

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 371 022**

51 Int. Cl.:
H05H 1/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **02764463 .2**
96 Fecha de presentación: **04.10.2002**
97 Número de publicación de la solicitud: **1433366**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **30.06.2004**

54 Título: **ANTORCHA DE PLASMA DE INDUCCIÓN DE MÚLTIPLES BOBINAS PARA UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE ESTADO SÓLIDO.**

30 Prioridad:
05.10.2001 US 970950

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
26.12.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
26.12.2011

73 Titular/es:
**TEKNA PLASMA SYSTEMS, INC.
2935, BOULEVARD INDUSTRIEL
SHERBROOKE, QUÉBEC J1L 2T9, CA**

72 Inventor/es:
**BOULOS, Maher, I. y
JUREWICZ, Jerzy, W.**

74 Agente: **de Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 371 022 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

Antorcha de plasma de inducción de múltiples bobinas para una fuente de alimentación de estado sólido.

5 CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a las antorchas de plasma de inducción. En particular, la presente invención se refiere a una antorcha de plasma de inducción de múltiples bobinas..

10 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 En las antorchas de plasma de inducción, se genera un campo magnético oscilatorio de gran intensidad mediante una bobina de inducción, y este campo se aplica a un gas que pasa a través de esta bobina para ionizar el gas y formar un plasma. Estas antorchas de plasma de inducción usan el concepto del acoplamiento inductivo en sí mismo, que consiste en acoplar inductivamente un campo de radiofrecuencia (en adelante RF) al gas que circula. El acoplamiento inductivo calienta el gas a una elevada temperatura, típicamente 9000 ° C, A esta temperatura, el gas se transforma en un plasma de iones cargados positivamente y electrones. Las antorchas de plasma se usan típicamente para análisis elementales espectroscópicos, tratamiento de polvos finos, fusión de materiales, síntesis químicas, destrucción de residuos, y procedimientos similares. Estas aplicaciones se derivan de las altas temperaturas que inherentemente están en relación de asociación con los plasmas.

20 Los intentos de épocas anteriores para producir plasma implicaban el uso de un campo de RF de alta frecuencia (en la banda de megahercios) de una sola bobina. Se hicieron también intentos para inducir la formación de plasma usando un campo de RF de frecuencia más baja (por debajo de 400 kHz), pero sin resultados satisfactorios. Estos intentos de formar plasmas usando frecuencias más bajas fueron impulsados por la creencia de que, a frecuencias inferiores, el plasma es más amplio y tiene una temperatura más uniforme. En esta fase se reconoció también que el proceso de encender el plasma era diferente del de hacerlo funcionar una vez encendido.

25 Cuando trabajan a un alto nivel de potencia (por encima de 10 kW) y a una presión igual que una (1) atmósfera, las antorchas inductivas industriales son difíciles de encender y de hacer funcionar de un modo estable. Como un método para aliviar estos problemas, se ha propuesto un diseño híbrido de RF-RF, o de doble bobina.

30 A mediados de la década de 1960, estaban en marcha los experimentos que implicaban el uso de antorchas de plasma de inducción de doble bobina. El artículo de I.J. Floyd y J.C. Lewis, titulado "Plasma de gas inducido por radiofrecuencia a 250-300 kc/s", Naturaleza, Volumen 211, N° 5051, en la página 841 divulga el uso de un sistema de doble bobina que incluye:

- 35 - una bobina de frecuencia más alta que trabaja en la banda de megahercios para encender o iniciar el plasma, y
- una segunda bobina "de trabajo" que opera a una frecuencia más baja.

40 El trabajo continuo y la antorcha de plasma de doble bobina revelaron que, como se esperaba, la bobina de frecuencia más baja producía un plasma con una temperatura mucho más homogénea. Esto, combinado con una reducción de la presión axial, aportó un aumento en el tiempo de exposición y en la penetración de productos que dieron lugar a beneficios en la forma de mejores condiciones para el tratamiento de esferoidización o de la pulverización de polvos.

45 Adicionalmente, se averiguó que la presencia de dos etapas de inducción separadas permitía que los gases calientes que salían de la primera etapa se mezclasen con un gas diferente que de no ser así afectaría perjudicialmente a la sostenibilidad del plasma. Además, la disposición en cascada de dos bobinas de inducción permite que se optimicen los parámetros de funcionamiento de la antorcha, aumentando de ese modo el rendimiento y reduciendo la potencia requerida para hacer funcionar a la antorcha de plasma.

50 Para suministrar la considerable cantidad de energía requerida para operar una antorcha de plasma de inducción se han utilizado dos tipos de fuente de alimentación de energía: una fuente de alimentación de oscilador tipo válvula y una fuente de alimentación de estado sólido.

55 Las fuentes de alimentación de oscilador tipo válvula son notoriamente ineficaces con típicamente un 40% de la potencia perdida en el oscilador y en el circuito tanque (o resonante) y disponiéndose solamente del 20% al 40% de la potencia de entrada como entalpía del plasma en el gas caliente.

60 Las fuentes de alimentación de estado sólido proporcionan un funcionamiento más eficiente y, por tanto, constituyen una alternativa mejor. En comparación con las fuentes de alimentación de oscilador tipo válvula, presentan un rendimiento máximo en la conversión de energía eléctrica desde una tensión de alimentación relativamente baja de 440 ó 560 voltios a 50 ó 60 Hz hasta una tensión más alta de 1.500 a 3.000 voltios a 300 a 400 Hz. Este aumento de rendimiento se debe en gran parte a la sustitución de un oscilador de válvula estándar refrigerado por agua, de triodo o de pentodo, por un circuito transistorizado de estado sólido.

65 Sin embargo, las fuentes de alimentación de estado sólido tienen actualmente un intervalo de operación

característico en baja frecuencia (típicamente de 300 a 400 kHz) y por tanto en general no son adecuadas para producir la señal de RF requerida para la bobina de alta frecuencia que se usa para encender el plasma por inducción. Adicionalmente, el uso de fuentes de alimentación de estado sólido que sean eficientes se ha proscrito en las aplicaciones que requieran el encendido y la operación de una antorcha de plasma en condiciones de presión atmosférica o de un vacío suave.

Además, los diseños actuales de doble bobina que usan fuentes de alimentación de oscilador tipo válvula resultan en graves interacciones entre los circuitos de control de las dos fuentes de alimentación, que solamente se pueden resolver mediante la imposición de una separación mínima entre las bobinas. Esta imposición de una separación entre las bobinas afecta gravemente a la uniformidad del campo de temperaturas en el plasma resultante, y tiene un impacto directo en el rendimiento.

El documento US 5.285.046 describe un aparato para depositar materiales en partículas o en polvo en la superficie de un sustrato. Se proveen al menos dos bobinas de inducción excitadas a frecuencias diferentes. Entre las bobinas de inducción individuales se debe proveer un espacio intermedio significativo para asegurar un aislamiento eléctrico adecuado y minimizar la diafonía entre las fuentes de alimentación diferentes que pueda afectar perjudicialmente a los circuitos de control de estas fuentes de alimentación.

El documento DE 31 30 908 A1 muestra una antorcha de plasma que tiene una bobina principal de inducción excitada con una corriente de alta frecuencia y una pluralidad de bobinas secundarias de inducción alimentadas con una corriente de frecuencia más baja. Se han provisto unas zonas de refrigeración entre las bobinas para evitar un contacto del plasma producido con las paredes interiores del reactor. No se han descrito medidas específicas para adaptar la impedancia de entrada de las bobinas de inducción con la impedancia de salida de las fuentes de alimentación.

SUMARIO DE LA INVENCION

Según la presente invención, se provee una antorcha de plasma de inducción que comprende un cuerpo de antorcha tubular que tiene extremos proximales y distales, y que incluye una superficie cilíndrica interior que tiene un primer diámetro.

Un tubo de confinamiento de plasma se ha construido de un material que tiene una conductividad térmica elevada, define una cámara axial en la que se confina plasma a temperatura elevada, e incluye una superficie cilíndrica exterior que tiene un segundo diámetro un poco menor que el primer diámetro. El tubo de confinamiento de plasma está montado dentro del cuerpo de antorcha tubular, y las superficies cilíndricas interior y exterior son coaxiales para definir entre estas superficies interior y exterior una delgada cámara anular de espesor uniforme.

En el extremo proximal del cuerpo de la antorcha está montada una cabeza distribuidora de gas para suministrar al menos una sustancia gaseosa al interior de la cámara axial definida por el tubo de confinamiento de plasma.

Una fuente de alimentación de fluido de refrigeración está conectada a la cámara anular delgada para establecer un flujo de alta velocidad de fluido de refrigeración en esta cámara anular delgada. La elevada conductividad térmica del material que forma el tubo de confinamiento y el flujo de gran velocidad del fluido de refrigeración contribuyen ambos a una transmisión de calor eficaz desde el tubo de confinamiento de plasma, calentado por el plasma a elevada temperatura, al fluido de refrigeración para de ese modo refrigerar eficazmente al tubo de confinamiento.

Una serie de bobinas de inducción están fijadas al cuerpo tubular de la antorcha en una dirección generalmente coaxial con este cuerpo tubular de la antorcha entre los extremos proximal y distal del cuerpo de antorcha. Esta serie de bobinas de inducción comprende:

- una primera bobina de inducción conectada a una salida de frecuencia más alta de una primera fuente de alimentación para aplicar por inducción energía a la como mínimo una sustancia gaseosa suministrada a la cámara axial; y
- una pluralidad de segundas bobinas de inducción entre la primera bobina de inducción y el extremo distal del cuerpo tubular de antorcha, cuyas segundas bobinas de inducción tienen sus respectivos terminales.

Un circuito de interconexión está interpuesto entre (a) unos terminales primero y segundo de una salida de frecuencia más baja de una segunda fuente de alimentación, y (b) los terminales de las segundas bobinas de inducción, para conectar las segundas bobinas de inducción en una disposición en serie o en paralelo entre estos terminales primero y segundo con el fin de:

- adaptar sustancialmente una impedancia de entrada de las segundas bobinas de inducción con una impedancia de salida de la segunda fuente de alimentación; y
- aplicar energía por inducción a la como mínimo una sustancia gaseosa suministrada a la cámara axial.

Según otro aspecto, la antorcha de plasma de inducción de la presente invención comprende además la primera fuente de alimentación que tiene una salida de frecuencia más alta, y la segunda fuente de alimentación que tiene

una salida de frecuencia más baja que incluye los terminales primero y segundo.

Los anteriores y otros objetos, ventajas y características de la presente invención resultarán más aparentes tras la lectura de la siguiente descripción sin carácter limitativo de una realización ilustrativa de la misma, dada a título de ejemplo solamente con referencia a los dibujos adjuntos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

En los dibujos adjuntos:

La Figura 1 es una vista en alzado en corte transversal de una realización ilustrativa de una antorcha de plasma de inducción de múltiples bobinas según la presente invención, que comprende un tubo de confinamiento refrigerado por agua

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA REALIZACIÓN ILUSTRATIVA

La Figura 1 muestra la realización ilustrativa de la antorcha de plasma de inducción de múltiples bobinas identificada en general con el número 100 de referencia. Más específicamente, la realización ilustrativa mostrada en la Figura 1 forma una antorcha de plasma de inducción de múltiples bobinas de alta impedancia adaptada, capaz de generar un plasma de gas acoplado por inducción.

La antorcha 100 de plasma de inducción de múltiples bobinas de la Figura 1 comprende un cuerpo tubular (por ejemplo cilíndrico) 2 de antorcha fabricado de unas piezas proximal 21 y distal 23 construidas de cerámica fundida o de un polímero de material compuesto y ensambladas de extremo a extremo. Se podrían contemplar también otros materiales adecuados para fabricar las piezas tubulares 21 y 23 del cuerpo 2 de antorcha. Este cuerpo tubular 2 de antorcha tiene unos extremos proximal 3 y distal 5, y define una cámara axial en la que se enciende y sostiene un plasma 72.

Refiriéndose todavía a la realización ilustrativa mostrada en la Figura 1, el cuerpo tubular 2 de antorcha tiene una superficie cilíndrica interior con un tubo cilíndrico 39 de confinamiento de plasma coaxial al cuerpo 2 de antorcha. Como ejemplo sin carácter limitativo, el tubo 39 de confinamiento de plasma se puede fabricar de un material cerámico.

Una serie de bobinas de inducción 4, 12, 14 y 16 están fijadas al cuerpo tubular 2 de antorcha generalmente coaxiales con este cuerpo tubular de antorcha entre los extremos proximal 3 y distal 5.

La serie de bobinas de inducción comprende una primera bobina de inducción 4 fabricada de un tubo de cobre refrigerado por agua completamente empotrado en la pieza proximal 21 del cuerpo tubular 2 de antorcha. Esta primera bobina de inducción 4 es substancialmente coaxial con el cuerpo tubular 2 de antorcha y está situada en el extremo interior de una sonda tubular 40. Sin embargo, hay que hacer notar que la posición de la sonda 40 no se limita al caso ilustrado en la Figura 1, puesto que la antorcha de plasma de inducción 100 se opera usualmente con la sonda 40 penetrando bien en el plasma 40 hasta el nivel de la tercera bobina 14. Los dos extremos de la primera bobina de inducción 4 se extienden ambos hasta la superficie exterior 6 del cuerpo tubular 2 de antorcha para formar un par de terminales 7 y 9 a través de los cuales se puede suministrar tanto agua de refrigeración como una corriente de RF a la bobina 4.

Similarmente, la serie de bobinas de inducción comprende una segunda bobina de inducción 12, una tercera bobina de inducción 14 y una cuarta bobina de inducción 16 también construidas de tubo de cobre refrigerado por agua completamente empotrado en la pieza distal 23 del cuerpo tubular 2 de antorcha. Las bobinas de inducción 12, 14 y 16 son coaxiales tanto con el cuerpo tubular 2 de antorcha como con la primera bobina de inducción 4. Como se ha ilustrado en la Figura 1, las bobinas de inducción 12, 14 y 16 están posicionadas entre la primera bobina de inducción 4 y el extremo distal 5 del cuerpo tubular 2 de antorcha.

En la realización ilustrativa mostrada en la Figura 1, la segunda bobina 12, la tercera bobina 14 y la cuarta bobina 16 presentan todas la misma impedancia característica, y la serie de las bobinas de inducción primera 4, segunda 12, tercera 14 y cuarta 16 están desviadas entre sí a lo largo de su eje geométrico común.

Eventualmente, las bobinas 12, 14 y 16 podrían estar también entrelazadas helicoidalmente, de tal manera que un bucle de una bobina determinada se encuentre directamente por encima o por debajo de un bucle de otra bobina.

Adicionalmente, en la realización ilustrativa de la Figura 1, las bobinas 4, 12, 14 y 16 tienen todas el mismo radio. Sin embargo, los expertos en la técnica apreciarán que se pueden usar también bobinas inductivas de diámetros diferentes para adaptar u optimizar las características de funcionamiento de la antorcha de plasma de inducción.

Los dos extremos de la segunda bobina de inducción 12 se extienden hasta la superficie exterior 6 del cuerpo 2 de antorcha para formar un par de terminales 11 y 13 a través de los cuales se puedan suministrar a esta bobina 12 tanto agua de refrigeración como una corriente de RF. Finalmente, los dos extremos de la cuarta bobina de inducción 16 se extienden hasta la superficie exterior 6 del cuerpo 2 de antorcha para formar un par de terminales 25

y 27 a través de los cuales se puedan suministrar tanto agua de refrigeración como una corriente de RF.

5 El agua de refrigeración 19 se suministra a los tubos de cobre que forman las bobinas 12, 14 y 116 a través de un conducto 19, un colector 31, y de los terminales 13, 17 y 27. Este agua de refrigeración se recupera a través de los terminales 11, 15 y 25, un colector 33 y un conducto 35.

Refiriéndose todavía a la Figura 1, el agua de refrigeración 37 se suministra al tubo de cobre que forma la bobina 4 a través del terminal 9. Este agua de refrigeración 37 se recupera a través del terminal 7.

10 Una cabeza 30 distribuidora de gas está sujeta fijamente al extremo proximal 3 del cuerpo 2 de antorcha por medio de, por ejemplo, una pluralidad de pernos (que no se han mostrado). La cabeza 30 distribuidora de gas comprende un tubo intermedio 32. En la cara inferior 34 de la cabeza 30 se ha practicado una cavidad, que define una parte 56 de pared cilíndrica proximal de menor diámetro, y una parte 41 de pared cilíndrica distal de mayor diámetro. La parte 15 56 de pared cilíndrica tiene un diámetro igual al diámetro interno del tubo 39 de confinamiento de plasma. La parte 56 de pared cilíndrica tiene un diámetro dimensionado para recibir al extremo correspondiente del tubo intermedio 32. El tubo intermedio 32 es más corto y de menor diámetro que el tubo 39 de confinamiento de plasma. El tubo 32 es cilíndrico y generalmente coaxial con el cuerpo 2 de antorcha y las bobinas de inducción 4, 1, 14 y 16. Una cavidad cilíndrica 36 está definida entre el tubo intermedio 32 y la parte 41 de pared cilíndrica y una superficie interior 43 del tubo 39 de confinamiento de plasma.

20 La cabeza 30 distribuidora de gas podría estar provista de una abertura central 38 a través de la cual se introduzca y sujete una sonda de inyección central 40. La sonda de inyección 40 es alargada y generalmente coaxial con el tubo 32, el cuerpo 2 de antorcha, el tubo 39 de confinamiento de plasma y las bobinas de inducción 4, 12, 14 y 16. En muchos casos, se inyecta polvo y un gas portador (flecha 42), o precursores para una reacción de síntesis, en la 25 cámara 70 de la antorcha de plasma 100 a través de la sonda 40. El polvo transportado por el gas portador e inyectado a través de la sonda 40 constituye un material para fundirse o vaporizarse mediante el plasma o el material que se va a procesar, como saben bien los expertos en la técnica.

30 La cabeza 30 distribuidora de gas comprende también unos medios convencionales de conducto (que no se han mostrado) adecuados para inyectar un gas central (flecha 46) dentro del tubo intermedio 32 y causar un flujo tangencial de este gas sobre la superficie cilíndrica interior 58 de este tubo 32.

35 La cabeza 30 distribuidora de gas comprende también unos medios convencionales de conducto (que no se han mostrado) adecuados para inyectar un gas envolvente (o de protección) dentro de la cavidad cilíndrica 36 entre (a) la superficie cilíndrica exterior 60 del tubo intermedio 32, y (b) la parte 41 de pared cilíndrica y la superficie interior 43 del tubo 39 de confinamiento de plasma y causar un flujo axial de este gas envolvente en la cavidad cilíndrica 36.

40 Se cree que está dentro de los conocimientos de los expertos en la técnica seleccionar (a) la estructura de la sonda 40 de inyección de polvo y de los medios de conducto de gas de plasma (flechas 44 y 46), (b) la naturaleza del polvo, del gas portador, del gas central y del gas envolvente, y (c) los materiales de los que se ha fabricado la cabeza 30 distribuidora de gas, la sonda de inyección 40 y el tubo intermedio 32 y, de acuerdo con ello, estas características no se describirán adicionalmente en esta memoria descriptiva.

45 Según se ha ilustrado en la Figura 1, una cámara anular 45 de poco espesor (aproximadamente 1 mm) está definida entre la superficie interior del cuerpo 2 de antorcha y la superficie exterior del tubo de confinamiento 39. Un fluido de refrigeración a gran velocidad, por ejemplo agua, circula en la cámara anular de poco espesor 45 sobre la superficie exterior del tubo 39 (flechas como las 47, 49) para refrigerar este tubo de confinamiento 39 del que su superficie exterior 43 está expuesta a la elevada temperatura del plasma.

50 El agua de refrigeración (flecha 47) se inyecta en la cámara anular de poco espesor 45 a través de una admisión 52, de un conducto 55 que se extiende a través de la cabeza 30 distribuidora de gas y del cuerpo tubular 2 de antorcha, y de unos medios de conducto anular 57 estructurados para trasegar el agua de refrigeración desde el conducto 55 hasta el extremo inferior de la cámara anular 45.

55 El agua de refrigeración procedente del extremo superior de la cámara anular de poco espesor 45 se trasiega a una descarga 59 (flecha 49) a través de un conducto 8 formado en la parte superior del cuerpo tubular 2 de antorcha y de la cabeza 30 distribuidora de gas.

60 El material cerámico del tubo 39 de confinamiento de plasma puede ser un material cerámico puro o compuesto basado en nitruro de silicio, nitruro de boro, nitruro de aluminio y alúmina sinterizados o ligados por reacción, o cualesquiera combinaciones de los mismos, con variados aditivos y materiales de relleno. Este material cerámico es denso y se caracteriza por una elevada conductividad térmica, un gran resistividad eléctrica y una elevada resistencia a los choques térmicos.

65 Como el cuerpo cerámico del tubo 39 de confinamiento de plasma presenta una elevada conductividad térmica, la gran velocidad del agua de refrigeración que circula en la cámara anular de poco espesor 45 proporciona un elevado

coeficiente de transmisión de calor adecuado y requerido para refrigerar apropiadamente el tubo 39 de confinamiento de plasma. La refrigeración intensa y eficaz de la superficie exterior del tubo 39 de confinamiento de plasma hace posible la producción de plasma a una potencia mucho mayor en caudales de gas menores de los que normalmente se requieren en las antorchas de plasma estándar que comprendan un tubo de confinamiento fabricado de cuarzo. Esto a su vez origina unos niveles más altos de entalpía de los gases a la salida de la antorcha de plasma.

Como puede apreciarse, el espesor muy pequeño (aproximadamente 1 mm) de la cámara anular 45 juega un papel importante en el incremento de la velocidad del agua de refrigeración sobre la superficie exterior del tubo de confinamiento 39 y, de acuerdo con ello, en alcanzar el elevado coeficiente de transmisión de calor requerido.

Al estar completamente empotradas las bobinas de inducción 4, 12, 14 y 16 en el material cerámico fundido o en el polímero compuesto del cuerpo 2 de antorcha, se puede controlar con precisión la separación entre las bobinas de inducción y el tubo de confinamiento de plasma con el fin de mejorar el rendimiento del acoplamiento de energía entre las bobinas de inducción y el plasma. Esto hace posible también un control preciso del espesor de la cámara anular 45, sin ninguna interferencia ocasionada por las bobinas de inducción, cuyo control se obtiene mediante un mecanizado con tolerancias estrechas de la superficie interior del cuerpo 2 de antorcha y de la superficie exterior del tubo 39 de confinamiento de plasma.

En operación, el plasma 72 acoplado por inducción se genera mediante la aplicación de una corriente eléctrica de RF a las bobinas de inducción primera 4, segunda 12, tercera 14 y cuarta 16 para producir un campo magnético de RF en la cámara axial 70. El campo aplicado produce corrientes de Foucault en los gases ionizados y, por medio de un calentamiento por efecto Joule, se sostiene un plasmóide estable. Por lo demás, se cree que el funcionamiento de una antorcha de plasma de inducción, incluyendo el encendido del plasma, está dentro de los conocimientos de los expertos en la técnica, y no es necesario que se describa adicionalmente en esta memoria descriptiva.

La corriente eléctrica de RF suministrada a la primera bobina de inducción 4 por la fuente de alimentación de oscilador 48 es responsable del encendido y estabilización del plasma generado 72. Como el encendido requiere una corriente eléctrica de RF de frecuencia más alta, la fuente de alimentación de oscilador 48 puede ser, por ejemplo, una fuente de alimentación de oscilador de frecuencia más alta del tipo de válvula. Por tanto, la fuente de alimentación 48 tiene una salida de frecuencia más alta conectada a los terminales 7 y 9 para suministrar una corriente de RF de mayor frecuencia a la primera bobina de inducción 4, que es la bobina de inducción que está más cerca de la cabeza 30 distribuidora de gas. De esta manera, una energía de frecuencia más alta se aplica por inducción a la sustancia gaseosa (o sustancias gaseosas) suministrada (o suministradas) a la cámara axial 70 para encender, sostener y estabilizar el plasma 72. La fuente de alimentación de oscilador 48 podría funcionar en la banda de 3 MHz con una tensión operativa de 6 a 15 kV. Debe tenerse en cuenta que el intervalo de tensiones, la frecuencia operativa y la amplitud de la corriente de RF de la fuente de alimentación 48 se pueden cambiar para satisfacer los requisitos particulares de la aplicación prevista.

Una segunda fuente de alimentación 50 de frecuencia más baja tiene una salida de frecuencia más baja que incluye dos terminales 51 y 53 conectados a las bobinas de inducción 12, 14 y 16 por medio de un circuito de interconexión 62 y terminales 11 y 13, 15 y 17, y 25 y 27, respectivamente. De esta manera, se aplica por inducción una energía de frecuencia más baja a la sustancia gaseosa (o sustancias gaseosas) suministrada (o suministradas) a la cámara axial 70 para sostener adicionalmente y estabilizar el plasma 72. En esta segunda realización ilustrativa, la fuente de alimentación 50 puede ser una fuente de alimentación de estado sólido. Por ejemplo, dicha fuente de alimentación de estado sólido 50 podría tener una tensión operativa de 2 kV y una elevada corriente de salida. La corriente de salida varía en relación a la corriente nominal de la instalación, y en algunos casos puede exceder de 1000 amperios. La frecuencia de operación de la fuente de alimentación podría abarcar típicamente entre 200 kHz y 400 kHz. De nuevo en este caso, hay que tener en cuenta que la tensión operativa y la frecuencia de trabajo, así como el nivel de la corriente de salida de la fuente de alimentación 50, se pueden variar para satisfacer los requisitos de la aplicación prevista.

En una instalación convencional de antorcha de plasma de doble bobina, que funcione con una doble fuente de alimentación de oscilador tipo válvula de alta potencia, se debe proveer un espacio intermedio significativo entre las bobinas de inducción individuales para asegurar un aislamiento eléctrico adecuado y minimizar la diafonía entre las dos fuentes de alimentación que pueden afectar perjudicialmente a los circuitos de control de estas fuentes de alimentación. Típicamente, este espacio intermedio es del orden de 5 a 10 cm. Mediante la combinación de una fuente de alimentación de estado sólido tal como la que tiene como número de referencia el 50 a baja tensión con una fuente de alimentación convencional de oscilador tipo válvula y de alta tensión tal como la del número 48, el espacio intermedio 52 entre la primera bobina de inducción 4 y la segunda bobina de inducción 12 se puede reducir hasta unos pocos centímetros, y puede ser tan pequeño como de dos a tres centímetros, mientras que se mantienen al mismo tiempo un buen aislamiento eléctrico y se minimiza la diafonía.

En esta realización ilustrativa, la fuente de alimentación de estado sólido 50 requiere una carga inductiva igual a 1/3 de la carga inductiva de la bobina 12, bobina 14 o bobina 16 por separado. Si se considera que las impedancias de las bobinas 12, 14 y 16 son iguales, la carga inducida requerida se obtiene conectando la segunda bobina 12, la

tercera bobina 14 y la cuarta bobina 16 en paralelo entre los terminales 51 y 53 de la fuente de alimentación de estado sólido 50. Las conexiones correspondientes se muestran con líneas de puntos en el circuito de interconexión 62.

5 Mediante la combinación de múltiples bobinas (tales como las bobinas 12, 14 y 16), se pueden adaptar sustancialmente la impedancia de salida de la fuente de alimentación de estado sólido 50 y la impedancia de entrada de las bobinas de inducción (bobinas 12, 14 y 16 en la realización ilustrada) que sostienen el plasma de inducción, aumentando de ese modo el rendimiento máximo del acoplamiento de energía de la antorcha de plasma acoplada por inducción. De hecho, la carga compleja tal como se ve mediante la fuente de alimentación de estado sólido 50 varía en función del número de bobinas alimentadas por esta fuente de alimentación de estado sólido 50. Conectando las bobinas de inducción (como las bobinas 12, 14 y 16) en paralelo o en serie entre los terminales 51 y 53 a través del circuito de interconexión 62, se produce el efecto de alterar la carga compleja. Más específicamente, el valor de la inductancia de la carga compleja aumentará mediante la conexión de las bobinas de inducción (como las bobinas 12, 14 y 16) en serie, y disminuirá conectando estas bobinas en paralelo. Por tanto, mediante la selección de la interconexión óptima de las bobinas (como las bobinas 12, 14 y 16) en serie o en paralelo entre sí, se puede adaptar la impedancia de entrada de las bobinas de inducción con la impedancia de salida de la fuente de alimentación de estado sólido 50.

20 Por supuesto, está dentro del alcance de la presente invención el uso de un número de bobinas de inducción menor o mayor de tres, en lugar de las tres (3) bobinas de inducción 12, 14 y 16.

25 El uso de un diseño de múltiples bobinas permite por primera vez una adaptación sustancial de la impedancia de entrada de las bobinas de inducción 12, 14 y 16 con la impedancia de salida de la fuente de alimentación 50. Esto es particularmente crítico cuando se use una fuente de alimentación de estado sólido 50 de RF (transistorizada), puesto que tiene un diseño relativamente rígido y no puede tolerar una gran inadaptación entre la impedancia de salida de la fuente de alimentación y la impedancia de entrada de las bobinas de inducción.

Para mayor claridad, se da el siguiente ejemplo numérico

30 Dado que la impedancia equivalente de bobina se define por la siguiente ecuación:

$$L_c = a \cdot N_c^2 \cdot d_c \cdot e / Z_c$$

Donde:

35

a = una constante ($4,0 \times 10^{-6}$)

N_c = número de espiras de la bobina;

40

d_c = diámetro interno de la bobina;

d_n = diámetro del plasma o de la carga;

45

$e = (d_c - d_n)/2$; y

Z_c = Longitud de la bobina.

50 Asimismo, dado que para un segmento de bobina de un número N_s de bobinas (número de bobinas $N_s = 3$), la impedancia equivalente de bobina viene dada por:

$$L_{eq} = L_c / N_s$$

55 La impedancia equivalente de bobina para una bobina de muchas espiras constituida, por ejemplo, por tres (3) segmentos cada uno de dos (2) espiras es:

$$L_{eq} = (4/3) L_{\text{bobina de una sola espira}}$$

60 Estos valores fraccionarios de la impedancia de bobina no se pueden alcanzar por ninguno de los diseños alternativos conocidos de bobinas de plasma de inducción, que están limitados a un número entero múltiplo de "bobinas de una sola espira".

Aunque la presente invención se ha descrito anteriormente en la presente memoria con referencia a realizaciones ilustrativas de la misma, estas realizaciones se pueden modificar a voluntad, dentro del alcance de las reivindicaciones que se adjuntan como apéndice, de la presente invención.

65

REIVINDICACIONES

1. Una antorcha de plasma de inducción que comprende:

- 5 - un cuerpo tubular (2) de antorcha que tiene unos extremos proximal (3) y distal (5), y que incluye una superficie cilíndrica interior que tiene un primer diámetro;
- 10 - un tubo (39) de confinamiento de plasma (a) fabricado de un material que tiene una elevada conductividad térmica, (b) que define una cámara axial (70) en la que está confinado un plasma a elevada temperatura, y (c) que incluye una superficie cilíndrica exterior que tiene un segundo diámetro ligeramente menor que el primer diámetro;
- 15 - cuyo tubo (39) de confinamiento de plasma está montado dentro del cuerpo tubular (2) de antorcha, y las superficies cilíndricas exterior e interior que son coaxiales, para definir entre dichas superficies interior y exterior una cámara anular delgada (45) de espesor uniforme;
- 20 - una cabeza (30) distribuidora de gas fijada al extremo proximal (3) del cuerpo (2) de antorcha para suministrar al menos una sustancia gaseosa al interior de la cámara axial (70) definida por el tubo (39) de confinamiento de plasma;
- 25 - un dispositivo de suministro de fluido de refrigeración conectado a la cámara anular delgada (45) para establecer un flujo de gran velocidad de un fluido de refrigeración en dicha cámara delgada anular (45), contribuyendo tanto la elevada conductividad térmica del material que forma el tubo de confinamiento (39) como el flujo de gran velocidad del fluido de refrigeración a la transmisión eficaz de calor del fluido de refrigeración para de ese modo refrigerar eficazmente el tubo de confinamiento (39);
- 30 - una primera fuente de alimentación (48) que tiene una salida de frecuencia más alta;
- 35 - una segunda fuente de alimentación (50) que tiene una salida de frecuencia más baja que incluye unos terminales primero y segundo (51, 53);
- 40 - una serie de bobinas de inducción (4, 12, 14, 16) fijadas al cuerpo tubular (2) de antorcha generalmente coaxiales con dicho cuerpo tubular (2) entre los extremos proximal (3) y distal (5) del cuerpo (2) de antorcha, cuya serie de bobinas de inducción comprende:
- 45 - una primera bobina de inducción (4) conectada a una salida de frecuencia más alta de una primera fuente de alimentación para aplicar energía por inducción a la como mínimo una sustancia gaseosa suministrada a la cámara axial (70); y
- 50 - una pluralidad de segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) entre la primera bobina de inducción (4) y el extremo distal (5) del cuerpo tubular (2) de antorcha, cuyas segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) tienen unos terminales respectivos (11 y 13, 15 y 17, 25 y 27); y
- 55 - un circuito de interconexión (52) interpuesto entre (a) los terminales primero (51) y segundo (53) de una salida de frecuencia más baja de la segunda fuente de alimentación (50) y (b) los terminales de las segundas bobinas de inducción (12, 14, 16), para conectar las segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) en una disposición en serie o en paralelo entre dichos terminales primero y segundo (51, 53) con el fin de:
- 60 adaptar sustancialmente una impedancia de entrada de la segunda bobina de inducción con una impedancia de salida de la segunda fuente de alimentación (50); y
- 65 aplicar energía por inducción a dicha al menos una sustancia gaseosa suministrada al interior de dicha cámara axial (70).

2. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que la segunda fuente de alimentación (50) es una fuente de alimentación de estado sólido.

3. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que la primera fuente de alimentación (48) es una fuente de alimentación de oscilador del tipo de válvula, y la segunda fuente de alimentación (50) es una fuente de alimentación de estado sólido.

4. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que las segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) están conectadas, a través del circuito de interconexión (62), en paralelo entre los terminales primero (51) y segundo (53) de la salida de frecuencia más baja de la segunda fuente de alimentación (50).

5. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que las segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) están conectadas, a través del circuito de interconexión (62), en serie entre los terminales primero (51) y segundo (53) de la salida de frecuencia más baja de la segunda fuente de alimentación (50).

6. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que las segundas bobinas de inducción (12, 14, 16) están conectadas, a través del circuito de interconexión (62), en una disposición en serie y en paralelo entre los terminales primero (51) y segundo (53) de la salida de frecuencia más baja de la segunda fuente de alimentación (50).

7. Una antorcha de plasma de inducción según la reivindicación 1, en la que la primera y las segundas bobinas de inducción (4, 12, 14, 16) están empotradas en el cuerpo tubular (2) de antorcha.

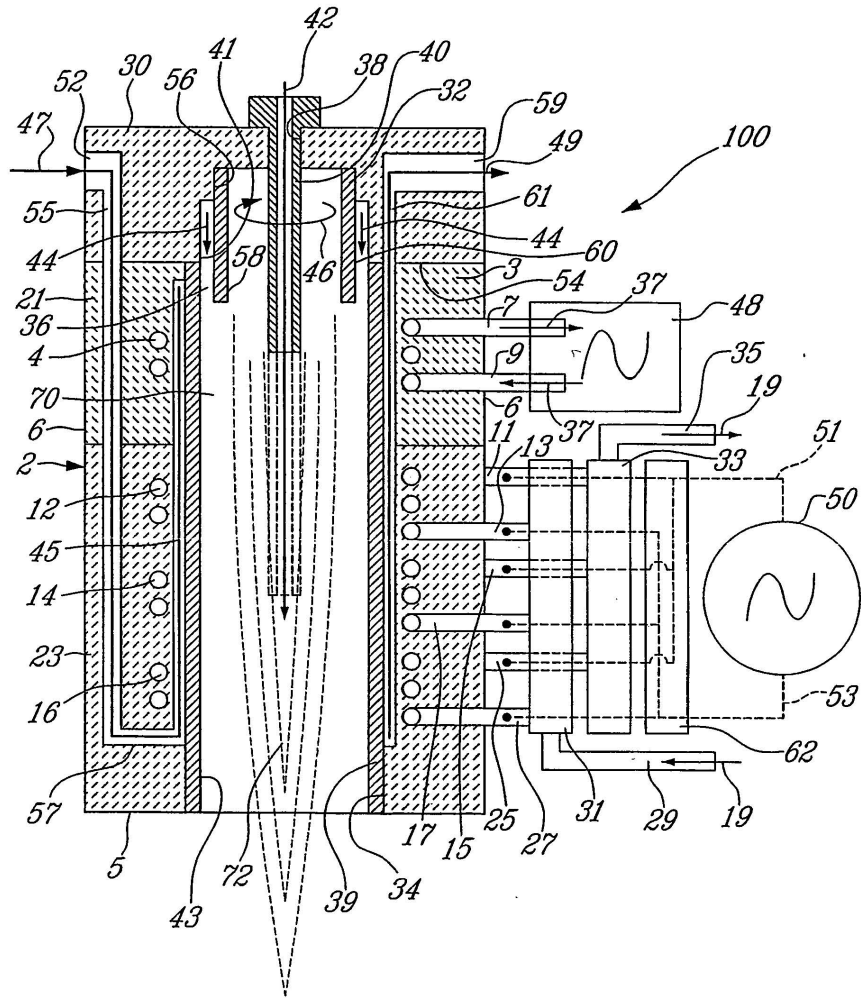


FIG-1