

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
24 octobre 2002 (24.10.2002)

PCT

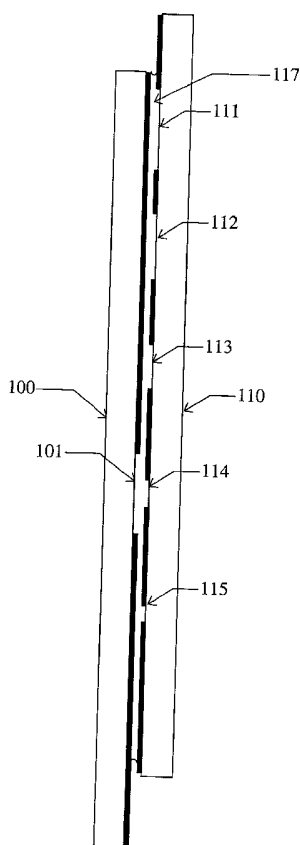
(10) Numéro de publication internationale
WO 02/084367 A2

- (51) Classification internationale des brevets⁷ : G02B 21/00
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/FR02/01222
- (22) Date de dépôt international : 9 avril 2002 (09.04.2002)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
01/04841 10 avril 2001 (10.04.2001) FR
PCT/FR01/02890
18 septembre 2001 (18.09.2001) FR
02/00780 21 janvier 2002 (21.01.2002) FR
- (71) Déposant et
(72) Inventeur : LAUER, Vincent [FR/FR]; 1, villa de Beauté,
F-94130 Nogent (FR).
- (81) États désignés (*national*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI,
SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN,
YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (*régional*) : brevet ARIPO (GH, GM, KE,
LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet
eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: MODIFIABLE ASSEMBLY OF MICROSCOPIC APERTURES

(54) Titre : ENSEMBLE MODIFIABLE DE TROUS MICROSCOPIQUES



(57) Abstract: The invention concerns a modifiable assembly of microscopic apertures comprising several plates (100, 110) coated with an opaque deposition except on transparent parts, for example (101, 114, 115), capable of sliding relative to one another, separated by an oil layer (117). The invention is applicable to microscopic apertures for single-point or multiple-point confocal microscopy.

(57) Abrégé : L'invention concerne un ensemble modifiable de trous microscopiques comportant plusieurs plaques (100, 110) recouvertes d'un dépôt opaque sauf sur des parties transparentes, par exemple (101, 114, 115), pouvant glisser l'une par rapport à l'autre, et séparées par une couche d'huile (117). Applications: trous microscopiques pour la microscopie confocale monopoint ou multipoint.



WO 02/084367 A2



européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport*

Ensemble modifiable de trous microscopiques

Domaine technique

5 L'invention concerne un trou microscopique ou un ensemble de trous microscopiques (en anglais "pinhole"), le nombre de ces trous et/ou leur taille pouvant être aisément modifié. Un tel ensemble de trous microscopiques est destiné à être utilisé pour diverses applications en optique, et en particulier en microscopie confocale.

10 Technique antérieure.

En microscopie confocale on utilise usuellement deux types de trous microscopiques:

- des trous de taille fixe: pour modifier la taille d'un trou, il est nécessaire de le remplacer par un autre.

Typiquement plusieurs trous microscopiques peuvent être montés sur une roue ayant une position correspondant à l'utilisation de chacun de ces trous. Le mouvement de la roue doit être très précis.

15 - des trous de taille variable: fonctionnant sur le principe du diaphragme à iris, ils nécessitent au moins trois lames qui forment un trou en se croisant et sont coûteux du fait de la relative complexité du mécanisme.

Classiquement, les systèmes de microscopie confocale nécessitent l'utilisation d'un seul trou microscopique. Par exemple le premier mode de réalisation de la demande de brevet français numéro 0103860 du 22 mars 2001, ainsi que le microscope décrit sur la figure 3 du brevet US 5,978,095 ou le
20 microscope décrit dans la demande de brevet US 5,162,941.

D'autres systèmes de microscopie confocale nécessitent l'utilisation d'un réseau de trous microscopiques. Par exemple les microscopes décrits par la figure 1 du brevet numéro US 5,239,178 ou la figure 3 du brevet US 5,978,095, ou les systèmes à disque de Nipkow.

Dans certains modes de réalisation d'un microscope tel que celui décrit dans la demande de brevet
25 français numéro 0103860 du 22 mars 2001, un réseau de trous microscopiques doit être positionné avec une grande précision, ce qui est difficile en utilisant une technique simple consistant à échanger l'ensemble du réseau. Lorsque des trous microscopiques « uniques » sont simplement échangés comme sur certains microscopes confocaux monopoint, leur positionnement précis est également difficile. De plus les systèmes d'échange de réseaux de trous microscopiques sont nécessairement encombrants, puisque leur encombrement
30 est la somme des encombrements de chaque réseau pouvant être échangé.

Dans le cas des microscopes utilisant un réseau de trous microscopiques la taille et la densité des trous ne peuvent usuellement pas être modifiés. Pourtant cette modification est souhaitable pour adapter la taille des trous à la longueur d'onde étudiée. Le brevet numéro US 6,002,509 apporte une solution à ce problème dans le cas d'un microscope à disque de Nipkow. Toutefois cette solution nécessite le
35 remplacement du réseau de trous par un réseau de points réfléchissants. Quand la technique utilisée consiste à utiliser des points réfléchissants réalisés par un traitement multicouches, chaque longueur d'onde correspond à une taille et une densité donnés des points réfléchissants. Il n'est alors pas possible de modifier la taille ou la densité des trous du trou à longueur d'onde donnée, et le nombre de tailles de trous différentes est limité par les performances du traitement multicouches. Quand la technique utilisée consiste à introduire plusieurs

couronnes concentriques sur le disque de Nipkow, un déplacement du disque, peu pratique, est nécessaire, et l'encombrement du disque devient rapidement excessif. La technique est difficilement adaptable à des systèmes utilisant un réseau fixe de trous microscopiques.

5 Description de l'invention

L'invention a pour objet un ensemble de un ou plusieurs trous microscopiques de taille et/ou de nombre variable, dont les modifications sont obtenues par une méthode simplifiée, précise et peu coûteuse. En particulier, un objet de l'invention est de réaliser un trou microscopique modifiable sans problèmes de positionnement et d'un encombrement réduit. Par "trous" on entend trous au sens optique du terme, c'est-à-dire petites zones traversables par la lumière, non nécessairement vides. Un "trou" peut être par exemple une interruption de couche opaque déposée sur du verre.

A cet effet, l'invention a pour objet un ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique destiné au filtrage d'un faisceau lumineux, caractérisé par le fait qu'il comprend plusieurs plaques portant chacune au moins un trou microscopique, l'une de ces plaques portant au moins deux trous microscopiques, lesdites plusieurs plaques étant placées les unes contre les autres et pouvant glisser les unes par rapport aux autres,

pour former l'ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique par superposition des trous microscopiques desdites plusieurs plaques,

et pour modifier, par glissement desdites plaques les unes par rapport aux autres, le nombre et/ou la taille des trous microscopiques dudit ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique.

Un diaphragme iris comporte également des plaques glissant les unes par rapport aux autres. L'invention s'en distingue par le fait que ces plaques portent des trous microscopiques, et par le fait qu'une des plaques porte au moins deux trous microscopiques. Cette disposition particulière permet de simplifier la réalisation du système (dans le cas d'un trou microscopique unique, on peut utiliser seulement deux plaques) et rend possible la réalisation de réseaux de trous microscopiques modifiables, alors que les diaphragmes à iris ne sont conçus que pour un trou microscopique modifiable unique.

Un ensemble modifiable de trous microscopiques peut également être obtenu par un système échangeant physiquement deux ensembles de trous microscopiques réalisés sur des plaques différentes. Cette solution est utilisée dans certains microscopes confocaux monopoint. La présente invention se distingue de cette solution technique simple par l'utilisation de plusieurs plaques superposées, ce qui permet de modifier le réseau de trous microscopiques au moyen de déplacements également microscopiques, et non macroscopiques comme c'est le cas dans l'état de l'art. Ceci simplifie les problèmes de positionnement.

Différentes techniques de réalisation des plaques peuvent être employées. Par exemple, et suivant une caractéristique de l'invention, deux desdites plaques peuvent être des vitres transparentes sur lesquelles lesdits trous microscopiques sont réalisées par dépôt d'une couche opaque par une méthode lithographique. Les couches opaques de ces deux plaques peuvent alors être tournées l'une vers l'autre, pour que l'espace les séparant soit aussi réduit que possible. L'avantage de cette technique est que les vitres ont une bonne rigidité (se déforment peu).

Suivant une caractéristique de l'invention, au moins une des plaques est une feuille opaque fine dans laquelle lesdits trous microscopiques sont obtenus par perçage. Cette solution s'impose lorsque plus de deux plaques sont utilisées. En effet, si on utilise uniquement des plaques en verre, leur épaisseur ne permet pas la réalisation dans de bonnes conditions d'un réseau de trous.

5 Suivant une caractéristique de l'invention, les plaques constituées de feuilles opaques fines sont placées les unes contre les autres et serrées entre deux plaques épaisses, pour éviter une déformation desdites plaques constituées de feuilles opaques fines. En effet une difficulté de réalisation est la tendance à la déformation des feuilles fines, qui n'ont pas la rigidité nécessaire et doivent donc être placées entre des supports plus épais.

10 Suivant une caractéristique de l'invention, les plaques sont séparées les unes des autres par des couches d'un liquide lubrifiant transparent. En effet, dans le cas contraire, les frottements entre les plaques rendent difficile un fonctionnement correct. Une autre solution est d'utiliser des plaques qui ne se touchent pas les unes les autres, mais cette solution est difficile car elle nécessite une excellente planéité des plaques. Le glissement d'une plaque l'une par rapport à une autre peut en général se faire suivant deux axes. Toutefois,
15 le système est simplifié, selon une caractéristique de l'invention, si ce glissement se fait suivant seulement un axe. Dans ce cas, il est possible d'utiliser un rail de guidage pour faciliter le maintien d'un positionnement relatif correct des plaques. Toutefois un tel rail est coûteux et pose des problèmes de positionnement. Pour faciliter le positionnement relatif des plaques, et selon une caractéristique de l'invention, deux plaques
20 adjacentes glissant l'une par rapport à l'autre suivant un axe sont positionnées l'une par rapport à l'autre par des rails de guidage microscopiques. Un rail microscopique étant fragile, il est préférable, suivant une caractéristique de l'invention, d'utiliser plusieurs rails de guidage microscopiques. Ces rails peuvent par exemple être réalisés par litographie.

Différentes solutions peuvent être utilisées pour l'agencement des plaques et la répartition des trous sur les plaques.

25 Suivant une caractéristique de l'invention, l'ensemble modifiable de trous microscopiques vérifie les faits suivants :

- il comprend un premier ensemble intermédiaire de trous microscopiques formé par une ou plusieurs desdites plaques, et un second ensemble intermédiaire de trous microscopiques formé par une ou plusieurs desdites plaques,

30 - il comprend un moyen pour faire glisser le second ensemble intermédiaire par rapport au premier ensemble intermédiaire de manière à passer d'une première configuration à une seconde configuration,

- au moins un trou du second ensemble intermédiaire qui est superposé à un trou du premier ensemble intermédiaire dans la première configuration, n'est pas superposé à un trou du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration,

35 pour que le nombre et/ou la taille des trous soit déterminée par le nombre et/ou la taille des trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés aux trous du premier ensemble intermédiaire.

Dans ce cas de figure, le changement de configuration s'accompagne d'un changement du (ou des) trou microscopique du second ensemble intermédiaire qui est utilisé. Le changement de configuration consiste donc à faire glisser les plaques l'une par rapport à l'autre de manière à amener en regard d'un trou

microscopique du premier ensemble intermédiaire un nouveau trou microscopique du second ensemble intermédiaire. Typiquement, un nombre discret de configurations est utilisé, et le déplacement relatif des plaques se fait pas par pas.

5 Selon une caractéristique de l'invention, le nombre de trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la première configuration diffère du nombre de trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration, pour que le nombre de trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la seconde configuration diffère du nombre de trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la première configuration.

10 Selon une autre caractéristique de l'invention, la taille des trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la première configuration diffère de la taille des trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration, pour que la taille des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la seconde configuration diffère de la taille des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la première configuration.

15 Ces deux caractéristiques de l'invention peuvent être combinées pour modifier simultanément la taille et le nombre de trous microscopiques. Par exemple, il est possible de n'utiliser que deux plaques constituant chacune un ensemble intermédiaire, et de faire varier la taille et/ou le nombre de trous uniquement en déplaçant une de ces plaques suivant un axe. Cette solution est efficace et simple. Toutefois elle est
20 insuffisante lorsque on cherche à générer un réseau de trous microscopiques pouvant avoir une densité élevée de trous microscopiques. En effet, dans ce cas, on ne dispose pas sur la plaque constituant le premier ensemble intermédiaire d'un espace suffisant pour cacher les différents trous microscopiques du second ensemble intermédiaire qui doivent successivement être superposés au même trou du premier ensemble intermédiaire. Selon une caractéristique de l'invention, une solution appropriée à ce problème consiste à
25 déplacer continuellement les plaques les unes par rapport aux autres, pour que ce déplacement continu se traduise par une modification continue de la surface de chaque trou microscopique de l'ensemble modifiable. On peut par exemple utiliser plusieurs plaques identiques et une position de référence pour laquelle les trous microscopiques desdites plusieurs plaques sont exactement superposés les uns aux autres. Pour que la diminution de taille des trous microscopiques se fasse régulièrement, il est préférable de générer un
30 déplacement en translation de la i -ième plaque suivant une direction orientée à $\frac{2\pi}{N}$ radians dans un repère de référence commun aux N plaques constituant l'ensemble de trous microscopiques. Dans le cas où N plaques sont utilisées, les trous microscopiques sont de préférence des polygones à $2N$ cotés, bien qu'ils puissent également avoir d'autres formes, par exemple circulaires. Les directions du déplacement en translation des plaques les unes par rapport aux autres sont alors dirigées de préférence suivant des
35 médiatrices des polygones.

Suivant une caractéristique de l'invention, le glissement des plaques les unes par rapport aux autres est obtenu à l'aide d'un mécanisme de diaphragme à iris. Cette solution est bien adaptée au cas précédent, ou elle permet de coordonner le déplacement continu de plusieurs plaques. Ce mécanisme de diaphragme à iris

peut, dans le cas ou une rotation de l'ensemble de trous microscopiques doit être évitée, être complété par un dispositif de rotation supplémentaire permettant de compenser la rotation engendrée par un mécanisme de diaphragme à iris à un seul élément mobile.

Suivant une caractéristique de l'invention, une des plaques est déplacée au moyen d'un positionneur
5 linéaire en axe. Cette solution est préférée lorsque une technique à base de déplacements discrets est utilisée. Il peut également être nécessaire de déplacer une des plaques au moyen d'un positionneur deux axes. Cette solution est celle qui permet le maximum de flexibilité.

Lorsque la densité de trous microscopiques recherchée est faible, et selon une caractéristique de
l'invention, l'ensemble modifiable de trous microscopiques peut aisément être réalisé au moyen de deux
10 plaques seulement. Dans ce cas il peut s'agir de plaques transparentes épaisses sur lesquels les réseaux de trous sont réalisés par une méthode litographique. Cette solution est la plus simple, en particulier du fait que les plaques ne se déforment pas. Toutefois, lorsque la densité de trous microscopiques est élevée, il devient nécessaire d'utiliser plus de deux plaques ainsi qu'on l'a vu plus haut.

L'ensemble modifiable de trous microscopiques selon l'invention peut ne comporter qu'un seul trou
15 microscopique de taille modifiable. Il est alors utile dans un microscope confocal monopoint. Il peut, selon une caractéristique de l'invention, comporter plusieurs trous microscopiques de taille, nombre et/ou emplacement modifiable, auquel cas il est utile avec un microscope confocal à éclairage multipoints.

Description rapide des figures.

20 La figure 1 représente une plaque fixe utilisée dans un premier mode de réalisation. La figure 2 représente une plaque mobile utilisée dans ce mode de réalisation. La figure 3 représente la superposition des deux plaques, dans ce mode de réalisation, formant un trou microscopique unique de taille réduite. La figure 4 représente en coupe la même superposition.

La figure 5 représente une plaque mobile utilisée dans un deuxième mode de réalisation. La figure 6
25 représente une plaque fixe utilisée dans ce mode de réalisation.

La figure 7 représente une plaque mobile utilisée dans un troisième mode de réalisation. La figure 8 représente une plaque fixe utilisée dans ce quatrième mode de réalisation. La figure 9 représente une plaque mobile utilisée dans une variante de ce troisièmemode de réalisation.

La figure 10 représente une plaque utilisée dans un quatrième mode de réalisation.

30 La figure 11 représente un dispositif utilisé pour éviter des fuites du liquide séparant les plaques, le dispositif étant rempli sous vide. La figure 12 représente un dispositif similaire mais comportant un trop-plein ayant une prise d'air.

La figure 13 représente une plaque utilisée dans un cinquième mode de réalisation. La figure 14 illustre le déplacement de 3 plaques dans ce mode de réalisation. La figure 15 montre une plaque
35 supplémentaire utilisée dans ce mode de réalisation. La figure 16 montre en vue de face le dispositif d'entraînement de 3 plaques identiques sur le principe de la figure 14. La figure 17 montre ce dispositif en coupe, complété par une quatrième plaque.

Les figures 18 à 21 se rapportent à un mode de guidage des plaques par rails microscopiques. La figure 18 représente une plaque mobile portant des rails. La figure 19 représente une plaque mobile portant

des rails correspondants à ceux de la figure 18. La figure 20 représente en coupe l'assemblage de deux plaques réalisées sur des plaques de verre épaisses. La figure 21 représente en coupe l'assemblage de deux plaques réalisées sur des feuilles métalliques.

5 **Premier mode de réalisation.**

Ce premier mode de réalisation permet d'obtenir par glissement pas par pas d'une plaque mobile 110 constituant un deuxième ensemble intermédiaire, par rapport à une plaque fixe 100 constituant un premier ensemble intermédiaire, un trou microscopique unique de taille modifiable et en forme de disque. La figure 1 représente la plaque 100 comportant un trou 101. La figure 2 représente la plaque 110 comportant des trous
10 111, 112, 113, 114, 115 alignés sur un axe 116. Le trou microscopique modifiable est constitué par les deux plaques A et B placées l'une contre l'autre. La figure 3 représente le trou microscopique modifiable obtenu lorsque le trou 114 est superposé au trou 101. La figure 4 représente la même superposition en coupe suivant un plan passant par l'axe 116. Dans la position des plaques qui est représentée sur les figures 3 et 4, seul le trou 114 peut être traversé par la lumière, et le diamètre du trou modifiable est celui du trou 114.

15 La plaque 110 doit être montée sur un positionneur permettant de la déplacer suivant la direction de l'axe 116 passant par l'ensemble des trous 111 à 115. En faisant glisser la plaque 110 par rapport à la plaque 100, à l'aide du positionneur, on peut superposer un quelconque des trous 111 à 115 au trou 101, et donc obtenir cinq diamètres distincts du trou microscopique modifiable. Lorsque par exemple le trou 113, au lieu du trou 114, est superposé au trou 101, le diamètre du trou modifiable est augmenté et devient égal au
20 diamètre du trou 113.

Les trous microscopiques de la plaque 110 ne sont pas nécessairement alignés sur une même droite, toutefois cette solution permet de ne déplacer la plaque 110 que suivant un axe, ce qui minimise les coûts. D'une manière générale, on peut obtenir autant de trous de caractéristiques différentes qu'il y a de trous pratiqués dans la plaque 110. Un rail de guidage peut être utilisé pour que le déplacement de la plaque B par rapport à la plaque A soit restreint à la direction de l'axe 116.

25 Les plaques 100 et 110 peuvent être des plaques en verres dont les parties opaques sont des couches métalliques obtenues par un procédé litographique. Ces couches métalliques sont figurées par des traits épais sur la figure 4. Les deux plaques sont séparées par une fine couche 117 de liquide optique, par exemple de l'huile, afin d'éviter tout frottement solide.

30 Lorsque le liquide optique se maintient uniquement par capillarité comme indiqué sur la figure 4, les qualités de la couche sont susceptibles de se dégrader avec le temps par évaporation partielle, et le liquide est également susceptible de se répandre dans des parties du système optique autres que la zone où sa présence est requise. Afin d'éviter ces problèmes le système peut être rendu étanche comme indiqué sur la figure 14 au moyen d'une fermeture souple 500, par exemple en plastique, qui ferme l'ensemble du système. Le liquide
35 peut alors être injecté sous vide entre les deux plaques et dans la zone comprise à l'intérieur de la fermeture souple 500. Ce dispositif permet de concilier le mouvement des plaques 110 et 100 avec l'absence de fuites de liquide. Une alternative au remplissage sous vide est le système de trop-plein représenté sur la figure 15. Un tube 501 mène dans un réservoir 502 doté d'une prise d'air et surélevé et assure le maintien d'un niveau de liquide optique dans la zone comprise entre les plaques.

Dans l'ensemble des modes de réalisation on utilisera de préférence des plaques en verre avec des couches opaques obtenues par litographie et tournées l'une vers l'autre, séparées par un liquide optique et équipées d'un système évitant les fuites de liquide. Ces aspects technologiques ne seront pas rappelés dans la suite des explications.

5

Second mode de réalisation.

Ce second mode de réalisation permet d'obtenir un réseau de trous microscopiques de taille modifiable par glissement pas par pas d'une plaque mobile 300 sur une plaque fixe 310. La figure 5 représente un exemple de plaque 300 et la figure 6 représente la plaque 310 correspondante. Le réseau de
10 trous microscopiques modifiables est constitué des plaques 310 et 300 placées l'une contre l'autre. Lorsque le trou 301 de la plaque 300 est superposé au trou 311 de la plaque 310, l'orientation des plaques n'étant pas modifiée par rapport au dessin, le réseau de trous microscopiques modifiables a l'allure de la plaque 310 seule, c'est-à-dire que les trous de la plaque 310 sont laissés libres par la plaque 300. Lorsque le trou 302 de la plaque 300 est superposé au trou 311 de la plaque 310, le diamètre des trous du réseau de trous
15 microscopiques modifiable est diminué. Lorsque les trous 303,304,305 sont successivement superposés au trou 311 de la plaque 310 le diamètre des trous du réseau de trous microscopiques modifiables est à chaque fois diminué. On a donc sur cet exemple un réseau de trous microscopiques modifiables dont les diamètres peuvent prendre 5 valeurs distinctes. D'une manière générale, on peut réaliser sur ce principe un réseau comportant un grand nombre de trous microscopiques pouvant chacun prendre diverses tailles ou formes.

20

Troisième mode de réalisation.

Ce troisième mode de réalisation permet d'obtenir des trous de taille et de nombre variables par glissement d'une plaque mobile 320 portant un second ensemble intermédiaire de trous, sur une plaque fixe 330 portant un premier ensemble intermédiaire de trous. La figure 7 représente un exemple de plaque 320
25 utilisée et la figure 8 représente la plaque 330 correspondante. Lorsque le trou 321 de la plaque 320 est superposé au trou 331 de la plaque 330, le réseau de trous microscopiques modifiables a l'allure de la plaque 330 seule, c'est-à-dire que les 12 trous de la plaque 330 sont laissés libres par la plaque 320. Lorsque par exemple le trou 322 de la plaque 320 est superposé au trou 331 de la plaque 330, le diamètre des trous du réseau de trous microscopiques modifiables est diminué mais leur nombre est constant. Lorsque le trou 323
30 de la plaque 320 est superposé au trou 331 de la plaque 330, le nombre de trous microscopiques de l'ensemble de trous microscopiques modifiables devient égal à 4 au lieu de 12, leur diamètre étant égal à celui des trous de la plaque 330, c'est-à-dire que 6 trous de la plaque 330 sont cachés par la partie opaque de la plaque 320, et 4 autres trous sont laissés libres. Lorsque le trou 324 de la plaque 320 est superposé au trou 331 de la plaque 330, l'ensemble modifiable de trous microscopiques comporte 4 trous de diamètre réduit.
35 Cet exemple constitue donc un ensemble modifiable de trous microscopiques, le nombre de trous microscopiques pouvant être égal à 4 ou 12, et le diamètre de chaque trou pouvant prendre 5 valeurs distinctes. D'une manière générale on peut réaliser sur ce principe un réseau modifiable comportant un grand nombre de trous, dont la taille et le nombre sont tous deux modifiables.

Un autre exemple de ce mode de réalisation utilise la même plaque 330 mais le second ensemble intermédiaire est constitué par la plaque 340 représentée sur la figure 9. Lorsque le trou 341 de la plaque 340 est superposé au trou 331 de la plaque 330, le réseau de trous microscopiques modifiables a l'allure de la plaque 330 seule, c'est-à-dire que les 12 trous de la plaque 330 sont laissés libres par la plaque 340. Lorsque par exemple le trou 342 de la plaque 340 est superposé au trou 331 de la plaque 330, le diamètre des trous du réseau de trous microscopiques modifiables est diminué mais leur nombre est constant. Lorsque le trou 343 de la plaque 340 est superposé au trou 332 de la plaque 330, le nombre de trous microscopiques de l'ensemble de trous microscopiques modifiables devient égal à 1 au lieu de 12, leur diamètre étant égal à celui des trous de la plaque 330, c'est-à-dire que 11 trous de la plaque 330 sont cachés par la partie opaque de la plaque 340, et 1 autre trou est laissé libre. Lorsque le trou 344 de la plaque 340 est superposé au trou 332 de la plaque 330, l'ensemble modifiable de trous microscopiques comporte 1 seul trou de diamètre réduit. Cet exemple constitue donc un ensemble modifiable de trous microscopiques, le nombre de trous microscopiques pouvant être égal à 1 ou 12, et le diamètre de chaque trou pouvant prendre 5 valeurs distinctes. Ce type de réseau de trous microscopique est particulièrement utile dans un microscope confocal que l'on souhaite pouvoir utiliser à la fois en mode multipoints et en mode monopoint.

Quatrième mode de réalisation.

Ce cinquième mode de réalisation permet l'obtention de trous carrés de taille continûment variable. Il utilise deux plaques identiques et représentées par exemple par la figure 10. Lorsque le trou 401 de la première plaque est exactement superposé au trou 401 de la deuxième plaque on obtient un ensemble de trous carrés équivalent à première plaque seule. Lorsque les deux plaques sont déplacées l'une par rapport à l'autre suivant l'axe 402, la taille des trous carrés résultant de la superposition des plaques est diminuée.

Cinquième mode de réalisation.

Ce cinquième mode de réalisation est particulièrement adapté au cas où une densité élevée de trous microscopiques est recherchée. Dans une version de base, il nécessite l'utilisation de 3 plaques qui se déplacent continûment les unes par rapport aux autres. Elles sont entraînées au moyen d'un dispositif de diaphragme à iris modifié pour compenser la rotation de l'ensemble. Les trous microscopiques sont hexagonaux.

Les trois plaques portent des réseaux de trous identiques qui, dans une position de référence, sont superposés les uns aux autres. La figure 13 montre une plaque 1000 comportant des trous microscopiques, par exemple 1001. Les pointillés, par exemple 1002, délimitent des emplacements hexagonaux ne portant pas de trou. Dans la position de référence, l'allure de l'ensemble modifiable de trous microscopiques est la même que l'allure de chacune des plaques et est donc représentée par la figure 13.

La taille des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques est modifiée en déplaçant les plaques les unes par rapport aux autres de la manière indiquée par la figure 14. Cette figure représente une partie du réseau de trous microscopiques. Sur la figure, les pointillés représentent les limites des trous microscopiques de chacune des trois plaques et on a représenté en blanc l'intersection de ces trous, qui constitue le trou effectif du réseau modifiable. Les flèches montrent la direction du déplacement des plaques à

partir de la position de référence. En déplaçant les plaques dans le sens des flèches on diminue continûment la largeur des trous. La forme des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques n'est pas modifiée lorsque leur largeur diminue. Ceci est dû au fait qu'il y a 3 plaques, que les trous ont $2 \times 3 = 6$ cotés, et que les directions du déplacement sont suivant des médiatrices des hexagones.

5 Dans une version permettant de modifier également la densité de trous microscopiques, une quatrième plaque est nécessaire. Cette plaque est représentée sur la figure 15. L'ensemble de trous microscopiques modifiable obtenu à l'aide de trois plaques et représenté sur la figure 13 en position de référence constitue un premier ensemble intermédiaire. La plaque de la figure 15 constitue un second ensemble intermédiaire. Lorsque le trou 1010 de la plaque de la figure 15 est superposé au trou 1001 du
10 premier ensemble intermédiaire de la figure 13, la densité de trous microscopiques est maximale. Lorsque le trou 1013 de la plaque de la figure 15 est superposé au trou 1001 du premier ensemble intermédiaire de la figure 13, le nombre de trous microscopiques par unité de surface est divisé par 4. Lorsque le trou 1012 de la plaque de la figure 15 est superposé au trou 1001 du premier ensemble intermédiaire de la figure 13, le nombre de trous microscopiques par unité de surface est divisé par 9. Lorsque le trou 1011 de la plaque de la
15 figure 15 est superposé au trou 1001 du premier ensemble intermédiaire de la figure 13, le nombre de trous microscopiques par unité de surface est divisé par 16.

L'entraînement des trois plaques identiques représentées figure 13 peut se faire au moyen d'un système d'entraînement de diaphragme à iris représenté sur les figures 16 et 17. Les plaques de la figure 13 sont les plaques 1040, 1041, 1042 représentées sur la figure 17. Ces plaques sont des feuilles métalliques
20 tendues sur des bagues de maintien circulaires 1022, 1021, 1020 et portant des trous réalisés par exemple par perçage au laser. Ces trois bagues de fixation sont reliées à deux bagues de commande 1023, 1024. Par exemple, la bague interne 1020 est reliée à la bague de commande 1023 par une barre 1028 tournant librement autour d'un axe 1029 fixé dans la bague de commande 1023. La bague interne 1020 est reliée à la bague de commande 1024 par une barre 1026 tournant librement autour d'un axe 1027 fixé dans la bague de
25 commande 1024. Le logement 1031 de l'axe 1027 est surdimensionné de manière à pouvoir conjuguer une rotation et une translation par rapport à l'axe 1027. Un tirant 1030 est utilisé pour maintenir le logement 1031 en butée sur l'axe 1027. Les deux autres bagues de maintien sont liées de manière similaire aux bagues de commande. Lorsque les deux bagues de commande tournent simultanément en sens opposé et d'un angle égal, les trois plaques se déplacent en translation avec un angle de 120 degrés entre les directions de chaque axe de
30 déplacement, comme indiqué sur la figure 14.

La figure 17 représente également la quatrième plaque 1051 qui est une feuille tendue sur une bague de maintien 1050. La bague de maintien 1050 est montée sur un positionneur deux axes.

Les plaques 1051 et 1042 sont elles-mêmes plaquées sur des plaques de verre épaisses 1052 et 1043. Lorsque l'ensemble du système est en position les deux plaques de verre 1052 et 1043 évitent des
35 déformations des feuilles (plaques) 1042, 1041, 1040, 1051 portant des trous microscopiques.

Méthode de guidage et de positionnement des plaques

Dans certains modes de réalisation les plaques portant des trous microscopiques se déplacent en translation les unes par rapport aux autres suivant un axe unique. Par exemple dans le premier mode de

réalisation, le deuxième, le quatrième mode de réalisation, mais également dans le cinquième mode de réalisation en ce qui concerne les trois plaques se déplaçant au moyen d'un mécanisme de diaphragme à iris. Cette solution simplifie le système en ce chaque plaque se déplace par rapport à une autre suivant un axe unique. Ainsi qu'indiqué plus haut un rail de guidage peut être utilisé pour guider les plaques. Toutefois, un
5 rail de guidage macroscopique est difficile à réaliser avec la précision requise. Afin d'obtenir un bon positionnement des plaques on peut remplacer un tel rail de guidage par un ensemble de rails de guidage microscopiques.

Les figures 18 à 20 illustrent la réalisation d'un ensemble de rails de guidage microscopiques dans un système à deux plaques du type décrit dans le premier mode de réalisation. La figure 18 montre la partie
10 femelle 1101, 1102, 1103 des rails, réalisés par lithographie de la même manière que les trous microscopiques, sur la plaque mobile. La figure 19 montre la partie mâle 1111, 1112, 1113 des rails, réalisés par lithographie sur la plaque fixe, mais au moyen d'une couche métallique supplémentaire. La figure 20 montre en coupe l'assemblage des rails 1103 et 1113. La coupe est réalisée suivant un axe de coupe 1114 de la plaque fixe et suivant un axe de coupe 1104 de la plaque mobile, ces deux axes étant supposés superposés dans la position
15 représentée. La plaque fixe en verre 1120 porte une couche métallique 1122 laissant libre le trou microscopique 1115. Elle porte également une couche métallique supplémentaire 1113 constituant la partie mâle du système de guidage. Cette partie mâle est réalisée par lithographie et on a également représenté un reste de couche de résine 1125. Cette couche de résine a pour objet de protéger la couche métallique inférieure 1122 lors de la formation du rail 1113. La plaque mobile 1120 porte une couche métallique 1123
20 laissant libre le trou microscopique 1105 et la partie femelle 1103 du rail de guidage. L'espace 1123 compris entre les deux plaques est rempli d'un liquide lubrifiant permettant d'éviter les frottements solides. La partie mâle 1113 s'encastre dans la rainure 1103 pour guider le déplacement. La superposition des trous microscopiques 1115 et 1105 produit un trou microscopique de taille réduite.

Cette méthode de guidage peut être adaptée au cas où les plaques sont des feuilles métalliques,
25 comme dans le cinquième mode de réalisation. Dans ce cas des rails mâle ou femelle peuvent être réalisés de chaque côté de chaque feuille. Les plaques en verre sont alors remplacées par les feuilles métalliques. Le schéma de la figure 21 est équivalent à celui de la figure 20 mais illustre le cas de plaques constituées par de fines feuilles métalliques. La plaque 1134 porte le rail mâle 1132 séparé de la plaque par une couche de résine protectrice 1133 utilisée pour la réalisation par lithographie du rail 1132. La plaque 1137 porte le rail
30 femelle 1138 réalisé par lithographie dans une couche métallique 1135 séparée de la plaque par une résine 1139. L'espace entre les deux plaques est rempli d'un liquide lubrifiant. On n'a représenté de rail de guidage que d'un côté de chaque plaque mais il est possible d'en réaliser de chaque côté de chaque plaque. Dans le cas du cinquième mode de réalisation, les rails de guidage qui séparent chaque feuille métallique guidée des deux feuilles adjacentes participent au maintien de la forme des feuilles métallique et à l'évitement des
35 déformations. Bien entendu la feuille numéro 1051 de la figure 17 ne peut être guidée par cette méthode que si son mouvement est restreint à une seule direction.

Applications industrielles

Le présent ensemble de trous microscopiques peut être utilisé dans un microscope confocal à éclairage monopoint ou multipoint ou dans un microscope confocal destiné à alterner les deux modes d'éclairage. Par exemple si un ensemble de trous microscopiques du type décrit dans le quatrième mode de réalisation remplace l'ensemble de trous microscopiques utilisé dans le système décrit par la figure 1 du
5 brevet numéro US 5,239,178 il devient possible de modifier la taille et le nombre de ces trous microscopiques, et éventuellement d'alterner entre un mode de fonctionnement multipoint et monopoint. De même, le réseau de trous microscopiques du quatrième mode de réalisation de la présente invention peut remplacer, avec le même effet, le réseau de trous microscopiques utilisé sur la figure 3 du brevet US
10 5,978,095. En utilisant un réseau modifiable de trous microscopiques suivant la présente invention dans le microscope décrit par un des deux premiers modes de réalisation de la demande de brevet français numéro 0103860 du 22 mars 2001, on peut aisément modifier le diamètre des trous microscopiques ou leur nombre, ce qui affecte le compromis vitesse/résolution ou vitesse/profondeur de pénétration dans l'échantillon. Le trou
15 microscopique décrit dans un des deux premiers modes de réalisation de la présente invention peut par ailleurs remplacer les trous microscopiques interchangeables ou les diaphragmes "iris" usuellement utilisés dans les microscopes confocaux monopoints à balayage laser.

Revendications (1/4)

- 5 1- ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique destiné au filtrage d'un faisceau lumineux, caractérisé par le fait qu'il comprend plusieurs plaques (100, 110) portant chacune au moins un trou microscopique, l'une de ces plaques (110) portant au moins deux trous microscopiques, lesdites plusieurs plaques étant placées les unes contre les autres et pouvant glisser les unes par rapport aux autres, pour former l'ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique par superposition des trous
- 10 microscopiques (114,101) desdites plusieurs plaques, et pour modifier, par glissement desdites plaques les unes par rapport aux autres, le nombre et/ou la taille des trous microscopiques dudit ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique.
- 15 2- ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique selon la revendication 1, caractérisé par le fait que deux desdites plaques (100,110) sont des vitres transparentes sur lesquelles lesdits trous microscopiques sont réalisées par dépôt d'une couche opaque par une méthode lithographique, et par le fait que lesdites couches opaques de ces deux plaques sont tournées l'une vers l'autre, pour que l'espace entre lesdites couches opaques soit aussi réduit que possible.
- 20 3- ensemble modifiable d'au moins un trou microscopique selon une des revendications 1 ou 2, caractérisé par le fait qu'au moins une desdites plaques (1040 ;1041) est une feuille opaque fine dans laquelle lesdits trous microscopiques sont obtenus par perçage.
- 25 4- ensemble modifiable selon la revendication 3, caractérisé par le fait que lesdites plaques (1040,1041,1042,1051) constituées de feuilles opaques fines sont placées les unes contre les autres et serrées entre deux plaques épaisses, pour éviter une déformation desdites plaques constituées de feuilles opaques fines.
- 30 5- ensemble modifiable selon une des revendications 1 à 4, caractérisé par le fait que lesdites plaques sont séparées les unes des autres par des couches d'un liquide lubrifiant transparent.
- 35 6- ensemble modifiable selon une des revendications 1 à 5, caractérisé par le fait que le glissement d'une desdites plaques par rapport à une plaque adjacente se fait en translation suivant un axe, et par le fait que ces deux plaques sont positionnées l'une par rapport à l'autre par des rails de guidage microscopiques (1101, 1102, 1103,1111, 1112, 1113).

Revendications (2/4)

7- ensemble modifiable de trous microscopiques selon la revendication 6, caractérisé par le fait qu'il comprend plusieurs rails de guidage microscopiques.

5

8- ensemble modifiable de trous microscopiques suivant la revendication 7, caractérisé par le fait que les rails de guidage microscopiques sont réalisés par lithographie.

9- ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 8, caractérisé les faits suivants :

10

- il comprend un premier ensemble intermédiaire de trous microscopiques (101) formé par une ou plusieurs desdites plaques (100), et un second ensemble intermédiaire de trous microscopiques (115,114,113,112,111) formé par une ou plusieurs desdites plaques (110),

15

- il comprend un moyen pour faire glisser le second ensemble intermédiaire par rapport au premier ensemble intermédiaire de manière à passer d'une première configuration à une seconde configuration,

- au moins un trou du second ensemble intermédiaire qui est superposé à un trou du premier ensemble intermédiaire dans la première configuration, n'est pas superposé à un trou du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration,

20

pour que le nombre et/ou la taille des trous soit déterminée par le nombre et/ou la taille des trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés aux trous du premier ensemble intermédiaire.

10- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant la revendication 9, caractérisé par le fait que le nombre de trous du second ensemble intermédiaire (320) qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire (310) dans la première configuration diffère du nombre de trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration, pour que le nombre de trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la seconde configuration diffère du nombre de trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la première configuration.

25

30

11- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant la revendication 9, caractérisé par le fait que la taille des trous du second ensemble intermédiaire (300) qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire (310) dans la première configuration diffère de la taille des trous du second ensemble intermédiaire qui sont superposés à des trous du premier ensemble intermédiaire dans la seconde configuration, pour que la taille des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la seconde configuration diffère de la taille des trous de l'ensemble modifiable de trous microscopiques dans la première configuration.

35

Revendications (3/4)

12- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 8, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens pour déplacer continument les plaques (400) les unes par rapport aux autres, pour
5 que ce déplacement continu se traduise par une modification continue de la surface de chaque trou microscopique.

13- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant la revendications 12, caractérisé par le fait que dans une position de référence les trous microscopiques desdites plusieurs plaques (400) sont exactement
10 superposés les uns aux autres.

14- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 12 ou 13, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens pour générer un déplacement en translation de la i-ième plaque suivant une direction orientée à $\frac{2\pi}{N}i$ radians dans un repère de référence commun aux N plaques constituant l'ensemble
15 de trous microscopiques.

15- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 12 à 14, caractérisé par le fait que les trous microscopiques sont des polygones à 2N cotés, ou N est le nombre de plaques constituant l'ensemble de trous microscopiques.
20

16- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant les revendications 14 et 15, caractérisé par le fait que les directions du déplacement en translation des plaques les unes par rapport aux autres sont dirigées suivant des médiatrices des polygones.

25 17- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 12 à 16, caractérisé par le fait que le glissement des plaques les unes par rapport aux autres est obtenu à l'aide d'un mécanisme de diaphragme à iris (Fig.16).

18- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 16, caractérisé par le
30 fait qu'une des plaques (110) est déplacée au moyen d'un positionneur linéaire en axe.

19- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 16, caractérisé par le fait qu'une des plaques (1051) est déplacée au moyen d'un positionneur deux axes.

Revendications (4/4)

20- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 19, caractérisé par le fait qu'il comprend exactement deux plaques.

5

21- Ensemble modifiable de trous microscopiques suivant une des revendications 1 à 20, caractérisé par le fait qu'il comprend au moins deux trous microscopiques.

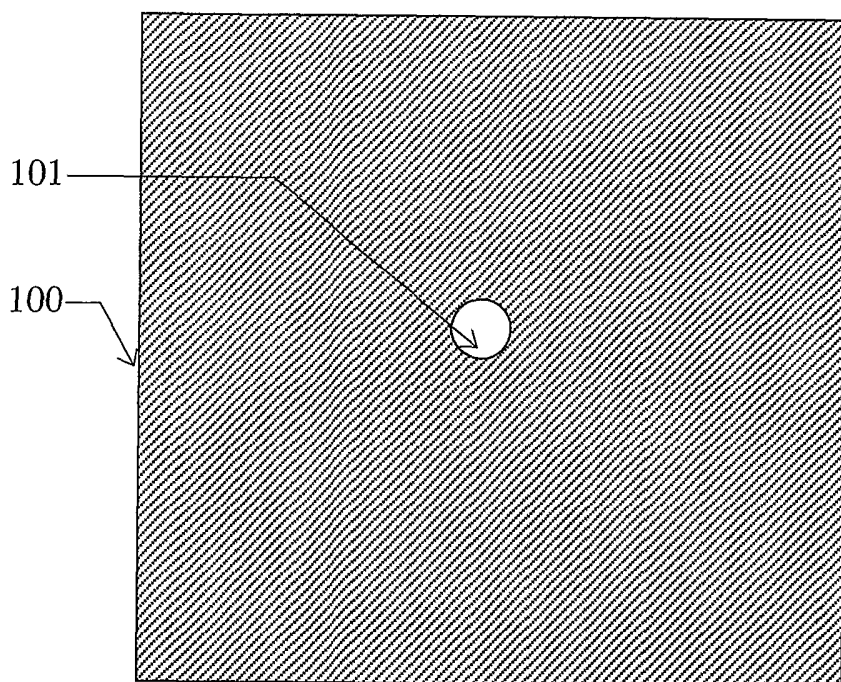


Fig.1

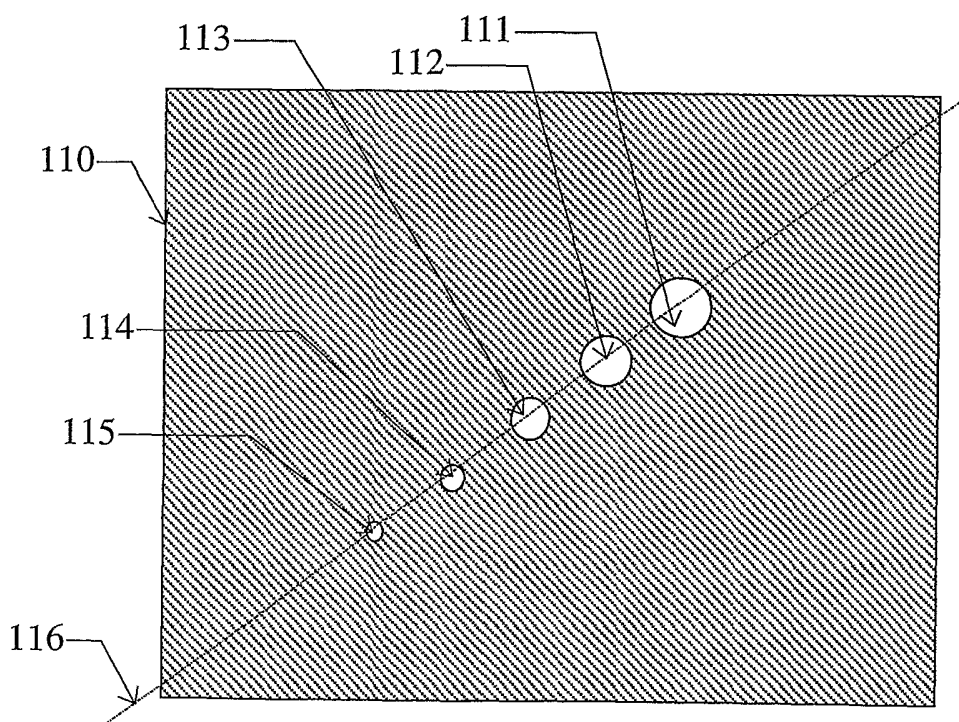


Fig.2

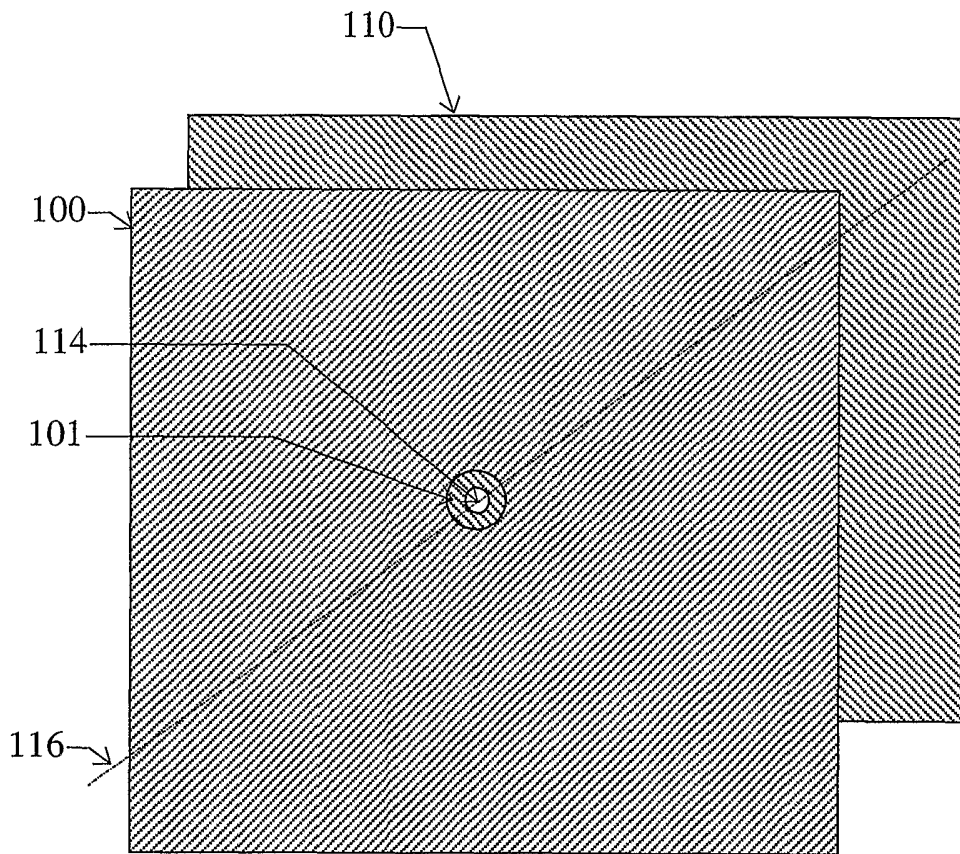


Fig.3

3/19

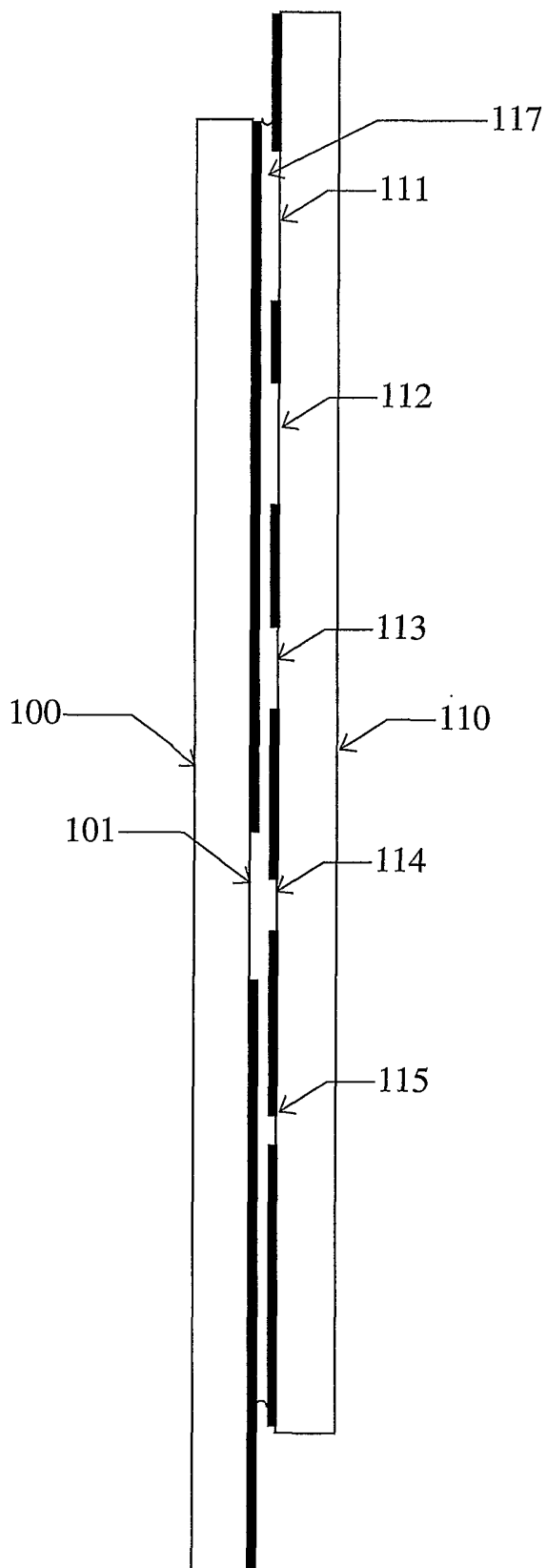


Fig.4

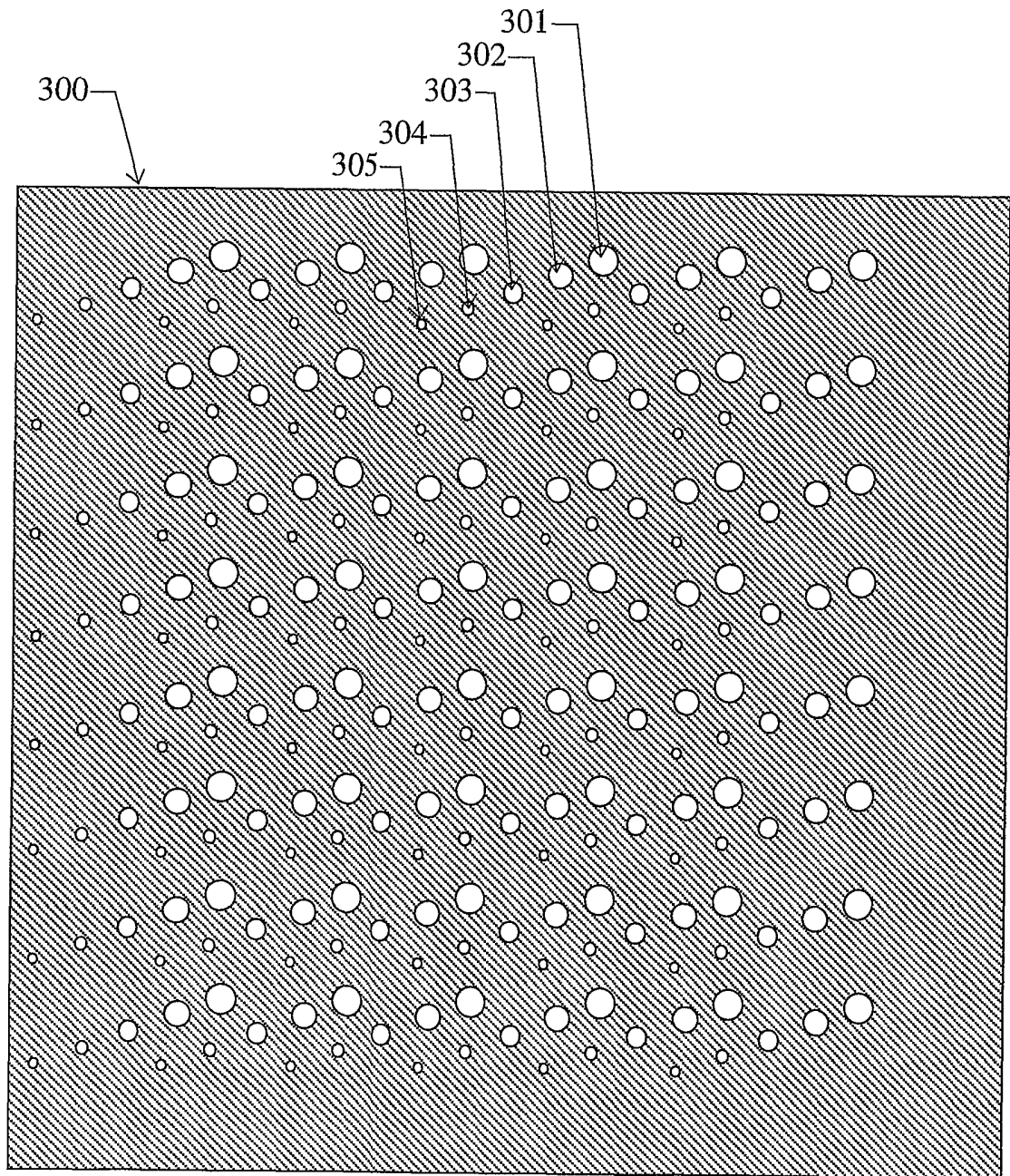


Fig.5

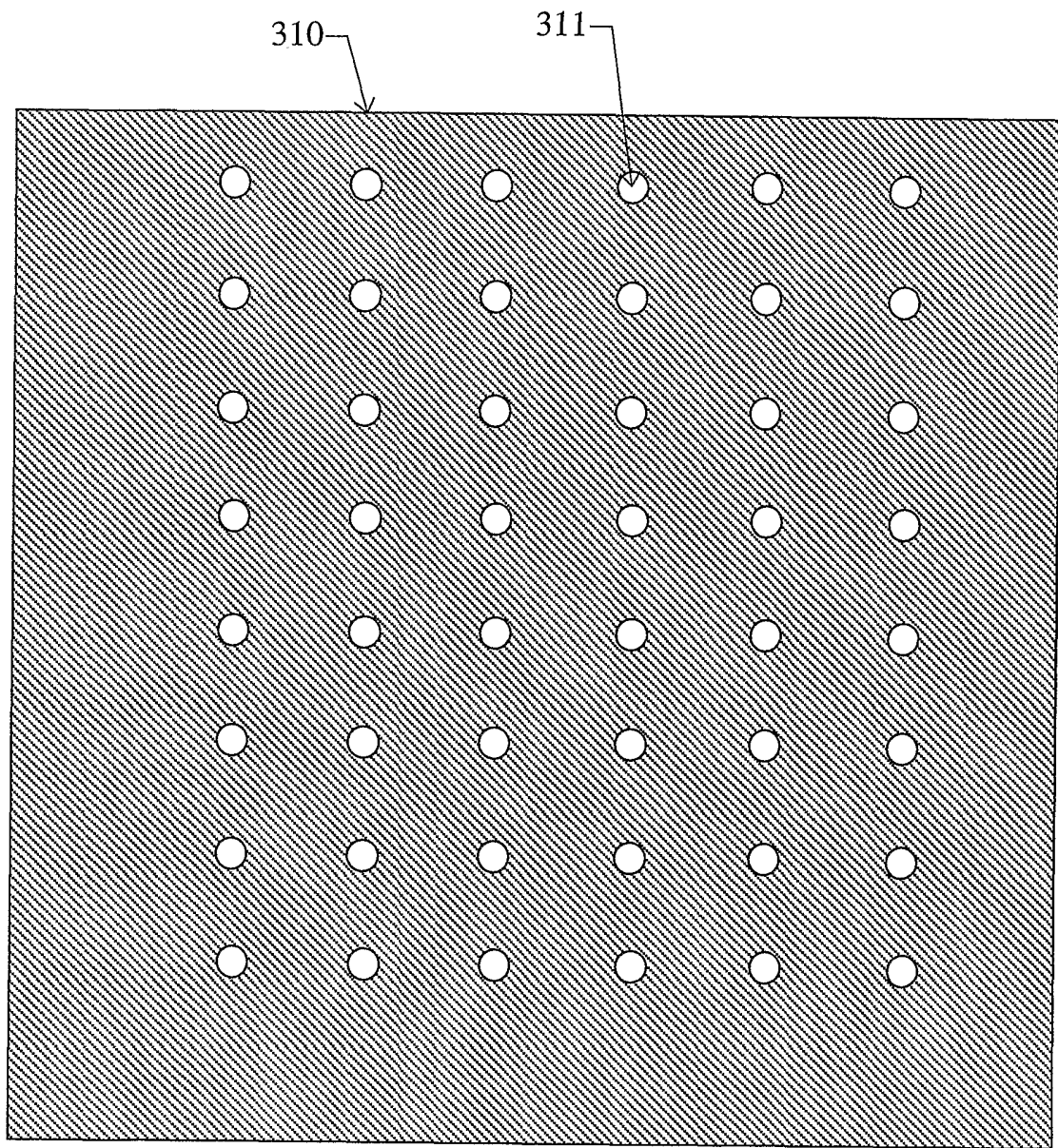


Fig.6

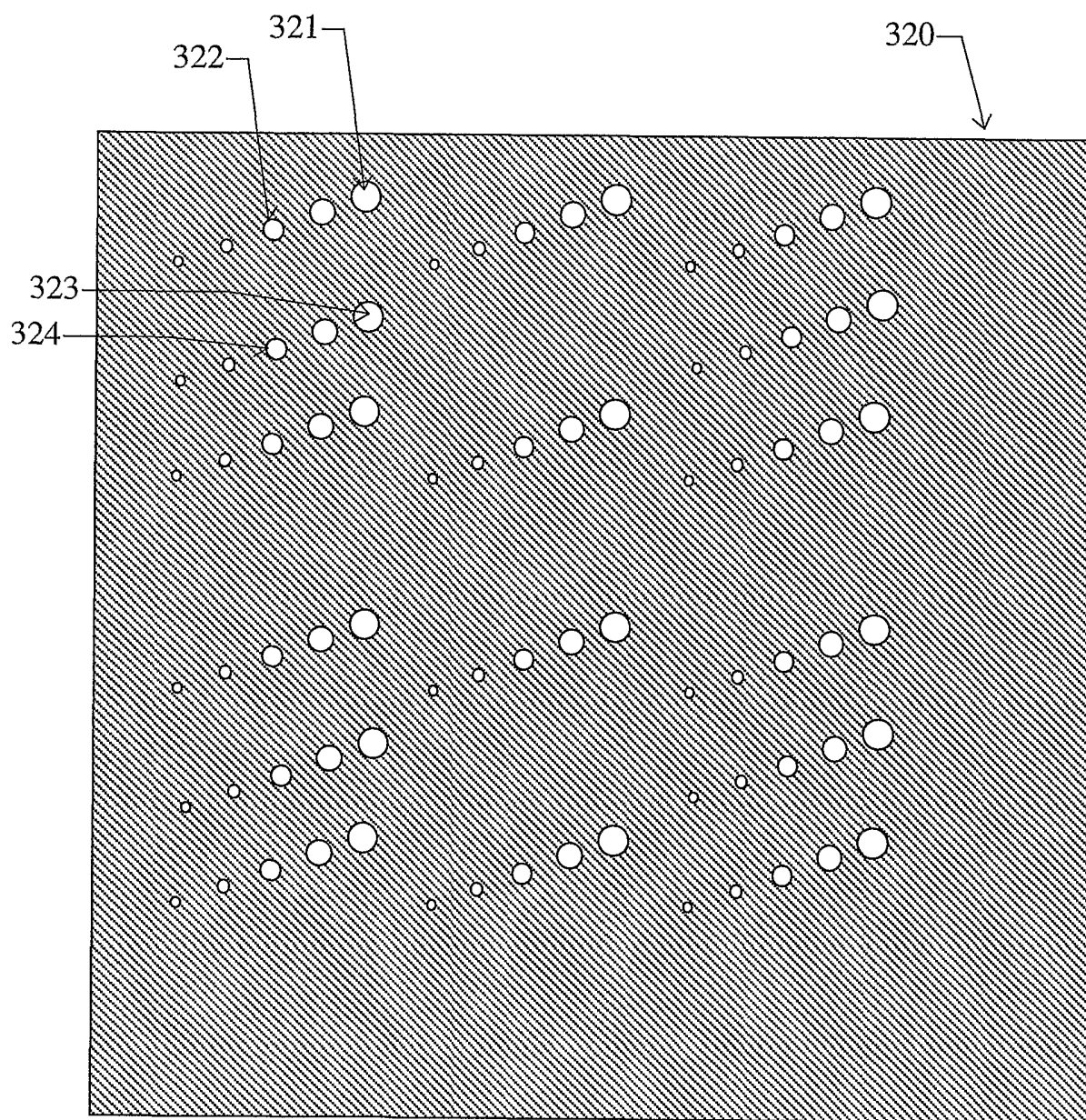


Fig.7

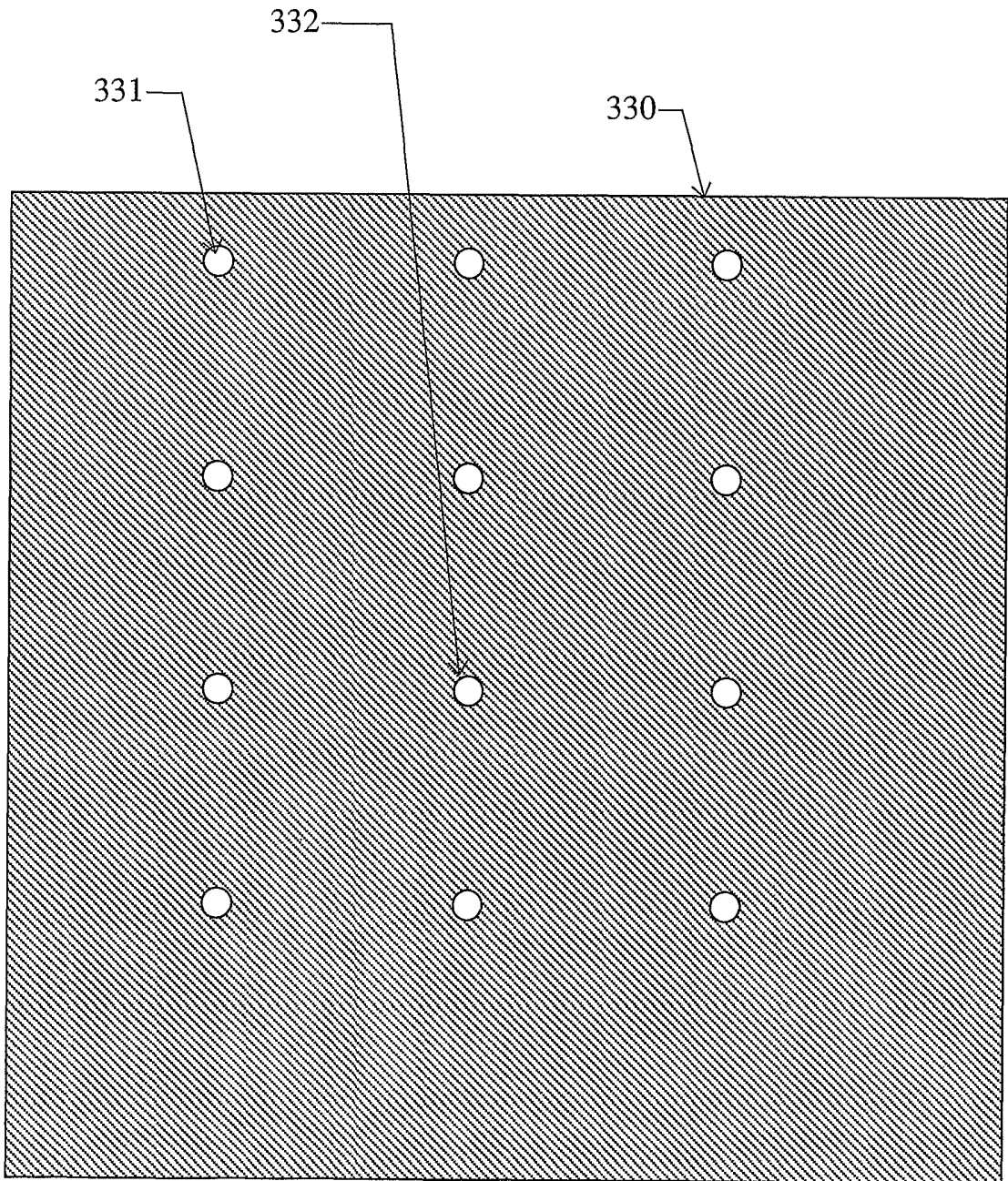


Fig.8

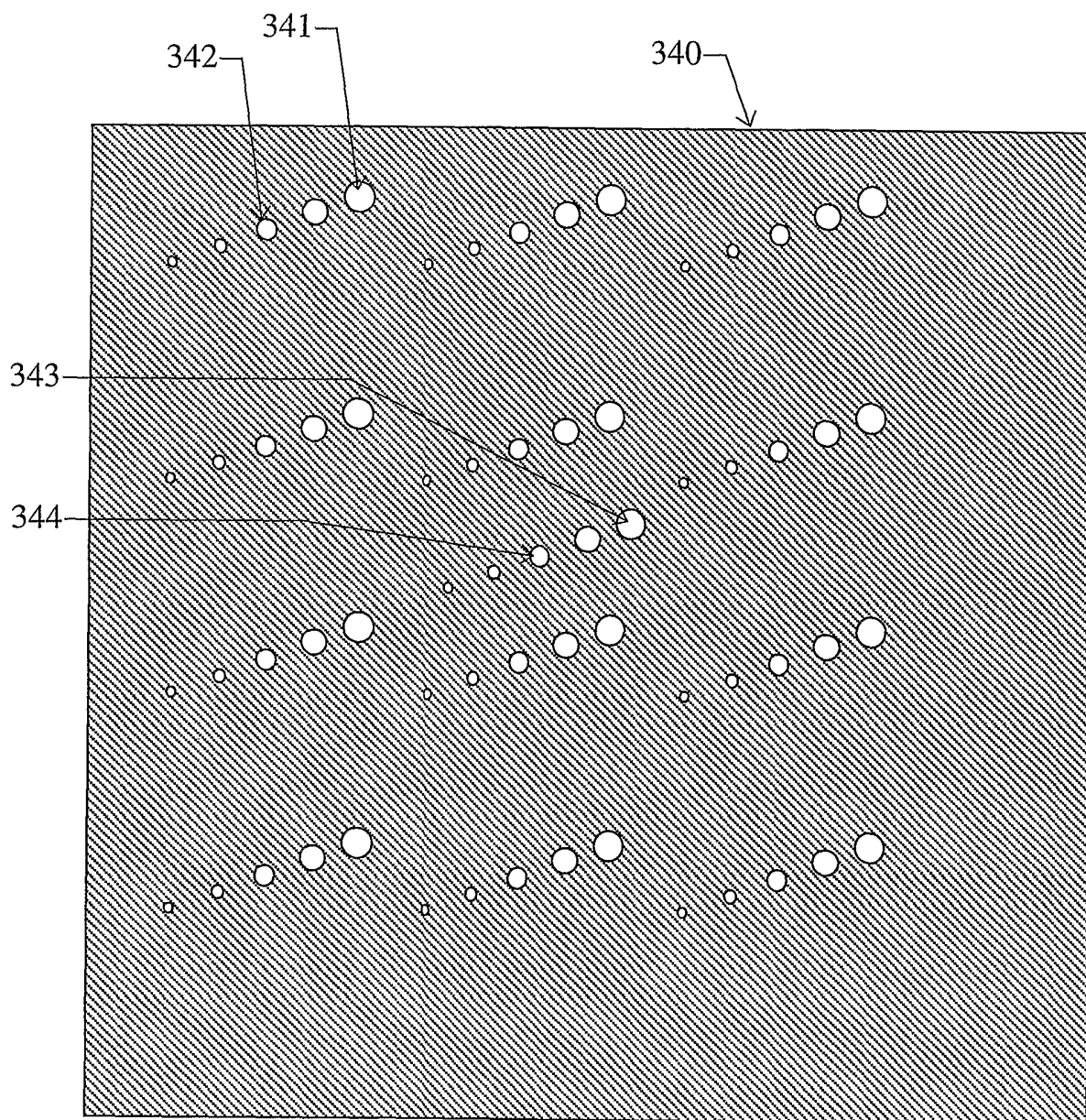


Fig.9

9/19

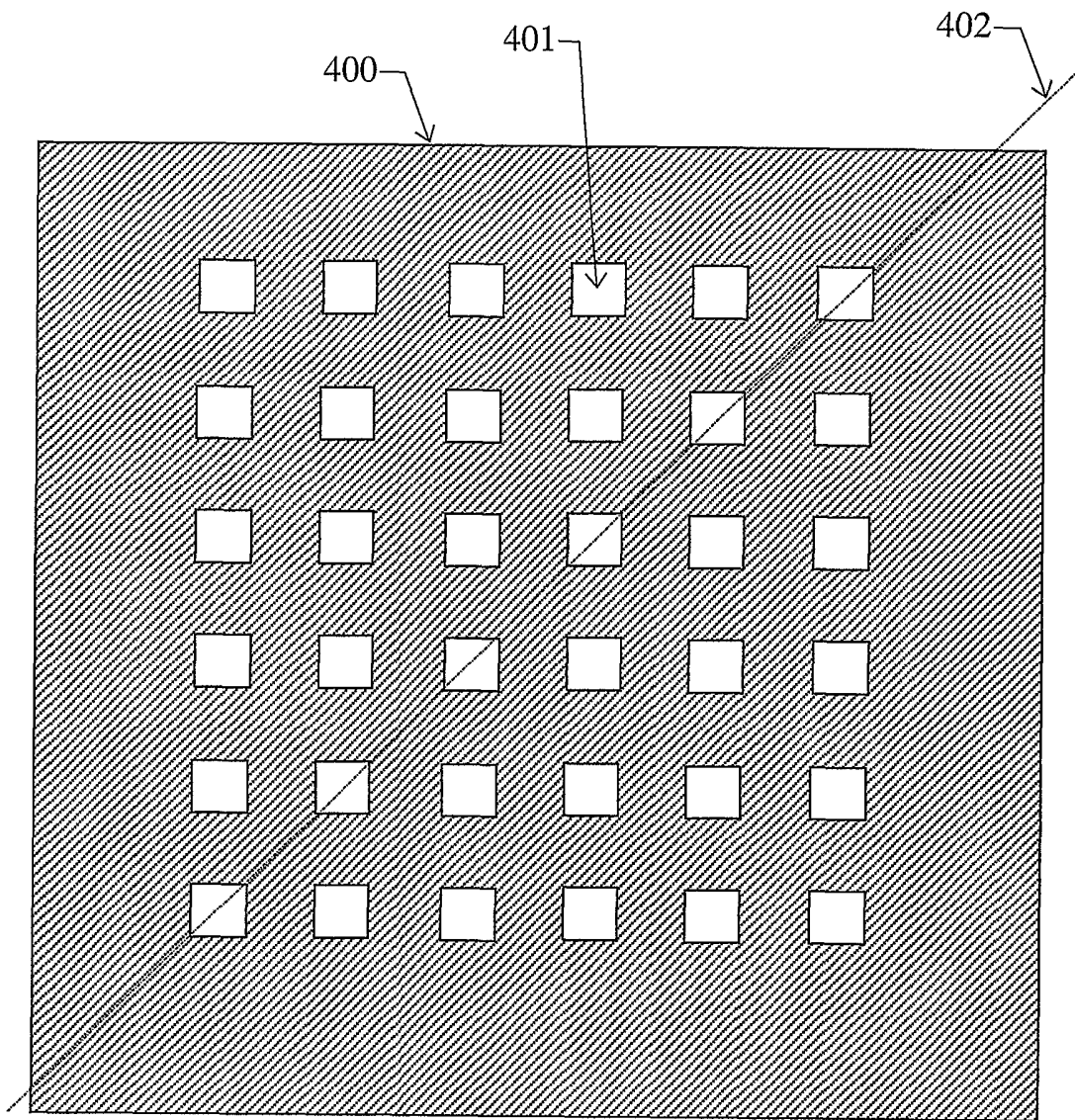


Fig.10

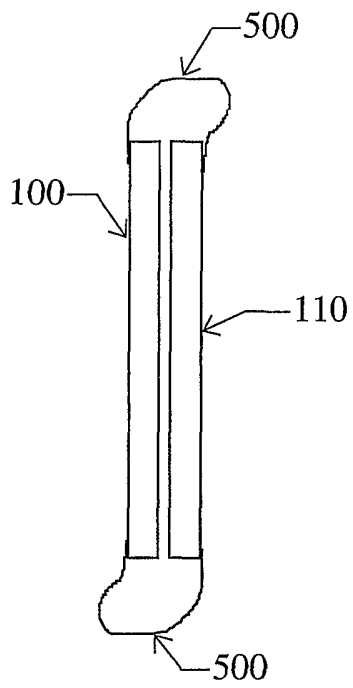


Fig.11

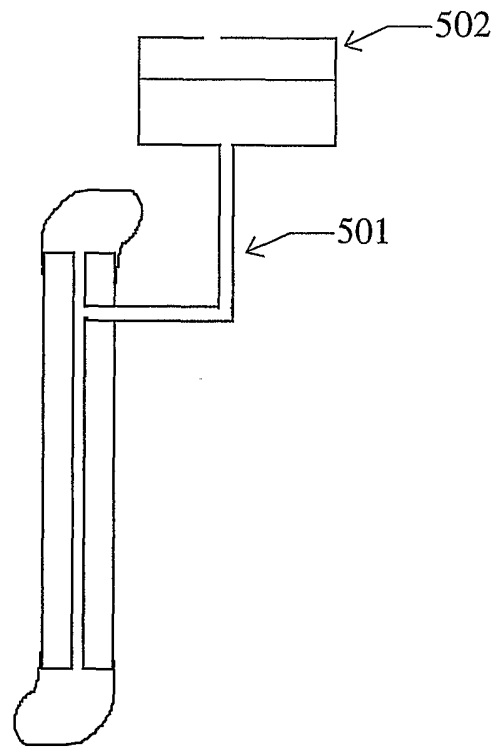


Fig.12

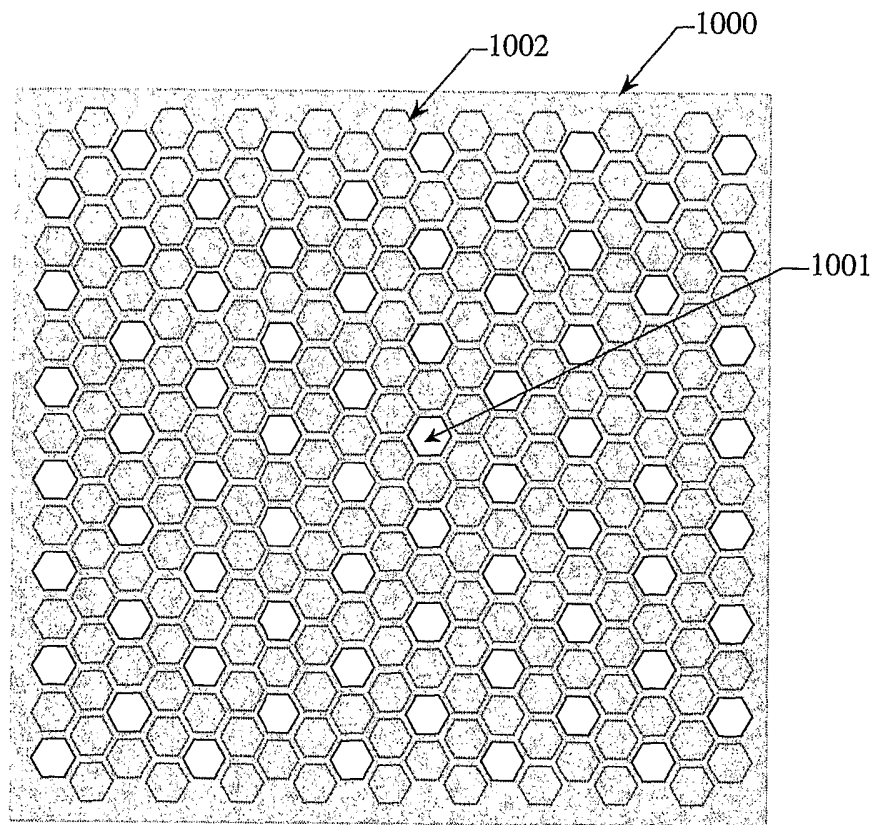


Fig.13

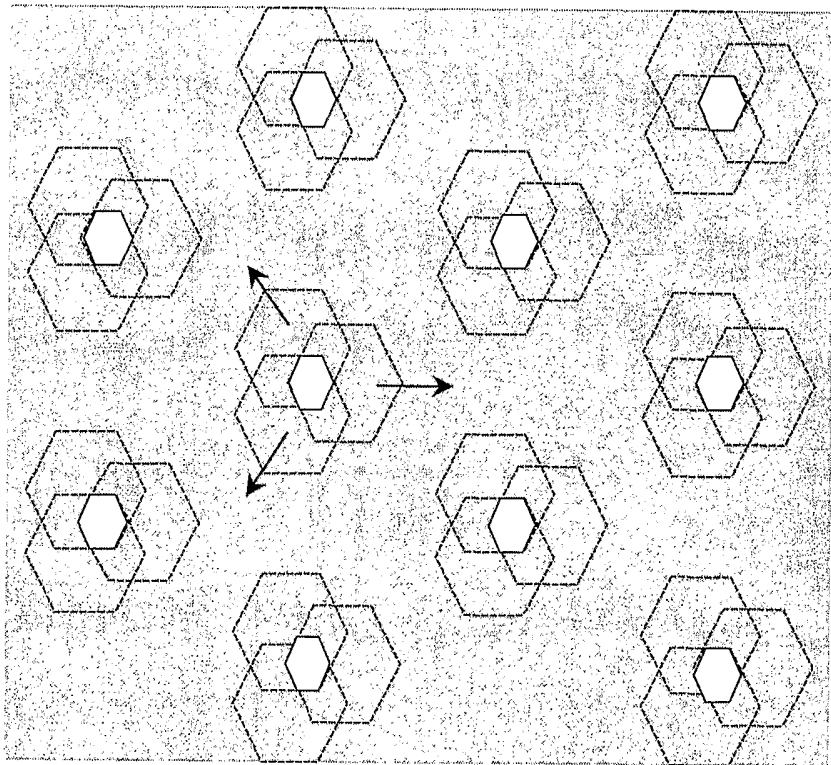


Fig.14

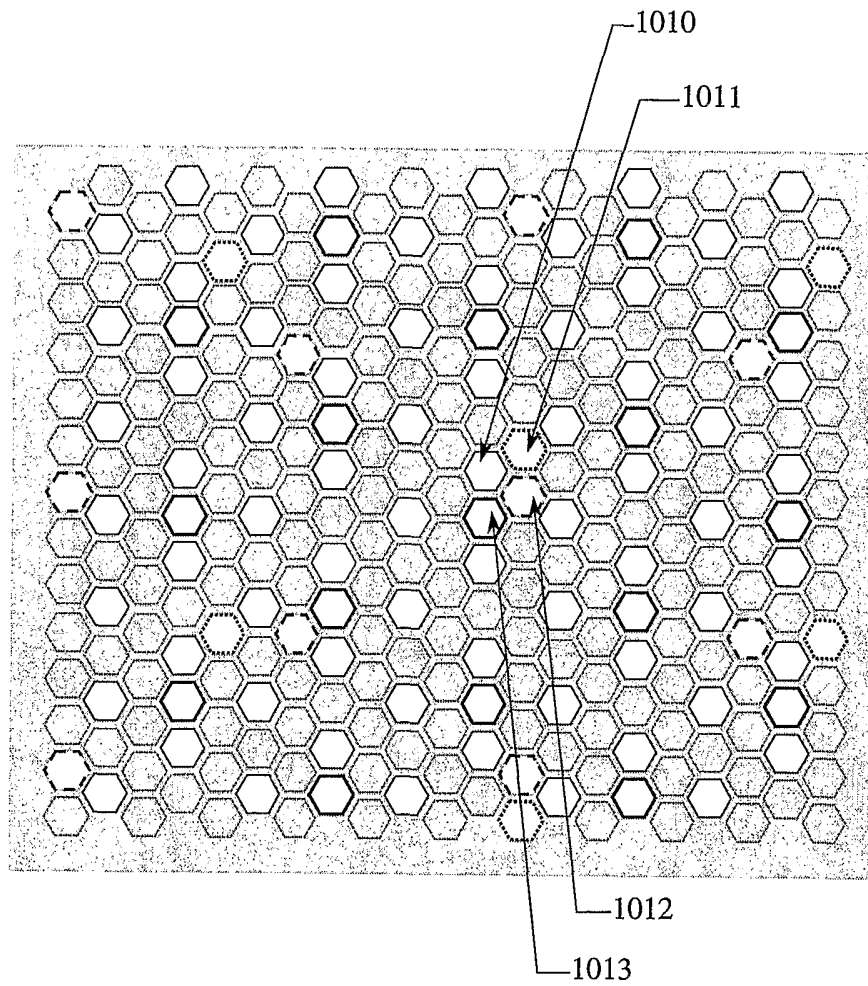


Fig.15

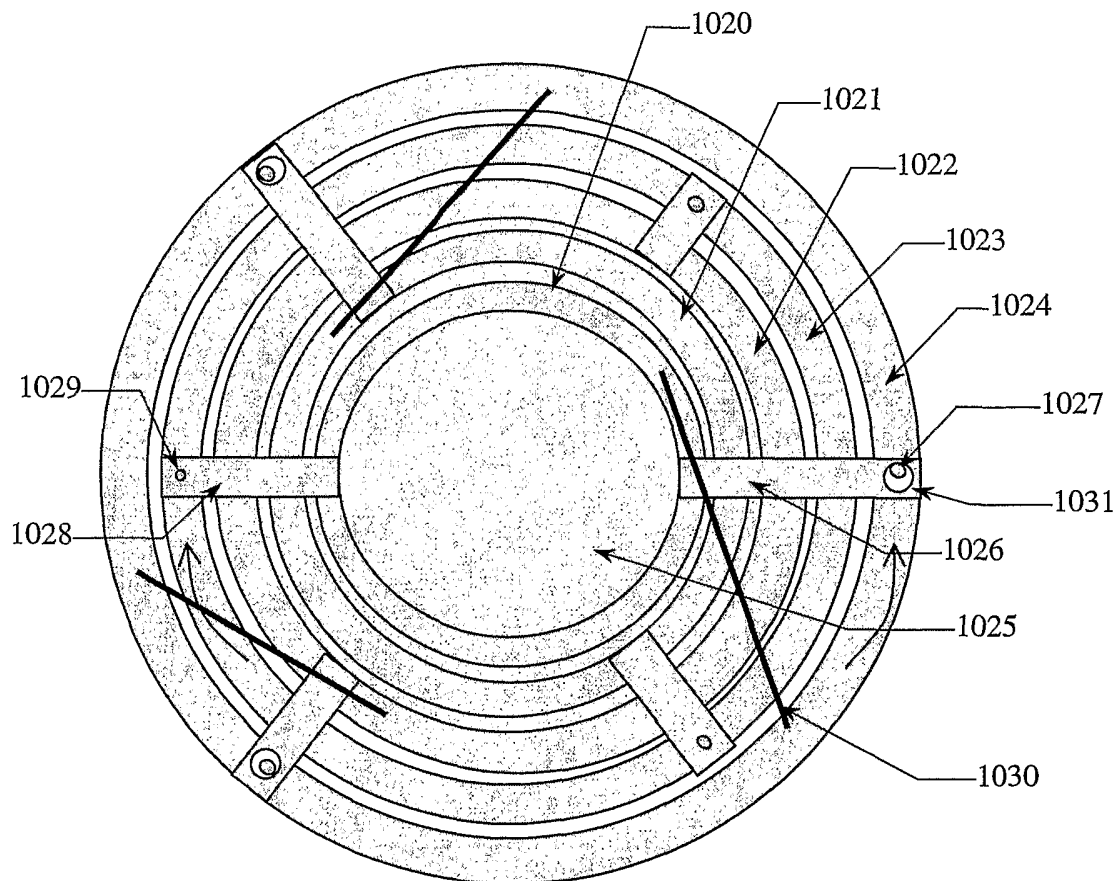


Fig.16

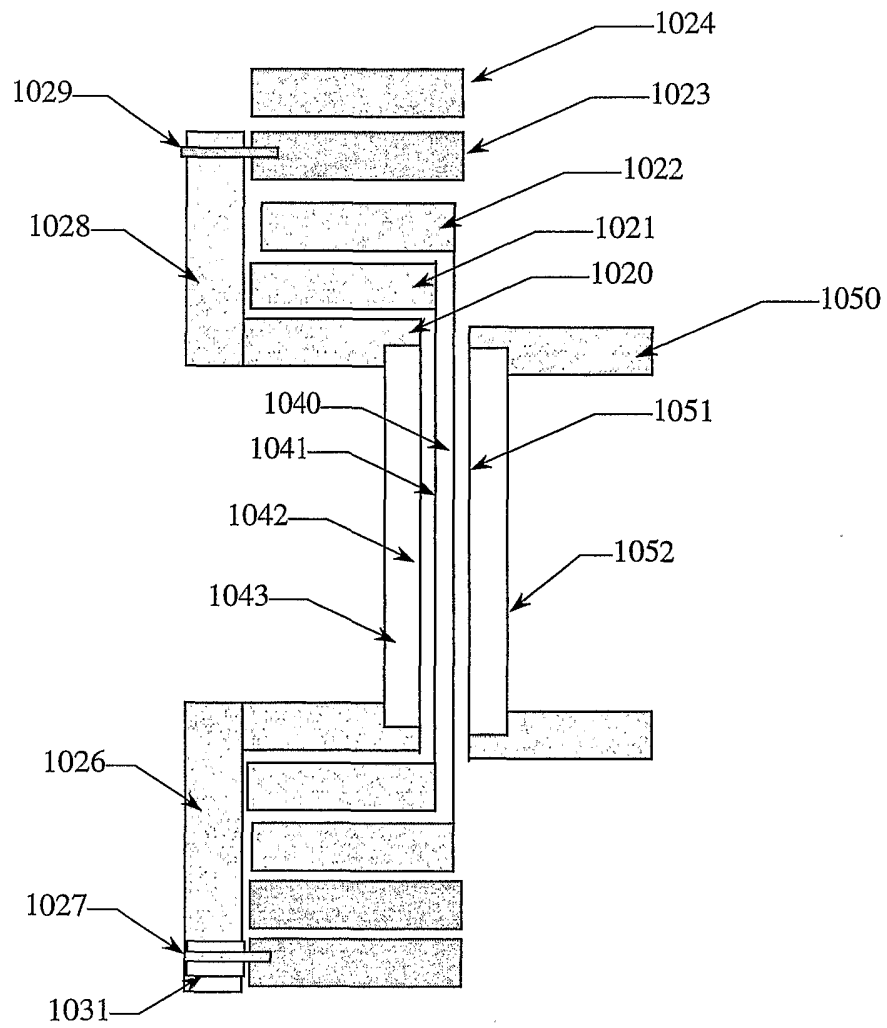


Fig.17

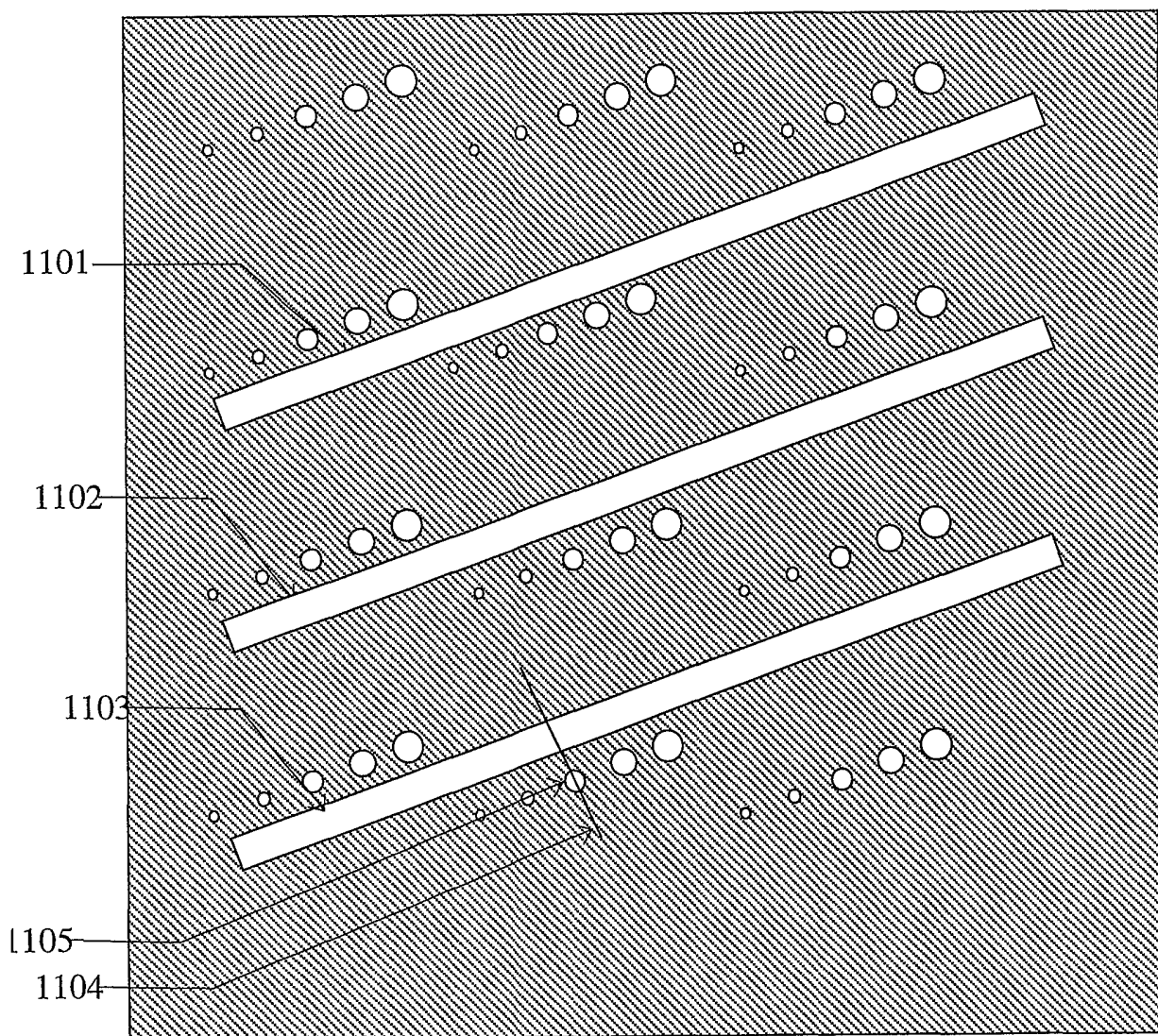


Fig.18

17/19

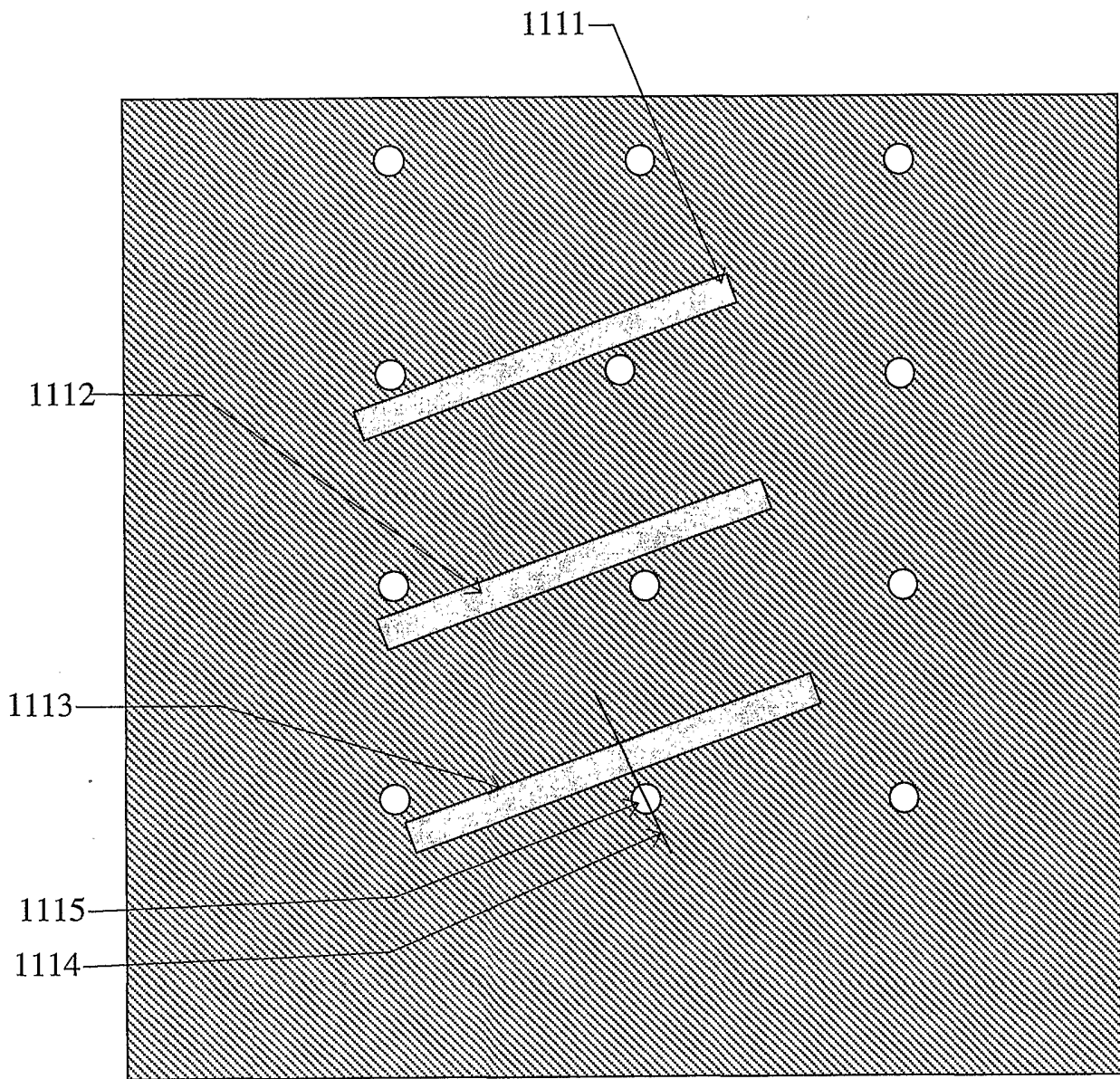


Fig.19

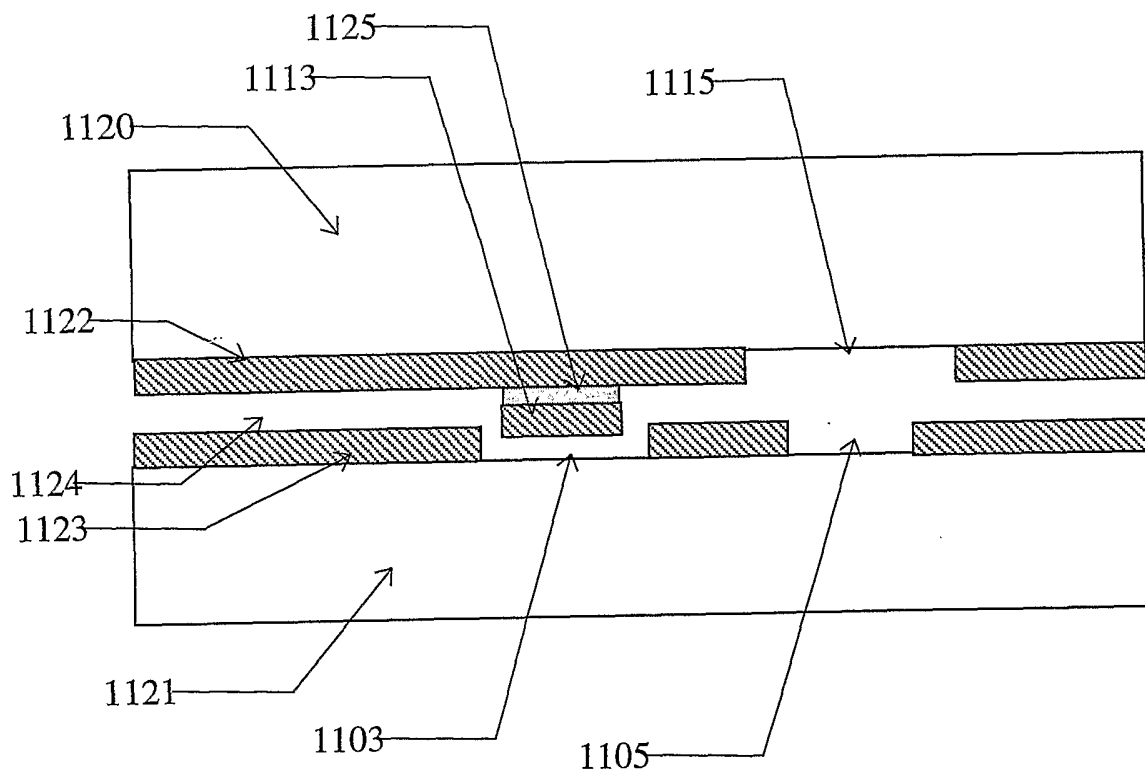


Fig.20

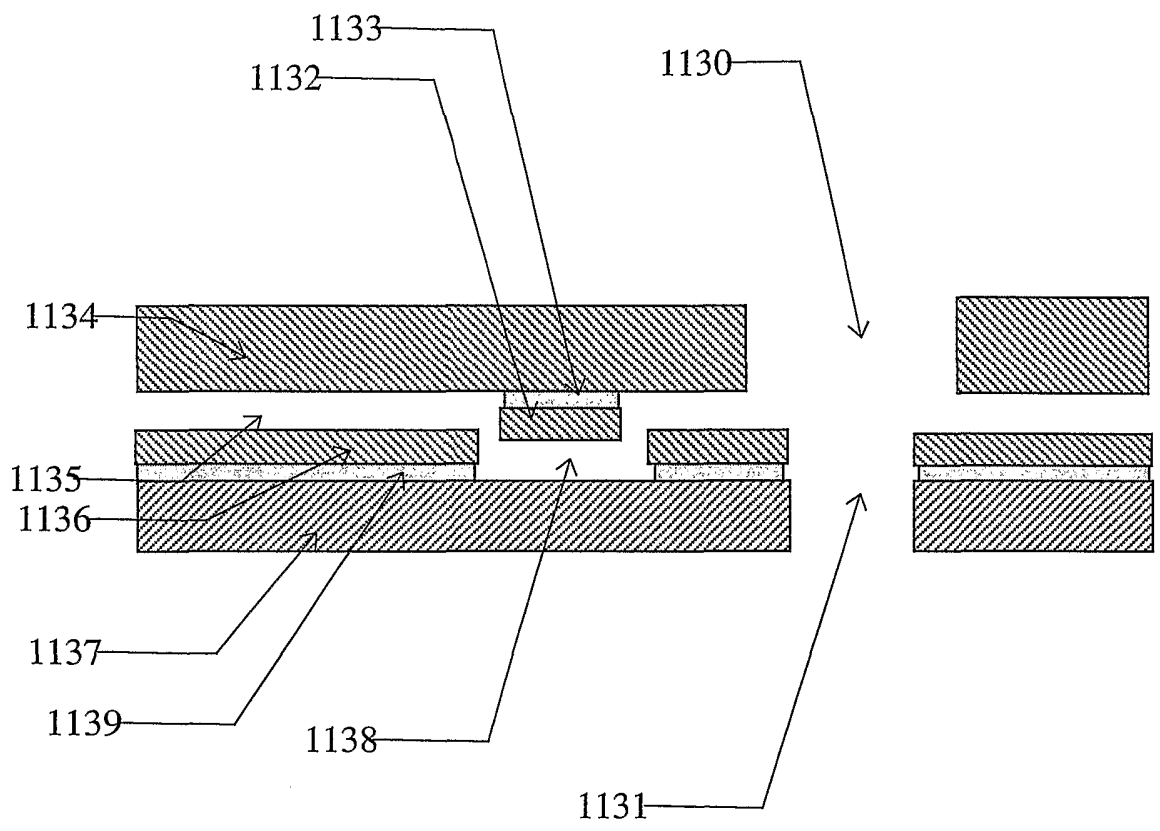


Fig.21