment intense à la température de fusion, la montée de la température, même de courte durée, dans la chambre collimatrice au-dessus du point de fusion de la matière

15                  utilisée conduit à un accroissement des pertes de la matière évaporée, car l'émission de vapeur à travers l'orifice de collimation n'est pas dirigée.

                  C'est ainsi que, d'après les données fournies par les ouvrages de référence, on connaît 71 matières qui sont

20                  largement employées actuellement pour l'évaporation en vue d'obtenir des dépôts de films minces (Cf. "Handbook of Thin Film Technology", Edited by Leon I. Maissel and Reinhard Glang, 1970, Ed. McGraw-Hill Book Company, New York, pages 1-37; 1-38; 1-66; 1-68). Parmi ces matières il n'y

25                  en a que 23 dont la pression de vapeur, à la température de fusion, ne dépasse pas 1330 mPa. Il y a lieu de noter que ces matières, comme on le sait, commencent à s'évaporer lorsque la pression atteint 1330 mPa. Cela veut dire qu'avec les 48 matières qui restent, les pertes sont

30                  importantes. De plus, nombreuses sont les matières telles que, par exemple, le chrome, l'arsenic, certains oxydes, la plupart des sulfures, des séléniures et des tellurures, qui se caractérisent à la température de fusion par une

                  pression de vapeur s'élevant à des milliers ou des dizaines

35                  de milliers de Pa ou davantage. Dans la pratique, ces

matières ne se prêtent pas du tout à la régénération en phase liquide.

Comme il ressort des brevets USA cités ci-dessus, il convient également de prendre en compte le fait

5 que le diamètre optimal du tuyau appartenant à la chambre d'évaporation est de 1,56 mm. Avec des diamètres plus importants, la chaleur amenée au tuyau provoque la surchauffe du creuset et de la chambre collimatrice, tout en augmentant la pression de vapeur dans la chambre colli-

10 matrice, ce qui conduit finalement à des pertes supplémentaires de matière à évaporer. En même temps, le tuyau ayant un diamètre si petit ne peut contenir qu'une faible quantité de matière, suffisante pour obtenir un dépôt de film de faible épaisseur, après quoi il est indispensable

15 de faire passer à l'état liquide la matière à évaporer se trouvant dans la chambre collimatrice, en vue d'assurer l'arrivée dans le tuyau de la dose suivante de matière. Ainsi, l'augmentation de la température dans la chambre collimatrice au-delà du point de fusion de la matière à

20 évaporer doit se faire assez souvent et pratiquement après chaque obtention d'un dépôt de film mince. Lorsqu'il faut obtenir un film de forte épaisseur, la température dans la chambre collimatrice doit être maintenue pendant toute la durée de l'évaporation à un niveau supérieur au point

25 de fusion de la matière utilisée. Ainsi, par exemple, si la pression dans la chambre collimatrice atteint 1330 mPa, les pertes dues à l'émission non dirigée, à travers l'orifice de collimation, de la matière évaporée dans la chambre collimatrice même, peuvent s'élever à 70%.

30 Par ailleurs, pour obtenir une vitesse d'évaporation, stable, l'extrémité de la mèche se trouvant dans le tuyau doit être immergé dans la matière à évaporer qui doit alors occuper toute la partie inférieure du creuset, ce qui représente un volume considérable. C'est pour cette raison

que, au début, la quantité minimale de matière mise en oeuvre se chiffre à quelques grammes, ce qui entraîne des dépenses supplémentaires injustifiées dues au fait que toute cette quantité de matière ne subit pas l'évaporation, alors que sa présence en permanence dans le creuset et dans la canalisation assurant la circulation de la matière liquide n'est indispensable que pour le fonctionnement normal du dispositif.

Il y a lieu de signaler, en outre, que le dispositif décrit ci-dessus est équipé de deux réchauffeurs autonomes qui permettent de maintenir de façon très précise la température tant dans la chambre d'évaporation que dans la chambre collimatrice. Par contre, si, par exemple, dans la chambre collimatrice, la température n'est pas maintenue avec une bonne précision, les pertes de la matière se trouvant dans cette chambre collimatrice augmentent fortement, lorsque ladite matière s'écoule dans la chambre d'évaporation pour être utilisée encore une fois. La nécessité d'avoir deux réchauffeurs et, par conséquent, deux systèmes de contrôle et de réglage des températures, conduit à une complication du dispositif et rend plus difficile sa tenue en service.

La présente invention a pour objectif de créer un évaporateur pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces, dans lequel le moyen de formation d'un flux dirigé de la vapeur de la matière à évaporer serait conçu de manière à permettre la suppression des pertes de la matière n'ayant pas pu atteindre le substrat lors de son retour pour une nouvelle évaporation, et l'amélioration de l'homogénéité de l'épaisseur du film mince sur une grande surface du substrat, en faisant appel, pour l'évaporation, à une large gamme de matières.

Le problème ainsi posé est résolu du fait que l'évaporateur pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces, du type comportant un creuset pour la matière à évaporer, équipé d'un réchauffeur et

communiquant avec un moyen de formation d'un flux dirigé de la vapeur de la matière à évaporer, est caractérisé suivant l'invention, en ce que le moyen de formation du flux dirigé de vapeur de la matière à évaporer est  
5 réalisé sous forme d'un tuyau à plan de symétrie transversal et dont une extrémité se situe dans le creuset.

Il est avantageux que ledit tuyau ait une section variable suivant sa longueur.

10 Il est utile que ledit tuyau ait, dans sa partie médiane, au moins un évidement annulaire.

Il est efficace que l'évaporateur comporte un moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité du flux dirigé de vapeur, ledit moyen  
15 étant disposé dans le tuyau.

Il est avantageux que ledit moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité du flux de vapeur soit réalisé sous forme d'un diaphragme fixé dans le tuyau et comportant un orifice se situant dans  
20 le plan de symétrie du tuyau.

Il est rationnel que le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité comporte un diaphragme supplémentaire ayant un orifice et identique au diaphragme principal, que lesdits diaphragmes  
25 soient disposés avec un écartement entre eux et qu'ils soient reliés entre eux suivant le périmètre des orifices, le tuyau étant réalisé en deux parties identiques séparées par un intervalle où sont disposés les diaphragmes, chacun desdits diaphragmes étant  
30 relié de façon rigide à la partie respective dudit tuyau.

Il est également avantageux que l'ouverture du diaphragme soit formée de deux cônes tronqués, orientés l'un vers l'autre par leurs petites bases.

Il est utile que le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité soit réalisé sous forme de deux diaphragmes identiques, ayant des ouvertures annulaires et fixés sur les extrémités du tuyau à une même distance de son plan de symétrie.

Il est efficace que le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité soit réalisé sous forme d'un diaphragme fixé dans le tuyau, dans son plan de symétrie, et ayant un nombre important d'orifices dont les axes géométriques sont disposés sous des angles déterminés l'un par rapport à l'autre et par rapport à l'axe géométrique du tuyau.

Il est avantageux que l'évaporateur ait un moyen assurant la correction de la forme du flux dirigé de vapeur et se trouvant dans le tuyau.

Il est rationnel que le moyen assurant la correction de la forme du flux de vapeur soit réalisé sous forme de deux diaphragmes identiques ayant des orifices dont la forme correspond à la configuration des films minces à déposer et fixés aux extrémités du tuyau à une même distance de son plan de symétrie.

Il est aussi avantageux que le moyen assurant la correction de la forme du flux dirigé de vapeur soit réalisé sous forme d'embouts identiques fixés sur les extrémités du tuyau à une même distance de son plan de symétrie et ayant des trous profilés, ménagés en conformité avec la configuration des films minces à déposer.

Il est utile qu'au moins la partie médiane du tuyau soit pourvue d'un revêtement mouillable par la matière à évaporer.

Il est efficace que chacun des diaphragmes soit pourvu d'un revêtement mouillable par la matière à évaporer.

Il est avantageux que l'évaporateur comporte une pièce d'insertion poreuse pouvant contenir la matière à évaporer et dont le volume des pores ouverts est égal ou

supérieur au volume de la matière utilisée, ladite pièce d'insertion poreuse étant montée dans le creuset avec un jeu par rapport à ses parois.

L'évaporateur proposé pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces permet d'éliminer les pertes de matière n'ayant pas pu atteindre le substrat lors de sa récupération pour une nouvelle évaporation, d'améliorer l'homogénéité de l'épaisseur des dépôts de films minces, de réduire les pertes de matière à évaporer, en utilisant des substrats de toutes formes et dimensions, et de faire appel, pour l'évaporation, à toutes les matières utilisées dans la technique des dépôts de films minces. En outre, l'évaporateur en question peut fonctionner dans un large éventail de chargements de son creuset, ceux-ci pouvant varier entre de grandes quantités de matières (quelques dizaines de grammes) pour une seule évaporation et des quantités minimales (fractions de milligramme) pour l'obtention d'un seul film mince. L'évaporateur se distingue par sa conception simple, il est facile à fabriquer et à manier lors de son fonctionnement, il peut être utilisé pour obtenir des dépôts de films minces sur des substrats aussi bien immobiles qu'en mouvement, et ce, dans tous les appareils industriels fonctionnant sous vide, y compris les appareils automatiques, et sans procéder à un rééquipement quelconque de ceux-ci.

L'invention sera mieux comprise et d'autres buts, détails et avantages de celle-ci apparaîtront mieux à la lumière de la description explicative qui va suivre de différents modes de réalisation donnés uniquement à titre d'exemples non limitatifs, avec références aux dessins non limitatifs annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue d'ensemble, en coupe longitudinale partielle, d'un évaporateur pour

l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces, selon l'invention;

5 - la figure 2 représente une coupe longitudinale d'un creuset avec un tuyau à section variable monté dans celui-ci, selon l'invention;

- la figure 3 représente une vue analogue à la figure 2, avec un diaphragme monté dans le plan de symétrie du tuyau (coupe longitudinale), conformément à la présente invention;

10 - la figure 4 représente une vue analogue à la figure 3 avec un diaphragme supplémentaire relié au diaphragme principal suivant le périmètre de l'orifice, et avec un écran thermique (coupe longitudinale), selon l'invention;

15 - la figure 5 représente une vue analogue à la figure 3 avec un orifice profilé dans le diaphragme, des écrans thermiques et des diaphragmes supplémentaires fixés sur les extrémités du tuyau (coupe longitudinale), selon l'invention;

20 - la figure 6 représente en coupe longitudinale une variante d'évaporateur avec diaphragmes montés aux extrémités du tuyau et ayant des ouvertures annulaires, selon l'invention;

25 - la figure 7 représente une forme efficace de la surface émettrice de l'évaporateur représenté sur la figure 6, pour le centre du substrat, selon l'invention;

- la figure 8 représente une vue analogue à la figure 7 pour le bord du substrat, selon l'invention;

30 - la figure 9 représente une vue en coupe longitudinale de l'ensemble de la figure 6, avec des appuis pour la fixation de la partie intérieure du diaphragme, selon l'invention;

- la figure 10 représente une vue en plan de l'ensemble de la figure 9, selon l'invention;

- la figure 11 représente une vue en coupe longitudinale de l'ensemble de la figure 3 avec un diaphragme ayant une grande quantité d'ouvertures, selon l'invention;

5 - la figure 12 représente une vue schématique, à plus grande échelle et en axonométrie, d'une ouverture du diaphragme montré sur la figure 11, selon l'invention;

10 - la figure 13 représente une vue axonométrique d'un tronçon de tuyau ayant un embout muni de trous profilés, selon l'invention;

- la figure 14 représente une vue en coupe longitudinale d'un creuset ayant à l'intérieur une pièce d'insertion poreuse, selon l'invention.

L'évaporateur pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces, comporte un creuset 1  
15 (figure 1) contenant la matière à évaporer 2, monté dans une zone de chauffe créée par un réchauffeur 3, et qui communique avec un moyen de formation d'un flux dirigé de vapeur de la matière évaporée, réalisé sous forme d'un  
20 tuyau 4 à plan de symétrie transversal 5 et dont l'extrémité est montée dans le creuset 1. Au-dessus du tuyau 4 est placé un substrat 6 se trouvant sur le trajet du flux dirigé 7 de vapeur de la matière évaporée, qui sort dudit tuyau 4 et qui est montré sur la figure à l'aide de flèches. La  
25 partie inférieure du tuyau 4, portée à une haute température et disposée dans la zone de chauffe, se trouve à la température d'évaporation de la matière 2 à évaporer. La température de la partie supérieure du tuyau 4 se situe au-dessous du point de fusion de la matière à évaporer 2  
30 en raison du fait qu'elle est disposée hors de la zone de chauffe et qu'elle dissipe la chaleur. Ce tronçon à faible température du tuyau 4 est le site d'une condensation en phase solide des zones périphériques 8 du flux de vapeur ne pouvant pas atteindre le substrat 6.  
35 Entre le tronçon à haute température et le tronçon à

faible température du tuyau 4 il y a une zone de transition étroite où se fait la condensation en phase liquide qui, lors de l'obtention des dépôts de films minces par évaporation, passe vers le tronçon à haute température pour s'évaporer.

5

Comme il a été indiqué précédemment, le tuyau 4 a un plan de symétrie transversal 5, ce qui permet de placer l'une ou l'autre extrémité du tuyau 4 dans le creuset 1 périodiquement, en assurant ainsi la récupération de la matière condensée dans le tuyau 4, en vue de réutiliser cette matière pour l'évaporation.

10

Afin d'éviter les pertes thermiques, l'évaporateur est doté d'un écran thermique 9 réalisé, par exemple, en molybdène et entourant le réchauffeur 3.

15

Le creuset 1, le tuyau 4 et le réchauffeur 3 sont réalisés, par exemple, en graphite. Dans cette variante de l'évaporateur, le réchauffeur 3 est réalisé d'une seule pièce avec les écrans thermiques 10, se trouvant sous le réchauffeur 3, et avec les amenées de courant 11. Ces dernières servent à la fixation de l'évaporateur directement sur les entrées 12 d'un appareil à vide (omis sur la figure) en utilisant à cet effet des pinces 13.

20

En vue d'augmenter l'angle de sortie du flux dirigé de vapeur, le tuyau 4 (figure 2) a une section variable suivant sa longueur et comprend en particulier deux tronçons tronconiques orientés l'un vers l'autre par leurs petites bases. Ceci permet d'obtenir des dépôts de films minces d'épaisseur homogène sur un substrat de grande surface.

25

Le tuyau 4 peut être monté dans le creuset 1 par assemblage vissé. Ce mode de montage est recommandé lorsqu'il est nécessaire d'obtenir une vitesse d'évaporation élevée (centaines d'angströms par seconde),

30

car dans le cas contraire le tuyau 4 peut être éjecté hors du creuset 1 sous l'action de la pression de vapeur de la matière évaporée.

5 D'autres variantes de réalisation du tuyau 4 sont possibles; par exemple, sa section peut être minimale à ses extrémités. Dans cette variante de mise en oeuvre, le tuyau 4 doit être symétrique par rapport au plan 5.

10 Afin d'accroître le gradient de température, au moins un évidement annulaire 14 (figures 1 et 2) est pratiqué dans la partie médiane du tuyau 4. L'augmentation du gradient de température dans la partie médiane du tuyau 4 rend moins grande la longueur de la zone de transition entre le tronçon à haute température et le tronçon à basse température. Par ailleurs, cette longueur de la zone de transition est inférieure à celle de l'évidement 14. L'évidement 14 est surtout utile quand le tuyau 4 est réalisé en un matériau de haute conductibilité calorifique, par exemple en graphite ou en métal difficilement fusible.

15 Quand le tuyau 4 n'a qu'un seul évidement annulaire 20 14 et qu'il est réalisé en un matériau non mouillable par la matière à évaporer, alors cette dernière peut s'accumuler dans la zone de l'évidement 14, étant donné que le processus d'écoulement de la matière est rendu difficile par le fait que le matériau du tuyau utilisé n'est pas mouillable et que la vitesse d'évaporation dans cette zone 25 est inférieure à la vitesse de condensation. Pour ce qui est de l'évidement 14 lui-même, lorsque le tuyau 4 sera placé dans le creuset 1 par sa seconde extrémité, ledit évidement 14 se trouvera dans ce cas aussi hors de la zone 30 de chauffe et la matière évaporée s'y accumulera. La matière qui s'accumule dans la zone de l'évidement 14 diminue la résistance thermique dans la partie centrale du tuyau 4 et élargit la zone de transition de la phase liquide, ce qui conduit à des pertes supplémentaires par suite de 35 l'évaporation de la matière utilisée dans la zone de

transition, si la pression de ses vapeurs à la température de fusion est importante. Dans ce cas il est préférable que le nombre d'évidements 14 soit plus élevé. Si, par exemple, on réalise deux évidements (omis sur les figures) dans la partie centrale du tuyau 4 et si la partie inférieure du tuyau jusqu'à l'évidement supérieur est située dans la zone de chauffe, la condensation ne se fait que dans la zone de l'évidement supérieur et plus haut, c'est-à-dire au-dessus du plan de symétrie. Après la transposition du tuyau 4, toute la zone de condensation se trouvera dans la zone de chauffe et la matière, condensée à cet endroit, sera évaporée.

L'évaporateur comporte, disposé dans le tuyau 4 (figure 3), un moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité du flux 7 de vapeur de la matière évaporée, qui est réalisé sous forme d'un diaphragme 15 fixé dans le tuyau 4 et ayant une ouverture 16 située dans le plan de symétrie 5 du tuyau 4. Dans ce cas, le tuyau 4 est composé de deux parties 17 et 18, reliées entre elles et avec le diaphragme 15 à l'aide de goupilles 19 en métal difficilement fusible. Le diaphragme 15, de même que la partie inférieure 18 du tuyau 4, se trouve dans la zone de chauffe à la température d'évaporation de la matière utilisée pour obtenir par évaporation sous vide des dépôts de films minces. La partie supérieure 17 du tuyau 4 a une température qui est moins élevée que le point de fusion de la matière utilisée. Dans ce mode de réalisation, le tuyau 4 n'a pas de zone de transition où se ferait la condensation en phase liquide.

Dans la variante de l'évaporateur représentée sur la figure 4, le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité comporte encore un diaphragme 20 à ouverture 16, qui est identique au diaphragme principal 15. Les diaphragmes 15 et 20 sont montés de manière à former un écartement entre eux et sont reliés entre eux suivant la

périphérie des ouvertures 16. Comme déjà mentionné en relation avec la figure 3, le tuyau 4 est en deux parties identiques 17 et 18 séparées par un intervalle où sont placés les diaphragmes 15 et 20. Le diaphragme 15 est fixé rigidement à la partie 18 du tuyau 4 et le diaphragme 20 est fixé rigidement à la partie 17 du tuyau 4. Entre les diaphragmes 15 et 20 on peut disposer au moins un écran thermique 21 qui augmente le gradient de température dans la partie médiane du tuyau 4. La grande résistance calorifique dans le sens radial des diaphragmes 15 et 20 contribue également à l'accroissement du gradient de température dans la partie médiane du tuyau 4.

Les diaphragmes 15 et 20 sont placés dans la zone de transition entre le tronçon à haute température (la partie 18) et le tronçon à faible température (la partie 17) du tuyau 4, aussi la condensation en phase liquide d'une partie de la vapeur de la matière se fait-elle sur la surface inférieure du diaphragme 15, et ensuite la matière s'écoule dans la partie inférieure 18 du tuyau 4, où elle s'évapore. Toutefois, la zone de condensation en phase liquide, dans cette variante de réalisation, est orientée du côté du tronçon à haute température du tuyau 4, et pour cette raison, l'évaporation à partir de cette zone ne provoque pas de pertes supplémentaires. Le fait que l'écran thermique 21 soit disposé entre les diaphragmes 15 et 20 fait que la condensation sur la surface supérieure du diaphragme 20 s'effectue en phase solide. L'épaisseur de la couche de matière condensée ne sera pas importante en raison de l'intensité insignifiante avec laquelle la vapeur arrive sur la surface du diaphragme 20 qui forme un angle proche de 90° avec l'axe de l'ouverture 16. C'est pour cette raison que la couche de matière condensée sur la surface supérieure du diaphragme 20 ne diminue pratiquement pas la résistance calorifique dudit diaphragme 20.

Le tuyau 4, de même que les diaphragmes 15 et 20 avec leur écran 21, peuvent être réalisés en tôle de métal difficilement fusible, et en vue de son montage dans le creuset 1 le tuyau peut être équipé de bagues 5 22 et 23 en graphite qui rendent étanche l'endroit de contact et permettent d'éviter le soudage du tuyau 4 au creuset 1.

Il est possible de concevoir une variante du dispositif pour l'obtention de dépôts de films minces par 10 évaporation, dans laquelle le diaphragme 15 (figure 5) fixé dans le tuyau 4 possède une ouverture 16 profilée ayant la forme de deux cônes tronqués 24 et 25 orientés l'un vers l'autre par leurs petites bases et se trouvant dans le plan de symétrie 5 du tuyau 4. Cette ouverture 15 profilée 16 assure au flux dirigé de vapeur, dans la zone du substrat 6, une intensité plus régulière que dans le cas d'une ouverture cylindrique.

Entre le diaphragme 15 et les parties 17 et 18 du tuyau 4 sont placés les écrans thermiques 27 et 26. L'écran 20 supérieur 26 est prévu pour accroître la chute de température entre le diaphragme 15 et la partie supérieure 17 du tuyau 4. Le chauffage du diaphragme 15 se trouvant dans la zone de chauffe s'effectue par sa surface latérale, et l'aire de ladite surface latérale peut être augmentée 25 spécialement à cet effet.

Pour améliorer l'échauffement du diaphragme 15, on peut réduire la section du réchauffeur 3 au voisinage de ce diaphragme 15 (figure 1), ce qui permettra de dégager beaucoup plus de chaleur dans cette zone.

30 La conception du tuyau 4 permet de travailler en utilisant un seul réchauffeur, étant donné que, quel que soit le régime d'application du dépôt de film mince, on aura dans le tronçon à faible température du tuyau 4 une condensation en phase solide, tandis que dans la partie 35 à haute température de ce tuyau 4 on aura une évaporation.

Le fonctionnement avec un seul réchauffeur simplifie le système de contrôle et de réglage de la température , ainsi que la conception de l'évaporateur tout entier.

5 Le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité peut être également réalisé sous forme de deux diaphragmes 28 et 29 identiques (figure 6) dont les ouvertures respectives 30 et 31 ont un diamètre intérieur  $D_1$  et un diamètre extérieur  $D_2$ . Les diaphragmes 28 et 29 sont fixés aux extrémités du tuyau 4 à une  
10 même distance de son plan 5 de symétrie. Le tuyau 4, de même que les diaphragmes 28 et 29, peut être réalisé, par exemple, en tôle de métal difficilement fusible, et il peut recevoir des bagues 22 et 23 en graphite pour son montage dans le creuset 1.

15 Du point de vue de la répartition des températures, un tel tuyau 4 est semblable à celui qui est représenté sur la figure 1. Au-dessous du plan 32 (figure 6) se situe le tronçon à haute température du tuyau 4, où se fait la vaporisation de la matière utilisée, condensée  
20 au cours du cycle précédent d'application du dépôt de film mince. Aussi la section du tuyau 4 située dans le plan 32 est-elle en quelque sorte une source qui émet un flux de vapeur arrivant sur le substrat 6. Au-dessus du plan 32 commence la condensation de la vapeur de la  
25 matière sur les parois du tuyau 4 et sur le diaphragme 28. La partie intérieure 33 du diaphragme 28 délimitée par l'ouverture annulaire 30 et dont le bord se trouve dans le plan 34, recueille une partie du flux de vapeur, en diminuant ainsi la vitesse d'application du dépôt  
30 de film mince dans la partie centrale du substrat, ce qui permet d'obtenir sur tout le substrat un film d'épaisseur égale. Le bord intérieur de la partie extérieure du diaphragme 35 se trouve dans le plan 36.

Les figures 7 et 8 montrent les surfaces émettrices effectives qui sont visibles, respectivement, à partir des points M et N du substrat 6 indiqués sur la figure 6. Ces surfaces émettrices effectives sont formées par la section du tuyau 4 dans le plan 32 (figures 6, 7,8) et le diaphragme 28 (figure 6) dans les plans 34, 36 (figures 6, 7,8).

Les figures 9 et 10 représentent l'une des variantes de fixation de la partie intérieure 33 du diaphragme 28 (figure 6) à l'extrémité du tuyau 4, en utilisant à cet égard des appuis 37 (figures 9 et 10) qui ont une section aussi petite que possible afin d'assurer le libre passage du flux de vapeur (pour simplifier le dessin, la partie extérieure 35 du diaphragme 28 n'est pas montrée). La partie intérieure 33 du diaphragme peut être réalisée sous forme d'un disque plat de diamètre  $D_1$ . Le diamètre extérieure  $D_2$  de l'ouverture annulaire 30 (figure 6) peut être égal au diamètre intérieur du tuyau 4, et dans ce cas, la partie extérieure du diaphragme est supprimée et l'extrémité supérieure du tuyau 4 remplit les fonctions de la partie extérieure du diaphragme.

Le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité peut être réalisé sous forme d'un diaphragme 38 fixé dans le tuyau 4 (figure 11), dans son plan de symétrie 5, et ayant un grand nombre d'ouvertures 39 dont les axes géométriques 40 (figure 12) forment des angles déterminés entre eux et avec l'axe géométrique 41 du tuyau 4 (figure 11). Chacune des ouvertures 39 (figure 12) a une répartition angulaire 42 de l'intensité de dégagement de la vapeur, ladite répartition angulaire 42 étant désignée par une ligne tiretée.

La valeur de l'angle  $\beta$  formé entre les axes 40 des orifices 39 et l'axe 41 du tuyau 4 (figure 11) est choisie de manière à ce que la répartition totale de

l'intensité d'émission à travers tous les orifices 39 assure l'homogénéité de l'épaisseur du dépôt de film dans les limites de l'angle  $\alpha$  de sortie du flux dirigé.

5 Dans le cas général, l'angle  $\beta$  (figure 12) varie entre 0 et 55°, les axes géométriques 40 des ouvertures 39 pouvant être disposés soit sous un même angle  $\beta$ , soit sous des angles différents (ce dernier cas n'étant pas illustré sur les figures) par rapport à l'axe géométrique 41 du tuyau 4 (figure 12).

10 Ceci est surtout avantageux dans le cas d'angles  $\beta$  (figure 12) proches de 55°, car, dans ce cas, si les axes 40 de toutes les ouvertures 39 étaient disposés sous des angles  $\beta$  maximaux, l'intensité du flux dirigé suivant l'axe 41 du tuyau 4 (figure 11) serait tellement faible  
15 qu'au centre du substrat 6 l'épaisseur du film déposé serait moins grande que dans les zones périphériques dudit substrat 6. La disposition des axes géométriques 40 (figure 12) d'une partie des ouvertures 39 sous des angles  $\beta$  plus petits par rapport à l'axe géométrique 41 augmente  
20 l'intensité du flux dirigé suivant cet axe 41, en égalisant ainsi l'épaisseur du film déposé sur toute la surface du substrat 6 (figure 11).

Lorsque les valeurs maximales de l'angle  $\beta$  (figure 12) dépassent 55°, on ne constate pas une augmentation notable  
25 de l'angle  $\alpha$ .

La valeur maximale de l'angle  $\gamma$  entre les axes 40 des ouvertures 39 voisines est telle que l'intensité du dégagement de vapeur ne diminue pas dans la direction entre lesdits axes. Pour un angle  $\beta$  fixe, la valeur  
30 de l'angle  $\gamma$  diminue quand le nombre d'ouvertures 39 croît.

Si, par exemple, l'angle  $\beta$  est égal à 45°, que l'angle  $\alpha$  est de 30°, que le diamètre du tuyau 4 est de 20 mm et que la distance qui sépare ledit tuyau 4 du substrat 6 est de 155 mm, il est possible d'effectuer  
35 l'application du film par évaporation sur un substrat dont le diamètre est égal ou supérieur à 200 mm.

L'évaporateur comprend également un moyen assurant la correction de la forme du flux dirigé de vapeur et réalisé sous forme de diaphragmes 43 et 44 identiques, montés dans le tuyau 4 (figure 5) et ayant des ouvertures 5 45 et 46 dont la forme correspond à la configuration des films à déposer par évaporation. Les diaphragmes 43, 44 sont fixés aux extrémités du tuyau 4 à une même distance de son plan de symétrie 5.

En cas, par exemple, d'évaporation sous vide sur un substrat 6 rectangulaire, les ouvertures 45 et 46 10 sont eux-aussi rectangulaires, pour correspondre à la configuration rectangulaire des films. Il en découle que le flux de vapeur traversant l'ouverture 45 du diaphragme 43 possède une section rectangulaire et permet 15 d'obtenir par évaporation sur le substrat 6 un film d'épaisseur homogène, alors qu'au-delà dudit substrat 6 l'intensité du flux de vapeur subit une forte baisse, ce qui réduit les pertes de matière à évaporer.

Quand les films minces sont déposés par évaporation 20 sur un substrat 6 mobile, la forme des ouvertures 45 et 46 est choisie en conformité avec le trajet de déplacement du substrat 6 qui définit la configuration du film à obtenir par évaporation. Si, par exemple, l'évaporation se fait sur un substrat 6 mis en rotation par un carrousel (l'axe 25 de rotation ne passe pas par le substrat 6) (ce carrousel n'est pas représenté sur les figures), la forme des ouvertures 45 et 46 est de préférence trapézoïdale, les côtés de ce trapèze pouvant être concaves en vue d'améliorer l'homogénéité de l'épaisseur des films à obtenir par 30 évaporation, étant donné que les parties centrales du substrat 6 passent au-dessus d'une zone où l'intensité du flux est quelque peu plus élevée.

Le moyen assurant la correction de la forme du flux dirigé de vapeur peut être réalisé sous forme 35 d'embouts 47 identiques (l'embout inférieur n'est pas représenté) qui sont fixés sur les extrémités du tuyau 4

(figure 13), à une même distance de son plan de symétrie transversal, et qui ont des ouvertures 48 profilées, pratiquées en conformité avec la configuration des films que l'on doit obtenir par évaporation.

5 La configuration de l'ouverture profilée 48 est obtenue par intersection de la surface de l'embout 47 avec une surface obtenue par déplacement continue de la droite 49 suivant trois lignes directrices, qui sont: l'axe 41 du tuyau 4, le périmètre de l'ouverture 16 et  
10 le périmètre du film, coïncidant avec le périmètre du substrat 6.

Le flux dirigé de la vapeur de la matière évaporée, sortant du tuyau 4 doté dudit embout 47, gagne le plan du substrat 6 et suit sa configuration, en contribuant  
15 ainsi à la réduction des pertes de la matière utilisée.

En outre, au moins la partie médiane de la surface intérieure du tuyau 4 (figure 1) est réalisée avec un revêtement 50, par exemple en métal difficilement fusible, pour être mouillable par la matière subissant l'évaporation. Cela rend plus facile l'écoulement de la phase  
20 liquide qui passe de la zone de transition, se trouvant dans la zone de l'évidement 14, vers le tronçon à haute température, se trouvant dans la zone de chauffe pour y être évaporée. La surface intérieure toute  
25 entière du tuyau 4 peut aussi être réalisée avec un revêtement mouillable par la matière évaporée. Alors, après la transposition du tuyau 4 et la fusion de la matière qui s'y trouve condensée, ladite matière ne tombe pas dans le creuset 1, elle subit l'évaporation  
30 directement à partir de la surface du tuyau 4. En cas d'absence d'un tel revêtement, les gouttes pourraient se décrocher et quitter la surface du tuyau 4 pour se pulvériser en tombant dans le creuset 1, ce qui peut provoquer des défauts dans les films déposés.

Chacun des diaphragmes 15 (figures 3, 4, 5), 20 (figure 4), 28, 29 (figure 6), 38 (figure 11), 43 (figure 5), 44 peut être réalisé avec un revêtement 50 (représenté seulement sur la figure 3) qui est mouillable par la matière évaporée. Par exemple, le fait que les diaphragmes 15 (figure 4) et 20 aient un revêtement mouillable par la matière évaporée facilite le processus par lequel la phase liquide quitte le diaphragme 15 inférieur pour passer dans la partie inférieure 18 du tuyau 4. Par exemple, en cas d'obtention d'un dépôt de film mince en argent, les diaphragmes 15 et 20, réalisés en molybdène ou en tungstène, reçoivent un revêtement de niobium. Si les diaphragmes 43 (figure 5) et 44 sont dotés d'un revêtement mouillable par la matière évaporée, alors chacun d'eux, placé dans la zone de chauffe, retient sur sa surface la matière condensée auparavant, même après sa fusion, en évitant ainsi la formation d'éclaboussures se formant lorsque la matière tombe dans le creuset 1. Réaliser le diaphragme 15 (figure 3) avec le revêtement 50 mouillable par la matière évaporée signifie supprimer l'éventuel décrochage par le flux et le transfert sur le substrat des gouttes de matière utilisée qui peuvent apparaître sur le diaphragme 15, s'il n'est pas chauffé jusqu'à la température d'évaporation, ou quand, au cours de son réchauffement, sa température croît moins vite que la température de la matière utilisée qui se trouve dans le creuset 1, et cela, en raison de la masse importante dudit diaphragme 15 (figure 3).

Le tuyau 4 disposé dans le creuset 1 réduit la section de sortie dudit creuset et, de ce fait, la pression de vapeur de la matière évaporée devient très proche de la pression de vapeur saturée, ce qui, tout en modifiant le caractère de l'évaporation, peut accroître la probabilité d'apparition d'éclaboussures qui sont entraînées par le flux de matière évaporée. De même, la réduction de la

section du flux de matière évaporée dans le tuyau 4 conduit à une baisse de la vitesse d'application du film par évaporation, et il devient nécessaire, dans ces conditions, d'augmenter la température dans le creuset 1 pour que la vitesse d'application du film par évaporation soit au même niveau, ce qui augmente, à son tour, la probabilité d'apparition d'éclaboussures. Pour remédier à cette situation, l'évaporateur est équipé d'une pièce d'insertion poreuse 53, qui est montée sur un appui 51 (figure 14) dans le creuset 1, en ménageant un intervalle 52 entre la pièce 53 et les parois de l'évaporateur, et qui reçoit la matière à évaporer, le volume des pores ouvertes de ladite pièce 53 étant égal ou supérieur à celui de la matière utilisée pour l'évaporation. La pièce d'insertion peut comporter un évidement 54 où est logée la matière à évaporer. La matière fondue se trouve dans les pores de la pièce d'insertion 52 et ne forme pas, à sa surface, de couches épaisses qui auraient pu provoquer la formation d'éclaboussures de la matière.

Avec la pièce 53 l'évaporation se fait à partir d'une couche mince occupant toute sa surface, où la matière arrive grâce aux forces capillaires et à l'effet de mouillabilité. La surface développée d'évaporation permet également d'élever la vitesse d'application du dépôt de film mince et, à cette fin, la pièce d'insertion 53 peut être réalisée, par exemple, en céramique granulaire.

Le fonctionnement de l'évaporateur pour l'obtention d'un dépôt de film mince sous vide s'effectue de la manière suivante.

Le creuset 1 (figure 1) reçoit la matière 2 à évaporer (le tuyau 4 étant enlevé), après quoi le tuyau 4 est placé dans le creuset 1. Après la mise en place du substrat 6, la chambre à vide (non représentée) est pompée jusqu'à obtention du vide de travail. Ensuite,

le réchauffeur 3 est mis en marche. Alors la température de la matière 2 croît pour atteindre la valeur qui est nécessaire pour la réalisation de l'évaporation. La vapeur qui prend ainsi naissance arrive dans le tuyau 4 qui en forme un flux dirigé 7 pour que ce dernier se dépose sur le substrat. Sur la partie supérieure à basse température du tuyau 4 se condense la partie de la vapeur qui n'atteint pas le substrat 6.

Quand une couche d'épaisseur requise est formée sur le substrat 6, on met hors service le réchauffeur 3. Ensuite, en cas de besoin, on fait l'appoint de matière à évaporer dans le creuset 1, après quoi s'effectuent la transposition (inversion) du tuyau 4 et son introduction dans le creuset 1 par son extrémité sur laquelle s'est déposée la matière évaporée qui n'avait pas atteint le substrat 6. Cette matière est utilisée dans le cycle suivant d'obtention d'un dépôt de film mince, ainsi que la matière 2 chargée dans le creuset 1.

L'évaporateur équipé d'un tuyau 4 à section transversale variable (figure 2) fonctionne de la même manière. Ce dispositif assure au flux dirigé un angle de sortie plus grand, ce qui permet d'obtenir un film sur un substrat de surface importante. Cependant, en cas où le processus d'application du film dure longtemps, la couche de matière condensée qui grossit de plus en plus dans le tronçon à faible température du tuyau 4, au-dessus de l'évidement 14, peut réduire la section de passage du tuyau 4, ce qui provoque une certaine modification indésirable de la forme du flux de vapeur. Aussi ledit tuyau 4 peut-il être utilisé de manière efficace lorsqu'il faut obtenir des films de faible épaisseur.

D'une manière analogue fonctionne l'évaporateur comportant le diaphragme 15 fixé dans le tuyau 4 (figure 3) et dont l'ouverture 16 se situe dans le plan

de symétrie 5 du tuyau 4. L'angle de sortie du flux dirigé de vapeur 7 est défini par le rapport des diamètres de l'ouverture 16 et du tuyau 4 de même que par la longueur de ce dernier. Il y a lieu de signaler  
5 que dans cet évaporateur on peut faire varier dans de larges limites le diamètre de l'orifice 16 (c'est-à-dire qu'on a la possibilité de mettre en place différents diaphragmes), grâce à quoi la répartition de l'intensité du flux sortant peut être obtenue suivant la loi décrite  
10 par le cosinus de l'angle de sortie, ce qui peut assurer au dépôt de film une épaisseur d'homogénéité améliorée en comparaison des évaporateurs dans les tuyaux 4 (figures 1 et 2) desquels ne sont pas montés des diaphragmes.

En outre, la condensation des vapeurs ne se fait  
15 qu'en phase solide sur la surface intérieure de la partie supérieure 17 (figure 3) du tuyau 4. Cela permet d'obtenir par évaporation des films minces, en faisant appel pratiquement à toutes les matières qui existent, même à celles qui s'évaporent en phase solide, telles que,  
20 par exemple, de nombreux sulfures dont la pression de vapeur, lors de la fusion, est sensiblement plus élevée que la pression atmosphérique.

De même, la zone de condensation sur la partie supérieure 17 du tuyau 4 est éloignée de l'orifice 16,  
25 de sorte que la couche croissante de matière se déposant sur ladite partie 17 ne change pas notablement la répartition de l'intensité du flux de vapeur dans la zone du substrat, même s'il s'agit d'obtenir un film épais (dizaines de microns).

30 D'une manière analogue fonctionne l'évaporateur représenté sur la figure 4, dont le moyen de correction de la répartition de l'intensité comporte un diaphragme 20 supplémentaire, identique au diaphragme principal 15 et relié à ce dernier suivant le périmètre de l'orifice 16.  
35 La condensation en phase solide s'effectue, dans ce cas

sur la partie supérieure 17 du tuyau 4 et pratiquement sur la totalité de la surface supérieure du diaphragme 20. Sur la surface inférieure du diaphragme 15 a lieu la condensation en phase liquide d'une certaine  
5 quantité de vapeur de la matière utilisée, qui s'écoule sur la partie inférieure 18 du tuyau 4 et s'y évapore de nouveau.

L'évaporateur muni d'un tel tuyau 4 assure la même répartition de l'intensité du flux de vapeur que  
10 l'évaporateur représenté sur la figure 3, bien qu'il soit impossible d'utiliser pour l'évaporation une gamme de matières aussi large que dans le cas précédent. Toutefois, le tuyau 4 représenté sur la figure 4 est d'une conception plus simple et peut être réalisé d'une seule  
15 pièce, par exemple en graphite. D'autre part, ledit évaporateur n'a pas de fixation à l'aide de goupilles 19 fines (figure 3).

L'évaporateur représenté sur la figure 5 fonctionne de manière analogue à celui qui est illustré sur la  
20 figure 3, à cette différence près que le flux de vapeur de la matière évaporée, en interaction avec les parois de l'orifice profilé 16 (figure 5) conformément aux lois de la dynamique des gaz, se caractérise, à la sortie de l'orifice 16, par une vitesse supersonique.  
25 D'autre part, ledit évaporateur assure suivant toute la section une répartition homogène de l'intensité.

L'écran thermique supérieur 25 augmente la chute de température entre le diaphragme 15 et la partie supérieure 17 du tuyau 4, ce qui est surtout utile  
30 lorsqu'on utilise pour l'évaporation des matières à haute température d'évaporation, telles que, par exemple, l'or. L'écran thermique inférieur 27 ne remplira sa fonction qu'après la mise en place du tuyau 4, par son autre extrémité, dans le creuset 1.

Le diaphragme supérieur 43, avec son ouverture 45 dont la forme correspond à la configuration du film que l'on veut obtenir, effectue la correction de la forme de la section transversale du flux dirigé de vapeur, en le rendant conforme à celle du substrat 6. Sur le diaphragme 43, de même que sur la partie supérieure 17 du tuyau 4, a lieu la condensation en phase solide de la matière évaporée. En même temps, sur le diaphragme inférieur 44, de même que sur la partie inférieure 18 du tuyau 4, a lieu à l'évaporation de la matière qui s'y était condensée auparavant. Lorsque le tuyau 4 est inversé pour prendre place par son autre extrémité dans le creuset 1, le diaphragme 43 et la partie 17 du tuyau 4 reviennent en position inférieure pour se retrouver dans la zone de chauffe, et la matière qui y était condensée subira l'évaporation.

D'une manière similaire fonctionne l'évaporateur représenté sur la figure 6, dont le tuyau 4 porte à ses extrémités les diaphragmes 28 et 29 qui ont respectivement les ouvertures 30 et 31. Le diaphragme supérieur 28, ainsi que le diaphragme 43 (figure 5), recueillent une partie de la matière provenant du flux de vapeur, alors que, quand le tuyau 4 est monté par son autre extrémité dans le creuset 1 (figure 6), ce même diaphragme 28 prend place dans la zone de chauffe et la matière qui s'était condensée sur elle s'évapore. La différence réside dans le fait que la forme et la position du diaphragme 28 (figure 6) permettent d'apporter des corrections dans la répartition de l'intensité du flux de vapeur dans la zone du substrat 6.

Sur la figure 7, la zone hachurée  $S_0$  représente la surface émettrice effective qui est visible à partir du point M (figure 6) se trouvant au centre du substrat 6. La vitesse d'application du dépôt de film mince est proportionnelle à la surface de cette zone  $S_0$ . Comme on le voit, une partie importante de la surface de la

source émettrice (contour 32 sur la figure 6) est "assombrie" par la partie intérieure 33 du diaphragme 28 (contour 34 sur la figure 7). La surface émettrice effective pour le point N au bord du substrat 6 est représentée par la zone  $S_0$  à la figure 8. La surface émettrice (contour 32) commence à être assombrie par la partie extérieure 35 (figure 6) du diaphragme 28 (contour 36 sur la figure 8), la surface d'assombrissement étant  $S_1$  (figure 8). Toutefois, dans le même temps, la surface émettrice "assombrie" par la partie intérieure 33 (figure 6) du diaphragme 28 (contour 34 sur la figure 8) diminue d'une valeur  $S_2$ . En choisissant de façon appropriée les dimensions du tuyau 4 et du diaphragme 28, il est possible de faire en sorte que la surface émettrice effective  $S_0$  pour le centre et pour le bord du substrat 6 soit la même, ou légèrement plus prononcée au bord du substrat 6, ce qui permet de corriger la loi d'émission naturelle en cosinus d'une source réelle et d'améliorer, en conséquence, l'homogénéité de l'épaisseur du film mince déposé par évaporation.

Les diaphragmes 28 et 29 peuvent avoir dans leurs centres des ouvertures (non représentées) qui rapprochent encore davantage de la loi de variation de l'aire de la surface émettrice effective du substrat 6 la loi de cosinus inversement proportionnelle. Ceci améliore encore l'homogénéité de l'épaisseur du film à obtenir.

La variante de l'évaporateur représentée sur les figures 9 et 10 et ayant aux extrémités de son tuyau 4 des diaphragmes à ouvertures annulaires, fonctionne d'une manière analogue à l'évaporateur décrit précédemment. Mais, dans ce cas, le plan 36 se trouve au niveau de l'extrémité supérieure du tuyau 4 qui remplit les fonctions de la partie extérieure du diaphragme. L'ouverture annulaire 30 est disposée de la même manière que sur la figure 6, et le

caractère de variation de la surface émettrice effective, montré sur les figures 7 et 8, reste toujours le même. Les appuis 37 (figures 9 et 10) ne constituent pas des obstacles au libre passage du flux de vapeur.

5            Dans l'évaporateur représenté sur la figure 11 et dans le tuyau 4 duquel est fixé le diaphragme 38 ayant un grand nombre d'orifices 39, la condensation de la vapeur de la matière évaporée en phase solide se fait sur la partie supérieure 17 du tuyau 4. Etant donné que le dia-  
10            phragme 38 se trouvant dans la zone de chauffe est à la température d'évaporation, la vapeur de la matière utilisée ne s'y condensa pas et passe librement à travers les ouvertures 39 pratiquées dans le diaphragme 38. Les ouvertures 39, disposées sous un angle  $\beta$  (figure 12) par  
15            rapport à l'axe 41 du tuyau 4 et dont chacune laisse passer la vapeur sensiblement dans le sens de son axe géométrique 40, forment ensemble un flux de vapeur qui se distingue par une bonne répartition de l'intensité dans la zone du substrat.

20            L'évaporateur dont le tuyau 4 (figure 13) est muni à ses extrémités d'embouts 47 à ouverture profilée 48 fonctionne d'une manière analogue au dispositif d'évaporation dont le tuyau 4 porte à ses extrémités (figure 5) les diaphragmes 43 et 44 ayant des orifices 45 et 46  
25            qui correspondent à la configuration du film à obtenir par évaporation. L'embout 47 (figure 13) à ouverture profilée 48 corrige la forme du flux dirigé de vapeur en assurant sa conformité à la configuration du film à déposer par évaporation, au-delà des limites de laquelle  
30            l'intensité du flux décroît rapidement. De plus, l'embout 47 à ouverture profilée 48 permet d'assurer, au-delà des limites du substrat 6 pourvu de son film une baisse plus rapide de l'intensité du flux de vapeur en comparaison du diaphragme 43 (figure 5) à ouverture 45 dont la forme  
35            correspond, elle-aussi, à la configuration du film pour un même diamètre du tuyau 4.

L'évaporateur représenté sur la figure 14 fonctionne de la façon suivante. On charge la matière à évaporer dans l'évidement 54 ménagé dans la pièce d'insertion poreuse 53. Après avoir créé le vide à l'aide d'un appareil à vide, on procède au réchauffement du creuset 1 avec sa pièce d'insertion poreuse 53 et la matière à évaporer qui s'y trouve et qui fond en pénétrant dans les pores de la pièce d'insertion 53. Etant donné que le volume des pores ouvertes de la pièce d'insertion 53 est égal ou supérieur au volume de la matière chargée, cette dernière se trouve totalement dans les pores de la pièce d'insertion 53, en arrivant à sa surface au fur et à mesure de son évaporation. La matière évaporée acheminée par le tuyau se dépose sur le substrat.

La pièce d'insertion poreuse 53 assure une grande surface d'évaporation et donc une vitesse stable d'application du dépôt de film mince, même si la quantité de matière chargée est faible.

D'autre part, en s'évaporant de façon régulière à partir de toute la surface de la pièce d'insertion 53, la matière à déposer forme un flux d'égale intensité suivant toute la section, ce qui est indispensable pour assurer aussi la régularité du flux dirigé de vapeur sortant du tuyau.

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

=====

- 5 1. Evaporateur pour l'obtention, par évaporation sous vide, de dépôts de films minces, du type comportant un creuset (1) pour la matière à évaporer (2), équipé d'un réchauffeur (3) et communiquant avec un moyen (7) de formation d'un flux dirigé de vapeur de ladite matière (2), caractérisé en ce que ledit moyen (7) de formation d'un flux dirigé est réalisé sous forme d'un tuyau (4) ayant un plan de symétrie transversal (5) et dont une extrémité est placée dans le creuset (1).
- 10 2. Evaporateur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la section du tuyau 4 est variable le long de celui-ci.
- 15 3. Evaporateur selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le tuyau (4) comporte dans sa partie médiane au moins un évidement annulaire (14).
- 20 4. Evaporateur selon l'une des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en ce qu'il comporte un moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité du flux dirigé de vapeur (7) et se trouvant à l'intérieur du tuyau (4).
- 25 5. Evaporateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen assurant la correction de la répartition de l'intensité du flux de vapeur est réalisé sous forme d'un diaphragme (15) fixé dans le tuyau (4) et comportant une ouverture (16) dans le plan de symétrie (5) du tuyau (4).
- 30 6. Evaporateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que ledit moyen de correction de la répartition de l'intensité comporte un diaphragme supplémentaire (20) ayant une ouverture (16) et identique au diaphragme principal (15), lesdits diaphragmes (15) et (20) étant disposés avec un écartement entre eux et étant réunis l'un à l'autre suivant la périphérie de leurs ouvertures (16), le tuyau (4) étant réalisé en deux parties identiques

(17) et (18) séparées par un intervalle dans lequel sont placés les diaphragmes (15) et (20) dont chacun est lié rigidement à la partie (17) ou (18) correspondante du tuyau (4).

5           7. Evaporateur selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'ouverture (16) du diaphragme (15) a la forme de deux cônes (24) et (25) orientés l'un vers l'autre par leur petite base.

10           8. Evaporateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen de correction de la répartition de l'intensité du flux de vapeur est réalisé sous forme de deux diaphragmes identiques (28) et (29), à ouverture annulaire (30), (31) et fixés sur les extrémités du tuyau (4) à une même distance de son plan de symétrie (5).

15           9. Evaporateur selon la revendication 4, caractérisé en ce que le moyen de correction de la répartition de l'intensité du flux de vapeur est réalisé sous forme d'un diaphragme (38) fixé à l'intérieur du tuyau (4), dans le plan de symétrie (5) de celui-ci et ayant une pluralité  
20 d'ouvertures (39) dont les axes géométriques (40) sont disposés sous des angles déterminés l'un par rapport à l'autre et par rapport à l'axe géométrique (41) du tuyau (4).

25           10. Evaporateur selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte un moyen de correction de la forme du flux dirigé de vapeur (7) monté dans le tuyau (4).

30           11. Evaporateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que le moyen de correction de la forme du flux dirigé de vapeur (7) est réalisé sous forme de deux diaphragmes (43) et (44) identiques ayant des ouvertures (45) et (46) dont la forme correspond à la configuration du film mince à déposer par évaporation, et fixés aux  
35 extrémités du tuyau (4) à une même distance du plan de symétrie (5) de ce dernier.

12. Evaporateur selon la revendication 10, caractérisé en ce que le moyen de correction de la forme du flux dirigé de vapeur (7) est réalisé sous forme d'embouts identiques (47) fixés sur les extrémités du tuyau (4) à une même distance du plan de symétrie (5) de celui-ci et ayant des ouvertures profilées (48) dont la configuration correspond à la configuration du film mince à déposer.

13. Evaporateur selon l'une des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en ce qu'au moins la partie médiane de la surface intérieure du tuyau (4) est pourvue d'un revêtement (50) mouillable par la matière à évaporer (2).

14. Evaporateur selon l'une des revendications 5, 6, 7, 8, 9 et 11, caractérisé en ce que chacun des diaphragmes (15), (20), (28), (29), (38), (43), (44), est pourvu d'un revêtement mouillable par la matière à évaporer.

15. Evaporateur selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il comporte une pièce d'insertion poreuse (53) destinée à recevoir la matière à évaporer et dont le volume des pores ouvertes est égal ou supérieur au volume de la matière (2), ladite pièce d'insertion poreuse étant montée dans le creuset (1) avec un intervalle (52) par rapport aux parois dudit creuset.

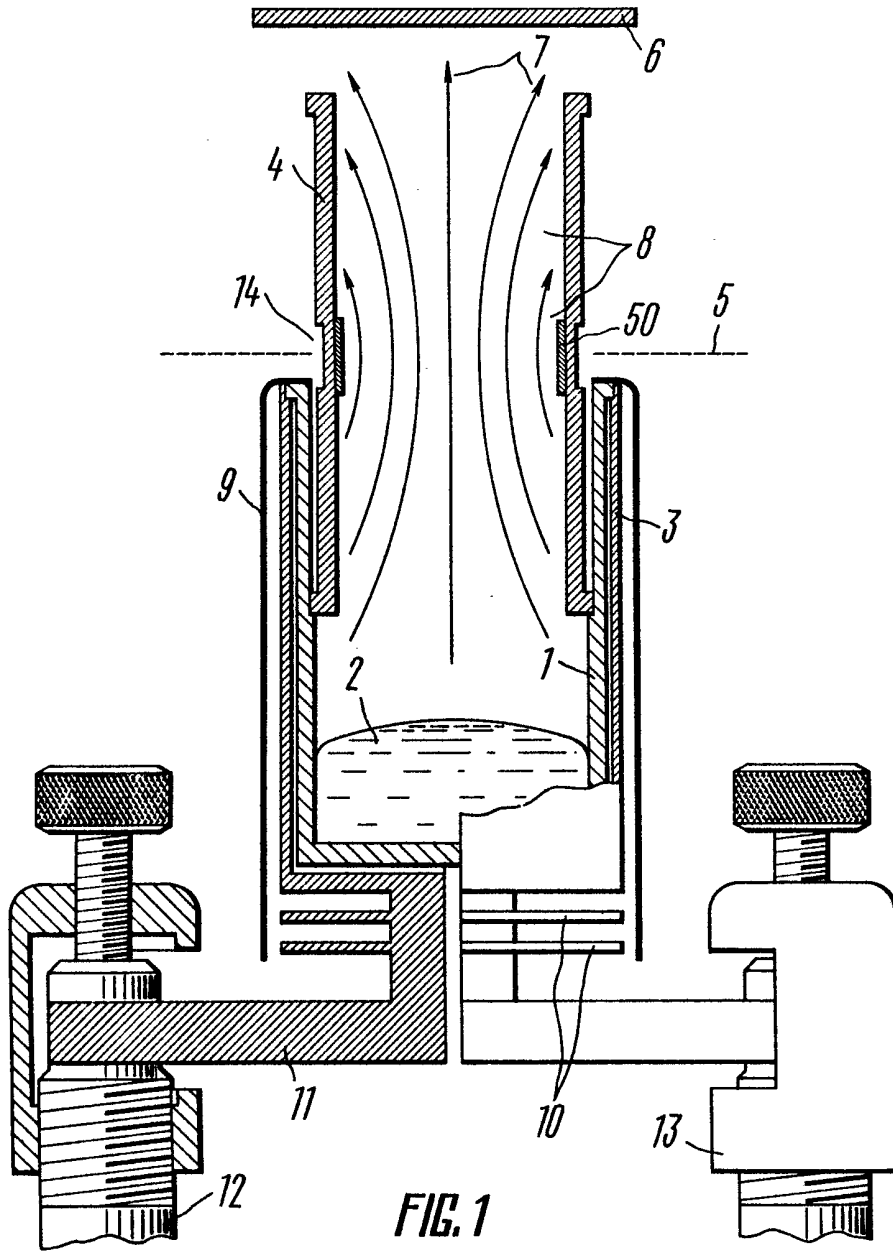


FIG. 1

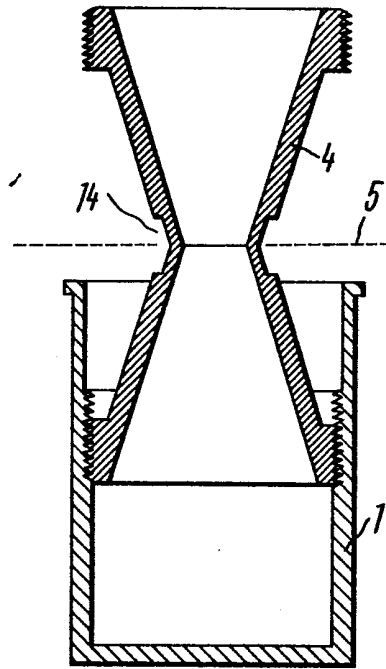


FIG. 2

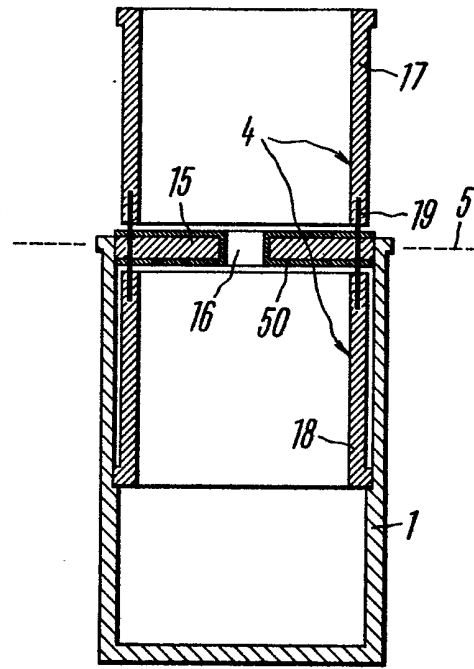


FIG. 3

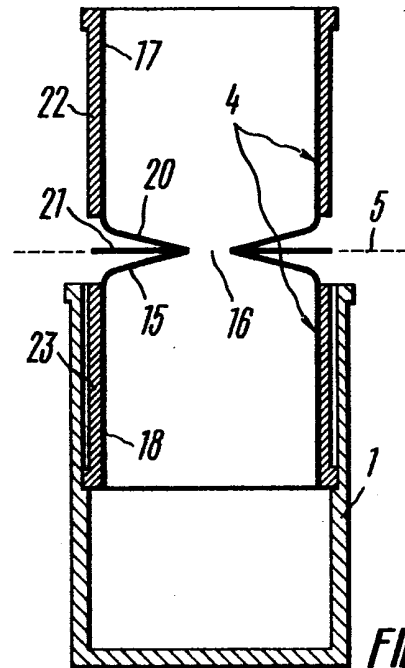


FIG. 4

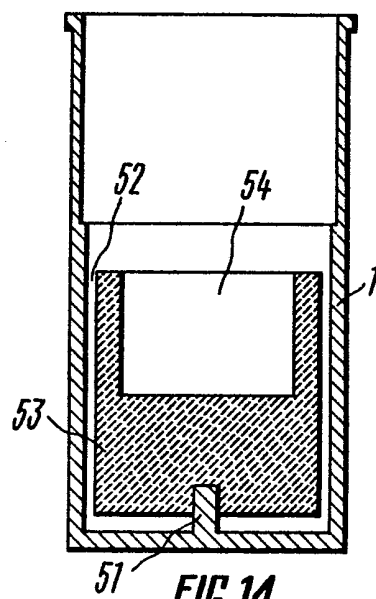


FIG. 14

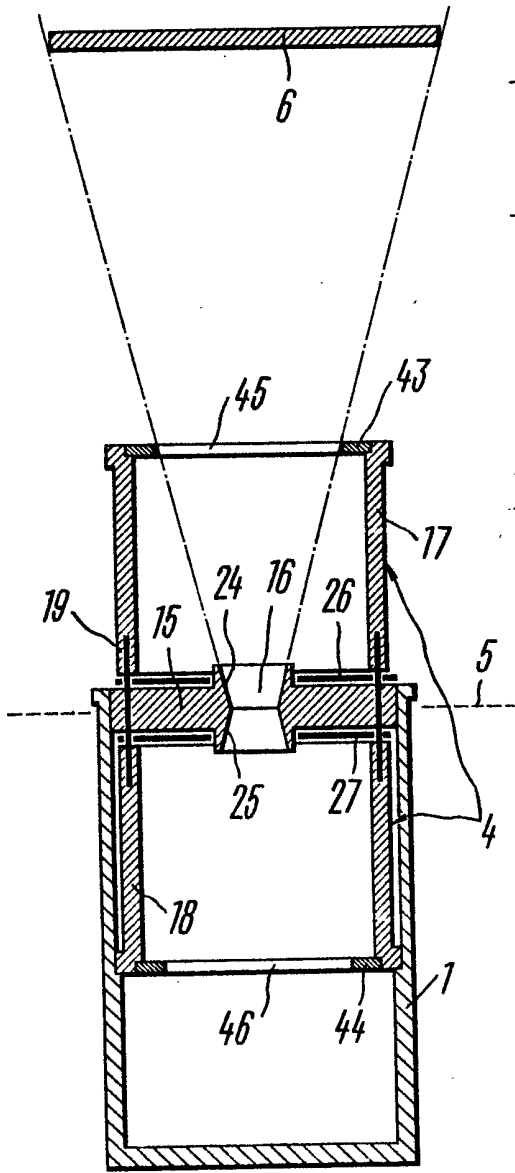


FIG. 5

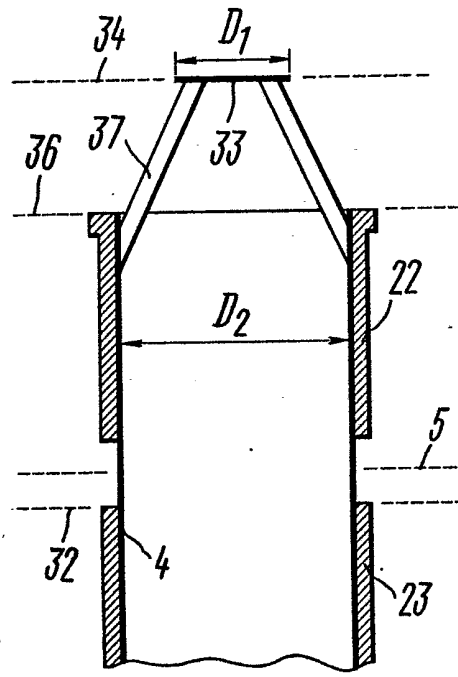


FIG. 9

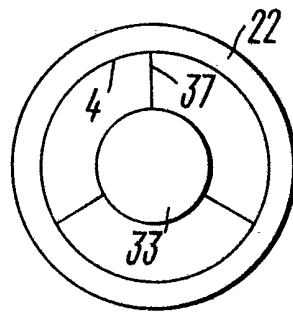


FIG. 10



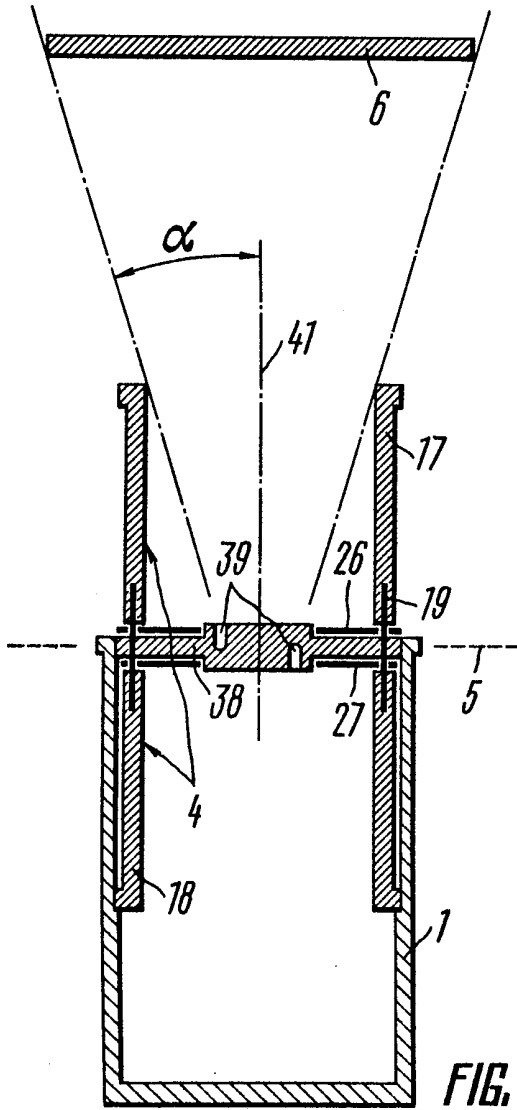


FIG. 11

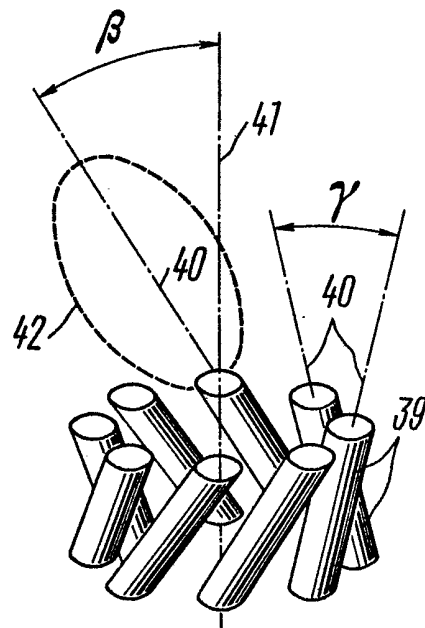


FIG. 12

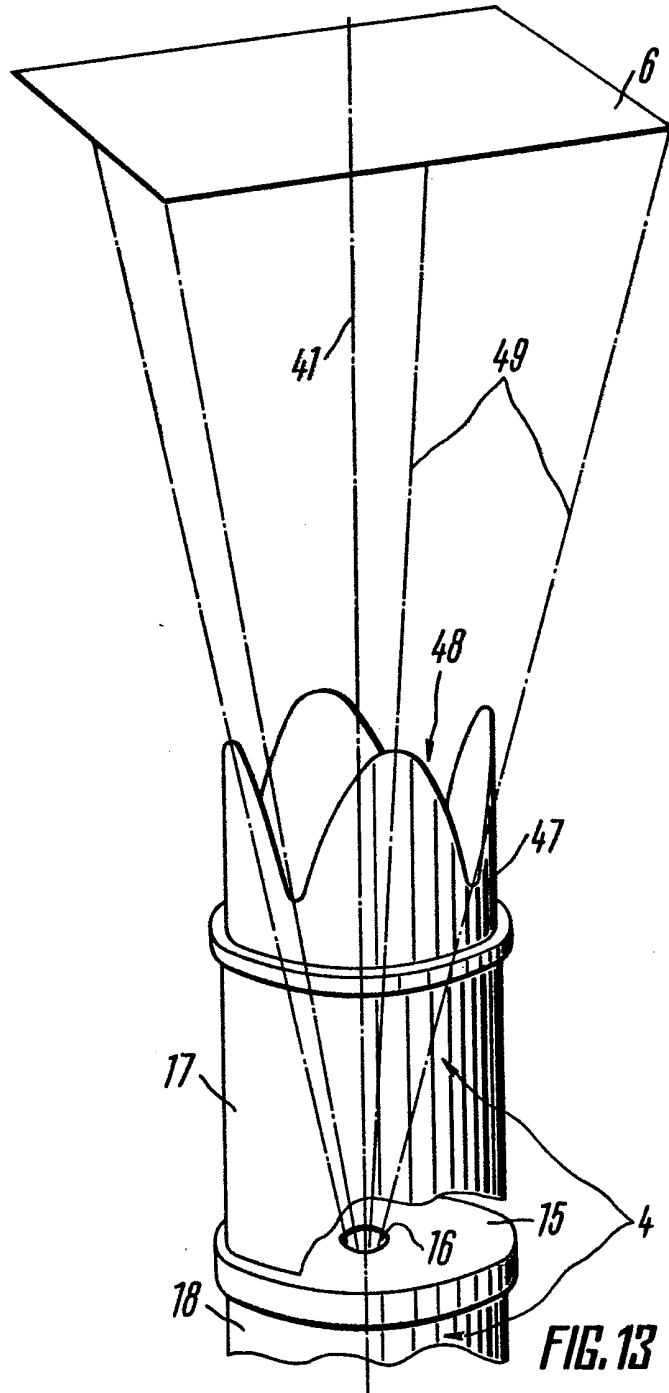


FIG. 13