

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 300**

51 Int. Cl.:

A61L 2/14 (2006.01)
H05H 1/00 (2006.01)
H05H 1/46 (2006.01)
A61L 2/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.11.2008 E 13156704 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.07.2018 EP 2599506**

54 Título: **Aplicador para esterilización por plasma mediante microondas**

30 Prioridad:

06.11.2007 GB 0721714
15.03.2008 GB 0804885
23.04.2008 GB 0807347
17.10.2008 GB 0819030

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.10.2018

73 Titular/es:

CREO MEDICAL LIMITED (100.0%)
Creo House Unit 2 Beaufort Park Beaufort Park
Way Chepstow
Wales, NP16 5UH, GB

72 Inventor/es:

HANCOCK, CHRISTOPHER PAUL

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 688 300 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

Aplicador para esterilización por plasma mediante microondas

5 Campo de la invención

La invención se refiere a sistemas de esterilización adecuados para uso clínico, por ejemplo, sobre o en el cuerpo humano o animal. Por ejemplo, la invención puede proporcionar un sistema que puede usarse para destruir o tratar ciertas bacterias y/o virus asociados al sistema biológico humano o animal y/o al entorno circundante. En particular, la invención puede ser adecuada para la esterilización de heridas y lechos de herida.

Antecedentes de la invención

Las bacterias son organismos unicelulares que se encuentran en casi todas partes, existen en grandes cantidades y son capaces de dividirse y multiplicarse rápidamente. La mayoría de las bacterias son inofensivas, pero hay tres grupos dañinos; en concreto: cocos, espirilos, y bacilos. Las bacterias cocos son células redondas, las bacterias espirilos son células helicoidales, y las bacterias bacilos tienen forma de varilla. Las bacterias dañinas provocan enfermedades como el tétanos y la fiebre tifoidea.

Los virus solo pueden vivir y multiplicarse apropiándose de otras células, es decir, no pueden sobrevivir por sí mismos. Los virus provocan enfermedades tales como resfriados, gripe, paperas y SIDA.

Las esporas de hongos y pequeños organismos llamados protozoos pueden provocar enfermedades.

La esterilización es una acción o proceso que destruye o elimina toda forma de vida, especialmente los microorganismos. Durante el proceso de la esterilización por plasma se producen agentes activos. Estos agentes activos son los fotones ultravioleta de alta intensidad y los radicales libres, que son átomos o conjuntos de átomos con electrones no emparejados químicamente. Una característica atractiva de la esterilización por plasma es que es posible lograr la esterilización a temperaturas relativamente bajas, tales como la temperatura corporal. La esterilización por plasma también tiene la ventaja de que es segura para el operario y el paciente.

Los plasmas de presión atmosférica a baja temperatura pueden usarse para reemplazar los métodos de esterilización convencionales y ofrecer una clara ventaja sobre los medios de esterilización existentes en términos de su naturaleza no tóxica, los efectos de tratamiento inmediatos, y la capacidad para producir el plasma en un intervalo de niveles de energía y en un intervalo de formas diferentes. En un entorno a temperatura ambiente, el plasma está soportado habitualmente por campos electromagnéticos (EM). Los electrones ligeros absorben energía de un campo eléctrico y transfieren parte de esta energía a las partículas pesadas en el plasma. Si no se da a los electrones la oportunidad suficiente de transferir su energía, los componentes de plasma más pesados permanecen a temperaturas mucho más bajas que los electrones. Estos plasmas se denominan plasma no térmico y sus temperaturas de gas pueden ser tan bajas como la temperatura ambiente.

Las partículas de plasma activas (electrones, iones, radicales y otras especies químicamente activas) y la radiación UV pueden usarse para desinfectar y esterilizar tejido vivo, insertos biológicos colocados dentro del tejido vivo, superficies externas, o instrumentos quirúrgicos. Cuanto más cerca está localizada la fuente de plasma con respecto al tejido vivo (u otras superficies) y cuanto mayor es el campo eléctrico en el plasma, mayor es la intensidad y la eficacia del proceso de tratamiento de esterilización por plasma no térmico.

Durante el uso práctico dentro de o sobre la superficie del cuerpo, es decir, durante la esterilización de una herida para matar las bacterias dentro de la herida o las bacterias que se alojan en la superficie de la herida, la destrucción o la reducción de las bacterias contenidas dentro de los orificios naturales en el interior del cuerpo, para matar las bacterias contenidas en los insertos colocados en el interior del cuerpo humano (y que se manifiestan dentro del tejido biológico en las proximidades del inserto), o para matar las bacterias que pueden existir en la piel antes de abrir al paciente (y para volver a esterilizar antes del cierre) y otras superficies que se requiere esterilizar en las que no es deseable que la temperatura aumente excesivamente, es decir, en camas, cortinas, instrumentos, almohadas y ciertos plásticos, la temperatura en la superficie o en el sitio de tratamiento (el tejido biológico o el entorno) producida por el plasma no debe superar la temperatura normal del cuerpo humano. Puede ser deseable considerar que la temperatura máxima en una superficie producida por un chorro de plasma se limite a un máximo de 10 °C por encima de la temperatura ambiente, es decir, $T_r \leq T_t \leq T_r + 10$, donde T_r es la temperatura ambiente (°C), y T_t es la temperatura de tratamiento (°C). Una temperatura nominal del plasma no térmico es de 37 °C.

Aunque para algunas aplicaciones es deseable trabajar dentro de estos límites, la invención descrita en el presente documento no puede estar limitada por los mismos. Por ejemplo, puede ser deseable aumentar la temperatura muy por encima de la temperatura corporal cuando se considera la esterilización de los suelos de hospital, las camas de hospital u otros materiales generales dentro de un entorno hospitalario donde pueden tolerarse temperaturas que superan la temperatura corporal.

La longitud del plasma y la temperatura producida en una superficie pueden descubrirse usando el balance de energía, es decir, el calentamiento inducido por electrones de las partículas pesadas en comparación con las pérdidas de energía por conducción térmica. La longitud de un chorro de plasma puede calcularse de la siguiente manera:

5

$$L = \sqrt{\frac{m_i 3K_i \Delta T}{m_e v_i N_D k T_e}}, \quad \dots 1$$

10

donde m_i es la masa atómica, K_i es la conductividad térmica, v_i es la frecuencia de colisión electrón-átomo eficaz, N_D es la densidad de electrón, ΔT es el cambio de temperatura y T_e es el nivel de energía. Las tablas 1 y 2 enumeran los parámetros para calcular la longitud de plasma en ciertos gases. La tabla 3 enumera las longitudes de plasma habituales a temperatura ambiente para esos gases.

Tabla 1: Parámetros para calcular la longitud de plasma a una temperatura de 300 K y una presión de 1 Torr (133,3 Pa), y donde u es una unidad de masa atómica ($= 1,66 \times 10^{-27}$ kg).

	Ar	CO ₂	He	N ₂
K_i (Wm ⁻¹ K ⁻¹)	16,2	14,5	146,10	24,3
v_i (s ⁻¹)	$6,3117 \times 10^7$	$3,22 \times 10^9$	$2,27 \times 10^8$	$1,497 \times 10^8$
m_i (kg)	$39,948u$	$44,01u$	$4,002602u$	$14,0067u$

15

Tabla 2: Otros parámetros usados en el cálculo

Parámetro	Valor
N_D	$3,22 \times 10^{22} \text{ m}^{-3}$
m_e	$9,109 \times 10^{-31} \text{ kg}$
k	$1,380622 \times 10^{-23}$
T_e	3 eV
ΔT	10 K

Tabla 3: Longitud de plasma calculada a una temperatura de 300 K y una presión de 1 Torr (133,3 Pa)

	Ar	CO ₂	He	N ₂
Longitud de plasma (m)	$5,35 \times 10^{-4}$	$7,43 \times 10^{-5}$	$8,478 \times 10^{-4}$	$4,337 \times 10^{-4}$

20 El plasma no térmico puede usarse para crear moléculas altamente reactivas denominadas radicales libres, que pueden usarse para descomponer contaminantes. Los radicales libres son átomos o moléculas que tienen electrones desaparejados.

25 Las células de plasma no térmico pueden usar un campo eléctrico de alta tensión para crear grandes cantidades de radicales libres altamente reactivos. Los radicales libres pueden usarse para reaccionar con y descomponer productos químicos orgánicos peligrosos para convertirlos en sustancias no peligrosas, tales como dióxido de carbono o agua.

30 Los fotones ultravioleta en el plasma afectan a las células de las bacterias induciendo la formación de dímeros de timina en el ADN. Esto inhibe la capacidad de las bacterias para replicar correctamente. Este efecto puede ser especialmente útil en la aplicación del tratamiento de enfermedades de transmisión sexual en las que puede ser deseable reducir el nivel de bacterias, pero no destruirlas por completo, es decir, para no destruir la flora natural del cuerpo.

35 También se reconoce que las especies reactivas creadas en el plasma juegan un papel importante en la esterilización. En particular, las descargas que contienen oxígeno pueden tener un fuerte efecto germicida. Por ejemplo, el plasma contiene habitualmente electrones e iones cargados, así como especies químicamente activas, tales como el ozono, los óxidos de nitrógeno, y los radicales hidroxilo. Como ejemplo de un efecto clínico que puede producirse usando estos sistemas, el plasma de óxido nítrico puede producirse usando un gas de helio y aire, por lo que el helio ayuda a que el plasma se forme de manera eficiente a partir de aire a bajas energías; si este plasma pudiera insertarse en el cuerpo, entonces podría usarse para ayudar a combatir la infección y la inflamación, esto podría ser especialmente útil para aplicaciones mínimamente invasivas o de ojo de cerradura, por ejemplo, el tratamiento de las enfermedades de transmisión sexual o la esterilización de insertos corporales. Los radicales hidroxilo que pueden producirse a partir de plasma son otra fuente útil, ya que son mucho más eficaces en la oxidación de contaminantes en el aire que el ozono y son varias veces más germicidas y fungicidas que el cloro, lo que les hace muy interesantes en términos de destrucción de hongos, bacterias y virus.

45

También se ha sugerido que las partículas cargadas pueden jugar un papel significativo en la ruptura de la membrana externa de las células de las bacterias. La fuerza electrostática provocada por la acumulación de carga

en la superficie externa de la membrana de las células puede superar la resistencia a la tracción de la membrana y, por lo tanto, hacer que se rompa. Este proceso es más probable que se produzca para las bacterias gram negativas, que poseen superficies irregulares.

- 5 Los documentos US 2007/0223992 A1, US 2006/0042547 A1, US 2005/0029954 A1 y EP 1 347 673 A1 desvelan diversos aspectos del uso de plasma para fines de esterilización.

Sumario de la invención

- 10 De acuerdo con la invención, se proporciona un aplicador de plasma manual para un sistema de esterilización por plasma, comprendiendo el aplicador: una región de generación de plasma encerrada que tiene: una entrada de gas para recibir gas procedente de una alimentación de gas, una entrada de energía para recibir energía de microondas y una salida para suministrar plasma fuera de la región de generación de plasma hacia la materia a esterilizar; un conector de microondas para impulsar la potencia de microondas desde un cable de microondas a la entrada de energía; y un ajustador de impedancia dispuesto para controlar la impedancia dentro de la región de generación de plasma más allá del conector de microondas cuando el gas y la energía de microondas se suministran a la misma, en el que el ajustador de impedancia comprende una capacitancia variable conectada en derivación a la región de generación de plasma en relación con una trayectoria de propagación de energía de microondas desde la entrada de energía a la salida.

- 20 En la presente memoria descriptiva, la frecuencia de microondas puede usarse ampliamente para indicar el intervalo de 400 MHz a 100 GHz, pero preferentemente el intervalo de 1 GHz a 60 GHz. Las frecuencias específicas que se han considerado son: 900 MHz, 2,45 GHz, 3,3 GHz, 5,2 GHz, 10 GHz, 14,5 GHz y 24 GHz.

- 25 Durante el uso, el extremo distal del aplicador de plasma puede estar en estrecho contacto con el tejido o superficie para garantizar que la energía de plasma se acopla de manera eficiente a la superficie que se está tratando para mejorar la eficacia del sistema. También puede usarse en este aspecto un espaciador ajustable como se ha descrito anteriormente. Esta disposición también puede garantizar que la energía de microondas se convierta de manera eficiente en energía de plasma clínicamente útil.

- 30 El mecanismo de sintonización puede configurarse para proporcionar una impedancia específica o puede configurarse para proporcionar un ajuste de impedancia automática para permitir que la energía de plasma coincida con el plasma una vez que se ha excitado para permitir una esterilización eficaz de la superficie de interés (que puede ser tejido biológico u otro material a esterilizar). Sintonizar el aplicador o la pieza manual ofrece la ventaja de superar la necesidad de tener en cuenta los cambios de fase y las pérdidas de inserción asociados con la línea de transmisión que conecta el generador con el aplicador, interconexiones adicionales y otros componentes dentro de la alineación de circuitos de microondas cuando se realiza la sintonización necesaria para excitar y mantener el plasma dentro del generador.

- 40 Esta disposición puede superar el efecto de la pérdida de inserción (pérdida de cable) y las variaciones de fase asociadas con un conjunto de cable de microondas, que es un inconveniente para los sistemas con una red de sintonización alojada con la electrónica de generador. Al incorporar el mecanismo de sintonización en la pieza manual, debería ser posible configurar una primera impedancia para excitar el plasma y la segunda impedancia para mantener el plasma con relativa facilidad.

- 45 El ajustador de impedancia puede disponerse para crear una alta impedancia en la región de generación de plasma cuando el gas y la energía de microondas se suministran a la misma de este modo para excitar plasma no térmico para suministrar fuera del aplicador. El ajustador de impedancia puede comprender un mecanismo de sintonización dinámico para reaccionar más rápidamente que un mecanismo de sintonización localizado dentro del generador o en alguna otra localización remota lejos del aplicador de plasma.

- 50 El ajustador de impedancia puede ajustarse automáticamente para garantizar que el plasma puede excitarse, mantenerse, y emparejarse o acoplarse de manera eficiente al plasma para permitir una esterilización eficaz de la superficie de tratamiento (tejido biológico o superficie externa) o el sitio de tratamiento. El sistema se adaptará a un cambio en la impedancia del aplicador debido a cambios en el flujo de gas, mezcla de gases, energía de microondas, calentamiento dentro del aplicador, otras causas de cambio de fase dentro del aplicador, manipulación física del aplicador con respecto al tejido o cambios en las características del sitio debido al proceso de tratamiento con plasma. Los cables de alimentación de CC y las líneas de señal pueden usarse para transportar la alimentación de CC y las señales de control hacia y desde el aplicador.

- 60 El ajustador de impedancia se implementa como una capacitancia variable conectada en derivación a la estructura de alimentación de potencia de microondas. La capacitancia variable puede incorporarse como una pluralidad de tetones capacitivos fijos que se conectan selectivamente a la estructura de alimentación de potencia de microondas usando diodos de PIN de potencia, o como uno o más diodos varactores de potencia variable. Como la impedancia puede ajustarse electrónicamente en realizaciones que usan diodos de PIN o varactores, puede reaccionar más rápido que la realización mecánica expuesta anteriormente. Esto puede ser ventajoso en términos de movimiento

desde la excitación de plasma al estado de mantenimiento de plasma.

El controlador para la disposición de sintonización automática puede comprender un procesador de señales analógicas que consiste en una disposición de amplificadores operativos. Esto puede ser especialmente útil para un aplicador de plasma integrado, por ejemplo, una unidad manual, que contiene el controlador, el accionador y los tetones de sintonización. Como alternativa, el controlador puede incluir un microprocesador digital dispuesto para procesar la información obtenida de los detectores para controlar el accionador electromecánico; puede usarse un microprocesador o dispositivo PIC de 8 bits, 16 bits o 32 bits, que también puede integrarse en la pieza manual. Los detectores pueden ser acopladores de potencia dispuestos para muestrear las señales de potencia de avance y reflejada. Estos acopladores pueden ser sondas de campo E, acopladores de bucle de campo H, acopladores de línea de cinta o microcinta.

En otro ejemplo, el aplicador de plasma puede comprender una estructura de guía de ondas. Este aspecto puede proporcionar, por lo tanto, un método para sintonizar automáticamente un aplicador de plasma de guía de ondas para, en primer lugar, formar una antena que tenga una condición de alta impedancia adecuada para excitar un plasma atmosférico de baja temperatura y, posteriormente (por ejemplo, después de que se excite el plasma), formar una antena que tenga una condición de baja impedancia adecuada para mantener el plasma. El método puede incluir ajustar dinámicamente la condición de baja impedancia (por ejemplo, basándose en las mediciones realizadas por el detector) para formar una antena que tenga una condición de impedancia variable adecuada para hacer coincidir sustancialmente la antena con el tejido. La región de generación de plasma puede formarse en una cavidad de guía de ondas. Las condiciones de alta impedancia, baja impedancia e impedancia variable pueden configurarse variando automáticamente la posición de uno o más elementos de sintonización contenidos dentro de la cavidad de guía de ondas. Esto puede superar la necesidad de usar estructuras complejas de aplicador o de antena ya que no es necesario usar estructuras resonantes que contengan una pluralidad de transformadores de cuarto de onda o similares. La guía de ondas puede ser cilíndrica o rectangular. La guía de ondas puede cargarse con un material dieléctrico o magnético, o dieléctrico y magnético, con el fin de reducir el tamaño de la estructura.

Como alternativa, el aplicador de plasma puede incluir una estructura coaxial. Puede ser posible introducir tetones de sintonización dentro de la estructura coaxial introduciéndolos a través de la pared del conductor externo en el material dieléctrico que separa los conductores interno y externo. También puede ser deseable introducir los tetones de sintonización en la pared externa de un diseño de aplicador que contenga una sola o una pluralidad de secciones de resonador o de transformación de impedancia, es decir, transformadores de impedancia de cuarto de onda, y variar las longitudes de los tetones dentro de la estructura coaxial para variar el campo electromagnético configurado dentro de la estructura para ayudar a obtener la condición deseada necesaria para crear plasma para la esterilización. Puede proporcionarse una sola o una pluralidad de ranuras en el conductor externo para reducir la distancia entre los conductores interno y externo. Estas ranuras formarán tetones fijos, si se separan de manera adecuada, y pueden proporcionar una solución relativamente simple.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describen con detalle ejemplos de las diversas disposiciones tratadas anteriormente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma que es útil para comprender la invención;
- la figura 2 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma que es útil para comprender la invención;
- la figura 3 es un diagrama de bloques de un sistema de esterilización por plasma que es útil para comprender la invención;
- las figuras 4a, 4b y 4c son diagramas de circuito de bloques que muestran la circuitería de control del amplificador;
- la figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de un aplicador de plasma coaxial útil para comprender la invención;
- la figura 6 es una vista esquemática en sección transversal de un aplicador de plasma de guía de ondas útil para comprender la invención;
- la figura 7 es una vista esquemática en sección transversal de un aplicador de plasma de guía de ondas en el que la energía de microondas y el gas se introducen en un extremo común;
- la figura 8 es una vista esquemática en sección transversal de un aplicador de plasma coaxial que tiene unos canales de flujo de gas integrados;
- la figura 9 es un diagrama de bloques de un sistema de retorno de gas residual;
- las figuras 10a, 10b, 10c, 10d y 10e son vistas esquemáticas en sección transversal axiales de unos aplicadores de plasma coaxiales que tienen unos canales de flujo de gas integrados;
- la figura 11 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma con un ajustador de impedancia de tres tetones integrado con el aplicador de plasma;
- la figura 12 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma con un ajustador de impedancia de un tetón integrado con el aplicador de plasma;

la figura 13 es un diagrama de circuito de bloques que muestra la circuitería de control del accionador de tetones; la figura 14 es una vista esquemática en sección transversal de un aplicador de plasma con un separador ajustable;

la figura 15 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma que tiene una disposición de división de potencia y una pluralidad de regiones de generación de plasma;

la figura 16 es un diagrama de bloques que muestra una disposición de división de potencia adecuada para su uso con el sistema de la figura 15;

la figura 17 es un diagrama esquemático que ilustra un aplicador de plasma que define una abertura;

la figura 18 es un diagrama esquemático de un aplicador de plasma coaxial manual que tiene una pluralidad de regiones de generación de plasma;

las figuras 19a, 19b y 19c son diagramas esquemáticos de un aplicador de plasma coaxial manual con y sin un mecanismo de sintonización dinámico;

la figura 20 es un diagrama esquemático de un aplicador de plasma de guía de ondas manual que tiene una pluralidad de regiones de generación de plasma; y

la figura 21 es un diagrama esquemático de un aplicador de plasma coaxial adecuado para insertar a través de un endoscopio.

Descripción detallada: opciones y preferencias adicionales

La figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de esterilización por plasma que es útil para comprender la invención. El sistema comprende una fuente de energía de microondas 10, por ejemplo, un oscilador de fuente de microondas de baja potencia. La fuente 10 está dispuesta para producir niveles de potencia de más de -10 dBm a menos de 20 dBm en una frecuencia de salida única estable. La frecuencia de salida puede ajustarse en una banda estrecha de frecuencias, por ejemplo, una frecuencia central de 900 MHz puede ajustarse entre 850 MHz y 950 MHz. La fuente 10 puede ser un oscilador controlado por tensión (VCO), un oscilador resonador dieléctrico (DRO), un oscilador de diodo Gunn o un dispositivo similar que sea capaz de producir una señal de microondas de baja potencia controlable. También puede usarse un sintetizador de frecuencia que está compuesto de una pluralidad de VCO o DRO.

La salida de la fuente 10 está conectada al puerto de entrada de un controlador de nivel de potencia 20, cuya función es permitir que el nivel de potencia de la señal procedente de la fuente 10 se ajuste en un intervalo que es adecuado para permitir que el plasma se excite y, a continuación, permitir que se ajuste la energía de plasma. El controlador de nivel de potencia 20 puede ser un atenuador de diodo PIN que puede ser de un tipo reflectante o absorbente. La salida del controlador de nivel de potencia 20 está conectada a la entrada de un primer modulador 30, cuya función es conmutar la potencia de microondas producida en la salida del controlador de potencia 20 que se enciende y se apaga usando una señal producida por un controlador 140 (por ejemplo, un microprocesador) para permitir que la potencia de microondas emitida producida en la salida del amplificador de potencia 500 esté en un formato de pulsos en lugar de un formato de onda continua. La capacidad de controlar la acción de conmutación del primer modulador 30 permite controlar el tiempo de encendido de pulso, el tiempo de apagado de pulso y el formato de pulso. Esto permite determinar la relación entre los tiempos de encendido y de apagado (ciclo de trabajo) y la frecuencia (la inversa de la suma del tiempo de encendido y el tiempo de apagado). La modulación puede no ser necesariamente periódica, es decir, puede consistir en un tren de pulsos con diversos ciclos de trabajo y frecuencias. La capacidad de controlar los tiempos de encendido y de apagado de pulso de esta manera proporciona un medio adicional de control de la energía producida por el plasma.

La salida del primer modulador 30 se alimenta en la entrada del amplificador de potencia 500. El amplificador de potencia 500 es preferentemente un amplificador basado en semiconductor cuya función es amplificar el nivel de potencia en la salida del primer modulador 30 a un nivel que sea suficiente para permitir que se excite un plasma y permitir que se suministre la suficiente energía en el plasma para que el plasma produzca un efecto clínico útil en términos de reducir o matar las bacterias o los virus. El amplificador de potencia 500 puede estar compuesto de una pluralidad de etapas, es decir, la etapa de accionador, la etapa de pre-amplificador y la etapa de alta potencia. El amplificador puede usar cualquiera de los siguientes dispositivos semiconductores: transistores de unión bipolares de alta frecuencia (BJT), transistores bipolares de heteroestructura (HBT), transistores de efecto campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET), o transistores de efecto campo metal-semiconductor (MESFET). En términos de los materiales semiconductores que pueden usarse, son de especial interés el arseniuro de galio (GaAs) y el nitruro de galio (GaN).

Los FET GaN ofrecen una mayor eficiencia (potencia de microondas/potencia de CC) sobre los FET GaAs. Esta característica es de un especial interés cuando se desarrolla un sistema de plasma que es capaz de proporcionar energía de microondas de alta potencia, ya que se reducen los efectos de calentamiento provocados por la pérdida de potencia CC, lo que aumenta la portabilidad del sistema y minimiza los problemas de diseño térmico que deben superarse cuando se desarrolla el sistema.

Para aplicaciones relacionadas con la esterilización de salas de hospital u otras aplicaciones en las que un paciente no está implicado directamente con el tratamiento de plasma, puede ser necesario crear una gran cantidad de plasma. Por ejemplo, para cubrir una sección del suelo de una sala de hospital, o para esterilizar un colchón de una

cama de hospital, que pueden estar infectados con el virus SARM. En aplicaciones como esta, puede ser deseable usar un conjunto de penachos de plasma generados usando disposiciones de transformadores coaxiales similares a los usados para tratar otras aplicaciones clínicas identificadas anteriormente, pero la fuente de potencia de microondas puede derivarse de un dispositivo de generación de energía de microondas de potencia más alta, tal como un magnetrón o un klistrón, un tubo de ondas progresivas (TWT), un tuistrón (combinación híbrida de un accionador klistrón y la sección de salida TWT en tándem en la misma envoltura), o un girotrón. Es más difícil controlar el nivel de potencia producida por estos dispositivos de lo que lo es cuando se usan dispositivos semiconductores, pero esto puede no ser un problema cuando el plasma producido por el dispositivo no está en contacto directo con el tejido del paciente. Por ejemplo, los niveles de potencia pulsada de más de 10 megavatios (MW) se han obtenido usando el tuistrón y los klistrones multicavidad.

Es deseable poder desconectar los suministros de potencia de dispositivo principales (el suministro de drenaje en los FET y el suministro de colector en los BJT) durante los períodos en los que no se requiere producir potencia de microondas, es decir, cuando el contacto de conmutador del primer modulador 30 está en la posición de apagado. Para realizar esta función puede emplearse un segundo modulador 130. Dicho segundo modulador 130 puede estar compuesto de una pluralidad de conmutadores MOSFET o BJT de potencia de frecuencia más baja que permiten que los suministros de potencia de CC se conecten a los BJT o FET de potencia de alta frecuencia cuando se necesita generar potencia de microondas para producir el plasma. El funcionamiento de los dispositivos de potencia de frecuencia más baja que forman el segundo modulador 130 pueden controlarse variando la tensión de puerta o corriente base de los FET de potencia o los BJT de potencia, respectivamente. Las señales de control se proporcionan por el microprocesador 140 y las señales usadas para controlar el funcionamiento del segundo modulador 130 pueden sincronizarse con la señal de control usada para controlar el funcionamiento del primer modulador 30. El segundo modulador 130 tendrá un tiempo de respuesta más lento que el primer modulador 30, por lo tanto, puede ser deseable modular o pulsar usando el primer modulador 30 dentro de una ventana cuando el segundo modulador 130 está habilitado o conectado. Por ejemplo, el segundo modulador 130 puede conectarse durante un intervalo de tiempo de 100 ms y desconectarse durante un intervalo de tiempo de 1 segundo; durante el período de encendido, el primer modulador 30 puede producir 50 pulsos con un tiempo de encendido de 1 ms y un tiempo de apagado de 1 ms. El primer modulador 30 y el segundo modulador 130 permiten controlar la energía producida por el plasma para garantizar que la temperatura de plasma y la energía de plasma se controlan para permitir efectos clínicos óptimos en términos de la muerte o la reducción de bacterias y/o virus a alcanzar.

La salida del amplificador de potencia de microondas 500 se alimenta en el puerto de entrada del circulador de potencia de microondas o aislador de potencia 50, cuya función es garantizar que los altos niveles de potencia de microondas reflejada, debido a los desajustes de impedancia en la antena 300 o cualquier otro lugar en la trayectoria entre la antena 300 y el puerto de entrada al primer acoplador de potencia de avance 60, es decir, 200, 90, 80, 100, y 70, no puedan dañar la etapa de salida del amplificador de potencia 500. En la disposición mostrada en la figura 1, se muestra una carga de descarga de potencia 51 de 50Ω conectada al tercer puerto del circulador de potencia de microondas 50. Cualquier potencia que llegue a reflejarse de vuelta a lo largo de la trayectoria mencionada anteriormente entre la antena 300 y el primer acoplador 60 será absorbida por dicha carga de descarga de potencia 51.

El puerto de salida del circulador de potencia de microondas 50 está conectado con el puerto de entrada de línea principal del primer acoplador direccional de potencia de avance 60, cuya función es tomar muestras de una parte de la potencia que va hacia delante producida por el amplificador de potencia 500. Esta información puede usarse para controlar el nivel de potencia de microondas producida por el amplificador de potencia 500 para garantizar que el nivel de potencia demandada es el mismo que el nivel de potencia suministrada (real), es decir, esta información puede usarse en un bucle de control de realimentación para ajustar automáticamente la potencia de entrada que entra en el amplificador para compensar la variación de potencia de salida provocada por el calentamiento o el envejecimiento de los componentes de microondas usados en la alineación de circuitos. La información proporcionada por el primer acoplador direccional que va hacia delante 60 también puede usarse para controlar la posición de los tetones usados en la red de sintonización de tetones (o filtro de sintonización) 100.

La salida de línea principal del primer acoplador direccional de potencia de avance 60 está conectado al puerto de entrada de línea principal del primer acoplador direccional de potencia reflejada 70, cuya función es tomar muestras de una parte de la potencia reflejada que vuelve desde el puerto de entrada del filtro de sintonización 100, debido a un desajuste de impedancia provocado o por la posición de los elementos de sintonización o por la configuración de impedancia en el interior del filtro de sintonización o por la impedancia establecida por la antena 300 de acuerdo con el estado del plasma, y las transformaciones de impedancia establecidas en el interior del aplicador. La información proporcionada por el primer acoplador direccional de potencia reflejada 70 también puede usarse para controlar la posición de los tetones usados en la red de sintonización de tetones (o filtro de sintonización) 100. Esta información también puede usarse como parte de un mecanismo de seguridad para detectar la condición de los componentes de microondas usados en la alineación de circuitos. En una disposición alternativa, el primer acoplador direccional de potencia de avance 60 puede proporcionarse antes que el circulador, y el primer acoplador direccional de potencia reflejada 70 puede proporcionarse entre el tercer puerto del circulador 50 y la carga de descarga de potencia 51. Esta disposición es ventajosa, porque cada una de las señales muestreadas tiene solo un componente (de avance o reflejado).

La salida de línea principal del primer acoplador direccional de potencia reflejada 70 está conectada al puerto de entrada del filtro de sintonización (ajustador de impedancia) 100, cuya función es configurar una condición que permita la impedancia del aplicador 300 para que sea de tal manera que el plasma pueda excitarse y, a continuación, mantenerse. La condición para que se excite el plasma es una condición de alta tensión (alta impedancia) y para que se mantenga es una condición de alta corriente (alta corriente). El filtro de sintonización 100 puede ser un sintonizador de tetón que contiene un único o una pluralidad de varillas o tetones de sintonización, o puede ser una disposición de diodos varactores o de PIN, en la que se cambia la tensión de polarización para permitir que varíe la capacitancia. Esta variación de capacitancia se usa para permitir que se establezcan las condiciones sintonizadas basándose en los requisitos del estado de plasma. En el sistema mostrado en la figura 1, se incluye una unidad de ajustador de tetón 110; esto es para un mecanismo de sintonización mecánica, en el que las varillas de sintonización se mueven dentro y fuera de una cavidad, por ejemplo, una cavidad de guía de ondas. En este caso, se muestran tres tetones de sintonización, pero la presente invención no se limita al uso de tres, es decir, pueden usarse uno, dos, o cuatro. Pueden ser preferibles tres tetones debido al hecho de que esta disposición permitirá que cualquier impedancia desde un circuito abierto a un cortocircuito se configure dentro de la cavidad de sintonización. Las señales usadas para controlar el ajustador de tetones proceden del microprocesador 140, y estas señales pueden basarse en las señales producidas por la unidad de detección 120 de acuerdo con la información disponible en los puertos acoplados de los acopladores direccionales 60, 70, 80 y 90. Las señales de control proporcionadas al ajustador de tetones 110 también pueden tener la forma de dos formatos de señales fijas; el primero para crear una condición de alta impedancia conocida que se usa para excitar el plasma, y el segundo para crear una condición de baja impedancia conocida para mantener el plasma. El ajuste dinámico de los tetones de sintonización también puede usarse para optimizar y controlar la energía de plasma.

Cabe señalar que podría usarse un controlador PID entre el microprocesador 140 y el ajustador de tetones 110 para controlar la respuesta del ajustador de tetones electromecánico 110. Como alternativa, las funciones de control PID pueden manejarse por el microprocesador 140. Una alternativa adicional es reemplazar el sistema de sintonización mecánica con una disposición de diodos varactores o de PIN, en la que la tensión de polarización aplicada a los diodos se usa para ajustar la capa de agotamiento dentro de los diodos para producir una variación de capacitancia. Una alternativa adicional es conectar una capacitancia variable en paralelo a la línea de potencia.

El puerto de salida del filtro de sintonización está conectado a la entrada de línea principal del segundo acoplador direccional de potencia de avance 80, cuya función es tomar muestras de una parte de la potencia que va hacia delante saliendo del filtro de sintonización 100. Esta información puede combinarse con la información producida por el puerto acoplado del primer acoplador de potencia de avance 60 (o usarse de manera independiente) para controlar el nivel de potencia de microondas producida por el amplificador de potencia 500 para garantizar que el nivel de potencia demandada es el mismo que el nivel de potencia suministrada (real), es decir, esta información puede usarse en un bucle de control de realimentación para ajustar automáticamente la potencia de entrada que entra en el amplificador para compensar la variación de potencia de salida provocada por el calentamiento o el envejecimiento de los componentes de microondas usados en la alineación de circuitos, o los cambios en las características del filtro de sintonización 100. La información proporcionada por el segundo acoplador direccional que va hacia delante 80 también puede usarse en el algoritmo de sintonización para controlar la posición de los tetones usados en la red de sintonización de tetones (o filtro de sintonización) 100.

La salida de línea principal del segundo acoplador direccional de potencia de avance 80 está conectada al puerto de entrada de línea principal del segundo acoplador direccional de potencia reflejada 90, cuya función es tomar muestras de una parte de la potencia reflejada que vuelve del conjunto de cables de microondas 200 debido a un desajuste de impedancia provocado por la impedancia del aplicador de plasma 300, que varía de acuerdo con el estado del plasma. La información proporcionada por el segundo acoplador direccional de potencia reflejada 90 también puede usarse para controlar la posición de los tetones usados en la red de sintonización de tetones (o filtro de sintonización) 100. Esta información también puede usarse como una parte de un mecanismo de seguridad para detectar la condición de los componentes de microondas usados en la alineación de circuitos, es decir, usados para detectar una rotura en la alineación de circuitos u otro defecto.

La salida de línea principal del segundo acoplador direccional de potencia reflejada 90 está conectada al extremo proximal del conjunto de cables de microondas 200, cuya función es transportar la energía de microondas usada para excitar y mantener el plasma desde el generador de microondas controlable al aplicador de plasma 300. El conjunto de microondas 200 puede tomar la forma de un cable coaxial diseñado para soportar la propagación de la energía de microondas en la frecuencia de interés, o cualquier otra estructura de baja pérdida, por ejemplo, una guía de ondas flexible o flexible/retorcible.

El extremo distal del conjunto de cables de microondas 200 está conectado al extremo proximal del aplicador de plasma 300, cuya función es recibir la energía de microondas y el gas (o mezcla de gases) en el dispositivo para producir un plasma que sea adecuado para reducir o destruir las bacterias o una gama de virus en el extremo proximal. El aplicador de plasma mostrado en la figura 1 comprende un primer transformador de impedancia 310-330, un segundo transformador de impedancia 320-330, un conector de entrada de microondas 340, un medio de acoplamiento de la tubería o el tubo que suministra la mezcla de gas 470 en el aplicador de plasma 300, y una región de generación de plasma 350.

5 Los niveles (o señales) de potencia de avance y reflejada muestreados disponibles en los puertos acoplados de los acopladores direccionales 60, 70, 80, y 90 se alimentan en la unidad de detección 120, cuya función es permitir que o la información de amplitud o de amplitud/fase esté disponible en el microprocesador 140, en el que esta información de amplitud o de amplitud/fase se extrae y se usa para controlar el filtro de sintonización 100. La información procedente de los puertos acoplados de los acopladores direccionales 60, 70, 80, y 90 puede encaminarse a la unidad de detección 120 usando un conmutador PIN unipolar de cuatro posiciones o un conmutador coaxial controlado por las señales producidas por el microprocesador 140 para permitir que se use un detector para procesar la información producida por los cuatro acopladores.

10 La unidad de detección 120 puede tomar la forma de un detector de diodos, un detector homodino o un detector heterodino. El detector de diodos puede tomar la forma de un diodo túnel, un diodo Schottky o cualquier otro diodo que pueda hacerse funcionar como un rectificador en la frecuencia de interés para proporcionar una información de amplitud o de magnitud en relación con los niveles de potencia de avance y reflejada en los acopladores direccionales 60, 70, 80, 90. El detector homodino pueden tomar la forma de un mezclador de microondas y un oscilador local que funciona en la misma frecuencia que la señal producida por el oscilador de microondas 10 para permitir que se extraiga la información de banda base. El detector heterodino puede tomar la forma de al menos un mezclador de frecuencias de microondas y al menos un oscilador local. En esta configuración, la frecuencia o las frecuencias del oscilador local pueden ser diferentes de las del oscilador de microondas 10. Esta disposición también puede contener unos filtros de paso de banda y de paso bajo para filtrar señales en las frecuencias no deseadas contenidas dentro de la señal de frecuencia intermedia (IF) producida en la salida del mezclador de frecuencia de microondas y para eliminar las señales producidas en la frecuencia del oscilador local o en la frecuencia del oscilador de microondas principal 10 cuando se producen dentro de la alineación de circuitos de microondas en localizaciones en las que no son deseadas.

25 El controlador 140 (por ejemplo, un microprocesador) se usa para controlar el funcionamiento del sistema de generación de plasma. Es responsable de controlar el funcionamiento de los siguientes componentes usados en el sistema: el controlador de nivel de potencia 20, el primer modulador 30, el segundo modulador 130, el mezclador de gas 400, los conmutadores de flujo 430-440, los controladores de ajuste de flujo 450-460, el generador de aire comprimido 420, el ajustador de tetones 110, y una interfaz de usuario 150. También lee las señales producidas por la unidad de detección 120 y usa esta información para calcular los ajustes requeridos por los tetones de sintonización a través del ajustador de tetones 110. La unidad de microprocesador 140 también determina la mezcla de gas requerida y el caudal basándose en la aplicación requerida. Es necesario determinar cuándo introducir la mezcla de gas en el aplicador de plasma en relación con la energía de microondas. Es deseable garantizar que el aplicador esté lleno de gas antes de introducir la energía de microondas con el fin de garantizar que el plasma se excita tan pronto como se activa la fuente de microondas. También es deseable garantizar que se establecen las condiciones correctas u óptimas en el interior del sintonizador de tetones antes de que se active la fuente de microondas.

40 El funcionamiento del sistema puede ser de la siguiente manera:

- establecer los tetones en una posición en la que se producirá una alta impedancia conocida en el extremo distal del segundo conductor del segundo transformador de impedancia 320;
- determinar el caudal de gas, la mezcla de gases, y la secuencia de pulsos requeridos para producir el plasma óptimo para la aplicación específica;
- 45 - determinar el nivel de potencia de microondas y el formato de modulación requerido para producir el plasma óptimo para la aplicación específica;
- introducir la mezcla de gases en el aplicador;
- después de un período de tiempo, cuando esté garantizado que el aplicador está lleno de gas, introducir la energía de microondas en el aplicador.

50 Cuando el sistema está funcionando en el modo de pulso, puede ser deseable detener el flujo de gas durante el tiempo que la fuente de microondas está en el estado de "apagado" y empezar de nuevo justo antes de conmutar la energía de microondas de vuelta otra vez. Por ejemplo, la potencia de microondas puede suministrarse usando un ciclo de trabajo del 10% cuando el tiempo de encendido es de 10 ms y el tiempo de apagado es de 90 ms. En este caso, puede ser deseable iniciar el flujo de gas 5 ms antes del inicio del pulso de microondas y apagarlo 5 ms después de que el pulso de microondas se haya desconectado, por lo que durante cada 10 ms de energía de microondas el gas fluirá durante 20 ms, por lo que para un ciclo de trabajo del 10% de energía de microondas, el ciclo de trabajo para el suministro de gas será del 20%.

60 Puede ser deseable detener el flujo de gas al mismo tiempo que se desconecta la potencia de microondas ya que llevará un tiempo finito para el gas cesar el flujo.

65 También puede ser necesario comenzar inicialmente el flujo de gas durante un período de tiempo más largo con el fin de estar seguros de que el gas ha alcanzado el aplicador y ha tenido tiempo suficiente para que pueda llenar el interior del aplicador.

Una función adicional del controlador 140 puede ser activar las alarmas y manejar las características de seguridad y los procedimientos de apagado del sistema en el caso de que se produzca un fallo. Puede ser necesario usar una segunda unidad de microprocesador o un dispositivo similar que pueda usarse como un organismo de control para manejar las características críticas de seguridad.

5 El controlador 140 puede tomar la forma de un ordenador de una sola tarjeta, un microcontrolador (o dispositivo PIC), un ordenador de una sola tarjeta y un dispositivo PIC (usado como un dispositivo de vigilancia), más de un ordenador de una sola tarjeta, más de un dispositivo PIC, un procesador de señales digitales, o cualquier combinación de estos dispositivos.

10 La interfaz de usuario 150 proporciona un medio para permitir al usuario controlar el sistema y para proporcionar información a los usuarios con respecto al estado y el funcionamiento del sistema. La interfaz de usuario puede tener la forma de un monitor de pantalla táctil, una pantalla plana LCD y un conjunto de teclas de membrana, o cualquier otro medio de emisión y de introducción de información de control de usuario.

15 El subsistema responsable del control de la mezcla de gases está compuesto de al menos un cilindro de gas 410 y/o un generador de aire comprimido 420, un medio para controlar la velocidad de flujo de los gases 430, 450, 440, 460, y un medio para mezclar los gases entre sí. La velocidad de flujo del gas puede controlarse usando una válvula de flujo con un controlador de flujo en combinación con un conmutador de flujo adecuado, que puede ser un conmutador de solenoide. Los conmutadores de flujo 430, 440 pueden no implementarse y el ajuste del flujo puede implementarse solo por los controladores de ajuste de flujo 450, 460. Por otro lado, pueden omitirse los controladores de ajuste de flujo 450, 460, y el control de flujo puede implementarse por el ajuste mecánico de la válvula conectada al cilindro de gas específico 410 combinado con el control eléctrico del conmutador de flujo 430, 440. En el caso de que se use un generador de aire comprimido 420, puede ser posible hacer funcionar el sistema usando solo el conmutador de flujo 440. Puede necesitarse el mezclador de gases 400 cuando se use más de un tipo de gas y sea necesario optimizar la mezcla o variar la mezcla durante el funcionamiento.

20 El mezclador de gas 400 puede tomar la forma de un dispositivo neumático que funciona equilibrando las presiones de los suministros de gas de entrada para garantizar que los gases componentes se mezclan a la misma presión independientemente de sus presiones de entrada individuales y el caudal. Los gases pueden combinarse en una cámara alimentada por orificios variables, que se establecen por el control de mezcla. Los mezcladores pueden venir configurados de fábrica para los gases especificados. Por ejemplo, en un sistema de dos gases, el control de mezcla puede calibrarse directamente en la proporción 0-100% - gas1/gas2. Este único control establece la mezcla requerida. En un mezclador de tres gases, en el que hay dos reguladores proporcionales, la proporcionalidad puede establecerse con dos controles para establecer la mezcla total.

30 Cuando el flujo es intermitente, es decir, para el funcionamiento por pulsos, puede necesitarse una válvula de control especial para garantizar la alimentación precisa de un tanque de balasto. Puede añadirse la creación de alarmas y sensores para monitorizar las condiciones de presión en el mezclador para garantizar unas condiciones de mezcla correctas.

40 El funcionamiento del mezclador de gases 400, los conmutadores de flujo 430, 440, los controladores de ajuste de flujo 450, 460, y el generador de aire comprimido 420, se controla usando el microprocesador 140, y el ajuste de estos dispositivos puede tener lugar usando un sistema de realimentación de bucle cerrado en el que los ajustes se basan en las señales de realimentación procedentes de la unidad de detección 120.

50 Puede producirse plasma clínicamente útil usando una mezcla de helio y aire comprimido y así se proporciona esta disposición en la figura 1. Se cree que el componente útil del aire comprimido es el oxígeno y que la mezcla de helio y de oxígeno puede usarse para reducir o matar ciertos tipos de bacterias o de virus.

55 La figura 2 muestra una disposición para el sistema de plasma en la que el plasma se excita y se mantiene sin el uso del filtro de sintonización 100 y el ajustador de tetones 110. En este caso, el aplicador 300 puede disponerse para producir un campo eléctrico lo suficientemente alto para permitir que se excite el plasma. A continuación, la energía de microondas se suministra como un tren de pulsos, en el que cada pulso produce una excitación de plasma para permitir que se genere un penacho de plasma cuasicontinuo. La tasa de repetición de pulsos y la longitud de pulso pueden usarse para determinar la energía de plasma y esto puede optimizarse para permitir que se destruya la cantidad deseada de bacterias. Debido a la necesidad de monitorizar solo la potencia de avance y reflejada entre la salida del circulador de potencia 50 y la entrada al conjunto de cables de microondas 200, solo se requieren dos acopladores 60, 70. En la figura 2 también se muestra un tubo de cuarzo 360 en la salida del aplicador de plasma 300.

65 La figura 3 muestra un diagrama de bloques de una disposición de sistema de esterilización por plasma que es útil para comprender la invención. A los elementos en común con las figuras 1 y 2 se les proporciona el mismo número de referencia y en la medida en que realizan la misma función no se describen adicionalmente. El aparato en la figura 3 está dispuesto para emitir de manera selectiva o plasma (producido de una manera similar a lo mostrado en las figuras 1 y 2) o energía de microondas no ionizante.

ES 2 688 300 T3

En la figura 3, el segundo modulador actúa como un conmutador de potencia 510 dispuesto para conectar una fuente de alimentación de CC como una señal de activación al amplificador 500.

5 Para permitir la selección de la emisión de plasma o la emisión de energía de microondas, la salida del generador de microondas, que en esta disposición es la salida de la unidad de sintonización 100 que pasa a través de los acopladores de avance y de retroceso 80/90, está conectada a un conmutador de potencia de microondas 160, que puede ser un conmutador unipolar de dos posiciones convencional. En la configuración mostrada en la figura 3, el conmutador 160 transmite la energía de microondas a una disposición de división de potencia 171, 172, 173, cuya función es dividir la energía de microondas de entrada en una pluralidad de líneas de alimentación 211, 212, 213, 10 214, 215, 216, 217, 218, cada una de las cuales suministra energía de microondas a un aplicador de plasma respectivo 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307.

En esta disposición, la salida 201 desde el primer terminal del conmutador 160 se introduce en un primer divisor de potencia 171, que puede ser un divisor de potencia de 3 dB convencional, que se divide en dos señales intermedias 15 209, 210. Cada señal intermedia 209, 210 está conectada a un divisor de potencia de cuatro vías respectivo 172, 173 que la divide en cuatro señales de entrada, una para cada aplicador de plasma. Cada aplicador de plasma puede tener una configuración similar a la descrita anteriormente o a la que se describe a continuación con referencia a la figura 5.

20 Si es deseable emitir radiación de microondas, por ejemplo, para permitir que la energía de esterilización penetre una superficie para esterilizar la región por debajo de la misma, el conmutador 160 puede adoptar una segunda configuración en la que la energía de microondas se dirige a la salida 200. La salida 200 está conectada al puerto de entrada de una antena de bocina 190 que está conformada para dirigir un haz 1100 de energía de microondas fuera del aparato. La salida 200 puede conectarse a una antena dipolo 181 localizada en la base de la antena de bocina 190 a través de un conector SMA 180 o similar. 25

Las figuras 4a, 4b, y 4c proporcionan detalles de una línea componente del sistema de esterilización por plasma descrito anteriormente. Esta disposición puede permitir que se produzca una potencia de microondas ajustable y controlable de hasta 300 W. Esta potencia de microondas puede pulsarse o modularse dentro del intervalo de 30 frecuencias de entre CC y 100 kHz, y permite que el ciclo de trabajo varíe entre el 1% y el 99%. El aparato descrito en este caso también ofrece la flexibilidad de poder ajustar manualmente la frecuencia de microondas dentro del intervalo de entre 850 MHz y 950 MHz.

Las figuras 4a y 4b, en particular, ilustran una implementación específica del amplificador 500 usando transistores de potencia, por ejemplo, los transistores de potencia Motorola bipolar NPN MRF988 y MRF897. Para generar una potencia de microondas de 300W usando estos dispositivos, se accionaron dos transistores de potencia MRF899 usando dos de los dispositivos de potencia MRF897. Las tensiones de colector usadas en los dispositivos MRF899 se limitaban a una CC máxima de 26 V y las tensiones de colector usadas en los dispositivos MRF897 se limitaban a una CC máxima de 24 V. 35 40

La figura 4a muestra, en detalle, la fuente 10 y el atenuador de control de potencia 20, que pueden proporcionarse juntos por un generador de señales PSG CW Agilent E8247C de 250 kHz a 20 GHz (cuyo nivel de potencia de salida máxima es de 16 dBm). La señal procedente de este generador se amplifica para proporcionar una señal de excitación máxima de 32 dBm en 866 MHz usando un HMC4535T89 Hittite MMIC 1501 que tiene una ganancia de 45 20 dB en las frecuencias de interés en este caso. La salida del MMIC 1501 se alimenta en la primera etapa del amplificador de potencia. El primer componente en la alineación de circuitos del amplificador de potencia es un convertor de balanceada a no balanceada (balun) 1502, que se fabrica en microcinta y permite que la señal no balanceada del MMIC 1501 se convierta en dos señales balanceadas usadas para accionar el primer transistor de potencia 1507. La primera salida del balun 1502 está conectada al primer condensador de bloqueo de CC 1503 y la segunda salida del balun 1502 está conectada al segundo condensador de bloqueo de CC 1504. La función de los condensadores de bloqueo 1503, 1504 es bloquear cualquier señal de CC que pueda presentarse en los terminales de salida del balun 1502. Las salidas de los condensadores de bloqueo de CC 1503, 1504 se alimentan, respectivamente, en los transformadores de impedancia primero y segundo 1505, 1506. La función de estos transformadores de impedancia es proporcionar una correspondencia de impedancia entre la dos salidas del balun 50 1502 y las dos entradas base al transistor de potencia 1507. El transformador de correspondencia de impedancia puede ser un transformador de correspondencia de cuarto de onda realizado en microcinta o un transformador de cuarto de onda, junto con un tetón. Este último se usa para proporcionar una correspondencia conjugada entre la impedancia de fuente (salidas del balun 1502) y la impedancia de carga (entradas base). El transistor de potencia 1507 está compuesto de dos transistores de potencia NPN conectados en una configuración de contrafase en la que las bases se accionan en oposición de fase para proporcionar una salida balanceada con el doble de la tensión de una sola etapa, lo que conduce a cuatro veces la potencia de una sola etapa. En la configuración mostrada en la figura 4a, los dos emisores están conectados entre sí y se mantienen en potencial de tierra, y los dos suministros de colector tienen unos inductores en serie 1508, 1509 conectados a los mismos para bloquear cualquier señal de alta frecuencia (es decir, 866 MHz) que se devuelva a la fuente de alimentación de CC. Los dos terminales de colector están conectados a los conmutadores de potencia MOSFET 1510, 1511, que se usan para controlar la potencia de 60 65 CC aplicada a los dispositivos de potencia. La señal de puerta de entrada (α) se conmuta en los MOSFET de

potencia 1510, 1511 solo cuando es necesario generar potencia de microondas. La disposición de los conmutadores de puerta y la circuitería de control forma el segundo modulador 130. El transistor de potencia usado en esta primera etapa es el MRF897 de 30 W descrito en parte anteriormente.

5 La segunda etapa comprende una disposición similar, en la que los dos colectores de salida del transistor de potencia 1507 están conectados a los transformadores de impedancia 1512, 1513 y los condensadores de bloqueo de CC 1514, 1515 y las dos señales de salida de los condensadores de bloqueo de CC 1514, 1515 se usan para accionar las dos bases del segundo transistor de potencia de microondas 1516. El transistor de potencia usado en esta segunda etapa es el MRF899 de 150W descrito en parte anteriormente. La segunda etapa funciona como
10 antes, con los inductores en serie 1517, 1518 y los conmutadores de potencia MOSFET 1519, 1520 realizando funciones similares a los inductores en serie 1508, 1509 y los conmutadores de potencia MOSFET 1510, 1511 de la primera etapa.

15 Las salidas tomadas de los dos terminales de colector del segundo transistor de potencia de microondas 1516 están conectadas a los transformadores de impedancia 1521 y 1522, cuya función es transformar las salidas de colector de baja impedancia a la impedancia de los componentes de microondas convencionales y las estructuras de líneas de transmisión, es decir, 50Ω . La salida de los transformadores de impedancia 1521 y 1522 se alimentan en los condensadores de bloqueo de CC 1523 y 1524, que se usan para eliminar cualquier nivel de tensión de CC o polarización de CC de la señal. Las salidas de los condensadores de bloqueo de CC 1523, 1524 se alimentan en un
20 segundo balun 1525, cuya función es convertir las señales balanceadas producidas por las dos salidas de colector del transistor de potencia 1516 en una señal asimétrica no balanceada. La salida del segundo balun 1525 se alimenta en el puerto de entrada del circulador de potencia 1527, cuya función es proteger las salidas de colector del transistor de potencia 1516 de los daños debidos a los altos niveles de potencia reflejada que vuelve al dispositivo debido a un desajuste de impedancia producido en algún lugar a lo largo de la alineación de circuitos de microondas.
25 Una carga de descarga de potencia 1527 de 50Ω está conectada al tercer puerto del circulador de potencia 1526. Esta carga se usa para disipar la potencia reflejada y, por lo tanto, debe ser capaz de soportar el nivel máximo de potencia reflejada sin sobrecalentamiento. La carga de descarga 1527 puede conectarse a una masa térmica sólida, es decir, un bloque de aluminio o de latón en el que puede disiparse la potencia. Puede proporcionarse un ventilador para enfriar la carga de descarga 1526. El puerto de salida del circulador de potencia 1526 está conectado a la
30 entrada del primer divisor de potencia 1528, cuya función es dividir la potencia que emerge desde el puerto de salida del circulador de potencia 1526 en dos partes. El divisor de potencia 1528 puede dividir el nivel de potencia en dos partes iguales.

35 Cada una de las dos salidas del divisor de potencia 1528, indicadas como β y ϵ , están conectadas a una tercera etapa del amplificador de potencia, como se muestra en la figura 4b. La tercera etapa se corresponde con la primera etapa, es decir, incluye dos dispositivos MRF897 de 30 W 1539, 1540 accionados por separado usando las señales β y ϵ generadas en la etapa anterior. En consecuencia, la primera entrada β está conectada a una tercera etapa que comprende el balun 1529, los condensadores de bloqueo de CC 1531, 1532, los transformadores de impedancia 1535, 1536, el transistor de potencia 1539, los inductores en serie 1542, 1543 y los conmutadores de potencia
40 MOSFET 1541, 1544, que funcionan de acuerdo con los mismos principios que los componentes correspondientes descritos anteriormente con respecto a la primera etapa. De manera similar, la segunda entrada ϵ está conectada a una tercera etapa que comprende el balun 1530, los condensadores de bloqueo de CC 1533, 1534, los transformadores de impedancia 1537, 1538, el transistor de potencia 1540, los inductores en serie 1546, 1547 y los conmutadores de potencia MOSFET 1545, 1548.

45 El par de salidas de colector de cada una de las dos terceras etapas mencionadas anteriormente están conectadas a una cuarta etapa respectiva que tiene un transistor de potencia que comprende dos de los dispositivos MRF899 de 150 W. La cuarta etapa del par de salidas de colector derivadas de la primera entrada β comprende los transformadores de impedancia 1549, 1550, los condensadores de bloqueo de CC 1553, 1554, el transistor de potencia 1557, los inductores en serie 1560, 1561 y los conmutadores de potencia MOSFET 1559, 1562 que funcionan de acuerdo con los mismos principios que los componentes correspondientes descritos anteriormente con respecto a la segunda etapa. De manera similar, la cuarta etapa para el par de salidas de colector derivadas de la segunda entrada ϵ comprende los transformadores de impedancia 1551, 1552, los condensadores de bloqueo de CC 1555, 1556, el transistor de potencia 1558, los inductores en serie 1564, 1565 y los conmutadores de potencia
50 MOSFET 1563, 1566.

55 Las salidas tomadas de los dos terminales de colector del transistor de potencia 1557 están conectadas a los transformadores de impedancia 1567 y 1568, cuya función es transformar las salidas de colector de baja impedancia a la impedancia de los componentes de microondas convencionales y las estructuras de líneas de transmisión, es decir, 50Ω . La salida de los transformadores de impedancia 1567 y 1568 se alimenta en los condensadores de bloqueo de CC 1571 y 1572, que se usan para eliminar cualquier nivel de tensión de CC o polarización de CC de la señal. Las salidas de los condensadores de bloqueo de CC 1571, 1572 se alimentan en un balun 1575, cuya función es convertir las señales balanceadas producidas por las dos salidas de colector del transistor de potencia 1557 en una señal asimétrica no balanceada. La salida del balun 1575 se alimenta en el puerto de entrada del circulador de potencia 1577, cuyo tercer puerto está conectado a la carga de descarga de potencia 1578 de 50Ω para que pueda realizar una función similar al circulador 1526 tratado anteriormente.
60
65

De manera similar, las señales balanceadas procedentes de los dos terminales de colector del transistor de potencia 1558 se convierten en una señal asimétrica no balanceada usando los transformadores de impedancia 1569, 1570, los condensadores de bloqueo de CC 1573, 1574 y el balun 1576. La salida del balun 1576 se alimenta en el puerto de entrada del circulador de potencia 1579, cuyo tercer puerto está conectado a la carga de descarga de potencia 1580 de 50 Ω para que pueda realizar una función similar al circulador 1526 tratado anteriormente.

Las dos salidas de los circuladores de potencia 1577 y 1579 están conectadas a las entradas del combinador de potencia 1581, cuya función es añadir las potencias que emergen de las dos salidas de los circuladores de potencia 1577 y 1579 para producir la suma de las dos potencias en un único puerto de salida. Para esta disposición, la potencia de salida máxima monitorizada en el puerto de salida del combinador de potencia 1581 puede ser 300 W. El puerto de salida del combinador de potencia de microondas 1581 está conectado al aplicador de plasma 300 a través de un conjunto de cables de microondas de baja pérdida (no mostrado en este caso) y esta potencia se usa para excitar y mantener el plasma.

La figura 4c muestra la disposición usada para implementar el segundo modulador 130 que proporciona la señal de control de puerta (α) a los conmutadores MOSFET de potencia tratados anteriormente. El segundo modulador comprende un generador de forma de onda 129, por ejemplo, un generador de forma de onda Agilent 33220A de CC a 20 MHz, que proporciona una fuente de forma de onda/frecuencia variable 131, y un medio de control de la amplitud y el desfase de la señal 132, y un circuito de accionador/amplificador. El circuito de accionador/amplificador amplifica el nivel de tensión producida por el generador 129 para permitir que los dispositivos MOSFET se enciendan en el acto como conmutadores y para proporcionar la corriente suficiente para cargar las capacitancias de puerta para permitir que los dispositivos se enciendan tan rápido como sea posible, es decir, el tiempo de conmutación $dt = CdV/I$, donde C es la capacitancia de puerta-fuente, dV es el cambio en la tensión de puerta requerido para conectar el dispositivo, e I es la corriente disponible para cargar la capacitancia de puerta-fuente. Será evidente que el único parámetro que puede ajustarse o cambiarse es la corriente disponible para cargar la capacitancia de puerta-fuente, por ejemplo, si la capacitancia de puerta-fuente es 1000 pF y la excursión de tensión requerida es 15 V, entonces, con una corriente de 5 A disponible, el dispositivo se activará en aproximadamente 3 ns, mientras que si la corriente disponible solo fuera de 100 mA, entonces el tiempo de conmutación sería de 150 ns. Este simple análisis no tiene en cuenta la capacitancia de efecto Miller, que también ralentizará el tiempo de conmutación, pero esta disminución se producirá en ambos casos. El circuito de accionador usa un amplificador operacional de potencia OPA548T 134, que está fabricado por Burr Brown. El amplificador operacional 134 está configurado como un amplificador no inversor en el que la ganancia se determina por los valores de los resistores 138, 139. En este caso, la ganancia del circuito es 8,5 (es decir, $1 + 15/2$). Los condensadores 135 y 136 se usan para desacoplar el suministro de potencia de CC y el condensador 137 se usa para evitar que entre cualquier ruido en el dispositivo a través de la clavija 7. El resistor de entrada 133 establece la impedancia de entrada observada por la salida del generador de forma de onda 129 a 1 kΩ. En la disposición mostrada en este caso, el generador de forma de onda 129 y el circuito de accionador pueden modular la energía de microondas en una frecuencia de hasta 100 kHz. Se ha descubierto que al cambiar el penacho de plasma con frecuencia, por ejemplo, usando un ciclo de trabajo del 20%, el plasma se calienta más cuando la frecuencia de modulación es de 5 kHz que cuando es de 500 Hz. En esta disposición, no se usó el primer modulador 30.

El segundo dibujo mostrado en la figura 4c es una disposición usada para permitir que la mezcla de gases se introduzca en el aplicador de plasma. La disposición incluye un cilindro de gas 410, que puede ser uno de los gases inertes Ni, CO₂, Ar, o He en forma comprimida, un ajustador de flujo 450 (válvula), y un controlador de flujo 435. La salida del controlador de flujo 435 está conectada al tubo de alimentación 470, que está conectado al aplicador de plasma 300 (no mostrado). En una disposición, puede cortarse el tubo de alimentación 470 e insertarse un accesorio de unión en "Y" de encaje neumático de 4 mm con una primera entrada conectada al cilindro de gas comprimido 410 a través de la válvula 450 y una segunda entrada conectada al generador de aire comprimido 420. Esta disposición permite que el aire comprimido se mezcle con el helio y que la mezcla se alimente en el aplicador de plasma 300.

La figura 5 es una vista en sección transversal longitudinal a través de un aplicador de plasma coaxial. Este ejemplo se proporciona para explicar la teoría tras el uso de los transformadores de tensión (o transformadores de impedancia) en la generación de plasma en el aplicador. De hecho, puede ser posible generar el plasma sin transformadores de tensión, especialmente si está presente un ajustador de impedancia.

El aplicador de plasma 300 mostrado en la figura 5 es una estructura coaxial que comprende transformadores de impedancia de tres cuartos de onda, en el que se cambia el diámetro del conductor central para producir tres secciones con impedancias características diferentes. Las impedancias se eligen de tal manera que la tensión en el extremo distal de la estructura es mucho mayor que la tensión en el extremo proximal (generador) de la estructura.

Si la longitud física de cada sección es igual a un múltiplo impar del cuarto de la longitud de onda eléctrica, es decir,

$$L = \frac{(2n-1)\lambda}{4},$$

donde L es la longitud en metros, n cualquier número entero, y λ es la longitud de onda en la frecuencia de interés en metros, entonces se aplica la siguiente ecuación

$$Z_0 = \sqrt{Z_L Z_S} ,$$

5 donde Z_0 es la impedancia característica de la línea coaxial en Ω , Z_L es la impedancia de carga observada en el extremo distal de la sección en Ω , y Z_S es la impedancia de fuente observada en el extremo proximal de la sección en Ω . Por la manipulación algebraica de esta ecuación, la impedancia de carga puede expresarse como

$$Z_L = \frac{Z_0^2}{Z_S} .$$

10 Por lo tanto, puede observarse que si la impedancia característica de la sección de transformador es alta y la impedancia de fuente es baja, entonces la impedancia de carga puede transformarse a un valor muy alto.

15 Puesto que el nivel de potencia en el extremo de generador de la antena debería, teóricamente, ser el mismo que en el extremo de carga, puede afirmarse lo siguiente

$$P_{\text{entrada}} = P_{\text{salida}} \Rightarrow P_{\text{entrada}} = \frac{V_L^2}{Z_L} ,$$

20 lo que significa que la tensión en el extremo distal puede expresarse como $V_L = \sqrt{P_{\text{entrada}} Z_L}$. Por lo tanto puede observarse que si Z_L puede hacerse tan grande como sea posible, entonces el valor de la tensión en el extremo distal de la estructura de antena V_L también será muy grande, lo que implica que el campo eléctrico también será alto. Puesto que es necesario establecer un alto campo eléctrico con el fin de excitar el plasma, puede observarse que esta estructura puede usarse para configurar las condiciones correctas para excitar el plasma.

25 Teniendo en cuenta la estructura mostrada en la figura 5, se indica esquemáticamente que el generador de microondas 3000 tiene una impedancia de fuente (Z_S) 308. La potencia del generador 3000 entra en el aplicador 300 a través de un conjunto de cables de microondas (no mostrado) usando el conector de microondas 340. El conector 340 puede ser cualquier conector de microondas que sea capaz de funcionar en la frecuencia de funcionamiento preferida y pueda manejar el nivel de potencia disponible en la salida del generador de potencia 3000, por ejemplo, podrían usarse conectores de tipo N o SMA. El conector de microondas 340 se usa para impulsar la potencia de microondas en la región de generación de plasma, que incluye una estructura de antena que se describe a continuación.

35 La primera etapa de la estructura de antena es una sección coaxial de 50Ω que consiste en un conductor interno central con un diámetro exterior b y un conductor externo con un diámetro interior a . El espacio entre los conductores interno y externo contenidos dentro de la primera sección se llena con un material dieléctrico 342, que se etiqueta en este caso como PTFE. La impedancia característica de la primera sección de la antena se muestra en este caso para ser la misma que la del generador, es decir, 50Ω , y puede describirse de la siguiente manera

$$Z_0 = Z_S = \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \frac{a}{b} = 50 \Omega ,$$

40 donde ϵ_r es la permisividad relativa del material de relleno, Z_0 es la impedancia característica de la primera sección y Z_S es la impedancia de fuente (o la impedancia de generador).

45 La segunda sección es el primer transformador de impedancia de cuarto de onda 311 cuya impedancia característica Z_{01} es más alta que la de la primera sección y puede calcularse usando

$$Z_{01} = 138 \log_{10} \frac{c}{b} ,$$

50 donde C es el diámetro interior del conductor externo 312. Puesto que la segunda sección se llena de aire (o al menos el gas de la alimentación de gas 470), la permisividad relativa ϵ_r es igual a la unidad y, por lo tanto, el término raíz cuadrada desaparece de la ecuación que describe la impedancia de una línea de transmisión coaxial. Un ejemplo práctico de la impedancia de la segunda sección puede ser $b = 1,63 \text{ mm}$ y $c = 13,4 \text{ mm}$. Con estas dimensiones, Z_{01} sería $126,258 \Omega$.

55

ES 2 688 300 T3

La tercera sección es el segundo transformador de impedancia de cuarto de onda 310, cuya impedancia característica Z_{02} es menor que la de la primera sección y la segunda sección, y puede calcularse usando

$$Z_{02} = 138 \log_{10} \frac{c}{d},$$

5 donde d es el diámetro exterior del conductor interno. Es deseable ahusar los extremos de entrada y de salida del conductor central con el fin de hacer que el paso desde la condición de alta impedancia a la condición de baja impedancia sea más gradual con el fin de minimizar los desajustes que se producen en las uniones entre las dos impedancias. Un ángulo adecuado para el ahusamiento es 45° . Un ejemplo práctico de la impedancia para la tercera sección puede ser $d = 7,89$ mm y $c = 13,4$ mm. Con estas dimensiones, Z_{02} sería 31,744 Ω .

La cuarta sección es la sección final y consiste en un tercer transformador de impedancia de cuarto de onda 320, cuya impedancia característica Z_{03} es mayor que la de la tercera sección, y puede calcularse usando

$$Z_{03} = 138 \log_{10} \frac{c}{e},$$

15 donde e es el diámetro exterior del conductor interno. Es deseable que el extremo distal del conductor interno sea afilado y puntiagudo con el fin de maximizar la magnitud del campo eléctrico producido en este punto. Un ejemplo práctico de la impedancia característica de la cuarta sección puede ser $e = 1,06$ mm y $c = 13,4$ mm. Con estas dimensiones, Z_{03} sería 152,048 Ω .

Para la disposición que usa tres transformadores de cuarto de onda, como se muestra en la figura 5, la impedancia de carga Z_L en el extremo distal de la antena puede expresarse como

$$Z_L = \frac{Z_{03}^2 Z_{01}^2}{Z_{02}^2 Z_S}.$$

25 Usando los valores de la impedancia característica calculada anteriormente para los tres transformadores, Z_L sería 7.314,5 Ω .

30 Si la potencia de entrada es de 300 W, entonces la tensión en la salida será $V_L = \sqrt{P_{\text{entrada}} Z_L} = 1.481,33$ V. El campo eléctrico generado en el extremo de esta estructura será, por lo tanto, $E = \frac{2V_L}{c} = 221.094,03$ Vm^{-1} . Este gran campo eléctrico puede permitir que el plasma se establezca usando uno cualquiera de una serie de gases y mezclas de gases.

35 El conductor interno puede ser un único conductor cuyo diámetro cambia de b a d a e desde el extremo proximal al extremo distal. El conductor externo tiene el mismo diámetro interior c para la longitud de las tres secciones de transformador de impedancia y se reduce a a en la primera sección. El material usado para los conductores interno y externo puede ser cualquier material o compuesto que tenga un alto valor de conductividad, por ejemplo, puede usarse cobre, latón, aluminio, o acero inoxidable recubierto de plata.

40 El gas o mezcla de gases se alimenta en la estructura usando el tubo de alimentación 470 y el gas llena el interior del conjunto coaxial.

45 La figura 6 muestra un aplicador de plasma 300 en el que se usa una cavidad de guía de ondas para crear el campo para generar el plasma. En esta disposición específica, se usa un bucle de campo H 302 para transferir la energía de microondas del generador de microondas a la antena de guía de ondas, y la mezcla de gases se introduce en la estructura a través de la alimentación de gas 471, que está conectada al tubo de alimentación 470. Puede ser preferible que el bucle de campo H tenga una longitud física que sea igual a la mitad de la longitud de onda en la frecuencia de interés o funcionamiento, y que el extremo distal de dicho bucle se conecte a la pared interior del conductor externo. La conexión puede hacerse usando una junta soldada a alta o a baja temperatura.

50 Aunque no se ilustra en la figura 6, también pueden introducirse transformadores de impedancia en la guía de ondas para generar altos campos eléctricos en el extremo distal del aplicador de una manera similar a los introducidos usando las disposiciones coaxiales descritas anteriormente. En otras palabras, la antena de guía de ondas puede comprender una pluralidad de secciones que tienen una longitud igual a un múltiplo impar del cuarto de la longitud

$$L = \frac{(2n-1)\lambda}{4}.$$

de onda cargada o descargada en la frecuencia de interés, es decir, Con el fin de reducir las

dimensiones de la guía de onda (longitud, anchura o diámetro), la guía de onda puede llenarse con un material dieléctrico, o magnético, o compuesto, en el que la longitud de onda se reduce en función de la inversa de la raíz cuadrada de la permisividad relativa, o la permeabilidad relativa, o el producto de las dos. Puede introducirse una serie de transformadores de impedancia cargando una o una pluralidad de las secciones que forman el transformador. En el caso en el que la estructura de guía de ondas se carga con un material dieléctrico o magnético (o una combinación de ambos), puede ser preferible que el material de carga sea poroso o tenga una pluralidad de agujeros perforados en el mismo para permitir que el gas o la mezcla de gases fluya dentro de las secciones de guía de ondas.

10 Con el fin de cambiar la impedancia de la guía de ondas para producir las transformaciones de longitud de cuarto de onda deseadas dentro de la estructura, es necesario hacer ajustes en la geometría de la estructura o cambiar el material de carga. Para una guía de ondas rectangular, la impedancia característica de la cavidad de guía de ondas puede expresarse como

$$Z_0 = 377 \frac{b}{a} \sqrt{\frac{\mu_r \lambda_g}{\epsilon_r \lambda}}$$

15 donde

$$\frac{\lambda_g}{\lambda} \text{ Es } \frac{1}{\sqrt{1 - f_c/2f}}$$

b es la altura de la guía (o la longitud de la pared corta), a es la anchura de la guía (o la longitud de la pared larga), μ_r es la permeabilidad relativa del material de carga magnético, ϵ_r es la permisividad relativa del material de carga dieléctrico, f_c es la frecuencia de corte de la guía, y f es la frecuencia de funcionamiento.

20 En la figura 6, puede añadirse un material adicional 360 en el extremo distal de la guía de ondas. El material adicional 360 puede ser un tubo de cuarzo usado para aumentar el campo eléctrico en el extremo distal de la estructura de antena.

25 La figura 7 muestra una disposición similar, pero con la entrada 471 en la misma superficie de la guía de ondas que la conexión de microondas. Esta disposición es ventajosa cuando el dispositivo se usa para suministrar plasma directamente en un orificio natural dentro del cuerpo o a través de un endoscopio u otro tubo que se inserta en el cuerpo para realizar una cirugía de ojo de cerradura o similar.

30 La figura 8 proporciona un diagrama detallado de un conjunto de cables de microondas y un aplicador de plasma integrados. En esta disposición, el conjunto de cables de microondas y gas integrados comprende una disposición coaxial formada usando dos tubos. El primer tubo 314 es un tubo de pared relativamente gruesa fabricado de un material dieléctrico flexible y está recubierto con una capa de metal (por ejemplo, una capa de metalización de alta conductividad, por ejemplo, fabricada de plata, cobre u oro) en ambas paredes interna y externa 318, 319 del mismo. El segundo tubo 313 es un tubo de pared relativamente delgada fabricado de un material flexible. El primer tubo 314 está suspendido en el interior del segundo tubo 313 usando unos espaciadores 312 que pueden fabricarse de un material metálico o dieléctrico y que deben permitir que el gas fluya dentro y a lo largo del canal formado entre la pared externa 318 del primer tubo y la pared interna del segundo tubo 313. El aplicador de plasma comprende dos transformadores de impedancia 310, 320, un paso de alimentación de gas 315 desde el canal central del primer tubo 314 al aplicador, y un paso de extracción de gas 316 desde el aplicador a lo largo de un canal formado entre la pared externa del primer tubo y la pared interna del segundo tubo.

45 Una primera sección 321 del canal interno usado para alimentar gas en el aplicador es sólida para permitir que la clavija central dentro del conector de microondas 340 se conecte eléctricamente al nuevo conjunto de cables de microondas. El conector de microondas de entrada puede ser cualquier conector adecuado para llevar la potencia de microondas hasta 600 W CW en la frecuencia de interés, por ejemplo, pueden usarse unos conectores de tipo N o SMA.

50 El centro 311 del conductor interno 319 usado para formar el conjunto de cables de microondas coaxiales es hueco debido al hecho de que el campo de microondas producido en la frecuencia de interés solo requiere una pequeña cantidad de espesor de pared para permitir que el campo se propague de manera eficiente a lo largo del cable o la guía de ondas, por lo que la parte central 311 del conductor interno 319 puede ser transparente en el campo de microondas. Se aplican criterios similares al espesor del conductor externo 318, es decir, es solo una capa delgada 318 en la superficie externa del primer tubo 314 que juega un papel importante en el campo de microondas o la propagación de ondas a lo largo del canal de guía de ondas.

60 El primer tubo 314 debe fabricarse, preferentemente, de un material dieléctrico de baja pérdida, por ejemplo, PTFE de baja densidad, con el fin de garantizar que se minimiza la pérdida de potencia a lo largo de la estructura (la pérdida de inserción). El aplicador o antena integrado se forma en el interior del segundo tubo 313 y forma una parte integral del conjunto de cables. Esta característica es especialmente útil cuando el aplicador debe insertarse dentro de un orificio natural de diámetro pequeño, es decir, menos de 6 mm, o cuando el dispositivo debe insertarse por un

endoscopio.

El aplicador de plasma mostrado en la figura 8 consiste en dos secciones de transformador de impedancia de cuarto de onda 310, 320. La primera sección es una sección de baja impedancia cuya impedancia se determina por la relación entre el diámetro del conductor interno (g) y el diámetro del conductor externo (i) como se ha descrito anteriormente. El conductor externo puede ser una extensión del conductor externo 318 dentro del conjunto de cables de microondas integrado usado para transportar la energía de microondas desde el generador al aplicador. El gas de dentro del canal 311 se alimenta en el aplicador a través de un agujero, ranura o canal hecho en el conductor interno 311.

La segunda sección de transformador es una sección de alta impedancia cuya impedancia se determina por la relación entre el diámetro del conductor interno (h) y el diámetro del conductor externo (i). El material usado para formar el conductor interno puede ser un material que sea capaz de soportar altas temperaturas sin cambiar de forma o característica física, por ejemplo, el tungsteno.

Un tubo de cuarzo 319 está localizado en el extremo distal del aplicador entre los conductores interno y externo. El tubo de cuarzo reduce la probabilidad de formación de arcos y promueve la excitación de plasma en la región de generación de plasma. En este caso, el penacho de plasma 1000 se dirige fuera del extremo abierto del aplicador por el flujo de gas del canal central 311. Un hueco anular entre el tubo de cuarzo y el conductor externo conduce al canal externo 316. Como se explica a continuación, este canal puede conectarse a una bomba para extraer el gas sobrante o residual del sitio de tratamiento. La figura 9 muestra una disposición para un sistema de control de flujo de gas conectado al conjunto de cables integrado mostrado en la figura 8. El conjunto de cables integrado mostrado en este caso permite que la potencia de microondas que va hacia adelante se transfiera al aplicador y que cualquier potencia de microondas que se devuelva reflejada se transfiera de vuelta a lo largo de un mismo cable al generador en el que pueden tomarse medidas. El conjunto de cables integrado también permite que el mismo cable se use para permitir que el gas se introduzca en el aplicador a lo largo de un primer canal y que el gas sobrante se devuelva a lo largo de un segundo canal para evitar la acumulación de presión cuando se inserta el aplicador dentro de un sistema cerrado o un orificio natural, y también para permitir que se recicle el gas no usado. En la disposición mostrada en la figura 9, el gas sobrante se devuelve desde el aplicador (no mostrado) a lo largo de un canal anular 317 formado entre la pared interna de la camisa externa 313 (esta puede fabricarse de un material aislante o conductor) y la pared externa del conductor externo 318. El gas extraído se alimenta en un tubo de transferencia y se transfiere de vuelta al sistema de control de gas. Una pluralidad de espaciadores 312 (por ejemplo, fabricados de un material aislante, por ejemplo, nailon, PTFE o teflón) se insertan a lo largo de la longitud del conjunto de cables entre la camisa externa 313 y la pared externa del conductor externo 318 para garantizar que el canal se mantiene abierto a lo largo de su longitud con el fin de permitir que fluya el gas.

Esta disposición de control de gas no se limita a usar la sección hueca del conductor interno para transferir gas desde el suministro de gas al aplicador y el canal formado entre la camisa externa 313 y la pared externa del conductor externo 318 para transferir gas de vuelta al suministro de gas, es decir, las dos tuberías de alimentación o tubos de transferencia pueden intercambiarse.

La impedancia del conjunto de cables de microondas formado por esta estructura se describe formalmente a continuación, proporcionándose también un análisis de las dimensiones asociadas con el conjunto integrado general.

El sistema de control de gas consiste en una tubería de extracción de gas 316, que se usa para transportar el gas sobrante de vuelta al sistema. El extremo distal del tubo 316 está conectado a una entrada en la bomba 426, cuyo fin es permitir que el gas sobrante se aspire de vuelta desde el aplicador a lo largo del canal 317 y la tubería 316 al depósito 425. La velocidad de flujo o de bombeo a la que funciona la bomba 426 se determina por una señal de control proporcionada desde un microprocesador o una unidad de DSP dentro del generador de microondas controlable y sistema de control 2000. La señal de control controla la velocidad del motor dentro de la bomba, lo que determina la cantidad de gas que puede aspirarse de vuelta al depósito de gas 425.

La salida de la bomba 426 está conectada a una válvula unidireccional 428, cuyo fin es garantizar que el gas fluye en una sola dirección, es decir, que fluye al depósito de gas 425. El fin del depósito de gas 425 es almacenar o retener el exceso de gas que se ha recogido desde el aplicador.

La salida del depósito 425 está conectada a la segunda válvula unidireccional 419, cuyo fin es garantizar que el gas solo fluye en una dirección; en este caso, fluye desde el depósito al puerto de entrada de la segunda bomba 427. El fin de la segunda bomba 427 es aspirar gas del depósito 425 para que pueda transportarse de vuelta al aplicador para permitir que se produzca más plasma. La velocidad de flujo o de bombeo a la que funciona la bomba 427 se determina por una señal de control proporcionada desde un microprocesador o una unidad de DSP dentro del generador de microondas controlable y sistema de control 2000. La señal de control controla la velocidad del motor dentro de la bomba, lo que determina la cantidad de gas que puede aspirarse fuera del depósito de gas 425 de vuelta al aplicador de producción de plasma.

La salida de la bomba 427 está conectada a las válvulas unidireccionales tercera y cuarta 418, 416, cuyo fin es garantizar que el gas solo fluye en una dirección; en este caso, para garantizar que fluye desde el puerto de salida de la bomba 427 al puerto de entrada del combinador de gas 422. El fin del combinador de gas 422 es combinar el gas reciclado con el gas proporcionado desde el cilindro de gas 410. El flujo de gas procedente del cilindro 410 se controla usando una válvula ajustable 411, que puede controlarse por medios mecánicos o eléctricos; en esta disposición, se elige un medio mecánico. Los manómetros 412 y 413 se muestran conectados a la válvula 411. El fin de estos manómetros es proporcionar un medio para indicar la presión de gas. La válvula unidireccional 414 está conectada entre la salida del cilindro de gas 410 y la entrada de la válvula ajustable 411 para garantizar que el flujo de gas es de una dirección. Se inserta una válvula unidireccional adicional 415 entre la salida de la válvula unidireccional 411 y uno de los puertos de entrada del combinador de gas 422 con el fin de garantizar que el gas no se dirige de vuelta al cilindro de gas 410 a través de la válvula ajustable 411.

El puerto de salida del combinador de gas 422 está conectado a una válvula unidireccional adicional 417, cuyo fin es garantizar que el gas fluye en una dirección, es decir, hacia el aplicador. El funcionamiento del combinador de gas 422 puede controlarse por una señal de control proporcionada desde un microprocesador o una unidad de DSP dentro del generador de microondas controlable y sistema de control 2000.

La salida de la válvula unidireccional 417 está conectada al puerto de entrada del controlador de ajuste de flujo 423, cuyo fin es permitir que la velocidad de flujo del gas en el aplicador se controle por medios electrónicos. El funcionamiento del controlador de ajuste de flujo 423 se determina por una señal de control proporcionada desde un microprocesador o una unidad de DSP dentro del generador de microondas controlable y sistema de control 2000.

La salida del controlador de ajuste de flujo 423 está conectada a una válvula unidireccional adicional 421, cuyo fin es garantizar que el gas fluya en una sola dirección, es decir, hacia el aplicador.

La salida de la válvula unidireccional 421 está conectada al puerto de entrada del conmutador de flujo 424, cuyo fin es controlar el flujo de gas que va hacia el aplicador. Puede ser posible usar el controlador de ajuste de flujo 421 para realizar esta operación, así como para ajustar la cantidad de gas que fluye en el sistema. Si este es el caso, entonces el conmutador de flujo 424 puede omitirse del sistema sin pérdida de funcionalidad. Algunas o todas las válvulas unidireccionales también pueden omitirse sin pérdida de funcionalidad. El funcionamiento del conmutador de flujo 424 se determina por una señal de control proporcionada por un microprocesador o una unidad DSP dentro del generador de microondas controlable y sistema de control 2000.

El puerto de salida del conmutador de flujo 424 está conectado a la tubería de alimentación de gas 315, cuya función es transferir el gas desde el sistema de control de gas contenido dentro del instrumental en el conjunto de aplicadores o cables.

A continuación, sigue un análisis de las consideraciones físicas para formar un dispositivo de transferencia de flujo de gas y de energía de microondas integrado.

Para un conductor sólido, la corriente se concentra en la superficie externa. Por esta razón, cuando la profundidad de la piel es superficial, el conductor sólido puede reemplazarse por un tubo hueco sin pérdida en el rendimiento. La profundidad de la piel puede calcularse usando

$$\delta s = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}},$$

o

$$\delta s = \sqrt{\frac{\rho}{\pi f \mu}},$$

donde δs es la profundidad de la piel (m), ω es la frecuencia en radianes (Hz), σ es la conductividad (S), ρ es la resistividad (Ωm), f es la frecuencia (Hz), μ es la permeabilidad del espacio libre (H/m), es decir, $4\pi \times 10^{-7}$ H/m, y π es 3,1415927.

La tabla 4 proporciona valores de profundidad de piel en unas frecuencias fijadas de 1 GHz y 10 GHz para materiales conductores usados habitualmente. Esta tabla ilustra la ventaja de usar altas frecuencias de microondas cuando es deseable mantener el espesor de metalización en un mínimo, por ejemplo, en disposiciones coaxiales en las que son deseables un conductor central hueco y un conductor externo con un espesor de pared mínimo para permitir que estas regiones de los conjuntos se usen con fines distintos que no sean el transporte de energía de microondas para producir la esterilización o el tratamiento con plasma.

Tabla 4: Profundidad de piel para una gama de materiales en 1 GHz y 10 GHz

Material	Resistividad volumétrica	Profundidad de piel en 1 GHz (μm)	Profundidad de piel en 10 GHz (μm)
Aluminio	2,65	2,59	0,819
Berilio	3,3	2,89	0,914
Latón	7	4,21	1,33
Bronce	15	6,16	1,95
Cobre	1,69	2,07	0,654
Oro	2,2	2,36	0,747
Grafito	783,7	44,6	14,1
Níquel	6,9	4,18	1,32
Plata	1,63	2,03	0,643

El porcentaje de potencia transferida como una función del espesor de material puede expresarse como

$$5 \quad \%P = \frac{1 - e^{-x}}{\delta} \times 100 ,$$

donde x es el espesor de la capa de metalización (m), y $\%P$ es el porcentaje de la potencia que fluye en un espesor de metalización (W) determinado. Esta ecuación predice que para un espesor de metalización de seis profundidades de piel, se transportará el 99,75% de la potencia. Para las estructuras consideradas útiles en este caso, tres materiales que pueden usarse son la plata (Ag), el cobre (Cu), y el aluminio (Al).

Si la frecuencia de elección para generar plasma de microondas es 2,45 GHz, la profundidad de piel en la que se concentra el 67% del campo de microondas, y el espesor de material requerido para el 99,75% del campo de microondas a transportarse para los tres materiales que se han considerado para este trabajo se proporcionan en la Tabla 5.

Tabla 5: profundidades de penetración en 2,45 GHz para tres materiales considerados

Material	Profundidad para el 67% del campo a propagar (μm)	Profundidad para el 99,75% del campo a propagar (μm)
Plata (Ag)	1,30	7,80
Cobre (Cu)	1,32	7,92
Aluminio (Al)	1,66	9,96

En la tabla 5 puede observarse que el espesor requerido para las paredes de los conductores central y externo es menor de 10 μm para los tres materiales de elección, por lo tanto, teniendo en cuenta la necesidad de proporcionar un nivel de rigidez para los conductores, es factible usar un espesor de aproximadamente diez veces este valor, es decir de 0,1 mm.

La impedancia característica (Z_0) del conjunto de cables de microondas puede expresarse como (véase la figura 9)

$$25 \quad Z_0 = \frac{138}{\epsilon_{r1}} \log_{10} \frac{k}{f} ,$$

donde ϵ_{r1} es la permisividad relativa del material dieléctrico 314, k es el diámetro interior del conductor externo 318 y f es el diámetro exterior del conductor interno 319.

Si se supone que la impedancia característica del conjunto de cables de microondas de interés es 50 Ω, y el máximo diámetro exterior del conjunto de cables integrado que puede tolerarse para permitir que el conjunto se inserte dentro de un orificio natural es de 10 mm, entonces, un diseño de conjunto de cables práctico puede adoptar las siguientes etapas:

- 35 - suponer que la línea de transmisión coaxial se forma recubriendo un primer tubo de material dieléctrico de baja pérdida con una primera capa de metalización en la pared interna, y una segunda capa de metalización en la pared externa;
- 40 - suponer también que un segundo tubo se usa para proporcionar el segundo canal para que el gas fluya a lo largo y que el primer tubo se suspende en el interior de dicho segundo tubo usando una pluralidad de discos delgados que contienen agujeros o perforaciones colocados a intervalos regulares a lo largo de la longitud de la estructura de línea de transmisión;
- suponer también que el espesor de metalización en la superficie interna y la superficie externa del tubo es de 0,1 mm (dimensiones b y e en la figura 9);

- suponer también que el diámetro del agujero en el interior del primer tubo es de 2 mm; (dimensión f en la figura 9).
 - deducir entonces que el canal disponible para que el gas fluya a lo largo tiene un diámetro de 1,8 mm (dimensión C en la figura 9);
- 5 - suponer que el diámetro exterior del primer tubo es 6 mm, pudiendo entonces calcularse la constante dieléctrica del material usado para formar la línea de transmisión de 50 Ω que usa el tubo de la siguiente manera:

$$\epsilon_r = \left(\frac{138}{50} \log_{10} \frac{6}{2} \right)^2 = 1,317.$$

10 El material de elección para el material dieléctrico puede tener un PTFE de baja pérdida o nailon.

Puesto que la capa de metalización unida al exterior del tubo es de 0,1 mm, el diámetro total de la estructura coaxial es de 6,2 mm (dimensión L en la figura 9). Si el espesor de pared del segundo tubo es de 0,3 mm y el diámetro exterior del segundo tubo es de 10 mm (diámetro exterior total), entonces el canal disponible para que el gas se devuelva a lo largo es de 1,6 mm (dimensión a en la figura 9).

Las figuras 10a a 10e ilustran vistas axiales en sección transversal a través de una serie de posibles disposiciones que hacen uso del conductor central hueco y/o el paso hacia fuera del conductor externo para alimentar el gas en el aplicador y devolver el gas desde el aplicador.

20 La figura 10a muestra un gas alimentado a través de una sección hueca 311 del conductor central 319 solamente, la figura 10b muestra un gas alimentado a través de una sección hueca 311 del conductor central 319 y un paso 317 hacia fuera del conductor externo 318, la figura 10c muestra un gas alimentado a través de un paso 317 hacia fuera del conductor externo 318 solamente, la figura 10d muestra un gas alimentado a través de una sección hueca 311 del conductor central 319 y que se devuelve a través de un paso 317 hacia fuera del conductor externo 318, y la figura 10e muestra un gas alimentado a través de un paso 317 hacia fuera del conductor externo 318 y devuelto a través de una sección hueca 311 del conductor central 319.

30 En las figuras 10a a 10e, las tuberías de alimentación 315, 316 se fabrican preferentemente del mismo material dieléctrico, o de uno similar, al que se usa para separar el conductor interno 319 del conductor externo 318 con el fin de minimizar las discontinuidades o reflexiones provocadas por el uso de un material diferente. El material dieléctrico 314 debe ser un material de baja pérdida en la frecuencia de funcionamiento y debe proporcionar un nivel de flexibilidad para el conjunto de cables, por ejemplo, PTFE de baja densidad o poliuretano. El paso o canal 317 formado entre la pared externa del conductor externo 318 y la pared interna de la envoltura 313 se soporta usando una pluralidad de espaciadores 312, que se fabrican preferentemente de un material que soporta el canal sin que se colapse o se cierre para evitar el flujo de gas cuando se dobla o se retuerce. Los espaciadores 312 deben permitir que el gas fluya a lo largo del canal 317, por lo que dichos espaciadores deben contener una pluralidad de agujeros o perforaciones adecuados. El material usado para formar la envoltura externa 313 puede ser un material metálico o no metálico. Es preferible que dicho material sea un material de plástico o de caucho con el fin de ayudar a garantizar que la flexibilidad general del conjunto pueda manipularse por los clínicos u otros usuarios.

40 La figura 11 es un diagrama de bloques de un sistema de esterilización por plasma en el que la sintonización automática para excitar, mantener y hacer coincidir el plasma se produce en el aplicador de plasma. En el ejemplo ilustrado, tres tetones de sintonización y un medio de ajuste de los tetones de sintonización están contenidos dentro del aplicador de plasma (que es una unidad manual).

50 En el ejemplo, se usa un accionador electromecánico 240 para mover la posición de los tres tetones de sintonización 250, 260, 270 dentro de una cavidad de guía de ondas 280 en el aplicador de plasma. La longitud de los tres tetones se determina por las señales de control producidas por el controlador 140 contenido dentro del generador de microondas 2000. La señal de control enviada al accionador electromecánico 240 se basa en la manipulación de las señales medidas en los puertos acoplados en los acopladores de potencias de avance y reflejada 80 y 90, respectivamente. En la práctica, solo es necesario medir la potencia reflejada con el fin de establecer la condición requerida para producir el alto campo eléctrico dentro de la cavidad que es necesario para excitar el plasma, para determinar la condición para sostener el plasma, y para hacerlo coincidir con el estado variable de la superficie o el tejido al que se acopla el plasma. Las señales procedentes del acoplador de potencia reflejada 90 y el acoplador de potencia de avance 80 se alimentan en un detector (o receptor) 120 cuya función es convertir la señal de microondas en un formato que sea aceptable para su uso en el controlador 140. Esta señal puede ser una tensión de CC, o una señal de frecuencia más baja que contiene la información de fase y de magnitud. La tensión de CC o las señales de fase y de magnitud se procesan usando el controlador 140 para determinar las señales que necesitan enviarse al accionador electromecánico 240 para mover los tres tetones de sintonización 250, 260, 270 a la posición necesaria para excitar o mantener el plasma. El detector 120 puede tomar la forma de un detector de diodo con un filtro de paso bajo (por ejemplo, un diodo túnel, o un diodo Schottky y un filtro CR unipolar simple), o un detector heterodino (o un detector homodino) usando un mezclador de frecuencias de microondas y una señal de oscilador

local. Puede ser preferible implementar el detector heterodino (o un detector homodino) usando más de una etapa de mezcla de frecuencia, es decir, puede emplearse un doble receptor heterodino IF que usa dos mezcladores de frecuencias de microondas y dos osciladores locales.

- 5 Los componentes de microondas en el generador 2000 que están dispuestos para suministrar energía de microondas al aplicador de plasma son similares a las disposiciones tratadas anteriormente. Se usan los mismos números de referencia para describir componentes similares. En estas disposiciones hay dos amplificadores 500, 501. Además, el plasma puede suministrarse bajo control de un conmutador de pedal, por lo que se produce un chorro de plasma cuando un usuario presiona un conmutador de pedal conectado al instrumento. El conmutador de pedal puede formar parte de la interfaz de usuario 150.

15 Las señales muestreadas producidas por los acopladores de potencias de avance y reflejada 80, 90 también puede usarse para garantizar que los niveles potencialmente altos de potencia de microondas no se irradian desde el extremo distal del aplicador de guía de ondas en el caso de que no se haya excitado un penacho o chorro de plasma debido a que se haya agotado o apagado el suministro de gas. Una secuencia de seguridad puede implicar cortar el generador de microondas si la impedancia de la cavidad de guía de ondas no se ha reducido desde el estado de excitación de alta impedancia a un estado de conducción de gas de menor impedancia dentro de los 10 milisegundos o 100 milisegundos después de que se haya aplicado la energía de microondas. La capacidad de medir continuamente la impedancia de la cavidad de guía de ondas también puede usarse para cortar la fuente de microondas de una manera oportuna cuando el cilindro de gas esté a punto de vaciarse.

25 Es deseable que los tres tetones de sintonización 250, 260, 270 se establezcan en un estado inicial en el que se garantice que un cavidad resonante se configurará con el fin de producir un campo eléctrico lo suficientemente alto como para excitar el plasma tan pronto como se suministre la energía de microondas. Una vez que se ha iniciado el plasma, los tres tetones de sintonización 250, 260, 270 se moverán a una posición que permite que la energía de microondas coincida con la impedancia de la cavidad de guía de ondas 280 que contiene el plasma 300, por lo que debe detectarse un valor nulo o mínimo en el puerto acoplado del acoplador de potencia reflejada 90.

30 Podría usarse un controlador PID entre el controlador 140 y el accionador electromecánico 240 para controlar el ajuste de los tetones 250, 260, 270. Como alternativa, las funciones de control PID pueden manejarse por el controlador 140. Otra alternativa es reemplazar el sistema de sintonización mecánica con una disposición de diodo PIN o varactor de potencia, por lo que la tensión de polarización aplicada a los diodos se usa para ajustar la capa de agotamiento dentro de los diodos para producir una variación de capacitancia.

35 Los transistores de potencia usados en la etapa de salida del amplificador de potencia de microondas 501 están protegidos contra los daños provocados por los niveles excesivos de potencia reflejada que se devuelve al amplificador, provocados o por un desajuste de impedancia en el aplicador en que se genera el plasma, daños al conjunto de cables de microondas 200, o por el aplicador o el conjunto de cables que llegan a desconectarse, usando el circulador de microondas 50 y la carga de descarga de potencia 51 como se ha tratado anteriormente.

40 El controlador 140 también controla una válvula controlada eléctricamente 436, que se abre para permitir que el gas entre en la cavidad de guía de ondas 280. Es preferible garantizar que el gas entra en la cavidad antes de que la energía de microondas se aplique o se introduzca en la cavidad con el fin de garantizar que la radiación de microondas no ionizada no se emita desde el extremo distal de la guía de ondas en la piel u otro tejido biológico.

45 También puede ser deseable controlar la velocidad del flujo de gas usando un medidor de flujo controlado eléctricamente (no mostrado en este caso). Conociendo el volumen inicial de gas contenido dentro del cilindro de gas 410 y la velocidad y el tiempo de flujo, es posible determinar el volumen de gas que queda en el cilindro en un momento dado. Esta información puede usarse para garantizar que la fuente de energía de microondas se apaga antes de que el cilindro de gas llegue a vaciarse.

50 El sistema mostrado en la figura 11 muestra tres entradas que entran en el aplicador de plasma: la línea de señales de control 202 en el accionador electromecánico, el conjunto de cables de microondas 200 que conecta el generador de energía de microondas al aplicador, y el tubo de alimentación de gas 470 para llevar el suministro de gas desde el cilindro de gas a la cavidad de guía de ondas. Puede ser deseable alojar las tres entradas dentro de una sola camisa con el fin de facilitar un uso o manipulación sencillos del aplicador. El gas entra en el aplicador de plasma a través de una abertura en la pared 230 de la guía de ondas 290.

60 El conector de entrada de microondas 340 mostrado en este caso usa una sonda de campo H 220 para acoplar la potencia de microondas en la guía de ondas 290. Puede usarse una sonda de campo E para acoplar la energía de microondas en la estructura.

65 La interfaz de usuario 150 proporciona una interfaz entre el usuario (médico o cirujano) y el sistema de tratamiento (hombre-máquina-interfaz). Por ejemplo, puede ser necesario introducir el tipo de gas (o tipos de gases) usado (He, CO₂, Ar, Ne, O₂, etc.), la duración del tratamiento y el nivel de potencia, el caudal. La dosificación de la energía de plasma puede calcularse a partir de esta información y puede visualizarse. La interfaz de usuario 150 también puede

indicar errores o anomalías. La interfaz de usuario puede tomar la forma de una pantalla LED/LCD y un teclado, una pantalla táctil, o similares.

5 Una tensión de red de potencia para la fuente de alimentación de tensión de CC 141 se usa para proporcionar la tensión/corriente requerida por los componentes eléctricos dentro del sistema. Es preferible que la fuente de alimentación 141 sea una fuente de alimentación en modo conmutado con el fin de obtener una red de CA óptima para una tensión de CC eficaz. La corrección del factor de potencia puede incluirse dentro de la unidad para optimizar esta eficiencia.

10 La figura 12 muestra otro aplicador de plasma en el que el sistema de sintonización automática está contenido en el mismo. La disposición mostrada usa un solo tetón de sintonización 250 por conveniencia, pero puede ser preferible usar dos, tres o más tetones en la práctica.

15 El mecanismo de sintonización automática funciona estableciendo la distancia del tetón 250 que sobresale dentro de la cavidad 290 a una longitud L_1 determinada por las señales de accionamiento 242, 243 (representadas como V_1/i_1 y V_2/i_2 en este ejemplo) en la entrada al accionador electromecánico 240 usado para mover el tetón de sintonización 250 dentro de la cavidad de guía de ondas 290. Un conmutador unipolar de dos posiciones 241 se usa para seleccionar una de las señales de accionamiento 242, 243 para transferir al accionador 240. La posición de conmutador S_1 o S_2 se determina por la señal de línea de control C_1 y la señal de reinicio 244. Pueden usarse un
20 dispositivo MOSFET o un relé para implementar el conmutador 241. En el caso de que el conmutador 241 tenga una sola entrada de señal de control, las funciones de reinicio y de control pueden suministrarse usando una disposición de puerta lógica, por ejemplo, un basculador de tipo D o una disposición de puertas lógicas. La figura 12 muestra el conmutador como un bloque con dos entradas y no muestra la lógica de cola adicional que puede ser necesaria.

25 Con el fin de detectar la magnitud de la configuración del campo eléctrico dentro de la cavidad de guía de ondas, un acoplador de bucle de campo H 245 está localizado cerca del extremo distal (es decir, la salida) del aplicador. Un conector 246 (por ejemplo, un conector SMA o de tipo N) se usa para conectar la señal de salida del acoplador de bucle H 245 al resto del circuito. Con el fin de poder detectar con éxito una parte de la señal que va hacia adelante o la señal reflejada, también puede proporcionarse un puerto no acoplado (no mostrado). Puede usarse una sonda de
30 campo E para detectar la magnitud del campo eléctrico. El acoplador 245 detecta una parte de la configuración del campo dentro de la cavidad de guía de ondas 280. La señal acoplada se alimenta en el detector 247, que puede ser un detector de magnitud, un detector de fase y magnitud, o un detector de fase. El detector 247 produce una señal de tensión de CC o de CA de baja frecuencia que se alimenta en la entrada del comparador de umbral 248, cuya función es proporcionar una señal de control al conmutador 241 para cambiar la posición del polo de acuerdo con el
35 valor de la configuración del campo eléctrico dentro de la cavidad de guía de ondas 280 y determinar si la fuente de microondas está conectada o no (esto también puede determinarse por el estado de la señal de reinicio).

La figura 12 muestra una disposición en la que el tetón 250 se establece en una posición para producir un máximo campo eléctrico en el interior de la cavidad de guía de ondas 280 con el fin de permitir que el plasma se excite
40 cuando se suministre un gas adecuado a la cavidad de guía de ondas y la fuente de microondas esté conectada. Una vez que se ha excitado el plasma, se reducirá el campo eléctrico 249 y esto se detectará por un cambio en la tensión V_a recogida usando el acoplador de detección de campo H 245. El cambio en la magnitud del campo eléctrico 249 puede usarse para cambiar el estado de la salida del comparador de umbral 248 para hacer que la posición de conmutador cambie a S_1 para permitir que la señal de accionamiento 242 (V_1/i_1) se vea en la entrada al accionador electromecánico 240 para hacer que cambie la longitud L_1 del tetón 250 que sobresale dentro de la
45 cavidad de guía de ondas 280. La nueva condición permitirá que la energía de microondas coincida con la impedancia en la cavidad de guía de ondas 280 para sostener el plasma y proporcionar un suministro de energía eficaz con un nivel mínimo de energía de microondas reflejada que se devuelve a la fuente de microondas.

50 Para la realización práctica de esta disposición, puede ser deseable usar la alta tensión detectada cuando el alto campo eléctrico 249 está presente para disparar el comparador de umbral 248 para mover el tetón 250 a la segunda posición necesaria para sostener el plasma. Si se supone que el plasma se excitará definitivamente una vez que se haya establecido un campo eléctrico lo suficientemente alto 249, entonces el comparador de umbral 248 puede dispararse en un tiempo predeterminado después de que se haya detectado (o se haya establecido) el alto campo
55 eléctrico 249 usando el acoplador de campo H 245. Puede introducirse un retardo de tiempo en el sistema usando un circuito monoestable disparable repetible o un circuito de retardo LC, CR para permitir que se produzca esta secuencia de sucesos.

60 En una disposición práctica, puede ser deseable localizar la posición física del tetón de sintonización 250 más cerca del extremo distal del aplicador de plasma.

La figura 13 es un diagrama que muestra la disposición de control de accionador descrita anteriormente. La implementación mostrada en este caso usa el procesamiento de señales analógicas por la velocidad de funcionamiento, la facilidad de implementación, y la simplicidad. Esto ahorra la necesidad de implementar un PIC o
65 microprocesador y los componentes periféricos asociados. Las dos señales de accionamiento de accionador 242, 243 se obtienen usando los amplificadores operacionales respectivos 251, 252 configurados como amplificadores de

no inversión. La tensión/corriente (V_1) aplicada al accionador electromecánico 240 para hacer que el tetón 250 se mueva para que pueda sobresalir dentro de la cavidad 280 a una longitud deseada L_1 para permitir un alto campo eléctrico 249 para que se configure para iniciar o excitar el plasma puede expresarse como

$$V_1 = V_x \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right),$$

5 donde V_x es la tensión aplicada al terminal de entrada de no inversión del primer amplificador operacional 251, R_1 es la resistencia del primer resistor de realimentación 720 conectado entre la salida del primer amplificador operacional 251 y la entrada de inversión al primer amplificador operacional 251, y R_2 es la resistencia de un resistor 730 conectado entre la entrada de inversión al primer amplificador operacional 251 y tierra.

10 De manera similar, la tensión/corriente V_2 aplicada para hacer que el tetón 250 se mueva por el accionador electromecánico 240 para que pueda sobresalir dentro de la cavidad 280 a una longitud L_2 para permitir que el plasma se mantenga puede expresarse como

$$V_2 = V_y \left(1 + \frac{R_3}{R_4} \right),$$

15 donde V_y es la tensión aplicada al terminal de entrada de no inversión del segundo amplificador operacional 252, R_3 es la resistencia del segundo resistor de realimentación 820 conectado entre la salida del segundo amplificador operacional 252 y la entrada de inversión al segundo amplificador operacional 252, y R_4 es la resistencia de un resistor 830 conectado entre la entrada de inversión al segundo amplificador operacional 252 y tierra.

Los amplificadores operacionales primero y segundo 251, 252 pueden estar contenidos en un solo circuito integrado empacotado y puede venir en forma de un dispositivo de soporte de superficie pequeña.

25 En este ejemplo, el detector 247 comprende un diodo de RF o de microondas D1 610, un condensador de filtro C1 620 y un diodo de sujeción Zener D2 630. La señal de entrada al detector 247 es la tensión V_a recogida desde el acoplador de campo H 245 contenido dentro de la cavidad de guía de ondas 280. El diodo 610 puede ser un diodo Schottky de polarización cero o un diodo túnel, el condensador 620 puede ser un condensador de baja pérdida, por ejemplo, un COG de 0,1 μF , y el diodo 630 puede ser un diodo Zener de 4,7 V. El diodo Zener 630 se usa para garantizar que la tensión de entrada que entra en el terminal de no inversión del amplificador intermedio 253 no supere los 4,7 V, por lo que este componente protege el resto del circuito que sigue a la unidad de detector 247.

30 En este ejemplo, el comparador de umbral 248 comprende un amplificador de amortiguación 253 y un amplificador operacional 254. El amplificador de amortiguación 253 es un amplificador operacional configurado como una amortiguación de ganancia unitaria. El amplificador operacional 254 está configurado como un comparador de tensión. La señal amortiguada producida en la salida del amplificador de amortiguación V_n se retarda usando un dispositivo de filtro de paso bajo unipolar que comprende un resistor conectado en serie 520 y un condensador conectado en paralelo 530. La tensión V_0 en la entrada de no inversión al amplificador operacional 254 puede expresarse como

$$V_0 = V_n \left(1 - e^{-t/\tau} \right),$$

40 donde τ es la constante de tiempo del circuito.

45 La tensión aplicada a la entrada de inversión del amplificador operacional 254 se proporciona por la salida del divisor de potencia formado por la cadena de resistores conectados en serie 540, 550. La tensión de referencia aplicada al terminal de entrada de inversión puede expresarse como

$$+5V \left(\frac{R_7}{R_6 + R_7} \right),$$

50 donde R_6 es la resistencia de un primer resistor 540 conectado entre un suministro de +5 V y el terminal de entrada de inversión del amplificador operacional 254, y R_7 es la resistencia de un segundo resistor 550 conectado entre el terminal de entrada de inversión del amplificador operacional 254 y tierra.

55 Una vez que la tensión aplicada al terminal de no inversión del amplificador operacional 254 alcanza la tensión umbral (determinada por la tensión de referencia tratada anteriormente), la salida del amplificador operacional 254 cambiará la posición de polo del conmutador MOSFET de S1 a S2 para permitir que el tetón 250 se mueva a una

segunda posición para permitir que una condición de baja impedancia se configure dentro de la cavidad de guía de ondas 280 para sostener el plasma. Cuando se presenta una señal de reinicio 244, la posición de polo se moverá de vuelta a S1. El accionador electromecánico 240 se muestra en este caso como un motor. El accionador electromecánico 240 también podría tomar la forma de un motor lineal, o un accionador lineal, por ejemplo, una
5 disposición de accionador lineal basado en material magnetostrictivo.

Una secuencia de sucesos que representan el funcionamiento del sistema mostrado en las figuras 11 a 13 podría ser de la siguiente manera:

- 10 - reiniciar el sistema usando la señal de reinicio 244 para garantizar que el conmutador 241 está en la posición para garantizar que tetón 250 adopta una posición que creará un alto campo eléctrico 249 dentro de la cavidad de guía de ondas 280 para permitir que se excite el plasma,
- encender el suministro de gas usando el regulador 450 y la válvula 436 (usando el controlador 140) para garantizar que el gas ha entrado en la cavidad de guía de ondas 280,
- 15 - después de un retardo predeterminado (para garantizar que la cavidad 280 se llena con el gas) encender la fuente de energía de microondas usando las señales de control producidas por el controlador 140,
- crear el alto campo eléctrico 249 en la cavidad de guía de ondas 280 llena del gas adecuado hace que se inicie o se excite un plasma,
- 20 - después de un breve retardo de tiempo, conmutar la posición de polo del conmutador 241 para permitir que el plasma se mantenga creando una condición de baja impedancia dentro de la cavidad de guía de ondas 280 para permitir que la potencia de salida procedente de la fuente de energía de microondas coincida en impedancia con el gas de conducción (el plasma) para que pueda crearse y mantenerse un plasma clínicamente útil.

25 La implementación práctica del circuito proporcionado en la figura 13 puede realizarse usando componentes de soporte superficial, por ejemplo, los dispositivos 0201 y 0603, con el fin de mantener el tamaño físico de los circuitos en un mínimo para que pueda fabricarse un diseño de pieza de mano compacto. Ambos dispositivos activo y pasivo ya están disponibles en estos pequeños paquetes y, por lo tanto, es factible implementar los circuitos de esta manera para permitir que el circuito esté contenido dentro de la pieza de mano de una manera no obstructiva.

30 Puede ser deseable cargar con resorte los tetones de sintonización 250, 260, 270 y usar un mecanismo de trinquete para permitir que los tres tetones se establezcan en solo dos posiciones. La primera posición permitirá que se excite el plasma y una segunda posición permitirá que se mantenga el plasma (se minimiza el nivel de reflexión) como se ha descrito anteriormente. En esta disposición específica puede no ser necesario un mecanismo de sintonización automática. La distancia entre los centros de los tres tetones es, preferentemente, un cuarto o tres cuartos de la
35 longitud de onda de guía (a continuación, se proporcionan más detalles de esta disposición específica). También puede usarse un octavo o un medio de longitud de onda.

40 En otra disposición, la condición del plasma que se excita puede detectarse usando un sensor adecuado, por ejemplo, un acoplador direccional 80, 90 y un detector, o un dispositivo de medición de tensión. Los tetones pueden moverse basándose en esta medición. Usando este método de control, las longitudes de los tres tetones dentro de la cavidad también pueden variarse de acuerdo con la impedancia cambiante de la superficie o tejido en el que se acopla el plasma, es decir, la magnitud y/o la fase de la señal producida por el acoplador de potencia reflejada 90 cambiarán de acuerdo con la coincidencia de impedancia entre el penacho de plasma y la superficie, y esta señal puede usarse para variar la posición de los tetones para minimizar el cambio o la creación de una condición de
45 coincidencia conjugada, por ejemplo, usando una rutina de optimización asociada para garantizar que la posición de los tetones de sintonización coincide con un valor nulo o mínimo en la señal reflejada.

Una ventaja específica de las disposiciones tratadas con respecto a las figuras 11-13 es que la cavidad resonante puede no sufrir la reducción en Q provocada por la pérdida de inserción del conjunto de cables insertado entre el
50 generador y el aplicador; esta reducción en Q puede hacer que se reduzca el campo eléctrico generado dentro de la cavidad, lo que podría limitar la capacidad del sistema para sostener el plasma.

La figura 14 muestra una disposición mecánica que puede usarse para garantizar que la temperatura del plasma no supera un límite de seguridad cuando entra en contacto con el tejido del paciente. El límite de seguridad puede
55 definirse como de aproximadamente 10 °C por encima de la temperatura ambiente o una temperatura que no puede provocar daños por quemadura o por calor al tejido del paciente. La disposición mostrada en la figura 14 comprende un soporte fijo 381, que está conectado de manera permanente al cuerpo externo 330 del aplicador de plasma 300, y una sección móvil 382, que puede moverse libremente a lo largo del cuerpo externo 330, y cuya posición se ajusta usando los tornillos roscados 380. También pueden incluirse unas tuercas de bloqueo para garantizar que la
60 posición del separador es fija y no puede cambiar. Al menos dos patas están conectadas a la sección móvil 382 y el extremo distal de estas patas está en contacto con el tejido del paciente para evitar que el penacho de plasma esté en contacto directo con el tejido del paciente. Esta disposición puede usarse para controlar la temperatura del plasma para garantizar que el penacho no pueda provocar ningún daño a los tejidos. Otros parámetros, tales como el nivel de potencia de microondas, el tiempo de encendido/apagado de pulso, las frecuencias de modulación, la
65 mezcla de gas, y los caudales de gas también determinan la temperatura del plasma con respecto a la superficie de la piel del paciente, por lo que la disposición de separador proporcionada en este caso puede usarse como una

medida secundaria para garantizar que no pueda superarse nunca una temperatura de seguridad. Además del control de temperatura, el separador ajustable también puede usarse como otro medio de control de la cantidad de energía de plasma que se suministra en el tejido del paciente. Por ejemplo, en los casos en los que se requiere no destruir totalmente ciertas bacterias, la energía de plasma requerida para suministrarse en el tejido del paciente puede ser menor que la requerida para destruir totalmente las bacterias.

La figura 15 es un diagrama de bloques que muestra un sistema de esterilización por plasma que tiene un aplicador de plasma que comprende una pluralidad de regiones de generación de plasma. En la figura 15, el aplicador de plasma comprende siete chorros de plasma 300-306, cada uno de los cuales tiene una configuración similar a los aplicadores de plasma mostrados en la figura 3. El sistema está dispuesto para producir una pluralidad de penachos de plasma simultáneamente de una manera controlada que permite que se emita un manto de plasma. La disposición puede ser útil para tratar un área (por ejemplo, un área grande) de una manera uniforme. El sistema mostrado en la figura 15 funciona de una manera similar al mostrado en la figura 1. A los componentes que realizan la misma función, o una similar, se les asignan los mismos números de referencia y no se describen de nuevo.

En esta disposición, el ajustador de impedancia 100 es un filtro de sintonización que comprende, por ejemplo, uno o más condensadores variables o similares, controlado por un controlador de filtro 101 que recibe información del controlador 140. La figura 15 también muestra una fuente de alimentación 102 para proporcionar los suministros de potencia V_1 - V_9 a los componentes en el generador.

La principal diferencia entre las disposiciones mostradas en las figuras 1 y 15 es la disposición de división de potencia que permite que la pluralidad de haces de plasma se generen de manera controlable en una forma sustancialmente simultánea. Los siete chorros de plasma 300 a 306 están conectados en paralelo por una unidad de división de potencia (no mostrada) a la potencia de salida del acoplador de potencia reflejada 90. Los chorros de plasma 300-306 están conectados en serie a la alimentación de gas 470, es decir, las regiones de generación de plasma en cada chorro de plasma están conectadas por las tuberías de flujo de gas 472. También es posible conectar las regiones de generación de plasma en paralelo, pero la disposición ilustrada es más eficiente y ahorra espacio.

La figura 16 ilustra esquemáticamente una posible disposición para la unidad de división de potencia 3000 en un ejemplo en el que hay ocho chorros de plasma 300-307 conectados en serie a la alimentación de gas, pero en paralelo a la energía de microondas. La unidad de división de potencia 3000 comprende una pluralidad de amplificadores de refuerzo y divisores de potencia. La potencia de microondas procedente del generador (es decir, procedente del puerto de salida del acoplador de potencia reflejada 90) se introduce en el primer amplificador de refuerzo 560. El fin de los amplificadores de refuerzo es mantener la señal en un nivel de potencia mediante el que pueda crearse una tensión lo suficientemente alta en cada chorro de plasma como para que pueda excitarse un plasma. La figura 16 muestra un amplificador de refuerzo localizado antes de cada divisor. En la práctica, esta no es una necesidad esencial.

La salida del primer amplificador de refuerzo 560 se introduce en el primer divisor de potencia 3010 (por ejemplo, un divisor de potencia de 3 dB convencional) que divide la señal de entrada en dos salidas balanceadas. Las dos salidas del primer divisor de potencia se introducen en los amplificadores de refuerzo segundo y tercero 561, 562, respectivamente. Las salidas de los amplificadores de refuerzo segundo y tercero 561, 562 se introducen en los divisores de potencia segundo y tercero 3020, 3030, respectivamente. Las cuatro salidas de los divisores de potencia segundo y tercero 3020, 3030 se introducen en los amplificadores de refuerzo cuarto a séptimo 563-566, cuyas salidas se introducen en los divisores de potencia cuarto a séptimo 3040-3070. Los divisores de potencia cuarto a séptimo 3040-3070 proporcionan ocho salidas, una para cada chorro de plasma 300-307. Antes de que se introduzca en el chorro de plasma, cada salida de los divisores de potencia cuarto a séptimo 3040-3070 se introduce en un amplificador de refuerzo respectivo 567-574.

La figura 17 es un diagrama esquemático que ilustra cómo puede usarse un sistema capaz de producir una pluralidad de penachos de plasma. El diagrama muestra un marco rectangular 1200 que define una abertura 1202 adecuada para que una persona 1204 pase a través de la misma. El marco puede ser un marco de puerta o similar. El marco 1200 puede estar fabricado de dos paneles verticales 1206, 1208 y un panel de cubierta 1210, cada uno de los cuales aloja una pluralidad de chorros de plasma (mostrados esquemáticamente como flechas de bloque). Los chorros de plasma pueden corresponderse con los chorros de plasma del aplicador de plasma mostrado en las figuras 15 y 16. Los chorros de plasma están dispuestos para dirigir los penachos de plasma hacia dentro, es decir, hacia la abertura, de manera que un objeto (por ejemplo, una persona, un mueble o similares) que pasa a través de la abertura se expone a la esterilización por plasma. Los paneles pueden moverse, por ejemplo, para modificar el tamaño de la abertura en función de los diferentes tamaños del objeto.

La figura 18 muestra otro ejemplo de un sistema de esterilización por plasma que tiene una pluralidad de regiones de generación de plasma. Este ejemplo está a una escala mucho más pequeña que la de la figura 17 porque la pluralidad de regiones de generación de plasma están todas contenidas dentro de una unidad manual, por ejemplo, un aplicador de plasma de "cepillo" o de "peine". En este caso, el aplicador de plasma tiene una pluralidad de boquillas dispuestas para emitir plasma. El espaciado entre las boquillas es tal que el plasma parece ser una

línea continua de plasma.

El aplicador toma la forma de una línea de transmisión coaxial 1220 que comprende un conductor externo 1230 y un conductor interno 1240. La energía de microondas se introduce en la estructura usando un conector de microondas 340. El conductor interno 1230 y el conductor externo 1240 son materiales preferibles que tienen una alta conductividad. El conductor externo 1240 también puede proporcionar un nivel de resistencia mecánica necesaria para soportar la estructura del aplicador.

En la disposición mostrada en la figura 18, el conductor interno 1240 está conectado o cortocircuitado al conductor externo 1230 en el extremo distal del dispositivo y se hacen una pluralidad de agujeros 1242 (o ranuras) en el conductor externo 1230. Se proporcionan una pluralidad de boquillas 1131-1135, cada una conectada a un agujero respectivo 1242. Durante el uso, se emite un penacho de plasma desde cada boquilla 1131-1135.

El gas se introduce en la estructura coaxial 1220 a través de la alimentación de gas 470, que se divide en una pluralidad de suministros, alimentando cada uno de los mismos unas válvulas en miniatura 1231-1235 localizadas en oposición a unas boquillas respectivas 1131-1135. Cada válvula 1231-1235 puede ajustarse de manera manual o automática para permitir que el flujo de gas en las proximidades de cada boquilla sea diferente y de tal manera que los penachos de energía de plasma sean los mismos, es decir, que la energía de plasma producida por cada penacho sea la misma. Por ejemplo, las válvulas 1231-1235 pueden ser válvulas de solenoide que se controlan usando las señales producidas por el controlador 140. Como alternativa, las válvulas 1231-1235 también pueden ajustarse de manera manual usando un mecanismo de tipo tornillo o rosca macho.

La condición de alta tensión necesaria para provocar la ruptura de ionización del gas suministrado a través de las válvulas 1231-1235 se proporciona por el generador de alta tensión 1260, que produce pulsos o picos de alta tensión basados en las señales de control proporcionadas por el controlador 140. El generador de alta tensión 1260 puede tomar la forma de un generador de baja tensión con un transformador de tensión que tiene una elevada relación de vueltas (por ejemplo, 1:100, por lo que una tensión primaria de 10 V producirá una tensión secundaria de 1 kV), un conversor de refuerzo, un ignitor piezoeléctrico, o similares.

Una vez que se ha producido la ruptura de ionización, se mantendrá el plasma usando la energía de microondas producida por el generador de microondas controlable 2000. La potencia de microondas procedente del generador crea un campo de microondas en el interior del aplicador para garantizar que el plasma se emite desde cada una de las cinco boquillas.

Las figuras 19a-19c muestran una estructura de aplicador de plasma en la que la energía de microondas procedente de la fuente se usa para excitar el plasma en la pluralidad de boquillas, es decir, en la que no se requiere un generador de alta tensión separado.

La figura 19a muestra una estructura que puede usarse para permitir que la energía de microondas producida por el generador de microondas inicie el plasma en cada una de las cuatro boquillas 1131-1134. Esta disposición muestra el extremo distal del conductor externo 1230 cortocircuitado con el conductor interno 1240 usando la placa o extremo de cortocircuito 1262. El centro de la primera boquilla 1134 está colocado a una distancia de un cuarto de longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento de dicha placa de extremo de cortocircuito 1262 para proporcionar un primer máximo de campo E (ya que una rotación de un cuarto de longitud de onda con respecto a un cortocircuito produce un circuito abierto), que es la condición preferida para que se produzca una descarga de ionización o una excitación de plasma. La distancia entre la primera boquilla y la segunda boquilla es, entonces, media longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento para permitir que el segundo máximo de campo E se coloque en el centro de la segunda boquilla 1133 (una rotación de media longitud de onda produce la misma condición, es decir, una primera condición de circuito abierto a una segunda condición de circuito abierto). La posición de las boquillas posteriores sigue el mismo patrón para permitir que los máximos de campo E se localicen en el centro de cada boquilla restante 1132, 1131. El gas se alimenta en la estructura usando una disposición de válvulas similares a las mostradas en la figura 18.

Las descargas de ionización se producen en el centro de las boquillas 1131-1134 y los caudales de gas variables a lo largo de la longitud de la estructura ayudan a garantizar que se produzca una línea de plasma uniforme a lo largo de la longitud de la disposición de "cepillo" o "peine". Las distancias entre los centros de las boquillas adyacentes pueden reducirse aumentando la frecuencia de funcionamiento y/o introduciendo material de carga dieléctrico o magnético en la estructura con el fin de reducir la media longitud de onda.

Como se ha mencionado anteriormente, la potencia de microondas puede modularse en una frecuencia y un ciclo de trabajo que permitirá que un plasma se excite y se emita de manera continua desde las boquillas 1131-1134, por ejemplo, una fuente de microondas puede modularse en una frecuencia de 1 MHz con un ciclo de trabajo de entre el 10% y el 80% para producir una gama de efectos de esterilización.

En cada abertura (ranura) en la estructura coaxial, puede proporcionarse un tetón de sintonización 1241-1244, por ejemplo, para afinar la impedancia para garantizar que el campo eléctrico está lo suficientemente concentrado para

provocar una excitación de plasma.

La figura 19b muestra una estructura similar a la mostrada en la figura 19a, pero en la que la longitud de la sección de extremo de cortocircuito es variable. En esta disposición, una tapa metálica 940 está montada en el extremo de la estructura coaxial. La tapa 940 tiene un faldón que se inserta a través del conductor externo 1230 y un tubo central que se desliza a lo largo del conductor central 1240. La tapa, por lo tanto, realiza la función de cortocircuito en la pared de extremo. La pared externa de la sección de extremo 940 está recubierta con un material magnético 930, que ayuda con el movimiento de dicha sección de extremo 940 cuando está presente una fuerza de magnetización F. La sección de extremo 940, por lo tanto, forma el émbolo o vástago de un dispositivo de válvula de solenoide. Los componentes restantes de la disposición de solenoide son dos enrollamientos de solenoide fijos 911 y 912 y un conformador no magnético fijo 920. Los dos enrollamientos 911, 912 se colocan adyacentes entre sí y se enrollan en la parte superior del conformador no magnético 920. La sección de extremo recubierta 940 se moverá físicamente cuando una corriente procedente de la fuente de corriente 900 se aplique a uno cualquiera de los dos enrollamientos 911, 912. Como se ilustra, el primer enrollamiento 912 se excita por la fuente de corriente 900, que crea una fuerza de magnetización, que a su vez crea una fuerza física F para mover la sección de extremo 940 en una dirección que extiende la longitud total del aplicador, de tal manera que la distancia entre la pared de extremo cortocircuitada de extremo distal y el centro de la primera boquilla 1134 es de tres cuartos de una longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento. Esto permite que haya un máximo de campo E en los centros de cada una de las cuatro boquillas 1131-1134, lo que permite que se excite el plasma en cada una de las cuatro boquillas.

La activación del primer solenoide 912 se basa en el campo recogido por el acoplador de bucle 1264. La amplitud del campo se detecta usando el detector 1266, que puede ser un detector de diodo, y la señal producida por el detector 1266 se alimenta en el comparador de umbral 1268, que puede ser un amplificador operacional con una referencia de tensión y un circuito de histéresis. El nivel de tensión producido por el comparador de umbral 1268 se usa para controlar la posición del conmutador unipolar bipolar 910, que se usa para canalizar la corriente producida por la fuente de corriente 900 a uno de los dos enrollamientos de solenoide 911, 912.

La fuente de corriente 900 puede ser una fuente de corriente controlada por tensión, en la que un nivel de tensión producida por un DAC contenido dentro de un microprocesador (no mostrado en este caso) puede usarse para controlar el nivel de corriente alimentada en uno de los enrollamientos 911, 912, lo que determinará la fuerza mecánica producida y el movimiento de la sección de extremo 940. La fuente de corriente 900 puede ser un transistor bipolar o circuito basado en MOSFET o una disposición que usa un amplificador operacional de potencia.

La figura 19c muestra una estructura similar a la mostrada en la figura 19b, pero en la que la longitud de la sección de extremo de cortocircuito se ha ajustado para proporcionar la condición de baja impedancia requerida para que el plasma pueda sostenerse. En este caso, el acoplador de bucle 1264 ha detectado la presencia de un alto campo E dentro del aplicador coaxial y la información se usa para dar a entender que se ha excitado el plasma. La tensión producida por el detector 1266 conmuta la salida del comparador de umbral 1268 y se envía una señal de control al conmutador unipolar bipolar 910 para mover el contacto que encamina la salida de la fuente de corriente 900 para permitir que la corriente fluya en el segundo solenoide 911. Una vez que se ha excitado el segundo solenoide, se producirá una fuerza de magnetización, junto con una fuerza física, que está en la dirección opuesta a la que se ha creado previamente para permitir que la sección cortocircuitada móvil se mueva a una posición tal que la impedancia en el centro de las boquillas 1131-1134 se reduce para que el plasma pueda sostenerse. En la disposición mostrada en la figura 19c, la nueva distancia entre la pared de extremo distal que cortocircuita los conductores interno y externo entre sí y el centro de la primera boquilla 1134 es igual a media longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento, lo que hará girar el cortocircuito 180° en la Carta de Smith de vuelta a un cortocircuito para proporcionar la condición de baja impedancia necesaria para sostener el plasma. El espaciamiento de media longitud de onda fijo entre los centros de las boquillas posteriores garantiza que se establece la misma condición en el centro de cada una de las cuatro boquillas 1131-1134 para que puedan sostenerse los penachos de plasma.

La figura 20 es un diagrama de bloques que muestra esquemáticamente otra realización de un "cepillo" o "peine" de plasma. En esta disposición, se usa un divisor de potencia 1600 para dividir la potencia de microondas producida por el generador (o fuente) de microondas 2000 en una pluralidad de niveles de potencia más pequeños que son de igual amplitud, y cada uno se usa para accionar un dispositivo separado que puede producir plasma.

El divisor de potencia 1600 puede tomar la forma de un divisor de potencia de microcinta o de línea de cinta, un divisor de potencia de cuarto de onda o una estructura de microondas similar que puede usarse para dividir la potencia de microondas en una pluralidad de partes iguales. El divisor de potencia 1600 divide la potencia entre ocho aplicadores de plasma 360-367. Cada aplicador de plasma es una línea de transmisión coaxial conectada al divisor de potencia 1600 usando un conector 341-348, que puede ser un conjunto de conectores de tipo SMA o de tipo N o similares. Cada conector 341-348 tiene unos acopladores de bucle de campo H 331-338 asociados con los mismos para la transferencia o el acoplamiento de la energía de microondas en la salida del divisor de potencia 1600 en los aplicadores de plasma coaxiales individuales. La invención no se limita al uso de esta disposición de acoplamiento en particular, es decir, puede ser preferible usar lanzadores de sondas de campo E o acoplar los aplicadores coaxiales directamente a las salidas del divisor de potencia 1600 usando estructuras de microcinta o de línea de cinta.

El conductor interno de cada aplicador coaxial puede disponerse para transformar la impedancia observada en el lanzador o el divisor de potencia 1600 en una impedancia mayor o menor con el fin de crear o mantener el plasma en el extremo distal del aplicador. Para la disposición mostrada en la figura 20, pueden proporcionarse uno o más transformadores de impedancia de cuarto de onda en cada aplicador de plasma. Los transformadores de impedancia de cuarto de onda pueden transformar la impedancia del generador observada en las salidas del divisor de potencia 1600 en una impedancia menor que coincida con el estado de plasma después de que se ha excitado, es decir, la estructura está configurada para mantener el plasma, pero no para que pueda generarse o excitarse inicialmente.

5
10 La excitación de plasma o rotura inicial del gas puede producirse por el generador de alta tensión 1260 y los ignitores 1101-1108, que están acoplados a los conductores externos de los aplicadores coaxiales 360-367 de tal manera que se genera un alto campo eléctrico entre los conductores internos y externos cuando el generador de alta tensión 1260 se activa por una señal de control producida por el controlador 140.

15 El elemento de alta tensión de cada ignitor 1101-1108 puede ser un conductor puntiagudo que puede soportar altas temperaturas y altas tensiones sin llegar a dañarse, por ejemplo, una varilla o alambre de tungsteno. El sistema usado para generar los pulsos o picos de alta tensión también puede ser un conversor de refuerzo que usa un oscilador de baja frecuencia, un dispositivo de conmutación (MOSFET o BJT) y una bobina o un inductor, o un transformador cuyo primario está conectado a un circuito oscilador de baja tensión con un accionador adecuado, una
20 disposición de bobina de encendido o un ignitor piezoeléctrico.

Un suministro de gas (o mezcla de gases) se alimenta en cada uno de los ocho aplicadores a través del controlador de flujo de gas 400 y la tubería de alimentación de gas 470. En esta disposición, la alimentación de gas está en paralelo.

25 La figura 21 muestra una disposición para un instrumento o aplicador flexible que puede insertarse en el cuerpo a través del canal de instrumento de un endoscopio, a través de un tubo, o insertarse directamente en un orificio natural para esterilizar las estructuras o elementos de tejido (inserciones) colocados dentro del cuerpo usando un plasma generado en la punta distal del instrumento a partir de un campo de microondas y un gas adecuado (o combinación de gases). Para este dispositivo, es preferible que el diámetro exterior del conjunto de cables sea inferior a 3 mm y más preferentemente inferior a 2 mm para permitir su inserción por el canal de instrumento de un endoscopio quirúrgico convencional. El instrumento consiste en un conjunto de cables coaxiales, que es preferentemente un conjunto flexible, con un conductor externo 2230, un conductor interno 2240 para formar el retorno y unos conductores activos, respectivamente, y un material dieléctrico 2220 usado para separar los dos conductores 2230, 2240 el uno del otro y proporcionar una impedancia característica constante a lo largo de la longitud del conjunto de cables. El conjunto de cables se usa para transportar la energía de microondas desde el generador 2000 hasta el extremo distal del aplicador en el que se genera el plasma. El conductor interno 2240 es hueco para permitir que un gas (o mezcla de gases) se transporte a lo largo del conjunto de cables coaxiales al extremo del aplicador en el que se genera el plasma. La sección de extremo contiene una disposición de transformadores de impedancia 2221-2224 que se usan para aumentar la tensión y el campo eléctrico disponible en el generador de microondas 2000 a un valor que puede usarse para provocar una descarga de ionización del gas (o mezcla de gases) en el extremo de la estructura que permita producir el plasma adecuado.

30
35
40 Los transformadores de impedancia 2221-2224 no contienen materiales de carga dieléctricos o magnéticos. Esto significa que su longitud solo depende de la frecuencia de microondas de funcionamiento. Es preferible que la longitud total de la sección de extremo del instrumento sea tan pequeña como sea posible y, por lo tanto, es deseable usar transformadores que sean un cuarto de la longitud de onda cargada o descargada en la frecuencia de largo funcionamiento para implementar cada una de las cuatro etapas del transformador. Cabe señalar que las longitudes que pueden usarse se rigen por la fórmula

$$L = \frac{(2n - 1)\lambda_0}{4},$$

50 donde L es la longitud física del transformador, n es cualquier número entero y λ_0 es la longitud de onda en la frecuencia de funcionamiento. En consecuencia, $\lambda_0/4$ dará la longitud de transformador más pequeña que puede usarse.

55 Puede ser deseable que la frecuencia de funcionamiento sea tan alta como sea prácticamente posible, teniendo en cuenta la relación entre la pérdida de inserción de la línea de transmisión y la frecuencia de microondas de funcionamiento. La pérdida de inserción habitualmente aumenta con la frecuencia. Si la frecuencia de funcionamiento elegida es de 24 GHz, entonces la longitud de cuarto de onda será de 3,125 mm.

60 El gas (o mezcla de gases) se alimenta en la estructura coaxial usando la tubería de alimentación 470, que se conecta al conductor central 2240 para permitir que el gas entre en la estructura y se transporte a lo largo del cable. Puede ser preferible que el tubo de alimentación se fabrique del mismo material que el material dieléctrico que llena el hueco entre el conductor central 2240 y el conductor externo 2230 con el fin de minimizar cualquier discontinuidad

o desajuste producido en el punto de alimentación. Puede ser necesario incluir un tetón de sintonización para introducir una reactancia que sea de igual magnitud, pero de signo opuesto a cualquier reactancia que puede producirse por la tubería de alimentación 470 que se introduce en la estructura. El gas puede alimentarse en el conductor central 2240 usando una pluralidad de tuberías de alimentación, es decir, 2 o 4, en el que las tuberías de alimentación se colocan de tal manera que la reactancia producida por una tubería se cancela por la colocación de la segunda tubería para producir una coincidencia conjugada. También puede ser necesario alimentar el gas en la estructura usando más de una tubería para permitir que el gas fluya a lo largo del conductor central y llegar al final, es decir, las fuerzas dentro del conductor central y los caudales deben tomarse en cuenta cuando se diseña el conductor central hueco.

Suponiendo que las secciones de transformador no se cargan con un material dieléctrico y/o magnético entonces las impedancias características Z_1 - Z_4 de los transformadores 2221-2224 mostrados en la figura 21 pueden calcularse de la siguiente manera

$$Z_1 = Z_3 = 138 \log_{10} \frac{b}{d},$$

y

$$Z_2 = Z_4 = 138 \log_{10} \frac{b}{c},$$

donde b es el diámetro de la superficie interna del conductor externo 2230, c es el diámetro de la superficie externa del conductor interno en los transformadores segundo y cuarto 2222, 2224, y d es el diámetro de la superficie externa del conductor interno ensanchado 2270, 2280 en los transformadores primero y tercero 2221, 2223.

Si se supone que la impedancia de generador Z_s se mueve al extremo de entrada del primer transformador de impedancia, es decir, Z_s está conectada a Z_1 , la impedancia de carga Z_L puede expresarse como

$$Z_L = \frac{Z_4^2 Z_2^2 Z_s}{Z_3^2 Z_1^2}.$$

Suponiendo que la longitud de la línea de transmisión que lleva o sostiene las cuatro secciones de transformador no tiene pérdidas, es decir, ignorando la pérdida de potencia a lo largo de la longitud de la estructura, entonces la potencia de entrada que entra en la estructura es la misma que la potencia de salida que sale en el extremo de la estructura, y el campo eléctrico E establecido en el extremo distal del cuarto transformador de impedancia, que se usa para crear la descarga de ionización, puede expresarse como

$$E = \frac{\sqrt{P_{salida} Z_L}}{l},$$

donde P_{salida} es la potencia de salida y l es la distancia entre la punta del conductor central contenido dentro del

cuarto transformador y la pared interna del conductor externo del aplicador, que en este caso es $\frac{b-c}{2}$.

Una disposición práctica puede ser la siguiente:

- diámetro interior del conductor externo $b = 1,97$ mm
- diámetro exterior del conductor interno c para las secciones de cuarto de onda segunda y cuarta = 0,4 mm
- diámetro exterior del conductor interno d para las secciones de cuarto de onda primera y tercera = 1,8 mm
- de acuerdo con las ecuaciones mostradas más arriba, $Z_1 = Z_3 = 5,4 \Omega$ y $Z_2 = Z_4 = 95,6 \Omega$
- suponiendo que la impedancia de fuente Z_s es de 50Ω y dado que l es 0,785 mm y P_{salida} es 25 W:
 - $Z_L = 4,9 \text{ M}\Omega$,
 - Tensión de salida $V_L = 11$ kV, y
 - $E = 14$ MV/m.

Puede observarse en este análisis que esta disposición puede usarse para crear campos eléctricos extremadamente grandes para que puedan crearse descargas de ionización adecuadas de aire y una serie de gases (o mezclas de gases) en unas pequeñas estructuras de aplicador para permitir que se produzca plasma en el extremo de los conjuntos de cables flexibles que son de un diámetro externo lo suficientemente pequeño y de una longitud lo suficientemente grande como para insertarse por el canal de instrumento de los endoscopios quirúrgicos

convencionales o dispositivos similares.

El hecho de que exista una línea de transmisión entre la impedancia de generador Z_S y el primer transformador Z_1 significa que una parte de la potencia producida por el generador 2000 se perderá en el momento en el que alcance el primer transformador, pero como la impedancia de generador Z_S es la misma que la impedancia característica de la línea de transmisión Z_0 , no habrá un desajuste de impedancia o una onda estacionaria a tener en cuenta. Por ejemplo, si la impedancia del generador y la impedancia característica de la línea de transmisión es de 50Ω , la potencia disponible del generador es de 47 dBm (50 W), y la pérdida de inserción de la línea de transmisión es de 3 dB, entonces la potencia en el extremo de la línea de transmisión (o la de la entrada al primer transformador) será de 44 dBm (25 W), y la impedancia observada en este punto también será de 50Ω .

Es preferible que los extremos de las secciones de transformador de baja impedancia (los cilindros de diámetro grande) se ahúsen con el fin de minimizar las discontinuidades dentro de la estructura de microondas, o hacer la transición de la primera impedancia a la segunda impedancia de manera tan gradual como sea posible.

Es preferible que los materiales usados para los conductores internos y externos de la línea de transmisión 2230, 2240, respectivamente, y las secciones de transformador 2221-2224 tengan una baja pérdida de conductor en la frecuencia de funcionamiento. Los materiales adecuados incluyen: cobre bañado en plata, latón, oro o aluminio. El cuerpo exterior de estas secciones puede platearse con materiales de alta conductividad a un espesor de aproximadamente cinco profundidades de piel en la frecuencia de funcionamiento en la que se transportará la mayoría de la energía de microondas. Es preferible que el material dieléctrico usado sea de baja pérdida en la frecuencia de funcionamiento, es decir, podría usarse un PTFE de baja densidad.

Un conjunto de cables adecuado que puede usarse para implementar la presente invención es el cable Multiflex_86 de Huber & Suhner.

La Tabla 6 proporciona datos de manipulación de pérdida de inserción y de máxima potencia CW para el conjunto de cables en un intervalo de frecuencias de funcionamiento discretas.

Tabla 6: manipulación de pérdida de inserción y de potencia CW para el cable Multiflex_86

Frecuencia (GHz)	Pérdida de inserción (dB/m)	Máxima Potencia CW (W)
2,0	1,07	99
4,0	1,55	70
6,0	1,93	57
8,0	2,26	49
10,0	2,56	44
12,0	2,83	40
14,0	3,09	37
16,0	3,33	35
18,0	3,56	33
22,0	4,0	30
24,0	4,21	29

Puede ser preferible modular o pulsar la energía de microondas con el fin de permitir que los niveles de potencia de pico más altos estén disponibles en el extremo del conjunto de cables para accionar el aplicador, es decir, puede ser posible aumentar el nivel de potencia CW máxima de 29 W en 24 GHz a 290 W si se usa una modulación pulsada de ciclo de trabajo del 10%.

REIVINDICACIONES

1. Un aplicador de plasma manual (300) para un sistema de esterilización por plasma, comprendiendo el aplicador (300):

5 una región de generación de plasma encerrada (350) que tiene:

una entrada de gas (471) para recibir gas procedente de una alimentación de gas (470),

una entrada de energía para recibir energía de microondas, y

10 una salida para suministrar plasma fuera de la región de generación de plasma (350) hacia la materia a esterilizar;

un conector de microondas (340) para impulsar la potencia de microondas desde un cable de microondas (200) a la entrada de energía; y

15 un ajustador de impedancia dispuesto para controlar la impedancia dentro de la región de generación de plasma (350) más allá del conector de microondas (340) cuando se suministran gas y energía de microondas a la misma,

caracterizado por que:

20 el ajustador de impedancia comprende una capacitancia variable conectada en derivación a la región de generación de plasma (350) en relación con una trayectoria de propagación de energía de microondas desde la entrada de energía a la salida.

2. Un aplicador de plasma manual (300) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el ajustador de impedancia puede ajustarse para crear una condición de alta impedancia adecuada para excitar un plasma no térmico en la región de generación de plasma (350) cuando se suministran gas y energía de microondas a la misma.

25 3. Un aplicador de plasma manual (300) de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2 que incluye un controlador (140) dispuesto para detectar la potencia de microondas que se propaga a través de la región de generación de plasma (350) y proporcionar señales de control al ajustador de impedancia en función de la potencia detectada.

30 4. Un aplicador de plasma manual (300) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el controlador (140) incluye: o bien

un acoplador de campo H o de campo E (245) dispuesto para detectar el campo eléctrico (249) en la región de generación de plasma (350); y

35 un procesador de señales analógicas (248) dispuesto para recibir una salida del acoplador de campo H o de campo E (245), compararla con un valor umbral y generar una señal de control basada en el resultado de la comparación,

o

40 un acoplador de potencia de avance (60, 80) y un acoplador de potencia reflejada (70, 90) dispuestos para muestrear las señales de potencia de avance y reflejada, respectivamente, en la región de generación de plasma (350); y

45 un microprocesador digital dispuesto para recibir las señales muestreadas procedentes de los detectores (120) y para generar las señales de control.

5. Un aplicador manual (300) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la región de generación de plasma encerrada (350) está formada en una cavidad de guía de ondas (280) o entre los conductores interno y externo de una estructura coaxial.

50 6. Un método para sintonizar automáticamente un aplicador de plasma manual (300) en un sistema de esterilización por plasma, comprendiendo el método:

suministrar gas a una región de generación de plasma (350) formada dentro del aplicador (300);

55 suministrar energía de microondas desde un cable de microondas (200) a la región de generación de plasma (350) a través de un conector de microondas (340) dispuesto para impulsar la energía de microondas a la región de generación de plasma (350);

controlar un ajustador de impedancia en el aplicador (300) para crear una condición de alta impedancia dentro de la región de generación de plasma (350) más allá del conector de microondas (340), siendo la condición de alta impedancia adecuada para excitar un plasma no térmico para suministrar fuera de la región de generación de plasma (350) hacia la materia a esterilizar; y

60 después de que se excita el plasma,

detectar la potencia de microondas que se propaga a través de la región de generación de plasma (350); y

65 controlar el ajustador de impedancia en función de la potencia detectada para crear una condición de baja impedancia adecuada para mantener el plasma,

en donde el ajustador de impedancia comprende una capacitancia variable conectada en derivación a la región

de generación de plasma (350) en relación con una trayectoria de propagación de energía de microondas desde la entrada de energía a la salida.

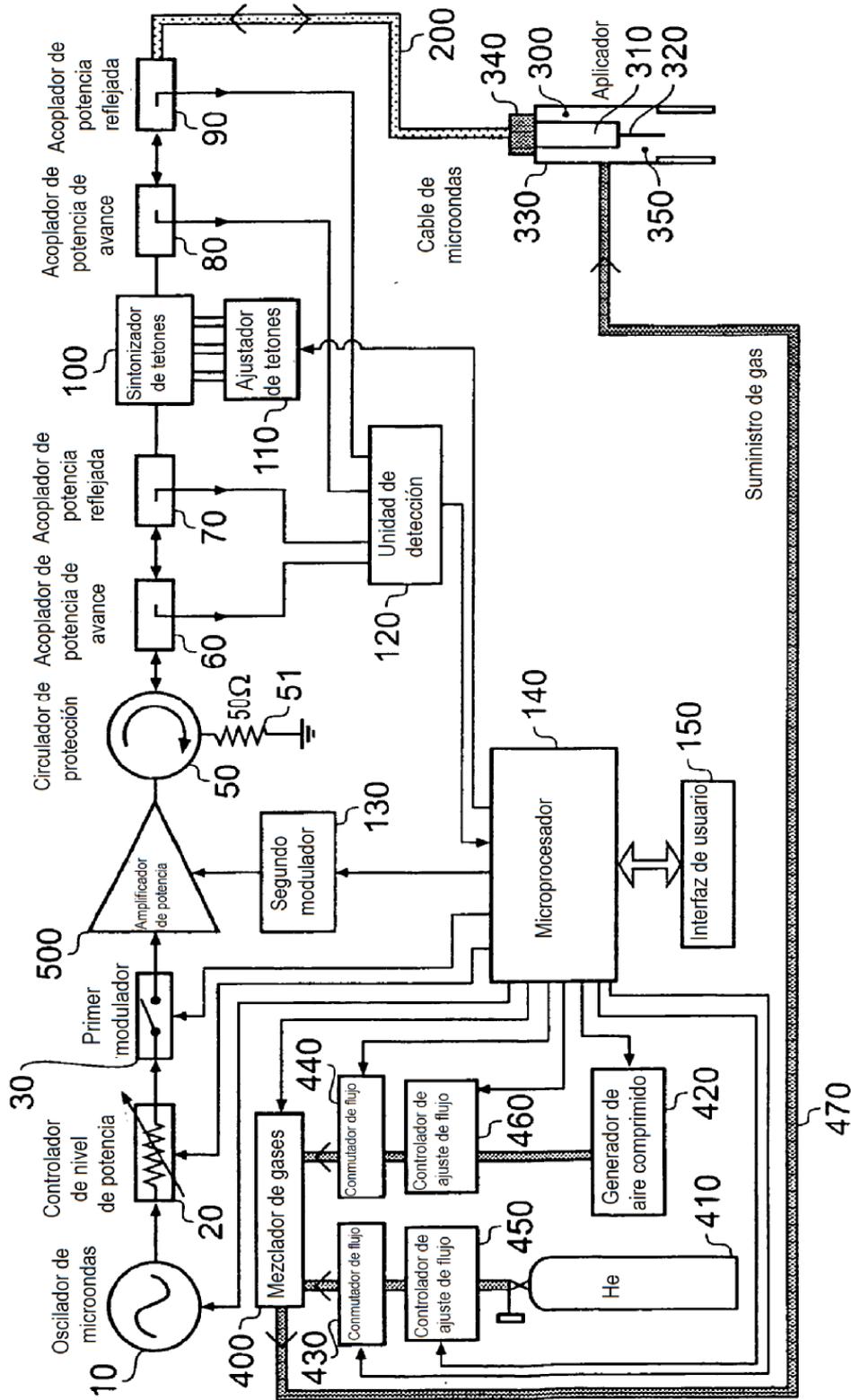


FIG. 1

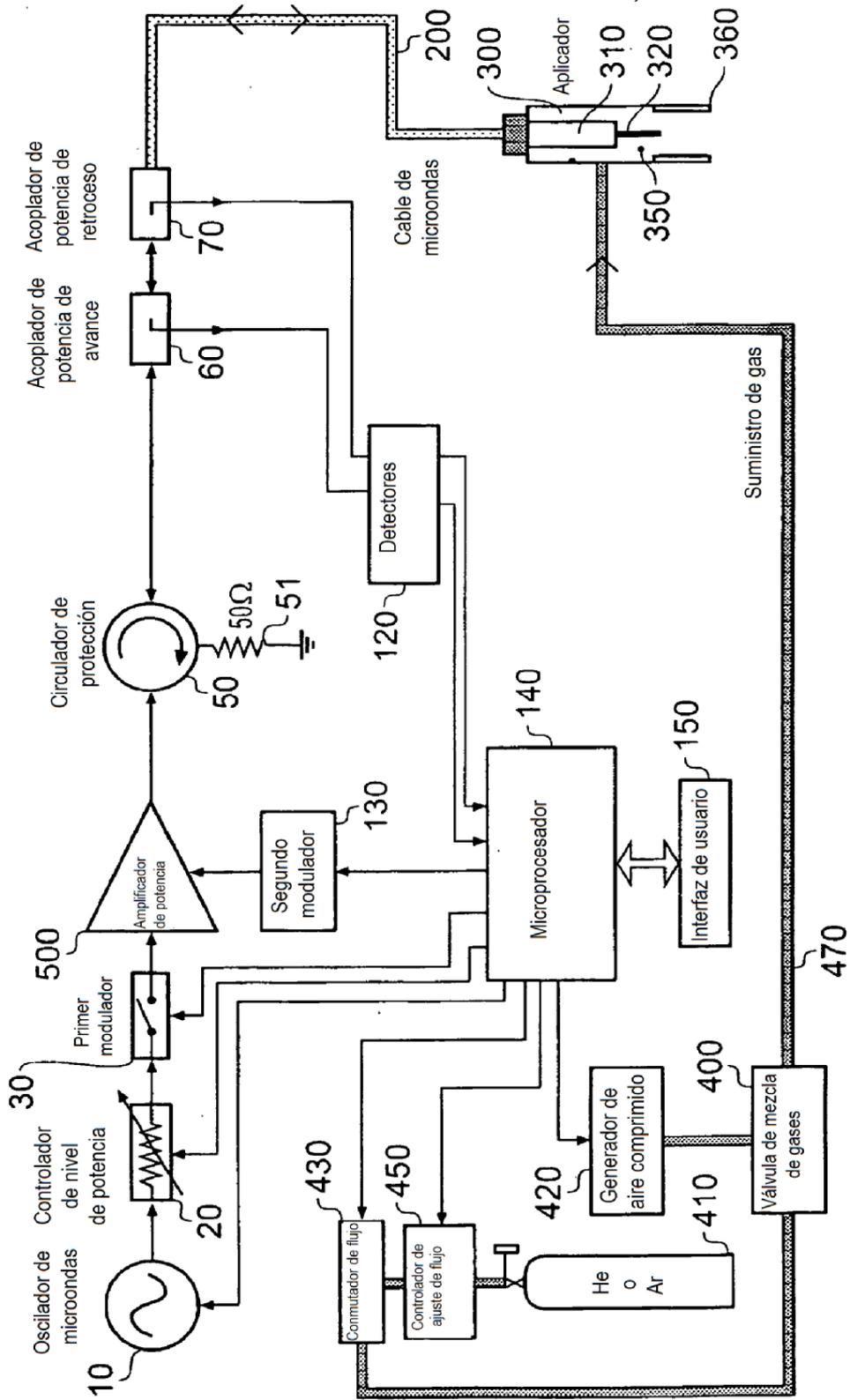


FIG. 2

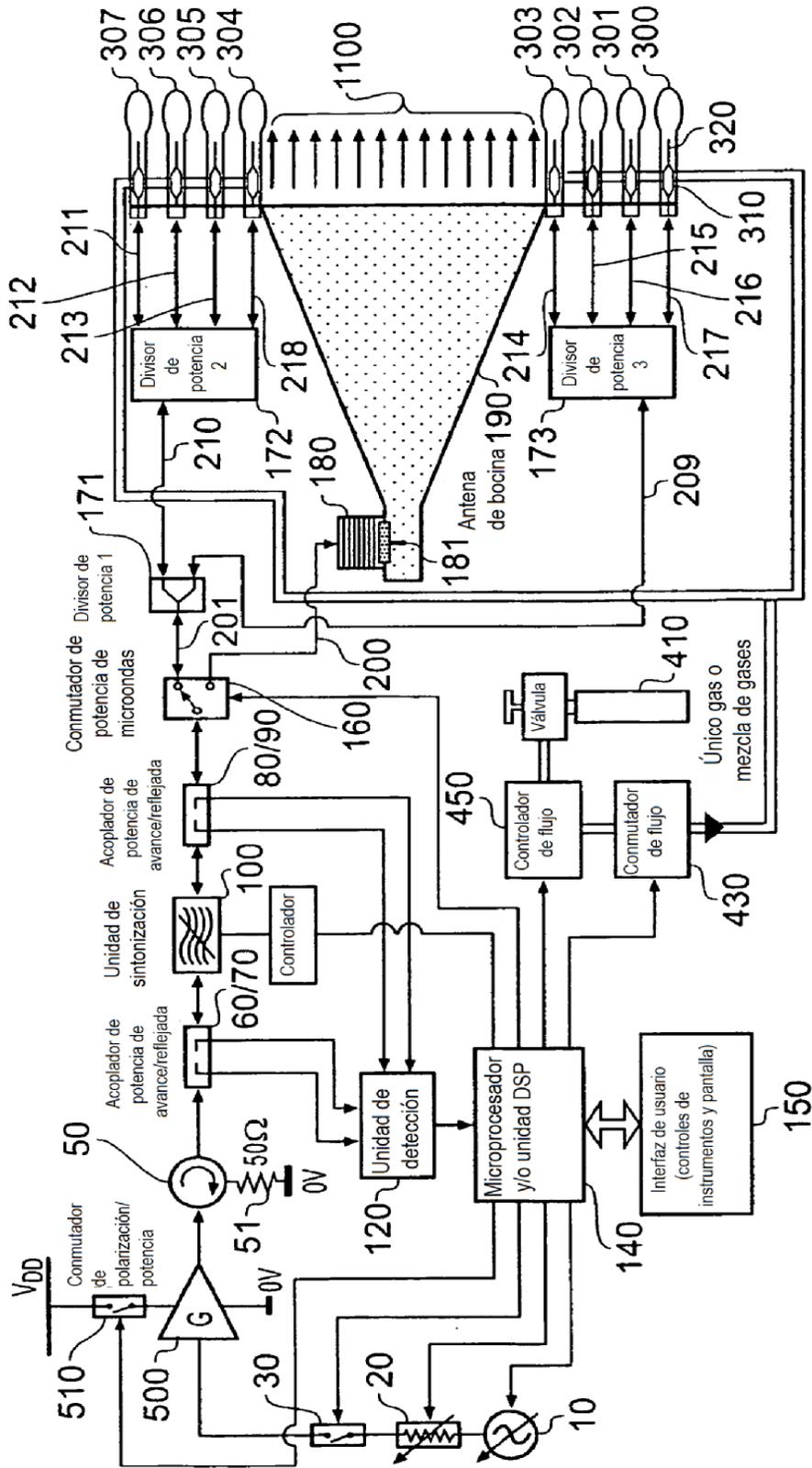


FIG. 3

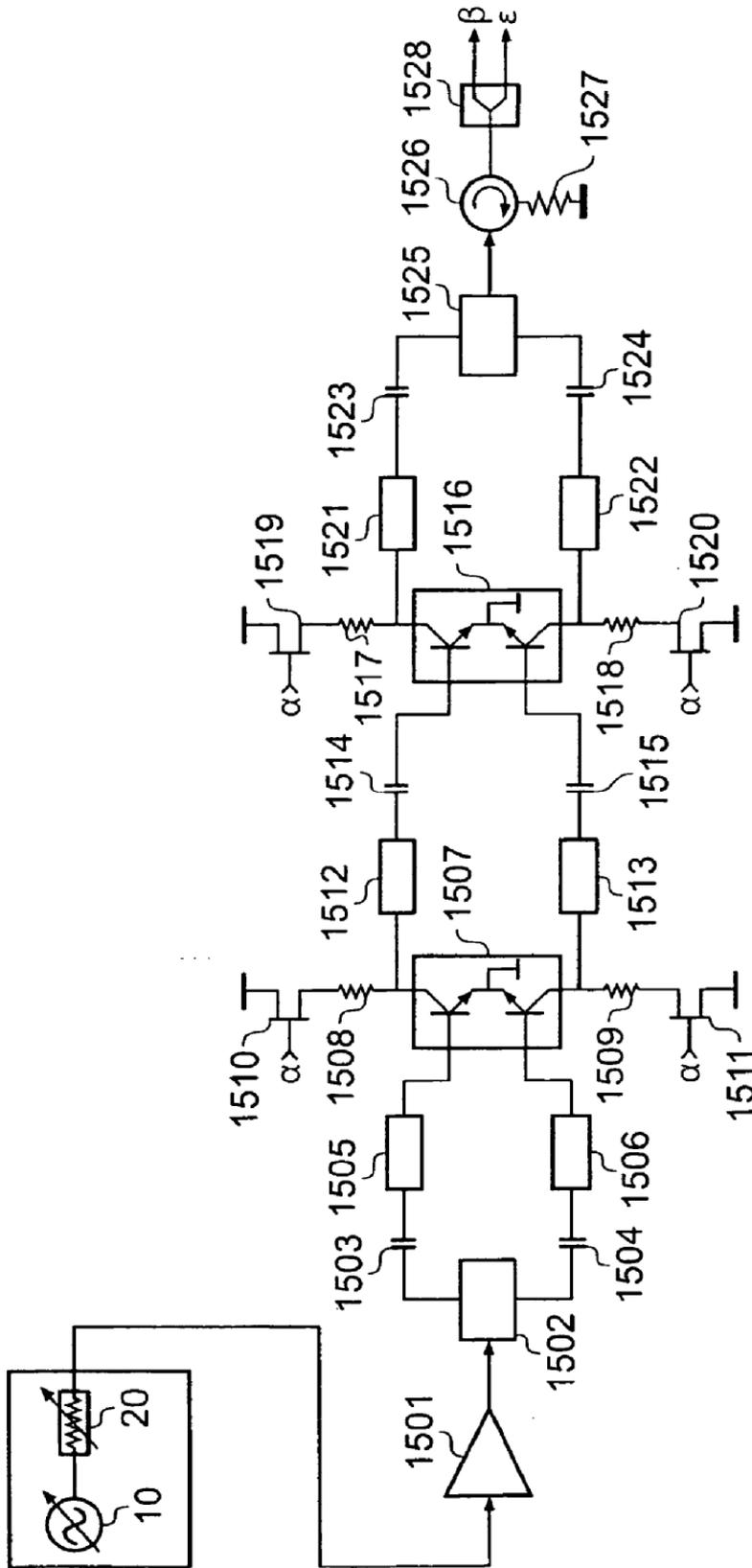


FIG. 4a

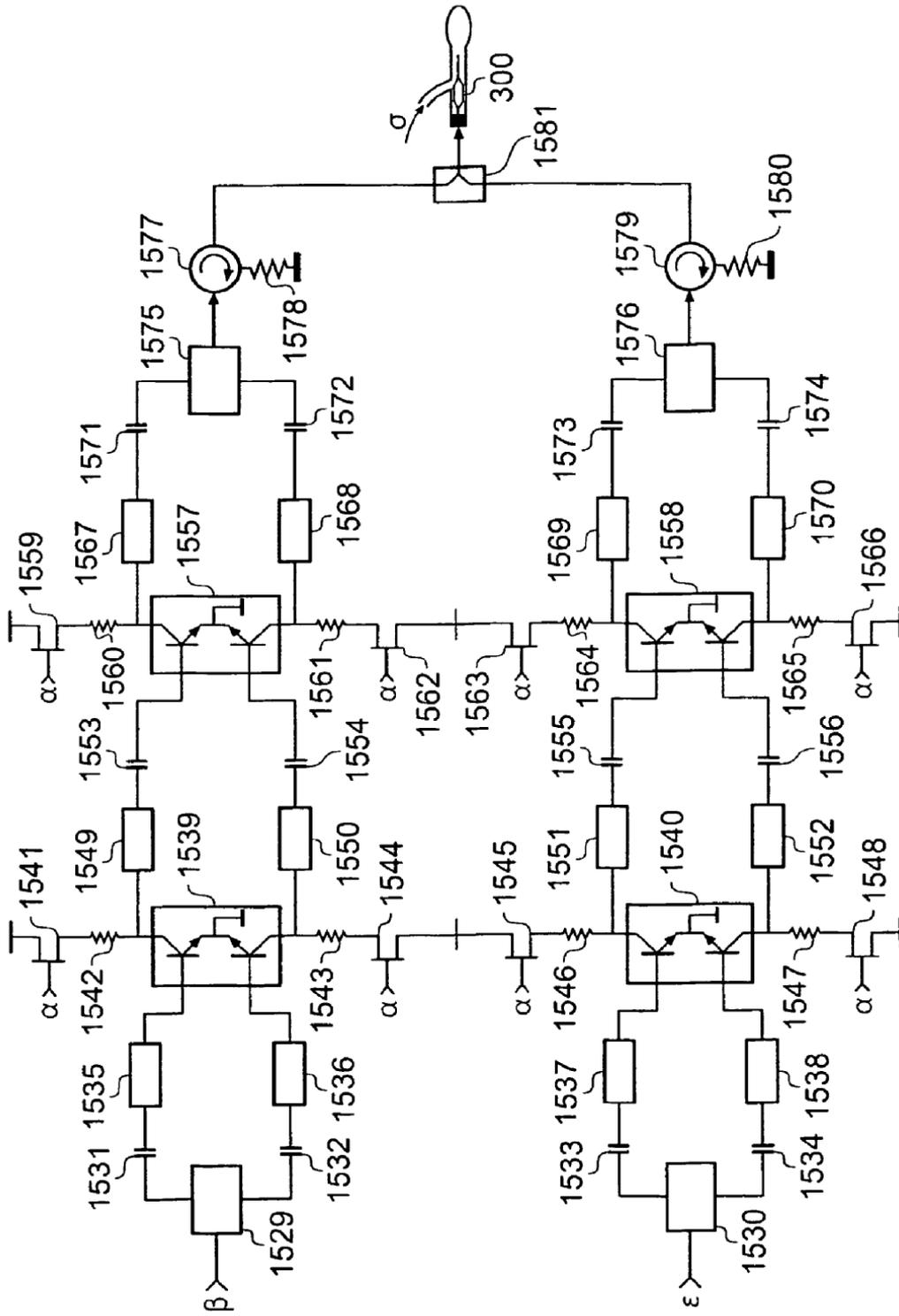


FIG. 4b

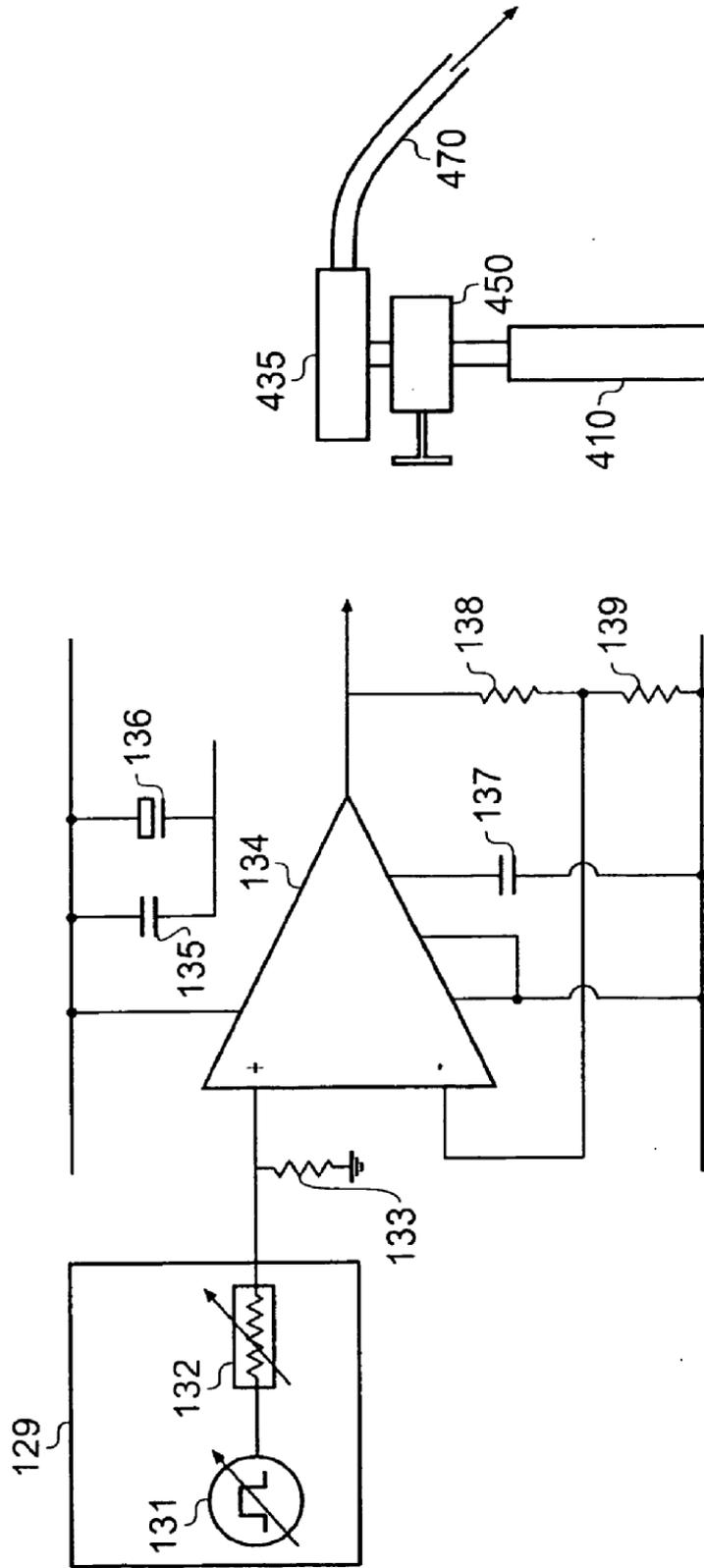


FIG. 4c

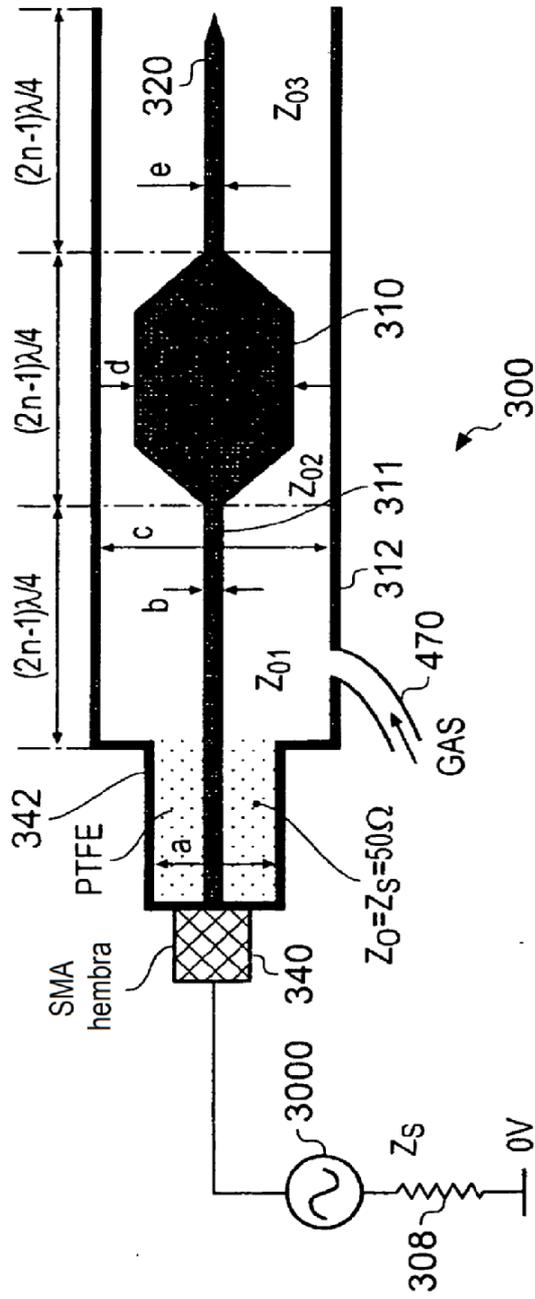


FIG. 5

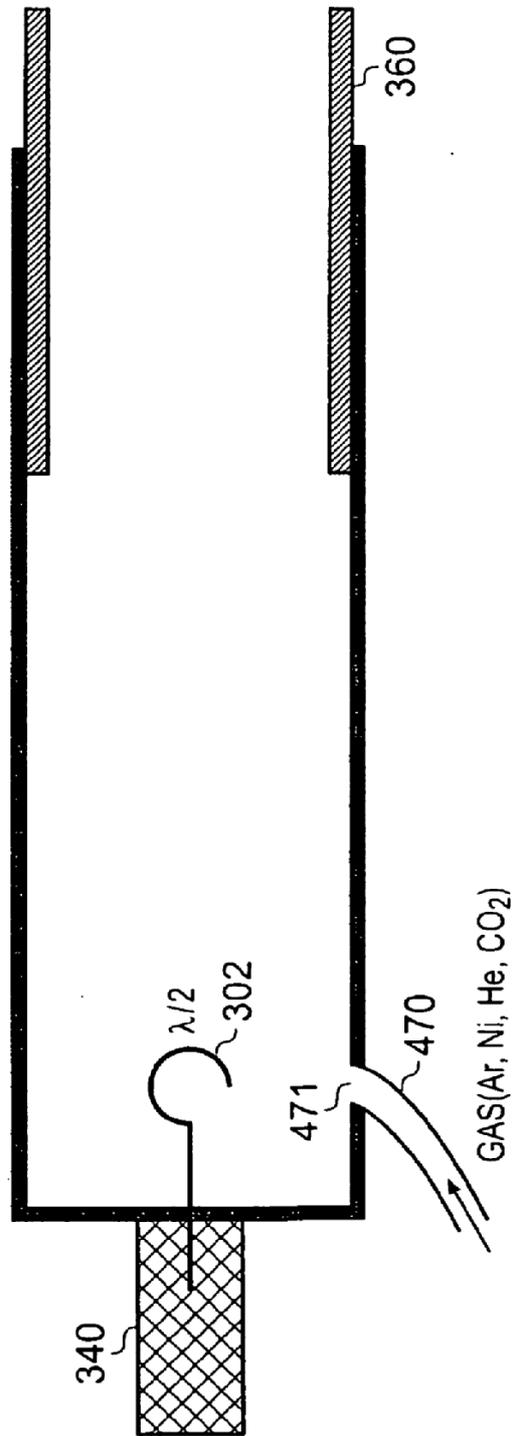


FIG. 6

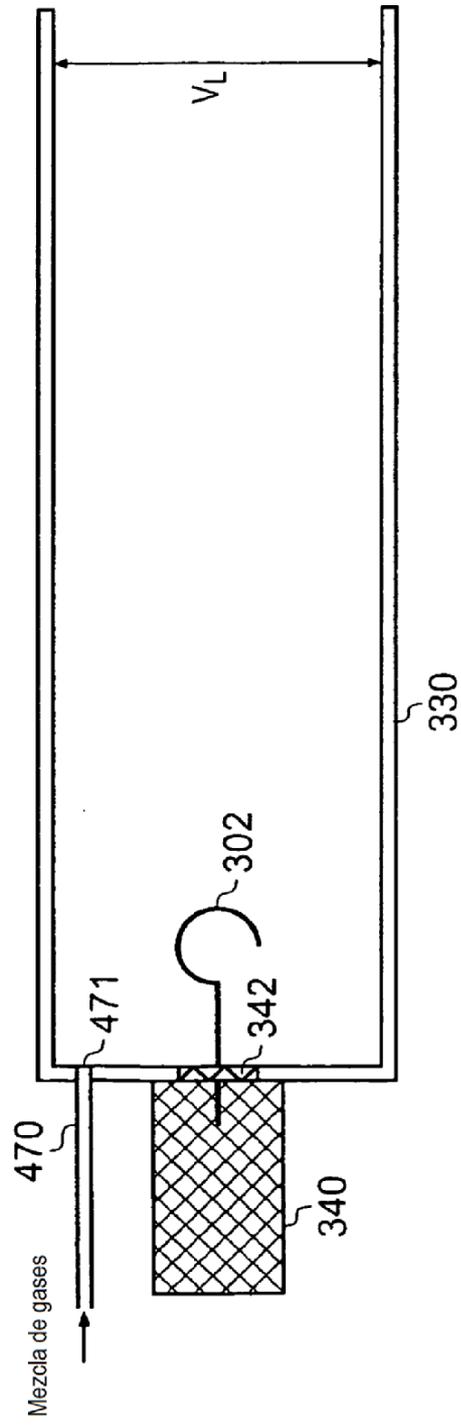


FIG. 7

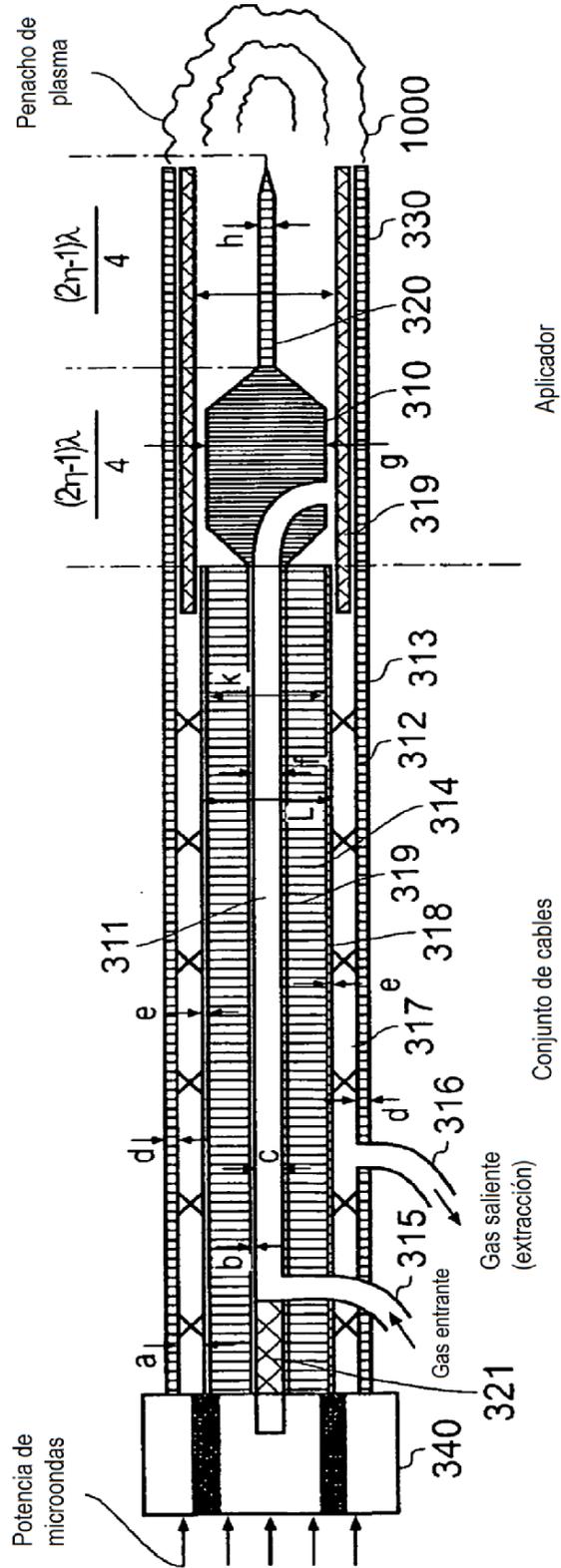


FIG. 8

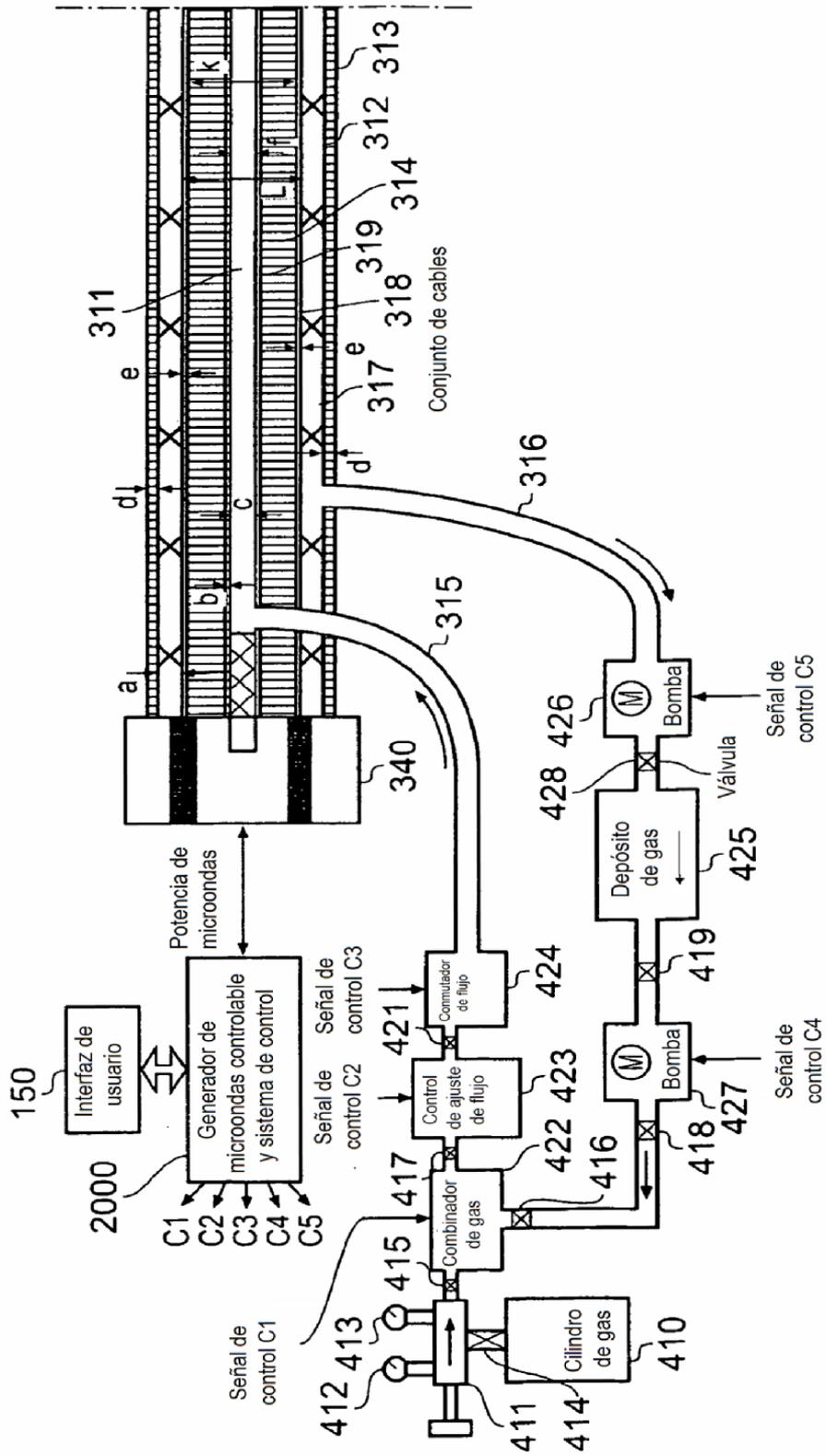


FIG. 9

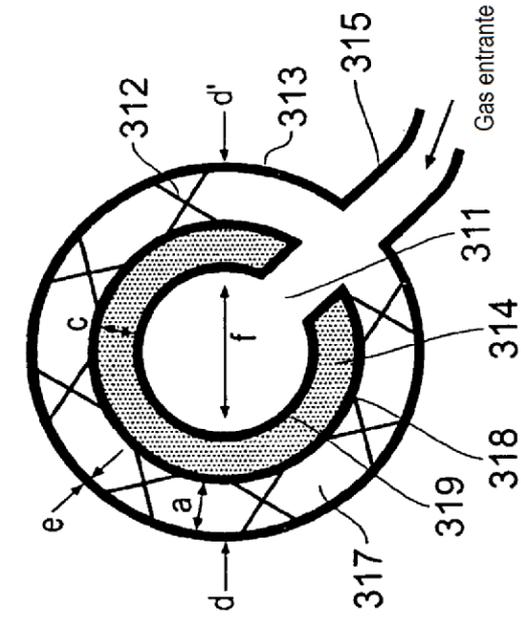


FIG. 10a

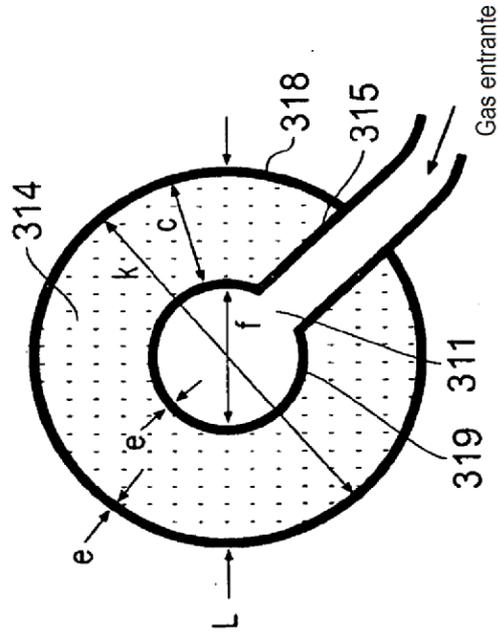


FIG. 10b

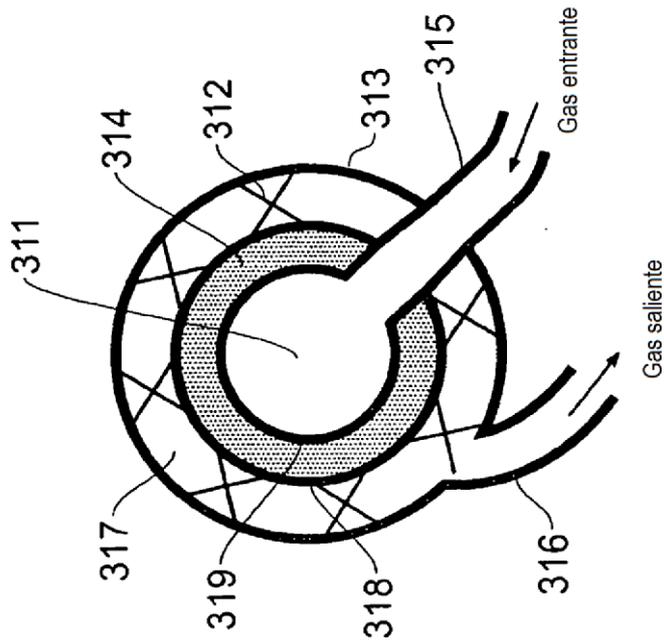


FIG. 10c

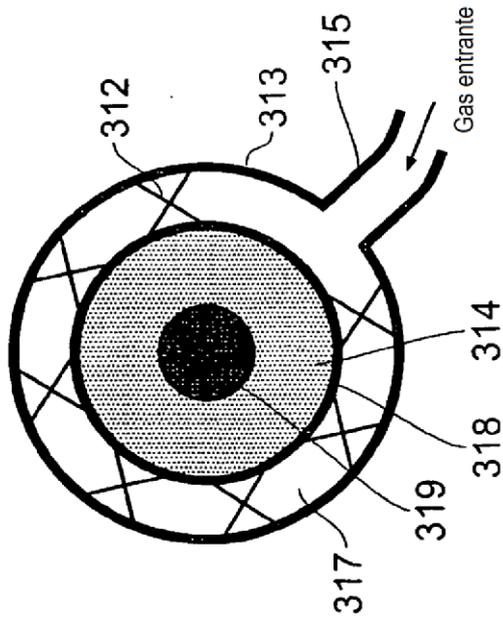


FIG. 10d

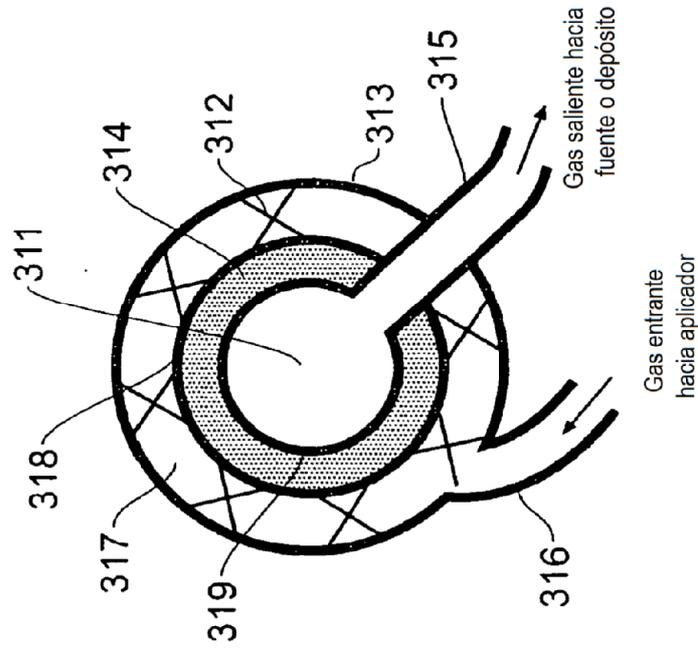


FIG. 10e

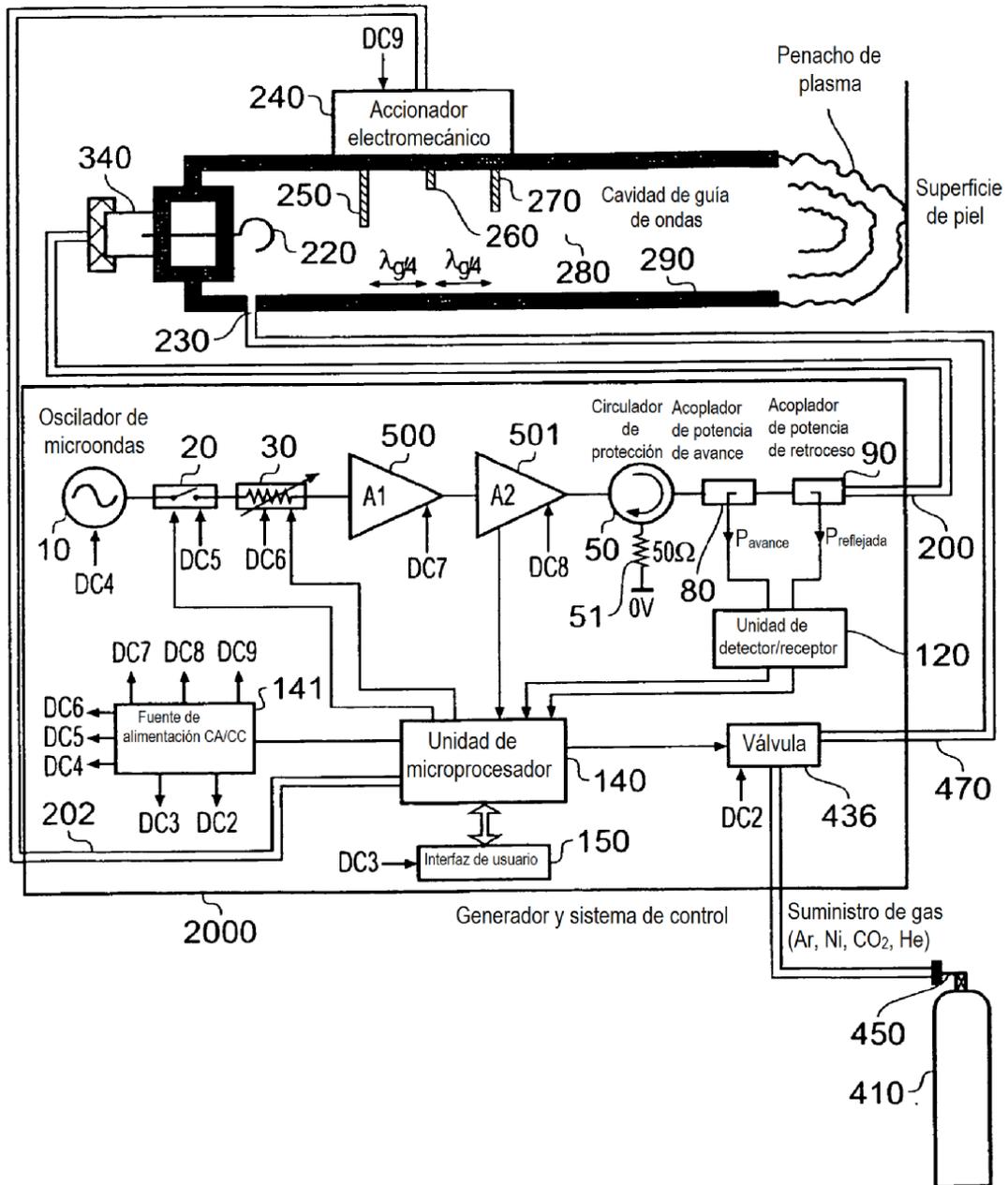


FIG. 11

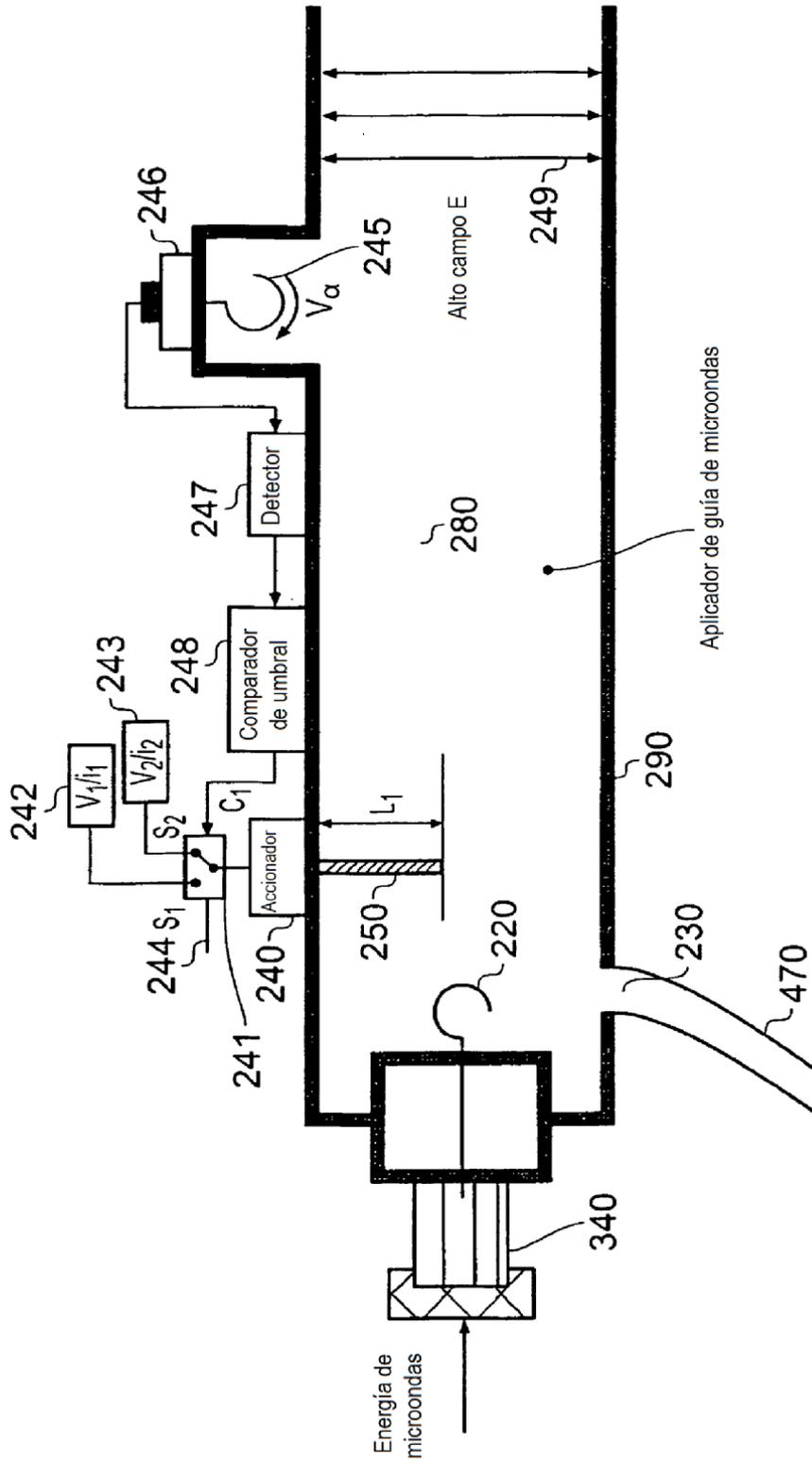


FIG. 12

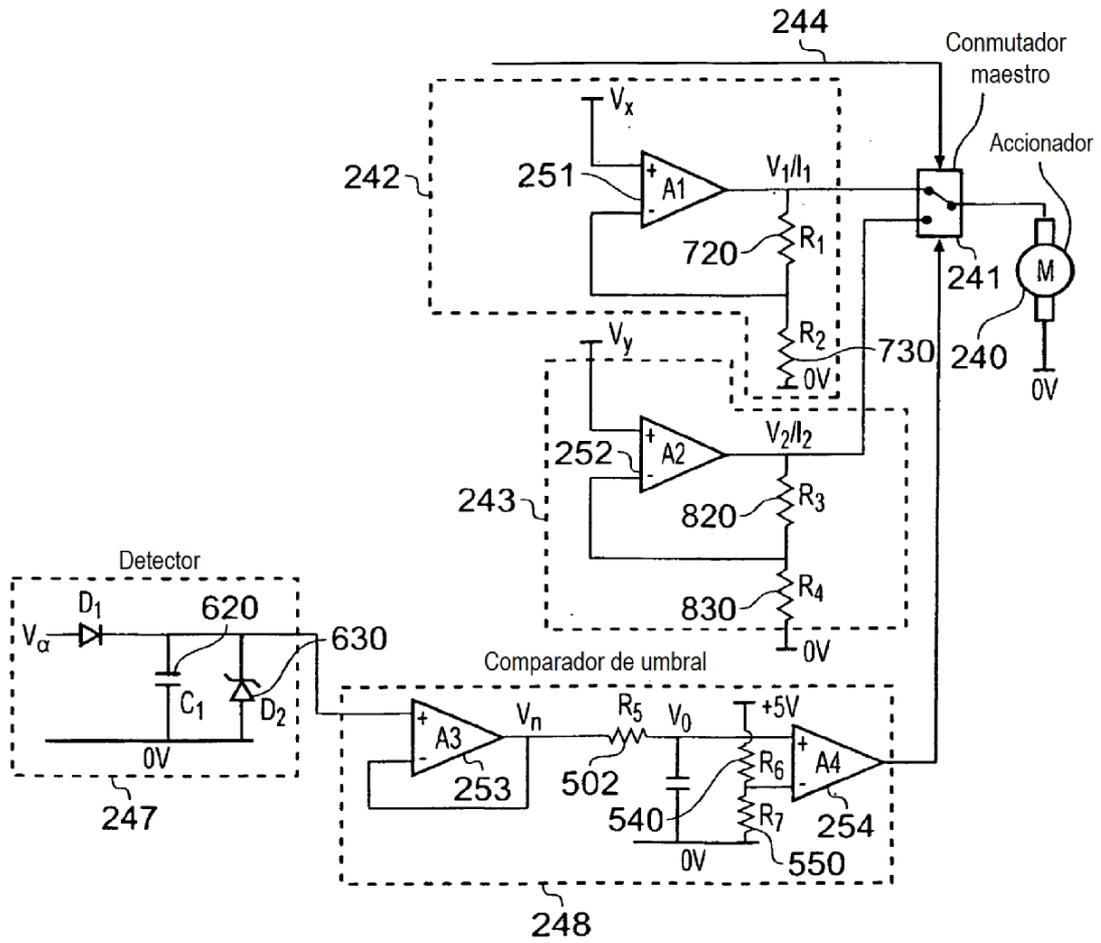


FIG. 13

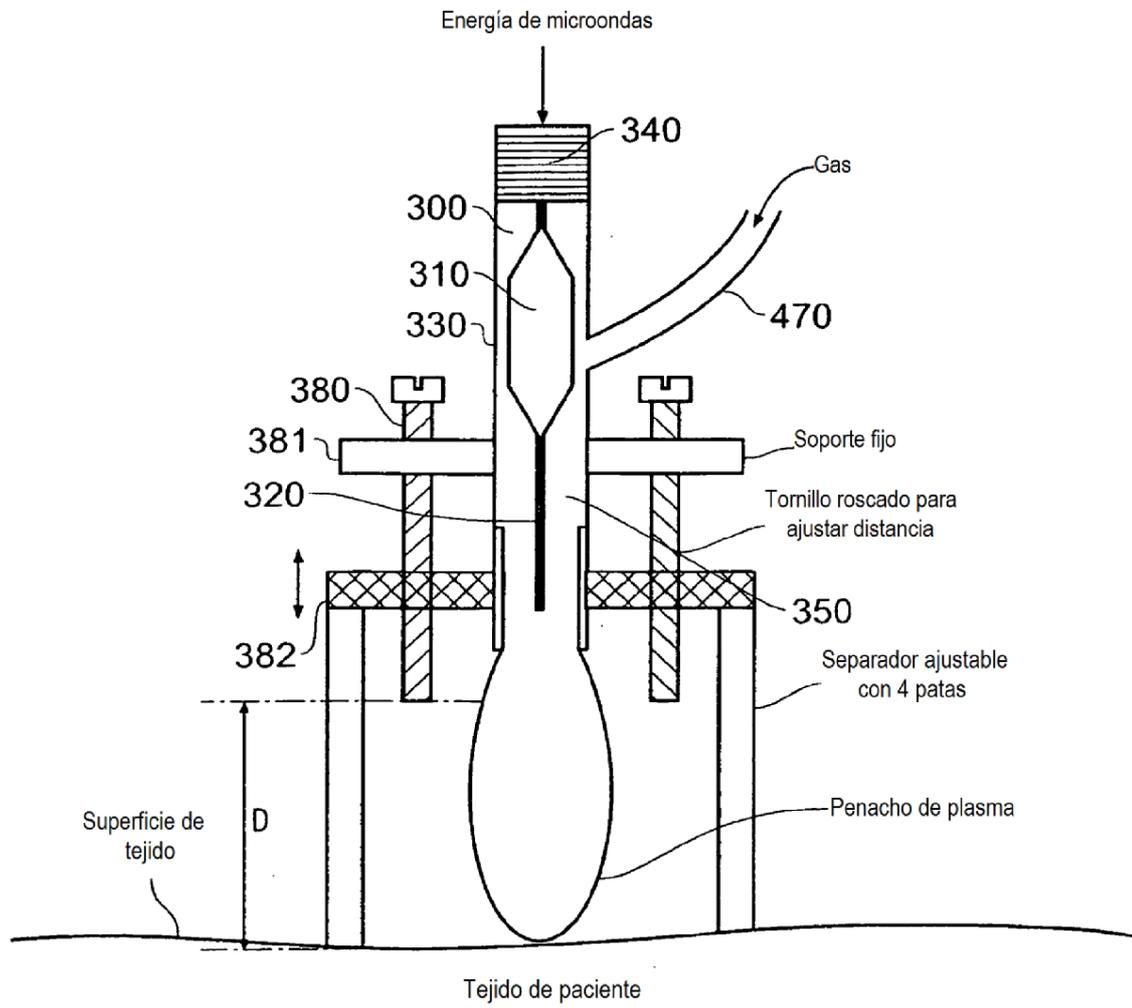


FIG. 14

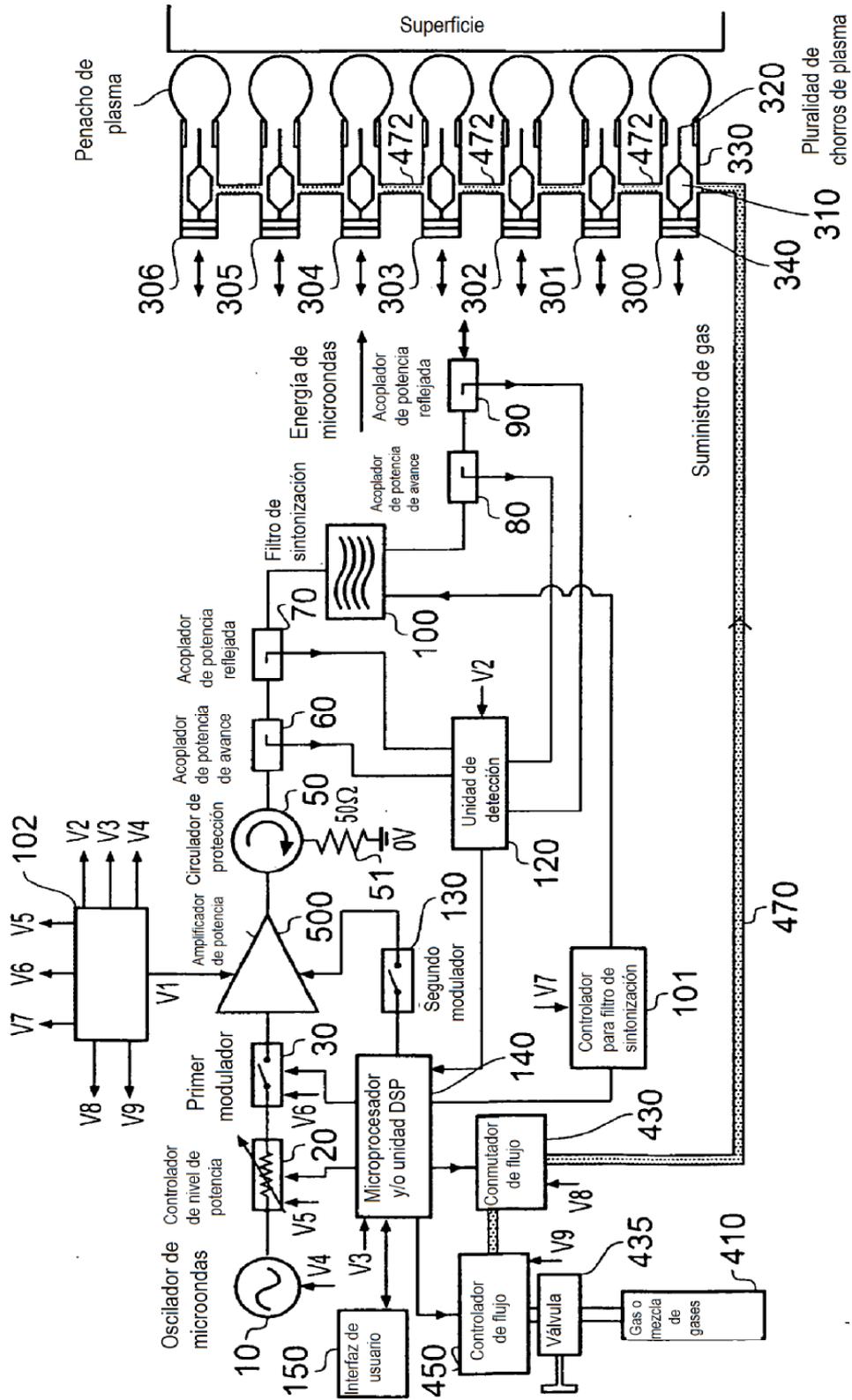


FIG. 15

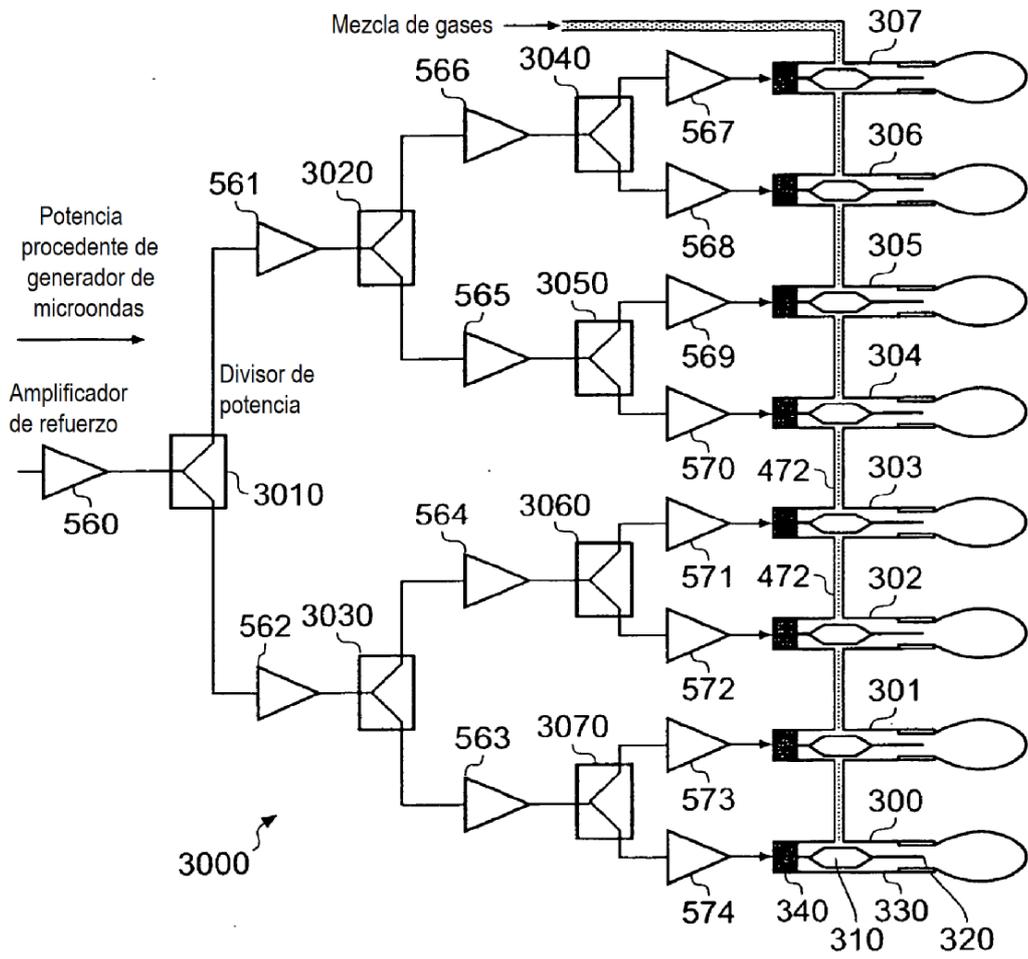


FIG. 16

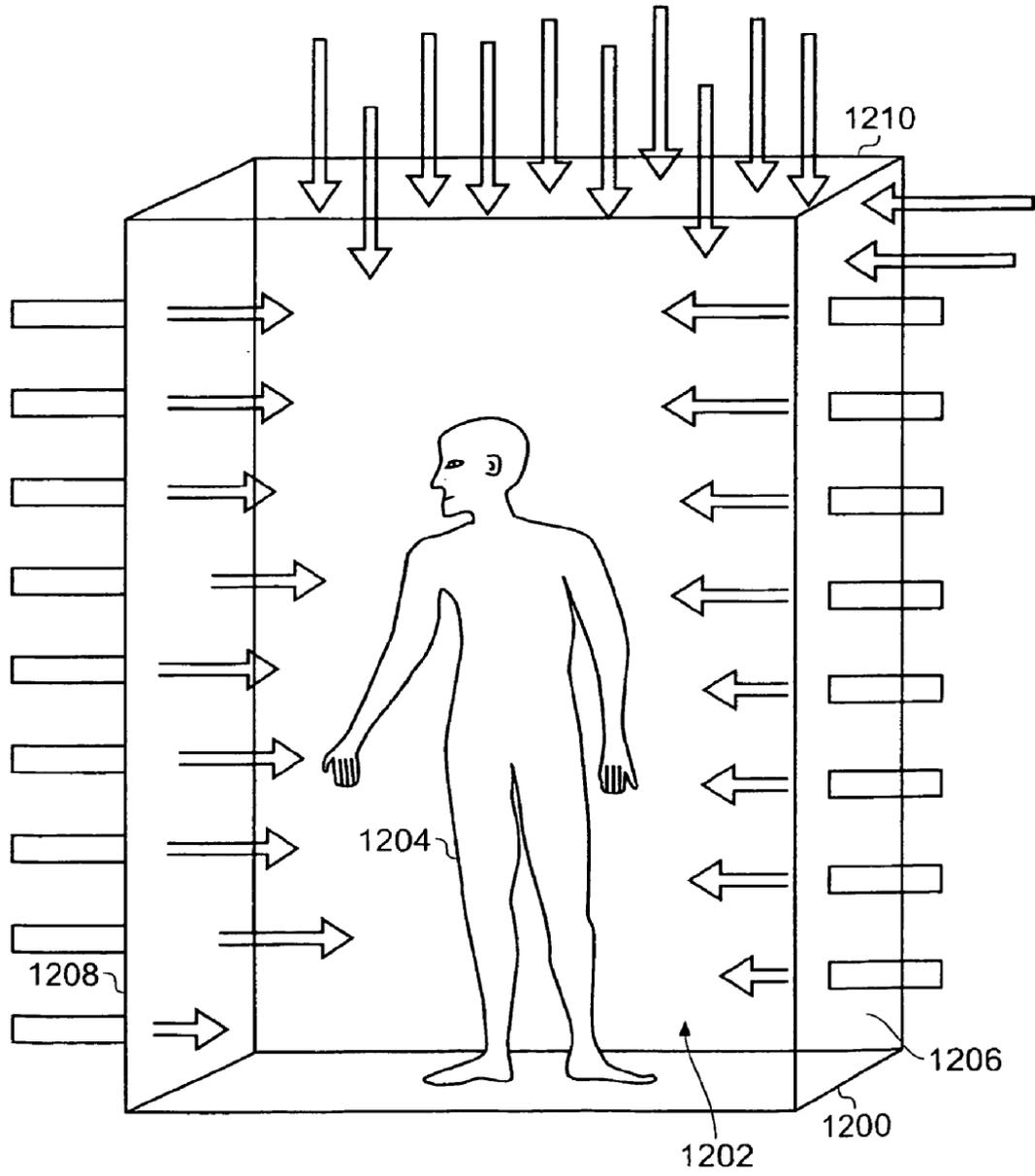


FIG. 17

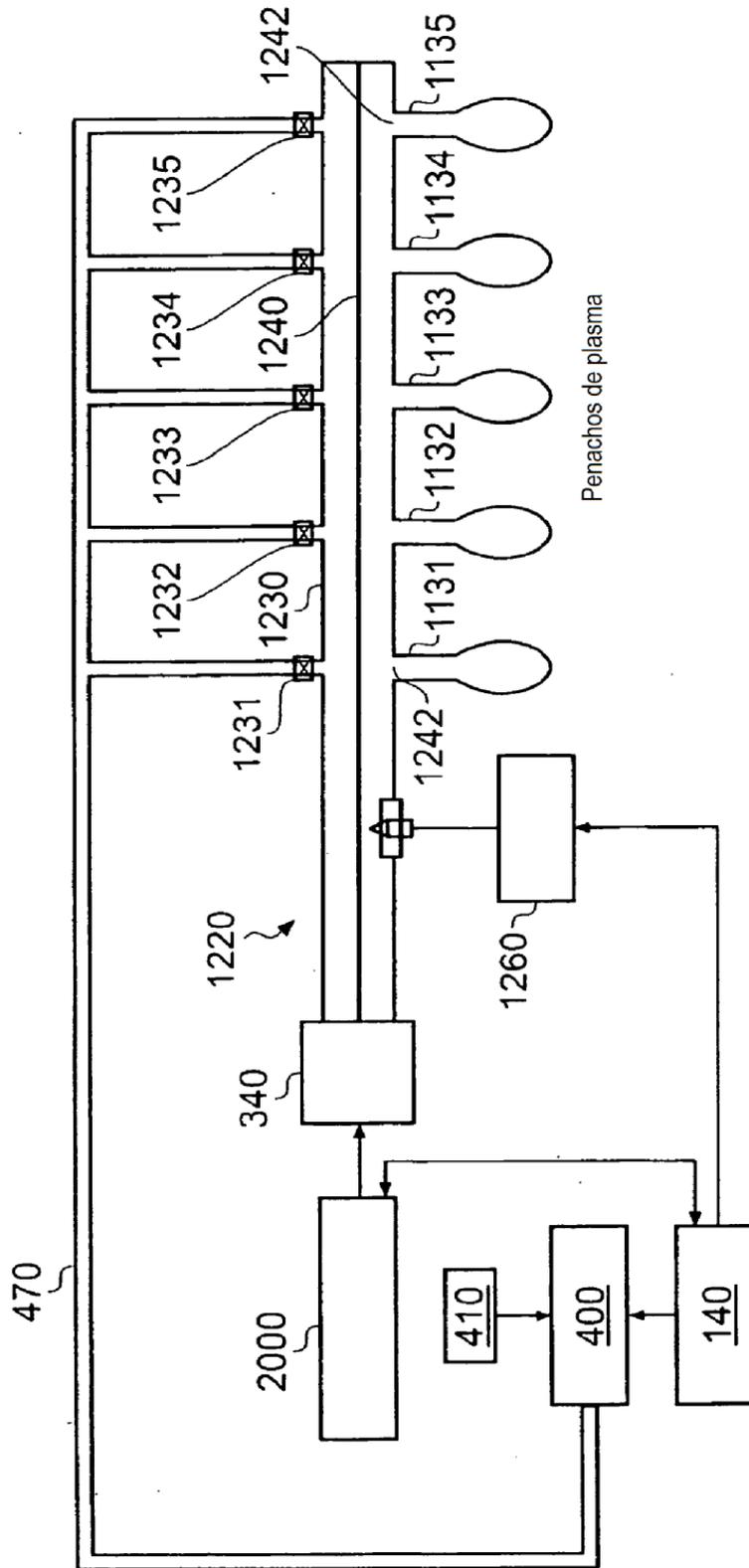


FIG. 18

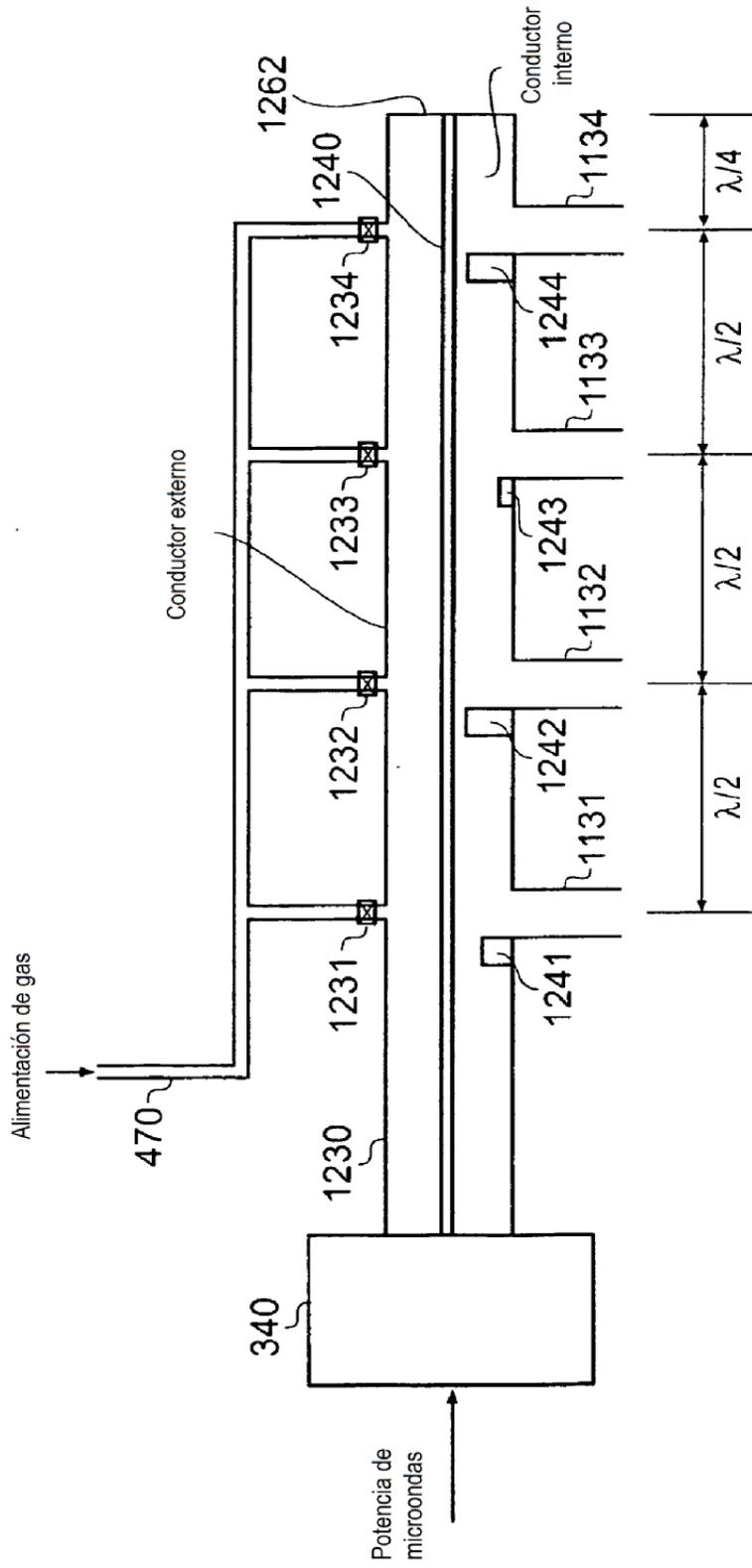


FIG. 19a

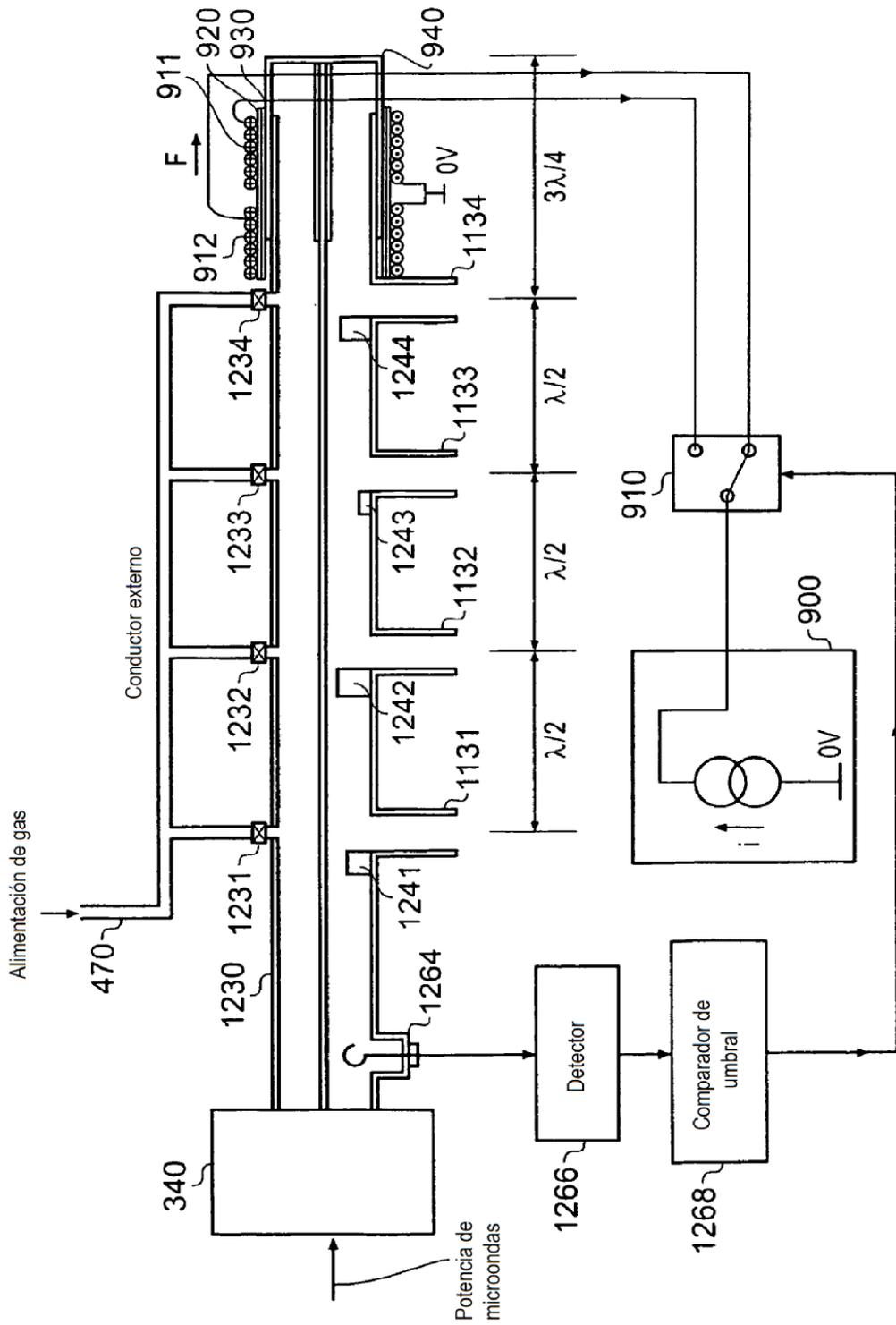


FIG. 19b

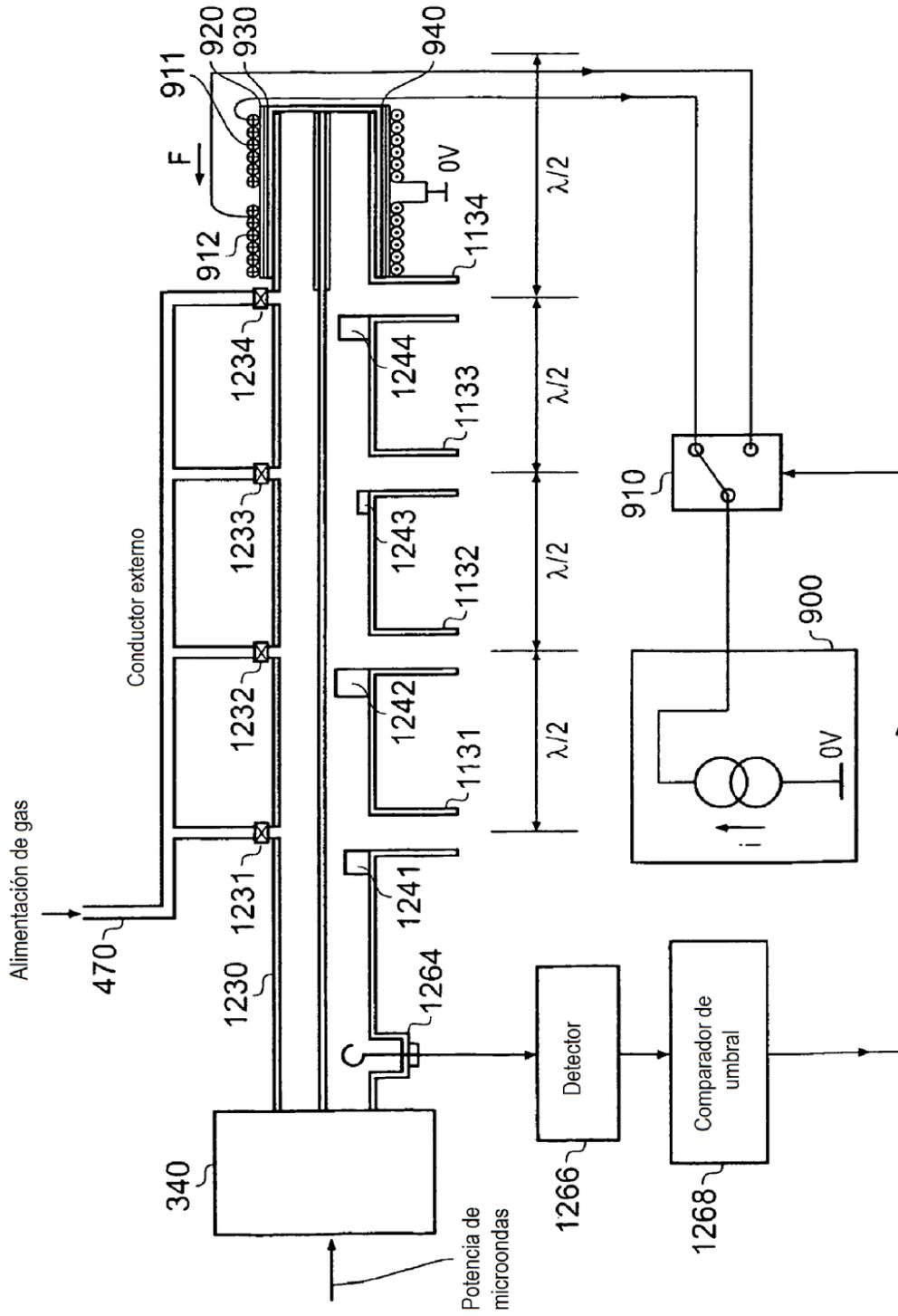


FIG. 19c

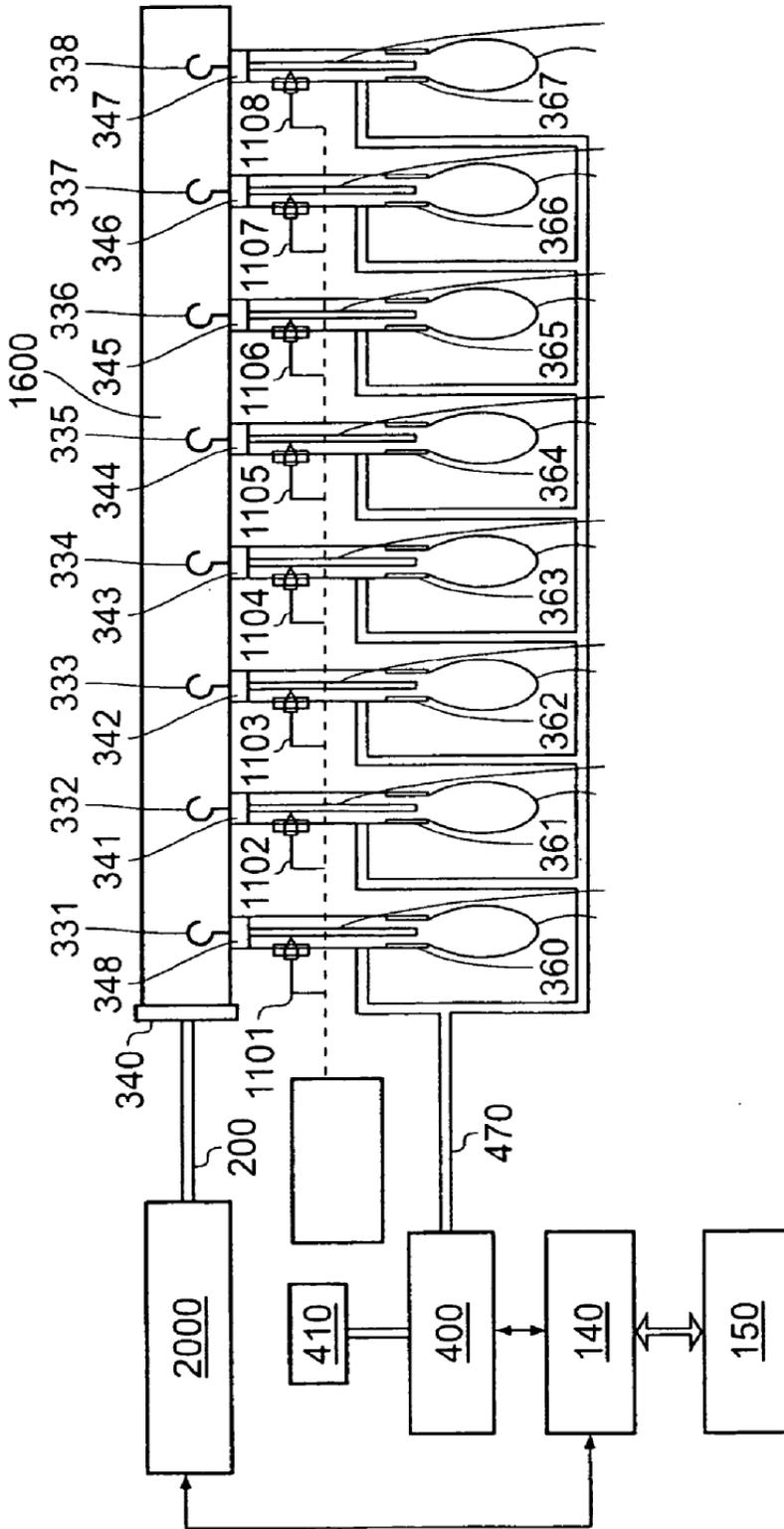


FIG. 20

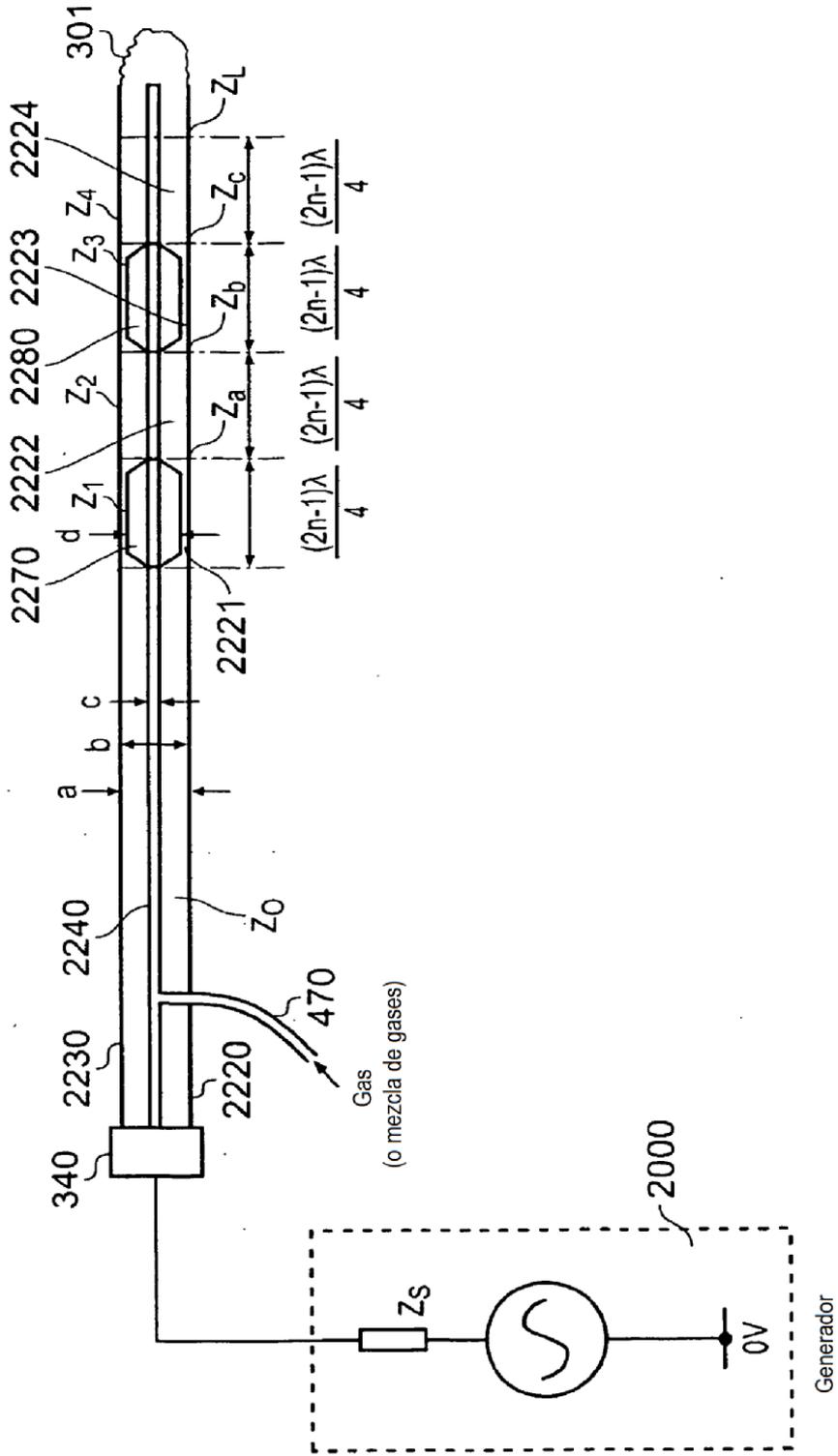


FIG. 21