

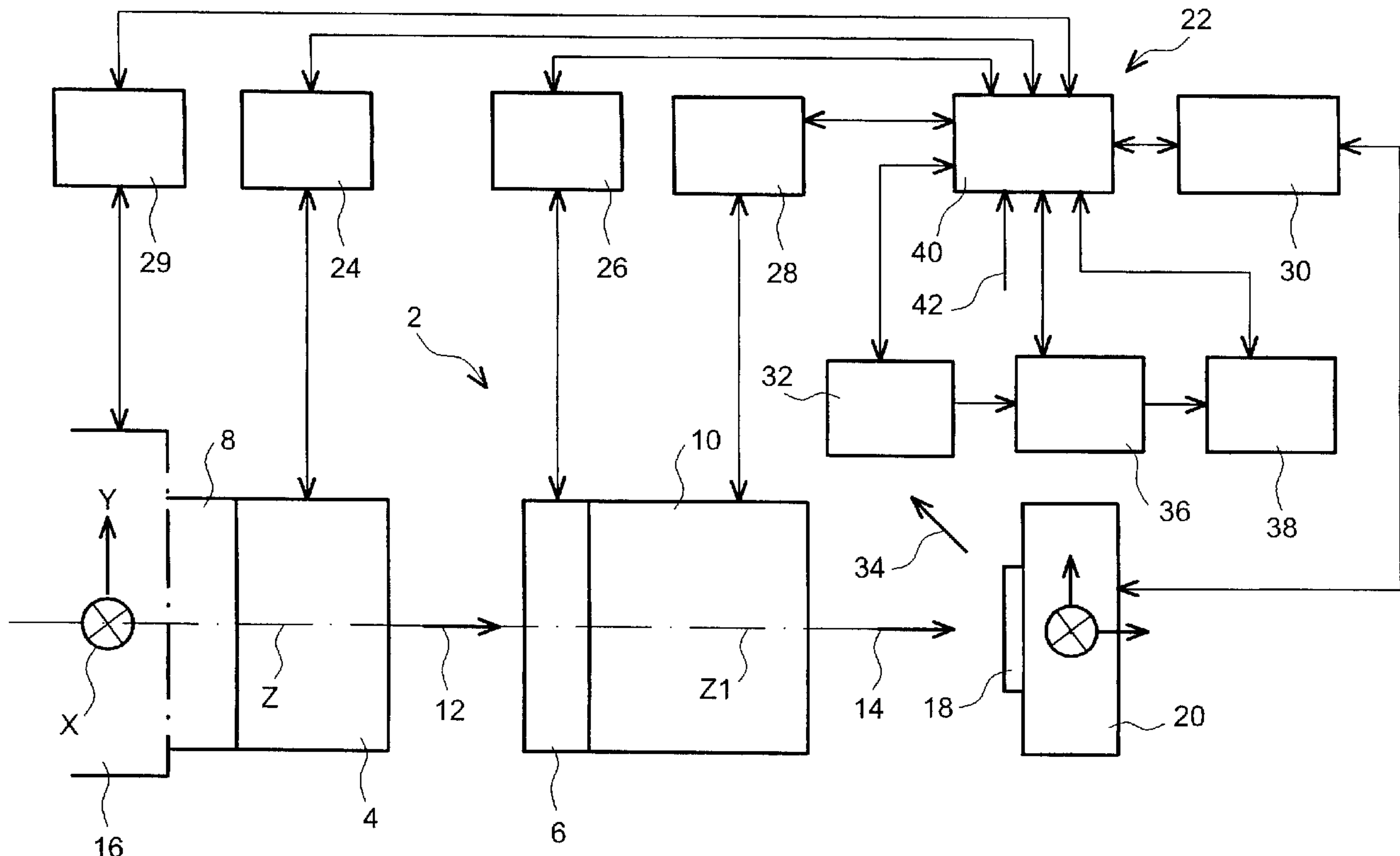


(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/11/18
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/05/30
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/05/13
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/003937
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/044824
 (30) Priorité/Priority: 2001/11/20 (01/14990) FR

(51) Cl.Int.⁷/Int.Cl.⁷ H01J 37/304, H01J 37/305
 (71) Demandeur/Applicant:
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE, FR
 (72) Inventeurs/Inventors:
GIERAK, JACQUES, FR;
HAWKES, PETER, FR
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : DISPOSITIF DE REGLAGE D'UN APPAREIL DE GENERATION D'UN FAISCEAU DE PARTICULES
CHARGEES

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING AN APPARATUS GENERATING A CHARGED PARTICLE BEAM



(57) Abrégé/Abstract:

Dispositif de réglage d'un faisceau de particules chargées. Ce dispositif comprend des moyens de réglage (40) pour mémoriser les caractéristiques souhaitées pour le faisceau (14), déterminer les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil (2) en fonction de ces caractéristiques, mémoriser ces valeurs et donner ces valeurs mémorisées aux paramètres de réglage de l'appareil. L'invention s'applique notamment à la fabrication de nano-structures.

(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 mai 2003 (30.05.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 03/044824 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ :

H01J 37/304, 37/305

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris Cedex 16 (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR02/03937

(72) Inventeurs; et

(22) Date de dépôt international :

18 novembre 2002 (18.11.2002)

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **GIERAK, Jacques** [FR/FR]; 87, rue Raymonde de la Roche, F-91220 Le Plessis Pate (FR). **HAWKES, Peter** [FR/FR]; 44, avenue Victor Ségoffin, F-31400 Toulouse (FR).

(25) Langue de dépôt :

français

(74) Mandataire : **LEHU, Jean**; c/o Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

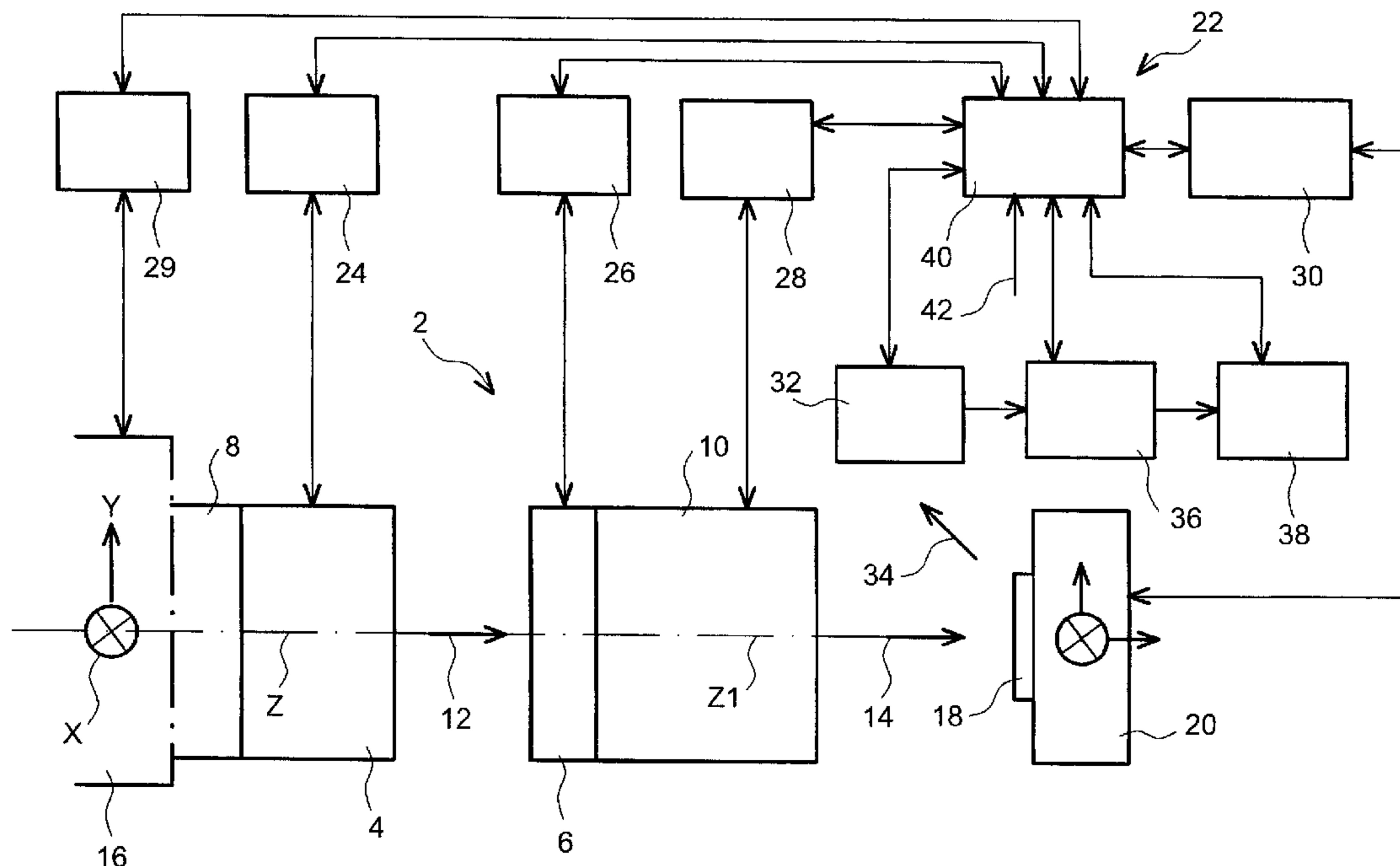
01/14990 20 novembre 2001 (20.11.2001) FR

(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING AN APPARATUS GENERATING A CHARGED PARTICLE BEAM

(54) Titre : DISPOSITIF DE REGLAGE D'UN APPAREIL DE GENERATION D'UN FAISCEAU DE PARTICULES CHARGÉES



(57) Abstract: The invention concerns a device for controlling an apparatus generating a charged particle beam. Said device comprises control means (40) for storing the desired characteristics for the beam (14), determining parameter values for controlling the apparatus (2) based on said characteristics, storing said values and supplying said stored values to the parameters controlling the apparatus. The invention is in particular applicable to the manufacture of nanostructures.

[Suite sur la page suivante]

WO 03/044824 A1



MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

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.

(57) Abrégé : Dispositif de réglage d'un faisceau de particules chargées. Ce dispositif comprend des moyens de réglage (40) pour mémoriser les caractéristiques souhaitées pour le faisceau (14), déterminer les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil (2) en fonction de ces caractéristiques, mémoriser ces valeurs et donner ces valeurs mémorisées aux paramètres de réglage de l'appareil. L'invention s'applique notamment à la fabrication de nano-structures.

DISPOSITIF DE REGLAGE D'UN APPAREIL DE GENERATION D'UN
5 FAISCEAU DE PARTICULES CHARGEES

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

La présente invention concerne un dispositif de
10 réglage d'un appareil de génération d'un faisceau de
particules chargées.

L'invention concerne en particulier un
dispositif de réglage d'un appareil de génération d'un
faisceau d'ions et, plus particulièrement, un
15 dispositif de réglage d'un instrument de nano-
fabrication par faisceaux d'ions.

On cherche notamment à régler la taille de la
sonde ionique, c'est à dire la taille du faisceau
d'ions focalisé que l'on envoie sur une cible, ainsi
20 que l'allure de la distribution des ions dans cette
sonde ionique au niveau de la cible.

L'invention s'applique notamment à la
fabrication de structures de très petites tailles,
inférieures à 50 nm, et plus particulièrement à la
25 fabrication de nano-structures ayant des tailles de
l'ordre de 10 nm ou moins.

L'invention trouve des applications dans divers
domaines tels que l'électronique (en particulier en ce

qui concerne les dispositifs - par exemple les transistors - à électron unique), le stockage de données à ultra-haute densité (utilisant des nano-structures formées sur des matériaux magnétiques) et
5 les dispositifs à semi-conducteurs à ultra-haute vitesse (utilisant des nano-structures formées sur des matériaux semi-conducteurs).

La présente invention s'applique en particulier au réglage d'un faisceau d'ions émis par un appareil
10 comprenant une source ponctuelle d'ions, c'est-à-dire une source d'ions à zone émissive ponctuelle et très brillante.

De plus, cette source ponctuelle d'ions est de préférence une LMIS, c'est-à-dire une source d'ions à
15 métal liquide (en anglais "liquid metal ion source").

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE

Au sujet des sources d'ions à métal liquide on pourra se reporter aux documents suivants :

20 [1] Demande internationale PCT/FR 95/00903, numéro de publication internationale WO 96/02065, invention de Jacques Gierak et Gérard Ben Assayag, correspondant au brevet américain US-A-5,936,251

[2] US-A-4,426,582, invention de J.H. Orloff et
25 L.W. Swanson.

On connaît en outre des appareils de génération de faisceaux d'ions appelés FIB et produisant des faisceaux d'ions focalisés (en anglais "focused ion beams"). Mais il convient de noter que ces FIB ne

permettent pas la fabrication de nano-structures de bonne qualité, de tailles inférieures à 50 nm.

De plus, un dispositif de réglage de la forme d'un faisceau d'ions focalisé est connu par le document
5 suivant :

[3] US-A-4,704,526, invention de H. Kyogoku et T. Kaito (Seiko Instruments and Electronics Ltd.).

La technique de réglage divulguée dans ce document [3] n'est qu'une transposition de la technique
10 de réglage classiquement utilisée en Microscopie Electronique à Balayage ou en lithographie par faisceaux d'électrons.

Une telle technique n'est pas utilisable dans le domaine nanométrique.

15 De plus, cette technique connue nécessite la réalisation préalable de coûteux et fragiles marqueurs d'étalonnage qui ne sont pas réutilisables.

En outre, selon une technique connue, pour régler un appareil de génération d'un faisceau d'ions,
20 c'est l'opérateur lui-même qui contrôle les différents paramètres d'exploitation du système d'optique ionique de l'appareil et doit s'assurer que les résultats des réglages donnent une résolution théorique qui est cohérente avec l'utilisation prévue pour le faisceau
25 d'ions.

Cette étape est délicate car soumise à interprétation et à compromis.

Pour faciliter la tâche de l'opérateur on lui fournit parfois des données tabulées, par exemple les
30 valeurs de la résolution du système d'optique ionique en fonction des valeurs du courant de sonde ionique,

pour diverses distances entre ce système d'optique ionique (comprenant un ensemble de lentilles électrostatiques) et la cible du faisceau d'ions.

5 Cependant, le réglage de l'appareil reste délicat.

EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de remédier aux inconvénients précédents.

10 L'invention vise en particulier à adjoindre des capacités d'auto-réglage, d'auto-diagnostic et d'auto-étalonnage à un appareil de génération d'un faisceau d'ions.

15 L'adjonction de telles capacités à l'appareil permet d'améliorer et d'élargir le domaine des applications de cet appareil ainsi que la productivité de ce dernier, en s'affranchissant quasi-totalement de l'intervention d'un opérateur c'est-à-dire d'un utilisateur de l'appareil.

20 De façon plus générale, la présente invention propose un dispositif de réglage d'un appareil de génération d'un faisceau de particules chargées, permettant de s'affranchir quasi-totalement de l'intervention d'un opérateur.

25 De façon précise, la présente invention a pour objet un dispositif de réglage d'un appareil de génération d'un faisceau de particules chargées, en particulier un faisceau d'ions ou d'électrons, ce faisceau étant destiné à interagir avec une cible, ce

dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de réglage prévus pour :

- mémoriser les caractéristiques souhaitées pour le faisceau de particules, déterminées par l'utilisateur de l'appareil,
- déterminer les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil en fonction de ces caractéristiques et mémoriser ces valeurs, et
- donner ces valeurs mémorisées aux paramètres de réglage de l'appareil.

Selon un mode de réalisation particulier du dispositif objet de l'invention, les moyens de réglage sont en outre prévus pour :

- mesurer en permanence ou périodiquement ces paramètres, lorsque le faisceau de particules chargées interagit avec la cible, et déterminer les caractéristiques du faisceau à partir de ces mesures,
- comparer les caractéristiques ainsi déterminées aux caractéristiques mémorisées et
- si au moins l'une des caractéristiques ainsi déterminées se trouve en dehors d'un intervalle d'amplitude prédéfinie, centré sur la caractéristique mémorisée correspondante, modifier les paramètres de réglage de l'appareil et/ou informer l'utilisateur de l'appareil.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les particules chargées sont des ions, la cible est un substrat, l'appareil comprend une source d'ions, des moyens d'accélération de ces ions et des moyens de focalisation de ces ions, cet appareil est destiné à la fabrication d'une structure, en

particulier d'une nano-structure, sur le substrat, le faisceau d'ions est apte à éroder ce substrat, et les moyens de réglage sont prévus pour :

- 5 - mémoriser les caractéristiques souhaitées pour le faisceau d'ions, déterminées par l'utilisateur de l'appareil en fonction de la structure à fabriquer,
- déterminer les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil en fonction de ces caractéristiques et mémoriser ces valeurs,
- 10 - donner ces valeurs mémorisées aux paramètres de réglage de l'appareil.

De préférence, les moyens de réglage sont en outre prévus pour :

- 15 - mesurer en permanence ou périodiquement ces paramètres, en cours de fabrication de la structure, et déterminer les caractéristiques du faisceau à partir de ces mesures,
- comparer les caractéristiques ainsi déterminées aux caractéristiques mémorisées et
- 20 - si au moins l'une des caractéristiques ainsi déterminées se trouve en dehors d'un intervalle d'amplitude prédéfinie, centré sur la caractéristique mémorisée correspondante, modifier les paramètres de réglage de l'appareil et/ou informer l'utilisateur de
- 25 l'appareil.

Les caractéristiques du faisceau d'ions peuvent comprendre la taille et la densité de courant de ce faisceau d'ions.

- De préférence, les moyens de réglage sont en outre prévus pour mettre en œuvre les étapes suivantes:
- 30

- 5 - commander l'appareil pour former sur le substrat, dans une zone de ce substrat qui n'est pas destinée à la formation de la structure, une empreinte de test conformément à une empreinte numérique de référence mémorisée,
- numériser l'empreinte de test,
- comparer l'empreinte de test numérisée à l'empreinte numérique de référence mémorisée, et
- 10 - si ces empreintes sont différentes, modifier au moins l'un des paramètres de réglage de l'appareil et répéter ces étapes jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable de l'appareil.

 Selon un premier mode de réalisation particulier de l'invention, les moyens de réglage sont
15 en outre prévus pour :

- mesurer les paramètres de réglage de l'appareil à tout instant ou périodiquement pendant la fabrication de la structure et
- si au moins l'un des paramètres dérive et
20 sort donc d'un intervalle d'amplitude prédéfinie, centré sur le paramètre mémorisé correspondant, modifier le paramètre mesuré pour qu'il se retrouve dans cet intervalle.

 Selon un deuxième mode de réalisation
25 particulier, les moyens de réglage sont en outre prévus pour :

- mesurer les paramètres de réglage de l'appareil à tout instant ou périodiquement pendant la fabrication de la structure et,
- 30 - en cas d'instabilité d'au moins l'un de ces paramètres, interrompre la fabrication et informer

l'utilisateur et/ou calibrer l'appareil pour régler à nouveau ce paramètre.

Dans ce cas, les moyens de réglage sont de préférence prévus pour mettre en œuvre les étapes
5 suivantes en vue de calibrer l'appareil :

- commander cet appareil pour former sur le substrat, dans une zone de ce substrat qui n'est pas destinée à la formation de la structure, une empreinte de test conformément à une empreinte numérique de
10 référence mémorisée,
- numériser l'empreinte de test,
- comparer l'empreinte de test numérisée à l'empreinte numérique de référence mémorisée,
- si ces empreintes sont différentes, modifier
15 le paramètre de réglage de l'appareil et répéter ces étapes jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable de l'appareil.

Les paramètres de réglage peuvent comprendre le courant d'émission de la source d'ions, l'énergie des
20 ions, la focalisation du faisceau d'ions, l'amplitude du champ d'écriture sur le substrat, la correction de stigmatisme et la distance entre l'appareil et le substrat.

25 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif nullement limitatif, en faisant référence à la figure unique
30 annexée qui est une vue schématique d'un mode de

réalisation particulier du dispositif objet de l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

5 Sur cette figure, on a représenté de façon schématique un exemple d'un appareil 2 de génération d'un faisceau d'ions auquel peut s'appliquer l'invention.

10 Cet appareil 2 comprend une source d'ions 4 par exemple à métal liquide, qui est destinée à produire un faisceau d'ions, par exemple formé d'ions gallium, un système 6 d'extraction et d'accélération du faisceau d'ions produit, un support de source 8 et un système d'optique électrostatique 10.

15 On note Z1 l'axe de ce système 10 et Z l'axe du faisceau d'ions 12 émis par la source 4, les axes Z et Z1 étant parallèles.

20 L'ensemble formé par la source 4, son support 8 et le système 10 constitue la colonne à ions focalisés de l'appareil 2. Le système 10 est essentiellement constitué de lentilles électrostatiques (non représentées) en vue de focaliser le faisceau 12, pour former un faisceau d'ions focalisé 14.

25 Pour aligner l'axe central Z du cône d'émission du faisceau d'ions 12 (axe de la source 4) avec l'axe optique Z1 du système d'optique électro-statique 10, le support de source est muni d'un ensemble 16 de platines micrométriques. Cet ensemble 16, symbolisé par des traits mixtes sur la figure, permet de déplacer le

support 8 suivant un axe X et un axe Y qui sont perpendiculaires l'un à l'autre ainsi qu'à l'axe Z.

La figure montre aussi un substrat 18 destiné à être traité par le faisceau focalisé 14 et constituant
5 une cible pour ce faisceau (qui est capable d'éroder ce substrat 18).

Ce substrat est monté sur une platine 20 que l'on peut déplacer suivant trois axes respectivement perpendiculaires aux axes X, Y et Z.

10 L'appareil 2 est destiné à fabriquer une nano-structure sur le substrat 18.

On voit en outre un système 22 de commande, ou système d'exploitation, du dispositif 2 de génération du faisceau d'ions.

15 Ce système 22 comprend :

- des moyens 24 de commande de la source d'ions 4,
- des moyens 26 de commande du système 6 d'extraction et d'accélération du faisceau d'ions 12,
- 20 - des moyens 28 de commande du système 10 d'optique électrostatique, et
- des moyens 29 de commande de l'ensemble 16 de platines micrométriques.

On voit aussi des moyens 30 de commande des
25 déplacements de la platine porte-substrat 20.

On considère dans ce qui suit une technique visant à résoudre le problème fondamental du réglage des paramètres d'une colonne ionique fournissant une sonde ionique à l'échelle d'une dizaine de nanomètres,
30 en vue de former des structures de taille nanométrique par irradiation ionique contrôlée.

La forme géométrique (taille), l'allure (décroissance plus ou moins rapide du nombre de particules lorsque l'on s'éloigne de l'axe central du faisceau) ainsi que le caractère sphérique de la distribution dans la sonde ionique au niveau de la cible sont prépondérants. A une échelle de quelques nanomètres, les problèmes sont d'autant plus compliqués.

Cette technique vise à permettre un ajustement rapide et très précis du profil de cette sonde ionique. Les points concernés sont :

- la focalisation (concentration) du faisceau d'ions 12 sous l'action des lentilles électro-statiques de l'appareil 2, au niveau de la cible formée par le substrat 18, dans une tache (impact) de dimensions nanométriques,

- la correction des défauts de sphéricité de la sonde ionique incidente, et

- l'étalonnage du champ d'écriture (champ adressable par le faisceau sous l'action de déflecteurs électro-statiques que comprend le système d'optique électrostatique 10) à la surface de la cible, de façon à toujours en connaître précisément la position relative à quelques nanomètres près.

L'utilisation d'un faisceau d'ions focalisé dans une tache de 10 nm pour des applications de nano-fabrication a des contraintes spécifiques :

- l'effet de pulvérisation induit par les ions énergétiques qui bombardent la cible conduit à détruire à plus ou moins long terme les structures d'étalonnage (généralement des marqueurs d'or sur du silicium) qui

sont classiquement utilisées par exemple en lithographie par faisceau d'électrons.

De plus, des structures calibrées de quelques dizaines de nanomètres sont délicates à fabriquer, très fragile et surtout coûteuses.

La durée d'utilisation du faisceau d'ions peut atteindre plusieurs heures, ce qui impose de contrôler périodiquement les caractéristiques de ce faisceau d'ions pour limiter l'influence des dérives et des instabilités transitoires.

- Les distances de travail réduites, qui sont nécessaires à l'obtention d'un grossissement géométrique de la tache de source inférieur à 1, réduisent d'autant la profondeur de champ utilisable.

De plus, certains substrats comportent des motifs de hauteurs très différentes les uns des autres, de sorte que ces motifs ne sont pas tous situés à la distance focale idéale.

- Dans ce dernier cas, un ion qui tombe sur un tel substrat au niveau de l'axe optique (axe Z1) parcourt un chemin beaucoup plus court qu'un autre ion ayant été dévié de plusieurs millimètres par rapport à cet axe.

Cette différence de chemin optique provoque l'apparition de défauts ou aberrations.

Pour limiter ces aberrations à une valeur acceptable, on limite la taille d'écriture dans un champ de l'ordre d'une centaine de micromètres.

Ainsi, sans dispositif annexe, la technique de nano-fabrication par FIB ne peut former que de petits motifs élémentaires.

- Lorsqu'un déplacement ultra-précis du substrat 18 est utilisé, la possibilité de raccorder plusieurs sous-structures élémentaires pour définir un motif de plus grande taille apparaît. Mais cela reste subordonné à une calibration rigoureuse de la taille du champ d'écriture élémentaire par FIB.

En effet, une correspondance la plus parfaite possible entre les coordonnées des points définis à l'intérieur d'un champ de balayage et les coordonnées de déplacement de la platine 20 qui porte le substrat est nécessaire.

Tout cela est complexe car le balayage de la sonde ionique est obtenu à l'aide d'un générateur de CAO (conception assistée par ordinateur) du genre numérique/analogique (contenu dans les moyens de commande 28) alors que la platine 20 est, quant à elle, pilotée par les moyens de commande 30 constitués par une interface spécifique et indépendante 30.

Il convient également de noter que toute variation de la distance entre le substrat et la colonne ionique, de l'énergie des ions ou de la nature de ces derniers modifie la valeur de l'amplitude du champ de balayage.

La technique considérée est rapide, très précise et susceptible d'être automatisée pour calibrer le système optique 10 de la colonne ionique, en utilisant la propriété qu'ont des ions incidents lourds, tels que des ions de gallium ou d'autres métaux par exemple l'aluminium, de graver localement la cible qu'ils frappent.

Avec cette technique, un même appareil de génération d'un faisceau d'ions est capable de former ses propres marques de calibration puis de les vérifier en complète autonomie.

5 La technique considérée utilise l'effet d'érosion du faisceau d'ions incident, engendré par l'appareil 2 de génération de faisceau d'ions, pour graver une structure simple, selon un motif prédéterminé par CAO, par exemple du type carré, trou
10 simple ("spot") ou croix, dans une zone "sacrifiée".

Après gravure du substrat par FIB, cette structure est ensuite imagée par l'appareil 2 que l'on fait alors fonctionner en mode de MIB ou Microscopie Ionique à Balayage, dans les mêmes conditions, sans
15 aucune modification, en collectant simplement, grâce à des moyens de détection appropriés 32, les électrons secondaires 34 qui résultent du balayage de la surface du substrat 18 par le faisceau d'ions 14.

Des moyens électroniques de traitement 36,
20 munis de moyens d'affichage 38, sont prévus pour traiter les signaux fournis par ces moyens de détection 32.

L'image de MIB obtenue grâce aux moyens de détection est numérisée grâce aux moyens électroniques
25 de traitement 36 et, sur cette image de MIB numérisée; correspondant à la structure effectivement gravée, il est alors possible de superposer informatiquement le motif prédéterminé initial numérisé (carré, trou ou croix par exemple) et de différencier (de manière
30 numérique) les deux images.

Dans le cas d'un motif de type carré par exemple, on peut alors détecter un défaut provenant d'une mauvaise focalisation puis y remédier en augmentant pas à pas l'effet focalisateur des lentilles de l'appareil de génération de faisceau 2. Le processus
5 peut être automatisé pour différents grossissements et être répété étape par étape, jusqu'à ce que l'image de MIB numérisée et le motif initial coïncident parfaitement.

10 - Le même effet d'érosion peut aussi être mis à profit pour corriger un défaut éventuel de "sphéricité", encore appelé défaut d'astigmatisme, au niveau de la tache des ions incidents. Dans ce cas, le perçage d'un unique trou de l'ordre de 10 à 20 nm
15 permet d'obtenir très rapidement, en quelques dixièmes de seconde, une image fidèle de l'empreinte de la sonde ionique.

Si une allure elliptique de la tache est mise en évidence, toujours par comparaison avec une image
20 "idéale" de référence (image circulaire), et selon l'orientation de l'ellipse obtenue, il est possible de déclencher une procédure de corrections et de tests itératifs, jusqu'à ce que le critère de décision satisfaisant, établi par les utilisateurs, fasse sortir
25 le système informatique utilisé de cette séquence (de préférence automatique).

-L'étalonnage de la taille du champ d'écriture par FIB est le dernier point crucial que l'on peut
mettre en œuvre, de préférence de manière automatisée,
30 avec la technique considérée. On grave d'abord des traits (réseau de traits parallèles ou réseau de traits

croisés) ayant une longueur connue avec une très faible incertitude.

Pour ce faire, le faisceau d'ions est maintenu en mode "spot" et ne balaye pas la surface du substrat 18 tandis que ce dernier est déplacé par l'intermédiaire de la platine 20 qui supporte ce substrat, la mesure des déplacements de cette platine étant effectuée par interférométrie laser. La précision mécanique peut alors descendre jusqu'à quelques 10 nanomètres (de l'ordre de 10 nm à 5 nm).

Dans ce cas, les marqueurs sont formés non pas en balayant la surface de la cible 18 par la sonde ionique 14 mais uniquement en déplaçant cette cible, l'axe central Z1 du faisceau d'ions de gravure étant 15 maintenu fixe.

Une image de MIB des structures ainsi fabriquées permet alors, après numérisation de cette image, d'ajuster le gain de l'étage amplificateur de l'appareil 2 de génération du faisceau de façon qu'un 20 poids numérique de 1 ou quelques bits corresponde à un déplacement connu (d'un certain nombre de nanomètres) au niveau du substrat 18.

L'étalonnage du champ de balayage est alors réalisé avec une technique de mesure par 25 interférométrie laser.

Conformément à la présente invention, on propose un dispositif qui est complémentaire de la technique considérée ci-dessus et en renforce l'intérêt.

30 Le dispositif proposé tend notamment à améliorer et rendre plus efficace le réglage des

paramètres d'une colonne ionique délivrant une sonde ionique à l'échelle de la dizaine de nanomètres, en vue de former des structures de taille nanométrique par irradiation ionique contrôlée.

5 En particulier, on propose à l'utilisateur d'un appareil de génération d'un faisceau de particules chargées, et plus particulièrement d'un faisceau d'ions, différents niveaux d'assistance :

10 - Détermination des paramètres optima d'exploitation de l'appareil en fonction des conditions opératoires requises, à savoir :

15 • sélection d'un mode optique permettant d'obtenir la résolution requise (par exemple tension d'excitation des lentilles de focalisation, distance de travail, mode semi-divergent, mode semi-convergent ou mode collimaté (dans le système optique) ou besoin d'un "cross over" c'est-à-dire d'un croisement des particules chargées, en particulier des ions, dans le système optique),

20 • taille du champ d'écriture, détection d'effets de distorsion et quantification de ces effets ,

25 puis, en liaison avec le programme informatique du générateur de balayage du motif (contenu dans le système 22 d'exploitation de l'appareil 2), validation de ces paramètres ou bien encore mise en évidence des impossibilités ou des conflits entre des paramètres (par exemple niveau de précision du balayage ou dose ionique incidente).

30 -Détermination du paramétrage de la sonde ionique fournie par le système optique :

- caractéristique de la distribution de courant (par exemple largeur ou écart-type)

- valeur du courant transporté.

- Vérification des réglages de l'appareil :

5 En utilisant la propriété qu'ont des ions incidents lourds (ions de gallium ou d'autres métaux) de graver localement la cible qu'ils frappent, l'appareil de génération de faisceau peut réaliser ses propres marques de calibration puis en faire l'image en
10 microscopie ionique à balayage.

Cela permet alors de vérifier la cohérence de ces marques avec le résultat que l'on élabore au préalable dans un dispositif conforme à l'invention, formé par un module de réglage, ou module de calcul,
15 que l'on intègre au système 22 d'exploitation de l'appareil 2.

On donne ci-après un exemple d'un dispositif conforme à l'invention.

On suppose que l'on veut accomplir une certaine
20 séquence de nano-fabrication avec l'appareil 2.

Conformément à l'invention, on complète le système 22 par un module de réglage 40 ou module de calcul.

Ce module 40, comportant essentiellement un
25 ordinateur, fournit des informations à l'opérateur (utilisateur de l'appareil) par l'intermédiaire des moyens d'affichage 38. L'opérateur est, quant à lui, amené à fournir des informations (notamment des données) au module 40, informations que l'on a
30 symbolisées par la flèche 42 sur la figure.

De plus, pour la mise en œuvre de l'invention, le module de réglage 40 est relié aux divers moyens de commande 24, 26, 28, 29 et 30 que comporte le système 22 d'exploitation de l'appareil 2 afin de commander ces
5 moyens 24, 26, 29 et 30.

Ces derniers sont munis de capteurs appropriés (non représentés) leur permettant de connaître l'état des divers organes 4, 6, 10, 16, et 20 qu'ils commandent.

10 En outre le module 40 est relié aux moyens de détection 32 et aux moyens électroniques de traitement 36 en vue de commander le fonctionnement de l'appareil en mode de microscopie ionique à balayage et d'exploiter les résultats de ce fonctionnement.

15 Selon l'invention, des réglages sont proposés à l'opérateur, ces réglages étant déterminés par le module de calcul. Puis l'opérateur entame la séquence nano-fabrication.

20 Le module 40 calcule alors en permanence (ou périodiquement mais alors avec une grande fréquence) les propriétés de la sonde ionique (faisceau d'ions 14) pendant cette séquence de nano-fabrication et compare le résultat du calcul à des valeurs pré-établies, mémorisées dans ce module 40.

25 Si les valeurs obtenues au cours du calcul sont différentes de ces valeurs pré-établies, le module entreprend des mesures de correction en ajustant les paramètres de réglage de l'appareil ou, si l'écart entre les résultats du calcul et les valeurs pré-
30 établies est trop important, le module 40 informe

l'opérateur par l'intermédiaire des moyens d'affichage 38.

Plus précisément, selon l'invention, le module de réglage 40 mémorise les caractéristiques souhaitées pour le faisceau d'ions 14, déterminées au préalable par l'utilisateur de l'appareil 2 en fonction de la structure à fabriquer sur le substrat 18.

Ensuite le module 40 détermine les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil 2 en fonction de ces caractéristiques et mémorise ces valeurs.

Puis le module donne ces valeurs, qu'il a mémorisées, aux paramètres de réglage de l'appareil 2 par l'intermédiaire des moyens de commande 24, 26, 28 et 30, auxquels le module 40 envoie des signaux de commande permettant de faire les réglages souhaités.

Les caractéristiques du faisceau d'ions 14 sont la taille de ce faisceau d'ions et la densité de courant dans ce faisceau.

Les paramètres de réglage de la colonne ionique sont, quant à eux, les suivants :

- le courant d'émission de la source d'ions 4,
- l'énergie des ions,
- les tensions appliquées aux lentilles de focalisation,
- l'amplitude du champ de balayage c'est-à-dire l'amplitude du champ d'écriture,
- la correction de stigmatisme du faisceau d'ions 14,
- la distance entre l'appareil et la cible 18, cette distance étant réglée par déplacement de la platine 20 parallèlement à l'axe Z1.

Il convient de noter que, lorsque l'opérateur veut faire une correction de stigmatisme trop importante, le module de calcul 40 en informe cet opérateur par l'intermédiaire des moyens d'affichage 5 38.

De plus, en cours de fabrication de la structure sur le substrat 18 le module 40 peut mesurer ces paramètres en permanence ou périodiquement (de préférence avec une grande fréquence) et déterminer les 10 caractéristiques du faisceau 14 à partir de ces mesures (qui sont faites par l'intermédiaire des moyens 24, 26, 28 et 30).

Le module compare alors les caractéristiques ainsi déterminées aux caractéristiques mémorisées. 15 Lorsqu'une ou plusieurs des caractéristiques ainsi déterminées diffèrent (d'un pourcentage prédéfini, allant par exemple de -10% à +10%) de la caractéristique ou des caractéristiques mémorisées correspondantes, le module avertit l'opérateur et 20 modifie les paramètres de réglage de l'appareil pour obtenir à nouveau les bonnes caractéristiques pour le faisceau 14.

Si les différences sont trop importantes, le module 40 peut simplement avertir l'opérateur et 25 attendre des instructions de ce dernier pour continuer la fabrication.

En outre, avant de commencer la fabrication de la structure ou pendant cette dernière, le module 40 peut mettre en œuvre les étapes suivantes :

- 30 • Ce module commande l'appareil 2 pour former sur le substrat 18, dans une zone de ce substrat qui

n'est pas destinée à la formation de la structure, une empreinte de test conformément à une empreinte numérique de référence préalablement mémorisée dans le module 40.

5 • Le module compare ensuite l'empreinte de test numérisée à l'empreinte numérique de référence mémorisée.

 • Si ces empreintes sont différentes, le module modifie un ou plusieurs des paramètres de réglage de l'appareil 2 et répète les étapes considérées jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable de cet appareil.

10 De plus, le module 40 peut être programmé pour agir sur l'appareil (par l'intermédiaire des moyens de commande 24, 26 et 28 en cas de dérive d'un ou plusieurs des paramètres. Il convient en effet de noter qu'une séquence de fabrication dure généralement longtemps, par exemple 2 heures.

 Comme le module 40 est capable de mesurer (en permanence ou périodiquement) les paramètres, il peut détecter la dérive de ceux-ci et y remédier.

20 De plus, on peut programmer le module 40 pour qu'il interrompe la séquence de fabrication (et en informe l'opérateur) en cas d'instabilité d'un ou plusieurs paramètres c'est-à-dire en cas d'une variation brutale de ceux-ci.

25 Dans ce cas, on peut prévoir que le module 40 commence une phase de calibration de l'appareil 2, selon une technique mentionnée plus haut, qui utilise la formation de motifs (par exemple des croix ou des trous) dans une zone du substrat 18 où l'on ne forme pas la structure.

30

Il convient de noter que la calibration est faite sans nécessiter l'intervention de l'opérateur. Le module commande lui même la réalisation des gravures nécessaires dans le substrat 18 en vue de régler à
5 nouveau le ou les paramètres, le module 40 modifiant ce ou ces derniers jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable.

Il convient en outre de noter que la nano-fabrication a lieu à très basse pression ; pour une
10 raison ou pour une autre, cette pression peut augmenter très rapidement ; de même, un problème de nature électrique est susceptible d'affecter l'appareil 2 ; dans de tels cas, le module 40 ne peut agir seul et l'intervention de l'opérateur est nécessaire.

15 La présente invention n'est pas limitée au réglage d'un appareil de génération d'un faisceau d'ions (positifs ou négatifs). Elle s'applique également au réglage d'autres appareils de génération de faisceaux de particules chargées tels que les
20 microscopes électroniques, les particules étant alors des électrons.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de réglage d'un appareil (2) de
génération d'un faisceau de particules chargées (14),
en particulier un faisceau d'ions ou d'électrons, ce
5 faisceau étant destiné à interagir avec une cible (18),
ce dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend
des moyens de réglage (40) prévus pour :

- mémoriser les caractéristiques souhaitées
pour le faisceau de particules, déterminées par
10 l'utilisateur de l'appareil,

- déterminer les valeurs des paramètres de
réglage de l'appareil en fonction de ces
caractéristiques et mémoriser ces valeurs, et

- donner ces valeurs mémorisées aux paramètres
15 de réglage de l'appareil.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans
lequel les moyens de réglage (40) sont en outre prévus
pour :

- mesurer en permanence ou périodiquement ces
20 paramètres, lorsque le faisceau de particules chargées
(14) interagit avec la cible (18), et déterminer les
caractéristiques du faisceau à partir de ces mesures,

- comparer les caractéristiques ainsi
déterminées aux caractéristiques mémorisées et

25 - si au moins l'une des caractéristiques ainsi
déterminées se trouve en dehors d'un intervalle
d'amplitude prédéfinie, centré sur la caractéristique
mémorisée correspondante, modifier les paramètres de
réglage de l'appareil (2) et/ou informer l'utilisateur
30 de l'appareil.

3. Dispositif selon la revendication 1, les particules chargées étant des ions, la cible étant un substrat (18), l'appareil (2) comprenant une source d'ions (4), des moyens (6) d'accélération de ces ions et des moyens (10) de focalisation de ces ions, cet appareil étant destiné à la fabrication d'une structure, en particulier d'une nano-structure, sur le substrat (18), le faisceau d'ions étant apte à éroder ce substrat, dispositif dans lequel les moyens (40) de réglage sont prévus pour :

- mémoriser les caractéristiques souhaitées pour le faisceau d'ions, déterminées par l'utilisateur de l'appareil en fonction de la structure à fabriquer,
- déterminer les valeurs des paramètres de réglage de l'appareil (2) en fonction de ces caractéristiques et mémoriser ces valeurs, et
- donner ces valeurs mémorisées aux paramètres de réglage de l'appareil.

4. Dispositif selon la revendication 3, dans lequel les moyens de réglage (40) sont en outre prévus pour :

- mesurer en permanence ou périodiquement ces paramètres, en cours de fabrication de la structure, et déterminer les caractéristiques du faisceau (14) à partir de ces mesures,
- comparer les caractéristiques ainsi déterminées aux caractéristiques mémorisées et
- si au moins l'une des caractéristiques ainsi déterminées se trouve en dehors d'un intervalle d'amplitude prédéfinie, centré sur la caractéristique mémorisée correspondante, modifier les paramètres de

réglage de l'appareil (2) et/ou informer l'utilisateur de l'appareil.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, dans lequel les caractéristiques du faisceau d'ions (14) comprennent la taille et la densité de courant de ce faisceau d'ions.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 5, dans lequel les moyens de réglage (40) sont en outre prévus pour mettre en œuvre les étapes suivantes :

- commander l'appareil (2) pour former sur le substrat (18), dans une zone de ce substrat qui n'est pas destinée à la formation de la structure, une empreinte de test conformément à une empreinte numérique de référence mémorisée,
- numériser l'empreinte de test,
- comparer l'empreinte de test numérisée à l'empreinte numérique de référence mémorisée, et
- si ces empreintes sont différentes, modifier au moins l'un des paramètres de réglage de l'appareil et répéter ces étapes jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable de l'appareil.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel les moyens de réglage (40) sont en outre prévus pour :

- mesurer les paramètres de réglage de l'appareil (2) à tout instant ou périodiquement pendant la fabrication de la structure et
- si au moins l'un des paramètres dérive et sort donc d'un intervalle d'amplitude prédéfinie, centré sur le paramètre mémorisé correspondant,

modifier le paramètre mesuré pour qu'il se retrouve dans cet intervalle.

8. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 6, dans lequel les moyens de réglage (40) sont en outre prévus pour :

- mesurer les paramètres de réglage de l'appareil (2) à tout instant ou périodiquement pendant la fabrication de la structure et
- en cas d'instabilité d'au moins l'un de ces paramètres, interrompre la fabrication et informer l'utilisateur et/ou calibrer l'appareil pour régler à nouveau ce paramètre.

9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel les moyens de réglage (40) sont prévus pour mettre en œuvre les étapes suivantes en vue de calibrer l'appareil (2) :

- commander cet appareil pour former sur le substrat (18), dans une zone de ce substrat qui n'est pas destinée à la formation de la structure, une empreinte de test conformément à une empreinte numérique de référence mémorisée,
- numériser l'empreinte de test,
- comparer l'empreinte de test numérisée à l'empreinte numérique de référence mémorisée,
- si ces empreintes sont différentes, modifier le paramètre de réglage de l'appareil et répéter ces étapes jusqu'à l'obtention d'un réglage convenable de l'appareil.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, dans lequel les paramètres de réglage comprennent le courant d'émission de la source

d'ions (4), l'énergie des ions, la focalisation du faisceau d'ions, l'amplitude du champ d'écriture sur le substrat (18), la correction de stigmatisme et la distance entre l'appareil (2) et le substrat (18).

1 / 1

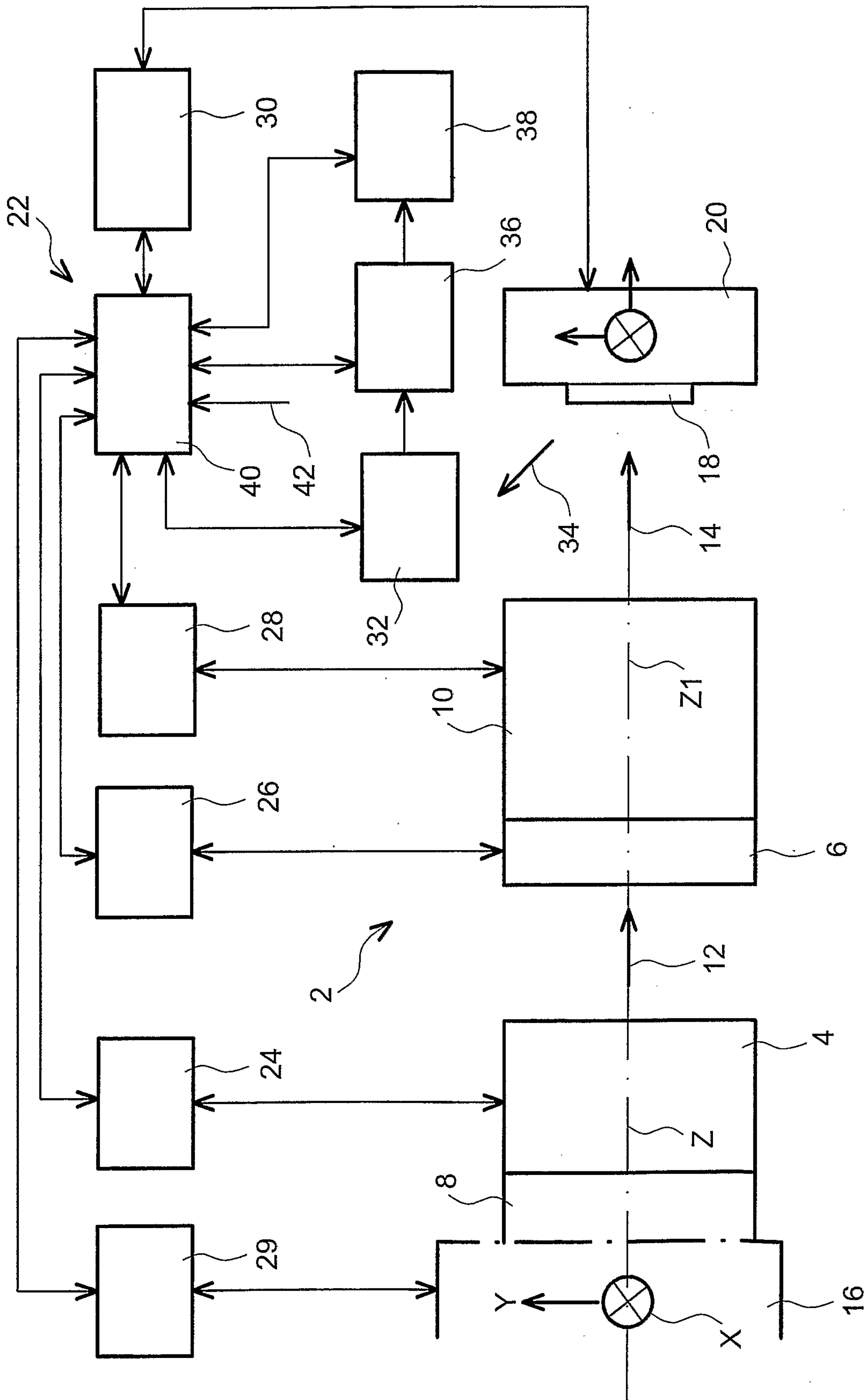


Fig. Unique

