

(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
18 mai 2006 (18.05.2006)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2006/051186 A2

(51) Classification internationale des brevets :
B82B 3/00 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/002728

(22) Date de dépôt international :
3 novembre 2005 (03.11.2005)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0411916 9 novembre 2004 (09.11.2004) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];
31/33, rue de la Fédération, F-75752 Paris Cedex 15 (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **SAMSON,
Yves** [FR/FR]; 5, rue Antoine Polotti, F-38400 Saint Mar-
tin D'Hères (FR). **FOURNEL, Franck** [FR/FR]; 9, route

des Iles, F-38430 Moirans (FR). **EYMERY, Joël** [FR/FR];
Rivoire de la Dame, 2, rue du clavier, F-38360 Sassenage
(FR).

(74) Mandataire : **SANTARELLI**; 14, avenue de la Grande-
Armée, B.P. 237, F-75822 Paris Cedex 17 (FR).

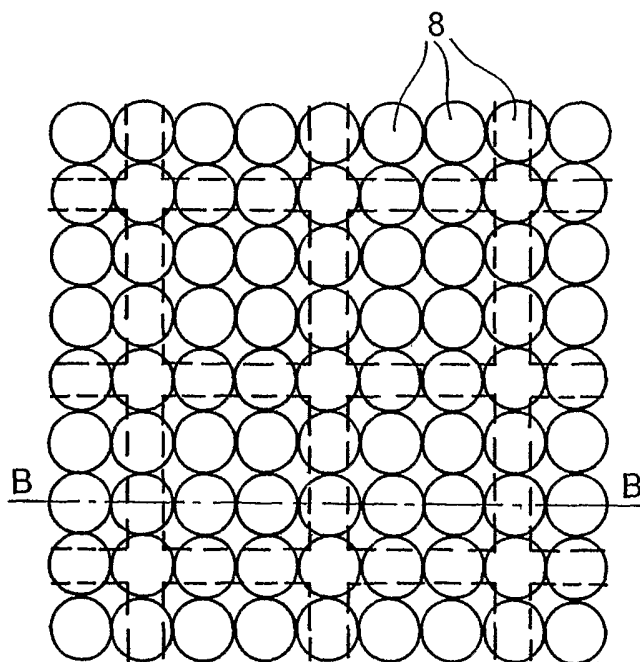
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY,
MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO,
NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,
ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PARTICLE NETWORK AND METHOD FOR REALIZING SUCH A NETWORK

(54) Titre : RESEAU DE PARTICULES ET PROCEDE DE REALISATION D'UN TEL RESEAU



(57) Abstract: The invention relates to a method
for realizing a particle network comprising a
particle depositing step, capable of self-organizing
with a determined increment along a first
direction, onto a substrate exhibiting a property
that permits an interaction between the substrate
and the particles and modulated along the first
direction with a period adapted to said increment.
A substantial interaction thus subsists between
each of the particles and its neighboring particles
along the first direction.

(57) Abrégé : Un procédé de réalisation d'un ré-
seau de particules comprend une étape de dépôt de
particules, aptes à auto-organiser avec un pas dé-
terminé selon une première direction, sur un sub-
strat présentant une propriété permettant une inter-
action du substrat et des particules et modulée selon
la première direction avec une période adaptée au-
dit pas. Une interaction substantielle subsiste ainsi
entre chacune des particules et ses particules voi-
sines selon la première direction.

WO 2006/051186 A2



RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

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.

Réseau de particules et procédé de réalisation d'un tel réseau

L'invention concerne un réseau de particules, par exemple de
5 nanoparticules, et un procédé de réalisation d'un tel réseau.

L'étude de la matière à des dimensions de plus en plus réduites dans
différents domaines de la science conduit de nos jours à des ordres de grandeur
auxquels on ne peut plus la considérer comme une structure continue, mais comme
un ensemble discret de particules, dénommées de manière générale
10 nanoparticules.

Dans ce cadre, l'organisation des particules sur un réseau périodique est
recherchée dans de nombreuses applications, tels que par exemple les supports
d'information magnétiques à ultra-haute densité (nanoparticules ferromagnétiques),
les mémoires à base de nanoparticules semi-conductrices, les réseaux de
15 nanoparticules luminescentes ou la formation de sites catalytiques ou réactionnels
de très petites dimensions.

Dans ces applications comme naturellement dans d'autres, l'organisation
des particules en un réseau aussi parfait que possible est souhaitable, mais très
difficile à obtenir en pratique, notamment sur des distances suffisamment
20 importantes.

Pour essayer de répondre à ce souhait, il a par exemple été proposé de
former des réseaux grâce à l'auto-organisation des particules, c'est-à-dire grâce
aux interactions qu'ont les particules entre-elles, comme décrit par exemple dans
l'article "*Monodisperse FePt Nanoparticles and Ferromagnetic FePt Nanocrystal*
25 *Superlattices*" de S. Sun et al. dans le magazine Science du 17 mars 2000 (volume
287, pages 1989-1992).

Toutefois, on ne peut généralement pas éviter la présence de défauts
(par exemple des lacunes du réseau - défauts ponctuels - ou des écarts en
translation ou en orientation entre régions du réseau - défauts étendus), ce qui rend
30 impossible en pratique la formation de réseaux sur de grandes distances par la
simple auto-organisation des particules.

Afin d'essayer de contrôler l'organisation des particules sur de plus
grandes distances, il a été proposé de disposer des assemblées de particules
constituant une partie d'un réseau dans des structures lithographiées formées à la

surface d'un substrat. L'article "*Templated Self-Assembly of Block Copolymers: Effect of Substrate Topography*" de J.Y. Chen *et al.* in Adv. Mater. 2003 15, No. 19, October 2, Wiley-VCH Verlag est relatif à des solutions de ce type.

En choisissant des dimensions des structures lithographiées inférieures
5 à la distance séparant classiquement deux défauts du réseau de particules, on obtient au sein de chaque structure lithographiée une assemblée de particules sous forme de réseau qui ne présente pas de défaut si la distance moyenne entre défauts, qui est une donnée statistique, est respectée dans cette assemblée.

Même si cette technique réduit le nombre de défauts, elle ne peut
10 empêcher leur apparition dans certains cas. Par ailleurs, l'extension à proprement parler du réseau est limitée aux dimensions de la structure lithographiée, dont la présence empêche, de plus, l'utilisation de la totalité de la surface disponible.

Il a par ailleurs été proposé d'utiliser un substrat dont les motifs lithographiés présentent une forte interaction avec les particules, à tel point que
15 cette interaction substrat – particule gouverne de manière prédominante la localisation des particules. Dans cette solution, ce sont donc les défauts du substrat, qu'il est naturellement impossible de réaliser de manière parfaite, qui provoqueront les défauts d'organisation du réseau (ce qui pouvait d'ailleurs déjà être le cas dans la solution évoquée précédemment).

20 L'invention vise donc notamment une solution pour l'organisation d'un réseau de particules qui permette d'assurer au mieux la régularité du réseau, et ce également sur de grandes distances.

L'invention propose ainsi un réseau de particules disposées sur un substrat présentant une propriété permettant une interaction du substrat et des
25 particules, caractérisé en ce que ladite propriété est modulée périodiquement selon une première direction en permettant une interaction substantielle entre chacune des particules et ses particules voisines selon la première direction.

La tendance des particules à l'auto-organisation (grâce à leurs interactions) est ainsi combinée à l'effet d'organisation fourni par le substrat, et non
30 dominée par celui-ci, ce qui permet d'assurer une plus grande régularité dans l'organisation du réseau.

Ainsi, en l'absence de modulation de ladite propriété, l'interaction entre chacune des particules et ses particules voisines aurait permis l'auto-organisation locale des particules dans cette première direction.

Pour obtenir ces effets de manière particulièrement efficace, on peut prévoir que l'intensité de l'interaction particule – substrat ne soit pas localement prépondérante devant les interactions particule – particule.

Une seconde propriété permettant une interaction du substrat et des
5 particules, éventuellement identique à ladite propriété, peut en outre être modulée selon une seconde direction en permettant une interaction substantielle entre chacune des particules et ses particules voisines selon la seconde direction.

La grande régularité du réseau précédemment évoquée est ainsi assurée dans les deux directions de la face du substrat.

10 Le réseau peut dans ce cas être carré ou hexagonal. En variante, il peut être hexagonal.

Lorsque les particules sont aptes à s'auto-organiser localement en l'absence de modulation de la propriété avec un pas déterminé selon la première direction, ladite propriété peut être modulée selon la première direction avec une
15 période adaptée audit pas, c'est-à-dire par exemple que ladite période est essentiellement égale audit pas ou à un multiple dudit pas.

Ainsi le réseau de particules peut s'organiser en correspondance avec la modulation de la propriété présentée par le substrat.

Selon une possibilité de mise en œuvre, certaines particules au moins
20 sont formées par un noyau central recouvert par une coquille. Dans ce cas, la coquille participe à l'interaction substrat – particule et/ou à l'interaction particule – particule. La coquille permet alors de faciliter la mise en réseau des noyaux centraux. La coquille peut se déformer pour permettre l'adaptation de la période d'organisation du réseau.

25 Ladite propriété est par exemple liée à la topographie du substrat.

L'interaction du substrat et des particules peut également être une interaction à distance, par exemple du type magnétique ou électrique.

Le réseau de particules peut ne pas être limité à deux dimensions, mais s'étendre également selon une direction essentiellement perpendiculaire à la
30 surface du substrat.

L'invention propose également un procédé de réalisation d'un réseau de particules, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de dépôt de particules, aptes à s'auto-organiser avec un pas déterminé selon une première direction, sur un substrat présentant une propriété permettant une interaction du substrat et des

particules et modulée selon la première direction avec une période adaptée audit pas.

Les particules peuvent être formées préalablement à leur dépôt sur le substrat.

5 Grâce à ce procédé, une interaction substantielle subsiste entre chacune des particules et ses particules voisines et on obtient donc l'effet évoqué plus haut.

Lorsque les particules sont aptes à s'auto-organiser en réseau avec un second pas selon une seconde direction, le substrat peut en outre présenter une seconde propriété permettant une interaction du substrat et des particules
10 (éventuellement identique à ladite propriété) modulée selon la seconde direction avec une période adaptée au second pas.

On obtient ainsi un réseau de particules d'une grande régularité selon deux directions, c'est-à-dire en deux dimensions.

Selon un mode de réalisation envisageable, le procédé peut comprendre
15 une étape de formation de motifs sur le substrat. On réalise ainsi des interactions substrat – particule liées à la topographie du substrat.

En pratique, l'étape de formation de motifs peut comprendre une étape de révélation d'un réseau de dislocations.

En variante, l'étape de formation de motifs peut être réalisée par
20 lithographie ou par une technique de nanoimprint.

Le procédé peut aussi comprendre une étape de dépôt de matière permettant l'élaboration de ladite propriété modulée ou déterminant l'amplitude des modulations de ladite propriété modulée.

Les interactions substrat – particule sont ainsi générées, ou affinées,
25 grâce à la matière déposée.

Les caractéristiques du réseau de particules évoquées plus haut, et les avantages qui en découlent, peuvent aussi être appliquées au procédé de réalisation du réseau qui vient d'être mentionné.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la
30 lumière de la description qui suit, faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :-

- la figure 1 représente en vue de dessus un substrat dans un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 2 représente une section selon la ligne A-A de la figure 1 ;

- la figure 3 représente un réseau de particules disposé sur le substrat de la figure 1 selon le premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 représente une section selon la coupe B-B de la figure 3 ;
- la figure 5 représente le réseau de particules de la figure 3 au niveau d'un défaut dans le substrat ;
- la figure 6 représente le réseau de particules de la figure 3 au niveau d'un défaut dans celui-ci ;
- la figure 7 représente une vue en section d'un substrat selon un second mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 8 représente un réseau de particules disposées sur le substrat de la figure 7 ;
- la figure 9 représente un réseau composé de particules de deux types différents sur le substrat de la figure 7 ;
- la figure 10 représente une section d'un substrat dans un troisième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 11 représente un réseau de particules disposées sur le substrat de la figure 10 ;
- la figure 12 représente une variante de réalisation du substrat de la figure 3 ;
- la figure 13 représente un réseau de particules déposées sur le substrat de la figure 12 ;
- la figure 14 représente une variante de réalisation du réseau représenté à la figure 9 ;
- la figure 15 représente une vue de dessus du réseau de particules représenté à la figure 14.

Dans un premier mode de réalisation présenté à titre d'exemple non limitatif en référence aux figures 1 à 4, on utilise comme particules des nanoparticules d'alliage FePt monodisperses qui ont chacune un diamètre de 6,3 nm et forment un réseau de particules jointives comme détaillé dans la suite.

En variante, il pourrait s'agir d'un réseau de particules non-iointives.

La figure 1 représente schématiquement un substrat destiné à recevoir les particules. La surface du substrat 2 présente un réseau de rainures (ou sillons) formé par un premier ensemble de rainures 4 parallèles entre elles selon une

première direction et un second ensemble de rainures 6 parallèles entre elles selon une seconde direction et perpendiculaires aux rainures 4 du premier ensemble.

Dans chacun des premier et second ensembles de rainures, les rainures 4, 6 sont séparées d'une distance au moins substantiellement égale au pas du réseau de particules dans la direction concernée, ou à un multiple entier de celui-ci.

Par ailleurs, selon une possibilité de réalisation utilisée dans l'exemple décrit ici, la distance séparant les rainures 4 du premier ensemble est identique à la distance séparant les rainures 6 du second ensemble et les rainures 4, 6 forment donc un réseau carré.

En variante, notamment lorsque le pas du réseau de particules n'est pas le même dans la première et la seconde direction, les rainures peuvent former un réseau rectangulaire. Selon une autre variante, on peut utiliser un réseau hexagonal.

Dans l'exemple représenté aux figures 1 à 4, la distance séparant deux rainures parallèles voisines 4, 6 est fixée à 18,9 nm (selon une technique décrite ci-dessous), ce qui correspond donc au triple du pas du réseau jointif formé par les particules de FePt de diamètre 6,3 nm.

En variante, d'autres distances entre rainures parallèles voisines pourraient être utilisées, comme par exemple une distance de 6,3 nm égale au pas du réseau de particules dans le cas étudié ici, ou une distance de 31,5 nm correspondant à cinq fois le pas du réseau de ces mêmes particules.

Un substrat 2 présentant des rainures sous forme de réseau carré de ce type peut être obtenu par exemple par le collage d'un substrat de type silicium sur isolant (ou SOI selon la dénomination anglo-saxonne "*Silicon-On-Insulator*") présentant une couche de silicium d'environ 10 nm d'épaisseur sur un substrat de silicium massif ayant une épaisseur de l'ordre de 500 micromètres, avec rotation relative des axes cristallins des deux surfaces de silicium (1,0,0) à assembler, puis par exemple par la révélation du réseau de dislocations ainsi formé à l'interface des substrats au moyen d'une attaque chimique.

Selon la variante déjà mentionnée, on peut obtenir un réseau hexagonal par collage-selon-le-même-procédé de surfaces de silicium (1,1,1).

De telles techniques sont par exemple décrites dans les articles "*Ultra thin silicon films directly bonded onto silicon wafers*", de F. Fournel et al., in *Materials Science and Engineering B73* (2000) 42-46, Elsevier Science S.A, et

"Controlled surface nanopatterning with buried dislocation arrays", de F. Leroy *et al.* in Surface Science 545 (2003) 221-219, Elsevier B.V.

Selon cette technique, le pas λ du réseau de rainures (c'est-à-dire la distance entre rainures parallèles voisines) est relié à la rotation angulaire Ψ entre

- 5 les deux substrats (ou désorientation) selon la formule $\lambda = \frac{a_{Si}}{2\sqrt{2} \cdot \sin(\Psi / 2)}$, où a_{Si} est le pas du réseau du substrat et vaut 0,5431 nm pour le silicium.

On peut ainsi choisir l'angle Ψ de la désorientation de manière à obtenir la distance λ entre rainures parallèles voisines souhaitée, c'est-à-dire égale au pas du réseau de particules ou à un multiple entier de celui-ci.

- 10 Par exemple, afin d'obtenir une distance séparant deux rainures parallèles voisines (ou pas du réseau de rainures) de 18,9 nm comme dans l'exemple représenté sur les figures 1 à 4, on utilise une désorientation entre les substrat de SOI et de silicium massif de 1,164°.

- 15 Dans les variantes indiquées ci-dessus, on utilise un angle de 3,493° pour obtenir un pas ou période du réseau de rainures de 6,3 nm, et un angle de 0,698° pour obtenir une période de 31,5 nm.

- On peut remarquer que, la résolution angulaire dans les dispositifs utilisés à l'heure actuelle étant de l'ordre de 5 millièmes de degré pour la désorientation entre substrats, la distance entre rainures voisines parallèles
20 obtenue est valable à 0,25 nm près dans le dernier cas évoqué et avec une précision inférieure à 0,1 nm dans les deux premiers cas.

- Une fois les deux substrats assemblés par collage moléculaire avec une rotation relative définie en fonction du pas du réseau de rainures à obtenir, on élimine le substrat du SOI par exemple par polissage mécano-chimique en utilisant
25 la couche d'oxyde de silicium comme couche d'arrêt. On élimine ensuite la couche d'oxyde de silicium par exemple avec une solution d'acide fluorhydrique (HF). On amincit ensuite la couche mince de silicium d'environ 10 nm au moyen d'une attaque chimique sensible aux contraintes induites par les dislocations, comme par exemple une version modifiée de l'attaque de type Yang (HF/CrO₃/H₂O) ou une
30 version modifiée de l'attaque de type Dash (HF/HNO₃/H₂O) comme indiqué dans l'article mentionné en second lieu ci-dessus.

En arrêtant l'attaque chimique au niveau de l'interface de collage (ou juste passée cette interface) grâce à la connaissance de la vitesse d'attaque de la solution utilisée, on révèle le réseau de dislocations créé à l'interface des substrats, ce qui permet d'obtenir le réseau carré de rainures 4, 6 (ou sillons) tel que représenté à la figure 1, qui peut également être vu comme un réseau de protubérances 5.

En variante, on peut se situer dans un cas où on souhaite utiliser une structure complémentaire de celle qui vient d'être décrite, c'est-à-dire avec des protubérances 34 au niveau des sillons précédemment obtenus, comme représenté à la figure 12.

Pour obtenir ce type de structure, on peut procéder comme suit.

Selon une première solution, on fait diffuser un métal (par exemple de l'or) au niveau des dislocations avant l'étape de révélation chimique. On forme ainsi un réseau enterré de régions riches en métal. On procède ensuite à la révélation du réseau de protubérances 34 par exemple par abrasion ionique.

Selon une seconde solution, on réalise un réseau de sillons comme décrit précédemment en référence aux figures 1 et 2, puis on dépose dans ces sillons un matériau dont la vitesse d'abrasion sous faisceau ionique est plus faible que celle du substrat (en utilisant par exemple un métal comme de l'or sur un substrat de silicium). Les protubérances sont ensuite formées par abrasion ionique.

Une fois le substrat préparé, les nanoparticules 8 de FePt sont déposées sur le substrat où elles forment un réseau carré dont la structure est déterminée par la combinaison de l'auto-organisation des particules (due aux interactions entre particules, ici au contact jointif entre celles-ci) et de la localisation d'une partie au moins des particules 8 sur un site préférentiel du substrat 2 (interaction substrat – particules) formé ici par les rainures 4, 6 (ou sillons) du substrat 2 comme illustré sur les figures 3 et 4 (ou par les protubérances 34 dans la variante envisagée aux figures 12 et 13 où l'interaction substrat – particule considérée génère une localisation préférentielle d'une partie des particules 38 sur les protubérances 34).

Une telle structure est par exemple obtenue par la dispersion préalable des nanoparticules 8 de FePt dans une solution d'hexane, le dépôt sur le substrat 2 de cette solution, puis l'évaporation lente de l'hexane.

Par construction, comme indiqué ci-dessus, le pas du réseau carré de rainures 4, 6 présentes à la surface du substrat 2 est sensiblement égal au pas du

réseau auto-organisé des nanoparticules 8, ou à un multiple entier de celui-ci, de telle sorte que l'action combinée de l'auto-organisation entre particules 8 et la tendance à la localisation d'une partie des particules 8 sur les rainures 4, 6 conduit à l'organisation d'un réseau de particules avec une structure sensiblement identique
5 à la structure du réseau que ces particules auraient adopté naturellement localement sur un substrat sans modulation. Les rainures 4, 6 du substrat 2 (ou les protubérances 34 le cas échéant) permettent ainsi d'assurer la régularité de la structure auto-organisée à grande échelle.

On a représenté à la figure 5 un réseau de nanoparticules 8 ayant la
10 structure qui vient d'être décrite et représentée à la figure 4, dans lequel le substrat 2 présente un défaut 3, en l'occurrence l'absence d'une rainure 4.

Du fait que la localisation des particules 8 du réseau n'est pas déterminée uniquement par la présence des rainures 4, mais également par l'interaction avec les autres particules (interaction liée à l'auto-organisation des
15 particules), la particule 7 située au droit du défaut 3 du substrat 2 est correctement située dans le réseau en dépit du défaut de rainure.

De manière analogue, on a représenté à la figure 6 un réseau de nanoparticules du type de celui représenté à la figure 4, dans lequel certaines
20 particules 9 ont une position légèrement décalée par rapport à leur position théorique dans le réseau (ce qui est représenté schématiquement sur la figure 6 par une taille légèrement inférieure pour ces particules 9), qui auraient conduit en l'absence du substrat 2 à un décalage de phase dans le réseau de particules.

Toutefois, grâce à la présence de la rainure 4, la particule voisine des
particules 9 introduisant le décalage est située précisément à l'emplacement
25 déterminé par cette rainure 4, sans décalage de phase par rapport à la particule située au droit de la rainure voisine.

Ainsi, si l'interaction entre particules reste importante pour l'ensemble des particules du réseau, la présence des rainures (et de manière générale l'interaction substrat – particule) permet de corriger un léger décalage de phase qui
30 pourrait être introduit par un défaut dans le réseau de particules pris isolément.

En outre, du fait de l'adaptation du réseau de rainures 4, 6 au pas du réseau de particules auto-organisées dans la première et la seconde directions, l'effet qui vient d'être décrit existe dans les deux directions parallèles à la surface du substrat 2 et celui-ci permet donc d'assurer à grande échelle l'organisation du

réseau de particules dans ces deux directions. La tendance à l'auto-organisation du réseau carré (ou en variante rectangulaire) de particules est donc confortée par la présence des rainures 4, 6 simultanément dans les deux directions de la surface du substrat 2.

5 Les figures 7 à 9 représentent un second mode de réalisation de l'invention qui va à présent être décrit.

Selon ce second mode réalisation, le substrat brut 12 comporte un réseau carré de rainures obtenu de manière analogue au substrat décrit dans le premier mode de réalisation. On réalise sur ce substrat 12 un dépôt dans les
10 rainures ou entre celles-ci d'une matière 4 ayant une affinité particulière avec de premières particules 18 à organiser (comme décrit en détail plus loin).

La surface du substrat destinée à recevoir les particules présente donc un réseau carré de régions formées de cette matière, par exemple des bandes 14 ; on peut remarquer que la surface du substrat ainsi obtenue peut éventuellement
15 dans ce cas être globalement plane, comme représenté à la figure 7.

On dépose sur le substrat qui vient d'être décrit un ensemble de particules 18 d'un premier type qui ont une affinité particulière avec la matière 14 déposée dans les rainures du substrat brut 12. Le pas du réseau auto-organisé de particules est tel que le pas du réseau carré de bandes de matière 14 lui soit
20 adapté, c'est-à-dire que le pas du réseau carré de bandes de matière 14 est approximativement égal au pas du réseau des particules du premier type 18 auto-organisé, ou à un multiple entier de celui-ci.

Grâce à l'affinité de la matière 14 et des particules du premier type 18, certaines de ces particules (une sur deux sur l'exemple représenté) se placent à la
25 localisation préférentielle déterminée par les bandes de matière 14. L'interaction substrat – particule (ici matière 14 – particule 18) est toutefois d'une amplitude telle qu'elle ne remet pas en cause la localisation du reste des particules aux emplacements déterminés par l'auto-organisation du réseau de particules, c'est-à-dire par les interactions entre particules. On obtient ainsi la structure représentée à
30 la figure 8.

La matière 14 peut par exemple être du platine présentant une affinité pour des particules présentant en surface une fonction amine.

Selon une possibilité de réalisation, lorsque l'on souhaite obtenir une structure de réseau en trois dimensions, on peut utiliser le réseau de particules du

premier type 18 comme substrat pour le dépôt et l'organisation en réseau de particules d'un second type 19 éventuellement conformément à l'invention, comme cela est schématiquement représenté sur la figure 9.

En variante, le réseau de particules du premier type 18 peut être utilisé
5 comme masque de gravure (ou masque de dépôt selon une autre variante), afin d'obtenir une deuxième modulation du substrat en vue du dépôt d'un autre réseau de particules.

Selon une autre variante illustrée sur les figures 14 et 15, le réseau de particules du premier type 18 permet la localisation de particules d'un second type
10 17 selon un réseau dont le pas est fixé par la taille des particules du premier type 18.

Un troisième mode de réalisation est représenté sur les figures 10 et 11.

Selon ce troisième mode de réalisation, un dépôt de matière 23 est réalisé sur un substrat 22 présentant un motif de rainures ayant en coupe une allure
15 crénelée. Le dépôt de matière 23 est ici réalisé dans le but de diminuer l'amplitude des variations périodiques de la topographie du substrat.

Selon d'autres modes de réalisation dans lesquels l'interaction substrat – particule est réalisée par d'autres propriétés de celui-ci que sa topographie, on pourrait envisager de manière analogue de diminuer l'amplitude des variations
20 périodiques de cette propriété ; par exemple, lorsque la propriété utilisée est une interaction dont l'amplitude diminue avec la distance (du type interaction électrique ou magnétique), on pourrait ainsi procéder au dépôt d'une couche uniforme pour éloigner légèrement chacune des particules du substrat.

On peut ainsi adapter l'amplitude de la modulation de la propriété du
25 substrat utilisé pour interagir avec les particules afin que cette interaction permette une localisation préférentielle des particules sans toutefois rendre négligeable l'effet des interactions entre particules.

Comme dans les exemples précédents la période des motifs (c'est-à-dire de la topographie du substrat brut), qui n'est pas modifiée par le dépôt de
30 matière 23, est adaptée au pas du réseau de particules qu'il doit recevoir.

Dans l'exemple donné ici, les particules sont constituées par un cœur 28 revêtu d'une coquille 29. Le cœur 28 est par exemple l'élément actif dont on souhaite obtenir la structure en réseau, tandis que la coquille 29 est destinée à faciliter la formation du réseau, par exemple en générant une interaction particule –

particule spécifique et/ou une interaction substrat – particule spécifique (*i.e.*, selon la représentation schématique de la figure 11, une adaptation de la taille du réseau de particules aux motifs du substrat 22, 23), ou encore la génération d'une certaine élasticité dans le réseau de particules autorisant un léger désaccord entre la

5 période du motif présenté par le substrat et la période d'auto-organisation du réseau de particules.

Selon un autre mode possible de réalisation (non représenté), l'interaction substrat – particule peut être une interaction à distance. Dans ce cadre, on peut prévoir de réaliser un réseau enterré d'un matériau conducteur, par

10 exemple selon la solution déjà évoquée pour ce faire, qu'il est possible de charger électriquement afin d'obtenir une certaine polarisation. On peut ainsi obtenir en surface un champ électrique modulé venant agir sur les particules à organiser. La polarisation du réseau peut éventuellement être annulée une fois l'organisation effectuée.

15 Les modes de réalisation qui viennent d'être décrits ne sont que des exemples possibles de réalisation de l'invention. Les différentes caractéristiques de ces modes de réalisation ainsi que celles données à titre de variante pourront notamment être combinées de manière différente des exemples donnés ci-dessus.

REVENDICATIONS

1. Réseau de particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29) disposées sur un substrat (2 ; 12, 14 ; 22, 23) présentant une propriété permettant une interaction du substrat (2 ; 12, 14 ; 22, 23) et des particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29), caractérisé en ce que ladite propriété est modulée périodiquement selon une première direction en permettant une interaction substantielle entre chacune des particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29) et ses particules voisines selon la première direction.
2. Réseau de particules selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une seconde propriété permettant une interaction du substrat (2) et des particules (8) est modulée selon une seconde direction en permettant une interaction substantielle entre chacune des particules (8) et ses particules voisines selon la seconde direction.
3. Réseau de particules selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que les particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29) sont aptes à s'auto-organiser localement en l'absence de modulation de ladite propriété avec un pas déterminé selon la première direction et en ce que ladite propriété est modulée selon la première direction avec une période adaptée audit pas.
4. Réseau de particules selon la revendication 3, caractérisé en ce que ladite période est essentiellement égale audit pas ou à un multiple dudit pas.
5. Réseau de particules selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que certaines particules (28, 29) au moins sont formées par un noyau central (28) recouvert par une coquille (29).
6. Réseau de particules selon la revendication 5, caractérisé en ce que la coquille (29) est apte à se déformer pour permettre l'adaptation de la période d'organisation du réseau.

7. Réseau de particules selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que la coquille (29) participe à l'interaction substrat – particule et/ou à l'interaction particule – particule.

5 8. Réseau de particules selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que ladite propriété est liée à la topographie du substrat (2 ; 22, 23).

9. Réseau de particules selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'interaction du substrat (12, 14) et des particules (18, 19) est une
10 interaction à distance.

10. Réseau de particules selon la revendication 9, caractérisé en ce que l'interaction à distance est du type magnétique ou électrique.

15 11. Réseau de particules selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'il s'étend selon une direction essentiellement perpendiculaire à la surface du substrat (12, 14).

12. Procédé de réalisation d'un réseau de particules, caractérisé en ce
20 qu'il comprend une étape de :

- dépôt de particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29), aptes à s'auto-organiser avec un pas déterminé selon une première direction, sur un substrat (2 ; 12, 14 ; 22, 23) présentant une propriété permettant une interaction du substrat (2 ; 12, 14 ; 22, 23) et des particules (8 ; 18, 19 ; 28, 29) et modulée selon la première direction avec
25 une période adaptée audit pas.

13. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 12, caractérisé en ce que les particules (8) sont aptes à s'auto-organiser en réseau avec un second pas selon une seconde direction et en ce que
30 le substrat (2) présente une seconde propriété permettant une interaction du substrat (2) et des particules (8) modulée selon la seconde direction avec une période adaptée au second pas.

14. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de formation de motifs (4, 6 ; 22, 23) sur le substrat.
- 5 15. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'étape de formation de motifs comprend une étape de révélation d'un réseau de dislocations.
- 10 16. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'étape de formation de motifs est réalisée par lithographie.
- 15 17. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'étape de formation de motifs est réalisée par nanoimprint.
- 20 18. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 17, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de dépôt de matière (14) permettant l'élaboration de ladite propriété modulée.
- 25 19. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 18, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de dépôt de matière (23) déterminant l'amplitude des modulations de ladite propriété modulée.
- 30 20. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 19, caractérisé en ce que ladite période est essentiellement égale audit pas ou à un multiple dudit pas.
21. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 20, caractérisé en ce que certaines particules au moins sont formées par un noyau central (20) recouvert par une coquille (29).

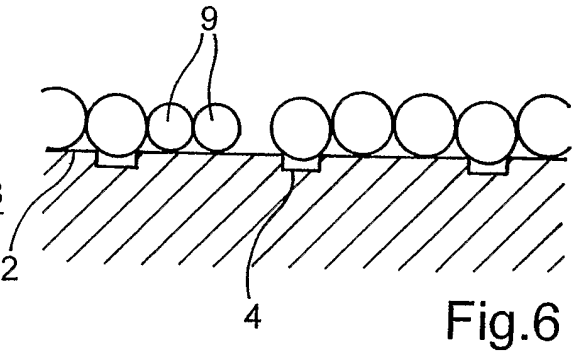
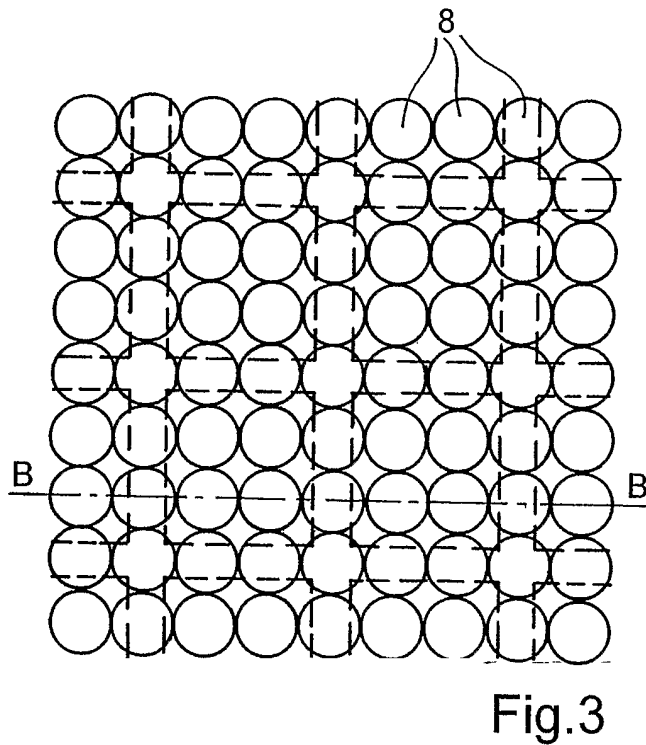
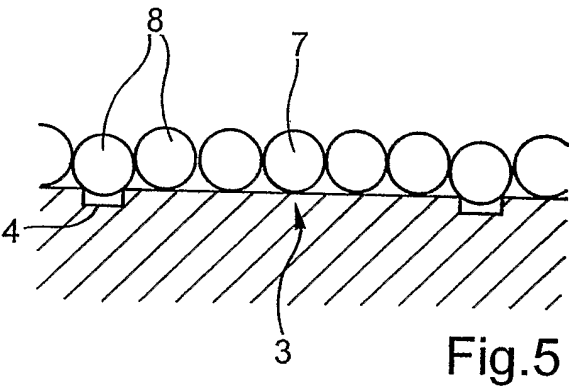
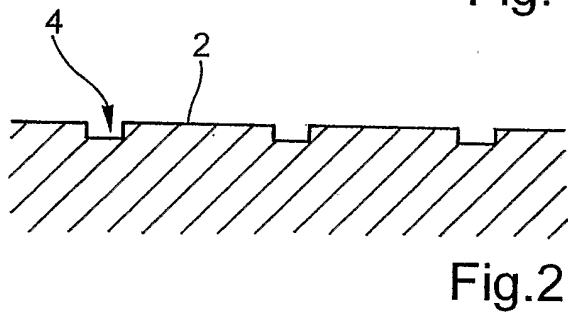
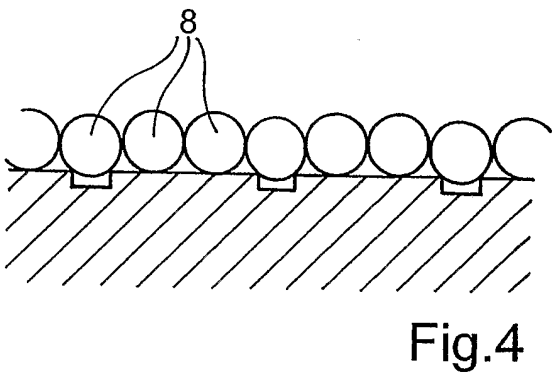
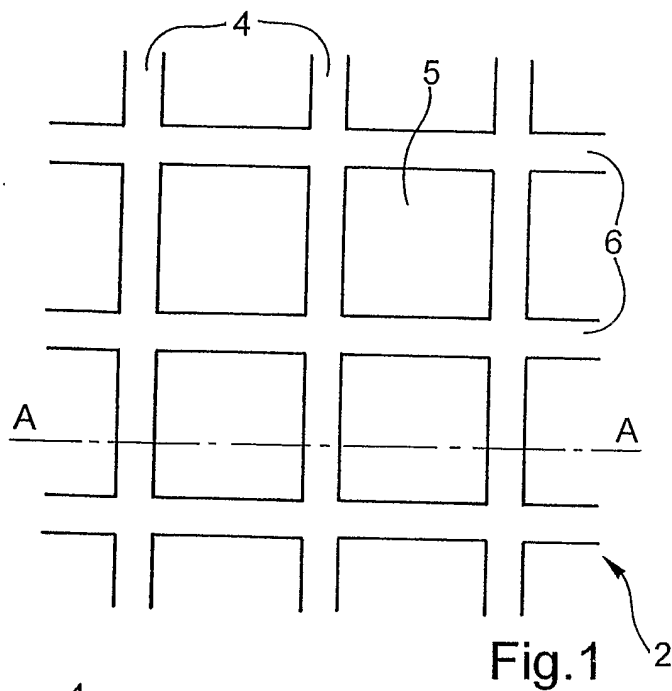
22. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 21, caractérisé en ce que la coquille (29) est apte à se déformer pour permettre l'adaptation de la période d'organisation du réseau.

5 23. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 21 ou 22, caractérisé en ce que la coquille (29) participe à l'interaction substrat – particule et/ou à l'interaction particule – particule.

10 24. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 23, caractérisé en ce que ladite propriété est liée à la topographie du substrat (2 ; 22, 23).

15 25. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon l'une des revendications 12 à 23, caractérisé en ce que l'interaction du substrat (12, 14) et des particules est une interaction à distance.

20 26. Procédé de réalisation d'un réseau de particules selon la revendication 25, caractérisé en ce que l'interaction à distance est du type magnétique ou électrique.



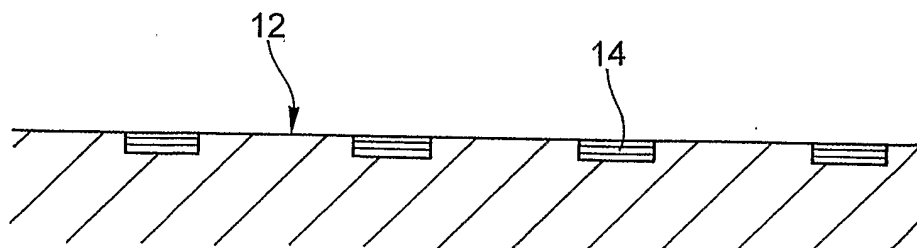


Fig. 7

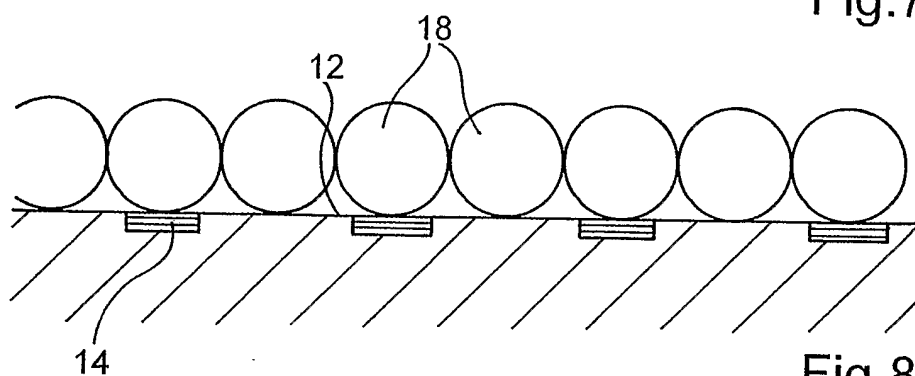


Fig. 8

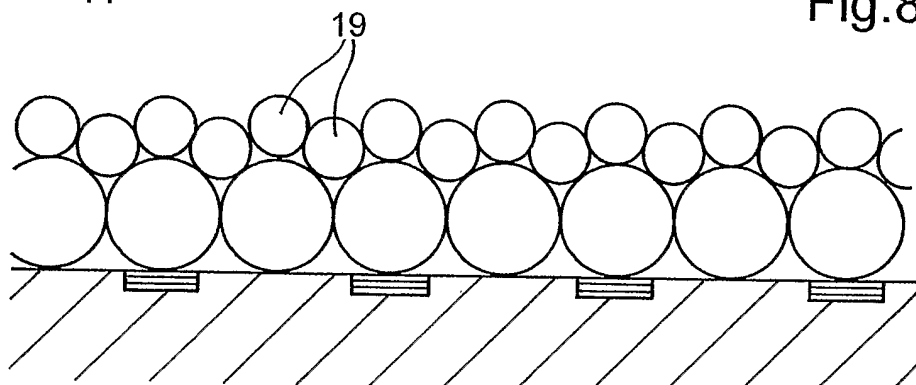


Fig. 9

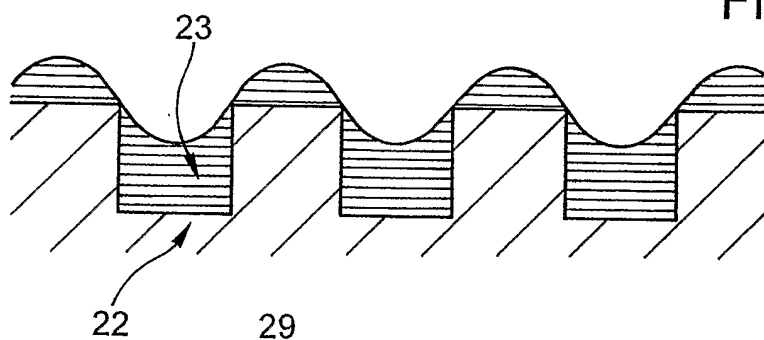


Fig. 10

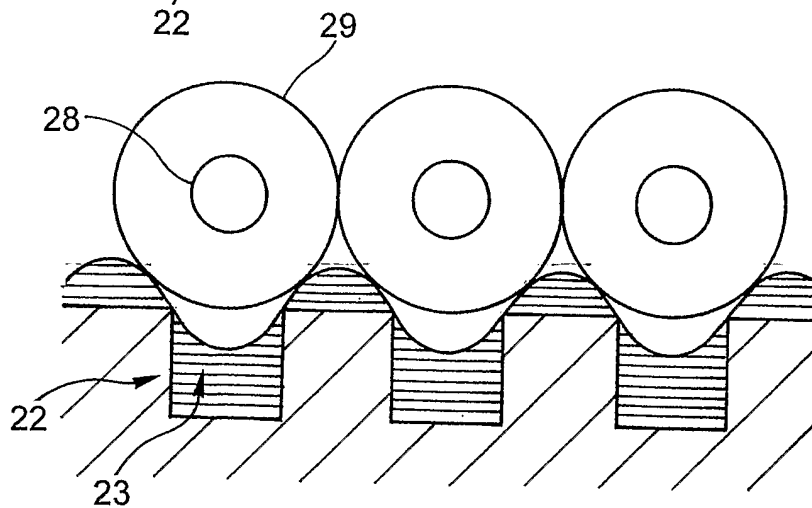


Fig. 11

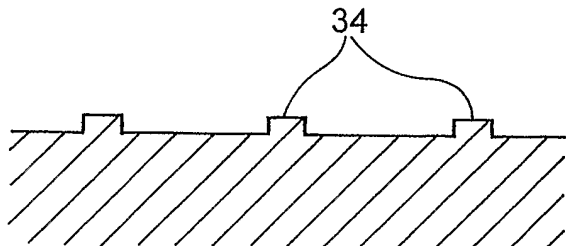


Fig.12

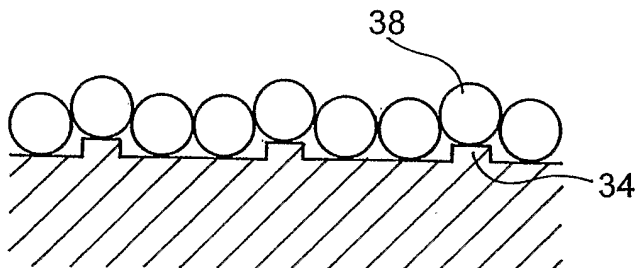


Fig.13

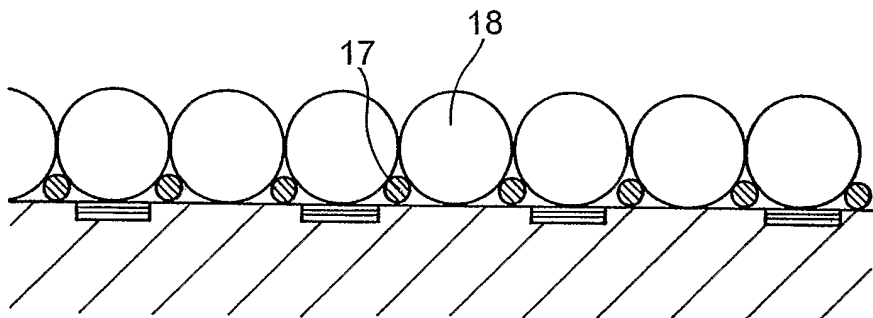


Fig.14

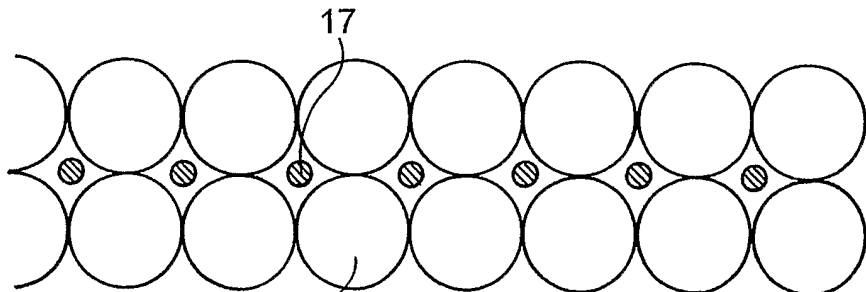


Fig.15