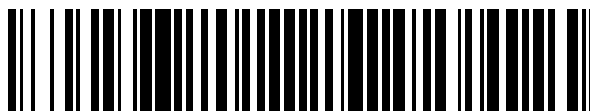


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 553 005**

51 Int. Cl.:

**A61L 2/14** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2012** **E 12798344 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.09.2015** **EP 2782604**

54 Título: **Aparato de desinfección y esterilización por plasma de gas**

30 Prioridad:

**24.11.2011 GB 201120278**

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

**03.12.2015**

73 Titular/es:

**CREO MEDICAL LIMITED (100.0%)  
Riverside Court, Beaufort Park Way  
Chepstow, Gwent, Wales NP16 5UH, GB**

72 Inventor/es:

**HANCOCK, CHRISTOPHER PAUL y  
MORRIS, STEVEN**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 553 005 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**

Aparato de desinfección y esterilización por plasma de gas

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a sistemas de esterilización y/o desinfección adecuados para su uso clínico, por ejemplo, sobre o en el cuerpo humano o animal. Por ejemplo, la invención puede proporcionar un sistema que se puede utilizar para destruir o tratar ciertas bacterias y/o virus asociados con el sistema biológico humano o animal y/o el medio ambiente circundante. En particular, la invención puede ser adecuada para la esterilización y/o desinfección de las manos de un usuario, por ejemplo, en un entorno clínico, tal como un hospital, consulta del médico o similares. Este equipo se puede utilizar también en la industria alimentaria para la desinfección o esterilización de las manos de los trabajadores o los alimentos o envases.

**15 Antecedentes de la invención**

La esterilización es un acto o proceso que destruye o elimina las formas microscópicas de vida, por ejemplo, microorganismos, bacterias, etc. Durante el proceso de esterilización por plasma, se producen agentes activos. Estos agentes activos pueden incluir fotones ultravioleta de alta intensidad y radicales libres, que son átomos o conjuntos de átomos con electrones no apareados químicamente. Una característica atractiva de la esterilización por plasma es que es posible conseguir la esterilización a temperaturas relativamente bajas, tales como la temperatura corporal. La esterilización por plasma tiene también la ventaja de que es segura para el operario y el paciente. En el caso de desinfección de las manos, el plasma fresco se puede utilizarse en lugar de gel de alcohol, cuyo uso repetido puede causar una serie de problemas relacionados con la piel.

El plasma de presión atmosférica a baja temperatura se puede utilizar para reemplazar los métodos de esterilización convencionales y ofrecer clara ventaja sobre los medios de esterilización existentes en términos de su carácter no tóxico, efectos de tratamiento instantáneos, y capacidad de producir el plasma en un intervalo de niveles de energía y en una gama de formas diferentes. En un entorno a temperatura ambiente, el plasma se soporta generalmente por campos electro-magnéticos (EM). Los electrones absorben energía de un campo eléctrico y transfieren parte de esta energía a las partículas pesadas en el plasma. Si no se da oportunidad suficiente para que los electrones transfieran su energía, los componentes del plasma más pesados permanecen a temperaturas mucho más bajas que los electrones. Tales plasmas se denominan plasma no térmico y sus temperaturas de gases pueden ser tan bajas como la temperatura ambiente.

Un plasma no térmico se puede utilizar para crear partículas de plasma altamente reactivas (incluyendo, por ejemplo, electrones, iones, radicales y otras especies químicamente activas) y ultravioleta (UV), que a su vez se pueden utilizar para desinfectar y esterilizar tejidos biológicos, superficies de trabajo externas o instrumentos quirúrgicos. Por ejemplo, los fotones UV en el plasma pueden afectar células de las bacterias mediante la inducción de la formación de dímeros de timina en su ADN. Esto inhibe la capacidad de las bacterias de replicarse apropiadamente. Este efecto puede ser particularmente útil cuando es deseable reducir el nivel de bacterias, pero no destruirlo totalmente, es decir, para no destruir la flora natural del cuerpo.

Cuanto más cerca la fuente de plasma se encuentra con respecto al tejido biológico (u otras superficies) y cuanto mayor sea el campo eléctrico en el plasma, mayor será la intensidad y la eficacia del proceso de tratamiento de esterilización por plasma no térmico.

El documento WO 2009/060213 desvela un sistema de esterilización que tiene una fuente de radiación de microondas no ionizante controlable (por ejemplo, capaz de una modulación de una forma ajustable) para proporcionar energía de microondas para combinarse con un gas (por ejemplo, un gas inerte o una mezcla de gases inertes) para producir plasma atmosférico. Un ejemplo del sistema descrito en la presente memoria incluye una unidad de división de potencia dispuesta para dividir la energía de microondas (por ejemplo, a partir de una estructura de alimentación de microondas tal como un cable coaxial) entre una pluralidad de regiones de generación de plasma, en la que una alimentación de gas se ha conectado para suministrar gas a cada región de generación de plasma, y en la que las salidas de la pluralidad de regiones de generación de plasma se han dispuesto espacialmente para suministrar una manta o una línea de plasma sustancialmente uniforme desde una pluralidad de plasmas generados en cada una de las regiones de generación de plasma respectiva. Se contempló proporcionar diez o más regiones de generación de plasma alojadas en un marco que define una abertura, en las que los plasmas de las regiones de generación de plasma fueron dirigidos hacia el interior del marco para proporcionar una manta de plasma para los artículos que se han hecho pasar a través del marco. En particular, la presente solicitud describe un aparato para esterilizar las manos en las que chorros de plasma móviles se proporcionaron en una caja en la que se pueden insertar las manos.

Para excitar el plasma es deseable disponer de un campo eléctrico elevado (por ejemplo, en condición de alta tensión o alta impedancia). Por consiguiente, es necesario configurar un estado de alta impedancia a fin de que se genere la alta tensión (campo eléctrico elevado) necesaria para descomponer el gas que. En una realización

descrita en el documento WO 2009/060213, la condición de alta tensión (alta impedancia) se configura utilizando un circuito de retorno que utiliza un circuito oscilador de baja frecuencia (por ejemplo, radiofrecuencia) y un transformador cuyo devanado primario se conecta al circuito oscilador de baja tensión mediante un controlador adecuado y el dispositivo de conmutación (por ejemplo, chip de control de puerta y un MOSFET o BJT de potencia).  
5 La disposición genera pulsos o picos de alta tensión que excitan o de otro modo inician el plasma.

Después de que se excita el plasma, la impedancia vista por la estructura de alimentación de potencia de microondas cambia debido al cambio del gas no conductor en el plasma conductor. Aquí es deseable suministrar de manera eficaz la energía de microondas en el plasma con el fin de sustentarla. Es deseable que toda (o la mayoría de) la energía de microondas se acople en el plasma. De acuerdo con ello, es deseable que coincida la impedancia del generador (es decir, la impedancia de la estructura de alimentación de potencia de microondas) con la impedancia del plasma.  
10

### Sumario de la invención

15 La presente invención se basa en la divulgación del documento WO 2009/060213 para proporcionar un aparato de esterilización por plasma de gas que puede ser particularmente adecuado desde el punto de vista de la rentabilidad y la seguridad de los usuarios para su incorporación en un artefacto de esterilización o desinfección de manos, producido en masa.  
20

En su forma más general, la invención propone un sistema de esterilización o desinfección en el que se genera plasma no térmico en pulsos, en el que cada pulso de energía de frecuencia de microondas utilizado para sustentar cada pulso de plasma se utiliza para activar un pulso de excitación por radiofrecuencia que excita el plasma. Al sincronizar el pulso de excitación y sustentar el pulso de esta manera, la invención puede aumentar la certeza de cada excitación de plasma y puede permitir un suministro eficaz de la energía en el plasma, que a su vez proporciona la energía para la esterilización o desinfección.  
25

De acuerdo con la invención, se puede proporcionar un aparato de esterilización por plasma (es decir, aparato de generación de plasma no térmico para la esterilización o desinfección de superficies) que comprende: una cavidad de microondas que se puede conectar para recibir pulsos de radiación de frecuencia de microondas desde una fuente de microondas; una pluralidad de acopladores de microondas, estando cada acoplador microondas dispuesto para acoplar la energía de microondas fuera de la cavidad de microondas a una zona de excitación de plasma respectiva, teniendo cada zona de excitación de plasma un flujo de gas a través de la misma trayectoria; una alimentación de gas que se puede conectar para suministrar gas ionizable a cada trayectoria de flujo de gas; y un circuito de generación de señales de excitación dispuesto para suministrar un pulso de energía de radiofrecuencia (RF) a cada zona de excitación de plasma para generar un campo eléctrico elevado en su interior para lograr un plasma no térmico en el gas ionizable presente en la trayectoria de flujo de gas, en el que el circuito de generación de señales de excitación incluye un sistema de circuitos de control dispuesto para utilizar una característica detectable de un pulso de radiación de frecuencia de microondas recibido en la cavidad de microondas para causar la generación del pulso de energía de RF. La presencia de una pluralidad de zonas de excitación de plasma permite que el aparato emita una región de plasma que cubre un área más amplia que la que puede ser posible con un solo chorro de plasma.  
30  
35  
40

Por tanto, la presente invención propone el uso de diferentes señales (por ejemplo, de diferentes fuentes) para excitar el plasma y sustentarlo, pero sincroniza estas fuentes para aumentar la certeza de que se suministra energía de microondas a la cavidad solo cuando hay un plasma presente.  
45

En la presente memoria descriptiva "frecuencia de microondas" se puede utilizar ampliamente para indicar un intervalo de frecuencias de 400 MHz a 100 GHz, pero preferentemente el intervalo de 1 GHz a 60 GHz. Las frecuencias específicas que se han considerado son: 915 MHz, 2,45 GHz, 3,3 GHz, 5,8 GHz, 10 GHz, 14.5 GHz y 24 GHz. En contraste, la presente memoria descriptiva utiliza "radiofrecuencia" o "RF" para indicar un intervalo de frecuencia que es de al menos tres órdenes de magnitud inferior, por ejemplo, de 100 kHz a 500 kHz.  
50

La cavidad de microondas puede ser cualquier recinto adecuado para soportar un campo electromagnético correspondiente a los pulsos recibidos de la radiación de frecuencias de microondas. La cavidad de microondas puede comprender una longitud de guía de ondas con un tamaño para soportar la propagación de la radiación de frecuencia de microondas recibida en el modo TE<sub>10</sub>. Por ejemplo, para frecuencias de microondas de aproximadamente 2,45 GHz, una guía de ondas WR340 se puede utilizar. La longitud de la cavidad puede corresponder a un número entero de longitudes de onda medias de la radiación de frecuencia de microondas que tienen que soportarse. Por ejemplo, la cavidad puede tener una longitud de operación de aproximadamente 250 mm para frecuencias de microondas de aproximadamente 2,45 GHz.  
55  
60

La cavidad de microondas puede tener una entrada situada para corresponder a un máximo de campo del campo electromagnético soportado por la misma. Por ejemplo, la entrada se puede situar a una distancia correspondiente a un cuarto de longitud de onda de múltiplo impar de un extremo cerrado (o cortocircuito) de la cavidad. La entrada puede comprender un conector de tipo SMA o N adecuado, por ejemplo, para la conexión a un cable de  
65

alimentación de microondas (por ejemplo, una línea coaxial flexible o guía de ondas) que lleva los pulsos de radiación de frecuencias de microondas desde la fuente. La entrada puede comprender también un lanzamiento directo desde la fuente del magnetrón (u otra, es decir, tubo de onda de desplazamiento), es decir, un monopolo de un cuarto de onda (o antena de cuadro) acoplada (o conectada) directamente en la sección de guía de ondas. Por ejemplo, el monopolo de un cuarto de onda se puede conectar en la cavidad de guía de ondas una distancia de un cuarto de longitud de onda (o múltiplo impar de la misma) desde la pared en cortocircuito de la cavidad de guía de ondas.

La fuente de microondas puede tener una potencia de salida capaz de suministrar en la cavidad de microondas una radiación de frecuencia de microondas que tiene una potencia media de 50 W o más. El nivel de potencia suministrado puede ser menor que el nivel de potencia de salida debido a las pérdidas en el cable de alimentación de microondas y conector de entrada, etc. Por ejemplo, si la pérdida total entre la fuente de microondas y la cavidad de microondas fuese de 3 dB, la potencia de salida de la fuente de microondas sería de al menos 100 W con el fin de alcanzar una potencia media de 50 W en la cavidad. La fuente de microondas puede ser un magnetrón, que se puede acoplar directamente en la cavidad a fin de superar la pérdida en el cable innecesaria, es decir, la pérdida de inserción del cable. Puede ser posible tener más de una fuente para cada cavidad, por ejemplo, la cavidad de microondas puede comprender una pluralidad de entradas, proporcionando cada entrada radiación de frecuencia de microondas desde una fuente respectiva (por ejemplo, magnetrón, tubo de desplazamiento de ondas, Klystron, o una fuente de estado sólido) .

La fuente de microondas puede incluir un dispositivo de conmutación para impulsar la radiación de frecuencia de microondas. En un ejemplo, el dispositivo de conmutación se puede disponer para suministrar pulsos de radiación de frecuencia de microondas con una duración de 40 ms y un ciclo de trabajo de 2/7, es decir, un ciclo que comprende un período de ENCENDIDO de 40 ms, seguido de un período de APAGADO de 100 ms. En este ejemplo, el plasma se puede excitar utilizando una ráfaga de 1 ms de 100 kHz de energía de RF, con una amplitud máxima de aproximadamente 400 V, donde la ráfaga de energía de RF se sincroniza con el flanco delantero del pulso de microondas. Utilizando una potencia máxima de aproximadamente 50 W, este perfil tratamiento es eficaz en el tratamiento de *Clostridium difficile* en los estados de esporas y vegetativos.

En la presente memoria, "pulso de energía de RF" significa la transmisión de energía de RF para un período discreto de tiempo, por ejemplo 10 ms o menos, preferentemente de 1 ms. Este período discreto de transmisión de energía de RF también puede ser referido como una ráfaga de energía de RF. Cada pulso de energía de RF puede comprender una pluralidad de ráfagas de energía de RF. Para activar el pulso de energía de RF (también denominado aquí como el pulso de excitación de RF), el aparato puede incluir un acoplador de señales de microondas conectado en una entrada de señales de microondas a la cavidad de microondas (por ejemplo, la entrada que se ha descrito anteriormente) para acoplar una porción de la radiación de frecuencia de microondas recibida en la cavidad (es decir, porción del pulso de radiación de frecuencias de microondas) al sistema de circuitos de control del circuito de generación de señales de excitación. El acoplador de señales de microondas puede ser un acoplador direccional, por ejemplo, un acoplador direccional hacia delante de 10 dB.

El circuito de generación de señales de excitación se puede disponer para acondicionar y/o procesar la señal procedente del acoplador de señales de microondas para formar una señal de control (señal de activación periódica) basándose en la característica detectable del pulso de radiación de frecuencias de microondas. La señal de control se utiliza por el circuito de generación de señales de excitación para generar el pulso de excitación de RF o una ráfaga de pulsos de excitación de RF. La característica detectable puede ser el flanco de subida del pulso de radiación de microondas. Como alternativa, puede ser la amplitud del pulso o el flanco de bajada del pulso.

El sistema de circuitos de control puede incluir un comparador de umbral y un diferenciador dispuesto para transformar la señal procedente del acoplador de señales de microondas en un pulso. El sistema de circuitos de control se puede implementar a través de una disposición de circuito analógico, donde la anchura de dicho pulso se relaciona con la constante de tiempo C-R de un circuito diferenciador monopolar y la tensión de referencia en la clavija de inversión de un comparador de umbral que sigue el diferenciador. La energía de microondas acoplada fuera de la cavidad de microondas por el acoplador de señales de microondas se puede condicionar por un detector de microondas antes de enviarse al comparador de umbral. El detector de microondas puede ser un diodo Schottky o túnel que tiene un tiempo de respuesta de 100 ns o menos, por ejemplo 10 ns a 100 ns, que puede ser lo suficientemente rápido como para permitir que el resto del circuito funcione correctamente.

Para generar el pulso de excitación de RF de la señal de control, el circuito de generación de señales de excitación puede comprender una fuente de RF continua (por ejemplo, un oscilador de funcionamiento libre cerrado), un controlador de puerta MOSFET, un MOSFET de potencia y un transformador con una relación de vueltas mayor que la unidad. Por ejemplo, una relación de vueltas de 1:100 puede permitir que 10 V en el devanado primario proporcionen 1.000 V en el devanado secundario para su uso en la excitación del plasma. El MOSFET de potencia particular utilizado se puede seleccionar en función de su tensión, capacidad de corriente y tiempos de encendido/apagado máximos.

La señal de control se puede combinar lógicamente (por ejemplo, utilizando una puerta AND) con la salida de la fuente de RF continua para generar una señal de RF pulsada para su uso como la entrada al circuito controlador de puerta, que a su vez se utiliza para conmutar el MOSFET de potencia para producir una tensión a través del devanado primario del transformador. El sistema de circuitos de control se puede disponer para ajustar la duración de la señal de control en 10 ms o menos. Por lo tanto, la duración de la ráfaga de energía de RF puede ser de 10 ms o menos, por ejemplo, de 1 ms.

Si la duración del control es de 10 ms y el oscilador es libre de funcionar a una frecuencia de 100 kHz, y el ciclo de trabajo es del 50 %, entonces el pulso excitación de RF comprenderá una ráfaga de pulsos con un tiempo de ENCENDIDO de 5  $\mu$ s y un tiempo de APAGADO de 5  $\mu$ s generado por un período de 10 ms. En otras palabras, mil pulsos de RF de 5  $\mu$ s serán generados siguiendo el flanco de excitación de cada ráfaga de energía de microondas. La activación de los mil pulsos de RF para comenzar vendrá desde el flanco delantero del pulso derivado de la ráfaga de energía de microondas que se ha acoplado y rectificado.

En otros ejemplos, la señal de RF pulsada se puede activar por una señal de control procedente de un microprocesador o similar, que se puede disponer para detectar la porción de la radiación de frecuencia de microondas acoplada desde la cavidad (por ejemplo, a través de un detector de diodo o un detector heterodino/homodino o similares). El diferenciador que se ha descrito anteriormente se puede realizar en hardware o software.

El circuito de generación de señales de excitación puede comprender una pluralidad de circuitos de excitación de RF, donde cada circuito excitación de RF cuenta con un controlador de puerta, un MOSFET de potencia y un transformador, y se dispone para suministrar un pulso excitación de RF en una zona de excitación de plasma respectiva. La pluralidad de circuitos de excitación de RF puede compartir la misma fuente de RF continua (oscilador de baja tensión, por ejemplo) o puede tener cada uno su propia fuente de RF). Sin embargo, la pluralidad de circuitos de excitación de RF puede recibir una entrada común, es decir, la señal de control que se ha descrito anteriormente. Por ejemplo, el sistema de circuitos de control puede comprender un divisor de señales de RF dispuesto para dividir la señal de control para generar una señal de entrada independiente para cada circuito de excitación de RF.

La pluralidad de acopladores de microondas se puede disponer en una o más filas (por ejemplo, en una matriz rectangular) en la cavidad de microondas. En un ejemplo, cada fila tiene siete acopladores de microondas. El pulso excitación de RF para cada fila se puede secuenciar de tal manera que el plasma parece ser continuo, es decir, filas de plasma se pueden iniciar por separado utilizando un pulso excitación. Puede haber un retraso entre el inicio de la primera fila y la segunda fila y la segunda fila y tercera fila, y así sucesivamente. El retraso entre pulsos de excitación consecutivos puede ser, por ejemplo, de 100  $\mu$ s o 1 ms. Tomando este escenario, si la matriz comprende diez filas, entonces toda la matriz emitirá plasma en un marco de tiempo de 1 ms o 10 ms, respectivamente (es decir, una operación casi continua). Una ventaja de esta disposición es que reduce la potencia requerida de la fuente de microondas.

El pulso de excitación se puede multiplexar utilizando un relé adecuado o disposición MOSFET/BJT. Como alternativa, un circuito de pulsos excitación de RF separado se puede conectar a cada fila de plasma y la señal de accionamiento de cada circuito excitación de plasma se puede secuenciar mediante la introducción de un retardo de tiempo entre las señales de control adyacentes, es decir, el oscilador de baja potencia de RF se puede aplicar al primer circuito de excitación de RF 1 ms antes de que se aplique al segundo circuito excitación de RF, por lo tanto, la segunda fila de plasma se inicia 1 ms después de la primera fila.

Cada zona de excitación de plasma se puede situar fuera de la cavidad de microondas. Cada zona de excitación de plasma se puede definir por un par de conductores entre los que es posible desarrollar una alta tensión, lo que genera el campo eléctrico elevado. Los conductores de cada zona de excitación de plasma se pueden conectar a su respectivo circuito de excitación de RF. Como se ha descrito anteriormente, la salida de cada circuito excitación de RF puede ser una ráfaga cerrada de energía de RF, por ejemplo, una ráfaga de pulsos de RF de alta tensión sinusoidal o en picos durante un período de 1 ms. La tensión máxima de los pulsos de excitación de RF puede ser de 1 kV o más.

El circuito de excitación de RF descrito aquí no se limita a una disposición que utiliza un controlador de puerta MOSFET, MOSFET de potencia y el transformador. Otros dispositivos y configuraciones de circuito que producen una ráfaga o pulso de energía de RF de alta tensión capaz de excitar el plasma en el marco de tiempo requerido, se pueden utilizar, por ejemplo, un transistor de unión bipolar de potencia (BJT), un transistor bipolar de puerta aislada de potencia (IGBT), un tiristor, un autotransformador, una disposición de circuitos duplicadores de tensión (pila Cockcroft) etc.

En una realización, cada zona de excitación de plasma comprende un conducto dieléctrico que se extiende fuera de la cavidad de microondas y que define la trayectoria del flujo de gas. El conducto se puede fabricar de un dieléctrico de pérdida baja adecuado, tal como cuarzo. El uso de un dieléctrico de pérdida baja asegura que el calor generado por los pulsos de excitación de RF se mantiene tan bajo como sea posible. Cada zona de excitación puede incluir

una disposición coaxial que comprende un conductor interno situado en el interior del conducto dieléctrico y un conductor externo separado del conductor interno por el conducto dieléctrico, en el que el circuito de generación de señales de excitación se conecta a la disposición coaxial para generar un campo eléctrico elevado dentro del conducto dieléctrico tras el suministro del pulso de energía de radiofrecuencia (RF) (es decir, el pulso de excitación de RF). Por tanto, el campo eléctrico elevado se genera entre los conductores interno y externo. El conducto dieléctrico, si está presente, puede inhibir la formación de arcos y puede confinar el flujo de gas ionizable dentro del campo eléctrico elevado. La alimentación de gas se puede disponer para introducir el gas a la zona de excitación de plasma en esta región. Es deseable que la trayectoria de flujo de gas se desplace a través de la posición del campo E máximo generado por el pulso de excitación de RF.

El circuito de excitación de RF se puede conectar a la disposición coaxial a través de una alimentación coaxial. La alimentación coaxial puede comprender un conductor externo conectado a tierra y eléctricamente conectado al conductor externo de la disposición coaxial y un conductor interno activo conectado eléctricamente al conductor interno de la disposición coaxial. El conductor interno activo se puede hacer pasar a través de una abertura en el conducto dieléctrico.

La alimentación coaxial puede comprender un elemento de bloqueo de microondas dispuesto para proteger el circuito de generación de señales de excitación contra la energía de microondas en la zona de excitación de plasma. En otras palabras, el elemento de bloqueo de microondas puede evitar que la energía de microondas se acople fuera de la zona de excitación de plasma por el conductor interno de la alimentación coaxial. El elemento de bloqueo puede funcionar también para evitar que la energía de RF se irradie fuera del circuito.

En un ejemplo, la alimentación coaxial puede comprender una línea de salida coaxial que tiene un conductor interno conectado al conductor interno de la disposición coaxial y un conductor externo conectado al conductor externo de la disposición coaxial, en el que el elemento de bloqueo de microondas comprende una o más ramas de un cuarto de longitud de onda y/o un inductor en o unido al conductor interno de la línea de salida coaxial. Para un dispositivo de pequeña escala, se puede preferir utilizar un inductor porque proporciona una rama de un cuarto de longitud de onda para cada zona de excitación de plasma puede requerir demasiado espacio. Para ilustrar, una rama de un cuarto de onda de energía de frecuencia de microondas a 2,45 GHz en el aire tiene una longitud de más de 3 cm. Si se utiliza un inductor, es preferentemente un inductor de devanado de alambre fabricado de un conductor de pérdida baja tal como plata, y que tiene preferentemente un núcleo magnético.

En una realización preferida de la invención, el conductor interno de la disposición coaxial es al menos parte del acoplador de microondas para su respectiva zona de excitación de plasma. Esta disposición reduce el número de componentes en la zona de excitación de plasma. El acoplador de microondas se describe con más detalle a continuación.

Cada acoplador de microondas puede comprender un miembro conductor que tiene una primera porción que sobresale en una cavidad de microondas, es decir, una sección rectangular hueca o cilíndrica fabricada de un conductor de pérdida baja (o una guía de ondas) y una segunda porción que se extiende hacia fuera desde la cavidad de microondas hasta su respectiva zona de excitación de plasma, en el que la longitud de la primera porción que está expuesta en la cavidad de microondas se determina basándose en la intensidad del campo de la energía de microondas en la cavidad de microondas. Con esta disposición, es posible asegurar que una cantidad deseada de energía (por ejemplo, una cantidad igual de energía en cada acoplador) se acopla fuera de la cavidad. En un ejemplo sencillo, los acopladores de microondas se pueden alinear con los máximos de intensidad de campo en la cavidad de microondas. En una disposición de este tipo, los mismos estarían separados por un medio de la longitud de onda cargada (es decir, la longitud de onda de la radiación de frecuencia de microondas guiada por la cavidad de microondas). Sin embargo, dado que la potencia de microondas se acopla fuera de la cavidad de microondas a medida que la radiación de frecuencias de microondas se propaga a lo largo de la cavidad lejos de la entrada, la intensidad del campo disminuye. En consecuencia, puede ser deseable aumentar la cantidad de la primera porción que está expuesta en la cavidad de microondas para los acopladores de microondas situados más lejos de la entrada relativa a los acopladores de microondas situados más cerca de la entrada. Con esta configuración, la proporción de potencia de microondas extraída por los acopladores de microondas se puede igualar, lo que facilita la generación de una manta de plasma uniforme.

Adicionalmente o como alternativa, con el fin de igualar la potencia de microondas disponible en cada zona de excitación de plasma, puede ser necesario incluir una disposición de ramas de sintonización dentro de la cavidad de microondas con el fin de cambiar la distribución del campo o el campo creado dentro de la guía de ondas cavidad. Las ramas de sintonización pueden estar en el mismo lado/cara que los acopladores de microondas, en el lado/cara opuesta de los acopladores de microondas, o en uno o ambos lados/caras ortogonales al lado/cara donde se encuentran los acopladores de microondas. Las ramas de sintonización pueden ser ajustables. Por ejemplo, pueden comprender tornillos metálicos o dieléctricos que sobresalen dentro de la cavidad y cuya longitud se puede ajustar con medios mecánicos externamente desde el exterior de la cavidad de guía de ondas. Sin embargo, para los dispositivos fabricados en serie donde los lugares y las longitudes de las ramas de sintonización ya están determinados, las ramas de sintonización pueden ser barras de ajuste estáticas o postes.

En otros ejemplos puede ser deseable que los acopladores de microondas tengan una separación más próxima, por ejemplo, para permitir que las zonas de excitación de plasma (y en última instancia, los chorros de plasma emitidos desde las zonas de excitación de plasma) estén en estrecha proximidad entre sí. La separación de los acopladores de microondas adyacentes en menos de la mitad la longitud de onda cargada puede facilitar la generación de una "manta" de plasma debido a que los chorros de plasma individuales pueden ser llevados más próximos unos de otros. Tal separación más próxima significa inevitablemente que los acopladores de microondas no se alinearán todos con los máximos de campo en la cavidad de microondas. En esta disposición, puede por tanto ser necesario hacer adaptaciones adicionales a la cantidad de acopladores de microondas que se exponen en la cavidad de microondas, mientras menor es la intensidad de campo mayor será la cantidad de la primera porción que está expuesta.

La cavidad de microondas se puede disponer para soportar sustancialmente toda la energía de microondas recibida en un solo modo de guía de ondas (por ejemplo, el modo TE<sub>10</sub>). Con esta disposición pueden haber dos factores que regulen la cantidad de la primera porción que está expuesta: (i) la distancia del acoplador de microondas desde los máximos de campo más cercanos, y (ii) la distancia del acoplador de microondas desde la entrada de la radicación de frecuencia de microondas hasta la cavidad de microondas. Como estas distancias aumentan, la cantidad de la primera porción que necesita exponerse aumenta a fin de lograr una tasa igual de potencia acoplada. En otras palabras, la cantidad de la primera porción de cada elemento conductor que se expone en la cavidad de microondas se determina basándose en la posición de su respectivo acoplador de microondas con respecto a la distribución de campo del modo de guía de ondas y la distancia entre el acoplador de microondas y la ubicación se recibe en la que la energía de microondas en la cavidad. Dicho acoplador puede ser una sonda de campo E o un disposición de bucle de campo H.

El gas ionizable puede ser aire o un gas inerte adecuado, por ejemplo, argón. Preferentemente, la alimentación de gas comprende una entrada de gas para suministrar gas a la trayectoria de flujo de gas de cada zona de excitación de plasma en un lugar fuera de la cavidad de microondas. El gas se puede introducir en cada zona de excitación de plasma individual utilizando un tubo de alimentación de gas separado. Como alternativa, las entradas pueden estar interconectadas (en serie o en paralelo) para alimentar una pluralidad de zonas de excitación de plasma, por ejemplo, una fila de zonas de excitación de plasma. En una disposición de este tipo, el sistema de alimentación de gas y el sistema de alimentación de energía de microondas están separados el uno del otro hasta la propia zona de excitación de plasma. En otras realizaciones, sin embargo, puede ser posible que la alimentación de gas incluya una entrada en la cavidad de microondas y una pluralidad de salidas de la cavidad de microondas, conduciendo cada salida a una zona de excitación de plasma respectiva, con lo que el gas ionizable se desplaza a través de la cavidad de microondas hasta llegar a las zonas de excitación de plasma. Por ejemplo, cada acoplador de microondas puede asegurarse en la respectiva salida de su zona de excitación de plasma por un conector permeable a gases.

El aparato de esterilización por plasma descrito anteriormente se puede incorporar en un artefacto de esterilización/desinfección para su uso en un aparato adecuado para la esterilización/desinfección de partes del cuerpo humano, en particular, de las manos. El artefacto puede comprender una carcasa que tiene un rebaje en su interior para recibir las manos de un usuario. Uno o más aplicadores de esterilización/desinfección se pueden montar en la carcasa de modo que el plasma generado se puede utilizar para crear agentes activos (por ejemplo, partículas ionizadas u otros radicales) para la esterilización de las manos del usuario. En un ejemplo hay cuatro aplicadores en el artefacto; un aplicador para cada lado de cada una de las manos del usuario.

Los agentes activos producidos por el plasma se pueden distribuir utilizando una serie de zonas de excitación de plasma repartidas en una cara de una sola cavidad de guía de ondas. En un artefacto con cuatro aplicadores, pueden haber 100 o más zonas de excitación de plasma (por ejemplo, 25 o más por aplicador) para proporcionar una distribución deseable. Como alternativa, los agentes activos producidos de una única zona de excitación de plasma se pueden distribuir mediante la conexión de la salida de la zona de excitación de plasma a un dispositivo de difusión. El dispositivo de difusión puede ser una cámara o caja delimitada que tiene una serie de aberturas en una superficie de la misma para permitir que la salida especies activas, por ejemplo, en el rebaje del artefacto sobre la superficie de las manos del usuario. Por ejemplo, el dispositivo de difusión puede ser una caja rectangular con la fuente de plasma entrando en la cara superior y cuatro orificios en la cara inferior para emitir o suministrar las especies. Esta disposición puede permitir que el dispositivo proporcione una manta de agentes activos con menos zonas de excitación de plasma.

Para promover el flujo hacia el exterior de los agentes activos, una alimentación de gas de soplado (que puede utilizar el mismo o un gas diferente de la alimentación de gas plasma) se puede conectar al dispositivo de difusión. Un ventilador se puede proporcionar también para extraer los agentes activos del dispositivo de difusión.

En otra realización, el gas puede entrar en la cavidad de guía de ondas en un solo puerto de entrada y cargar la cavidad de guía de ondas. El gas dentro de la cavidad de guía de ondas se puede utilizar entonces para entrar en cada región de generación de plasma a través de ranuras o puertos de salida en la cavidad de guía de ondas en la misma ubicación que las regiones de generación de plasma. En esta disposición, la cavidad de guía de ondas se puede cerrar parcialmente de forma hermética para permitir que el gas escape solamente en las regiones de generación de plasma, es decir, no debe escapar gas en la transición o en la interfaz entre la cavidad de guía de

ondas y el magnetrón. En esta disposición, no se genera nada de plasma dentro de la propia guía de ondas, es decir, el plasma se genera solamente en las zonas de excitación de plasma.

**Breve descripción de los dibujos**

5 Las realizaciones de la invención se describen en detalle a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 10 La Figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de un artefacto para la esterilización para las manos que incorpora el aparato de esterilización o desinfección por plasma de acuerdo con una realización de la invención;
- La Figura 2 es una vista lateral en sección transversal esquemática a través de aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la invención;
- La Figura 3 es un diagrama de bloques que muestra los componentes del sistema del aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la invención;
- 15 La Figura 4 es un circuito de generación de señales de excitación adecuado para su uso en el aparato de esterilización por plasma de la invención;
- La Figura 5 es una vista lateral en sección transversal esquemática a través del aparato de esterilización por plasma de acuerdo con un ejemplo;
- 20 La Figura 6 es una vista en sección transversal esquemática de una zona de excitación de plasma utilizada en el aparato de esterilización por plasma de la invención; y
- La Figura 7 es una vista esquemática de otra zona de excitación de plasma adecuado para su uso en el aparato de esterilización por plasma de la invención; y
- Las Figuras 8A y 8B son, respectivamente, una vista lateral esquemática en sección transversal y una vista superior de un dispositivo de difusión conectado a una zona de excitación de plasma que es adecuada para uso con el aparato de esterilización por plasma de la invención.

**Descripción detallada; opciones y preferencias adicionales**

30 La Figura 1 muestra un artefacto de esterilización de manos 10 que incorpora el aparato de esterilización por plasma de la invención. El artefacto 10 comprende una carcasa 12 que define un rebaje 14 para recibir las manos de un usuario (no mostrado).

En un ejemplo, la carcasa 12 comprende un cuerpo en forma de U, siendo el rebaje 14 el espacio entre los brazos de la U. La carcasa 12 es una carcasa hueca que puede contener los componentes del sistema en su interior. Por ejemplo, la carcasa 12 puede contener un módulo de control 16 que suministra y controla la energía para excitar y sustentar el plasma utilizado para la esterilización. El módulo de control 16 puede incluir una fuente de potencia de microondas (por ejemplo, que comprende uno o más magnetrones) para generar la radiación de frecuencia de microondas, el sistema de circuitos de generación de señales de excitación para la generación de pulsos de radiación de radiofrecuencia (por ejemplo, para excitar el plasma) y el sistema de circuitos de control para controlar la operación del aparato como se describirá a continuación. La carcasa 12 puede contener también un suministro de gas 18 para suministrar gas inerte (por ejemplo, argón o similar). La carcasa 12 se puede abrir para permitir la sustitución del suministro de gas 18, que puede ser una sola o una pluralidad de botellas de gas. Puede ser deseable utilizar más de una botella de gas en el sistema con el fin de asegurar que no haya tiempo de inactividad en el uso del dispositivo, es decir, cuando una botella de gas se vacía, se envía un mensaje a los proveedores de botellas de gas para conectar una nueva botella al dispositivo.

La carcasa 12 contiene también un aparato de esterilización por plasma para generar y emitir plasma para la esterilización en el rebaje 14. En un ejemplo, el aparato de esterilización por plasma comprende cuatro aplicadores de plasma 20. Un par de aplicadores se encuentra adyacente entre sí en cada brazo del cuerpo en forma de U. Cada aplicador 20 comprende una cavidad de guía de ondas de microondas 22 cuboidal que tiene una pluralidad (seis en el ejemplo) de tubos de cuarzo 24 que se proyectan desde una cara del mismo. Los aplicadores 20 se colocan de manera que los tubos 24 apuntan hacia el rebaje 14. El rebaje 14 puede estar expuesto a los aplicadores 20 a través de ventanas de malla 26 en las paredes hacia dentro de la carcasa 12. El tamaño de la malla se puede seleccionar para evitar la energía de microondas que entra en el rebaje 14 de los aplicadores 20.

En la disposición mostrada en la Figura 1 cada cavidad de microondas 22 se conecta para recibir la radiación de frecuencia de microondas a través de una estructura de alimentación adecuada 32 desde una fuente de microondas en el módulo de control 16. Cada cavidad puede tener su propia fuente de microondas dedicada, por ejemplo, comprendiendo uno o más magnetrones. Como alternativa, una sola fuente de microondas (que comprende uno o más magnetrones) puede suministrar la radiación de frecuencia de microondas a todas las cavidades de microondas 22. La fuente de microondas se puede disponer para suministrar pulsos de energía de microondas. Cuando los aplicadores comparten una fuente de microondas, la energía de microondas se puede suministrar a cada uno a su vez, por ejemplo, utilizando una técnica de multiplexación.

65 Los tubos de cuarzo 24 pueden rodear las zonas de excitación de plasma como se describe en más detalle a continuación. Cada zona de excitación de plasma se puede conectar para recibir pulsos de radiación de RF a través



de una estructura de alimentación adecuada 34 del sistema de circuitos de generación de señales de excitación en el módulo de control 16.

En este ejemplo, el suministro de gas 18 se muestra como teniendo cuatro salidas 28. Cada salida se conecta por un conducto de alimentación de gas (no mostrado) a una entrada respectiva 30 para cada aplicador. En este ejemplo, las entradas 30 se comunican con el interior de cada cavidad de microondas 22 con lo que el gas se desplaza a lo largo de una trayectoria de flujo de gas que pasa a través de la cavidad y sale de la cavidad a través de los tubos de cuarzo 24. Sin embargo, en otras realizaciones (por ejemplo, se describe a continuación con referencia a la Figura 5) la trayectoria de flujo de gas no fluye a través de la cavidad de microondas 22. En lugar la entrada 30 de cada aplicador puede comprender una pluralidad de entradas en los tubos de cuarzo 24 directamente.

Durante su uso, cuando las manos de un usuario se insertan en el rebaje 14, el módulo de control 16 se dispone para iniciar el suministro de gas desde el suministro de gas 18 hasta las zonas de excitación de plasma en los tubos de cuarzo 24 y emiten pulsos radiación de frecuencia de microondas desde la fuente o fuentes de microondas hasta las cavidades de microondas 22. El artefacto 10 puede incluir un detector de movimiento o proximidad (no mostrado) para detectar la presencia de un objeto en el rebaje para desencadenar la operación. Este tipo de tecnología es convencional en el campo de los artefactos de secado manuales y, por lo tanto, no se describe en detalle en la presente memoria.

De acuerdo con la invención, un pulso de energía de microondas suministrado a las cavidades de microondas activa el sistema de circuitos de generación de señales de excitación para suministrar un pulso de excitación de RF a cada zona de excitación de plasma. Como se explica en más detalle a continuación, el momento del pulso de excitación de RF se controla en relación con el suministro de gas y el pulso de microondas de manera que el pulso de RF sirve para lograr un plasma de gas no térmico en el gas presente en la zona de excitación de plasma, por ejemplo, mediante la creación de un campo eléctrico elevado dentro del tubo de cuarzo. El pulso de microondas sostiene el plasma, es decir, suministra su energía en el plasma para soportar la generación de agentes activos que se dirigen hacia fuera de la carcasa 12 con el flujo de gas. Los agentes activos generados en el plasma actúan como agentes de esterilización o desinfección para matar microorganismos presentes en la superficie de los objetos (por ejemplo, en las manos) en el rebaje 14.

La Figura 2 muestra una vista lateral en sección transversal a través de una representación esquemática de uno de los aplicadores de plasma 20 que se muestra en la Figura 1. El aplicador de plasma 20 comprende una cavidad de guía de ondas 22 que tiene una superficie interna 36 fabricada de material conductor (por ejemplo, una superficie metalizada). La cavidad de guía de ondas 22 se puede cerrar en ambos extremos como se ilustra en la Figura 2 o puede tener un extremo conectado a una carga ficticia (no mostrada) para absorber cualquier energía de microondas que no se transfiera al plasma de gas. La cavidad de microondas tiene en su cara inferior una entrada de microondas 32 y una entrada de gas 30. La entrada de microondas 32 se conecta mediante una estructura de alimentación adecuada (por ejemplo, guía de ondas flexible, alimentación coaxial o similares) para recibir la radiación de frecuencias de microondas desde la fuente de microondas (por ejemplo, magnetron, tubo de desplazamiento de ondas, klystron o fuente de estado sólido). La radiación de frecuencia de microondas pulsada se lanza en la cavidad de microondas 22 a través de la entrada de microondas 32. La entrada de microondas 32 puede comprender cualquier conector adecuado, por ejemplo, conector de tipo SMA o N o similar. En otros ejemplos, la fuente de microondas se puede conectar directamente a la cavidad de guía de onda para evitar la necesidad de conectores adicionales. La entrada de gas 30 es un conducto sencillo que tiene un diámetro de menos de un octavo de longitud de onda a la frecuencia de operación para evitar que la radiación de microondas sea irradiada en el espacio libre.

La cavidad de microondas 22 es preferentemente un espacio cuboidal dimensionado para soportar cada pulso de la radiación de frecuencias de microondas en un modo fundamental, por ejemplo, como una onda estacionaria en el modo TE<sub>10</sub>. La longitud de la cavidad de microondas 22 se selecciona para que sea igual a un número entero de longitudes de onda guiadas (en este ejemplo, la longitud de la cavidad es  $3\lambda$ , donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la radiación de frecuencias de microondas que se guía por la cavidad). La entrada de microondas 32 se sitúa a una distancia de  $\lambda/4$  desde un extremo de la cavidad de manera que la radiación de frecuencia de microondas se lanza cuando el campo E guiado tiene una intensidad máxima. La magnitud de la intensidad del campo (campo E) se ilustra en la Figura 2 esquemáticamente con la línea discontinua 38. El campo está en un mínimo en los límites definidos por los extremos de la cavidad. En este ejemplo hay tres máximos de campo.

Una pluralidad de tubos de cuarzo 24 se proyecta lejos de la cara superior del aplicador 20. Cada tubo de cuarzo 24 se fija a la cavidad de microondas 22 mediante una porción de fijación 40, que puede ser una pared roscada o un adhesivo adecuado que no sea absorbido por la energía de microondas, o un manguito metálico y un ajuste de empuje apretado. El tubo de cuarzo se puede extender a través de la superficie de la cavidad de guía de ondas, pero el conductor central utilizado en cada zona de generación de plasma debe quedar protegido utilizando un conductor que se extiende desde la cavidad de guía de onda para evitar la radiación desde el conductor central. En este ejemplo hay siete tubos de cuarzo; en otros ejemplos puede haber diez o más. En este ejemplo, los tubos de cuarzo están alineados a lo largo de una sola fila en la cara superior del aplicador. En otros ejemplos los tubos se pueden distribuir en una matriz, por ejemplo, que comprende una pluralidad de filas, a través de la cara superior del

aplicador. Por ejemplo, cada aplicador de guía de ondas se puede disponer para suministrar siete filas de plasma, donde cada fila contiene siete tubos de cuarzo de plasma. Este sistema producirá 49 chorros de plasma.

Cada tubo de cuarzo 24 define un volumen interno dispuesto para experimentar un campo eléctrico de RF alto (por ejemplo, que comprende una tensión máxima de 150 V o más, es decir, 1 kV) causado por el pulso de excitación de RF como se explica a continuación. Este volumen interno se dispone también para recibir gas desde el suministro de gas, por lo que el campo eléctrico de RF alto es capaz de lograr un plasma de gas. Por consiguiente, el volumen interno se denomina aquí como la zona de excitación de plasma. En este ejemplo la zona de excitación de plasma es una región de espacio cilíndrico, pero puede tener cualquier forma adecuada para soportar el campo eléctrico de RF alto, es decir, podría tener dos placas paralelas separadas por una lámina de vidrio de cuarzo en lugar de un tubo de cuarzo cilíndrico hueco con un primer conductor en su interior y un segundo conductor en el exterior.

En una realización, el suministro de gas se conecta a la entrada 30 para suministrar gas en el interior de la cavidad de microondas 22. Esto puede cargar la cavidad de microondas 22 de tal manera que la longitud de onda guiada es menor que la longitud de onda en el espacio libre. La permitividad relativa (constante dieléctrica) del gas puede, por lo tanto, tener que tomarse en cuenta con el fin de garantizar que la guía de ondas se dimensione para soportar el modo fundamental, pero siempre y cuando no se cree plasma en esta región, el efecto causado por el gas dentro de la región puede ser insignificante y, por tanto, el cambio en la impedancia puede también ser insignificante. La longitud de la guía de ondas es preferentemente un número entero de longitudes de onda; la longitud de onda cargada  $\lambda_i$  (es decir, la longitud de onda cuando el gas u otro material, es decir, material de carga dieléctrico o magnético, está presente) se puede calcular como

$$\lambda_i = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}},$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz al vacío,  $f$  es la frecuencia de la entrada de radiación de microondas en la cavidad, y  $\epsilon_r$  es la permitividad relativa (constante dieléctrica) del gas, u otro material. Puede ser preferible cargar o llenar la cavidad de guía de ondas (o una porción de la cavidad de guía de onda) con un material dieléctrico o magnético con el fin de reducir la separación entre las regiones de generación de plasma adyacentes colocadas a través de la guía de ondas y longitudinalmente (a lo largo o hacia abajo la guía de ondas), es decir, a través y a lo largo de la cara superior de una sección de guía de ondas rectangular. El uso de material de carga puede permitir que zonas o regiones de generación de plasma adyacentes se aproximen más entre sí. Por ejemplo, el paso entre sondas adyacentes se puede reducir de 16 mm a 4 mm mediante la carga de la cavidad con un material de pérdida baja que tiene una permitividad relativa o permeabilidad relativa de 16.

El gas escapa de la cavidad de microondas 22 en cada zona de excitación de plasma a través de las salidas 42 formadas en la cara superior del aplicador 20. Cada salida 42 se encuentra en la base de un tubo de cuarzo correspondiente 24. Las salidas 42 pueden comprender anillos de PTFE permeables que permiten que el gas fluya a través de los mismos pero que evitan que la radiación de microondas escape debido al tamaño de la salida, es decir, el diámetro de una disposición de acoplamiento redonda o la anchura de una ranura. El gas se suministra bajo presión en la cavidad, lo que hace que fluya a través de las salidas 42 y a lo largo de una trayectoria de flujo a través de la zona de excitación de plasma y fuera del extremo del tubo de cuarzo. Este flujo de gas transporta agentes activos (es decir, partículas de alta energía, radicales libres y similares) fuera del aplicador (es decir, tubos de cuarzo) donde pueden utilizarse como agentes esterilizantes. Los agentes activos se crean dentro de la zona de excitación de plasma por el plasma generado por cada pulso de radiación de frecuencias de microondas. A continuación se describe, haciendo referencia a la Figura 5, una realización en la que el gas no fluye a través de la cavidad de microondas 22.

El plasma de gas en cada zona de excitación de plasma se excita por una ráfaga de energía de RF de alta tensión, que puede comprender uno o más pulsos de energía de RF discretos. El pulso excitación de RF se suministra a una disposición coaxial que comprende un conductor externo (que se muestra en la Figura 6), por ejemplo en la superficie externa del tubo de cuarzo 24, y un conductor interno montado dentro de la zona de excitación de plasma y separado del conductor externo por el tubo de cuarzo en sí. En este ejemplo, el conductor interno es el acoplador de microondas 44 que se describe con más detalle a continuación. Una alimentación de RF 46 (descrita en más detalle con referencia a la Figura 6 a continuación) se conecta a cada disposición coaxial. La alimentación de RF 46 transfiere el pulso excitación de RF desde el circuito de generación de señales de excitación (que se explica más adelante con referencia a Figura 3) hasta la zona de excitación de plasma.

Tal como se explica a continuación, cada pulso excitación de RF se activa mediante el envío de un pulso de radiación de frecuencias de microondas a la cavidad de microondas. Después de que el plasma se excita por el pulso excitación de RF, el aplicador se dispone para acoplar el pulso de radiación de frecuencias de microondas en la cavidad para sustentar el plasma, que a su vez hace que los agentes activos útiles para la esterilización se creen. Cada pulso excitación de RF puede en sí ser también responsable de la creación de algunos agentes activos. La potencia de microondas se extrae de la cavidad de microondas 22 en cada zona de excitación de plasma mediante

un acoplador de microondas correspondiente 44. Cada acoplador de microondas 44 es un elemento eléctricamente conductor alargado que se extiende desde dentro de su respectivo tubo de cuarzo 24 través de la salida 42 y en la cavidad de microondas 22. Un anillo elástico en cada salida puede asegurar cada acoplador de microondas en su lugar. El anillo elástico se puede fabricar de un material dieléctrico que exhibe una pérdida baja de energía de microondas a la frecuencia de interés, es decir, PTFE, polieteretercetona (PEEK), nylon, cerámica, etc. En este ejemplo, el acoplador de microondas es una sonda de campo E alargada. Otros ejemplos pueden utilizar un acoplador de bucle o similar.

Para maximizar el acoplamiento de potencia de microondas desde la cavidad, normalmente sería deseable situar los acopladores de microondas opuestos a un máximo de intensidad de campo en la cavidad. Sin embargo, los acopladores de microondas dispuestos de esta manera estarían después separados por un mínimo de  $\lambda_g/2$  a lo largo del aplicador. A las frecuencias de microondas de interés, esta distancia de separación puede ser demasiado para poder crear una "manta" uniforme de agentes activos a partir de los tubos de cuarzo. Por ejemplo, a 2,45 GHz  $\lambda_g/2$  es aproximadamente 6 cm en una cavidad sin carga. Por consiguiente, en este ejemplo, los acopladores de microondas están separados a una distancia inferior a  $\lambda_g/2$ . Esto significa que están alineados con porciones de la onda guiada que tienen diferentes intensidades de campo. Con el fin de igualar la cantidad de potencia acoplada a cabo por cada acoplador de microondas, la cantidad en la que el acoplador se proyecta en la cavidad depende de la magnitud del cuadrado de la intensidad del campo. Esto se muestra esquemáticamente como la línea 48 en la Figura 2. El acoplador se proyecta más en la cavidad cuanto menor es la potencia disponible.

Además, aunque no se muestra en la línea 48, la potencia disponible en la cavidad disminuye generalmente con la distancia lejos de la entrada 32. En consecuencia, la longitud de proyección además de depender de la posición con respecto a los máximos de potencia, la proyección longitud depende también de la posición dentro de la cavidad con respecto a la entrada 32. Para una posición equivalente con respecto al máximo de campo cercano, la longitud de proyección puede tener que aumentarse con la distancia lejos de la entrada a fin de extraer la misma cantidad de potencia. El campo electromagnético modelado utilizando herramientas de campo EM avanzadas, tales como Ansoft HFSS o CST Microwave Studio, se puede utilizar para determinar las longitudes de proyección. Estas herramientas de modelado EM se pueden utilizar también para determinar la distancia (a través de y longitudinalmente) entre los acopladores adyacentes y utilizarse para determinar la posición y el tipo de ramas necesarias para intentar disponer la separación entre acopladores para ser equidistantes o iguales a través de la cavidad de guía de ondas y longitudinalmente. Las longitudes de proyección se pueden determinar también a través de la experimentación.

Como se ha señalado anteriormente, las ramas de sintonización se pueden introducir también en la cavidad de guía de ondas para ajustar los campos creados dentro de la cavidad de tal manera que la potencia de microondas acoplada fuera de la cavidad o alimenta a cada zona de generación de plasma es sustancialmente la misma. Las ramas de sintonización se pueden introducir en la misma pared que las sondas de acoplamiento, y/o se pueden introducir en la pared opuesta, y/o se pueden introducir en una o ambas paredes laterales. Las ramas de sintonización pueden ser varillas metálicas (tornillos o clavijas) o postes dieléctricos fabricados de un material adecuado que exhibe una característica de pérdida baja a la frecuencia de microondas elegida. La posición de estas ramas/postes de ajuste se puede determinar utilizando herramientas de modelado de campo EM o mediante experimentación.

La Figura 3 muestra un diagrama de sistema de alto nivel de los componentes de control del aparato de esterilización por plasma de la invención, que proporcionan la energía de RF, energía de frecuencia de microondas y gas a la zona de excitación de plasma. El aparato de esterilización por plasma comprende una fuente de microondas 52 para generar la radiación de frecuencias de microondas. La fuente de microondas puede ser uno o más magnetrones, por ejemplo, un magnetrón 2M213 de Goldstar u otro magnetrón por horno de microondas estándar fabricado por Panasonic, Sony, etc. Cada magnetrón puede generar la radiación de frecuencia de microondas a una potencia de 700 W (onda continua) o 3 kW (pulsada) o más.

Un modulador 54 se conecta a la salida de la fuente de microondas 52 a través de un conector de pérdida baja adecuado (por ejemplo guía de onda flexible o similar). La salida del modulador 54 se conecta en una entrada a la cavidad de microondas 22. El modulador 54 conmuta la salida de la fuente de microondas 52 para hacer que una señal de microondas emitida en pulsos se lance en la cavidad de microondas 22. El modulador 54 se controla por la señal de control  $C_1$  desde el controlador del sistema 56, que puede ser un microprocesador, microcontrolador o similar. El controlador del sistema 56 puede ajustar la duración del pulso y el ciclo de trabajo de la señal de microondas por pulsos. Por ejemplo, la duración del pulso puede ser de 40 ms, con una brecha de 100 ms entre pulsos, es decir, tiene un ciclo de trabajo del 29 %. Si la potencia generada por la fuente es de 50 W, esto significa que el nivel de potencia promedio de cada pulso suministrado a la cavidad es de 14,3 W. Si se requieren 49 regiones o zonas de generación de plasma para un aplicador de guía de onda que cubre un lado de una mano, entonces el sistema tendría que ser capaz de suministrar 2.450 W de potencia máxima o 700 W de potencia media desde cada aplicador de guía de ondas. Suponiendo que se necesitarán cuatro de tales aplicadores con el fin de poder cubrir ambos lados de ambas manos, entonces la potencia máxima de microondas requerida a ser suministrada en el plasma será de 12,25 kW y la potencia media 2,8 kW (suponiendo una eficiencia de la fuente y de suministro de potencia del 100 %). El controlador 56 puede incluir un monitor de alimentación de microondas (no mostrado) para detectar el nivel de potencia de la radiación de microondas suministrada a la cavidad de microondas.

Cualquiera de la duración de pulso, ciclo de trabajo y salida del nivel de alimentación de la fuente de microondas 52 se puede ajustar (por ejemplo, dinámicamente) para asegurar que un nivel deseado del suministro de potencia en la cavidad de microondas 52. El nivel de potencia se puede seleccionar por el operario del aparato, por ejemplo, a través de una interfaz de usuario 58 conectada al controlador del sistema 56.

Un acoplador direccional 60 se conecta entre el modulador 54 y la cavidad de microondas 22. El acoplador 60 desvía una porción (por ejemplo, el 1 % o menos) de la potencia de microondas hacia delante para su uso en la activación del pulso de excitación de RF. La señal acoplada se procesa por el controlador 56 para suministrar una señal temporal de excitación de RF en una entrada de una puerta AND 62. Por ejemplo, el controlador 56 puede proporcionar un comparador analógico cuya señal de salida se puede hacer para estar cerca de la línea de tensión de alimentación cuando se supera una señal de referencia. La señal temporal de excitación de RF es esencialmente un pulso cuadrado que establece la duración del pulso de excitación de RF (que puede comprender una ráfaga (es decir, período discreto) de energía de RF). La otra entrada de la puerta AND 62 se conecta a una fuente de RF 64. La salida de la puerta AND 62 es, por tanto, una ráfaga de la energía de RF que tiene la frecuencia de la fuente de RF y una duración correspondiente a la señal temporal de excitación de RF. Una solución analógica para generar la señal temporal de excitación de RF se describe a continuación con referencia a la Figura 4.

La salida de la puerta AND 62 se conecta a una pluralidad de circuitos controladores de puerta 66. Cada circuito controlador de puerta 66 se conecta para conducir un MOSFET de potencia y el transformador de circuito 68 en el que un conmutador de alta velocidad 70, por ejemplo, un dispositivo MOSFET de potencia, conmuta una tensión a través del devanado primario de un transistor 72 a la frecuencia de RF. El devanado secundario del transformador 72 genera, de ese modo, una señal de RF de alta tensión, que se suministra a una zona de excitación de plasma respectiva como el pulso excitación de RF. En este ejemplo, se proporciona un circuito controlador de puerta 66 y MOSFET de potencia y el circuito transformador 68 para cada zona de la excitación de plasma para asegurar que una tensión suficientemente alta se genere en cada zona de excitación de plasma. Puede ser preferible utilizar un circuito de pulso de excitación de RF para producir el pulso excitación de RF para una pluralidad de regiones o zonas de generación de plasma, es decir, 5, 10 o más RF acopladas en entradas a las regiones de generación de plasma se pueden conectar en paralelo, pero aisladas utilizando un inductor. En esta disposición, los pulsos de excitación de RF se pueden acoplar a las regiones o zonas de generación de plasma utilizando una alimentación separada a través de un condensador y un inductor en serie.

El suministro de gas 18, en este ejemplo, se conecta al interior de la cavidad de microondas 22 a través de una válvula de control 71, que se controla por el controlador del sistema 56 a través de la señal de control  $C_2$ . Las señales de control  $C_1$  y  $C_2$  se pueden sincronizar para asegurar que el flujo de gas se establece en las zonas de excitación de plasma cuando se suministran el pulso excitación de RF y la energía de microondas.

La Figura 4 muestra una configuración detallada de un ejemplo del sistema de circuitos de generación de señales de excitación. A la puerta NAND 62, la fuente de RF 64, que en este ejemplo es un circuito astable, y el circuito controlador de puerta inversor 66 se le proporcionan los mismos números de referencias que en la Figura 3. En la disposición mostrada en la Figura 4, la señal temporal de excitación de RF se genera mediante el uso de un comparador de umbral 74 junto con un diferenciador 76. La señal de entrada  $S_1$  para el sistema de circuitos de generación de señales de excitación se deriva de la porción de la energía de microondas procedente del acoplador direccional 60. La señal de entrada  $S_1$  se conecta a una memoria intermedia de ganancia unitaria 73 para asegurar que la entrada de señal al comparador 74 no esté cargada. La señal resultante  $S_2$  está condicionada para proporcionar una tensión constante con un nivel que está cerca de o es igual a la tensión de línea de tensión de alimentación  $V_2$  del amplificador operacional una vez que la tensión observada a la entrada de no inversión del amplificador operacional es mayor que la tensión umbral  $V_a$ . Este circuito proporciona un nivel de tensión inicial constante al circuito diferenciador. El pulso de activación es esencialmente un pulso de onda cuadrada que tiene la misma duración que el pulso de microondas enviado a la cavidad de microondas. A los efectos del sistema de circuitos de generación de señales de excitación es el flanco ascendente de esta señal lo que es de interés, ya que esto es lo que activa un cambio en el estado del comparador de umbral 74. La señal de salida  $S_2$  de la memoria intermedia 73 se introduce en el comparador de umbral 74, que genera una señal de salida  $S_3$  si la tensión de la señal  $S_2$  es mayor que la tensión umbral  $V_{\text{ésima}}$ . La señal de salida  $S_3$  se introduce en el diferenciador 76, cuya señal de salida  $S_4$  tiene una tensión correspondiente a la derivada temporal de la tensión de señal  $S_3$ . Sin embargo, la duración de la señal  $S_4$  está limitada por la tensión de referencia  $V_r$  de entrada al segundo comparador en el circuito diferenciador. El resultado de esto es que la señal de salida  $S_4$  tiene una duración limitada. La tensión de referencia  $V_r$  se puede ajustar para establecer la duración del pulso de excitación.

Como se muestra en la Figura 3, la salida de la puerta NAND 62 se conecta al circuito controlador de puerta 66. La salida del circuito controlador de puerta inversor se conecta al MOSFET de potencia y al transformador de circuito, que se muestra en la Figura 4 para comprender un MOSFET 78 conectado para conmutar una tensión  $+V_{DD}$  a través del devanado primario de un transformador 80. El devanado secundario del transformador 80 genera la señal de excitación de RF, que se suministra a la zona de excitación de plasma correspondiente a través de una estructura de alimentación adecuada, por ejemplo, cable coaxial o similar.

La Figura 5 muestra una vista lateral en sección transversal a través de una representación alternativa de un aplicador de plasma 120 que se muestra en la Figura 2. A los elementos comunes con la Figura 2 se les proporciona el mismo número de referencia y no se describen de nuevo. El aplicador de plasma 120 en este ejemplo difiere de la realización mostrada en la Figura 2 en la forma en que el gas se suministra a las zonas de excitación de plasma. En este ejemplo, la cavidad de microondas está cerrada; el flujo de gas no pasa a través de la misma. Los acopladores de microondas 44 se montan en la cara superior del aplicador 120 utilizando accesorios impermeables 142, que fijan el aplicador en su lugar y cierran herméticamente la cavidad de microondas 22. La parte inferior de los accesorios puede ser metalizada para evitar que la energía de microondas se escape.

En este ejemplo, el gas se suministra directamente a cada zona de excitación de plasma a través de una entrada en la pared del tubo de cuarzo correspondiente 24. Cada entrada se puede conectar en paralelo con el suministro de gas, o, como se muestra en la Figura 5, un paso de flujo de gas 130 se puede conectar en el interior de cada tubo de cuarzo 24 con su tubo de cuarzo vecino. Uno de los tubos de cuarzo, por ejemplo, un tubo más extremo, comprende una entrada 131 para la conexión al suministro de gas (no mostrado). De esta manera las zonas de excitación de plasma se conectan al suministro de gas en serie. Una ventaja de esta disposición es que se puede asegurar que el flujo de gas es igual en todo el aplicador.

La Figura 6 muestra una vista más detallada de una zona de excitación de plasma dentro de un tubo de cuarzo 24 montado sobre la cara superior de un aplicador de plasma como se ha descrito anteriormente. A los elementos en común con las disposiciones descritas anteriormente se les da el mismo número de referencia y no se describen de nuevo. La Figura 6 muestra un ejemplo detallado de la disposición para lanzar el pulso excitación de RF en la zona de excitación de plasma. El pulso excitación de RF se transporta desde el sistema de circuitos de generación de señales de excitación hasta la zona de excitación de plasma a través del cable 90, que puede ser un cable coaxial, una alimentación capacitiva pasante, un contacto de alambre o similar. Si se utiliza un cable coaxial, el conductor central se conectará al acoplador 44 a través del inductor 96. En esta disposición, el conductor interno del cable coaxial 90 se conecta eléctricamente al acoplador de microondas 44 en el tubo de cuarzo a través de inductor 96. El conductor externo del cable coaxial 90, que se puede conectar a tierra, se conecta a un manguito eléctricamente conductor 92 formado alrededor de una porción de la superficie externa del tubo de cuarzo 24 que rodea el extremo del acoplador de microondas 44. El manguito conductor 92 debe rodear totalmente el conductor/acoplador 44 y estar conectado eléctricamente a la pared externa de la sección/cavidad de guía de ondas 22. La longitud del manguito conductor 92 o metalización alrededor del tubo de cuarzo 24 debe ser tal que la energía de microondas no pueda irradiarse o escapar de la zona o región de generación de plasma en espacio libre o acoplarse en el tejido. El acoplador de microondas 44, el tubo de cuarzo 24 y el manguito 92 forman, por tanto, una estructura coaxial. La región en el interior del tubo de cuarzo 24, donde el gas fluye a través de esta estructura coaxial es la zona de excitación de plasma, ya que el campo eléctrico elevado causado por el pulso excitación de RF aparece aquí.

Un elemento de bloqueo de microondas 94 se conecta entre el cable coaxial 90 y la estructura coaxial que se ha descrito anteriormente. La finalidad del elemento de bloqueo de microondas 94 es evitar que la energía de microondas acoplada desde la cavidad por el acoplador de microondas 44 se desplace hacia abajo del cable coaxial 90 hacia el sistema de circuitos de generación de señales de excitación. En esta realización, el elemento de bloqueo de microondas 94 comprende un inductor de alambre enrollado 96 que se conecta al conductor interno del cable coaxial 90 y está aislado del conductor externo del cable coaxial 90 mediante un aislante 98. El inductor 96 se puede fabricar de un material de pérdida baja, tal como plata. El inductor 96 es particularmente eficaz en el bloqueo de energía de frecuencia de microondas, por ejemplo, 1 GHz o más.

Como alternativa, además de, una o más ramas de un cuarto de onda se pueden conectar al conductor externo. La longitud de la rama es un cuarto de longitud de onda de la radiación de frecuencias de microondas. Incluir la rama puede ayudar a evitar la radiación de la energía de microondas del elemento de bloqueo de microondas 94.

La Figura 7 muestra una disposición alternativa que se puede utilizar para acoplar el pulso excitación de RF en la zona de excitación de plasma. En esta disposición, dos agujas conductoras sin contacto 182, 184 se utilizan para acoplar el pulso excitación de RF desde el segundo devanado del transformador 180 en el acoplador de microondas 44. Las tensiones  $N_1$  y  $N_2$  se disponen para estar fuera de fase para crear un campo eléctrico lo suficientemente grande en la zona de generación de plasma para permitir la excitación de plasma. Ramas cilíndricas de un cuarto de longitud de onda 186, 188 se utilizan para asegurar que nada de la potencia de microondas se emita desde el aplicador. Las ramas se disponen para transformar un cortocircuito en sus extremos proximales (donde las agujas entran) en un circuito abierto en la zona de excitación de plasma. Cierres herméticos 200 se utilizan para asegurar que el gas no pueda escapar desde donde las agujas entran en la zona de excitación de plasma. Esta disposición asegura también que el campo E en el acoplador de microondas 44 sea un máximo.

Las Figuras 8A y 8B muestran el uso de un dispositivo de difusión 190 que se puede montar sobre un tubo de cuarzo 24 para difundir los agentes activos creados por el plasma sobre un área de tratamiento más amplia. La ventaja del dispositivo de difusión es que se necesitan menos zonas de excitación de plasma para obtener la misma área de cobertura para los agentes activos. Tener menos zonas de excitación plasma puede reducir la demanda de energía del artefacto. En la Figura 8A, un tubo de cuarzo 24 que sobresale de la pared de la cavidad de guía de ondas 22 se muestra como se ha descrito anteriormente. Una alimentación de gas separada 130 proporciona gas a

5 un volumen encerrado por el tubo de cuarzo 24 en el que la energía de microondas se acopla desde la cavidad 22 con el acoplador 44 y un pulso excitación de RF se suministra como se ha descrito anteriormente (los detalles no se muestran para mayor claridad). El tubo de cuarzo 24 está rodeado por una carcasa 192 que se recibe en una abertura en forma correspondiente formada en la superficie trasera del dispositivo de difusión 190. La carcasa 192 se puede asegurar en el dispositivo de difusión 190 utilizando el tornillo de bloqueo 194. La longitud de la carcasa que se inserta en el dispositivo de difusión 190 puede, por tanto, variar.

10 El dispositivo de difusión 190 es en sí es una cámara que encierra un volumen alrededor de la salida del tubo de cuarzo. La Figura 8B muestra una vista en planta de la superficie superior de la cámara, que está provista de cuatro orificios 196. Por lo tanto, los agentes activos creados por el plasma salen del dispositivo de difusión 190 a través de los orificios, extendiendo así el efecto de la zona de excitación de plasma como se indica por las flechas discontinuas en la Figura 8A

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato de esterilización por plasma que comprende:

5 una cavidad de microondas (22) que se puede conectar para recibir pulsos de radiación de frecuencia de microondas desde una fuente de microondas (52);  
 una zona de excitación de plasma;  
 un acoplador de microondas (44) dispuesto para acoplar energía de microondas fuera de la cavidad de microondas a la zona de excitación de plasma, teniendo la zona de excitación de plasma una trayectoria de flujo  
 10 de gas a través de la misma;  
 una alimentación de gas (18, 28, 30) que se puede conectar para suministrar gas ionizable a la trayectoria de flujo de gas; y

**caracterizado por**

15 un circuito de generación de señales de excitación (16) dispuesto para suministrar un pulso de energía de radiofrecuencia (RF) a la zona de excitación de plasma para generar un campo eléctrico elevado en la misma para lograr un plasma no térmico en el gas ionizable presente en la trayectoria de flujo de gas,  
 en el que el circuito de generación de señales de excitación (16) incluye un sistema de circuitos de control dispuesto para utilizar una característica detectable de un pulso de radiación de frecuencia de microondas recibida en la cavidad de microondas para causar la generación del pulso de energía de RF.

2. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una pluralidad de acopladores de microondas, estando cada acoplador de microondas montado en la cavidad de microondas para acoplar energía de microondas fuera de la cavidad de microondas a una zona de excitación de plasma respectiva.

3. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en el que el acoplador de microondas (44) es una sonda de señales de microondas conectada en una entrada a una cavidad de microondas para acoplar una porción de la radiación de frecuencia de microondas recibida en la cavidad al sistema de circuitos de control del circuito de generación de señales de excitación.

4. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la sonda de señales de microondas es un acoplador de campo E o de campo H.

5. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el circuito de generación de señales de excitación (16) comprende un circuito excitación de RF dispuesto para recibir como entrada una señal de RF pulsada generada por el sistema de circuitos de control utilizando una porción de la radiación de frecuencia de microondas acoplada desde la cavidad de microondas (22).

6. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el circuito de generación de señales de excitación (16) comprende:

una pluralidad de circuitos de excitación de RF, estando cada circuito excitación de RF dispuesto para recibir como entrada una señal de RF pulsada generada por el sistema de circuitos de control utilizando la porción de la radiación de frecuencia de microondas acoplada desde la cavidad de microondas (22), y para emitir un pulso de energía de RF a una respectiva zona de excitación de plasma y

un divisor de señales de RF dispuesto para dividir la señal de RF pulsada generada por el sistema de circuitos de control para generar una señal de entrada independiente para cada circuito de excitación de RF.

7. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que cada zona de excitación de plasma comprende:

un conducto dieléctrico que se extiende fuera de la cavidad de microondas y define la trayectoria del flujo de gas, una disposición coaxial que comprende un conductor interno situado en el interior del conducto dieléctrico y un conductor externo (92) separado del conductor interno por el conducto dieléctrico,

en el que el circuito de generación de señales de excitación (16) está conectado a la disposición coaxial para generar un campo eléctrico elevado dentro del conducto dieléctrico tras el suministro del pulso de energía de radiofrecuencia (RF).

8. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el circuito de generación de señales de excitación (16) comprende una línea de salida coaxial (90) que tiene un conductor interno conectado al conductor interno de la disposición coaxial y un conductor externo conectado al conductor externo de la disposición coaxial, en el que el circuito de generación de señales de excitación está conectado a la disposición coaxial a través de un elemento de bloqueo de microondas (94) dispuesto para proteger el circuito de generación de señales de excitación de la energía de microondas en la zona de excitación de plasma, y en el que el elemento de bloqueo de microondas comprende un inductor (96) en el conductor interno de la línea de salida coaxial.

- 5 9. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que cada acoplador de microondas (44) comprende un miembro conductor que tiene una primera porción que sobresale en la cavidad de microondas (22) y una segunda porción que se extiende hacia fuera desde la cavidad de microondas hasta su zona de excitación de plasma respectiva, y en el que la longitud de la primera porción que está expuesta en la cavidad de microondas se determina basándose en la intensidad del campo de la energía de microondas en la cavidad de microondas.
- 10 10. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con la reivindicación 9, en el que la cavidad de microondas (22) está dispuesta para soportar sustancialmente toda la energía de microondas recibida en un solo modo de guía de ondas, y en el que la cantidad de la primera porción de cada elemento conductor que se expone en la cavidad de microondas se determina basándose en la posición de su acoplador de microondas (44) respectivo con respecto al campo del modo de guía de ondas y la distancia entre el acoplador de microondas (44) y la ubicación en la que la energía de microondas se recibe en la cavidad de microondas (22).
- 15 11. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la alimentación de gas (18, 28, 30) incluye una entrada (30) en la cavidad de microondas y una o más salidas de la cavidad de microondas (22), conduciendo cada salida a una zona de excitación de plasma respectiva, de modo que el gas ionizable se desplace a través de la cavidad de microondas hasta llegar a las zonas de excitación de plasma.
- 20 12. Aparato de esterilización por plasma de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende un dispositivo de difusión (190) en la trayectoria del flujo de gas después de la zona de excitación de plasma, comprendiendo el dispositivo de difusión un recinto que tiene una pluralidad de orificios de salida separados (196) para la difusión de la salida desde la zona de excitación de plasma.
- 25 13. Un artefacto (10) de esterilización de manos, comprendiendo el artefacto:  
 una carcasa (12) que define una cavidad de recepción de manos (14) entre una superficie interna superior y una superficie interna inferior;  
 una fuente de microondas (52) situada en la carcasa y dispuesta para generar pulsos de radiación de frecuencia de microondas;  
 una pluralidad de aparatos de esterilización por plasma de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, situada en la carcasa y conectada para recibir pulsos de radiación de frecuencia de microondas desde la fuente de microondas,  
 en el que las trayectorias de flujo de gas desde las zonas de excitación de plasma de la pluralidad de aparatos de esterilización por plasma terminan ya sea en la superficie interna superior o en la superficie interna inferior, de modo que el plasma generado por la pluralidad de aparatos de esterilización por plasma se dispone para incidir en la mano o manos de un usuario cuando están recibidas en el rebaje de recepción de manos.
- 30
- 35
- 40 14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 13, en el que la fuente de microondas (52) comprende un magnetrón y un divisor de potencia dispuesto para dividir la salida del magnetrón en una pluralidad de señales de entrada de microondas, siendo cada señal de entrada microondas para un aparato de esterilización por plasma respectivo.
- 45 15. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 14, en el que la fuente de microondas (52) comprende un magnetrón y un multiplexor de potencia dispuesto para multiplexar la salida del magnetrón entre la pluralidad de aparatos de esterilización por plasma.



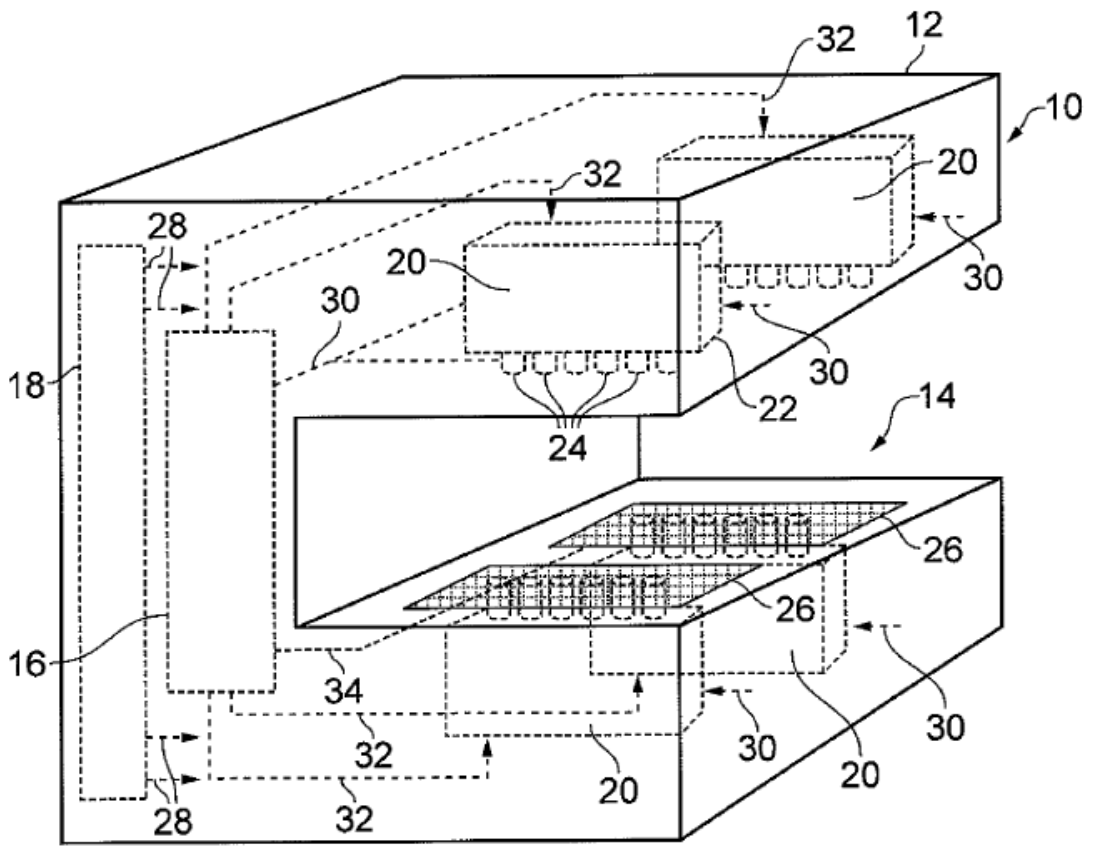


FIG. 1

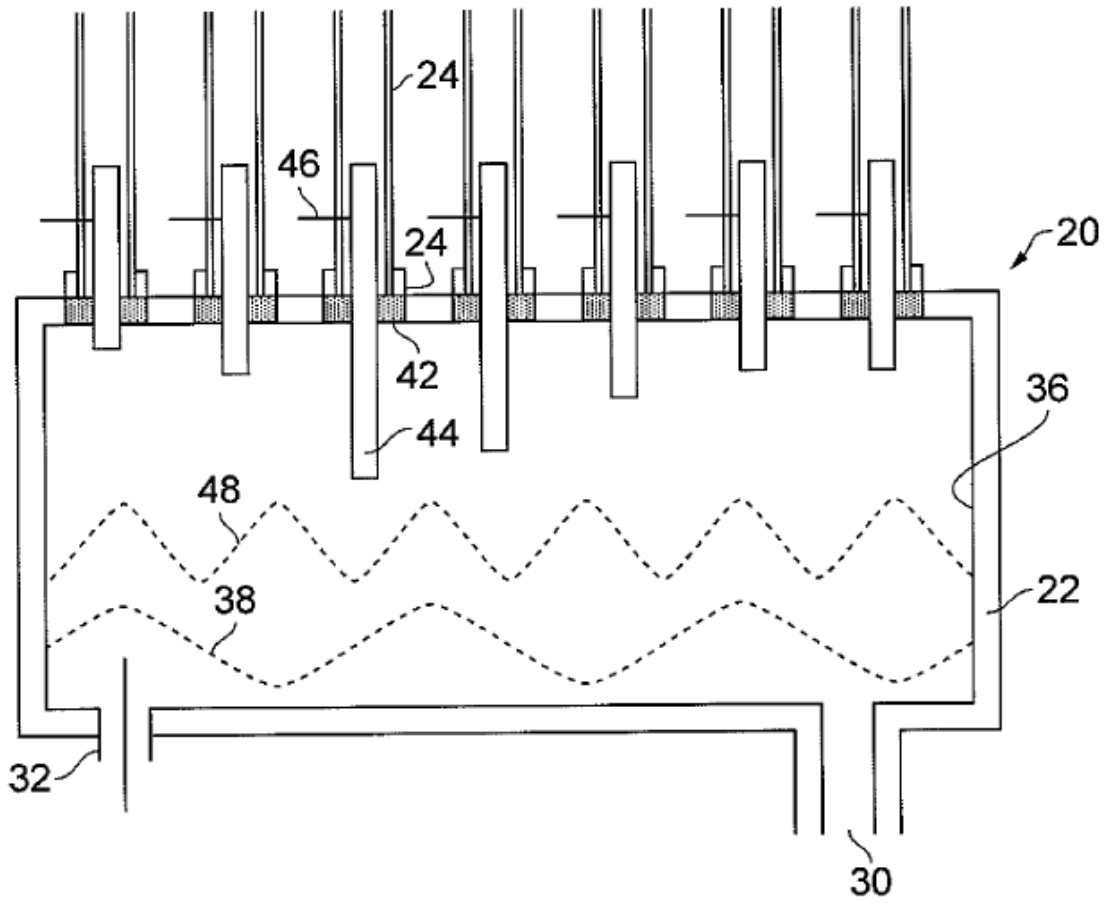


FIG. 2

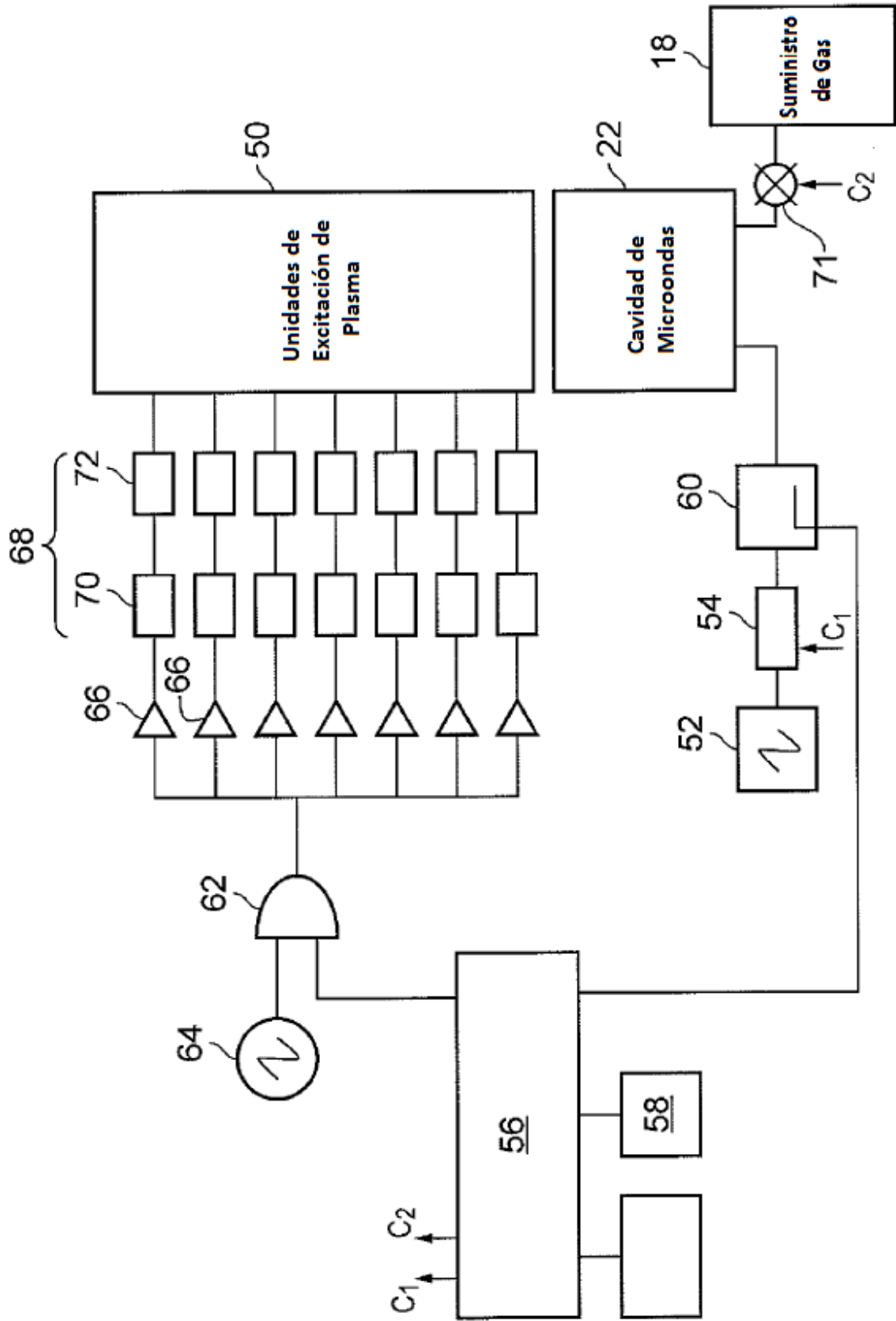


FIG. 3

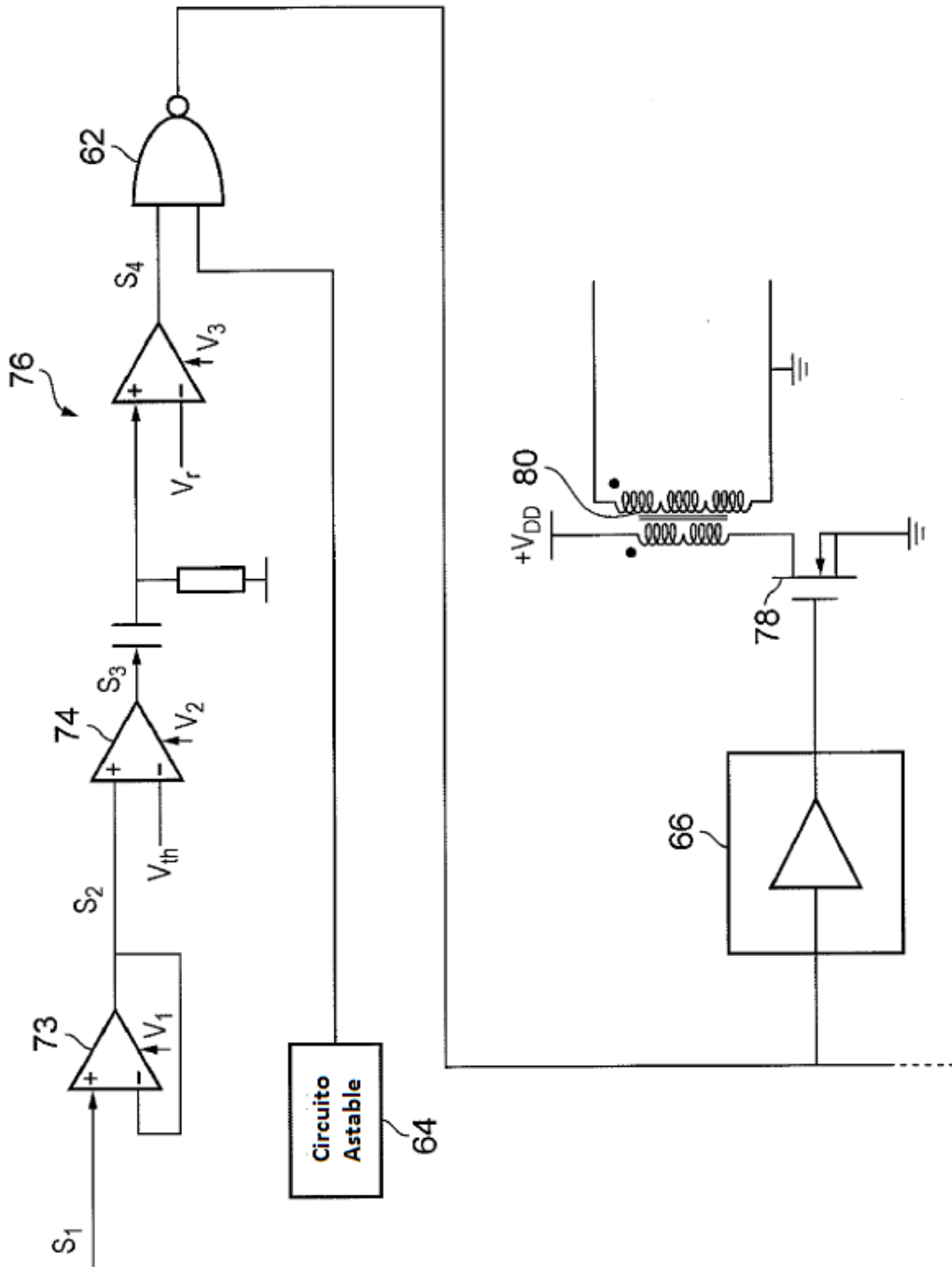


FIG. 4

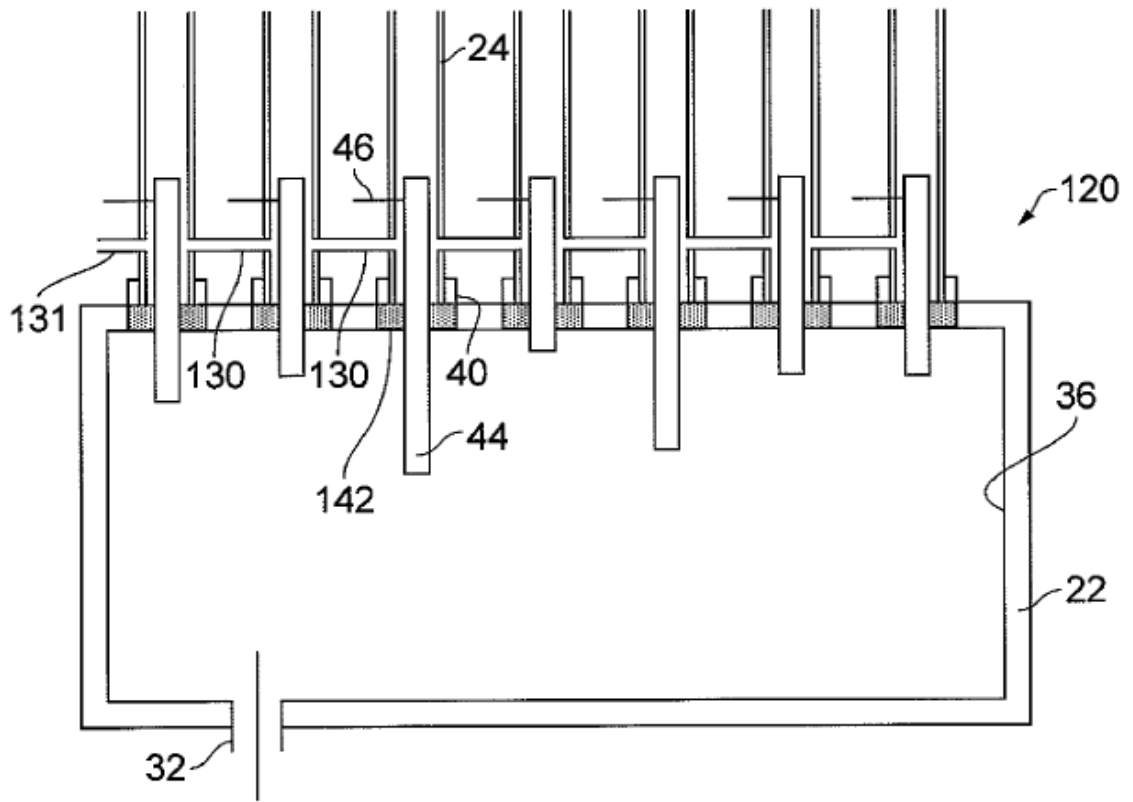


FIG. 5

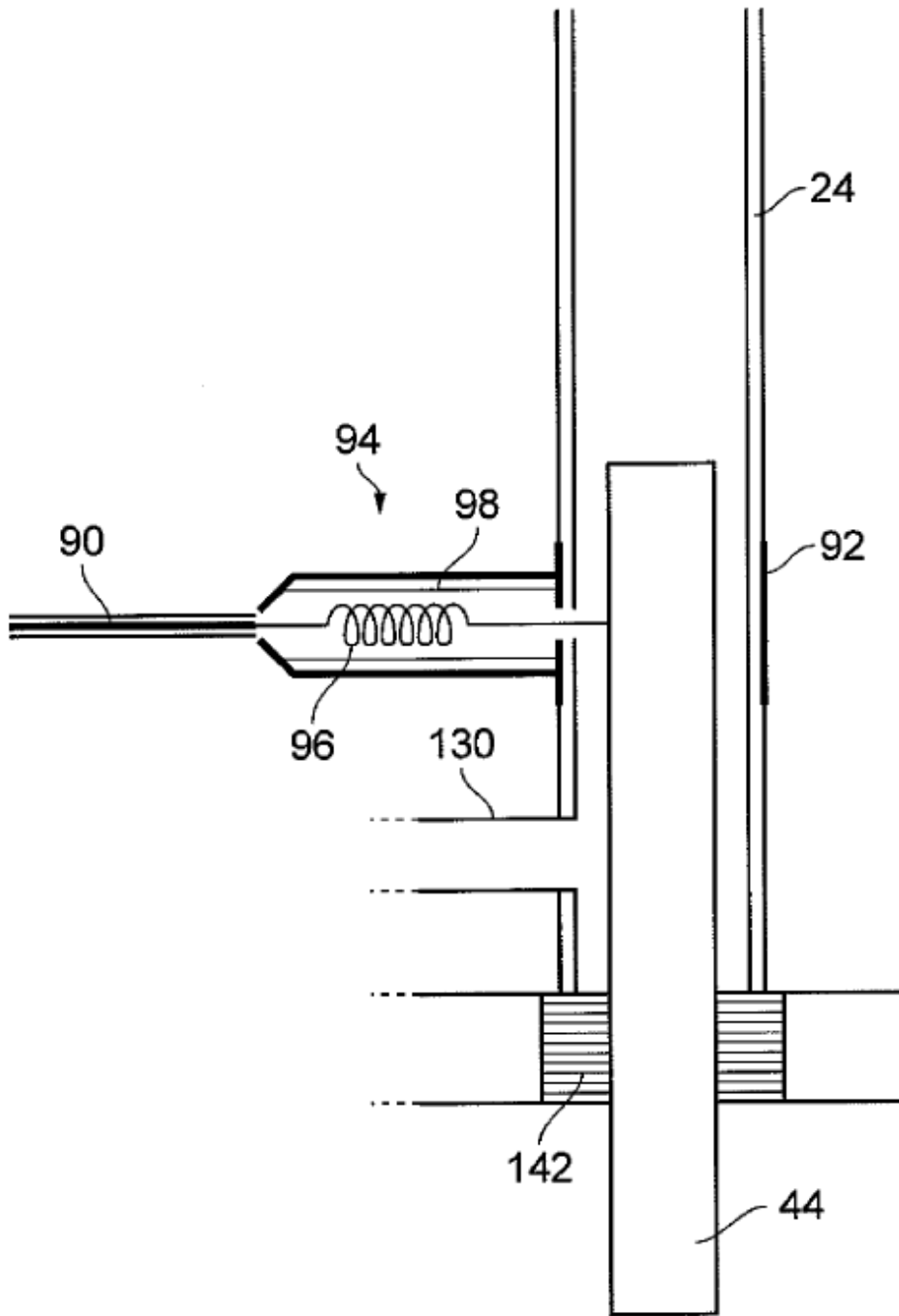


FIG. 6

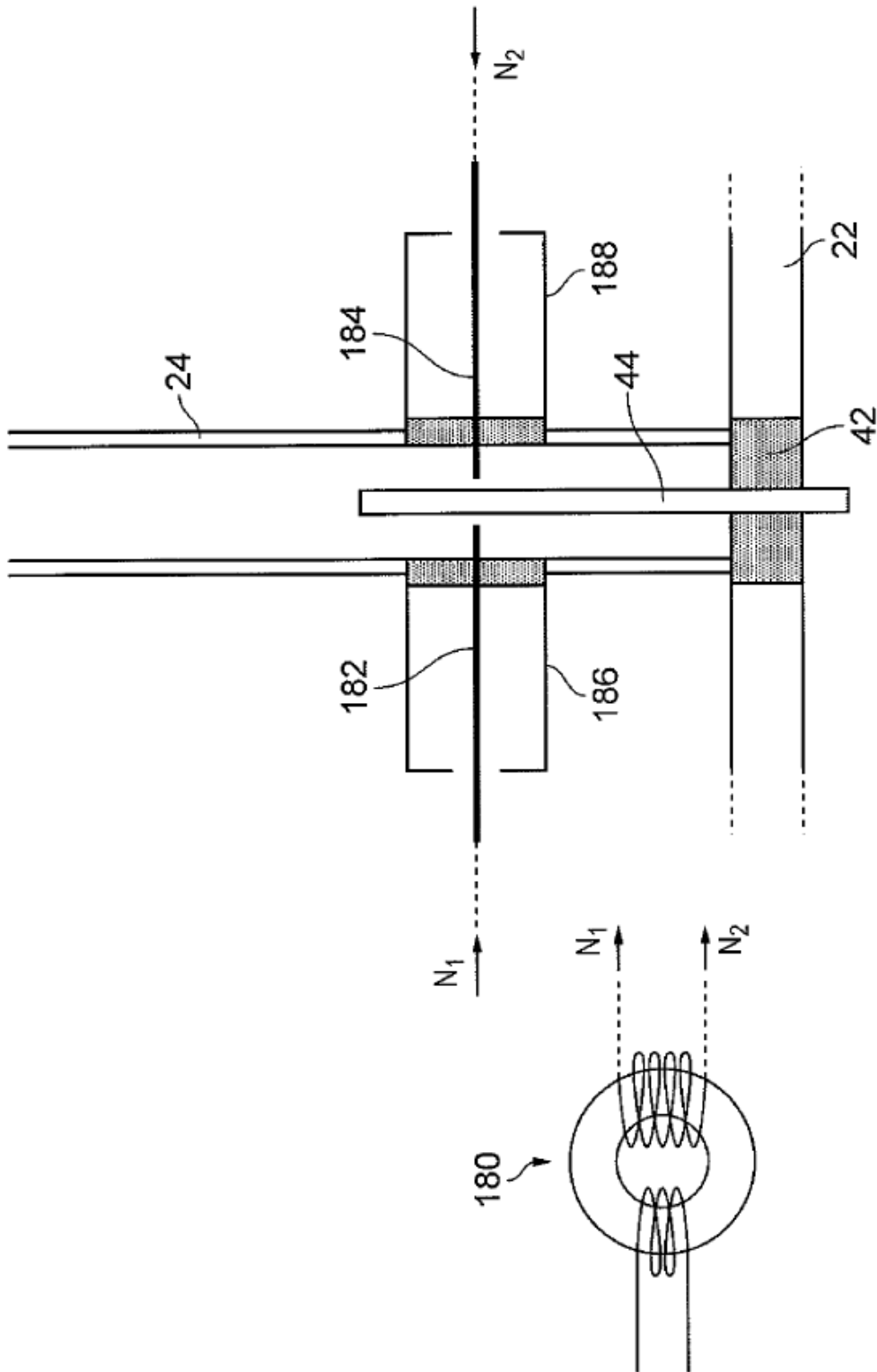


FIG. 7

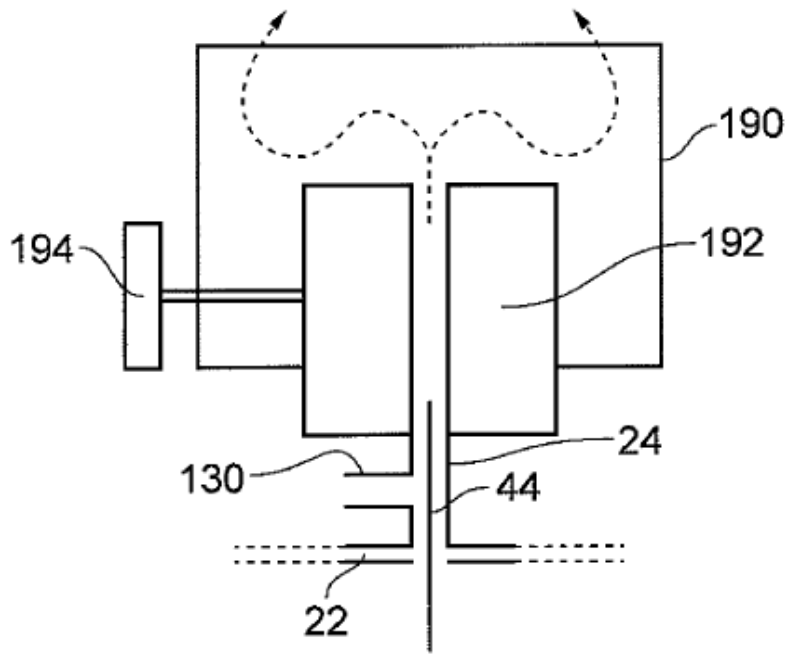


FIG. 8A

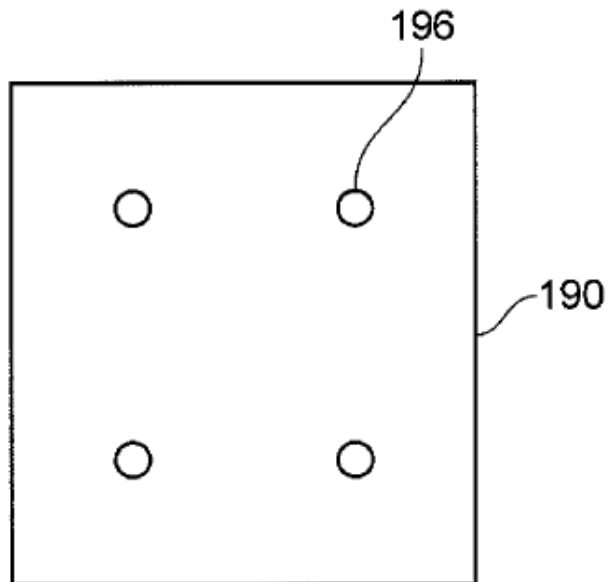


FIG. 8B