

(19)



(11)

EP 3 181 235 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

21.06.2017 Bulletin 2017/25

(51) Int Cl.:

B05B 1/30 (2006.01)**H01J 49/04** (2006.01)**G01N 15/00** (2006.01)(21) Numéro de dépôt: **16204880.5**(22) Date de dépôt: **16.12.2016**

(84) Etats contractants désignés:

AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

Etats d'extension désignés:

BA ME

Etats de validation désignés:

MA MD(30) Priorité: **18.12.2015 FR 1562865**(71) Demandeur: **COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE****ATOMIQUE ET AUX
ÉNERGIES ALTERNATIVES
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **SUBLEMONTIER, Olivier**
92260 Fontenay-aux-Roses (FR)
- **ROUSSEAU, Youri**
91470 Limours (FR)

(74) Mandataire: **Gevers & Orès****41 avenue de Friedland
75008 Paris (FR)**

(54) **PROCEDE POUR CONTROLER LA DIVERGENCE D'UN JET DE PARTICULES SOUS VIDE AVEC UNE LENTILLE AERODYNAMIQUE ET LENTILLE AERODYNAMIQUE ASSOCIEE**

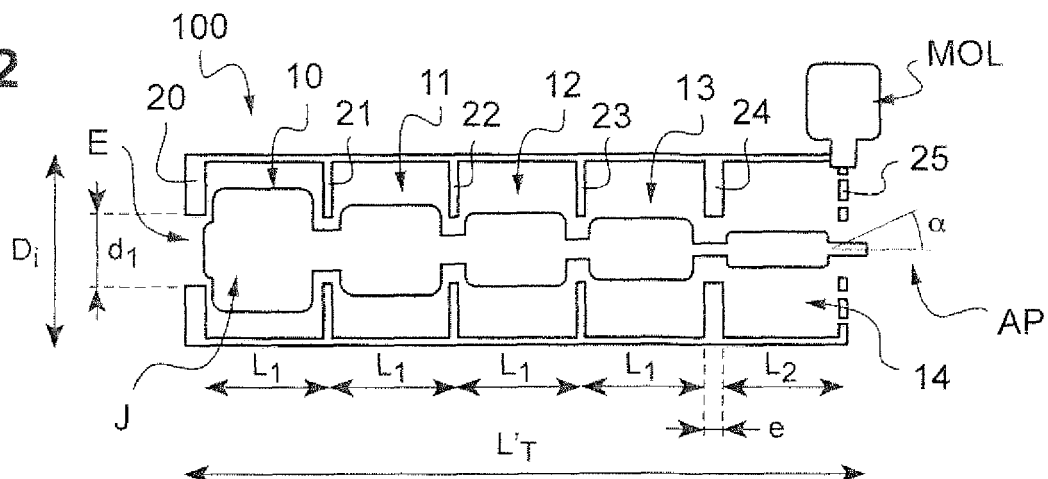
(57) L'invention concerne un procédé pour contrôler la divergence d'un jet de particules sous vide avec une lentille aérodynamique, ladite lentille aérodynamique (100) comprenant :

- au moins une chambre (10 à 14);
- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée (20), destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre (d_1) donné ; et

- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie (25), destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules ;

ledit procédé comportant :

- une étape de génération du jet de particules depuis l'entrée vers la sortie, sous vide, de la lentille aérodynamique (100) ; et
- une étape de réglage du diamètre du diaphragme de sortie pour contrôler la divergence du jet de particules.

Fig.2

Description

[0001] L'invention concerne le domaine des lentilles aérodynamiques.

[0002] Une lentille aérodynamique est utilisée pour générer un jet de particules, notamment des nanoparticules, sous vide.

[0003] La génération de ce jet de particules peut être mise à profit pour réaliser le dépôt de ces particules, sous vide, sur une surface cible. Dans ce cas, la lentille aérodynamique est par exemple couplée à un dispositif de dépôt physique sous vide, comportant la surface cible. On pourra par exemple se référer aux documents FR 2 971 518 et FR 2 994 443.

[0004] L'intérêt principal d'une lentille aérodynamique est d'obtenir, en sortie de celle-ci, un jet de particules, sous vide, collimaté. Un jet de particules collimaté est un jet particulièrement étroit, donc peu divergent et dense et qui, par ailleurs, est capable de conserver ces propriétés sur une longue distance sous vide. Ces propriétés sont avantageuses pour effectuer un dépôt de ces particules, sous vide, sur une surface cible.

[0005] La figure 1 représente une lentille aérodynamique connue (Liu & al., « Generating particles Beams of Controlled Dimensions and Divergence : II. Experimental Evaluation of Particle Motion in Aerodynamic Lenses and Nozzle Expansions », Aerosol. Sci. Technol., 1995, vol. 22, pp. 314-324), particulièrement bien adaptée pour obtenir un jet de particules, notamment de nanoparticules, collimaté en sortie de cette lentille.

[0006] Cette lentille aérodynamique LA présente une forme cylindrique, dont le diamètre externe est d'environ 10mm (diamètre interne D_i = 10mm, auquel il convient d'ajouter les épaisseurs de paroi de la lentille aérodynamique pour être exact) et la longueur totale L_T d'environ 300mm.

[0007] Elle comprend plusieurs chambres et plusieurs diaphragmes, en l'occurrence cinq chambres CH1, CH2, CH3, CH4 et CH5 et six diaphragmes DPH1 (entrée E de la lentille aérodynamique définie par la direction F d'écoulement du jet de particules, en utilisation), DPH2, DPH3, DPH4, DPH5 et DPH6 (sortie S de la lentille aérodynamique).

[0008] Les diaphragmes DPH1, DPH2, DPH3, DPH4, DPH5 présentent tous un orifice de passage pour le jet de particules qui présente une forme de cylindre régulier, donc une section circulaire constante. Cependant, le diamètre de chaque diaphragme (= diamètre de chaque orifice) diminue depuis l'entrée E vers la sortie S de la lentille aérodynamique. Plus précisément, le diamètre du diaphragme DPH1 vaut 5mm, celui du diaphragme DPH2 vaut 4,75mm, celui du diaphragme DPH3 vaut 4,5mm, celui du diaphragme DPH4 vaut 4,25mm et celui du diaphragme DPH5 vaut 4mm.

[0009] Quant au diaphragme DPH6, il présente un orifice de forme tronconique, donc une section circulaire dont le diamètre évolue selon son épaisseur, son diamètre étant plus important au niveau de son entrée qu'au

niveau de sa sortie (forme convergente selon la direction d'écoulement F du jet de particules), sortie qui se confond avec celle de la lentille aérodynamique. Le diamètre du diaphragme DPH6, au niveau de la sortie S de la lentille aérodynamique est inférieur à celui des autres diaphragmes, et en particulier de celui de du diaphragme DPH5, et vaut 3mm.

[0010] Les diaphragmes DPH1, DPH5 et DPH6 présentent une épaisseur de 10mm (ils peuvent également être assimilés à des tubes). Les diaphragmes DPH2, DPH3 et DPH4 présentent une épaisseur ne dépassant pas le millimètre.

[0011] Toutes les chambres sont cylindriques et présentent un diamètre D_i identique, de 10mm chacune. Les chambres CH1 à CH4 présentent toutes une même longueur L_1 , de 50mm, et la dernière chambre CH5 présente une longueur L_2 , supérieure à la longueur L_1 , de 65mm.

[0012] En utilisation, des particules dans un gaz porteur sont tout d'abord fournies avec un moyen, par exemple par un générateur d'aérosol, connu de l'homme du métier.

[0013] Un différentiel de pression est maintenu entre l'entrée E et la sortie S de la lentille aérodynamique LA, la sortie S étant sous vide (0,1mbar, par exemple). Typiquement, la pression en entrée E de la lentille aérodynamique est de quelques mbars. Ce différentiel de pression permet alors de générer le jet J de particules sous vide à partir des particules dans le gaz porteur en entrée de la lentille aérodynamique. Plus précisément, sous l'effet de ce différentiel de pression, les particules dans le gaz porteur sont amenées à former un jet de particules en passant successivement dans les différentes chambres CH1 à CH5, à travers les différents diaphragmes DPH1 à DPH6. A chaque passage à travers un diaphragme, le jet de particules est un peu plus collimaté.

[0014] Il convient de noter que la capacité d'une lentille aérodynamique à réaliser un jet de particules collimaté dépend du type de particules que l'on cherche à collimater, et plus précisément de leur taille et de leur densité.

[0015] De plus, l'obtention d'un jet collimaté n'est pas la seule contrainte de conception.

[0016] En effet, la lentille aérodynamique doit présenter une transmission importante. La transmission d'une lentille aérodynamique représente le rapport entre le nombre de particules sortant de la lentille sur le nombre de particules entrant dans cette lentille. Elle est parfois exprimée en pourcentage.

[0017] Lors du passage du jet de particules à travers un diaphragme, certaines particules viennent impacter les parois du diaphragme et ne sont donc pas transmises vers la chambre suivante.

[0018] Pour cette raison, il est préférable de prévoir plusieurs chambres qui permettent une collimation par étapes. Sur la figure 1, les diaphragmes présentent des diamètres de plus en plus petits depuis l'entrée de la lentille aérodynamique vers la sortie de cette lentille. Cependant, ce n'est pas obligatoirement le cas.

[0019] Par ailleurs, la transmission, tout comme la col-

limation dépend du type de particules et plus particulièrement de leur diamètre et de leur densité (ou masse volumique, ce qui revient au même).

[0020] Ainsi, dans le cas de particules de taille trop importante et/ou trop denses, les particules peuvent avoir des difficultés à suivre les changements de direction de l'écoulement du gaz porteur. Cette capacité des particules du jet à suivre l'écoulement du gaz porteur est plus généralement définie par le nombre de Stokes (nombre adimensionné, théorie de la similitude).

[0021] Le nombre de Stokes est défini par la relation suivante :

$$St = \frac{\rho_p v d_p^2}{\mu L_c}$$

Où:

ρ_p est la masse volumique d'une particule,

d_p est la taille d'une particule,

v est la vitesse du gaz porteur,

μ est la viscosité dynamique du gaz porteur, et

L_c est une longueur caractéristique.

[0022] Cette longueur caractéristique L_c est à adapter en fonction du cas concerné. Par exemple, si l'on considère la lentille aérodynamique représentée sur la figure 1, on peut choisir cette longueur caractéristique comme étant la différence entre le rayon interne R_i de la lentille aérodynamique ($R_i = D_i/2 = 5\text{mm}$) auquel on enlève le rayon moyen R_m des différents diaphragmes ($R_m = (5+4,75+4,5+4,25+4+3)/(6*2) \cong 2\text{mm}$), soit $L_c = R_i - R_m \cong 3\text{mm}$. Un autre choix pourrait être effectué pour définir cette longueur caractéristique.

[0023] Ainsi, si le nombre de Stokes est trop élevé (particules de tailles trop importante et/ou trop denses, par exemple), les particules ne peuvent pas suivre les changements de direction du gaz porteur au passage d'un diaphragme (inertie) et viennent impacter la paroi d'un diaphragme, ce qui se traduit par une perte de transmission.

[0024] Par ailleurs, dans le cas de particules peu denses et/ou de petites tailles, et même si en conséquence, le nombre de Stokes est faible et que les particules peuvent, sur le plan aérodynamique, suivre les changements de direction du gaz porteur au passage d'un diaphragme, l'existence d'un mouvement Brownien limite la transmission à travers un diaphragme.

[0025] Ainsi, la lentille aérodynamique représentée sur la figure 1, particulièrement performante, permet de collimater des particules en formant un jet dont le diamètre est inférieur à 1 mm et une transmission proche de l'unité

(100%), pour une taille de particules comprise entre 70nm et 500nm.

[0026] Plus généralement, une lentille aérodynamique permet généralement d'obtenir une bonne collimation des particules avec une transmission acceptable, pour des particules dont la taille est comprise entre 50nm et 1 micron.

[0027] En effet, une lentille aérodynamique est dimensionnée pour collimater autant que possible le jet de particules en sortie de la lentille, donc pour limiter autant que possible la divergence du jet de particules au niveau de cette sortie, avec une transmission la plus élevée possible. Ceci implique alors, compte tenu des contraintes rappelées précédemment, de définir une gamme pour la taille de particules qui permet d'atteindre ce but.

[0028] Dans ce but, il a déjà été proposé des lentilles aérodynamiques différentes que celle qui est représentée sur la figure 1.

[0029] Ainsi, en fonction de la taille des particules visées, tout en conservant une collimation et une transmission de qualité, on peut prévoir un nombre de chambres, et donc de diaphragmes, différent de celui qui est représenté sur la figure 1.

[0030] On peut encore adapter la géométrie des différentes chambres (diamètre, longueur de chaque chambre) et/ou celles des différents diaphragmes.

[0031] La conception de la lentille aérodynamique est donc définie et fixée sur cette base et cette conception permet de mettre en oeuvre un procédé de génération d'un jet de particules collimaté autant que possible, c'est-à-dire aussi peu divergent que possible.

[0032] Pour l'application au dépôt sous vide des particules sur une surface cible, cela permet d'obtenir un dépôt étroit, avec un profil Lorentzien, sur une surface de petite dimension (typiquement inférieure à 1 mm²).

[0033] Un objectif de l'invention est de proposer un procédé de génération d'un jet de particules, sous vide, basé sur l'utilisation d'une lentille aérodynamique, selon une approche différente de l'art antérieur.

[0034] En effet, le demandeur s'est rendu compte qu'il était envisageable de contrôler la divergence du jet de particules en sortie de la lentille aérodynamique.

[0035] L'invention propose donc un procédé pour contrôler la divergence d'un jet de particules sous vide avec une lentille aérodynamique, ladite lentille aérodynamique comprenant :

- n chambres, avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre donné ; et
- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie

présentant un diamètre réglable ;

ledit procédé comportant :

- une étape de génération du jet de particules depuis l'entrée vers la sortie, sous vide, de la lentille aérodynamique ; et
- une étape de réglage du diamètre du diaphragme de sortie pour contrôler la divergence du jet de particules.

[0036] Ce procédé pourra également comprendre les caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- on règle le diamètre du diaphragme de sortie dans une gamme de valeurs strictement inférieure au diamètre du diaphragme d'entrée ;
- la lentille aérodynamique comporte n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- le diaphragme d'entrée est non amovible et présente un diamètre non réglable ;
- on règle le diamètre du diaphragme de sortie à une valeur strictement inférieure aux diamètres desdits n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie ;
- la pression en entrée de la lentille aérodynamique est comprise entre 2mbar et 5mbar, de préférence entre 3mbar et 5mbar.

[0037] La possibilité de contrôler la divergence du jet de particules en sortie d'une lentille aérodynamique n'a, selon le demandeur, pas été rapporté à ce jour dans l'art antérieur. Ceci est d'ailleurs cohérent avec le fait que les concepteurs de lentille aérodynamiques ont toujours cherché à obtenir un jet de particules le plus collimaté possible, à savoir le moins divergent possible.

[0038] L'invention propose donc également une lentille aérodynamique pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention, comprenant :

- n chambres, avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre donné ; et
- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules ;

caractérisée en ce que le diaphragme de sortie présente un diamètre réglable.

[0039] Cette lentille aérodynamique pourra comporter l'une au moins des caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- elle comporte n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- le nombre n de chambres et donc de diaphragmes autres que le diaphragme de sortie est tel que $n \geq 5$ et, par exemple, tel que $n \leq 15$, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- le diaphragme d'entrée est non amovible et présente un diamètre non réglable ;
- le diaphragme de sortie se présente sous la forme d'un iris dont le diamètre est réglable par une molette actionnable manuellement ;
- le diaphragme de sortie se présente sous la forme d'un iris dont le diamètre est réglable par un moteur commandé ;
- le diaphragme d'entrée de la chambre comportant ledit diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique présente une épaisseur comprise entre 0,2mm et 5mm.

[0040] En variante, l'invention propose également un ensemble pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'invention, comportant une lentille aérodynamique comprenant :

- n chambres, avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre donné ; et
- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie présentant un diamètre donné ;

caractérisé en ce que le diaphragme de sortie est monté de façon amovible au sein de la lentille aérodynamique et en ce que ledit ensemble comprend, en outre, au moins un diaphragme complémentaire présentant un diamètre différent de celui du diaphragme de sortie, ledit au moins un diaphragme complémentaire étant destiné à être monté de façon amovible dans la lentille aérodynamique en lieu et place dudit diaphragme de sortie.

[0041] Cet ensemble pourra comporter l'une au moins des caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- la lentille aérodynamique comporte n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- le nombre n de chambres et donc de diaphragmes autres que le diaphragme de sortie est tel que $n \geq 5$ et, par exemple, tel que $n \leq 15$, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- le diaphragme d'entrée est non amovible et présente un diamètre non réglable ;
- le diaphragme d'entrée de la chambre comportant ledit diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique présente une épaisseur comprise entre 0,2mm et 5mm.

[0042] Incidemment, le fait de pouvoir contrôler la divergence du jet de particules en sortie de la lentille aérodynamique est particulièrement avantageux pour l'application au dépôt sous vide des particules sur une surface cible de grande dimension (par exemple supérieure à 1cm^2). En effet, ce contrôle permet finalement d'ajuster l'étendue de la surface de dépôt des particules sur la surface cible, tout en permettant un dépôt homogène sur cette surface cible.

[0043] L'invention propose donc enfin l'utilisation d'une lentille aérodynamique telle que décrite précédemment ou d'un ensemble tel que décrit précédemment pour déposer, sous vide, des particules sur une surface cible.

[0044] La surface cible pourra présentera une surface supérieure ou égale au cm^2 .

[0045] D'autres buts et avantages de l'invention seront décrits ci-après, à l'appui des figures annexées sur lesquelles :

- La figure 2 représente une lentille aérodynamique susceptible d'être employée pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention ;
- La figure 3 représente une réalisation possible d'un diaphragme utilisé en sortie de la lentille aérodynamique représentée sur la figure 2 ;
- La figure 4 est un schéma représentatif d'un montage complet pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention ;
- La figure 5, qui comprend les figures 5(a) à 5(c), représente les différentes formes du jet de particules susceptibles d'être obtenue en sortie de la lentille aérodynamique de la figure 2 ;
- La figure 6 fournit des résultats expérimentaux ;
- La figure 7, qui comprend les figures 7(a) à 7(c), fournit des résultats de simulation, pour des conditions de jet de particules collimaté ;
- La figure 8, qui comprend les figures 8(a) à 8(c), fournit des résultats de simulation, pour des condi-

tions de jet de particules divergent ;

- La figure 9, qui comprend les figures 9(a) à 9(c), basé sur des résultats de simulation, fournit l'évolution de la divergence du jet de particules en fonction du diamètre du diaphragme utilisé en sortie de cette lentille ;
- La figure 10, qui comprend les figures 10(a) à 10(c), basé sur des résultats de simulation effectués dans les mêmes conditions que celles aboutissant aux résultats de simulation exposés sur la figure 9, fournit l'évolution de la transmission du jet de particules à travers la lentille aérodynamique en fonction du diamètre du diaphragme utilisé en sortie de cette lentille ;
- La figure 11 présente une autre lentille aérodynamique susceptible d'être utilisée pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention ;
- La figure 12 représente une autre lentille aérodynamique susceptible d'être utilisée pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention, et dans laquelle le diaphragme comporte un moteur commandable par un contrôleur ;
- La figure 13 représente un ensemble susceptible d'être utilisé pour mettre en oeuvre le procédé selon l'invention, comportant une lentille aérodynamique dont le diaphragme de sortie est amovible et un jeu de diaphragmes.

[0046] Le procédé selon l'invention est un procédé pour contrôler la divergence d'un jet de particules sous vide avec une lentille aérodynamique, ladite lentille aérodynamique comprenant :

- n chambres, avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;
- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre donné ; et
- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie présentant un diamètre réglable ;

ledit procédé comportant

- une étape de génération du jet de particules depuis l'entrée vers la sortie, sous vide, de la lentille aérodynamique ; et
- une étape de réglage du diamètre du diaphragme de sortie pour contrôler la divergence du jet de particules.

[0047] On notera qu'il est usuel, dans le domaine des lentilles aérodynamiques, d'assimiler un diaphragme à une membrane ou paroi comportant un orifice. Par

ailleurs, lorsque l'on parle du diamètre du diaphragme, on se réfère également de façon usuelle au diamètre de l'orifice et non au diamètre de la membrane ou paroi qui comporte cet orifice.

[0048] Cela vaut pour l'ensemble de la description de l'invention qui va suivre, comme pour l'art antérieur décrit à l'appui de la figure 1.

[0049] La figure 2 représente une lentille aérodynamique 100 susceptible d'être utilisée pour mettre en oeuvre ce procédé.

[0050] Cette lentille aérodynamique 100 comprend une pluralité de chambres 10, 11, 12, 13, 14, un diaphragme, dit diaphragme d'entrée 20, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre d_1 donné et un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie 25, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules.

[0051] Dans le cas d'espèce, le diaphragme d'entrée est non amovible et présente un diamètre non réglable.

[0052] La lentille aérodynamique comprend également d'autres diaphragmes 21, 22, 23, 24 séparant deux chambres qui se succèdent. Chaque diaphragme 21, 22, 23, 24 (autre que le diaphragme de sortie 25) est un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.

[0053] Plus généralement, la lentille aérodynamique 100 de la figure 2 est une lentille conforme à celle de la figure 1, à l'exception du diaphragme de sortie 25.

[0054] Cependant, dans le cadre de l'invention, le diaphragme de sortie 25 présente un diamètre d_s réglable, ce qui n'est pas le cas dans l'art antérieur.

[0055] C'est ce réglage, réalisé au niveau du diaphragme de sortie 25, qui permet de contrôler la divergence du jet de particules, sous vide, en sortie de la lentille aérodynamique.

[0056] Par ailleurs, le réglage du diamètre du diaphragme de sortie 25 peut s'effectuer de sorte que son diamètre soit inférieur ou non au diamètre des diaphragmes 20 à 24.

[0057] La figure 3 représente une réalisation concrète pouvant être envisagée pour obtenir un diaphragme de sortie 25 dont le diamètre est réglable.

[0058] En l'occurrence, il s'agit d'un diaphragme 25 en forme d'iris montée sur une molette MOL, cette molette étant actionnable manuellement. La rotation (angle β) de cette molette MOL permet de régler le diamètre d_s du diaphragme de sortie 25. C'est ce réglage du diamètre d_s qui permet finalement de contrôler la divergence du jet de particules en sortie de la lentille aérodynamique 100, comme cela sera montré par la suite. En pratique, le diaphragme de sortie 25 est alors monté à l'intérieur de la lentille aérodynamique 100 et la molette MOL se situe à l'extérieur de cette lentille pour être accessible par un opérateur. On comprend que l'objet (MOL + 25) de la figure 3 appartient donc à la lentille aérodynamique 100.

[0059] Bien entendu, pour mettre en oeuvre le procédé

selon l'invention, il convient de prévoir un moyen 40 pour générer les particules dans un gaz porteur, lequel va permettre, par mise sous pression différentielle entre la sortie S de la lentille aérodynamique 100 et l'entrée E de cette lentille aérodynamique 100, de générer le jet de particules.

[0060] La figure 4 est un schéma représentatif d'un montage possible à cet effet.

[0061] Ce moyen 40 comprend un réservoir 41 qui contient un mélange de gaz porteur et de particules en suspension gazeuse. La pression et la température du gaz ainsi que la concentration de nanoparticules dans ce gaz sont ajustables. Le réservoir 41 peut être un réacteur de synthèse fonctionnant par exemple par pyrolyse laser, ablation laser, évaporation sous vide, combustion ou être un générateur de particules par plasma. Il peut également s'agir d'un générateur d'aérosols formés à partir d'une suspension de particules dans un liquide élaborée à l'avance ou à partir d'une poudre nanométrique sèche. Il est possible d'adapter la pression dans le réservoir 41 à celle de l'entrée de la lentille aérodynamique à l'aide d'un diaphragme ou orifice critique OC. Il est par exemple possible d'avoir un réservoir 41 à la pression atmosphérique et une pression de quelques millibars à l'entrée de la lentille aérodynamique en plaçant un diaphragme de quelques centaines de micromètres de diamètre entre le réservoir et la lentille aérodynamique.

[0062] Ce moyen 40 comprend également une chambre de détente 42, sous vide (0,1mbar par exemple), dans laquelle le gaz porteur contenant les particules est introduit à partir du réservoir 41. La pression dans la chambre de détente 42 est inférieure à la pression du réservoir 41. La mise sous vide de la chambre de détente est assurée par un moyen de pompage 43.

[0063] Le passage du réservoir 41 à la chambre de détente 42 s'effectue par l'intermédiaire de la lentille aérodynamique 100, représentée sur la figure 2.

[0064] Sur cette figure 4, on note aussi la présence d'une surface cible SC pour les particules.

[0065] La figure 5, qui comprend les figures 5(a) à 5(c), représente trois cas possibles du réglage du diamètre d_s du diaphragme de sortie 25.

[0066] Sur la figure 5(a), le réglage est effectué pour avoir par exemple $d = 3\text{mm}$. Il s'agit d'une situation classique où le diamètre du diaphragme de sortie est strictement inférieur à celui de l'ensemble des autres diaphragmes 20 à 24 et le nombre de Stokes est proche de l'unité, donc la transmission est également proche de l'unité. Le jet de particules est alors collimaté en sortie de la lentille aérodynamique.

[0067] Sur la figure 5(b), le réglage est effectué pour avoir $d = 2,4\text{mm}$. Là aussi, il s'agit d'une situation où le diamètre du diaphragme de sortie 25 est strictement inférieur à celui de l'ensemble des autres diaphragmes 20 à 24. Cependant, le nombre de Stokes est forcé à une valeur supérieure à l'unité, typiquement entre 2,5 et 3 pour obliger le jet de particules à se focaliser rapidement en sortie de la lentille aérodynamique et obtenir un jet

divergent. En l'occurrence, cette situation aboutit à obtenir un demi-angle, nommé α , de divergence dit « négatif » (les trajectoires se croisent sur l'axe de propagation AP de la lentille aérodynamique, la point de croisement étant noté C sur la figure 5(b)). Cette situation n'est pas classique.

[0068] Le demi-angle α de divergence est défini par l'angle formé entre l'axe de propagation AP de la lentille aérodynamique et la direction DIR donnée par la forme du jet.

[0069] Sur la figure 5(c), le réglage est effectué pour avoir $d = 6\text{mm}$. Dans ce cas, le diamètre du diaphragme de sortie 25 est strictement supérieure à celui de l'ensemble des diamètres des diaphragmes 20 à 24. Par ailleurs, le nombre de Stokes est alors forcé à une valeur sensiblement inférieure à l'unité, ce qui a pour conséquence de ne pas concentrer le jet de particules sur l'axe optique du jet. Le jet de particules est alors divergent, mais avec un demi-angle α de divergence qui est « positif » (les trajectoires ne se croisent pas sur l'axe de propagation AP de la lentille aérodynamique). Cette situation n'est pas classique.

[0070] Les différentes situations ont pu être mises en évidence avec des tests expérimentaux mettant en oeuvre une chambre, sous vide, comportant une surface cible et couplée à la lentille aérodynamique de la figure 2.

[0071] Des particules dans un gaz porteur (aérosol) sont générées avec un dispositif classique situé en amont de la lentille aérodynamique. Dans le cas d'espèce, le gaz porteur est de l'argon. La pression est de 4mbar en entrée de la lentille aérodynamique et sous vide (0.1mbar, par exemple) en sortie de la lentille aérodynamique.

[0072] La sortie de la lentille aérodynamique peut déboucher directement dans la chambre sous vide comportant la surface cible (c'est par exemple ce qui est représenté sur la figure 4). La distance entre la sortie de la lentille aérodynamique et la surface cible est fixée à 200mm.

[0073] Il convient de noter, qu'en variante, la sortie de la lentille aérodynamique pourrait déboucher dans une chambre intermédiaire, sous vide, cette chambre intermédiaire débouchant elle-même, par exemple au moyen d'un écorceur, dans une chambre de dépôt sous vide comportant la surface cible. Cette possibilité est par exemple proposée dans le document FR 2 971 518.

[0074] On a d'abord pris en considération des particules d'or (Au), d'un diamètre moyen de 35nm. Ces particules sont relativement disperses et ne forment donc pas d'agrégats. Le diaphragme de sortie 25 a alors été réglé (figure 2, figure 3) pour parcourir une large gamme de valeurs de son diamètre.

[0075] Une photographie des dépôts obtenus sur la surface cible a alors été réalisée. Cela fait l'objet de la figure 6.

[0076] Pour la valeur du diamètre $d = 3,2\text{mm}$ du diaphragme 25 de sortie, on peut considérer que le jet de particules est collimaté et qu'on se retrouve dans une

situation classique telle qu'on l'obtient avec la lentille aérodynamique de l'art antérieure (figure 1).

[0077] Pour des valeurs du diamètre d du diaphragme 25 inférieures en dessous de 3,2mm, on observe que plus le diamètre d diminue et plus la surface d'impact des particules d'or sur la surface cible est étalée. Le jet de particules issu de la lentille aérodynamique est donc de plus en plus divergent. Pour le cas où $d = 2,6\text{mm}$, l'étalement est maximal, le diamètre de la zone d'impact de l'or sur la surface cible est d'environ 1 cm et le demi-angle de divergence vaut environ $\alpha = 25\text{mrad}$ (ce demi-angle est alors négatif).

[0078] Pour des valeurs du diamètre d du diaphragme 25 supérieures à 3,2mm et jusqu'à 4mm (dernière valeur testée expérimentalement), on observe un étalement de plus en plus faible de la surface d'impact des particules d'or sur la surface cible et donc une collimation de plus en plus importante du jet de particules.

[0079] Par ailleurs, dans tous les cas, on observe que le dépôt des particules d'or sur la surface cible est homogène. Ceci est particulièrement avantageux pour effectuer un dépôt homogène sur de grandes surfaces, par exemple pour réaliser un revêtement de surface. Un autre test a été réalisé dans les mêmes conditions avec des particules de silicium. Ces particules présentaient un diamètre moyen de 10nm, mais se présentaient sous la forme d'agrégats dont la taille était comprise entre 50nm et 150nm.

[0080] Le même type d'observations que celles de la figure 6 a pu être effectué.

[0081] Ces tests expérimentaux montrent donc la possibilité de mettre en oeuvre le procédé de l'invention.

[0082] Par ailleurs, en plus de ces tests expérimentaux, un certain nombre de simulations numériques ont été effectués, sur la base de la lentille aérodynamique 100 représentée sur la figure 2, pour mieux cerner les différents paramètres pertinents dans la mise en oeuvre du procédé selon l'invention, parmi lesquels :

- le type (densité) et la taille des particules ;
- le diamètre du diaphragme 25 de sortie de la lentille aérodynamique ; et
- la pression en entrée de la lentille aérodynamique.

[0083] A cet effet, le logiciel utilisé est le Flow EFD V5 de la société Mentor Graphics. Ce logiciel est en effet capable de traiter des écoulements diphasiques (ici, un aerosol particules/gaz porteur) et compressibles. Il convient cependant de noter que ce logiciel ne permet pas de prendre en compte le comportement aléatoire dû au mouvement Brownien et qui induit, en pratique, un effet sensible sur des particules de taille inférieure à 30nm. Le mouvement Brownien a pour effet de rendre plus divergent un jet de particules. Aussi, dans les résultats de simulation présentés ci-après, il convient de garder à l'esprit qu'en réalité, le jet de particules est alors un peu plus divergent que le jet de particules simulé, et ce d'autant plus que la taille des particules est petite.

[0084] Tous les calculs ont été réalisés avec de l'argon (Ar) comme gaz porteur pour les particules.

[0085] Des premiers calculs ont été réalisés avec un diamètre du diaphragme de sortie $d_s = 3,2\text{mm}$ ou $d_s = 3,4\text{mm}$, une pression en entrée de la lentille aérodynamique de 4mbars et une sortie de la lentille aérodynamique sous vide.

[0086] L'objectif est alors de déterminer l'influence du type et de la taille des particules. A cet effet, des particules d'or (Au ; densité $19,3\text{ g/cm}^3$) de taille de 10nm, des particules de silicium (Si ; densité de $2,33\text{ g/cm}^3$) de taille 50nm et des particules de polystyrène (densité $1,06\text{ g/cm}^3$) de taille 100nm ont été simulées.

[0087] Les résultats sont représentés sur la figure 7, laquelle comprend la figure 7(a) (Au, 10nm), la figure 7(b) (Si, 50nm) et la figure 7(c) (polystyrène, 100nm).

[0088] Sur l'ensemble de ces figures, on constate que les conditions de jet collimaté sont obtenues. En conséquence, le type et la taille des particules n'apparaissent pas modifier, sur le plan qualitatif, ce qui a été mis en évidence avec les tests expérimentaux. Néanmoins, ces figures représentent les conditions de collimation optimales (excellente collimation et nombre de Stokes proche de l'unité). On constate donc, sur le plan quantitatif, que le diamètre optimal du diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique dépend du type et de la taille des particules considérées (pour l'or en 10nm, c'est 3,4mm ; la valeur étant légèrement inférieure dans les autres cas simulés).

[0089] Ceci présente un réel intérêt car cela met en évidence qu'avec l'invention, on peut obtenir une collimation pour un large spectre du type et de la taille des particules considérées.

[0090] Des seconds calculs ont été réalisés pour les mêmes particules (Au en 10nm ; Si en 50nm et polystyrène en 100nm) et une même pression en entrée de la lentille aérodynamique de 4mbars, par rapport aux conditions des premiers calculs.

[0091] Cependant, le diamètre du diaphragme a été modifié et fixé à $d_s = 2,2\text{mm}$, à savoir à une valeur plus faible que pour les premiers calculs.

[0092] Les résultats sont représentés sur la figure 8, laquelle comprend la figure 8(a) (Au, 10nm), la figure 8(b) (Si, 50nm) et la figure 8(c) (polystyrène, 100nm).

[0093] Sur l'ensemble de ces figures 8(a) à 8(c), on constate que les conditions de jet divergent avec un demi-angle de divergence négatif sont obtenues. En conséquence, le type et la taille des particules n'apparaissent pas, sur le plan qualitatif, modifier ce qui a été mis en évidence avec les tests expérimentaux.

[0094] Néanmoins, ces seconds calculs montrent qu'en fonction du type et de la taille des particules, le demi-angle de divergence est compris entre 45mrad et 60mrad. Ainsi, on constate, sur le plan quantitatif, que le type et la taille des particules considérées présentent une influence sur le demi-angle de divergence du jet de particules.

[0095] Cela signifie donc en retour qu'il est possible,

avec l'invention, de définir un demi-angle de divergence donné quel que soit le type et la taille de particules, en réglant le diamètre du diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique. Ainsi dans le cas d'une application à un dépôt de particules sur une surface cible, on peut gérer par ce biais, l'étendue de la zone d'impact des particules sur la surface cible, sans modifier la distance entre le diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique et la surface cible. Bien entendu, une autre option est de modifier cette distance entre le diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique et la surface cible.

[0096] D'autres simulations ont été réalisées pour déterminer, de manière plus générale, l'évolution du demi-angle de divergence en fonction du diamètre du diaphragme de sortie. Dans tous les cas, la pression en entrée de la lentille aérodynamique est maintenue à 4mbars, la sortie de la lentille aérodynamique étant sous vide.

[0097] Les résultats de ces simulations sont représentés sur la figure 9, laquelle comprend les figures 9(a) à 9(c). Plus précisément, la figure 9(a) s'intéresse à l'or (Au), selon des tailles comprises entre 10nm et 2 microns. La figure 9(b) s'intéresse au silicium (Si), selon des tailles comprises entre 50nm et 2 microns. La figure 9(c) s'intéresse au polystyrène, selon des tailles comprises entre 50nm et 2 microns.

[0098] Quel que soit le type de particules considérées, il convient tout d'abord de noter que les particules ont été simulées sur une très large gamme de taille, élargie par rapport aux gammes de taille visées par une lentille aérodynamique de l'art antérieur (par exemple, figure 1) et que ces simulations montrent que le réglage du diaphragme de sortie permet effectivement de contrôler la divergence du jet de particules en sortie de la lentille aérodynamique.

[0099] Par ailleurs et de manière générale, les figures 9(a) à 9(c) montrent que le meilleur moyen pour contrôler la divergence du jet de particules en sortie de la lentille aérodynamique est de diminuer la valeur du diamètre du diaphragme de sortie de cette lentille à partir de la valeur permettant d'obtenir un jet collimaté de façon optimale, donc de favoriser un demi-angle de divergence négatif (configuration de la figure 5(b)).

[0100] Cependant, dans certains cas, par exemple pour les particules de polystyrène de 50 nm, une valeur de diamètre de diaphragme de sortie supérieure à la valeur permettant d'obtenir un jet collimaté de façon optimale peut être nécessaire pour obtenir un jet divergent bien contrôlé. Dans ce cas, le demi-angle de divergence est positif (configuration de la figure 5(c)).

[0101] Dans les conditions de simulation ayant abouti aux figures 9(a) à 9(c), la transmission du jet de particules a également été évalué.

[0102] Ainsi, la figure 10 fournit l'évolution du taux de transmission en fonction du diamètre du diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique. Plus précisément, la figure 10(a) s'intéresse à l'or (Au), selon les tailles comprises entre 10nm et 2 microns. La figure 10(b) s'intéres-

se au silicium (Si), selon des tailles comprises entre 50nm et 2 microns. La figure 10(c) s'intéresse au polystyrène, selon des tailles comprises entre 50nm et 2 microns.

[0103] Dans les tests expérimentaux et simulations précédentes, la pression en entrée de la lentille aérodynamique a été fixée à 4mbar.

[0104] Les mêmes campagnes de simulation ont donc été réalisées pour une pression en entrée de la lentille aérodynamique de 3mbar d'une part et de 5mbar d'autre part. Le demandeur s'est aperçu que cela avait une influence sur la valeur maximale du demi-angle de divergence susceptible d'être obtenu. Le demandeur s'est également aperçu que diminuer ou augmenter la pression en entrée de la lentille aérodynamique, par rapport à une référence de 4mbar, diminuait cette valeur maximale. De manière générale, les résultats étaient cependant de même nature.

[0105] Aussi, pour mettre en oeuvre le procédé, on pourra envisager une pression d'entrée comprise entre 2mbar et 5mbar, de préférence entre 3mbar et 5mbar et plus avantageusement de 4mbar.

[0106] Il convient par ailleurs de noter que les tests expérimentaux et simulations précédentes mettent en évidence que le contrôle de la divergence du jet peut s'effectuer en réglant seulement le diamètre du diaphragme de sortie 25, puisque les autres diaphragmes restent avec un diamètre fixe.

[0107] Dans la description qui précède, nous nous sommes basés sur une lentille aérodynamique (figure 2) comportant notamment cinq chambres et donc autant de diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, avec des dimensions particulières.

[0108] Néanmoins, le procédé selon l'invention peut tout à fait être mis en oeuvre avec tout type de lentille aérodynamique existante, en prévoyant cependant un diaphragme de sortie dont le diamètre est réglable.

[0109] En réduisant le nombre de diaphragmes au sein de la lentille aérodynamique, les possibilités d'obtenir un jet collimaté sont réduites à un certain type (densité) de particules et à une certaine taille de particules.

[0110] Néanmoins, les possibilités d'obtenir un jet de particules fortement divergent sont accrues pour un certains types de particules et de tailles de particules. Ainsi, il est possible d'obtenir un demi-angle de divergence maximal plus important qu'avec une lentille aérodynamique telle que celle qui est représentée sur la figure 2, par ailleurs dans une gamme de taille de particules plus étendue, en particulier vers les grandes tailles et ce, pour des densités de particules équivalentes ou encore, pour des particules plus denses avec des tailles similaires.

[0111] Cela peut donc avoir un intérêt pour certaines applications, par exemple lorsque l'on souhaite effectuer un dépôt homogène de particules sur de grandes surfaces.

[0112] La figure 11 présente une telle possibilité, où l'on observe deux chambres CH1, CH2 et trois diaphragmes 20 (diaphragme d'entrée), 25 (diaphragme de sortie) et 24 (diaphragme séparant les deux chambres CH1,

CH2). Sur cette figure 11, le diaphragme de sortie 25 présente un diamètre réglable, le diaphragme 24 est non amovible et présente un diamètre donné, non réglable.

[0113] Enfin, le diaphragme d'entrée 20 présente un diamètre donné et peut notamment, comme représenté sur la figure 11, être par ailleurs non amovible et présenter un diamètre non réglable. Dans ce dernier cas, le diaphragme de sortie 25 est le seul diaphragme de la lentille aérodynamique qui présente un diamètre réglable.

[0114] Par ailleurs, et quel que soit le nombre de chambres prévues au sein de la lentille aérodynamique, des simulations ont montré que, outre le réglage du diamètre d_s du diaphragme de sortie, l'utilisation d'un diaphragme 24 (figure 2) d'épaisseur plus faible que celle qui est considérée dans l'art antérieur de la figure 1 (10mm) avait un impact positif sur le contrôle de la divergence de particules de grandes tailles, avoisinant typiquement le micron et/ou de grande densité.

[0115] Il peut donc, dans certaines conditions, être bénéfique de prévoir un diaphragme 24 de faible épaisseur e, par exemple entre 0,2mm et 5mm, entre 0,2mm et 3mm, entre 0,2mm et 2mm ou encore entre 0,2mm et 1,5mm.

[0116] En fait, le demandeur a donc mis en évidence que l'épaisseur e du diaphragme d'entrée de la chambre comportant ledit diaphragme 25 de sortie de la lentille aérodynamique 100 pouvait avoir un impact positif sur le contrôle de la divergence du jet de particules.

[0117] Dans la description qui précède, nous nous sommes basés sur une réalisation (figure 2) pour laquelle les diamètres du (figure 11) ou de chaque (figure 2) diaphragme autre que le diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique était de plus en plus petit depuis l'entrée de la lentille aérodynamique vers sa sortie.

[0118] Ceci n'est qu'un exemple.

[0119] Il existe en effet des lentilles aérodynamiques où cette caractéristique n'est pas respectée.

[0120] L'invention, consistant à pouvoir régler le diamètre du diaphragme de sortie de la lentille aérodynamique, s'applique donc également dans ce cas.

[0121] Par ailleurs, toujours dans la description qui précède, nous avons présenté un cas où le diaphragme de sortie 25 de la lentille aérodynamique comporte un iris de diamètre réglable par une molette MOL réglable manuellement.

[0122] En variante, il est possible d'automatiser le système, en reliant le diaphragme 25 en forme d'iris à un moteur MOT, sur lequel le diaphragme 25 de sortie est monté, ce moteur MOT étant commandé par un contrôleur C externe, c'est-à-dire n'appartenant pas au diaphragme 25.

[0123] Cette possibilité est schématisée sur la figure 12.

[0124] Selon une autre variante, beaucoup plus simple à mettre en oeuvre industriellement, on peut prévoir, à la place de la lentille aérodynamique 100, un ensemble comportant une lentille aérodynamique 100'

comprenant :

o n chambres 10 à 14, avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable;

o un diaphragme, dit diaphragme d'entrée 20, destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre donné ; et

o un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie 25, destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie présentant un diamètre donné ;

et dans lequel le diaphragme de sortie 25 est monté de façon amovible au sein de la lentille aérodynamique 100' et en ce que ledit ensemble comprend, en outre, au moins un diaphragme complémentaire 25' présentant un diamètre différent de celui du diaphragme de sortie 25, ledit au moins un diaphragme complémentaire 25' étant destiné à être monté de façon amovible dans la lentille aérodynamique en lieu et place dudit diaphragme de sortie.

[0125] Dans cet ensemble, le diaphragme de sortie ne se présente pas sous la forme d'un iris, commandé manuellement ou non, dont le diamètre d_s est réglable.

[0126] En effet, le diamètre du diaphragme de sortie est fixe. Cependant, dans la mesure où ce diaphragme de sortie est monté de façon amovible au sein de la lentille aérodynamique, il peut être changé à souhait à partir d'un autre jeu de diaphragmes 25', 25'', ..., 25ⁿ présentant des diamètres différents les uns des autres.

[0127] On peut ainsi effectuer le réglage du diamètre d_s du diaphragme de sortie 25 en changeant tout simplement de diaphragme.

[0128] La figure 13 est un schéma représentatif d'un tel ensemble 200, comportant une lentille aérodynamique 100' dans laquelle est logée, en sortie de la lentille aérodynamique et de façon amovible, un diaphragme de sortie 25 et un jeu de diaphragmes 25', 25'', ..., 25ⁿ (diaphragmes complémentaires) de diamètres d_s' ,

d_s'' , ..., d_s^n différents entre eux et tous différents du diamètre de sortie d_s du diaphragme 25 monté sur la lentille aérodynamique 100'.

[0129] Pour réaliser un montage amovible, on peut par exemple modifier la structure de la lentille aérodynamique 100' au niveau de sa sortie. Par exemple, il est possible de monter un diaphragme sur l'extrémité de la lentille aérodynamique 100' par un moyen de montage MM tel que des vis, boulons, colle sur la paroi périphérique de la lentille aérodynamique.

[0130] Selon une autre possibilité (non représentée), il est possible de prévoir, sur la lentille aérodynamique 100', et à son extrémité, une paroi munie d'une encoche apte à recevoir l'un quelconque des diaphragmes 25, 25', 25'', ..., 25ⁿ.

Revendications

1. Procédé pour contrôler la divergence d'un jet de particules sous vide avec une lentille aérodynamique, ladite lentille aérodynamique (100, 100') comprenant :

- n chambres (10 à 14) avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable ;

- un diaphragme, dit diaphragme d'entrée (20), destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre (d_1) donné ; et

- un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie (25), destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie présentant un diamètre réglable ;

ledit procédé comportant ;

- une étape de génération du jet de particules depuis l'entrée vers la sortie, sous vide, de la lentille aérodynamique (100, 100') ; et

- une étape de réglage du diamètre (d_s) du diaphragme de sortie pour contrôler la divergence du jet de particules,

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel on règle le diamètre (d_s) du diaphragme de sortie (25) dans une gamme de valeurs strictement inférieure au diamètre (d_1) du diaphragme d'entrée.

3. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la lentille aérodynamique (100, 100') comporte n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le diaphragme d'entrée est non amovible et présente un diamètre non réglable.

5. Procédé selon la revendication précédente, dans lequel on règle le diamètre (d_s) du diaphragme de sortie (25) à une valeur strictement inférieure aux diamètres desdits n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie.

6. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la pression en entrée de la lentille aérodynamique (100, 100') est comprise entre 2mbar et 5mbar, de préférence entre 3mbar et

5mbar.

7. Lentille aérodynamique (100) pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une des revendications précédentes, comprenant :
- n chambres (10 à 14) avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable; 10
 - un diaphragme, dit diaphragme d'entrée (20), destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée présentant un diamètre (d_1) donné ; et 15
 - un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie (25), destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules ;
- caractérisée en ce que** le diaphragme de sortie (25) 20 présente un diamètre réglable.
8. Lentille aérodynamique (100) selon la revendication précédente, comportant n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de 25 sortie (25), deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.
9. Lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 7 ou 8, dans laquelle le nombre n de cham- 30 bres et donc de diaphragmes autres que le diaphragme de sortie (25) est tel que $n \geq 5$ et, par exemple, tel que $n \leq 15$, deux chambres successives étant 35 séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.
10. Lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel le diaphragme d'entrée 40 est non amovible et présente un diamètre non réglable.
11. Lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 7 à 10, dans laquelle le diaphragme de 45 sortie (25) se présente sous la forme d'un iris dont le diamètre (d_S) est réglable par une molette actionnable manuellement.
12. Lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 7 à 10, dans laquelle le diaphragme de 50 sortie (25) se présente sous la forme d'un iris dont le diamètre est réglable par un moteur commandé.
13. Lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 7 à 12, dans laquelle le diaphragme d'en- 55 trée de la chambre comportant ledit diaphragme de sortie (25) de la lentille aérodynamique présente une

épaisseur (e) comprise entre 0,2mm et 5mm.

14. Ensemble (200) pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 5, comportant une 5 lentille aérodynamique (100') comprenant :
- o n chambres (10 à 14) avec $n \geq 2$, lesdites chambres étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un dia- 10 mètre donné, non réglable ;
 - o un diaphragme, dit diaphragme d'entrée (25), destiné à former une entrée de la lentille aérodynamique (100') pour un jet de particules, ledit diaphragme d'entrée (20) présentant un diamè- 15 tre (d_1) donné ; et
 - o un autre diaphragme, dit diaphragme de sortie (25), destiné à former une sortie de la lentille aérodynamique pour ce jet de particules, ledit diaphragme de sortie présentant un diamètre 20 donné ;
- caractérisé en ce que** le diaphragme de sortie (25) est monté de façon amovible au sein de la lentille 25 aérodynamique (100') et **en ce que** ledit ensemble (200) comprend, en outre, au moins un diaphragme complémentaire (25', 25'', ... 25ⁿ) présentant un diamètre différent de celui du diaphragme de sortie (25), ledit au moins un diaphragme complémentaire étant 30 destiné à être monté de façon amovible dans la lentille aérodynamique en lieu et place dudit diaphragme de sortie.
15. Ensemble (200) selon la revendication précédente, dans lequel la lentille aérodynamique (100') comporte 35 n chambres, avec $n \geq 3$, et donc n diaphragmes autres que le diaphragme de sortie, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.
16. Ensemble (200) selon l'une des revendications 14 ou 15, dans lequel le nombre n de chambres et donc de diaphragmes autres que le diaphragme de 40 sortie est tel que $n \geq 5$ et, par exemple, tel que $n \leq 15$, deux chambres successives étant séparées l'une de l'autre par un diaphragme non amovible et présentant un diamètre donné, non réglable.
17. Ensemble selon l'une des revendications 14 à 16, dans lequel le diaphragme d'entrée est non amovible 45 et présente un diamètre non réglable.
18. Ensemble selon l'une des revendications 14 à 17, dans lequel le diaphragme d'entrée de la chambre comportant ledit diaphragme de sortie (25) de la len- 50 tille aérodynamique présente une épaisseur (e) comprise entre 0,2mm et 5mm.

19. Utilisation d'une lentille aérodynamique (100) selon l'une des revendications 6 à 11 ou d'un ensemble (200) selon l'une des revendications 12 à 15 pour déposer, sous vide, des particules sur une surface cible (SC).

5

20. Utilisation selon la revendication précédente, dans laquelle la surface cible présente une surface supérieure ou égale au cm^2 .

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig.1
(Art Antérieur)

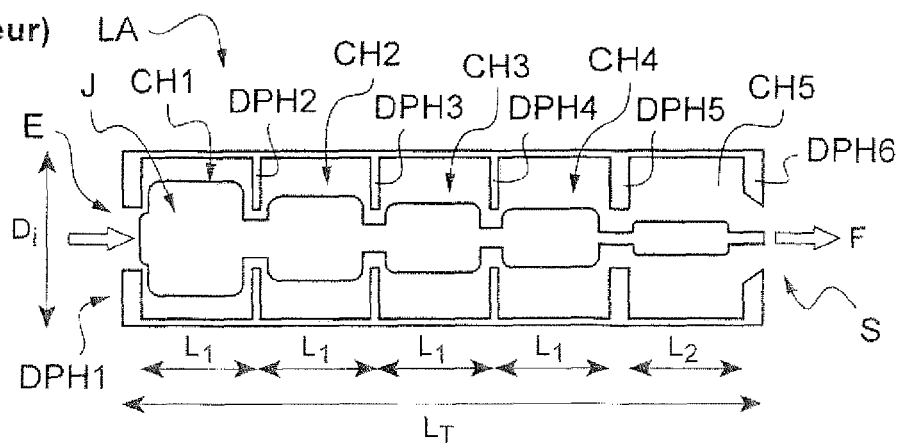
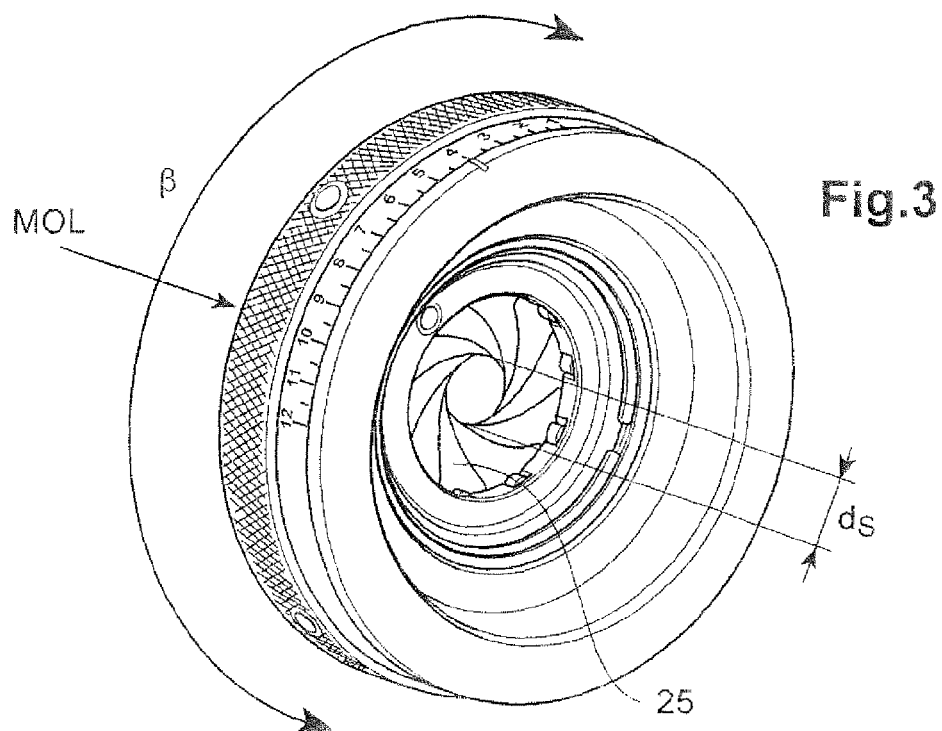
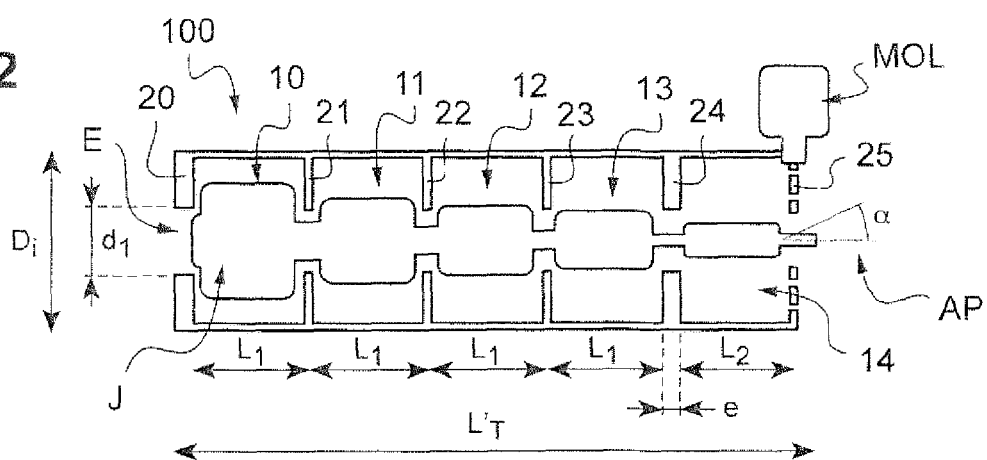


Fig. 2



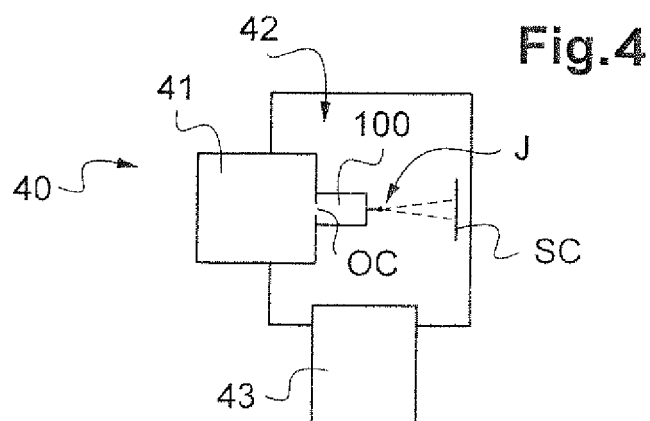


Fig.5(a)

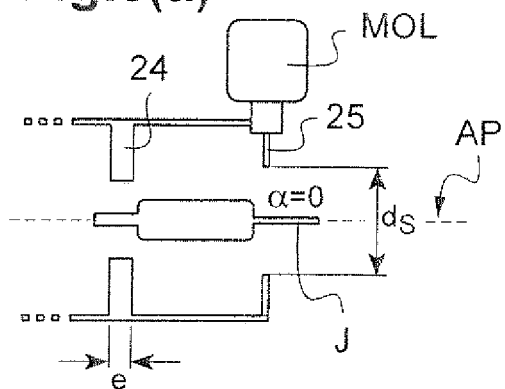


Fig.5(b)

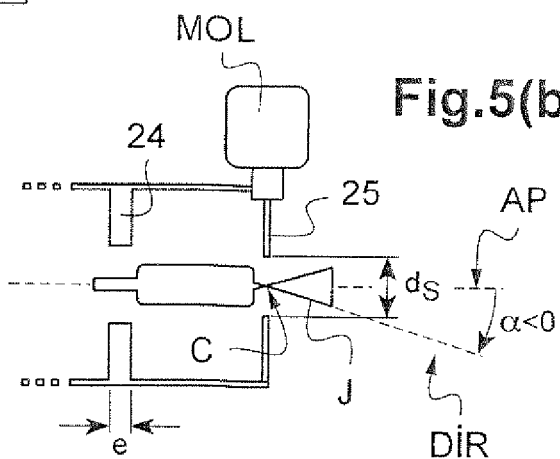


Fig.5(c)

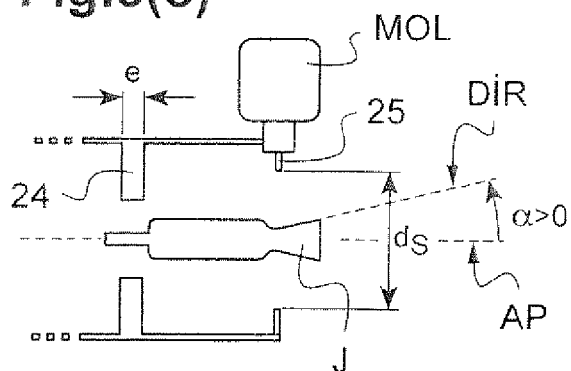
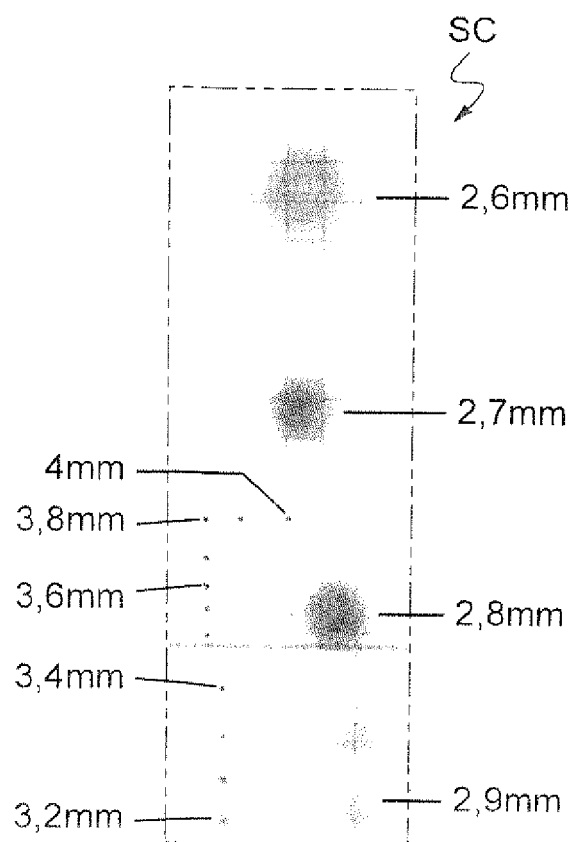


Fig.6



Particules d'or de 10nm, $d_S=3,4\text{mm}$

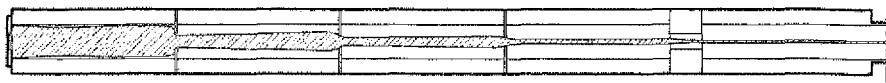


Fig.7(a)

Particules de silicium de 50nm, $d_S=3,2\text{mm}$

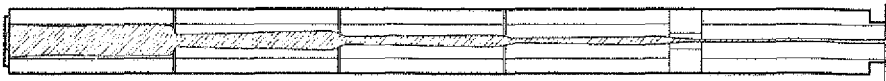


Fig.7(b)

Particules de polystyrène de 100nm, $d_S=3,2\text{mm}$

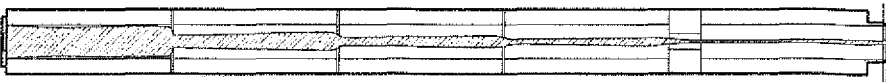


Fig.7(c)

Particules d'or de 10nm, $d_S=2,2\text{mm}$

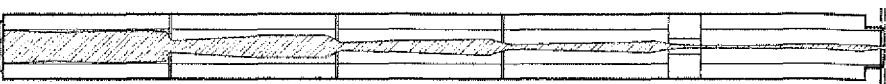


Fig.8(a)

Particules de silicium de 50nm, $d_S=2,2\text{mm}$



Fig.8(b)

Particules de polystyrène de 100nm, $d_S=2,2\text{mm}$



Fig.8(c)

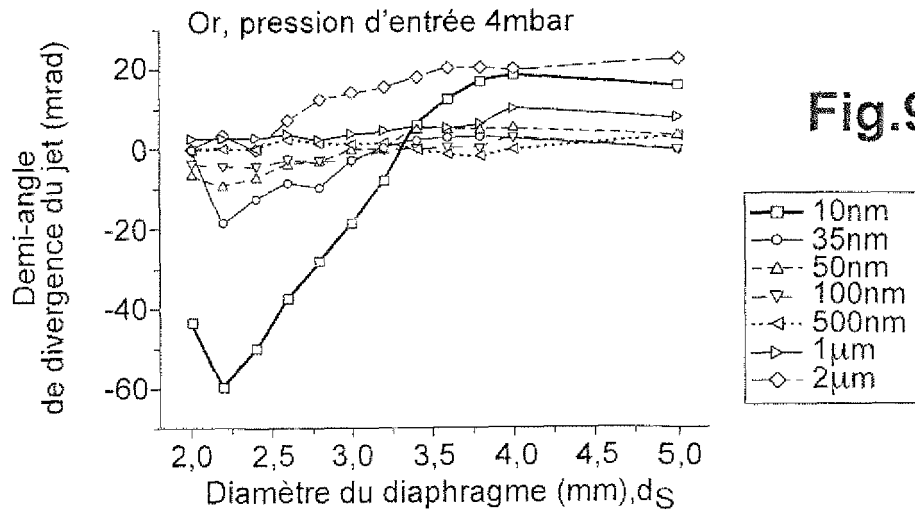


Fig.9(a)

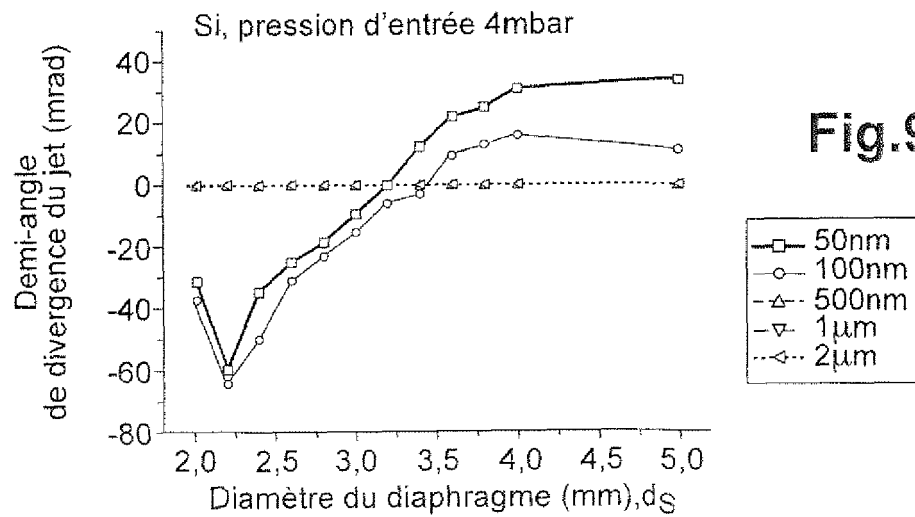


Fig.9(b)

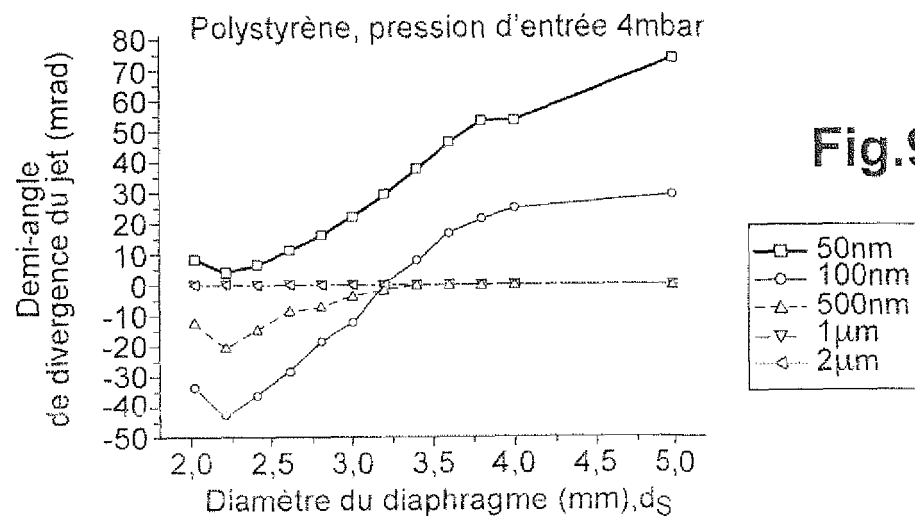


Fig.9(c)

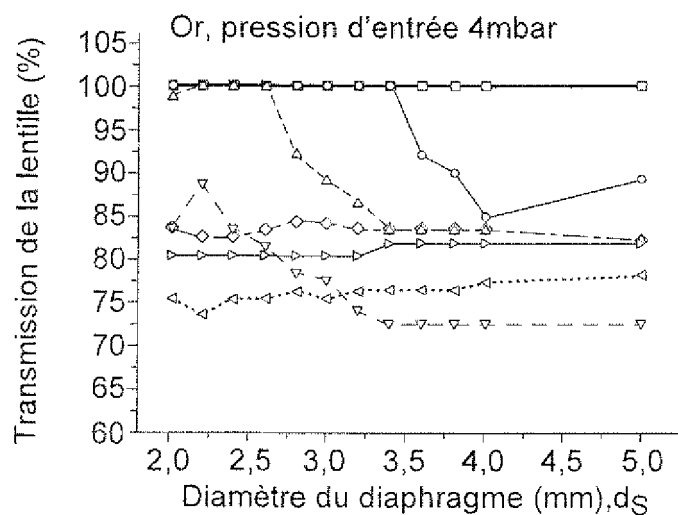


Fig.10(a)

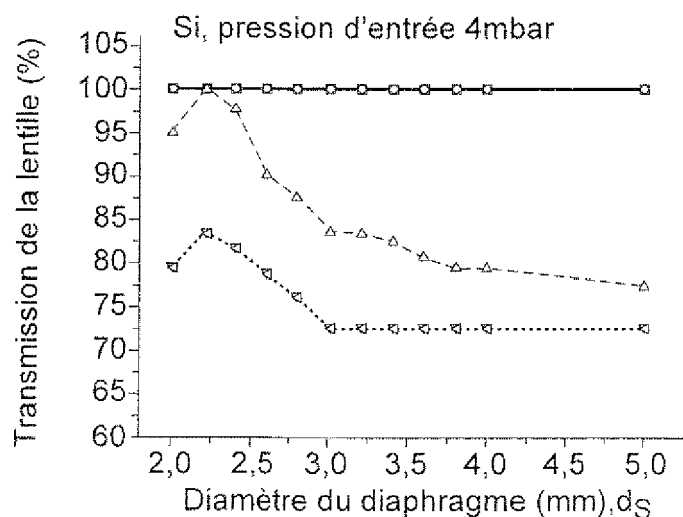


Fig.10(b)

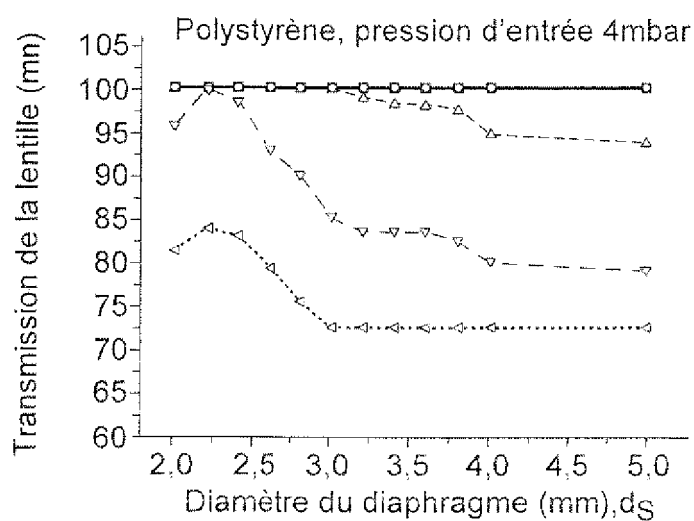
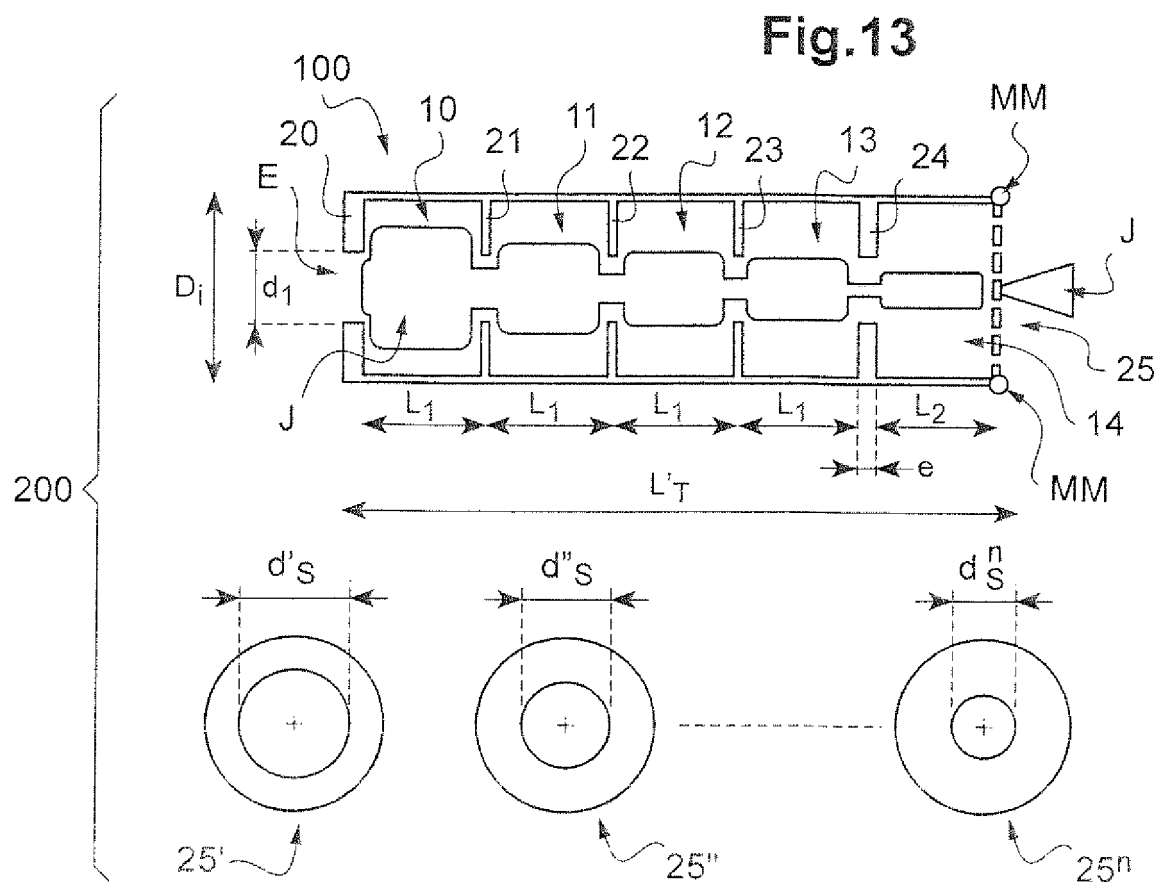
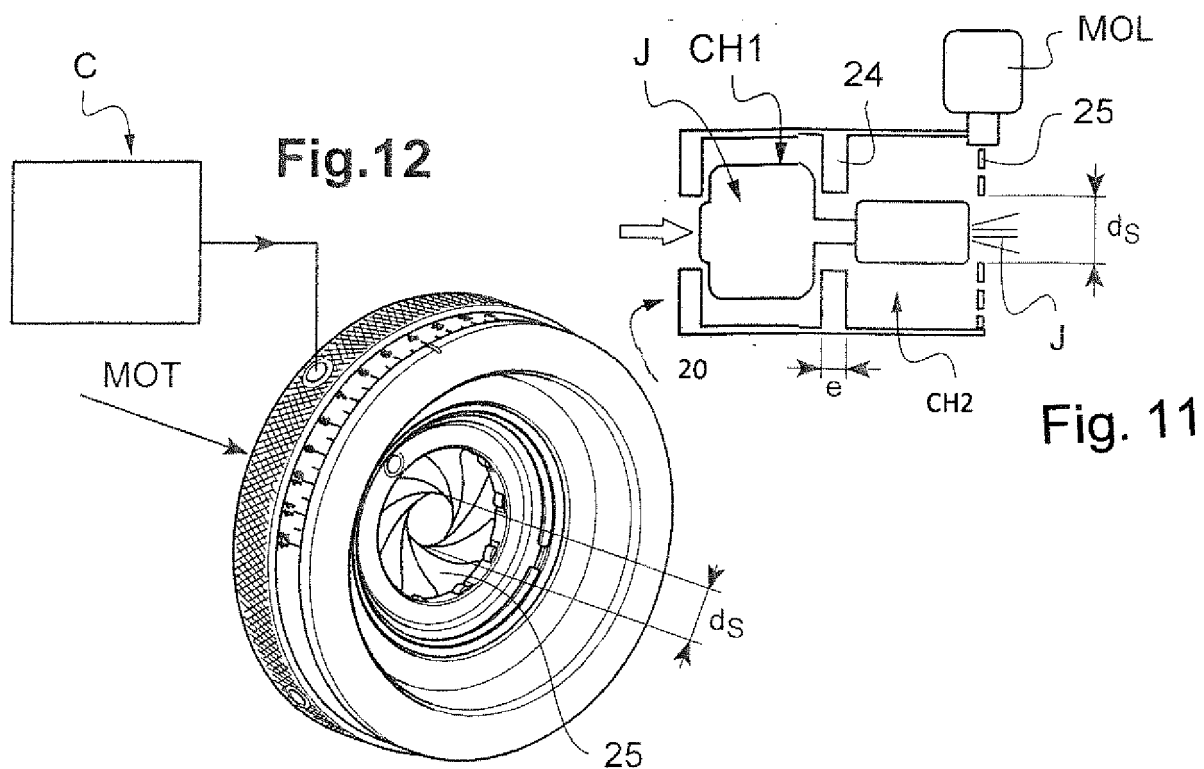


Fig.10(c)





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 20 4880

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	KR 101 465 363 B1 (UNIV SUNGKYUNKWAN RES & BUS [KR]) 26 novembre 2014 (2014-11-26) * le document en entier *	1-20	INV. B05B1/30 H01J49/04 G01N15/00
A	KR 2015 0115995 A (UNIV SUNGKYUNKWAN RES & BUS [KR]) 15 octobre 2015 (2015-10-15) * figures 4-6 *	1-20	
A	WO 02/05969 A2 (UNIV MINNESOTA [US]; RAO NAGARAJA P [US]; HEBERLEIN JOACHIM [US]; GERB) 24 janvier 2002 (2002-01-24) * le document en entier *	1-20	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			H01J G01N C23C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 25 avril 2017	Examineur Gineste, Bertrand
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 16 20 4880

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

25-04-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
KR 101465363 B1	26-11-2014	AUCUN	
KR 20150115995 A	15-10-2015	AUCUN	
WO 0205969 A2	24-01-2002	AU 7700701 A US 2004046130 A1 WO 0205969 A2	30-01-2002 11-03-2004 24-01-2002

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- FR 2971518 [0003] [0073]
- FR 2994443 [0003]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **LIU.** Generating particles Beams of Controlled Dimensions and Divergence : II. Experimental Evaluation of Particle Motion in Aerodynamic Lenses and Nozzle Expansions. *Aerosol. Sci. Technol.*, 1995, vol. 22, 314-324 [0005]