



(11) **EP 3 038 760 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
20.09.2017 Bulletin 2017/38

(51) Int Cl.:
B05D 1/20 ^(2006.01) **B05D 5/08** ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **14781575.7**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/EP2014/071619

(22) Date de dépôt: **09.10.2014**

(87) Numéro de publication internationale:
WO 2015/052272 (16.04.2015 Gazette 2015/15)

(54) **INSTALLATION ET PROCEDE A RENDEMENT AMELIORE DE FORMATION D'UN FILM
COMPACT DE PARTICULES A LA SURFACE D'UN LIQUIDE PORTEUR**

HOCHLEISTUNGS-VORRICHTUNG UND -VERFAHREN ZUR BILDUNG EINES AUS
GEORDNETEN TEILCHEN BESTEHENDEN KOMPAKTEN FILMS AUF DIE OBERFLÄCHE EINER
TRAGENDEN FLÜSSIGKEIT

HIGH EFFICIENCY INSTALLATION AND METHOD FOR FORMING A COMPACT FILM OF
PARTICLES ON THE SURFACE OF A CARRIER LIQUID

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

(30) Priorité: **11.10.2013 FR 1359921**

(43) Date de publication de la demande:
06.07.2016 Bulletin 2016/27

(73) Titulaire: **Commissariat à l'Énergie Atomique
et aux Énergies Alternatives
75015 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:
• **DELLEA, Olivier**
F-42350 La Talaudière (FR)
• **FUGIER, Pascal**
F-38190 Bernin (FR)

(74) Mandataire: **Brevaux**
95, rue d'Amsterdam
75378 Paris Cedex 8 (FR)

(56) Documents cités:
WO-A1-2008/014604 WO-A1-2012/113745
WO-A1-2013/007719 DE-A1- 3 339 780
US-A- 5 885 660 US-A1- 2005 129 867

EP 3 038 760 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

DOMAINE TECHNIQUE

[0001] L'invention se rapporte au domaine des installations et des procédés pour la formation d'un film compact de particules à la surface d'un liquide porteur, le film compact obtenu étant généralement destiné à être déposé sur un substrat, de préférence en défilement.

[0002] Plus précisément, l'invention concerne la formation d'un film compact de particules, également dit film de particules ordonnées, de préférence du type monocouche et dont la taille des particules peut être comprise entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de micromètres. Les particules, de préférence de forme sphérique, peuvent par exemple être des particules de silice.

[0003] L'invention se rapporte à la formation de films compacts simples, ou bien à la formation de films compacts structurés, cette structuration visant à mettre le film en forme afin par exemple d'y intégrer d'autres particules, et/ou des objets. Une autre possibilité consiste à prévoir des zones évidées de particules, entourées par le film qui reste ordonné. Dans le cas de l'intégration d'objets dans le film, il s'agit en particulier de fabriquer des dispositifs à caractère hybride, comme par exemple des capteurs. A titre indicatif, un dispositif hybride associe par définition sur un même substrat des objets ayant diverses fonctions, par exemple électroniques, optiques, électro-optiques, piézo-électriques, thermoélectriques, mécaniques, etc.

[0004] Les objets à intégrer au film de particules sont par exemple :

- des composants électroniques actifs, tels que des transistors, microprocesseurs, circuits intégrés, etc. ;
- des composants passifs de l'électronique, comme des résistances, capacités, diodes, photodiodes, bobines, pistes conductrices, préformes de soudure, etc. ;
- des composants optiques, tels que des lentilles, microlentilles, réseaux de diffraction, filtres, etc. ;
- des piles, micro-piles, micro-batteries, photo-détecteurs, cellules solaires, système RFID, etc. ;
- des particules ou agrégats nano ou micrométriques, actifs ou passifs, par exemple du type oxydes, polymères, métaux, semi-conducteurs, Janus (particules ayant deux faces de natures ou propriétés différentes), nanotubes, etc.

[0005] Plus généralement, l'invention présente des applications dans de nombreux domaines comme les piles à combustible, l'optique, la photonique, le revêtement de polymère, les puces, les MEMs, l'électronique organique et photovoltaïque, les échangeurs de chaleur, les capteurs, la tribologie, etc.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

[0006] De nombreuses techniques sont connues pour la formation et le dépôt de films compacts de particules sur un substrat, ce dernier étant ou non en défilement, et de nature souple ou rigide.

[0007] De manière générale, il est prévu une zone d'accumulation et de transfert alimentée en particules, qui flottent sur un liquide porteur contenu dans cette même zone. Les particules ordonnées dans la zone de transfert, formant une monocouche de particules dite film de faible épaisseur, sont poussées par l'arrivée d'autres particules ainsi que par la circulation du liquide porteur, vers une sortie de cette zone par laquelle elles atteignent le substrat. Elles se déposent ensuite sur le substrat en défilement. Pour ce faire, un pont capillaire assure habituellement la liaison entre le substrat et le liquide porteur contenu dans la zone d'accumulation et de transfert.

[0008] En régime normal de fonctionnement de l'installation, dans la zone d'accumulation et de transfert, les particules sont maintenues ordonnées grâce notamment à la pression exercée en amont par les particules en déplacement destinées à rejoindre ultérieurement cette zone de transfert. La cohésion de l'ordonnement des particules est en outre assurée par des forces faibles de type capillaire ou électrostatique. Lorsque la zone de transfert de particules est reliée vers l'amont à une rampe inclinée sur laquelle défilent les particules issues d'un dispositif de dispense, ce sont ces mêmes particules présentes sur la rampe inclinée qui exercent une pression sur les particules contenues dans la zone de transfert, et qui permettent donc, en coopération avec les forces capillaires de proximité, de conserver l'ordonnement des particules dans cette zone, jusqu'au dépôt sur le substrat, par capillarité ou contact direct.

[0009] A cet égard, il est noté que la technique d'ordonnement des particules par compression est notamment connue du document Lucio Isa et al., "Particle Lithography from Colloidal Self-Assembly at Liquid-Liquid Interfaces", *acs.nano*, VOL. 4 ■ No. 10 ■ 5665-5670 ■ 2010, du document Markus Retsch, « Fabrication of Large-Area, Transferable Colloidal Monolayers Utilizing Self-Assembly at the Air/Water Interface », *Macromol. Chem. Phys.* 2009, 210, 230-241, ou encore du document Maria Bardosova, « The Langmuir-Blodgett Approach to Making Colloidal Photonic Crystals from Silica Spheres », *Adv. Mater.* 2010, 22, 3104-3124. La technique par compression à l'aide d'une rampe inclinée est quant à elle décrite plus précisément dans le document CA 2 695 449. Avec cette technique particulière, c'est l'énergie cinétique associée aux particules en mouvement sur la rampe qui permet à celles-ci de s'ordonner automatiquement sur cette même rampe, lorsqu'elles impactent le front de particules, lui aussi situé sur la rampe inclinée. L'ordonnement est donc établi sur la rampe, puis conservé lorsque les particules ordonnées pénètrent dans la zone de transfert, grâce à l'alimentation en continu des particules venant impacter le

front.

[0010] L'énergie cinétique nécessaire à l'auto-ordonnement des particules est ici amenée par la rampe inclinée transportant le liquide porteur et les particules. A cet égard, il est noté que les particules sont généralement en solution dans le dispositif de dispense. Ce dernier est agencé pour délivrer les particules à la surface du liquide porteur, au niveau d'une zone formant réservoir placée en amont de la rampe inclinée et communiquant avec l'entrée de celle-ci.

[0011] En fonction de la composition de la solution et de celle du liquide porteur, ceux-ci peuvent être non miscibles ou très peu miscibles, et leurs tensions de surface respectives peuvent également différer. C'est notamment le cas lorsque la solution contient un ou plusieurs solvants du type chloroforme ou n-butanol, dont les tensions de surface respectives sont de 26,67 et 24,93 mN/m à 25°C, et que le liquide porteur est de l'eau déionisée avec une tension de surface de l'ordre de 72 mN/m à la même température.

[0012] Dans ce cas, lorsque la solution contenant les particules est dispensée à la surface du liquide porteur présent dans la zone formant réservoir, il survient alors des gradients de tension interfaciale induisant des instabilités hydrodynamiques dont les conséquences sont de fortes variations de l'épaisseur du liquide. Les mouvements de convection observés dans ces conditions sont connus sous le nom d'instabilités de Marangoni.

[0013] Ce phénomène, non linéaire, peut être à l'origine d'un démoillage de la rampe inclinée. En effet, en particulier lorsque le débit d'injection de la solution contenant les particules dépasse un certain seuil, des zones sèches peuvent apparaître sur la rampe inclinée, pourtant censée être mouillée entièrement par le mélange de liquide porteur et de la solution. Ces zones sèches, directement provoquées par les instabilités hydrodynamiques observées en amont dans la zone formant réservoir, perturbent donc de façon durable l'écoulement laminaire du liquide porteur sur la rampe inclinée. En conséquence, l'organisation des particules dans la zone d'accumulation et de transfert peut être profondément altérée.

[0014] Ce phénomène est d'autant plus accentué que le débit de particules en solution est élevé. Ce constat est problématique car l'augmentation du débit de particules permet l'accélération de la vitesse de tirage du substrat, et donc une hausse de rendement. Aussi, il existe un besoin d'optimisation des installations et des procédés décrits ci-dessus, en particulier pour le dépôt à vitesses élevées de films compacts sur substrats en défilement.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0015] L'invention a donc pour but de répondre au moins partiellement au besoin identifié ci-dessus. Pour ce faire, l'invention a tout d'abord pour objet une installation pour la formation d'un film compact de particules

à la surface d'un liquide porteur, l'installation comportant :

- une zone formant réservoir de liquide porteur ;
- une rampe inclinée située dans le prolongement de la zone formant réservoir et sur laquelle les particules sont destinées à circuler par gravité ;
- une zone d'accumulation et de transfert de particules située dans le prolongement de la rampe inclinée ;
- des moyens de mise en mouvement du liquide porteur destinés à le faire circuler de la zone formant réservoir à la zone d'accumulation et de transfert de particules, en passant par la rampe inclinée ; et
- des moyens de dispense des particules en solution, configurés pour dispenser lesdites particules à la surface du liquide porteur dans la zone formant réservoir.

[0016] Selon l'invention, l'installation comporte en outre, agencés au niveau d'une jonction entre la zone formant réservoir et la rampe inclinée, des moyens d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire.

[0017] Aussi, l'invention est remarquable en ce qu'elle prévoit des moyens permettant de surélever localement le niveau de liquide porteur juste avant son entrée sur la rampe inclinée, et ce par effet capillaire compensant le poids de ce liquide porteur. Cette technique permet d'atténuer le phénomène de variation de l'épaisseur du liquide, résultant des gradients de tension interfaciale entre le liquide porteur et la solution comportant les particules. En atténuant les conséquences de ces instabilités hydrodynamiques à l'entrée de la rampe inclinée, les risques de démoillage de celle-ci sont largement réduits. En d'autres termes, le but des moyens d'élévation est d'augmenter le niveau du liquide porteur et donc éloigner les instabilités du fond, et modifier ainsi les lignes de flux du liquide porteur afin de favoriser l'étalement dans la largeur.

[0018] Cela permet avantageusement d'augmenter le débit de particules et d'accélérer la vitesse de tirage du substrat, tout en limitant les risques de défaut d'ordonnement de particules au sein de la zone d'accumulation et de transfert. En d'autres termes, l'installation selon l'invention permet de supprimer/limiter les risques de zones sèches sur la rampe inclinée, tout en fonctionnant avec des rendements élevés.

[0019] L'invention comporte au moins l'une des caractéristiques optionnelles suivantes, prises isolément ou en combinaison.

[0020] Lesdits moyens d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire sont constitués d'une barrière de plots espacés les uns des autres.

[0021] Ces moyens d'élévation peuvent être complétés par une seconde barrière de plot décalée par rapport à la première, selon la direction principale d'écoulement du liquide.

[0022] Les moyens d'élévation peuvent être positionnés par suspension à une pièce, elle-même émergée du

flux, via un peigne par exemple. Aussi, les plots ne touchent pas forcément le fond de la zone formant réservoir.

[0023] Lesdits plots sont implantés avec un pas d'environ 2 à 4 mm. Ils sont de forme générale conique, pyramidale ou tubulaire. D'autres formes peuvent néanmoins être envisagées, notamment une forme cylindrique, avec la section pouvant être carrée, triangulaire, polygonale ou encore une section variable sur la hauteur du plot.

[0024] Les plots sont réalisés en matériau hydrophobe, par exemple en silicone.

[0025] Les plots présentent un rapport entre leur hauteur et leur largeur maximale compris entre 1 et 30.

[0026] Les plots présentent une base de largeur d'environ 2 mm et une hauteur comprise entre 2 et 3 mm.

[0027] Lesdits moyens d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire s'étendent tout le long du liquide porteur, selon une direction transversale de l'installation parallèle à la surface du liquide porteur et orthogonale à une direction principale d'écoulement du liquide porteur de la zone formant réservoir à la zone d'accumulation et de transfert de particules, en passant par la rampe inclinée.

[0028] L'installation comporte un substrat pour le dépôt du film compact de particules, ledit substrat étant en regard d'une sortie de particules de ladite zone d'accumulation et de transfert.

[0029] L'installation est configurée pour assurer un dépôt du film compact de particules sur un substrat en défilement, ledit substrat étant souple ou rigide.

[0030] Selon un autre aspect de l'invention, l'installation comporte en outre une structure pour la déflexion des particules, traversant la surface du liquide porteur dans la zone formant réservoir, ladite structure étant agencée en aval desdits moyens de dispense des particules selon la direction principale d'écoulement du liquide porteur, ladite structure étant configurée pour favoriser, selon la direction transversale de l'installation, un étalement des particules en sortie de la zone formant réservoir, ladite structure pour la déflexion des particules étant perméable au liquide porteur. Aussi, cette structure permet de diviser, répartir et ralentir la progression des perturbations de Marangoni.

[0031] L'invention a également pour objet un procédé de formation d'un film compact de particules à la surface d'un liquide porteur, à l'aide d'une l'installation telle que décrite ci-dessus. Ce procédé comprend une étape de mise en mouvement du liquide porteur de manière à le faire circuler de la zone formant réservoir à la zone d'accumulation et de transfert de particules, en passant par la rampe inclinée, ainsi qu'une étape de dispense des particules en solution à la surface du liquide porteur en mouvement, dans la zone formant réservoir, ladite étape de mise en mouvement du liquide porteur étant réalisée de manière à engendrer, par effet capillaire au niveau desdits moyens d'élévation, un bourrelet de liquide porteur.

[0032] De préférence, le procédé est mis en oeuvre

pour la formation d'un film compact de particules ayant une grande dimension comprise entre 1 nm et 500 μm . à titre d'exemples illustratifs, les particules/colloïdes employées peuvent être du type particules d'oxydes (SiO_2 , ZnO , Al_2O_3 , etc.), polymères (latex, PMMA, polystyrène, etc.) ou métalliques (Au, Cu, alliages, etc.). Même si la gamme de dimension des particules est préférentiellement comprise entre 1 nm et 500 μm , il est également possible d'utiliser des fibres de verre, par exemple de diamètre de 10 μm , et de longueurs allant de 10 à 4000 μm , pourvu qu'elle soit inférieure à la distance séparant deux plots. D'autres particules du type silicium ou feuillets de graphène sont également envisageables, sans sortir du cadre de l'invention.

[0033] De préférence, le liquide porteur est de l'eau déionisée, et lesdites particules se trouvent en solution dans un solvant ayant une tension de surface inférieure à celle de l'eau déionisée, ledit solvant étant de préférence du n-butanol, méthanol, chloroforme, ou un mélange d'au moins deux d'entre eux.

[0034] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront dans la description détaillée non limitative ci-dessous.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

[0035] Cette description sera faite au regard des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 montre une installation selon un mode de réalisation préféré de la présente invention, en coupe schématique prise le long de la ligne I-I de la figure 2 ;
- la figure 2 représente une vue schématique de dessus de l'installation montrée sur la figure 1 ;
- la figure 3 représente une vue en perspective d'un exemple de réalisation de la structure pour la déflexion des particules, équipant l'installation montrée sur les figures précédentes ;
- la figure 4 montre une vue de face agrandie d'une partie de la structure représentée sur la figure précédente ;
- la figure 5 montre une vue schématique de face d'un autre exemple de réalisation de la structure pour la déflexion des particules, équipant l'installation montrée sur les figures 1 et 2 ;
- la figure 6 est une vue similaire à celle de la figure 3, avec la zone formant réservoir réalisée de façon multi-compartmentée ;
- la figure 7 est une vue de dessus de celle montrée sur la figure 6 ;
- la figure 8 est une vue agrandie de côté montrant la barrière de plots espacés équipant l'installation montrée sur les figures 1 et 2 ;
- la figure 9 est une vue de face de celle montrée sur la figure 8 ; et
- les figures 10a à 11b représentent schématiquement différentes étapes d'un procédé de formation et de

dépôt d'un film compact de particules selon un mode de réalisation préféré de l'invention, mis en oeuvre à l'aide de l'installation montrée sur les figures précédentes.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

[0036] En référence tout d'abord aux figures 1 et 2, il est représenté une installation 1 pour la formation d'un film compact de particules et son transfert sur un substrat, de préférence en défilement.

[0037] L'installation 1 comporte des moyens 2 de dispense des particules 4 en solution. Ces particules ont une taille qui peut être comprise entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de micromètres. Les particules, de préférence de forme sphérique, peuvent par exemple être des particules de silice. D'autres particules d'intérêt peuvent être faites de métal ou d'oxyde de métal comme le Platine, le TiO₂, de polymère comme le polystyrène ou le PMMA, de carbone, etc.

[0038] Plus précisément, dans le mode de réalisation préféré, les particules sont des sphères de silice de diamètre compris entre 1 nm et 500 µm, et encore plus préférentiellement de l'ordre de 1 µm. Ces particules 4 sont stockées en solution dans les moyens 2. La proportion du milieu est d'environ 7 g de particules pour 200 ml de solution, ici du type butanol ou chloroforme. Naturellement, pour des raisons de clarté, les particules 4 ont été représentées avec un diamètre supérieur à leur diamètre réel.

[0039] Les moyens de dispense 2 présentent une buse d'injection commandable, d'environ 500 µm de diamètre.

[0040] L'installation comporte également un convoyeur liquide 10, recevant un liquide porteur 16 sur lequel les particules 4 sont destinées à flotter. Le convoyeur 10 intègre une zone formant réservoir 11, une rampe inclinée 12 de circulation des particules, et une zone 14 d'accumulation et de transfert des particules. La rampe 12 se situe dans le prolongement du réservoir 11, c'est-à-dire que son entrée est sensiblement confondue avec la sortie du réservoir. La zone d'accumulation et de transfert 14 se situe quant à elle dans le prolongement de la rampe inclinée, c'est-à-dire que son entrée est sensiblement confondue avec la sortie de la rampe, sur laquelle les particules sont destinées à circuler par gravité. Aussi, la rampe inclinée 12 établit une rupture de niveau entre le réservoir 11 et la zone d'accumulation et de transfert 14. Cette dernière présente un fond sensiblement horizontal, ou bien une légère inclinaison de façon à favoriser la vidange de l'installation, le cas échéant.

[0041] L'extrémité haute de la rampe inclinée 12 est prévue pour recevoir les particules du réservoir 11, préalablement injectées par les moyens de dispense 2. Cette rampe est droite, inclinée d'un angle compris entre 5 et 60°, de préférence entre 10 et 30°, permettant aux particules d'être acheminées vers la zone 14. De plus, le liquide porteur 16 circule sur cette rampe 12, jusque dans

la zone d'accumulation et de transfert 14. Ce liquide 16 est d'ailleurs mis en mouvement par des moyens appropriés, par exemple une pompe 18. Cette pompe de recirculation 18 assure ainsi une mise en mouvement du liquide 16 de façon à le faire circuler du réservoir 11 à la zone d'accumulation et de transfert 14, en passant par la rampe inclinée 12. Néanmoins, il peut alternativement être envisagé de faire circuler un liquide neuf, via un circuit ouvert.

[0042] Le liquide porteur 16 est de préférence de l'eau déionisée, sur laquelle les particules 4 peuvent flotter. Il peut aussi s'agir d'une association de plusieurs liquides non-miscibles. Pour rappel, les solvants du type chloroforme ou n-butanol présentent des tensions de surface de l'ordre de 26,67 et 24,93 mN/m à 25°C, respectivement, tandis que l'eau déionisée présente une tension de surface de l'ordre de 72 mN/m. Les gradients de tension interfaciale résultant de ces différences de valeurs induisent des instabilités hydrodynamiques, qui se traduisent par des mouvements de convection également connus sous le nom d'instabilités de Marangoni. Les conséquences de ces mouvements de convection sont atténuées par des moyens propres à l'invention, qui seront décrits ci-après.

[0043] De retour au convoyeur 10, il est noté que l'extrémité basse de la rampe 12 est raccordée à une entrée de la zone d'accumulation et de transfert de particules 14. Cette entrée 22 se situe au niveau d'une ligne d'inflexion 24 matérialisant la jonction entre la surface du liquide porteur présent sur le plan incliné de la rampe 12, et la surface du liquide porteur présent sur la partie horizontale de la zone 14.

[0044] L'entrée de particules 22 est espacée d'une sortie de particules 26 à l'aide de deux rebords latéraux 28 retenant le liquide porteur 16 dans la zone 14. Ces rebords 28, en regard et à distance l'un de l'autre, s'étendent parallèlement à une direction principale d'écoulement du liquide porteur et des particules dans l'installation, cette direction étant schématisée par la flèche 30 sur les figures 1 et 2. Les rebords 28 s'étendent de préférence sur toute la longueur du convoyeur 10, du réservoir 11 à la zone 14. Ils sont espacés selon une direction transversale 31 de l'installation, parallèle à la surface du liquide 16 et orthogonale à la direction principale d'écoulement 30.

[0045] Les trois éléments 11, 12, 14 du convoyeur 10 présentent donc chacun la forme d'un couloir ou d'un chemin ouvert à son entrée et à sa sortie, même si d'autres géométries pourraient être adoptées, sans sortir du cadre de l'invention.

[0046] Le fond de la partie aval de la zone 14 présente un plateau légèrement incliné vers l'amont par rapport à la direction horizontale, par exemple d'une valeur de l'ordre de 5 à 10°. C'est l'extrémité aval de ce même plateau, également dénommé « blade », qui définit en partie la sortie des particules 26.

[0047] L'installation 1 est également pourvue d'un convoyeur de substrat 36, destiné à mettre le substrat 38 en

défilement. Ce substrat peut être rigide ou souple. Dans ce dernier cas, il peut être mis en mouvement sur un rouleau 40 dont l'axe est parallèle à la sortie 26 de la zone 14, à proximité de laquelle il se situe. En effet, le substrat 38 est destiné à défiler de manière très rapprochée de la sortie 26, afin que les particules atteignant cette sortie puisse être transférées aisément sur ce substrat, via un pont capillaire 42, également dénommé ménisque, qui le relie au liquide porteur 16. Le pont capillaire 42 est assuré entre le liquide porteur 16 qui se situe au niveau de la sortie 26, et une partie du substrat 38 épousant le rouleau de guidage / d'entraînement 40. Alternativement, le substrat peut être au contact directement de la zone de transfert, sans sortir du cadre de l'invention. Le pont capillaire mentionné ci-dessus n'est alors plus requis.

[0048] A titre informatif, dans le cas où le substrat est rigide et les objets à transférer sont également rigides et ne peuvent s'adapter à une rupture d'angle lors du transfert, il peut être avantageux d'immerger le substrat dans le liquide de la zone d'accumulation et de transfert 14, et d'effectuer le tirage dans cette configuration. Ceci permet de maximiser l'angle formé entre le plan horizontal du liquide de la zone 14, et le plan du substrat.

[0049] Dans l'exemple montré sur les figures, la largeur du substrat correspond à la largeur de la zone 14 et de sa sortie 26. Il s'agit d'une largeur qui correspond aussi à la largeur maximale du film de particules qu'il est possible de déposer sur le substrat. Cette largeur peut être de l'ordre de 25 à 30 cm. La largeur du substrat sur lequel doivent être déposées les particules peut cependant être inférieure à la largeur de la zone 14.

[0050] L'installation 1 comporte également une structure 50 pour la déflexion des particules 4, cette structure étant agencée au niveau du réservoir 11, en aval des moyens de dispense 2 selon la direction principale d'écoulement 30.

[0051] La structure de déflexion 50 traverse la surface du liquide porteur 16. Elle est configurée pour favoriser, selon la direction transversale 31, un étalement des particules 4 en sortie du réservoir 11. Pour ce faire, la structure 50 s'étend tout le long du liquide porteur selon la direction transversale 31, entre une première et une seconde extrémité opposées selon cette même direction 31. Elle dispose d'une forme générale définissant au moins une partie convexe 50a vue depuis une sortie du réservoir, les moyens de dispense 2 étant agencés juste en aval de cette partie convexe. Comme cela est le mieux visible sur la figure 2, la structure 50 dispose d'une forme générale parabolique, avec la partie convexe 50a correspondant à son sommet. Aussi, depuis ce sommet, la structure parabolique 50 s'étend vers l'aval et vers les rebords 28 jusqu'à proximité de la sortie du réservoir, ce qui permet d'étaler les particules 4 selon la direction 31 avant que celles-ci n'atteignent la rampe inclinée 12. Au niveau de la sortie du réservoir 11 alimentant la rampe 12, sans cette structure 50, la densité des particules 4 serait plus importante au centre que sur les bords de ce

réservoir 11.

[0052] L'une des particularités de l'invention réside dans le fait que la structure déflexrice 50 est perméable au liquide porteur. Cette fonction est assurée par une alternance, entre ses première et seconde extrémités, d'obstacles 52 et d'espaces 54 séparant ces obstacles. Les figures 3 et 4 montrent un exemple de réalisation dans lequel les obstacles 52 sont des tiges de vis vissées sur une plaque de support 56, reposant par exemple dans le fond du réservoir. Cette plaque 56 est ainsi percée de trous recevant chacun une vis 52, ces trous étant pratiqués le long d'une ligne fictive de forme parabolique, correspondant à celle souhaitée pour la structure 50.

[0053] Les obstacles 52 sont implantés avec un pas « p » d'environ 5 mm. De plus, la structure déflexrice 50 est réalisée de façon à présenter, à la surface du liquide 16, un taux d'ouverture proche de 0,5. Ce taux d'ouverture correspond au rapport entre la somme des longueurs « d1 » des espaces 54, et la somme des longueurs « d1 » et des longueurs « d2 » des tiges de vis 52 correspondant à leur diamètre, par exemple de l'ordre de 3 mm.

[0054] Les tiges de vis 52 et la plaque de support 56 sont préférentiellement réalisées en matériau hydrophobe, par exemple en matériau polymère.

[0055] Aussi, lorsque le liquide 16 est mis en mouvement dans le réservoir 11 en direction de la rampe 12, il passe au travers des espaces 54 et bute contre les tiges de vis 52, de sorte à étaler et ralentir les instabilités de Marangoni. Les risques de démouillage de la rampe 12 sont ainsi considérablement réduits, même lorsque les tensions de surface diffèrent largement entre le liquide porteur et la solution intégrant les particules.

[0056] Selon une alternative de réalisation montrée sur la figure 5, les obstacles 52 pourraient être reliés à un support supérieur 56, à la manière d'un peigne. Le support 56 ne serait alors plus plongé dans le liquide porteur traversé par les tiges 52, mais situé au-dessus de ce liquide en étant par exemple raccordé aux rebords 28 du convoyeur.

[0057] Quelle que soit la solution retenue, celle-ci peut être complétée par la réalisation, dans le réservoir 11 en aval de la structure déflexrice 50, d'au moins un compartiment 60 délimité par une paroi 62 perméable au liquide porteur 16. Un tel arrangement est représenté sur les figures 6 et 7, sur lesquelles le réservoir 11 est multi-compartimenté en aval de la structure déflexrice 50.

[0058] Les parois 62, qui traversent également la surface du liquide 16, permettent de freiner encore davantage la propagation des instabilités hydrodynamiques. Ces parois perméables 62 sont réalisées d'une manière sensiblement identique ou similaire à la structure 50, à savoir par des obstacles et des espaces permettant le passage du liquide porteur. Aussi, toutes les caractéristiques décrites pour la structure 50 sont applicables aux parois 62 délimitant les compartiments 60, dont la superficie à la surface du liquide 16 peut être comprise entre 2 et 500 cm². En particulier, les parois 62 peuvent être

réalisées par des tiges de vis traversant la surface du liquide porteur, et vissées dans des trous correspondants pratiqués à travers la plaque de support 56 portant également la structure déflectrice 50.

[0059] La forme des compartiments 60 peut varier. Dans l'exemple représenté, certaines parois 62, délimitant plusieurs compartiments, présentent une forme parabolique sensiblement homothétique de celle de la structure déflectrice 50.

[0060] Les parois 62 étant agencées en aval des moyens de dispense 2 des particules 4, celles-ci peuvent par conséquent être amenées à traverser ces parois 62 avant d'arriver à l'entrée de la rampe 12.

[0061] Il est noté que les instabilités et les particules peuvent traverser la structure 50 de l'aval vers l'amont. Ceci est un phénomène provisoire puisque le flux de liquide porteur repousse l'ensemble vers le plan incliné, vers l'aval. L'avantage d'une telle situation est de profiter également de la structure 50 amont pour déconfiner d'avantage les instabilités. De plus, le profil de la structure 50, par exemple parabolique, circulaire, en V, sinusoïdal, etc., déforme les lignes de courant en surface pour favoriser l'étalement des particules et instabilités selon la largeur 31.

[0062] Une autre particularité de l'invention réside dans le fait de prévoir, agencés au niveau d'une jonction 73 entre le réservoir 11 et la rampe inclinée 12, des moyens 70 d'élévation du niveau de liquide 16 par effet capillaire. Il est noté que cette jonction 73 entre le réservoir 11 et la rampe 12 se situe au niveau d'un point d'inflexion du liquide entre ces deux éléments du convoyeur 10.

[0063] Ces moyens 70, de préférence réalisés par une barrière transversale de plots 72 espacés les uns des autres, permettant de surélever localement le niveau de liquide porteur 16, juste avant son entrée sur la rampe inclinée 12. Cette barrière est représentée plus en détail sur les figures 8 et 9. Les plots 72 qui la constituent permettent en effet la création d'un bourrelet transversal de liquide 74 à la jonction entre le réservoir 11 et la rampe 12, et ce par effet capillaire compensant le poids de ce liquide porteur. Cette technique, visant à la création du bourrelet 74 en saillie vers le haut, permet d'atténuer encore davantage le phénomène de variation de l'épaisseur du liquide, résultant des gradients de tension interfaciale entre ce liquide 16 et la solution comportant les particules 4. Les risques de démouillage de la rampe 12 sont donc encore réduits par la mise en oeuvre de cet agencement.

[0064] Les plots 72 sont agencés sur toute la largeur du réservoir 11, selon la direction 31. Ils sont implantés avec un pas « p » d'environ 2 à 4 mm. Les plots sont de forme générale conique, avec la base située vers le bas, de largeur / diamètre « d3 » d'environ 2 mm, et une hauteur « h » comprise entre 2 et 3 mm. Ces plots sont réalisés en matériau hydrophobe, par exemple en silicone.

[0065] Un procédé de formation et de dépôt d'un film compact de particules selon un mode de réalisation pré-

féré de l'invention va maintenant être décrit en référence aux figures 10a à 11b.

[0066] Tout d'abord, la buse d'injection 6 est activée pour débiter la dispense des particules 4 dans le réservoir 11. Il s'agit de mettre en oeuvre une étape initiale de remplissage de la zone d'accumulation et de transfert 14, par les particules 4, avec le liquide porteur 16 déjà au niveau requis dans la zone 14. Cette étape est schématisée sur les figures 10a et 10b.

[0067] Durant cette phase d'amorçage, les particules dispensées 4 sont guidées par la structure 50 et traversent les compartiments lorsque ceux-ci sont prévus dans le réservoir 11, avant d'atteindre la rampe 12. Les particules 4 pénètrent ensuite dans la zone 14 dans laquelle elles se dispersent.

[0068] Au fur et à mesure que les particules 4 sont injectées et pénètrent dans la zone d'accumulation et de transfert 14, elles viennent en butée contre le substrat 38, puis le front amont de ces particules a tendance à se décaler vers l'amont, en direction de la ligne d'inflexion 24. L'injection de particules est poursuivie même après que ce front amont ait dépassé la ligne 24, afin qu'il remonte sur la rampe inclinée 12.

[0069] Effectivement, il est fait en sorte que le front amont de particules 55 remonte sur la rampe 12 de manière à ce qu'il se situe à une distance horizontale « d4 » donnée de la ligne d'inflexion 24, comme montré sur la figure 11a. La distance « d4 » peut être de l'ordre de 30 mm.

[0070] A cet instant représenté sur les figures 11a et 11b, les particules 4 sont ordonnées dans la zone 14 et sur la rampe 12, sur laquelle elles s'ordonnent automatiquement, sans assistance, grâce notamment à leur énergie cinétique et aux forces capillaires mises à profit au moment de l'impact sur le front 55. L'ordonnement est tel que le premier film compact obtenu présente une structure dite « hexagonale compacte » dans le cas de sphères, dans laquelle chaque particule 4 est entourée et contactée par six autres particules 4 en contact entre elles. Il est alors indifféremment parlé de film compact de particules, ou de film de particules ordonnées.

[0071] Une fois que les particules ordonnées 4 formant le film recouvrent l'intégralité du liquide porteur situé dans la zone 14, il peut être procédé à une étape de structuration de ce film, qui ne sera pas détaillée ici, mais qui est connue de l'homme du métier. Elle consiste par exemple en la mise en place d'objets sur le film compact.

[0072] Ensuite, il est procédé à la mise en mouvement du substrat 38, initié dès que le front 55 a atteint le niveau requis représenté sur la figure 11a, et après l'éventuel processus de structuration évoqué ci-dessus. Alternativement, la structuration pourrait s'effectuer après le dépôt du film sur le substrat, sans sortir du cadre de l'invention.

[0073] Lorsque le substrat 38 commence à défiler, le film de particules 4 s'y dépose en passant à travers la sortie 26 et en empruntant le pont capillaire 42, à la manière de celle décrite dans le document CA 2 695 449.

Une solution par contact plutôt que par pont capillaire est également envisageable, sans sortir du cadre de l'invention.

[0074] Pour faciliter le dépôt et l'adhérence des particules 4 sur le substrat 38, de préférence réalisé en polymère, il est prévu un recuit thermique postérieurement au transfert. Ce recuit thermique est par exemple réalisé à 80°C, en utilisant un film mat de laminage basse température à base de polyester, par exemple commercialisé sous la référence PERFEX-MATTT™, d'épaisseur 125µm.

[0075] L'avantage d'un tel film en tant que substrat est que l'une de ses faces devient collante à la température de l'ordre de 80°C, ce qui permet de faciliter l'adhérence des particules 4 sur celle-ci. Plus précisément, à cette température, les particules 4 s'enfoncent dans le film ramolli 38, et permettent ainsi un contact direct avec le film, qui conduit à leur collage.

[0076] Alternativement, le substrat 38 peut être du type silicium, verre, ou encore film piézoélectrique.

[0077] Au cours de la formation du film et du transfert, l'injection de particules et la vitesse de défilement du substrat sont réglées de sorte que le front de particules reste dans une position sensiblement identique. Pour ce faire, le débit de particules peut être de l'ordre de 0,1 ml/min à plusieurs ml/min, tandis que la vitesse linéaire du substrat 38, également dénommée vitesse de tirage, peut être de l'ordre de 0,1 cm/min à 100 cm/min. Cette vitesse de tirage élevée, qui peut être supérieure de plus de 30% par rapport aux vitesses maximales possibles avec les installations de l'art antérieur, est obtenue en particulier grâce à la circulation du liquide porteur à travers la structure déflectrice perméable 50, et grâce à la réalisation, par effet capillaire, du bourrelet de liquide avant son introduction sur la rampe inclinée 12.

[0078] Bien entendu, diverses modifications peuvent être apportées par l'homme du métier à l'invention qui vient d'être décrite, uniquement à titre d'exemples non limitatifs.

Revendications

1. Installation (1) pour la formation d'un film compact de particules (4) à la surface d'un liquide porteur (16), l'installation comportant :

- une zone (11) formant réservoir de liquide porteur ;
- une rampe inclinée (12) située dans le prolongement de la zone formant réservoir et sur laquelle les particules sont destinées à circuler par gravité ;
- une zone d'accumulation et de transfert de particules (14) située dans le prolongement de la rampe inclinée ;
- des moyens (18) de mise en mouvement du liquide porteur destinés à le faire circuler de la

zone formant réservoir à la zone d'accumulation et de transfert de particules, en passant par la rampe inclinée ; et

- des moyens de dispense (2) des particules en solution, configurés pour dispenser lesdites particules (4) à la surface du liquide porteur dans la zone formant réservoir (11),

caractérisée en ce qu'elle comporte en outre, agencés au niveau d'une jonction (73) entre la zone formant réservoir (11) et la rampe inclinée (12), des moyens (70) d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire.

2. Installation selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** lesdits moyens (70) d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire sont constitués d'une barrière de plots (72) espacés les uns des autres.

3. Installation selon la revendication 2, **caractérisée en ce que** lesdits plots (72) sont implantés avec un pas d'environ 2 à 4 mm.

4. Installation selon la revendication 2 ou la revendication 3, **caractérisée en ce que** les plots (72) sont de forme générale conique, pyramidale ou tubulaire.

5. Installation selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, **caractérisée en ce que** les plots (72) sont réalisés en matériau hydrophobe, par exemple en silicone.

6. Installation selon l'une quelconque des revendications 2 à 5, **caractérisée en ce que** les plots (72) présentent un rapport entre leur hauteur et leur largeur maximale compris entre 1 et 30.

7. Installation selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, **caractérisée en ce que** les plots (72) présentent une base de largeur d'environ 2 mm et une hauteur comprise entre 2 et 3 mm.

8. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce que** lesdits moyens (70) d'élévation du niveau de liquide porteur par effet capillaire s'étendent tout le long du liquide porteur (16), selon une direction transversale (31) de l'installation parallèle à la surface du liquide porteur et orthogonale à une direction principale (30) d'écoulement du liquide porteur de la zone formant réservoir (11) à la zone d'accumulation et de transfert de particules (14), en passant par la rampe inclinée (12).

9. Installation selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisée en ce qu'elle** comporte un substrat (38) pour le dépôt du film compact

de particules, ledit substrat étant en regard d'une sortie de particules (26) de ladite zone d'accumulation et de transfert (14).

10. Installation selon la revendication 9, **caractérisée en ce qu'**elle est configurée pour assurer un dépôt du film compact de particules (4) sur un substrat en défilement, ledit substrat étant souple ou rigide. 5
11. Procédé de formation d'un film compact de particules (4) à la surface d'un liquide porteur (16), à l'aide d'une l'installation (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**il comprend une étape de mise en mouvement du liquide porteur (16) de manière à le faire circuler de la zone formant réservoir (11) à la zone d'accumulation et de transfert de particules (14), en passant par la rampe inclinée (12), ainsi qu'une étape de dispense des particules (4) en solution à la surface du liquide porteur en mouvement, dans la zone formant réservoir, ladite étape de mise en mouvement du liquide porteur étant réalisée de manière à engendrer, par effet capillaire au niveau desdits moyens d'élévation (70), un bourrelet de liquide porteur (74). 10 15 20 25
12. Procédé selon la revendication 12, **caractérisé en ce qu'**il est mis en oeuvre pour la formation d'un film compact de particules ayant une grande dimension comprise entre 1 nm et 500 µm. 30
13. Procédé selon la revendication 12 ou la revendication 13, **caractérisé en ce que** le liquide porteur (16) est de l'eau déionisée, et **en ce que** lesdites particules (4) se trouvent en solution dans un solvant ayant une tension de surface inférieure à celle de l'eau déionisée, ledit solvant étant de préférence du n-butanol, méthanol, chloroforme, ou un mélange d'au moins deux d'entre eux. 35 40

Patentansprüche

1. Anlage (1) zum Bilden eines kompakten Partikelfilms (4) an der Oberfläche einer Trägerflüssigkeit (16), wobei die Anlage enthält: 45
 - einen einen Vorratsbehälter für die Trägerflüssigkeit bildenden Bereich (11);
 - eine geneigt verlaufende Rampe (12), die sich in der Verlängerung des Vorratsbehälterbereichs befindet und auf welcher die Partikel mittels Schwerkraft strömen sollen;
 - einen Bereich (14) zum Ansammeln und Überführen von Partikeln, der sich in der Verlängerung der geneigt verlaufenden Rampe befindet; 50
 - Mittel (18) zum Fortbewegen der Trägerflüssigkeit, die dazu bestimmt sind, sie von dem Vorratsbehälterbereich zum Partikelsammel- und

Überführungsbereich weiterzuleiten, indem sie über die geneigt verlaufende Rampe strömen; und

- Mittel (2) zum Bereitstellen von Partikeln in Lösung, die dazu ausgelegt sind, die Partikel (4) an der Oberfläche der Trägerflüssigkeit in dem Vorratsbehälterbereich (11) bereitzustellen,

dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner im Bereich einer Verbindung (73) zwischen dem Vorratsbehälterbereich (11) und der geneigt verlaufenden Rampe (12) angeordnete Mittel (70) zum Anheben des Pegels der Trägerflüssigkeit durch Kapillareffekt enthält.

2. Anlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (70) zum Anheben des Pegels der Trägerflüssigkeit durch Kapillareffekt aus einer Barriere von Klötzen (72) bestehen, die voneinander beabstandet sind.
3. Anlage nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klötze (72) mit einer Teilung von etwa 2 bis 4 mm eingesetzt sind.
4. Anlage nach Anspruch 2 oder Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klötze (72) eine konische, pyramidenartige oder rohrförmige Form haben.
5. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klötze (72) aus wasserabweisendem Material, beispielsweise aus Silikon, hergestellt sind.
6. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klötze (72) ein Verhältnis von ihrer Höhe zu ihrer maximalen Breite zwischen 1 und 30 aufweisen.
7. Anlage nach einem der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Klötze (72) eine Grundfläche mit der Breite von etwa 2 mm und einer Höhe zwischen 2 und 3 mm aufweisen.
8. Anlage nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mittel (70) zum Anheben des Pegels der Trägerflüssigkeit durch Kapillareffekt sich über die gesamte Trägerflüssigkeit (16) in einer Querrichtung (31) der Anlage parallel zur Oberfläche der Trägerflüssigkeit und orthogonal zu einer Hauptströmungsrichtung (30) der Trägerflüssigkeit von dem Vorratsbehälterbereich (11) zum Partikelsammel- und Überführungsbereich (14) erstrecken und dabei über die geneigte Rampe (12) treten.
9. Anlage nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass sie ein Substrat (38) zum Aufbringen des kompakten Partikelfilms aufweist, wobei das Substrat einem Partikelaustritt (26) des Sammel- und Überführungsbereichs (14) gegenüberliegt.

10. Anlage nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie dazu ausgelegt ist, ein Aufbringen des kompakten Partikelfilms (4) auf ein vorbeilaufendes Substrat sicherzustellen, wobei das Substrat nachgiebig oder starr ist.

11. Verfahren zum Bilden eines kompakten Partikelfilms (4) an der Oberfläche einer Trägerflüssigkeit (16) mit Hilfe einer Anlage (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** es einen Schritt des Fortbewegens der Trägerflüssigkeit (16) umfasst, so dass diese von dem Vorratsbehälterbereich (11) zum Partikelsammel- und Überführungsbereich (14) weitergeleitet wird und dabei über die geneigt verlaufende Rampe (12) strömt, sowie einen Schritt des Bereitstellens der Partikel (4) in Lösung an der Oberfläche der sich fortbewegenden Trägerflüssigkeit in dem Vorratsbehälterbereich, wobei der Schritt des Fortbewegens der Trägerflüssigkeit so erfolgt, dass durch Kapillareffekt im Bereich der Anhebemittel (70) ein Trägerflüssigkeitssaum (74) erzeugt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** es zum Ausbilden eines kompakten Partikelfilms mit einer größeren Abmessung zwischen 1 nm und 500 µm durchgeführt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12 oder Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trägerflüssigkeit (16) entionisiertes Wasser ist und dass die Partikel (4) in Lösung in einem Lösungsmittel vorliegen, das eine geringere Oberflächenspannung als das entionisierte Wasser hat, wobei das Lösungsmittel vorzugsweise n-Butanol, Methanol, Chloroform oder ein Gemisch aus zumindest zweien davon ist.

Claims

1. Installation (1) for forming a compact film of particles (4) on the surface of a carrier fluid (16), the installation including:

- a zone (11) acting as a carrier fluid reservoir;
- an inclined ramp (12) situated extending from the zone acting as a reservoir and whereon the particles are intended to circulate gravitationally;
- a particle storage and transfer zone (14) situated extending from the inclined ramp;
- means (18) for moving the carrier fluid intended to make it circulate from the zone acting as a

reservoir to the particle storage and transfer zone, via the inclined ramp; and

- means (2) for dispensing the particles in solution, configured to dispense said particles (4) on the surface of the carrier fluid in the zone acting as a reservoir (11),

characterised in that it further comprises, arranged at a junction (73) between the zone acting as a reservoir (11) and the inclined ramp (12), means (70) for raising the level of the carrier fluid by the capillary effect.

2. Installation according to claim 1, **characterised in that** said means (70) for raising the level of carrier fluid by the capillary effect consist of a barrier of contacts (72) spaced out from one another.

3. Installation according to claim 2, **characterised in that** said contacts (72) are fitted with an interval of approximately 2 to 4 mm.

4. Installation according to claim 2 or claim 3, **characterised in that** the contacts (72) have an overall conical, pyramidal or tubular shape.

5. Installation according to any one claims 2 to 4, **characterised in that** the contacts (72) are made of hydrophobic material, for example silicone.

6. Installation according to any one of claims 2 to 5, **characterised in that** the contacts (72) have a ratio between the height and maximum width thereof between 1 and 30.

7. Installation according to any one of claims 2 to 6, **characterised in that** the contacts (72) have a base approximately 2 mm in width and between 2 and 3 mm in height.

8. Installation according to any one of the preceding claims, **characterised in that** said means (70) for raising the level of the carrier fluid by the capillary effect extend all along the carrier fluid (16), along a transverse direction (31) of the installation parallel with the surface of the carrier fluid and orthogonal to a main flow direction (30) of the carrier fluid from the zone acting as a reservoir (11) to the particle storage and transfer zone (14), via the inclined ramp (12).

9. Installation according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it includes a substrate (38) for depositing the compact film of particles, said substrate facing an outlet of particles (26) from said storage and transfer zone (14).

10. Installation according to claim 9, **characterised in that** it is configured to carry out deposition of the

compact film of particles (4) on a conveyed substrate, said substrate being flexible or rigid.

11. Method for forming a compact film of particles (4) on the surface of a carrier fluid (16), using an installation (1) according to any one of the preceding claims, **characterised in that** it comprises a step for moving the carrier fluid (16) so as to make it circulate from the zone acting as a reservoir (11) to the particle storage and transfer zone (14), via the inclined ramp (12), and a step for dispensing the particles (4) in solution on the surface of the moving carrier fluid, in the zone acting as a reservoir, said step for moving the carrier fluid being carried out so as to generate, by the capillary effect at said raising means (70), a bulge of carrier fluid (74). 5 10 15
12. Method according to claim 11, **characterised in that** it is used for forming a compact film of particles having a large size between 1 nm and 500 μm . 20
13. Method according to claim 11 or claim 12, **characterised in that** the carrier fluid (16) is deionised water, and **in that** said particles (4) are found in solution in a solvent having a surface tension less than that of deionised water, said solvent being preferably n-butanol, methanol, chloroform, or a mixture of at least two thereof. 25 30 35 40 45 50 55

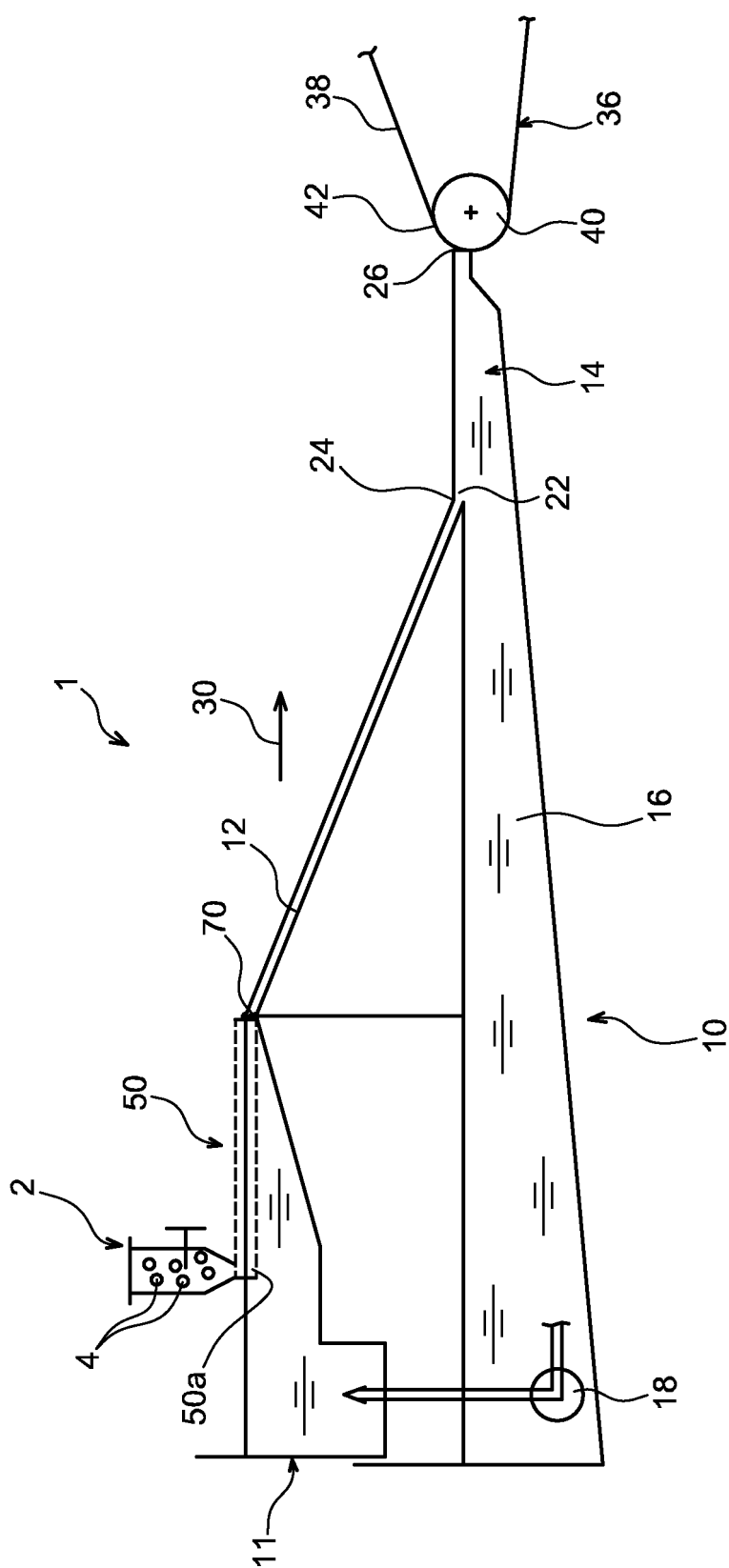


FIG. 1

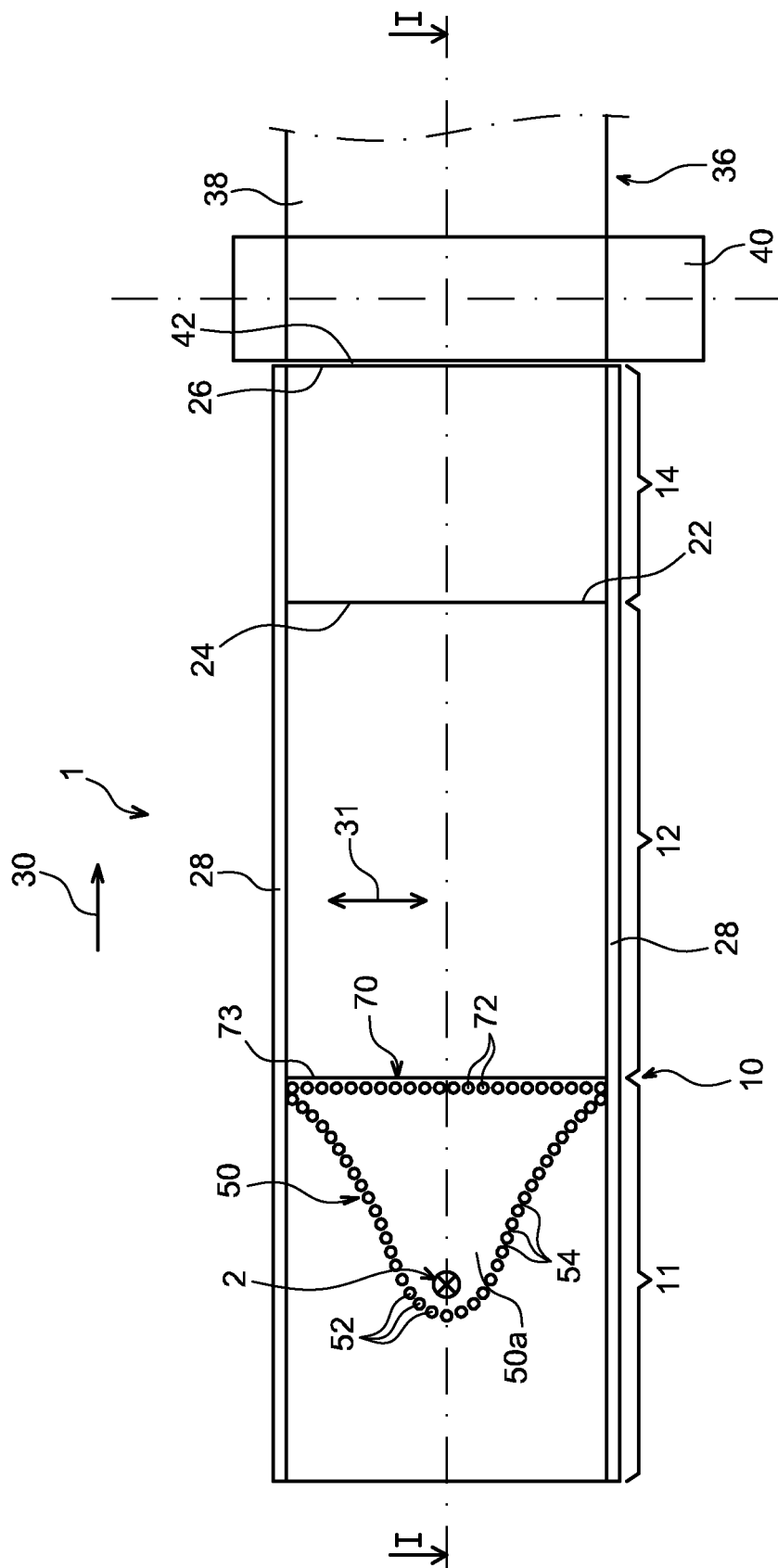


FIG. 2

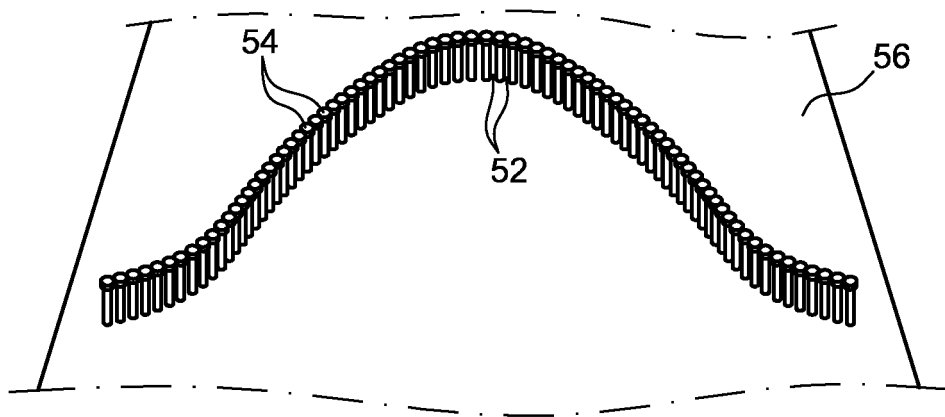


FIG. 3

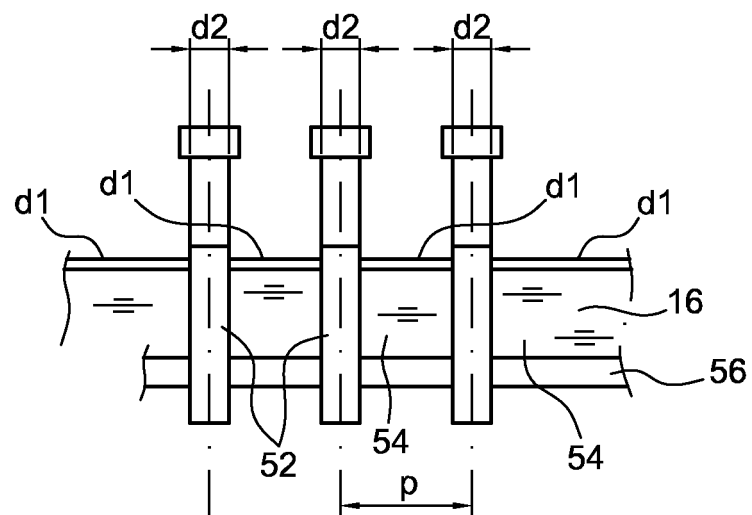


FIG. 4

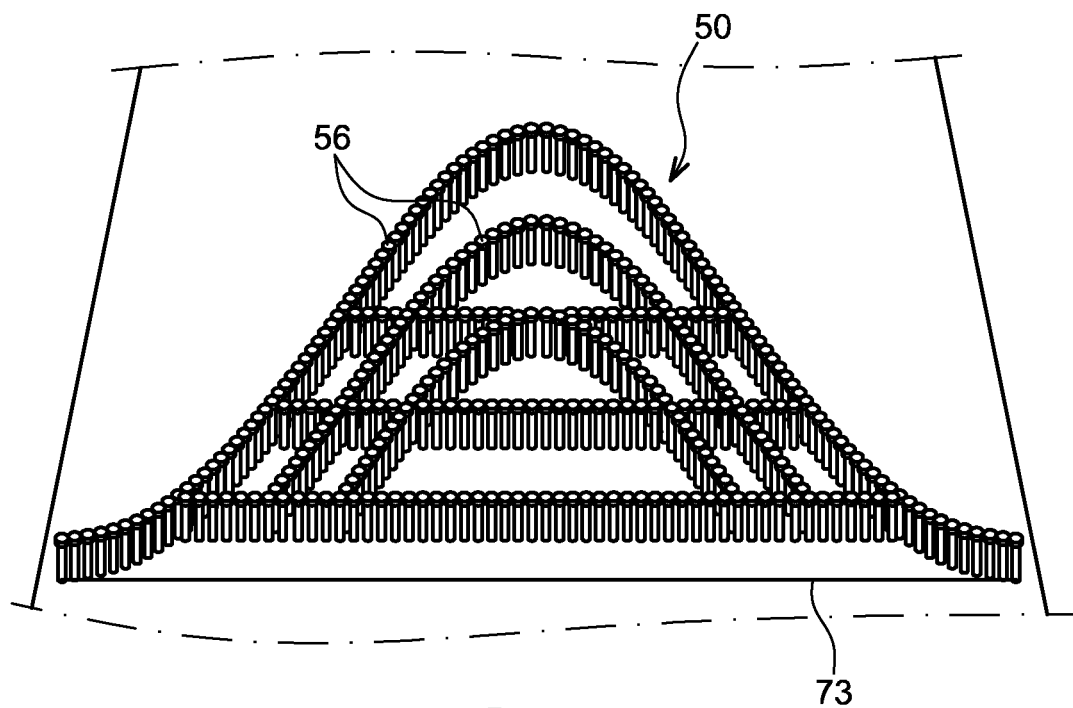
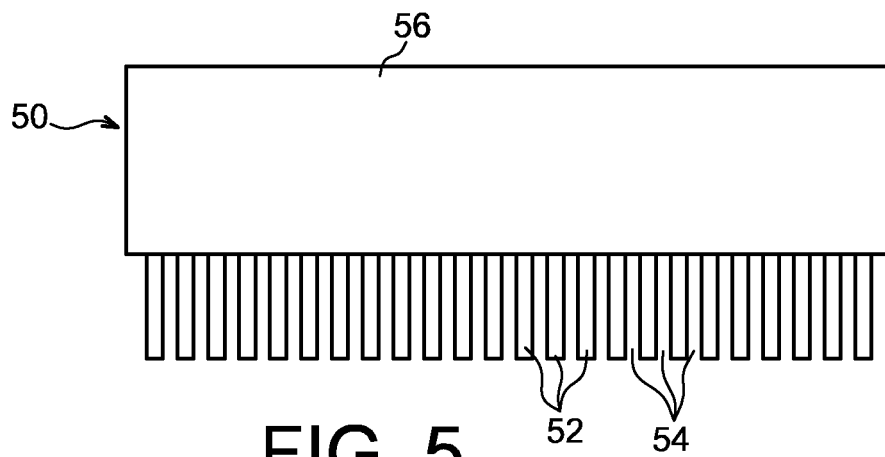
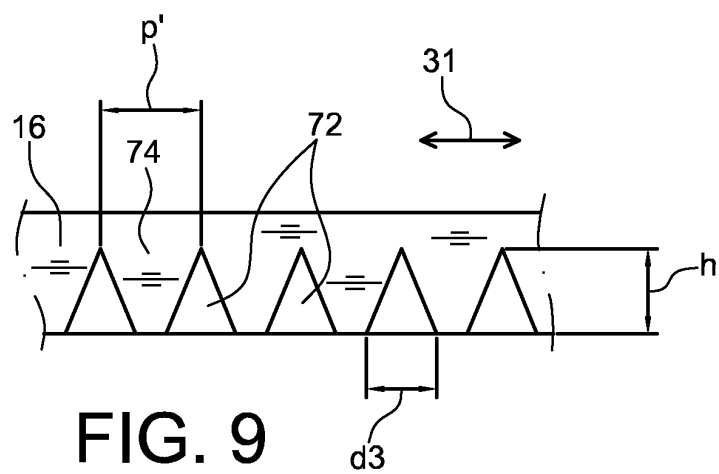
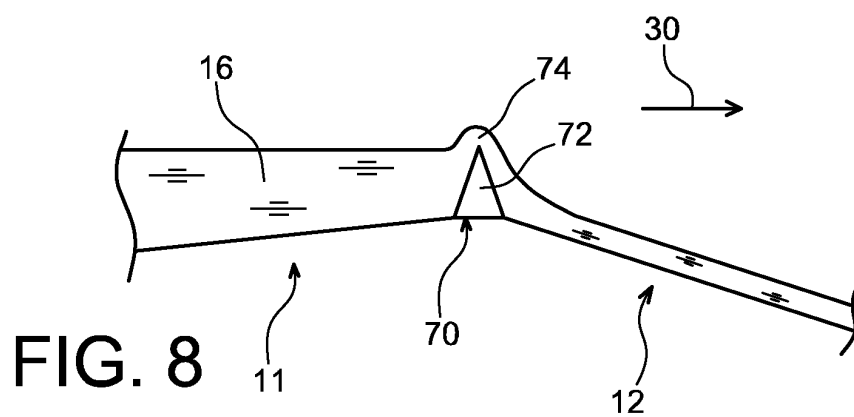
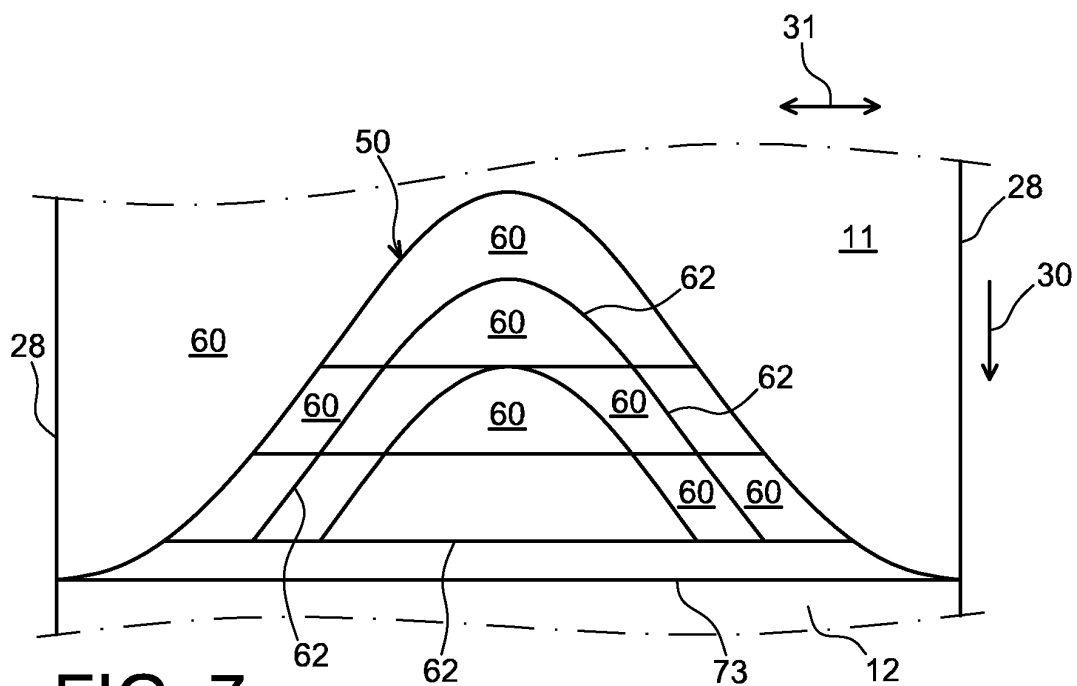


FIG. 6



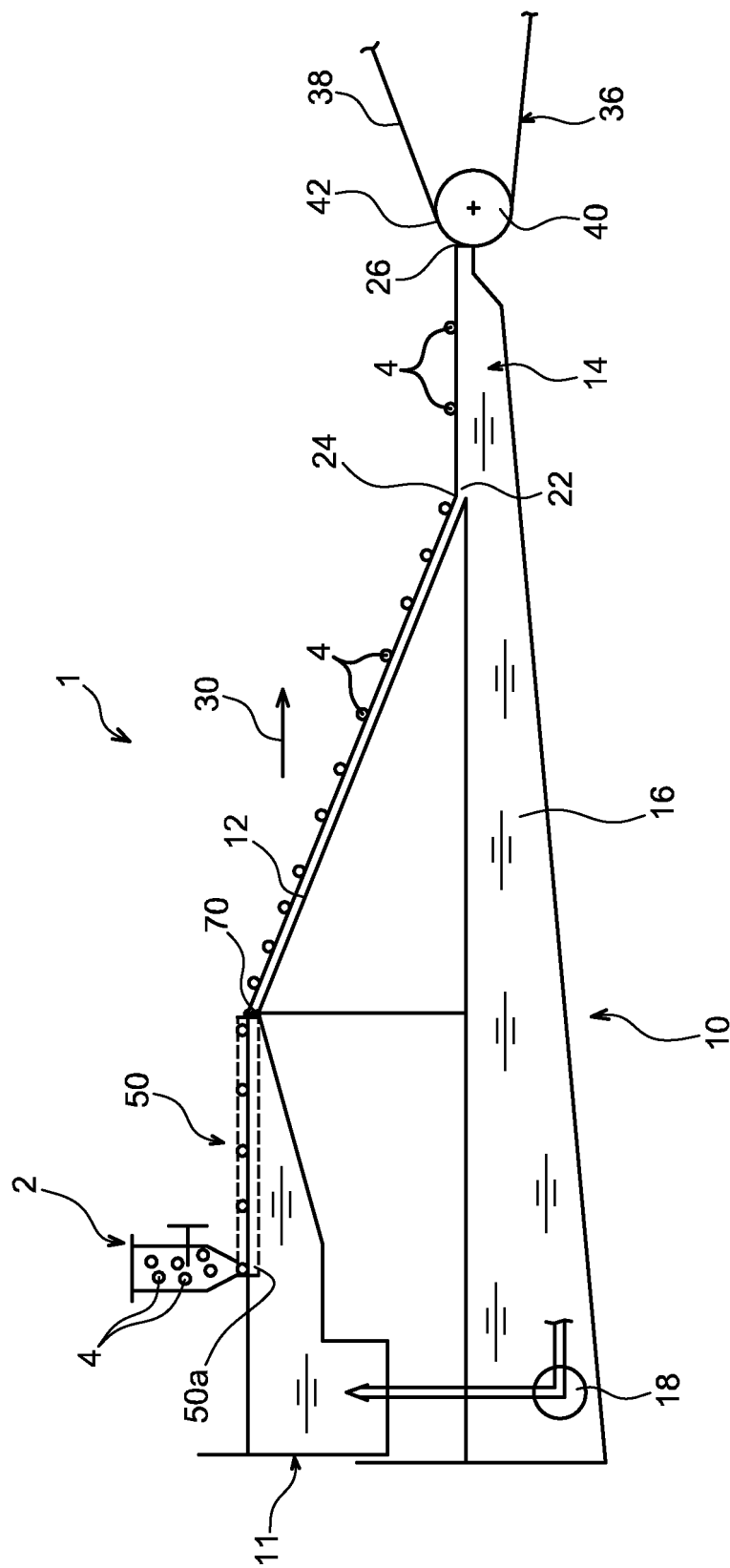
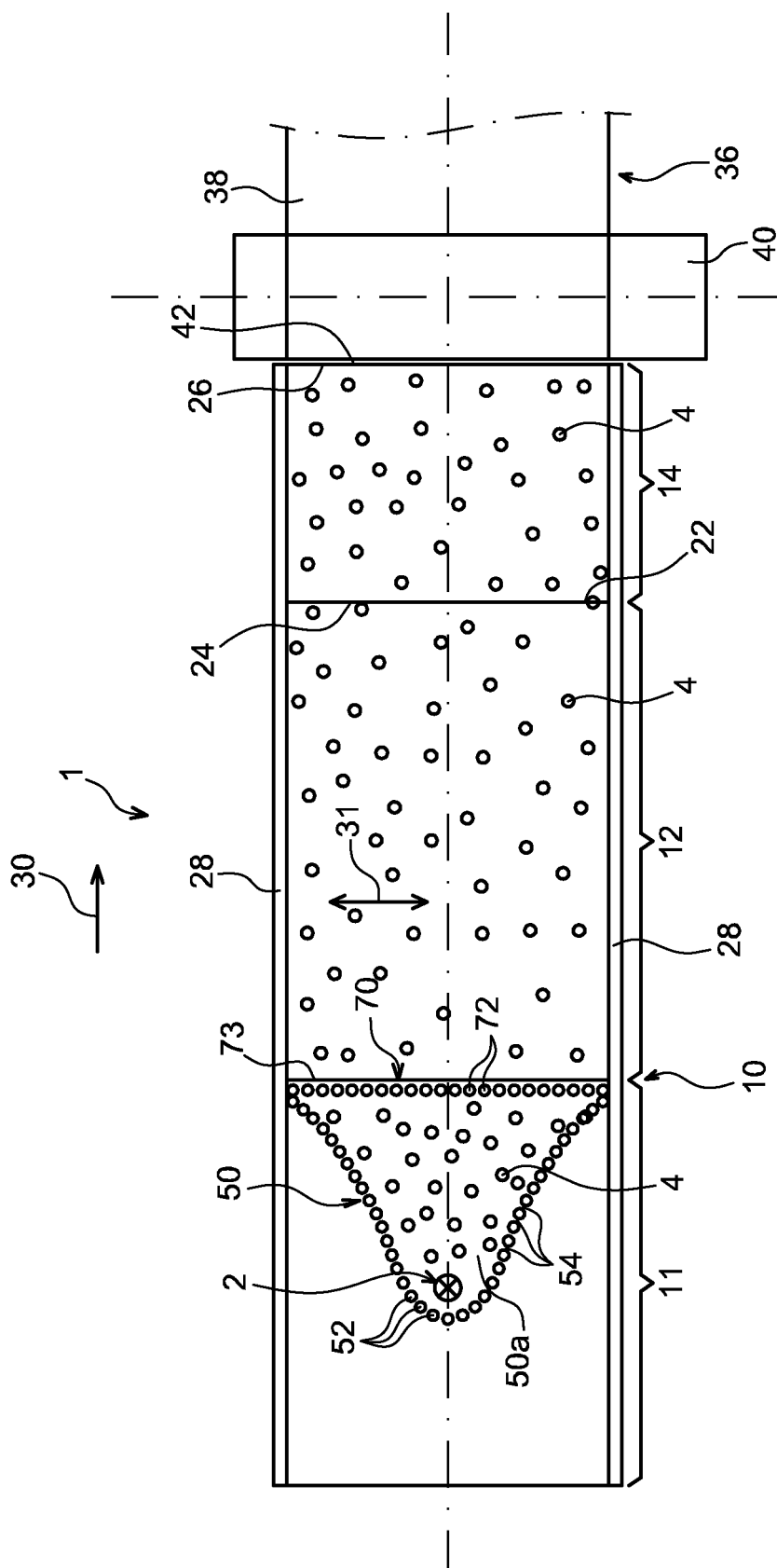


FIG. 10a



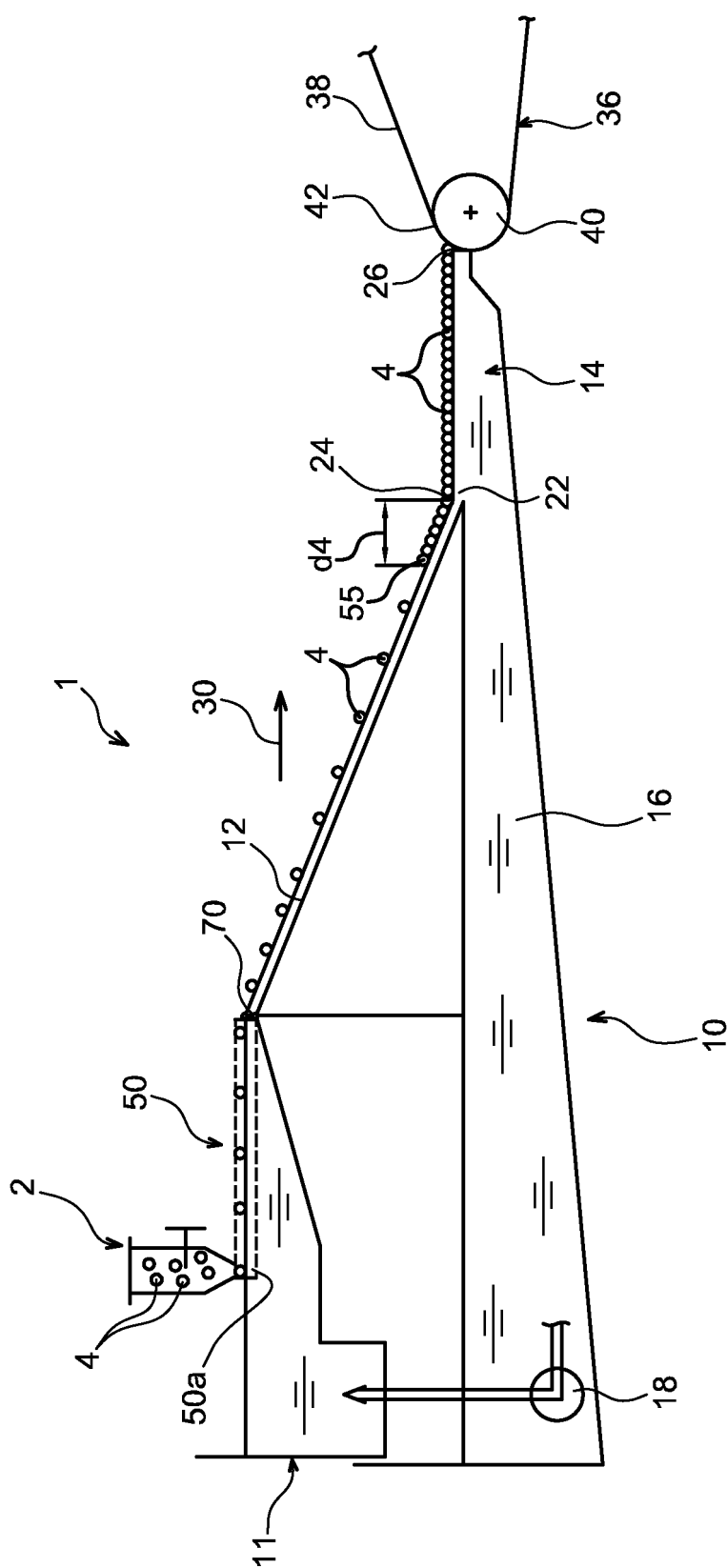


FIG. 11a

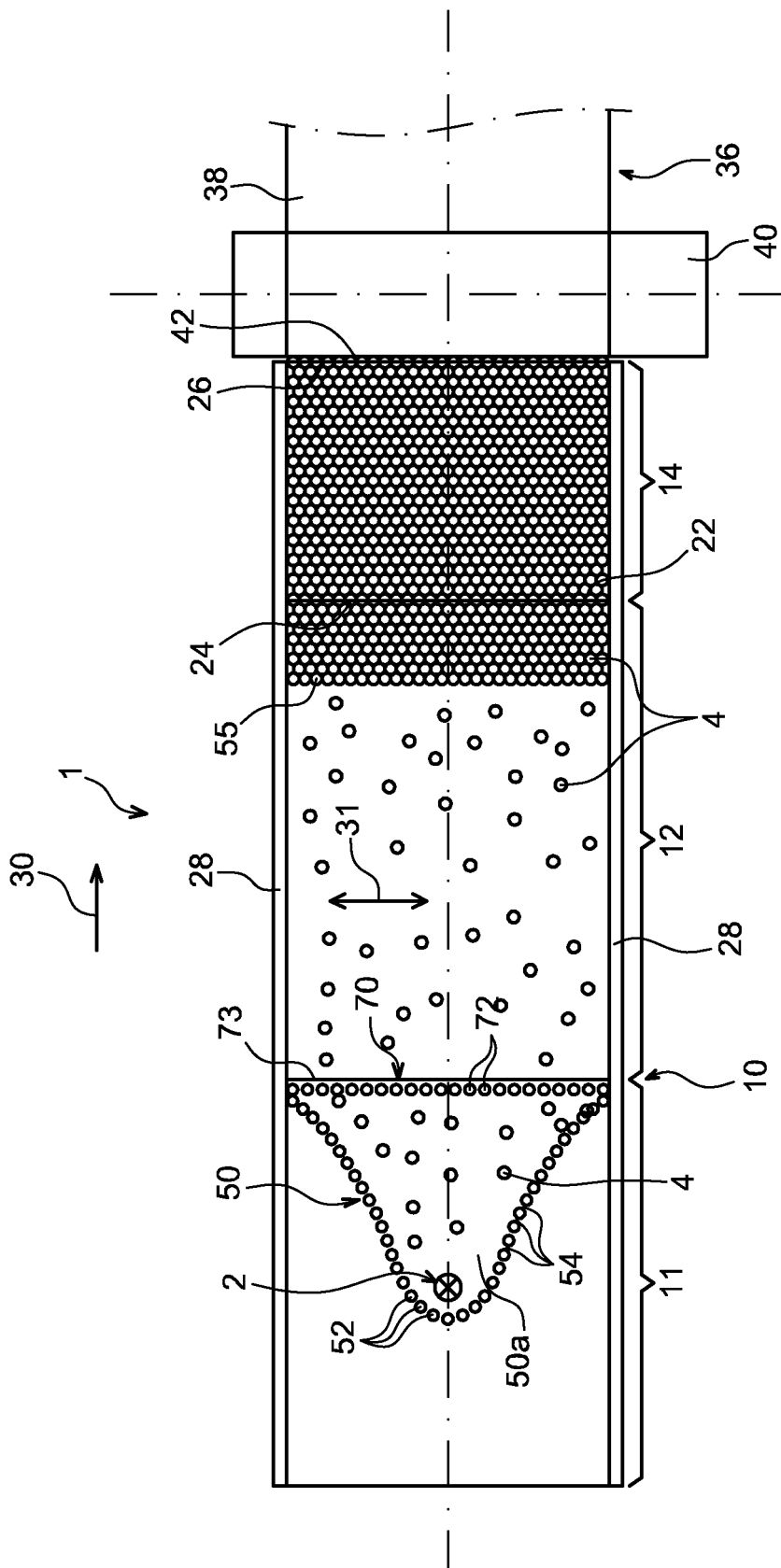


FIG. 11b

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

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

Documents brevets cités dans la description

- CA 2695449 [0009] [0073]

Littérature non-brevet citée dans la description

- **LUCIO ISA et al.** Particle Lithography from Colloidal Self-Assembly at Liquid-Liquid Interfaces. *acsnano*, 2010, vol. 4 (10), 5665-5670 [0009]
- **MARKUS RETSCH.** Fabrication of Large-Area, Transferable Colloidal Monolayers Utilizing Self-Assembly at the Air/Water Interface. *Macromol. Chem. Phys.*, 2009, vol. 210, 230-241 [0009]
- **MARIA BARDOSOVA.** The Langmuir-Blodgett Approach to Making Colloidal Photonic Crystals from Silica Spheres. *Adv. Mater.*, 2010, vol. 22, 3104-3124 [0009]