

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION PAR PYROLYSE LASER DE PARTICULES SUBMICRONIQUES MULTICOUCHES.

②② Date de dépôt : 19.12.13.

③③ Priorité :

⑥① **Références à d'autres documents nationaux apparentés** : Division demandée le 19/12/13 bénéficiant de la date de dépôt du 12/07/12 de la demande initiale n° 1256710.

○ Demande(s) d'extension :

⑦① **Demandeur(s)** : NANOMAKERS Société anonyme — FR.

④③ **Date de mise à la disposition du public de la demande** : 20.06.14 Bulletin 14/25.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention** : 06.12.19 Bulletin 19/49.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de recherche** :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② **Inventeur(s)** : TENEGAL FRANCOIS.

⑦③ **Titulaire(s)** : NANOMAKERS Société anonyme.

⑦④ **Mandataire(s)** : IPAZ.



«Procédé de fabrication par pyrolyse laser de particules submicroniques multicouches»

5

Domaine technique

La présente invention concerne un procédé de fabrication de particules multicouches (typiquement une couche de cœur recouverte d'une couche supérieure), typiquement par pyrolyse laser. Elle concerne aussi un dispositif associé.

10

Un tel procédé permet par exemple à un utilisateur de fabriquer des particules submicroniques de silicium recouvertes chacune d'une couche de carbone.

Etat de la technique antérieure

15

On connaît un procédé pour fabriquer des particules d'oxyde de silicium recouvertes d'une couche de carbone par pyrolyse laser tel que décrit dans le document US6, 387,531.

Cependant, un tel procédé possède quelques inconvénients :

20

- les types et le nombre possible d'utilisations de ces particules sont limités, et on pourrait chercher à fabriquer des particules permettant de nouvelles utilisations, et
- l'homogénéité de répartition et d'épaisseur de la couche de carbone sur chaque cœur de particule en silicium est améliorable.

25

Le but de l'invention est de résoudre au moins un ou plusieurs des inconvénients listés ci-dessus.

Exposé de l'invention

Cet objectif est atteint avec un procédé pour produire des particules, comprenant les étapes suivantes :

30

- Introduire dans une chambre de réaction au moins un flux de réaction comprenant un premier élément chimique (typiquement du silicium) et se propageant selon une direction de flux,
- Projeter un faisceau de rayonnement à travers la chambre de réaction en intersection avec chaque flux de réaction dans une

zone d'interaction par flux de réaction, pour former dans chaque flux de réaction des cœurs de particules comprenant le premier élément chimique, et

- 5 - Introduire, dans la chambre de réaction, un deuxième élément chimique (typiquement carbone) interagissant avec chaque flux de réaction pour recouvrir les cœurs de particules d'une couche comprenant le deuxième élément chimique.

Chaque flux de réaction est de préférence dénué d'agent oxydant le premier élément chimique, et les cœurs de particules comprennent de
10 préférence le premier élément chimique sous forme non oxydée.

Ainsi, en se passant d'agent oxydant agencé pour oxyder le premier élément chimique, on peut obtenir des particules dont le cœur comprend le premier élément non oxydé. La couche de deuxième élément protège le cœur de l'oxydation, et permet :

- 15 - de conserver le premier élément dans un état non oxydé, ce qui laisse plus de choix pour les utilisations possibles des particules fabriquées : soit conserver le premier élément du cœur non oxydé pour des nouvelles utilisations de particules non oxydées, soit retirer la couche de deuxième élément (par exemple par recuit sous atmosphère contrôlée de particules de
20 silicium non oxydées recouvertes d'une couche de carbone, fournissant des particules de silicium (oxydées ou non) sans couche de carbone et dégageant du CO₂) pour permettre une utilisation du premier élément sous forme pure en vue d'autres utilisations plus classiques, et
25 - d'éviter des effets d'auto inflammation du cœur (par exemple silicium non oxydé) par de l'oxygène ambiant.

Ainsi, un tel procédé selon l'invention permet par exemple à un utilisateur de fabriquer des particules submicroniques de silicium non oxydé recouvertes chacune d'une couche de carbone protectrice empêchant toute oxydation du cœur de silicium de chacune des particules.

- 30 Le nombre d'atomes introduits du deuxième élément par rapport au nombre d'atomes introduits du premier élément correspond de préférence à un rapport de un atome du deuxième élément introduit par unité de temps pour au moins deux atomes du premier élément introduit par unité de temps. Pour un rapport moindre (par exemple un atome du deuxième

élément de Carbone introduit dans un flux de réaction par unité de temps pour un atome du premier élément de Silicium introduit par unité de temps dans ce flux de réaction), la réaction serait différente (par exemple obtention de particules en carbure de Silicium)

5 Le deuxième élément chimique peut être introduit dans la chambre dans un flux de gaz entourant chaque flux de réaction.

 Ce mode de réalisation améliore de manière significative l'homogénéité de répartition et d'épaisseur de la couche de deuxième élément sur chaque cœur de particule. En effet, on a remarqué que, dans le
10 cas où le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction, l'homogénéité de répartition et d'épaisseur de la couche de deuxième élément sur chaque cœur de particule n'est pas parfaite, surtout si dans chaque flux de réaction on se passe d'agent agencé pour oxyder le premier élément chimique.

15 Le deuxième élément chimique peut être introduit dans la chambre dans un flux de gaz de périphérie entourant chaque flux de réaction, émis à partir de plusieurs points répartis le long d'une courbe fermée entourant chaque flux de réaction et se propageant en direction de chaque flux de réaction. Le deuxième élément chimique est de préférence introduit dans la
20 chambre dans le flux de gaz de périphérie après la zone d'interaction de chaque flux de réaction.

 Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre comme étape introduire dans la chambre de réaction, avant la zone d'interaction de chaque flux de réaction, un flux de gaz de confinement entourant chaque
25 flux de réaction et se propageant selon la direction de flux. Le deuxième élément chimique peut être introduit dans la chambre dans le flux de gaz de confinement avant la zone d'interaction de chaque flux de réaction.

 L'introduction d'au moins un flux de réaction peut comprendre une introduction d'au moins un alignement de plusieurs flux de réaction séparés
30 les uns des autres par le flux de gaz de confinement et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux.

Le faisceau de rayonnement peut se propager le long d'une direction de rayonnement de préférence perpendiculaire à la direction de flux, et les flux de chaque alignement de flux de réaction peuvent être alignés le long d'une direction d'alignement perpendiculaire à la direction de flux et à la direction de rayonnement.

Le faisceau de rayonnement peut se propager le long d'une direction de rayonnement de préférence perpendiculaire à la direction de flux, et chaque flux de réaction peut posséder, dans un plan perpendiculaire à la direction de flux, une section s'étendant longitudinalement le long d'une direction d'élongation perpendiculaire à la direction de flux et à la direction de rayonnement.

Le deuxième élément chimique peut être introduit dans la chambre avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction avant la zone d'interaction de chaque flux de réaction.

Le premier élément chimique est de préférence du silicium.

Le premier élément chimique est de préférence introduit dans la chambre sous la forme de SiH_4 .

Les cœurs de particules peuvent être en silicium.

Le deuxième élément est de préférence du carbone.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé des particules obtenues par le procédé selon l'invention.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé des particules comprenant chacune:

- un cœur comprenant (de préférence consistant uniquement en) un premier élément chimique (de préférence du silicium) non oxydé, ayant un diamètre compris entre 3 et 900 nm (de préférence avec un écart type entre 1 et 90 nm), et
- une couche entourant le cœur, comprenant (de préférence consistant uniquement en) un deuxième élément chimique (de préférence Carbone) et ayant une épaisseur (pas nécessairement homogène) de couche entre 0.5 et 10 nm.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un dispositif pour produire des particules, comprenant:

- une source de réactif comprenant du réactif, ce réactif comprenant un premier élément chimique ;
- 5 - une chambre de réaction reliée à la source de réactif ;
- un injecteur de réactif agencé pour introduire, dans la chambre et en provenance de la source de réactif, au moins un flux de réaction comprenant ledit réactif et se propageant selon une direction de flux dans une zone de flux de réaction par flux de réaction,
- 10 - un émetteur d'un faisceau de rayonnement agencé pour projeter le faisceau de rayonnement à travers la chambre de réaction en intersection avec chaque zone de flux de réaction dans une zone d'interaction par flux de réaction,
- 15 - une source d'un deuxième élément chimique, et
- un injecteur de deuxième élément agencé pour introduire, dans la chambre de réaction, le deuxième élément chimique à partir de la source de deuxième élément de sorte que ce deuxième élément chimique soit apte à interagir dans le chambre avec chaque flux
- 20 de réaction.

Le réactif est de préférence dénué d'agent agencé pour oxyder le premier élément chimique.

L'injecteur de deuxième élément et l'injecteur de premier élément sont de préférence agencés ensemble pour introduire un nombre d'atomes du deuxième élément par rapport à un nombre d'atomes du premier

25 élément selon un rapport de un atome du deuxième élément pour au moins deux atomes du premier élément.

L'injecteur de deuxième élément chimique peut être agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre dans un flux de

30 gaz entourant chaque flux de réaction.

L'injecteur de deuxième élément chimique peut être agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre dans un flux de gaz de périphérie entourant chaque flux de réaction, émis à partir de

plusieurs points répartis le long d'une courbe fermée entourant chaque flux de réaction et agencés pour diriger le flux de gaz de périphérie en direction de chaque flux de réaction. L'injecteur de deuxième élément chimique peut être agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre dans le flux de gaz de périphérie après la zone d'interaction de chaque flux de réaction.

Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre un injecteur de gaz de confinement agencé pour introduire dans la chambre de réaction, avant la zone d'interaction de chaque flux de réaction, un flux de gaz de confinement entourant chaque flux de réaction et se propageant selon la direction de flux. L'injecteur de deuxième élément chimique peut comprendre l'injecteur de gaz de confinement.

L'injecteur d'au moins un flux de réaction peut être agencé pour introduire dans la chambre au moins un alignement de plusieurs flux de réaction séparés les uns des autres par le flux de gaz de confinement et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux.

L'émetteur peut être agencé pour que le faisceau de rayonnement se propage le long d'une direction de rayonnement de préférence perpendiculaire à la direction de flux, et l'injecteur d'au moins un flux de réaction peut être agencé pour que les flux de chaque alignement de flux de réaction soient alignés le long d'une direction d'alignement perpendiculaire à la direction de flux et à la direction de rayonnement.

L'émetteur peut être agencé pour que le faisceau de rayonnement se propage le long d'une direction de rayonnement de préférence perpendiculaire à la direction de flux, et l'injecteur d'au moins un flux de réaction peut être agencé pour que chaque flux de réaction possède, dans un plan perpendiculaire à la direction de flux, une section s'étendant longitudinalement le long d'une direction d'élongation perpendiculaire à la direction de flux et à la direction de rayonnement.

L'injecteur de deuxième élément chimique peut être agencé pour introduire le deuxième élément dans la chambre avec le premier élément

chimique dans chaque flux de réaction avant la zone d'interaction de chaque flux de réaction.

Description des figures et modes de réalisation

- 5 D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :
- la figure 1 est une vue schématique de coupe de profil d'un flux de réaction (indifféremment le flux 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105 ou 106
10 selon la variante considérée) dans un dispositif selon l'invention,
 - la figure 2 est une vue schématique de coupe (indifféremment au niveau du flux 1, 101, 102, ou 103 selon la variante considérée) de profil d'un dispositif selon l'invention,
 - la figure 3 est une vue schématique de coupe de face d'un
15 alignement de flux de réaction 101, 102, 103 dans un dispositif selon l'invention,
 - la figure 4 est une vue schématique de coupe (indifféremment au niveau des flux 1, 100 ou 101, 104 ou 102, 105 ou 103, 106 selon la variante considérée) de profil d'une variante de dispositif selon l'invention,
 - 20 - la figure 5 est une vue en perspective d'un flux de réaction 1 accompagné d'un autre flux de réaction 100 optionnel,
 - la figure 6 est une vue en perspective d'un premier alignement de flux de réaction 101, 102, 103 accompagné d'un autre alignement de flux de réaction 104, 105, 106 optionnel,
 - 25 - la figure 7 est une vue schématique de coupe de profil d'un flux de réaction (indifféremment le flux 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105 ou 106 selon la variante considérée) et d'un injecteur 22 annulaire agencé pour diffuser un flux de gaz de périphérie 7,
 - la figure 8 est une vue schématique en perspective d'un flux de
30 réaction (indifféremment le flux 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105 ou 106 selon la variante considérée) et de l'injecteur annulaire 22,
 - la figure 9 est une vue schématique de coupe de profil d'une particule fabriquée selon l'invention, et

- la figure 10 est une vue schématique de coupe de profil d'une autre particule fabriquée selon l'invention.

5 Ces modes de réalisation étant nullement limitatifs, on pourra notamment considérer des variantes de l'invention ne comprenant qu'une sélection de caractéristiques décrites par la suite isolées des autres caractéristiques décrites (même si cette sélection est isolée au sein d'une phrase comprenant ces autres caractéristiques), si cette sélection de caractéristiques est suffisante pour conférer un avantage technique ou pour
10 différencier l'invention par rapport à de l'état de la technique antérieure. Cette sélection comprend au moins une caractéristique de préférence fonctionnelle sans détails structurels, ou avec seulement une partie des détails structurels si cette partie uniquement est suffisante pour conférer un avantage technique ou à différencier l'invention par rapport à l'état de la
15 technique antérieure.

On va tout d'abord décrire, en référence aux figures 1 à 6, un premier mode de réalisation de dispositif 9 selon l'invention.

20 Ce premier mode de réalisation de dispositif 9 pour produire par pyrolyse laser des particules 10 comprend une source 4 de réactif. Le réactif comprend de préférence au moins un gaz de réaction et/ou au moins un liquide de réaction sous forme d'aérosol. Le réactif comprend un premier élément chimique. Le premier élément chimique est de préférence un métal (de préférence parmi le Fer, l'Aluminium, le Titane) ou un métalloïde (parmi
25 du Bore, du Silicium, du Germanium, de l'Arsenic, de l'Antimoine, du Tellure, du Polonium). Plus précisément, le premier élément chimique dans le réactif est de préférence du silicium, de préférence sous la forme de SiH_4 . Le réactif est de préférence du gaz de réaction (typiquement du gaz de SiH_4 ou du gaz $\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_2$ ou $\text{SiH}_4 + \text{C}_2\text{H}_4$ ou de $\text{SiH}_4 + \text{CH}_4$).

30 Le dispositif 9 comprend en outre une chambre de réaction 8 (délimitée par des parois en inox) reliée à la source 4 de réactif.

La chambre de réaction 8 est remplie d'une atmosphère de gaz neutre (parmi hélium, argon, krypton, xénon, azote ou un mélange), de préférence d'Argon ou d'Azote.

Un injecteur 5 de réactif est agencé pour introduire, dans la chambre 8 et en provenance de la source 4 de réactif, au moins un flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, chaque flux de réaction se propageant selon une direction de flux 11 identique pour tous les flux de réaction et dans une zone 6 de flux de réaction par flux de réaction.

Un émetteur 19 (typiquement une source LASER) d'un faisceau de rayonnement 3 (typiquement un faisceau laser, de préférence d'aire entre 30 mm^2 et 3000 mm^2 en coupe perpendiculairement à la direction 12, de largeur le long de la direction 13, 18 comprise entre 2 et 5 cm, de longueur d'onde comprise entre 9 microns et 11 microns de préférence 10.6 microns pour le SiH_4 et de puissance comprise entre 50 et 5000 watt et de fréquence comprise entre 10000 et 100000 Hz) est agencé pour projeter le faisceau de rayonnement 3 à travers la chambre de réaction 8 de sorte que ce faisceau 3 soit en intersection, dans une zone d'interaction 14 par zone 6 de flux de réaction, avec chaque zone 6 de flux de réaction de manière à former dans chaque flux de réaction des cœurs de particules 15 comprenant le premier élément chimique.

Ainsi, chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 ou zone 6 de flux de réaction se décompose en trois parties :

- une zone d'interaction 14 avec le faisceau 3,
- une partie située avant (par rapport à direction de flux 11) sa zone d'interaction 14 et comprenant le réactif tel qu'introduit dans la chambre 8, et
- une partie située après (par rapport à direction de flux 11) sa zone d'interaction 14 et comprenant une flamme 26 issue de l'interaction entre le réactif et le faisceau 3 dans sa zone d'interaction 14.

Le faisceau 3 est mis en forme par un système optique pour lui donner une section rectangulaire focalisée (i.e. dont l'aire diminue avec la progression du faisceau 3 selon la direction de rayonnement 12), comme décrit dans les documents FR 2 894 493 et FR 2 877 591.

Le faisceau 3 entre dans la chambre 8 à travers une fenêtre 23 en ZnSe et ressort de la chambre 8 à travers une autre fenêtre 24 en ZnSe

avant d'être arrêté par un calorimètre 25 non réflecteur (« beam stopper »).

Le dispositif 9 comprend en outre une source d'un deuxième élément chimique. Le deuxième élément chimique est de préférence du carbone injecté sous forme de C_2H_2 ou de C_2H_4 ou de CH_4 gazeux. Un injecteur de deuxième élément est agencé pour introduire, dans la chambre de réaction 8, le deuxième élément chimique à partir de la source de deuxième élément de sorte que ce deuxième élément chimique soit apte à interagir dans la chambre 8 avec chaque flux de réaction 1, 100 101, 102, 103, 104, 105, 106 de manière à recouvrir les cœurs de particules 15 d'une couche 16 comprenant le deuxième élément chimique.

Le réactif dans la source 4 et injecté dans la chambre 8 est dénué d'agent oxydant agencé pour oxyder le premier élément chimique. On entend par « agent agencé pour oxyder le premier élément chimique » (aussi appelé « agent oxydant du premier élément chimique ») tout atome ou molécule (par exemple N_2O) qui, dans le réactif (par exemple un gaz de SiH_4 , éventuellement mélangé à du C_2H_2 ou du C_2H_4 ou du CH_4), possède un potentiel d'oxydo-réduction tendant à une oxydation du premier élément chimique (par exemple Si) à partir de la forme (par exemple SiH_4) dans laquelle il est injecté dans la chambre 8. De préférence, le réactif dans la source 4 et injecté dans la chambre 8 est dénué d'atome d'oxygène.

L'injecteur (5, 21 et/ou 22) de deuxième élément et l'injecteur 5 de premier élément sont au sein du dispositif 9 agencés ensemble (par leur débit et leurs proportions des différents gaz éventuellement mélangés qu'ils débitent tel que SiH_4 pour l'injecteur 5, argon ou azote pour l'injecteur 21 et C_2H_2 , C_2H_4 , CH_4 pour l'injecteur 5 et/ou 21 et/ou 22) pour introduire par unité de temps (typiquement par minute) un nombre d'atomes du deuxième élément par rapport à un nombre d'atomes du premier élément selon un rapport de un atome du deuxième élément (typiquement Carbone) introduit (dans la somme des flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, de confinement 2 et éventuellement s'ils existent des flux de périphérie 7) par unité de temps pour au moins deux (de préférence au moins 3, de manière optimale au moins 5) atomes du premier élément (Typiquement Silicium) introduit (dans le flux 1) par unité de temps.

Typiquement, l'injecteur (5, 21 et/ou 22) de deuxième élément et l'injecteur 5 de premier élément sont au sein du dispositif 9 agencés ensemble pour introduire un rapport de un atome du deuxième élément (typiquement Carbone) (dans la somme des flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, de confinement 2 et éventuellement s'ils existent des flux de périphérie 7) par unité de temps pour deux (de préférence trois, de manière optimale cinq) à cinquante atomes du premier élément (Typiquement Silicium) par unité de temps (dans le flux 1).

Le dispositif 9 comprend en outre une source 20 de gaz de confinement comprenant du gaz de confinement et un injecteur 21 de gaz de confinement agencé pour introduire dans la chambre de réaction 8, avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction, un flux de gaz de confinement 2 (de préférence commun à tous les flux de réaction) entourant chaque flux de réaction 1, 100 101, 102, 103, 104, 105, 106 (plus exactement en contact avec chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 sur tout le pourtour de chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 au moins à partir de l'injection du réactif dans la chambre 8 jusqu'à la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction, ce pourtour étant défini selon une ligne fermée contenue dans un plan perpendiculaire à la direction de flux 11) et se propageant selon la direction de flux 11.

Le gaz de confinement comprend un gaz neutre (parmi hélium, argon, azote ou un mélange de ceux-ci, de préférence de l'argon ou de l'azote). Le flux de gaz de confinement 2 possède deux fonctions :

- d'une part, il sert à confiner chaque flux de réaction pour éviter que les réactifs de chaque flux de réaction diffusent de manière radiale, ce qui risquerait de salir les parois intérieures de la chambre 8, et
- d'autre part, de refroidir (« effet de trempe ») chaque flamme 26 de flux de réaction créée après (par rapport à direction de flux 11) l'interaction du faisceau 3 avec respectivement chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106.

L'émetteur 19 est agencé pour que le faisceau de rayonnement 3 se propage le long d'une direction de rayonnement 12 perpendiculaire à la direction de flux 11.

5 L'injecteur 5 d'au moins un flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 est agencé pour que chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 possède, dans un plan perpendiculaire à la direction de flux 11, une section s'étendant longitudinalement le long d'une direction d'élongation 13 perpendiculaire à la direction de flux 11 et à la direction de rayonnement 12.

10

Dans une première variante du premier mode de réalisation de dispositif 9 qui peut correspondre à la vue de coupe de la figure 2, l'injecteur 5 de réactif est agencé pour introduire dans la chambre 8, et en provenance de la source 4 de réactif, un unique flux de réaction 1 se
15 propageant selon la direction de flux 11 dans une zone 6 de flux de réaction. La section de l'injecteur 5 est typiquement un ovale de 4 mm de profondeur le long de la direction 12 et de 2 cm de large le long de la direction 13.

20

Dans une deuxième variante du premier mode de réalisation de dispositif 9 qui peut correspondre à la vue de coupe de profil de la figure 2 et de la vue de coupe de face de la figure 3, l'injecteur 5 d'au moins un flux de réaction est agencé pour introduire, dans la chambre 8 et en provenance de la source 4 de réactif, un alignement de plusieurs flux de
25 réaction 101, 102, 103 séparés les uns des autres par le flux de gaz de confinement 2 et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux 11.

Chaque flux 101, 102 ou 103 se propage selon la direction de flux 11 dans une zone 6 de flux de réaction qui lui est propre.

30

L'injecteur 5 d'au moins un flux de réaction 101, 102, 103 est agencé pour que, au sein de l'alignement de flux 101, 102, 103, les différents flux de réaction 101, 102, 103 soient alignés le long d'une direction d'alignement 18 perpendiculaire à la direction de flux 11 et à la direction de rayonnement 12.

Comme illustré sur la figure 3, l'injecteur 5 se subdivise en plusieurs buses d'injection 201, 202, 203 (une buse par flux de réaction). Chaque buse a une section qui est typiquement un ovale de 3 mm de profondeur le long de la direction 12 et de 4 mm de large le long de la direction 13, 18.

5 Le nombre de flux de réaction 101, 102, 103 et de buses 201, 202, 203 n'est pas du tout limité à trois, on pourrait en avoir beaucoup plus, ce nombre dépendant de la largeur de la tâche laser qui peut aller de 2 à 5 cm voire plus.

10 Dans une troisième variante du premier mode de réalisation de dispositif 9 qui peut correspondre à la vue de coupe de profil de la figure 4 et de la vue en perspective de la figure 5, l'injecteur 5 d'au moins un flux de réaction est agencé pour introduire dans la chambre 8 plusieurs flux de réaction 1, 100, séparés les uns des autres par le flux de gaz de
15 confinement 2 et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux 11.

L'injecteur 5 de réactif est agencé pour introduire, dans la chambre 8 et en provenance de la source 4 de réactif, plusieurs flux de réaction 1, 100, chaque flux 1, 100 se propageant selon la direction de flux 11 dans
20 une zone 6 de flux de réaction qui lui est propre. Ces flux 1, 100 sont espacés selon la direction de rayonnement 12.

Les pertes par absorption du faisceau 3 par le flux de réaction 1 sont compensées par la focalisation (ou « convergence ») du faisceau 3 de sorte que la densité de puissance incidente du faisceau 3 sur chaque flux 1 ou
25 100 est identique pour tous les flux 1, 100 comme décrit dans le document FR 2 877 591.

Cette variante permet d'accroître le taux de production. On peut avoir deux flux 1, 100 l'un à la suite de l'autre comme illustré sur la figure 5, ou en avoir 3, 4 ou encore plus ainsi les uns à la suite des autres, disposés
30 d'affilée avec un seul faisceau laser 3.

Dans une quatrième variante du premier mode de réalisation de dispositif 9 qui peut correspondre à la vue de coupe de profil de la figure 4 et de la vue en perspective de la figure 6, l'injecteur 5 d'au moins un flux de

réaction est agencé pour introduire dans la chambre 8 et en provenance de la source 4 de réactif plusieurs alignements de flux de réaction séparés les uns des autres par le flux de gaz de confinement 2 et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux 11.

Sur la figure 6, on voit un premier alignement de flux 101, 102, 103 et un deuxième alignement de flux 104, 105, 106

Chaque flux 101, 102, 103, 104, 105 ou 106 se propage selon la direction de flux 11 dans une zone 6 de flux de réaction qui lui est propre.

L'injecteur 5 d'au moins un flux de réaction est agencé pour que les flux respectivement 101, 102, 103 ou 104, 104 et 105 (ou plus précisément leur section dans un plan perpendiculaire à la direction de flux 11) au sein de chaque alignement soient alignés le long d'une direction d'alignement 18 perpendiculaire à la direction de flux 11 et à la direction de rayonnement 12.

Les alignements de flux sont espacés entre eux selon la direction de rayonnement 12.

Les différents alignements de flux sont parallèles entre eux selon la même direction 18.

L'injecteur 5 se subdivise en plusieurs buses d'injection (une buse par flux de réaction). Chaque buse a une section qui est typiquement un ovale de 3 mm de profondeur le long de la direction 12 et de 4 mm de large le long de la direction 13, 18.

Les pertes par absorption du faisceau 3 par le premier alignement de flux 101, 102, 103 sont compensées par la focalisation (ou « convergence ») du faisceau 3 de sorte que la densité de puissance incidente du faisceau 3 sur chaque alignement de flux 101, 102, 103 ou 104, 105, 106 est identique pour tous les flux 101, 102, 103, 104, 105 ou 106 selon le principe décrit dans le document FR 2 877 591.

En référence aux figures 1 à 6, dans le premier mode de réalisation de dispositif 9 selon l'invention (quelle que soit sa variante considérée parmi ses quatre variantes précédemment décrites), l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour introduire le deuxième élément dans la

chambre 8 avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction.

5 L'injecteur de deuxième élément chimique comprend l'injecteur 5 de réactif. Plus exactement, l'injecteur de deuxième élément chimique et l'injecteur 5 de réactif sont confondus.

10 En référence aux figures 1 à 6, un deuxième mode de réalisation de dispositif 9 selon l'invention est strictement identique au premier mode de réalisation de dispositif 9 précédemment décrit (quelle que soit sa variante considérée parmi ses quatre variantes précédemment décrites), mis à part le fait que l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre 8 dans un flux de gaz 2 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 15 106.

Plus exactement, l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre 8 dans le flux de gaz de confinement 2 avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction.

20 L'injecteur de deuxième élément chimique comprend l'injecteur 21 de gaz de confinement. Plus exactement, l'injecteur de deuxième élément chimique et l'injecteur 21 de gaz de confinement sont confondus.

25 Ce deuxième mode de réalisation est de préférence mis en œuvre au sein de la deuxième ou quatrième variante (comprenant un ou plusieurs alignement(s) de flux 101, 102, 103 et 104, 105, 106 des figures 3 et 6) car cela permet de maximiser l'aire d'interaction entre le gaz de confinement 2 comprenant le deuxième élément chimique et chaque flux de réaction comprenant le premier élément chimique.

30 En référence aux figures 2 à 8, un troisième mode de réalisation de dispositif 9 selon l'invention est strictement identique au premier mode de réalisation de dispositif 9 précédemment décrit (quelle que soit sa variante considérée parmi ses quatre variantes précédemment décrites), mis à part le fait que l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour

introduire le deuxième élément chimique dans la chambre 8 dans un flux de gaz 7 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106.

5 L'injecteur de deuxième élément chimique comprend un injecteur 22 (de préférence de forme annulaire) :

- par flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, ou
- commun entourant de manière globale tous les flux de réaction.

10 Pour chaque flux de réaction considéré 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, ou 106, l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre 8 dans un flux de gaz de périphérie 7 entourant ce flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, ou 106 et émis à partir de plusieurs points 17 répartis le long d'une courbe fermée (forme typiquement annulaire de l'injecteur 22) entourant ce flux de réaction et agencés pour diriger le flux de gaz de

15 périphérie 7 en direction de ce flux de réaction.

Pour chaque flux de réaction considéré 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, ou 106, l'injecteur de deuxième élément chimique est agencé pour introduire le deuxième élément chimique dans la chambre 8 dans le flux de gaz de périphérie 7 après (par rapport à direction de flux 11) la zone

20 d'interaction 14 de ce flux de réaction.

Ce troisième mode de réalisation de dispositif 9 comprend des moyens pour déplacer (non représentés, comprenant par exemple une platine de micro-déplacement) chaque injecteur 22 le long de la direction de flux 11 de manière à optimiser la couche 16 fabriquée pour les particules

25 10.

Bien entendu, les différentes variantes et les différents modes de réalisation du dispositif selon l'invention venant d'être décrits peuvent être combinés entre eux, et l'injecteur de deuxième élément chimique peut donc

30 comprendre :

- l'injecteur 5 de flux de réaction, et/ou (de préférence et)
- au moins un (éventuellement les deux) parmi :
 - o l'injecteur 21 de gaz de confinement, et/ou

- un injecteur 22 de gaz de périphérie 7 par flux de réaction ou un injecteur commun 22 de gaz de périphérie 7 entourant de manière globale tous les flux de réaction.

5 On va maintenant décrire un procédé mis en œuvre dans l'un quelconque des modes de réalisation de dispositif 9 venant d'être décrit.

 Ce procédé selon l'invention pour produire par pyrolyse laser des particules 10, comprend les étapes suivantes :

- 10 - introduire dans la chambre de réaction 8, par l'injecteur 5 et en provenance de la source 4, au moins un flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 comprenant le premier élément chimique et se propageant selon la direction de flux 11 ; chaque flux de réaction comprend lors de son introduction du réactif ; le débit typique de réactif introduit dans la chambre 8 est d'environ
15 20 litres par minutes.
- 20 - introduire dans la chambre de réaction 8, avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction, le flux de gaz de confinement 2 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 et se propageant selon la direction de flux 11; le débit typique de gaz de confinement introduit dans la chambre 8 est d'environ 50 litres par minutes.
- 25 - projeter, par l'émetteur 19, le faisceau de rayonnement 3 à travers la chambre de réaction 8 en intersection, dans une zone d'interaction 14 par flux de réaction, avec chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 pour former dans chaque flux de réaction des cœurs de particules 15 comprenant le premier élément chimique, et
- 30 - introduire, dans la chambre de réaction 8, le deuxième élément chimique interagissant avec chaque flux de réaction 1, 101, 102, 103, 104, 105, 106 pour recouvrir les cœurs de particules 15 d'une couche 16 (propre à chaque particule 10 et indépendante de la couche 16 des autres particules 10) comprenant le deuxième élément chimique.

Comme vu précédemment, le réactif des flux de réaction est dénué d'agent oxydant le premier élément chimique. Ainsi, les cœurs 15 de particules obtenus par le procédé selon l'invention comprennent le premier élément chimique sous forme non oxydée.

5 Le nombre d'atomes introduits par unité de temps (typiquement par minute) du deuxième élément par rapport au nombre d'atomes introduits du premier élément est un rapport de un atome du deuxième élément introduit par unité de temps (dans la somme des flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, de confinement 2 et éventuellement s'ils
10 existent des flux de périphérie 7) pour au moins deux (de préférence au moins 3, de manière optimale au moins 5) atomes du premier élément par unité de temps (dans le flux 1).

Le nombre d'atomes introduits par unité de temps (typiquement par minute) du deuxième élément par rapport au nombre d'atomes introduits
15 du premier élément est un rapport de un atome du deuxième élément introduit par unité de temps (dans la somme des flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, de confinement 2 et éventuellement s'ils existent des flux de périphérie 7) pour deux (de préférence trois, de manière optimale cinq) à cinquante atomes du premier élément par unité de
20 temps.

Le faisceau de rayonnement 3 se propage le long de la direction de rayonnement 12 perpendiculaire à la direction de flux 11.

Chaque flux de réaction possède, dans un plan perpendiculaire à la direction de flux 11, une section s'étendant longitudinalement le long de la
25 direction d'élongation 13 perpendiculaire à la direction de flux 11 et à la direction de rayonnement 12.

Les particules 10 ainsi fabriquées tombent dans un récupérateur 27 où elles sont refroidies avant d'être acheminées par gravité et/ou aspiration vers une installation exploitant les particules ou vers un conteneur pour
30 stockage.

Dans le procédé selon l'invention mis en œuvre dans le premier mode de réalisation de dispositif selon l'invention, le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 avec le premier élément chimique dans le réactif dans chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106

avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction.

5 Dans le procédé selon l'invention mis en œuvre dans le deuxième ou troisième mode de réalisation de dispositif selon l'invention, le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans un flux de gaz 2 ou 7 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 et en contact avec chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106.

10 Dans le procédé selon l'invention mis en œuvre dans le deuxième mode de réalisation de dispositif selon l'invention, le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans le flux de gaz de confinement 2 avant (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction.

15 Ce mode de réalisation est particulièrement intéressant lorsque, comme précédemment décrit en référence à la figure 3 ou 6, l'introduction d'au moins un flux de réaction comprend une introduction de plusieurs flux de réaction alignés (alignement 101, 102, 103 et éventuellement en plus alignement 104, 105, 106) séparés les uns des autres par le flux de gaz de confinement 2 et comprenant chacun le premier élément chimique et se
20 propageant chacun selon la direction de flux 11. On remarque que dans ce cas-là comme illustré sur la figure 3 le flux de gaz de confinement 2 est de préférence commun à tous les flux de réaction et sans discontinuité entre les différents flux de réaction. En outre, le faisceau de rayonnement 3 se propage le long de la direction de rayonnement 12 perpendiculaire à la
25 direction de flux 11, et les différents flux de réaction 101, 102, 103 ou 104, 105, 106 au sein d'un alignement sont alignés le long de la direction d'alignement 18 perpendiculaire à la direction de flux 11 et à la direction de rayonnement 12.

30 Dans le procédé selon l'invention mis en œuvre dans le troisième mode de réalisation de dispositif selon l'invention, le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans un flux de gaz de périphérie 7 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, émis à partir de plusieurs points 17 répartis le long d'une courbe fermée entourant chaque flux de réaction et se propageant en direction des flux de

réaction. Le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans le flux de gaz de périphérie 7 après (par rapport à direction de flux 11) la zone d'interaction 14 de chaque flux de réaction.

Bien entendu, on peut imaginer différentes combinaisons de procédés selon l'invention précédemment décrits, dans lesquelles le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 :

- avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, et/ou (de préférence et)
- dans un flux de gaz 2 ou 7 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 et en contact avec chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, notamment :
 - o dans le flux de gaz de confinement 2, et/ou
 - o dans un flux de gaz de périphérie 7 par flux de réaction ou dans un flux de gaz de périphérie 7 commun entourant de manière globale tous les flux de réaction.

EXEMPLE 1

Dans cet exemple, le premier élément chimique est du silicium.

Le premier élément chimique est introduit à température ambiante (approximativement 20°C) dans la chambre 8 sous la forme de SiH_4 gazeux, à approximativement 20 litres par minutes.

Le réactif de chaque flux de réaction est ainsi du silane (SiH_4) gazeux non mélangé à des agents oxydants ou à des atomes d'oxygène ou à des molécules comprenant des atomes d'oxygène, mais éventuellement mélangé avec une source (C_2H_2 ou C_2H_4 ou CH_4 , de préférence C_2H_2) de deuxième élément chimique.

Les cœurs 15 de particules 10 ainsi obtenus sont en silicium non oxydé.

Le gaz de confinement 2 comprend de l'argon gazeux introduit dans la chambre 8 à température ambiante à 50 litres par minutes, éventuellement mélangé avec une source (C_2H_2 ou C_2H_4 ou CH_4 , de préférence C_2H_2) de deuxième élément chimique.

Le deuxième élément est du carbone.

Le deuxième élément est introduit à température ambiante dans la chambre sous la forme d'acétylène (C_2H_2) gazeux à très approximativement 2 litres par minutes, éventuellement pour de meilleurs résultats réparti simultanément dans les flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et de confinement 2, ou de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et de périphérie 7 (par exemple à au moins 60% dans les flux 2 et/ou 7 entourant les flux de réaction et le reste dans les flux de réaction).

Le nombre d'atomes introduits de carbone (qui joue ici le rôle du deuxième élément) par rapport au nombre d'atomes introduits du premier élément (Silicium) est un rapport de un atome de carbone pour 5 atomes de silicium (1 mole de C_2H_2 pour 10 moles de SiH_4).

La couche 16 de chaque particule ainsi obtenue est en carbone.

PARTICULES OBTENUES

Des particules selon le premier exemple ont été fabriquées avec le premier, deuxième et troisième mode de réalisation de dispositif 9 seuls ou en combinaison.

La taille des particules 10 obtenues correspond à un diamètre de cœur compris entre 10 et 500 nm (avec un écart type entre 2 et 60 nm), et une épaisseur de couche 16 entre 1 et 5 nm. Les particules ne sont pas nécessairement parfaitement sphériques. Par diamètre de cœur, on entend la distance reliant les deux points les plus distants du cœur (par exemple la longueur dans le cas d'un cœur en forme de bâtonnet).

En utilisant le premier mode de réalisation de dispositif selon l'invention, pour lequel le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, on remarque que la couche 16 n'est pas parfaitement uniforme, comme illustré sur la figure 9.

Cela peut être dû au fait que selon l'invention chaque flux de réaction est dénué d'agent oxydant le premier élément chimique. Le fait de ne pas utiliser d'agent oxydant est contre-intuitif, notamment dans le cas d'une

couche 16 de carbone car les oxydants sont connus pour déshydrogéner les molécules telles que C_2H_4 , C_6H_6 ,... et donc aider à former du carbone solide.

On note de meilleurs résultats du deuxième ou troisième mode de réalisation seul que du premier mode de réalisation seul.

5 L'homogénéité de la couche 16 peut être nettement améliorée en utilisant le deuxième et/ou troisième mode de réalisation de dispositif selon l'invention, dans lequel le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans un flux de gaz 2 ou 7 entourant chaque flux de réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106 et en contact avec chaque flux de
10 réaction 1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, plus particulièrement avec le deuxième mode de réalisation de dispositif selon l'invention pour lequel le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre 8 dans le flux de gaz de confinement 2. La couche 16 est alors bien plus homogène, comme illustré sur la figure 10.

15 On note encore de meilleurs résultats du deuxième et/ou troisième mode de réalisation combiné(s) au premier mode de réalisation que du deuxième ou troisième mode de réalisation seul.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples, modes de
20 réalisation et variantes qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

Bien entendu, les différentes caractéristiques, formes, variantes et modes de réalisation de l'invention peuvent être associées les unes avec les
25 autres selon diverses combinaisons dans la mesure où elles ne sont pas incompatibles ou exclusives les unes des autres. En particulier toutes les variantes et modes de réalisation décrits précédemment sont combinables entre eux.

30

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour produire des particules (10), comprenant les étapes suivantes :

- 5 - Introduire dans une chambre de réaction (8) au moins un flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) comprenant comme premier élément chimique du Silicium et se propageant selon une direction de flux (11),
- 10 - Projeter un faisceau de rayonnement (3) à travers la chambre de réaction (8) en intersection avec chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) dans une zone d'interaction (14) par flux de réaction, pour former dans chaque flux de réaction des cœurs de particules (15) comprenant le premier élément chimique, et
- 15 - Introduire, dans la chambre de réaction (8), un deuxième élément chimique, le deuxième élément étant du carbone qui interagit avec chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) pour recouvrir les cœurs de particules (15) d'une couche (16) de carbone,
- 20 le deuxième élément chimique étant introduit dans la chambre (8) avec le premier élément chimique dans chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) avant la zone d'interaction (14) de chaque flux de réaction.
- 25 chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) étant dénué d'agent oxydant le premier élément chimique, les cœurs (15) de particules comprenant le premier élément chimique sous forme non oxydée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre (8) dans un flux de gaz (2 ;7) entourant chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre (8) dans un flux de

gaz de périphérie (7) entourant chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106), émis à partir de plusieurs points (17) répartis le long d'une courbe fermée entourant chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et se propageant en direction de chaque flux de réaction.

5

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce que le deuxième élément chimique est introduit dans la chambre (8) dans le flux de gaz de périphérie (7) après la zone d'interaction (14) de chaque flux de réaction.

10

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'il comprend en outre comme étape introduire dans la chambre de réaction (8), avant la zone d'interaction (14) de chaque flux de réaction, un flux de gaz de confinement (2) entourant chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) et se propageant selon la direction de flux (11), le deuxième élément chimique étant introduit dans la chambre (8) dans le flux de gaz de confinement (2) avant la zone d'interaction (14) de chaque flux de réaction.

15

20

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'introduction d'au moins un flux de réaction comprend une introduction d'au moins un alignement de plusieurs flux de réaction (101, 102, 103 ; 104, 105, 106) séparés les uns des autres par le flux de gaz de confinement (2) et comprenant chacun le premier élément chimique et se propageant chacun selon la direction de flux (11).

25

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que le faisceau de rayonnement (3) se propage le long d'une direction de rayonnement (12) perpendiculaire à la direction de flux (11), et en ce que les flux de chaque alignement de flux de réaction (101, 102, 103 ; 104, 105, 106) sont alignés le long d'une direction

30

d'alignement (18) perpendiculaire à la direction de flux (11) et à la direction de rayonnement (12).

- 5 **8.** Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le faisceau de rayonnement (3) se propage le long d'une direction de rayonnement (12) perpendiculaire à la direction de flux (11), et en ce que chaque flux de réaction (1, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106) possède, dans un plan perpendiculaire à la direction de flux (11), une section s'étendant longitudinalement le long d'une direction d'élongation (13) perpendiculaire à la direction de flux (11) et à la direction de rayonnement (12).
- 10
- 9.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le nombre d'atomes introduits du deuxième élément par rapport au nombre d'atomes introduits du premier élément correspond à un rapport de un atome du deuxième élément introduit par unité de temps pour moins de deux atomes du premier élément introduit par unité de temps, de manière à obtenir du carbure de silicium.
- 15
- 10.** Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que le premier élément chimique est introduit dans la chambre (8) sous la forme de SiH_4 .
- 20
- 11.** Particules comprenant chacune:
- 25 - un cœur (15) comprenant comme premier élément chimique du silicium non oxydé, ayant un diamètre compris entre 3 et 900 nm, et
- une couche (16) entourant le cœur, consistant uniquement en un deuxième élément chimique de carbone et ayant une épaisseur
- 30 de couche entre 0,5 et 10 nm.

1 / 4

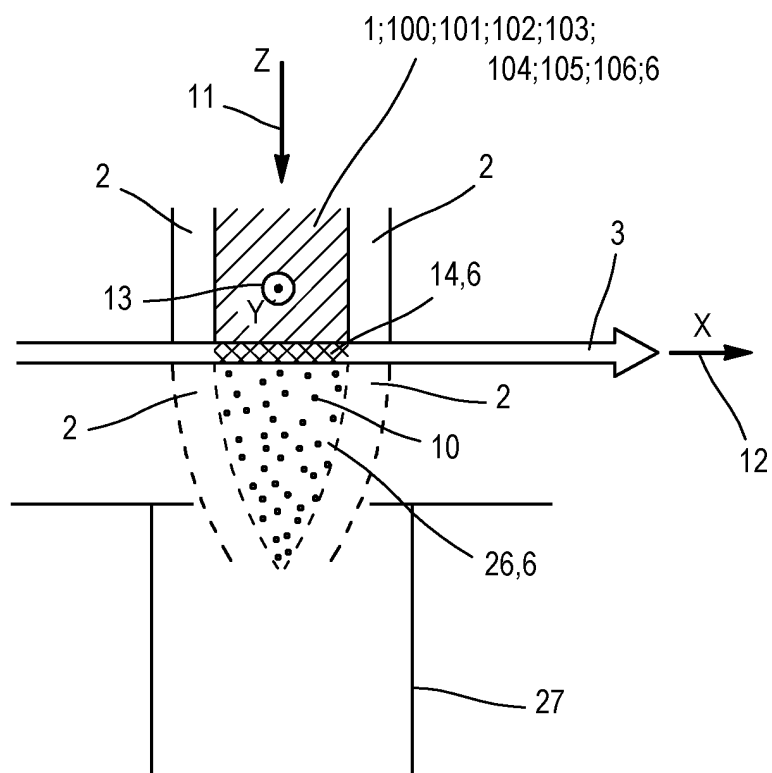


FIG. 1

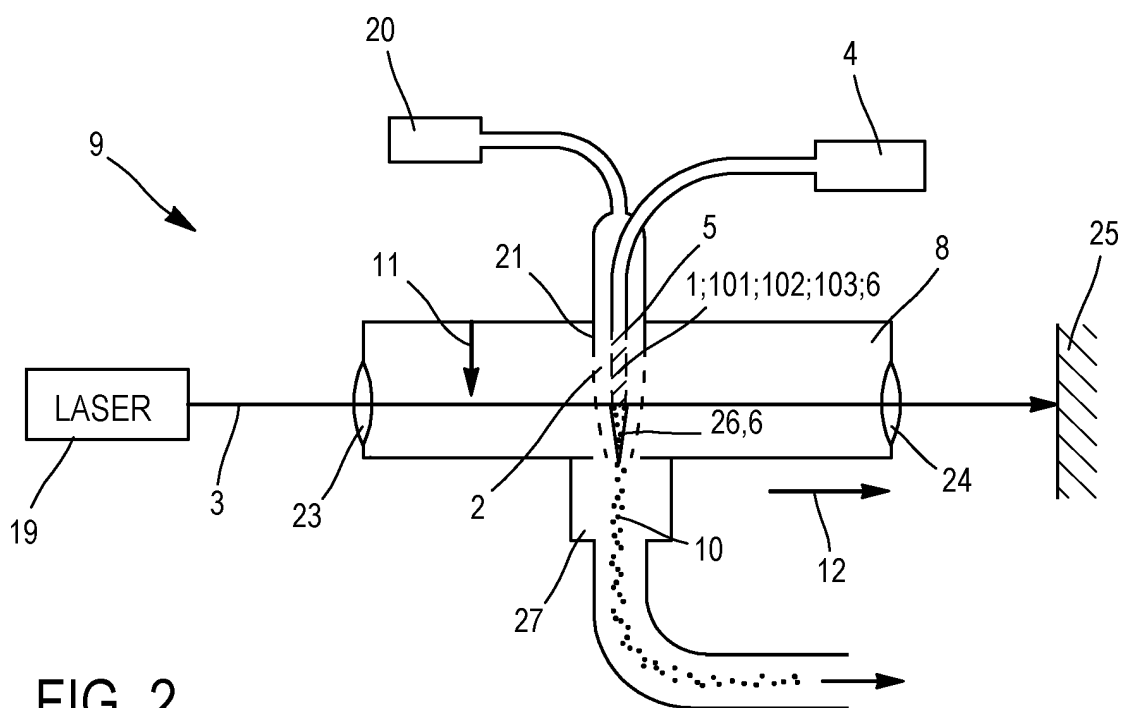
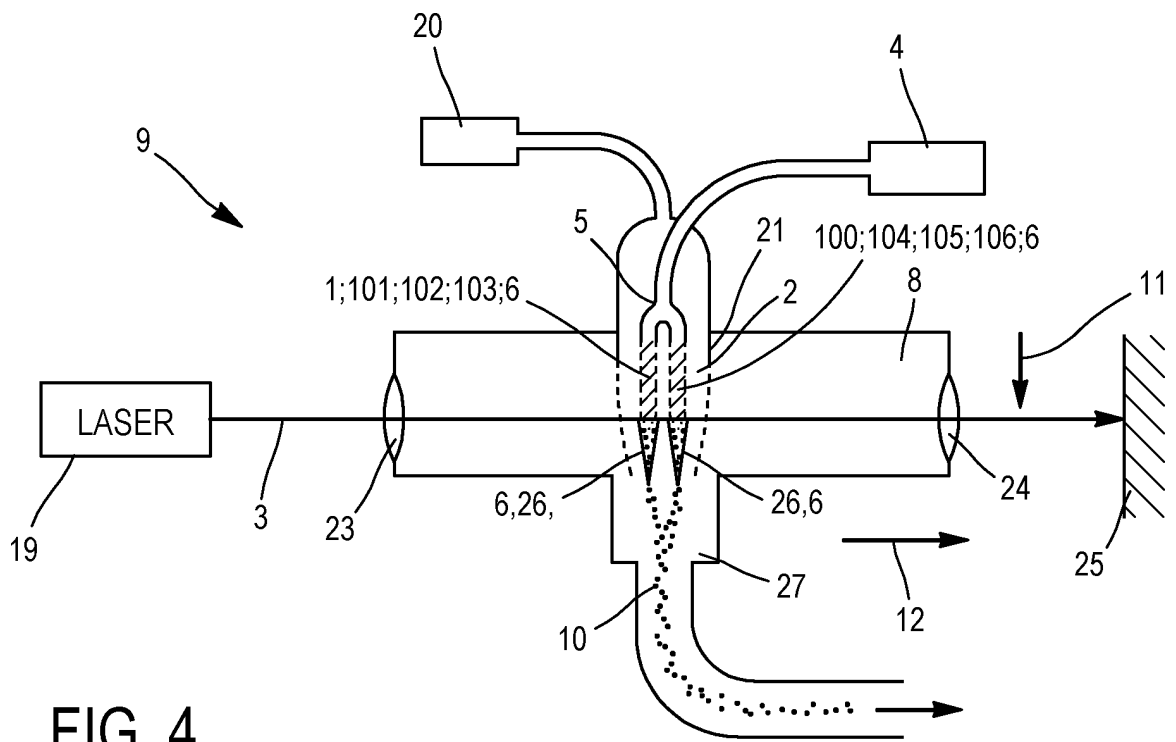
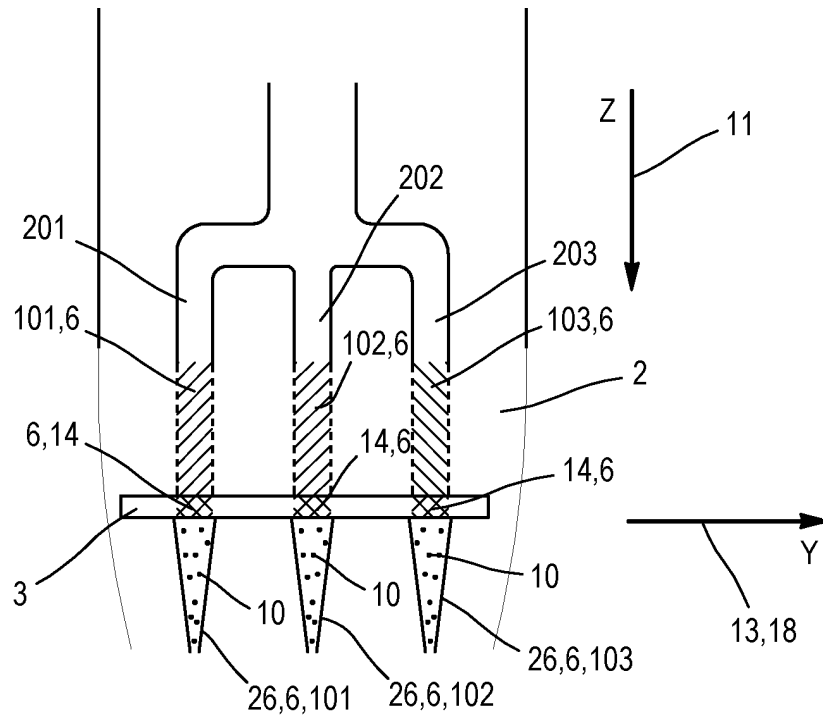


FIG. 2

FIG. 3



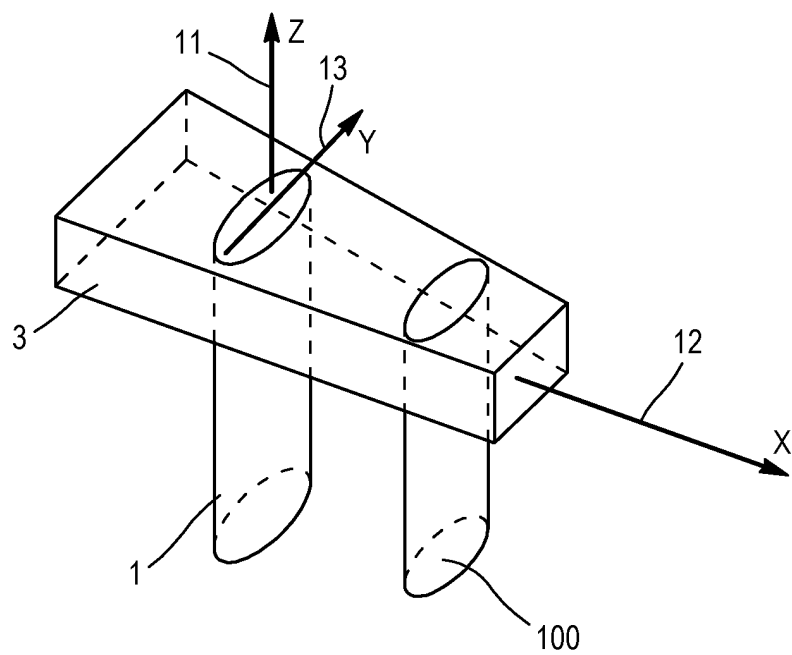


FIG. 5

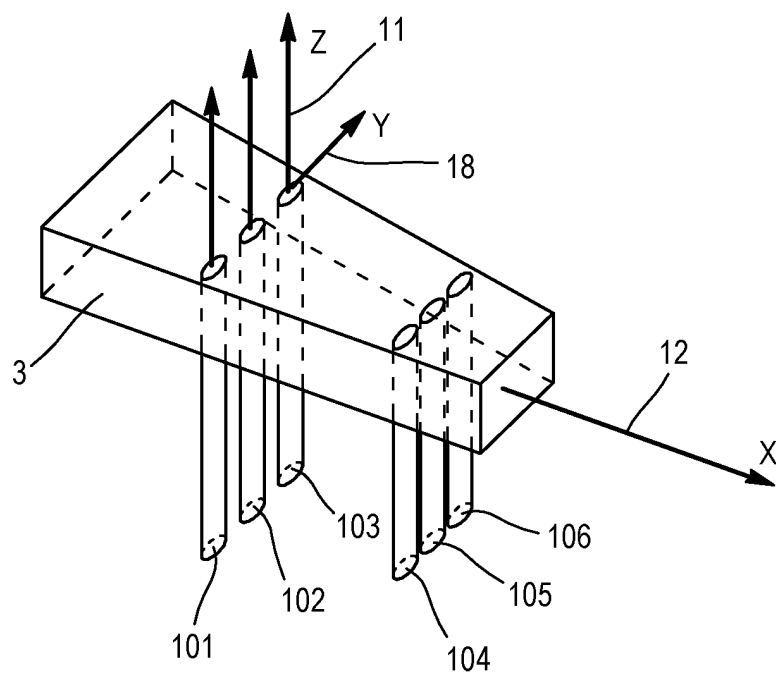


FIG. 6

4 / 4

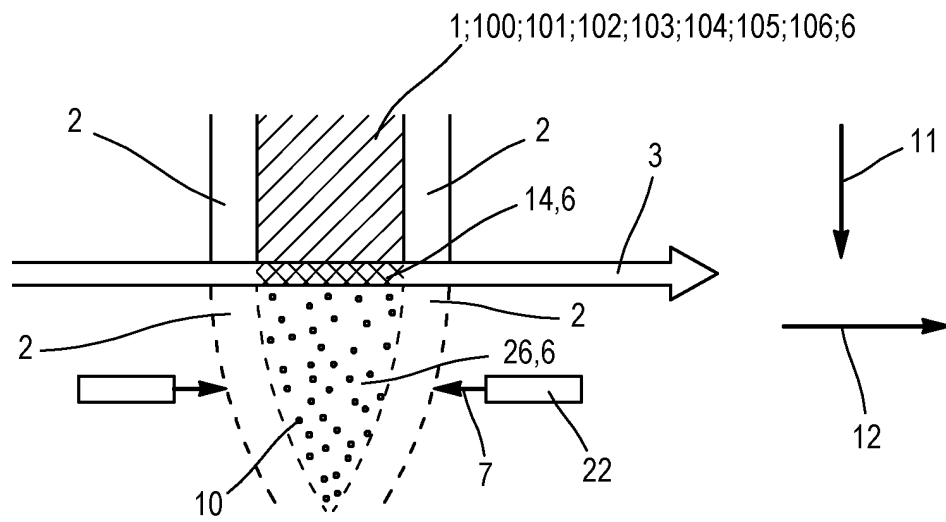


FIG. 7

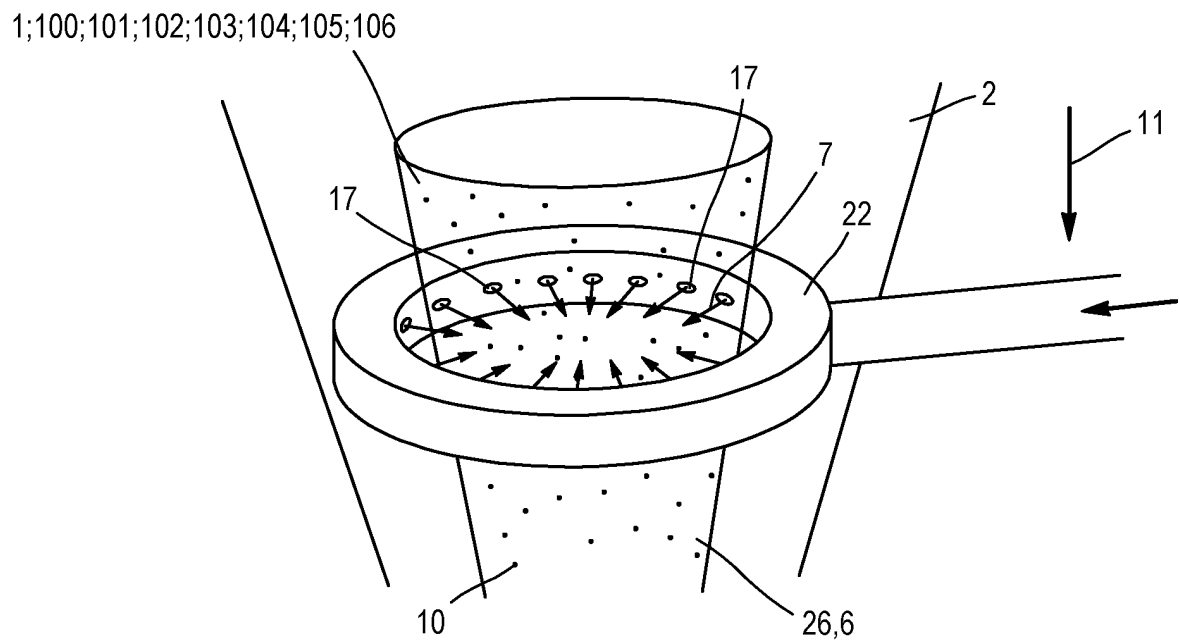


FIG. 8

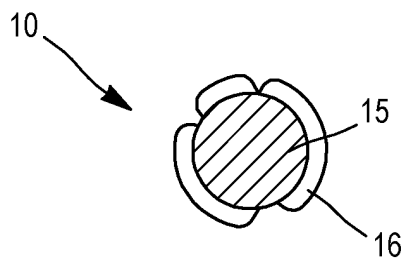


FIG. 9

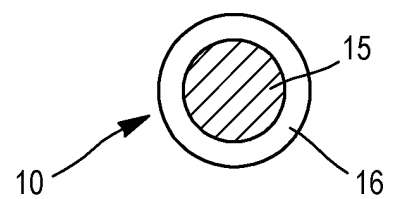


FIG. 10

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

US 2009/026421 A1 (LI XUEGENG [US] ET AL) 29 janvier 2009 (2009-01-29)

HUISKEN F ET AL: "Silicon Carbide Nanoparticles Produced by CO2 Laser Pyrolysis of SiH4/C2H2 Gas Mixtures in a Flow Reactor", JOURNAL OF NANOPARTICLE RESEARCH, KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, DORDRECHT, NL , vol. 1 1 janvier 1999 (1999-01-01), pages 293-303, XP002528435, ISSN: 1388-0764, DOI: 10.1023/A:1010081206959 Extrait de l'Internet: URL: http://www.springerlink.com/content/v8_598045011t4gv8/ [extrait le 2009-05-18]

US 2004/229447 A1 (SWIHART MARK T [US] ET AL) 18 novembre 2004 (2004-11-18)

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

NEANT

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT