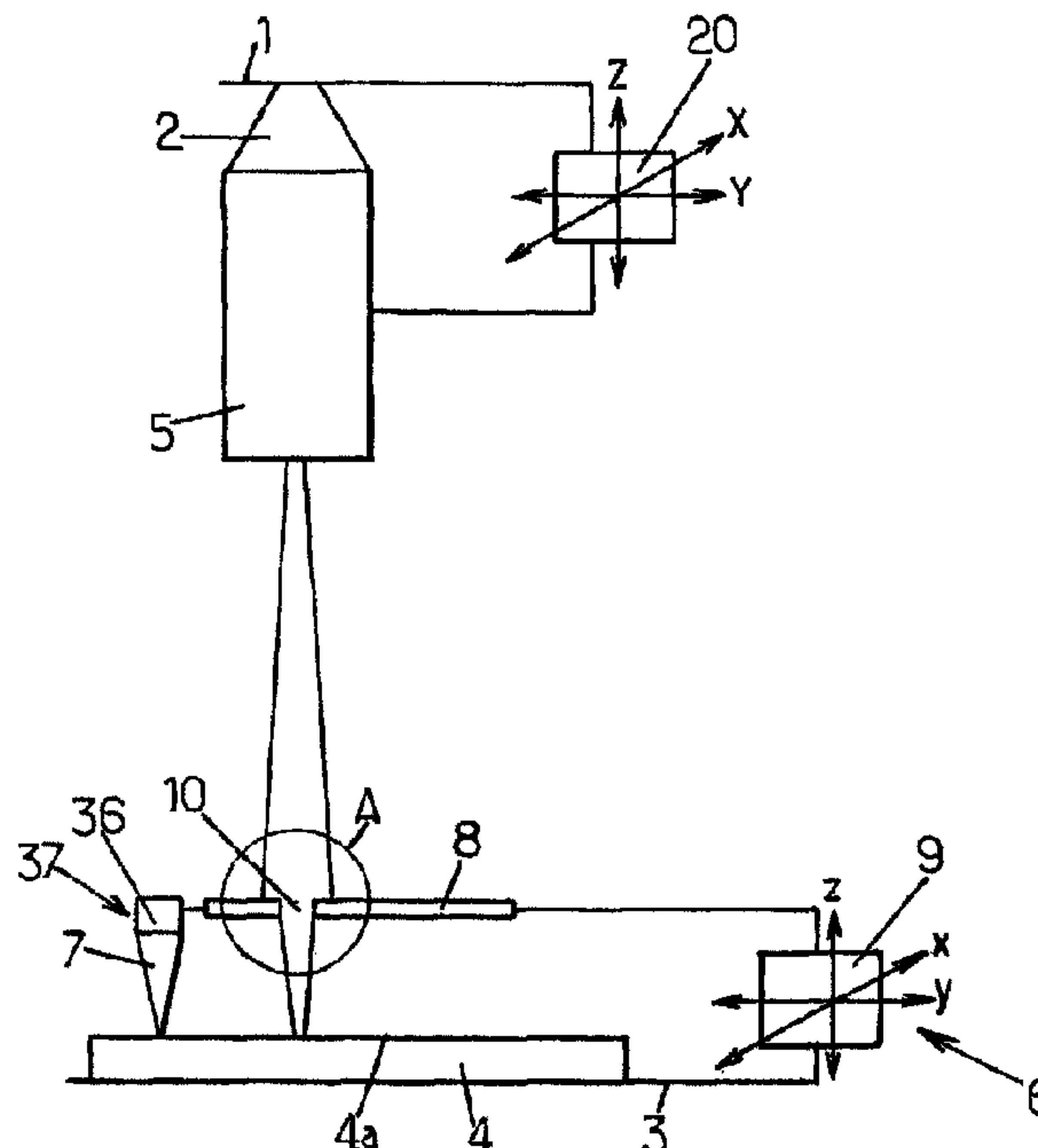




(86) **Date de dépôt PCT/PCT Filing Date:** 2007/02/16
(87) **Date publication PCT/PCT Publication Date:** 2007/08/30
(45) **Date de délivrance/Issue Date:** 2015/10/06
(85) **Entrée phase nationale/National Entry:** 2008/08/19
(86) **N° demande PCT/PCT Application No.:** FR 2007/000287
(87) **N° publication PCT/PCT Publication No.:** 2007/096505
(30) **Priorité/Priority:** 2006/02/20 (FR0601483)

(51) **Cl.Int./Int.Cl.** *H01J 37/317* (2006.01),
B82B 3/00 (2006.01), *H01J 37/20* (2006.01)
(72) **Inventeur/Inventor:**
GIERAK, JACQUES, FR
(73) **Propriétaire/Owner:**
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE-CNRS, FR
(74) **Agent:** BCF LLP

(54) **Titre : INSTALLATION ET PROCEDE DE NANO-FABRICATION**
(54) **Title: NANOFABRICATION INSTALLATION AND PROCESS**



(57) **Abrésumé/Abstract:**

Installation de nano-fabrication comprenant : - un porte-échantillon recevant un échantillon, - un masque comprenant une ouverture traversante entre les faces supérieure et inférieure du masque, laissant passer des particules chargées en direction du porte-échantillon, - un dispositif de détection en champ proche détectant une position relative du masque (8) et du porte-échantillon (3), - un dispositif de déplacement générant un mouvement relatif du masque (8) et du porte-échantillon (3) indépendamment de la position relative de la source (1) et du masque (8), le masque comprenant au moins une première électrode au niveau de l'ouverture traversante (10).



(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
30 août 2007 (30.08.2007)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2007/096505 A3(51) Classification internationale des brevets :
H01J 37/317 (2006.01) *B82B 3/00* (2006.01)
H01J 37/20 (2006.01)(71) Déposant (*pour tous les États désignés sauf US*) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE - CNRS [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794
Paris Cédex 16 (FR).(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2007/000287(72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant (*pour US seulement*) : **GIERAK, Jacques** [FR/FR]; 87 rue Raymonde de la Roche, F-91220
LE PLESSIS PATE (FR).(22) Date de dépôt international :
16 février 2007 (16.02.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(74) Mandataires : **COUSIN, Geoffroy** etc.; Cabinet Plasseraud, 53 rue de la victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

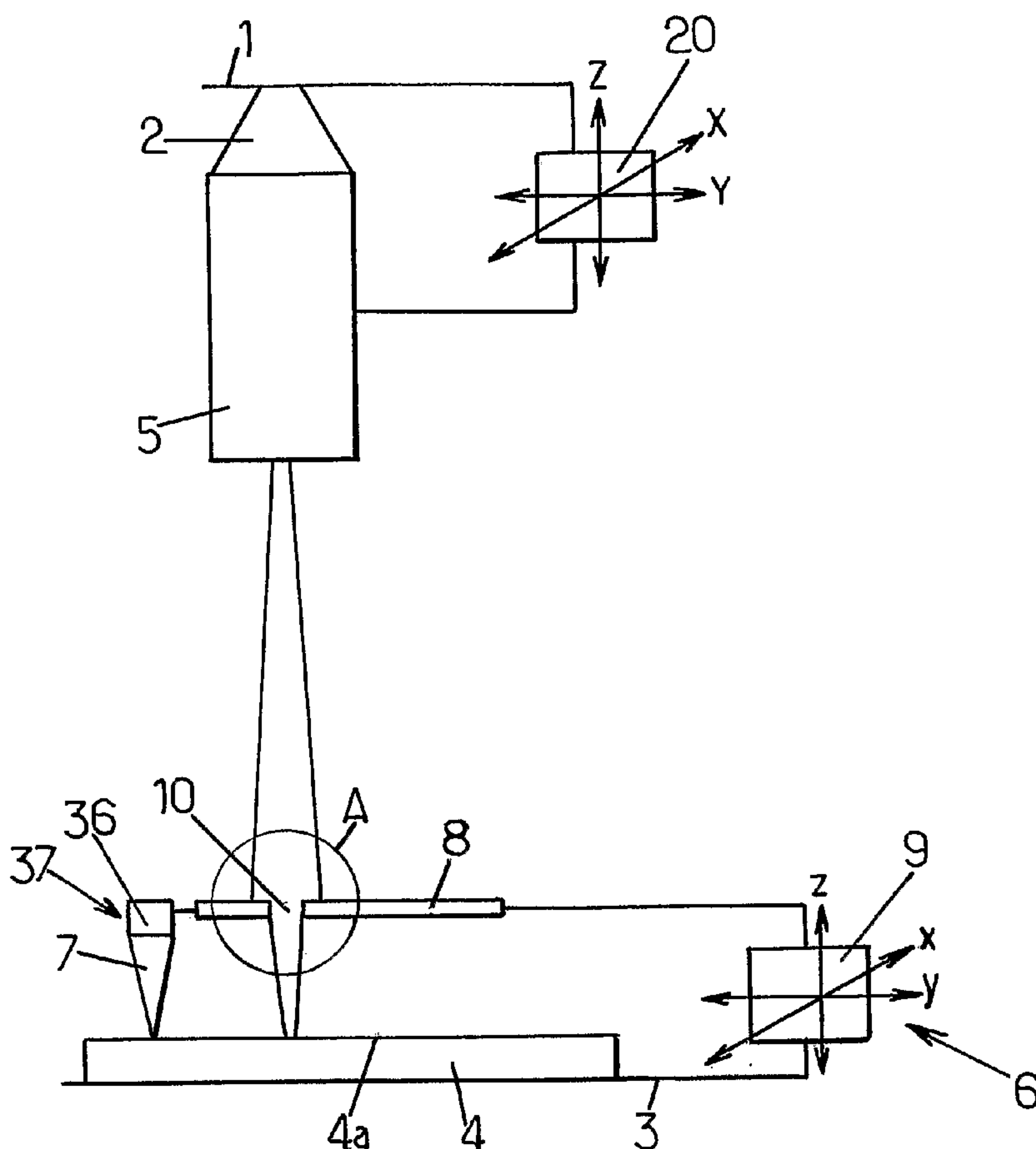
(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0601483 20 février 2006 (20.02.2006) FR(81) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: NANOFABRICATION INSTALLATION AND PROCESS

(54) Titre : INSTALLATION ET PROCEDE DE NANO -FABRICATION



(57) Abstract: Nanofabrication installation comprising: a specimen holder, for holding a specimen; a mask, having a through-opening between the upper and lower faces of the mask, for letting charged particles through onto the specimen holder; a near-field detection device for detecting a relative position between the mask (8) and the specimen holder (3); and a displacement device for generating a relative movement between the mask (8) and the specimen holder (3) independently of the relative position between the source (1) and the mask (8), the mask including at least a first electrode in the through-opening (10).

(57) Abrégé : Installation de nano-fabrication comprenant :
- un porte-échantillon recevant un échantillon, - un masque comprenant une ouverture traversante entre les faces supérieure et inférieure du masque, laissant passer des particules chargées en direction du porte-échantillon, - un dispositif de détection en champ

proche détectant une position relative du masque (8) et du porte-échantillon (3)

[Suite sur la page suivante]

WO 2007/096505 A3

WO 2007/096505 A3

CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclaration en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

— *avec rapport de recherche internationale*
— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues*

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale:

27 décembre 2007

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

, - un dispositif de déplacement générant un mouvement relatif du masque (8) et du porte-échantillon (3) indépendamment de la position relative de la source (1) et du masque (8) , le masque comprenant au moins une première électrode au niveau de l'ouverture traversante (10) .

INSTALLATION ET PROCEDE DE NANO-FABRICATION

La présente invention est relative aux installations et aux procédés de nano-fabrication.

5 Plus particulièrement, l'invention se rapporte principalement à une installation de nano-fabrication comprenant :

- un porte-échantillon adapté pour recevoir un échantillon présentant une surface,
- 10 - un masque de formation de l'échantillon comprenant
 - . une face inférieure orientée vers le porte-échantillon,
 - . une face supérieure opposée à la face
 - 15 inférieure et adaptée pour recevoir un faisceau de particules émis par une source en direction du porte-échantillon pour former l'échantillon,
 - . et au moins une ouverture traversante entre les faces supérieure et inférieure, adaptée pour laisser
 - 20 passer à travers elle une partie desdites particules en direction du porte-échantillon,
 - un dispositif de détection en champ proche adapté pour détecter une position relative souhaitée dudit masque et dudit échantillon,
 - 25 - un dispositif de déplacement adapté pour générer un mouvement relatif dudit masque et dudit porte-échantillon pour placer le masque et l'échantillon dans ladite position relative souhaitée, indépendamment de la position relative de la source et du masque.

30 Le document US 6,313,905 décrit un exemple d'une telle installation. Une source par évaporation émet des amas, gouttelettes ou particules, de matière, à travers une ouverture formée dans le cantilever d'un microscope à force atomique (AFM pour « Atomic Force Microscopy ») qui est

35 utilisé pour contrôler une position du masque par rapport à

l'échantillon pendant un dépôt à travers l'ouverture.

Toutefois, un tel dispositif n'est pas entièrement satisfaisant. En effet, des études ont montré qu'une telle installation présentait des problèmes de reproductibilité
5 dans la formation d'un dépôt à la surface de l'échantillon. En effet, l'utilisateur n'a aucun contrôle sur les particules évaporées une fois que celles-ci ont été émises par la source. Par conséquent, il est obligé de vérifier après dépôt si la surface a été formée de la manière
10 souhaitée, par exemple en imageant la surface.

La présente invention a notamment pour but de pallier ces inconvénients.

A cet effet, selon l'invention, une installation du genre en question est caractérisée en ce que le masque
15 comprend au moins une première électrode au niveau de l'ouverture traversante adaptée pour interagir électriquement avec les particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture.

Grâce à ces dispositions, lorsque les particules,
20 sous forme soit élémentaire (ions), soit groupée en amas ou gouttelettes, chargées électriquement sont émises, par exemple par une source ponctuelle, par exemple du type d'ions à métal liquide, on interagit avec les particules à très grande proximité de l'échantillon. Une telle
25 interaction électrique peut consister en un contrôle de la trajectoire et/ou de l'énergie des particules pendant leur trajet vers l'échantillon, ou en la détection électrique de leur arrivée sur l'échantillon lui-même.

Dans des modes de réalisation préférés de
30 l'invention, on peut éventuellement avoir recours en outre à l'une et/ou à l'autre des dispositions suivantes :

- ledit masque comprend en outre au moins une deuxième électrode, la première électrode étant située entre la deuxième électrode et le porte-échantillon, ladite
35 deuxième électrode étant située au niveau de l'ouverture

traversante, lesdites électrodes et la surface de l'échantillon formant ensemble une lentille électrostatique adaptée pour influencer électriquement sur le déplacement desdites particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture, lors de l'application d'un potentiel électrique auxdites électrodes ;

- l'installation comprend un générateur adapté pour générer un potentiel électrique dans au moins une structure choisie parmi la première électrode, la deuxième électrode et la surface de l'échantillon ;

- ladite première électrode est située sur la face inférieure dudit masque ;

- l'installation comprend un détecteur relié à ladite électrode inférieure, adapté pour détecter des particules électriques élémentaires détachées de l'échantillon par l'arrivée sur la surface des particules passant à travers l'ouverture ;

- l'installation comprend un générateur adapté pour générer un potentiel électrique entre ladite première électrode et l'échantillon, pour influencer sur l'énergie cinétique des particules entre le masque et l'échantillon ;

- le dispositif de détection en champ proche comprend une tête déplaçable par rapport au porte-échantillon au voisinage de la surface de l'échantillon, ladite tête étant positionnée en une position relative connue par rapport audit masque ;

- ladite tête et ledit masque sont solidaires en déplacement dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon ;

- la tête comprend une pointe et un cantilever flexible, ledit masque étant formé dans une portion amincie du cantilever ;

- l'ouverture traversante comprend une fente étroite s'étendant transversalement au trajet des particules vers le porte-échantillon ;

- l'installation comprend au moins une source adaptée pour émettre ledit faisceau de particules chargées électriquement en direction du porte-échantillon pour former l'échantillon ;
- 5 - l'installation comprend un dispositif de formation de faisceau disposé entre ladite source et ledit porte-échantillon, ledit dispositif de formation étant adapté pour mettre en œuvre au moins l'une des dispositions suivantes :
 - 10 - concentration des particules émises par la source en amas,
 - filtrage des amas présentant au moins une caractéristique souhaitée parmi la charge électrique, la masse, et le rapport de la charge électrique à la masse,
 - 15 - déflexion des amas en direction du masque ;
 - l'installation comprend une pluralité de sources adaptées chacune pour émettre des particules d'un matériau différent en direction dudit porte-échantillon ;
 - le masque comprend une pluralité d'ouvertures
 - 20 traversantes, et une première électrode au niveau de chaque ouverture traversante respective, chaque première électrode étant adaptée pour interagir électriquement avec les particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture correspondante ;
 - 25 - l'installation comprend une pluralité de sources adaptées chacune pour émettre des particules en direction dudit porte-échantillon à travers une ouverture correspondante ;
 - l'installation comprend un système de
 - 30 positionnement de source adapté pour détecter la position relative de la source et du masque ;
 - ledit système de positionnement comprend la source elle-même, configurée sous la forme d'une pointe de microscopie en champ proche, et présentant en surface
 - 35 extérieure le matériau formant lesdites particules, ladite

pointe étant adaptée pour dans un premier mode opératoire, détecter la position relative de la pointe et du masque et, dans un deuxième mode opératoire, pour émettre lesdites particules ;

5 - la source comprend un réservoir dudit matériau, et un dispositif de chauffage adapté pour liquéfier le matériau contenu dans le réservoir pour faire s'écouler celui-ci le long de la pointe de la source ;

 - la source est adaptée pour former ladite
10 ouverture.

Selon un autre aspect, l'invention se rapporte principalement à un procédé de nano-fabrication dans lequel :

a) un dispositif de détection en champ proche
15 détecte une position relative souhaitée d'un masque de formation et d'une surface d'un échantillon disposé sur un porte-échantillon,

b) un dispositif de déplacement génère un mouvement relatif dudit masque et dudit porte-échantillon pour placer
20 le masque et l'échantillon dans ladite position relative souhaitée, indépendamment de la position relative d'une source et du masque,

ledit masque de formation de l'échantillon comprenant

25 . une face inférieure orientée vers le porte-échantillon,

 . une face supérieure opposée à la face inférieure,

 . et au moins une ouverture traversante entre
30 les faces supérieure et inférieure,

c) on forme l'échantillon en faisant émettre à la source un faisceau de particules en direction du porte-échantillon, une partie desdites particules passant à travers l'ouverture traversante en direction du porte-
35 échantillon,

au cours de l'étape c), la source émet des particules chargées électriquement, et

d) on interagit électriquement avec les particules passant à travers l'ouverture traversante par au moins une première électrode du masque disposée au niveau de l'ouverture traversante.

Dans certains modes de réalisation, on peut mettre en œuvre l'une et/ou l'autre des dispositions suivantes :

- au cours de l'étape c), une particule atteint ladite surface de l'échantillon, pour former ladite surface, et détache de ladite surface une particule élémentaire chargée électriquement,

et au cours de l'étape d), on interagit avec les particules passant à travers l'ouverture en détectant ladite particule élémentaire chargée électriquement avec ladite première électrode ;

- au cours de l'étape d), on interagit avec la particule passant à travers l'ouverture en générant une différence de potentiel entre ladite première électrode et la surface, pour influencer sur l'énergie cinétique de ladite particule au moment où elle atteint ladite surface ;

- ledit masque comprend en outre au moins une deuxième électrode, la première électrode étant située entre la deuxième électrode et le porte-échantillon, ladite deuxième électrode étant située au niveau de l'ouverture traversante et, au cours de l'étape d), on interagit électriquement avec la particule passant à travers l'ouverture par lesdites électrodes et la surface formant ensemble une lentille électrostatique influant électriquement sur la trajectoire desdites particules ;

- e) on détecte la position relative de la source et de l'ouverture, et on génère un mouvement relatif de la source et de l'ouverture pour positionner la source et l'ouverture en des positions respectives adaptées pour qu'une partie du faisceau passe par l'ouverture ;

- on répète au moins les étapes a) à d) en une position relative souhaitée ultérieure ;

- on met en œuvre en outre au moins l'une des étapes suivantes :

5 - on concentre les particules émises par la source en amas,

- on filtre les amas présentant au moins une caractéristique souhaitée parmi la charge électrique, la masse et le rapport de la charge électrique à la masse,

10 - on dévie les amas en direction du masque ;

- au moins les étapes c) et d) sont mises en œuvre successivement pour une pluralité de sources émettant des particules à travers une même ouverture du masque ;

15 - au moins les étapes c) et d) sont mises en œuvre parallèlement pour une pluralité de sources émettant chacune des particules à travers chacune une ouverture respective ;

- la source forme l'ouverture traversante dans le masque.

20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront au cours de la description suivante de certaines de ses formes de réalisation, donnée à titre d'exemple non limitatif, en regard des dessins joints.

25 Sur les dessins :

- la figure 1 est une vue schématique d'une installation de nano-fabrication,

- la figure 2 est une vue schématique détaillée agrandie de la partie A de la figure 1,

30 - la figure 3 est une vue schématique d'un exemple de réalisation d'un dispositif de formation de faisceaux pour l'installation de la figure 1,

- la figure 4 est une vue schématique correspondant à la figure 2 d'une fonction de détection
35 mise en œuvre avec l'installation,

8

- la figure 5 est une vue schématique correspondant à la figure 2 d'une fonction de formation du substrat avec l'installation,
- la figure 6 est une vue schématique en trois dimensions d'un deuxième exemple d'installation, dont a été retiré le dispositif de formation de faisceaux pour une meilleure visualisation,
- la figure 7 est une vue schématique d'un exemple de source de particules destiné à équiper l'installation de la figure 6,
- la figure 8 est un schéma correspondant sensiblement à la figure 1 pour un troisième mode de réalisation, sur laquelle les dispositifs de formation de faisceau ne sont pas représentés, et
- la figure 9 est un schéma correspondant sensiblement à la figure 8, pour un quatrième mode de réalisation.

Sur les différentes figures, les mêmes références désignent des éléments identiques ou similaires.

La figure 1 représente très schématiquement une installation de nano-fabrication comportant une source 1 émettant un faisceau 2 de particules de matière électriquement chargées en destination d'un échantillon 4 à former porté par un porte-échantillons 3 de l'installation.

La source 1 émet un faisceau 2 de particules élémentaires (ions) et/ou d'amas, ou gouttelettes, chacun de ces amas présentant dans son ensemble une charge électrique respective. Il s'agit par exemple d'une source d'ions de métal liquide (LMIS pour « Liquid Metal Ion Source » telle que décrite par exemple dans WO 96/02065) émettant, lorsqu'elle est alimentée de manière appropriée, par exemple par un courant d'environ 40 μ A d'intensité, des amas d'ions comme, par exemple, des amas d'ions or Au^+ de taille de l'ordre du nanomètre. Ce faisceau est émis en direction de l'échantillon 4 soit directement soit par

l'intermédiaire d'un dispositif de formation de faisceau 5 qui sera décrit plus en détail par la suite en relation avec la figure 3.

L'installation de la figure 1 présente également un
5 dispositif de détection en champ proche 6 de type classique, de type microscope à force atomique (AFM pour « Atomic Force Microscopy »), ou microscopie à effet tunnel (STM pour « Scanning Tunneling Microscope ») ou autre
dispositif de détection approprié. De manière classique,
10 le microscope à force atomique comporte une tête 37 dotée d'une pointe 7 portée par une poutre ou cantilever flexible 36 (perpendiculaire au plan de la figure 1) et déplacée par un dispositif de déplacement 9 au voisinage de la surface 4a de l'échantillon à former, pour détecter le relief et/ou
15 la composition chimique de cette surface. Par « au voisinage de la surface », on entend que la pointe 7 peut être maintenue au contact de la surface ou à très faible distance de celle-ci pour la détection de cette surface. Le dispositif de déplacement 9 peut par exemple déplacer le
20 porte-échantillons 3 portant l'échantillon selon les directions x et y correspondants sensiblement au plan de surface 4a de l'échantillon et déplacer la tête 37 selon un axe z normal à cette surface, ou de toute autre manière appropriée. Le dispositif de déplacement est par exemple
25 réalisé sous la forme de dispositifs piezo-électriques dont l'allongement est proportionnel à une grandeur électrique parcourant ledit dispositif afin de permettre une précision, par exemple à l'échelle nanométrique, du déplacement.

30 Comme également visible sur la figure 1, la tête 37 est, selon un exemple, solidaire en déplacement au moins selon les axes x et y, d'un masque 8 disposé entre la source 1 et l'échantillon 4 sur le trajet des amas, éventuellement issus du dispositif de formation de faisceau
35 5, en direction de l'échantillon 4. En variante, le masque

8 est maintenu dans l'installation avec une position connue à l'avance par rapport à la tête 37, à l'échelle de la résolution du dispositif de détection près. Le masque repose par exemple sur le substrat, en état surélevé par rapport à celui-ci, par des cales. Ainsi, le masque 8 peut être déplacé indépendamment de la tête 37 pourvu que leurs positions respectives restent à tout moment connues, en étant par exemple calculées à partir de leur position respective initiale et du mouvement de l'un et/ou l'autre par rapport à cette position initiale.

Comme représenté plus en détail sur la figure 2, le masque 8 s'étend de manière sensiblement plane parallèlement au plan de la surface 4a de l'échantillon, et présente une épaisseur de l'ordre de la centaine de nanomètres. Il comporte une ouverture traversante 10 s'étendant de la surface supérieure 8a à la surface inférieure 8b du masque 8. L'ouverture traversante 10 est par exemple réalisée normalement aux surfaces supérieure et inférieure du masque 8 et présente par exemple un diamètre de l'ordre de 10 nm.

Dans l'exemple de réalisation présenté, une lentille électrostatique est réalisée à proximité de la surface 4a de l'échantillon 4 à former. Dans un exemple de réalisation purement illustratif, représenté sur la figure 2, une première électrode 11 est réalisée sur une face inférieure 8b du masque au niveau de l'ouverture 10. Une deuxième électrode 12 est réalisée, en amont de la première électrode sur le trajet source-surface des amas, par exemple sur la surface supérieure 8a du masque au niveau de l'ouverture traversante 10. L'ensemble formé de la deuxième électrode 12, de la première électrode 11, et de la surface 4a de l'échantillon forment dans l'exemple présenté, la lentille électrostatique. Un premier générateur 13 applique un premier potentiel électrique réglable à la première électrode 11, et un deuxième générateur 14

applique un deuxième potentiel électrique réglable, à la deuxième électrode 12.

Le masque 8 qui vient d'être décrit peut par exemple être réalisé par un outil de fabrication adapté du genre nano-fabrication par faisceaux d'ions focalisés (nanoFIB pour « Focused Ion Beam »). Par exemple, deux membranes de silicium sont chacune métallisée sur une face, et percée d'un trou destiné à former l'ouverture 10. Puis, ces deux membranes sont assemblées par leur face non métallisée, par exemple par collage moléculaire. Différents exemples d'empilements de deux membranes ou plus peuvent être réalisés selon les propriétés qu'on souhaite donner à la lentille.

La formation du faisceau dans un exemple utilisant le dispositif de formation de faisceaux 5 de la figure 1 est maintenant décrite en relation avec la figure 3. Le faisceau 2 émis par la source 1 est tout d'abord condensé et focalisé par une lentille électrostatique 15. Puis, on applique à ce faisceau un filtre de vitesse ExB, dit de Wien, permettant de séparer les ions, les amas globalement neutres, et les amas chargés présentant une masse, une charge, ou un rapport masse/charge électrique souhaité. Puis, un dispositif de déflexion 17, par exemple réalisé sous la forme d'un double quadrupole de déflexion, est utilisé pour diriger le faisceau d'amas 2 vers un endroit précis, de l'ordre de quelques microns carrés (μm^2) de superficie de la surface 4a de l'échantillon.

Dans cette description, l'ouverture 10 est un trou sensiblement ponctuel. Toutefois, on prévoit de mettre en œuvre l'invention également pour tout type d'ouverture en forme de fente étendue sensiblement selon une direction, segment de droite, de courbe, ou autre, correspondant à un motif à déposer.

En variante, on n'utilise pas nécessairement un dispositif de faisceau tel que décrit en relation avec la

figure 3. Dans ce cas, la source 1 est disposée au voisinage du masque 8, l'électrode supérieure du masque 8 pouvant servir d'extractrice pour la source 1, si l'ouverture 10 est un trou circulaire, pour garantir une symétrie du champ électrostatique nécessaire à l'extraction.

Lors de l'utilisation de l'installation, on place l'ouverture 10 en regard de l'emplacement à former de la surface 4a de l'échantillon. Ce positionnement est par exemple mis en œuvre, à l'aide du dispositif de déplacement 9 en détectant les particularités géométriques et/ou chimiques ou autres de la surface 4a de l'échantillon, à l'aide de la pointe 7 jusqu'à identifier l'emplacement souhaité. Puis on déplace le porte-échantillons ou le masque 8 de sorte que l'ouverture traversante 10 soit au dessus de l'emplacement souhaité.

Dans un premier exemple de mise en œuvre, comme représenté sur la figure 4, on peut, à l'aide de la première électrode 11, lorsque celle-ci est disposée sur la face inférieure 8b du masque 8, au niveau de l'ouverture 10, interagir avec les amas 18 chargés électriquement parvenant sur la surface de l'échantillon 4a. Si les amas sont chargés positivement, tels que par exemple des amas d'ions Au^+ , des électrons e^- vont être émis à destination de la première électrode 11, et ces électrons pourront être détectés par un détecteur approprié 19. Dans cette application, on entend par « au niveau de » que l'électrode est suffisamment proche de l'ouverture pour qu'un nombre suffisant d'électrons émis du fait de l'arrivée des amas 18 sur la surface 4a soit détecté pour fournir une information pertinente sur la quantité de matière déposée. Par cette détection, on pourra mettre en œuvre un contrôle de la quantité d'or déposée, dans l'exemple considéré, à la surface 4a de l'échantillon, en l'emplacement souhaité, ce qui permet de contrôler la durée pendant laquelle le

procédé doit être mis en œuvre en cet emplacement. Une fois le dépôt formé, le masque peut être déplacé, par rapport à l'échantillon jusqu'à un nouvel emplacement souhaité où ces étapes sont répétées. Ce nouvel emplacement
5 souhaité peut avoir été préalablement détecté par le dispositif de détection 6.

Selon une deuxième application, comme représenté sur la figure 5, on agit électriquement directement sur les amas 18 lors de leur trajet depuis la source 1 jusqu'à la
10 surface 4a à former de l'échantillon. On applique par exemple un potentiel retardateur à la première électrode 11 à l'aide du premier générateur 13. L'électrode d'entrée 12 est quant à elle maintenue au potentiel de la masse ou à un autre potentiel. Par conséquent, un champ électrique est
15 généré par la lentille électrostatique qui va avoir l'effet de focaliser les amas 18 en direction de l'emplacement souhaité 2 de la surface 4a de l'échantillon. Des vitesses de dépôt de l'ordre de 10 nm/min peuvent ainsi être obtenues. Par ailleurs, comme la masse et/ou la charge de
20 chacun des amas 18 est sensiblement prédéterminée pour les amas arrivants au niveau du masque 8, lorsqu'on utilise un dispositif de formation de faisceaux 5, le réglage du potentiel appliqué par le premier générateur 13 à la première électrode 11 permet d'influer sur l'énergie
25 cinétique que présentent les amas 18 au moment où ceux-ci arrivent au niveau de la surface 4a de l'échantillon 4. Il en résulte un meilleur contrôle des conditions de dépôts, ou d'implantation dans l'échantillon 4 des amas 18, ou de formation de la surface 4a. En effet, l'enrobage des amas
30 dans la surface est directement lié à l'énergie cinétique de ceux-ci à l'arrivée. Celle-ci peut être par exemple contrôlée entre quelques centaines de Volts et 5kV.

Par « au niveau de », on entend dans cette application que l'électrode est suffisamment proche de
35 l'ouverture pour que l'application d'un potentiel

électrique à l'électrode puisse influencer électriquement les amas chargés électriquement passant par l'ouverture.

Bien entendu, la détection de la formation de la surface 4a en l'emplacement considéré peut également être effectuée par la suite en déplaçant la tête 37 du dispositif de détection 6 en cet emplacement.

Puis, le masque 8 peut être déplacé vers un autre emplacement dans lequel la surface 4a de l'échantillon doit être formée. Dans cet exemple, on a présenté une lentille simple présentant un masque à deux électrodes. On peut prévoir d'augmenter le nombre d'électrodes superposées au niveau de l'ouverture pour influencer de manière plus précises sur les amas. Le dispositif de détection 6 peut être déplacé indépendamment de la source 1 jusqu'à ce que l'ouverture 10 se situe au dessus du nouvel emplacement à former de la surface 4a de l'échantillon. Il suffit alors, de déplacer ou non la source 1 selon l'étendue géométrique du faisceau 2. Sans déplacer la source 1, on peut modifier des caractéristiques du dispositif de déflexion 17 du dispositif de formation de faisceaux 5 pour diriger le faisceau 2 vers le nouvel emplacement.

Pour détecter la position de l'ouverture 10 par rapport à la source 1, la source LMIS est utilisée à faible courant, en mode « Imagerie ». On peut alors ajuster la position relative de la source et du masque à l'aide du dispositif de positionnement 20, ou modifier les caractéristiques du déflecteur 17.

Le masque ne nécessite pas d'être aligné avec la source et son dispositif de formation de faisceaux, car c'est le faisceau, en mode imagerie, qui vient détecter en permanence la position du masque, et s'aligne sur l'ouverture.

L'installation peut en alternative comporter un dispositif de détection pour détecter les positions relatives de la source 1 et de l'ouverture 10.

Si il est détecté que l'ouverture 10 se rebouche lors du dépôt d'ions or sur le masque 8, à proximité de l'ouverture 10, on peut également à partir de la source 1, former non plus la surface 4a du substrat mais l'ouverture 10 elle-même en re-gravant celle-ci de manière appropriée pour qu'elle présente la forme voulue, par gravure des dépôts d'or formés à sa surface.

De plus, les aberrations de cette géométrie de lentille, avec des ouvertures de type nano-trou, sont très faibles. Le grandissement si la distance de travail est réduite à pratiquement zéro, va atteindre une valeur minimum. La limite théorique sera fixée par le phénomène de diffraction à l'échelle de l'Angström pour les particules chargées énergétiques et massives employées.

Comme représenté sur la figure 6, dans une variante de réalisation, le masque 8 n'est pas nécessairement réalisé d'une manière indépendante de la tête 37 du dispositif de détection, les positions relatives du masque 8 et de la tête 37 étant finement corrélés. Dans cette variante, le masque 8 peut être formé comme une portion du cantilever 36 de la tête 37. L'épaisseur du masque 8 étant ajustée selon les besoins entre un dixième et quelques dixièmes de microns. Le masque 8 est par exemple réalisé comme représenté par une portion amincie rapportée sur le corps du cantilever 36, afin de ne pas influencer sur la rigidité et les caractéristiques en flexion du cantilever qui ont été établies avec précaution pour fournir un dispositif de détection de très grande précision et offrir une surface utile étendue pour le masque.

Cette disposition permet :

- de fabriquer puis d'utiliser une pluralité d'ouvertures ayant des formes, tailles, positions et/ou organisations variables, et pouvant être adressées par le faisceau d'amas de manière individuelle (dépôt de points, de motifs) ou collective (réseau de motifs), ce dernier

cas permettant de transférer les motifs définis par le masque de manière parallèle/simultanée ;

- de protéger, par effet d'écran, de manière très efficace, les régions de la surface 4a de l'échantillon 4, voisines de l'ouverture pratiquée dans un masque, car ce masque est de superficie plus étendue que la superficie du cantilever lui-même.

Sur la figure 6 également, qui n'est pas à l'échelle, et sur laquelle le dispositif de formation de faisceaux 5 a été omis, on a également représenté une source pouvant être utilisée à la place d'une source LMIS classique. Cette source comprend une pointe 21 se présentant généralement sous la forme d'une aiguille 22 présentant un corps 23 sensiblement cylindrique s'étendant à la fois dans une portion proximale 24 et une portion médiane 25 de la pointe, et une extrémité pointue 26 s'étendant dans une portion distale 27 de la pointe en prolongement du corps 23. La géométrie externe de l'extrémité pointue 26, qui s'étend sur quelques dixièmes de millimètres est celle d'une pointe de microscope à effet tunnel. Le rayon de courbure terminal de la pointe est sensiblement compris entre 0,1 et 2 micromètres, de préférence entre 0,3 et 1 micromètre, tel que mesuré par microscopie à balayage. A ce titre, on donnera à la surface externe 26a de l'extrémité pointue 26 toute géométrie adaptée pour l'utilisation de la tête de lecture/écriture comme aiguille de microscope à effet tunnel.

L'aiguille 22 comporte un long noyau effilé 28 d'un matériau réfractaire, tel que par exemple du tungstène et, recouvert d'une fine couche 29 d'un matériau électriquement conducteur, tel que par exemple de l'or. A titre d'exemple, dans le mode de réalisation présenté, le noyau 28 est formé d'un fil de tungstène de 0,25 mm de diamètre recouvert au moins partiellement, et au moins dans la portion distale 27, d'un film d'or de quelques microns

d'épaisseur.

Dans la portion médiane 25 de la pointe 21 se trouvent quelques spires 30a, 30b, 30c d'un filament électrique 30. Ces spires, au nombre de trois sur la figure 7, à titre d'exemple, sont enroulées autour de l'axe longitudinal de l'aiguille 22 dans la portion médiane et sont par exemple réalisées d'un fil de tungstène d'environ 0,1 mm de diamètre. Dans l'exemple présenté, les spires forment un cercle de diamètre d'environ 0,5 mm qui entoure un réservoir 31 du matériau électriquement conducteur.

Comme représenté sur la figure 6, la pointe 21 qui vient d'être décrite, est montée sur une tête 32 telle que par exemple une tête de microscopie à effet tunnel de diamètre extérieur de quelques millimètres. Une telle tête 32 comporte par exemple un capillaire central 33 adapté à être relié à un générateur électrique (non représenté sur la figure 6) ainsi qu'une pluralité de traverses 34a, 34c isolées électriquement les unes des autres.

La pointe 21, représentée sur la figure 7, comportant l'aiguille 22 et le filament 30 comportant une première extrémité 30d et une deuxième extrémité 30e entre lesquelles s'étendent les spires 30a, 30b, 30c est connectée électriquement à la tête 32. D'une part, la portion proximale 24 de la pointe est connectée électriquement au capillaire central 33 alimenté depuis la première traverse 34a. A ce niveau, la première extrémité 10d du filament 30 est connectée électriquement à l'aiguille 22, pour former un seul point de contact électrique. Pour refermer le circuit électrique de chauffage, la deuxième extrémité 30e du filament 30 est reliée électriquement à une des traverses isolées, par exemple la traverse 34c, par exemple par sertissage, ou par soudure par points.

Les première et deuxième traverses 34a, 34c sont reliées à un générateur électrique La traverse 34c est

quant à elle reliée électriquement au capillaire 33. La tête 32 est placée à proximité du masque 8. La distance entre la pointe 21 et le masque 8 est par exemple de l'ordre de la centaine de microns. Le générateur électrique est également connecté électriquement au masque 8 pour l'application d'une différence de potentiel entre le masque 8 et la pointe 21.

Un dispositif de déplacement 20 est adapté pour appliquer un mouvement relatif du masque 8 et de la pointe 1 selon une, deux ou trois dimensions. Un tel dispositif de déplacement peut être classiquement un dispositif de déplacement du type utilisé en microscopie par effet tunnel, tel que par exemple un dispositif à base d'éléments piézo-électriques capables de s'allonger sous l'effet du passage d'un courant électrique dans le matériau. Dans l'exemple présenté, comme représenté par les trois flèches, X, Y, Z, la source peut être soumise à un déplacement selon les trois directions par rapport au masque qui reste fixe. D'autres variantes de réalisation sont possibles.

Dans l'exemple présenté, le générateur électrique comporte d'une part un générateur de courant relié aux deux traverses 34a et 34c pour faire circuler un courant de chauffage dans le filament 30. Le générateur électrique comporte également un générateur de tension adapté pour appliquer une différence de potentiel d'un premier signe entre la pointe et le masque, ou une différence de potentiel d'un deuxième signe opposé au premier signe entre ces deux éléments.

Un premier générateur de tension est adapté pour utiliser la source 1 en mode d'écriture (source d'ion de métal liquide). A ce titre, on peut par exemple utiliser un générateur du type appliquant à la pointe 21 une tension positive de l'ordre de 0 à 5 kilovolts, le masque 8 étant relié à la masse. Le courant délivré par le premier générateur est de l'ordre de 1 à 10 micro ampères par

exemple.

A titre de second générateur de tension, celui-ci peut appliquer une tension négative de l'ordre de quelques volts à la pointe 21 tandis que le masque 8 est reliée à la
5 masse. Un courant pouvant être inférieur à 1 pico ampère, jusqu'à de l'ordre de 300 nanoampères peut alors circuler entre la pointe et le masque.

Le dispositif qui vient d'être décrit peut être utilisé en mode écriture en tant que source d'ion de métal
10 liquide. En plaçant l'interrupteur sur une position appropriée, le premier générateur applique une différence de potentiel positive de l'ordre de quelques kilovolts entre la pointe 1 et le masque 8. Simultanément, le générateur de courant active le dispositif de transfert de
15 chaleur en faisant circuler dans le filament 30 un courant suffisant (par exemple de l'ordre de quelques ampères pour la géométrie présentée) pour chauffer, au niveau des spires, le matériau électriquement conducteur à une température au moins égale à sa température de fusion.
20 Avec la géométrie présentée, une puissance de 1,5 W suffit à atteindre une température de 1000°C environ au niveau du réservoir. Dans ce mode de fonctionnement, en mode écriture par émission d'ions liquides, un cône de Taylor se forme à l'extrémité de la pointe, du fait des actions opposées du
25 champ électrique appliqué, qui tend à arracher des ions de la pointe, et de la tension de surface du film de métal liquide recouvrant l'aiguille. La différence de potentiel appliquée entre la pointe 21 et le masque 8 forme un faisceau d'ions du métal électriquement conducteur de la
30 couche 29 par évaporation de champ. Ceux-ci vont former la portion de l'échantillon en regard. L'érosion due à l'extraction de matière depuis la pointe 21 est compensée par l'écoulement le long de l'aiguille du matériau électriquement conducteur du réservoir 31 liquéfié par les
35 spires du filament qui transfèrent l'énergie en provenance

du générateur de courant. La matière située à l'extrémité de l'aiguille est ainsi renouvelée en permanence, ce qui permet de disposer d'un mode écriture possédant une grande longévité.

5 En plaçant l'interrupteur dans une deuxième position, le deuxième générateur de tension applique une différence de potentiel négative de quelques volts entre la pointe 21 et le masque 8 pour un fonctionnement en mode lecture par microscopie par effet tunnel. Sous l'effet de
10 cette différence de potentiel, un courant de l'ordre du nanoampère par exemple circule entre la pointe 21 et le masque 8, et la pointe 21 fonctionne alors comme une pointe de microscopie à effet tunnel. Un dispositif de détection adapté, du type de ceux utilisés en microscopie par effet
15 tunnel pour déduire une information relative à la surface 8a du masque 8 à partir du courant mesuré est utilisé pour détecter cette information. Un tel dispositif de détection étant classique dans le domaine de la microscopie par effet tunnel, il ne sera pas décrit plus en détail ici.

20 Dans un mode de régénération, la géométrie extérieure de l'extrémité de l'aiguille 22 peut être renouvelée. En effet, par exemple suite à l'écriture en mode d'émission d'ion de métal liquide, l'extrémité de la pointe 21 peut avoir été soumise à une forte érosion, et il
25 convient de renouveler la géométrie de cette extrémité pour les utilisations ultérieures de la pointe 21. Dans ce mode, sans appliquer de différence de potentiel entre la pointe 1 et le masque 8, le matériau électriquement conducteur contenu dans le réservoir est liquéfié par
30 chauffage appliqué par le générateur de courant, pour faire s'écouler ce matériau le long de la pointe jusqu'à ce que celle-ci retrouve sa géométrie originelle.

 A l'aide du dispositif qui vient d'être décrit, on peut par exemple détecter, en mode lecture, la position de
35 l'ouverture 10. La source étant positionnée en regard de

l'ouverture 10, elle émet, en mode écriture, des amas électriquement chargées, comme décrit précédemment. Comme dans les modes de réalisation précédemment décrits, le masque 8 est déplacé par rapport à l'échantillon 4 pour former d'autres emplacements de la surface supérieure de l'échantillon.

Alternativement, on peut également détecter une position choisie du masque 8 métallisé et graver dans celui-ci une ouverture 10 correspondant au motif que l'on souhaite déposer ultérieurement.

Comme représenté sur la figure 8, on peut utiliser une pluralité de sources 1 correspondant chacune à l'un ou à l'autre des modes de réalisation présentés précédemment. Ces sources peuvent comporter des matériaux différents entre elles, et être utilisées successivement pour déposer en un même emplacement de la surface 4a à travers l'ouverture 10 des matériaux différents. Alternativement, la pluralité de sources peut être utilisée successivement en des emplacements différents après déplacement du masque 8.

Comme représenté sur la figure 9, on peut également mettre en œuvre un traitement parallèle de la surface 4a de l'échantillon 4 en disposant d'une pluralité de sources 1 fonctionnant chacune en regard d'une ouverture 10 formée dans le masque 8.

Deux exemples de source ont été présentés. On prévoit l'utilisation de tout autre type de source de gouttelettes électriquement chargées, par exemple de type « electron beam ion trap ».

L'installation qui vient d'être décrite peut permettre de mettre en œuvre des dépôts en vue de restaurer des connexions électriques de micro composants électroniques.

On prévoit également d'utiliser l'installation pour mettre en œuvre des dépôts de précurseurs pour croissance

WO 2007/096505

PCT/FR2007/000287

22

localisée, tels que des précurseurs de nano tubes de carbone, de nano-fil d'arsenure de gallium, de mémoire magnétique, ou autre.

REVENDICATIONS

1. Installation de nano-fabrication comprenant

- un porte-échantillon adapté pour recevoir un échantillon présentant une surface,
- un masque de formation de l'échantillon comprenant
 - une face inférieure orientée vers le porte-échantillon,
 - une face supérieure opposée à la face inférieure et adaptée pour recevoir un faisceau de particules émis par une source en direction du porte-échantillon pour former l'échantillon,
 - et au moins une ouverture traversante entre les faces supérieure et inférieure, adaptée pour laisser passer à travers elle une partie desdites particules en direction du porte-échantillon,
- un dispositif de détection en champ proche adapté pour détecter une position relative souhaitée dudit masque et dudit échantillon;
- un dispositif de déplacement adapté pour générer un mouvement relatif dudit masque et dudit porte-échantillon pour placer le masque et l'échantillon dans ladite position relative souhaitée, indépendamment de la position relative de la source et du masque, caractérisé en ce que le masque comprend :
 - au moins une première électrode au niveau de l'ouverture traversante adaptée pour interagir électriquement avec les particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture,
 - et au moins une deuxième électrode, la première électrode étant située entre la deuxième électrode et le porte-échantillon, ladite deuxième électrode étant située au niveau de l'ouverture traversante, lesdites électrodes et la surface de l'échantillon formant ensemble une lentille électrostatique adaptée pour influencer électriquement sur le déplacement desdites particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture, lors de l'application d'un potentiel électrique auxdites électrodes.

2. Installation selon la revendication 1 comprenant en outre un générateur adapté pour générer un potentiel électrique dans au moins une structure choisie parmi la première électrode, la deuxième électrode et la surface de l'échantillon.

3. Installation selon la revendication 1 ou 2 dans laquelle ladite première électrode est située sur la face inférieure dudit masque.

4. Installation selon la revendication 3 comprenant en outre un détecteur relié à ladite électrode inférieure, adapté pour détecter des particules électriques élémentaires détachées de l'échantillon par l'arrivée sur la surface des particules passant à travers l'ouverture.

5. Installation selon l'une des revendications 1 à 4 comprenant en outre un générateur adapté pour générer un potentiel électrique entre ladite première électrode et l'échantillon, pour influencer sur l'énergie cinétique des particules entre le masque et l'échantillon.

6. Installation selon l'une des revendications 1 à 5 dans laquelle le dispositif de détection en champ proche comprend une tête déplaçable par rapport au porte-échantillon au voisinage de la surface de l'échantillon, ladite tête étant positionnée en une position relative connue par rapport audit masque.

7. Installation selon la revendication 6, dans laquelle ladite tête et ledit masque sont solidaires en déplacement dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon.

8. Installation selon la revendication 6 dans laquelle la tête comprend une pointe et un cantilever flexible, ledit masque étant formé dans une portion amincie du cantilever.

9. Installation selon l'une des revendications 1 à 8 dans laquelle l'ouverture traversante comprend une fente étroite s'étendant transversalement au trajet des particules vers le porte-échantillon.

10. Installation selon l'une des revendications 1 à 9 comprenant en outre au moins une source adaptée pour émettre ledit faisceau de particules chargées électriquement en direction du porte-échantillon pour former l'échantillon.

11. Installation selon la revendication 10 comprenant en outre un dispositif de formation de faisceau disposé entre ladite source et ledit porte-échantillon, ledit dispositif de formation étant adapté pour mettre en oeuvre au moins l'une des dispositions suivantes :

- concentration des particules émises par la source en amas,
- filtrage des amas présentant au moins une caractéristique souhaitée parmi la charge électrique, la masse, et le rapport de la charge électrique à la masse,

- déflexion des amas en direction du masque.

12. Installation selon la revendication 10 ou 11 comprenant une pluralité de sources adaptées chacune pour émettre des particules d'un matériau différent en direction dudit porte-échantillon.

13. Installation selon la revendication 10 ou 11 dans laquelle le masque comprend une pluralité d'ouvertures traversantes, et une première électrode au niveau de chaque ouverture traversante respective, chaque première électrode étant adaptée pour interagir électriquement avec les particules chargées électriquement passant à travers l'ouverture correspondante.

14. Installation selon la revendication 13 comprenant une pluralité de sources adaptées chacune pour émettre des particules en direction dudit porte-échantillon à travers une ouverture correspondante.

15. Installation selon l'une quelconque des revendications 10 à 14 comprenant en outre un système de positionnement de source adapté pour détecter la position relative de la source et du masque.

16. Installation selon la revendication 15 dans laquelle ledit système de positionnement comprend la source elle-même, configurée sous la forme d'une pointe de microscopie en champ proche, et présentant en surface extérieure le matériau formant lesdites particules, ladite pointe étant adaptée pour dans un premier mode opératoire, détecter la position relative de la pointe et du masque et, dans un deuxième mode opératoire, pour émettre lesdites particules.

17. Installation selon la revendication 16, dans laquelle la source comprend un réservoir dudit matériau, et un dispositif de chauffage adapté pour liquéfier le matériau contenu dans le réservoir pour faire s'écouler celui-ci le long de la pointe de la source.

18. Installation selon l'une des revendications 10 à 17 dans laquelle la source est adaptée pour former ladite ouverture.

19. Procédé de nano-fabrication dans lequel :

a) un dispositif de détection en champ proche détecte une position relative souhaitée d'un masque de formation et d'une surface d'un échantillon disposé sur un porte-échantillon,

b) un dispositif de déplacement génère un mouvement relatif dudit masque et dudit porte-échantillon pour placer le masque et l'échantillon dans ladite position relative souhaitée, indépendamment de la position relative d'une source et du masque,

ledit masque de formation de l'échantillon comprenant

une face inférieure orientée vers le porte-échantillon,

une face supérieure opposée à la face inférieure,

et au moins une ouverture traversante entre les faces supérieure et inférieure,

c) on forme l'échantillon en faisant émettre à la source un faisceau de particules en direction du porte-échantillon, une partie desdites particules passant à travers l'ouverture traversante en direction du porte-échantillon,

caractérisé en ce que au cours de l'étape c), la source émet des particules chargées électriquement,

en ce que d) on interagit électriquement avec les particules passant à travers l'ouverture traversante par au moins une première électrode du masque disposée au niveau de l'ouverture traversante.

en ce que ledit masque comprend en outre au moins une deuxième électrode, la première électrode étant située entre la deuxième électrode et le porte-échantillon, ladite deuxième électrode étant située au niveau de l'ouverture traversante,

et en ce que, au cours de l'étape d), on interagit électriquement avec la particule passant à travers l'ouverture par lesdites électrodes et la surface formant ensemble une lentille électrostatique influant électriquement sur la trajectoire desdites particules.

20. Procédé de nano-fabrication selon la revendication 19, dans lequel, au cours de l'étape c), une particule atteint ladite surface de l'échantillon, pour former ladite surface, et détache de ladite surface une particule élémentaire chargée électriquement,

et dans lequel, au cours de l'étape d), on interagit avec les particules passant à travers l'ouverture en détectant ladite particule élémentaire chargée électriquement avec ladite première électrode.

21. Procédé de nano-fabrication selon la revendication 19 ou la revendication 20, dans lequel, au cours de l'étape d), on interagit avec la particule passant à travers l'ouverture en

généralant une différence de potentiel entre ladite première électrode et la surface, pour influencer sur l'énergie cinétique de ladite particule au moment où elle atteint ladite surface.

22. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 21, dans lequel e) on détecte la position relative de la source et de l'ouverture, et on génère un mouvement relatif de la source et de l'ouverture pour positionner la source et l'ouverture en des positions respectives adaptées pour qu'une partie du faisceau passe par l'ouverture.

23. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 22, dans lequel on répète au moins les étapes a) à d) en une position relative souhaitée ultérieure.

24. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 23, dans lequel on met en oeuvre en outre au moins l'une des étapes suivantes :

- on concentre les particules émises par la source en amas,
- on filtre les amas présentant au moins une caractéristique souhaitée parmi la charge électrique, la masse et le rapport de la charge électrique à la masse,
- on dévie les amas en direction du masque.

25. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 24, dans lequel au moins les étapes c) et d) sont mises en oeuvre successivement pour une pluralité de sources émettant des particules à travers une même ouverture du masque.

26. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 25, dans lequel au moins les étapes c) et d) sont mises en oeuvre parallèlement pour une pluralité de sources émettant chacune des particules à travers chacune une ouverture respective.

27. Procédé de nano-fabrication selon l'une des revendications 19 à 26, dans lequel la source forme l'ouverture traversante dans le masque.

1/4

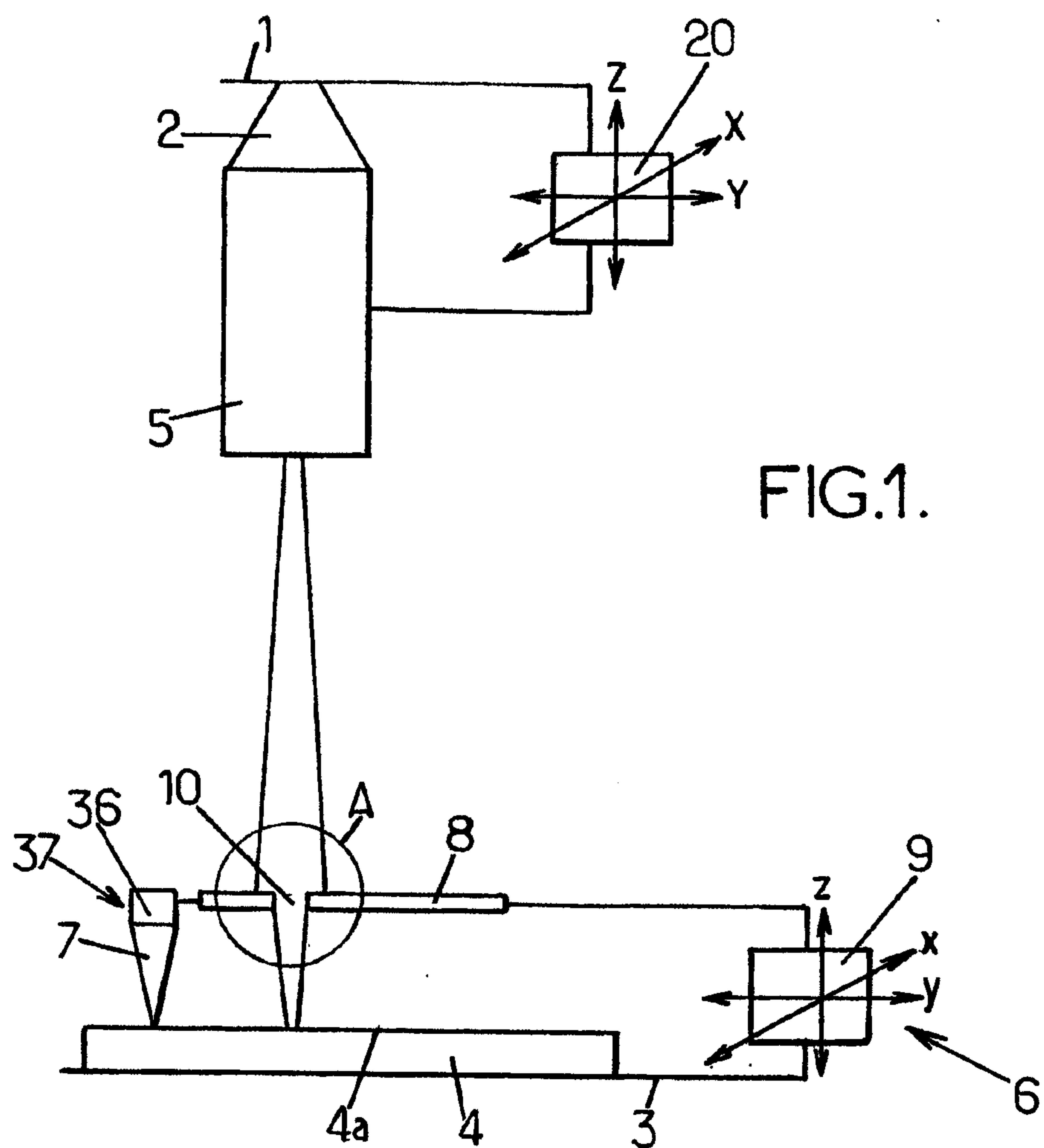


FIG.1.

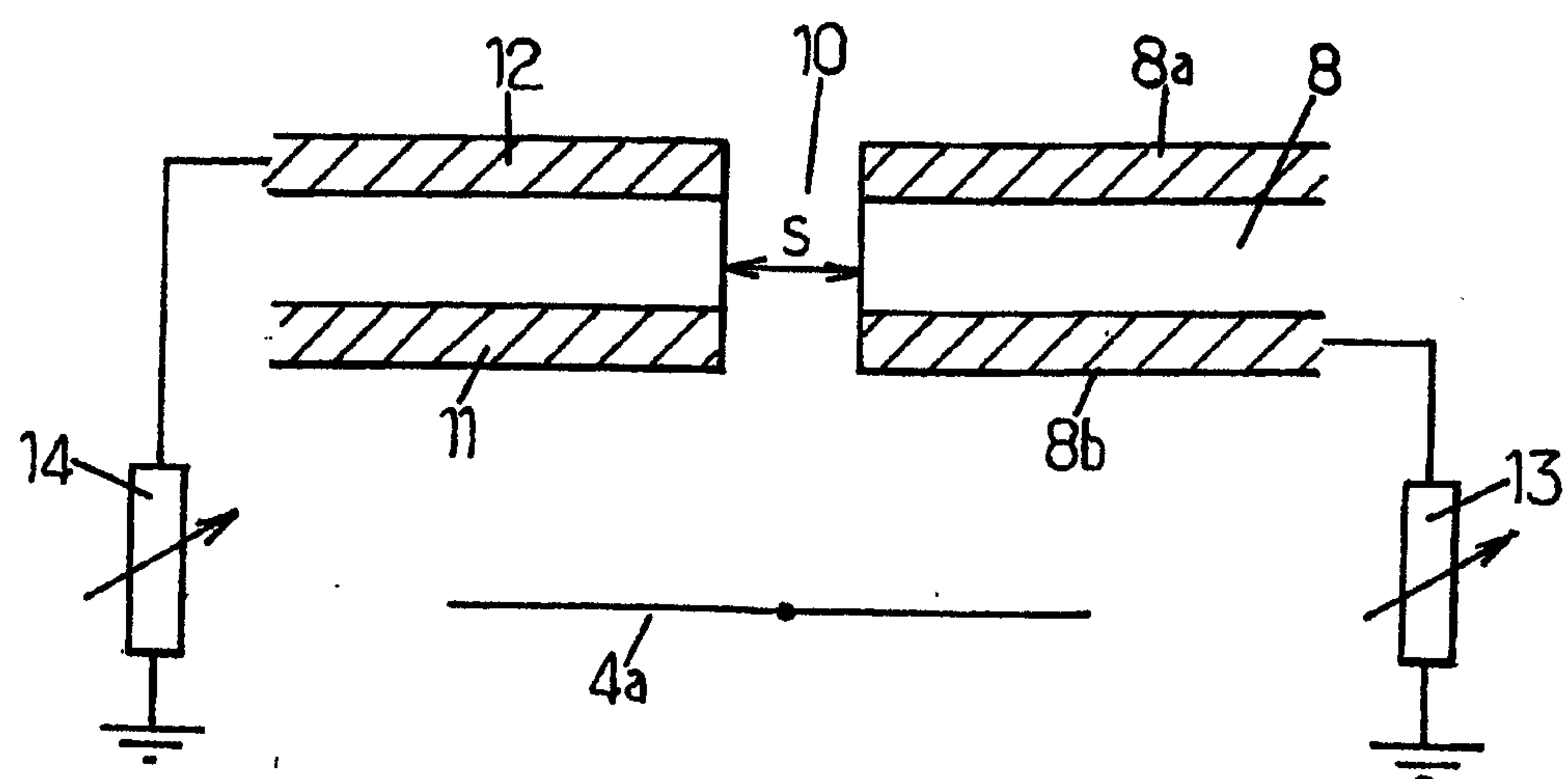
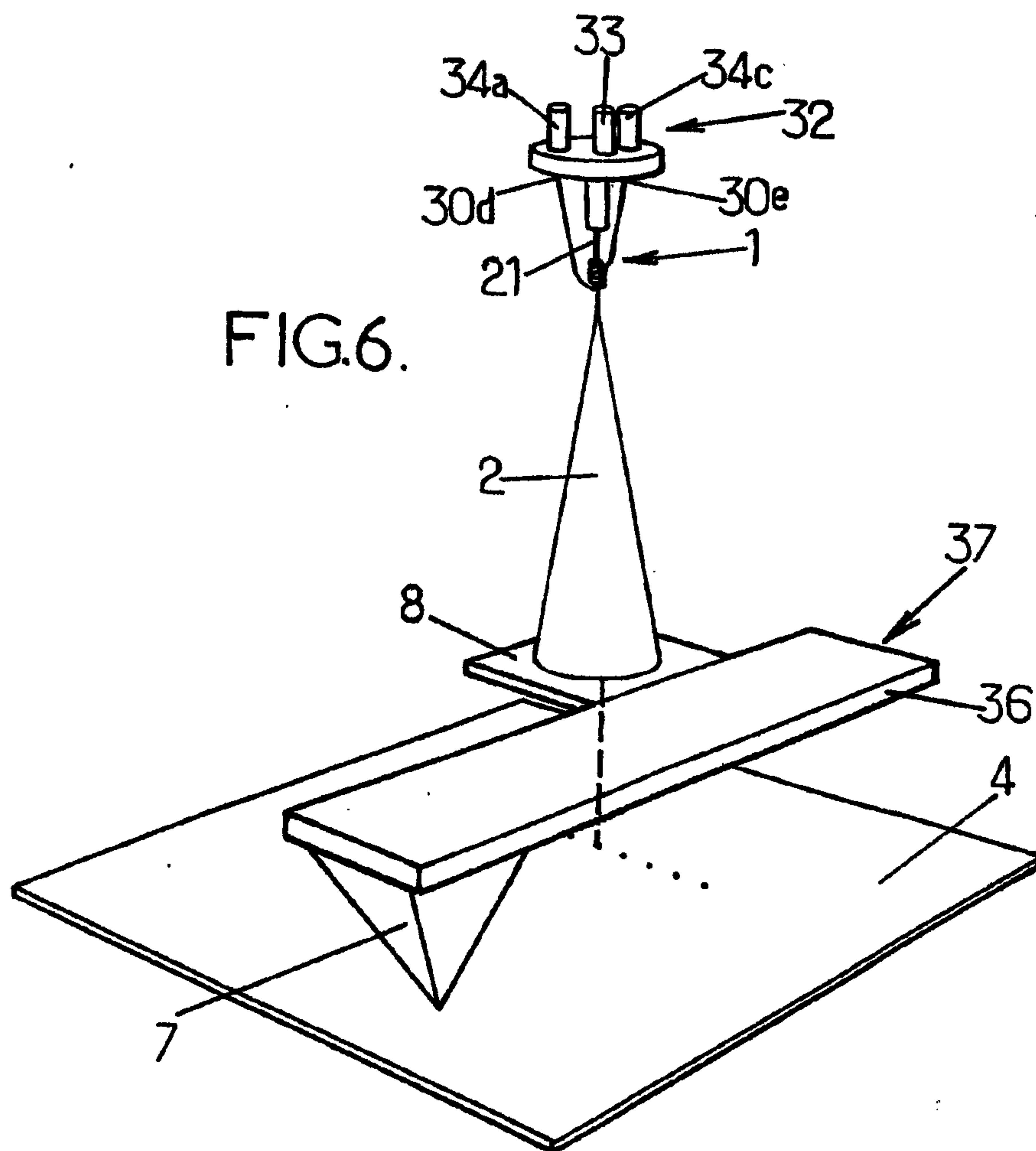
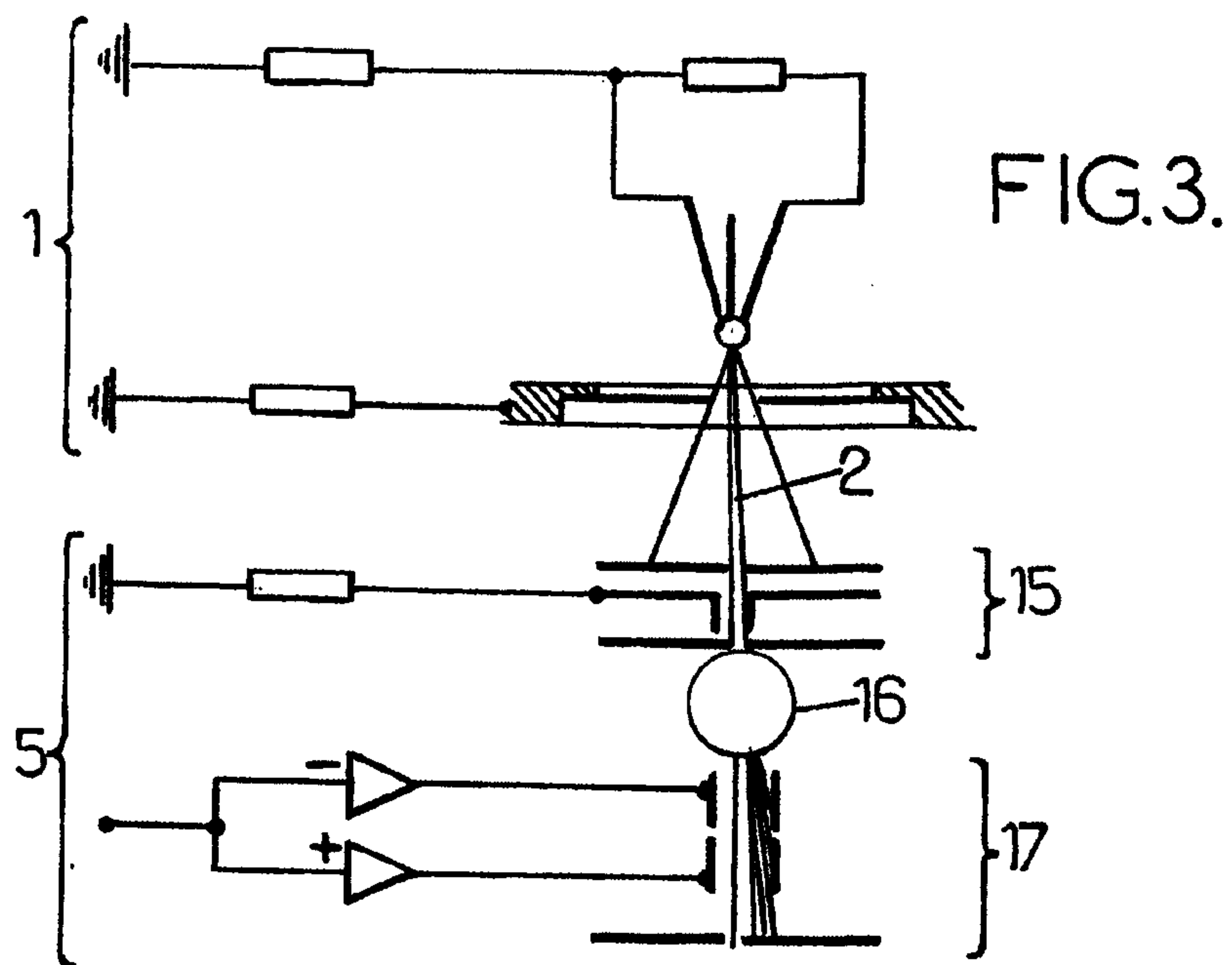


FIG.2.



3/4

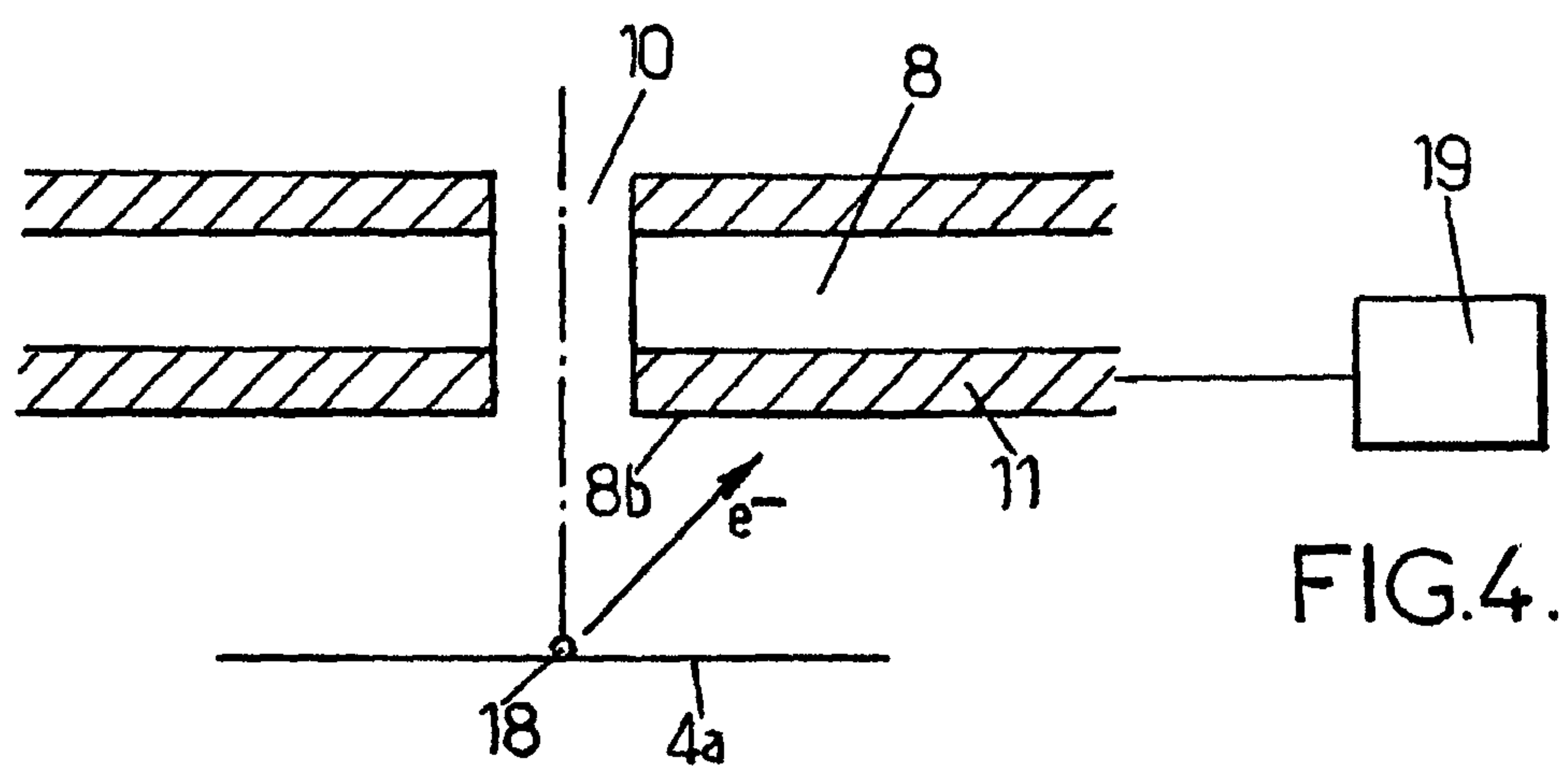


FIG. 4.

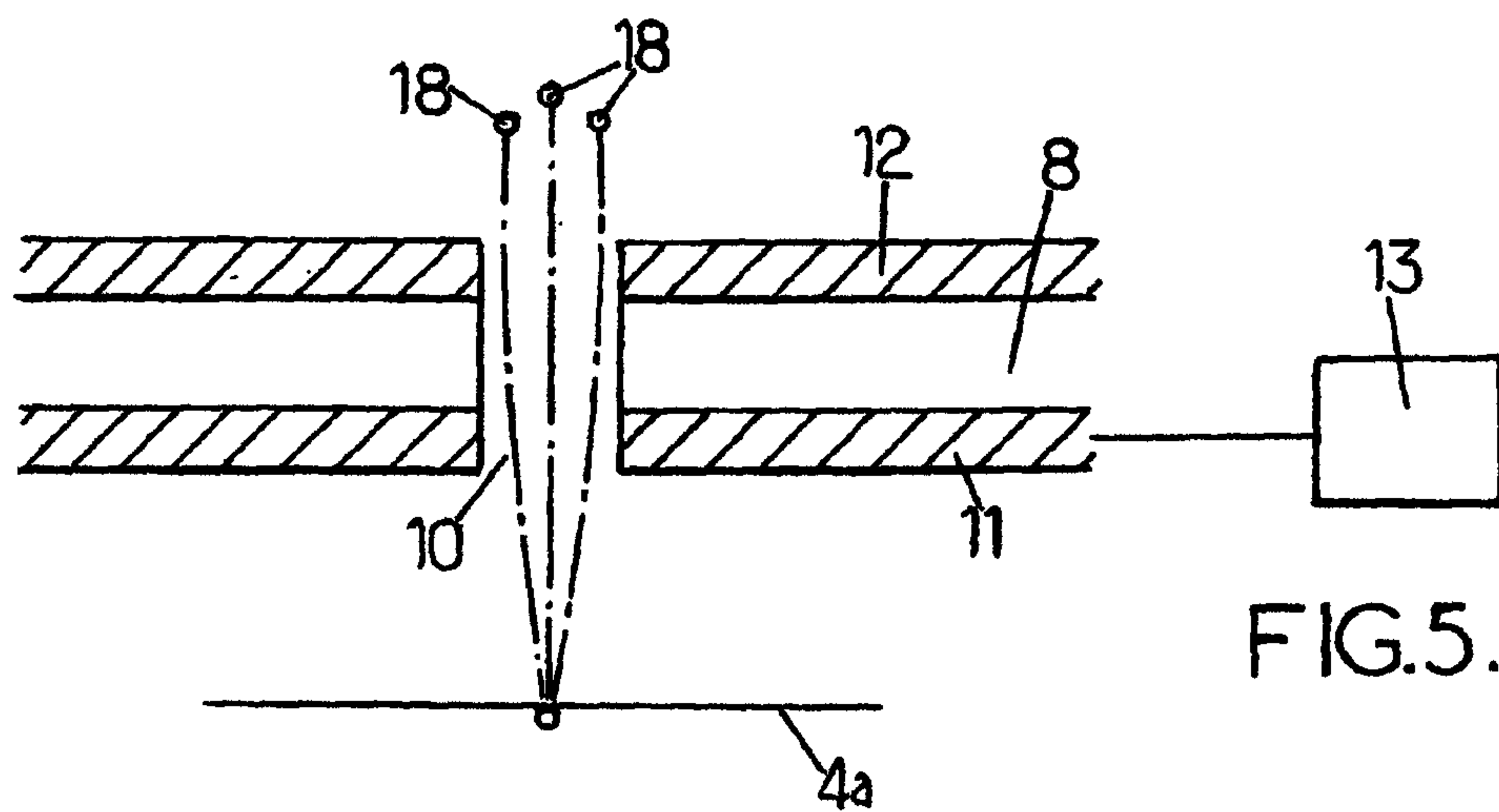


FIG. 5.

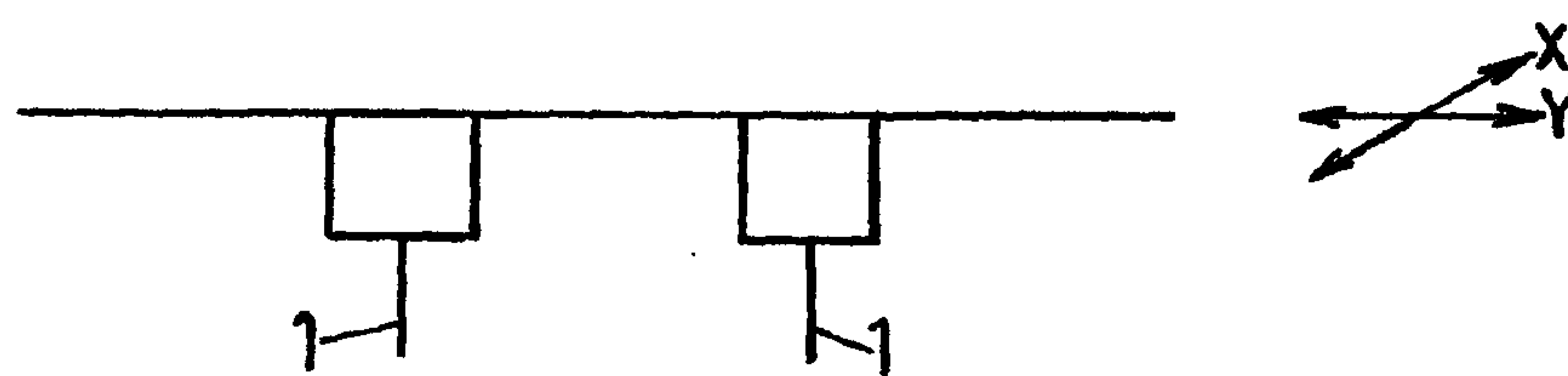
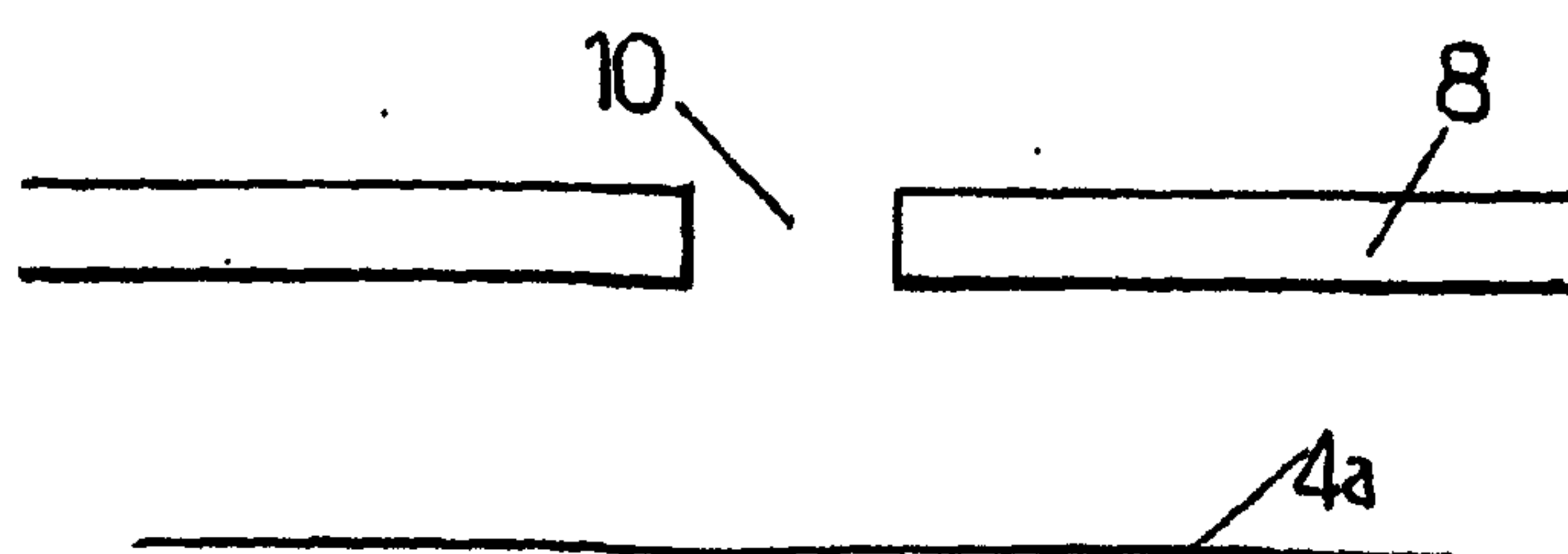


FIG. 8.



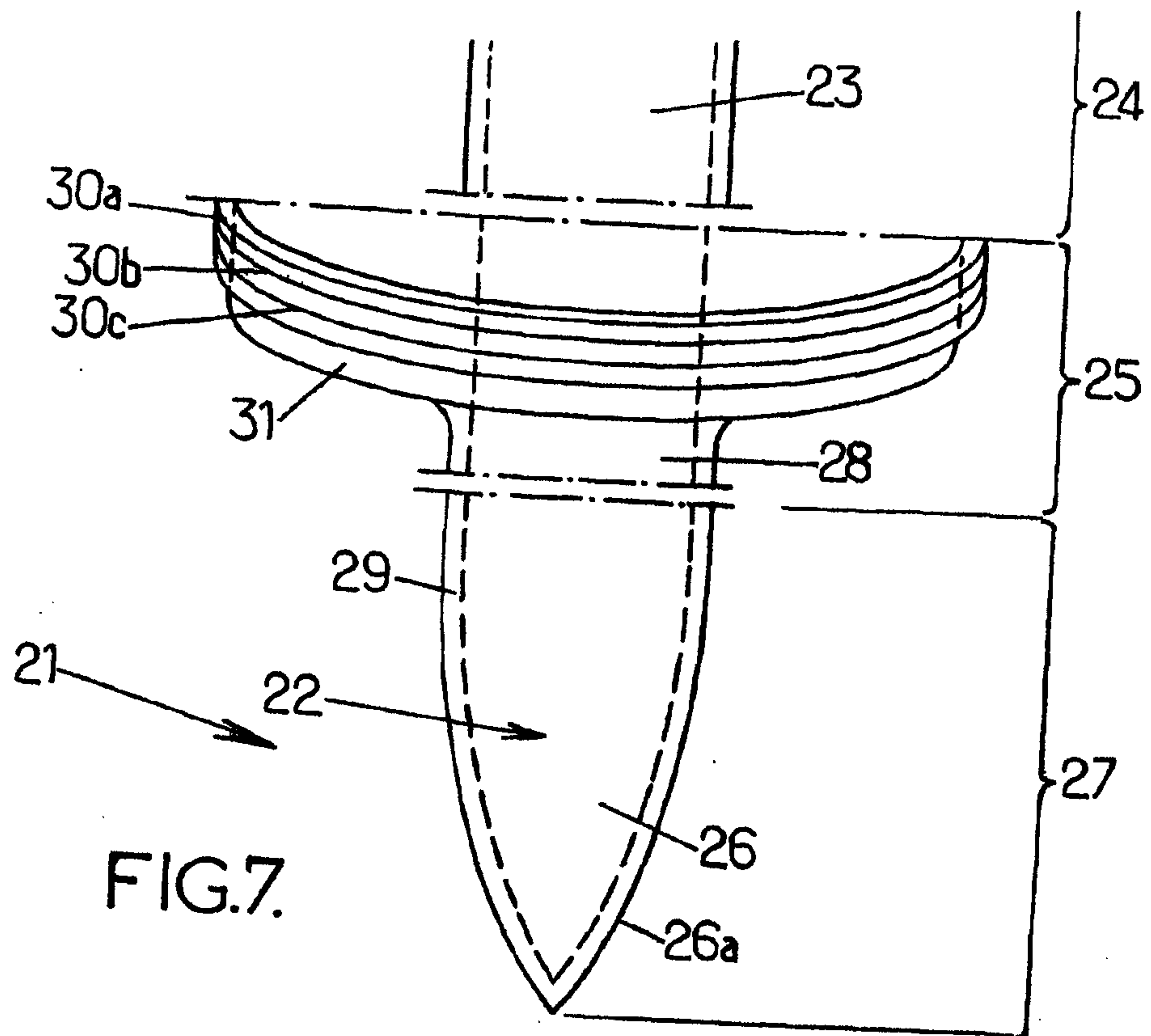


FIG.7.

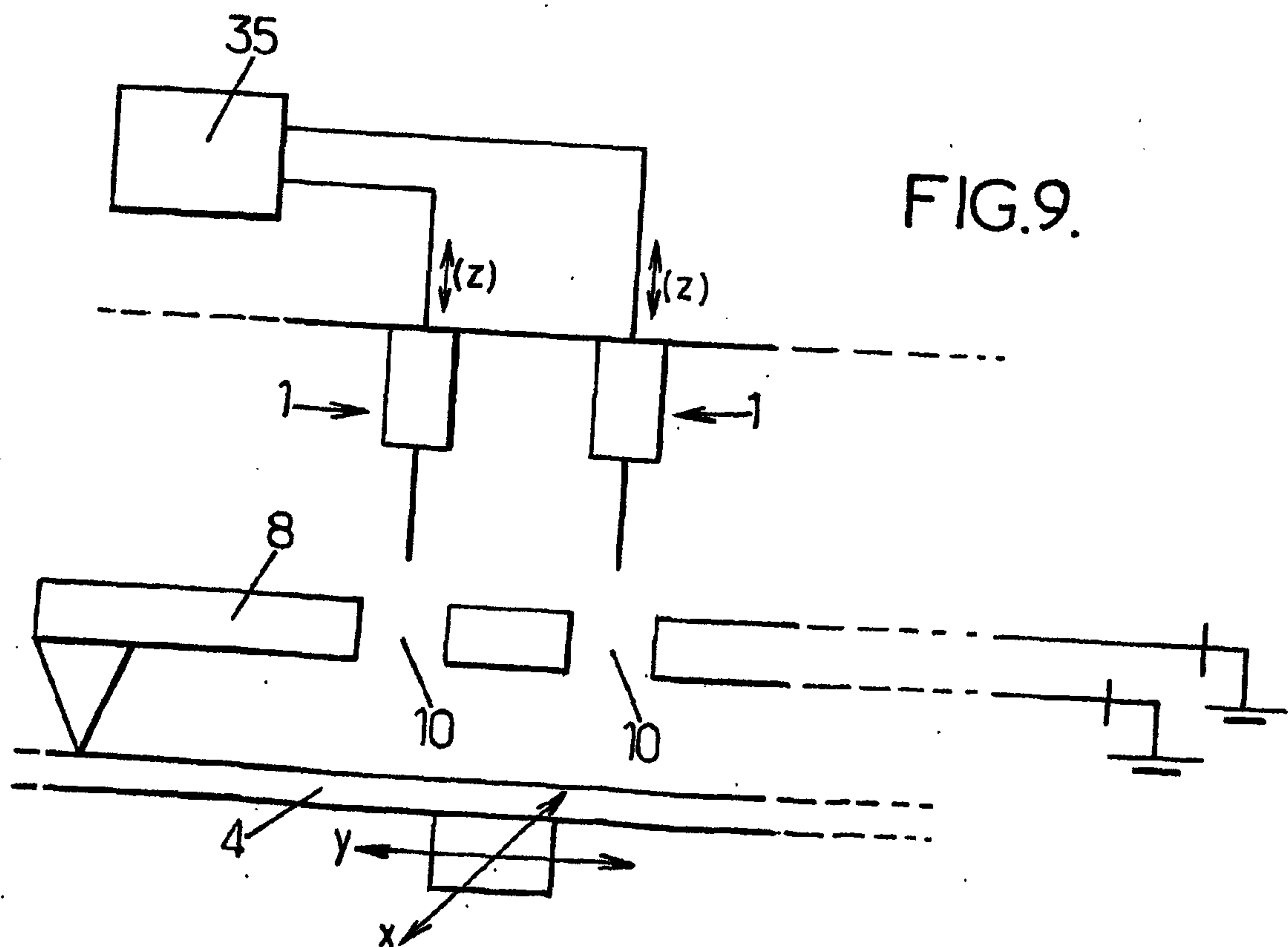


FIG.9.

