



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 125 065 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention  
de la délivrance du brevet:  
**17.07.2002 Bulletin 2002/29**

(21) Numéro de dépôt: **99948619.4**

(22) Date de dépôt: **15.10.1999**

(51) Int Cl.7: **F04D 33/00**

(86) Numéro de dépôt international:  
**PCT/BE99/00127**

(87) Numéro de publication internationale:  
**WO 00/23715 (27.04.2000 Gazette 2000/17)**

(54) **POMPE MOLECULAIRE**

MOLEKULARPUMPE

MOLECULAR PUMP

(84) Etats contractants désignés:  
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU  
MC NL PT SE**

(30) Priorité: **20.10.1998 EP 98203502**

(43) Date de publication de la demande:  
**22.08.2001 Bulletin 2001/34**

(73) Titulaires:  
• **Vanden Brande, Pierre**  
**3090 Overijse (BE)**  
• **Weymeersch, Alain**  
**1300 Wavre (BE)**

(72) Inventeurs:  
• **Vanden Brande, Pierre**  
**3090 Overijse (BE)**  
• **Weymeersch, Alain**  
**1300 Wavre (BE)**

(74) Mandataire: **Callewaert, Jean et al**  
**Bureau Callewaert b.v.b.a.**  
**Brusselsesteenweg 108**  
**3090 Overijse (BE)**

(56) Documents cités:  
**WO-A-80/02445**                      **WO-A-96/18823**  
**DE-C- 3 925 749**                      **US-A- 3 374 941**  
**US-A- 3 554 669**

**EP 1 125 065 B1**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

## Description

**[0001]** La présente invention est relative à une pompe moléculaire à vide permettant d'évacuer un gaz d'une enceinte et de créer ainsi dans cette enceinte un vide poussé qui est généralement compris entre 10 Pa et  $10^{-6}$  Pa (0,1 mbar et  $10^{-8}$  mbar) et préférentiellement entre 1 Pa et  $10^{-4}$  Pa ( $10^{-2}$  et  $10^{-6}$  mbar).

**[0002]** Actuellement, lorsque l'on désire maintenir une pression de l'ordre de  $10^{-3}$  Pa à  $10^{-5}$  Pa ( $10^{-5}$  à  $10^{-7}$  mbar) par exemple afin d'évaporer un matériau sous vide ou encore lorsqu'il est nécessaire de maintenir des pressions de l'ordre de 1 Pa à  $10^{-3}$  Pa ( $10^{-2}$  à  $10^{-5}$  mbar) dans la mise en oeuvre d'un procédé plasma, par exemple, on fait usage de pompes moléculaires permettant de fonctionner dans cette gamme de pressions. La pression d'équilibre requise est obtenue en équilibrant le débit d'introduction des gaz avec le débit de pompage du système à un certain niveau. La vitesse de pompage de la pompe est généralement fixée (volume par unité de temps), la régulation de la pression s'obtient au moyen de la régulation du débit de fuite dans la chambre à vide. Il faut encore remarquer que lorsqu'aucun gaz n'est introduit, la pression ne chute pas indéfiniment mais atteint ce que l'on appelle la pression limite du système résultant de l'équilibre entre les fuites inhérentes à toute installation et la vitesse du groupe de pompage installé.

**[0003]** Pour la gamme de pression mentionnée, deux types de pompes sont pratiquement utilisées : d'une part, les pompes dites à diffusion et basées sur l'entraînement du gaz de l'enceinte, dans laquelle le vide doit être créé, par l'éjection de gaz au moyen d'une série de tuyères concentriques intégrées au corps de pompe et, d'autre part, les pompes à entraînement moléculaire rotatives (turbomoléculaires et "molecular drag pump") entraînant les molécules de gaz qui entrent en collision avec le rotor de la pompe. Ces deux types de pompes présentent tous les deux des inconvénients importants.

**[0004]** En effet, dans une pompe à diffusion, par le fait que l'on y fait usage de fluides à évaporer, tels que des hydrocarbures et des silicones, dont les vapeurs servent de moteur au pompage, des problèmes de contamination de l'enceinte, dans laquelle le vide doit être créé, se produisent par la rétrodiffusion de vapeurs de la pompe dans l'enceinte. De plus, cette évaporation et la condensation de ces fluides entraînent une très forte consommation énergétique et en eau. En outre, une pompe à diffusion doit être fortement étranglée pour fonctionner à une pression supérieure ou égale à  $10^{-3}$  mbar dans l'enceinte sous peine de fortes oscillations en pression et d'une contamination importante de la chambre à vide. En général, cet étranglement limite fortement le débit volumétrique de la pompe.

**[0005]** Par ailleurs, une pompe moléculaire rotative n'est efficace que lorsque la vitesse de rotation du rotor est de l'ordre de la vitesse de déplacement des molécules de gaz, ce qui implique de très grandes vitesses de rotation comprises en général entre 30.000 et 80.000

tours par minute en fonction de la taille de la pompe. Ce n'est qu'à ces vitesses de rotation que l'extrémité du rotor peut atteindre sa vitesse maximale, de l'ordre de 500 m/s pour les meilleures pompes. Une augmentation de vitesse n'est, en effet, pas envisageable facilement étant donné les difficultés mécaniques à vaincre. A ces vitesses, le rotor, généralement en alliage d'aluminium, est soumis à des contraintes très importantes pouvant atteindre jusqu'à  $150 \text{ N/mm}^2$ . Il est donc très important, afin d'éviter un crash du rotor contre le stator, que le rotor soit parfaitement positionné (au  $\mu\text{m}$  près) et équilibré par des méthodes avancées en équilibrage dynamique sous vide à vitesse nominale. L'usinage et surtout l'équilibrage constitue donc un coût très élevé dans le prix de revient d'une pompe moléculaire rotative. Parmi tous les problèmes liés à l'utilisation d'une pompe moléculaire rotative on peut citer, plus particulièrement :

- l'usure importante des paliers mécaniques nécessite généralement l'utilisation de paliers magnétiques ou à gaz très onéreux ;
- en cas d'utilisation de paliers mécaniques, l'emploi de lubrifiant peut conduire à une contamination dans l'enceinte qui, même si elle est négligeable par rapport à ce qui est obtenu avec une pompe à diffusion, peut être critique dans certaines applications ;
- en présence d'un champ magnétique supérieur à 10 mT, l'emploi des pompes moléculaires rotatives à rotor conducteur est fortement compliqué par la présence de courants induits conduisant à un échauffement excessif de ce dernier ;
- l'augmentation des vitesses de pompage de ce type de pompe est rendu difficile et onéreux au-delà de 5000 l/s étant donné les outillages nécessaires à l'usinage et à l'équilibrage de ces pompes.

**[0006]** Un des buts essentiels de la présente invention est de proposer une pompe moléculaire qui permet de remédier aux inconvénients de ces types de pompes existantes.

**[0007]** A cet effet, l'invention propose une pompe comportant les caractéristiques énoncées à la revendication 1.

**[0008]** Avantageusement, les éléments susdits coopèrent avec des moyens permettant de les soumettre à une vibration présentant une composante orientée vers l'ouverture de sortie.

**[0009]** Suivant une forme de réalisation préférentielle de la pompe, suivant l'invention, l'élément précité comprend une matière piézo-électrique fixée sur le support précité et recouverte, sur sa face opposée à celle orientée vers le support, par un revêtement conducteur d'électricité, des moyens étant prévus pour appliquer sur cet élément une tension électrique alternative, de manière à faire subir à cette matière piézo-électrique une déformation suivant une direction transversale au support et, par conséquent, au revêtement susdit une

vibration correspondante.

**[0010]** D'autres particularités et avantages de la pompe, suivant l'invention, ressortiront de la description donnée, ci-après, à titre d'exemples non limitatifs de quelques formes de réalisation particulières de cette pompe, avec référence aux dessins annexés.

**[0011]** La figure 1 est une vue schématique en coupe longitudinale, suivant la ligne I-I de la figure 2, avec brisures partielles, d'une première forme de réalisation de la pompe suivant l'invention.

**[0012]** La figure 2 est une coupe transversale suivant la ligne II-II de la figure 1.

**[0013]** La figure 3 est, à plus grande échelle, une vue en coupe transversale d'une partie essentielle de la pompe suivant cette première forme de réalisation.

**[0014]** La figure 4 représente une variante de la forme de réalisation montrée à la figure 3.

**[0015]** La figure 5 est une vue schématique en coupe longitudinale analogue à la figure 1 d'une deuxième forme de réalisation de la pompe suivant l'invention.

**[0016]** La figure 6 est une vue schématique analogue aux figures 1 et 5 d'une troisième forme de réalisation de la pompe suivant l'invention.

**[0017]** La figure 7 est, à plus grande échelle, une vue de détail d'une partie de la figure 6.

**[0018]** La figure 8 est une vue de détail d'une première variante des formes de réalisation suivant les figures précédentes.

**[0019]** La figure 9 est une vue de détail d'une deuxième variante des formes de réalisation suivant les figures précédentes.

**[0020]** Dans les différentes figures, les mêmes chiffres de référence concernent des parties analogues ou identiques.

**[0021]** L'invention concerne un nouveau type de pompe à vide principalement destinée au pompage dans une zone de pressions comprise entre 10 Pa et  $10^{-6}$  Pa (0,1 mbar et  $10^{-8}$  mbar). Il s'agit donc d'une pompe fonctionnant en régime dit moléculaire, c'est-à-dire une pompe pour laquelle les collisions des molécules avec les parois de la pompe dominent fortement les collisions entre les molécules.

**[0022]** Une première forme de réalisation d'une telle pompe a été représentée aux figures 1 et 2. Elle comprend une boîte ou carcasse métallique étanche 1 présentant, à un de ses côtés, une ouverture d'entrée 2 destinée à être raccordée à une enceinte, non représentée, dans laquelle il y a lieu de créer un vide poussé. Une ouverture de sortie 3 destinée à être connectée à une pompe de décharge, également non représentée, est prévue au côté opposé de cette boîte 1.

**[0023]** A l'intérieur de la boîte 1 sont répartis une série d'éléments d'accélération 4 s'étendant entre ces deux ouvertures 2 et 3, à une certaine distance les uns des autres, en des endroits fixes et entre lesquels sont ménagés des passages 10 pour le gaz à évacuer.

**[0024]** Suivant l'invention, ces éléments 4 sont tels à permettre d'impliquer aux molécules du gaz, provenant

de l'enceinte susdite et venant en contact avec les éléments 4, une vitesse dont la résultante est orientée vers l'ouverture de sortie 3.

**[0025]** Ces éléments 4 constituent les parties actives de la pompe et sont placés en des étages successifs. Ils permettent de pomper le gaz à partir de l'ouverture d'entrée 2 vers l'ouverture de sortie 3 en augmentant la pression du gaz d'étage en étage. Ceci est obtenu en soumettant, à chaque étage, les molécules du gaz à une séquence de décélération suivie d'une accélération par les éléments 4 de ce dernier vers les éléments de l'étage suivant.

**[0026]** Ainsi, la pompe moléculaire suivant l'invention doit présenter une vitesse de pompage élevée aux étages à proximité de l'ouverture d'entrée 2 et une vitesse de pompage plus faible aux étages se situant à proximité de l'ouverture de sortie 3 où la pression sera donc la plus élevée.

**[0027]** En effet, en régime stationnaire, le débit massique est constant dans chaque étage de la pompe, c'est-à-dire que le produit de la vitesse de pompage et la pression est constant d'étage en étage.

**[0028]** Pour permettre d'augmenter la pression du gaz d'étage en étage, il faut donc que la vitesse de pompage diminue en proportion, ce qui se traduit, en pratique, par une section de passage 10 pour le gaz d'un étage à l'autre décroissante vers l'ouverture de sortie 3.

**[0029]** C'est pour cette raison que, suivant l'invention, les étages de pompage dits de "haute pression" et se situant donc à proximité de l'ouverture de sortie 3 sont plus serrés que les étages de pompage dits de "basse pression" se situant à proximité de l'ouverture d'entrée 2.

**[0030]** Avantageusement, les éléments susdits 4 sont montés sur un support fixe 5, du côté de ces derniers, orienté vers l'ouverture de sortie précitée 3 et sont réalisés d'une manière telle à pouvoir coopérer avec des moyens 9 permettant de les soumettre à une vibration présentant une composante orientée vers l'ouverture de sortie 3.

**[0031]** De plus, des moyens sont prévus pour maintenir le support précité 5 à une température sensiblement réduite, par exemple à la température ambiante.

**[0032]** A cet égard, le support 5 et la boîte 1 sont réalisés en une matière calorifère, notamment en métal, et sont reliés d'une manière conductrice de la chaleur entre eux à un circuit de refroidissement 8 alimenté par exemple par de l'eau entourant la boîte 1.

**[0033]** Chaque élément 4 comprend un organe vibrant 6 qui, dans la forme de réalisation représentée à la figure 1, est formé par une couche d'une matière piézo-électrique fixée sur le support métallique 5 et recouverte, sur sa face opposée à celle orientée vers le support 5, par un revêtement formé d'une matière conductrice de l'électricité 7.

**[0034]** Des moyens 9, formés par un générateur de tension électrique alternative, notamment sinusoïdale, sont prévus pour permettre de faire subir à la couche

en matière piézo-électrique 6 une déformation suivant une direction transversale au support 5 et, par conséquent, au revêtement susdit 7 une vibration correspondante.

**[0035]** La surface de revêtement 7 soumise à cette vibration transversale communique ainsi une vitesse aux molécules de gaz essentiellement dans le sens du pompage et joue en fait le rôle du rotor d'une pompe turbomoléculaire.

**[0036]** Pour que ce pompage puisse avoir lieu avec un bon taux de compression, les molécules ainsi excitées doivent être ralenties avant de passer d'un étage à l'étage suivant où elles seront à nouveau accélérées. Ce ralentissement s'obtient lorsque les molécules excitées entrent en collision avec les parties du support 5 non soumises à une vibration et maintenues à une température relativement réduite, comme mentionné ci-dessus. Ce support 5 joue donc le rôle du stator d'une pompe turbomoléculaire.

**[0037]** Pour que la pompe moléculaire, suivant l'invention, puisse fonctionner avec un maximum de rendement, le support 5 doit être fixe par rapport au bâti de la pompe, c'est-à-dire par rapport à la boîte 1 de cette dernière, alors que la surface 7 seule peut être mise en vibration transversale sous l'effet de la couche intermédiaire 6 qui est donc de préférence réalisée en une matière piézo-électrique.

**[0038]** La fréquence de vibration et l'amplitude de celle-ci sont liées par le fait que la vitesse de déplacement de la surface 7 doit au moins atteindre une vitesse de l'ordre de la vitesse dite "thermique" des molécules de gaz dans les conditions de pompage.

**[0039]** Ainsi, pour le pompage d'azote à une température de l'ordre de 25°C, il faut atteindre avantageusement une vitesse de l'ordre de 500 m/sec. Ceci correspond à une pulsation de 500 krad/s pour une amplitude de 1 mm, une pulsation de 5 Mrad/s pour une amplitude de 100 µm ou encore une pulsation de 50 Mrad/s pour une amplitude de 10 µm.

**[0040]** En fonction de la pulsation (ou ce qui revient au même de la fréquence) et de l'amplitude du déplacement de la surface 7 vibrante, le principe de fonctionnement peut varier.

**[0041]** Au lieu d'être constitué d'une matière piézo-électrique, l'organe vibrant 6 pourrait être, par exemple, un dispositif de mise en vibration magnétique comprenant un électro-aimant, ou un dispositif électrostatique dans lequel le support 5 et la surface 7 forment ensemble un condensateur soumis à une tension électrique alternative ou encore un transducteur magnétostrictif.

**[0042]** Dans le cas, toutefois, d'une couche intermédiaire 6 entre le support 5 et la surface 7 d'une matière piézo-électrique, comme par exemple dans la forme de réalisation représentée aux figures 1 et 2, des fréquences relativement élevées peuvent être obtenues par exemple à la fréquence de résonance de cette matière piézo-électrique. De cette façon, des fréquences de l'ordre de 20 MHz peuvent être obtenues avec, comme ma-

tière piézo-électrique, des zirconates et titanates de plomb (PZT), alors que des fréquences pouvant dépasser les 100 MHz peuvent être atteintes avec des copolymères du type PVDF.

**[0043]** Suivant l'invention, les matériaux piézo-électriques polymériques et en particulier les polymères précités sont particulièrement intéressants dans la mesure où leur faible impédance acoustique ( $4 \cdot 10^6 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) et leur faible densité permettent de mettre en vibration la surface 7 sans communiquer cette vibration au support 5 maintenu à une température relativement réduite.

**[0044]** Comme déjà signalé ci-dessus, par suite de l'augmentation de la pression du gaz pompé vers l'ouverture de sortie 3, il y a lieu d'adapter aussi bien la section de passage 10 d'un étage à l'autre que la distance entre les étages successifs pour se conformer à la diminution du libre parcours moyen entre la collision élastique des molécules pompées, si l'on veut conserver le régime moléculaire.

**[0045]** Par exemple, à une pression d'azote supérieure ou égale à 0,1 Pa (0,001 mbar), la dimension caractéristique entre deux étages est de préférence de quelques centimètres au plus, tandis que pour une pression de 1 Pa (0,01 mbar), cette dimension passe à quelques mm. et sera encore plus réduite pour des pression de l'ordre de 10 Pa (0,1 mbar).

**[0046]** Entre autres pour cette raison, différents types de géométrie et de dispositions des supports et éléments vibrants 4 peuvent être considérés pour réaliser les différents étages de pompage.

**[0047]** Tout d'abord, en ce qui concerne la première forme de réalisation, telle que montrée aux figures 1 et 2, qui constitue une des configurations préférentielles, la boîte étanche 1, dans laquelle sont agencés les éléments vibrants 4, présente une section transversale carrée ou rectangulaire, comme montré clairement à la figure 2, et les supports métalliques 5 sont disposés par étage successifs et en quinconce dans cette boîte. Ces supports sont constitués de lames s'étendant parallèlement entre elles entre deux parois opposées de la boîte 1. Ainsi, ces lames formant les supports 5 sont refroidies par contact thermique avec ces parois de la boîte 1. Ces lames sont situées dans des plans parallèles entre eux, chacun de ces plans déterminant un étage. Dans chaque étage les lames se situent à une certaine distance les unes des autres pour permettre ainsi au gaz de passer d'un étage à l'autre.

**[0048]** La face inférieure de chacune des lames de support 5 est revêtue par un film de PVDF piézo-électrique qui est branché dans un circuit oscillant 9, comme montré plus en détail aux figures 3 et 4, permettant de faire vibrer ce film de préférence à une fréquence proche de sa fréquence de résonance.

**[0049]** Du fait de sa faible masse et de sa faible impédance acoustique en comparaison avec celles de la lame de support 5, la face libre du film de PVDF est mise en vibration pendant que le support reste immobile. Cette surface est recouverte d'un revêtement métallique 7

permettant la polarisation du film et communiquant ainsi de l'énergie cinétique aux molécules et atomes de gaz, qui s'y adsorbent, dans la direction transversale par rapport à ce revêtement 7 et dans le sens de l'ouverture de sortie 3, c'est-à-dire le sens du pompage, comme indiqué par la flèche 11.

**[0050]** Comme déjà mentionné ci-dessus, le film de PVDF est excité électriquement au moyen d'un circuit oscillant. Dans la forme de réalisation montrée à la figure 3, ce circuit oscillant comprend un générateur de tension électrique alternative 9' qui est raccordé, d'une part, au revêtement conducteur 7 déposé sur le film piézo-électrique 6 et, d'autre part, au support métallique 5.

**[0051]** Dans la forme de réalisation montrée à la figure 4, le matériau piézo-électrique 6, dont le sens de polarisation initial, montré par la flèche 6', est inversé de couche en couche. Les couches 6 sont revêtues d'un film conducteur de l'électricité 7 permettant de les raccorder indépendamment à la masse et à un générateur de tension alternative 9. Cette configuration présente un avantage considérable car elle permet :

- de maintenir à la masse le support 5 aussi bien que la surface externe 7 impliquant les vibrations aux molécules ;
- pour une valeur du champ électrique appliqué déterminée, cette configuration permet de travailler avec des tensions électriques nominales plus basses pour des épaisseurs actives théoriquement aussi élevées que nécessaire puisque le champ est appliqué dans les couches successives;
- cette configuration permet en outre de travailler avec une épaisseur active quelconque à des fréquences élevées proches de la fréquence de résonance des couches constitutives 6, étant donné que la fréquence de résonance augmente lorsque l'épaisseur d'une couche 6 diminue.

**[0052]** Le film de PVDF peut être soit directement en contact avec le support 5 si ce dernier est conducteur de l'électricité, soit au préalable revêtu d'un film conducteur si le support 5 n'est pas conducteur de l'électricité.

**[0053]** La figure 5 représente une deuxième forme de réalisation d'une configuration préférentielle des éléments vibrants 4 dans la boîte 1.

**[0054]** Dans cette configuration, les premiers étages de la pompe, c'est-à-dire ceux à proximité de l'ouverture d'entrée 2, sont inclinés par rapport à l'axe longitudinal de la boîte 1 d'un angle de l'ordre de 45° afin d'augmenter la vitesse de pompage.

**[0055]** Dans les zones subséquentes de la boîte 1, cet angle diminue de plus en plus, de sorte que les étages deviennent plus serrés pour être horizontaux à proximité de l'ouverture de sortie 3. La raison en est, comme déjà exposé ci-dessus, qu'au départ le débit de pompage est relativement élevé pour une pression relativement faible, le débit volumétrique de pompage diminuant et la pression augmentant au fur et à mesure

de l'avancement dans la boîte par suite de la conservation du débit massique pour tous les étages de la pompe en régime stationnaire.

**[0056]** Dans la figure 5, quatre zones d'étage 12, 13, 14 et 15 ont été représentées. Dans chacune d'elles, les supports sont montés dans une position bien déterminée.

**[0057]** La figure 6 se rapporte à une troisième configuration préférentielle de la forme et de la disposition des supports 5 et des éléments vibrants 4. La figure 7 représente un détail de cette même figure.

**[0058]** Dans la zone 12, à proximité de l'ouverture d'entrée 2, les supports 5 sont disposés en quinconce et présentent une section transversale ayant sensiblement l'allure d'un triangle isocèle dont le sommet est orienté vers l'ouverture d'entrée 2. Comme montré plus clairement à la figure 7, l'inclinaison des côtés latéraux obliques 16 de ces supports est telle à permettre une réflexion maximum des molécules de gaz frappant ces côtés vers la base 17 des supports munis de l'élément vibrant 7, comme montré par les flèches 18. De plus, dans cette première zone 12, la distance entre les supports 5 est maximale afin de créer un passage 10 qui est au maximum pour les molécules réfléchies par un étage vers l'étage suivant d'éléments vibrants. Dans les zones suivantes, les étages se rapprochent de plus en plus l'un de l'autre et les sections de passage 10 deviennent plus réduites. De plus, la hauteur des supports triangulaires 5 diminue également et les côtés obliques 16 présentent une forme concave dont la courbure est fixée en fonction de l'ouverture du passage 10 de manière telle qu'un maximum de molécules soient transmises vers l'étage suivant.

**[0059]** Une particularité importante de la configuration représentée aux figures 6 et 7 est la présence d'éléments vibrants 19 analogues aux éléments 4 et recouvrant partiellement les côtés latéraux obliques 16 des supports 5. Ainsi, ces éléments 19 sont constitués d'une couche intermédiaire 21 de préférence réalisée en une matière piézo-électrique recouverte d'un revêtement conducteur 20, et font partiellement face aux éléments 4 de l'étage précédent. Ces éléments 19 permettent de communiquer de l'énergie cinétique aux molécules au cours d'une série de collisions successives avec ces éléments vibrants plutôt qu'au cours d'une seule collision tout en amenant sensiblement les molécules vers le passage 10 permettant l'accès à l'étage suivant. A l'étage suivant, l'énergie cinétique des molécules excitées diminue au cours des collisions avec les parties des côtés obliques 16 non recouvertes par les éléments 19, ce qui provoque ainsi une augmentation de pression à cet étage (P2) par rapport à la pression régnant à l'étage précédent (P1).

**[0060]** Ces parties non couvertes des supports d'un étage déterminé correspondent de préférence à la projection de la superficie du passage 10 entre deux supports consécutifs de l'étage précédent sur les côtés obliques 16 des supports de cet étage déterminé. Ceci a

été indiqué sur la figure 7 par les lignes de projection 22.

**[0061]** L'avantage essentiel de cette configuration est de permettre de communiquer l'énergie cinétique nécessaire au pompage des molécules en plusieurs étapes, ce qui a pour conséquence pratique de permettre de travailler avec des valeurs du produit de la pulsation et de l'amplitude de la vibration inférieures à 500 m/s.

**[0062]** Ainsi, il est possible d'augmenter le taux de compression d'un étage à l'étage suivant comparé à l'utilisation de supports à section purement triangulaire.

**[0063]** D'autres variantes de configuration pour les supports 5 et éléments vibrants 4 peuvent être envisagés.

**[0064]** Ainsi, la base du triangle pourrait présenter une forme courbe, aussi bien concave que convexe. Par ailleurs, l'élément vibrant 4 pourrait éventuellement subir, lors de sa vibration, une déformation amplifiée et passer alternativement d'une forme concave ou plane à une forme convexe ou concave, de manière à obtenir ainsi un accroissement de l'amplitude de la vibration. Dans une telle variante, l'élément vibrant pourrait être formé par une lame flexible tenue par ses deux extrémités dans le support 5 pour pouvoir subir, sous l'effet du circuit oscillant 9, une déformation d'une position sensiblement plane, à l'état de repos, en une position courbée, dans l'état excité, comme montré à la figure 8.

**[0065]** Dans une autre configuration encore, l'élément vibrant 4 pourrait être constitué d'une lame piézo-électrique fixée en un point 23 au support 5 et subir, sous l'effet du circuit oscillant 9, un déplacement entre une position de repos et une position déformée, quelque peu de la même façon qu'un bilame. Une telle variante a été illustrée à la figure 9.

**[0066]** Dans ces figures 8 et 9, la position dans l'état excité a été représentée en traits interrompus.

**[0067]** Ci-après est donné un exemple concret permettant d'illustrer davantage l'objet de la présente invention.

**[0068]** Cet exemple concerne une pompe moléculaire du type tel que montré à la figure 6 et comprend 30 étages horizontaux superposés dans lesquels les supports 5 des éléments vibrants 4 sont montés en quinconce. Chacun des ces supports 5 présente les dimensions transversales suivantes : 700 mm x 15 mm et sont répartis dans une boîte de section horizontale rectangulaire de 700 mm x 600 mm.

**[0069]** Chaque étage est constitué de 20 supports rectangulaires 5 d'allure triangulaire disposés de manière similaire à celle de la figure 6.

**[0070]** Ces supports 5 sont refroidis par contact thermique avec les parois latérales de la boîte 1 de la pompe, elle-même refroidie par un circuit d'eau 8.

**[0071]** Sur la face inférieure 17 des supports est fixé un film de PVDF 6 faisant partiellement face aux films de PVDF 20 fixés sur une partie des côtés 16 des supports 5 de l'étage suivant. Les films piézo-électriques qui sont excités à une fréquence proche de leur fréquence de résonance de l'ordre de 10 MHz permettent d'at-

teindre un taux de compression de 2 d'un étage à l'autre de la pompe pour un gaz formé d'azote. Ceci permet d'obtenir un taux de compression maximum de  $10^9$  pour les 30 étages précités de la pompe. La vitesse nominale de pompage est de 24.000 l/s pour de l'azote à 25°C et le débit massique maximal atteint est de 24 mbar.litre. sec<sup>-1</sup> ou 86,4 mbar.m<sup>3</sup>/h.

**[0072]** Pour une pression d'azote mesurée à l'ouverture d'entrée 2 et valant 0,5 Pa ( $5 \cdot 10^{-3}$  mbar), on observe une pression de l'ordre de 3 Pa (0,03 mbar) à l'ouverture de sortie 3 où est connectée une pompe de décharge formée d'une pompe "Roots" de 3000 m<sup>3</sup>/h. Ainsi, le taux de compression pratique de cette pompe moléculaire est de 6 pour une vitesse de pompage de 4800 l/s dans ces conditions de fonctionnement.

**[0073]** Il est bien entendu que l'invention n'est pas limitée aux formes de réalisation décrites ci-dessus et représentées aux figures annexées, mais que bien des variantes peuvent être envisagées, notamment en ce qui concerne la configuration des supports et des éléments vibrants utilisés dans la boîte étanche de cette pompe.

**[0074]** Ainsi, le support d'un étage pourrait être formé par une plaque ajourée sur la face de celle-ci, orientée vers l'ouverture de sortie 3, sont fixés les éléments vibrants.

**[0075]** Par ailleurs, les éléments peuvent être constitués par des moyens de nature très variée.

**[0076]** En fait, il suffit, suivant l'invention, de créer dans la boîte étanche de la pompe, une succession de dipôles orientés de l'ouverture de l'entrée vers l'ouverture de sortie. Dans les formes de réalisation décrites ci-dessus, le dipôle était formé par une partie fixe et une partie vibrante. On pourrait ainsi également envisager un dipôle formé par une partie froide et une partie chaude séparées l'une de l'autre par un isolant.

**[0077]** Enfin, la boîte 1 peut être placée dans différentes positions, par exemple avec l'ouverture d'entrée 2 orientée vers le bas ou vers le côté.

**[0078]** Cette boîte 1 pourrait aussi présenter d'autres géométries qu'une forme prismatique. Ainsi, elle pourrait par exemple présenter une forme cylindrique à section circulaire.

## Revendications

1. Pompe moléculaire permettant d'évacuer un gaz d'une enceinte et de créer ainsi dans cette dernière un vide poussé, comprenant une boîte sensiblement étanche (1) présentant à un de ses côtés une ouverture d'entrée (2), destinée à être raccordée à l'enceinte susdite et, à son côté opposé au côté susdit, une ouverture de sortie (3), des éléments (4) étant agencés entre ces deux ouvertures (2) et (3) à une certaine distance l'un de l'autre sur des supports (5) fixes dans la boîte susdite (1) pour le passage du gaz, **caractérisée en ce que** lesdits élé-

- ments (4) sont montés sur les supports fixes (5) du côté de ces derniers orienté vers l'ouverture de sortie (3), de manière à déterminer avec ces supports une succession de dipôles, dont les parties actives, formées par ces éléments, sont également orientées vers l'ouverture de sortie, et à permettre d'impliquer aux molécules de gaz, provenant de l'enceinte susdite et venant en contact avec ces éléments une accélération vers l'ouverture de sortie.
2. Pompe suivant la revendication 1, **caractérisée en ce que** les éléments précités (4) coopèrent avec des moyens (9) permettant de les soumettre à une vibration présentant une composante orientée vers l'ouverture de sortie.
  3. Pompe suivant l'une ou l'autre des revendications 1 et 2, **caractérisée en ce que** le support (5) est réalisé en une matière calorifère et conductrice de la chaleur et est connecté à un circuit de refroidissement, ce support (5) formant ainsi une partie froide d'un dipôle, l'élément (4) étant séparé de cette partie froide par un isolant en formant une partie chaude du dipôle.
  4. Pompe suivant l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** les éléments précités (4) sont disposés en quinconce.
  5. Pompe suivant la revendication 4, **caractérisée en ce que** des moyens sont prévus pour maintenir le support précité (5) à une température sensiblement réduite, par exemple à la température ambiante.
  6. Pompe suivant la revendication 5, **caractérisée en ce que** le support (5) et la boîte (1) sont réalisés en une matière calorifère et sont reliés d'une manière conductrice entre eux, les moyens précités pour maintenir le support à une température relativement réduite comprenant un circuit de refroidissement (8) entourant la boîte susdite (1).
  7. Pompe suivant l'une quelconque des revendications 4 à 6, **caractérisée en ce que** l'élément précité (4) comprend une matière piézo-électrique (6) fixée sur le support précité (5) et recouverte, sur sa face opposée à celle orientée vers le support, par un revêtement conducteur d'électricité (7), des moyens (9) étant prévus pour appliquer sur cet élément (4) une tension électrique alternative, de manière à faire subir à cette matière piézo-électrique (6) une déformation suivant une direction transversale au support (5) et, par conséquent, au revêtement susdit (7) une vibration correspondante.
  8. Pompe suivant la revendication 7, **caractérisée en ce que** la face de la matière piézo-électrique (6) en contact avec le support (5) et le revêtement (7) sont mis à la masse.
  9. Pompe suivant l'une ou l'autre des revendications 7 ou 8, **caractérisée en ce que** la matière piézo-électrique (6) fait partie d'une lame flexible montée sur le support et pouvant subir une déformation élastique sous l'effet de la tension électrique alternative susdite.
  10. Pompe suivant l'une quelconque des revendications 4 à 9, **caractérisée en ce que** les supports (5) sont disposés en quinconce et présentent une section transversale ayant l'allure d'un triangle isocèle dont le sommet est orienté vers le côté de la boîte (1) dans lequel est prévue l'ouverture d'entrée (2), l'inclinaison des côtés latéraux obliques (16) de ces supports (5) étant telle à permettre une réflexion des molécules frappant ces côtés vers la base (17) des supports (5) de l'étage précédent.
  11. Pompe suivant la revendication 10, **caractérisée en ce que** les côtés obliques (16) des supports (5) sont au moins partiellement concaves.
  12. Pompe suivant l'une quelconque des revendications 4 à 11, **caractérisée en ce que** les côtés (16) des supports (5) d'un étage déterminé orientés vers les supports (5) d'un étage précédent sont partiellement couverts par des éléments (19) pouvant être soumis à une vibration présentant une composante orientée vers les éléments (4) prévus sur le côté (17) des supports de l'étage précédent orienté vers l'ouverture de sortie (3), de manière à permettre un gain d'énergie cinétique des molécules par une série de collisions multiples avec les surfaces vibrantes (7) des éléments (4) et (19) se faisant face avant de passer à l'étage suivant.
  13. Pompe suivant l'une quelconque des revendications 7 à 12, **caractérisée en ce que** la matière piézo-électrique (6) est constituée de quartz, sel de Rochette ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{NH}_2\text{O}$ , sulfate de lithium ( $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$ ), métaniobate de plomb ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ), titanate de plomb (PT), titanate zirconate de plomb (PZT), fluorure de polyvinylidène (PVDF), copolymère de fluorure de polyvinylidène et de trifluoroéthylène (P(VDF-TrFE)), copolymère de fluorure de polyvinylidène et de tétrafluoroéthylène (P(VDF-TeFE)) ou copolymère de cyanure de vinylidène et d'acétate de vinyle (P(VDCN-VAC)).

#### Patentansprüche

1. Molekularpumpe, welche dazu dient, ein Gas aus einem Behältnis abzusaugen und dadurch in diesem letzteren ein hohes Vakuum zu erzeugen, und welche umfasst: ein ausgesprochen dichtes Ge-

- häuse (1), das auf einer Seite eine Eintrittsöffnung (2), die für den Anschluss an das oben erwähnte Behältnis bestimmt ist, und auf der der oben erwähnten Seite gegenüber liegenden Seite eine Austrittsöffnung (3) aufweist, für die Durchleitung des Gases bestimmte Bauteile (4), welche zwischen diesen zwei Öffnungen (2) und (3) in einem gewissen Abstand voneinander auf in dem oben genannten Gehäuse (1) befestigten Halterungen (5) angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet, dass** die besagten Bauteile (4) auf den festen Halterungen (5) von der Seite dieser letzteren zur Austrittsöffnung (3) hin gerichtet dergestalt montiert sind, dass mit diesen Halterungen eine Folge von Dipolen festgelegt wird, deren aktive Teile, die von diesen Bauteilen gebildet werden, ebenfalls zur Austrittsöffnung gerichtet sind, und dass dadurch ermöglicht wird, den Gasmolekülen, die von dem oben genannten Behältnis kommen und mit diesen Bauteilen in Kontakt geraten, eine Beschleunigung in Richtung auf die Austrittsöffnung zu erteilen.
2. Pumpe nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorgenannten Bauteile (4) mit Mitteln (9) zusammen wirken, welche es ermöglichen, dass diese in eine Schwingung versetzt werden, die eine auf die Austrittsöffnung zeigende Komponente aufweist.
  3. Pumpe nach einem der Ansprüche 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halterung (5) aus einem wärmespendenden und wärmeleitenden Material gefertigt und an einen Kühlkreislauf angeschlossen ist, wodurch diese Halterung (5) den kalten Teil eines Dipols bildet, und dass das Bauteil (4) von diesem kalten Teil durch einen Dämmstoff getrennt ist und den warmen Teil des Dipols bildet.
  4. Pumpe nach einem beliebigen der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die vorgenannten Bauteile (4) in der Form der Fünf auf dem Würfel angeordnet sind.
  5. Pumpe nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel vorhanden sind, um die vorgenannte Halterung (5) auf einer merklich niedrigen Temperatur, beispielsweise auf Umgebungstemperatur, zu halten.
  6. Pumpe nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halterung (5) und das Gehäuse (1) aus einem wärmespendenden Material gefertigt und miteinander leitend verbunden sind, wobei die vorgenannten Mittel, die zur Aufrechterhaltung der relativ niedrigen Temperatur der Halterung dienen, einen Kühlkreislauf (8) umfassen, der das oben genannte Gehäuse (1) umgibt.
  7. Pumpe nach einem beliebigen der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das vorgenannte Bauteil (4) ein piezoelektrisches Material (6) enthält, welches an der vorgenannten Halterung (5) befestigt und auf der Seite, die der zur Halterung hin gerichteten Seite gegenüber liegt, mit einem elektrisch leitenden Überzug (7) bedeckt ist, wobei Mittel (9) vorhanden sind, um an dieses Bauteil (4) eine elektrische Wechselspannung in der Weise anzulegen, so dass dieses piezoelektrische Material (6) eine Verformung in einer zur Halterung (5) quer verlaufenden Richtung erfährt und folglich der oben genannte Überzug (7) in eine entsprechende Schwingung versetzt wird.
  8. Pumpe nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mit der Halterung in Kontakt befindliche Fläche des piezoelektrischen Materials (6) und der Überzug (7) auf Masse liegen.
  9. Pumpe nach einem der Ansprüche 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das piezoelektrische Material (6) Bestandteil eines biegsamen Blattes ist, welches auf die Halterung montiert ist und eine elastische Verformung unter der Wirkung der oben genannten elektrischen Wechselspannung erleiden kann.
  10. Pumpe nach einem beliebigen der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halterungen (5) in der Form wie die Fünf auf dem Würfel angeordnet sind und in Querrichtung einen Querschnitt aufweisen, der die Form eines gleichschenkeligen Dreiecks hat, dessen Gipfel in Richtung auf diejenige Seite des Gehäuses (1) gerichtet ist, in welcher sich die Eintrittsöffnung (2) befindet, wobei die schrägen Seitenkanten (16) dieser Halterungen (5) dergestalt geneigt sind, dass sie eine Reflexion der auf diese Seiten prallenden Moleküle zur Basis (17) der Halterungen (5) der vorhergehenden Stufe ermöglichen.
  11. Pumpe nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die schrägen Kanten (16) der Halterungen (5) wenigstens teilweise konkav sind.
  12. Pumpe nach einem beliebigen der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Seiten (16) der Halterungen (5) einer bestimmten Stufe, die zu den Halterungen (5) einer vorausgehenden Stufe hin gerichtet sind, teilweise mit Bauteilen (19) bedeckt sind, welche in eine solche Schwingung versetzt werden können, die eine Komponente aufweist, welche auf die Bauteile (4), die auf der Seite (17) der Halterungen der auf die Austrittsöffnung (3) zeigenden vorausgehenden Stufe vorhanden sind, gerichtet ist, und zwar dergestalt, dass ermöglicht wird, dass die Moleküle durch eine Reihe von Mehr-

fachstößen mit den schwingenden Flächen (7) der Bauteile (4) und (19), auf die sie vor ihrem Weitertransport zur folgenden Stufe stoßen, einen Gewinn an kinetischer Energie erfahren.

13. Pumpe nach einem beliebigen der Ansprüche 7 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** das piezoelektrische Material (6) aus Quarz, Rochettesalz ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{NH}_2\text{O}$ ), Lithiumsulfat ( $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$ ), Bleimetaniobat ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ), Bleititanat (PT), Bleitanzirkonat (PZT), Polyvinylidenfluorid (PVDF), Kopolymer von Polyvinylidenfluorid und Tetrafluorethylen (P(VDF-TeFE)) oder Kopolymer von Vinylidenzyanid und Vinylazetat (P(VDCN-VAC)) besteht.

### Claims

1. Molecular pump, which makes it possible to evacuate a gas from a chamber and to thus create a high vacuum in this chamber, that comprises a substantially sealed box (1) having on one of its sides an intake orifice (2) to be connected to said chamber and, on the opposite side, an outlet orifice (3), whereby elements (4) are mounted between those two orifices (2) and (3) at some distance from one another on supports (5) that are fixed inside said box (1) for the gas to pass through, **characterised in that** said elements (4) are mounted on fixed supports (5), on the side of the latter directed towards the outlet orifice (3), in a manner as to determine with these supports (5) a succession of dipoles, of which the active parts, formed by these elements, are also directed towards the outlet orifice, and to allow to impart to said gas molecules, coming from said chamber and entering in contact with these elements, an acceleration towards the outlet orifice.
2. Pump according to claim 1, **characterised in that** the said elements (4) co-operate with means (9) which make it possible to subject them to a vibration having a component directed towards the outlet orifice.
3. Pump according to any of claims 1 or 2, **characterised in that** the support (5) is made of a calorific and heat conducting material and is connected to a cooling circuit, in such a way that this support (5) is forming a cold part of a dipole and the element (4), being separated from this cold part by an insulating material, forming a hot part of the dipole.
4. Pump according to any of claims 1 to 3, wherein the above-mentioned elements (4) are provided in a staggered manner.
5. Pump according to claim 4, **characterised in that**

means are provided to maintain the above-mentioned support (5) at a relatively low temperature, for example the ambient temperature.

- 5 6. Pump according to claim 5, **characterised in that** the support (5) and the box (1) are made of a calorific material and are mutually connected in a conductive manner, whereby the above-mentioned means for maintaining the support at a relatively low temperature comprise a cooling circuit (8) surrounding said box (1).
- 10 7. Pump according to any of claims 4 to 6, **characterised in that** the above-mentioned element (4) comprises a piezo-electric material (6) fixed to the above-mentioned support (5) and coated, on the side opposite to the one which is directed towards the support, with an electrically conductive coating (7), whereby means (9) are provided to apply an alternating current to said element (4), such that said piezo-electric material (6) is subjected to a deformation in a direction transversal to the support (5) and, consequently, said coating (7) is exposed to a corresponding vibration.
- 15 8. Pump according to claim 7, **characterised in that** the surface of the piezo-electric material (6) which makes contact with the support (5) and the coating (7) are put to earth.
- 20 9. Pump according to any of claims 7 or 8, **characterised in that** the piezo-electric material (6) is part of a flexible blade mounted on the support and which can undergo an elastic deformation as a result of the effect of the above-mentioned alternating current.
- 25 10. Pump according to any of claims 4 to 9, **characterised in that** the supports (5) are provided in a staggered manner and represent a cross section which strongly resembles an isosceles triangle whose top is directed towards the side of the box (1) in which is provided the intake orifice (2), whereby the inclination of the oblique sides (16) of these supports (5) allows for a reflection of the molecules which hit these sides towards the basis (17) of the supports (5) of the preceding level.
- 30 11. Pump according to claim 10, **characterised in that** the oblique sides (16) of the supports (5) are at least partially concave.
- 35 12. Pump according to any of claims 4 to 11, **characterised in that** the sides (16) of the supports (5) of a specific level directed towards the supports (5) of a preceding level are partially covered with elements (19) which can be subjected to a vibration having a component which is directed towards the
- 40
- 45
- 50
- 55

elements (4) provided on the side (17) of the supports of the preceding level directed towards the outlet orifice (3), such that the kinetic energy of the molecules is increased following a series of collisions with the vibrating surfaces (7) of the elements (4) and (19) which face one another before they pass on to the next level. 5

13. Pump according to any of claims 7 to 12, **characterised in that** the piezo-electric material (6) is formed of quartz, Rochelle salt ( $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), lithium sulphate ( $\text{Li}_2\text{SO}_4\text{H}_2\text{O}$ ), lead methaniobate ( $\text{PbNb}_2\text{O}_6$ ), lead titanate (PT), lead zirconate titanate (PZT), polyvinylidene fluoride (PVDF), polyvinylidene fluoride and trifluoroethylene copolymer (P(VDF-TrFE)), polyvinylidene fluoride and tetrafluoro-ethylene copolymer (P(VDF-TeFE)) or vinylidene cyanide and vinyl acetate copolymer (P(VDCN-VAC)). 10 15 20

25

30

35

40

45

50

55



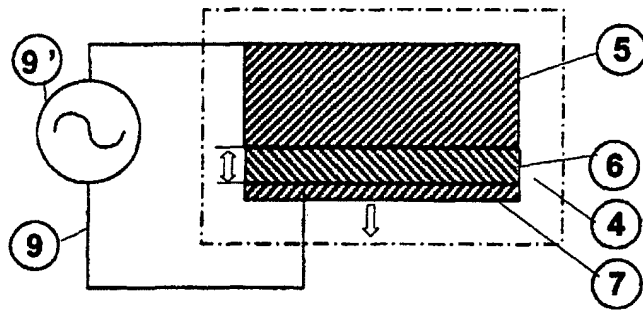
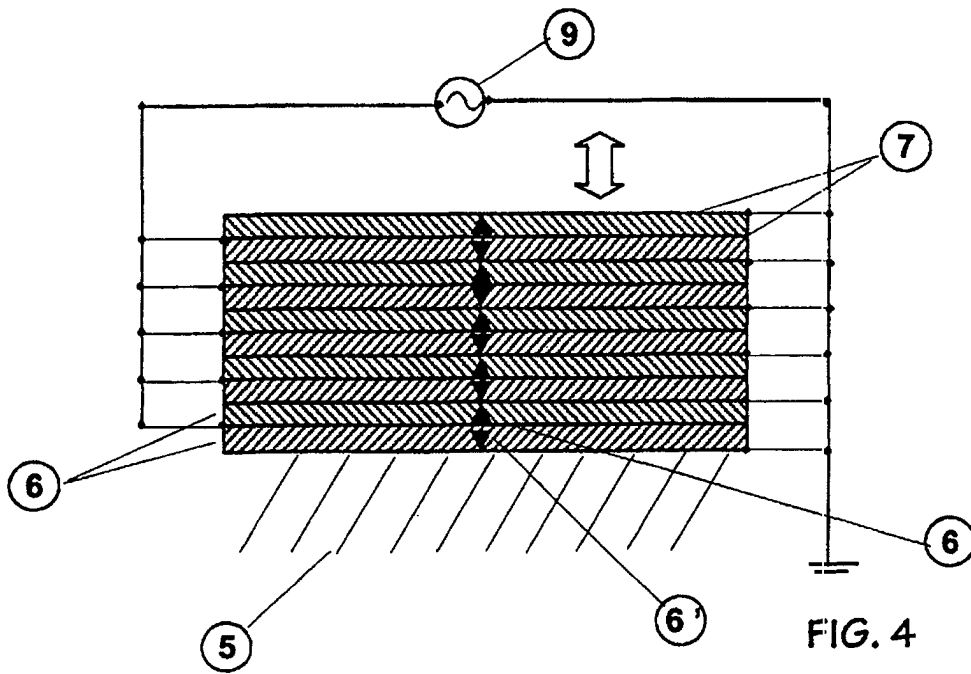


FIG. 3



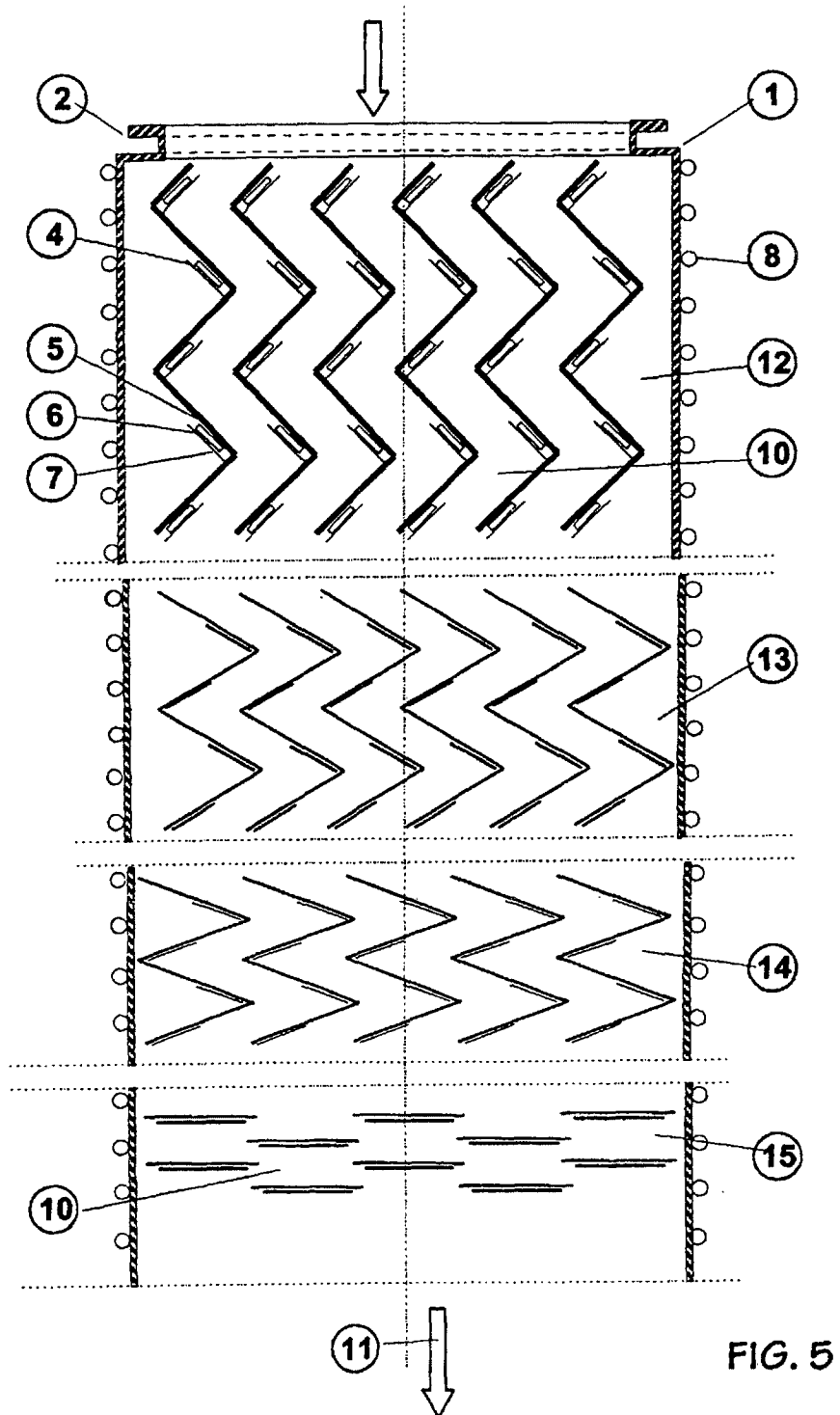


FIG. 5

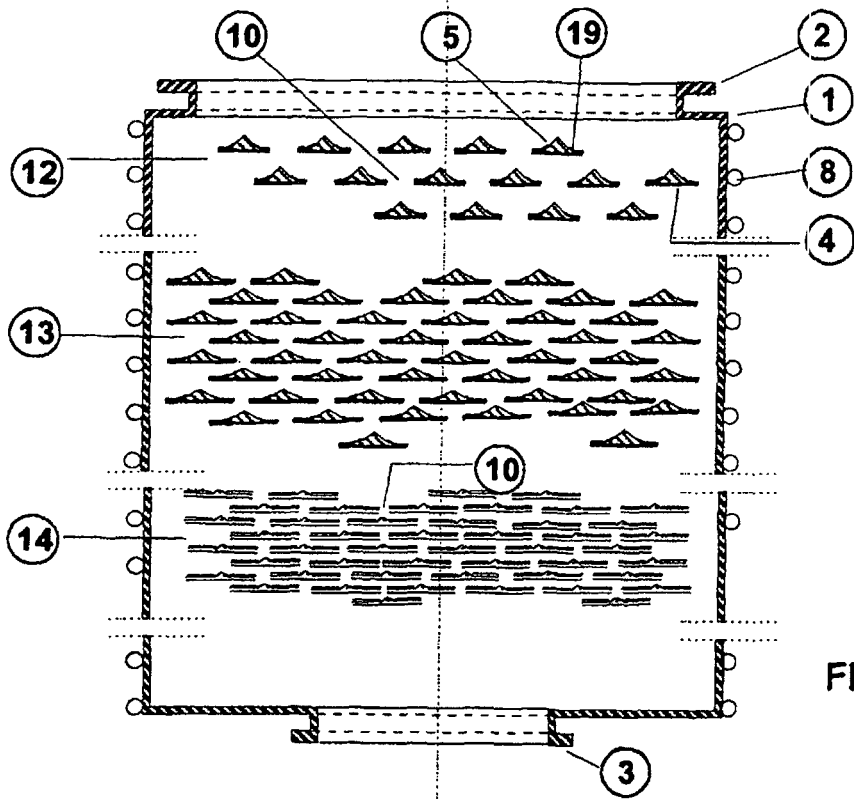


FIG. 6

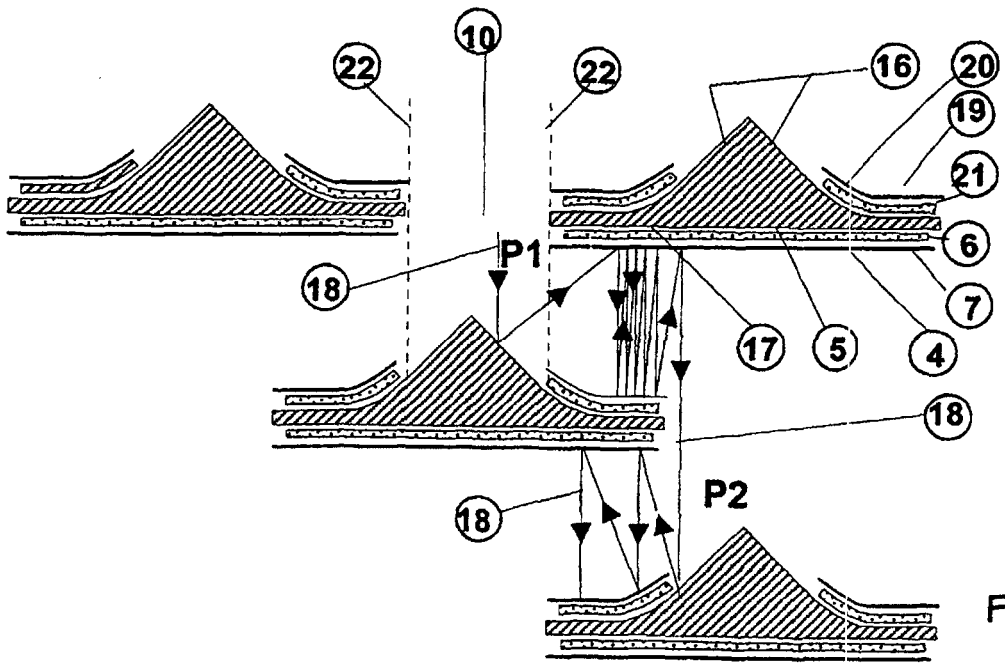


FIG. 7

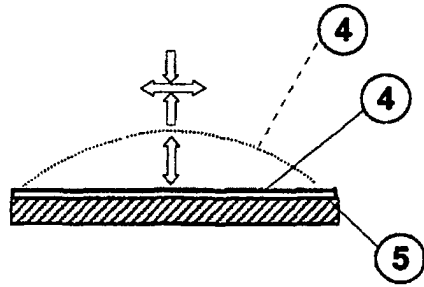


FIG. 8

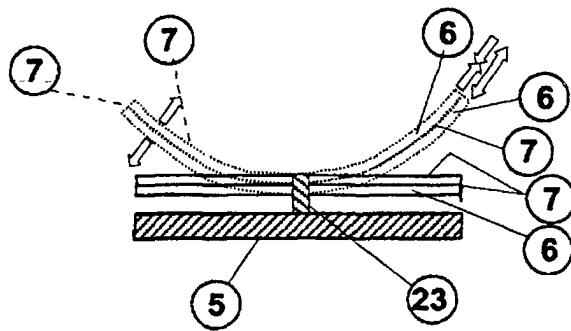


FIG. 9