

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 801 850**

51 Int. Cl.:

C23C 16/27 (2006.01)

C23C 16/511 (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.12.2017 PCT/FR2017/053482**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.06.2018 WO18104689**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2017 E 17822395 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 3541971**

54 Título: **Reactor modular para la deposición asistida por plasma de microondas**

30 Prioridad:

09.12.2016 FR 1670746

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

14.01.2021

73 Titular/es:

**DIAM CONCEPT (100.0%)
55 Avenue Marceau
75016 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**GICQUEL, ALIX y
DES PORTES, FRANÇOIS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 801 850 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Reactor modular para la deposición asistida por plasma de microondas

La invención concierne al campo de la síntesis de diamante mediante deposición asistida por plasma de microondas. La invención recae sobre un reactor modular para la deposición asistida por plasma de microondas que incluye al menos tres elementos de modulación que permiten una adaptación, al objeto de optimizar las configuraciones del reactor, a los diferentes objetivos de los crecimientos realizados y a las necesidades de mantenimiento de tales reactores. Asimismo, la invención recae sobre un procedimiento de síntesis de diamante mediante tal reactor.

Técnica anterior

Merced a sus propiedades mecánica, óptica, térmica, electrónica y química, el diamante sintético es cada vez más utilizado en la industria.

De este modo, lo hallamos como constituyente esencial de abundantes productos tales como las ventanas ópticas, las herramientas de corte, los detectores de radiación, electrodos, pero asimismo en electrónica, como drenaje térmico, y es muy prometedor para aplicaciones en electrónica de potencia.

Actualmente existe una tendencia al aumento del tamaño de los reactores de deposición asistida por plasma de microondas, al objeto de aumentar la dimensión de las capas policristalinas producidas, o bien el número de monocristales de diamante que pueden producirse en una experimentación, y ello especialmente con el fin de realizar economías de escala.

Un experto en la materia conoce la influencia y la interdependencia de numerosas variables para adecuar las condiciones de crecimiento a los objetivos perseguidos. Durante las fases de deposición y de crecimiento de las capas de diamante, para un experto en la materia, es sabido que variables y parámetros tales como la presión, la potencia, la temperatura del o de los sustratos, la concentración y la composición de los gases inyectados, su distribución en el seno del reactor, la propagación electromagnética, la posición y la dimensión del o de los sustratos, su distancia respecto al plasma producen efectos sobre el crecimiento de capas de diamante.

Igualmente, para un experto en la materia, es sabido que las características físicas del reactor, su diseño, la forma de su o sus cavidades y los materiales que lo constituyen, la ubicación, el diseño y el dimensionamiento de los sistemas de inyección de las microondas y de los gases o de los sistemas de refrigeración influyen, como tales, en las características de las capas de diamante, pero asimismo en los parámetros citados con anterioridad (Kobashi et al. Diamond and Related Materials 12, 2003, 233-240; Ando Y et al. Diamond and Related Materials, 11, 2002, 596-600; Mesbahi et al. Journal of Applied Physics 2013, vol. 46, n.º 38, 2013). De este modo, numerosos artículos mencionan la complejidad de los procedimientos de deposición de diamante en el seno de los reactores de plasma, debido a la multiplicidad de los parámetros que han de tenerse en cuenta y la necesidad de recurrir a modelos de simulación que simplifiquen los datos y reduzcan las variables (Gicquel et al. Diamond and Related Materials, 1994, vol. 3, Issue 4-6, 581; Gicquel et al. Current Applied Physics, vol. 1 Issue 6, 479, 2001; Hassouni et al. Journal of Applied Physics, vol. 86 Issue 1, páginas: 134- 1999; Hassouni et al. Journal of Physics D Journal of Applied Physics, vol. 43 Issue: 15, 2010; Goodwin et al. J. Appl. Phys. 74(11) 1993; Kobashi et al. 2003 Diamond and Related Materials, 12, 233-240; Mankelevich et al., Journal Of Applied Physics, 104, 2008).

Por lo tanto, los factores que contribuyen a las deposiciones y al crecimiento de capas de diamante, debido a su número y a su complejidad, todavía a día de hoy, únicamente los domina parcialmente un experto en la materia, quien se ve obligado a recurrir a modelos simplificadores, aunque puedan ser evolutivos, para, a la vez, conceptualizar y construir los reactores y dirigir las operaciones.

Este recurso a la modelización se justifica asimismo por el hecho de que los reactores son dispositivos muy costosos en cuanto a capital, pero presenta el gran inconveniente de limitar el desarrollo experimental: las constantes o variables inicialmente elegidas definen y/o circunscriben el resultado, ya sea en cuanto a diseño final como a juegos de parámetros.

De este modo, aun siendo consciente de la necesidad de hacer variar ciertos parámetros, un experto en la materia tiende a limitarlos, dando preferencia a constantes y/o a elementos fijos. La puesta en práctica de dispositivos que permiten una modulación de un gran número de elementos, ya estén relacionados con las características físicas de los reactores o con los parámetros, se evidencia, a día de hoy, limitada y contraria a la tendencia de los desarrollos logrados.

En materia de modulación de los elementos físicos, el experto en la materia ha desarrollado portasustratos móviles y/o intercambiables, pues está establecido que la distancia entre la superficie de crecimiento y el plasma influye sobre las características de la deposición de diamante. De este modo, la solicitud de patente US2014220261 hace referencia a un reactor "bell jar" que comprende solamente dos elementos móviles, y deslizantes, entre ellos el portasustrato, con el fin de poder modular durante las operaciones los modos de microondas, las intensidades de descargas, las densidades de potencia y, por consiguiente, la forma y el tamaño del plasma. Igualmente, la solicitud de patente US2009239078 propone un dispositivo dentro de un reactor "bell jar" que permite intercambiar los portasustratos para

adaptar las condiciones de deposición. Igualmente, Gicquel et al. utiliza un portasustrato móvil para modificar la posición del sustrato dentro del reactor (A. Gicquel, M. Chennevier, M. Lefebvre, Chap. 19, pp. 739-796, Handbook of industrial diamond and diamond films, Marcel Dekker, 1998).

5 Al comienzo de las fases de crecimiento y/o en curso de crecimiento, las variables experimentales tales como presión, potencia, caudales de gases, concentraciones o composiciones u otras se adecuan con frecuencia unas respecto a las otras (reducción o incremento de los caudales, etc.).

10 No obstante, la modularidad ideada como un dispositivo estructurante en el diseño de un reactor y como una organización favorecedora de la interacción y la combinatoria de los dispositivos físicos y de las variables experimentales parece quedar descartada por el experto en la materia, dando preferencia a la búsqueda de un reactor "optimizado", simplificado para una utilización particular, con tan pocas piezas y elementos graduables y modulables como se pueda.

15 De este modo, en la solicitud de patente US2014220261 antes citada que hace referencia a piezas móviles, los inventores han optado por proponer "kits" de piezas con diámetros o características diferentes que permiten componer diferentes reactores a partir de diferentes elementos base, y no modular los elementos base en el transcurso del crecimiento.

20 Igualmente, en la patente US8859058, en la descripción de la invención, los inventores hacen referencia a su intención de "simplificar el reactor" reduciendo el número de componentes amovibles o móviles. La solicitud de patente GB 2486783 A concierne a un reactor de plasma de microondas para la fabricación de diamante sintético mediante deposición química en fase de vapor, comprendiendo el reactor de plasma de microondas: una cámara de plasma; un soporte de sustrato ubicado en la cámara de plasma y que comprende una superficie portadora destinada a soportar un sustrato sobre el cual en servicio se va a depositar el diamante sintético; una configuración de acoplamiento de microondas destinada a hacer llegar dentro de la cámara de plasma unas microondas provenientes de un generador de microondas; y un sistema de circulación de gases destinado a hacer llegar gases de tratamiento dentro de la cámara de plasma y a extraerlos de ella. El reactor de plasma de microondas comprende además un anillo eléctricamente conductor de estabilización del plasma, ubicado alrededor del soporte de sustrato dentro de la cámara de plasma.

25 De este modo, existe una necesidad de nuevos reactores capaces de dar respuesta a los problemas originados por los reactores comerciales actualmente disponibles.

Problema técnico

30 La invención tiene por finalidad subsanar los inconvenientes de la técnica anterior. En particular, la invención tiene por finalidad proponer un reactor modular de deposición por plasma asistido por microondas que, a diferencia de los reactores de la técnica anterior, es altamente modular.

35 De manera contra-intuitiva y en desfase con las tendencias aplicadas por un experto en la materia, así como con sus propios trabajos realizados anteriormente, los inventores han advertido, antes bien, que un reactor altamente modular, pero diseñado como un conjunto homogéneo, a la vez simplificaba la fabricación de capas de diamante para una pluralidad de aplicaciones y hacía más sencillos los desarrollos y el dominio progresivo de las fases de crecimiento de diamantes. Estas características efectivamente permiten, alternativamente o concurrentemente, acortar las etapas, los riesgos de errores, el mantenimiento, la duración y los costes en caso de adecuación o modificaciones de las configuraciones, al propio tiempo que aumentan las posibilidades de variación de variables y, así, el carácter evolutivo tanto de los reactores como de los procedimientos, al no reducir el diseño y los procedimientos de deposición a las hipótesis y análisis previos realizados en las fases de modelización. Finalmente, han destacado que la combinatoria y la modulación concomitante, en el transcurso del crecimiento, de varios dispositivos físicos y variables experimentales (como la modulación concomitante de la distribución de los caudales de gases y de sus composiciones, de las condiciones de presión/potencia, combinada con un movimiento del portasustrato, con la modificación del tamaño y de la forma de la cavidad resonante, y con la eficacia del puente térmico que asegura la refrigeración del sustrato) demostraban ser eficaces para alcanzar los objetivos perseguidos.

Esta modularidad resulta con más razón ser pertinente para dar respuesta al desarrollo de la industria de síntesis del diamante, en particular del de los monocristales de diamante de acusado espesor y en la configuración de un incremento del tamaño de los reactores y, en esta línea, se manifiesta particularmente adaptada a reactores que funcionan a frecuencias inferiores a 1000 MHz.

50 El reactor modular presenta la ventaja de poder adecuar la cavidad sin tener que acudir a un nuevo diseño completo de la cavidad, cuando no del reactor. La invención permite, además, perfeccionar los medios de cálculos de cavidad y de plasma puestos en práctica.

55 La modularidad de este reactor da la posibilidad, a partir de un mismo reactor, de modificar con facilidad la forma de la cavidad, el volumen de la cavidad, la distribución de los gases, la posición del sustrato, su potencial eléctrico con respecto al de la cavidad y la refrigeración del sustrato, al objeto de adaptar el reactor a las condiciones de crecimiento de las capas de diamante que interesen (forma, microestructura, número, dimensión). Por lo tanto, esta modularidad permite optimizar las reacciones de síntesis a las diferentes condiciones de crecimiento, y puede ser particularmente

5 útil en el ámbito de la búsqueda de las condiciones de crecimiento óptimas para aplicaciones particulares. En efecto, no todos los crecimientos precisan de las mismas condiciones y configuraciones en función, por ejemplo, de las dimensiones superficiales y en espesor de la capa de diamante que haya de sintetizarse, de su forma, de la pureza esperada, de las características cristalinas que interesen, de la impurificación o también de la velocidad de crecimiento buscada. Esta modularidad de las propiedades físicas presenta la doble ventaja de permitir la creación de un solo equipo para dar respuesta a las necesidades de varias configuraciones, pero también, en el seno de una misma configuración inicial, de hacerla variar durante las fases de funcionamiento, con el fin de optimizar el resultado esperado.

10 Adicionalmente, este reactor modular tiene la ventaja de permitir un desplazamiento vertical del portasustrato y, por tanto, del sustrato dentro del plasma y en el límite de plasma, e incluso fuera del plasma en el transcurso del proceso de deposición. Esto conduce a un muy gran dominio de las condiciones locales de crecimiento en la superficie del diamante en crecimiento. Además, en cuestión de economía, en una industria en desarrollo, este reactor modular permite, asimismo, hacer variar con un menor coste las diferentes condiciones de crecimiento, sin tener que invertir en nuevos prototipos y, por tanto, aventajar a la vez en velocidad y en reducción de los costes experimentales. Este nuevo reactor modular permite, asimismo, asegurar una refrigeración eficaz de sus diferentes elementos, asegurar un abastecimiento de los gases sectorizado y permitir una observación continua del desarrollo de los crecimientos.

15 Tiene además por finalidad la invención proponer un procedimiento de crecimiento que saque provecho de las propiedades modulares de este nuevo reactor modular.

Asimismo, se proponen conjuntos modulares con posibilidad de constituir el reactor modular.

20 **Breve descripción de la invención**

A tal efecto, la invención recae sobre un reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis, tal como se define por la reivindicación 1, comprendiendo dicho reactor:

- un generador de microondas configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 3000 MHz, preferentemente comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz o entre 300 MHz y 500 MHz,
- 25 - una cavidad resonante determinada, al menos en parte, por las paredes internas cilíndricas de un recinto del reactor,
- un sistema de llegada de los gases apto para aportar gases en el seno de la cavidad resonante,
- un módulo de salida de los gases apto para retirar dichos gases de la cavidad resonante,
- 30 - un módulo de acoplamiento de las ondas apto para transferir las microondas desde el generador de microondas hasta la cavidad resonante, preferentemente en un principio en un modo TM₀₁₁, al objeto de permitir la formación de un plasma, y
- un soporte de crecimiento presente dentro de la cavidad resonante,

comprendiendo dicho reactor modular al menos tres elementos de modulación, estando dichos elementos de modulación seleccionados de entre:

- 35 - una corona apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto y una segunda parte de recinto, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante, y un sistema de juntas que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona y, respectivamente, la primera parte de recinto y la segunda parte del recinto;
- 40 - un módulo de portasustrato y un cuarto de onda, estando dicho módulo de portasustrato dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, estando en contacto con el cuarto de onda e incluyendo al menos un sistema de refrigeración fluida;
- una bandeja que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante, incluye aberturas pasantes que permiten el paso de los gases;
- un módulo de distribución de los gases, que incluye:
 - 45 ○ una placa de distribución de los gases amovible que comprende una superficie interna, una superficie externa y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases determinantes de canales entre dichas superficies aptos para conducir una corriente de gases, y
 - un dispositivo de soporte unido a un sistema de refrigeración y apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible; y
- 50 - un módulo de control de la refrigeración del sustrato, que incluye un dispositivo de inyección de gases de

resistencia térmica amovible, comprendiendo dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible una o varias entradas de gases de resistencia térmica y una o varias salidas de gases de resistencia térmica.

5 Este reactor modular se puede optimizar para un amplio margen de condiciones de crecimiento. En efecto, un solo reactor puede presentar entonces unas especificaciones optimizadas para varias aplicaciones o mejorar incluso, para una misma aplicación, las condiciones en el transcurso del crecimiento, y todo ello sin tener que ser modificado en su estructura. Estos elementos de modulación, combinados, permiten modificar las características del plasma y, por tanto, de las condiciones de crecimiento, al objeto de adaptar el plasma al crecimiento que interese.

De acuerdo con otras características opcionales del reactor:

- 10 - el reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende al menos cuatro elementos de modulación seleccionados de entre los elementos de modulación antes relacionados. Esto permite aumentar aún más la modularidad del reactor según la invención.
- 15 - El reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende una bandeja que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante, incluye aberturas pasantes que permiten el paso de los gases. Esto presenta para el usuario la ventaja de poder modificar rápidamente las dimensiones de la cavidad resonante. Ahora bien, la modificación de las dimensiones y de la forma de la cavidad resonante va a llevar consigo una modificación de la forma del plasma y a modificar así las condiciones locales de crecimiento de la película de diamante. La bandeja según la invención presenta la ventaja de poder ser desplazada antes de un crecimiento, pero también en el transcurso de un crecimiento. Esto da al usuario la posibilidad de modificar la forma, las características y la posición del plasma con el fin de que estén adaptadas a la posición de la superficie en crecimiento del sustrato y a la etapa de síntesis.
- 20 - La bandeja incluye al menos un canal de refrigeración unido a un sistema de refrigeración y apto para refrigerar dicha bandeja. Esto permite limitar o evitar su deformación, ya que, en su funcionamiento, puede verse sometida a temperaturas muy acusadas.
- 25 - El reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende un módulo de portasustrato, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda y eventualmente un aislante eléctrico y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida. Este portasustrato permite limitar la propagación de las microondas fuera de la cavidad resonante, al propio tiempo que mejora la homogeneidad del crecimiento en toda la superficie de crecimiento y dando la posibilidad de hacer variar, durante una experimentación, la posición del sustrato respecto al plasma. También permite, eventualmente, volver el soporte de crecimiento aislado eléctricamente del resto del recinto. Esto es posible aislando eléctricamente el módulo de portasustrato, del recinto y/o de la bandeja móvil. De este modo, de manera preferida, el módulo de portasustrato está aislado eléctricamente del recinto y/o de la bandeja.
- 30 - El portasustrato presenta una relación de volumen comprendida entre el 5 % y el 30 % respecto al volumen de la cavidad resonante, y preferentemente entre el 7 y el 13 %.
- 35 - El reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende al menos una corona apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto y una segunda parte de recinto, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante, y un sistema de juntas que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona y, respectivamente, la primera parte de recinto y la segunda parte del recinto. Esta corona permite hacer variar la geometría de la cavidad resonante, por ejemplo, aumentando la distancia entre la ventana dieléctrica de inyección de las ondas y el soporte de sustrato. Así, este elemento modular permite optimizar las distribuciones radiales de la temperatura del gas y de la densidad de H atómico en el plasma y, por consecuencia, en la interfase plasma/superficie. Ventajosamente, el reactor modular incluye dos coronas. Las coronas pueden presentar una altura comprendida entre 1 cm y 20 cm.
- 40 - La o las coronas incluyen un material dieléctrico, un sistema de inyección de gases o están constituidas a partir de metal con un diámetro interno inferior al diámetro interno de la cavidad resonante.
- 45 - El reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende un módulo de distribución de los gases que incluye:
 - 50 o una placa de distribución de los gases amovible que comprende una superficie interna, una superficie externa y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases determinantes de canales entre dichas superficies aptos para conducir una corriente de gases, y
- 55

- o un dispositivo de soporte unido a un sistema de refrigeración y apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible.

Este módulo de distribución de los gases presenta la ventaja de proporcionar unas buenas características de flujo de gases. Este módulo, en este contexto, es particularmente útil en el ámbito de la modulación de las condiciones de crecimiento ya que, dado que es amovible, se puede adaptar en función de la posición del o de los sustratos, del número de sustratos y de la duración prevista de la reacción. Adicionalmente, las boquillas de distribución de gases convencionales presentan el inconveniente de poderse ensuciar. La existencia de tal módulo de distribución hace posible la sustitución rápida y con un menor coste de la placa de distribución de los gases amovible, sin tener que sustituir todo un conjunto de piezas unidas a tal módulo.

- 10 - El dispositivo de soporte comprende canales aptos para hacer circular un fluido por dicho dispositivo de soporte para permitir establecer un puente térmico que hace posible una refrigeración de la placa de distribución de los gases amovible.
- La placa de distribución de los gases amovible incluye al menos una parte extrema que no comprende boquillas de distribución y que es apta para estar en contacto con el dispositivo de soporte en una superficie preferentemente superior al 10 % de la superficie inferior de la placa de distribución de los gases amovible, al objeto de mejorar la transferencia térmica. Esto permite mejorar el control de la temperatura del soporte de distribución y, por tanto, de su geometría.
- 15 - El módulo de distribución de gases incluye un órgano de drenaje térmico posicionado por encima de la placa de distribución de los gases amovible y del dispositivo de soporte, presentando dicho drenaje térmico, por ejemplo, una superficie de adquisición del calor en contacto con la placa de distribución de los gases amovible superior al 30 % de la superficie superior de la placa de distribución de los gases amovible y una superficie de distribución del calor en contacto con el dispositivo de soporte superior al 20 % de la superficie superior de la placa de distribución de los gases amovible. Esto permite mejorar el control de la temperatura del sistema de distribución de los gases.
- 20 - El reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis según la invención comprende un módulo de control de la refrigeración del sustrato, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica y una o varias salidas de gases de resistencia térmica. Este dispositivo permite introducir mezclas de gases diferentes, hacer variar los caudales y/o hacer variar el espesor de la corriente gaseosa. Esto permite poder controlar finamente la refrigeración en correspondencia con la superficie de crecimiento. Se puede sustituir con facilidad entre dos crecimientos y adaptarse al crecimiento esperado, por lo que es particularmente útil en el ámbito de la modulación de las condiciones de crecimiento. La ventaja de este módulo está, asimismo, en que es posible sustituir esta pieza sin tener que sustituir todo un conjunto de piezas unidas a tal módulo de refrigeración. Este módulo de control de la refrigeración del sustrato permite, asimismo, modular la temperatura de la superficie de crecimiento en el transcurso del crecimiento. Finalmente, la ventaja de la utilización de un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible está en que es posible hacer variar con facilidad varias variables tales como las dimensiones de las salidas o la densidad de las salidas.
- 25 - El módulo de control de la refrigeración del sustrato comprende medios de posicionamiento y el soporte de crecimiento incluye, en su superficie inferior, unos vaciados aptos para albergar los medios de posicionamiento.
- 30 - El módulo de control de la refrigeración del sustrato comprende medios de posicionamiento dotados de movimiento de traslación vertical.
- 35 - El medio de acoplamiento de las ondas está situado en la parte superior de la primera parte del recinto y al menos a 25 cm de la parte baja de la segunda parte de recinto, preferentemente a al menos 35 cm de la base de la segunda parte de recinto.

La invención recae además sobre un procedimiento de síntesis de diamante, tal como se define por la reivindicación 18, que lleva a la práctica un reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis, comprendiendo dicho procedimiento una etapa de:

- 50 - colocar el o los sustratos sobre el soporte de crecimiento del reactor modular según la invención,
- poner en funcionamiento el reactor modular, comprendiendo dicha puesta en funcionamiento las siguientes etapas:
 - o generar una presión comprendida entre 0,2 hPa y 500 hPa en el seno de la cavidad resonante,
 - 55 o inyectar microondas en modo de transmisión TM₀₁₁ y a una potencia comprendida, por ejemplo,

entre 1 kW y 100 kW,

- o inyectar gases, por ejemplo, a un caudal total de al menos 500 cm³ por minuto, y
- o poner en funcionamiento unos sistemas de refrigeración del recinto, del sistema de inyección de los gases y del portasustrato, así como un sistema de control de refrigeración del sustrato, para controlar la temperatura de la o de las superficies de crecimiento, y

5

- realizar un crecimiento de la película de diamante.

En el caso de un crecimiento de película policristalina, el procedimiento puede comprender una etapa de coalescencia de los cristales antes de la etapa de engrosamiento de la película de diamante.

10

Otras ventajas y características de la invención se irán poniendo de manifiesto con la lectura de la siguiente descripción dada a título de ejemplo ilustrativo y no limitativo, con referencia a las figuras que se acompañan:

la figura 1 representa la vista esquemática en sección de un ejemplo de reactor según el estado de la técnica.

La figura 2 representa la vista esquemática en sección de un reactor modular según la invención que incluye una bandeja móvil, un módulo de portasustrato y una corona.

15

Las figuras 3A, 3B y 3C representan las vistas esquemáticas en sección de un cuarto de onda puesto en práctica con un sistema de aislamiento eléctrico entre el portasustrato y la bandeja según tres formas de realización en un reactor modular según la invención.

La figura 4 representa la vista esquemática en sección de un reactor modular según la invención que incluye una corona y un módulo de portasustrato, el cual lleva integrado un sistema de control de la refrigeración por gases de resistencia térmica.

20

Las figuras 5A y 5B representan la vista esquemática según una sección longitudinal de dos formas de realización del módulo de control de la refrigeración del sustrato.

Las figuras 6A y 6B representan una vista esquemática desde arriba de dos módulos de control de la refrigeración del sustrato.

25

La figura 7 representa la vista esquemática en sección de un reactor modular según la invención que incluye una corona de espesor constante en la parte alta de la cavidad resonante que integra un material dieléctrico y una corona que presenta una protuberancia en la parte baja de la cavidad resonante.

La figura 8 representa la vista esquemática en sección de un reactor modular según la invención que incluye un módulo de portasustrato y un módulo de distribución de los gases.

30

La figura 9 representa la vista esquemática en sección de un dispositivo de soporte de la placa de distribución de los gases amovible comprendiendo canales aptos para hacer circular un gas o un líquido por dicho dispositivo de soporte, para refrigerar la placa de distribución.

35

Las figuras 10A y 10B representan la vista esquemática desde arriba de un ensamblaje de una placa de distribución de los gases amovible y de un dispositivo de soporte, figura 10A: contando la placa de distribución de los gases amovible con una amplia banda de contacto con el dispositivo de soporte por toda su circunferencia y desprovista de boquillas de distribución, o figura 10B: zonas puntuales desprovistas de boquillas.

La figura 11 representa la vista esquemática desde arriba de un ensamblaje de una placa de distribución de los gases amovible y de un dispositivo de soporte, comprendiendo además un órgano de drenaje térmico.

La figura 12 representa la vista esquemática de un procedimiento de síntesis de diamante por deposición asistida por plasma de microondas según la invención. Las etapas con recuadro en línea discontinua son facultativas.

40

Descripción de la invención

45

Más adelante en la descripción, por “sensiblemente idéntico” o “sensiblemente igual”, se entiende un valor que varía en menos del 30 % respecto al valor comparado, preferentemente en menos del 20 %, aún más preferentemente en menos del 10 %. Cuando sensiblemente idéntico es utilizado para comparar formas, entonces la forma vectorizada, es decir, la forma sin consideración a sus dimensiones varía en menos del 30 % respecto a la forma vectorizada comparada, preferentemente en menos del 20 %, aún más preferentemente en menos del 10 %.

50

El término “amovible”, a efectos de la invención, corresponde a la capacidad para desprenderse, quitarse o desmontarse con facilidad sin tener que destruir unos medios de fijación, ya sea porque no hay medios de fijación, o bien porque los medios de fijación son desmontables con facilidad y rapidez (p. ej., rebaje, tornillo, lengüeta, tetón, clips). Por ejemplo, por amovible, hay que comprender que el objeto no está fijado por soldadura o por otro medio no previsto para permitir desprender el objeto.

El término “crecimiento”, a efectos de la invención, corresponde a la etapa o a las etapas de deposición de carbono en forma sp³ de diamante cristalino (policristalino o monocristalino) que contribuyen a la producción de una capa de diamante policristalino, de un monocristal de diamante o también de diamante nanocristalino o ultra-nanocristalino.

5 El término “diamante”, a efectos de la invención, corresponde a una o varias capas de diamante policristalino o monocristalino más o menos espeso, resultante de la deposición de carbono en forma sp³ de diamante cristalino (policristalino o monocristalino). Adviértase que el “reactor” de la invención también puede ser utilizado para el crecimiento de diamante nanocristalino o ultra-nanocristalino, por intermedio de una adaptación de las condiciones de crecimiento (temperatura de la superficie en crecimiento, composición del gas, condiciones de presión y de potencia...).

10 La expresión “película de diamante” o “capa de diamante”, a efectos de la invención, corresponde a una capa (o una película) de diamante policristalino, nanocristalino o ultra-nanocristalino formada previa nucleación sobre una superficie de material no diamante (metal, silicio, carburo de silicio, otros), pero también una superficie de diamante monocristalino o policristalino. Corresponde, asimismo, a la obtención de diamante monocristalino por engrosamiento en altura y/o en anchura de un monocristal de diamante matriz (o sustrato) proveniente de un monocristal de diamante natural o producido mediante procedimiento de alta presión - alta temperatura (HPHT) o producido mediante CVD (chemical vapor deposition, deposición química en fase de vapor, asistida por plasma o por filamento caliente, otro).

15 El término “plasma”, a efectos de la invención, corresponde a la producción, a partir de una descarga eléctrica en un gas compuesto de una mezcla, de un medio globalmente neutro eléctricamente, pero que contiene iones y electrones, así como fragmentos de las especies gaseosas disociadas, así como moléculas estables.

20 El término “sustrato”, a efectos de la invención, corresponde a los elementos sobre los cuales crecen las capas o películas de diamante. Se trata, para las películas policristalinas nanocristalina o ultra-nanocristalina, de materiales no diamante (metal, silicio, carburo de silicio, otros) o diamante en el caso de crecimiento multicapa (multi-impurificación o multipropiedad o multicolor, etc.) y, para las películas monocristalinas de monocristales de diamante natural o producidas mediante procedimiento de alta presión - alta temperatura (HPHT) o también producidas mediante procesos CVD (chemical vapor deposition, deposición química en fase de vapor, asistida por plasma o por filamento caliente, otro).

25 La expresión “gases de resistencia térmica”, a efectos de la invención, corresponde a una mezcla gaseosa compuesta de gases puros que, teniendo conductividades térmicas muy diferentes, permiten, al cambiar la composición, cambiar la conductividad térmica de la mezcla.

30 El término “recinto”, a efectos de la invención, corresponde a una cámara de vacío de metal, preferentemente de aluminio, destinada a recibir una mezcla de gases que, excitada mediante una descarga eléctrica, forma un plasma, pudiendo descansar uno o unos sustratos que han de tratarse mediante el plasma y un soporte de crecimiento sobre un portasustrato (calefactor o refrigerado, eventualmente polarizado). Un sistema de bombeo se encarga de la calidad de vacío antes de la introducción de los gases. Las dimensiones del recinto se pueden adaptar al generador de microondas utilizado, al acoplador y al gas en el que se efectúa la deposición de energía.

35 La expresión “cavidad resonante”, a efectos de la invención, corresponde a una subparte del volumen determinado por el recinto, incluyendo esta subparte, en especial, el lugar de formación del plasma y la ubicación del o de los sustratos. En la cavidad resonante es donde se realiza el crecimiento. La cavidad resonante depende de un conjunto compuesto por un generador de microondas, por el aplicador y por el sistema de sintonización de impedancia, por la fuente de gases donde se efectúa la deposición de energía de microondas en el seno del recinto. La cavidad resonante está constituida a partir de una parte del recinto y de los elementos tales como el soporte de crecimiento, el portasustrato y la bandeja móvil.

40 La expresión “superficie de crecimiento”, a efectos de la invención, corresponde a la superficie situada dentro de la cavidad resonante y destinada al crecimiento de diamante monocristalino o de superficies no diamante (crecimiento de diamante policristalino).

45 La expresión “soporte de crecimiento”, a efectos de la invención, corresponde a un elemento, preferentemente metálico, por ejemplo, de molibdeno, destinado a recibir el o los sustratos. Este soporte de crecimiento puede descansar sobre un portasustrato, por ejemplo, con interposición del dispositivo de inyección de los gases de resistencia térmica.

50 La expresión “portasustrato”, a efectos de la invención, corresponde a un dispositivo preferentemente cilíndrico con posibilidad de ser refrigerado por un fluido caloportador tal como aceite de silicona o agua, con carga o no de aditivos, de ser asociado a elementos que permiten la adecuación de la refrigeración del o de los sustratos y/o a elementos que permiten aplicar una tensión o aislarlo eléctricamente de la cavidad resonante.

55 Por “modular”, hay que entender, a efectos de la invención, un sistema constituido a partir de un conjunto de módulos, pudiendo dichos módulos añadirse o separarse del sistema de manera independiente. Siendo el módulo una subparte del sistema constitutiva de una unidad a la vez estructural y funcional. Los módulos pueden ser autónomos o interconectados. En este caso, la eventual interconexión entre los módulos y el sistema o entre los módulos es amovible en el sentido antes mencionado. Las posibilidades del sistema pueden crecer o modificarse mediante la

añadida de estos módulos.

Más adelante en la descripción, se utilizan las mismas referencias para designar los mismos elementos.

La figura 1 esquematiza una vista en sección de un reactor de deposición asistida por plasma de microondas para el crecimiento de diamante tal y como es posible encontrarlos en la bibliografía.

- 5 Un reactor de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis comprende generalmente:
- un generador de microondas 70 configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 3000 MHz,
 - 10 - una cavidad resonante 41, preferentemente cilíndrica y refrigerada, determinada, al menos en parte, por las paredes internas cilíndricas 420 de un recinto 400 del reactor modular 1,
 - un sistema de llegada de los gases 10 apto para aportar gases en el seno de la cavidad resonante 41,
 - un módulo de salida de los gases 60 apto para retirar dichos gases de la cavidad resonante 41,
 - un módulo de acoplamiento de las ondas 80 apto para transferir las microondas desde el generador de microondas hasta la cavidad resonante 41, al objeto de permitir la formación de un plasma, y
 - 15 - un soporte de crecimiento 51 presente dentro de la cavidad resonante 41.

Los reactores de deposición asistida por microondas permiten la resonancia de una onda estacionaria creada en el seno de la cavidad resonante 41. Esta resonancia es posible merced a una selección precisa de las dimensiones de la cavidad resonante 41, y permite la creación de ondas estacionarias del campo eléctrico. Estos reactores están configurados para permitir un campo eléctrico máximo en el seno de la cavidad resonante 41, preferentemente ligeramente por encima del soporte de crecimiento 51. La excitación por campo electromagnético de microondas permite, al contrario que la excitación por radiofrecuencia, limitar muy acusadamente la acción de los iones sobre las superficies, en particular sobre las superficies de crecimiento. En efecto, la frecuencia de los electrones y de los iones es menor que la de la onda excitadora, y los iones y los electrones no pueden seguir la variación temporal del campo electromagnético. La energía media de los electrones es, en su conjunto, menor que la obtenida con una excitación por radiofrecuencia.

De este modo, queda reconocido en la bibliografía que las dimensiones de la cavidad y la composición de la mezcla de gases y las condiciones de funcionamiento de un reactor son criterios esenciales para una óptima resonancia y, por tanto, para un óptimo crecimiento del diamante. En la línea de esta enseñanza, los reactores, de ser posible, se conceptualizan y luego se evalúan sus prestaciones por intermedio de equipos lógicos de modelización que permiten predecir el comportamiento del plasma. Una vez determinadas las dimensiones y la composición del gas plasmágeno, se construye el reactor y sus dimensiones ya no evolucionan. Además, se ha demostrado que la presión, la potencia acoplada al plasma y muchas otras variables, tales como la velocidad del flujo, la posición óptima del sustrato en interacción con las dimensiones de un reactor, son aptas para influir en la densidad de hidrógeno y del radical metilo, en el espesor de la capa límite de difusión, en la temperatura de la superficie del sustrato y, por consecuencia, en el crecimiento de las capas de diamante.

Oponiéndose a esta línea de enseñanza, los inventores han ideado un reactor modular para la deposición asistida por plasma de microondas. Han desarrollado un reactor modular de deposición asistida por microondas 1 que comprende varios elementos de modulación con posibilidad de ser sustituidos rápidamente y/o aptos para modificar las características del reactor (p. ej., dimensiones de la cavidad resonante 41), al objeto de adaptar el plasma al crecimiento que interese. De este modo, un solo reactor puede presentar entonces unas especificaciones modulables que permitan optimizar el funcionamiento para varias aplicaciones o mejorar incluso, para una misma aplicación, las condiciones en el transcurso del crecimiento, y todo ello sin tener que ser modificado en su estructura. Por ejemplo, la modularidad que permite desplazar la bandeja 900 y, con ello, modificar la altura del recinto puede conducir a utilizar el funcionamiento multimodo del sistema que permite o no modificar temporalmente las características del plasma y, con ello, de las condiciones de crecimiento. Igualmente, la introducción de elementos perturbadores en la cavidad resonante 41 permite o no modificar temporalmente las características del plasma y, con ello, las condiciones de crecimiento.

El reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende al menos dos elementos de modulación, estando dichos elementos de modulación seleccionados de entre:

- una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y

la segunda parte de recinto 440;

- un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520;
- 5 - una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases;
- un módulo de distribución de los gases 100, que incluye:
 - 10 o una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y
 - o un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110; y
- un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

15 La presencia de estos elementos de modulación en el seno del reactor, en una forma de realización que no forma parte de la invención, permite al usuario modificar con facilidad ciertas características del reactor sin tener que desmontarlo por completo o que acudir al fabricante.

20 De manera preferida, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1 según la invención comprende al menos tres elementos de modulación antes especificados. De manera más preferida, comprende al menos cuatro elementos de modulación antes especificados y, aún más preferentemente, comprende los cinco elementos de modulación antes especificados.

25 Alternativamente, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases, y al menos un, preferentemente al menos dos elementos de modulación seleccionados de entre:

- un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520;
- 30 - una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440;
- un módulo de distribución de los gases 100 que incluye:
 - 35 o una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y
 - o un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110; y
- 40 - un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

45 De manera preferida, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases, y un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520. Estos dos elementos de modulación, de manera preferida, están dotados de movimiento, por ejemplo, de traslación vertical, de manera independiente. Es decir, la bandeja 900 puede ser desplazada sin que ello tenga influencia sobre la posición del módulo de portasustrato 500, y a la inversa.

50 De manera más preferida, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1 según la invención comprende una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases, un módulo de portasustrato

500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520, y un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

Alternativamente, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520, y al menos un, preferentemente al menos dos elementos de modulación seleccionados de entre:

- 10 - una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases;
- una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad tanto desde el punto de vista del vacío como desde el punto de vista eléctrico del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440;
- 15 - un módulo de distribución de los gases 100 que incluye:
 - 20 o una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y
 - o un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110; y
- un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

De manera preferida, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520, y un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

Alternativamente, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440; y al menos un, preferentemente al menos dos elementos modulares seleccionados de entre:

- 40 - una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases;
- un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520;
- un módulo de distribución de los gases 100 que incluye:
 - 45 o una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y
 - o un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110; y
- un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.

Alternativamente, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no

- 5 forma parte de la invención, comprende un módulo de distribución de los gases 100, que incluye una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110, y al menos un, preferentemente al menos dos elementos de modulación seleccionados de entre:
- una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases;
 - un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520;
 - una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440;
 - un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331.
- 20 Alternativamente, el reactor de deposición asistida por plasma de microondas 1, en una forma de realización que no forma parte de la invención, comprende un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331, y al menos un, preferentemente al menos dos elementos de modulación seleccionados de entre:
- una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases;
 - un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520;
 - una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41, y un sistema de juntas 460 que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440;
 - un módulo de distribución de los gases 100 que incluye:
 - o una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases, y
 - o un dispositivo de soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110.
- 40 Aparte de estos elementos de modulación propios de la invención y que permiten disponer, rápidamente y con un menor coste, de un reactor con posibilidad de ser optimizado para un amplio margen de condiciones de crecimiento, el reactor según la invención incluye los componentes esenciales para todo reactor de deposición asistida por plasma de microondas.
- 45 El generador de microondas 70 está configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 3000 MHz. Estas microondas son esenciales para la creación de las ondas estacionarias de campo eléctrico en el seno de la cavidad. Preferentemente, el generador de microondas 70 está configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 400 MHz y 2700 MHz. Aún más preferentemente, el generador está configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, al objeto de incrementar el beneficio de la modularidad introducida por el reactor según la invención. En efecto, el reactor 1 según la invención es particularmente ventajoso para los reactores de grandes dimensiones tales como aquellos que operan a frecuencias comprendidas entre 900 MHz y 1000 MHz o entre 300 MHz y 500 MHz. Un reactor modular 1 según la invención, acoplado a tales generadores, permite proponer un juego de opciones de fabricación de productos inéditos hasta el momento y, así, dar respuesta a las necesidades de industrias más variadas.
- 50 Por ejemplo, el generador puede generar microondas cuya frecuencia es sensiblemente igual a 2450 MHz, 915 MHz

o 433 MHz.

Existe un gran número de generadores que pueden ser utilizados en el ámbito del reactor 1 según la invención. El generador utilizado puede ser, por ejemplo, un generador de microondas apto para suministrar una potencia de hasta 6 kW, y ello a una frecuencia sensiblemente igual a 2450 MHz. También puede utilizarse otro generador de microondas apto para suministrar una potencia de hasta 30 kW, 50 kW o incluso 100 kW, y ello a una frecuencia sensiblemente igual a 915 MHz. Asimismo, se puede utilizar otro generador de microondas que funcione a una frecuencia sensiblemente igual a 433 MHz.

La alimentación de microondas a la cavidad, o acoplamiento, se realiza mediante un módulo de acoplamiento de las ondas 80 apto para transferir las microondas desde el generador de microondas 70 hasta la cavidad resonante 41, al objeto de permitir la formación de un plasma. El módulo de acoplamiento permite inyectar, en la cavidad resonante 41, la onda generada por el generador de microondas 70 e incluye, para ello, una guía de ondas, una transición coaxial y un acoplador de microondas para transportar y guiar las ondas electromagnéticas desde el generador de ondas 70 hasta la cavidad resonante 41. Los modos de propagación propuestos mediante la guía de ondas pueden ser de dos tipos:

- el modo transversal magnético (TM_{0mn}), el eje del campo magnético es perpendicular al eje de la cavidad, el campo magnético incidente es perpendicular al plano de incidencia (entonces el campo eléctrico se halla en el plano de incidencia), y
- el modo transversal eléctrico (TE_{0mn}), el eje del campo eléctrico es perpendicular al eje de la cavidad, y el campo eléctrico incidente es perpendicular al plano de incidencia (entonces el campo magnético se halla en el plano de incidencia).

Los subíndices m y n indican el número de máximos de las variaciones sinusoidales del campo eléctrico, respectivamente radialmente y según el eje de la cavidad resonante 41 para el modo transversal TM_{0mn} . Para una descripción de los diferentes modos utilizables, el experto en la materia puede remitirse a Silva et al. (Silva et al. 2009; Microwave engineering of plasma-assisted CVD reactors for diamond deposition. Journal of Physics: Condensed Matter, o a J. Asmussen, Chap. 6 of High density plasma sources, edit O A Popov, Noyés publications, 1995). Los modos TM_{0mn} permiten obtener plasmas axisimétricos. El acoplamiento se realiza preferentemente por medio de una ventana dieléctrica y, preferentemente, el sistema de guía de ondas está refrigerado, por ejemplo, mediante un medio de refrigeración que incluye un líquido. Los acoplamientos posibles y óptimos para los reactores de deposición asistida por plasma de microondas están descritos en la bibliografía (Kudela Terebessy et al. Applied Physics Letter vol. 80, n.º 7, 2002; D G Goodwin J. Appl. Phys. 74-11, 1993; H. Yamada, et al., DRM, 17, 2008; X. Li, et al. Physics procedia 22, 2011; J. Weng et al., DRM 30, 2012; Yutaka Ando et al., DRM, 11, 2002; Takeshi Tachibana et al. Diamond and Related Materials 10 2001).

Preferentemente, el modo de acoplamiento en el reactor 1 (es decir, en la cavidad resonante 41) según la invención está configurado al objeto de ser monomodo en el momento del encendido del plasma, de manera más preferida, en modo transmisión magnética. Aún más preferentemente, el sistema está configurado en un principio para funcionar en modo TM_{011} , es decir, presentando un solo máximo de campo eléctrico sobre el eje del reactor y sobre la componente radial. La ventaja de la utilización del modo TM_{011} dentro del ámbito de la invención es la de poder crear fácilmente un plasma que presenta una forma adaptada para la deposición de diamante. En efecto, con el fin de permitir una considerable deposición de energía en la interfase plasma/superficie, el plasma no puede tener un espesor muy superior al espesor de penetración de la onda.

Preferentemente, el módulo de acoplamiento de las ondas 80 está posicionado por encima de la cavidad resonante 41 e incluye una ventana dieléctrica de inyección de las ondas 82 cuya cara 81 está posicionada paralelamente al soporte de crecimiento 51, y trasladada hacia el exterior con el fin de limitar el efecto de calentamiento de la ventana debido a la convección natural que se desarrolla en el núcleo del plasma, el cual conduciría a su grabado / deterioro y a una posible contaminación de las capas de diamante.

El recinto 400 puede presentar diferentes formas y dimensiones. Preferentemente, el recinto 400 es de forma cilíndrica, pero puede adoptar otras formas. Cuando el reactor 1 según la invención incluye la bandeja 900 como elemento modular que permite cambiar la altura de la cavidad resonante 41. La altura del recinto, según se mide desde la base 441 del recinto 440 hasta la superficie interna 81 de la guía de ondas, puede estar comprendida, por ejemplo, entre 150 mm y 600 mm, preferentemente 200 mm a 500 mm y de manera más preferida, entre 350 mm y 450 mm. Estas últimas dimensiones son preferidas particularmente para un funcionamiento a una frecuencia de microondas dentro del margen de 900 MHz a 1000 MHz. Igualmente, más adelante en la descripción de la presente invención, salvo que se indique otra cosa, las dimensiones estarán particularmente adaptadas a un reactor modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 900 MHz y 1000 MHz. Salvo que se indique otra cosa, las dimensiones preferidas o las condiciones de crecimiento para un reactor modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 300 MHz y 500 MHz se podrán obtener multiplicando las dimensiones adaptadas a un reactor modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 900 MHz y 1000 MHz por un factor comprendido entre 3,4 y 1,8. Salvo que se indique otra cosa, las dimensiones preferidas o las condiciones de crecimiento para un reactor modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 2300 MHz y 2600 MHz se podrán obtener dividiendo las dimensiones adaptadas a un reactor

modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 900 MHz y 1000 MHz por un factor comprendido entre 2,3 y 2,9.

El recinto 400 según la invención está constituido generalmente a partir de metal, preferentemente constituido a partir de aluminio o de una aleación de aluminio. La aleación de aluminio comprende preferentemente al menos el 80 %, de manera más preferida, al menos el 90 %, y aún más preferentemente, al menos el 98 % en peso de aluminio.

- 5 La cavidad resonante 41 está determinada, al menos en parte, por las paredes internas cilíndricas 420 del recinto 400 del reactor 1. La cavidad resonante 41 está determinada, en cuanto a su parte inferior, por la base 441 del recinto 400 o por la superficie 910 de la bandeja 900. De acuerdo con una forma de realización, asimismo comprende el módulo de portasustrato 500, destinado a recibir el soporte de crecimiento y el o los sustratos, si su superficie está en continuidad eléctrica con la bandeja 900, y las paredes del recinto y todo elemento metálico que eventualmente pueda estar confinado dentro de la cavidad resonante 41. La cavidad resonante 41 es preferentemente cilíndrica. La cavidad resonante 41 posee un eje de simetría que parte del plano de la base 441 del recinto hasta el plano de la superficie 81 de la ventana dieléctrica de inyección de las ondas 82 y preferentemente está adaptada a un modo de resonancia de microondas de tipo TM. La base 441 puede presentar un diámetro diferente del diámetro de la cavidad resonante 41.

- 10
15 Asimismo, el reactor 1 tal como se presenta en la figura 1 comprende un soporte de crecimiento 51 situado dentro de la cavidad resonante 41. Este soporte de crecimiento 51 puede determinar, por ejemplo, una gran superficie plana, sobre la cual están destinados a posicionarse el o los sustratos. Este soporte de crecimiento 51 puede comprender salientes, círculos, agujeros o ranuras, que permitan alinear y sujetar el o los sustratos. Como variante, el soporte de crecimiento 51 incluye una superficie de soporte plana sobre la cual van dispuestos el o los sustratos.

- 20 El reactor de deposición asistida por plasma de microondas comprende un sistema de llegada de los gases 10 apto para aportar gases en el seno de la cavidad resonante 41. Este sistema de llegada de los gases 10 permite llevar a la práctica un procedimiento en el que los gases de tratamiento son inyectados hacia la superficie de crecimiento a un caudal total de gases de al menos 100 cm³ por minuto. Los gases aportados en el seno de la cavidad resonante 41 comprenden al menos una fuente de carbono y una fuente de hidrógeno molecular. La fuente de carbono es preferentemente metano. Para un reactor modular 1 que opera a frecuencias comprendidas entre 900 MHz y 1000 MHz, el caudal de gases es preferentemente de al menos 750 cm³ por minuto, de manera más preferida, de al menos 1000 cm³ por minuto. En el seno de la cavidad resonante 41, estos gases son activados por las microondas para formar un plasma en las regiones de elevado campo eléctrico. A continuación, a partir del plasma pueden difundirse radicales que contienen carbono reactivo para depositarse sobre el o los sustratos y permitir así el crecimiento del diamante.

- 25
30 El sistema de llegada de los gases 10 puede permitir una aportación de nitrógeno en la cavidad resonante 41, por ejemplo, de al menos 0,3 ppm de nitrógeno. La utilización de nitrógeno en el seno de la cavidad resonante 41 es conocida por poder aumentar la velocidad de crecimiento de las capas de diamante y permitir una mayor estabilidad cristalina.

- 35 Asimismo, el sistema de llegada de los gases 10 puede permitir la inyección en la cavidad resonante 41 de uno o varios gases llamados dopantes, que comprenden elementos tales como el boro, el azufre, el fósforo, el silicio, el litio y el berilio, otros. De este modo, el sistema de llegada de los gases 10 permite llevar a la práctica un procedimiento en el que los gases comprenden al menos un dopante a una concentración igual o superior a 0,01 ppm. La utilización de tales gases llamados dopantes permite modificar las propiedades del diamante sintetizado. Esto puede, por ejemplo, modificar sus propiedades ópticas y/o electrónicas.

- 40 Asimismo, el sistema de llegada de los gases 10 puede permitir la inyección de otros gases que pueden ser ventajosos para la realización de ciertos crecimientos, tales como el argón, el oxígeno u otros gases utilizados de ordinario.

El módulo de salida de los gases 60 permite descargar los gases presentes en la cavidad resonante 41. Comprende una o varias salidas de gases 61, situadas preferentemente en la parte inferior del reactor de deposición.

- 45 Puede haber situadas una o varias salidas de gases 61 alrededor del y bajo el soporte de crecimiento 51, según un acomodo axisimétrico.

El recinto 400 del reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas según la invención puede consistir en al menos dos partes que, cuando son reunidas, determinan en parte la cavidad resonante 41.

Habida cuenta de la temperatura del gas alcanzada en el núcleo del plasma (p. ej., más de 2500 K y hasta 5000 K), se necesita una refrigeración sumamente eficaz de las paredes del reactor.

- 50 La temperatura de gas del plasma repercute en las paredes, las cuales se someten a un considerable flujo de calor. Para paliar esto, generalmente se pone en práctica un sistema de refrigeración de las paredes.

- 55 Los inventores proponen partir el recinto en al menos dos partes, albergando cada una de ellas una parte de los elementos necesarios para el funcionamiento del reactor de deposición. Por ejemplo, la primera parte de recinto 430 engloba el sistema de llegada de los gases 10 y el módulo de acoplamiento de las ondas 80, en tanto que la segunda parte de recinto 440 engloba el módulo de salida de los gases 60, el soporte de crecimiento 51, la bandeja 900 y, en

su caso, el portasustrato.

De manera ventajosa, la segunda parte 440 del recinto es preferentemente amovible sin tener que separar el sistema de llegada de los gases 10 o el módulo de acoplamiento de las ondas 80 de la primera parte de recinto 430.

5 Adicionalmente, el reactor 1 incluye preferentemente un sistema de refrigeración 490 configurado para refrigerar independientemente la primera parte de recinto 430 y la segunda parte 440 del recinto.

Asimismo, el sistema de refrigeración 490 puede estar configurado para inducir una disminución de temperatura más acusada en una de las dos partes de recinto 430, 440.

10 Tal como se ha apuntado, uno de los elementos de modulación que los inventores proponen es una bandeja 900 apta para desplazarse en traslación vertical, al objeto de la forma y el volumen de la cavidad resonante 41. Adicionalmente, en el funcionamiento del reactor, la bandeja es apta para modificar la forma y el volumen del plasma. Esta bandeja 900 se presenta en la figura 2.

15 Esta bandeja 900 apta para desplazarse en traslación vertical presenta para el usuario la ventaja de poder modificar rápidamente las dimensiones de la cavidad resonante 41. Ahora bien, la modificación de las dimensiones y de la forma de la cavidad resonante 41 en función, por ejemplo, de las condiciones de composición de gases, presión, potencia, va a llevar consigo una modificación de las propiedades dieléctricas del plasma y, con ello, de su forma, y a modificar así las condiciones locales de crecimiento de la película de diamante. La bandeja 900 según la invención presenta la ventaja de poder ser desplazada antes de un crecimiento, pero también en el transcurso de un crecimiento. Esto da al usuario la posibilidad de modificar la forma, las características y la posición del plasma con el fin de que estén adaptadas a la posición de la superficie en crecimiento del sustrato y la etapa de síntesis.

20 La bandeja 900 puede presentar, por ejemplo, un grosor comprendido entre 1 y 10 cm. El grosor no debe ser demasiado grande, al objeto de reducir la cantidad de materiales utilizada para la fabricación, pero también debe ser suficiente para impedir la deformación de la bandeja 900 que podría inducir el plasma en el transcurso de la experiencia, y permitir, en su caso, la colocación del o de los canales de refrigeración. De manera preferida, la bandeja 900 presenta un grosor comprendido entre 2 cm y 8 cm.

25 La bandeja 900 puede estar constituida a partir de diferentes materiales metálicos. Preferentemente, comprende molibdeno, cobre, aluminio y/o una aleación de aluminio.

30 Adicionalmente, tal como se presenta en la figura 2, la bandeja 900 según la invención incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases. Esto es particularmente ventajoso cuando una o varias salidas de gases 61 están situadas en la parte baja del recinto. Preferentemente, la bandeja 900 incluye entre 5 y 15 aberturas pasantes 911. Estas aberturas pasantes son preferentemente de forma cilíndrica, con un diámetro comprendido entre 1 y 5 cm. Estas aberturas pasantes son ventajosamente verticales y, por ejemplo, perpendiculares a la cara superior 910 de la bandeja 900.

Preferentemente, las aberturas pasantes 911 están posicionadas en los extremos de la bandeja, es decir, en la proximidad de la zona marginal exterior de la bandeja. Adicionalmente, la suma del área de estas aberturas pasantes 911 en la superficie superior de la bandeja 900 está comprendida preferentemente entre 4 y 100 cm².

35 La bandeja 900 es apta para desplazarse en traslación, por ejemplo, merced a unos cilindros 920 a los que está unida. Estos cilindros están situados preferentemente en el exterior del volumen determinado por el recinto 400. Pueden ser sustituidos por cualquier mecanismo que permita un desplazamiento lento y preciso de la bandeja 900. Asimismo, la bandeja 900 puede estar asociada a unos fuelles o a un sistema de guiado, al objeto de mejorar su desplazamiento de traslación vertical.

40 La bandeja 900, en su funcionamiento, puede verse sometida a temperaturas muy acusadas. De este modo, con el fin de, por una parte, limitar o evitar su deformación y, por otra, reducir la perturbación del plasma, la bandeja 900 puede incluir al menos un canal de refrigeración 930 unido a un sistema de refrigeración 940 y apto para refrigerar dicha bandeja 900.

45 Ventajosamente, la bandeja 900 es amovible. Puede ser retirada y sustituida con facilidad por otra bandeja 900 que puede ser de dimensiones y/o de forma diferentes y apta para vincularse al sistema de movilización en traslación vertical y/o al sistema de refrigeración 940.

La superficie de la bandeja 900 es preferentemente plana, pero la bandeja 900 puede presentar un vaciado en su centro. Tal vaciado es apto para recibir un portasustrato, al objeto de que este último quede posicionado de manera precisa en el seno de la cavidad.

50 La bandeja 900 puede incluir una subparte con la forma de un disco macizo, pero, de manera preferida, la bandeja 900 puede presentar una subparte con la forma de un disco macizo cuyo centro se ha eliminado, tal y como se presenta en la figura 2.

La bandeja 900 puede presentar una cara superior 910 cuya superficie es superior al 50 %, preferentemente superior al 60 %, de la superficie de la sección transversal del recinto 400 en correspondencia con el soporte de crecimiento

51. De este modo, de manera preferida, la bandeja 900 presenta una cara superior 910 cuya superficie está comprendida entre el 60 % y el 95 % de la superficie de la sección transversal del recinto 400 en correspondencia con el soporte de crecimiento 51, de manera más preferida, la superficie está comprendida entre el 70 % y el 90 % de la superficie de la sección transversal del recinto 400 en correspondencia con el soporte de crecimiento 51, aún más preferentemente, la superficie está comprendida entre el 80 % y el 90 % de la superficie de la sección transversal del recinto 400 en correspondencia con el soporte de crecimiento 51. Estas dimensiones permiten modular el plasma de manera más eficaz que con una bandeja de superficie reducida. Estas cifras no tienen en cuenta las aberturas pasantes 911.
- De manera ventajosa, la bandeja 900 presenta una superficie superior 910 que tiene un área mayor que la del soporte de crecimiento 51. De manera preferida, la bandeja 900 presenta una superficie superior 910 que tiene un área que representa más del 1500 % del área del soporte de crecimiento 51 y, aún más preferentemente, la bandeja 900 presenta una superficie superior 910 que tiene un área que representa más del 550 % de la del soporte de crecimiento 51 para un reactor de tipo 900 - 1000 MHz.
- Ventajosamente, la bandeja 900 puede incluir un sistema de elementos 960 aptos para mantener un contacto eléctrico con las paredes internas 420 del recinto 400 y, por tanto, mantener una continuidad eléctrica con el recinto, así como con el módulo de portasustrato 500, en el caso en que el módulo de portasustrato 500 forma parte integrante de la cavidad resonante 41. Estos elementos 960 pueden, por ejemplo, incluir o estar constituidos a partir de una aleación de cobre-berilio.
- Otro de los elementos de modulación que los inventores proponen es un módulo de portasustrato 500 que, en contacto con un cuarto de onda 501, incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520, configurado para permitir el desplazamiento de traslación vertical y giratorio del soporte de crecimiento 51. Este módulo de portasustrato 500 se presenta en la figura 2.
- Ventajosamente, el módulo de portasustrato 500 es amovible y presenta la ventaja de poder ser retirado con facilidad del reactor, con el fin de, por ejemplo, ser sustituido por otro módulo de portasustrato 500 amovible.
- El módulo de portasustrato 500 según la invención presenta la ventaja de ser apto para desplazarse en traslación vertical. Esta traslación vertical puede recaer en diversos medios tales como un motor o un accionador manual. Esta traslación permite mejorar la gestión de la temperatura de las superficies de crecimiento y su homogeneidad.
- Preferentemente, el módulo de portasustrato 500 incluye unos fuelles 550 aptos para encargarse de la movilidad en traslación vertical del soporte de crecimiento 51. Los fuelles 550 están situados preferentemente por debajo de la bandeja 900.
- Asimismo, el módulo de portasustrato 500 según la invención presenta la ventaja de ser apto para desplazarse giratoriamente. Este giro puede recaer en diversos medios tales como un motor o un accionador manual. Preferentemente, el módulo de portasustrato 500 está vinculado a un motor unido a un eje del portasustrato y situado en el exterior del volumen determinado por el recinto 400, apto para encargarse de la movilidad en giro del soporte de crecimiento 51.
- Adicionalmente, el módulo de portasustrato 500 está en contacto con un cuarto de onda 501 apto para limitar la propagación de las microondas fuera de la cavidad resonante 41. Un cuarto de onda 501 es una estructura metálica de simetría cilíndrica y que determina, en sección longitudinal, un cuarto de onda. En la figura 2, se presenta un cuarto de onda 501 según la invención. El cuarto de onda 501 está en contacto directo o indirecto con el módulo de portasustrato 500 y, de manera preferida, está conectado eléctricamente al módulo de portasustrato 500, aún más preferentemente, está en contacto indirecto y está conectado eléctricamente al módulo de portasustrato 500 por mediación de un medio conductor eléctrico 503. De manera ventajosa, cuando el reactor modular 1 según la invención incluye una bandeja 900 y un módulo de portasustrato 500, el cuarto de onda 501 puede estar aislado eléctricamente de la bandeja 900 y estar conectado eléctricamente al módulo de portasustrato 500. El aislamiento eléctrico se puede realizar mediante un medio aislante 502 que incluya un material electroaislante y apto para aislar eléctricamente la bandeja 900 del cuarto de onda 501 y, por ejemplo, puede comprender un bloque de PTFE (politetrafluoroetileno) o una junta de PTFE. La conexión eléctrica entre el módulo de portasustrato 500 y el cuarto de onda 501 se puede realizar mediante un medio conductor 503 que incluya un material electroconductor y apto para conducir la corriente eléctrica entre el módulo de portasustrato 500 y el cuarto de onda 501. La conexión eléctrica entre el módulo de portasustrato 500 y el cuarto de onda 501 se realiza preferentemente por intermedio de un medio conductor 503 que incluya una mezcla de cobre y de berilio. En la figura 3, se presentan organizaciones particulares del cuarto de onda 501 en el seno del reactor modular 1. Las figuras 3A, 3B y 3C muestran que, preferentemente, el cuarto de onda 501 está vinculado a la bandeja 900 móvil por mediación de un medio aislante 502 y que establece contacto con el módulo de portasustrato 500 por mediación de un medio conductor 503. El cuarto de onda 501 puede estar posicionado, por ejemplo, por debajo (figura 3A) o por encima (figuras 3B y 3C) de la bandeja 900 móvil.
- El módulo de portasustrato 500 incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520 apto para hacer circular un fluido caloportador de refrigeración (p. ej., agua) por el módulo de portasustrato 500. Este fluido de refrigeración permite dominar el aumento de temperatura en el soporte de crecimiento 51 y, por tanto, en el sustrato.

Preferentemente, el fluido de refrigeración es un líquido de refrigeración, que se puede seleccionar, por ejemplo, de entre: agua, agua con adición de aditivos, aceite de silicona u otros. Preferentemente, un canal de distribución de fluido 521 está unido a una cámara de distribución 522 apta para repartir el fluido caloportador bajo la superficie superior del módulo de portasustrato 500.

5 La refrigeración del soporte de crecimiento 51 mediante un sistema de refrigeración fluida 520 es necesaria, pero generalmente no permite un control suficientemente preciso de la temperatura del soporte de crecimiento 51 y de la superficie de crecimiento del o de los sustratos. De este modo, tal como se presenta en la figura 4, el módulo de portasustrato 500 incluye ventajosamente al menos un canal de distribución de gases 210 unido a un sistema de gestión de los gases de resistencia térmica 200 y apto para distribuir un gas de resistencia térmica en la proximidad
10 del soporte de crecimiento 51.

El gas de resistencia térmica puede ser, por ejemplo, una mezcla que comprende argón, hidrógeno y/o helio. La utilización de gases de resistencia térmica permite dominar finamente la temperatura del soporte de crecimiento 51 y del sustrato y, por tanto, optimizar el crecimiento del diamante.

15 El área de la superficie superior del portasustrato, paralela al soporte de crecimiento 51, está comprendida entre el 5 % y el 30 % del área de la sección transversal del recinto 400 en correspondencia con el soporte de crecimiento 51. Por ejemplo, en un reactor modular según la invención, configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, el área de la superficie superior del portasustrato, paralela al soporte de crecimiento 51, está comprendida entre 50 cm² y 300 cm², preferentemente entre 50 cm² y 250 cm².

20 Los portasustratos de la técnica anterior presentan muchas veces un volumen reducido y tan solo ocupan un espacio reducido dentro del reactor de deposición. Los presentes inventores han desarrollado un módulo de portasustrato 500 que puede incluir numerosas funcionalidades y que presenta un volumen considerable. Merced a este considerable volumen, el módulo de portasustrato 500 según la invención puede originar, en su desplazamiento de traslación vertical, una modificación significativa de la cavidad resonante 41 y, con ello, del plasma. Asimismo, este considerable volumen permite acoger las diferentes funcionalidades del portasustrato según la invención (p. ej., refrigeración por fluido, por gases de resistencia térmica, sistema de giro, otras). De este modo, merced a su volumen y su capacidad
25 para permitir el desplazamiento de traslación vertical del soporte de crecimiento 51, tal módulo de portasustrato 500 puede utilizarse para optimizar los parámetros de crecimiento. En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, de manera preferida, el módulo de portasustrato 500 presenta un volumen comprendido entre 1000 cm³ y 10 000 cm³.

30 De igual manera, de manera preferida, el módulo de portasustrato 500 presenta un diámetro (o una superficie en sección transversal) constante y sensiblemente idéntico al diámetro (o a la superficie) del soporte de crecimiento 51.

Adicionalmente, el módulo de portasustrato 500 puede estar eventualmente aislado eléctricamente de la cavidad resonante 41, del recinto 400 y/o de la bandeja 900 según la invención. Esto permite tener un potencial eléctrico diferente entre el módulo de portasustrato 500 y la cavidad resonante 41. De manera más preferida, el módulo de portasustrato 500 está eléctricamente aislado de los demás elementos del reactor 1. Esta característica puede permitir, en la puesta en práctica del reactor según la invención, el desplazamiento de traslación vertical del módulo de portasustrato 500 sin dar origen a una modificación significativa de la forma del plasma. El módulo de portasustrato 500 puede, por ejemplo, estar aislado por mediación de una camisa taladrada de PTFE, de una junta de PTFE o de otros materiales electroaislantes ubicados entre el módulo de portasustrato 500 y la bandeja 900.
35

40 Cuando el reactor comprende el módulo de portasustrato 500 en combinación con la bandeja 900, entonces la bandeja 900 puede incluir ventajosamente unos medios aptos para aislar eléctricamente 970 (p. ej., juntas o bloques de PTFE u otros materiales electroaislantes) que permiten un adecuado aislamiento eléctrico entre el portasustrato y la bandeja 900. Adicionalmente, la base del recinto puede incluir, en correspondencia con la abertura que permite el paso del módulo de portasustrato 500, un medio aislante 980 que incluya un material electroaislante (p. ej., una junta) que permita aislar eléctricamente el módulo de portasustrato 500 del recinto 400. Ventajosamente, la base del recinto incluye, en correspondencia con la abertura que permite el paso del módulo de portasustrato 500, un sistema de juntas que permite aislar eléctricamente el módulo de portasustrato 500 del recinto.
45

Preferentemente, el medio que permite un adecuado aislamiento eléctrico se compone de PTFE. En esta forma de realización, el o los fluidos que transitan en el seno del portasustrato no son, o solo escasamente, conductores. Es posible utilizar, por ejemplo, agua desionizada o aceite de silicona. Por ejemplo, la conductividad del fluido es inferior a 50 μS/cm, preferentemente inferior a 20 μS/cm. Esto permite aislar eléctricamente la bandeja 900 y/o el recinto 400 del módulo de portasustrato 500 y, por tanto, suprimir su influencia sobre las características del núcleo del plasma.
50

Como se ha descrito anteriormente, el módulo de portasustrato 500 puede comprender una vinculación con un sistema de gestión de los gases de resistencia térmica 200. Con objeto de dominar las condiciones de crecimiento, es necesario dominar las transferencias térmicas con el fin de controlar lo mejor posible la distribución de la temperatura en correspondencia con el soporte de crecimiento 51 y con la superficie de crecimiento. Una zona esencial de vigilancia para estas transferencias térmicas es la zona de crecimiento del diamante, en correspondencia con el sustrato. Ahora bien, dependiendo de la forma o de la disposición del sustrato, así como del resultado que haya de alcanzarse (p. ej.,
55

espesor, velocidad de crecimiento, orientación del crecimiento), no es la misma refrigeración la que se espera en correspondencia con el soporte de crecimiento 51. De este modo, con el fin de poder controlar finamente la refrigeración en correspondencia con el soporte de crecimiento 51, los inventores han ideado otro elemento modular que consiste en un módulo de control de la refrigeración del sustrato 300, que comprende un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 con posibilidad de sustituirse con facilidad entre dos crecimientos y que se adapta al crecimiento esperado. En las figuras 5A y 5B, se presenta este módulo de control de la refrigeración del sustrato 300. Ventajosamente, este sistema se puede modular en altura en el transcurso del crecimiento.

Tal como se presenta en la figura 5A, el módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 comprende un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330. El módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 permite ventajosamente mantener la superficie de crecimiento a una temperatura comprendida entre 600 °C y 1400 °C y dominar la distribución espacial del gradiente térmico entre la superficie de crecimiento y el portasustrato. Para las capas de diamante ultra-nanocristalino, se buscarán temperaturas de 150 °C a 400 °C.

El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 según la invención comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331. La entrada de gases de resistencia térmica 333 puede estar unida a las salidas de gases de resistencia térmica 331 por mediación de una cámara repartidora 332.

La entrada de los gases de resistencia térmica 333 preferentemente está situada en el centro del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330. El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede comprender varias entradas de gases de resistencia térmica 333. La existencia de varias entradas de gases de resistencia térmica 333 permite gestionar la utilización de gas o de mezcla de gases de resistencia térmica diferentes. Por ejemplo, una entrada se dedica a un primer gas de resistencia térmica, en tanto que otra entrada se dedica a otro gas de resistencia térmica. Las entradas de gases de resistencia térmica 333 pueden estar unidas a cámaras repartidoras 332 diferentes. Adicionalmente, la presencia de varias entradas de gases de resistencia térmica 333 permite inyectar gases diferentes a concentraciones o velocidades graduables de manera independiente.

La entrada de los gases de resistencia térmica 333 puede presentar, en un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, un diámetro comprendido, por ejemplo, entre 1 mm y 10 mm. Preferentemente, la entrada de los gases de resistencia térmica 333 presenta un diámetro comprendido entre 3 mm y 7 mm.

La cámara repartidora 332 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 permite mejorar la homogeneidad de la distribución espacial de los gases de resistencia térmica en correspondencia con el soporte de crecimiento 51. En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, el volumen de la cámara repartidora 332 puede estar comprendido preferentemente entre 0 mm³ y 16 000 mm³. Preferentemente, el volumen de la o de las cámaras repartidoras 332 es reducido, al objeto de aumentar la transferencia térmica entre el portasustrato y el soporte de crecimiento 51. De este modo, la altura de la cámara repartidora 332 es ventajosamente muy reducida, por ejemplo, está comprendida entre 0,02 mm y 5 mm, preferentemente entre 0,05 mm y 1 mm. Además, la cámara repartidora 332 puede no comprender base, tal y como se representa en la figura 5A.

El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede comprender varias cámaras de mezcla.

La o las varias salidas de gases de resistencia térmica 331 están dispuestas al objeto de, preferentemente, inyectar los gases de resistencia térmica por debajo del soporte de crecimiento 51. Tienen estas por objetivo gestionar la refrigeración del soporte de crecimiento 51 y, por consecuencia, gestionar la temperatura de la superficie de crecimiento. Dado que estas salidas están ubicadas sobre el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, es posible, merced a la invención, hacer variar con facilidad, entre cada crecimiento, varios factores esenciales para la optimización de las condiciones de crecimiento y relativos a las salidas de gases de resistencia térmica, como, por ejemplo: su número, su orientación y su densidad. La modulación de estos parámetros permite proporcionar unas características de modulación de la refrigeración del soporte de crecimiento 51 adaptadas al crecimiento que interese.

La distancia entre las salidas de gases de resistencia térmica 331 y el soporte de crecimiento 51 puede afectar al crecimiento de las capas de diamante. Esta distancia puede ser igual por todo el soporte de crecimiento 51 y puede ser reducida en caso de que se busquen temperaturas de crecimiento relativamente bajas. De este modo, el módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 puede comprender ventajosamente unos medios de posicionamiento 320 que pueden ser independientes o integrados en el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330.

Los medios de posicionamiento 320 según la invención pueden adoptar diferentes formas, tales como un hexaedro, por ejemplo, un cubo o un paralelepípedo, un prisma, un cilindro.

En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, es ventajoso que los medios de posicionamiento 320 según la invención presenten una altura inferior a 800 µm, de manera más preferida, inferior a 500 µm y, aún más preferentemente, inferior a 250 µm. Los medios de posicionamiento 320 presentan generalmente una altura superior a 5 µm.

Adicionalmente, es ventajoso que, cuando se utilizan varios medios de posicionamiento 320 según la invención, estos medios presenten una variación de su altura inferior al 10 %, preferentemente inferior al 5 %, aún más preferentemente inferior al 2 %. En efecto, dentro del ámbito de la presente invención, la presencia de medios de posicionamiento 320 con una variación de altura muy escasa lleva consigo un control más óptimo de la temperatura de la superficie de crecimiento y, con ello, un crecimiento mejor dominado.

De manera alternativa, estos medios de posicionamiento 320 pueden presentar ventajosamente unas diferencias de altura significativas que permitan modular las características de refrigeración de las superficies de crecimiento. Es deseable, no obstante, que el soporte de crecimiento 51 esté posicionado de manera paralela a la superficie de la base 441 del recinto.

Estos medios de posicionamiento 320 pueden ser amovibles y ventajosamente pueden estar mantenidos en posición con respecto al soporte de crecimiento 51 por mediación de vaciados en la superficie inferior del soporte de crecimiento 51, tales como rebajes. De este modo, el soporte de crecimiento 51, en su superficie inferior, puede incluir vaciados aptos para albergar medios de posicionamiento 320. Estos vaciados presentan un área de sección transversal comprendida preferentemente entre 0,5 cm² y 5 cm², una profundidad inferior a 1 cm, preferentemente inferior a 5 mm. De este modo, el soporte de crecimiento 51 puede comprender entre 3 y 30 vaciados, preferentemente entre 3 y 15 y, de manera más preferida, entre 3 y 7 vaciados. Estos vaciados pueden presentar diferentes formas de sección transversal (por ejemplo, circular, rectangular, cuadrada).

Adicionalmente, estos medios de posicionamiento 320 pueden estar dotados de movimiento de traslación vertical y estar asociados a un medio de traslación vertical que permita un desplazamiento lento y preciso de estos medios de posicionamiento 320. Este desplazamiento de traslación vertical tiene como objetivo modular la distancia entre el soporte de crecimiento 51 y el dispositivo de inyección de los gases de resistencia térmica 330 o el módulo de portasustrato 500 o el portasustrato 50. El medio de traslación vertical se puede seleccionar, por ejemplo, de entre medios tales como cilindros, fuelles o actuadores. Esta movilidad vertical permite, en el transcurso del crecimiento, ir jugando con la distancia entre el dispositivo de inyección de los gases de resistencia térmica 330 y el soporte de crecimiento, al objeto de añadir un nivel de control suplementario sobre la temperatura de la o de las superficies de crecimiento.

Los medios de posicionamiento 320 según la invención pueden estar constituidos a partir de una gran diversidad de materiales, por ejemplo, de metal, material dieléctrico o grafito u otro, de gran pureza o en multicapa.

El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede presentar ventajosamente una altura reducida, al objeto de incrementar la transferencia térmica entre el sistema de refrigeración del portasustrato y el soporte de crecimiento 51. De este modo, de manera preferida, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 presenta una altura inferior a 1 mm, de manera más preferida, inferior a 100 µm. Adicionalmente, estas alturas pueden ser modulables en función del grosor del soporte de crecimiento 51.

En efecto, de manera ventajosa, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 está configurado de tal manera que la distancia entre el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 y el portasustrato 50 (o el módulo de portasustrato 500) sea inferior a 200 µm, preferentemente inferior a 50 µm y, aún más preferentemente, inferior a 10 µm. Asimismo, pueden estar configurados al objeto de que el dispositivo 330 y el portasustrato 50 estén en contacto en una superficie al menos igual a la superficie del soporte de crecimiento 51.

Tal como se presenta en la figura 5B, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede llevar integrado el soporte de crecimiento 51. Esto tiene como ventaja el mejorar los intercambios térmicos y, con ello, el asegurar una mejor refrigeración del o de los sustratos. Esta configuración permite, en especial, al eliminar parte de los espacios huecos que puedan existir entre el portasustrato 50 y el soporte de crecimiento 51, optimizar el control térmico de la superficie superior del soporte de crecimiento 51.

Por ejemplo, el módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 permite llevar a la práctica un procedimiento en el que los gases de resistencia térmica son eyectados del sistema de refrigeración hacia la cavidad resonante 41 a un caudal total de gases de al menos 20 sccm, preferentemente, al menos 50 sccm.

El módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 según la invención puede ser utilizado ventajosamente en combinación con el módulo de portasustrato 500 según la invención, pero, asimismo, puede ser utilizado con portasustratos convencionales. En efecto, los portasustratos convencionales pueden comprender una o varias salidas de gases de resistencia térmica en las que se podría adaptar el módulo de control de la refrigeración del sustrato 300 según la invención.

El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 da a los usuarios la posibilidad de modular finamente la distribución de los gases de resistencia térmica y de adaptarla a las condiciones de crecimiento de las capas de diamante que interesen. En efecto, en el crecimiento de diamante, la gestión de la temperatura en correspondencia con el sustrato se debe adaptar en función de la posición del o de los sustratos dentro de la cavidad resonante 41, de la composición de gases utilizada para el crecimiento, de las condiciones de presión y de potencia, del número de sustratos de diamante en crecimiento (o de la dimensión de la capa de diamante policristalino), de las

características de las capas de diamante (policristalino, monocristalino) en crecimiento y de la duración prevista de la reacción de crecimiento. Este dispositivo es, en este contexto, particularmente útil dentro del ámbito de la optimización de las condiciones de crecimiento.

5 Adicionalmente, las salidas de gases de resistencia térmica 331 presentan la ventaja de una distribución del gas de resistencia térmica al objeto de obtener una óptima distribución de temperatura del sustrato por toda la superficie de crecimiento. No obstante, presentan el inconveniente de poder ensuciarse. La existencia de tal dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 hace posible una sustitución de esta pieza sin tener que sustituir todo un conjunto de piezas unidas a tal módulo de refrigeración.

10 Asimismo, los inventores han optimizado la distribución de las salidas en el seno del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, al objeto de permitir una óptima distribución de los gases de cara al crecimiento del o de los monocristales de diamante, o de una capa de diamante policristalino. La ventaja de la utilización de un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 está en que es posible hacer variar varios parámetros tales como las dimensiones de las salidas o la densidad de las salidas.

15 Tal como se presenta en la figura 6A, las salidas de gases de resistencia térmica 331 pueden presentar diferentes formas. Por ejemplo, la sección transversal de las salidas 331 puede presentar una forma de círculo, cuadrado, rectángulo, rombo. La forma de esta sección puede variar de una salida 331 a otra, pero también en el seno de una misma salida 331, en función de que se considere la sección de la salida 331 en la superficie interna 336 o en la superficie externa 335 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330. Preferentemente, la sección de las salidas 331 presenta una forma de círculo.

20 Tal como se presenta en la figura 6B, las salidas de gases de resistencia térmica 331 pueden presentar diferentes superficies de sección. Por ejemplo, la sección total de las salidas 331 puede presentar un área comprendida entre el 5 % y el 15 % del área del soporte de crecimiento 51. La superficie de esta sección puede variar de una salida 331 a otra, pero también en el seno de una misma salida 331, en función de que se considere la sección de la salida 331 en la superficie interna 336 o en la superficie externa 335 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330.

En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, cada salida de gases de resistencia térmica 331 puede presentar un diámetro, en la superficie interna 336 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, comprendido entre 0,2 mm y 5 mm, preferentemente comprendido entre 0,5 mm y 3 mm.

30 En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, cada salida de gases de resistencia térmica 331 puede presentar un diámetro, en la superficie externa 335 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, comprendido entre 0,5 mm y 3 mm.

35 Los diámetros de salidas de gases de resistencia térmica 331, bien sea en la superficie interna 336 o bien externa 335 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica 330, pueden estar configurados en orden a obtener una óptima distribución del o de los gases de resistencia térmica por toda la superficie equivalente al soporte de crecimiento 51.

40 Adicionalmente, en el seno de un mismo dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, los diámetros de las salidas de gases de resistencia térmica 331, bien sea en la superficie interna 336 o bien externa 335 del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, pueden ser iguales, pero también pueden variar en función de la posición de la salida en el seno del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 respecto al eje de simetría del reactor.

El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 según la invención permite hacer variar con facilidad la densidad de salidas y proporcionar una red modulable de salidas de gases de resistencia térmica 331.

45 De este modo, por ejemplo, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una densidad de salidas de gases de resistencia térmica 331 de al menos 1 salida/cm². La densidad de las salidas de gases de resistencia térmica 331 se mide dividiendo el número de salidas presentes en el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 por la superficie del dispositivo de inyección que hace frente al soporte de crecimiento 51. El dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede comprender una densidad de salidas muy superior a 1 salida/cm². En efecto, una densidad elevada de salidas permite optimizar la corriente de gases de resistencia térmica que está siendo utilizada y, así, permite que la temperatura del o de los sustratos sea modulada con el fin de obtener la formación uniforme en espesor de una película de diamante homogénea a elevadas velocidades sobre una superficie relativamente importante. De este modo, en un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, preferentemente, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende salidas de gases de resistencia térmica 331 en una densidad media comprendida entre 0,1 y 5 salidas por cm², de manera más preferida, una densidad comprendida entre 0,1 y 3 salidas por cm², aún más preferentemente, una densidad comprendida entre 0,2 y 2 salidas por cm². Aparte de esta posible modularidad de densidad de salidas de gases de resistencia térmica 331 que permite modular la distribución de gases de resistencia térmica entre cada

experimentación, la utilización de varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y/o cámaras repartidoras 332 permite modular la distribución de gases de resistencia térmica en el transcurso de la experimentación.

5 Con tal densidad de salidas de gases de resistencia térmica 331, el dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede comprender al menos 5, por ejemplo, al menos 10, preferentemente, al menos 20, de manera preferida, al menos 50 salidas.

10 La superficie externa superior del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, es decir, la superficie más próxima al soporte de crecimiento 51, puede adoptar varias formas tales como un círculo, un cuadrado, un rectángulo, una elipse, una porción de círculo. Preferentemente, la forma de la superficie externa superior del dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 es sensiblemente idéntica a la forma del soporte de crecimiento 51.

Del mismo modo que para el diámetro de las salidas, la densidad de las salidas en el seno de un mismo dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 puede variar en función de la ubicación en el seno del dispositivo de inyección 330.

15 Otro de los elementos de modulación que los inventores proponen es una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41. Adicionalmente, la o las coronas 450 según la invención pueden presentar numerosas funciones adicionales tales como, por ejemplo, la modificación de la forma puntual de la cavidad resonante 41, de las inyecciones de gas, de las ventanas para la observación del crecimiento, la medida de la temperatura y/o los análisis de sustratos (p. ej., altura, color). En la figura 7, se presenta una corona 450. El reactor modular 1 según la invención puede comprender una o varias coronas 450, y de manera preferida, una o dos coronas 450. Tal como se presenta en la figura 7, estas coronas 450 pueden estar posicionadas a diferentes alturas del recinto 400, y preferentemente en correspondencia con la cavidad resonante 41. Adicionalmente, una corona 450 según la invención puede permitir la inyección de gases de crecimiento y/o de resistencia térmica.

25 Tal como se presenta en la figura 7, la corona 450 permite hacer variar la geometría de la cavidad resonante 41 y, por ejemplo, aumentar la altura entre la guía de ondas 82 y la base 441 del recinto 400. Este elemento modular puede permitir optimizar las distribuciones espaciales de la temperatura del gas y de la densidad de H atómico en el plasma, a fin de optimizarlas en la interfase plasma/superficie. Esta modularidad va acoplada preferentemente a la modularidad aportada por la bandeja 900, al objeto de dar al usuario una gran libertad de dimensión al objeto de adaptar la configuración de la cavidad resonante 41 al crecimiento que interese. Para esta aplicación, preferentemente, la corona 450 es una corona metálica. Esta puede, por ejemplo, comprender o estar constituida a partir de aluminio o de una aleación de aluminio.

30 La primera parte de recinto puede incluir, por ejemplo, el sistema de llegada de los gases y el módulo de acoplamiento de las ondas. La segunda parte de recinto puede incluir, por ejemplo, el módulo de salida de los gases y el soporte de crecimiento. Cuando el reactor modular 1 según la invención incluye dos coronas, entonces, de manera preferida, una corona 450 es apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una tercera parte de recinto 470, y una corona 450 es apta para ser posicionada entre una segunda parte de recinto 440 y una tercera parte de recinto 470.

35 Alternativamente, la corona 450 puede comprender o estar constituida a partir de un material dieléctrico tal como el cuarzo. En efecto, la corona 450 que comprende o está constituida a partir de cuarzo permite observar el crecimiento y las sucesivas deposiciones de las capas de diamante. De este modo, de manera ventajosa, la corona 450 comprende un material dieléctrico, por ejemplo, en forma de ventana de observación dieléctrica (p. ej., ventanillas). Asimismo, la corona 450 puede estar constituida a partir del 20 % al 80 % de material dieléctrico. El material dieléctrico puede adoptar la forma de una ventana anular, o bien estar integrado en la corona 450 en forma de una ventana plana con posibilidad de adoptar diferentes formas (p. ej., rectángulo, cuadrado, círculo).

40 La corona 450 puede comprender un medio de inyección de gas, preferentemente radial. Este medio de inyección puede permitir la inyección de gas, tal como el argón, o bien la inyección de gases dopantes o metano en la proximidad del soporte de crecimiento 51.

La primera parte de recinto 430 engloba preferentemente el sistema de llegada de los gases 10 y el módulo de acoplamiento de las ondas 80. La segunda parte de recinto 440 engloba preferentemente el módulo de salida de los gases 60 y el soporte de crecimiento 51.

50 El sistema de juntas 460 se halla dispuesto entre la corona 450 y, respectivamente, la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440. El sistema de juntas 460 permite la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y asegura la continuidad eléctrica de las paredes del recinto. El sistema de juntas 460 puede comprender varias juntas que pueden estar constituidas a partir de materiales similares o diferentes y, por ejemplo, comprender los materiales seleccionados de entre el cobre, el berilio, una combinación de cobre-berilio o también una pasta que contiene partículas de metal, tales como de plata, por ejemplo. De manera preferida, el sistema de juntas 460 incluye berilio, y preferentemente una mezcla de cobre-berilio. Esta junta puede adoptar diferentes formas, como por ejemplo la de un trenzado metálico o una pasta que contiene partículas metálicas, por ejemplo, partículas de plata. El sistema de juntas 460 puede comprender, asimismo, un polímero fluorado tal como Vitón, al objeto de asegurar una estanqueidad al

vacío. El sistema de juntas 460 que asegura la conductividad eléctrica de las paredes del recinto y la estanqueidad de la cavidad resonante 41 puede fundarse en una primera junta o un conjunto de juntas utilizado para asociar la primera parte de recinto 430 y la segunda parte de recinto 440, así como una segunda junta o un conjunto de juntas asociado a la corona 450.

5 La corona 450 puede presentar un amplio margen de grosor y de altura. Preferentemente, en un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, la corona 450 presenta una altura comprendida entre 1 cm y 20 cm, de manera más preferida, la corona 450 presenta una altura comprendida entre 1 cm y 10 cm, aún más preferentemente, la corona 450 presenta una altura comprendida entre 3 cm y 10 cm.

10 Preferentemente, la corona 450 es apta para ser posicionada entre el acoplador 80 y la base 441 del recinto o la bandeja 900. La corona 450, al estar destinada a ser insertada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, puede adoptar sensiblemente la forma de las paredes internas y externas del recinto 400. Esta corona 450 puede adoptar la forma de un anillo si el recinto 400 es cilíndrico.

15 Preferentemente, en un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, la corona 450 presenta un grosor comprendido entre 1 cm y 10 cm. De manera más preferida, la corona 450 presenta un grosor comprendido entre 3 cm y 10 cm. De acuerdo con una forma de realización, la corona 450 presenta un grosor constante en toda su altura y es, por ejemplo, similar al grosor de las paredes del recinto 400. Alternativamente, la corona 450 puede presentar un grosor variable en su altura y, especialmente, un grosor mayor que el grosor de las paredes del recinto. De este modo, en esta situación, la corona 20 450 es apta para inducir una deformación de la cavidad resonante 41, tal y como se presenta en la figura 7. Cuando la corona 450 es utilizada para inducir una deformación de la cavidad resonante 41, se ubica preferentemente en la proximidad del soporte de crecimiento 51.

25 Preferentemente, la corona 450 es apta para ser posicionada entre dos partes de recinto que tienen formas de sección transversal sensiblemente idénticas, de manera más preferida, idénticas. Alternativamente, la corona 450 es apta para ser posicionada entre dos partes de recinto que tienen formas de sección transversal diferentes y, entonces, permite realizar una ligazón entre estas dos partes de recinto con formas diferentes.

30 Aparte de la posibilidad, merced a este elemento modular, de hacer variar las dimensiones de la cavidad resonante 41 y, con ello, los parámetros del crecimiento, esta corona 450 puede estar unida a un sistema de refrigeración 600 configurado para refrigerarla independientemente de la primera parte de recinto 430 y de la segunda parte 440 del recinto. De este modo, la corona 450 puede ir ubicada en correspondencia con la altura de la formación del plasma y beneficiarse de una refrigeración más acusada que las demás partes del recinto. Este elemento modular permite entonces adaptar la refrigeración a las necesidades reales del reactor 1.

35 De este modo, preferentemente, la corona 450 está unida a un sistema de refrigeración configurado para refrigerarla independientemente de la primera parte de recinto 430 y/o de la segunda parte 440 del recinto. De manera más preferida, el sistema de refrigeración 600 está configurado para inducir una disminución de temperatura más importante sobre la corona 450 que sobre la primera parte 430 y/o sobre la segunda parte 440 del recinto 400. Asimismo, el sistema de refrigeración 600 puede estar configurado para refrigerar independientemente el módulo de acoplamiento 80.

40 La corona 450 puede aunar varias funciones simultáneamente, por ejemplo, realzar la cavidad, inyectar gases y aportar un abultamiento metálico en una parte adecuada de la cavidad resonante 41 o, por el contrario, una deformación hacia el exterior.

La figura 8 representa un reactor de plasma de microondas semejante al representado en la figura 1. La organización representada en la figura 8 difiere en que comprende un módulo de portastrato 500 y en que el sistema de entrada de gases 10 comprende un módulo de distribución de los gases 100.

45 Este módulo de distribución de los gases 100 incluye una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112, aptos para conducir una corriente de gases hacia un soporte de crecimiento 51. Este módulo de distribución de gases 100 es un elemento modular según la invención, así, permite hacer variar, con facilidad y entre cada crecimiento, varios factores esenciales para la 50 optimización de las condiciones de crecimiento:

- el número de boquillas de entrada de gas,
- la orientación de las boquillas y
- la densidad de boquillas.

55 La modulación de estos parámetros permite proporcionar unas buenas características de flujo de gases creando un flujo laminar de la corriente de gases. Tal como se representa en la figura 8, la cara interna 111 de la placa de

distribución de los gases amovible 110 corresponde a la cara orientada hacia la cavidad resonante 41 y que determina parcialmente esta última.

Adicionalmente, este módulo de distribución de los gases 100 comprende un dispositivo soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110. Este dispositivo soporte 120 está unido a un sistema de refrigeración, preferentemente un sistema de refrigeración por fluido. Este acoplamiento permite establecer un puente térmico que hace posible una refrigeración de la placa de distribución de los gases amovible 110. La placa de distribución de los gases amovible 110 puede estar posada sobre un dispositivo soporte 120, pero también puede estar posicionada al objeto de que el dispositivo soporte 120 se halle por encima de la placa de distribución de los gases amovible 110, o también al objeto de que el dispositivo soporte 120 rodee la placa de distribución de los gases amovible 110.

Este módulo de distribución de los gases 100 da a los usuarios la posibilidad de modular finamente la distribución de gases y de adaptarla a las condiciones de crecimiento de las capas de diamante que interesen. En efecto, en el crecimiento de diamante, la distribución del gas dentro de la cavidad resonante 41 se debe adaptar en función de la posición del o de los sustratos, del número de sustratos, de la forma del o de los sustratos y de la duración prevista de la reacción. Este módulo es, en este contexto, particularmente útil dentro del ámbito de la optimización de las condiciones de crecimiento. Por ejemplo, la puesta en práctica de un reactor de deposición que comprende el módulo de distribución de gases 100 según la invención en un procedimiento de crecimiento de diamante puede permitir la síntesis de un diamante grueso monocristalino con una concentración sensiblemente uniforme de dopante, o bien el crecimiento de un mayor número de monocristales de diamante cultivados en una sola pasada (una experimentación), o también una capa de diamante policristalino. El módulo de distribución de gases 100 queda mantenido preferentemente en la parte central del sistema de guía de ondas, refrigerado.

Adicionalmente, las boquillas de distribución de gas convencionales presentan la ventaja de una distribución cuasi homogénea del gas, pero presentan el inconveniente de poderse ensuciar. La existencia de tal módulo de distribución hace posible la sustitución de la placa de distribución de los gases amovible 110, sin tener que sustituir todo un conjunto de piezas unidas a tal módulo.

Asimismo, los inventores han optimizado la distribución de las boquillas en el seno del módulo amovible, al objeto de permitir una distribución de los gases óptima y modular de cara al crecimiento del o de los sustratos de diamante monocristalino o de una oblea de diamante policristalino.

Esta placa de distribución de los gases amovible 110 preferentemente queda posicionada de manera sensiblemente paralela al soporte de crecimiento 51.

La ventaja de la utilización de una placa de distribución de los gases amovible 110 está en que es posible hacer variar numerosos parámetros tales como el diámetro de las boquillas, la densidad de las boquillas, la orientación de las boquillas y/o, en el transcurso del crecimiento, los gases inyectados.

En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, el diámetro de las boquillas de distribución de los gases 113, en la superficie interna 111 de la placa de distribución de los gases amovible 110, puede estar comprendido entre 0,1 mm y 3 mm. Preferentemente, las boquillas de distribución de los gases 113 pueden presentar un diámetro, en la superficie interna 111 de la placa de distribución de los gases amovible 110, comprendido entre 0,2 mm y 2 mm.

Adicionalmente, en el seno de un mismo módulo de distribución de gases 100, el diámetro de las boquillas puede ser homogéneo, pero también puede variar en función de la posición de la boquilla en el seno de la placa de distribución de los gases amovible 110 respecto al eje de simetría del reactor.

En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, de manera preferida, la superficie disponible para colocar boquillas es de 500 a 650 cm². La suma de las superficies, en la superficie interna 111 de la placa de distribución de los gases amovible 110, de las boquillas de distribución de los gases 113 puede presentar un porcentaje de la superficie interna comprendido entre el 1 % y el 20 %. Pudiendo representar cada una de las boquillas de distribución de los gases 113 una superficie comprendida entre 10⁻² mm² y 30 mm².

Alternativamente, la superficie ocupada por las boquillas de distribución de los gases 113 situadas en una parte central 114 de la placa de distribución de los gases amovible 110 presenta un porcentaje de la superficie interna 111 de la placa de distribución de los gases amovible 110 comprendido entre el 20 % y el 50 %, mientras que la superficie ocupada por las boquillas de distribución de los gases 113 situadas en una parte periférica 115 de la placa de distribución de los gases amovible 110 presenta un porcentaje de la superficie interna 111 de la placa de distribución de los gases amovible 110 comprendido entre el 50 % y el 20 %.

Boquillas pequeñas son ventajosas para proporcionar corrientes de gases a alta velocidad dirigida. Sin embargo, tales boquillas pueden taponarse más fácilmente, llevando consigo una perturbación en el caudal de gas y, con ello, una perturbación de la deposición uniforme de una película de diamante sobre una superficie relativamente importante. En este punto, dado que la placa de distribución de los gases amovible es amovible, puede comprender boquillas de

5 pequeño diámetro y, en caso de taponamiento, esta placa podrá sustituirse rápidamente y con un menor coste. De este modo, de manera particular, la placa de distribución de los gases amovible 110 puede comprender boquillas de distribución de los gases 113 con un diámetro inferior a 8 mm, preferentemente inferior a 5,5 mm, de manera más preferida, inferior a 3 mm. Además, la placa de distribución de los gases amovible 110 según la invención puede estar compuesta por una placa porosa, tal como cerámica porosa.

A diferencia de los sistemas de distribución de gases convencionales, el módulo de distribución de gases según la invención permite hacer variar con facilidad la densidad de boquillas y proporcionar una red modulable de boquillas de distribución de gases 113.

10 De este modo, por ejemplo, la placa de distribución de los gases amovible 110 comprende una densidad de boquillas de distribución de gases 113 de al menos 0,1 boquillas/cm².

La densidad de las boquillas de distribución de gases 113 se mide dividiendo el número de boquillas presentes sobre la placa de distribución de gases 110 por la superficie expresada en cm² de la placa de distribución de los gases amovible 110 que hace frente a la cavidad resonante 41.

15 La red puede comprender una densidad de boquillas de entrada de gases muy superior a 0,1 boquillas/cm². En efecto, se ha comprobado que proporcionar una densidad relativamente elevada de boquillas permite la formación de una película de diamante uniforme sobre una superficie relativamente importante. De este modo, en un reactor modular según la invención configurado para opera con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, preferentemente, la placa de distribución de gases amovible 110 comprende boquillas de distribución de gases 113 en una densidad comprendida entre 0,2 y 4 boquillas por cm².

20 Con tal densidad de boquillas de distribución de gases 113, la placa de distribución de gases amovible 110 puede comprender al menos 10 boquillas, por ejemplo, al menos 30 boquillas, preferentemente, al menos 50 boquillas, de manera preferida, al menos 100 boquillas, de manera más preferida, al menos 200 boquillas y, aún más preferentemente, al menos 500 boquillas de distribución de gases 113. En particular, la parte central 114 puede comprender una densidad más acusada de boquillas de distribución de gases 113.

25 La parte central 114 puede adoptar varias formas, tales como un círculo, un cuadrado, un rectángulo o una elipse. Preferentemente, la forma de la parte central 114 es sensiblemente idéntica a la forma del soporte de crecimiento 51.

30 Del mismo modo que para el diámetro de las boquillas, la densidad de las boquillas en el seno de una misma placa de distribución de los gases amovible 110 puede variar. Por ejemplo, el espaciado de las boquillas puede aumentar con el radio, de manera tal que la densidad de las boquillas disminuya hacia el borde exterior de la matriz. Es posible tener una red aleatoria de boquillas que proporcione una cierta densidad media razonablemente uniforme de las boquillas para efectuar un rendimiento adecuado y lograr algunas de las ventajas de esta invención.

35 Las orientaciones de las boquillas de distribución de gases 113 pueden ser idénticas para todas las boquillas en el seno de la placa de distribución de gases amovible 110, o bien estas también pueden variar en el seno de una misma placa. Las orientaciones de las boquillas de distribución de gases 113 son preferiblemente sensiblemente paralelas al eje central de la cavidad resonante 41. Las boquillas de distribución de los gases 113 pueden estar orientadas al objeto de que la corriente de gases forme un ángulo sensiblemente ortogonal con el soporte de crecimiento 51.

Las boquillas de distribución de los gases 113 pueden estar orientadas al objeto de que la corriente de gases forme un ángulo con el soporte de crecimiento 51 comprendido entre 60° y 120°.

40 Las orientaciones de las boquillas de distribución de gases 113 pueden ser variables en función de su posición en el seno de la placa de distribución de los gases amovible 110. Pueden estar orientadas hacia el interior o hacia el exterior. Puede ser ventajoso orientar algunas de las boquillas de distribución de gases 113 hacia el interior en una configuración convergente, a fin de formar una película de diamante más uniforme o cuando se utiliza un sustrato no plano. En efecto, la orientación particular de las boquillas puede permitir modificar la distribución espacial de ciertas especies dentro del plasma, lo cual puede ser ventajoso para el crecimiento sobre un sustrato no plano. Esto es asimismo de aplicación para una orientación divergente.

45 De este modo, de manera particular, las boquillas de distribución de los gases 113 situadas en una parte central 114 de la placa de distribución de los gases amovible 110 están orientadas al objeto de que la corriente de gases forme un ángulo con el soporte de crecimiento 51 comprendido entre 80° y 100°, mientras que las boquillas de distribución de gases 113 situadas en una parte periférica 115 de la placa de distribución de los gases amovible 110 están orientadas al objeto de que la corriente de gases forme un ángulo con el soporte de crecimiento 51 comprendido entre 60° y 80° ó 100° y 120°.

50 La parte central 114 de la placa de distribución de los gases amovible 110 corresponde a una superficie que puede estar delimitada por un círculo cuyo centro está posicionado en el centro de la placa de distribución de los gases amovible 110 y cuyo diámetro es sensiblemente igual a la mitad del diámetro de la placa de distribución de gases amovible 110.

55

Los inventores han determinado una distribución óptima de los diámetros de las boquillas 113 en función de la posición i de la boquilla sobre el radio de la placa de distribución de los gases amovible 110 respecto al eje de simetría del reactor.

Esta distribución responde a la ecuación:

$$5 \quad \Phi_i = \Phi_0 + y * i$$

siendo:

Φ_i el diámetro de la boquilla numerada i ,

Φ_0 el diámetro de la boquilla central,

10 i el número de la boquilla sobre un radio de la placa de distribución de los gases amovible, partiendo la numeración del centro de la placa de distribución de los gases amovible 110 hacia sus extremos, variando i entre 0 y 60, para un reactor modular 1 configurado para operar entre 900 y 1000 MHz,

variando y entre 0,05 y 0,3, para un reactor modular 1 configurado para operar entre 900 y 1000 MHz.

Esta distribución permite obtener unas mejores prestaciones que una red que incluye boquillas de igual diámetro o de diámetro aleatorio.

15 En ciertos crecimientos, se podrán inyectar en la cavidad resonante 41 al menos tres gases diferentes. La distribución de estos gases a su entrada en la cavidad resonante 41 es importante para un crecimiento homogéneo y rápido. De este modo, de manera ventajosa, la placa de distribución de los gases amovible 110 comprende una cámara 117 determinante de una cámara de dispersión apta para favorecer la mezcla y permite el control de la distribución de los gases. La cámara 117 puede funcionar como una cámara de mezcla para mezclar los gases de la fuente antes de la inyección en la cámara de plasma. Tal mezcla antes de la inyección en la cámara de plasma permite mejorar la eficacia del gas de mezcla. Adicionalmente, esta cámara 117 permite mejorar el flujo uniforme de gases en la totalidad de la red de boquillas de gases, y ello especialmente en bajos caudales de gases.

20 De manera particular, el diámetro de una boquilla de distribución de los gases 113 sobre la cara interna no es el mismo que el diámetro de la misma boquilla sobre la cara externa de la placa de distribución de los gases amovible 110. Esto presenta la ventaja de modificar con facilidad las características de flujo del gas.

25 El módulo de distribución de los gases 100 está unido a unas botellas de gas posicionadas en el exterior del reactor. Una parte del módulo de distribución de los gases 100 está situada preferentemente por encima de la cavidad resonante 41 y en la proximidad del módulo de acoplamiento de las ondas 80. Por "situado en la proximidad", se debe entender que el módulo de distribución de los gases 100 comprende boquillas de distribución de los gases 113 para la inyección de los gases en la cavidad resonante 41 situadas a menos de 15 cm, preferentemente a menos de 10 cm, de manera más preferida a menos de 5 cm de la ventana dieléctrica 82.

30 El módulo de distribución de los gases 100 permite llevar a la práctica un procedimiento en el que los gases son inyectados hacia el soporte de crecimiento 51 a un caudal total de gases de al menos 500 cm³ por minuto. El módulo de distribución de gases puede permitir asimismo la inyección de dopante en la cavidad resonante 41. De este modo, el módulo de distribución de los gases 100 puede permitir llevar a la práctica un procedimiento en el que los gases comprenden al menos un dopante a una concentración igual o superior a 0,01 ppm.

35 En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, el caudal de gases inyectado en la cavidad resonante 41 por el sistema de llegada de los gases 10 puede ser de al menos 500 cm³ por minuto, preferentemente de al menos 1000 cm³ por minuto, de manera más preferida de al menos 5000 cm³ por minuto.

40 El módulo de distribución de gases preferentemente se halla próximo a un sistema de refrigeración, como por ejemplo el de la parte central de la guía de ondas.

45 Adicionalmente, tal como se presenta en la figura 9, el dispositivo de soporte 120 puede comprender al menos un canal 121 apto para hacer circular un fluido (p. ej., un gas o un líquido) por dicho dispositivo de soporte 120. Esto permite una refrigeración por drenaje térmico de la placa de distribución de los gases amovible 110. Asimismo, el dispositivo de soporte 120 puede comprender una superficie de contacto 122 adaptada para recibir la placa de distribución de los gases amovible 110.

50 El dispositivo de soporte 120 puede contener uno o varios canales 121. Por ejemplo, el dispositivo de soporte 120 comprende un canal transversal posicionado en correspondencia con la ubicación destinada a albergar la placa de distribución de los gases amovible 110. El dispositivo de soporte 120 puede comprender varios canales 121 que permitan, a idéntico caudal, una refrigeración más homogénea.

El o los canales 121 se hallan dispuestos preferentemente en la proximidad de la superficie de contacto 122. Por

“proximidad”, se debe entender, a efectos de la invención, a menos de 5 cm, preferentemente a menos de 3 cm, de manera más preferida a menos de 1 cm.

5 La superficie de contacto 122 del dispositivo de soporte 120 presenta preferentemente una superficie superior o igual al 10 % de la superficie del dispositivo de soporte 120, al objeto de permitir una suficiente transferencia térmica. En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, la superficie de contacto 122 del dispositivo de soporte 120 presenta preferentemente una superficie superior a 50 cm², al objeto de permitir una suficiente transferencia térmica. La superficie de contacto 122 del dispositivo de soporte 120 presenta, de manera más preferida, una superficie superior a 60 cm² y, aún más preferentemente, superior a 70 cm².

10 De manera ventajosa, la placa de distribución de los gases amovible 110 incluye al menos una parte extrema 116 que no comprende boquillas de distribución de los gases 113, y esta parte extrema 116 es apta para estar en contacto con el dispositivo de soporte 120 en una superficie superior a 50 cm², al objeto de mejorar la transferencia térmica. De manera preferida, la parte extrema 116 que no comprende boquillas de distribución de los gases 113 es apta para estar en contacto con el dispositivo de soporte 120 en una superficie superior a 60 cm² y, aún más preferentemente, en una superficie superior a 70 cm².

Tal como se presenta en la figura 10A, la parte extrema 116 puede consistir en el dintorno de la placa de distribución de los gases amovible 110. Como alternativa y como se presenta en la figura 10B, la parte extrema 116 puede adoptar diferentes formas, al objeto de mejorar la transferencia térmica.

20 Tal como se presenta en la figura 11, de manera ventajosa, el módulo de distribución de los gases 100 incluye un órgano de drenaje térmico 130 posicionado por encima de la placa de distribución de los gases amovible 110 y del dispositivo de soporte 120. El órgano de drenaje térmico 130 puede presentar una superficie de adquisición del calor 131 en contacto con la placa de distribución de los gases amovible 110 que represente más del 10 %, preferentemente más del 20 % de la superficie de la placa de distribución de los gases amovible 110, y una superficie de distribución del calor 132 en contacto con el dispositivo de soporte 120 que represente más del 10 %, preferentemente más del 20 % de la superficie del dispositivo 120. En un reactor modular según la invención configurado para operar con microondas cuya frecuencia está comprendida entre 900 MHz y 1000 MHz, el órgano de drenaje térmico 130 puede presentar una superficie de adquisición del calor 131 en contacto con la placa de distribución de los gases amovible 110 superior a 20 cm², de manera preferida superior a 40 cm², aún más preferentemente superior a 60 cm², y una superficie de distribución del calor 132 en contacto con el dispositivo de soporte 120 superior a 10 cm², de manera preferida superior a 20 cm², aún más preferentemente superior a 50 cm².

Adicionalmente, el módulo de distribución de los gases 100 puede incluir un órgano de sujeción 140 configurado para fijar la placa de distribución de los gases amovible 110 al dispositivo de soporte 120. Este órgano de sujeción 140 puede comprender, por ejemplo, un muelle, un mecanismo de clips, un gancho, una corredera, un rebaje, una lengüeta, tornillos o un tetón. De manera preferida, este órgano de sujeción 140 puede estar configurado al objeto de compensar las diferencias de dilatación entre el dispositivo soporte 120 y el sistema amovible. De manera preferida, este órgano de sujeción 140 posee propiedades de elasticidad y está configurado para ubicarse en la intercara entre el dispositivo soporte 120 y la placa de distribución de los gases amovible 110.

La placa de distribución de los gases amovible 110 preferentemente está constituida a partir de aluminio, de una aleación de aluminio o de cobre, de manera más preferida, la placa de distribución de los gases amovible 110 está constituida a partir de cobre.

El dispositivo de soporte 120 preferentemente está constituido a partir de aluminio, de una aleación de aluminio o de cobre, de manera más preferida, el dispositivo de soporte 120 está constituido a partir de cobre.

El órgano de drenaje térmico 130 preferentemente está constituido a partir de aluminio, de una aleación de aluminio o de cobre, de manera más preferida, el órgano de drenaje térmico 130 está constituido a partir de cobre.

45 De acuerdo con otro aspecto, la invención recae sobre un procedimiento de síntesis de diamante que lleva a la práctica el reactor modular según la invención.

El procedimiento de síntesis 800 según la invención preferentemente lleva a la práctica el reactor modular 1 según la invención. Este queda presentado en la figura 12. El procedimiento de síntesis 800 incluye una etapa 810 consistente en colocar el o los sustratos sobre el soporte de crecimiento 51 del reactor modular 1 según la invención. Por ejemplo, es posible utilizar una placa de silicio, una placa de metal (Mo, W, otro...), una placa de diamante policristalino, monocristales de diamante (naturales, procedentes de un procedimiento de alta presión - alta temperatura (HPHT), procedentes de un procedimiento CVD (chemical vapor deposition) que utiliza o no la invención del reactor modular, o bien, también, monocristales de otros materiales (metales u otro...). La síntesis del diamante se efectúa preferentemente sobre un sustrato de diamante monocristalino. De este modo, el procedimiento de síntesis de diamante según la invención incluye preferentemente un crecimiento homoepitáxico. El sustrato monocristalino puede presentar diferentes formas y dimensiones. Por ejemplo, puede presentar una forma de cilindro, de cubo, de paralelepípedo u otra. Las dimensiones pueden variar, por ejemplo, de 100 micrómetros a varios milímetros de altura, y de varios milímetros, e incluso centímetros, de diámetro o de costados.

El procedimiento de síntesis 800 según la invención puede incluir una etapa de preparación del sustrato 801. Esta etapa tiene como objetivo, por ejemplo, reducir el número de dislocaciones en la superficie de los monocristales. Una forma de realización para esta etapa se encuentra descrita, por ejemplo, en la patente FR3022563. Una etapa de preparación del o de los sustratos 801 se puede realizar antes de la colocación del o de los sustratos dentro del reactor 1, pero también después.

El procedimiento de síntesis 800 según la invención incluye una etapa de puesta en funcionamiento 820 del reactor modular 1. Esta etapa tiene como objetivo:

- generar una presión comprendida entre 0,2 hPa y 500 hPa en el seno de la cavidad resonante 41,
- inyectar microondas, preferentemente en modo de transmisión TM_{011} y a una potencia comprendida, por ejemplo, entre 1 kW y 100 kW (o más), según el tipo de generador utilizado (frecuencia utilizada),
- inyectar gases, por ejemplo, a un caudal total de al menos 500 cm³ por minuto, comprendiendo los gases, por ejemplo, metano y dihidrógeno, y aditivos tales como oxígeno, nitrógeno, boro, fósforo y argón, y
- poner en funcionamiento los sistemas de refrigeración del recinto, con su sistema de gases de resistencia térmica, así como un sistema de control de refrigeración del sustrato, para controlar la temperatura de la o de las superficies de crecimiento, del sistema de inyección de los gases y del portasustrato.

Para un reactor a 915 MHz, esto permite, por ejemplo, suministrar sobre la superficie de crecimiento del sustrato una densidad de potencia por área de superficie de al menos 0,5 W/mm², preferentemente al menos 2 W/mm², y aún más preferentemente, al menos 3 W/mm² de la superficie de crecimiento del sustrato. Generalmente, la densidad de potencia es inferior a 5 W/mm² en la superficie de crecimiento del sustrato. Esta etapa permite generar un plasma por encima de la superficie de crecimiento del sustrato y permitir iniciar el crecimiento cristalino. Adicionalmente, la temperatura del sustrato se mantiene, merced a los sistemas de refrigeración, a una temperatura comprendida, por ejemplo, entre 700 °C y 1400 °C, salvo en el caso de crecimiento de diamante nano o ultra-nanocristalino. Se puede encontrar una descripción de las diferentes condiciones de crecimiento en obras de referencia (Derjaguin B. V., *Journal of Crystal growth* 31 (1975) 44-48; C. Wild et al., *Diamond and Related Materials*, 2 (1993) 158-168; Gicquel A et al. *Current Applied Physics*, vol. 1 Issue 6, (2001) 479; Achard J et al., *Journal of Crystal Growth* 284 (2005) 396-405; Butler et al., *J of physics-condensed Matter*, vol. 21, Issue 36 (2009); Silva et al., *phys. stat. sol. (a)* 203, n.º 12, (2006) 3049-3055; Widman C, J et al. *Diamond & Related Materials* 64 (2016) 1-7). La densidad de potencia por área de superficie, además, se puede variar abruptamente, por ejemplo mediante una variación de presión, para asegurar variaciones abruptas de composición o de temperatura del o de los sustratos, por ejemplo.

Para el crecimiento de diamante policristalino, el procedimiento de síntesis 800 según la invención puede incluir una etapa de coalescencia de los cristales 830. Esta etapa sigue a la etapa de nucleación del diamante en la superficie del sustrato (creación de gérmenes estables en la superficie de un material no diamante). En esta etapa, cuando el reactor modular 1 incluye una bandeja 900 y/o un módulo de portasustrato 500, el procedimiento puede comprender una subetapa de modificación de la altura 831 de la superficie 910 de la bandeja 900 y/o una subetapa 832 del soporte de crecimiento 51. Estas modificaciones de altura, posibilitadas por la modularidad del reactor según la invención, permiten optimizar los parámetros de germinación, coalescencia y de crecimiento, a saber, la temperatura del sustrato y/o la densidad de potencia por área de superficie en correspondencia con la superficie de crecimiento del sustrato y/o la incorporación reforzada o disminuida de dopantes. Por ejemplo, en esta etapa, el soporte de crecimiento 51 queda posicionado por encima de la superficie 910 de la bandeja 900.

Este modo de actuación puede ser utilizado asimismo para el crecimiento de diamante monocristalino.

El procedimiento de síntesis 800 según la invención incluye una etapa de crecimiento 840 (engrosamiento/ensanchamiento) de la película de diamante. Para películas policristalinas, esta etapa tiene lugar después de la coalescencia de los cristales y la formación de una película cristalina. Tiene como objetivo el engrosamiento de la película cristalina y el mejoramiento de su calidad cristalina. En esta etapa, cuando el reactor modular 1 incluye una bandeja 900 y/o un módulo de portasustrato 500, el procedimiento puede comprender una subetapa de modificación de la altura 841 de la superficie 910 de la bandeja 900 y/o 842 del soporte de crecimiento 51. De acuerdo con la invención, merced a la modularidad del reactor, puede aplicarse igualmente una subetapa de modificación abrupta de la temperatura del sustrato y/o de la composición de los gases reactivos, como también de las variables de presión y potencia. Las modificaciones de altura y/o de condiciones de crecimiento permiten optimizar los parámetros de crecimiento, a saber, la temperatura del sustrato y/o la densidad de potencia en correspondencia con la superficie de crecimiento del sustrato y/o la incorporación en multicapa de dopantes. Por ejemplo, en una subetapa 843, el soporte de crecimiento 51 se podría posicionar incluso por debajo de la superficie 910 de la bandeja 900. Este último ejemplo se podría utilizar, mediante una elección cabal de las demás condiciones de funcionamiento, para "pre-desprender" la película policristalina de la superficie no diamante sobre la cual ha nacido la película. Se podría entonces llevar a efecto nuevamente una etapa suplementaria de reanudación de crecimiento 844 (soporte de crecimiento 51 por encima de la superficie 910 de la bandeja 900) para ensanchar todavía más la capa, asegurándose de un buen dominio de las condiciones de crecimiento. Esto es un ejemplo que lleva a la práctica la modularidad de la invención.

Las diferentes modularidades del reactor pueden ser utilizadas asimismo para el engrosamiento de monocristales de diamante.

5 Adicionalmente, cuando el reactor modular 1 según la invención incluye un módulo de distribución de los gases 100, el procedimiento de síntesis de diamante 800 puede comprender una etapa previa de selección y de posicionamiento de una placa de distribución de los gases amovible 110 en función de las características de las capas de diamante que interesen. Por añadidura, durante el crecimiento, la corriente y la composición de los gases pueden variar.

10 Cuando el reactor modular 1 según la invención incluye una corona 450, el procedimiento de síntesis de diamante 800 puede comprender una etapa previa de elección de las dimensiones de la corona 450 en función de las características de las capas de diamante que interesen y de posicionamiento de la corona 450 entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41.

15 Cuando el reactor modular 1 según la invención incluye un módulo de control de la refrigeración de sustrato 300, el procedimiento de síntesis de diamante 800 puede comprender una etapa previa de selección y de posicionamiento de un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 en función de las características de las capas de diamante que interesen.

20 La puesta en práctica del procedimiento según la invención permite la obtención de capas de diamante que dan respuesta a las aplicaciones industriales que interesen en una línea de optimización de los costes y de reducción del tiempo. Por ejemplo, puede permitir la fabricación de capas de diamante de una calidad superior con condiciones de crecimiento optimizadas en cuanto a tiempo y a coste. De este modo, de acuerdo con otro aspecto, la invención recae sobre capas de diamante obtenidas a partir de la puesta en práctica de los reactores modulares 1 según la invención y, más en particular, a partir del procedimiento 800 según la invención.

De acuerdo con otro aspecto, la invención recae sobre algunos de los módulos que pueden ser integrados en el reactor modular 1 según la invención.

25 De este modo, la invención recae sobre un módulo de portasustrato 500, dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, en contacto con un cuarto de onda 501 y que incluye al menos un sistema de refrigeración fluida 520. Este módulo de portasustrato 500 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1. Estas características opcionales incluyen, por ejemplo, un sistema de aislamiento eléctrico del portasustrato (p. ej., un elemento de PTFE u otro aislante eléctrico).

30 Asimismo, la invención recae sobre una bandeja 900 que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de una cavidad resonante 41, incluye aberturas pasantes 911 que permiten el paso de los gases. Esta bandeja 900 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1.

35 Asimismo, la invención recae sobre una corona 450 apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto 430 y una segunda parte de recinto 440, al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante 41. Esta corona 450 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1. Adicionalmente, esta corona 450 puede comprender un sistema de juntas 460.

40 Asimismo, la invención recae sobre un módulo de distribución de los gases 100, que incluye una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112, aptos para conducir una corriente de gases, y un dispositivo soporte 120 apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible 110. Este módulo de distribución de los gases 100 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1.

45 Asimismo, la invención recae sobre una placa de distribución de los gases amovible 110 que comprende una superficie interna 111, una superficie externa 112 y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases 113 determinantes de canales entre dichas superficies 111, 112 aptos para conducir una corriente de gases. Esta placa de distribución de los gases amovible 110 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1.

50 Asimismo, la invención recae sobre un módulo de control de la refrigeración de sustrato 300, que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330, dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible 330 comprende una o varias entradas de gases de resistencia térmica 333 y una o varias salidas de gases de resistencia térmica 331. Este módulo de control de la refrigeración de sustrato 300 puede presentar todas las características opcionales y/o ventajosas antes descritas en el ámbito del reactor modular 1. La invención queda definida por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Reactor modular de deposición asistida por plasma de microondas (1) para la fabricación de diamante de síntesis, comprendiendo dicho reactor:

- 5 - un generador de microondas (70) configurado para generar microondas cuya frecuencia está comprendida entre 300 MHz y 3000 MHz,
- una cavidad resonante (41) determinada, al menos en parte, por las paredes internas cilíndricas (420) de un recinto (400) del reactor,
- un sistema de llegada de los gases (10) apto para aportar gases en el seno de la cavidad resonante (41),
- un módulo de salida de los gases (60) apto para retirar dichos gases de la cavidad resonante (41),
- 10 - un módulo de acoplamiento de las ondas (80) apto para transferir las microondas desde el generador de microondas (70) hasta la cavidad resonante (41), al objeto de permitir la formación de un plasma, y
- un soporte de crecimiento (51) presente dentro de la cavidad resonante (41),

comprendiendo dicho reactor modular al menos tres elementos de modulación, estando dichos elementos de modulación seleccionados de entre:

- 15 - una corona (450) apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto (430) y una segunda parte de recinto (440), al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante (41), y un sistema de juntas (460) que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona (450) y, respectivamente, la primera parte de recinto (430) y la segunda parte (440) del recinto (400);
- 20 - un módulo de portasustrato (500) y un cuarto de onda (501), estando dicho módulo de portasustrato dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, estando en contacto con el cuarto de onda (501) e incluyendo al menos un sistema de refrigeración fluida (520);
- una bandeja (900) que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante (41), incluye aberturas pasantes (911) que permiten el paso de los gases;
- 25 - un módulo de distribución de los gases (100), que incluye:
 - o una placa de distribución de los gases amovible (110) que comprende una superficie interna (111), una superficie externa (112) y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases (113) determinantes de canales entre dichas superficies (111, 112) aptos para conducir una corriente de gases, y
 - 30 o un dispositivo de soporte (120) unido a un sistema de refrigeración y apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible (110); y
- un módulo de control de la refrigeración del sustrato (300), que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330), comprendiendo dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330) una o varias entradas de gases de resistencia térmica (333) y una o varias salidas de gases de resistencia térmica (331).
- 35

2. Reactor según la reivindicación 1, caracterizado por comprender al menos cuatro elementos de modulación, estando dichos elementos de modulación seleccionados de entre:

- 40 - una corona (450) apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto (430) y una segunda parte de recinto (440), al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante (41), y un sistema de juntas (460) que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona (450) y, respectivamente, la primera parte de recinto (430) y la segunda parte (440) del recinto (400);
- un módulo de portasustrato (500) y un cuarto de onda (501), estando dicho módulo de portasustrato dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, estando en contacto con el cuarto de onda (501) e incluyendo al menos un sistema de refrigeración fluida (520);
- 45 - una bandeja (900) que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante (41), incluye aberturas pasantes (911) que permiten el paso de los gases;
- un módulo de distribución de los gases (100), que incluye
 - o una placa de distribución de los gases amovible (110) que comprende una superficie interna (111),

- una superficie externa (112) y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases (113) determinantes de canales entre dichas superficies (111, 112) aptos para conducir una corriente de gases, y
- 5 ○ un dispositivo de soporte (120) unido a un sistema de refrigeración y apto para albergar una placa de distribución de los gases amovible (110); y
- un módulo de control de la refrigeración del sustrato (300), que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330), comprendiendo dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330) una o varias entradas de gases de resistencia térmica (333) y una o varias salidas de gases de resistencia térmica (331).
- 10 3. Reactor según una de las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado por comprender al menos una corona (450) apta para ser posicionada entre una primera parte de recinto (430) y una segunda parte de recinto (440), al objeto de modificar la forma y/o el volumen de la cavidad resonante (41), y un sistema de juntas (460) que, permitiendo la estanqueidad desde el punto de vista del vacío y la continuidad eléctrica de las paredes del recinto, está dispuesto entre la corona (450) y, respectivamente, la primera parte de recinto (430) y la segunda parte (440) del recinto (400).
- 15 4. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por comprender dos coronas (450).
5. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que la o las coronas (450) presentan una altura comprendida entre 1 cm y 20 cm.
6. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado por que la o las coronas (450) incluyen un material dieléctrico, un sistema de inyección de gases o están constituidas a partir de metal con un diámetro interno inferior al diámetro interno de la cavidad resonante (41).
- 20 7. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por comprender un módulo de portasustrato (500) y un cuarto de onda (501), estando dicho módulo de portasustrato dotado de movimiento de traslación vertical y giratorio, estando en contacto con el cuarto de onda (501) e incluyendo al menos un sistema de refrigeración fluida (520).
8. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que el módulo de portasustrato (500) está aislado eléctricamente del recinto (400) y/o de la bandeja (900).
- 25 9. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por comprender una bandeja (900) que, dotada de movimiento de traslación vertical, al objeto de modificar la forma y el volumen de la cavidad resonante (41), incluye aberturas pasantes (911) que permiten el paso de los gases.
10. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la bandeja (900) incluye al menos un canal de refrigeración (930) unido a un sistema de refrigeración (940) y apto para refrigerar dicha bandeja (900).
- 30 11. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por comprender un módulo de distribución de los gases (100), que incluye:
- 35 - una placa de distribución de los gases amovible (110) que comprende una superficie interna (111), una superficie externa (112) y una pluralidad de boquillas de distribución de los gases (113) determinantes de canales entre dichas superficies (111, 112) aptos para conducir una corriente de gases, y
- un dispositivo de soporte (120) unido a un sistema de refrigeración y apto para albergar la placa de distribución de los gases amovible (110).
12. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que el dispositivo de soporte (120) comprende canales (121) aptos para hacer circular un gas o un líquido por dicho dispositivo de soporte (120).
- 40 13. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que la placa de distribución de los gases amovible (110) incluye al menos una parte extrema (116) que no comprende boquillas de distribución (113) y que es apta para estar en contacto con el dispositivo de soporte (120) en una superficie superior o igual al 10 % de la superficie de la placa de distribución de los gases amovible (110), al objeto de mejorar la transferencia térmica.
- 45 14. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 13, caracterizado por comprender un módulo de control de la refrigeración del sustrato (300), que incluye un dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330), comprendiendo dicho dispositivo de inyección de gases de resistencia térmica amovible (330) una o varias entradas de gases de resistencia térmica (333) y una o varias salidas de gases de resistencia térmica (331).
- 50 15. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 14, caracterizado por que el módulo de control de la refrigeración del sustrato (300) comprende medios de posicionamiento (320) y por que el soporte de crecimiento (51), en su superficie inferior, incluye vaciados aptos para albergar los medios de posicionamiento (320).
16. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 15, caracterizado por que el módulo de control de la refrigeración

del sustrato (300) comprende medios de posicionamiento (320) dotados de movimiento de traslación vertical.

17. Reactor según una de las reivindicaciones 1 a 16, caracterizado por que el medio de acoplamiento de las ondas (80) está situado en la parte superior de la primera parte (430) del recinto y al menos a 25 cm de la parte baja de la segunda parte de recinto (440).

5 18. Procedimiento de síntesis de diamante que lleva a la práctica un reactor de deposición asistida por plasma de microondas para la fabricación de diamante de síntesis, comprendiendo dicho procedimiento las siguientes etapas de:

- colocar (810) el o los sustratos sobre el soporte de crecimiento (51) del reactor modular (1) según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

10 - poner en funcionamiento (820) el reactor modular (1), comprendiendo dicha puesta en funcionamiento las siguientes etapas:

o generar una presión comprendida entre 0,2 hPa y 500 hPa en el seno de la cavidad resonante (41) funcionando en modo de transmisión TM_{011} ,

o inyectar microondas a una potencia comprendida, por ejemplo, entre 1 kW y 100 kW,

o inyectar gases, por ejemplo, a un caudal total de al menos 500 cm³ por minuto, y

15 o poner en funcionamiento unos sistemas de refrigeración del recinto, del sistema de inyección de los gases y del portasustrato, así como un sistema de control de refrigeración del sustrato, para controlar la temperatura de la o de las superficies de crecimiento, y

- realizar un crecimiento (840) de la película de diamante.

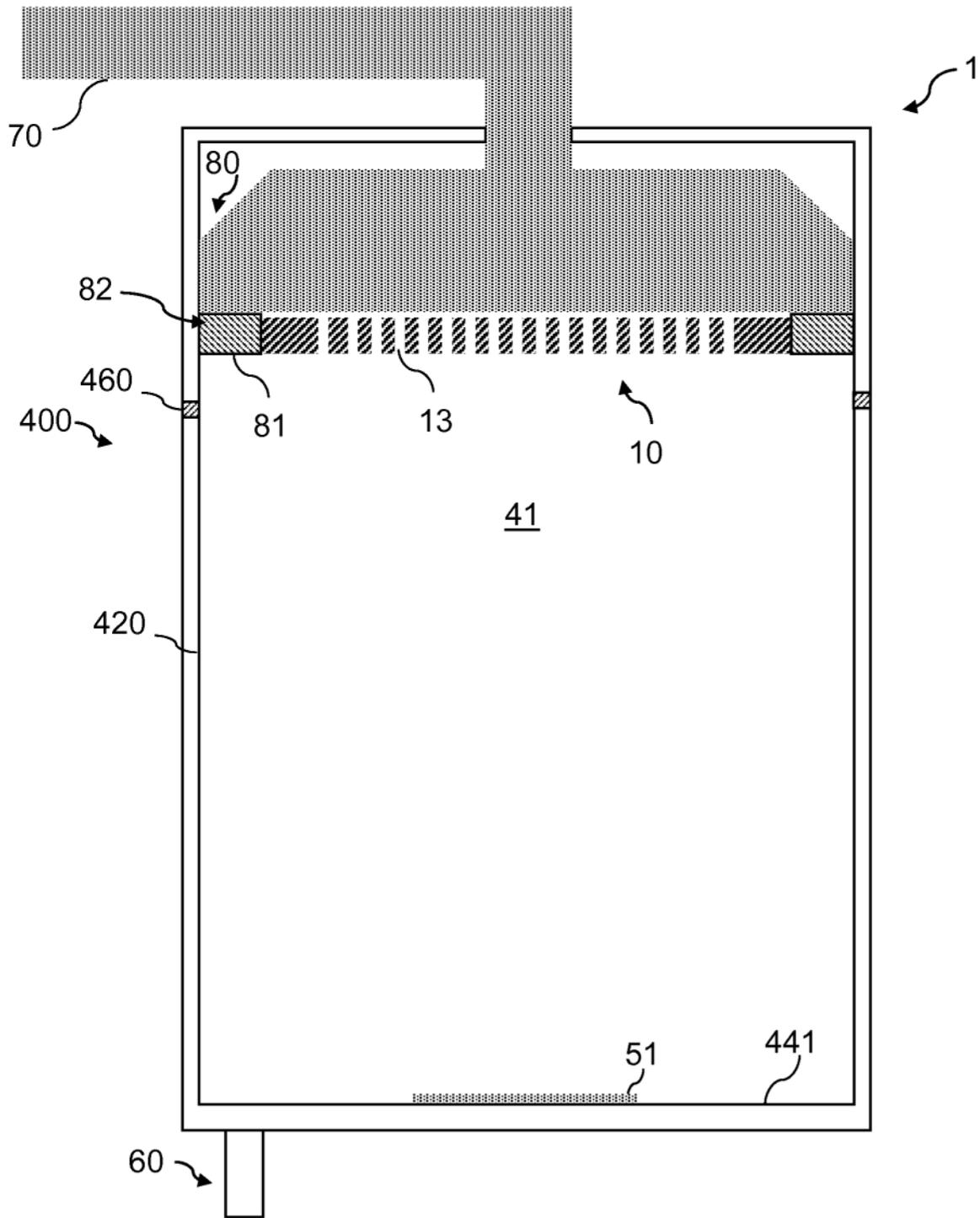


FIG.1

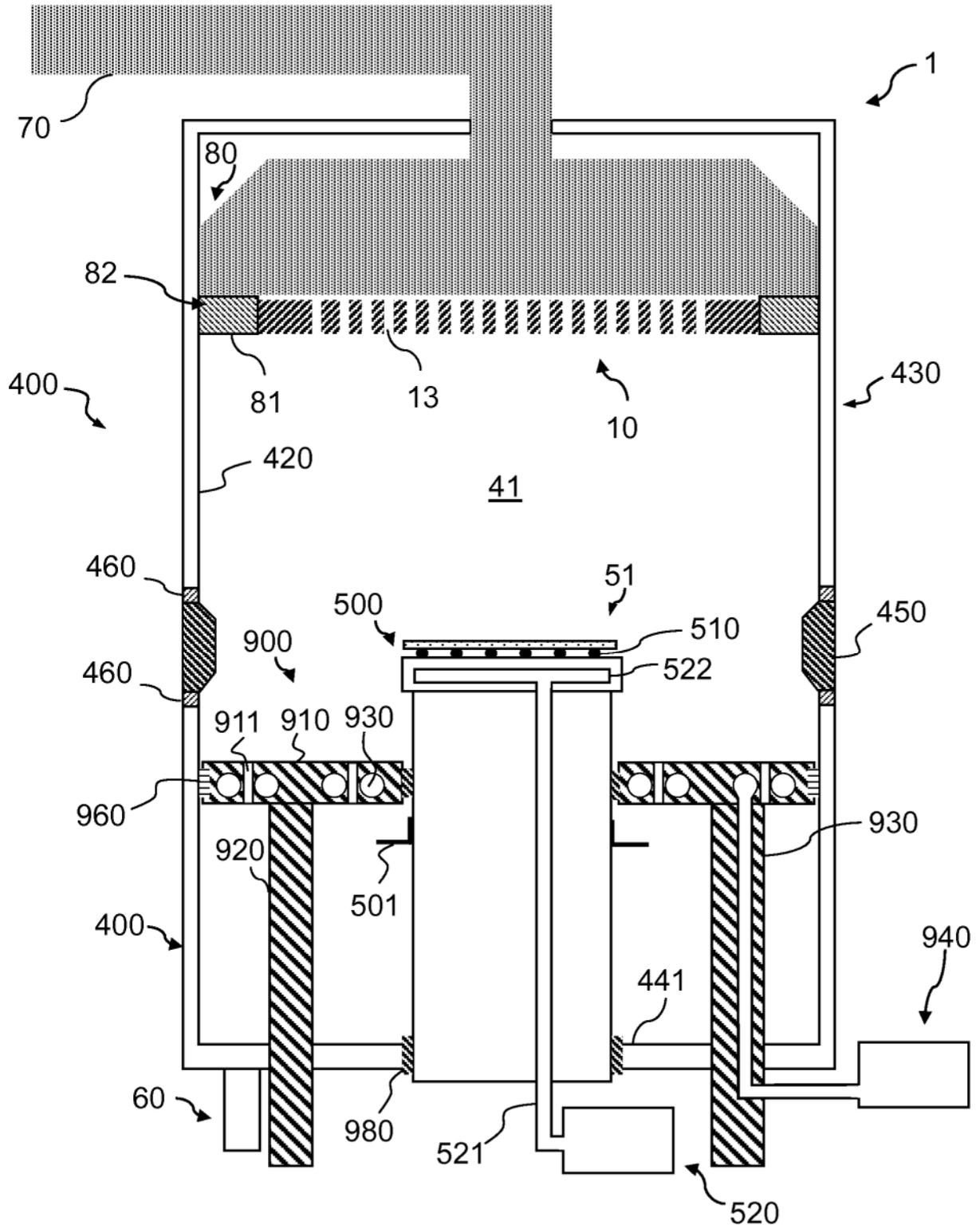


FIG.2

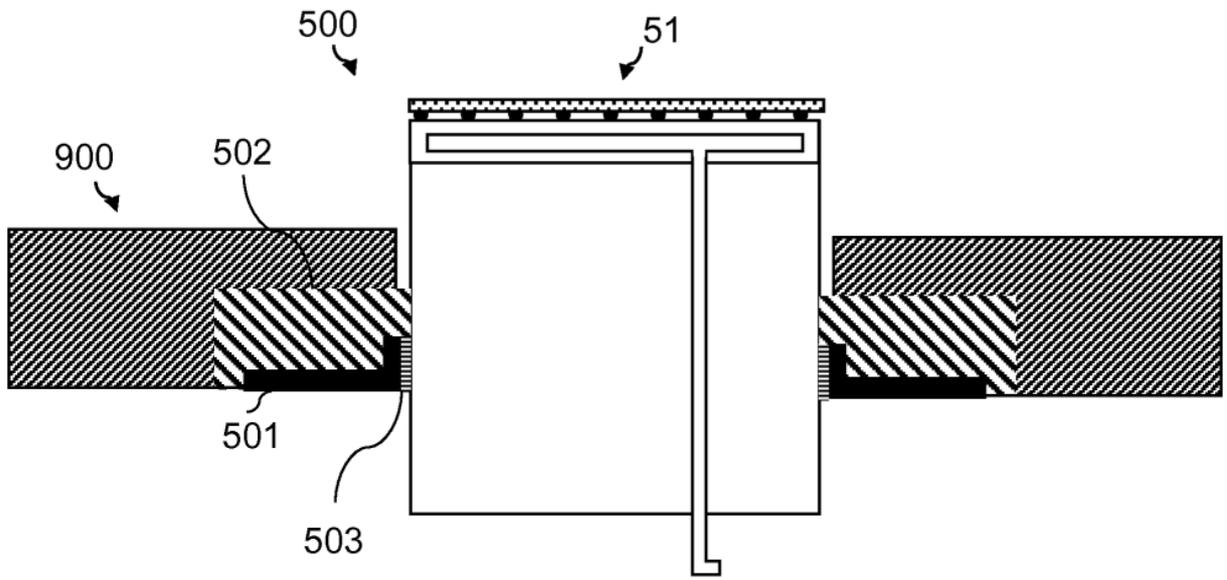


FIG.3A

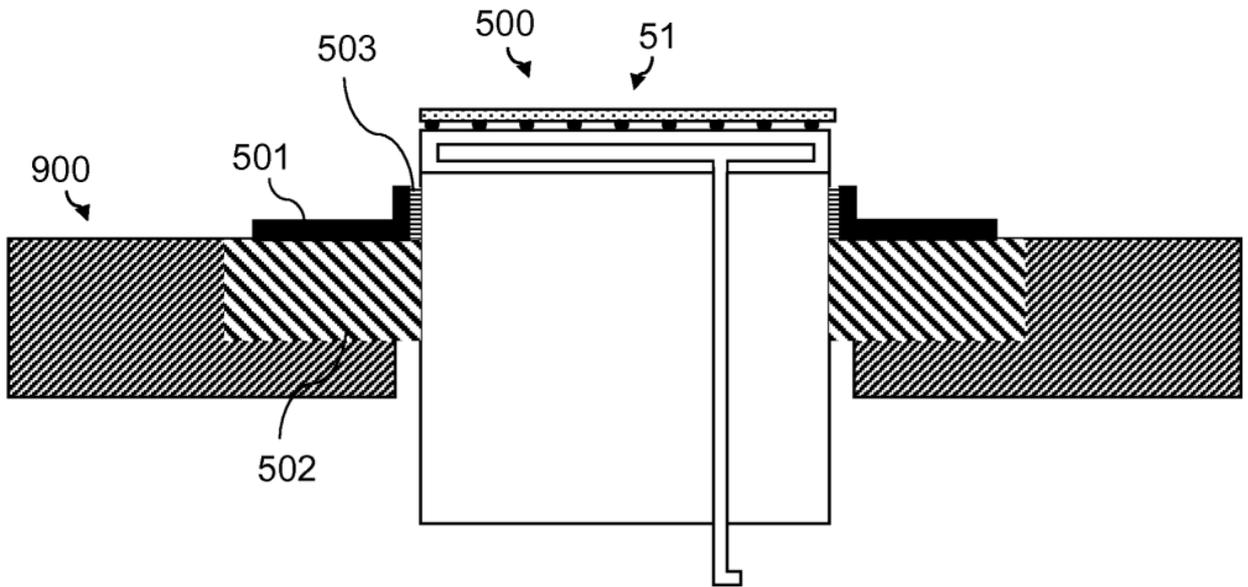


FIG.3B

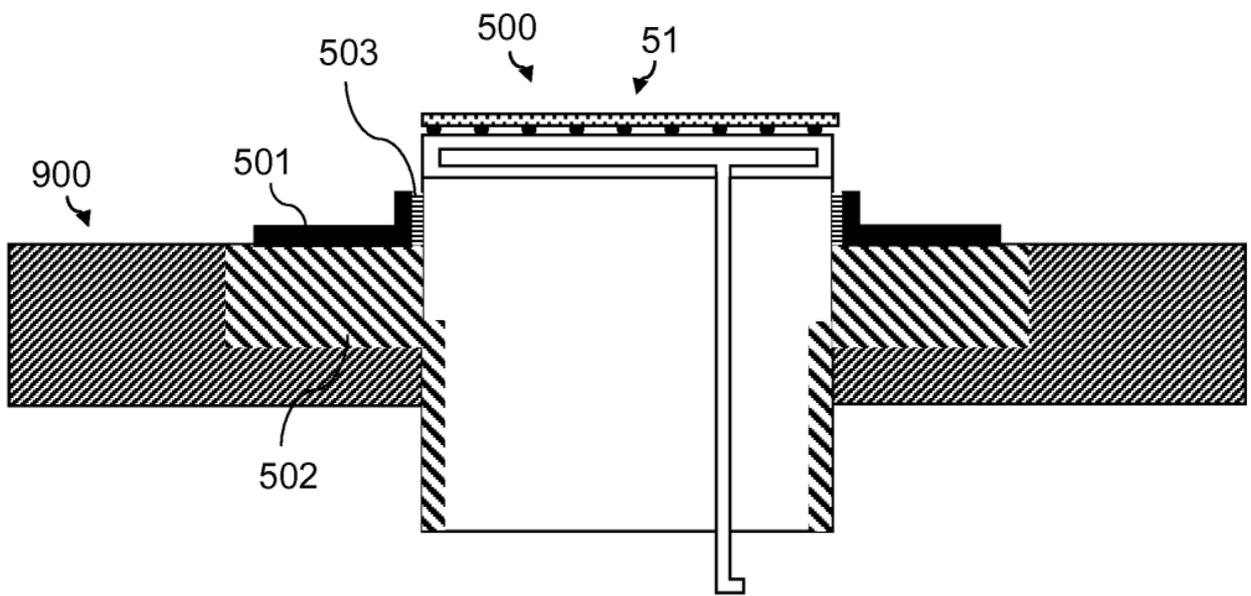


FIG.3C

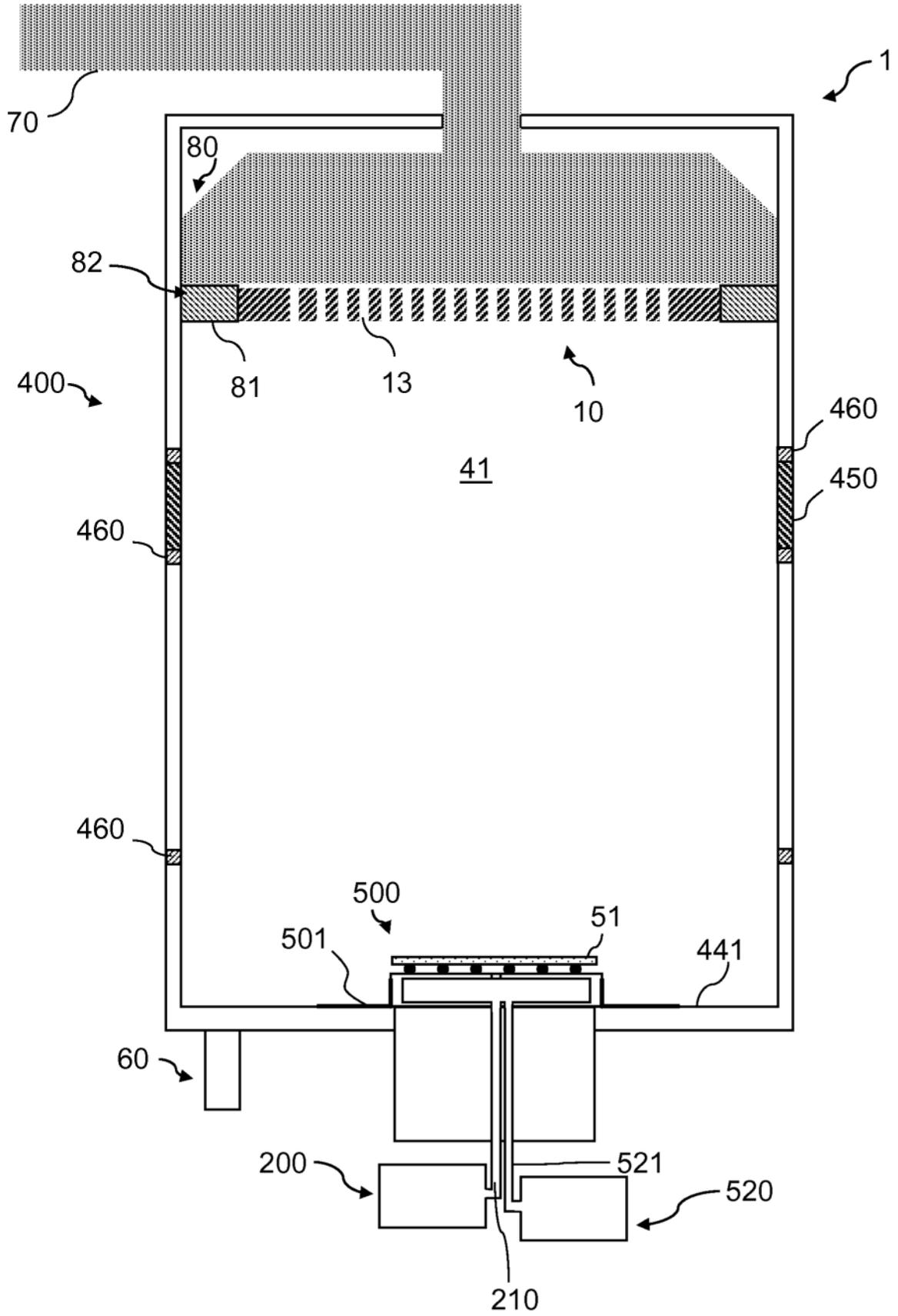


FIG.4

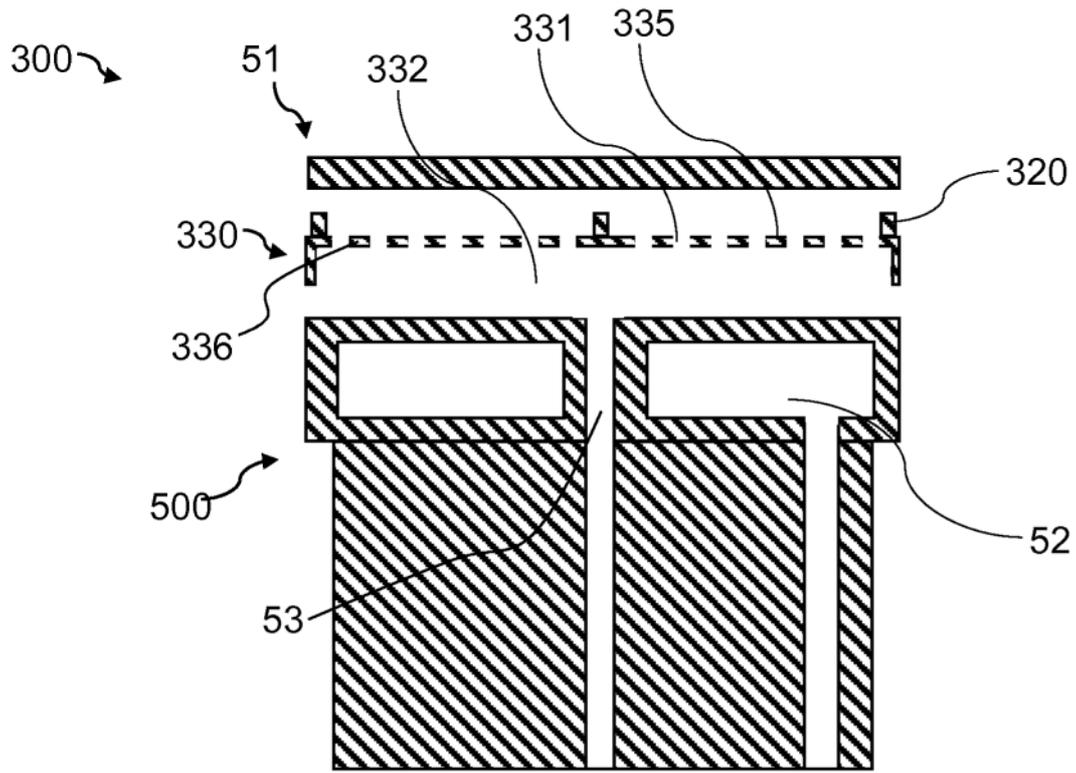


FIG.5A

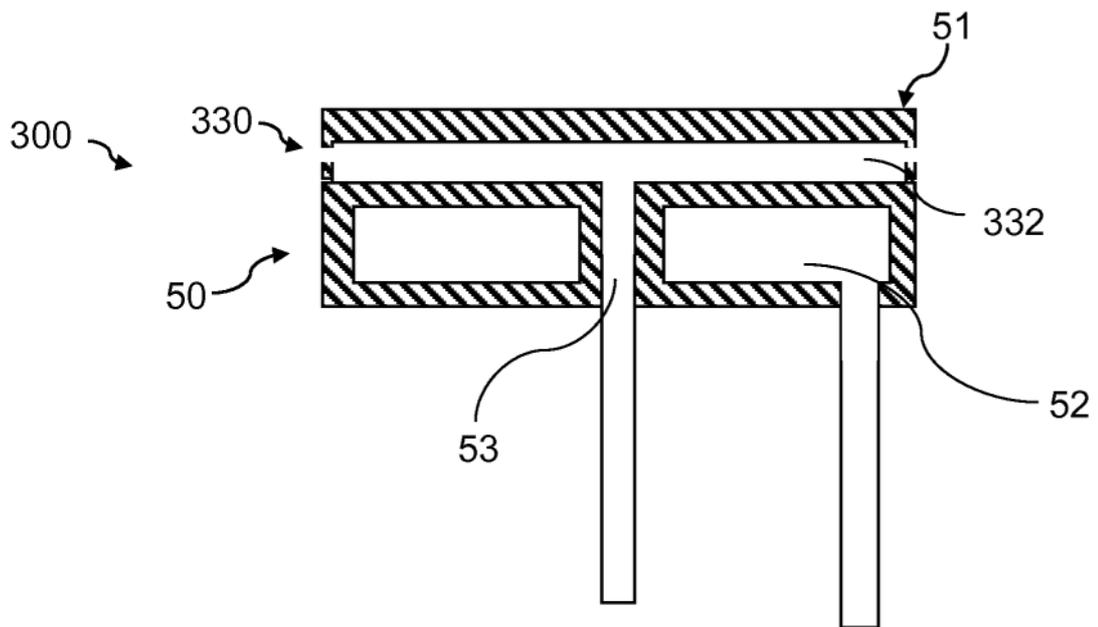


FIG.5B

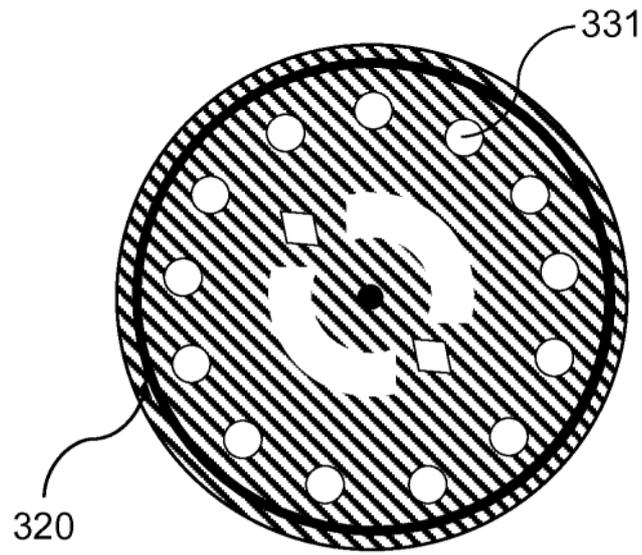


FIG. 6A

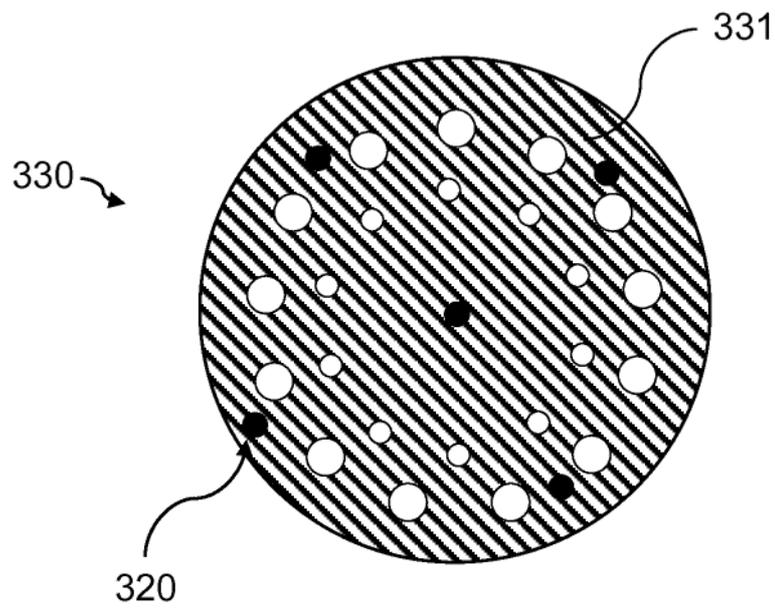


FIG. 6B

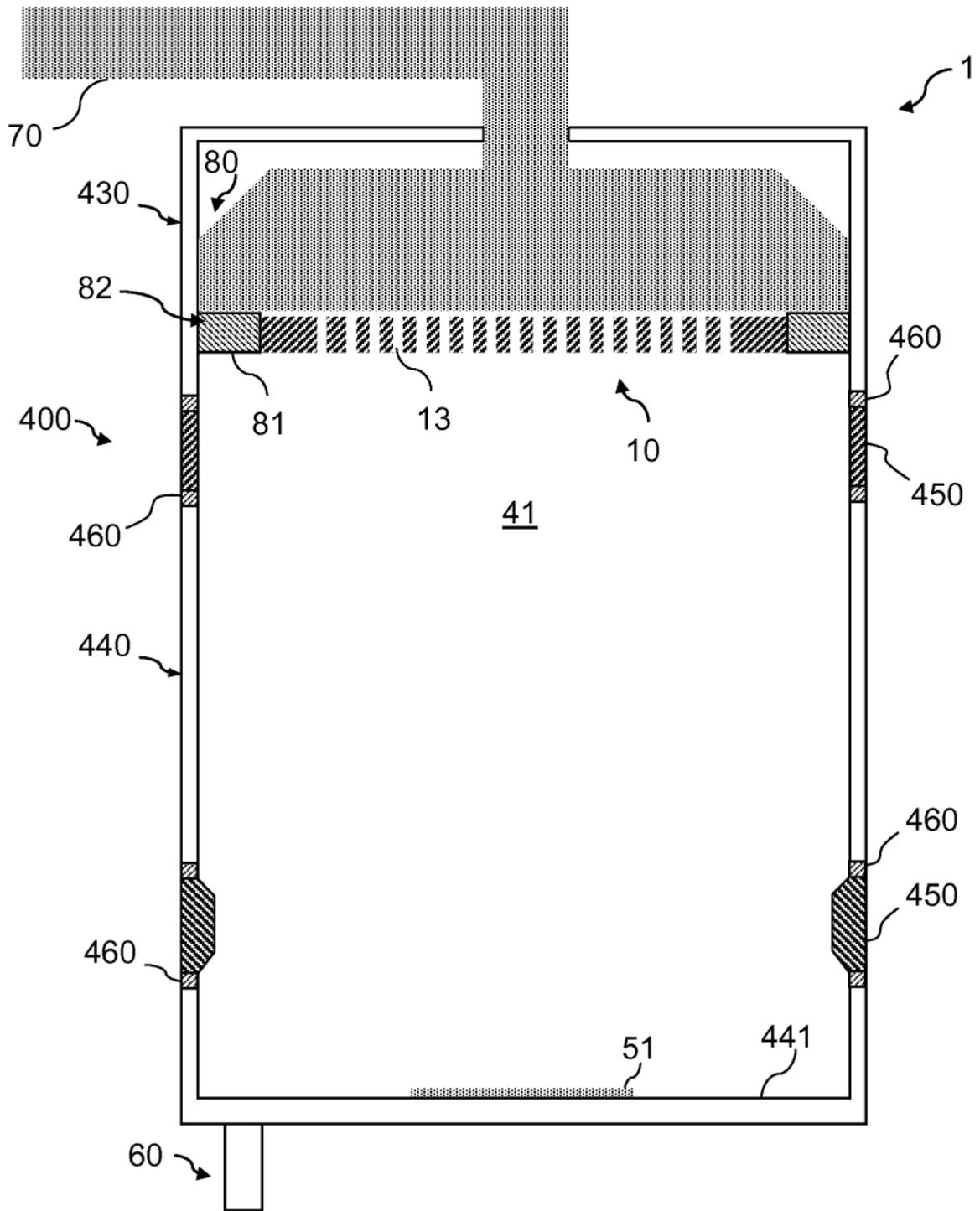


FIG.7

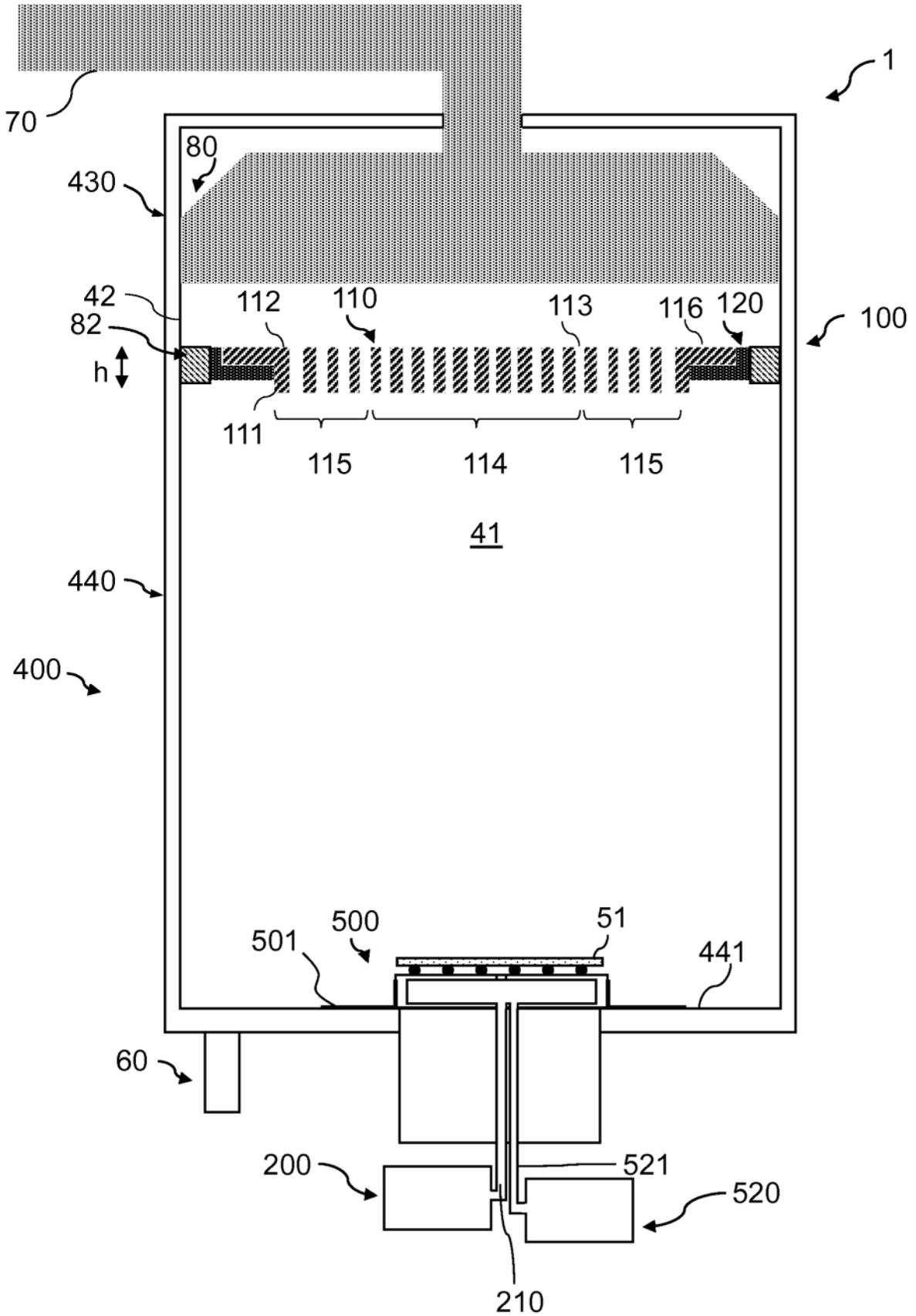


FIG. 8

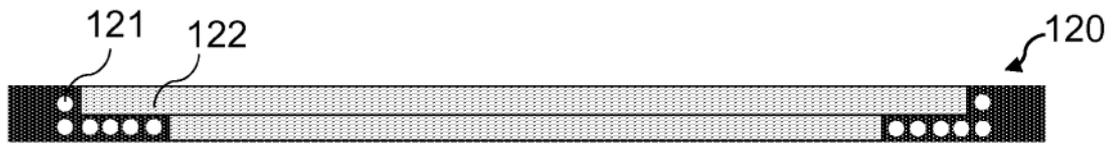


FIG.9

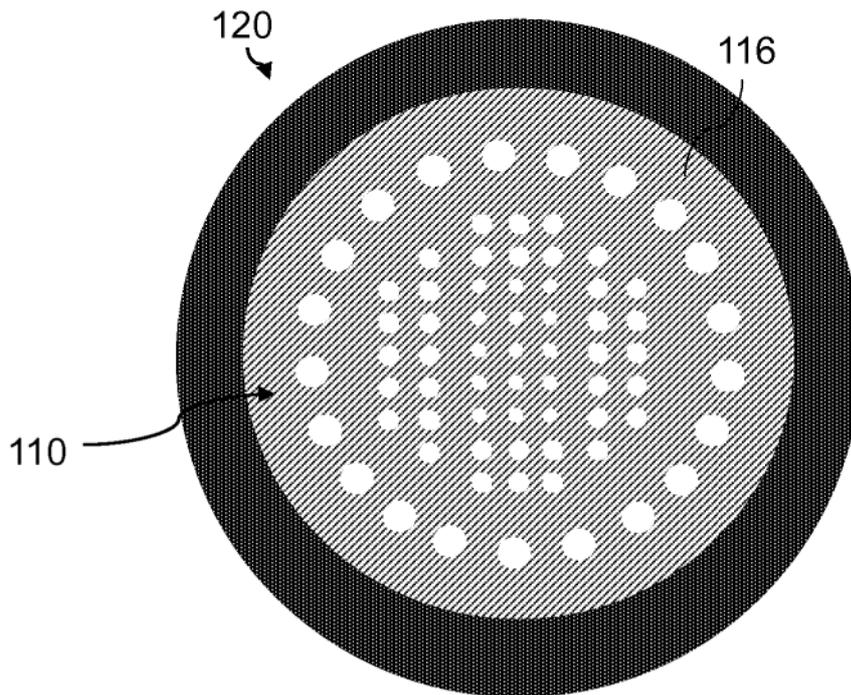


FIG.10A

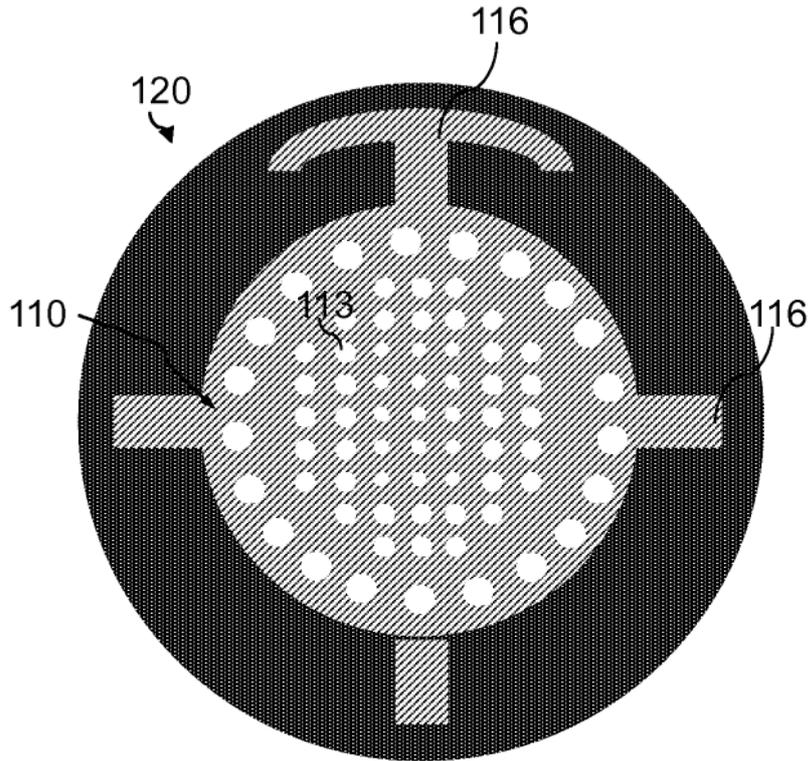


FIG. 10B

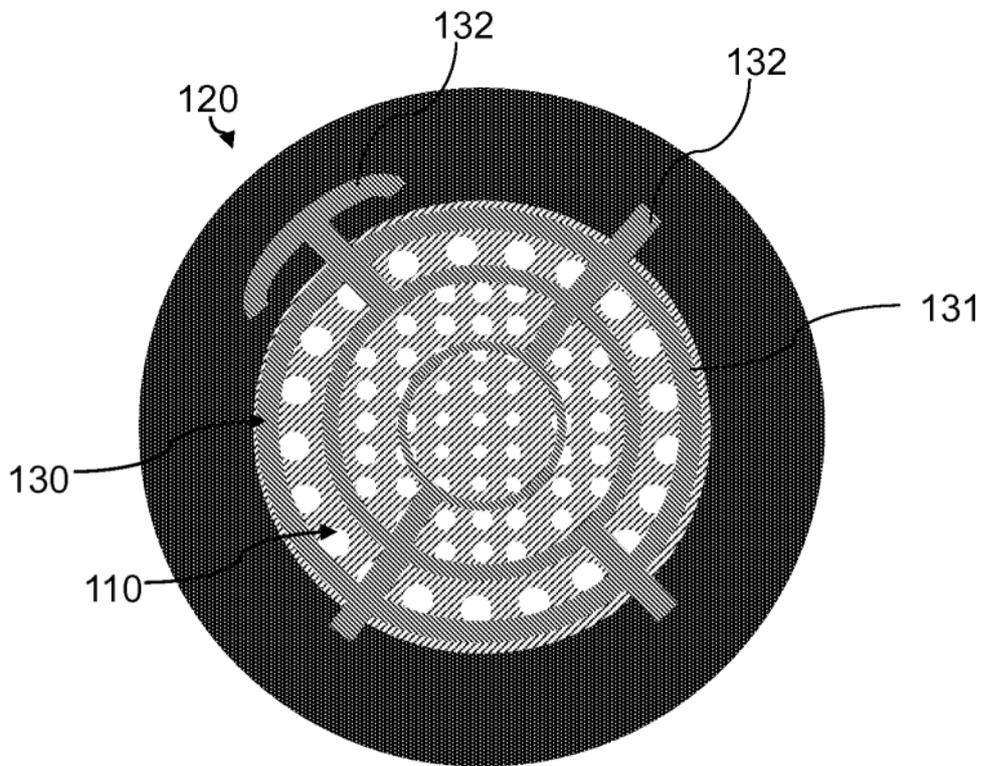


FIG. 11

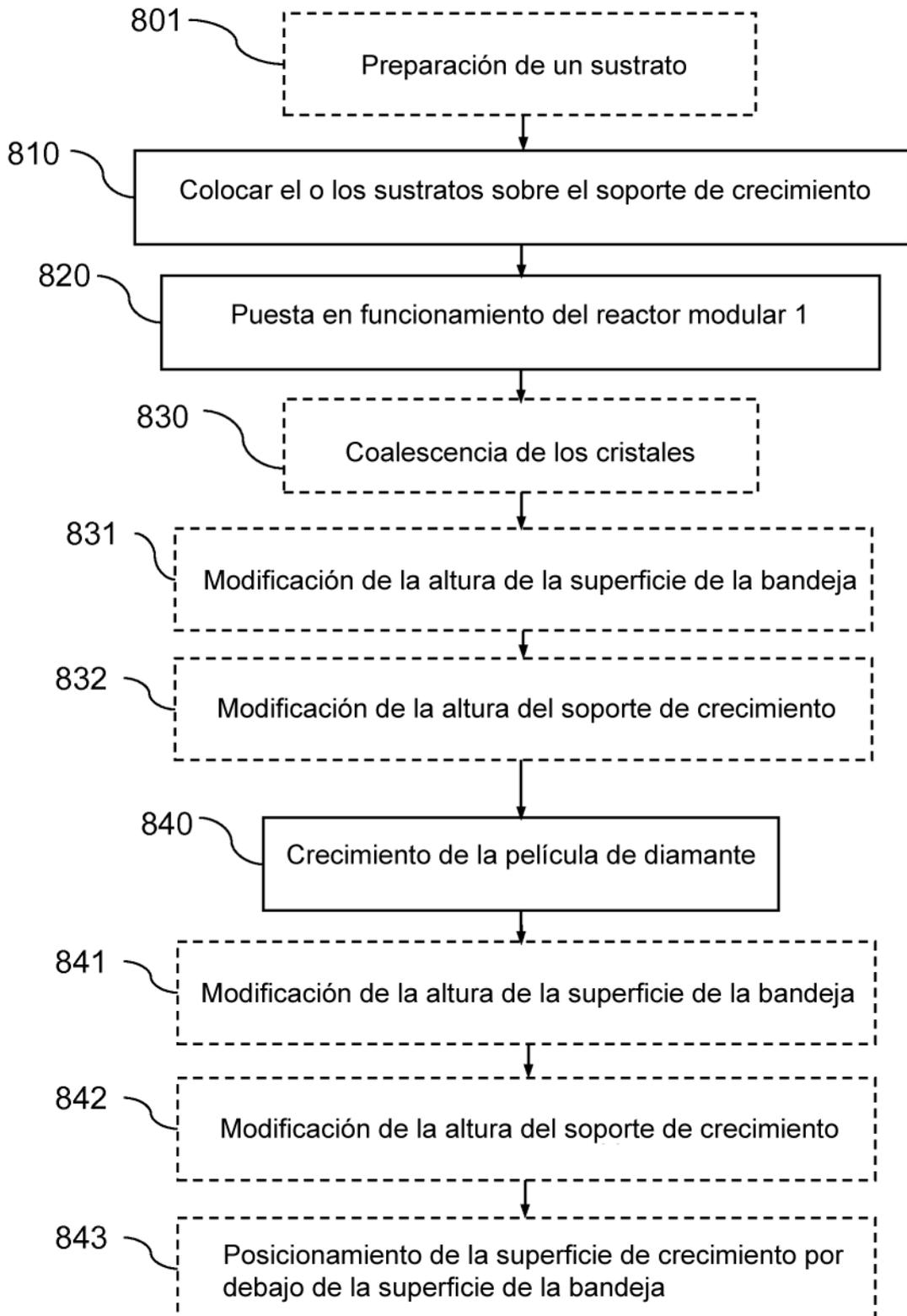


FIG.12