



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
20.04.2005 Bulletin 2005/16

(51) Int Cl.7: **G21K 1/00**

(21) Numéro de dépôt: **04104982.6**

(22) Date de dépôt: **12.10.2004**

(84) Etats contractants désignés:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR**
Etats d'extension désignés:
AL HR LT LV MK

(72) Inventeurs:
• **GAUGIRAN, Stéphanie**
38000, GRENOBLE (FR)
• **HAZART, Jérôme**
38000, GRENOBLE (FR)

(30) Priorité: **14.10.2003 FR 0350679**

(74) Mandataire: **Poulin, Gérard et al**
Société BREVATOME
3, rue du Docteur Lancereaux
75008 Paris (FR)

(71) Demandeur: **Commissariat à l'Energie Atomique**
75752 Paris Cedex 15 (FR)

(54) **Dispositif de déplacement de particules**

(57) L'invention concerne un procédé de déplacement d'une particule mettant en oeuvre un dispositif comportant un substrat (4), un guide d'ondes (2) et un réseau (6) formé sur le guide d'ondes, dans lequel :

- on injecte de la lumière de longueur d'onde λ dans le guide d'ondes,
- on diffracte la lumière transmise par le guide vers un milieu (14) d'indice n_{sup} dans lequel se trouve la particule.

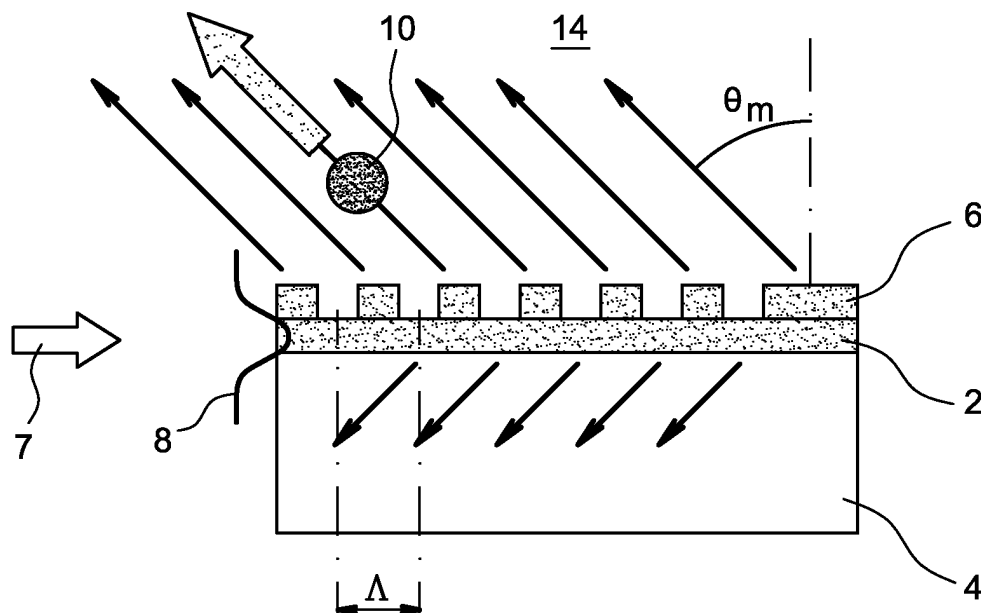


FIG. 1

Description**DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR**

[0001] L'invention concerne le domaine des techniques de déplacement et de manipulation de particules par des forces optiques.

[0002] Les applications envisagées sont le déplacement sans contact, de particules (billes de matériaux différents, nano-objets, cellules ou autres objets biologiques) sur des grandes distances (plusieurs centimètres) et avec des trajectoires prédéfinies. On peut aussi envisager des applications de tri de particules basées sur des interactions avec la lumière qui sont différentes en fonction de la nature de la particule.

[0003] Le document de A. Ashkin et al. intitulé « Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles » Optics Letters, Vol.11, N°5, p. 288-290, 1986, montre qu'il est possible d'utiliser les forces de pression de radiation créées par un faisceau laser focalisé pour piéger des particules micrométriques. Ce piège est en réalité créé par la superposition de deux forces opposées. La première, dite force de diffusion, est proportionnelle à l'intensité du faisceau laser et est colinéaire à ce faisceau. La deuxième, dite force de gradient, est dirigée selon le gradient d'intensité du faisceau. Ainsi, si le laser est suffisamment focalisé, le gradient d'intensité est suffisant pour contrer la force de diffusion. Axialement, le profil gaussien engendre deux forces de gradient opposées, qui vont centrer la particule sur le faisceau. On obtient ainsi un piège stable en trois dimensions.

[0004] Cette méthode pose des difficultés de piégeage, notamment de particules nanométriques. Il faut au moins plusieurs secondes pour piéger, par exemple, une particule d'or de 36 nm de diamètre.

[0005] Par ailleurs le dispositif utilisé pour mettre cette méthode en oeuvre est assez lourd.

[0006] D'autres dispositifs de déplacement de particules sont apparus. En particulier, on connaît la manipulation de particules sur des guides d'ondes par l'utilisation des ondes évanescentes générées à la surface d'un guide d'onde monomode : cette technique est décrite par S. Kawata et al. dans « Optically driven Mie particles in an evanescent field along a channeled waveguide » Optics Letters, Vol. 21, N°21, pages 1768-1770, 1996.

[0007] Cette technique permet de collecter, au-dessus d'un guide, des particules dispersées aléatoirement (grâce aux forces de gradient) puis de déplacer ces particules le long du guide (forces de diffusion). La méthode s'applique aussi aux particules métalliques mais présente l'inconvénient d'être très dépendante de l'état de surface du guide : une rugosité importante parvient à stopper définitivement la particule.

[0008] Il se pose donc le problème de trouver de nouvelles méthodes de déplacement de particules.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

[0009] L'invention met en oeuvre des forces optiques engendrées par un réseau de diffraction.

[0010] L'invention a pour objet un procédé de déplacement d'une particule mettant en oeuvre un dispositif comportant un substrat, un guide d'ondes et un réseau formé sur le guide d'ondes, dans lequel :

- on injecte de la lumière de longueur d'onde λ dans le guide d'ondes,
- on diffracte la lumière transmise par le guide vers un milieu d'indice n_{sup} dans lequel se trouve la particule.

[0011] Les forces de déplacement de la particule sont engendrées par la diffraction de la lumière issue du réseau et sont orientées en fonction des caractéristiques du réseau.

[0012] Le réseau est utilisé comme un élément qui découple la lumière qui se propage dans un guide d'onde. L'injection de la lumière dans le guide peut se faire à l'aide d'un couplage par la tranche, par un prisme ou encore à l'aide d'un autre réseau.

[0013] La lumière issue du réseau est utilisée comme un véritable moteur permettant non seulement de déplacer les particules, mais aussi de choisir leurs trajectoires et leurs vitesses.

[0014] L'invention concerne également un dispositif de déplacement, dans un milieu d'indice n_{sup} , d'une particule, comportant un substrat, un guide d'ondes et un réseau formé sur le guide d'ondes.

[0015] Ce réseau permet de diffracter une lumière de longueur d'onde λ , transmise par le guide, vers un milieu extérieur d'indice n_{super} .

[0016] De préférence, le réseau ne diffracte qu'un seul ordre vers le milieu dans lequel se trouve la particule.

[0017] Selon encore un autre mode de réalisation, aucune lumière n'est diffractée vers le substrat.

[0018] Par exemple, le guide a un indice effectif n_{eff} , le réseau un pas Λ , le substrat un indice n_{sub} tel que $n_{super} > n_{sub}$, et le rapport λ/Λ est compris entre $n_{eff} - n_{super}$ et $n_{eff} - n_{sub}$ ou entre $n_{eff} + n_{sub}$ et $n_{eff} + n_{super}$.

[0019] Lorsque le milieu extérieur est un milieu liquide, le dispositif peut en outre comporter au moins une couche intermédiaire entre le substrat et le guide d'ondes, cette couche ayant un indice de réfraction inférieur à celui du liquide.

[0020] De préférence, le réseau a un pas Λ supérieur ou égal à $\lambda/(n_{eff}/n_{sup} + 1)n_{sup}$, et/ou inférieur ou égal à $2\lambda/$

(neff/nsup + 1)nsup, où neff est l'indice effectif du guide d'ondes.

[0021] Le substrat peut en outre comporter des moyens de réflexion de la lumière diffractée vers le substrat, par exemple un miroir de Bragg.

[0022] Selon une variante, le réseau comporte plusieurs types de motifs, un premier type de motifs et au moins un deuxième type de motifs, différent du premier, par exemple par au moins son pas et/ou une dimension latérale et/ou sa hauteur.

[0023] De préférence au moins une partie du guide d'ondes présente une extension latérale inférieure à celle du réseau.

[0024] Le réseau peut aussi présenter une courbure.

[0025] L'invention permet de déplacer des particules ayant par exemple un diamètre compris entre 5 nm et 100 µm.

[0026] Par ailleurs l'invention permet un déplacement de particules à une vitesse par exemple supérieure à 500 nm/s ou à 1 µm/s ou à 5 µm/s.

[0027] L'invention concerne également un procédé de tri de particules ayant des indices de réfraction différents ou des tailles différentes, dans lequel on met en oeuvre un procédé de déplacement tel que décrit ci-dessus.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0028]

- La figure 1 représente un premier mode de réalisation de l'invention,
- la figure 2 représente les angles de diffraction de différents ordres en fonction du pas du réseau, dans un dispositif selon l'invention,
- les figures 3A et 3B recensent les différents cas possibles en fonction des valeurs relatives des indices du substrat et du superstrat d'un dispositif selon l'invention,
- la figure 4 donne un exemple d'évolution de l'angle de diffraction dans le substrat pour un substrat d'indice variable,
- les figures 5 - 8B représentent divers autres modes de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

[0029] Un premier mode de réalisation est décrit en liaison avec la figure 1.

[0030] Un guide d'onde 2 est formé sur un substrat 4. Un réseau de diffraction 6 est situé ou déposé ou formé sur ce guide 2. Un rayonnement 7 (dont un mode est désigné par la référence 8) est injecté dans le guide 2, par exemple à l'aide d'un couplage par la tranche, par des moyens pour injecter dans le guide un rayonnement à la longueur d'onde souhaitée. A titre d'exemple, de tels moyens comportent un prisme ou un autre réseau.

[0031] Le réseau 6 permet de découpler la lumière du mode guidé vers l'extérieur.

[0032] Les motifs du réseau vont donc découpler la lumière injectée et engendrer un phénomène de diffraction au-dessus et en dessous du réseau 6, respectivement dans le milieu 14 et le substrat 4.

[0033] Dans le milieu 14, la lumière diffractée engendre une « force optique » qui permet d'agir sur, par exemple, une particule 10 située à proximité du réseau.

[0034] La direction, repérée par l'angle θ_m , de l'onde diffractée est donnée par :

$$\sin(\theta_m) = \frac{neff}{nd} + m \cdot \frac{\lambda}{\Lambda \cdot nd} \quad (1)$$

où :

- neff est l'indice effectif du guide d'onde 2, indice qui dépend des indices du guide 2 et du substrat 4,
- nd est l'indice du milieu dans lequel l'onde diffracte (substrat 4 ou superstrat 14),
- m est l'ordre diffracté considéré,
- λ est la longueur d'onde du rayonnement 7 injecté,
- Λ est le pas spatial du réseau 6 de diffraction.

[0035] Par souci de simplicité, cette formule (1), de même que toutes les autres données ci-dessous, sont approchées.

[0036] Pour une longueur d'onde de travail λ , on peut, en choisissant le pas du réseau Λ , choisir θ_m , donc la direction de l'onde diffractée, et donc la direction dans laquelle les particules 10 vont se déplacer.

[0037] Si on considère la diffraction d'ordre $m = -1$, on remarque que cet ordre va commencer à être diffracté si :

$$\sin(\theta_m) = \frac{n_{eff}}{nd} - 1 \cdot \frac{\lambda}{\Lambda \cdot nd} > -1 \quad (2)$$

[0038] Le découplage de cet ordre commence donc pour un pas minimum :

$$\Lambda_{min} = \frac{\lambda}{\left(\frac{n_{eff}}{nd} + 1\right)nd} \quad (3)$$

[0039] A ce pas limite, est associé un angle de diffraction négatif de -90° . On a alors une propulsion quasi horizontale des particules.

[0040] Si on augmente le pas, l'angle de diffraction augmente puis prend des valeurs positives : la direction de propulsion peut donc être inversée. Cependant, si le pas du réseau augmente encore, le découplage de l'ordre -2 du réseau apparaît. Dans ce cas, on a superposition de deux directions de diffraction. Afin d'assurer un guidage optimal des particules, on préfère donc respecter une limite supérieure du pas du réseau, limite donnée par :

$$\Lambda_{max} = \frac{2 \cdot \lambda}{\left(\frac{n_{eff}}{nd} + 1\right)nd} \quad (4)$$

[0041] Ainsi, on utilise de préférence un réseau dont le pas est compris entre les deux pas limites données par les formules (3) et (4), de façon à n'avoir de diffraction que pour un seul ordre, et donc une propulsion des particules dans une seule direction.

[0042] Ce phénomène est illustré sur la figure 2 qui représente les angles de diffractions des différents ordres (ordre -1 : courbe I ; ordre -2 : courbe II ; ordre -3 : courbe III) d'un réseau en fonction du pas de ce réseau. Le substrat 14 considéré possède un indice de 1.33 (identique à celui de l'eau) et le guide d'onde 2, sous le réseau, un indice effectif de 1.6. La longueur d'onde de travail est de 1064 nm.

[0043] Pour un pas de réseau très petit, il n'y a pas de phénomène de découplage et donc pas d'ordre diffracté.

[0044] Lorsque $\Lambda = 363\text{nm}$, on atteint le pas limite de diffraction (3) du réseau, dans les conditions spécifiées ci-dessus : la direction de l'onde diffractée est alors de -90° ce qui signifie que la particule se déplace dans le sens opposé à la lumière dans le guide.

[0045] Si on augmente encore ce pas, on augmente l'angle de diffraction. Pour un pas de réseau compris entre 363 et 726 nm, seul l'ordre -1 est diffracté par le réseau et sa direction peut varier entre -90° et $+5.8^\circ$.

[0046] L'angle de diffraction devient nul pour $\Lambda = 665\text{nm}$: la particule est alors en lévitation simple au-dessus du réseau.

[0047] Une augmentation supplémentaire du pas engendre une inversion de la direction de diffraction (angles positifs) et une inversion de la direction de la particule. On atteint ensuite la limite de diffraction de l'ordre -2 pour $\Lambda = 726\text{nm}$.

[0048] Ainsi, en travaillant dans une gamme de pas variant entre 363 et 726 nm, on peut faire varier la direction de diffraction entre -90° et $+5.8^\circ$. Dans une telle configuration, seul l'ordre -1 est diffracté par le réseau et tout le rayonnement s'exerce dans une même direction.

[0049] Il est également possible de travailler avec un pas supérieur à la limite (4) exprimée ci-dessus, donc à la valeur de 726 nm dans l'exemple ci-dessus, mais le mouvement de la particule est alors plus complexe.

[0050] La particule 10 placée au-dessus du réseau 6 va être frappée par l'onde diffractée qui va la pousser dans la direction choisie.

[0051] Les forces s'exerçant sur les particules s'expriment de la façon suivante :

$$F = \frac{nd}{c} (C_{scat} + C_{abs})I$$

où C_{scat} et C_{abs} sont les sections efficaces de diffusion et d'absorption de la particule, I est l'intensité diffractée par le réseau 6 et n_d l'indice de superstrat 14.

[0052] Les sections efficaces dépendent directement de l'indice optique de la particule mais aussi de son volume. Ainsi, deux particules de matériaux différents ou bien de taille différentes auront des vitesses de déplacement différentes, ce qui permet par exemple de réaliser un tri de ces particules. Par exemple, une bille d'or de $1\mu m$ de diamètre se déplacera plus vite qu'une bille de latex de même taille.

[0053] Le dispositif ainsi décrit présente la propriété de pouvoir déplacer, sans contact et avec des vitesses importantes (plusieurs microns par seconde, ou plus) des particules (ou des objets biologiques) de taille micrométrique ou nanométrique, cette taille étant par exemple comprise entre $10\mu m$ et 50 nm . De plus, il permet de trier des particules de natures ou de tailles différentes.

[0054] D'après la formule (1), on constate que le découplage de la lumière dans le réseau n'a pas lieu pour tous les indices du milieu extérieur 14. En effet, si on considère toujours l'ordre -1, on remarque que la diffraction n'existe pas si l'indice du milieu considéré est trop faible. La condition de diffraction peut s'écrire, pour l'ordre -1 :

$$n_{eff} - n_d < \frac{\lambda}{\Lambda} < n_{eff} + n_d \quad (5)$$

[0055] Ainsi, dans la configuration du dispositif décrite ci-dessus, si n_{super} représente l'indice du milieu 14, on aura une intensité diffractée dans ce dernier si :

$$n_{eff} + n_{super} > \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (6)$$

[0056] De même, si n_{sub} représente l'indice du substrat 4, une intensité sera effectivement diffractée dans ce dernier si :

$$n_{eff} + n_{sub} > \frac{\lambda}{\Lambda} \quad (7)$$

[0057] Pour augmenter l'efficacité du dispositif et éviter les pertes de lumière dans le substrat 4, il est possible de travailler dans des conditions d'indice (superstrat 14 et substrat 4) qui permettent la diffraction dans le superstrat 14 mais pas celle dans le substrat 4.

[0058] Les figures 3A et 3B recensent les différents cas possibles en fonction des valeurs relatives des indices du substrat 4 et du superstrat 14. La figure 3A correspond au cas où $n_{super} < n_{sub}$ et la figure 3B au cas où $n_{super} > n_{sub}$.

[0059] Ces deux figures indiquent dans quels cas il y a diffraction, ou pas, dans le substrat (droites D3 et D4) et dans le superstrat (droites D1 et D2), en fonction de la valeur de λ/Λ .

[0060] Les droites D2 et D4 correspondent au cas $n_{super} > n_{sub}$, et les droites D1 et D3 au cas $n_{super} < n_{sub}$.

[0061] Ainsi, dans les zones A1 et A'1 de la figure 3B ($n_{super} > n_{sub}$ et $n_{eff} - n_{super} < \lambda/\Lambda < n_{eff} - n_{sub}$ (A1) ou $n_{eff} + n_{sub} < \lambda/\Lambda < n_{eff} + n_{super}$ (A'1)), il y a diffraction dans le superstrat et pas de perte dans le substrat. Des pertes apparaissent dans le substrat pour la zone A2, pour laquelle il y a toujours diffraction dans le superstrat, c'est-à-dire lorsque $n_{eff} + n_{sub} > \lambda/\Lambda > n_{eff} - n_{sub}$.

[0062] Dans les zones A3 et A'3 ($n_{super} < n_{sub}$ et $n_{eff} - n_{sub} < \lambda/\Lambda < n_{eff} - n_{super}$ (A3) ou $n_{eff} + n_{sub} < \lambda/\Lambda < n_{eff} + n_{super}$ (A'3)), il y a diffraction dans le substrat et pas dans le superstrat (donc uniquement des pertes et pas de diffraction). La diffraction dans le superstrat apparaît dans la zone A4, c'est-à-dire lorsque $n_{eff} + n_{super} > \lambda/\Lambda > n_{eff} - n_{super}$.

[0063] Pour limiter les pertes dans le substrat, on travaillera de préférence dans les zones A1 et A'1, donc dans les conditions (8) suivantes :

$$\begin{aligned} n_{super} > n_{sub} \text{ et} \\ n_{eff} - n_{super} < \lambda/\Lambda < n_{eff} - n_{sub} \cdot \\ \text{Ou } n_{eff} + n_{sub} < \lambda/\Lambda < n_{eff} + n_{super} \end{aligned} \quad (8)$$

[0064] Mais il est également possible de travailler dans les zones A2 et A4.

[0065] La figure 4 donne un exemple dans le cas du mode $n=-1$: l'axe des ordonnées donne l'angle de diffraction dans le substrat pour un substrat d'indice variable (en abscisse), pour un pas du réseau égal à $\Lambda = 370\text{ nm}$, un indice

effectif du guide $n_{eff} = 1.6$ et une longueur d'onde λ de 1064 nm.

[0066] Si on considère un milieu extérieur d'indice $n_{super} = 1.33$, comme de l'eau, et un substrat d'indice n_{sub} inférieur à 1.27, on évite complètement les phénomènes de pertes dans le substrat et toute la lumière découplée sert à déplacer les particules ($\lambda/\Lambda = 2,8756$, alors que $n_{eff} + n_{sub} < 2,87$ et $n_{eff} + n_{super} = 2,97$).

[0067] Ainsi, dans le cadre d'un déplacement de particules en milieu liquide, on peut envisager l'utilisation d'une couche intermédiaire, située entre le substrat 4 et le guide d'onde 2 dont l'indice est inférieur à celui de l'eau. On aura ainsi un phénomène de diffraction uniquement dans l'eau et sans aucune perte d'énergie dans le substrat. Cette couche intermédiaire pourrait être par exemple une couche de silice déposée par une technologie sol-gel qui présente un indice d'environ 1.22.

[0068] Un autre mode de réalisation est représenté sur la figure 5. Il consiste à placer un miroir de Bragg 20 dans le substrat 4.

[0069] Ce miroir renvoie vers le milieu extérieur 14 la lumière diffractée dans le substrat 4.

[0070] On optimise ainsi le transfert d'énergie vers le milieu extérieur 14.

[0071] Le dépôt multicouche 20 comporte une alternance de films minces diélectriques qui n'absorbent pas la lumière à la longueur d'onde du faisceau 7. Ceux-ci présentent successivement un indice de réfraction haut, noté n_h (matériaux possibles : TiO_2 , HfO_2 , Si_3N_4 , Ta_2O_5 , Al_2O_3 , In_2O_3) et un indice bas noté n_b (matériaux possibles : SiO_2 , MgF_2 , LiF).

[0072] Il peut être réalisé, par exemple, par dépôt physique en phase vapeur, ou dépôt PVD (PVD pour « Physical Vapor Deposition »), ou par dépôt chimique en phase vapeur, ou dépôt CVD (CVD pour « Chemical Vapor Deposition ») ou par voie sol-gel.

[0073] Si on note θ , θ_h , θ_b , les angles de diffraction respectivement dans le substrat 4, dans le film d'indice haut et dans le film d'indice bas et n_s l'indice de ce substrat, on a :

$$n_h \sin(\theta_h) = n_b \sin(\theta_b) = n_s \sin(\theta) \quad (9)$$

[0074] Les épaisseurs e_b et e_h , des couches minces respectivement de bas et de haut indice, sont liées à n_b , θ_b et à n_h , θ_h par les relations suivantes :

$$e_b = \lambda / (4 \cdot n_b \cdot \cos(\theta_b)) \quad (10)$$

$$e_h = \lambda / (4 \cdot n_h \cdot \cos(\theta_h)) \quad (11)$$

où λ est la longueur d'onde incidente.

[0075] L'onde réfléchie par le miroir aura, après réflexion sur ce miroir, puis après avoir retraversé le réseau, la même direction que celle issue du réseau 6 vers le superstrat.

[0076] Il est en outre possible d'ajouter, entre le miroir et le guide, une couche tampon d'indice inférieur à celui du guide, ce qui évite le découplage de la lumière dans le miroir.

[0077] Quel que soit le mode de réalisation envisagé, la direction de la particule 10 est liée au pas du réseau. On peut donc réaliser des dispositifs sur lesquels on réalise une réelle ingénierie de trajectoire de la particule par le contrôle du pas du réseau. En effet, comme montré précédemment, on peut, en contrôlant le pas du réseau, faire varier les angles de diffraction entre -90° et $+5^\circ$. Par exemple, sur la figure 6, une particule 10 injectée à droite va entrer en lévitation par l'action des ondes 22 diffractées, ces ondes ayant une composante verticale importante ou prépondérante, puis être déplacée vers le côté gauche de la figure par les ondes 23, puis 24, progressivement plus inclinées par rapport à une direction verticale.

[0078] Selon encore un autre mode de réalisation, on peut faire varier et contrôler la vitesse de la particule par la maîtrise de l'intensité diffractée : les dimensions latérales du motif du réseau (largeur w_1 comme indiquée sur la figure 6 et/ou largeur w_2 , mesurée selon une direction perpendiculaire au plan de la figure 6 et comme indiqué sur la figure 7A, et/ou sa hauteur h , permettent un contrôle de l'énergie diffractée.

[0079] Les variations du pas du réseau et de ses dimensions latérales seront par exemple réalisées grâce à un masque approprié. Les variations de hauteur des motifs seront faites soit par l'utilisation de plusieurs niveaux de masquage soit par l'utilisation de couches présentant des gradients d'épaisseur associés à une gravure sélective.

[0080] Le réseau mis en oeuvre peut comporter une pluralité de motifs, chaque motif étant différent des autres motifs, par exemple par au moins son pas et/ou une largeur w_1 ou w_2 et/ou sa hauteur h .

[0081] Selon encore un autre mode de réalisation, qui peut être combiné avec l'un quelconque des modes exposés ci-dessus, on confine les particules sur une piste en utilisant, sous le réseau 6, un guide d'onde 22 de largeur limitée (Fig. 7A qui représente une vue de dessus du dispositif). De cette façon, on limite l'extension latérale du champ, ce

qui engendre une force de gradient latérale F_{grad} et qui centre les particules sur la piste au-dessus du guide 22 (Fig. 7B).

[0082] Selon un autre mode de réalisation, qui peut lui aussi être combiné avec les divers modes exposés ci-dessus, on limite l'extension latérale du réseau et on en incurve les extrémités.

[0083] Ce mode de réalisation est représenté sur les figures 8A (vue schématique de dessus) et 8B. Il permet de générer une diffraction « latérale » du rayonnement, qui va rencontrer la particule et la guider le long d'une « ligne focale ». On contrôlera ainsi la position de la particule dans les trois dimensions de l'espace, ce qui permet d'envisager des trajectoires plus complexes (par exemple une trajectoire non linéaire ou qui serpente ou une trajectoire courbe dans un plan parallèle au substrat). La réalisation de ce type de dispositif est similaire à celle du dispositif de base mais utilise un masque sur lequel on imprime des courbes au lieu des lignes traditionnelles du réseau.

[0084] Selon un exemple de réalisation, le guide d'onde pourra être réalisé par un procédé d'échange d'ions traditionnel avec des ions argent sur un substrat de BK7. L'épaisseur du guide sera choisie de façon à travailler avec un guide monomode pour la longueur d'onde désirée. On pourra aussi utiliser tout matériau diélectrique permettant un guidage efficace de la lumière ou encore travailler sur un substrat de silicium.

[0085] Le réseau pourra être réalisé en résine, en oxyde de titane (TiO_2) ou encore en nitrure. Il peut être gravé par une technologie de lithographie par faisceau d'électrons ou encore par une technologie de lithographie de précision.

[0086] Un autre exemple de réalisation concerne une structure avec un miroir de Bragg, comme sur la figure 5.

[0087] Le substrat 4 est par exemple en silicium.

[0088] Celui-ci est recouvert d'un miroir de Bragg 20 qui permet d'éviter les fuites de lumière dans le substrat. Par exemple, pour une longueur d'onde de travail de 1064 nm, on pourra recouvrir le substrat d'un multicouche 20 constitué par l'alternance de couches minces de silice d'épaisseur 264 nm et de couches minces en dioxyde de titane d'épaisseur 123 nm déposées en IBS. Le multicouche sera composé de 20 couches minces puis recouvert par une couche d'isolation en silice de 2 μm d'épaisseur. Le miroir ainsi réalisé permet de réfléchir tous les rayons arrivant dans une gamme angulaire comprise entre 35° et 70° .

[0089] Le guide d'onde 2 pourra, par exemple, être réalisé en nitrure (Si_3N_4) par des techniques de dépôt traditionnelles (LPCVD par exemple). On pourra choisir une épaisseur de 223 nm de nitrure et une largeur de guide de 1 μm .

[0090] Le réseau 6 sera réalisé en résine, en oxyde de titane (TiO_2) ou encore en nitrure grâce à plusieurs niveaux de masquage superposés qui permettent une variation spatiale de l'épaisseur du réseau.

[0091] Il peut être gravé par une technologie de lithographie par faisceau d'électrons ou encore par une technologie de lithographie de précision. On pourra choisir un pas variant entre 353 et 706 nm pour faire varier l'angle entre -90° et 7.8° .

Revendications

1. Procédé de déplacement d'une particule (10) mettant en oeuvre un dispositif comportant un substrat (4), un guide d'ondes (2) et un réseau (6) formé sur le guide d'ondes, dans lequel :

- on injecte de la lumière de longueur d'onde λ dans le guide d'ondes,
- on diffracte la lumière transmise par le guide vers un milieu (14) d'indice n_{super} dans lequel se trouve la particule.

2. Procédé selon la revendication 1, le réseau ne diffractant qu'un seul ordre vers le milieu dans lequel se trouve la particule.

3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, aucune lumière n'étant diffractée vers le substrat (4).

4. Procédé selon la revendication 3, le guide (2) ayant un indice effectif n_{eff} et le réseau un pas Λ , le substrat un indice n_{sub} tel que $n_{\text{super}} > n_{\text{sub}}$, et le rapport λ/Λ étant compris entre $n_{\text{eff}} - n_{\text{super}}$ et $n_{\text{eff}} - n_{\text{sub}}$ ou entre $n_{\text{eff}} + n_{\text{sub}}$ et $n_{\text{eff}} + n_{\text{super}}$.

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, le milieu (14) étant un milieu liquide, le dispositif comportant en outre au moins une couche intermédiaire entre le substrat (4) et le guide d'ondes (2), cette couche ayant un indice de réfraction inférieur à celui du liquide (14).

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, le réseau ayant un pas Λ supérieur ou égal à $\lambda/(n_{\text{eff}}/n_{\text{sup}} + 1)n_{\text{sup}}$, où n_{eff} est l'indice effectif du guide d'ondes.

EP 1 524 675 A1

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, le réseau ayant un pas Λ inférieur ou égal à $2\lambda/(\text{neff}/n_{\text{sup}} + 1)n_{\text{sup}}$, où neff est l'indice effectif du guide d'ondes.
- 5 8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, le substrat comportant en outre des moyens de réflexion de la lumière diffractée vers le substrat.
9. Procédé selon la revendication 7, le substrat comportant un miroir de Bragg (20).
- 10 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, le réseau comportant un premier type de motifs et au moins un deuxième type de motifs, différent du premier.
11. Procédé selon la revendication 10, le deuxième type de motif étant différent du premier par au moins son pas et/ou une dimension latérale et/ou sa hauteur.
- 15 12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, au moins une partie du guide d'ondes ayant une extension latérale inférieure à celle du réseau.
13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, le réseau présentant une courbure.
- 20 14. Procédé selon l'une des revendications précédentes, la particule suivant une trajectoire courbe dans un plan parallèle au substrat (4).
15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, la particule ayant un diamètre compris entre et 5 nm et 100 μm .
- 25 16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, la particule étant déplacée à une vitesse supérieure à 500 nm/s ou à 1 $\mu\text{m/s}$ ou à 5 $\mu\text{m/s}$.
17. Procédé de tri de particules d'indice de réfraction différents ou de tailles différentes, dans lequel on met en oeuvre un procédé de déplacement selon l'une des revendications 1 à 16.
- 30 18. Dispositif de déplacement d'une particule (10), comportant un substrat (4), un guide d'ondes (2) et un réseau (6) formé sur le guide d'ondes, ce réseau permettant de diffracter une lumière de longueur d'onde λ , transmise par le guide, vers un milieu extérieur d'indice n_{super} , au moins une partie du guide d'ondes ayant une extension latérale inférieure à celle du réseau.
- 35 19. Dispositif selon la revendication 18, le réseau ne diffractant qu'un seul ordre à la longueur d'onde λ .
20. Dispositif selon la revendication 18 ou 19, aucune lumière à la longueur d'onde λ n'étant diffractée vers le substrat (4).
- 40 21. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 20, le guide (2) ayant un indice effectif neff et le réseau un pas Λ , le substrat un indice n_{sub} tel que $n_{\text{super}} > n_{\text{sub}}$, et le rapport λ/Λ étant compris entre $\text{neff} - n_{\text{super}}$ et $\text{neff} - n_{\text{sub}}$ ou entre $\text{neff} + n_{\text{sub}}$ et $\text{neff} + n_{\text{super}}$.
- 45 22. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 21, comportant en outre au moins une couche intermédiaire entre le substrat (4) et le guide d'ondes (2), cette couche ayant un indice de réfraction inférieur à celui d'un liquide.
23. Dispositif selon la revendication 22, la couche intermédiaire étant une couche de silice.
- 50 24. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 23, le réseau ayant un pas Λ supérieur ou égal à $\lambda/(\text{neff}/n_{\text{sup}} + 1)n_{\text{sup}}$, où neff est l'indice effectif du guide d'ondes.
25. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 24, le réseau ayant un pas Λ inférieur ou égal à $2\lambda/(\text{neff}/n_{\text{sup}} + 1)n_{\text{sup}}$, où neff est l'indice effectif du guide d'ondes.
- 55 26. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 25, le substrat comportant en outre des moyens de réflexion de la lumière diffractée vers le substrat.

EP 1 524 675 A1

27. Dispositif selon la revendication 26, le substrat comportant un miroir de Bragg (20).

28. Dispositif selon l'une des revendications 26 ou 27 comportant en outre une couche d'indice inférieur à celui du guide et située entre le guide et les moyens de réflexion.

29. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 28, le réseau comportant un premier type de motifs et au moins un deuxième type de motifs, différent du premier.

30. Dispositif selon la revendication 29, le deuxième type de motif étant différent du premier par au moins son pas et/ou une dimension latérale et/ou sa hauteur.

31. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 30, le réseau présentant une courbure dans un plan parallèle au plan du substrat.

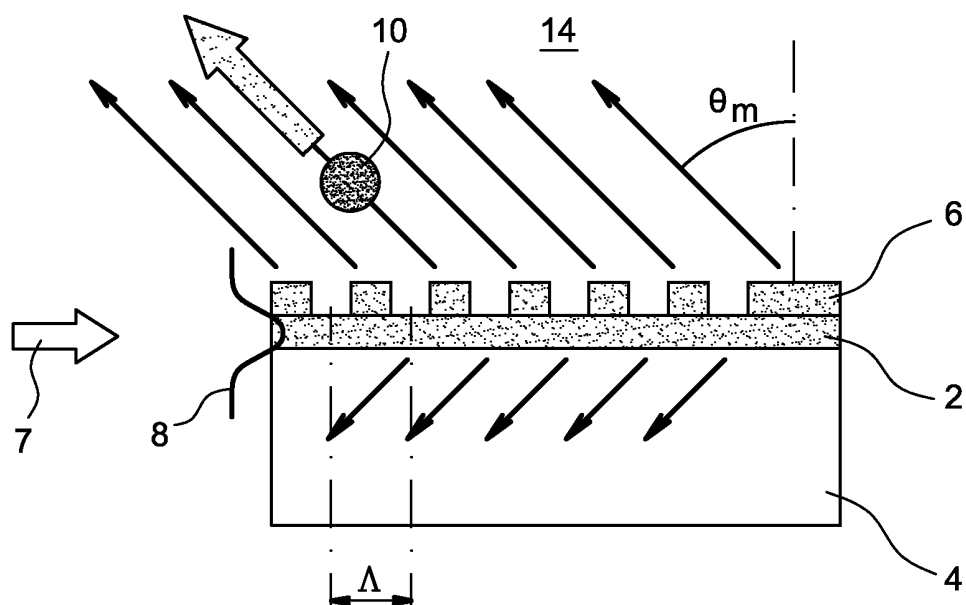


FIG. 1

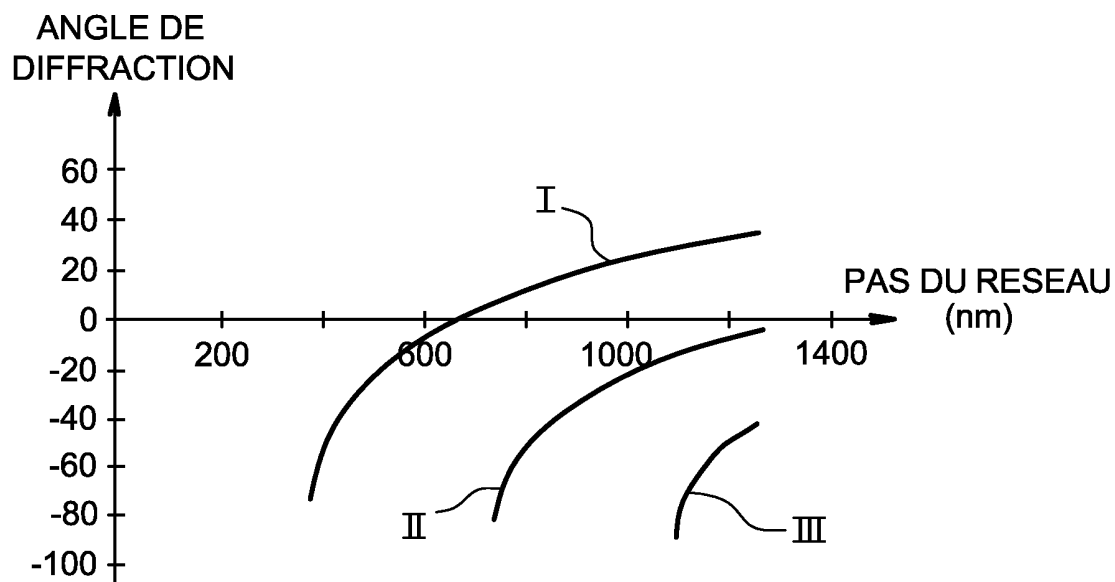


FIG. 2

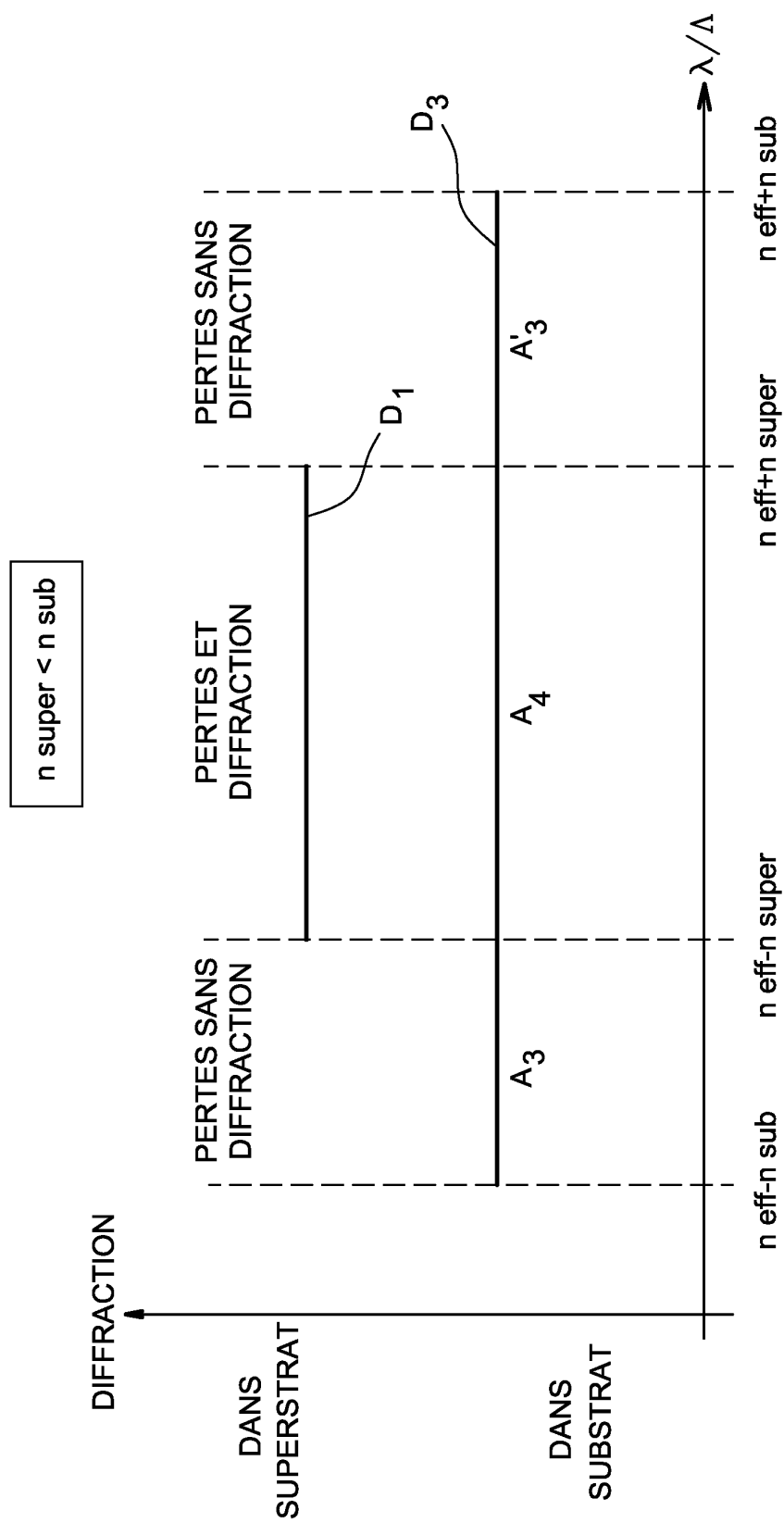


FIG. 3A

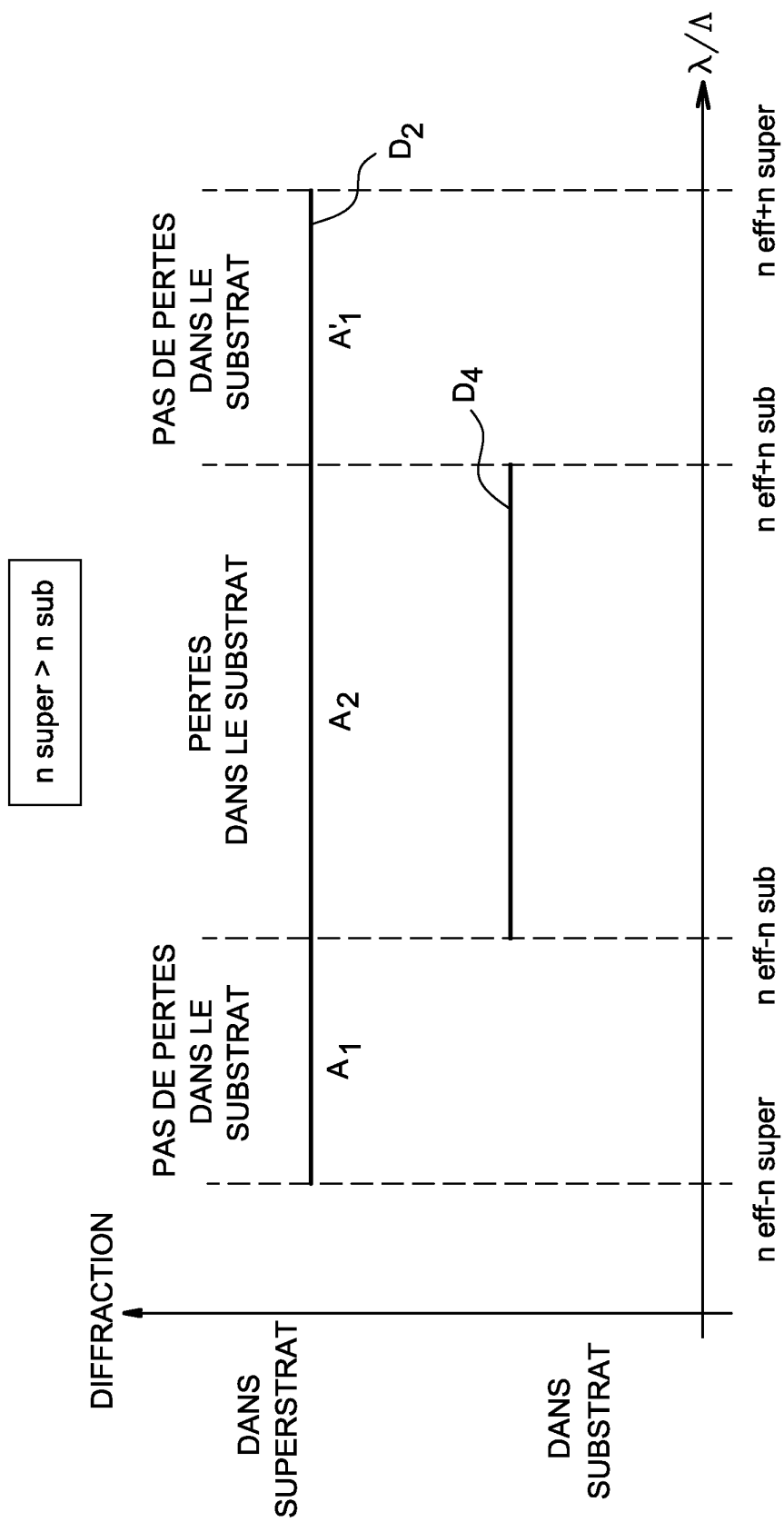


FIG. 3B

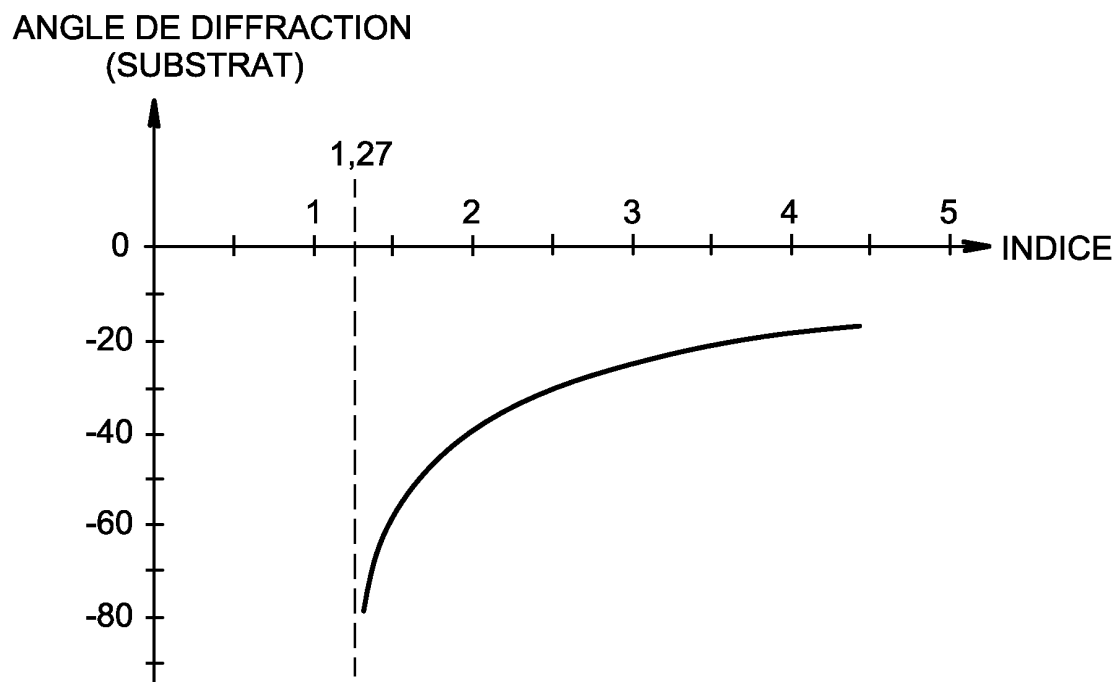


FIG. 4

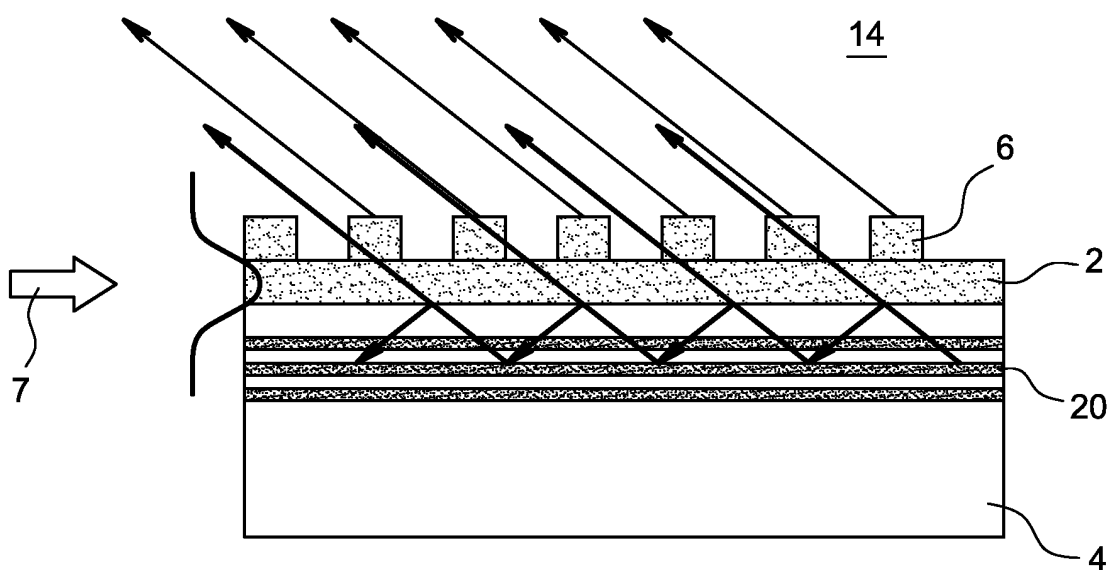


FIG. 5

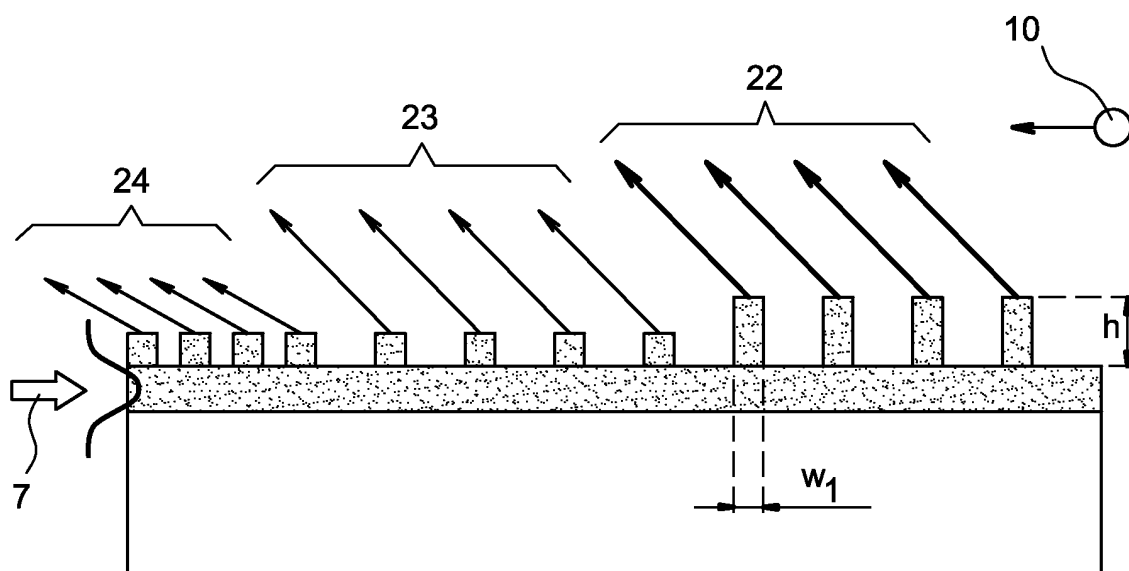


FIG. 6

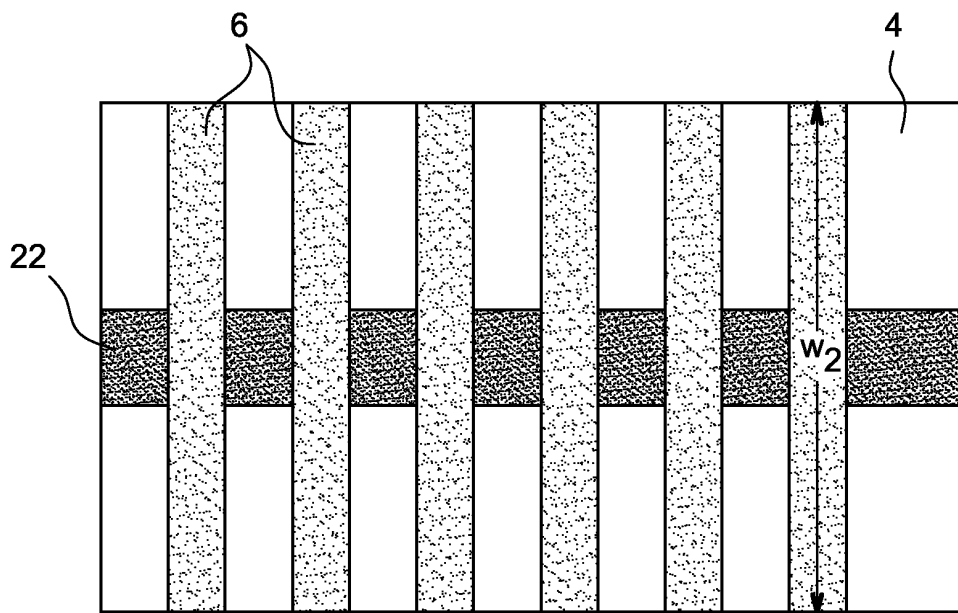


FIG. 7A

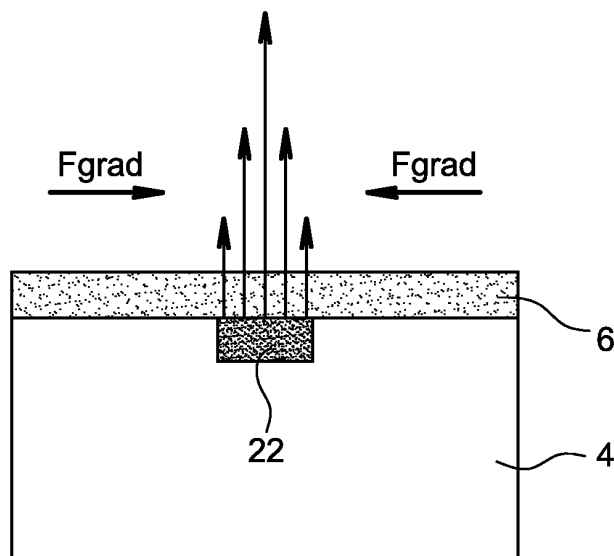


FIG. 7B

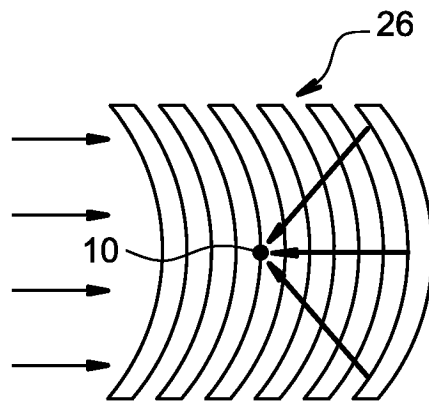


FIG. 8A

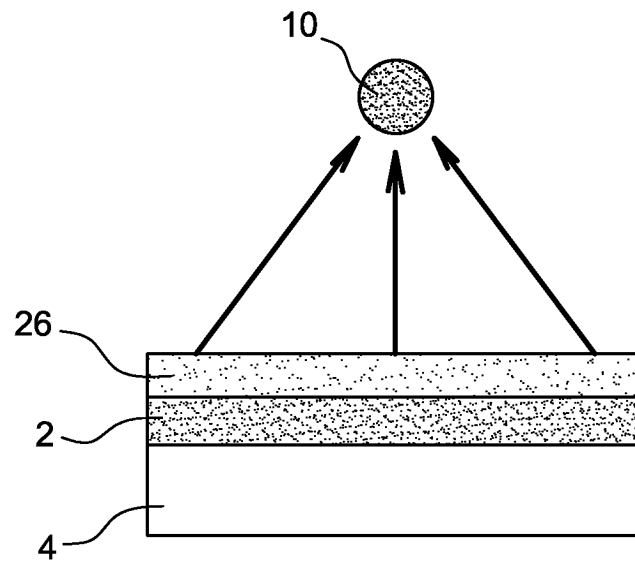


FIG. 8B



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande
EP 04 10 4982

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.7)
X	ROSENBLATT D ET AL: "RESONANT GRATING WAVEGUIDE STRUCTURES" IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 33, no. 11, 1 novembre 1997 (1997-11-01), pages 2038-2059, XP000725006 ISSN: 0018-9197 * abrégé; figure 3 *	18-20	G21K1/00
A	US 2003/111594 A1 (CHATON PATRICK ET AL) 19 juin 2003 (2003-06-19) * le document en entier *	1-32	
A	OGURA Y ET AL: "OPTICAL LEVITATION AND TRANSLATION OF A MICROSCOPIC PARTICLE BY USE OF MULTIPLE BEAMS GENERATED BY VERTICAL-CAVITY SURFACE-EMITTING LASER ARRAY SOURCES" APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, US, vol. 41, no. 27, 20 septembre 2002 (2002-09-20), pages 5645-5654, XP001130498 ISSN: 0003-6935 * page 5645 *	1-32	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.7)
			G21K H03H
A	WO 03/065774 A (GLUECKSTAD JESPER ; HANSON STEEN (DK); ERIKSEN RENE LYNGE (DK); FORSKN) 7 août 2003 (2003-08-07) * page 5, ligne 30 - page 6, ligne 8 *	1-32	
A	WO 00/69554 A (MARCHITTO KEVIN S ; FLOCK STEPHEN T (AU)) 23 novembre 2000 (2000-11-23) * figure 4 *	1-32	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 3 février 2005	Examineur Oestreich, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

 2
EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

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

EP 04 10 4982

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.

Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

03-02-2005

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003111594 A1	19-06-2003	FR 2833716 A1	20-06-2003
		EP 1324645 A1	02-07-2003
		JP 2003262589 A	19-09-2003
-----	-----	-----	-----
WO 03065774 A	07-08-2003	WO 03065774 A1	07-08-2003
-----	-----	-----	-----
WO 0069554 A	23-11-2000	AU 4856100 A	05-12-2000
		CA 2382647 A1	23-11-2000
		EP 1204469 A1	15-05-2002
		WO 0069554 A1	23-11-2000
		US 2003196885 A1	23-10-2003
		US 6573491 B1	03-06-2003
-----	-----	-----	-----

EPO FORM P0480

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