



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 339 323**

51 Int. Cl.:  
**H05H 1/46** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **00420172 .9**  
96 Fecha de presentación : **02.08.2000**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1075168**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **07.02.2001**

54 Título: **Procedimiento de producción de un plasma elemental con vistas a crear un plasma uniforme para una superficie de utilización y dispositivo de producción de dicho plasma.**

30 Prioridad: **04.08.1999 FR 99 10291**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**19.05.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**19.05.2010**

73 Titular/es: **ST PLASMAS**  
**rue Benoit Fourneyron**  
**42160 Andrezieux-Boutheon, FR**

72 Inventor/es: **Lagarde, Thierry y**  
**Pelletier, Jacques**

74 Agente: **Curell Suñol, Marcelino**

**ES 2 339 323 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).

# ES 2 339 323 T3

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento de producción de un plasma elemental con vistas a crear un plasma uniforme para una superficie de utilización y dispositivo de producción de dicho plasma.

La presente invención se refiere al campo técnico general de la producción de plasma a baja presión excitado por una energía microonda en el campo de la resonancia ciclotrónica electrónica.

El objeto de la invención se refiere a todas las aplicaciones que necesitan una uniformidad de plasma controlable sobre grandes superficies que presentan un carácter plano o curvo.

La presente invención se refiere a unas aplicaciones muy diversas, tales como los tratamientos de superficie, como el grabado, el depósito, el tratamiento químico o termoquímico, la pulverización, la limpieza, la desinfección, la descontaminación o la producción de haces de iones obtenidos por extracción del plasma.

En el campo de la técnica de excitación de un plasma a la resonancia ciclotrónica electrónica, la resonancia se obtiene cuando la frecuencia de rotación de un electrón en un campo magnético estático o casi estático es igual a la frecuencia del campo eléctrico acelerador aplicado. Esta resonancia se obtiene para un campo magnético B y una frecuencia de excitación f relacionada por la relación:

$$B = 2\pi mf/e$$

en la que m y e son la masa y la carga del electrón.

En el caso de la excitación de un plasma, la resonancia ciclotrónica electrónica es eficaz únicamente si el electrón está suficientemente acelerado, es decir si el electrón puede girar un tiempo suficientemente largo en fase con el campo eléctrico para adquirir la energía de umbral necesaria para la ionización del gas. Para satisfacer esta condición, es preciso, por una parte, que el radio de rotación del electrón sea suficientemente pequeño, en particular, para quedar en la región del espacio que reúne las condiciones de resonancia, es decir la presencia simultánea del campo eléctrico y del campo magnético y, por otra parte, que la frecuencia de rotación f quede grande frente a la frecuencia de colisión de los electrones sobre los elementos neutros, tales como los átomos y/o las moléculas. Dicho de otro modo, las mejores condiciones de excitación de un plasma a la resonancia ciclotrónica electrónica se obtienen a la vez para una presión de gas relativamente baja y una frecuencia f de campo eléctrico elevada, es decir también para una intensidad de campo magnético B elevada.

La patente francesa n° 85 08 836 describe una técnica de excitación de plasma a la resonancia ciclotrónica electrónica que necesita la utilización de imanes permanentes que crean cada uno por lo menos una superficie de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica. La energía microonda es llevada a nivel de la zona de resonancia por medio de antenas o de excitadores de plasma constituidos cada uno por un elemento filar metálico. Cada excitador se extiende en la proximidad y a lo largo de un imán estando dispuesto en la vertical de un imán permanente.

El campo magnético de intensidad igual al valor que da la resonancia y el campo eléctrico microonda están ambos localizados y confinados esencialmente en el espacio situado entre un excitador y la parte de la pared del recinto dispuesta frente a un imán. En presencia de un medio gaseoso que presenta una presión reducida, los electrones son acelerados en la zona de resonancia y se arrollan a lo largo de las líneas de campo magnético que definen una superficie de confinamiento del plasma. Estas líneas de campo en forma de festones unen el polo de un imán con su polo opuesto o al polo opuesto de un imán consecutivo. A lo largo de su trayecto, el electrón disocia e ioniza las moléculas y los átomos con los cuales entra en colisión. El plasma así formado en los festones del campo magnético se difunde a continuación, a partir de las líneas de campo, para formar un plasma prácticamente exento de los electrones energéticos que quedan atrapados en los festones.

El principal inconveniente de la técnica descrita por esta patente se refiere al hecho de que la zona de propagación de la energía microonda y la zona de resonancia donde la energía microonda es absorbida se superponen. La propagación de las microondas sólo puede efectuarse por tanto con pérdidas y la intensidad del campo eléctrico microonda y la densidad del plasma disminuyen ambos progresivamente a lo largo del excitador a partir de la fuente microonda. El plasma obtenido presenta una densidad no uniforme a lo largo del excitador, de manera que dicho plasma resulta inadecuado para la mayor parte de las aplicaciones industriales.

Una variante de la técnica descrita más arriba constituye el objeto de la patente francesa n° 93 02 414. Según esta técnica, las microondas son aplicadas directamente a uno de los extremos del aplicador de campo magnético constituido por unos imanes permanentes o por un conductor recorrido por una corriente eléctrica. Esta vez también, las microondas se propagan principalmente en la zona de resonancia ciclotrónica electrónica y sufren por tanto una fuerte atenuación, lo que conduce a la producción de un plasma no uniforme a lo largo del imán. El interés de esta solución con respecto a la técnica anterior es, por una parte, la simplificación del dispositivo y, por otra parte, una eficacia incrementada de la excitación del plasma, en la medida en que la intensidad del campo magnético y la intensidad del campo eléctrico microonda son ambas máximas en la superficie del aplicador.

## ES 2 339 323 T3

En el mismo sentido, la solicitud de patente JP 05 314 918 describe un dispositivo de producción de un plasma constituido por un aplicador filar de una energía microonda, equipado en su extremo con un imán.

5 Con el fin de evitar el defecto de uniformidad del plasma relacionado con la propagación de una onda progresiva muy atenuada, la patente francesa nº 91 00 894 propone excitar el plasma con la ayuda de una onda estacionaria de amplitud constante. Con este fin, se ha propuesto hacer propagar las microondas en una zona distinta de aquella en la que se cumplen las condiciones de resonancia ciclotrónica electrónica. La solución propuesta es aplicar la potencia microonda con la ayuda de un aplicador filar situado no frente a los polos de los imanes, sino a media distancia de dos polos opuestos próximos en la zona prohibida al plasma. Así, es posible obtener un plasma uniforme a lo largo de los imanes, siendo los máximos y los mínimos de campos microondas debidos a la onda estacionaria a lo largo de los imanes “borrados” por la velocidad de deriva de los electrones a lo largo de los imanes, perpendicularmente al plano del campo magnético.

15 La generalización de la utilización de ondas estacionarias para excitar unos plasmas uniformes con la resonancia ciclotrónica electrónica se ha propuesto en la patente francesa nº 94 13 499 en la que el establecimiento de las ondas estacionarias está controlado por la adición de propagadores filares cerca del aplicador de las microondas, dispuestos fuera de la zona de absorción de las microondas a la resonancia ciclotrónica electrónica.

20 Sin embargo, las técnicas descritas por estas patentes nº 91 00 894 y nº 94 13 499 en las que la propagación de las microondas se efectúa en forma de ondas estacionarias adolecen de la dificultad de obtener una amplitud constante, en particular para una longitud relativamente importante del aplicador de microondas. Además, el ajuste de la uniformidad y de la amplitud impone generalmente utilizar una adaptación de impedancia corriente arriba del aplicador microondas.

25 El análisis de las diferentes técnicas de la técnica anterior conduce a constatar unos defectos de uniformidad del campo eléctrico y del plasma a lo largo de los aplicadores, debidos a la atenuación muy fuerte del campo eléctrico por absorción resonante de la potencia microonda por los electrones a la resonancia ciclotrónica electrónica. Dicho de otro modo, las técnicas descritas anteriormente no permiten producir un plasma uniforme sobre grandes longitudes y por tanto sobre grandes superficies típicamente, sobre unas dimensiones del orden del metro o superior. Además, estas técnicas adolecen de un inconveniente importante, a saber la radiación de las microondas a partir de los aplicadores y de los propagadores, debido al confinamiento mediocre de la potencia microonda en la zona de propagación. Resultan de ello unos acoplamientos entre los aplicadores particularmente nefastos para la obtención de buenas uniformidades de plasma. Otro inconveniente reside en la dificultad de realizar e introducir en un recinto bajo vacío unos aplicadores o unos propagadores no rectilíneos. Resulta de ello una casi imposibilidad de tratar de forma uniforme unas superficies curvas.

40 El objetivo de la invención prevé por tanto evitar los inconvenientes de las técnicas anteriores proponiendo un procedimiento que permite producir un plasma uniforme en relación con una superficie de utilización de dimensiones relativamente importantes.

Otro objetivo de la invención es ofrecer un procedimiento de producción de un plasma uniforme en relación con una superficie de utilización de forma plana o curva.

45 Para alcanzar los diversos objetivos enunciados más arriba, el objeto de la invención se refiere a un procedimiento de producción de un plasma para una superficie de utilización, con la ayuda de un dispositivo que comprende unos medios de producción de una energía en el campo de las microondas y unos medios para crear por lo menos una superficie de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica y dispuesta por lo menos en la zona de propagación de las microondas, con vistas a la excitación del plasma.

50 Según la invención, el procedimiento consiste:

- 55 - en constituir una serie de dispositivos elementales de excitación de plasma constituidos cada uno por un aplicador de una energía microonda del que un extremo está conectado a una fuente de producción de una energía microonda y del que el otro extremo está equipado con por lo menos un dipolo magnético como medios para crear por lo menos una fuente de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica,
- 60 - en montar el dipolo magnético en el extremo del aplicador microondas, de manera que asegure la oscilación entre los polos de los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica, con vistas a crear una zona de difusión de plasma situada por lo menos en la parte opuesta del extremo del aplicador, con respecto a dicho dipolo, y
- 65 - en repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma entre sí y en relación de proximidad de la superficie de utilización, de manera que se obtenga por lo menos una yuxtaposición entre los plasmas producidos por cada dispositivo elemental, con vistas a crear un plasma uniforme para la superficie de utilización.

## ES 2 339 323 T3

Otro objetivo de la invención prevé proponer un dispositivo de producción de un plasma en relación a una superficie de utilización, comprendiendo el dispositivo unos medios de producción de una energía en el campo de las microondas, y unos medios para crear por lo menos una superficie de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica y dispuesta por lo menos en la zona de propagación de las microondas, con vistas a la excitación del plasma.

Según la invención, el dispositivo comprende una serie de dispositivos elementales de excitación de plasma, constituidos cada uno por un aplicador filar de una energía microonda del que un extremo está conectado a la fuente de producción y del que el otro extremo está equipado, como medios para crear por lo menos una fuente de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica, con por lo menos un dipolo magnético montado en el extremo del aplicador microondas, de manera que asegure la oscilación entre los polos de los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica, con el fin de crear una zona de difusión de plasma situada en la parte opuesta al extremo del aplicador con respecto a dicho dipolo, estando los dispositivos elementales de excitación repartidos entre sí y en relación de proximidad de la superficie de utilización, con el fin de crear juntos un plasma uniforme para la superficie de utilización.

Otras diversas características se pondrán más claramente de manifiesto a partir de la descripción dada a continuación haciendo referencia a los planos adjuntos que muestran, a título de ejemplos no limitativos, unas formas de realización y de utilización del objeto de la invención.

La figura 1 es una vista esquemática en alzado que permite ilustrar un dispositivo de producción de un plasma de acuerdo con la invención.

La figura 2 es una vista por encima que muestra un ejemplo de realización de un dispositivo de producción de un plasma de acuerdo con la invención.

Las figuras 3 a 8 ilustran diversas variantes de realización de un dispositivo elemental de excitación de plasma que forma parte de un dispositivo de producción de acuerdo con la invención.

Las figuras 9 y 10 son unos esquemas que ilustran diversos montajes de los dispositivos elementales de excitación entre sí.

Las figuras 1 y 2 ilustran, a título de ejemplo, un dispositivo I de producción de un plasma en relación con la superficie de utilización en el sentido general  $S_u$ , que puede constituir, por ejemplo, una superficie susceptible de recibir diferentes tratamientos de superficie. El dispositivo I comprende, de forma clásica, un recinto estanco 1 representado a título esquemático, equipado con dispositivos de introducción de gas y de bombeo de gas, no representados pero conocidos, que permiten mantener la presión del gas a ionizar a un valor deseado que puede ser por ejemplo del orden de  $10^{-3}$  a algunas decenas de Pascals según la naturaleza del gas y la frecuencia de excitación.

De acuerdo con la invención, el dispositivo de producción I comprende una serie de dispositivos 3 elementales de excitación de plasma repartidos entre sí y en relación de proximidad de la superficie de utilización  $S_u$ , con el fin de crear juntos un plasma uniforme para esta superficie de utilización  $S_u$ . De acuerdo con la invención, cada dispositivo elemental 3 de excitación de plasma está constituido por un aplicador de una energía microonda 4 realizado en una forma filar, es decir alargada. El aplicador filar 4 está conectado por uno de sus extremos, preferentemente, por una estructura coaxial 4', a una fuente de energía E en el campo de las microondas, exterior al recinto 1. Cada aplicador filar 4 se encuentra realizado ventajosamente en forma de un tubo rodeado de un tubo coaxial 4' que permite así la propagación de la energía microonda hasta su extremo libre 4<sub>1</sub> evitando la radiación de las microondas y el acoplamiento de las microondas entre los aplicadores.

Según otra característica de la invención ilustrada más precisamente en la figura 3, cada aplicador microonda 4 está destinado a ser conectado por su extremo 4<sub>1</sub> opuesto al que está conectado a la fuente de energía microonda E, a por lo menos un dipolo magnético 5 adaptado para crear por lo menos una superficie 6 de campo magnético y de intensidad que corresponde a la resonancia ciclotrónica electrónica. En el ejemplo de realización ilustrado en la figura 3, el dipolo magnético 5 está constituido por un imán permanente de forma esférica, cuya dirección de imantación A y la posición de los polos norte N y sur S con respecto al punto de aplicación de las microondas, a saber el extremo 4<sub>1</sub> del aplicador, son cualesquiera. Este imán permanente 5 crea así una superficie 6 alrededor de la esfera correspondiente a la condición de resonancia ciclotrónica electrónica, mientras que las líneas 7 representan las líneas de campo magnético que unen los dos polos opuestos del imán y que convergen en estos polos. Entre dos colisiones, los electrones acelerados a nivel de la zona de resonancia 6 por el campo eléctrico microonda aplicado por el aplicador filar 2, oscilan entre el polo norte y el polo sur y entre las líneas de campo 7. De manera ventajosa, estos electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica oscilan entre unos puntos espejos P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> situados en la proximidad y frente a cada polo, y presentan una misma intensidad de campo magnético, de acuerdo con la teoría descrita en el libro titulado "MICROWAVE EXCITED PLASMA", cap.12, página 368 editado por M. MOISAN Y J. PELLETIER, ELSEVIER, Amsterdam (1992). Estos electrones sufren también un movimiento de deriva alrededor del eje de imantación del imán, siendo estas derivas magnéticas debidas a la curvatura y al gradiente del campo magnético. El plasma producido por estos electrones a lo largo de su trayectoria, se difunde a continuación en el exterior de la zona fuente bajo la influencia de los gradientes de densidad del plasma. Aparece así una zona Z de difusión de plasma situada por lo menos en la parte opuesta, con respecto al dipolo 5, del extremo 4<sub>1</sub> del aplicador.

## ES 2 339 323 T3

En el ejemplo de realización ilustrado en la figura 3, se debe constatar que una parte por lo menos de las trayectorias electrónicas encuentra el aplicador filar 4, de manera que una parte de los electrones se encuentra recogida por este aplicador filar 4, de manera que aparece una pérdida para los electrones.

5 Para evitar esta pérdida de electrones, puede estar previsto, como se ha ilustrado en la figura 4, colocar el dipolo magnético 5 de manera que su eje de imantación A se encuentre situado, de forma sustancialmente paralela al eje del aplicador filar. Preferentemente, el eje de imantación A del dipolo magnético 5 está situado sustancialmente en la prolongación del eje del aplicador filar 4. Según este ejemplo, las trayectorias electrónicas no encuentran ya el aplicador filar 4 y los electrones pueden proseguir su trayectoria sin obstáculo entre dos colisiones elásticas o inelásticas. En este tipo de funcionamiento, se obtiene así una estructura magnética tridimensional de tipo magnetrón en la que los electrones pueden oscilar y derivar indefinidamente sin perderse en las paredes. En realidad, los electrones rápidos o primarios, acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica, pierden inevitablemente energía produciendo el plasma y resultan unos electrones lentos o térmicos contribuyendo así en parte a la población electrónica del plasma.

15 Según los ejemplos de realización ilustrados en las figuras 3 y 4, los imanes permanentes 5 están representados con una forma esférica. De hecho, en el caso de la invención, la forma de los imanes importa poco y éstos pueden ser de forma cualquiera, e incluso compleja (anillos, toroidal, paralelepípedica, etc.) y presentar unas imantaciones muy variadas (por ejemplo axial, diametral o radial). Sin embargo, estos imanes 5 deben presentar una imantación suficiente para generar la condición de resonancia ciclotrónica electrónica. Además, como en el caso de los imanes esféricos, es preferible que estos imanes puedan constituir una estructura de tipo magnetrón en la cual la aplicación de las microondas no provoca pérdida de electrones.

Según una solución preferida de realización ilustrada en la figura 5, cada dipolo 5 está constituido por un imán de forma cilíndrica que presenta una imantación axial A que se encuentra sustancialmente situada en la prolongación del eje del aplicador filar 4. Uno de los polos del imán delimitado por una superficie transversal  $5_1$ , está destinado a entrar en contacto con el extremo  $4_1$  del aplicador para permitir la aplicación de las microondas. Se obtiene así una estructura magnética del tipo magnetrón con simetría de revolución. Según este ejemplo de realización, se debe observar que algunas líneas de campo 7 pasan a converger a nivel del polo situado en el extremo  $4_1$  del aplicador, encontrando dicho aplicador filar 4, lo que provoca también pérdidas de electrones significativas.

30 Para evitar dicho inconveniente, puede estar previsto realizar un imán 5 cilíndrico de imantación axial y que presenta un mandrilado central 8 según el eje del imán. Según este ejemplo de realización ilustrado en la figura 6, una parte 7' de las líneas de campo magnético pasa por otra parte por el mandrilado central 8 del imán. Además, los polos magnéticos ya no son puntuales sino que describen unos círculos centrados sobre el eje de revolución del imán hacia los cuales convergen las líneas de campo magnético 7 y 7'. Asimismo, si el diámetro de la envolvente externa del aplicador 4 es igual al diámetro del círculo descrito por el polo magnético, los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica no pueden describir trayectorias que se apoyan sobre las líneas de campo 7'. Aparece así que el extremo  $4_1$  del aplicador filar no franquea el polo magnético. Las únicas líneas de campo útiles son por tanto las líneas de campo 7 exteriores al imán y, por consiguiente, ninguna trayectoria electrónica encuentra el aplicador filar 4 entre dos puntos espejos  $P_1$ ,  $P_2$ . No aparece por tanto pérdida de electrones y pueden obtenerse así unos rendimientos óptimos en términos de rendimiento energético.

Según esta característica preferida de realización, cada mandrilado axial 8 puede ser utilizado para permitir el montaje de una conducción 9 de traída de un fluido de enfriado y que sirve ventajosamente de soporte de montaje para el imán 5. Esta conducción 9 realizada en forma de un tubo comunica, por su extremo, con un recinto 11 delimitado entre el imán y una envolvente 12 que rodea a distancia el imán. El recinto 11 desemboca en un conducto 13 de retorno del fluido de enfriado delimitado entre la conducción de traída 9 y el aplicador filar 4 constituido por un tubo. El imán 5 se encuentra así encapsulado por la envolvente de protección 12 que permite la circulación de un fluido de enfriado alrededor del imán. Por ejemplo, el material de encapsulación del imán y el que constituye los aplicadores filares 4 están realizados en material amagnético buen conductor (metales no magnéticos), pero pueden estar también rodeados, por razones de contaminación, por unos materiales dieléctricos sin perjudicar el buen funcionamiento del dispositivo.

Según otra característica posible de realización, se debe observar que puede estar previsto equipar cada dipolo magnético 5 con un conducto 14 de traída de un gas que atraviesa el dipolo magnético por su mandrilado axial 8. Por ejemplo, el conducto 14 está montado en el interior de la conducción de traída 9 para desembocar en el extremo opuesto de la envolvente 12.

La figura 7 ilustra otra variante de realización en la que cada dipolo magnético 5 presenta una cara polar delimitada por un material de alta permeabilidad magnética 15, tal como por ejemplo una plaqueta de hierro dulce sobre la cual está montado el extremo  $4_1$  del aplicador filar 4. Dicho dipolo magnético 5 está constituido para presentar unos polos magnéticos adyacentes. Así, como aparece en la figura 7, se puede obtener, a partir de imanes concéntricos acoplados norte/sur montados alternativamente de forma opuesta, unas líneas de campo 7 que se establecen entre dos polos adyacentes consecutivos situados sobre una cara polar opuesta a la cara polar constituida por la plaqueta 15.

65 La figura 8 ilustra una variante de realización de la descrita en la figura 7. Según esta variante, el dipolo magnético 5 presenta una cara polar delimitada por la plaqueta 15 sobre la cual está montado el extremo  $4_1$  del aplicador filar 4. El dipolo 5 está constituido por un imán con imantación axial que prolonga el eje del aplicador filar 4. En esta configuración, los electrones son acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica a partir de las líneas correspondientes

## ES 2 339 323 T3

6 y oscilan entre dos puntos espejos  $P_1$ ,  $P_2$ . Uno  $P_1$  de los puntos ya no está situado frente al polo del imán sino en el lado, a lo largo del aplicador filar 4, mientras que el otro punto  $P_2$  queda frente al polo. Así, la presencia de la plaqueta 15 dispuesta más allá del extremo  $4_1$  del aplicador filar, permite modificar la posición espacial de los puntos espejos  $P_1$ ,  $P_2$  asociados a los polos de cada dipolo magnético 5. Estos dos ejemplos de realización descritos en las figuras 7 y 8, no son limitativos de las otras posiciones relativas del o de los materiales 15 con respecto a la configuración de los imanes 5.

Tal como se desprende directamente de la descripción anterior, el procedimiento según la invención consiste por tanto en constituir una serie de dispositivos elementales de excitación de plasma 3 que permiten crear cada uno por lo menos una superficie 6 de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica. Un dipolo magnético 5 está montado en el extremo del aplicador microondas, de manera que asegure la oscilación de los electrones entre los polos, con el fin de crear una zona de difusión de plasma Z situada por lo menos en la parte opuesta del extremo  $4_1$  del aplicador con respecto al dipolo. A continuación, está previsto repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma 3 entre sí y en relación de proximidad con la superficie de utilización  $S_u$ , de manera que se obtenga por lo menos una yuxtaposición entre los plasmas producidos por cada dispositivo elemental, con el fin de crear un plasma uniforme para la superficie de utilización. Debe comprenderse que los plasmas elementales producidos por los dispositivos 3 se recubren o se cabalgan por lo menos en parte, con el fin de obtener un plasma uniforme para la superficie de utilización  $S_u$ .

Según una característica preferida de realización, está previsto regular la distancia entre los dispositivos elementales de excitación 3 y la superficie de utilización  $S_u$ , con el fin de ajustar la excitación de plasma al perfil de la superficie de utilización. Así, tal como se desprende más precisamente de las figuras 1 y 9, cada dispositivo elemental de excitación de plasma 3 comprende unos medios 18 de regulación del desplazamiento axial del aplicador filar 4, de manera que regulen la distancia de cada dispositivo elemental 3 con respecto a la superficie a tratar  $S_u$ . Se puede obtener así una disposición relativa de los dispositivos que se adapta mejor a los perfiles de la superficie a tratar, por ejemplo curva. Además, la potencia de la energía microonda de cada dispositivo elemental de excitación 3 puede ser regulada, con el fin de adaptar la uniformidad del plasma.

En el ejemplo de realización ilustrado en la figura 9, los dispositivos elementales de excitación de plasma 3 están repartidos de manera que los dipolos magnéticos 5 presenten unos ejes de imantación orientados en un mismo sentido. Se puede obtener así a una distancia alejada de los dipolos 5, un campo magnético ligeramente divergente y cuya intensidad decrece lentamente.

En el ejemplo ilustrado en la figura 10, está previsto repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma 3, de manera que los dipolos magnéticos 5 presenten unos ejes de imantación alternativamente orientados de un dispositivo vecino a otro. Se obtiene así una estructura multipolar clásica con un decrecimiento rápido, casi exponencial, de la intensidad del campo magnético en función del alejamiento con respecto a los imanes.

Según la descripción anterior, el objeto de la invención permite obtener una uniformidad de plasma que no depende de las condiciones de propagación de las microondas y ofrece la posibilidad de tratar unas superficies de utilización de grandes dimensiones.

Los principales campos de aplicación de la invención son el tratamiento uniforme (limpieza, depósito, grabado, etc) de las superficies de grandes dimensiones, planas o curvadas. A título de ejemplo, para la fabricación de los circuitos integrados, es posible efectuar unos tratamientos de superficie sobre unas plaquetas de silicio de diámetro 300 mm utilizando una red de 32 fuentes elementales separadas entre sí 60 mm (figura 2). Los imanes cilíndricos, de samario-cobalto (Sm-Co), tienen 20 mm de diámetro y 30 mm de longitud y están realizados según el ejemplo ilustrado en la figura 6. El plasma es excitado a la resonancia ciclotrónica electrónica por unas microondas a 245 GHz, siendo la condición de resonancia ( $B_0=0,0875$  tesla) ampliamente cumplida por los imanes permanente utilizados. Para todos los tipos de procedimiento desarrollados, la uniformidad obtenida es mejor que  $\pm 5\%$ .

La invención no está limitada a los ejemplos descritos y representados, puesto que se pueden aportar diversas modificaciones a los mismos sin apartarse por ello de su alcance.

# ES 2 339 323 T3

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de producción de un plasma para una superficie de utilización ( $S_u$ ) con la ayuda de un dispositivo que comprende unos medios de producción de una energía en el campo de las microondas y unos medios para crear por lo menos una superficie (6) de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica y dispuesta por lo menos en la zona de propagación de las microondas, con vistas a la excitación del plasma, **caracterizado** porqué consiste:

- en constituir una serie de dispositivos elementales de excitación de plasma (3) constituidos cada uno por un aplicador filar (4) de una energía microonda del que un extremo está conectado a una fuente de producción (E) de una energía microonda y del que el otro extremo está equipado con por lo menos un dipolo magnético (5) como medios para crear por lo menos una superficie de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia cilotrónica electrónica,
- en montar el dipolo magnético (5) en el extremo ( $4_1$ ) del aplicador microondas (4), de manera que asegure la oscilación entre los polos de los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica, con el fin de crear una zona de difusión (Z) de plasma situada por lo menos en la parte opuesta del extremo del aplicador, con respecto al dipolo, y
- en repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma (3) entre sí y en relación de proximidad de la superficie de utilización ( $S_u$ ), de manera que se obtenga por lo menos una yuxtaposición entre los plasmas producidos por cada dispositivo elemental (3), con vistas a crear un plasma uniforme para la superficie de utilización.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque consiste en regular la distancia entre los dispositivos elementales de excitación (3) y la superficie de utilización ( $S_u$ ), con el fin de ajustar la excitación de plasma al perfil de la superficie de utilización.

3. Procedimiento según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque consiste en regular la potencia de la energía microonda de cada dispositivo elemental de excitación (3), con vistas a regular la uniformidad del plasma.

4. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque consiste en repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma (3), de manera que los dipolos magnéticos (5) presenten unos ejes de imantación orientados en un mismo sentido.

5. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado** porque consiste en repartir los dispositivos elementales de excitación de plasma (3), de manera que los dipolos magnéticos (5) presenten unos ejes de imantación alternativamente orientados de un dispositivo vecino a otro.

6. Dispositivo de producción de un plasma para una superficie de utilización ( $S_u$ ), comprendiendo el dispositivo unos medios de producción de una energía en el campo de las microondas, y unos medios para crear por lo menos una superficie (6) de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica y dispuesta por lo menos en relación con la zona de propagación de las microondas, con vistas a la excitación del plasma, **caracterizado** porque comprende una serie de dispositivos elementales de excitación de plasma (3), constituidos cada uno por un aplicador filar (4) de una energía microonda, del que un extremo está conectado a la fuente de producción (E) y del que el otro extremo está equipado, como medios para crear por lo menos una superficie de campo magnético constante y de intensidad correspondiente a la resonancia ciclotrónica electrónica, con por lo menos un dipolo magnético (5) montado en el extremo ( $4_1$ ) del aplicador microondas, de manera que asegure la oscilación entre los polos de los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica, con vistas a crear una zona de difusión (Z) de plasma situada en la parte opuesta al extremo ( $4_1$ ) del aplicador con respecto a dicho dipolo, estando los dispositivos elementales de excitación (3) repartidos entre sí y en relación de proximidad de la superficie de utilización ( $S_u$ ), con vistas a crear juntos un plasma uniforme para la superficie de utilización.

7. Dispositivo según la reivindicación 6, **caracterizado** porque cada dispositivo elemental de excitación (3) comprende por lo menos un dipolo magnético (5) cuyo eje de imantación (A) está situado de forma sustancialmente paralela al eje del aplicador filar (4).

8. Dispositivo según la reivindicación 6 ó 7, **caracterizado** porque cada dipolo magnético (5) comprende por lo menos un material (15) de alta permeabilidad magnética, situado más allá del extremo ( $4_1$ ) del aplicador filar, de manera que modifique la posición de puntos espejos ( $P_1$ ,  $P_2$ ) asociados a cada polo de un dipolo magnético y entre los cuales oscilan unos electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica.

9. Dispositivo según una de las reivindicaciones 6 a 8, **caracterizado** porque cada dipolo magnético (5) está constituido por un cilindro imantado axialmente y en el que está practicado un mandrilado axial (8), y porque el diámetro del aplicador filar (4) es igual al diámetro del círculo descrito por el polo magnético, con vistas a evitar que corte las trayectorias de los electrones acelerados a la resonancia ciclotrónica electrónica.

## ES 2 339 323 T3

10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 6 a 9, **caracterizado** porque cada dipolo magnético (5) está provisto de una conducción (9) de traída de un fluido de enfriado montada en un mandrilado axial y que comunica con un recinto (11) que envuelve el dipolo magnético y que desemboca en un conducto de retorno (13) del fluido de enfriado.

5

11. Dispositivo según la reivindicación 10, **caracterizado** porque la conducción de retorno (13) del fluido de enfriado está delimitada entre la conducción de traída (9) y un tubo (4) que forma el aplicador filar.

10

12. Dispositivo según una de las reivindicaciones 9 a 11, **caracterizado** porque cada dipolo magnético (5) está equipado con un conducto de traída de gas (14) que atraviesa el dipolo magnético por su mandrilado axial (8).

15

13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 6 a 12, **caracterizado** porque cada dispositivo elemental de producción (3) está equipado con unos medios de desplazamiento axial que permiten regular la distancia entre la superficie de utilización ( $S_a$ ) y el dipolo magnético (5).

20

14. Dispositivo según una de las reivindicaciones 6 a 13, **caracterizado** porque cada aplicador filar (4) está conectado por una estructura coaxial (4'), a una fuente de energía (E) en el campo de las microondas, exterior al recinto (1).

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG.1

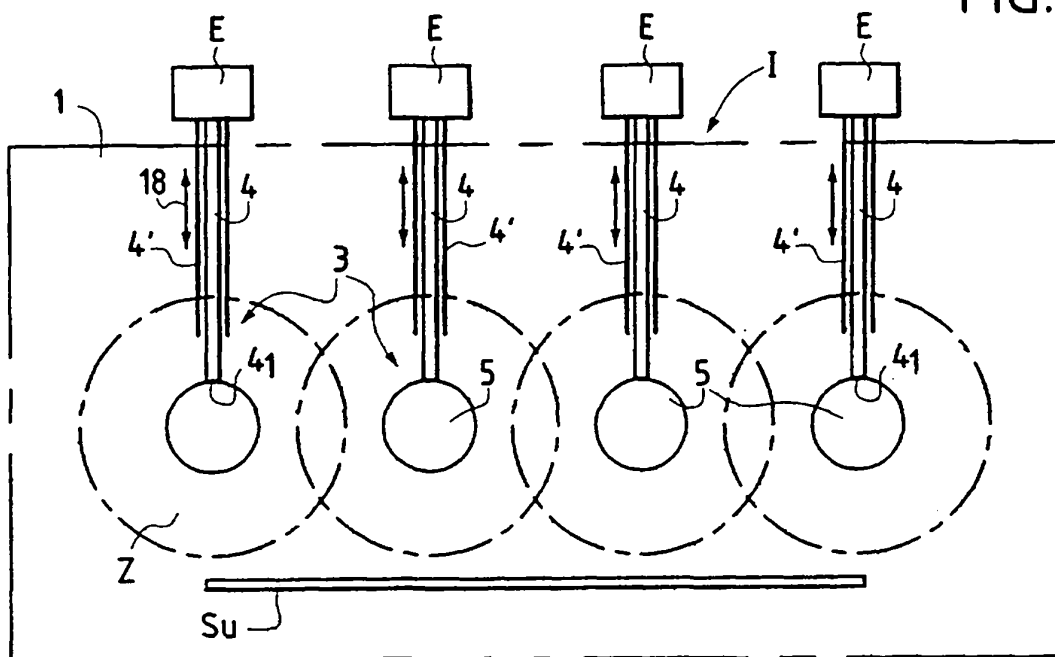
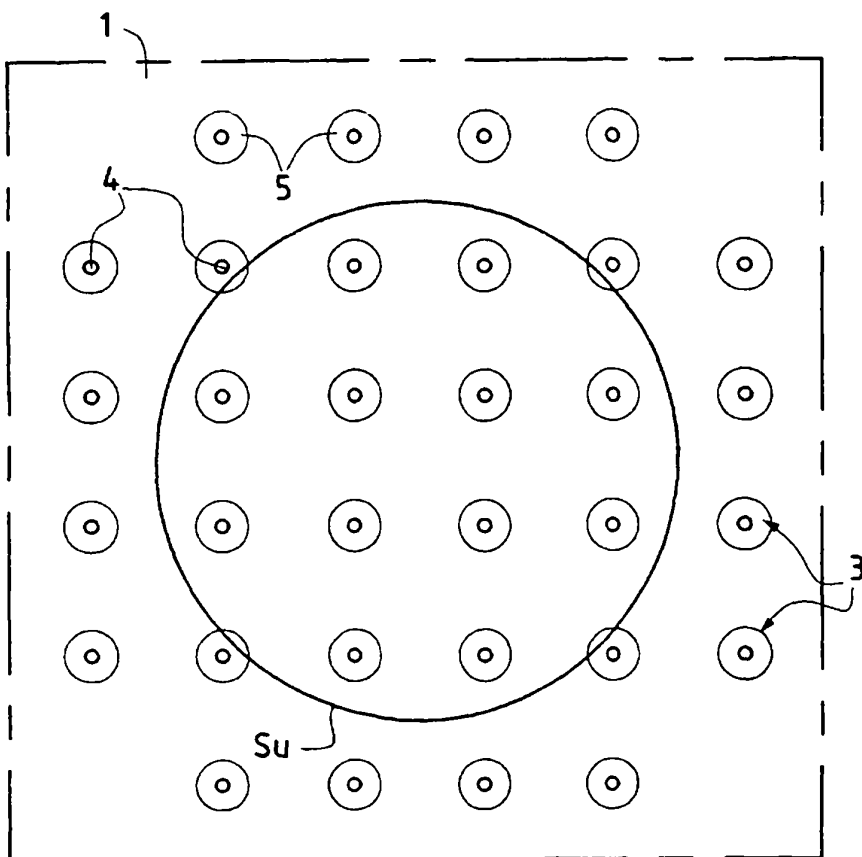
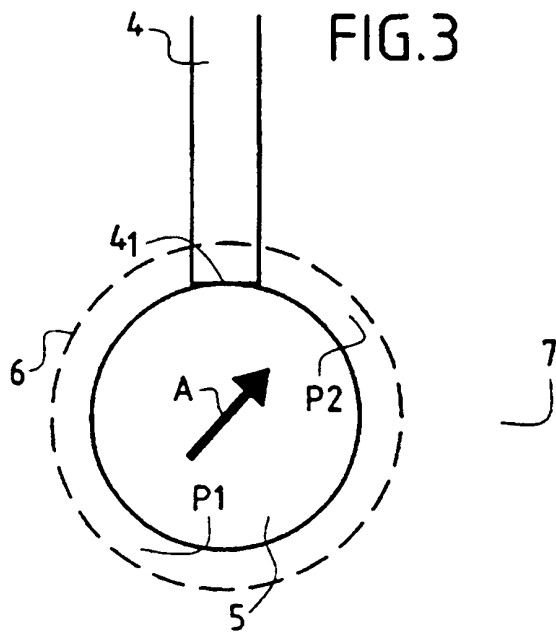
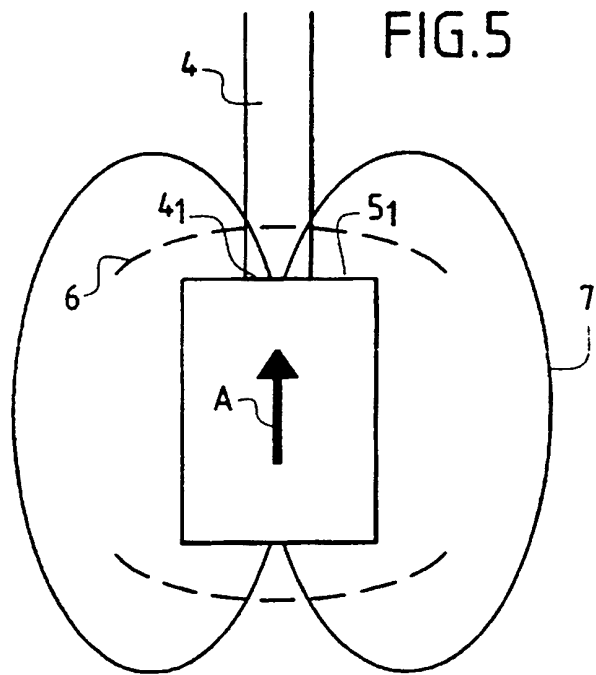
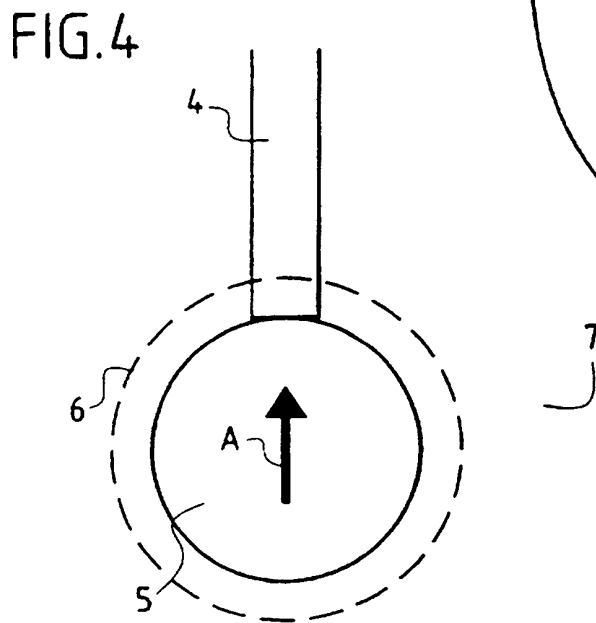


FIG.2





Z



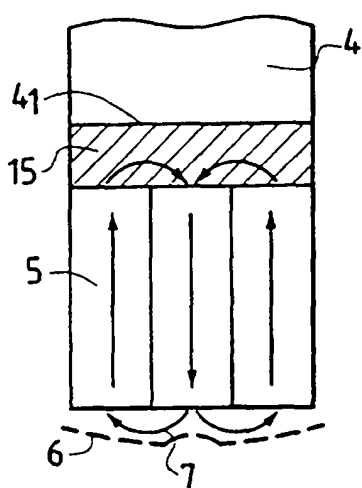
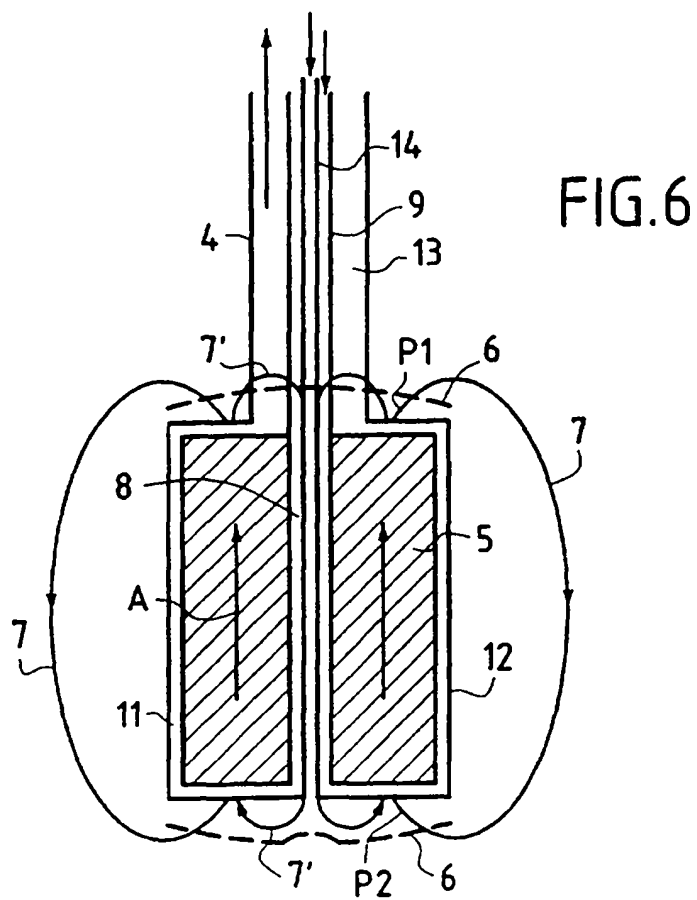


FIG. 7

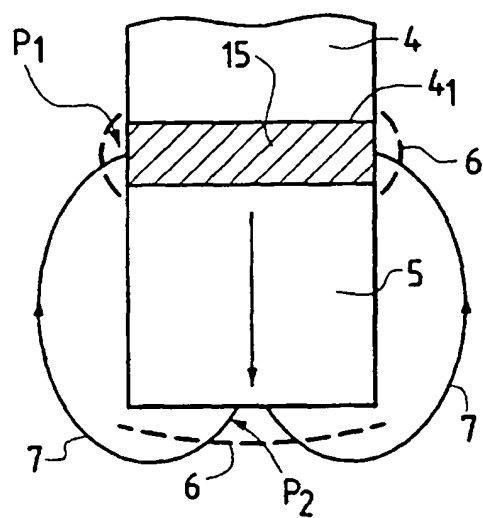


FIG. 8

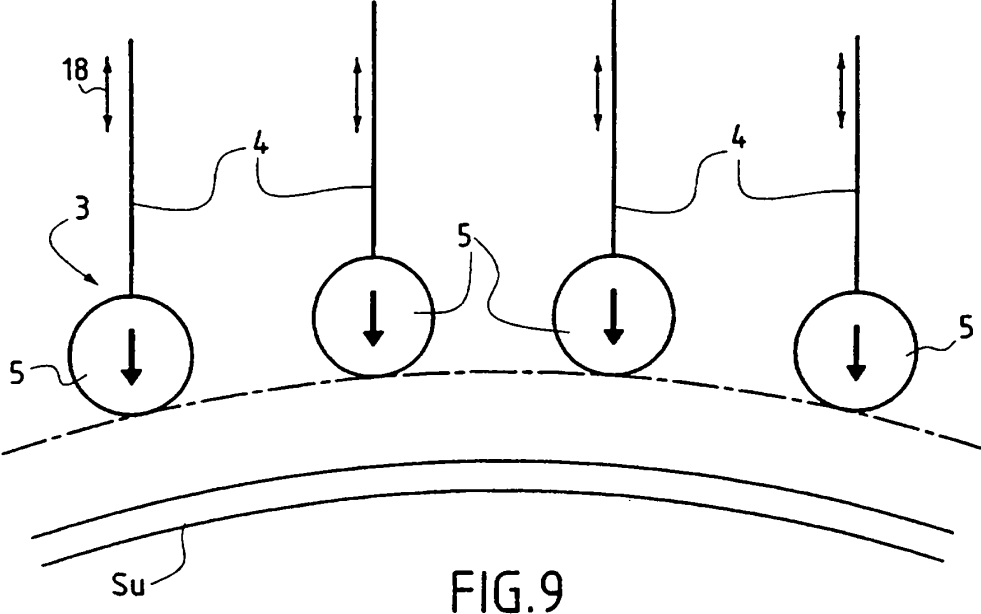


FIG.9

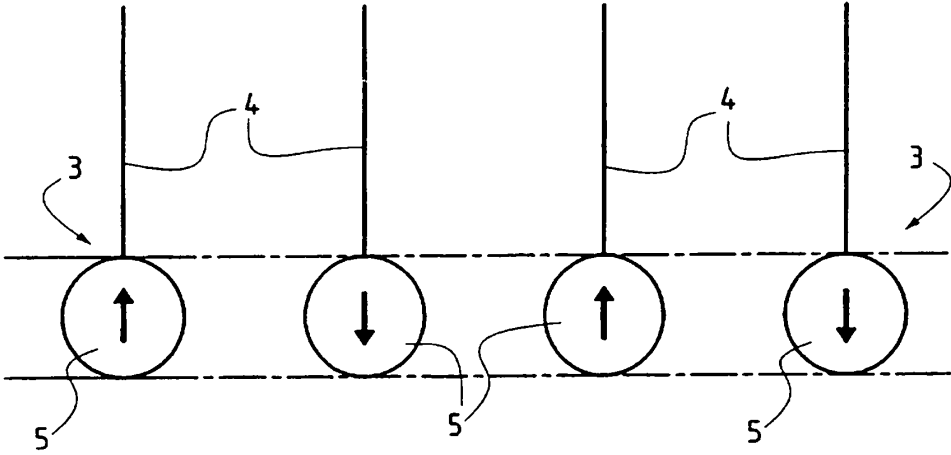


FIG.10